RMUTP ncon sci

PROCEEDING BOOK

รายงานสืบเนื่อง

การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและนวัตกรรม ครั้งที่ 9

"นวัตกรรมวิทยาศาสตร์สุขภาพและเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน"

21 สิงหาคม 2569 | ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

สารจากคณบดี

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร มีบทบาทสำคัญในการสร้างสรรค์งานวิจัย เทคโนโลยี และนวัตกรรม เพื่อยกระดับคุณภาพการศึกษาและพัฒนาองค์ความรู้ที่ตอบสนองความต้องการของสังคมและประเทศชาติ เราตระหนักถึงความสำคัญของงานวิจัยในทุกมิติ ทั้งงานวิจัยเพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ งานวิจัยและพัฒนาเพื่อสร้างนวัตกรรม ตลอดจนงานวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนการสอน คณะฯ จึงมุ่งมั่น ส่งเสริมและสนับสนุนคณาจารย์ บุคลากร และนักศึกษาอย่างต่อเนื่องให้สามารถผลิตผลงานวิชาการที่มีคุณภาพ ก้าวหน้า และมุ่งสู่ความเป็นเลิศในศาสตร์แขนงต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาต่อยอดและแก้ไขปัญหาได้อย่างแท้จริง ในยุคปัจจุบัน สังคมโลกกำลังเผชิญความท้าทายที่หลากหลาย ทั้งการเปลี่ยนแปลงด้านสุขภาวะ โครงสร้างประชากรผู้สูงวัย ตลอดจนวิกฤตการณ์ด้านสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้เทคโนโลยีและนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์สุขภาพไม่ได้จำกัดอยู่เพียงการรักษาหรือการดูแลสุขภาพรูปแบบเดิมอีกต่อไป หากแต่เป็นฟันเฟืองสำคัญในการขับเคลื่อนคุณภาพชีวิต สังคม และเศรษฐกิจ การบูรณาการองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์สุขภาพร่วมกับเทคโนโลยีสมัยใหม่เพื่อมุ่งสู่เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน จึงถือเป็นหัวใจสำคัญในการสร้างภูมิคุ้มกันและหลักประกันทางสุขภาวะที่เข้มแข็งให้แก่สังคมในอนาคต

ด้วยเหตุนี้ การจัดการประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 9 “นวัตกรรมวิทยาศาสตร์สุขภาพและเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน” The 9th National Conference on Science, Technology and Innovation: “Innovation in Health Science and Technology for Sustainable Development” มุ่งเน้นให้เกิดการบูรณาการองค์ความรู้จากหลากหลายสาขาวิชา ทั้งวิทยาศาสตร์พื้นฐาน วิทยาศาสตร์ประยุกต์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ และเทคโนโลยีดิจิทัล เพื่อตอบโจทย์ความท้าทายทางสังคม และสร้างแรงบันดาลใจในการยกระดับสุขภาวะของประชาชน และหวังเป็นอย่างยิ่งว่า การประชุมวิชาการระดับชาติครั้งนี้ จะเป็นเวทีในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้และเผยแพร่ผลงานวิชาการของอาจารย์ นักวิชาการ นักวิจัย นิสิต นักศึกษา และบุคคลทั่วไป เพื่อร่วมกันสร้างสรรค์งานวิจัยและนวัตกรรม นำไปสู่การสร้างเครือข่ายความร่วมมือทางวิชาการทั้งในระดับชาติและนานาชาติ ตลอดจนเป็นกำลังสำคัญในการพัฒนาประเทศชาติต่อไป

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เพ็ญนภา สุวรรณบำรุง)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

คณะกรรมการ

กรรมการบรรณาธิการ

ผศ.เพ็ญนภา	สุวรรณบำรุง	บรรณาธิการ
ผศ.ดร.สุขจิตร	ตั้งเจริญ	กรรมการ
ผศ.ดร.ชวนี	สุภิรัตน์	กรรมการและเลขานุการ
นางสาวนุสบา	เที่ยงทัศน์	กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

กรรมการพิจารณาบทความ

ดร.ถิรพล	วงศ์สอาดสกุล	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
ผศ.ดร.สันทัด	พิทักษ์วงศาภรณ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
ผศ.ดร.สุดารัตน์	นิจสุนกิจ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
รศ.ดร.รัชฎาภรณ์	อึ้งเจริญ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ
ผศ.ดร.ตั้ม	บุญรอด	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ดร.ธเนศ	จิตต์สุภาพรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.สิริภัทร	ชมัฒพงษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.จุฑามาศ	บุญรัศมี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ดร.เพียงออ	ยีสา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผศ.ปิติพร	มโนคุ้น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผศ.ภัทรมาศ	เทียมเงิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ดร.วาศินี	ประดับศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผศ.ดร.ดาริกา	แย้มรับบุญ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผศ.ดร.วนินทร	พูนไพบูลย์พิพัฒน์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผศ.ดร.วันวิสา	เจนรุ่งโรจน์สกุล	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รศ.ดร.คณิสส์	เสงี่ยมสุนทร	มหาวิทยาลัยมหิดล
รศ.ดร.วริสรา	ปาริชาติกานนท์	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผศ.ดร.วรารัตน์	วงเกี่ย	มหาวิทยาลัยมหิดล
ดร.ศิรศักดิ์	ศศิวรรณพงศ์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผศ.ชิสาพัชร์	ชูทอง	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
ผศ.ดร.พิจิตรา	จอมศรี	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ผศ.ดร.ดุลยวิทย์	ปรางชุมพล	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
ผศ.ดร.มยุรา	ทองช่วง	มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ดร.ธัญยธรณ์	วราพงศ์พิศาล	มหาวิทยาลัยรามคำแหง
อ.รวิชญ์	ทวีทรัพย์	มหาวิทยาลัยรังสิต
รศ.ดร.วนิดา	ลิ่มมั่น	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
ดร.ชาริน	สุวรรณวงศ์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.ชนากานต์	จรเสถียร	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.อธิราชย์	เริงณรงค์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผศ.ดร.วิญญ์ทัญญู	บุญทัน	มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
ดร.พีระพล	เก้าเอี้ยน	บริษัทสยามเจนเนอรัลเทคโนโลยี จำกัด
ผศ.ดร.วิดาพร	ทับทิมศรี	วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนี กรุงเทพ
ผศ.ดร.สุพัตรา	จันทร์สุวรรณ	วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนี สุพรรณบุรี
รศ.ดร.กรรณิการ์	ม่วงชู	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
รศ.ดร.กฤษฎา	เสือเอี่ยม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
รศ.ดร.กัลทิมา	เชาวน์ชาญชัยกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
รศ.ดร.ยุพาพิน	อติกานต์กุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
รศ.ดร.วิไลวรรณ	ลีนะกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.กิติยศ	ตั้งสัจจวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.เกรียงไกร	เหลืองอำพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.ชวนี	สุภิรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.ชัชวาล	ศรีภักดี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.ชาญวิทย์	ปราบพยัคฆ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.ณิศรา	สุทธิสังข์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.ดวงฤทัย	นิคมรัฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.บุรัสกร	อยู่สุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.ปิยธิดา	พันธุนะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.เพ็ชรรัตน์	เวฬุคามกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.พิชญ์ชาญ	ศรีเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.มนตรี	บุญเรืองเศษ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ผศ.ดร.เมธิญาณินฆ์	คำขาว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.วรวิทย์	จันทร์สุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.วรินธร	บุญยะโรจน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.วราวุฒิ	พุทธให้	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.วีรวรรณ	จันทนะทรัพย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.วีระยุทธ	คุณรัตนสิริ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.ศุภชัย	หลักคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.สิริรัตน์	พานิช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.สุขจิตร	ตั้งเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.สุนิสา	สายอุปราช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.อุดมเดชา	พลเยี่ยม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.นิภาพร	ปัญญา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.จินตพัฒน์	นทีวัฒนา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.จิระศักดิ์	ธาระจักร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.ณัฐติญา	ไข่ติยากุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.ธิดาวรรร	คล้ายศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.นฤดี	สมิทธ์ปรีชา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.นริศรา	นาคเมธี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.พลกฤษณ์	คุ้มกล่ำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.ภัทริกา	สูงสมบัติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.ภูมิรัตน์	นวรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.มงคลชัย	อัศวดิษฐเลิศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.ยุทธนา	สรวลสรรค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.วรภัคย์	นิธิอารยภาคย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.อำนาจ	ชินพงษ์พานิช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อ.วีรวัฒน์	เชี่ยวปัญญานันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

กรรมการดำเนินงาน

ผศ.ดร.สุขจิตร	ตั้งเจริญ	ผศ.ดร.ชวนี	สุภิรัตน์
นางศุภานัน	ปิ่นเจริญ	นางสาวอัจฉรา	เฉลิมเกียรติ
นางสาวนุสบา	เที่ยงทัศน์	นางสาวปภัสรินทร์	ธนาสิริกรพัฒน์
นางสาวอัจฉรา	คล้ายอักษร	นางสาวปทุมวดี	วงษ์จุ้ย
นายณัฐกานต์	สุขสมร	นางสาวนัฏรีญา	ดีละมัน
นางสาวชุติกาญจน์	นพพันธ์	นางสาวกรวรรณ	จินาธิป
นางสาวซูไฮบ๊ะ	ดอเลาะ	นางสาวชลิตา	อินสะโร
นางสาวเยาวภา	เทวะผลิน	นางพัทลาณี	วรดิษฐ์
นายกรกฤช	นิยมรัตน์	นางสาวภัธรภัคร	จอมแก้ว
นางสาวศิริพร	บัวสีตัน	นางสาวอรวรรณ	มุกนนท์
นางสาวสายรุ้ง	แก้วน้อย	นายอนันตศักดิ์	อุษณะประหาส
นายสมัคร	นาคเกษม	นายธรรมนูญ	ศรีลิโก

กำหนดการ
การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 9
“นวัตกรรมวิทยาศาสตร์สุขภาพและเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน”
The 9th National Conference on Science, Technology and Innovation:
“Innovation in Health Science and Technology for Sustainable Development”

วันศุกร์ที่ 21 สิงหาคม 2569
ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
จัดการประชุมแบบ On-site และ Online ผ่าน ZOOM Cloud Meetings

เวลา	กิจกรรม	
08.30 – 08.45 น.	ลงทะเบียนเข้าร่วมงาน	
08.45 – 09.00 น.	พิธีเปิดการประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 9 โดย คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	
09.00 – 11.00 น.	บรรยายหัวข้อพิเศษ “นวัตกรรมวิทยาศาสตร์สุขภาพและเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน” เรื่อง สมุนไพรในสุขภาพองค์รวม โดย อาจารย์สุชาญ ชูสุวรรณ (อาจารย์พิเศษด้านแพทย์แผนไทย/เวชกรรมแผนไทย)	
11.00 – 12.00 น.	นำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย (Oral presentation)	นำเสนอผลงานวิจัยภาคโปสเตอร์ (Poster presentation)
12.00 – 13.00 น.	พักรับประทานอาหารกลางวัน	
13.30 – 16.00 น.	นำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย (Oral presentation)	นำเสนอผลงานวิจัยภาคโปสเตอร์ (Poster presentation)
16.00 – 16.30 น.	พิธีปิด โดย คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	

หมายเหตุ ผลงานวิจัยภาคโปสเตอร์จะถูกนำเสนอที่เว็บไซต์ https://sci.rmutp.ac.th/nconsci9/

ตารางการนำเสนอผลงานวิจัย

การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 9

“นวัตกรรมวิทยาศาสตร์สุขภาพและเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน”

The 9th National Conference on Science, Technology and Innovation:

“Innovation in Health Science and Technology for Sustainable Development”

วันศุกร์ที่ 21 สิงหาคม 2569

ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ภาคบรรยาย (Oral presentation) On-site => ณ ห้อง SC–708

Session A

ประธาน: อาจารย์ ดร.อำนาจ ชินพงษ์พานิช

รองประธาน: 1) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัชวาล ศรีภักดี 2) อาจารย์ ดร.จินตพัฒน์ นทีวัฒนา

Time	ID	Name	Title
11.00 – 11.15 น.	TH1002	ธนกฤต สุขสกาวผ่อง	การตรวจวัดโดปามีนอย่างไวโดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ดัดแปรด้วยฟิล์มทองนาโนคิวบิก
11.15 – 11.30 น.	TH1026	รัฐญา แก้วเนตร	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีสกัดดีเอ็นเอจากไดอะตอมบนสิ่งทอเพื่อประยุกต์ใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์
11.30 – 11.45 น.	TH1029	ปุณณพัฒน์ ธนภัทร์พิศาล	การพัฒนาระบบวิเคราะห์กลูโคสเชิงแสงแบบไร้เอนไซม์ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับอนุภาคทองนาโนเคลือบด้วยเซอร์โคเนียมออกไซด์

ตารางการนำเสนอผลงานวิจัย

การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 9

“นวัตกรรมวิทยาศาสตร์สุขภาพและเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน”

The 9th National Conference on Science, Technology and Innovation:

“Innovation in Health Science and Technology for Sustainable Development”

วันศุกร์ที่ 21 สิงหาคม 2569

ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ภาคบรรยาย (Oral presentation) Online => Zoom Meeting (Room 1)

ณ ห้องประชุมราชพฤกษ์ภิรมย์ ชั้น 2

Session B1

ประธาน: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิญญ์ทัญญู บุญทัน

รองประธาน: 1) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิดาพร ทับทิมศรี 2) อาจารย์ ดร.ชาริน สุวรรณวงศ์

Time	ID	Name	Title
11.00 – 11.15 น.	TH1004	ชดาพร วินัยผาสุข	การเข้าถึงและความต้องการบริการการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุในเขตเทศบาลตำบลนางแล อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย
11.15 – 11.30 น.	TH1010	ภาพตะวัน หว่างจันทร์	การศึกษานำร่องผลของโปรแกรมการออกกำลังกายแบบประสาทและกล้ามเนื้อเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ต่อเสถียรภาพการทรงท่า และมุมคอขณะยืนในผู้ป่วยพาร์กินสัน
11.30 – 11.45 น.	TH1012	ธนัท ติกปัญญาวุฒิ	การเปรียบเทียบผลทันทีและผลระยะสั้นระหว่างคิเนซิโอเทปและปลอกรัดเข่าต่ออาการปวด การเดิน การเคลื่อนไหว การทรงตัว และอาการในผู้สูงอายุที่มีภาวะเข่าเสื่อม: การศึกษานำร่อง
11.45 – 12.00 น.	TH1019	นัฐภรณ์ ปัททุม	การพัฒนาโปรแกรมการส่งเสริมความตระหนักรู้และป้องกันภาวะสมองเสื่อมต่อความรู้เกี่ยวกับภาวะสมองเสื่อม ทัศนคติต่อภาวะสมองเสื่อม พฤติกรรมการป้องกันภาวะสมองเสื่อม และความสามารถด้านการรู้คิดของผู้สูงอายุโรคเรื้อรังที่มีภาวะการรู้คิดบกพร่องเล็กน้อยในชุมชน
12.00 – 12.15 น.	TH1021	อภิญญา ปาละอิน	ความชุกของความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อในกลุ่มอาชีพช่างทำผม ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย

ตารางการนำเสนอผลงานวิจัย

การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 9

“นวัตกรรมวิทยาศาสตร์สุขภาพและเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน”

The 9th National Conference on Science, Technology and Innovation:

“Innovation in Health Science and Technology for Sustainable Development”

วันศุกร์ที่ 21 สิงหาคม 2569

ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ภาคบรรยาย (Oral presentation) Online => Zoom Meeting (Room 1)

ณ ห้องประชุมราชพฤกษ์ภิรมย์ ชั้น 2

Session B2

ประธาน: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิญญ์ทัญญู บุญทัน

รองประธาน: 1) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิดาพร ทับทิมศรี 2) อาจารย์ ดร.ชาริน สุวรรณวงศ์

Time	ID	Name	Title
13.30 – 13.45 น.	TH1005	นาลิดา รักษาพงไพร	พฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุในเขตเทศบาลตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย
13.45 – 14.00 น.	TH1009	สุภาภรณ์ พันธ์ศรีสุวรรณ	ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยงโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
14.00 – 14.15 น.	TH1011	ฐิตาภรณ์ เสาร์เทพ	ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความเครียด ภาวะซึมเศร้า และคุณภาพชีวิตของผู้ดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียง ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย
14.15 – 14.30 น.	TH1017	ธนกร แซ่ย่าง	การศึกษาภาวะหมดไฟในการทำงานของพนักงานประจำในสถานประกอบกิจการแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย ประเทศไทย
14.30 – 14.45 น.	TH1022	อริสรา ถาวร	ระดับความเครียดจากการทำงานของผู้ค้าขายในตลาดสด ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย
14.45 – 15.00 น.	TH1023	ธีรภัทร สุขตัว	ความรู้ ทัศนคติ และความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันตนเองจากการใช้สารกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรในตำบลแม่ยาว อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย : การศึกษาเชิงวิเคราะห์ภาคตัดขวาง

ตารางการนำเสนอผลงานวิจัย

การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 9

“นวัตกรรมวิทยาศาสตร์สุขภาพและเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน”

The 9th National Conference on Science, Technology and Innovation:

“Innovation in Health Science and Technology for Sustainable Development”

วันศุกร์ที่ 21 สิงหาคม 2569

ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ภาคบรรยาย (Oral presentation) Online => Zoom Meeting (Room 2)

ณ ห้องประชุมดอกคูน ชั้น 2

Session C1

ประธาน: รองศาสตราจารย์ ดร.วิไลวรรณ ลีนะกุล

รองประธาน: 1) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนพงศ์ สารีอินทร์ 2) อาจารย์ ดร.จิระศักดิ์ ธาระจักร์

Time	ID	Name	Title
11.00 – 11.15 น.	TH1024	สุทธิพงษ์ ชุ่มขุนทด	การเพิ่มประสิทธิภาพระบบจัดการควันด้วยเทคโนโลยีสนามไฟฟ้าโดยใช้ระบบที่บูรณาการ การหมุนเวียนอากาศ (Recirculation) ร่วมกับการควบคุมแบบ PID สำหรับร้านอาหารปิ้งย่างขนาดเล็ก
11.15 – 11.30 น.	TH1028	รัตนาภรณ์ ทิพเวช	การพัฒนากาวลามิเนตด้วยซิลิกาจากเถ้าแกลบสำหรับกักเก็บอุณหภูมิบนฉลากบรรจุภัณฑ์
11.30 – 11.45 น.	TH1030	สิรินุช แคบำรุง	การพัฒนาสารเคลือบกระดาษโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์ เพื่อชะลอการซึมผ่านของน้ำและน้ำมัน
11.45 – 12.00 น.	TH2013	บุณยาพร ศรีภูธร	การประเมินความผ่อนคลายของลวดชุบแข็งอบคืนตัวสำหรับคอนกรีตอัดแรง

ตารางการนำเสนอผลงานวิจัย

การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 9

“นวัตกรรมวิทยาศาสตร์สุขภาพและเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน”

The 9th National Conference on Science, Technology and Innovation:

“Innovation in Health Science and Technology for Sustainable Development”

วันศุกร์ที่ 21 สิงหาคม 2569

ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ภาคบรรยาย (Oral presentation) Online => Zoom Meeting (Room 2)

ณ ห้องประชุมดอกคูน ชั้น 2

Session C2

ประธาน: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรวรรณ จันทนะทรัพย์

รองประธาน: 1) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกรียงไกร เหลืองอำพล 2) อาจารย์ ดร.นริศรา นาคเมธี

Time	ID	Name	Title
13.30 – 13.45 น.	TH1008	นิติภูมิ ส้มจีน	กระจกอัจฉริยะเพื่อการตรวจสอบสุขภาพ
13.45 – 14.00 น.	TH1015	ชนิษฐา คำมา	การพัฒนาแอปพลิเคชันระบบชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยง กรณีศึกษาโรงพยาบาลแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย
14.00 – 14.15 น.	TH1025	สุภาภรณ์ จันปาน	การพัฒนาสื่อการเรียนรู้เรื่อง 6 โรคที่พบบ่อยในฤดูฝน สำหรับผู้รับบริการโรงพยาบาลพระแสง
14.15 – 14.30 น.	TH1016	ฑิตยา คูณศรี	การพัฒนาระบบจัดเก็บข้อมูลอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ : กรณีศึกษามหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
14.30 – 14.45 น.	TH1018	ธีรยุท กรมทอง	การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันระบบจองเช่าห้องพักของหอพัก
14.45 – 15.00 น.	TH1020	นัยน์ภัค หงส์หา	เว็บแอปพลิเคชันเกมจำลองลงทุนเทรดหุ้น
15.00 – 15.15 น.	TH1027	จิรนันท์ คงปันนา	การใช้เซ็นเซอร์ IoT ในการตรวจจับและเฝ้าระวังการใช้บุหรี่ไฟฟ้าในพื้นที่ปิด

ตารางการนำเสนอผลงานวิจัย

การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 9

“นวัตกรรมวิทยาศาสตร์สุขภาพและเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน”

The 9th National Conference on Science, Technology and Innovation:

“Innovation in Health Science and Technology for Sustainable Development”

วันศุกร์ที่ 21 สิงหาคม 2569

ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ภาคโปสเตอร์ (Poster presentation)

ID	Name	Title
TH1003	เจสิกา เที่ยงทางธรรม	ภาวะกระดูกสันหลังคดในนักเรียนโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี)
TH1006	วิชชุกร ศิริคะรินทร์	ความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมการนอนหลับ คุณภาพการนอนหลับ และสุขภาวะทางจิตใจของนักเรียนระดับมัธยมศึกษา
TH1007	พงศธร พันธ์ศรี	การวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนมาใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยและการพยากรณ์แนวโน้มการยอมรับในอนาคต
TH1013	ตะวัน ภูมิพิชัย	การเปรียบเทียบการสกัดกิ่งหม่อน (*Morus alba* L.) ด้วยน้ำและเอทานอลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ
TH1014	สุพาพร จันศีรี	การศึกษาการต้านออกซิเดชันของเปลือกรากหม่อน (*Morus alba* L.) ร่วมกับการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกด้วยเทคนิค HPLC
TH1031	ณภัทธ เสนีย์วงศ์ ณ อยุธยา	การพัฒนาและการประเมินผลเบื้องต้นของไฮโดรเจลที่มีส่วนผสมของคอมบูชาและมัทฉะ สำหรับการดูแลแผลถลอก: การคัดกรองร่วมกันคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ การต้านจุลชีพ และการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมระยะเริ่มต้น
TH2001	วีรวรรณ จันทนะทรัพย์	การพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำชื่อสัตว์เลี้ยงด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์
TH2002	วีรวรรณ จันทนะทรัพย์	ระบบตรวจจับการแต่งกายของนักศึกษาด้วยการเรียนรู้เชิงลึก
TH2004	ณิศรา สุทธิสังข์	ดิจิทัลวอลเล็ตกับการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีกราฟ
TH2005	อรจิรา อารักษ์สกุลวงศ์	การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบย่านางและการพัฒนาตำรับแผ่นแปะเจลาติน
TH2006	วีรวรรณ จันทนะทรัพย์	ระบบเฝ้าระวังทรัพย์สินในร้านขายของชำด้วยการเรียนรู้เชิงลึก
TH2007	พรรณวิภา แพงศรี	การพัฒนาผลิตภัณฑ์และการวิเคราะห์ต้นทุนของโยเกิร์ตจากกะทิและกะทิธัญพืชเพื่อการพัฒนาเชิงพาณิชย์
TH2008	อัมราภรณ์ ภู่ระย้า	ศักยภาพขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ กรณีศึกษา พื้นที่ภาคเหนือตอนล่าง จังหวัดพิษณุโลก
TH2009	กิติยศ ตั้งสัจจวงศ์	การประเมินเชิงพื้นที่ของคุณภาพน้ำประปาภายในอาคาร: กรณีศึกษาการปนเปื้อนของเหล็ก และแมงกานีส คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ตารางการนำเสนอผลงานวิจัย

การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 9

“นวัตกรรมวิทยาศาสตร์สุขภาพและเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน”

The 9th National Conference on Science, Technology and Innovation:

“Innovation in Health Science and Technology for Sustainable Development”

วันศุกร์ที่ 21 สิงหาคม 2569

ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ภาคโปสเตอร์ (Poster presentation)

ID	Name	Title
TH2010	ชัชวาล ศรีภักดี	ความทนทานของโฟตอนพัวพันจากกระบวนการผสมสี่คลื่นในเส้นใยแก้วนำแสง กรณีข้อจำกัดจากการกระเจิงรามานและการสูญเสีย
TH2011	กาญจนา ปินตาคำ	ออฟฟิศซินโดรม : ภาวะเสี่ยง ระดับความรุนแรงของอาการนิ้วล็อกและกำลังกล้ามเนื้อมือในพนักงานออฟฟิศ
TH2012	นริศรา นาคเมธี	ระบบบริหารงานศูนย์ศึกษาพระพุทธศาสนาวันอาทิตย์ วัดทางหลวง
TH2014	ปรานอม ขาวเมฆ	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของไม้ดอกที่ปลูกในมหาวิทยาลัยรังสิต
TH2015	พรเมษา ทาทิตย์	การศึกษาความสามารถในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *S. aureus* ของแผ่น Bacterial cellulose ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์จากเปลือกมังคุดเพื่อพัฒนาเป็นแผ่นปิดแผล
TH2016	พิณัฏฐิณีย์ จิตคำ	การพัฒนารูปแบบการจัดการขยะหลังภาวะน้ำท่วมแบบมีส่วนร่วมของชุมชน กรณีศึกษาพื้นที่ตามแนวลำน้ำกกในจังหวัดเชียงราย
TH2017	นิภาพร ปัญญา	การพัฒนาเว็บแชทบอทสำหรับการจัดการกิจกรรมนักศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
TH2018	ธิดาวรร คล้ายศรี	การพัฒนาระบบคลังคำถาม-ตอบที่พบบ่อย กรณีศึกษา เว็บแอปพลิเคชันโรงเรียนสอนภาษาไทยสำหรับชาวต่างชาติ

หมายเหตุ บทความวิจัยภาคโปสเตอร์เผยแพร่บนเว็บไซต์ https://sci.rmutp.ac.th/nconsci9/
ตั้งแต่วันที่ 21 สิงหาคม 2569 เป็นต้นไป

สารบัญ

หน้า

สารจากคณบดี ก

คณะกรรมการ ข

กำหนดการ ฉ

ตารางการนำเสนอผลงาน ช

สารบัญ ฑ

บทความวิจัย (ชื่อเรื่อง/ชื่อผู้วิจัย)

1. การตรวจวัดโดปามีนอย่างไวโดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ดัดแปรด้วยฟิล์มทองนาโนคิวบิก 1
   ธนกฤต สุขสกาวผ่อง, ปุณณพัฒน์ ธนภัทร์พิศาล, รัตติกาล มิสาธรรม, พฤกษาพันธุ์ สวาทสุข และ ธานินทร์ แตงกวารัมย์
2. ภาวะกระดูกสันหลังคดในนักเรียนโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) 14
   เจสิกา เที่ยงทางธรรม, ภทรพรรษ ลยางกูร และ ธนกัลยาณี นาคหวัง
3. การเข้าถึงและความต้องการบริการการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุในเขตเทศบาลตำบลนางแล อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย 24
   ชดาพร วินัยผาสุข, ภัทรวดี เสริมทรัพย์, สายฝน สุภาศรี, ฐิติมา ทาสุวรรณอินทร์, อนัญญา อยู่สวัสดิ์, รวิพรรดิ พูลลาภ และ วรัญญา มณีรัตน์
4. พฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุในเขตเทศบาลตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย 36
   นาลิดา รักษาพงไพร, พิยดา พันธ์ศรี, อนัญญา อยู่สวัสดิ์, รวิพรรดิ พูลลาภ, สายฝน สุภาศรี และ ฐิติมา ทาสุวรรณอินทร์
5. ความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมการนอนหลับ คุณภาพการนอนหลับ และสุขภาวะทางจิตใจของนักเรียนระดับมัธยมศึกษา 45
   วิชชุกร ศิริคะรินทร์ และ Christopher Terry
6. การวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนมาใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยและการพยากรณ์แนวโน้มการยอมรับในอนาคต 55
   พงศธร พันธ์ศรี, เกียรติศักดิ์ เสือใหล, สยาม ลางคุลเสน และ ชาญวิทย์ ปราบพยัคฆ์
7. กระจกอัจฉริยะเพื่อการตรวจสอบสุขภาพ 69
   ปาริฉัตร เปลื้องศรีรัมย์, นิติภูมิ ส้มจีน และ ธงรบ อักษร
8. ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยงโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย 80
   สุภาภรณ์ พันธ์ศรีสุวรรณ, เกวลิน แซ่ง่าง, สุทธินันท์ พรมงาม, พัชรินทร์ วินยางค์กูล และ อนุสรา บุญจิตร

สารบัญ (ต่อ)

บทความวิจัย (ชื่อเรื่อง/ชื่อผู้วิจัย) **หน้า**

9. **การศึกษานำร่องผลของโปรแกรมการออกกำลังกายแบบประสาทและกล้ามเนื้อเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ต่อเสถียรภาพการทรงท่า และมุมคอขณะยืนในผู้ป่วยพาร์กินสัน** 90
ภาพตะวัน หว่างจันทร์, จตุพร สุทธิวงษ์, ธีรยา อุปชิต และ สุวีณา ค้าเจริญ

10. **ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความเครียด ภาวะซึมเศร้า และคุณภาพชีวิตของผู้ดูแลผู้ป่วยติดบ้านและผู้ป่วยติดเตียง ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย** 101
ริญดา พิจารย์, ฐิตาภรณ์ เสาร์เทพ, ณัฐนิชา เชิงดอย, อนุสรา บุญจิตร, พัชรินทร์ วินยางค์กูล และ วิมลมณี เมฆขำ

11. **การเปรียบเทียบผลทันทีและผลระยะสั้นระหว่างคิเนซิโอเทปและปลอกรัดเข่าต่ออาการปวด การเดิน การเคลื่อนไหว การทรงตัว และอาการในผู้สูงอายุที่มีภาวะเข่าเสื่อม: การศึกษานำร่อง** 110
ธนัท ติกปัญญาวุฒิ, สุนีย์ บวรสุนทรชัย และ ภาวิณี หฤทัยชื่น

12. **การเปรียบเทียบการสกัดกิ่งหม่อน (*Morus alba* L.) ด้วยน้ำและเอทานอลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ** 119
ตะวัน ภูมิพิชัย, สุพาพร จันคีรี และ อนงค์ ศรีโสภา

13. **การศึกษาการต้านออกซิเดชันของเปลือกรากหม่อน (*Morus alba* L.) ร่วมกับการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกด้วยเทคนิค HPLC** 128
สุพาพร จันคีรี, ตะวัน ภูมิพิชัย และ อนงค์ ศรีโสภา

14. **การพัฒนาแอปพลิเคชันระบบชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยง กรณีศึกษาโรงพยาบาลแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย** 137
ชนิษฐา คำมา, พรพรรณ์ ศิริเจริญ, อารีย์ จอแย, ปนัชดา บุญปัญญาโรจน์ และ สัณห์พิชญ์ พิมูลชาติ

15. **การพัฒนาระบบจัดเก็บข้อมูลอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ : กรณีศึกษามหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ** 151
ฑิตยา คูณศรี, ภูริวัฒน์ สมเสาร์, สรวิชญ์ ปิ่นสุวรรณ, ปวริศ คงดี, สุธีรา พึ่งสวัสดิ์, ภัททิตา เลิศจริยพร และ นฤดี บูรณะจรรยากุล

16. **การศึกษาภาวะหมดไฟในการทำงานของพนักงานประจำในสถานประกอบกิจการแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย ประเทศไทย** 162
ธนัชชัย จันทร์แก้ว, ธนกร แซ่ย่าง, กาญจนา ปินตาคำ และ ธนพนธ์ คำเที่ยง

17. **การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันระบบจองเช่าห้องพักของหอพัก** 173
รติพร สุดเสนาะ และ ธีรยุท กรมทอง

18. **การพัฒนาโปรแกรมการส่งเสริมความตระหนักรู้และป้องกันภาวะสมองเสื่อมต่อความรู้เกี่ยวกับภาวะสมองเสื่อม ทัศนคติต่อภาวะสมองเสื่อม พฤติกรรมการป้องกันภาวะสมองเสื่อม และความสามารถด้านการรู้คิดของผู้สูงอายุโรคเรื้อรังที่มีภาวะการรู้คิดบกพร่องเล็กน้อยในชุมชน** 185
นัฐภรณ์ ปัททุม และ สุทธินันท์ สุบินดี

สารบัญ (ต่อ)

บทความวิจัย (ชื่อเรื่อง/ชื่อผู้วิจัย) **หน้า**

19. **เว็บแอปพลิเคชันเกมจำลองลงทุนเทรดหุ้น** 198
นัยน์ภัค หงส์หา, อภิรมย์ พุ่มพวง, นฤดี บูรณะจรรยากุล และ สุธีรา พึ่งสวัสดิ์

20. **ความชุกของความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อในกลุ่มอาชีพช่างทำผม ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย** 211
อภิญญา ปาละอิน, อารียา ศิริวราพงศ์, วารุณี พันธ์วงศ์ และ มณีรัตน์ สวนม่วง

21. **ระดับความเครียดจากการทำงานของผู้ค้าขายในตลาดสด ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย** 222
อริสรา ถาวร, ชฎาพร น่าบรรดิษฐ์, กาญจนา ปินตาคำ และ พัทธนิษย์ คำธาร

22. **ความรู้ ทัศนคติ และความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันตนเองจากการใช้สารกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรในตำบลแม่ยาว อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย : การศึกษาเชิงวิเคราะห์ภาคตัดขวาง** 232
ธีรภัทร สุขตัว, ณิชา วิตรเสถียร, ภาสกร วงศ์เปียง, นงนุช ไหวหล้า, พัชรินทร์ วินยางค์กูล, อนุสรา บุญจิตร และ นุชกานต์ สว่าง

23. **การเพิ่มประสิทธิภาพระบบจัดการควันด้วยเทคโนโลยีสนามไฟฟ้าโดยใช้ระบบที่บูรณาการการหมุนเวียนอากาศ (Recirculation) ร่วมกับการควบคุมแบบ PID สำหรับร้านอาหารปิ้งย่างขนาดเล็ก** 241
สุทธิพงษ์ ชุ่มขุนทด, อนันตกุล อินทรผดุง และ กรินทร์ กาญทนานนท์

24. **การพัฒนาสื่อการเรียนรู้เรื่อง 6 โรคที่พบบ่อยในฤดูฝน สำหรับผู้รับบริการโรงพยาบาลพระแสง** 258
กิตติธัช ชัยยะ และ สุภาภรณ์ จันปาน

25. **การเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีสกัดดีเอ็นเอจากไดอะตอมบนสิ่งทอเพื่อประยุกต์ใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์** 267
รัฐญา แก้วเนตร, เขมิกา ลมไธสง และ นิศารัตน์ ตั้งไพโรจน์วงศ์

26. **การใช้เซ็นเซอร์ IoT ในการตรวจจับและเฝ้าระวังการใช้บุหรี่ไฟฟ้าในพื้นที่ปิด** 276
จิรนันท์ คงปันนา, จักรภัทร ปิ่นทอง และ ธงรบ อักษร

27. **การพัฒนากาวลามิเนตด้วยซิลิกาจากเถ้าแกลบสำหรับกักเก็บความร้อนบนฉลากบรรจุภัณฑ์** 284
รัตนาภรณ์ ทิพเวช, พิชิต ขจรเดชะ และ นิทัศน์ ทิพยโสตนัยนา

28. **การพัฒนาระบบวิเคราะห์กลูโคสเชิงแสงแบบไร้เอนไซม์ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับอนุภาคทองนาโนเคลือบด้วยเซอร์โคเนียมออกไซด์** 294
ปุณณพัฒน์ ธนภัทร์พิศาล, ธนกฤต สุขสกาวผ่อง, จุฬาลักษณ์ ขาวฟอง, พฤกษาพันธุ์ สวาทสุข และ ธานินทร์ แตงกวารัมย์

29. **การพัฒนาสารเคลือบกระดาษโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์เพื่อชะลอการซึมผ่านของน้ำและน้ำมัน** 308
สิรินุช แคบำรุง, ธนธร ทองสัมฤทธิ์ และ สุชปา เนตรประดิษฐ์

สารบัญ (ต่อ)

บทความวิจัย (ชื่อเรื่อง/ชื่อผู้วิจัย) **หน้า**

30. **การพัฒนาและการประเมินผลเบื้องต้นของไฮโดรเจลที่มีส่วนผสมของคอมบูชาและมัทฉะสำหรับการดูแลแผลถลอก: การคัดกรองร่วมกัน สมบัติทางเคมีกายภาพ การต้านจุลชีพ และการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมระยะเริ่มต้น** 316
ณภัทธ เสนีย์วงศ์ ณ อยุธยา, ทักษ์ดนัย มีนางัว, ดวงฤทัย นิคมรัฐ, ภัทริกา สูงสมบัติ, กฤษดา เสือเอี่ยม, นิภาพร ปัญญา และ ภภัสสร สิงหธรรม

31. **การพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำชื่อสัตว์เลี้ยงด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์** 328
ตะวัน ดีมีศรี, ทิพย์ธัญญา อุทัยประดิษฐ์ และ วีรวรรณ จันทนะทรัพย์

32. **ระบบตรวจจับการแต่งกายของนักศึกษาด้วยการเรียนรู้เชิงลึก** 342
กิตติพล เพลิ้งจันทร์, ภูชนะ สุวิภาส และ วีรวรรณ จันทนะทรัพย์

33. **ดิจิทัลวอลเล็ตกับการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีกราฟ** 355
ณิศรา สุทธิสังข์, วรีวรรณ์ วิเศษสิงห์ และ ยุพาพิน อติกานต์กุล

34. **การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบย่านางและการพัฒนาตำรับแผ่นแปะเจลาติน** 364
อรจิรา อารักษ์สกุลวงศ์, บุณยรัศมิ์ สุขเขียว และ รัชกฤช ปัทมโสภาสกุล

35. **ระบบเฝ้าระวังทรัพย์สินในร้านขายของชำด้วยการเรียนรู้เชิงลึก** 372
ชยธร ธรรมกิจไพโรจน์, สุธี กลั่นธูป, ธิญาดา ไวยศร และ วีรวรรณ จันทนะทรัพย์

36. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์และการวิเคราะห์ต้นทุนของโยเกิร์ตจากกะทิและกะทิธัญพืชเพื่อการพัฒนาเชิงพาณิชย์** 384
พรรณวิภา แพงศรี และ ประภาวรรณ แพงศรี

37. **ศักยภาพขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการพัฒนา คุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ กรณีศึกษาพื้นที่ภาคเหนือตอนล่าง จังหวัดพิษณุโลก** 394
อัมราภรณ์ ภู่ระย้า, ศิริกนก กลั่นขจร, สมศักดิ์ โทจำปา, รุ่งทิวา บุญประคม และ กิตติศักดิ์ คัมภีระ

38. **การประเมินเชิงพื้นที่ของคุณภาพน้ำประปาภายในอาคาร: กรณีศึกษาการปนเปื้อนของเหล็กและแมงกานีส คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร** 404
กิติยศ ตั้งสัจจวงศ์, วรนุช ดีละมัน, คณาวุฒิ อินทร์แก้ว และ ชวนี สุภิรัตน์

39. **ความทนทานของโฟตอนพัวพันจากกระบวนการผสมสี่คลื่นในเส้นใยแก้วนำแสง กรณีข้อจำกัดจากการกระเจิงรามานและการสูญเสีย** 410
ชัชวาล ศรีภักดี และ วราวุฒิ พุทธให้

40. **ออฟฟิศซินโดรม : ภาวะเสี่ยง ระดับความรุนแรงของอาการนิ้วล็อกและกำลังกล้ามเนื้อมือในพนักงานออฟฟิศ** 422
กาญจนา ปินตาคำ, ธนพนธ์ คำเที่ยง, วารุณี พันธ์วงศ์ และ สัณพิชญ์ พิมูลชาติ

41. **ระบบบริหารงานศูนย์ศึกษาพระพุทธศาสนาวันอาทิตย์ วัดทางหลวง** 431
นริศรา นาคเมธี, สุพรรษา วิชาชัย, อรจิรา แสงปรีชา และ ปวริศร์ เจริญพัฒนศิริ

สารบัญ (ต่อ)

บทความวิจัย (ชื่อเรื่อง/ชื่อผู้วิจัย) **หน้า**

42. การประเมินความผ่อนคลายของลวดชุบแข็งอบคืนตัวสำหรับคอนกรีตอัดแรง **441**
บุณยาพร ศรีภูธร, ณัฐพงศ์ นิลจรัสวณิช, ศิวะ สิทธิพงศ์, ณัฐพล พรนำพา, สุรเดช เตชวาทกุล, บุญญฤทธิ์ อุ่นจันทร์ และ กรรณิการ์ จิตตารัตนถาวร

43. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของไม้ดอกที่ปลูกในมหาวิทยาลัยรังสิต **452**
ปรานอม ขาวเมฆ และ หฤทัย ฐานนันท์

44. การศึกษาความสามารถในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *S. aureus* ของแผ่น Bacterial Cellulose ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์จากเปลือกมังคุดเพื่อพัฒนาเป็นแผ่นปิดแผล **463**
พรเมษา ทาทิตย์ และ นัจภัค ใจเพียร

45. การพัฒนารูปแบบการจัดการขยะหลังภาวะน้ำท่วมแบบมีส่วนร่วมของชุมชน กรณีศึกษาพื้นที่ตามแนวลำน้ำกกในจังหวัดเชียงราย **471**
พิณัฏฐิณีย์ จิตคำ, พัชรินทร์ วินยางค์กูล, เนตรา สมกำลัง และ นุชกานต์ สว่าง

46. การพัฒนาเว็บแชทบอทสำหรับการจัดการกิจกรรมนักศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร **478**
อติเมธ นาทอง, พชระ ป้อมป้องภัย, ก้องภพ นิลทับโพธิ์, นิภาพร ปัญญา, ภภัสสร สิงหธรรม, ธิดาวรร คล้ายศรี, อุดมเดชา พลเยี่ยม, ธนาพร บุญชู, อัญชนา ขัตติยะวงศ์ และ ดวงฤทัย นิคมรัฐ

47. การพัฒนาระบบคลังคำถาม-ตอบที่พบบ่อย กรณีศึกษา เว็บแอปพลิเคชันโรงเรียนสอนภาษาไทยสำหรับชาวต่างชาติ **493**
กฤษ์ชัย มิตรชู, จิระฏฐ์กร เบญจปัญญาวรกุล, ลัลลดา กาญจนเสมา, นิภาพร ปัญญา, ภภัสสร สิงหธรรม และ ธิดาวรร คล้ายศรี

การตรวจวัดโดปามีนอย่างไวโดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ดัดแปรด้วยฟิล์มทองนาโนคิวบิก
Gold Nanocubic Film-Modified Carbon Paste Electrode for Sensitive Dopamine Detection

ธนกฤต สุขสกาวผ่อง[1] ปุณณพัฒน์ ธนภัทร์พิศาล[1] รัตติกาล มิสาธรรม[2] พฤกษาพันธุ์ สวาทสุข[1] และ ธานินทร์ แตงกวารัมย์[2*]

[1]โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร (ฝ่ายมัธยม)
[2]สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
*E-mail: tanin@mju.ac.th

บทคัดย่อ

โดปามีนเป็นสารสื่อประสาทที่มีบทบาทสำคัญต่อการทำงานของระบบประสาทส่วนกลาง โดยความผิดปกติของระดับโดปามีนมีความเกี่ยวข้องกับโรคทางระบบประสาทหลายชนิด งานวิจัยนี้มุ่งพัฒนาเซนเซอร์เคมีไฟฟ้าสำหรับการตรวจวัดโดปามีนด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรีโดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ดัดแปรด้วยฟิล์มทองนาโนคิวบิก ผลการศึกษาพบว่าขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ตรึงด้วยฟิล์มทองนาโนคิวบิกสามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของโดปามีนที่ศักย์ไฟฟ้า +0.23 โวลต์ และให้กระแสไฟฟ้าตอบสนองเป็น 513% ของขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์เปลือย การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมขั้วไฟฟ้าพบว่าใช้ศักย์ไฟฟ้าในการเกิดฟิล์มทองนาโนคิวบิกที่ -0.75 โวลต์ เป็นเวลา 100 วินาที เซนเซอร์นี้ได้รับผลกระทบจากสารรบกวนในระดับต่ำจากกลูโคส ซูโครส และกรดแอสคอร์บิก นอกจากนี้ เซนเซอร์ยังแสดงการตอบสนองเชิงเส้นต่อโดปามีนใน 2 ช่วงความเข้มข้น ได้แก่ 0.01 – 1.0 มิลลิโมลาร์ ($y = 110.13x - 0.8385$, $R^2 = 0.9947$) และ 1.0 – 10.0 มิลลิโมลาร์ ($y = 45.67x + 10.08$, $R^2 = 0.9856$) และมีขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 4.7 ไมโครโมลาร์ เมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์โดปามีนในตัวอย่างเลือดสังเคราะห์ พบว่ามีค่าร้อยละการกลับคืนในช่วง 96.10 – 106.00%

คำสำคัญ: เซนเซอร์โดปามีน ฟิล์มทองนาโนคิวบิก ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ เซนเซอร์เชิงเคมีไฟฟ้า

Abstract

Dopamine is an important neurotransmitter involved in the regulation of the central nervous system, and abnormal dopamine levels are associated with various neurological disorders. This study aimed to develop an electrochemical sensor for dopamine determination using cyclic voltammetry with a gold nanocubic film-modified carbon paste electrode (CPE/AuNCF). The CPE/AuNCF enhanced the electrochemical oxidation of dopamine at +0.23 V and produced an oxidation current that was 513% compared to the bare carbon paste electrode. In addition, optimization studies indicated that an applied potential of -0.75 V and a deposition time of 100 s were the optimum conditions for fabricating the gold nanocubic film on the electrode surface. The developed sensor demonstrated high selectivity for dopamine and showed negligible interference from glucose, sucrose, and ascorbic acid. This sensor exhibited a linear response to dopamine over two concentration ranges of 0.01 – 1.0 mM ($y = 110.13x - 0.8385$, $R^2 = 0.9947$) and 1.0 – 10.0 mM ($y = 45.67x + 10.08$, $R^2 = 0.9856$) with a limit of detection of 4.7 μM. The applicability of the proposed sensor was evaluated using artificial blood samples, yielding recovery values ranging from 96.10 to 106.00%.

Keywords: Dopamine sensor, Gold Nanocubic Film, Carbon paste electrode, Electrochemical sensor

1. บทนำ

โดปามีน (Dopamine; DA) เป็นสารสื่อประสาทในกลุ่มแคทีโคลามีน (Catecholamine neurotransmitter) ที่มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการทำงานของระบบประสาทส่วนกลางและระบบประสาทส่วนปลาย โดยทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการส่งผ่านสัญญาณระหว่างเซลล์ประสาท ควบคุมกระบวนการทางสรีรวิทยาหลายด้าน เช่น การเคลื่อนไหว การเรียนรู้ ความจำ การรับรู้ แรงจูงใจ อารมณ์ และระบบรางวัล (Reward system) ของสมอง นอกจากนี้ยังมีบทบาทในการควบคุมการทำงานของระบบต่อมไร้ท่อ ระบบหัวใจและหลอดเลือด และระบบไตอีกด้วย [1] DA สังเคราะห์ขึ้นจากกรดอะมิโนไทโรซีนผ่านกระบวนการทางชีวเคมีภายในเซลล์ประสาท และพบมากในบริเวณ Substantia nigra, Ventral tegmental area (VTA) และ Hypothalamus ซึ่งเป็นศูนย์กลางสำคัญในการควบคุมพฤติกรรมและการทำงานของร่างกาย ความผิดปกติของระบบ DA มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับโรคทางระบบประสาทและจิตเวชหลายชนิด โดยการลดลงของ DA ในสมองเป็นสาเหตุสำคัญของโรคพาร์กินสัน ขณะที่ความผิดปกติของการส่งสัญญาณ DA ในเส้นทาง Mesolimbic และ Mesocortical มีความเกี่ยวข้องกับโรคจิตเภท โรคสมาธิสั้น และความผิดปกติทางอารมณ์หลายประเภท

ในทางคลินิก DA ได้รับความสนใจในฐานะตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ (biomarker) สำหรับการวินิจฉัยและติดตามการรักษาโรคทางระบบประสาท เนื่องจากระดับ DA ในของเหลวชีวภาพ เช่น เลือด พลาสมา ซีรัม และปัสสาวะ สามารถสะท้อนความผิดปกติของกระบวนการเมแทบอลิซึมและการส่งผ่านสัญญาณประสาทได้ [2] อย่างไรก็ตาม ความเข้มข้นของ DA ในตัวอย่างชีวภาพมักอยู่ในระดับต่ำมาก ส่งผลให้การตรวจวัดต้องอาศัยเทคนิคที่มีความไวสูงและมีขีดจำกัดการตรวจวัดต่ำมาก [3] ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคนิคสำหรับการตรวจวัด DA หลายวิธี ได้แก่ โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) แมสสเปกโตรเมทรี (MS) ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรสโกปี และเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า (Electrochemical techniques) [4] โดยเฉพาะเทคนิคทางเคมีไฟฟ้าที่ได้รับความนิยมเนื่องจากมีข้อดีด้านความไวสูง ความรวดเร็ว ใช้ตัวอย่างปริมาณน้อย ต้นทุนต่ำ [5] และสามารถพัฒนาเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดแบบพกพาสำหรับการตรวจวิเคราะห์ ณ จุดดูแลผู้ป่วย (Point-of-Care Testing; POCT) ได้ อีกทั้งการดัดแปรขั้วไฟฟ้าด้วยวัสดุนาโน เช่น อนุภาคนาโนทอง (Gold nanoparticles; AuNPs) กราฟีนไคโตซาน และโลหะออกไซด์ [6] ยังช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวและประสิทธิภาพการถ่ายโอนอิเล็กตรอน ทำให้สามารถตรวจวัด DA ได้ที่ระดับความเข้มข้นต่ำมาก จึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพสูงสำหรับการประยุกต์ใช้ในงานวิเคราะห์ทางชีวการแพทย์และการวินิจฉัยโรคในอนาคต [7]

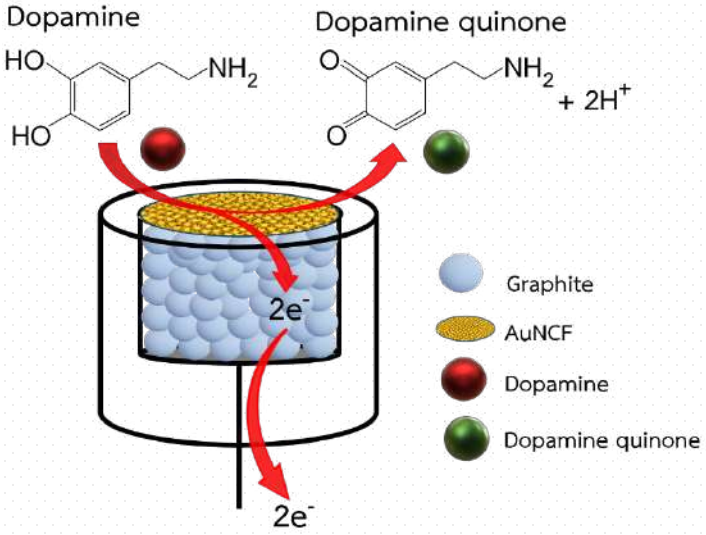
การสร้างฟิล์มทองนาโนคิวบิกด้วยวิธีเคมีไฟฟ้า คือการให้ศักย์ไฟฟ้าแก่ขั้วไฟฟ้าที่จุ่มในสารละลายทอง เพื่อทำให้เกิดโครงสร้างนาโนที่มีความสม่ำเสมอและยึดเกาะกับพื้นผิวขั้วไฟฟ้า เมื่อนำไปทดสอบจะช่วยลดความต้านทานการถ่ายโอนประจุ (Charge transfer resistance) และเพิ่มอัตราการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างสารวิเคราะห์กับพื้นผิวขั้วไฟฟ้า ทำให้ประสิทธิภาพของเซนเซอร์ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ทองมีค่าการนำไฟฟ้าสูง ความเสถียรทางเคมีที่ดี และมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (Biocompatibility) จึงเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดสารชีวโมเลกุล [8]

สำหรับการตรวจวัด DA ด้วยฟิล์มทองนาโนคิวบิกที่สะสมบนขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์สามารถส่งเสริมปฏิกิริยาออกซิเดชันของ DA ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้กระแสตอบสนองทางเคมีไฟฟ้าเพิ่มขึ้น พร้อมทั้งช่วยลดค่าศักย์ไฟฟ้าเกินตัว (Overpotential) หรือศักย์ออกซิเดชันที่ใช้ในการตรวจวัด ทำให้สามารถแยกสัญญาณของ DA ออกจากสารรบกวนที่พบร่วมในตัวอย่างชีวภาพ เช่น กรดแอสคอร์บิก ได้ดีขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาเซนเซอร์ตรวจวัด DA โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ที่ดัดแปรพื้นผิวด้วยฟิล์มทองนาโนคิวบิกซึ่งเตรียมด้วยวิธีการสะสมทางเคมีไฟฟ้าจากสารละลายทองคลอไรด์ ($HAuCl_4$) เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวเชิงเคมีไฟฟ้าและประสิทธิภาพการถ่ายโอนอิเล็กตรอน DA จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันไปเป็นโดปามีนควิโนน และไฮโดรเจนไอออน พร้อมถ่ายโอนอิเล็กตรอน 2 โมลแก่ขั้วไฟฟ้า กลไกการตรวจวัด DA แสดงดังรูปที่ 1 งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเซนเซอร์ที่มีความไวสูง มีความจำเพาะดี และสามารถตรวจวัด DA ได้ในระดับความเข้มข้นต่ำ อีกทั้งยังมีขั้นตอนการเตรียมที่ง่าย ต้นทุนต่ำ และสามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับอุปกรณ์ตรวจวัดแบบพกพาได้ในอนาคต ซึ่งอาจเป็นแนวทางสำคัญในการพัฒนาแพลตฟอร์มการตรวจวิเคราะห์สารสื่อประสาทสำหรับงานวินิจฉัยทางชีวการแพทย์ การเฝ้าติดตามโรคทางระบบประสาทและการตรวจวิเคราะห์ ณ จุดดูแลผู้ป่วย

2. วิธีการทดลอง

2.1 สารเคมี

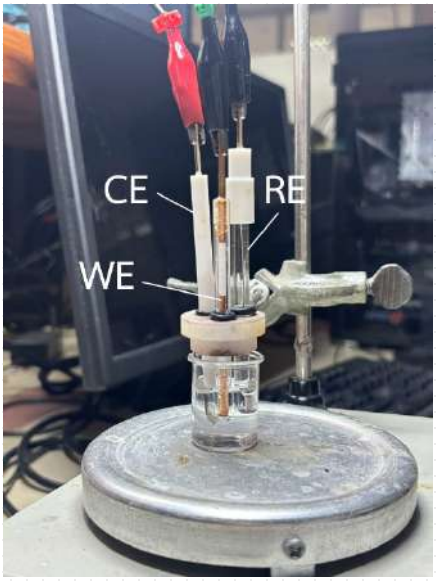
ทองคลอไรด์ (Gold(III) chloride trihydrate, $HAuCl_4$ $3H_2O$, 99.5%) โพแทสเซียมไนเตรต (Potassium nitrate, KNO_3, 99%) โดปามีน (Dopamine, $C_8H_{11}NO_2$, 100%) โพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride, KCl, 99.50%) โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride, NaCl, 99.0%) แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต (Magnesium sulphate heptahydrate, $MgSO_4$ $7H_2O$, 98.0%) จากบริษัทโวลเคม (Volchem, USA) และผงกราไฟต์ (Graphite powder, 99.0%) น้ำมันแร่ (Mineral oil, 99.0%) โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (Sodium hydrogen carbonate, $NaHCO_3$, 99.5%) ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Disodium hydrogen phosphate, 99%; Na_2HPO_4) โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Potassium dihydrogen phosphate, 99%; KH_2PO_4) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, 97%; NaOH) จากบริษัทซิกมา สหรัฐอเมริกา (Sigma, USA)



รูปที่ 1 กลไกการตรวจวัดโดปามีนโดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ดัดแปรด้วยฟิล์มทองนาโนคิวบิก (CPE/AuNCF)

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องควบคุมศักย์ไฟฟ้ารุ่น DY2013 (Digi-IVY, USA) สำหรับให้ศักย์ไฟฟ้าในการตรึงทอง เครื่อง CH1230A ใช้วัดเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี (CH Instruments, USA) เครื่องควบคุมศักย์ไฟฟ้า (Potentiostat) รุ่น Autolab PGSTAT302N ที่มีโมดูลสำหรับวิเคราะห์ความถี่ (FRA32) (Metrohm, The Netherlands) สำหรับวิเคราะห์เทคนิคอิมพิแดนซ์ทางเคมีไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้า 3 ขั้ว ประกอบด้วย ขั้วไฟฟ้าทำงาน (Working electrode, WE) ชนิดขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ (โฮมเมด, Thailand, ∅=3 mm) ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (Reference electrode, RE) ชนิดซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ (Ag/AgCl, 3 M KCl internal solution, CH instruments, USA) และขั้วไฟฟ้าช่วย (Counter electrode, CE) คือขั้วไฟฟ้าลวดแพลทินัม (0.5 mm x 1.0 cm, Mirong, China) ทุกสารละลายเตรียมโดยใช้น้ำที่ผลิตจากเครื่องผลิตน้ำอัลตราเพียว รุ่น Milli-Q Direct-Q 16 (18.2 MΩ-cm, Sigma, USA) เซลล์เคมีไฟฟ้าที่ใช้ขนาด 3.00 มิลลิลิตร ใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.05 โมลาร์ พีเอช 7.4 เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ช่วยทุกการทดลอง การจัดตั้งเครื่องมือการทดลองแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งประกอบไปด้วยขั้วไฟฟ้าทำงาน ขั้วไฟฟ้าช่วย ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง



รูปที่ 2 การจัดเซลล์เคมีไฟฟ้าสำหรับการทดลอง ประกอบไปด้วยขั้วไฟฟ้าทำงาน (WE) ขั้วไฟฟ้าช่วย (CE) และขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (RE)

2.3 การเตรียมขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ดัดแปรด้วยฟิล์มทองนาโนคิวบิก การศึกษาตัวแปรและคุณลักษณะของเซนเซอร์

ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์เปลือย (Bare CPE) เตรียมโดยชั่งกราไฟต์มา 0.5 กรัม หยดน้ำมันแร่ประมาณ 11–14 หยด ผสมให้เข้ากันและอัดลงในโมลด์ของขั้วคาร์บอนเพสต์ หลังจากนั้นขัดให้ผิวเรียบเนียนด้วยกระดาษซับมัน จากนั้นนำคาร์บอนเพสต์ไปให้ศักย์ไฟฟ้าในสารละลายทองคลอไรด์ 1.0% ในสารละลายโพแทสเซียมไนเตรต 0.1 โมลาร์ ใช้ศักย์ไฟฟ้าที่ -0.50 โวลต์ เป็นเวลา 200 วินาที ซึ่งเป็นค่าสภาวะเบื้องต้นก่อนจะปรับค่าให้เหมาะสม จะได้ขั้วไฟฟ้าฟิล์มทองนาโนคิวบิก CPE/AuNCF ขั้วไฟฟ้านี้ใช้ในการทดสอบเบื้องต้นใน DA 1.0 มิลลิโมลาร์

การหาศักย์ไฟฟ้าในการตรึงฟิล์มทองนาโนคิวบิก โดยการตรึงขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ในสารละลายทองคลอไรด์ให้เกิดเป็นฟิล์มทองนาโนคิวบิกบนผิวหน้าขั้วไฟฟ้า (CPE/AuNCF) ได้ดำเนินการโดยปรับค่าศักย์ไฟฟ้าในการเกิดฟิล์มเป็นค่าศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่เวลาเท่ากันคือ 200 วินาที และนำขั้วไฟฟ้าที่เตรียมได้ไปทดสอบการตอบสนองต่อสารละลาย DA ความเข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.4 ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี สำหรับการทดสอบเวลาที่ใช้ตรึงทองนาโนคิวบิก จะใช้ศักย์ไฟฟ้าที่เลือกได้จากตอนต้นเพียงศักย์ไฟฟ้าเดียว แต่เปลี่ยนเวลาที่ใช้ตรึงทองนาโนคิวบิก หลาย ๆ ค่า

การทดสอบสารรบกวน ทดสอบขั้วไฟฟ้า CPE/AuNCF ด้วยสารละลาย DA 1.0 มิลลิโมลาร์ เพียงชนิดเดียว หลังจากนั้นใช้การเติมกลูโคสให้ได้ความเข้มข้น 5.0 มิลลิโมลาร์ลงในสารละลาย DA 1.0 มิลลิโมลาร์ คำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่เกิดจากสารรบกวนเมื่ออยู่ใน DA เทียบกับ DA เพียงชนิดเดียว สำหรับสารละลายซูโครสใช้ความเข้มข้น 5.0 มิลลิโมลาร์ กรดแอสคอร์บิกใช้ความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ วิธีการทดสอบและการคำนวณใช้วิธีเดียวกันกับกลูโคส

การทดสอบการทำซ้ำ (Repeatability) โดยใช้ขั้วไฟฟ้า CPE/AuNCF จำนวน 1 ขั้ว และนำไปตรวจวัดสารละลาย DA ความเข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์ ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี จำนวน 3 ซ้ำ คำนวณหาค่าร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative standard deviation) ส่วนการทดสอบการผลิตซ้ำ (Reproducibility) ใช้ขั้วไฟฟ้า CPE/AuNCF จำนวน 3 ขั้ว ทดสอบเพียงขั้วละ 1 ครั้ง ในสารละลาย DA ความเข้มข้น 5.0 มิลลิโมลาร์ และหาค่าร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์

การศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง (Linearity) ของขั้วไฟฟ้า CPE/AuNCF ใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ที่ pH 7.4 เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ช่วย ทดสอบโดยใช้ความเข้มข้นของ DA หลาย ๆ ความเข้มข้น วิเคราะห์

ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ทำการวัดกับกระแสไฟฟ้าของพีกออกซิเดชัน หลังจากนั้นพล็อตกราฟของกระแสไฟฟ้าเทียบกับความเข้มข้นของ DA ที่ใช้

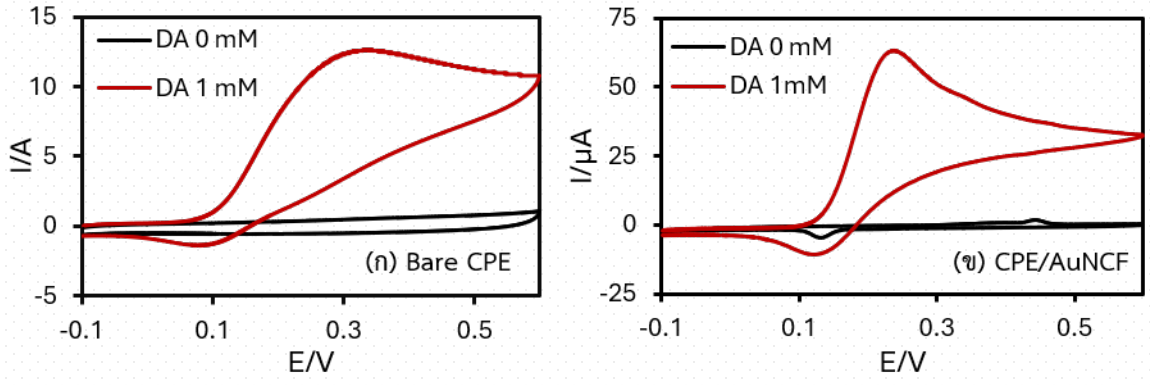
2.4 การทดสอบกับตัวอย่างเลือดสังเคราะห์

ในการทดสอบกับตัวอย่างเลือด ทำการเตรียมตัวอย่างเลือดสังเคราะห์โดยปรับปรุงจากวิธีของ Basiaga et al. [9] โดยชั่งโซเดียมคลอไรด์ 0.68 กรัม โพแทสเซียมคลอไรด์ 0.40 กรัม แมกนีเซียมซัลเฟต 0.010 กรัม โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 0.22 กรัม ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.0126 กรัม และโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.0026 กรัม ละลายด้วยน้ำอัลตราเพียว และปรับปริมาตรเป็น 100.0 มิลลิลิตร ปิเปตต์ตัวอย่างเลือดสังเคราะห์มา 3.00 มิลลิลิตร ลงในเซลล์เคมีไฟฟ้า ทำการวัดด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี หลังจากนั้นเติมสารละลายมาตรฐาน DA และวัดซ้ำโดยเพิ่มความเข้มข้นของ DA ตามลำดับ แล้ววัดความสูงของกระแสพีก (Peak current) และนำมาพล็อตเทียบกับความเข้มข้นของ DA ที่เติมลงในเซลล์ อ่านค่าจากการลากเส้นต่อจากจุดตัดแกน y ไปยังแกน x (Extrapolation) จะได้ความเข้มข้นของ DA ในตัวอย่างเลือดสังเคราะห์

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 การทดสอบการเกิดปฏิกิริยาของโดปามีนด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี

เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโดปามีน (DA) ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟตความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ที่ pH 7.4 ได้ทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี (Cyclic Voltammetry; CV) โดยใช้ DA ความเข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์ ดังแสดงในไซคลิกโวลแทมโมแกรมในรูปที่ 3 จากรูปที่ 3 ก) พบว่าขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์เปลือย (Bare CPE) ไม่แสดงสัญญาณการเกิดปฏิกิริยาใดในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (รูปที่ 3 ก เส้นสีดำ) เมื่อเติมสารละลาย DA ลงไปพบว่าเกิดพีกออกซิเดชันของ DA (รูปที่ 3 ก เส้นสีแดง) ที่ศักย์ไฟฟ้า +0.33 โวลต์ ได้กระแสไฟฟ้า 12.44 ไมโครแอมแปร์ ในกรณีของขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ดัดแปรด้วยฟิล์มทองนาโนคิวบิก (CPE/AuNCF) เมื่อทดสอบในสารละลายแบลงค์พบการเกิดพีกออกซิเดชันของฟิล์มทองนาโนคิวบิกที่ +0.46 โวลต์ (รูปที่ 3 ข เส้นสีดำ) เมื่อเติม DA ลงไปเป็น 1.0 มิลลิโมลาร์ พบพีกออกซิเดชันที่ +0.23 โวลต์ (รูปที่ 3 ข เส้นสีแดง) วัดความสูงได้เท่ากับ 63.81 ไมโครแอมแปร์ เมื่อคิดการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้า CPE/AuNCF เทียบกับขั้วไฟฟ้า Bare CPE ในการทดสอบกับ DA 1.0 มิลลิโมลาร์ พบว่าให้กระแสไฟฟ้าเป็น 513% ของ Bare CPE นอกจากนี้ศักย์ไฟฟ้าของพีกยังเคลื่อนไปใกล้ศูนย์มากกว่าเดิมถึง 0.10 โวลต์ แสดงให้เห็นว่าฟิล์มทองนาโนคิวบิก (AuNCF) สามารถส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาได้ โดยมีบทบาทในการเพิ่มการดูดซับโมเลกุลของ DA บนพื้นผิวและเร่งให้เกิดการถ่ายโอนอิเล็กตรอน

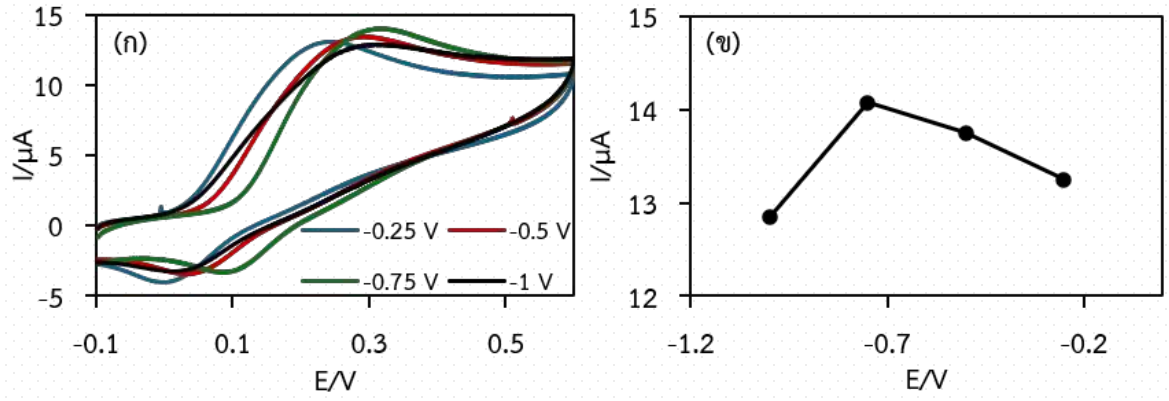


รูปที่ 3 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ (ก) ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์เปลือย (ข) ขั้วไฟฟ้า CPE/AuNCF ทดสอบในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต ความเข้มข้น 0.050 โมลาร์ (เส้นสีดำ) และในสารละลายโดปามีน 1.0 มิลลิโมลาร์ (เส้นสีแดง) ที่อัตราการสแกน 50 มิลลิโวลต์ต่อวินาที ขั้วไฟฟ้า CPE/AuNCF ตรึงโดยใช้ศักย์ไฟฟ้า -0.50 โวลต์ ที่เวลา 200 วินาที เป็นค่าสภาวะเบื้องต้นก่อนจะปรับค่าให้เหมาะสม

3.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัด

3.2.1 การหาศักย์ไฟฟ้าในการตรึงฟิล์มทองนาโนคิวบิก

การหาค่าศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการทำให้สารละลายทองคลอไรด์เกิดเป็นฟิล์มทองนาโนคิวบิกบนผิวหน้าขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ (CPE/AuNCF) ได้ดำเนินการโดยปรับค่าศักย์ไฟฟ้าในการเกิดฟิล์ม และนำขั้วไฟฟ้าที่เตรียมได้ไปทดสอบการตอบสนองต่อสารละลาย DA ความเข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 7.4 ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี (Cyclic Voltammetry; CV) ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4 จากรูปที่ 4 (ก) พบการเกิดพีกออกซิเดชันของ DA ที่ศักย์ไฟฟ้า +0.22 ถึง +0.30 โวลต์ โดยนำค่ากระแสสูงสุดที่วัดได้มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์กับศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในการเกิดฟิล์มทองนาโนคิวบิก ได้กราฟดังรูปที่ 4 (ข) ผลการทดลองพบว่า ที่ศักย์ไฟฟ้า –0.25 โวลต์ ให้ค่ากระแสเพียง 13.15 ไมโครแอมแปร์ และเมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้าเป็น –0.50 และ –0.75 โวลต์ ค่ากระแสเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนมีค่าสูงสุดที่ –0.75 โวลต์ ได้กระแสไฟฟ้า 14.20 ไมโครแอมแปร์ เนื่องจากศักย์ไฟฟ้าที่มีค่าลบมากขึ้นช่วยส่งเสริมการรีดักชันของไอออนทอง (Au^{3+}) ให้เกิดการสะสมของทองบนพื้นผิวขั้วไฟฟ้าได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณฟิล์มทองนาโนคิวบิกและพื้นที่ผิวเชิงเคมีไฟฟ้า (Electroactive surface area) เพิ่มขึ้น จึงช่วยเพิ่มจำนวนตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาและส่งเสริมการถ่ายโอนอิเล็กตรอนของ DA ส่งผลให้ค่ากระแสตอบสนองเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้าเป็น –1.00 โวลต์ พบว่าค่ากระแสลดลงเป็น 12.76 ไมโครแอมแปร์ ซึ่งอาจเกิดจากการสะสมทองอย่างรวดเร็วเกินไปจนเกิดการรวมตัวของอนุภาคทอง (Aggregation) และการเกิดฟิล์มที่มีความหนามากเกินไป ส่งผลให้พื้นที่ผิวที่มีประสิทธิภาพลดลง นอกจากนี้อาจเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำร่วมและการเกิดก๊าซไฮโดรเจนบนผิวขั้วไฟฟ้า ทำให้โครงสร้างของฟิล์มไม่สม่ำเสมอและลดประสิทธิภาพการถ่ายโอนอิเล็กตรอน ซึ่งการตรึงทองด้วยวิธีนี้สอดคล้องกับวิธีของ Zaki et. al. ที่ใช้ศักย์ไฟฟ้าในการตรึงที่ -0.70 โวลต์ มีฟิล์มทองนาโนแบบคิวบิก (Cubic crystal structure) และมีขนาดผลึก (crystallite size) จากกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราดประมาณ 90 นาโนเมตร [10] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกศักย์ไฟฟ้า –0.75 โวลต์ เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตรึงฟิล์มทองนาโนคิวบิกเนื่องจากให้ค่ากระแสตอบสนองสูงที่สุดโดยยังไม่เกิดผลเสียจากการสะสมที่มากเกินไปของทองบนพื้นผิวขั้วไฟฟ้า



รูปที่ 4 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ (ก) ขั้วไฟฟ้า CPE/AuNCF ที่ตรึงด้วยศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ โดยใช้เวลาการตรึง 100 วินาที (ข) กราฟระหว่างศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ตรึงฟิล์มทองนาโนคิวบิกกับความสูงของกระแสไฟฟ้าที่ได้ ทดสอบในสารละลายโดปามีน 1.0 มิลลิโมลาร์ ที่อัตราการสแกน 50 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

3.2.2 การหาเวลาที่ใช้ในการตรึงฟิล์มทองนาโนคิวบิก

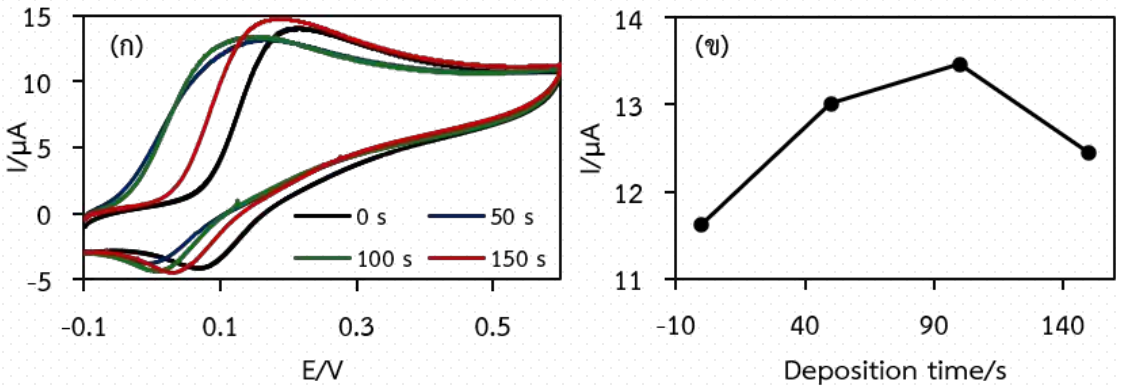
การหาเวลาที่เหมาะสมสำหรับการตรึงฟิล์มทองนาโนคิวบิก (Electrodeposition time) ได้ดำเนินการโดยตรึงสารละลายทองคลอไรด์บนผิวหน้าขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์เพื่อเตรียมเป็นขั้วไฟฟ้า CPE/AuNCF จากนั้นนำขั้วไฟฟ้าที่เตรียมได้ไปทดสอบการตอบสนองต่อสารละลาย DA ความเข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์ ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.4 โดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5 จากรูปที่ 5 (ก) พบการเกิดพีกออกซิเดชันของ DA ที่ศักย์ไฟฟ้า +0.09 ถึง +0.22 โวลต์ โดยนำค่ากระแสไฟฟ้าของพีกที่วัดได้มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์กับเวลาที่ใช้ในการตรึงฟิล์มทองนาโนคิวบิก ได้กราฟดังรูปที่ 5 (ข) ผลการทดลองพบว่า เมื่อไม่มีการตรึงฟิล์มทองนาโนคิวบิก (0 วินาที) ขั้วไฟฟ้า CPE/AuNCF

ให้ค่ากระแสเพียง 11.62 ไมโครแอมแปร์ เนื่องจากพื้นผิวของขั้วไฟฟ้ายังมีพื้นที่เชิงเคมีไฟฟ้าและตำแหน่งเกิดปฏิกิริยาจำกัด เมื่อเพิ่มเวลาการตรึงฟิล์มเป็น 50 วินาที ค่ากระแสเพิ่มสูงขึ้น และเพิ่มจนสูงสุดที่เวลา 100 วินาที โดยให้ค่ากระแสเท่ากับ 13.46 ไมโครแอมแปร์ การเพิ่มขึ้นของค่ากระแสดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่า เวลาการตรึงที่เพิ่มขึ้นช่วยให้เกิดการสะสมของอนุภาคทองนาโนบนพื้นผิวขั้วไฟฟ้าได้มากขึ้น จำนวนตำแหน่งเร่งปฏิกิริยา (Active sites) มากขึ้น และส่งเสริมการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่าง DA กับพื้นผิวขั้วไฟฟ้า ทำให้การตอบสนองทางเคมีไฟฟ้าสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มเวลาการตรึงฟิล์มเป็น 150 วินาที พบว่าค่ากระแสลดลงเหลือ 12.45 ไมโครแอมแปร์ ซึ่งอาจเกิดจากการสะสมของทองที่มากเกินไปจนทำให้ฟิล์มมีความหนาสูงจนเกิดการปิดกั้นพื้นผิวบางส่วน ส่งผลให้พื้นที่ผิวที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้จริงลดลง ดังนั้น จึงเลือกใช้เวลาในการตรึงฟิล์มทองนาโนคิวบิกที่ 100 วินาที เนื่องจากเป็นสภาวะที่ให้ค่ากระแสตอบสนองสูงที่สุด สำหรับการทดลองในขั้นตอนถัดไป

3.3 การศึกษาคุณลักษณะของเซนเซอร์โดปามีน

3.3.1 การทดสอบกับสารรบกวนบางชนิด

การศึกษาผลของสารรบกวน (Interference study) ต่อประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้า CPE/AuNCF สำหรับการตรวจวัด DA มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเลือกจำเพาะ (Selectivity) และความสามารถของขั้วไฟฟ้าในการตรวจวัด DA ภายใต้สภาวะที่มีสารอื่นร่วมอยู่ในระบบซึ่งเป็นเงื่อนไขที่อาจเกิดขึ้นกับตัวอย่างจริง ในการศึกษานี้เลือกใช้กลูโคส ซูโครส และกรดแอสคอร์บิก (วิตามินซี) เป็นสารรบกวนเนื่องจากเป็นสารที่พบได้ทั่วไปในตัวอย่างชีวภาพและอาจส่งผลต่อการตอบสนองทางเคมีไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้า โดยกลูโคสถูกเลือกเนื่องจากเป็นน้ำตาลที่มีอยู่ในระดับความเข้มข้นค่อนข้างสูงในของเหลวชีวภาพ



รูปที่ 5 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของ (ก) CPE/AuNCF ที่ตรึงโดยใช้เวลาต่าง ๆ โดยให้ศักย์ไฟฟ้าการตรึงที่ -0.75 โวลต์ (ข) กราฟระหว่างเวลาที่ใช้ตรึงฟิล์มทองนาโนคิวบิกกับความสูงของกระแสไฟฟ้า ทดสอบในสารละลายโดปามีน 1.0 มิลลิโมลาร์ ที่อัตราการสแกน 50 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

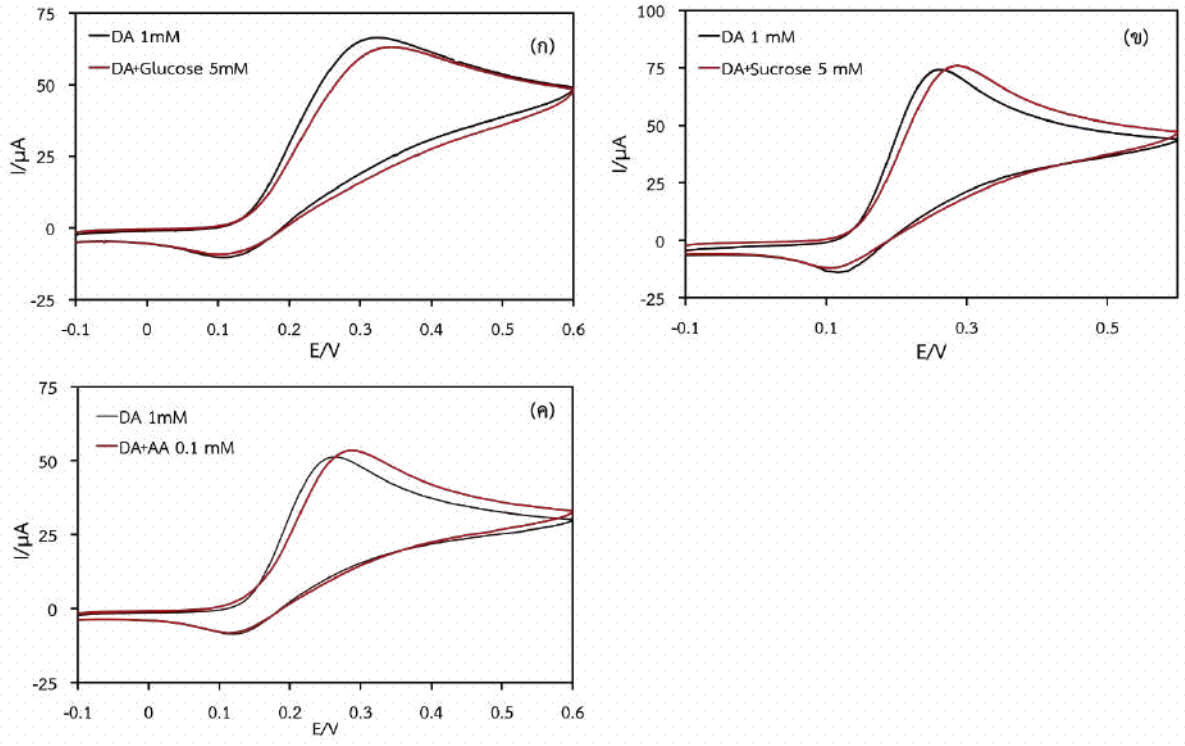
ซูโครสถูกเลือกเพื่อใช้เป็นตัวแทนของสารประกอบกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่มีโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่กว่าและอาจรบกวนผ่านผลของการแพร่หรือการดูดซับบนพื้นผิว ส่วนกรดแอสคอร์บิกถูกเลือกเนื่องจากเป็นสารที่สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายและมักให้ศักย์ไฟฟ้าใกล้เคียงกับ DA จึงถือเป็นสารรบกวนสำคัญในการตรวจวัด DA ด้วยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า การทดลองดำเนินการโดยใช้ขั้วไฟฟ้า CPE/AuNCF ที่เตรียมภายใต้สภาวะที่เหมาะสม คือ ศักย์ไฟฟ้า –0.75 โวลต์ และเวลาในการตรึงฟิล์ม 100 วินาที จากนั้นตรวจวัดสารละลาย DA ความเข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์ ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี แล้วเติมสารรบกวนแต่ละชนิดลงในเซลล์เคมีไฟฟ้าเดิมที่มี DA 1.0 มิลลิโมลาร์ เพื่อประเมินผลกระทบต่อสัญญาณกระแสไฟฟ้า

ผลการทดลองพบว่าเมื่อเติมกลูโคสให้ได้ความเข้มข้น 5.0 มิลลิโมลาร์ลงในสารละลาย DA ได้ค่ากระแสเท่ากับ 60.94 ไมโครแอมแปร์ เมื่อเปรียบเทียบกับสารละลาย DA เพียงชนิดเดียวซึ่งให้ค่ากระแสเท่ากับ 62.71 ไมโครแอมแปร์ คำนวณค่าการรบกวนได้เท่ากับร้อยละ 2.82 ดังรูปที่ 6 (ก) สำหรับสารละลายซูโครสความเข้มข้น 5.0 มิลลิโมลาร์ร่วมกับ DA

พบค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ 75.00 ไมโครแอมแปร์ ขณะที่ DA เพียงชนิดเดียวให้ค่ากระแสเท่ากับ 74.11 ไมโครแอมแปร์ คิดเป็นค่าการรบกวนร้อยละ 1.19 ดังรูปที่ 6 (ข) ในกรณีของกรดแอสคอร์บิก 0.1 มิลลิโมลาร์ร่วมกับ DA พบค่ากระแสเท่ากับ 52.64 ไมโครแอมแปร์ เมื่อเทียบกับ DA เพียงชนิดเดียวซึ่งให้ค่ากระแสเท่ากับ 51.67 ไมโครแอมแปร์ คิดเป็นค่าการรบกวนร้อยละ 1.88 ดังรูปที่ 6 (ค) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า แม้จะเติมสารรบกวนกลูโคสและซูโครสที่ความเข้มข้นสูงถึง 5.0 มิลลิโมลาร์ ขั้วไฟฟ้า CPE/AuNCF ยังคงให้สัญญาณตอบสนองต่อ DA ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยค่าการเปลี่ยนแปลงของกระแสอยู่ในระดับต่ำ แสดงถึงความสามารถในการเลือกจำเพาะต่อ DA ของพื้นผิวฟิล์มทองนาโนคิวบิก ซึ่งอาจเกิดจากคุณสมบัติของฟิล์มทองนาโนคิวบิกที่ช่วยส่งเสริมการถ่ายโอนอิเล็กตรอนของ DA มากกว่าสารรบกวน รวมทั้งลดผลกระทบจากการดูดซับหรือการเกิดปฏิกิริยาร่วมของสารชนิดอื่น ส่งผลให้ขั้วไฟฟ้ามีศักยภาพสำหรับประยุกต์ใช้ในการตรวจวัด DA ในตัวอย่างจริงที่มีองค์ประกอบซับซ้อนได้

3.3.2 การทดสอบการทำซ้ำ (Repeatability) และการผลิตซ้ำ (Reproducibility)

การทดสอบการทำซ้ำ (Repeatability) คือการประเมินความสม่ำเสมอของการตอบสนองทางเคมีไฟฟ้าในการใช้งานซ้ำบนขั้วไฟฟ้าเดียวกัน ส่วนการทดสอบการผลิตซ้ำ (Reproducibility) คือการประเมินการผลิตขั้วไฟฟ้าหลายชุดภายใต้สภาวะเดียวกัน ทั้งสองการทดสอบถูกนำมาใช้เพื่อประเมินความเที่ยง (Precision) ของเซนเซอร์ CPE/AuNCF ในการตรวจวัด DA การทดสอบการทำซ้ำดำเนินการโดยเตรียมขั้วไฟฟ้า CPE/AuNCF จำนวน 1 ขั้ว และนำไปตรวจวัดสารละลาย DA 1.0 มิลลิโมลาร์ ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี จำนวน 3 ซ้ำ ในสภาวะการทดลองเดียวกัน ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 6(ก) จากผลการทดลองพบว่า DA เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ศักย์ไฟฟ้าในช่วง +0.25 – +0.27 โวลต์ และให้ค่ากระแสพีกเฉลี่ย (Peak current average) เท่ากับ 36.01 ไมโครแอมแปร์ โดยมีค่าร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative Standard Deviation; RSD) เท่ากับ 8.25 เปอร์เซ็นต์ ค่าดังกล่าวสะท้อนว่าขั้วไฟฟ้าที่เตรียมขึ้นสามารถให้สัญญาณตอบสนองที่มีความสม่ำเสมอเมื่อทำการวัดซ้ำหลายครั้ง (RSD < 10%) และยังแสดงถึงเสถียรภาพของพื้นผิวฟิล์มทองนาโนคิวบิกเมื่อใช้ในการวัดหลายครั้ง



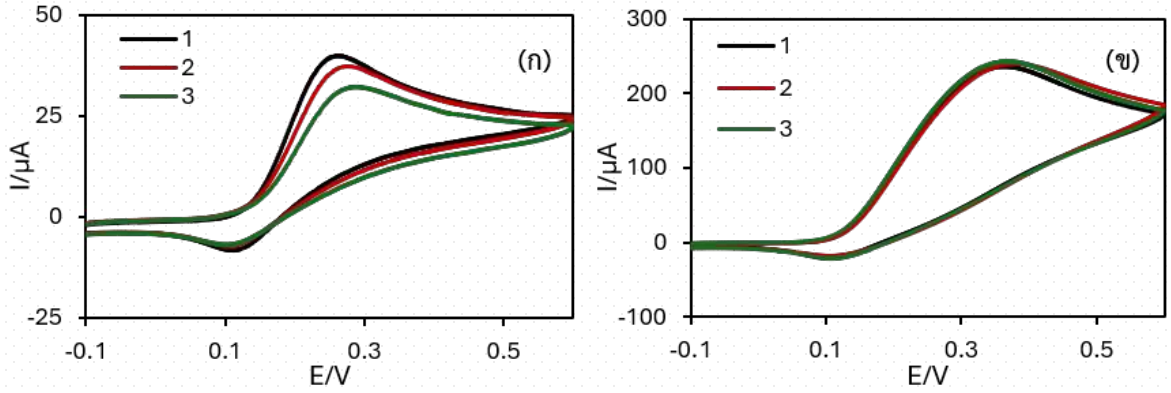
รูปที่ 6 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของขั้วไฟฟ้า CPE/AuNCF โดยทดสอบกับโดปามีน (เส้นสีดำ) และโดปามีนที่มีสารรบกวน (เส้นสีแดง) โดยใช้สารรบกวน (ก) โดปามีน และโดปามีนร่วมกับกลูโคส (ข) โดปามีน และโดปามีนร่วมกับซูโครส (ค) โดปามีน และโดปามีนร่วมกับกรดแอสคอร์บิก ที่อัตราการสแกน 50 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

สำหรับการทดสอบการผลิตซ้ำ (Reproducibility) ดำเนินการโดยเตรียมขั้วไฟฟ้า CPE/AuNCF จำนวน 3 ขั้ว ภายใต้สภาวะการเตรียมเดียวกัน และนำขั้วไฟฟ้าแต่ละขั้วไปตรวจวัดสารละลาย DA 5.0 มิลลิโมลาร์ ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรีเพียง 1 ครั้ง ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 7 (ข) ผลการทดลองพบว่า DA เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ +0.38 โวลต์ ศักย์ไฟฟ้าที่เคลื่อนไปทางขวามากขึ้นเกิดจากความเข้มข้นของ DA ที่สูงขึ้น ให้ค่ากระแสพีกเฉลี่ยเท่ากับ 241.53 ไมโครแอมแปร์ โดยมีค่าร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD) เท่ากับ 1.21 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากระบวนการเตรียมขั้วไฟฟ้ามีความสม่ำเสมอและสามารถควบคุมคุณสมบัติของฟิล์มทองนาโนคิวบิกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ขั้วไฟฟ้าที่ผลิตในแต่ละครั้งให้สมรรถนะทางเคมีไฟฟ้าใกล้เคียงกัน

จากผลการทดสอบทั้ง Repeatability และ Reproducibility ที่ให้ค่า RSD อยู่ในระดับต่ำ แสดงให้เห็นว่าขั้วไฟฟ้า CPE/AuNCF มีความเที่ยง ความเสถียร และความสามารถในการผลิตซ้ำที่ดี จึงมีศักยภาพสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้เป็นเซนเซอร์ตรวจวัด DA ในงานวิเคราะห์จริง

3.3.3 การหาช่วงความเป็นเส้นตรง

การศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง (Linearity) สำหรับการตรวจวัด DA ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี โดยใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ที่ pH 7.4 เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ช่วย เพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ DA กับสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ตอบสนองจากขั้วไฟฟ้า CPE/AuNCF ผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย DA เป็น 0.01, 0.05, 0.1, 1.0, 5.0 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ค่ากระแสไฟฟ้าของพีกออกซิเดชันที่ได้จากกราฟไซคลิกโวลแทมโมแกรมเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังรูปที่ 7 (ก-ข) แสดงให้เห็นว่าขั้วไฟฟ้า CPE/AuNCF



รูปที่ 7 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของขั้วไฟฟ้า CPE/AuNCF โดย (ก) ทดสอบการทำซ้ำ (Repeatability) ในสารละลายโดปามีน 1.0 มิลลิโมลาร์ และ (ข) ทดสอบการผลิตซ้ำ (Reproducibility) ในสารละลายโดปามีน 5.0 มิลลิโมลาร์ ที่อัตราการสแกน 50 มิลลิโวลต์ต่อวินาที แต่ละการทดสอบทำ 3 ซ้ำ

สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของ DA ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยความเข้มของสัญญาณกระแสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามจำนวนโมเลกุลของ DA ที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันบนพื้นผิวขั้วไฟฟ้า ส่งผลให้มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น เมื่อนำค่าความเข้มข้นของ DA มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์กับค่ากระแสพีกออกซิเดชัน ได้ผลดังรูปที่ 8 (ค) พบว่าขั้วไฟฟ้าให้ความสัมพันธ์เชิงเส้นในช่วงความเข้มข้น 0.01 – 1.0 มิลลิโมลาร์ (รูปที่ 8 (ค, เล็ก)) ($y = 110.13x - 0.8385$, $R^2 = 0.9947$) และ 1.0 – 10.0 มิลลิโมลาร์ (รูปที่ 8 (ค, หลัก)) ($y = 45.67x + 10.08$, $R^2 = 0.9856$) ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ดีระหว่างความเข้มข้นของ DA กับกระแสไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้ นอกจากนี้เมื่อนำข้อมูลมาคำนวณหาค่าขีดจำกัดการตรวจวัด (Limit of Detection; LOD) โดยใช้เกณฑ์อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-noise ratio; S/N = 3) ตามวิธีของ Miller and Miller [11] ดังสมการที่ (1)

$$LOD = \frac{3S/N}{m} \quad (1)$$

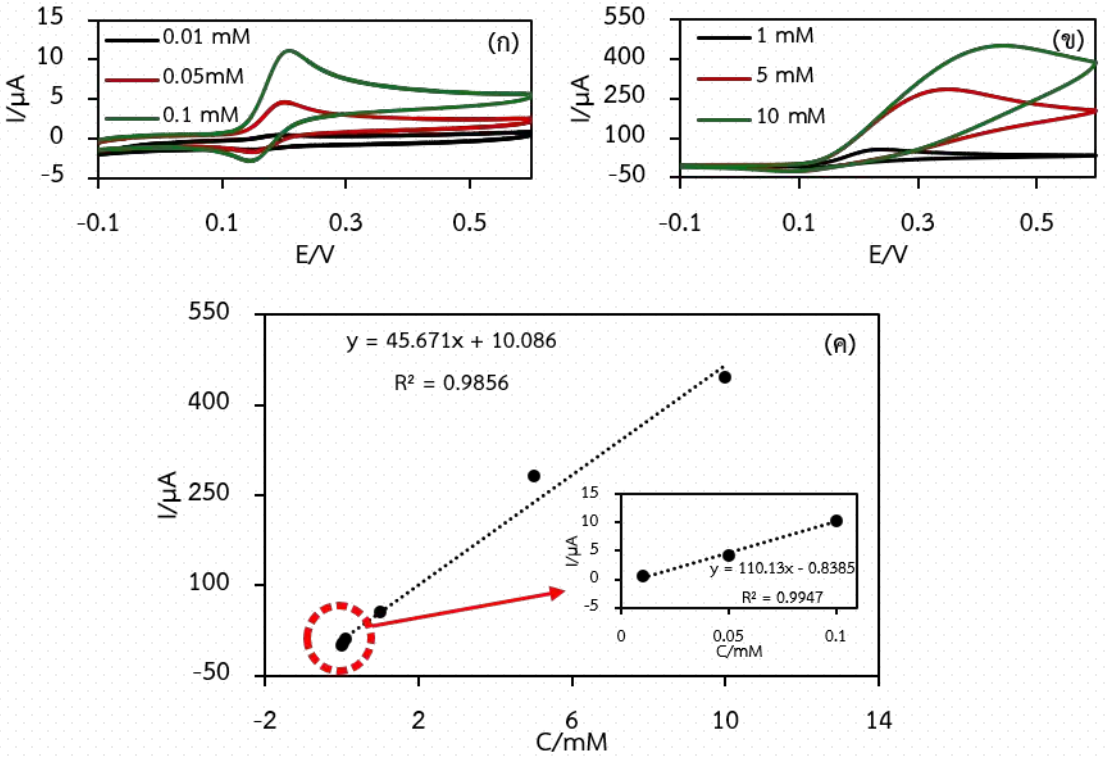
จากข้อมูลผลการทดลอง พบว่าค่า S/N = 0.1710 (μA) และใช้ค่า m = 110.13 (μA mM^{-1}) จากรูปที่ 8 (ค, เล็ก) พบว่ามีค่าขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 4.7 ไมโครโมลาร์ ซึ่งบ่งชี้ว่าขั้วไฟฟ้า CPE/AuNCF มีความไวต่อการตรวจวัด DA และสามารถตรวจวัดสารในระดับความเข้มข้นต่ำได้ดี

3.4 การทดสอบกับเลือดสังเคราะห์

การประเมินศักยภาพของเซนเซอร์ CPE/AuNCF ในการตรวจวัดสาร DA ภายใต้สภาวะที่มีองค์ประกอบของเมทริกซ์ใกล้เคียงกับตัวอย่างเลือดจริง ได้ทำการทดสอบกับตัวอย่างเลือดสังเคราะห์ (Artificial blood sample) โดยจำลองสภาวะตัวอย่างที่มี DA ในหลายระดับความเข้มข้น การวิเคราะห์ดำเนินการด้วยเทคนิคการเติมสารมาตรฐาน (Standard addition method) แล้วนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณย้อนกลับเพื่อหาความเข้มข้นของ DA ในตัวอย่าง วิธีดังกล่าวถูกเลือกใช้เนื่องจากสามารถลดผลกระทบจากเมทริกซ์ของตัวอย่าง (Matrix effect) ซึ่งอาจส่งผลต่อสัญญาณทางเคมีไฟฟ้า และช่วยเพิ่มความถูกต้องในการประมาณค่าความเข้มข้นของสารวิเคราะห์เมื่อเทียบกับการใช้กราฟมาตรฐานภายนอก

ผลการทดลองในตารางที่ 1 แสดงว่าตรวจพบ DA ในช่วงความเข้มข้น 0.00 – 0.84 มิลลิโมลาร์ แสดงให้เห็นว่าเซนเซอร์สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของ DA ได้ภายใต้สภาวะที่มีองค์ประกอบซับซ้อนคล้ายตัวอย่างจริง จากนั้นเพื่อประเมินความถูกต้อง (Accuracy) ของระบบตรวจวัด ได้ทำการเติม DA มาตรฐานเพิ่มที่ความเข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์ ลงในทุกตัวอย่าง และทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีเดียวกัน แล้วนำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าร้อยละการกลับคืน (% Recovery) จากสมการที่ (2) ได้ผลการทดลองดังคอลัมน์ขวาสุดในตารางที่ 1 พบว่าเซนเซอร์ให้ค่าร้อยละการกลับคืนอยู่ในช่วง 96.10 – 106.00% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สำหรับงานวิเคราะห์เชิงปริมาณ โดยค่าการกลับคืนที่ใกล้เคียง 100% แสดงให้เห็นว่าปริมาณ DA ที่ตรวจวัดได้มีความสอดคล้องกับปริมาณที่เติมลงไปจริง และบ่งชี้ว่าองค์ประกอบภายในเมทริกซ์ไม่ได้รบกวนการตรวจวัดอย่างมีนัยสำคัญ ผลการทดลองดังกล่าวสะท้อนว่าเซนเซอร์ CPE/AuNCF ที่พัฒนาขึ้นมีความถูกต้อง (Accuracy) ความน่าเชื่อถือ (Reliability) และมีความสามารถในการประยุกต์ใช้สำหรับการตรวจวัด DA ในตัวอย่างชีวภาพได้ นอกจากนี้การประดิษฐ์เซนเซอร์ได้ง่ายและมีต้นทุนต่ำยังแสดงถึงศักยภาพต่อการพัฒนาเป็นอุปกรณ์ตรวจวัด ณ จุดดูแลผู้ป่วย (Point-of-Care Testing; POCT) และการประยุกต์ใช้งานทางการแพทย์ได้ในอนาคต

$$\% \text{ Recovery} = \frac{(\text{ค่าที่ตรวจพบหลังเติมโดปามีน} - \text{ค่าที่ตรวจพบในเลือด})}{\text{ค่าที่เติมโดปามีน}} \times 100 \quad (2)$$



รูปที่ 8 (ก) ไซคลิกโวลแทมโมแกรม CPE/AuNCF โดยทำการวัดในสารละลายโดปามีน (ก) 0.01, 0.05 และ 0.10 มิลลิโมลาร์; (ข) 1.0, 5.0 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ (ค) ช่วงความเป็นเส้นตรงของขั้วไฟฟ้า CPE/AuNCF ในการตรวจวัดโดปามีน รูปเล็กคือความเป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้นต่ำ ขั้วไฟฟ้า CPE/AuNCF ตรึงที่ -0.75 โวลต์ 100 วินาที ใช้อัตราการสแกนที่ 50 มิลลิโวลต์ต่อวินาที

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบของเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้นกับตัวอย่างเลือดสังเคราะห์ โดยทำซ้ำ 3 ครั้ง

ตัวอย่างเลือดสังเคราะห์	ค่าที่ตรวจพบในเลือด (mM)	ค่าที่เติมโดปามีน (mM)	ค่าที่ตรวจพบหลังเติมโดปามีน (mM)	ร้อยละการกลับคืน (%)
1	0.65 ± 0.02	1.00	1.71 ± 0.02	106.00
2	0.84 ± 0.01	1.00	1.80 ± 0.03	96.10
3	0.00 ± 0.00	1.00	0.99 ± 0.01	99.00

เมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของเซนเซอร์ CPE/AuNCF ที่พัฒนาขึ้นกับงานวิจัยที่มีรายงานไว้ก่อนหน้า (ตารางที่ 2) พบว่า แม้เซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้นจะมีขีดจำกัดการตรวจวัดสูงกว่า แต่มีความสามารถในการต้านทานผลรบกวนจากสารรบกวนได้สูง โดยเฉพาะสารที่พบได้ทั่วไปในตัวอย่างชีวภาพ ขณะที่สมรรถนะด้านอื่น ๆ เช่น ช่วงความเป็นเส้นตรงและร้อยละการกลับคืน ค่าการทำซ้ำ และค่าการผลิตซ้ำ มีค่าอยู่ในระดับใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ได้รายงานไว้

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบคุณลักษณะของเซนเซอร์โดปามีนที่พัฒนาขึ้นกับเซนเซอร์อื่น

ชนิดเซนเซอร์	เทคนิค	ขีดจำกัดการตรวจวัด (μM)	ช่วงความเป็นเส้นตรง (mM)	สารรบกวน (ความเข้มข้นสูงสุดที่ไม่รบกวน)	ค่าการทำซ้ำและการผลิตซ้ำ (% RSD)	ร้อยละการกลับคืน	อ้างอิง
PTA/AuNPs-MIP/GCE	DPV	3.3×10^{-5}	$1 \times 10^{-6} - 5 \times 10^{-3}$	Serotonin (1 μM)	NR และ 5.21	97.08 - 97.96	[12]
MIP/AuE	DPV	1.3×10^{-1}	$5.0 \times 10^{-4} - 4.0 \times 10^{-2}$	Ascorbic (15 μM) Uric acid (15 μM)	NR และ 3.5	96.7 - 99.2	[13]
AuNPs@SiO2-MIP/GCE	DPV	2×10^{-2}	$4.8 \times 10^{-5} - 5 \times 10^{-2}$	Uric acid (50 uM) Ascorbic acid (50 μM)	3.1 และ 4.3	97.40 - 104.40	[14]
PDEs-PAD	DPV	0.04	$0.1 \times 10^{-3} - 0.7$	Ascorbic acid (100 μM) Uric acid (100 μM)	NR และ 6.58	96.30 - 109.68	[15]
CPE/AuNCF	CV	4.7	0.01 - 10	Sucrose (5 mM) Glucose (5 mM)	8.25 และ 1.21	96.10 - 106.00	งานวิจัยนี้

คำย่อ : AuE = gold electrode, AuNP = gold nanoparticles, AuNCF = gold nanocubic film, CF = carbon fiber, CPE = carbon paste electrode, CV = cyclic voltammetry, DPV = differential pulse voltammetry, GCE = glassy carbon electrode, MIP = Molecular imprinted polymers, NR = not reported, PAD = paper-based analytical devices, PDEs = pencil-drawn electrode, PTA = p-thioaniline

4. บทสรุป

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการประดิษฐ์ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์ดัดแปรด้วยฟิล์มทองนาโนคิวบิก (CPE/AuNCF) สำหรับการตรวจวัดโดปามีนด้วยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า โดยการสร้างฟิล์มทองนาโนคิวบิกบนพื้นผิวขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์เปลือยด้วยวิธีการสะสมเชิงเคมีไฟฟ้า (Electrodeposition) ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมที่ศักย์ไฟฟ้า –0.75 โวลต์ เป็นเวลา 100 วินาที ผลการศึกษาพบว่าขั้วไฟฟ้า CPE/AuNCF สามารถตอบสนองต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโดปามีนได้ดี โดยให้ค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ 63.81 ไมโครแอมแปร์ และให้กระแสไฟฟ้าเป็น 513% ของขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพสต์เปลือย การศึกษาประสิทธิภาพของเซนเซอร์พบว่าได้รับผลกระทบในระดับต่ำจากกลูโคส ซูโครส และกรดแอสคอร์บิก รวมถึงมีความเที่ยงของการทำซ้ำและการผลิตซ้ำเท่ากับร้อยละ 8.25 และ 1.21 ตามลำดับ มีช่วงความเป็นเส้นตรง 2 ช่วง คือ 0.01 – 1.0 มิลลิโมลาร์ และ 1.0 – 10.0 มิลลิโมลาร์ มีค่าขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 4.7 ไมโครโมลาร์ เมื่อประยุกต์ใช้เซนเซอร์กับตัวอย่างเลือดสังเคราะห์พบว่ามีค่าร้อยละการกลับคืน (% Recovery) อยู่ในช่วง 96.10 – 106.00% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สำหรับงานวิเคราะห์เชิงปริมาณ

5. เอกสารอ้างอิง

[1] Zhou, Z.D., et al. (2023). Role of dopamine in the pathophysiology of Parkinson's disease. *Translational Neurodegeneration*, 12(1), 44.

[2] McCutcheon, R.A., Krystal, J.H., and Howes, O.D. (2020). Dopamine and glutamate in schizophrenia: biology, symptoms and treatment. *World Psychiatry*, 19(1), 15-33.

[3] Blasques, R.V., et al. (2025). A new electrochemical sensor for dopamine detection based on reduced graphene oxide modified with samarium oxide nanoparticles. *ACS Omega*, 10(46), 56290-56301.

[4] He, J., et al. (2023). Recent advances in the development and characterization of electrochemical and electrical miosensors for small molecule meurotransmitters. *ACS Sensors*, 8(4), 1391-1403.

[5] Ou, Y., et al. (2019). Frontiers in electrochemical sensors for neurotransmitter detection: towards measuring neurotransmitters as chemical diagnostics for brain disorders. *Analytical Methods*, 11(21), 2738-2755.

[6] Ouiram, T., et al. (2021). Choline oxidase based composite ZrO_2@AuNPs with Cu_2O@MnO_2 platform for signal enhancing the choline biosensors. *Electroanalysis*, 33(2), 455-463.

[7] Lin, Z.-F., et al. (2025). Advances in dopamine electrochemical sensors: Properties and application prospects of different modified materials. *Microchemical Journal*, 212, 113535.

[8] Zablocka, I., Wysocka-Zolopa, M., and Winkler, K. (2019). Electrochemical detection of dopamine at a gold electrode modified with a polypyrrole mesoporous silica molecular sieves (MCM-48) film. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(1), 111.

[9] Basiaga, M., et al. *Electrochemical impedance spectroscopy and corrosion resistance of SiO_2 coated CpTi and Ti-6Al-7Nb alloy*. in *Information Technologies in Biomedicine, V. 4*. 2014. Cham: Springer International Publishing.

[10] Zaki, M.H.M., Mohd, Y., and Chin, L.Y. (2020). Surface properties of nanostructured gold coatings electrodeposited at different potentials. *International Journal of Electrochemical Science*, 15(11), 11401-11415.

[11] Miller, J.N. and Miller, J.C., *Statistics and Chemometrics for Analytical Chemistry*. 2010, Gosport, UK: Ashford colour press, Ltd. 278.

[12] Tertiş, M., et al. (2017). Detection of dopamine by a biomimetic electrochemical sensor based on polythioaniline-nridged gold nanoparticles. *ChemPlusChem*, 82(4), 561-569.

[13] Song, W., et al. (2010). Dopamine sensor based on molecularly imprinted electrosynthesized polymers. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 14(10), 1909-1914.

[14] Yu, D., et al. (2012). A novel electrochemical sensor for determination of dopamine based on AuNPs@SiO_2 core-shell imprinted composite. *Biosensors and Bioelectronics*, 38(1), 270-277.

[15] Li, W., et al. (2016). Fully-drawn pencil-on-paper sensors for electroanalysis of dopamine. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 769, 72-79.

ภาวะกระดูกสันหลังคดในนักเรียนโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี)
Scoliosis among Students at Bodindecha (Sing Singhaseni) School

เจสิกา เที่ยงทางธรรม[1*] ภทรพรรษ ลยางกูร[1] และ ธนกัลยาณี นาคหวัง[1]

[1]โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) จังหวัดกรุงเทพมหานคร
*E-mail: 45295@bodin.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาภาวะกระดูกสันหลังคด ความวิตกกังวลและผลกระทบที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดภาวะดังกล่าวในนักเรียน เป็นการศึกษาเชิงพรรณนา เก็บข้อมูลผ่านแบบสอบถามออนไลน์จากนักเรียนโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) ระหว่าง 1-25 ธันวาคม 2567 จำนวน 150 คน วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา การทดสอบไคกำลังสองของเพียร์สัน และการทดสอบแม่นตรงของฟิชเชอร์ ผลการศึกษา พบว่า กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศหญิง (ร้อยละ 67.3) อายุเฉลี่ย 15.7 ปี พบนักเรียนที่รายงานว่าผลเอกซเรย์มีภาวะกระดูกสันหลังคด จำนวน 15 คน (ร้อยละ 10.0) ตรวจพบจากการสังเกตทางกายภาพ (ร้อยละ 60) และการตรวจสุขภาพโรงเรียน (ร้อยละ 40) กลุ่มที่พบความผิดปกติได้เข้าพบแพทย์ ร้อยละ 86.7 ส่วนใหญ่วินิจฉัยไม่ทราบสาเหตุ (ร้อยละ 60.0) แนวทางการรักษาหลักคือการสังเกตอาการ (ร้อยละ 66.7) รองลงมาคือการผ่าตัดและการใส่อุปกรณ์ค้ำยันในสัดส่วนเท่ากัน (ร้อยละ 13.3) มีพฤติกรรมแบกของหนัก ร้อยละ 80.7 มีความวิตกกังวล ระดับปานกลาง (ร้อยละ 33.3) และผลกระทบต่อชีวิตประจำวัน ระดับน้อยที่สุด (ร้อยละ 61.4) ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการตรวจพบภาวะกระดูกสันหลังคดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ เพศสภาพ (p = .024) และระดับผลกระทบต่อชีวิตประจำวัน (p = .001) โดยกลุ่มที่ตรวจพบความผิดปกติมีระดับผลกระทบสูงกว่ากลุ่มปกติ สรุปผลได้ว่า การตรวจสุขภาพในโรงเรียนเป็นเครื่องมือสำคัญในการคัดกรองเบื้องต้น สถานศึกษาควรจัดกิจกรรมตรวจสุขภาพอย่างสม่ำเสมอเพื่อเฝ้าระวังและค้นหาผู้ป่วยในระยะแรก พร้อมระบบติดตามอาการทุก 6 เดือนถึง 1 ปี เพื่อประเมินความรุนแรงและลดผลกระทบต่อสุขภาพ ในระยะยาวของนักเรียน

คำสำคัญ: กระดูกสันหลังคด นักเรียนมัธยมศึกษา การตรวจสุขภาพในโรงเรียน ความชุก ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

Abstract

This descriptive study aimed to examine the prevalence of scoliosis, associated anxiety and its impact, and factors related to scoliosis occurrence among students. Data were collected via an online questionnaire from 150 students at Bodindecha (Sing Singhaseni) School between December 1-25, 2024. Data were analyzed using descriptive statistics, Pearson's Chi-Square test, and Fisher's Exact test. Results showed that the majority of participants were female (67.3%), with a mean age of 15.7 years. A total of 15 students (10.0%) reported abnormal spinal X-ray findings consistent with scoliosis, detected through physical observation (60.0%) and school health screening (40.0%). Among those identified, 86.7% consulted a physician, with 60.0% receiving an idiopathic diagnosis. The primary treatment approach was observation (66.7%), followed by surgery and bracing in equal proportions (13.3% each). Heavy load-carrying behavior was reported by 80.7% of participants. Moderate anxiety was the most common level reported (33.3%), while the impact on daily life was predominantly minimal (61.4%). Statistical analysis revealed that factors significantly associated with scoliosis detection included gender (p = .024) and the level of impact on daily life (p = .001), with the affected group showing a higher impact level than the unaffected group.

In conclusion, school health screening serves as an important tool for early detection. Educational institutions should conduct regular health screening activities to monitor and identify cases at an early stage, along with a follow-up system every 6 months to 1 year to assess severity and reduce the long-term health impact on students.

Keywords: scoliosis, secondary school students, school health screening, prevalence, associated factors

1. บทนำ

โรคกระดูกสันหลังคด (Scoliosis) เป็นภาวะที่กระดูกสันหลังมีลักษณะโค้งผิดปกติ ซึ่งมักพบในเด็ก และวัยรุ่นในช่วงที่ร่างกายมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในช่วงอายุ 10-15 ปี หากไม่ได้รับการตรวจพบตั้งแต่เนิ่น ๆ และปล่อยทิ้งไว้โดยไม่ได้รับการรักษา อาจนำไปสู่ผลกระทบในระยะยาว เช่น อาการปวดหลังเรื้อรัง การทรงตัวที่ผิดปกติ และปัญหาเกี่ยวกับระบบการทำงานของอวัยวะภายใน [1] จากการสำรวจและ เก็บข้อมูลเบื้องต้น พบว่านักเรียนและบุคคลทั่วไปส่วนใหญ่ยังขาดความรู้เกี่ยวกับโรคนี้ รวมถึงความสำคัญของ การป้องกันและการตรวจคัดกรองเบื้องต้น นอกจากนี้ การใช้ชีวิตประจำวัน เช่น การนั่งเรียน การสะพาย กระเป๋าหนัก หรือการมีกิจวัตรประจำวันที่ส่งผลต่อกระดูกสันหลัง ยังเป็นปัจจัยเสี่ยงที่มักถูกมองข้าม รุ่งทิพย์ ดวงแก้ว และคณะ [2] ได้ทำการศึกษาความชุกของการเกิดกระดูกสันหลังคด ในเด็กนักเรียนเท่ากับร้อยละ 21.14 เป็นเพศชาย 67 คน และเพศหญิง 70 คน พบว่า ความถนัดมือซ้ายเป็นปัจจัยที่ สัมพันธ์ กับการมีกระดูกสันหลังคดชนิดไม่ทราบสาเหตุ (OR=6.386, 95% CI=1.803 - 22.617) เมื่อเทียบกับ คนที่มี ความถนัดทั้งสองมือ ปฤสนัย พฤฒิกุล [3] ได้ศึกษาว่าความชุกที่มีรายงานทั่วโลกอยู่ที่ 0.35-13% ขึ้นอยู่กับเชื้อชาติ เพศ และวิธีการคัดกรอง โดยโรคชนิดนี้มักพบในผู้หญิงมากกว่าผู้ชายในประเทศไทย [4] การสำรวจในโรงเรียน บางส่วนพบความชุก 0.91-4.62% และจากการศึกษาในโรงเรียนในเขตเมืองกรุงเทพ ในเด็กผู้หญิงอายุ ระหว่าง 11-13 ปี จำนวนทั้งหมด 1,818 คน พบความชุกอยู่ที่ 4.62% Chatchatree และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาหาความชุกนี้ในนักเรียนอายุ 10-14 ปี ในสหรัฐอเมริกาโดยใช้เกณฑ์ถือเอาผู้ที่มีความคดของกระดูกสันหลังจากภาพถ่ายทาง รังสีด้วยวิธีของ Cobb ได้ค่ามากกว่า 10 องศา ผลการศึกษาพบว่ามีความชุกร้อยละ 1.2 จะเห็นได้ว่า ค่าความชุกในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกัน การศึกษาครั้งนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อเปรียบเทียบ กับงานวิจัยของท่านอื่น ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อให้ผู้ป่วยได้รับการรักษาในระยะเริ่มต้น หากตรวจพบความผิดปกติ และเพื่อป้องกันการเกิดกระดูกสันหลังคด

ด้วยเหตุนี้คณะผู้จัดทำจึงเห็นความสำคัญกับการคัดกรองโรคกระดูกสันหลังคดในกลุ่มนักเรียน เพื่อสร้างความตระหนักรู้เกี่ยวกับการดูแลสุขภาพกระดูกสันหลัง การตรวจพบโรคตั้งแต่เนิ่น ๆ และการป้องกัน ปัจจัยเสี่ยงอย่างเหมาะสม โครงงานนี้จึงเป็นส่วนหนึ่งของการส่งเสริมสุขภาพที่สามารถลดความเสี่ยงของโรค กระดูกสันหลังคดในระยะยาว และช่วยพัฒนาคุณภาพชีวิตของเยาวชน และประชาชนในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาภาวะกระดูกสันหลังคดในนักเรียน
2. เพื่อศึกษาความวิตกกังวลและผลกระทบ
3. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดภาวะกระดูกสันหลังคด

2. ทบทวนวรรณกรรมและการพัฒนาสมมติฐาน

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. แนวคิดเกี่ยวกับภาวะกระดูกสันหลังคด (Scoliosis) ภาวะกระดูกสันหลังคด คือ การบิดเบี้ยวของแนวกระดูกสันหลังออกไปทางด้านข้าง โดยทำมุมตั้งแต่ 10 องศาขึ้นไป (Cobb angle ≥10 องศา) มักเกิดขึ้นในช่วงที่มีการเจริญเติบโตรวดเร็วของวัยรุ่น (Adolescent Idiopathic Scoliosis: AIS) ซึ่งเป็นช่วงอายุระหว่าง 10-18 ปี โดยทางการแพทย์ระบุว่าผู้ป่วยส่วนใหญ่ (ประมาณร้อยละ 80-85) เป็นการคดแบบไม่ทราบสาเหตุแน่ชัด (Idiopathic) [6] สอดคล้องกับระบาดวิทยาที่มักพบใน "เพศหญิง" มากกว่าเพศชายอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งในแง่ของความชุกและความรุนแรงของโรคที่อาจส่งผลให้ต้องรับการรักษาด้วยการใส่ชุดอุปกรณ์ค้ำยัน (Brace) หรือการผ่าตัด

2. การตรวจคัดกรองและการเข้าถึงการรักษา เนื่องจากภาวะกระดูกสันหลังคดในระยะเริ่มต้นมักไม่แสดงอาการปวด ทำให้วัยรุ่นและผู้ปกครองละเลย การตรวจคัดกรองทางกายภาพ (เช่น Adam's Forward Bend Test) หรือการตรวจสุขภาพประจำปีในโรงเรียน (School Screening) เป็นต้น จึงเป็นเครื่องมือสำคัญที่สุดในการค้นหาผู้ป่วยในระยะแรก (Early Detection) [7] เพื่อนำไปสู่การวินิจฉัยโดยแพทย์และการวางแนวทางการรักษาที่เหมาะสม เช่น การสังเกตอาการอย่างใกล้ชิด (Observation) ทุก ๆ 6 เดือน เป็นต้น เพื่อประเมินมุมการคดที่ไม่ให้เพิ่มขึ้น

3. พฤติกรรมเสี่ยง ความวิตกกังวล และผลกระทบต่อชีวิตประจำวัน แม้ว่าทางการแพทย์จะระบุว่าการแบกกระเป๋านักเรียนหนักไม่ใช่สาเหตุโดยตรงของการเกิดโรคโครงสร้างกระดูกคดชนิดถาวร (Structural Scoliosis) แต่ "พฤติกรรมการแบกของหนัก" หรือการนั่งผิดสุขลักษณะเป็นเวลานาน สามารถส่งผลกระทบต่อกล้ามเนื้อหลัง ท่าทาง (Postures) และอาจเพิ่มความรุนแรงหรือความเจ็บปวดในผู้ที่มีภาวะกระดูกสันหลังคดอยู่เดิมได้ [8] นอกจากนี้ ภาวะกระดูกสันหลังคดไม่เพียงส่งผลต่อร่างกาย แต่ยังส่งผลกระทบต่อ "จิตใจ" วัยรุ่นมักมีความวิตกกังวล (Anxiety) เกี่ยวกับภาพลักษณ์ของตนเอง (Body Image) การปรับตัวทางสังคม หรือความกังวลต่อการรักษา (เช่น การใส่เสื้อเกราะค้ำยันหรือการผ่าตัด) เป็นต้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อเนื่องถึงคุณภาพชีวิตและการดำเนินชีวิตประจำวัน

การพัฒนาสมมติฐาน (Hypothesis Development)

สมมติฐานที่ 1 (ด้านเพศสภาพ): เพศสภาพของนักเรียนมีความสัมพันธ์กับการเกิดภาวะกระดูกสันหลังคด

เหตุผลสนับสนุน: สอดคล้องกับทฤษฎีทางการแพทย์ที่ว่าเพศหญิงมีอัตราการเจริญเติบโตของกระดูกและปัจจัยทางฮอร์โมนที่เอื้อต่อการเกิดภาวะกระดูกสันหลังคดชนิดไม่ทราบสาเหตุในวัยรุ่น (AIS) มากกว่าเพศชาย

สมมติฐานที่ 2 (ด้านผลกระทบต่อชีวิตประจำวัน): นักเรียนที่ตรวจพบภาวะกระดูกสันหลังคด มีระดับผลกระทบต่อชีวิตประจำวันสูงกว่านักเรียนที่ตรวจพบเป็นปกติ

เหตุผลสนับสนุน: ภาวะกระดูกสันหลังคดสามารถก่อให้เกิดอาการทางคลินิก เช่น ความไม่สมดุลของไหล่ การปวดหลัง และข้อจำกัดของการเคลื่อนไหว เป็นต้น ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อการใช้ชีวิตประจำวัน การทำกิจกรรม และภาพลักษณ์ทางสังคมของนักเรียนโดยเฉพาะในรายที่มุมการคดมาก (Cobb angle > 25°) ซึ่งต้องได้รับการรักษาด้วยชุดอุปกรณ์ค้ำยัน (Brace) หรือการผ่าตัด ดังนั้นจึงคาดว่ากลุ่มที่ตรวจพบความผิดปกติของกระดูกสันหลังจะรายงานระดับผลกระทบสูงกว่ากลุ่มที่ตรวจพบเป็นปกติ

สมมติฐานที่ 3 (ด้านพฤติกรรมเสี่ยง): นักเรียนที่มีประวัติการแบกของหนัก มีโอกาสตรวจพบภาวะกระดูกสันหลังคดสูงกว่านักเรียนที่ไม่มีประวัติการแบกของหนัก

เหตุผลสนับสนุน: แม้ว่าการแบกของหนักจะไม่ใช่สาเหตุโดยตรงของ ภาวะกระดูกสันหลังคดชนิดถาวร (Structural Scoliosis) แต่การแบก ของหนักเป็นเวลานานอาจส่งผลต่อท่าทางและกล้ามเนื้อหลัง ซึ่งอาจ สัมพันธ์กับการเกิดภาวะกระดูกสันหลังคดเชิงท่าทาง (Postural Scoliosis) หรือทำให้ความรุนแรงของภาวะกระดูกสันหลังคดที่มีอยู่ เดิมเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงคาดว่าจะพบความสัมพันธ์ระหว่างประวัติการแบก ของหนักและการตรวจพบความผิดปกติของกระดูกสันหลัง

3. ระเบียบวิธีวิจัย

กลุ่มเป้าหมายในการวิจัย (Participants)

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-6 ปีการศึกษา 2567 โรงเรียน บดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) ตั้งอยู่ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นโรงเรียนมัธยมศึกษาขนาดใหญ่พิเศษในเขตเมือง มีจำนวนนักเรียนรวมทั้งสิ้น 3,882 คน ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป G*Power version 3.1.9.4 [9, 10] ซึ่งผู้วิจัยกำหนด Two tails, Correlation ρ H_1 สำหรับการศึกษานี้ที่ขนาดปานกลาง ซึ่งเท่ากับ .30, α err prob = .05, Power (1-β) = .95 และ Correlation ρ H_0 = 0 ได้จำนวนตัวอย่างขั้นต่ำ 138 คน เพื่อป้องกันการสูญหายของข้อมูล มีการเพิ่มจำนวนตัวอย่าง เท่ากับ 150 คน

วิธีการสุ่มตัวอย่าง (Sampling method)

ผู้วิจัยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบสะดวก (Convenience Sampling) ภายในประชากรของโรงเรียน โดยเผยแพร่ลิงก์แบบสอบถามออนไลน์ (Google Forms) ผ่านช่องทางการสื่อสารต่าง ๆ ที่นักเรียนกลุ่มเป้าหมายเข้าถึงได้ เช่น กลุ่มไลน์ห้องเรียน เครือข่ายเพื่อน และสื่อสังคมออนไลน์ของนักเรียน นักเรียนที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์การคัดเข้าและสมัครใจเข้าร่วมการศึกษาเป็นผู้ตอบแบบสอบถามด้วยตนเอง

เกณฑ์การคัดเข้า (Inclusion criteria)

1. นักเรียนที่กำลังศึกษาอยู่ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1–6
2. กำลังศึกษาอยู่ในโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) กรุงเทพมหานคร ในปีการศึกษา 2567
3. สมัครใจเข้าร่วมการศึกษา และยินยอมตอบแบบสอบถาม

เกณฑ์การคัดออก (Exclusion criteria)

1. ตอบแบบสอบถามไม่ครบถ้วน
2. ปฏิเสธหรือถอนตัวระหว่างการตอบแบบสอบถาม

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย (Instruments)

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือหลักในการเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณ เนื้อหาของแบบสอบถามครอบคลุม ลักษณะส่วนบุคคล ประกอบด้วย เพศ อายุ ข้อมูลด้านสุขภาพ ประกอบด้วย ค่าดัชนีมวลกาย โรคประจำตัว และผลตรวจเอ็กซเรย์กระดูกสันหลัง สาเหตุที่ทราบว่าเป็นโรคกระดูกสันหลังคด และการรักษา พฤติกรรมการปฏิบัติตัว เช่น การแบกของหนัก เป็นต้น และความวิตกกังวลและผลกระทบ โดยได้นำแบบสอบถามที่พัฒนาขึ้น เสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาและผู้เชี่ยวชาญด้านสาธารณสุข เพื่อพิจารณาตรวจสอบความครอบคลุมของเนื้อหา ความเหมาะสมของภาษาที่ใช้ ความสอดคล้องของข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย และความเหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมายที่เป็นนักเรียนระดับมัธยมศึกษา ผู้วิจัยได้นำข้อเสนอแนะ มาปรับปรุงแก้ไขแบบสอบถามให้มีความเหมาะสมก่อนนำไปใช้ หลังจากการตรวจสอบ ผู้วิจัยได้ปรับปรุงข้อคำถามให้มีความชัดเจน ใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย เหมาะสมกับระดับการศึกษาของกลุ่มตัวอย่าง และลดความกำกวมของข้อคำถามที่อาจทำให้ผู้ตอบเข้าใจคลาดเคลื่อน แบบสอบถามฉบับนี้ผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน โดยมีค่าดัชนีความสอดคล้อง (Item-Objective Congruence: IOC) มากกว่า 0.5 ทุกข้อ

ขั้นตอนดำเนินการวิจัย (Procedure)

ผู้ศึกษาได้ดำเนินการเก็บข้อมูล ในช่วงระหว่างวันที่ 1 – 25 ธันวาคม พ.ศ. 2567 มีขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. ผู้ศึกษาได้ปรึกษาอาจารย์และผู้เชี่ยวชาญด้านสาธารณสุข เพื่อพิจารณาตรวจสอบแบบสอบถามให้มีความเหมาะสมก่อนนำไปใช้กับกลุ่มเป้าหมาย

2. การเก็บรวบรวมข้อมูลดำเนินการโดยให้ผู้ตอบแบบสอบถามกรอกข้อมูลด้วยตนเองในรูปแบบแบบสอบถามที่ตอบด้วยตนเอง (Self-Administered Questionnaire)

3. ภายหลังการเก็บข้อมูล ผู้วิจัยได้ตรวจสอบความสมบูรณ์ของแบบสอบถาม และนำข้อมูลที่ได้ไปดำเนินการวิเคราะห์ทางสถิติต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูล (Analyses)

สถิติเชิงพรรณนา ร้อยละ ในการอธิบายข้อมูลคุณลักษณะประชากร ข้อมูลด้านสุขภาพ พฤติกรรมการปฏิบัติตัวและความวิตกกังวลและผลกระทบ เพื่อแจกแจงความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความวิตกกังวลและผลกระทบกับกลุ่มที่พบความผิดปกติ โดยใช้สถิติเชิงอนุมาน การทดสอบไคกำลังสองของเพียร์สัน (Pearson Chi-Square test) และ Fisher's Exact Test ที่ ระดับ .05

ข้อจำกัดของการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้มีข้อจำกัดที่ควรพิจารณาในการตีความผลการวิจัย ดังนี้

1. การศึกษานี้เป็นการศึกษาเชิงสำรวจระดับโครงงานนักศึกษา ซึ่งดำเนินการก่อนระบบการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์อย่างเป็นทางการ แม้ผู้วิจัยจะได้ปฏิบัติตามหลักการคุ้มครองผู้เข้าร่วมการวิจัยตามปฏิญญาเฮลซิงกิแล้ว แต่ในการศึกษาต่อยอดในอนาคต ผู้วิจัยจะดำเนินการขอรับการพิจารณาจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ก่อนการเก็บข้อมูลทุกครั้ง

2. การเก็บข้อมูลผ่านแบบสอบถามออนไลน์โดยสมัครใจ ทำให้กลุ่มตัวอย่างอาจมีลักษณะอคติของผู้สนใจประเด็นสุขภาพมากกว่าประชากรทั่วไป (Self-selection bias)

4. ผลการวิจัย

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

ลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างนักเรียนโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) จากการสำรวจพบว่า จากทั้งหมด 150 ราย เป็นเพศชาย 49 ราย ร้อยละ 32.7 เป็นเพศหญิง 101 ราย ร้อยละ 67.3 และ พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่อายุ 16 ปี 70 ราย ร้อยละ 46.6 รองลงมา อายุ 15 ปี 61 ราย ร้อยละ 40.0 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลส่วนบุคคล(Socio-demographic data) (n= 150)

ข้อมูลทั่วไป	จำนวน	ร้อยละ
เพศ		
ชาย	49	32.7
หญิง	101	67.3
อายุ		
14 ปี	4	2.7
15 ปี	61	40.7
16 ปี	70	46.6
17 ปี	12	8.0
≥18 ปี	3	2.0
อายุต่ำสุด = 14 ปี , อายุสูงสุด = 20 ปี ,อายุเฉลี่ย = 15.7 ปี, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.807		

ส่วนที่ 2 ข้อมูลด้านสุขภาพ

ข้อมูลด้านสุขภาพของกลุ่มตัวอย่างนักเรียนโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) จากการสำรวจพบว่าจากทั้งหมด 150 ราย ส่วนใหญ่นั้นค่าดัชนีมวลกายอยู่ในเกณฑ์ปกติ 98 ราย ร้อยละ 65.3 และ ส่วนใหญ่ไม่มีโรคประจำตัว ร้อยละ 92.0 มีโรคประจำตัว จำนวน 12 ราย คิดเป็น ร้อยละ 8.0 ซึ่งส่วนใหญ่นั้นป่วยเป็นโรคภูมิแพ้ ถึง ร้อยละ 75 จากผู้ที่มีโรคประจำตัว และพบว่าการตรวจเอ็กซเรย์กระดูกสันหลัง มีผลผิดปกติ ร้อยละ 10.0 ส่วนสาเหตุที่ทำให้ทราบว่าเป็นโรคกระดูกสันหลังคด คือจะสังเกตเอาจากลักษณะทางกายภาพหรืออาการต่าง ๆ เช่น ไหล่ไม่เท่ากัน แกนกระดูกสันหลังไม่ตรง เป็นต้น ร้อยละ 60.0 จากการตรวจสุขภาพที่โรงเรียน ร้อยละ 40.0 ผู้ที่มีความผิดปกติ ไปพบแพทย์ ร้อยละ 86.67 แพทย์วินิจฉัยไม่ทราบสาเหตุ ร้อยละ 60.0 และแบกของหนักเช่น กระเป๋านักเรียน เป็นต้น ร้อยละ 13.34 ส่วนใหญ่แพทย์ได้มีการให้การรักษา ร้อยละ 66.7 ให้ใส่ชุดอุปกรณ์ค้ำยัน และเข้ารับการผ่าตัด ร้อยละ 13.34 ตารางที่ 2

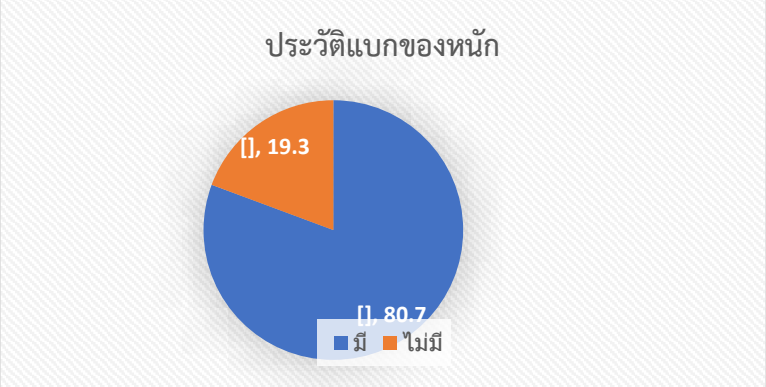
ตารางที่ 2 ข้อมูลด้านสุขภาพ (n= 150)

ข้อมูลด้านสุขภาพ	จำนวน	ร้อยละ
ค่าดัชนีมวลกาย		
ผอมเกินไป (<18.5 กก/ เมตร^2)	31	20.7
ปกติเหมาะสม (18.5-22.9 กก/เมตร^2)	98	65.3
ภาวะน้ำหนักเกิน (23.0-24.9 กก/เมตร^2)	14	9.3
อ้วนระดับ 1 (25.0-29.9 กก/เมตร^2)	7	4.7
โรคประจำตัว		
ไม่มี	138	92.0
มี (n=12 ราย)	12	8.0
ภูมิแพ้	9	75.0
หอบหืด	1	8.3

ข้อมูลด้านสุขภาพ	จำนวน	ร้อยละ
ไมเกรน	1	8.3
SLE	1	8.3
ผลการตรวจเอ็กซเรย์กระดูกสันหลัง		
ปกติ	135	90.0
ผิดปกติ	15	10.0
สาเหตุที่ทราบว่าเป็นโรคกระดูกสันหลังคด (n=15 ราย)		
สังเกตได้ว่ามีอาการผิดปกติ	9	60.0
จากการตรวจสุขภาพที่โรงเรียน	6	40.0
กรณีที่ผิดปกติได้มีการไปพบแพทย์ (n=15 ราย)		
ไม่ได้พบแพทย์	2	13.3
พบแพทย์	13	86.7
แพทย์วินิจฉัยว่าเกิดจากสาเหตุใด (n=15 ราย)		
เป็นตั้งแต่กำเนิด	1	6.7
เกิดจากระบบประสาทหรือกล้ามเนื้อผิดปกติ	2	13.3
ไม่ทราบสาเหตุ	9	60.0
แบกของหนักเช่น กระเป๋านักเรียน เป็นต้น	2	13.3
การนั่งท่าที่ไม่เหมาะสม	1	6.7
แพทย์ได้มีการให้การรักษา		
สังเกตอาการต่อเนื่อง	10	66.7
ใส่ชุดอุปกรณ์ค้ำยัน	2	13.3
ได้รับการผ่าตัด	2	13.3
นัดพบแพทย์ปีละครั้ง	1	6.7
ได้รับการกายภาพบำบัด	1	6.7
ออกกำลังกายอย่างต่อเนื่อง	1	6.7

ส่วนที่ 3 พฤติกรรมการปฏิบัติตัว

ข้อมูลด้านพฤติกรรมการปฏิบัติตัวของกลุ่มตัวอย่างนักเรียนโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) จากการสำรวจพบว่าจากทั้งหมด 150 ราย ส่วนใหญ่ มีประวัติการแบกของหนัก ร้อยละ 80.7 ดังแผนภูมิที่ 1



แผนภูมิที่ 1 แสดงจำนวนและร้อยละกลุ่มเป้าหมาย ด้านพฤติกรรมการปฏิบัติตัว (n = 150 ราย)

ส่วนที่ 4 ความวิตกกังวลและผลกระทบ

กลุ่มตัวอย่าง (n = 150 ราย) ส่วนใหญ่มีระดับความวิตกกังวลต่อโรคกระดูกสันหลังคด ระดับปานกลาง ร้อยละ 33.3 และมีผลกระทบจากภาวะกระดูกสันหลังคด (n = 44 ราย จากผู้ตอบแบบสอบถามที่สมัครใจให้ข้อมูลในส่วนนี้ครบถ้วน) พบว่า ส่วนใหญ่น้อย ร้อยละ 61.4 รองลงมาปานกลาง ร้อยละ 20.5 ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระดับความวิตกกังวลและผลกระทบต่อภาวะกระดูกสันหลังคด

ปัจจัย	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
ระดับความวิตกกังวลต่อโรคกระดูกสันหลังคด (n = 150 ราย)	5 (3.3)	22 (14.7)	50 (33.3)	38 (25.4)	35 (23.3)
ระดับผลกระทบจากภาวะกระดูกสันหลังคด (n = 44 ราย)	1 (2.3)	4 (9.0)	9 (20.5)	3 (6.8)	27 (61.4)

ส่วนที่ 5 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความวิตกกังวลและผลกระทบกับกลุ่มที่พบภาวะกระดูกสันหลังผิดปกติ

ผลการวิเคราะห์ด้วย การทดสอบไคกำลังสองของเพียร์สัน (Pearson Chi-Square test) และ Fisher's Exact Test พบว่ากลุ่มที่ตรวจพบความผิดปกติของกระดูกสันหลังมีระดับผลกระทบต่อชีวิตประจำวันสูงกว่ากลุ่มที่ตรวจพบความผิดปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p = .001) และเพศสภาพมีความสัมพันธ์กับการตรวจพบความผิดปกติของกระดูกสันหลังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p = .024) ส่วนประวัติการแบกของหนักไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการตรวจพบความผิดปกติ (p = .190)

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ของความวิตกกังวลและผลกระทบกับกลุ่มที่พบภาวะกระดูกสันหลังผิดปกติ

ข้อมูล	กระดูกสันหลัง		Chi-Square	df	*p*-value
	ปกติ	ผิดปกติ	(χ^2)		
เพศ			5.122	1	.024*
ชาย	48 (98.0)	1 (2.0)			
หญิง	87 (86.1)	14 (13.9)			
ประวัติแบกของหนัก			1.715	1	.190
มี	107(88.4)	14 (11.6)			
ไม่มี	28 (96.6)	1 (3.4)			
ระดับผลกระทบจากกระดูกสันหลังคด (n=44)			17.978	4	.001*
น้อยที่สุด	24 (88.9)	3 (11.1)			
น้อย	3 (100.0)	0 (0)			
ปานกลาง	3 (33.3)	6 (66.7)			
มาก	1 (25.0)	3 (75.0)			
มากที่สุด	0 (0)	1 (100.0)			

**ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ p< .05*

5. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากการจัดทำโครงงานพบว่า ในนักเรียนโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) จำนวน 150 คน มีการตรวจเอ็กซเรย์กระดูกสันหลัง ผลผิดปกติลักษณะของโรคกระดูกสันหลังคดจำนวน 15 คน คิดเป็น ร้อยละ 10.0

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

ลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างนักเรียนโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) จากการสำรวจจำนวนทั้งหมด 150 ราย เป็นเพศหญิง 101 ราย ร้อยละ 67.3 เป็นเพศชาย 49 ราย คิดเป็น ร้อยละ 32.7 และ พบว่ากลุ่มตัวอย่าง ส่วนใหญ่มีอายุ 16 ปี 70 ราย ร้อยละ 46.6 รองลงมา อายุ 15 ปี 61 ราย คิดเป็น ร้อยละ 40.7

ส่วนที่ 2 ข้อมูลด้านสุขภาพ

ข้อมูลด้านสุขภาพของกลุ่มตัวอย่างนักเรียนโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) จากการสำรวจพบว่าจากทั้งหมด 150 ราย ส่วนใหญ่นั้นค่าดัชนีมวลกายอยู่ในเกณฑ์ปกติ 98 ราย ร้อยละ 65.3 และ ส่วนใหญ่ไม่มีโรคประจำตัว ร้อยละ 92.0 มีโรคประจำตัว จำนวน 12 ราย คิดเป็น ร้อยละ 8.0 ซึ่งส่วนใหญ่นั้นป่วยเป็นโรคภูมิแพ้ ถึงร้อยละ 75.0 จากผู้ที่มีโรคประจำตัวทั้งหมด และพบว่าการตรวจเอ็กซเรย์กระดูกสันหลัง มีผลผิดปกติ ร้อยละ 10.0 ซึ่งสูงกว่างานวิจัยไทยอื่น (0.91-4.62%) อาจเป็นเพราะความคลาดเคลื่อนจากการเลือกกลุ่มตัวอย่าง (Self-selection bias) โดยผู้ที่สมัครใจเข้าร่วมโครงการวิจัยอาจมีความเสี่ยง มีประวัติอาการปวด หรือสังเกตเห็นความผิดปกติทางสรีระของตนเองอยู่เดิม ส่งผลให้อัตราความชุกที่ตรวจพบสูงกว่าอัตราประชากรในสภาวะปกติ ส่วนสาเหตุที่ทำให้ทราบว่าเป็นโรคกระดูกสันหลังคดคือสังเกตจากลักษณะทางกายภาพหรืออาการต่าง ๆ เช่น ไหล่ไม่เท่ากัน แกนกระดูกสันหลังไม่ตรง เป็นต้น ร้อยละ 60.0 จากการตรวจสุขภาพที่โรงเรียน ร้อยละ 40.0 ผู้ที่มีความผิดปกติ ไปพบแพทย์ ร้อยละ 86.7 แพทย์วินิจฉัยไม่ทราบสาเหตุ ร้อยละ 60.0 และมีพฤติกรรมแบกของหนัก เช่น กระเป๋านักเรียนเป็นต้น ร้อยละ 13.3 ส่วนใหญ่แพทย์ได้ให้การรักษา ร้อยละ 66.7 ให้ใส่ชุดอุปกรณ์ค้ำยัน และเข้ารับการผ่าตัด ร้อยละ 13.3

จากการศึกษาพบว่านักเรียนโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) ทราบสาเหตุที่เป็นโรคกระดูกสันหลังคดจากการตรวจสุขภาพของโรงเรียนจำนวน 6 คน คิดเป็นร้อยละ 40 เพราะฉะนั้นการตรวจสุขภาพของโรงเรียนจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก และ เมื่อหาความสัมพันธ์จะพบว่าเพศหญิงมีภาวะกระดูกสันหลังคดมากกว่าเพศชายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระดับ .05 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ ปฤสนัย พฤฒิกุล [3] ที่พบว่าเพศอาจจะมีผลต่อการเป็นโรคกระดูกสันหลังคด

ส่วนที่ 3 พฤติกรรมการปฏิบัติตัว

พฤติกรรมการปฏิบัติตัวของกลุ่มตัวอย่างนักเรียนโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) จากการสำรวจพบว่าจากทั้งหมด 150 ราย พบว่ามี ประวัติแบกของหนัก ร้อยละ 80.7

จากการศึกษาพบว่ารูปแบบการถือกระเป๋าและน้ำหนักกระเป๋าไม่มีความสัมพันธ์กับภาวะกระดูกสันหลังคด ซึ่งสอดคล้อง กับการศึกษาของ Baroni และคณะ [11] ซึ่งศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อภาวะกระดูกสันหลังคดในเด็กนักเรียนจำนวน 212 คน พบว่ารูปแบบของการถือกระเป๋าและน้ำหนักกระเป๋าไม่มีความสัมพันธ์กับการมีกระดูกสันหลังคดในเด็กวัยเรียน นอกจากนี้การศึกษาของ Nery และคณะ [12] พบว่าน้ำหนักกระเป๋าไม่มีความสัมพันธ์กับการมีกระดูกสันหลังคดในเด็กวัยเรียน โดยน้ำหนักกระเป๋าที่เหมาะสมในเด็กอายุน้อยกว่า 10 ปี น้ำหนักกระเป๋าไม่ควรเกิน ร้อยละ 5 ของน้ำหนักตัว และในเด็กอายุมากกว่า 10 ปี น้ำหนักกระเป๋าไม่ควรเกิน ร้อยละ 10 ของน้ำหนักตัว ซึ่งการศึกษาครั้งนี้พบว่าน้ำหนักกระเป๋าของ กลุ่มตัวอย่างนี้ อยู่ในระดับที่ไม่เหมาะสม ร้อยละ 80.7 อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ Zurita และคณะ [13] พบว่ารูปแบบของการถือกระเป๋ามีความสัมพันธ์กับภาวะกระดูกสันหลังคดในเด็กวัยเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ผู้ที่ถือกระเป๋าโดยวิธีลากด้านข้าง 1 ด้าน จะมีโอกาสเกิดลักษณะของกระดูกสันหลังคดมากกว่าผู้ที่ถือกระเป๋าโดยวิธีสะพาย 2 ด้าน

ส่วนที่ 4 ความวิตกกังวลและผลกระทบ

กลุ่มเป้าหมาย (N = 150 ราย) ส่วนใหญ่มีระดับความวิตกกังวล ปานกลาง ร้อยละ 33.3 และมีผลกระทบจากภาวะกระดูกสันหลังคด (N = 44 ราย) พบว่า ส่วนใหญ่น้อย ร้อยละ 61.4 รองลงมาปานกลาง ร้อยละ 20.5

ส่วนที่ 5 ผลวิเคราะห์เปรียบเทียบความวิตกกังวลและผลกระทบกับกลุ่มที่พบความผิดปกติ

ผลการศึกษา พบว่า เพศสภาพและระดับผลกระทบจากกระดูกสันหลังคดมีความสัมพันธ์กับกลุ่มที่พบความผิดปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < .05) ส่วนประวัติแบกของหนักไม่มีความสัมพันธ์กับกลุ่มที่พบความผิดปกติ (p-value > .05)

6. ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

จากการศึกษา พบว่า การตรวจสุขภาพประจำตัวที่จัดขึ้นในโรงเรียนมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพราะฉะนั้นควรส่งเสริมให้โรงเรียนจัดกิจกรรมหรือโปรแกรมตรวจสุขภาพนักเรียนอย่างสม่ำเสมอ เพื่อค้นหาภาวะกระดูกสันหลังคดตั้งแต่ระยะแรก และควรมีการติดตามอาการของผู้ที่พบว่ามีภาวะกระดูกสันหลังคด เช่น การตรวจซ้ำทุก 6 เดือน หรือ 1 ปี เป็นต้น เพื่อประเมินอาการและผลกระทบต่อสุขภาพโดยเฉพาะในกลุ่มนักเรียนช่วงอายุ 14-16 ปี ซึ่งเป็นช่วงที่มีการเจริญเติบโตรวดเร็ว (Growth Spurt) และควรมีการฝึกอบรมให้ครูประจำชั้น ครูพยาบาล หรือแกนนำนักเรียน มีความรู้ในการสังเกตลักษณะทางกายภาพเบื้องต้น (เช่น ไหล่สูงต่ำไม่เท่ากัน ระดับสะโพกเอียง เป็นต้น) หรือการใช้แบบประเมินอย่างง่าย เช่น *Adam's Forward Bend Test* เป็นต้น เพื่อส่งต่อแพทย์ได้ทันท่วงที

7. ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

ควรมีการขยายขนาดกลุ่มตัวอย่าง (Sample Size) ให้ใหญ่ขึ้น และเก็บข้อมูลจากหลากหลายโรงเรียน เพื่อให้สามารถเป็นตัวแทนของประชากรนักเรียนวัยรุ่นไทยได้อย่างครอบคลุมมากขึ้น ควรศึกษาระยะยาว (Longitudinal Study) เพื่อติดตามดูการเปลี่ยนแปลงของมุมความคดของกระดูกสันหลัง (Cobb's angle) พฤติกรรมการใช้ชีวิต และผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตที่เปลี่ยนไปตามช่วงอายุ

8. กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก อาจารย์อุทัย ทับทอง ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำปรึกษา และสนับสนุนแนวคิดต่าง ๆ ในการดำเนินงานวิจัยตลอดมาจนเสร็จสิ้น ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

9. เอกสารอ้างอิง

[1] ทินกร ปลื้มวิทยาภรณ์. (2563). *ภาวะกระดูกสันหลังคดในวัยรุ่น*. ราชวิทยาลัยแพทย์ออร์โธปิดิกส์แห่งประเทศไทย. สืบค้นเมื่อ 11 พฤษภาคม 2569. https://sst.rcost.or.th/

[2] รุ่งทิพย์ ดวงแก้ว, วรรณผกา อัตถโชติ, และสมใจ ศิริพงษ์พานิช. (2559). การศึกษาความชุกและความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายและการมีกระดูกสันหลังคดชนิดไม่ทราบสาเหตุในเด็กนักเรียนช่วงอายุระหว่าง 10-15 ปี ในเขตเทศบาลท่าโขลง จังหวัดปทุมธานี. *วารสารกายภาพบำบัด, 38*(3), 115–125.

[3] ปฤสนัย พฤฒิกุล. (2565). *ภาวะกระดูกสันหลังคดในวัยรุ่น: ความชุกและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง*. โรงพยาบาลบำรุงราษฎร์. สืบค้นเมื่อ 11 พฤษภาคม 2569. https://www.bumrungrad.com/

[4] ต่อพงษ์ บุญมาประเสริฐ. (2565). *กระดูกสันหลังคด สรีระที่ไม่ควรมองข้าม*. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. สืบค้นเมื่อ 11 พฤษภาคม 2569. https://www.cmu.ac.th/

[5] Chatchatree, J., Harnphadungkij, K., & Tosayanonda, O. (1996). Prevalence of idiopathic scoliosis in Thai students aged 10-16 years. *Journal of Thai Rehabilitation, 6*(1), 43–46.

[6] National Spine Health Foundation. (2020, June 16). *The genetic basis of adolescent idiopathic scoliosis*. https://spinehealth.org/article/the-genetic-basis-of-adolescent-idiopathic-scoliosis/

[7] Li, M., Nie, Q., Liu, J., & Jiang, Z. (2024). Prevalence of scoliosis in children and adolescents: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Pediatrics, 12*, Article 1399049. https://doi.org/10.3389/fped.2024.1399049

[8] Dou, Q., Zhu, Z., Zhu, L., Wang, W., Guo, L., Ru, S., Chen, X., Yang, L., Lu, C., & Yan, B. (2023). Academic-related factors and daily lifestyle habits associated with adolescent idiopathic scoliosis: a case-control study. *Environmental Health and Preventive Medicine, 28*, Article 23. https://doi.org/10.1265/ehpm.22-00243

[9] วรัญญ์ศิชา ทรัพย์ประเสริฐ, รุ่งรัตน์ ศรีสุริยเวศน์, และพรนภา หอมสินธุ์. (2564). การใช้โปรแกรม G*Power ในการคำนวณขนาดตัวอย่างสำหรับการวิจัยทางการพยาบาล. *วารสารพยาบาลศาสตร์, 39*(2), 23–35.

[10] ศักดิ์ชัย จันทะแสง. (2568). การคำนวณขนาดตัวอย่างด้วยโปรแกรม G*Power สำหรับการวิจัยเชิงปริมาณ. *วารสารวิจัยและพัฒนา, 17*(1), 45–58.

[11] Baroni, M. P., Sanchis, G. J. B., Assis, S. J. C. d., Santos, R. G. d., Pereira, S. L. A., Sousa, K. G., & Lopes, J. M. (2015). Factors associated with scoliosis in schoolchildren: A cross-sectional population-based study. *Journal of Epidemiology, 25*(3), 212–220. https://doi.org/10.2188/jea.JE20140061

[12] Nery, L. S., Halpern, R., Nery, P. C., Nehme, K. P., & Stein, A. T. (2010). Prevalence of scoliosis among school students in a town in southern Brazil. *São Paulo Medical Journal, 128*(2), 69–73. https://doi.org/10.1590/S1516-31802010000200004

[13] Zurita Ortega, F., Fernandez Sanchez, M., Fernandez Garcia, R., Jimenez Schyke, C. E., & Zaleta Morales, L. (2014). Predictors of scoliosis in school-aged children. *Gaceta Médica de México, 150*(6), 533–539.

การเข้าถึงและความต้องการบริการการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุในเขตเทศบาลตำบลนางแล อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย

Accessibility and Demand for Long-Term Care Services Among the Elderly in Nang Lae Subdistrict Municipality, Mueang Chiang Rai District, Chiang Rai Province

ชดาพร วินัยผาสุข[1*] ภัทรวดี เสริมทรัพย์[1] สายฝน สุภาศรี[1] ฐิติมา ทาสุวรรณอินทร์[1] อนัญญา อยู่สวัสดิ์[1]
รวิพรรดิ พูลลาภ[1] และ วรัญญา มณีรัตน์[1]

[1]คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
*E-mail: 661473074@crru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยสำรวจเชิงพรรณนาแบบภาคตัดขวาง (Descriptive Cross-sectional Survey Research) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเข้าถึงและความต้องการบริการการดูแลระยะยาว (LTC) ของผู้สูงอายุในเขตเทศบาลตำบลนางแล อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย โดยใช้กรอบแนวคิดการเข้าถึงบริการสุขภาพของ Andersen เป็นแนวทางในการศึกษา ประชากร คือ ผู้สูงอายุที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไป จำนวน 2,770 คน กลุ่มตัวอย่างจำนวน 385 คน ได้จากการคำนวณด้วยสูตร Taro Yamane และเพิ่มขนาดตัวอย่างร้อยละ 10 เพื่อป้องกันการสูญหายของข้อมูล ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบอาศัยความน่าจะเป็นร่วมกับการสุ่มแบบหลายขั้นตอน (Multi-stage Random Sampling) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเป็นแบบสอบถามที่ผู้วิจัยพัฒนาจากการทบทวนวรรณกรรมและกรอบแนวคิดของ Andersen ประกอบด้วย ข้อมูลส่วนบุคคล ระดับการเข้าถึงบริการการดูแลระยะยาว ความต้องการบริการการดูแลระยะยาว และปัจจัยส่งเสริมและเอื้ออำนวยในการเข้าถึงบริการ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน ผลการวิจัยพบว่า การเข้าถึงบริการการดูแลระยะยาวในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.43, S.D. = 0.71) โดยมิติด้านความสะดวกและสิ่งอำนวยความสะดวกของแหล่งบริการมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด ความต้องการบริการดูแลระยะยาวในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.37, S.D. = 0.69) โดยเน้นการรับรู้ถึงภาวะสุขภาพและภาวะพึ่งพิงมากที่สุด สำหรับปัจจัยส่งเสริมและเอื้ออำนวยภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.33, S.D. = 0.80) มีด้านคุณภาพและระบบบริการสูง ข้อเสนอแนะจากการวิจัยควรพัฒนาระบบบริการ LTC ที่ลดอุปสรรคด้านค่าใช้จ่ายและการเดินทาง ควบคู่กับการยกระดับคุณภาพบริการและการบูรณาการเครือข่ายสุขภาพในท้องถิ่นเพื่อสร้างการเข้าถึงที่ครอบคลุมและยั่งยืน

คำสำคัญ: การเข้าถึงบริการ ความต้องการบริการ การดูแลระยะยาว ผู้สูงอายุ

Abstract

This descriptive cross-sectional survey research aimed to study the accessibility and demand for long-term care (LTC) services among the elderly in Nang Lae Subdistrict Municipality, Mueang Chiang Rai District, Chiang Rai Province, utilizing Andersen's behavioral model of health services use as the conceptual framework. The population comprised 2,770 elderly individuals aged 60 and over. A sample size of 385 was determined using Taro Yamane's formula, with an additional 10% added to prevent data loss, and selected through probability sampling combined with multi-stage random sampling. The research instrument was a questionnaire developed from literature reviews and Andersen's conceptual framework, consisting of personal information, the level of accessibility to long-term care services, the demand for long-term care services, and supporting factors facilitating service access. Data were analyzed using descriptive statistics namely frequency, percentage, mean, and standard deviation and Pearson's correlation coefficient. The findings revealed that overall access to long-term care (LTC) services was at a high level ($\bar{X}$ = 4.43, S.D. = 0.71), with convenience and facilities at service sites having the highest mean score. Overall demand for LTC services was also at a high level ($\bar{X}$ = 4.37, S.D. = 0.69), with the greatest emphasis placed on awareness of health status and dependency. Overall facilitating and enabling factors were at a high level ($\bar{X}$ = 4.33, S.D. = 0.80), with quality and service systems receiving the highest mean score. The study recommends developing LTC service systems that reduce barriers related to costs and transportation, while simultaneously enhancing service quality and integrating local health networks to promote comprehensive and sustainable access to care.

Keywords: Service Access, Service Demand, Long-Term Care, Elderly

1. บทนำ

ประเทศไทยกำลังก้าวเข้าสู่สังคมสูงวัยอย่างสมบูรณ์ (Aged Society) อันเป็นผลจากอัตราการเกิดที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับความก้าวหน้าทางการแพทย์และสาธารณสุขที่ทำให้ประชากรมีอายุยืนยาวขึ้น โดยในปี พ.ศ. 2567 ประเทศไทยมีประชากรอายุ 60 ปีขึ้นไปมากกว่า 14 ล้านคน หรือคิดเป็นประมาณร้อยละ 20 ของประชากรทั้งหมด ส่งผลให้ประเทศไทยเข้าสู่สังคมสูงวัยอย่างสมบูรณ์ และมีแนวโน้มก้าวเข้าสู่สังคมสูงอายุระดับสุดยอด (Super-Aged Society) ในอนาคตอันใกล้ [1], [2] การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างประชากรดังกล่าวส่งผลให้จำนวนผู้สูงอายุที่มีโรคเรื้อรัง ภาวะทุพพลภาพ และภาวะพึ่งพิงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งนำไปสู่ความต้องการบริการดูแลระยะยาว (Long-Term Care: LTC) ที่เพิ่มสูงขึ้น การดูแลระยะยาวเป็นระบบบริการที่มุ่งเน้นการดูแลสุขภาพ การฟื้นฟูสมรรถภาพ การช่วยเหลือกิจวัตรประจำวัน และการสนับสนุนผู้ดูแล เพื่อให้ผู้สูงอายุสามารถดำรงชีวิตอยู่ในชุมชนได้อย่างมีคุณภาพชีวิตที่ดีและมีศักดิ์ศรีความเป็นมนุษย์ [2], [3] จังหวัดเชียงรายเป็นจังหวัดหนึ่งที่กำลังก้าวเข้าสู่สังคมสูงวัยอย่างชัดเจน โดยมีผู้สูงอายุจำนวน 284,877 คน คิดเป็นร้อยละ 24.53 ของประชากรทั้งหมด ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยของประเทศ สะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นในการเตรียมความพร้อมด้านระบบบริการสุขภาพและการดูแลระยะยาวเพื่อรองรับจำนวนผู้สูงอายุที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง [4] เทศบาลตำบลนางแล อำเภอเมืองจังหวัดเชียงราย เป็นพื้นที่ที่มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของประชากรสูงอายุเช่นเดียวกับภาพรวมของจังหวัด โดยหน่วยงานในพื้นที่ได้ดำเนินการส่งเสริมสุขภาพและพัฒนาระบบการดูแลผู้สูงอายุผ่านเครือข่ายบริการสุขภาพและชุมชนอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม ผู้สูงอายุแต่ละรายมีข้อจำกัดด้านสุขภาพ สังคม และเศรษฐกิจที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจส่งผลต่อการเข้าถึงบริการและความต้องการได้รับบริการดูแลระยะยาวที่แตกต่างกันด้วย [5]

ปัญหาและความท้าทายเหล่านี้ทำให้การพัฒนาระบบบริการการดูแลระยะยาวสำหรับผู้สูงอายุเป็นวาระเร่งด่วนของประเทศ โดยมีนโยบายและแผนแม่บทต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง อาทิ แผนผู้สูงอายุแห่งชาติ (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2545-2564 ซึ่งต่อยอดมาเป็นแผนปฏิบัติการด้านผู้สูงอายุระยะยาว และนโยบายดังกล่าวสอดคล้องกับแผนผู้สูงอายุแห่งชาติ ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2545–2564 [6] และมาตรฐานการดำเนินงานด้านผู้สูงอายุขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ซึ่งกำหนดบทบาทของ

องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการจัดบริการและส่งเสริมคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ [7] ช่องว่างขององค์ความรู้และการเติมเต็มด้วยการวิจัยในพื้นที่เฉพาะ มีการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับบริการการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุในประเทศไทยจำนวนมาก อาทิ งานวิจัยของ อรพรรณ พรสีมา และคณะ [8] ที่ศึกษาความต้องการบริการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุติดบ้านติดเตียงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ หรือการศึกษาของ ธิติมา กังวานพงศ์ และคณะ [9] ที่สำรวจปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกใช้บริการดูแลผู้สูงอายุของครอบครัวในเขตกรุงเทพมหานคร นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยในระดับนานาชาติที่ให้ภาพรวมของความท้าทายในการพัฒนาระบบ LTC ในประเทศที่กำลังพัฒนา โดยเฉพาะในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ [10] อย่างไรก็ตาม การศึกษาเฉพาะเจาะจงที่เน้นความต้องการและการเข้าถึงบริการการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุในบริบทของตำบลนางแล อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีลักษณะเฉพาะ ทั้งในเชิงภูมิศาสตร์ สังคม และวัฒนธรรม รวมถึงรูปแบบของระบบบริการสุขภาพในระดับปฐมภูมิที่ทำงานร่วมกับชุมชน ยังมีอยู่อย่างจำกัด การขาดข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับความต้องการที่แท้จริงของผู้สูงอายุในพื้นที่ รวมถึงอุปสรรคและปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเข้าถึงบริการ LTC ทำให้การวางแผนและการพัฒนาระบบบริการในระดับท้องถิ่นยังไม่สามารถตอบสนองความต้องการได้อย่างตรงจุดและมีประสิทธิภาพสูงสุด การวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่มักศึกษาในภาพรวมระดับประเทศ หรือในเขตเมืองใหญ่ ซึ่งบริบทความต้องการและการเข้าถึงบริการอาจแตกต่างจากพื้นที่กึ่งเมืองกึ่งชนบท เช่น ในพื้นที่ชนบท ผู้สูงอายุอาจพึ่งพิงการดูแลจากครอบครัวเป็นหลัก มีข้อจำกัดในการเดินทางเข้าถึงสถานพยาบาล หรือขาดข้อมูลเกี่ยวกับบริการที่มีอยู่ ในขณะที่พื้นที่กึ่งเมืองอาจมีความซับซ้อนทั้งในแง่ของตัวเลือกบริการและค่าใช้จ่าย [11]

ถึงแม้มีการศึกษาการเข้าถึงและความต้องการบริการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุในหลายพื้นที่ แต่ยังมีข้อมูลจำกัดในบริบทของเทศบาลตำบลนางแล ซึ่งมีความแตกต่างระหว่างหมู่บ้านทั้งด้านระยะทางจากสถานบริการ สภาพเศรษฐกิจสังคม และประสบการณ์การรับบริการ จึงยังไม่ทราบอย่างชัดเจนว่าผู้สูงอายุในพื้นที่รับรู้การเข้าถึงบริการและมีความต้องการบริการดูแลระยะยาวในระดับใด รวมทั้งปัจจัยส่วนบุคคล ปัจจัยเอื้ออำนวย และปัจจัยด้านความต้องการตามแบบจำลองพฤติกรรมการใช้บริการสุขภาพของ Andersen มีความสัมพันธ์กับการเข้าถึงบริการหรือไม่ การศึกษาครั้งนี้จึงดำเนินการเพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานสำหรับวางแผนบริการที่สอดคล้องกับบริบทของพื้นที่และความต้องการของผู้สูงอายุ อันจะนำไปสู่การยกระดับคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุในชุมชนอย่างยั่งยืนต่อไป

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระดับการเข้าถึงและปัจจัยเอื้ออำนวยในการรับบริการการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุในเขตเทศบาลตำบลนางแล อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย
2. เพื่อสำรวจประเภทและความต้องการบริการการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุในเขตเทศบาลตำบลนางแล อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาความต้องการและการเข้าถึงบริการ การดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุ ตำบลนางแล อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีเนื้อหาครอบคลุมในหัวข้อต่อไปนี้

1. ทฤษฎีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเข้าสู่วัยผู้สูงอายุ
2. ความหมายของสุขภาพ
3. ความหมายการเข้าถึงบริการสุขภาพ
4. แนวคิดการดูแลระยะยาว
5. แนวคิดการบริการสุขภาพ
6. ทฤษฎีการเข้าถึงบริการดูแลระยะยาวของ Anderson
7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4. วิธีดำเนินการศึกษา/วิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจแบบภาคตัดขวาง (cross-sectional descriptive survey research) เพื่อศึกษาระดับการเข้าถึง ความต้องการ และปัจจัยเอื้ออำนวยในการเข้าถึงบริการการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุในเขตเทศบาลตำบลนางแล อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย โดยมีรายละเอียดการดำเนินงานดังนี้

ประชากร คือ ผู้สูงอายุที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไป ทั้งเพศชายและเพศหญิง จำนวน 2,770 คน (ข้อมูลเมื่อวันที่ 4 สิงหาคม 2568 จากเว็บข้อมูลของกระทรวงสาธารณสุข)

กลุ่มตัวอย่าง คัดเลือกจากสูตร Taro Yamane กำหนดความคลาดเคลื่อน 0.05 ดังนี้

$$n = \frac{N}{1+Ne^2}$$

เมื่อ n = จำนวนกลุ่มตัวอย่าง

N = จำนวนประชากรทั้งหมด

e = ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ยอมรับได้ มีค่าเท่ากับ (0.05)

แทนค่าได้ ดังนี้ $$n = \frac{2,770}{1+2,770(0.05)^2}$$

$$n = \frac{2,770}{7.9}$$

$$n = 349.53 \text{ คน}$$

ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 350 คน แต่เพื่อให้เกิดความสมบูรณ์ของข้อมูลมากขึ้น ผู้วิจัยเพิ่มขนาดของกลุ่มตัวอย่าง 10% เพื่อป้องกันการสูญหายจากการวิจัย เป็นจำนวน 35 คน รวมทั้งหมด 385 คน โดยใช้การสุ่มตัวอย่างแบบอาศัยความน่าจะเป็น (Probability Sampling) และการสุ่มแบบหลายขั้นตอน (Multi-stage Random Sampling) ดังนี้

ขั้นที่ 1 สุ่มแบบแบ่งกลุ่ม โดยจำแนกหมู่บ้านเป็น 3 ชั้นตามขนาดประชากรสูงอายุ ในแต่ละหมู่บ้านเป็นขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ดังนี้

ช่วงระดับ	จำนวน
103-163 (ขนาดเล็ก)	11
164-224 (ขนาดกลาง)	5
225-285 (ขนาดใหญ่)	1

ขั้นที่ 2 สุ่มหมู่บ้านจาก 17 หมู่บ้าน โดยการสุ่มอย่างง่าย จากการจับฉลากหมู่บ้านตามขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่มากลุ่มละ 1 หมู่บ้าน และใช้สูตรการคำนวณสัดส่วน โดยเทียบกับจำนวนกลุ่มประชากร หลังจากนั้นทำการสุ่มแบบเป็นระบบจากทะเบียนผู้สูงอายุในแต่ละหมู่บ้านเพื่อให้ได้กลุ่มตัวอย่างตามต้องการที่กำหนด โดยแบ่งตามสัดส่วน ดังนี้

ขนาดหมู่บ้าน	ชื่อหมู่บ้าน	จำนวน	จำนวนกลุ่มตัวอย่าง
ขนาดเล็ก	ใหม่ม่วงคำ	114	71
ขนาดกลาง	ป่าซางวิวัฒน์	223	138
ขนาดใหญ่	แม่ปูคา	284	176
รวมทั้งหมด		**621**	**385**

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลเป็นแบบสอบถาม (Questionnaire) ที่ผู้ศึกษาสร้างขึ้นจากการทบทวนวรรณกรรมและกรอบแนวคิดของ Anderson แบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลัก ได้แก่

ส่วนที่ 1 แบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลปัจจัยส่วนบุคคล (ข้อมูลทั่วไป ภาวะสุขภาพ และสิทธิการรักษา)

ส่วนที่ 2 แบบสอบถามระดับการเข้าถึงบริการการดูแลระยะยาว 5 มิติ (ลักษณะมาตรประมาณค่า 5 ระดับ)

ส่วนที่ 3 แบบสอบถามระดับความต้องการบริการการดูแลระยะยาว (ลักษณะมาตรประมาณค่า 5 ระดับ) และประเภทบริการที่ต้องการ

ส่วนที่ 4 แบบสอบถามปัจจัยส่งเสริมและเอื้ออำนวยในการเข้าถึงบริการ 4 ด้าน

การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ แบบสอบถามผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) โดยผู้เชี่ยวชาญ ได้ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) อยู่ระหว่าง 0.67–1.00 และนำไปทดสอบความเชื่อมั่น (Reliability) ได้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha Coefficient) ส่วนที่ 2 แบบสอบถามระดับการเข้าถึงบริการการดูแลระยะยาว อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ทางสถิติ 0.852 ส่วนที่ 3 แบบสอบถามระดับความต้องการบริการการดูแลระยะยาว อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ทางสถิติ 0.717 และส่วนที่ 4 แบบสอบถามปัจจัยส่งเสริมและเอื้ออำนวยในการเข้าถึงบริการ อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ทางสถิติ 0.700

การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัยที่ผ่านการอบรมร่วมกันลงพื้นที่ภาคสนามเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างในชุมชนตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2568 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2569 จากนั้นนำข้อมูลมาประมวลผลและวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ โดยใช้ สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ได้แก่ การแจกแจงความถี่ (Frequency) ค่าร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย $\bar{x}$ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เพื่ออธิบายลักษณะตัวแปรหลัก แปลผลค่าเฉลี่ยตามเกณฑ์มาตรประมาณค่าความเหมาะสม

5. ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างผู้สูงอายุในเขตเทศบาลตำบลนางแล จำนวน 385 คน ผู้วิจัยขอเสนอผลการศึกษาในส่วนของระดับการเข้าถึงและความต้องการบริการการดูแลระยะยาว ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ผลการวิเคราะห์ระดับการเข้าถึงบริการการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุผลการศึกษา พบว่า การเข้าถึงบริการการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุในเขตเทศบาลตำบลนางแล ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$= 4.43, S.D. = 0.71) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านความสะดวกและสิ่งอำนวยความสะดวกของแหล่งบริการ มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด ($\bar{x}$= 4.53, S.D. = 0.61) รองลงมา ได้แก่ ด้านการเข้าถึงแหล่งบริการ ($\bar{x}$= 4.52, S.D. = 0.60) และพบว่า ด้านความสามารถของผู้รับบริการในการเสียค่าใช้จ่ายสำหรับบริการ มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด อยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$= 4.26, S.D. = 0.95) รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับการเข้าถึงบริการการดูแลระยะยาว จำแนกรายด้าน (n = 385)

การเข้าถึงบริการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุ รายด้าน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับการเข้าถึงบริการ
1.ด้านความพอเพียงของบริการที่มีอยู่	4.34	0.81	มาก
2.ด้านการเข้าถึงแหล่งบริการ	4.52	0.60	มากที่สุด
3.ด้านความสะดวกและสิ่งอำนวยความสะดวกของแหล่งบริการ	4.53	0.61	มากที่สุด
4.ด้านความสามารถของผู้รับบริการในการเสียค่าใช้จ่ายสำหรับบริการ	4.26	0.95	มาก
5.ด้านการยอมรับในคุณภาพของบริการ	4.50	0.62	มากที่สุด
รวม	**4.43**	**0.71**	**มาก**

ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยระดับการเข้าถึงบริการการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุ พบว่า การเข้าถึงบริการการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุในเขตเทศบาลตำบลนางแล ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$= 4.43, S.D. = 0.71) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า ข้อการเดินทางไปยังสถานพยาบาลที่ใกล้ที่สุดมีความสะดวกต่อการเข้ารับบริการดูแลระยะยาว มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด ($\bar{x}$= 4.64, S.D. = 0.56) รองลงมา ได้แก่ ข้อ คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้บริการสุขภาพ และการดูแลระยะยาวที่ตรงกับความต้องการของท่าน จะทำให้ท่านดูแลสุขภาพได้ดีขึ้น ($\bar{x}$= 4.63, S.D. = 0.54) และพบว่า ข้อค่าใช้จ่ายด้านสุขภาพเป็นอุปสรรคสำคัญที่ทำให้ท่านไม่สามารถเข้าถึงการรักษาพยาบาล มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด อยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$= 4.05, S.D. = 1.11) รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการเข้าถึงบริการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุ รายข้อ (n = 385)

การเข้าถึงบริการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับการเข้าถึงบริการ
ด้านความพอเพียงของบริการที่มีอยู่	**4.34**	**0.81**	**มาก**
1.บริการดูแลระยะยาวในพื้นที่ของท่านสามารถตอบสนองต่อความต้องการด้านการรักษาพยาบาลได้อย่างทันท่วงที	4.44	0.61	มาก
2.จำนวนบุคลากรทางการแพทย์ (แพทย์ พยาบาล นักวิชาการสาธารณสุข) ในพื้นที่ของท่านเพียงพอต่อความต้องการของประชาชน	4.45	0.74	มาก
3.สถานบริการดูแลระยะยาวมีบุคลากรทางการแพทย์ไม่เพียงพอ ทำให้ผู้รับบริการรอนาน และได้รับการดูแลไม่ทั่วถึง*	4.14	1.09	มาก
ด้านการเข้าถึงแหล่งบริการ	**4.52**	**0.60**	**มากที่สุด**
1.การเดินทางไปยังสถานพยาบาลที่ใกล้ที่สุดมีความสะดวกต่อการเข้ารับบริการดูแลระยะยาว	4.64	0.56	มากที่สุด
2.การเข้าถึงข้อมูลเกี่ยวกับสิทธิ และแหล่งบริการสุขภาพที่มีในพื้นที่ของท่านมีความชัดเจนและเข้าใจง่าย	4.49	0.57	มาก
3.สถานบริการดูแลระยะยาวที่ใกล้บ้านช่วยให้ท่านสามารถเดินทางไปสถานบริการด้วยตนเองได้	4.45	0.69	มาก
ด้านความสะดวกและสิ่งอำนวยความสะดวกของแหล่งบริการ	**4.53**	**0.61**	**มากที่สุด**
1.สถานที่ให้บริการสุขภาพ และการดูแลระยะยาวควรมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมและมีสิ่งอำนวยความสะดวกที่จำเป็น	4.46	0.68	มาก
2.ผู้สูงอายุที่เข้าถึงข้อมูลเกี่ยวกับบริการสุขภาพ และการดูแลระยะยาวได้อย่างสะดวกและถูกต้อง จะทำให้ท่านดูแลสุขภาพได้ดี	4.51	0.62	มากที่สุด
3.คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้บริการสุขภาพ และการดูแลระยะยาวที่ตรงกับความต้องการของท่าน จะทำให้ท่านดูแลสุขภาพได้ดีขึ้น	4.63	0.54	มากที่สุด
ด้านความสามารถของผู้รับบริการในการเสียค่าใช้จ่ายสำหรับบริการ	**4.26**	**0.95**	**มาก**
1.ค่าบริการสุขภาพในปัจจุบันเหมาะสมกับคุณภาพการรักษาที่ได้รับ	4.51	0.71	มากที่สุด
2.ค่าใช้จ่ายด้านสุขภาพเป็นอุปสรรคสำคัญที่ทำให้ท่านไม่สามารถเข้าถึงการรักษาพยาบาล*	4.05	1.11	มาก
3.ภาวะเศรษฐกิจปัจจุบันส่งผลกระทบต่อความสามารถในการจ่ายค่ารักษาพยาบาลของท่าน	4.23	1.05	มาก

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการเข้าถึงบริการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุ รายข้อ (n = 385) (ต่อ)

ด้านการยอมรับในคุณภาพของบริการ	4.50	0.62	มากที่สุด
1.การบริการที่มีความรวดเร็วและเป็นไปตามขั้นตอน ทำให้ท่านมีความมั่นใจในการรักษา	4.40	0.67	มาก
2.ความเชี่ยวชาญของผู้ให้บริการสุขภาพมีผลต่อความมั่นใจในการใช้บริการของท่าน	4.53	0.61	มากที่สุด
3.สถานบริการที่มีความสะอาด ความพร้อมของอุปกรณ์ทำให้ท่านรู้สึกมั่นใจในการรักษา	4.59	0.59	มากที่สุด
รวม	**4.43**	**0.71**	**มาก**

หมายเหตุ : * ข้อคำถามเชิงลบซึ่งกลับคะแนนก่อนคำนวณคะแนนรวม

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับความต้องการการบริการดูแลระยะยาว โดยรวมมีระดับการรับรู้อยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.37, S.D. = 0.69) โดยพบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีความต้องการการบริการดูแลระยะยาวที่มีคะแนนเฉลี่ยสูงที่สุด คือด้านการรับรู้ถึงภาวะสุขภาพและภาวะพึ่งพิง ($\bar{X}$ = 4.48, S.D. = 0.57) รองลงมาคือ ด้านการรับรู้ถึงความจำเป็นในการใช้บริการสุขภาพและการดูแลระยะยาวในสถานะการณ์ต่าง ๆ ($\bar{X}$ = 4.35, S.D. = 0.73) และน้อยที่สุด คือ ด้านปัจจัยที่ส่งผลต่อความจำเป็นในการใช้บริการ ($\bar{X}$ = 4.28, S.D. = 0.78) รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และความต้องการการบริการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุจำแนกรายด้าน (n = 385)

ความต้องการการบริการดูแลระยะยาวรายด้าน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับความต้องการ
1.ด้านการรับรู้ถึงภาวะสุขภาพและภาวะพึ่งพิง	4.48	0.57	มาก
2.ด้านการรับรู้ถึงความจำเป็นในการใช้บริการสุขภาพและการดูแลระยะยาวในสถานการณ์ต่าง ๆ	4.35	0.73	มาก
3.ด้านปัจจัยที่ส่งผลต่อความจำเป็นในการใช้บริการ	4.28	0.78	มาก
รวม	**4.37**	**0.69**	**มาก**

ผลการวิเคราะห์ความต้องการการบริการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุ ผลการศึกษา พบว่า ความต้องการการบริการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุในเขตเทศบาลตำบลนางแล ในภาพรวมอยู่ใน ระดับมาก ($\bar{x}$= 4.37, S.D. = 0.69) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า ข้อการมีภาวะพึ่งพิงเป็นเรื่องปกติที่เกิดขึ้นได้ในอนาคต มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด ($\bar{x}$= 4.59, S.D. = 0.55) รองลงมา ได้แก่ ข้อ การใช้บริการสุขภาพ และการดูแลระยะยาวช่วยลดความเครียดและภาระของผู้ดูแลหลัก ($\bar{x}$= 4.48, S.D. = 0.58) และข้อ ค่าใช้จ่ายของบริการสุขภาพ และการดูแลระยะยาวมีผลต่อการตัดสินใจของท่าน ค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$= 3.91, S.D. = 1.05) รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และความต้องการการบริการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุ รายข้อ (n = 385)

ความต้องการการบริการดูแลระยะยาวรายข้อ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับความต้องการ
ด้านการรับรู้ถึงภาวะสุขภาพและภาวะพึ่งพิง	**4.48**	**0.57**	**มาก**
1.เมื่ออายุมากขึ้นอาจมีความเสี่ยงที่จะเกิดโรคที่ทำให้ต้องพึ่งพาผู้อื่น	4.41	0.66	มาก
2.การมีโรคประจำตัว ทำให้ต้องได้รับการดูแลอย่างต่อเนื่อง	4.44	0.50	มาก
3.การมีภาวะพึ่งพิงเป็นเรื่องปกติที่เกิดขึ้นได้ในอนาคต	4.59	0.55	มากที่สุด
ด้านการรับรู้ถึงความจำเป็นในการใช้บริการสุขภาพและการดูแลระยะยาวในสถานะการณ์ต่าง ๆ	**4.35**	**0.73**	**มาก**
1.การช่วยเหลือในการอาบน้ำ แต่งตัว หรือรับประทานอาหาร ท่านคิดว่าจำเป็นต้องใช้บริการสุขภาพ และการดูแลระยะยาว	4.22	0.93	มาก
2.หากไม่สามารถทำกิจกรรมใด ๆ ได้ด้วยตนเองเลย (ติดเตียง) ท่านคิดว่าจำเป็นต้องใช้บริการสุขภาพ และการดูแลระยะยาว	4.37	0.71	มาก
3.การให้ผู้เชี่ยวชาญดูแลสุขภาพเป็นเรื่องที่จำเป็น	4.47	0.55	มาก
ด้านปัจจัยที่ส่งผลต่อความจำเป็นในการใช้บริการ	**4.28**	**0.78**	**มาก**
1.ค่าใช้จ่ายของบริการสุขภาพ และการดูแลระยะยาวมีผลต่อการตัดสินใจของท่าน	3.91	1.05	มาก
2.ผู้ดูแลที่ได้รับการฝึกอบรมเฉพาะทางมีความจำเป็นในการดูแล	4.45	0.71	มาก
3.การใช้บริการสุขภาพ และการดูแลระยะยาวช่วยลดความเครียดและภาระของผู้ดูแลหลัก	4.48	0.58	มาก
รวม	**4.37**	**0.69**	**มาก**

ผลการวิเคราะห์ ความต้องการการบริการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุ ด้านประเภทของบริการดูแลระยะยาวที่ต้องการ พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ต้องการการดูแลสุขภาพเบื้องต้น/ตรวจสุขภาพทั่วไป จำนวน 264 คน คิดเป็นร้อยละ 69.3 มีความไม่ต้องการบริการสุขภาพด้านกิจวัตรประจำวัน จำนวน 128 คน คิดเป็นร้อยละ 33.6 ต้องการกิจกรรมนันทนาการ/สันทนาการ จำนวน 108 คน คิดเป็นร้อยละ 28.1 ต้องการรับการบริการดุแลที่บ้าน จำนวน 133 คน คิดเป็นร้อยละ 34.5 และมีความต้องการให้ตนเองเป็นผู้ประเมินความจำเป็นในการได้รับบริการสุขภาพ จำนวน 205 คน คิดเป็นร้อยละ 53.2 รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงจำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่างความต้องการการบริการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุ รายข้อ ด้านประเภทของบริการดูแลระยะยาวที่ต้องการ (n = 385)

ความต้องการการบริการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุ จำแนกด้านประเภทของบริการดูแลระยะยาวที่ต้องการ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
1.ท่านต้องการบริการดูแลสุขภาพประเภทใดมากที่สุด	**385**	**100.00**
-การดูแลสุขภาพเบื้องต้น/ตรวจสุขภาพทั่วไป	264	69.3
-การทำกายภาพบำบัด/ฟื้นฟูสมรรถภาพ	28	7.3
-การพยาบาลที่บ้าน (เช่น ทำแผล ฉีดยา)	76	19.9
-การให้คำปรึกษาด้านสุขภาพจิต	2	0.5
-การจัดการยา	2	0.5
-ไม่ต้องการบริการด้านสุขภาพเป็นพิเศษ	9	2.4
-อื่น ๆ ได้แก่ มีความสำคัญทั้งหมด	4	1.0
2.ท่านต้องการบริการช่วยเหลือด้านกิจวัตรประจำวันประเภทใดมากที่สุด	**385**	**100.00**
-การช่วยเหลือเรื่องการอาบน้ำ/สุขอนามัยส่วนตัว	67	17.6
-การช่วยเหลือเรื่องการแต่งตัว	39	10.2
-การช่วยเหลือเรื่องการเตรียมอาหาร/การรับประทานอาหาร	112	29.4
-การช่วยเหลือเรื่องการเข้าห้องน้ำ/การขับถ่าย	17	4.5
-การช่วยเหลือเรื่องการเคลื่อนย้ายตัว/การลุกนั่ง	18	4.7
-ไม่ต้องการบริการด้านสุขภาพเป็นพิเศษ	128	33.6
-อื่น ๆ ได้แก่ มีความสำคัญทั้งหมด	4	1.0
3.ท่านต้องการบริการทางสังคมหรือกิจกรรมบำบัดประเภทใดมากที่สุด	**385**	**100.00**
-กิจกรรมนันทนาการ/สันทนาการ (เช่น ร้องเพลง เล่นดนตรี หัตถกรรม)	108	28.1
-กิจกรรมกลุ่มเพื่อพูดคุยแลกเปลี่ยนประสบการณ์	55	14.3
-กิจกรรมออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุ	147	38.3
-การเรียนรู้/อบรมทักษะใหม่ ๆ	33	8.6
-การไปเยี่ยมบ้านโดยอาสาสมัคร/เจ้าหน้าที่	34	8.9
-ไม่ต้องการบริการด้านสุขภาพเป็นพิเศษ	7	1.8
-อื่น ๆ ได้แก่ มีความสำคัญทั้งหมด	1	0.3
4.โดยรวมแล้ว หากท่านสามารถเลือกได้ ท่านต้องการรับบริการสุขภาพ และการดูแลระยาวในรูปแบบใด	**385**	**100.00**
-บริการดูแลที่บ้าน (Home-based care)	133	34.5
-บริการดูแลแบบไปเช้าเย็นกลับ (Day care center)	98	25.5
-บริการดูแลในสถานพักฟื้น/สถานดูแลผู้สูงอายุ (Residential care/Nursing home)	47	12.2
-บริการให้คำปรึกษาและข้อมูลเท่านั้น	52	13.5
-ไม่แน่ใจ/ไม่มีความต้องการเฉพาะเจาะจง	55	14.3

ตารางที่ 5 แสดงจำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่างความต้องการการบริการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุ รายข้อ ด้านประเภทของบริการดูแลระยะยาวที่ต้องการ (n = 385) (ต่อ)

5.ท่านคิดว่าควรให้ใครเป็นผู้ประเมินความจำเป็นในการได้รับบริการสุขภาพ และการดูแลระยาวของท่าน	**385**	**100.00**
ความต้องการการบริการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุจำแนกด้านประเภทของบริการดูแลระยะยาวที่ต้องการ	**จำนวน (คน)**	**ร้อยละ**
-ตนเอง	205	53.2
-สมาชิกในครอบครัว/ผู้ดูแล	171	44.4
-แพทย์/พยาบาล	129	33.5
-อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.)	42	10.9
-เจ้าหน้าที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น	3	0.8

6. การอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาความต้องการและการเข้าถึงบริการการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุในเขตเทศบาลตำบลนางแล อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย สามารถนำประเด็นสำคัญมาอภิปรายผลตามกรอบแนวคิดทฤษฎีระบบบริการสุขภาพของ Anderson ได้ดังนี้

การเข้าถึงบริการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุของผู้สูงอายุ

ผลการศึกษาโดยรวมมีระดับการเข้าถึงบริการสุขภาพอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.43, S.D. = 0.71) โดยพบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีการเข้าถึงบริการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุที่มีคะแนนเฉลี่ยสูงที่สุดคือด้านความสะดวกและสิ่งอำนวยความสะดวกของแหล่งบริการ ($\bar{X}$ = 4.53, S.D. = 0.61) รองลงมาคือ ด้านการเข้าถึงแหล่งบริการ ($\bar{X}$ = 4.52, S.D. = 0.60) และการเข้าถึงบริการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุที่มีคะแนนเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ ด้านความสามารถของผู้รับบริการในการเสียค่าใช้จ่ายสำหรับบริการ ($\bar{X}$ = 4.26, S.D. = 0.95) ตามลำดับ ซึ่งเมื่อวิเคราะห์รายข้อ พบว่า ข้อที่ผู้สูงอายุให้คะแนนสูงสุดคือการเดินทางไปยังสถานพยาบาลที่ใกล้ที่สุดมีความสะดวกต่อการเข้ารับบริการดูแลระยะยาว ($\bar{X}$ = 4.64, S.D. = 0.56) สอดคล้องกับงานวิจัยของ อธิษฎ์ เชิดไชย และคณะ [12] ที่ศึกษา ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเข้าถึงบริการสุขภาพของผู้สูงอายุในเขตรับผิดชอบ รพ.สต.ศิรษะละเลิง จังหวัดนครราชสีมา ที่พบว่าผู้สูงอายุส่วนใหญ่มีการเข้าถึงบริการสุขภาพในภาพรวมอยู่ในระดับมากเช่นกัน ซึ่งระบบสาธารณสุขพื้นฐานในระดับปฐมภูมิ (รพ.สต.) และการบริหารจัดการขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (เทศบาลตำบลนางแล) มีประสิทธิภาพสูงในการกระจายบริการและจัดสภาพแวดล้อมทางกายภาพที่เอื้อต่อการเข้ารับบริการของกลุ่มเป้าหมายในพื้นที่

เมื่อพิจารณาข้อจำกัด พบว่า ด้านความสามารถของผู้รับบริการในการเสียค่าใช้จ่ายสำหรับบริการ มีคะแนนเฉลี่ยต่ำที่สุด ($\bar{X}$ = 4.26, S.D. = 0.95) แต่เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่า ค่าใช้จ่ายด้านสุขภาพเป็นอุปสรรคสำคัญที่ทำให้ไม่สามารถเข้าถึงการรักษาพยาบาล ($\bar{X}$ = 4.05, S.D. = 1.11) ภาพรวมอยู่ในระดับมาก แต่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูงแสดงให้เห็นถึงความแปรปรวนในกลุ่มผู้สูงอายุ ซึ่งสอดคล้องกับผลการประเมินเชิงระบบของ สุภัทรา ศรีวณิชชากร และคณะ [13] ที่พบว่าแม้กลไกการดูแลระยะยาว (Long-term Care) ในระดับชุมชนจะสามารถจัดบริการพื้นฐานได้อย่างทั่วถึง แต่ในทางปฏิบัติครอบครัวของผู้สูงอายุยังคงต้องแบกรับค่าใช้จ่ายทางอ้อม (Indirect costs) และค่าวัสดุอุปกรณ์สิ้นเปลืองที่จำเป็นนอกเหนือสิทธิประโยชน์ ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อผู้สูงอายุกลุ่มที่มีรายได้น้อย เช่นเดียวกับ นภชา สิงหรา ณ อยุธยา และ ศศิพัฒน์ ยอดมงคล [14] ที่อธิบายว่า ความมั่นคงทางการเงินของครัวเรือนเป็นปัจจัยเชิงโครงสร้างสำคัญในการกำหนดระดับและคุณภาพของการเข้าถึงบริการ และสอดคล้องกับ ศิรินภา ชาลีเจริญ และคณะ [15] ที่พบว่า ท่ามกลางการพัฒนาความพร้อมของแหล่งบริการโดยกองทุนสุขภาพท้องถิ่น มิติด้านความสามารถในการจ่าย (Affordability) ยังคงเป็นจุดเปราะบางที่สุดเนื่องจากโครงสร้างรายได้ของผู้สูงอายุในชนบทยังคงพึ่งพิงเงินช่วยเหลือภายนอกเป็นหลัก ข้อค้นพบในจุดนี้จึงเป็นข้อมูลเชิงประจักษ์ที่สำคัญสำหรับหน่วยงานสาธารณสุขและท้องถิ่นในการพิจารณาออกแบบมาตรการสนับสนุนทางสังคมและการคลังสุขภาพ เพื่อลดภาระค่าใช้จ่ายแฝงและสร้างความเท่าเทียมในการเข้าถึงบริการดูแลระยะยาวอย่างยั่งยืน

ความต้องการการบริการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุ

ความต้องการบริการดูแลระยะยาวในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.37, S.D. = 0.69) โดย ด้านการรับรู้ถึงภาวะสุขภาพและภาวะพึ่งพิง มีคะแนนเฉลี่ยสูงที่สุด ($\bar{X}$ = 4.48, S.D. = 0.57) และเมื่อพิจารณารายข้อ พบว่า ข้อการมีภาวะพึ่งพิงเป็นเรื่องปกติที่เกิดขึ้นได้ในอนาคต มีคะแนนเฉลี่ยสูงสุด ($\bar{X}$ = 4.59, S.D. = 0.55) สอดคล้องกับแนวคิดปัจจัยด้านความต้องการ (Need Factors) ของแอนเดอร์สัน [16] และยังสอดคล้องกับ การศึกษาของ ศิริพร สุวรรณศรี และคณะ [17] ซึ่งอธิบายว่า การตระหนักรู้และความเข้าใจต่อความเสี่ยงในภาวะพึ่งพิงของตนเอง เป็นแรงขับเคลื่อนภายในที่สำคัญที่ทำให้เกิดความต้องการบริการ

นอกจากนี้ ผลการศึกษาด้านประเภทบริการที่ต้องการ พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ต้องการการดูแลสุขภาพเบื้องต้น/ตรวจสุขภาพทั่วไป สูงที่สุดถึงร้อยละ 69.3 รองลงมาคือ บริการดูแลที่บ้าน (Home-based care) ร้อยละ 34.5 ซึ่งสอดรับกับวิถีชีวิตดั้งเดิมของผู้สูงอายุที่ต้องการพำนักและได้รับการดูแลในถิ่นที่อยู่เดิมของตนเองมากกว่าการย้ายไปสถานพักฟื้นภายนอก สอดคล้องกับการศึกษาของ นงนุช ใจชื่น และคณะ [18] ที่ศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการใช้บริการสุขภาพของผู้สูงอายุในชุมชน พบว่าการรับรู้ภาวะสุขภาพและความจำเป็นในการรักษามีความสัมพันธ์เชิงบวกกับพฤติกรรมการเข้ารับบริการอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < .05$) โดยผู้สูงอายุที่ตระหนักถึงความเสี่ยงต่อการพึ่งพิงมีแนวโน้มใช้บริการต่อเนื่องมากกว่า อีกทั้งผลยังสอดคล้องกับ การศึกษาของ ศิริพร สุวรรณศรี และคณะ [17] ที่ศึกษาความต้องการและปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเข้าถึงบริการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุในชุมชน พบว่าปัจจัยด้านการรับรู้สุขภาพและระดับการพึ่งพิงมีความสัมพันธ์กับความต้องการบริการดูแลระยะยาว โดยผู้สูงอายุที่ประเมินสุขภาพตนเองต่ำหรือมีข้อจำกัดในการทำกิจวัตรประจำวัน จะมีความต้องการใช้บริการดูแลระยะยาวสูง ซึ่งสอดคล้องกับผลในด้าน การรับรู้ภาวะสุขภาพและภาวะพึ่งพิง ($\bar{X}$ = 4.48, S.D. = 0.57) และยังสอดรับกับผลการศึกษาของ พัชราภรณ์ ตันเจริญ และคณะ [19] ที่ยืนยันว่า การรับรู้ภาวะสุขภาพและความบกพร่องในการดำเนินชีวิตประจำวันเป็นปัจจัยขับเคลื่อนภายใน (Need Factors) ที่กระตุ้นให้ผู้สูงอายุและผู้ดูแลแสวงหาและก้าวเข้าสู่ระบบบริการดูแลระยะยาวอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ผู้ที่เกี่ยวข้องกับระบบบริการสาธารณสุขควรจะรณรงค์การปฏิบัติเชิงป้องกันโรค อบรมการดูแลผู้สูงอายุให้กับคนในชุมชน เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการของภาครัฐทั้งในด้านค่ารักษา ค่ายา ค่าอุปกรณ์ทางการแพทย์ ตลอดจนจำนวนบุคลากรทางการแพทย์ที่ปันจุบันมีอยู่อย่างจำกัด

จากการศึกษาการเข้าถึงและความต้องการบริการการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุในตำบลนางแล อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย พบว่าผู้สูงอายุให้ความสำคัญกับการเข้าถึงบริการดูแลระยะยาวอยู่ในระดับมาก และความต้องการบริการดูแลระยะยาวอยู่ในระดับมาก แต่ความสามารถในการรับภาระค่าใช้จ่าย และความสะดวกในการเดินทางไปยังแหล่งบริการยังคงเป็นข้อจำกัดหลัก

7. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการศึกษาเชิงคุณภาพโดยการสัมภาษณ์เชิงลึก หรือการสนทนากลุ่ม ในกลุ่มผู้สูงอายุที่มีรายได้น้อยหรือกลุ่มที่ไม่สามารถเข้าถึงบริการ เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงบริบทและอุปสรรคในเชิงลึก

2. ควรขยายขอบเขตการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างเทศบาลตำบลนางแลกับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นอื่นที่มีบริบทต่างออกไป เพื่อศึกษาปัจจัยเชิงระบบและการบริหารจัดการท้องถิ่นที่ส่งผลต่อรูปแบบการเข้าถึงบริการ LTC ที่แตกต่างกัน

8. กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก อาจารย์ที่ปรึกษา/ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการศึกษา คณะผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ ที่นี้ เทศบาลตำบลนางแล อำเภอเมือง จังหวัดเชียงรายที่ได้สนับสนุนข้อมูลและความร่วมมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการวิจัย ตลอดจนบุคคลในครอบครัวและเพื่อน ๆ ที่คอยให้กำลังใจและช่วยเหลือสนับสนุนในทุกด้านมาโดยตลอดคุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากรายงานวิจัยฉบับนี้ คณะผู้ศึกษาขอมอบเป็นเครื่องระลึกถึงพระคุณของบุพการี ครูบาอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

9. เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2567).*รายงานการสำรวจประชากรสูงอายุในประเทศไทย พ.ศ. 2567*. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานสถิติแห่งชาติ. สืบค้น 15 มิถุนายน 2569, จาก https://www.nso.go.th

[2] กรมกิจการผู้สูงอายุ. (2567). *รายงานสถานการณ์ผู้สูงอายุไทย พ.ศ. 2567*. กรุงเทพมหานคร: กรมกิจการผู้สูงอายุ กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์. สืบค้น 13 มิถุนายน 2569 จาก https://www.dop.go.th

[3] กรมอนามัย. (2566). *คู่มือการดำเนินงานระบบการดูแลระยะยาวด้านสาธารณสุขสำหรับผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิง (Long-Term Care).* นนทบุรี: กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. สืบค้น 13 มิถุนายน 2569 จาก https://ltc.anamai.moph.go.th

[4] สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย. (2567). รายงานข้อมูลประชากรผู้สูงอายุและสถานการณ์สุขภาพผู้สูงอายุจังหวัดเชียงราย ปีงบประมาณ 2567. เชียงราย: สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย. สืบค้น 15 มิถุนายน 2569, จาก https://cro.moph.go.th

[5] เทศบาลตำบลนางแล. (2567). ข้อมูลพื้นฐานและสถานการณ์ผู้สูงอายุในเขตเทศบาลตำบลนางแล อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย. เชียงราย: เทศบาลตำบลนางแล. สืบค้น 15 มิถุนายน 2569, จาก https://www.nanglae.go.th

[6] กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์, สำนักงานส่งเสริมและพิทักษ์ผู้สูงอายุ. (2545). แผนผู้สูงอายุแห่งชาติ ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2545-2564). โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.

[7] กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น. (2560). *มาตรฐานการดำเนินงานด้านผู้สูงอายุขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น*. กรุงเทพมหานคร: กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น. สืบค้น 13 มิถุนายน 2569 จาก https://www.dla.go.th

[8] อรพรรณ พรสีมา, และคณะ. (2561). ความต้องการบริการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุติดบ้านติดเตียงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. *วารสารพยาบาลสาธารณสุข*, *32*(3), 45–58.

[9] ธิติมา กังวานพงศ์, และคณะ. (2564). ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกใช้บริการดูแลผู้สูงอายุของครอบครัวในเขตกรุงเทพมหานคร. *วารสารการพยาบาลและสุขภาพ, 15*(2), 78–91.

[10] Petchuay, R. (2021). Long-Term Care System Development in Southeast Asia. *Journal of Aging and Social Policy*, 33(4), 325-340.

[11] กระทรวงสาธารณสุข. (2565). แผนการดูแลผู้สูงอายุระยะยาวและระบบบริการสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุ. นนทบุรี: กระทรวงสาธารณสุข. สืบค้น 13 มิถุนายน 2569 จาก https://www.moph.go.th

[12] อธิษฎ์ เชิดไชย และคณะ. (2565). ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเข้าถึงบริการสุขภาพของผู้สูงอายุในเขตรับผิดชอบ รพ.สต.ศีรษะละเลิง จังหวัดนครราชสีมา. *วารสารวิจัยสาธารณสุขศาสตร์*, *16*(2), 89-102.

[13] สุภัทรา ศรีวณิชชากร และคณะ. (2563). การประเมินระบบการดูแลระยะยาวผู้สูงอายุในชุมชนไทย. *วารสารวิจัยระบบสาธารณสุข*, *14*(3), 210-225.

[14] นภชา สิงหรา ณ อยุธยา, และศศิพัฒน์ ยอดมงคล. (2564). ความมั่นคงทางการเงินของครัวเรือนกับการเข้าถึงบริการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุ. *วารสารสังคมสงเคราะห์ศาสตร์*, *29*(1), 45-60.

[15] ศิรินภา ชาลีเจริญ และคณะ. (2566). ความพร้อมของกองทุนสุขภาพท้องถิ่นกับการเข้าถึงบริการผู้สูงอายุ. *วารสารสาธารณสุขและการพัฒนา*, *21*(1), 33-48.

[16] Andersen, R. M. (1995). *Revisiting the Behavioral Model and Access to Medical Care: Does It Matter?* Journal of Health and Social Behavior, 36(1), 1-10.

[17] ศิริพร สุวรรณศรี และคณะ. (2564). ความต้องการและปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเข้าถึงบริการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุในชุมชน. *วารสารการพยาบาลชุมชน*, *16*(3), 54-68.

[18] นงนุช ใจชื่น และคณะ. (2565). ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการใช้บริการสุขภาพของผู้สูงอายุในชุมชน. *วารสารวิจัยสุขภาพและการพยาบาล*, 38(2), 65-79.

[19] พัชราภรณ์ ตันเจริญ และคณะ. (2565). ปัจจัยด้านความต้องการที่มีผลต่อการใช้บริการดูแลระยะยาวของผู้สูงอายุ. *วารสารพยาบาลศาสตร์, 40*(1), 77-91.

พฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุในเขตเทศบาลตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย

Fall Prevention Behaviors of Older Adults in Ban Du Subdistrict Municipality, Mueang Chiang Rai District, Chiang Rai Province

นาลิดา รักษาพงไพร[1*] พิยดา พันธ์ศรี[1] อนัญญา อยู่สวัสดิ์[1] รวิพรรดิ พูลลาภ[1]
สายฝน สุภาศรี[1] และ ฐิติมา ทาสุวรรณอินทร์[1]

[1]สาขาวิชาเอกสารจัดการสุขภาพผู้สูงอายุ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
*E-mail: 661473049@crru.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงพรรณนา มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุในเขตเทศบาลตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย จำนวน 395 คน เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลได้แก่ แบบบันทึกข้อมูลส่วนบุคคล แบบสอบถามพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุที่พัฒนาขึ้น มีค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงเนื้อหา อยู่ระหว่าง 0.66 – 1.00 และค่าสัมประสิทธิ์ครอนบาคของแอลฟาเท่ากับ .74 เก็บรวบรวมข้อมูลระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2568 ถึง กุมภาพันธ์ พ.ศ.2569 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณา ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 64.6 เป็นผู้สูงอายุตอนต้น (อายุ 60-69 ปี) ร้อยละ 63.9 ส่วนใหญ่มีระดับพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มอยู่ในระดับปานกลาง ร้อยละ 62.3 ค่าเฉลี่ยพฤติกรรมในการป้องกันการพลัดตกหกล้มในภาพรวมอยู่ในระดับดี (Mean = 4.12, S.D. =1.034) เมื่อพิจารณารายข้อพบว่าท่านเปิดไฟให้มีแสงสว่างที่เพียงพอ บริเวณทางเดิน ห้องนอน ห้องน้ำ ในเวลากลางคืนมีค่าเฉลี่ยมากที่สุดอยู่ในระดับดี (Mean = 4.64, S.D. = .627) และพบว่าข้อเดินเกาะราวหรือใช้ไม้เท้า เมื่อต้องเดินบนพื้นลาด ทางต่างระดับหรือในการใช้ห้องน้ำ มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด อยู่ในระดับปานกลาง (Mean = 3.40, S.D. = 1.435) ผลการศึกษานี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนและพัฒนาแนวทางส่งเสริมพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มในผู้สูงอายุ ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงในการพลัดตกหกล้มและส่งเสริมสุขภาวะของผู้สูงอายุในระยะยาวต่อไป

คำสำคัญ พฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้ม ผู้สูงอายุ เชียงราย

Abstract

This descriptive study aimed to examine fall prevention behaviors among older adults residing in Ban Du Subdistrict Municipality, Mueang Chiang Rai District, Chiang Rai Province. The study included 395 older adults. Data were collected using a demographic information form and a fall prevention behavior questionnaire developed by the researcher. The questionnaire demonstrated acceptable content validity, with item-objective congruence (IOC) values ranging from 0.66 to 1.00, and a Cronbach's alpha coefficient of 0.74. Data were collected between November 2025 and February 2026. Descriptive statistics, including percentages, means, and standard deviations, were used for data analysis. The results revealed that most participants were female (64.6%) and young-old adults aged 60–69 years (63.9%). The majority exhibited a moderate level of fall prevention behavior (62.3%). Overall, the mean score for fall prevention behavior was at a good level (Mean = 4.12, SD = 1.034). Item-level analysis showed that ensuring adequate lighting in walkways, bedrooms, and bathrooms during nighttime had the highest mean score and was rated at a

good level (Mean = 4.64, SD = 0.627). In contrast, holding onto handrails or using a walking cane when walking on sloped surfaces, uneven levels, or while using the bathroom had the lowest mean score and was rated at a moderate level (Mean = 3.40, SD = 1.435). The findings can serve as baseline information for planning and developing interventions to promote fall prevention behaviors among older adults, which may help reduce the risk of falls and enhance the long-term well-being of the elderly.

Keywords: Fall prevention behaviors, Older adults, Chiang Rai

1. บทนำ

ประเทศไทยมีจำนวนผู้สูงอายุเพิ่มสูงขึ้น ข้อมูลจากกรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย ณ วันที่ 31 ธันวาคม 2568 [1] มีจำนวนผู้สูงอายุร้อยละ 21.82 ของประชากรทั้งหมด เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 22.14 ของประชากรทั้งหมด ณ วันที่ 30 เมษายน 2569 และมีแนวโน้มจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย [2] พบว่าเมื่อเข้าสู่วัยสูงอายุจะมีการเปลี่ยนแปลงด้านร่างกาย เช่น ความแข็งแรงของกระดูกและกล้ามเนื้อลดลง การเดินช้าลง ก้าวสั้นและยกเท้าไม่สูงพอ ส่งผลให้ความสามารถในการทรงตัวลดลง ร่วมกับการมองเห็นและการได้ยินลดลง เป็นต้น ทำให้เกิดความเสี่ยงในการพลัดตกหกล้ม [3]

การพลัดตกหกล้มเป็นการเปลี่ยนแปลงท่าทางจากที่สูงลงที่ต่ำ โดยไม่ตั้งใจ จากการสำรวจการสำรวจประชากรสูงอายุในประเทศไทย พ.ศ. 2567 พบว่าผู้สูงอายุที่เคยหกล้มระหว่าง 6 เดือนก่อนวันสัมภาษณ์ ในปี พ.ศ. 2567 ร้อยละ 5.6 ด้วยสาเหตุสะดุด ร้อยละ 46.5 [4] ภายหลังจากพลัดตกหกล้มจะส่งผลกระทบต่อร่างกาย เช่น ปวดตามร่างกาย ข้อเคลื่อน กระดูกหัก หรือส่งผลต่อชีวิต เป็นต้น ข้อมูลจากกรมควบคุมโรคพบว่าผู้สูงอายุมารับการรักษาที่โรงพยาบาลด้วยสาเหตุการเสียชีวิตแบบผู้ป่วยนอก ในปี พ.ศ. 2564 ในอัตราเท่ากับ 26,054 ต่อแสนประชากร เพิ่มเป็น 36,754.22 ต่อแสนประชากร ในปี พ.ศ. 2566 ขณะเดียวกันพบอัตราเพิ่มสูงขึ้นจากปี พ.ศ. 2564 – 2567 ในกลุ่มผู้ป่วยที่เข้ามารับการรักษาด้วยสาเหตุของการพลัดตกหกล้ม จากอัตรา 496 ต่อแสนประชากร เป็น 661 ต่อแสนประชากร อีกทั้งยังพบว่าอัตราการเสียชีวิตจากสาเหตุการพลัดตกหกล้มในผู้สูงอายุ ในปี พ.ศ. 2564 มีอัตราเท่ากับ143 ต่อแสนประชากร เพิ่มสูงขึ้นเป็น 153 ต่อแสนประชากรใน ปี พ.ศ. 2566 กรมควบคุมโรค [5] พบว่าผลจากการพลัดตกหกล้มนอกจากจะส่งผลกระทบต่อร่างกาย เช่น เกิดการบาดเจ็บหรือทุพพลภาพ เป็นต้น แล้วยังส่งผลกระทบต่อจิตใจของผู้สูงอายุ เช่น รู้สึกว่าตนเองเป็นภาระลูกหลาน ความรู้สึกมีคุณค่าในตนเองลดลง เป็นต้น จากความสามารถในการปฏิบัติกิจวัตรประจำวันลดลง จนอาจส่งผลทำให้หลีกหนีสังคม และเกิดภาวะซึมเศร้าได้ [6]

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าปัจจัยที่เสี่ยงต่อการพลัดตกหกล้ม ประกอบด้วย ปัจจัยด้านชีวภาพ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงของร่างกายในทางเสื่อมถอยจากอายุที่เพิ่มมากขึ้น จนส่งผลกระทบกับการเคลื่อนไหว รวมถึงการมีโรคประจำตัวที่ต้องรับประทานยา ทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบประสาท และการดำเนินชีวิตประจำวัน จนเกิดความเสี่ยงในการพลัดตกหกล้มเพิ่มมากขึ้น [7] ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม เช่น พื้นบ้านลื่น ไม่มีราวจับ หรือแสงสว่างไม่เพียงพอ เป็นต้น [8] ปัจจัยด้านเศรษฐกิจและสังคม พบว่าผู้สูงอายุที่อาศัยอยู่ตามลำพัง มักมีความเสี่ยงในการพลัดตกหกล้มมากกว่าผู้สูงอายุที่มีคู่สมรส เนื่องจากการสนับสนุนจากครอบครัว ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยส่งเสริมการปฏิบัติพฤติกรรมป้องกันการพลัดตกหกล้ม [9] และปัจจัยด้านพฤติกรรม เช่น สวมเสื้อผ้าและรองเท้าไม่เหมาะสม การดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ และการจัดสภาพแวดล้อมภายในบ้านให้ปลอดภัย เป็นต้น พบว่าพฤติกรรมเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการป้องกันการพลัดตกหกล้ม การศึกษาของนงนุช เชาวน์ศิลป์ และคณะ [10] พบว่าผู้สูงอายุที่มีพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มที่เหมาะสมมีความเสี่ยงต่อการหกล้มต่ำกว่าผู้ที่มีพฤติกรรมไม่เหมาะสม [10] และพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มที่เหมาะสมสามารถช่วยลดความเสี่ยงและความรุนแรงของการบาดเจ็บจากการหกล้มได้อย่างมีประสิทธิภาพ [11]

จังหวัดเชียงรายเป็นพื้นที่ที่มีการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างรวมเร็ว รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างประชากรสูงอายุที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง พบว่าในปี พ.ศ. 2567 มีจำนวนผู้สูงอายุร้อยละ 24.36 ของประชากรทั้งหมด เพิ่มสูงขึ้นเป็นร้อยละ 25.68 ต่อประชากรทั้งหมดในปี พ.ศ. 2569 [12] ซึ่งมีค่าสูงกว่าประชากรสูงอายุในระดับประเทศ (ร้อยละ 22.14 ของประชากรทั้งหมด) และจังหวัดเชียงรายกำลังก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงวัยในระดับสุดยอด การเพิ่มขึ้นของประชากรสูงอายุ ทำให้ส่งผลต่อภาวะสุขภาพ และกลุ่มอาการสูงอายุ โดยเฉพาะการพลัดตกหกล้มที่ส่งผลกระทบต่อร่างกาย จิตใจ

และสังคม ซึ่งเป็นปัญหาสาธารณสุขสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพร่างกาย จิตใจ และการดำรงชีวิตของผู้สูงอายุ รวมถึงก่อให้เกิดภาระค่าใช้จ่ายด้านสุขภาพทั้งในระดับครอบครัวและระบบบริการสุขภาพ จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มเป็นปัจจัยสำคัญที่สามารถปรับเปลี่ยนและส่งเสริมได้ ซึ่งมีบทบาทในการลดความเสี่ยงและความรุนแรงของการบาดเจ็บจากการหกล้ม อย่างไรก็ตาม พฤติกรรมดังกล่าวอาจแตกต่างกันไปตามบริบทของพื้นที่ สภาพแวดล้อม และวิถีชีวิตของผู้สูงอายุ

ทั้งนี้พบว่าเทศบาลตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย เป็นพื้นที่ที่มีลักษณะกึ่งเมืองกึ่งชนบท มีการขยายตัวของชุมชนและการเปลี่ยนแปลงทางสังคมอย่างต่อเนื่อง ซึ่งอาจส่งผลต่อรูปแบบการดำเนินชีวิตและพฤติกรรมสุขภาพของผู้สูงอายุแตกต่างจากพื้นที่อื่น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุในเขตเทศบาลตำบลบ้านดู่ เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐาน และสามารถนำผลการศึกษาไปใช้ในการวางแผน พัฒนา และกำหนดแนวทางการส่งเสริมสุขภาพที่เหมาะสมกับบริบทของชุมชน อันจะช่วยลดความเสี่ยงต่อการพลัดตกหกล้ม ส่งเสริมความปลอดภัยในการดำเนินชีวิต และคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุให้ดียิ่งขึ้น

2. วัตถุประสงค์ในการศึกษา

เพื่อศึกษาพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุในเขตเทศบาลตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงพรรณนาแบบตัดขวาง (Cross-Sectional Research) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุในเขตเทศบาลตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย เก็บรวบรวมข้อมูลระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2568 ถึง กุมภาพันธ์ พ.ศ.2569

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ ผู้สูงอายุที่มีอายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไปทั้งเพศชายและเพศหญิง ในเขตเทศบาลตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย จำนวน 3,434 คน (อ้างอิงมาจากระบบคลังข้อมูลด้านการแพทย์และสุขภาพ, 2568) มีเกณฑ์คัดเข้า ได้แก่ เป็นผู้ที่มีอายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไป สามารถสื่อสารภาษาไทยรู้เรื่อง การมองเห็น และรับฟังได้ปกติ ยินยอมให้ข้อมูลโดยสมัครใจ ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนด ขนาดของกลุ่มตัวอย่างโดยใช้ วิธีการคำนวณตามสูตรของทาโร่ยามาเน่ [13] ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ความคาดเคลื่อนร้อยละ 5) ได้กลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 359 คน เพื่อป้องกันการสูญหายของข้อมูล ผู้วิจัยจึงเพิ่มขนาดของกลุ่มตัวอย่างร้อยละ 10 เป็นจำนวน 36 คน ดังนั้น กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้จึงมีจำนวนทั้งสิ้น 395 คน เลือกตัวอย่างโดยการสุ่มแบบชั้นภูมิตามสัดส่วน (Stratified Random Sampling) จากนั้นสุ่มแบบง่าย (Simple Sampling) สุ่มโดยใช้อายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไปในแต่ละหมู่บ้านตามจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่คำนวณได้แต่ละหมู่บ้าน จนครบ 395 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่

1. แบบสอบถามข้อมูลทั่วไป ได้แก่ เพศ อายุ สถานภาพ ระดับการศึกษา อาชีพ รายได้ ความพอเพียงของรายได้ แหล่งรายได้ การมองเห็น การได้ยิน การดื่มแอลกอฮอล์ ความสามารถในการเดินและทรงตัว โรคประจำตัว ยาที่ใช้เป็นประจำ ประวัติการพลัดตกหกล้ม เคยเข้าร่วมกิจกรรมการพลัดตกหกล้ม สาเหตุของการหกล้ม สถานที่พลัดตกหกล้ม การบาดเจ็บภายหลังพลัดตกหกล้ม

2. แบบสอบถามพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุในเขตเทศบาลตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองจังหวัดเชียงราย ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น เป็นมาตรประมาณค่า (Rating scale) 5 ระดับ จำนวน 15 ข้อ โดยกำหนดค่าคะแนนแต่ละข้อ ไม่เคยปฏิบัติเลย ให้ 1 คะแนน นาน ๆ ครั้ง ให้ 2 คะแนน บางครั้งให้ 3 คะแนน บ่อยครั้งให้ 4 คะแนน และเป็นประจำให้ 5 คะแนน ช่วงคะแนนอยู่ระหว่าง 15 – 75 คะแนน นำคะแนนที่ได้มาแบ่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 15 - 24 คะแนน หมายถึง พฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มน้อย 25 – 64 คะแนน หมายถึง พฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มปานกลาง และ 65 - 75 คะแนน หมายถึง พฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มดี วิเคราะห์โดยใช้สถิติค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบน

มาตรฐาน และแปลผลโดยใช้ระดับการวัดข้อมูล ประเภทอันตรภาคชั้นแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับน้อย (1.00 – 2.33) ระดับปานกลาง (2.34 – 3.66) และระดับมาก (3.67 – 5.00) [14]

การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ

การหาความเที่ยงตรงของเนื้อหาแบบสอบถามเกี่ยวกับพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุ ที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นนำไปตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาและความเหมาะสมของภาษาที่ใช้ ตลอดจนการจัดลำดับเนื้อหา โดยผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน ได้ค่า ค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงเนื้อหาอยู่ระหว่าง 0.66 – 1.00 และทดสอบกับกลุ่มผู้สูงอายุที่มีความคล้ายคลึงกันกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน มีค่าสัมประสิทธิ์ครอนบาคของแอลฟาของแบบสอบถามพฤติกรรมของผู้สูงอายุ เท่ากับ .74

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ติดต่อประสานงานกับหน่วยงานและบุคคลที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย ผู้ใหญ่บ้าน อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้านในพื้นที่บ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย โดยผู้วิจัยทำหนังสือถึงหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อขอความร่วมมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล
2. ติดต่อประสานงานกับหน่วยงาน และบุคคลที่เกี่ยวข้องเพื่อขอความร่วมมือและชี้แจงวัตถุประสงค์ และขั้นตอนในการเก็บรวบรวมข้อมูล แล้วนัดหมายวันเวลา ที่จะดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล
3. ผู้วิจัยแนะนำตัวกับกลุ่มตัวอย่าง พร้อมชี้แจงวัตถุประสงค์ของการวิจัย และขอความร่วมมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล
4. ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลก่อนนำข้อมูลมาวิเคราะห์เชิงปริมาณ โดยตรวจสอบความครบถ้วน และความสมบูรณ์ของแบบสอบถาม จากนั้นลงรหัสและวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลส่วนบุคคลและข้อมูลพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้ม นำมาวิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4. ผลการวิจัย

ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 255 คน คิดเป็นร้อยละ 64.6 เป็นผู้สูงอายุตอนต้น (อายุ 60-69 ปี) จำนวน 251 คน คิดเป็นร้อยละ 63.9 สถานภาพสมรส จำนวน 269 คน คิดเป็นร้อยละ 68.1 ระดับการศึกษาประถมศึกษา จำนวน 225 คน คิดเป็นร้อยละ 57.0 ประกอบอาชีพรับจ้างและเกษตรกร จำนวน 132 คน คิดเป็นร้อยละ 33.4 รายได้น้อยกว่า 5,000 บาท จำนวน 235 คน คิดเป็นร้อยละ 59.5 ส่วนใหญ่รายได้ไม่เพียงพอ จำนวน 181 คน คิดเป็นร้อยละ 45.8 รายได้ส่วนใหญ่มาจากการทำงาน จำนวน 169 คน คิดเป็นร้อยละ 42.8 มีโรคประจำตัว จำนวน 247 คน คิดเป็นร้อยละ 37.5 พบว่าเป็นโรคความดันโลหิตมากที่สุด จำนวน 172 คน คิดเป็นร้อยละ 68.8 รองลงมาได้แก่ โรคเบาหวาน จำนวน 68 คน คิดเป็นร้อยละ 27.2 มียาที่รับประทานเป็นประจำ จำนวน 229 คน คิดเป็นร้อยละ 58.1 ไม่เคยเข้าร่วมกิจกรรมเกี่ยวกับการป้องกันการพลัดตกหกล้ม จำนวน 288 คน คิดเป็นร้อยละ 72.9 พบว่าในรอบ 6 เดือนที่ผ่านมามีการพลัดตกหกล้ม จำนวน 86 คน คิดเป็นร้อยละ 21.8 จากสาเหตุการสะดุด จำนวน 47 คน คิดเป็นร้อยละ 52.2 สถานที่ภายในบ้าน จำนวน 51 คน คิดเป็นร้อยละ 56.7 และได้รับบาดเจ็บ เช่น ถลอก ปวด แขนหัก เป็นต้น จำนวน 50 คน คิดเป็นร้อยละ 55.6 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงจำนวนและร้อยละข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง (N = 395)

ข้อมูล	จำนวน	ร้อยละ
เพศ		
ชาย	140	35.4
หญิง	255	64.6
อายุ		
60-69	251	63.9
70-79	122	31.0
80 ปีขึ้นไป	20	5.1
สถานภาพสมรส		
โสด	35	8.9
สมรส/คู่	269	68.1
หม้าย/หย่า/แยกกันอยู่	91	23.0
ระดับการศึกษา		
ไม่ได้เรียนหนังสือ	42	10.6
ประถมศึกษา	225	57.0
มัธยมศึกษาตอนต้น	42	10.6
มัธยมศึกษาตอนปลาย/ปวช.	41	10.4
ปริญญาตรี หรือสูงกว่า	45	11.4
อาชีพหลัก		
ไม่ได้ประกอบอาชีพ	111	28.1
เกษตรกร	83	21.0
รับจ้าง	49	12.4
ค้าขาย	70	17.7
เกษียณ	34	8.6
แม่บ้าน/พ่อบ้าน	48	12.2
ความพอเพียงของรายได้		
ไม่เพียงพอ	181	45.8
พอเพียงเหลือเก็บ	86	21.8
พอเพียงไม่เหลือเก็บ	128	32.4
ในรอบ 6 เดือนที่ผ่านมา ท่านเคยพลัดตกหกล้ม		
เคย	86	21.8
ไม่เคย	309	78.2

พฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้ม

พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีค่าเฉลี่ยพฤติกรรมในการป้องกันการพลัดตกหกล้มในภาพรวมอยู่ในระดับดี (Mean = 4.12, S.D. =1.034) เมื่อพิจารณารายข้อพบว่าข้อเปิดไฟให้มีแสงสว่างที่เพียงพอ บริเวณทางเดิน ห้องนอน ห้องน้ำ ในเวลากลางคืนมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด อยู่ในระดับดี (Mean = 4.64, S.D. = .627) และพบว่าข้อเดินเกาะราวหรือใช้ไม้เท้าเมื่อต้องเดินบนพื้นลาด ทางต่างระดับ หรือในการใช้ห้องน้ำ มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด อยู่ในระดับปานกลาง (Mean = 3.40, S.D. = 1.435) ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุ (n=395)

ข้อที่	ข้อความ	ค่าเฉลี่ย	S.D.	แปลผล
1	ท่านออกกำลังกายเพื่อฝึกการทรงตัว เช่น รำไทเก็ก รำไม้พลอง เดินเร็ว วันละ 20-30 นาที อย่างน้อย 3 ครั้งต่อสัปดาห์	3.69	1.142	ดี
2	ท่านเดินเกาะราวหรือใช้ไม้เท้า เมื่อต้องเดินบนพื้นลาด ทางต่างระดับ หรือในการใช้ห้องน้ำ	3.40	1.435	ปานกลาง
3	ท่านระมัดระวังไม่ให้สัตว์เลี้ยงมาคลอเคลีย	3.99	1.101	ดี
4	ท่านเลือกสวมรองเท้าที่พอดีเท้า	4.53	.688	ดี
5	ท่านหลีกเลี่ยงการใช้บันไดที่ชัน และไม่มีราวเกาะ	4.07	1.108	ดี
6	ท่านตรวจสายตาประจำทุกปี	3.75	1.31	ดี
7	ท่านหรือบุคคลในครอบครัวตรวจสอบความมั่นคงแข็งแรงของเครื่องเรือน เช่น โต๊ะ เก้าอี้ เตียง อยู่เสมอ เป็นต้น	4.25	.925	ดี
8	ท่านหรือบุคคลในครอบครัวมีการจัดของใช้ให้เป็นระเบียบ ไม่กีดขวางทางเดิน	4.35	.793	ดี
9	ท่านระมัดระวังการเดิน/ปฏิบัติกิจกรรม ทั้งภายในและภายนอกบ้าน	4.24	.957	ดี
10	ท่านจะหยุดการเคลื่อนไหว แล้วหาที่ยึดเกาะที่มีความมั่นคง หากรู้สึกทรงตัวไม่ดี	4.32	.870	ดี
11	หากท่านรู้สึกวิงเวียนศีรษะ ท่านจะหยุดทำกิจกรรมต่าง ๆ ทันที	4.43	.781	ดี
12	ท่านตรวจร่างกายเป็นประจำทุกปี	4.13	1.077	ดี
13	ท่านเปิดไฟให้มีแสงสว่างที่เพียงพอ บริเวณทางเดิน ห้องนอน ห้องน้ำในเวลากลางคืน	4.64	.627	ดี
14	ท่านมีวัสดุหรืออุปกรณ์กันลื่นในห้องน้ำ หรือบนพื้นที่อาบน้ำ	4.11	1.284	ดี
15	ท่านไม่สวมเสื้อผ้ารุ่มร่าม	3.85	1.407	ดี
	รวม	**4.12**	**1.034**	**ดี**

พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่พบว่าพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุ อยู่ในระดับปานกลาง จำนวน 246 คน คิดเป็นร้อยละ 62.3 รองลงมา อยู่ในระดับดี จำนวน 149 คน คิดเป็นร้อยละ 37.7 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงจำนวน ร้อยละ จำแนกตามระดับของระดับพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุ (n=395)

ระดับพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ปานกลาง (25-64)	246	62.3
ดี (65-75)	149	37.7
รวม	**395**	**100**

5. อภิปรายผล

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุในเขตเทศบาลตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีระดับพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มในระดับปานกลาง เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นผู้สูงอายุตอนต้น ที่ยังคงประกอบอาชีพรับจ้างและเกษตรกรรม รายได้ไม่เพียงพอ และรายได้ส่วนใหญ่มาจากการทำงาน ร้อยละ 42.8 ทำให้มีข้อจำกัดเกี่ยวกับเวลาในการดูแลสุขภาพตนเอง สอดคล้องกับการศึกษาของคมสันต์ อันภักดี และ สุพัฒน์ อาสนะ [15] ที่พบว่าพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มอยู่ในระดับปานกลาง [15] ร่วมกับกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นผู้สูงอายุที่ยังคงสามารถช่วยเหลือตัวเองได้ ทำให้การรับรู้เกี่ยวกับอันตรายหรือความเสี่ยงในการพลัดตกหกล้ม จึงส่งผลให้การปฏิบัติพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มอยู่ในระดับปานกลาง สอดคล้องกับการศึกษาของวิไลลักษณ์ วงศ์เจริญและคณะ [11] ที่พบว่าการรับรู้ปัจจัยเสี่ยงต่อการพลัดตกหกล้มมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับต่ำกับพฤติกรรมการป้องกันการหกล้มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r=0.31$, $p<0.001$) [11] และการศึกษาของณัฐชยา พวงทอง [16] ที่พบว่าผู้สูงอายุที่รับรู้ความรุนแรงของการหกล้มระดับสูง มีโอกาสเกิดพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มที่ดีกว่าผู้สูงอายุที่มีการรับรู้ความรุนแรงของการหกล้มระดับต่ำถึงปานกลาง 6.40 เท่า (95% CI อยู่ระหว่าง 2.10 ถึง 19.63) [16]

ผลการศึกษายังพบว่าค่าเฉลี่ยพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุในภาพรวมอยู่ในระดับดี (Mean = 4.12, S.D. = 1.034) สอดคล้องกับการศึกษาของตวงรัตน์ อัคนานและคณะ [3] ที่พบว่ามีพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุไทยในชุมชน โดยรวมอยู่ในระดับมาก (Mean=2.07, S.D.=0.391) [3] ร่วมกับผลการศึกษาที่พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ที่มีความเสี่ยงในการพลัดตกหกล้ม เนื่องจากมวลกล้ามเนื้อและกระดูกลดลง ส่งผลให้เกิดกระดูกพรุน เมื่อพลัดตกหกล้มอาจทำให้กระดูกหักมากกว่าเพศชาย สอดคล้องกับการศึกษาของวิไลลักษณ์ วงศ์เจริญและคณะ [11] ที่พบว่าผู้สูงอายุโรคกระดูกพรุนมีการรับรู้ปัจจัยเสี่ยงต่อการหกล้มอยู่ในระดับสูง ($\bar{x}$=68.86±12.00) [11] ร่วมกับเพศหญิงมีความสนใจในการดูแลสุขภาพตนเองมากกว่าเพศชาย จึงส่งผลให้มีค่าเฉลี่ยของพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มอยู่ในระดับดี สอดคล้องกับการศึกษาของกฤษณา ชาติไทย [17] ที่พบว่าเพศหญิงมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Beta = .149, p-value <.001) [17] และพบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีสถานภาพสมรส เนื่องจากสถานภาพสมรสมักได้รับความช่วยเหลือจากสมาชิกในครอบครัวหรือผู้ดูแลในการสังเกตอาการผิดปกติด้านสุขภาพ และการปรับสภาพแวดล้อมภายในบ้าน ให้เหมาะสมสำหรับผู้สูงอายุ ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นในชีวิตประจำวัน แต่ในกลุ่มที่มีสถานภาพโสด หม้าย หรืออาศัยเพียงลำพัง มักมีข้อจำกัดในการขาดผู้ดูแลและการสนับสนุนทางสังคม ทำให้เกิดความเสี่ยงในการพลัดตกหกล้ม และพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้ม สอดคล้องกับการศึกษาของณัฐชยา พวงทอง [16] ที่พบว่าสถานภาพสมรส มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมป้องกันการหกล้มของผู้สูงอายุอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 [16]

และเมื่อพิจารณารายด้านพบว่าการเปิดไฟให้มีแสงสว่างที่เพียงพอ บริเวณทางเดิน ห้องนอน ห้องน้ำ ในเวลากลางคืนมีค่าเฉลี่ยมากที่สุด อยู่ในระดับดี (Mean = 4.64, S.D. = .627) ไม่สอดคล้องกับการศึกษาของอรวรรณ เจือจารย์ [7] ที่พบว่าผู้สูงอายุการรับรู้เกี่ยวกับปัจจัยเสี่ยงด้านแสงสว่างไม่เพียงพอต่อการมองเห็น อยู่ในระดับต่ำ และสอดคล้องกับการศึกษาของอานิ พรหมมา [18] ที่ศึกษาในกลุ่มผู้สูงอายุในจังหวัดพิษณุโลก จำนวน 568 คน พบว่าส่วนใหญ่ (ร้อยละ 79.93) มีการเปิดให้มีแสงสว่างที่เพียงพอบริเวณทางเดิน และการศึกษาของตวงรัตน์ อัคนาน และคณะ [3] ที่พบว่าการจัดภายในบ้านมีแสงสว่างอย่างเพียงพอโดยเฉพาะบริเวณบันไดและห้องน้ำ (Mean=2.78, S.D.=0.497) [3] เป็นไปในแนวทางเดียวกับผลการศึกษานี้ที่พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นผู้สูงอายุตอนต้นที่ยังคงช่วยเหลือตัวเองได้ และมีการเข้าถึงบริการสุขภาพ จากการมีโรคประจำตัว ทำให้ได้รับคำแนะนำเกี่ยวกับการดูแลตนเองจากบุคลากรทางการแพทย์ รวมถึงการป้องกันการพลัดตกหกล้ม ทำส่งผลให้ผู้สูงอายุมีการปฏิบัติพฤติกรรมดังกล่าวในระดับดี และพบว่าข้อเดินเกาะราวหรือใช้ไม้เท้าเมื่อต้องเดินบนพื้นลาด ทางต่างระดับ หรือในการใช้ห้องน้ำ มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด อยู่ในระดับ ปานกลาง (Mean = 3.40, S.D. = 1.435) เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ยังคงสามารถช่วยเหลือตัวเองได้ จึงไม่เห็นความสำคัญของการใช้ราวเกาะหรือไม้เท้าในการเคลื่อนไหว สอดคล้องกับการศึกษาของอรวรรณ เจือจารย์ [7] ที่พบศึกษาในผู้สูงอายุในจังหวัดพิจิตรพบว่าห้องน้ำไม่มีราวเกาะร้อยละ 85.4 และเป็นปัจจัยในการทำนายการหกล้ม [7] และยังพบว่าการไม่มีราวเกาะเป็นปัจจัยป้องกันการพลัดตกหกล้มในผู้สูงอายุ (OR = 0.15; 95% CI: 0.03, 0.71) [19] เป็นไปในแนวทางเดียวกับการศึกษาที่พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ประกอบอาชีพรับจ้างและเกษตรกร ที่มีการเคลื่อนไหวเป็นประจำ และไม่เคยมีเคยพลัดตกหกล้มในรอบ 6 เดือนที่ผ่านมา

ทำให้รู้สึกว่าตนเองยังคงมีสุขภาพแข็งแรง ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์หรือปรับปรุงสิ่งแวดล้อม ทำให้ส่งผลต่อพฤติกรรมการใช้ราวจับหรืออุปกรณ์ช่วยเดินมีระดับน้อยกว่าพฤติกรรมการป้องกันการหกล้มด้านอื่น

ผลการศึกษาสามารถนำไปใช้ในการวางแผนการสร้างเสริมสุขภาพที่เน้นการพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มให้สอดคล้องกับบริบทของผู้สูงอายุที่ยังคงประกอบอาชีพ โดยควรเน้นการส่งเสริมในเชิงรุกและการสร้างความตระหนักเกี่ยวกับปัจจัยเสี่ยง เพื่อกระตุ้นให้เกิดการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมที่เหมาะสม อันจะช่วยลดอัตราการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุต่อไป

6. ข้อเสนอแนะ

1. ผลการวิจัยพบว่าการเดินเกาะราวหรือใช้ไม้เท้า เมื่อต้องเดินบนพื้นลาด ทางต่างระดับ หรือในการใช้ห้องน้ำ มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด อยู่ในระดับปานกลาง (Mean = 3.40, S.D. = 1.435) บุคลากรสาธารณสุขและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรส่งเสริมความรู้และพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มในผู้สูงอายุอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการใช้ราวจับและอุปกรณ์ช่วยเดินในสถานการณ์ที่มีความเสี่ยงต่อการหกล้ม เช่น พื้นลาดชัน พื้นต่างระดับ และห้องน้ำ

2. หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเสริมสุขภาพผู้สูงอายุสามารถนำผลการวิจัยไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาโครงการหรือกิจกรรมที่มุ่งส่งเสริมการใช้ราวจับและอุปกรณ์ช่วยเดินในผู้สูงอายุ รวมทั้งการปรับสภาพแวดล้อมภายในบ้านให้ปลอดภัย เพื่อลดความเสี่ยงต่อการพลัดตกหกล้มและส่งเสริมการดำรงชีวิตอย่างปลอดภัยในชุมชน

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้สูงอายุทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการให้ข้อมูลในการวิจัย ตลอดจนเจ้าหน้าที่ในพื้นที่ที่อำนวยความสะดวกในการเก็บรวบรวมข้อมูล ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

8. เอกสารอ้างอิง

[1] กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย. (2568). สถิติผู้สูงอายุ ณ วันที่ 31 ธันวาคม 2568. https://www.dop.go.th/th/statistics_page?cat=1&id=2587

[2] กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย. (2569). สถิติผู้สูงอายุ ณ วันที่ 30 เมษายน 2569. https://www.dop.go.th/th/statistics_page?cat=1&id=2598

[3] ตวงรัตน์ อัคนาน, กันธิมา ศรีหมากสุก, ธงเทพ วงษ์ศรีสังข์, ชวนพิศ ศิริไพบูลย์, อิทธิพล ดวงจินดา, และศศิกานต์ พิลาภรณ์. (2564). ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุไทยในชุมชน อำเภอเดิมบางนางบวช จังหวัดสุพรรณบุรี. วารสารวิจัยสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 14(4), 72–89.

[4] สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2567). การสำรวจประชากรสูงอายุในประเทศไทย พ.ศ. 2567. กลุ่มสถิติสุขภาพและสังคม.

[5] กรมควบคุมโรค. (2569). ข้อมูลการพลัดตกหกล้มภาพรวมประเทศ. https://ddc.moph.go.th/dip/news.php?news=23567&deptcode=

[6] ยุพาพร หงษ์ชูเวช. (2567). การลดปัจจัยเสี่ยงต่อการพลัดตกหกล้มในผู้สูงอายุ. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 18(1), 32–43.

[7] อรวรรณ เจือจารย์. (2565). ปัจจัยที่ส่งผลต่อการพลัดตกหกล้มในผู้สูงอายุ อำเภอวังทรายพูน จังหวัดพิจิตร [วิทยานิพนธ์สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยนเรศวร].

[8] ดิษฐพล ใจซื่อ. (2565). การพัฒนารูปแบบการป้องกันการพลัดตกหกล้มในผู้สูงอายุโดยการมีส่วนร่วมของภาคีเครือข่ายสุขภาพในชุมชน. วารสารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดขอนแก่น, 4(2), 255–269.

[9] ณัชชา ไชยวงค์, เบญจมาศ ยศเสนา, และรัตตินันท์ เหมวิชัยวัฒน์. (2569). การพลัดตกหกล้มในผู้สูงอายุ. วารสารสันติสุขปริทรรศน์, 7(1), 299–309.

[10] นงนุช เชาวน์ศิลป์, พิมสุภาว์ จันทนะโสตถิ์, และจุฑารัตน์ ผู้พิทักษ์กุล. (2563). การพัฒนารูปแบบการป้องกันการพลัดตกหกล้มในผู้สูงอายุโดยใช้ชุมชนเป็นฐานตามแนวคิดของเศรษฐกิจพอเพียง (รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์). มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.

[11] วิไลลักษณ์ วงศ์เจริญ, นงลักษณ์ อินตา, และขวัญเนตร คงแดง. (2565). การรับรู้ความเสี่ยงต่อการหกล้มและพฤติกรรมการป้องกันการหกล้มในผู้สูงอายุโรคกระดูกพรุน. วารสารวิจัยการพยาบาลและสุขภาพ, 23(1), 96–109.

[12] กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย. (2569). สถิติผู้สูงอายุสัญชาติไทยจำแนกตามจังหวัด พ.ศ. 2569. กรมกิจการผู้สูงอายุ. https://www.dop.go.th/th/statistics_page?cat=1&id=2601

[13] Yamane, T. (1973). Statistics: An introductory analysis (3rd ed.). Harper & Row.

[14] ธานินทร์ ศิลป์จารุ. (2557). การวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยSPSSและAMOS. พิมพ์ครั้งที่15.กรุงเทพฯ: บริษัท วี. อินเตอร์พริ้นท์ จำกัด

[15] คมสันต์ อันภักดี และสุพัฒน์ อาสนะ. (2566). การรับรู้ความเสี่ยงและพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุ ตำบลนาเพียง อำเภอชุมแพ จังหวัดขอนแก่น. วารสารวิชาการป้องกันควบคุมโรค สคร. 2 พิษณุโลก, 10(2), 94–107.

[16] ณัฐชยา พวงทอง. (2564). ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการป้องกันการหกล้มของผู้สูงอายุ อำเภอทัพทัน จังหวัดอุทัยธานี (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยนเรศวร).

[17] กฤษณา ชาติไทย. (2567). ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความเสี่ยงในการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุ ตำบลหนองบัวใหญ่ อำเภอจัตุรัส จังหวัดชัยภูมิ. ชัยภูมิเวชสาร, 44(2), 27–38.

[18] อานิ พรหมมา, ดาวรุ่ง คำวงศ์, และพิสิษฐ์ ดวงตา. (2568). ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการป้องกันการพลัดตกหกล้มของผู้สูงอายุ จังหวัดพิษณุโลก. วารสารวิจัยการพยาบาลและวิทยาศาสตร์สุขภาพ, 17(2), 1–24.

[19] รำพึง จรัสสุริยสกุล. (2567). ปัจจัยที่มีผลต่อการหกล้มในผู้สูงอายุตำบลห้วยแย้ อำเภอหนองบัวระเหว จังหวัดชัยภูมิ. ชัยภูมิเวชสาร, 44(1), 98–110.

ความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมการนอนหลับ คุณภาพการนอนหลับ และสุขภาวะทางจิตใจของนักเรียนระดับมัธยมศึกษา

Relationships Between Sleep Behaviors, Sleep Quality, and Mental Well-Being Among Secondary School Students

วิชชุกร ศิริคะรินทร์[1*] และ Christopher Terry[1]

[1]โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทร์วิโรฒ ประสานมิตร (หลักสูตรนานาชาติ)
*E-mail: lp200700@student.spip.in.th

บทคัดย่อ

วัยรุ่นเป็นช่วงวัยที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วทั้งด้านร่างกายสมองอารมณ์และสังคม การนอนหลับที่เพียงพอมีบทบาทสำคัญต่อพัฒนาการของสมอง การควบคุมอารมณ์ ประสิทธิภาพด้านการเรียนรู้และสุขภาวะทางจิตใจ อย่างไรก็ตามปัจจุบันพบว่าวัยรุ่นจำนวนมากมีระยะเวลาการนอนหลับไม่เพียงพอและมีคุณภาพการนอนหลับที่ไม่ดี การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมการนอนหลับ พฤติกรรมสุขภาพ คุณภาพการนอนหลับ สมาธิในการเรียนและสุขภาวะทางจิตใจของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาหลักสูตรนานาชาติแห่งหนึ่งในประเทศไทย โดยเป็นการศึกษาเชิงพรรณนาแบบภาคตัดขวางในนักเรียนระดับมัธยมศึกษาอายุ 11–17 ปี จากโรงเรียนมัธยมศึกษาหลักสูตรนานาชาติแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร จำนวน 51 คน เก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามออนไลน์แบบไม่ระบุตัวตน ซึ่งประเมินระยะเวลาการนอนหลับ เวลาเข้านอน เวลาตื่นนอน ความถี่ในการออกกำลังกาย การรับประทานอาหารเช้า การงีบหลับช่วงกลางวัน คุณภาพการนอนหลับ สมาธิในการเรียน และสุขภาวะทางจิตใจ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา การวิเคราะห์ multiple linear regression และ Spearman's correlation coefficient ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มที่นอนมากกว่า 8 ชั่วโมงต่อคืนมีคุณภาพการนอนหลับดีกว่ากลุ่มที่นอนน้อยกว่า 5 ชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Adjusted β = 2.12; 95% CI: 0.62–3.61) นอกจากนี้ ยังพบความสัมพันธ์เชิงลบระดับปานกลางระหว่างคุณภาพการนอนหลับกับความลำบากในการเริ่มต้นนอนหลับ ($r = -0.56$, $p < 0.001$) การศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าการนอนหลับอย่างเพียงพอมีความสัมพันธ์กับคุณภาพการนอนหลับที่ดีขึ้นในวัยรุ่นที่ศึกษา และพบว่าความลำบากในการเริ่มต้นนอนหลับมีความสัมพันธ์กับคุณภาพการนอนหลับที่ลดลง

คำสำคัญ: วัยรุ่น พฤติกรรมการนอนหลับ พฤติกรรมทางสุขภาพ คุณภาพการนอนหลับ สุขภาวะทางจิตใจ

Abstract

Adolescence is a critical developmental period characterized by rapid physical, neurological, emotional, and social changes. Adequate sleep plays an essential role in brain development, emotional regulation, academic performance, and mental well-being. However, insufficient sleep duration and poor sleep quality have become increasingly prevalent among adolescents worldwide. This study aimed to investigate the relationships between sleep behaviors, health-related behaviors, sleep quality, concentration in learning, and psychological well-being among Thai adolescent attending an international curriculum secondary school in Thailand. A cross-sectional study was conducted among 51 secondary school students aged 11–17 years attending an international curriculum secondary school in Bangkok, Thailand. Data were collected using an anonymous online questionnaire assessing sleep duration, bedtime, wake-up time, exercise frequency, breakfast consumption, daytime napping, sleep quality, learning concentration, and psychological well-being. Descriptive statistics, multiple linear regression, and

Spearman's correlation coefficient were used for data analysis. The results showed that students who slept more than 8 hours per night had significantly higher sleep quality scores than those who slept less than 5 hours per night (Adjusted β = 2.12; 95% CI: 0.62–3.61). In addition, a moderate negative correlation was found between sleep quality and difficulty initiating sleep ($r = -0.56$, $p < 0.001$), indicating that adolescents who experienced greater difficulty falling asleep tended to report poorer sleep quality. These findings suggest that adequate sleep duration is associated with better sleep quality among adolescents included in this study, while difficulty initiating sleep may serve as an early indicator of impaired sleep quality.

Keywords: Adolescents, Sleep Behavior, Health Behaviors, Sleep Quality, Psychological well-being

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

วัยรุ่นเป็นช่วงวัยที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วทั้งด้านร่างกาย สมอง อารมณ์ และสังคม การนอนหลับมีบทบาทสำคัญต่อพัฒนาการของสมอง การควบคุมอารมณ์ การเรียนรู้ และสุขภาวะทางจิตใจ โดย National Sleep Foundation แนะนำให้วัยรุ่นอายุ 13–18 ปี ควรนอนหลับวันละ 8–10 ชั่วโมง อย่างไรก็ตาม วัยรุ่นจำนวนมากไม่สามารถนอนหลับได้ตามระยะเวลาที่แนะนำ ส่งผลให้ปัญหาการนอนหลับไม่เพียงพอและคุณภาพการนอนหลับที่ไม่ดีพบได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทั่วโลก [1]

ในช่วงวัยรุ่น ระบบการนอนหลับเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาหลายประการ โดยเฉพาะการเกิด circadian phase delay ซึ่งทำให้นาฬิกาชีวภาพเลื่อนออกไป ส่งผลให้วัยรุ่นมีแนวโน้มเข้านอนและตื่นสายมากขึ้นตามธรรมชาติ ขณะเดียวกัน การสะสมความง่วงของร่างกาย (homeostatic sleep pressure) เกิดขึ้นช้าลง ทำให้สามารถตื่นได้นานขึ้นโดยไม่รู้สึกง่วง แม้ว่ายังคงต้องการระยะเวลาการนอนที่เพียงพอเช่นเดิม [2] เมื่อรูปแบบการนอนดังกล่าวไม่สอดคล้องกับเวลาเรียนและกิจกรรมในชีวิตประจำวัน จึงอาจนำไปสู่ภาวะอดนอนเรื้อรัง (chronic sleep deprivation) ซึ่งส่งผลต่อการทำงานด้านการรู้คิด (cognition) การควบคุมอารมณ์ และความสามารถในการเรียนรู้ของวัยรุ่น [2, 3]

จากหลายการศึกษาก่อนหน้า พบว่าระยะเวลาการนอนหลับ คุณภาพการนอนหลับ เวลาเข้านอน เวลาตื่นนอน และความสม่ำเสมอของการนอนมีความสัมพันธ์กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและการทำงานของสมอง [4–6, 7] แต่ก็มีบางการศึกษาที่ไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [8] นอกจากนี้ ยังมีรายงานว่าปัจจัยด้านพฤติกรรมสุขภาพอาจมีบทบาทต่อคุณภาพการนอนหลับในวัยรุ่น เช่น การออกกำลังกายซึ่งช่วยส่งเสริมการทำงานของ circadian rhythm [9, 10] การรับประทานอาหารเช้าที่มีผลต่อการนอนโดยอาจเกี่ยวข้องกับการปรับจังหวะนาฬิกาชีวภาพ [11, 12] รวมถึงการนอนหลับช่วงกลางวัน (daytime napping) ซึ่งอาจช่วยฟื้นฟูสมรรถนะด้านความจำและการเรียนรู้ในผู้ที่นอนหลับไม่เพียงพอ [13] ขณะเดียวกัน เวลาเข้านอนและเวลาตื่นนอนยังได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น เนื่องจากอาจสะท้อนความสอดคล้องระหว่างพฤติกรรมการนอนกับนาฬิกาชีวภาพของวัยรุ่น [5, 14]

แม้ว่าจะมีงานวิจัยที่ศึกษาปัจจัยที่สัมพันธ์กับคุณภาพการนอนหลับในวัยรุ่นแล้ว แต่ข้อมูลในบริบทของวัยรุ่นไทย โดยเฉพาะนักเรียนระดับมัธยมศึกษาหลักสูตรนานาชาติในประเทศไทยยังมีจำกัด โดยกลุ่มประชากรดังกล่าวอาจมีรูปแบบการเรียน ภาระงานทางวิชาการ และวิถีชีวิตที่แตกต่างจากประชากรที่เคยศึกษา ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมการนอนหลับ พฤติกรรมสุขภาพ คุณภาพการนอนหลับ สมาธิในการเรียน และสุขภาวะทางจิตใจของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาหลักสูตรนานาชาติแห่งหนึ่งในประเทศไทย เพื่อให้ได้ข้อมูลพื้นฐานที่สอดคล้องกับบริบทของกลุ่มประชากรดังกล่าว

1.2 วัตถุประสงค์ในการศึกษา

1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่อาจจะมีผลต่อคุณภาพการนอนหลับ ได้แก่ ระยะเวลาการนอนหลับ เวลาเข้านอน และเวลาตื่นนอนและพฤติกรรมด้านสุขภาพ ได้แก่ การออกกำลังกาย พฤติกรรมการรับประทานอาหาร และการนอนหลับช่วงกลางวัน กับคุณภาพการนอนหลับของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาหลักสูตรนานาชาติแห่งหนึ่งในประเทศไทย

2.เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพการนอนหลับกับสมาธิในการเรียนและสุขภาวะทางจิตใจของเด็กนักเรียนระดับมัธยมศึกษาหลักสูตรนานาชาติแห่งหนึ่งในประเทศไทย

1.3 สมมุติฐานในการศึกษา

พฤติกรรมการนอนหลับและพฤติกรรมสุขภาพมีความสัมพันธ์กับคุณภาพการนอนหลับ สมาธิในการเรียน และสุขภาวะทางจิตใจของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาหลักสูตรนานาชาติแห่งหนึ่งในประเทศไทย

2. วิธีดำเนินการศึกษา

2.1 รูปแบบการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเชิงพรรณนา แบบภาคตัดขวาง (cross-sectional study) ในกลุ่มนักเรียนระดับมัธยมศึกษา อายุ 11–17 ปี จากโรงเรียนมัธยมศึกษาหลักสูตรนานาชาติแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านพฤติกรรมการนอนหลับและพฤติกรรมสุขภาพ ได้แก่ ระยะเวลาการนอนหลับ เวลาเข้านอน เวลาตื่นนอน การออกกำลังกาย พฤติกรรมการรับประทานอาหาร และการนอนหลับช่วงกลางวัน ต่อคุณภาพการนอนหลับ สมาธิในการเรียน และสุขภาวะทางจิตใจของวัยรุ่น

2.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ขนาดของกลุ่มตัวอย่างถูกคำนวณโดยใช้โปรแกรม G*Power เวอร์ชัน 3.1.9.4 สำหรับการวิเคราะห์ถดถอยพหุตัวแปรเชิงเส้น (Linear multiple regression) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 อำนาจการทดสอบ (Power) ที่ร้อยละ 80 และจำนวนตัวแปรอิสระทั้งหมด 8 ตัวแปร จากนั้นได้ทำการปรับขนาดกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธี Finite Population Correction เพื่อให้สอดคล้องกับประชากรนักเรียนในโรงเรียนซึ่งมีจำนวน 300 คน ทำให้ได้ขนาดของกลุ่มตัวอย่างขั้นต่ำที่ต้องการทั้งสิ้น 50 คน

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาคือ นักเรียนระดับมัธยมศึกษาที่มีอายุระหว่าง 11–17 ปี ซึ่งกำลังศึกษาระดับชั้น year 7 ถึง year 13 โรงเรียนระดับมัธยมศึกษาหลักสูตรนานาชาติแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย โดยกลุ่มตัวอย่างผู้เข้าร่วมการศึกษาจะตอบแบบสอบถามด้วยความสมัครใจผ่านระบบออนไลน์

2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลคือแบบสอบถามออนไลน์ผ่าน Google Forms ซึ่งผู้วิจัยพัฒนาขึ้นจากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพการนอนหลับพฤติกรรมสุขภาพและสุขภาวะทางจิตใจของวัยรุ่น โดยแบบสอบถามมีลักษณะเป็น anonymous questionnaire ซึ่งผู้ตอบแบบสอบถามไม่ต้องระบุชื่อหรือข้อมูลที่สามารถระบุตัวตนได้

แบบสอบถามแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ประกอบด้วย เพศ อายุ และระดับชั้นเรียน

ส่วนที่ 2 เป็นข้อมูลด้านพฤติกรรมการนอนหลับและพฤติกรรมสุขภาพในช่วง 3 เดือนที่ผ่านมา ประกอบด้วย ระยะเวลาการนอนหลับ เวลาเข้านอน เวลาตื่นนอน ความถี่ในการออกกำลังกาย ความถี่ในการรับประทานอาหารเช้า และความถี่ในการงีบหลับช่วงกลางวัน โดยรายละเอียดของการจัดกลุ่มตัวแปรแสดงใน ตารางที่ 1

ส่วนที่ 3 เป็นข้อมูลด้านคุณภาพการนอนหลับ สมาธิในการเรียน และสุขภาวะทางจิตใจ โดยใช้การประเมินตนเองคุณภาพการนอนหลับประเมินในระดับ 1–5 คะแนน ซึ่งคะแนนที่สูงขึ้นสะท้อนถึงคุณภาพการนอนหลับที่ดีกว่า ขณะที่ตัวแปรด้านสุขภาวะทางจิตใจและสมาธิในการเรียนได้แก่ ความรู้สึกเหนื่อยล้า ความวิตกกังวล ความลำบากในการนอนหลับ ความรู้สึกสงบและผ่อนคลาย และความลำบากในการมีสมาธิในการเรียน ประเมินในระดับ 1–10 คะแนน ตามระดับความรุนแรงหรือความถี่ของอาการ

2.3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลดำเนินการในช่วงวันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2568 ถึงวันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2568 โดยเผยแพร่แบบสอบถามออนไลน์ผ่าน Google Forms ให้แก่นักเรียนกลุ่มตัวอย่างตอบแบบสอบถามด้วยตนเอง ผู้เข้าร่วมสามารถตอบแบบสอบถามได้โดยสมัครใจและสามารถยุติการตอบแบบสอบถามได้ทุกเมื่อ

2.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

หลังจากรวบรวมข้อมูลเสร็จสิ้นผู้วิจัยตรวจสอบความครบถ้วนของข้อมูลก่อนนำไปวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติสำเร็จรูป ข้อมูลทั่วไปและลักษณะของกลุ่มตัวอย่างถูกวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistics) ได้แก่ ค่าความถี่ (frequency) ร้อยละ (percentage) ค่าเฉลี่ย (mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(standard deviation; SD) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านพฤติกรรมสุขภาพและพฤติกรรมการนอนหลับกับคุณภาพการนอนหลับ ใช้การวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นพหุตัวแปร (Multiple linear regression) โดยก่อนการวิเคราะห์ ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้นของสมการถดถอย ได้แก่ การทดสอบการแจกแจงปกติของค่าความคลาดเคลื่อน, ความเท่ากันของความแปรปรวน (homoscedasticity) และการตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นร่วม (multicollinearity) ด้วยค่า Variance Inflation Factor (VIF) เพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ ได้แก่ เพศ อายุ ระยะเวลาการนอนหลับ การออกกำลังกาย การรับประทานอาหารเช้า และการนอนหลับช่วงกลางวัน กับคะแนนคุณภาพการนอนหลับ โดยแสดงผลเป็นค่า β-coefficient และช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (95% confidence interval) ทั้งนี้ในบางตัวแปรได้มีการปรับให้กลายเป็นลักษณะ Dichotomous เพื่อลดจำนวนตัวแปรอิสระที่นำเข้าสู่สมการการวิเคราะห์

นอกจากนี้การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพการนอนหลับกับตัวแปรด้านสุขภาวะทางจิตใจและสมาธิในการเรียน ได้แก่ ความรู้สึกเหนื่อยล้า ความวิตกกังวล ความลำบากในการนอนหลับ ความรู้สึกสงบผ่อนคลาย และความลำบากในการมีสมาธิในการเรียน ใช้สถิติ Spearman's correlation coefficient เพื่อประเมินทิศทางและระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $p\text{-value} < 0.05$

2.4 การพิจารณาด้านจริยธรรมการวิจัย

การศึกษานี้เป็นโครงงานวิจัยของนักเรียนที่ดำเนินการภายใต้หลักสูตรนานาชาติของโรงเรียน และได้รับอนุญาตจากโรงเรียนให้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลภายในโรงเรียน ภายใต้การกำกับดูแลของอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย การเก็บข้อมูลดำเนินการโดยใช้แบบสอบถามออนไลน์แบบไม่ระบุตัวตน ผู้เข้าร่วมตอบแบบสอบถามด้วยความสมัครใจและสามารถยุติการตอบแบบสอบถามได้ทุกเมื่อ ไม่มีการเก็บข้อมูลที่สามารถระบุตัวตนของผู้เข้าร่วม ข้อมูลทั้งหมดถูกเก็บรักษาเป็นความลับ และนำเสนอผลการศึกษาในลักษณะภาพรวมเพื่อวัตถุประสงค์ทางวิชาการเท่านั้น

3. ผลการศึกษา

การศึกษานี้มีผู้เข้าร่วมทั้งหมด 51 คน ดังตารางที่ 1 ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิงร้อยละ 62.7 มีอายุเฉลี่ย 13.6 ± 1.9 ปี และกำลังศึกษาอยู่ในระดับชั้นปีที่ 7 และ 8 สำหรับพฤติกรรมสุขภาพพบว่า ผู้เข้าร่วมส่วนใหญ่ออกกำลังกายอย่างน้อยสัปดาห์ละ 1 ครั้ง และร้อยละ 74.5 รับประทานอาหารเช้าเป็นประจำทุกวัน ด้านพฤติกรรมการนอนหลับ พบว่าผู้เข้าร่วมส่วนใหญ่นอนหลับ 7–8 ชั่วโมงต่อคืน รองลงมาคือ 5–6 ชั่วโมง โดยส่วนใหญ่เข้านอนระหว่างเวลา 22.00–00.00 น. และมากกว่าร้อยละ 90 ตื่นนอนไม่เกินเวลา 07.00 น. นอกจากนี้ มากกว่าครึ่งหนึ่งของกลุ่มตัวอย่างรายงานว่าไม่ได้นอนหลับในช่วงกลางวัน โดยมีค่าเฉลี่ยคะแนนคุณภาพการนอนหลับของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดเท่ากับ 3.3 ± 1.3 คะแนน

ตารางที่ 1 ลักษณะพื้นฐานของผู้เข้าร่วมการศึกษา

ลักษณะพื้นฐาน	การกระจายโดยรวม (N = 51) N (%)
เพศ	
ชาย	19 (37.3)
หญิง	32 (62.7)
อายุเฉลี่ย (ปี ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	13.6 (±1.9)
ชั้นปีที่กำลังศึกษา	
ชั้นปีที่ 7	13 (25.5)
ชั้นปีที่ 8	11 (21.6)
ชั้นปีที่ 9	6 (11.8)
ชั้นปีที่ 10	5 (9.8)
ชั้นปีที่ 11	8 (15.7)
ชั้นปีที่ 12	5 (9.8)
ชั้นปีที่ 13	3 (5.8)

ตารางที่ 1 ลักษณะพื้นฐานของผู้เข้าร่วมการศึกษา (ต่อ)

ลักษณะพื้นฐาน	การกระจายโดยรวม (N = 51) N (%)
ความถี่ในการออกกำลังกาย	
ไม่ออกกำลังกาย	5 (9.8)
1-2 ครั้งต่อสัปดาห์	18 (35.2)
3-4 ครั้งต่อสัปดาห์	14 (27.5)
มากกว่า 5 ครั้งต่อสัปดาห์	14 (27.5)
ความถี่ในการรับประทานอาหารเช้า	
ไม่รับประทาน	3 (5.9)
1-2 ครั้งต่อสัปดาห์	4 (7.8)
3-5 ครั้งต่อสัปดาห์	6 (11.8)
ทุกวัน	38 (74.5)
ระยะเวลาการนอนหลับ (ชั่วโมง)	
น้อยกว่า 5	5 (9.8)
5-6	16 (31.4)
7-8	21 (41.2)
มากกว่า 8	9 (17.6)
เวลาเข้านอน	
ก่อน 22.00 น.	19 (37.3)
22.00-24.00 น.	22 (43.1)
หลัง 24.00 น.	10 (19.6)
เวลาตื่นนอน	
ก่อน 6.00 น.	24 (47.1)
6.00-7.00 น.	23 (45.1)
หลัง 7.00 น.	4 (7.8)
ความถี่ในการงีบหลับกลางวัน	
ไม่เคย	28 (54.9)
1-2 ครั้งต่อสัปดาห์	17 (33.3)
3-5 ครั้งต่อสัปดาห์	3 (5.9)
ทุกวัน	3 (5.9)
คะแนนคุณภาพการนอนหลับเฉลี่ย (± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	3.3 (± 1.3)
คะแนนความเครียดที่รับรู้เฉลี่ย (± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	
รู้สึกตึงเครียดหรือวิตกกังวล	6.1 (± 2.4)
มีปัญหาสมาธิกับการเรียน	5.1 (± 2.8)
รู้สึกเหนื่อยแม้หลังการนอนหลับ	5.9 (± 3.1)
ความลำบากในการนอนหลับ	6.4 (± 3.1)
รู้สึกผ่อนคลายหรือสงบส่วนใหญ่ของวัน	5.6 (± 2.6)

เมื่อวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเชิงเส้น (Multiple Linear Regression) ดังตารางที่ 2 ภายหลังการปรับปัจจัยร่วม ได้แก่ เพศ อายุ การออกกำลังกาย การรับประทานอาหารเช้า และการนอนหลับช่วงกลางวัน พบว่า เฉพาะกลุ่มที่นอนหลับมากกว่า 8 ชั่วโมงต่อคืนเท่านั้นที่มีความสัมพันธ์กับคะแนนคุณภาพการนอนหลับที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่นอนหลับน้อยกว่า 5 ชั่วโมง (Adjusted β = 2.12; 95% CI: 0.62–3.61) ในทางตรงกันข้าม ไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างคะแนนคุณภาพการนอนหลับกับเพศ อายุ การออกกำลังกาย การรับประทานอาหารเช้า การนอนหลับช่วงกลางวัน หรือระยะเวลาการนอนหลับในช่วง 5–6 ชั่วโมง และ 7–8 ชั่วโมงต่อคืน

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุตัวแปรของคะแนนคุณภาพการนอนหลับและตัวแปรอิสระที่เกี่ยวข้อง

ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง	Unadjusted β-coefficient (ช่วงความเชื่อมั่น 95%)	Adjusted β-coefficient (ช่วงความเชื่อมั่น 95%)	Adjusted $R^{2\dagger}$
เพศ			0.0795
ชาย	*1.0 (Ref.)*		
หญิง	-0.14 (-0.88, 0.59)	0.09 (-0.65, 0.84)	
อายุ (ปี)	0.05 (-0.13, 0.24)	0.14 (-0.06, 0.35)	
การออกกำลังกาย			
ไม่ออกกำลังกาย	*1.0 (Ref.)*		
ออกกำลังกายอย่างน้อยสัปดาห์ละ 1 ครั้ง	-0.29 (-1.49, 0.91)	-0.04 (-1.28, 1.21)	
การรับประทานอาหารเช้า			
ไม่รับประทาน	*1.0 (Ref.)*		
รับประทานอย่างน้อยสัปดาห์ละ 1 ครั้ง	-1.06 (-2.55, 0.43)	-1.11 (-2.71, 0.48)	
การงีบหลับกลางวัน			
ไม่งีบหลับ	*1.0 (Ref.)*		
งีบหลับอย่างน้อยสัปดาห์ละ 1 ครั้ง	0.11 (-0.61, 0.82)	0.21 (-0.56, 0.98)	
ระยะเวลาการนอนหลับ (ชั่วโมง)			
น้อยกว่า 5	*1.0 (Ref.)*		
5-6	1.03 (-0.21, 2.28)	0.78 (-0.56, 2.13)	
7-8	0.74 (-0.47, 1.95)	0.77 (-0.50, 2.04)	
มากกว่า 8	1.71 (0.36, 3.07)	**2.12 (0.62, 3.61)***	

**มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%*
†ค่า Adjusted R^2 สำหรับโมเดลที่มีการควบคุมตัวแปร
Ref., กลุ่มอ้างอิง (Reference group)

นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับตัวแปรด้านสุขภาวะทางจิตใจดังตารางที่ 3 พบว่า คะแนนคุณภาพการนอนหลับมีความสัมพันธ์เชิงลบในระดับปานกลางกับความลำบากในการนอนหลับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = -0.56$, $p < 0.001$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผู้ที่มีปัญหาในการเริ่มต้นนอนหลับมากขึ้นจะมีคะแนนคุณภาพการนอนหลับที่ต่ำลง ทั้งนี้ ยังพบแนวโน้มของความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างคุณภาพการนอนหลับกับความลำบากในการมีสมาธิในการเรียน แม้ว่าจะยังไม่ถึงระดับนัยสำคัญทางสถิติก็ตาม ($p = 0.065$)

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพการนอนหลับกับด้านสุขภาวะทางจิตใจและสมาธิในการเรียน

ความสัมพันธ์กับคะแนนคุณภาพการนอนหลับ	Spearman's correlation coefficient (ช่วงความเชื่อมั่น 95%)	P-value
รู้สึกตึงเครียดหรือวิตกกังวล	-0.18 (-0.49, 0.13)	0.202
มีปัญหาในการมีสมาธิกับการเรียน	-0.26 (-0.54, 0.01)	0.059
รู้สึกเหนื่อยแม้หลังการนอนหลับ	-0.21 (-0.51, 0.08)	0.131
ความลำบากในการนอนหลับ	-0.56(-0.76, -0.36)	<0.001*
รู้สึกผ่อนคลายหรือสงบในช่วงส่วนใหญ่ของวัน	0.20 (-0.09, 0.49)	0.152

*มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4. อภิปรายผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาพบว่ากลุ่มนักเรียนที่นอนหลับมากกว่า 8 ชั่วโมงต่อคืน มีความสัมพันธ์กับคะแนนคุณภาพการนอนหลับที่สูงกว่ากลุ่มที่นอนหลับน้อยกว่า 5 ชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับคำแนะนำมาตรฐานของ National Sleep Foundation (NSF) ที่ระบุว่าวัยรุ่นในช่วงอายุ 13–18 ปี [1] ควรได้รับการนอนหลับพักผ่อนอย่างน้อย 8–10 ชั่วโมงต่อคืนเพื่อสุขภาวะที่ดี อีกทั้งยังสอดรับกับหลักฐานเชิงประจักษ์ในวรรณกรรมก่อนหน้านี้ เช่น การศึกษาของ Wheaton และคณะ รวมถึง Okano และคณะ ซึ่งต่างสนับสนุนว่าระยะเวลาการนอนหลับที่เพียงพอ มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมากต่อทั้งผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและผลลัพธ์ด้านสุขภาพโดยรวมของประชากรวัยรุ่น [4--6, 7] ความสอดคล้องของผลการศึกษานี้กับวรรณกรรมก่อนหน้าสามารถอธิบายได้จากการเปลี่ยนแปลงของระบบควบคุมการนอนหลับในช่วงวัยรุ่น โดยเฉพาะการเกิด circadian phase delay ที่ทำให้นาฬิกาชีวภาพเลื่อนออกไป และการสะสมความง่วงของร่างกาย (homeostatic sleep pressure) ที่เกิดขึ้นช้าลง ส่งผลให้วัยรุ่นมีแนวโน้มเข้านอนดึกขึ้นตามธรรมชาติ ขณะที่ยังคงต้องการการนอนหลับในระดับที่เพียงพอเพื่อสนับสนุนพัฒนาการของสมองและการทำงานด้านการรู้คิด [2, 5, 13-15] นอกจากนี้ ในแง่ของพัฒนาการทางสมอง สมองส่วนหน้า (Prefrontal cortex) ของวัยรุ่นยังอยู่ในกระบวนการตัดแต่งไซแนปส์ (Synaptic pruning) และพัฒนาเครือข่ายประสาทอย่างเข้มข้น สมองในช่วงวัยนี้จึงจำเป็นต้องอาศัยระยะเวลาการนอนหลับที่ยาวนานและต่อเนื่องเพื่อทำหน้าที่จัดระเบียบความทรงจำและพัฒนาการของระบบประสาท [2-4, 14]

เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านพฤติกรรมสุขภาพอื่น ๆ การศึกษานี้กลับไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างความถี่ในการออกกำลังกายและพฤติกรรมการรับประทานอาหารเช้ากับคะแนนคุณภาพการนอนหลับ ซึ่งข้อค้นพบดังกล่าวไม่สอดคล้องกับวรรณกรรมในอดีต โดยงานวิจัยประเภทการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบและการวิเคราะห์อภิมานของ Yan และคณะรายงานว่า การออกกำลังกายที่ต่อเนื่องยาวนาน 3–12 สัปดาห์ สามารถช่วยพัฒนาคุณภาพการนอนหลับในวัยรุ่นได้อย่างมีนัยสำคัญ [9, 10] ขณะเดียวกันการรับประทานอาหารเช้าก็พบว่ามีบทบาทสำคัญต่อการปรับตัวของนาฬิกาชีวภาพ ให้สอดคล้องกับวงจรวันและคืนที่เหมาะสมสำหรับการนอนได้ [11, 12, 16] เหตุผลที่สามารถอธิบายความไม่สอดคล้องของผลการศึกษาในครั้งนี้ เนื่องจากการศึกษานี้มีขนาดตัวอย่างจำกัด ผู้วิจัยจึงมีความจำเป็นต้องยุบกลุ่มตัวแปรดังกล่าวเพื่อควบคุมจำนวนพารามิเตอร์อิสระในสมการถดถอย ผลจากการยุบกลุ่มทำให้เกิดการสูญเสียความแปรปรวนของข้อมูล และทำให้กลุ่มอ้างอิงมีขนาดเล็กและขาดอำนาจทางสถิติ การศึกษานี้จึงยังไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่ชัดว่าปัจจัยทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์กับคุณภาพการนอนหลับ ประเด็นสำคัญของข้อค้นพบในส่วนนี้จึงไม่ได้หมายความว่าการออกกำลังกายหรือการรับประทานอาหารเช้าไม่มีความสำคัญต่อคุณภาพการนอนหลับของวัยรุ่น บุคลากรทางการศึกษา ผู้ปกครอง และตัววัยรุ่นเอง ยังคงควรส่งเสริมพฤติกรรมดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการออกกำลังกายและการรับประทานอาหารเช้าเป็นพฤติกรรมสุขภาพที่มีความสัมพันธ์กับผลลัพธ์ด้านสุขภาพ การรู้คิด และการเรียนรู้ของเด็กและวัยรุ่น [17] ซึ่งจะส่งผลดีต่อทั้งสุขภาวะทางกายและเป็นปัจจัยเสริมที่ช่วยสนับสนุนคุณภาพการนอนหลับที่ดีในระยะยาว แม้ว่าอาจจะไม่สามารถตรวจวัดผลกระทบในระยะสั้นออกมาเป็นค่าความแตกต่างทางสถิติได้อย่างชัดเจนในกลุ่มตัวอย่างกลุ่มนี้ก็ตาม

ในส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนคุณภาพการนอนหลับกับด้านสุขภาวะทางจิตใจและสมาธิในการเรียนนั้น พบว่า ความลำบากในการนอนหลับมีความสัมพันธ์เชิงลบในระดับปานกลางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับคะแนนคุณภาพการนอนหลับและยังพบแนวโน้มของความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างคุณภาพการนอนหลับกับความลำบากในการมีสมาธิ

ในการเรียนอีกด้วย ซึ่งข้อค้นพบดังกล่าวมีความสอดคล้องอย่างยิ่งกับวรรณกรรมในอดีต อาจเนื่องจากการใช้เวลานานกว่าจะหลับหรือมีการตื่นระหว่างคืนบ่อยครั้ง ย่อมส่งผลให้ระยะเวลาและความต่อเนื่องของการนอนลดลง ทำให้รู้สึกพักผ่อนไม่เพียงพอและรับรู้คุณภาพการนอนหลับที่ต่ำลง ส่งผลต่อการทำงานด้านการรู้คิด ความสนใจ และความสามารถในการเรียนรู้ของวัยรุ่น [2, 4, 14]

ความสอดคล้องเชิงโครงสร้างและทฤษฎีนี้ สามารถอธิบายได้ด้วยกลไกทางสรีรวิทยาของนาฬิกาชีวภาพ กล่าวคือ วัยรุ่นมักมีการหลั่งฮอร์โมนเมลาโทนินที่ล่าช้าออกไปในช่วงกลางคืนร่วมกับการสะสมความง่วงของร่างกาย ส่งผลให้การเริ่มต้นนอนหลับเป็นไปได้ยากขึ้น [15] เมื่อปัจจัยภายในทางชีววิทยาเหล่านี้ต้องเผชิญกับปัจจัยภายนอก เช่น การใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์หรือความเครียดจากการเรียน จึงยิ่งซ้ำเติมให้เกิดภาวะนอนไม่หลับ และนำไปสู่คุณภาพการนอนหลับที่ย่ำแย่ในที่สุด [2, 18, 19] ซึ่งการที่สมองไม่ได้รับการพักผ่อนที่เต็มประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่องนี้ จะส่งผลกระทบโดยตรงต่อระบบประสาทและการทำหน้าที่ของสมอง โดยเฉพาะในส่วนของสมาธิและความจดจ่อในการเรียนรู้ [4, 5, 20, 21] ผลการศึกษาที่พบความสัมพันธ์ระหว่างความลำบากในการเริ่มต้นนอนหลับกับคุณภาพการนอนหลับนั้น ควรพิจารณาในฐานะข้อสังเกตเชิงพรรณนา เนื่องจากตัวแปรทั้งสองมีความทับซ้อนกันเชิงแนวคิดและถูกประเมินในช่วงเวลาเดียวกัน โดยอาจเป็นจุดเริ่มต้นในการตรวจพบและนำไปสู่กระบวนการแก้ไขได้ตั้งแต่ระยะแรกเริ่ม ก่อนที่ปัญหาจะลุกลามจนส่งผลกระทบเชิงลบต่อการเรียนและสุขภาวะทางจิตใจ มาตรการในสถานศึกษาหรือนโยบาย จึงควรเน้นย้ำไปที่การปรับพฤติกรรมสุขอนามัยการนอนหลับเป็นสำคัญ เช่น การรณรงค์ลดการสัมผัสแสงสีฟ้าจากหน้าจออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ก่อนเข้านอน เพื่อช่วยส่งเสริมกลไกการหลั่งเมลาโทนินตามธรรมชาติ และช่วยบรรเทาปัญหาการเริ่มต้นนอนหลับยากของวัยรุ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัยนี้คณะผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดพัฒนาแอปพลิเคชันต้นแบบ (Prototype) ขึ้น เพื่อเป็นแนวทางและทิศทางในอนาคตในการนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้เพื่อติดตาม ประเมิน และช่วยสนับสนุนการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมสุขอนามัยการนอนหลับของนักเรียน ซึ่งนวัตกรรมในลักษณะนี้อาจเป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยยกระดับทั้งประสิทธิภาพด้านการเรียนรู้และสุขภาวะทางจิตใจของวัยรุ่นได้อย่างยั่งยืนในอนาคตซึ่งคงต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อการพัฒนาอย่างเหมาะสมต่อไป

อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ยังมีข้อจำกัดหลายประการที่ควรนำมาพิจารณาในการแปลผลลัพธ์ ประการแรก รูปแบบการศึกษาที่เป็นการวิจัยเชิงพรรณนาแบบภาคตัดขวาง (cross-sectional design) ทำให้มีข้อจำกัดในการสรุปความสัมพันธ์เชิงเหตุและผล (temporal relationship) ระหว่างปัจจัยพฤติกรรม คุณภาพการนอนหลับ และสมาธิในการเรียน ประการที่สอง การศึกษานี้มีกลุ่มตัวอย่างค่อนข้างจำกัด (n = 51) เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนตัวแปรที่นำเข้าสู่แบบจำลองทางสถิติ ทำให้มีความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะความเหมาะสมมากเกินไป (over-fitting) ซึ่งอาจส่งผลต่อพลังทางสถิติ (statistical power) ในการตรวจพบความสัมพันธ์ที่มีขนาดเล็กถึงปานกลาง ทำให้ผลการศึกษาบางส่วนอาจยังไม่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แม้ว่าจะพบแนวโน้มของความสัมพันธ์ในทิศทางที่สอดคล้องกับวรรณกรรมก่อนหน้า นอกจากนี้การทดสอบความสัมพันธ์หลายตัวแปรในการศึกษานี้ไม่ได้ผ่านการปรับค่าความคลาดเคลื่อน เพื่อรักษาระดับอำนาจการทดสอบทางสถิติไว้ ข้อค้นพบที่ได้จึงควรถูกพิจารณาในบริบทของการวิเคราะห์เชิงสำรวจ ซึ่งจำเป็นต้องมีการศึกษาเพื่อยืนยันผลต่อไปในอนาคต ประการที่สาม เครื่องมือที่ใช้เป็นแบบสอบถามที่คณะผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเองและยังไม่ได้ผ่านกระบวนการตรวจสอบความตรงทางคลินิกอย่างเป็นทางการ เมื่อเปรียบเทียบกับแบบประเมินมาตรฐานสากล เช่น Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เหมาะสมกับบริบทและความสะดวกในการตอบคำถามของกลุ่มตัวอย่างนักเรียนมัธยมหลักสูตรนานาชาติแห่งหนึ่งในประเทศไทย และประการสุดท้าย การเก็บข้อมูลทั้งหมดอาศัยการประเมินและรายงานผลด้วยตนเองของผู้เข้าร่วมและมีการถามคำถามให้นึกย้อนหลังที่อาจทำให้เกิดอคติจากการระลึกถึง โดยไม่มีการวัดผลเชิงวัตถุวิสัย (Objective measure) เช่น การตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองขณะนอนหลับ (Polysomnography) หรือการใช้เครื่องตรวจจับการเคลื่อนไหว (Actigraphy) เนื่องจากข้อจำกัดในด้านการเข้าถึงอุปกรณ์ในบริบทการสำรวจภาคสนามขนาดใหญ่ ดังนั้น สำหรับการศึกษาในอนาคตจึงควรพิจารณาขยายขนาดกลุ่มตัวอย่างให้มีความหลากหลายของพฤติกรรมสุขภาพมากขึ้น ร่วมกับการประยุกต์ใช้เครื่องมือวัดผลเชิงวัตถุวิสัย และอาจเปลี่ยนรูปแบบการวิจัยเป็นการศึกษาติดตามระยะยาว (Longitudinal study) เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการระบุความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลในอนาคต

5. บทสรุป

การศึกษานี้พบว่า การนอนหลับมากกว่า 8 ชั่วโมงต่อคืนมีความสัมพันธ์กับคุณภาพการนอนหลับที่ดีขึ้น และความลำบากในการเริ่มต้นนอนหลับมีความสัมพันธ์กับคุณภาพการนอนหลับที่ลดลงในกลุ่มนักเรียนที่ศึกษา ผลการศึกษานี้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเชิงสำรวจในนักเรียนระดับมัธยมศึกษาหลักสูตรนานาชาติแห่งหนึ่งในประเทศไทย และมีข้อจำกัดในการขยายผลไปยังประชากรวัยรุ่นไทยโดยทั่วไป จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในกลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่และหลากหลายมากขึ้นเพื่อยืนยันผลการศึกษาและเพิ่มความสามารถในการประยุกต์ใช้ผลการวิจัยในระดับประชากร

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร(หลักสูตรนานาชาติ) ที่อนุญาตและอำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัย และขอขอบคุณนักเรียนทุกคนที่สมัครใจเข้าร่วมการศึกษาครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Hirshkowitz, M., Whiton, K., Albert, S. M., Alessi, C., Bruni, O., DonCarlos, L., Hazen, N., Herman, J., Katz, E. S., Kheirandish-Gozal, L., Neubauer, D. N., O'Donnell, A. E., Ohayon, M., Peever, J., Rawding, R., Sachdeva, R. C., Setters, B., Vitiello, M. V., Ware, J. C., & Adams Hillard, P. J. (2015). National Sleep Foundation's sleep time duration recommendations: methodology and results summary. Sleep Health, 1(1), 40-43. doi.org/10.1016/j.sleh.2014.12.010

[2] Uccella, S., Cordani, R., Salfi, F., Gorgoni, M., Scarpelli, S., Gemignani, A., Geoffroy, P. A., De Gennaro, L., Palagini, L., Ferrara, M., & Nobili, L. (2023). Sleep Deprivation and Insomnia in Adolescence: Implications for Mental Health. Brain Sciences, 13(4), 569. doi.org/10.3390/brainsci13040569

[3] Anastasiades, P. G., de Vivo, L., Bellesi, M., & Jones, M. W. (2022). Adolescent sleep and the foundations of prefrontal cortical development and dysfunction. Prog Neurobiol, 218, 102338. doi.org/10.1016/j.pneurobio.2022.102338

[4] Okano, K., Kaczmarzyk, J. R., Dave, N., Gabrieli, J. D. E., & Grossman, J. C. (2019). Sleep quality, duration, and consistency are associated with better academic performance in college students. npj Science of Learning, 4, 16. doi.org/10.1038/s41539-019-0055-z

[5] Wheaton, A. G., Chapman, D. P., & Croft, J. B. (2016). School Start Times, Sleep, Behavioral, Health, and Academic Outcomes: a Review of the Literature. Journal of School Health, 86(5), 363-381. doi.org/10.1111/josh.12388

[6] Sharman, R., & Illingworth, G. (2020). Adolescent sleep and school performance — the problem of sleepy teenagers. Current Opinion in Physiology, 15, 23-28. doi.org/10.1016/j.cophys.2019.11.006

[7] Xu, Z., Niu, M., Du, W., & Dang, T. (2025). The effect of sleep quality on learning engagement of junior high school students: the moderating role of mental health [Original Research]. Frontiers in Psychology, Volume 16 - 2025. doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1476840

[8] Jalali, R., Khazaei, H., Paveh, B. K., Hayrani, Z., & Menati, L. (2020). The Effect of Sleep Quality on Students' Academic Achievement. Adv Med Educ Pract, 11, 497-502. doi.org/10.2147/amep.S261525

[9] Yan, H., Xin, G., & Chen, R. (2025). Effects of exercise interventions on sleep quality in adolescents: a systematic review and meta-analysis. Frontiers in Public Health, 13, 1623506. doi.org/10.3389/fpubh.2025.1623506

[10] Korkutata, A., Korkutata, M., & Lazarus, M. (2025). The impact of exercise on sleep and sleep disorders. npj Biological Timing and Sleep, 2(1), 5. doi.org/10.1038/s44323-024-00018-w

[11] Mozaffari-Khosravi, H., Karandish, M., Hadianfard, A. M., Azhdari, M., Sheikhi, L., Tabatabaie, M., Shams-Rad, S., Mirzavandi, F., & Babaie, S. (2020). The relationship between sleep quality and breakfast, mid-morning snack, and dinner and physical activity habits among adolescents: across-sectional study in Yazd, Iran. Sleep and Biological Rhythms,19(1),79-84. doi.org/10.1007/s41105-020-00290-w

[12] Mathew, G. M., Reichenberger, D. A., Master, L., Buxton, O. M., Hale, L., & Chang, A. M. (2022). Worse sleep health predicts less frequent breakfast consumption among adolescents in a micro-longitudinal analysis. Int J Behav Nutr Phys Act, 19(1), 70. doi.org/10.1186/s12966-022-01265-5

[13] Lo, J. C., Twan, D. C. K., Karamchedu, S., Lee, X. K., Ong, J. L., van Rijn, E., Gooley, J. J., & Chee, M. W. L. (2019). Differential effects of split and continuous sleep on neurobehavioral function and glucose tolerance in sleep-restricted adolescents [Original Article]. Sleep, 42(5), 1-10. doi.org/10.1093/sleep/zsz037

[14] Ma, Q., Sahakian, B. J., Zhang, B., Li, Z., Yu, J.-T., Li, F., Feng, J., & Cheng, W. (2025). Neural correlates of device-based sleep characteristics in adolescents. Cell Reports, 44, 115565. doi.org/10.1016/j.celrep.2025.115565

[15] Andersen, C. C., Kjær, E. K. R., Vase, C. B., Mathiasen, R., Debes, N. M., Jørgensen, N. R., & Jennum, P. J. (2025). Melatonin secretion across puberty: A systematic review and meta-analysis. Psychoneuroendocrinology, 173, 107281. doi.org/10.1016/j.psyneuen.2025.107281

[16] Gwin, J., Braden, M., & Leidy, H. (2019). Breakfast Habits Are Associated with Mood, Sleep Quality, and Daily Food Intake in Healthy Adults (OR08-02-19). Curr Dev Nutr, 3(Suppl 1). doi.org/10.1093/cdn/nzz050.OR08-02-19

[17] Lundqvist, M., Vogel, N. E., & Levin, L.-Å. (2019). Effects of eating breakfast on children and adolescents: A systematic review of potentially relevant outcomes in economic evaluations. Food & Nutrition Research, 63, 1618. doi.org/10.29219/fnr.v63.1618

[18] Khan, M. N., Nock, R., & Gooneratne, N. S. (2015). Mobile Devices and Insomnia: Understanding Risks and Benefits. Curr Sleep Med Rep, 1(4), 226-231. doi.org/10.1007/s40675-015-0027-7

[19] Exelmans, L., & Van den Bulck, J. (2016). Bedtime mobile phone use and sleep in adults. Soc Sci Med, 148, 93-101. doi.org/10.1016/j.socscimed.2015.11.037

[20] Zimmerman, M. E., Benasi, G., Hale, C., Yeung, L.-K., Cochran, J., Brickman, A. M., & St-Onge, M.-P. (2024). The effects of insufficient sleep and adequate sleep on cognitive function in healthy adults. Sleep Health, 10(2), 229-236. doi.org/10.1016/j.sleh.2023.11.011

[21] Joo, H. J., Joo, J. H., Kwon, J., Jang, B. N., & Park, E.-C. (2021). Association between quality and duration of sleep and subjective cognitive decline: a cross-sectional study in South Korea. Scientific Reports, 11(1), 16989. doi.org/10.1038/s41598-021-96453-x

การวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนมาใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยและการพยากรณ์แนวโน้มการยอมรับในอนาคต

Analysis of Factors Associated with Electric Vehicle Adoption in Thailand and Forecasting Future Adoption Trends

พงศธร พันธ์ศรี[1] เกียรติศักดิ์ เสือใหล[1] สยาม ลางคุลเสน[2] และ ชาญวิทย์ ปราบพยัคฆ์[2*]

[1]สาขาวิชาวิทยาการข้อมูลและเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
[2]สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
*E-mail: chanwit.p@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

การเปลี่ยนผ่านจากรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในไปสู่รถยนต์พลังงานไฟฟ้าเป็นแนวทางสำคัญในการลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และสนับสนุนการพัฒนาระบบคมนาคมที่ยั่งยืน อย่างไรก็ตาม การตัดสินใจเปลี่ยนมาใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้ายังคงเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายด้าน การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนมาใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย และพยากรณ์แนวโน้มการยอมรับในอนาคต การศึกษาประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ การสำรวจความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 86 คน โดยใช้แบบสอบถามออนไลน์และการเลือกตัวอย่างแบบสะดวก และการวิเคราะห์ข้อมูลทุติยภูมิด้านยอดจดทะเบียนรถยนต์พลังงานไฟฟ้ารายปี พ.ศ. 2563–2567 ด้วยแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) ที่พัฒนาด้วยโปรแกรมภาษา Python ข้อมูลแบบสอบถามวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ยังไม่ได้ใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้า แต่ร้อยละ 60.5 มีความสนใจที่จะเปลี่ยนมาใช้ในอนาคต เมื่อพิจารณาปัจจัยในแต่ละด้าน พบว่าประเด็นที่ได้รับการเลือกมากที่สุด ได้แก่ การลดมลพิษทางอากาศในด้านสิ่งแวดล้อม ความคุ้มค่าระยะยาวในด้านต้นทุนและค่าใช้จ่าย ความสะดวกในการใช้งานและเทคโนโลยีภายในรถในด้านความสะดวกสบาย การรับประกันคุณภาพรถยนต์ในด้านการรับรู้และความเชื่อมั่น และระบบความปลอดภัยขั้นสูงในด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรม สำหรับการพยากรณ์แนวโน้มการยอมรับรถยนต์พลังงานไฟฟ้าแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นมีค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.78 และแสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของยอดจดทะเบียนรถยนต์พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย ผลการศึกษาสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการสนับสนุนการวิเคราะห์แนวโน้มการใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้า และเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนด้านการพัฒนาอุตสาหกรรมและโครงสร้างพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

คำสำคัญ รถยนต์พลังงานไฟฟ้า ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการยอมรับ การพยากรณ์ การถดถอยเชิงเส้น

Abstract

The transition from internal combustion engine vehicles to electric vehicles (EVs) has become an important strategy for reducing fossil fuel consumption, lowering greenhouse gas emissions, and promoting sustainable transportation. However, the adoption of EVs is associated with multiple factors. This study aimed to analyze factors associated with electric vehicle adoption in Thailand and forecast future adoption trends. The research consisted of two components: an online questionnaire survey of 86 respondents recruited through convenience sampling, and a trend analysis of annual EV registration data from 2020 to 2024 using a Simple Linear Regression model developed in Python. The survey data was analyzed using descriptive statistics. The results showed that most respondents were not current EV users; however, 60.5% expressed an intention to adopt EVs in the future. Among the investigated factors, the most frequently selected considerations were air pollution reduction for environmental concerns, long-term cost effectiveness for costs and expenses, ease of use and in-vehicle technology for convenience, vehicle quality warranty for perception and trust, and advanced safety systems for technology and innovation. The Linear Regression model yielded a coefficient of determination (R^2) of 0.78 and indicated a continuing upward trend in EV registrations in Thailand. The findings provide baseline information on the factors considered important by the respondents and offer insights into future EV adoption trends that may support transportation planning, EV infrastructure development, and related policy implementation.

Keywords: Electric Vehicles, Factors Associated with EV Adoption, Forecasting, Linear Regression

1. บทนำ

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) และภาวะโลกร้อน (Global Warming) ได้กลายเป็นความท้าทายสำคัญของประชาคมโลก โดยมีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมทางเศรษฐกิจและการใช้พลังงาน โดยเฉพาะภาคการคมนาคมขนส่งซึ่งเป็นหนึ่งในภาคส่วนที่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสัดส่วนสูง การพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น น้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซล ไม่เพียงก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม แต่ยังส่งผลต่อความมั่นคงด้านพลังงานและต้นทุนทางเศรษฐกิจของประเทศในระยะยาว ดังนั้น หลายประเทศทั่วโลกจึงเร่งผลักดันการใช้พลังงานสะอาดและพัฒนาเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicles: EVs) เพื่อเป็นทางเลือกในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและยกระดับคุณภาพสิ่งแวดล้อม [1] รถยนต์พลังงานไฟฟ้าได้รับการยอมรับว่าเป็นนวัตกรรมสำคัญที่สามารถช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ลดมลพิษทางอากาศ และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานเมื่อเปรียบเทียบกับรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine: ICE) นอกจากนี้ ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีแบตเตอรี่และระบบขับเคลื่อนไฟฟ้ายังช่วยเพิ่มสมรรถนะการใช้งานและลดต้นทุนการผลิตอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ตลาดรถยนต์ไฟฟ้าทั่วโลกเติบโตอย่างก้าวกระโดดในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา [1, 2] อย่างไรก็ตาม การยอมรับและการเปลี่ยนมาใช้รถยนต์ไฟฟ้าของผู้บริโภคยังขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้าน ทั้งปัจจัยทางเศรษฐกิจ สังคม เทคโนโลยี และนโยบายภาครัฐ ซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละประเทศ [3-5]

สำหรับประเทศไทย ภาครัฐได้กำหนดนโยบายสนับสนุนอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าอย่างจริงจัง โดยมีเป้าหมายผลักดันประเทศสู่การเป็นศูนย์กลางการผลิตยานยนต์ไฟฟ้าของภูมิภาคอาเซียน ผ่านมาตรการส่งเสริมต่าง ๆ เช่น การลดภาษีสรรพสามิต การให้เงินอุดหนุนแก่ผู้ซื้อรถยนต์ไฟฟ้า การส่งเสริมการลงทุนของภาคเอกชน และการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านสถานีอัดประจุไฟฟ้า [1, 2] ข้อมูลล่าสุดพบว่ายอดจดทะเบียนรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี พ.ศ. 2566 มียอดจดทะเบียนรถยนต์ไฟฟ้าสูงกว่า 76,000 คัน และมีอัตราการเติบโตสูงกว่าหลายเท่าตัวเมื่อเทียบกับช่วงก่อนหน้า [6, 7] สะท้อนให้เห็นถึงทิศทางการเปลี่ยนผ่านสู่การใช้ยานยนต์พลังงานสะอาดที่ชัดเจนมากขึ้น

แม้ว่าตลาดรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยจะมีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว แต่การตัดสินใจของผู้บริโภคในการเปลี่ยนมาใช้รถยนต์ไฟฟ้ายังคงเป็นประเด็นที่ต้องศึกษาอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากยังมีข้อจำกัดและอุปสรรคหลายประการ เช่น ราคา

จำหน่ายที่สูงกว่ารถยนต์ทั่วไป ความกังวลเกี่ยวกับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ระยะทางการขับขี่ต่อการชาร์จหนึ่งครั้ง ความครอบคลุมของสถานีชาร์จไฟฟ้า รวมถึงความเชื่อมั่นต่อเทคโนโลยีใหม่ [3-5] ขณะเดียวกัน ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม การรับรู้ถึงประโยชน์ของรถยนต์ไฟฟ้า ความคุ้มค่าในการใช้งานระยะยาว และอิทธิพลทางสังคม ก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการตัดสินใจของผู้บริโภคเช่นเดียวกัน [3, 4]

จากมุมมองทางทฤษฎี การยอมรับรถยนต์ไฟฟ้าสามารถอธิบายได้ด้วยหลายแนวคิดสำคัญ ได้แก่ ทฤษฎีการยอมรับเทคโนโลยี (Technology Acceptance Model) ของ Davis [8] ซึ่งอธิบายว่าการรับรู้ถึงประโยชน์และความง่ายในการใช้งานเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการยอมรับเทคโนโลยีใหม่ ทฤษฎีการแพร่กระจายนวัตกรรม (Diffusion of Innovation Theory) ของ Rogers [9] ที่อธิบายกระบวนการยอมรับและการแพร่กระจายของนวัตกรรมในสังคม และทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน (Theory of Planned Behavior) ของ Ajzen [10] ที่ชี้ให้เห็นว่าเจตคติ บรรทัดฐานทางสังคม และการรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรม ล้วนมีผลต่อความตั้งใจในการตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีใหม่ แนวคิดเหล่านี้ได้รับการนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาการยอมรับรถยนต์ไฟฟ้าในหลายประเทศและพบว่ามีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมของผู้บริโภคอย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้ งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าปัจจัยด้านนโยบายภาครัฐ อิทธิพลทางสังคม ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ และความก้าวหน้าของเทคโนโลยี มีบทบาทสำคัญต่อการตัดสินใจเลือกใช้รถยนต์ไฟฟ้าของประชาชนไทย [3-5] อย่างไรก็ตาม งานวิจัยส่วนใหญ่ยังมุ่งเน้นการศึกษาปัจจัยเชิงพฤติกรรมหรือการยอมรับเทคโนโลยีเพียงด้านใดด้านหนึ่ง ขณะที่การศึกษาที่ผสานการวิเคราะห์ปัจจัยเชิงพฤติกรรมร่วมกับการพยากรณ์แนวโน้มการเติบโตของการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในอนาคตยังมีจำนวนจำกัด โดยเฉพาะการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลและแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจเชิงนโยบายและการวางแผนเชิงกลยุทธ์ [5]

ด้วยเหตุนี้ การวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งศึกษาปัจจัยต่อการเปลี่ยนมาใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย วิเคราะห์ปัจจัยต่อการตัดสินใจของผู้บริโภค และพยากรณ์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในอนาคตโดยใช้เทคนิค Linear Regression ผลการศึกษาที่ได้จะช่วยสร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับพฤติกรรมการยอมรับรถยนต์ไฟฟ้าของประชาชนไทย และสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการกำหนดนโยบาย การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านยานยนต์ไฟฟ้า ตลอดจนการวางแผนเชิงกลยุทธ์ของหน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชน เพื่อขับเคลื่อนประเทศไทยสู่ระบบคมนาคมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาที่ยั่งยืนในอนาคต

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อศึกษาประเด็นที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญเกี่ยวกับการเปลี่ยนมาใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย โดยครอบคลุมด้านสิ่งแวดล้อม ต้นทุนและค่าใช้จ่าย ความสะดวกสบาย การรับรู้และความเชื่อมั่น รวมถึงด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรม

2) เพื่อศึกษาสถานะการใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้า ความสนใจในการเปลี่ยนมาใช้ และเหตุผลที่มีผลต่อการตัดสินใจของกลุ่มตัวอย่าง โดยอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนา

3) เพื่อพยากรณ์แนวโน้มการเติบโตของการใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลยอดจดทะเบียนรถยนต์พลังงานไฟฟ้ารายปีและแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนมาใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยและการพยากรณ์แนวโน้มการยอมรับในอนาคต อาศัยแนวคิดด้านการยอมรับเทคโนโลยี การแพร่กระจายนวัตกรรม พฤติกรรมผู้บริโภค ตลอดจนนโยบายและทิศทางการพัฒนาอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า โดยสามารถสรุปสาระสำคัญได้ดังนี้

3.1 แนวคิดเกี่ยวกับการยอมรับเทคโนโลยี

Davis [8] เสนอแบบจำลองการยอมรับเทคโนโลยี (Technology Acceptance Model: TAM) ซึ่งอธิบายว่าการยอมรับเทคโนโลยีใหม่ของผู้ใช้งานเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบสำคัญ 2 ประการ ได้แก่ การรับรู้ถึงประโยชน์ของเทคโนโลยีและการรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งาน ในบริบทของรถยนต์พลังงานไฟฟ้า การรับรู้ประโยชน์อาจครอบคลุมถึงการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน การลดค่าบำรุงรักษา การลดมลพิษทางอากาศ และการได้รับเทคโนโลยีหรือระบบความปลอดภัยที่ทันสมัย ส่วนการรับรู้ความง่ายในการใช้งานเกี่ยวข้องกับความสะดวกในการชาร์จ ระยะทางที่รถสามารถวิ่งได้ต่อการชาร์จ

หนึ่งครั้ง และความพร้อมของข้อมูลหรือบริการหลังการขาย ดังนั้น ผู้บริโภคที่รับรู้ว่ารถยนต์พลังงานไฟฟ้ามีประโยชน์และสามารถใช้งานได้สะดวกย่อมมีแนวโน้มเปิดรับเทคโนโลยีดังกล่าวมากขึ้น

Rogers [9] อธิบายการยอมรับนวัตกรรมผ่านทฤษฎีการแพร่กระจายนวัตกรรม (Diffusion of Innovations: DOI) โดยระบุว่าการตัดสินใจยอมรับนวัตกรรมขึ้นอยู่กับการรับรู้คุณลักษณะของนวัตกรรม เช่น ความได้เปรียบเชิงเปรียบเทียบ ความสอดคล้องกับรูปแบบการดำเนินชีวิต ความซับซ้อน ความสามารถในการทดลองใช้ และการสังเกตเห็นผลลัพธ์จากผู้อื่น สำหรับรถยนต์พลังงานไฟฟ้า ผู้บริโภคอาจพิจารณาความได้เปรียบด้านค่าใช้จ่าย สมรรถนะ ความปลอดภัย และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งอาศัยประสบการณ์ของผู้ใช้จริงหรือการทดลองขับก่อนตัดสินใจซื้อ

นอกจากนี้ Ajzen [10] เสนอทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน (Theory of Planned Behavior: TPB) ซึ่งอธิบายว่าความตั้งใจแสดงพฤติกรรมเกิดจากเจตคติต่อพฤติกรรม บรรทัดฐานทางสังคม และการรับรู้ความสามารถในการควบคุมพฤติกรรม การตัดสินใจใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าจึงอาจเกี่ยวข้องกับทัศนคติของผู้บริโภคต่อความคุ้มค่าและสิ่งแวดล้อม คำแนะนำจากบุคคลใกล้ชิด ตลอดจนความสามารถในการซื้อ การเข้าถึงสถานีชาร์จ และความพร้อมในการใช้งานจริง แนวคิด TAM, DOI และ TPB จึงเป็นพื้นฐานสำคัญในการกำหนดประเด็นศึกษาในด้านสิ่งแวดล้อม ต้นทุน ความสะดวก ความเชื่อมั่น และเทคโนโลยีของงานวิจัยนี้

3.2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการยอมรับรถยนต์พลังงานไฟฟ้า

ณัฐพล เด่นยุกต์ [3] ศึกษาการยอมรับเทคโนโลยีและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจเลือกซื้อรถยนต์ไฟฟ้าสัญชาติจีนของผู้บริโภคในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการตัดสินใจเลือกซื้อรถยนต์ไฟฟ้าเกี่ยวข้องกับการรับรู้ประโยชน์ของเทคโนโลยี ความคุ้มค่าในการใช้งาน คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ และความเชื่อมั่นของผู้บริโภค ประเด็นดังกล่าวสะท้อนว่าการยอมรับรถยนต์ไฟฟ้าไม่ได้ขึ้นอยู่กับราคาซื้อเพียงอย่างเดียว แต่ยังรวมถึงค่าใช้จ่ายระยะยาว คุณภาพรถยนต์ เทคโนโลยีแบตเตอรี่ และความน่าเชื่อถือของผู้ผลิต

วรัท พันธุ์พิศุทธิ์ชัย และธีรารัตน์ วรพิเชฐ [4] ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการรับรู้และการยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย โดยให้ความสำคัญกับการรับรู้ประโยชน์ ความสะดวกในการใช้งาน คุณภาพของเทคโนโลยี และสภาพแวดล้อมที่สนับสนุนการใช้งาน ผลการศึกษาช่วยยืนยันว่าการสร้างความเชื่อมั่นต่อเทคโนโลยี ความปลอดภัยแบตเตอรี่ และบริการหลังการขายเป็นองค์ประกอบสำคัญต่อการยอมรับรถยนต์ไฟฟ้า โดยเฉพาะในช่วงที่เทคโนโลยียังถือว่าเป็นนวัตกรรมใหม่สำหรับผู้บริโภคบางกลุ่ม

ตะวันฉาน พิทักษ์ประเวช [5] ศึกษาการพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทย โดยนำแนวคิดด้านการยอมรับเทคโนโลยีและการพยากรณ์มาประยุกต์ใช้เพื่ออธิบายทิศทางของตลาด งานดังกล่าวแสดงให้เห็นความสำคัญของการใช้ข้อมูลเชิงปริมาณในการประเมินแนวโน้มการยอมรับรถยนต์ไฟฟ้า และสนับสนุนการนำแบบจำลองทางสถิติมาใช้ประกอบการวางแผนด้านอุตสาหกรรมและโครงสร้างพื้นฐาน

3.3 สถานการณ์และนโยบายยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย

สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม [1] ระบุว่าการเปลี่ยนผ่านจากรถยนต์เครื่องยนต์สันดาปภายในไปสู่รถยนต์ไฟฟ้าสร้างทั้งโอกาสและความท้าทายต่ออุตสาหกรรมยานยนต์ไทย โอกาสสำคัญคือการพัฒนาอุตสาหกรรมใหม่ การลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิล และการลดมลพิษจากภาคการขนส่ง ขณะที่ความท้าทายประกอบด้วยต้นทุนเทคโนโลยี การพัฒนาบุคลากร การจัดการแบตเตอรี่ และความพร้อมของโครงสร้างพื้นฐานการชาร์จ

ณัฐพล คำถาเครือ [2] อธิบายว่ารถยนต์ไฟฟ้ามีบทบาทต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย การขยายตัวของตลาดทำให้หน่วยงานภาครัฐ ผู้ผลิตรถยนต์ ผู้ให้บริการพลังงาน และธุรกิจที่เกี่ยวข้องต้องปรับตัว โดยเฉพาะการลงทุนในสถานีชาร์จ การพัฒนาห่วงโซ่อุปทานแบตเตอรี่ และการสร้างระบบนิเวศของอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า

ข้อมูลสถานการณ์ตลาดจากไทยพีบีเอส [6] และฐานเศรษฐกิจ [7] แสดงให้เห็นว่ายอดจำหน่ายและยอดจดทะเบียนรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยขยายตัวอย่างรวดเร็ว โดยใน พ.ศ. 2566 มียอดจดทะเบียนรถยนต์ไฟฟ้ามากกว่า 76,000 คัน การเติบโตดังกล่าวสัมพันธ์กับทางเลือกของรถยนต์ที่เพิ่มขึ้น ราคาที่แข่งขันได้มากขึ้น มาตรการอุดหนุน และความสนใจของผู้บริโภคต่อพลังงานสะอาด อย่างไรก็ตาม ความต่อเนื่องของการเติบโตยังขึ้นอยู่กับภาวะเศรษฐกิจ นโยบายภาครัฐ ความพร้อมของสถานีชาร์จ และความเชื่อมั่นต่อเทคโนโลยี

จากการทบทวนเอกสารพบว่า งานวิจัยที่ผ่านมาให้ความสำคัญกับปัจจัยด้านการรับรู้ประโยชน์ ความคุ้มค่า ความสะดวก ความเชื่อมั่น เทคโนโลยี และสภาพแวดล้อมที่สนับสนุนการใช้งาน ขณะที่ข้อมูลสถานการณ์ตลาดชี้ให้เห็นแนวโน้มการเติบโตของยอดจดทะเบียนรถยนต์ไฟฟ้าอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม การศึกษาที่นำข้อมูลความคิดเห็นของผู้บริโภคมาพิจารณาร่วมกับการพยากรณ์แนวโน้มยอดจดทะเบียนยังมีจำนวนจำกัด งานวิจัยนี้จึงวิเคราะห์ประเด็นที่กลุ่มตัวอย่างให้ความสำคัญด้วยสถิติเชิงพรรณนา และประยุกต์ใช้การถดถอยเชิงเส้นเพื่อแสดงทิศทางยอดจดทะเบียนรถยนต์พลังงานไฟฟ้าในอนาคต โดยแยกการวิเคราะห์ทั้งสองส่วนออกจากกันอย่างชัดเจน เพื่อไม่ให้ตีความผลสำรวจเป็นความสัมพันธ์เชิงสาเหตุหรืออิทธิพลของตัวแปรต่อการตัดสินใจใช้รถยนต์ไฟฟ้า

4. วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) โดยใช้รูปแบบการวิจัยเชิงสำรวจ (Survey Research) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องต่อการตัดสินใจเปลี่ยนมาใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้า (Electric Vehicles) ของประชาชนในประเทศไทย และพยากรณ์แนวโน้มการยอมรับรถยนต์ไฟฟ้าในอนาคตด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติและการสร้างแบบจำลองเชิงพยากรณ์

4.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ประชาชนชาวไทยที่มีอายุ 18 ปีขึ้นไป ซึ่งเป็นผู้ใช้รถยนต์หรือผู้ที่มีความสนใจเกี่ยวกับรถยนต์พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย โดยครอบคลุมประชาชนจากภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศ เพื่อให้สามารถสะท้อนความคิดเห็นและพฤติกรรมของผู้บริโภคได้อย่างหลากหลาย กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยจำนวน 86 คน ได้มาจากการเก็บรวบรวมข้อมูลผ่านแบบสอบถามออนไลน์ โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบสะดวก (Convenience Sampling) ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมกับการศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภคในช่วงเวลาการดำเนินโครงการ และสามารถเข้าถึงกลุ่มเป้าหมายได้อย่างรวดเร็ว

4.2 กรอบแนวคิดการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้พัฒนากรอบแนวคิดจากการศึกษาทฤษฎีการยอมรับเทคโนโลยี (Technology Acceptance Model) ทฤษฎีการแพร่กระจายนวัตกรรม (Diffusion of Innovation) และทฤษฎีพฤติกรรมตามแผน (Theory of Planned Behavior) ร่วมกับการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการยอมรับรถยนต์ไฟฟ้า ตัวแปรอิสระที่ใช้ในการศึกษา ประกอบด้วย

1) ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม
2) ปัจจัยด้านต้นทุนและค่าใช้จ่าย
3) ปัจจัยด้านความสะดวกสบาย
4) ปัจจัยด้านการรับรู้และความเชื่อมั่น
5) ปัจจัยด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรม
6) ปัจจัยด้านนโยบายและมาตรการสนับสนุนจากภาครัฐ

ส่วนตัวแปรตาม คือ การตัดสินใจเปลี่ยนมาใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย

4.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลคือแบบสอบถาม (Questionnaire) ที่พัฒนาขึ้นจากการศึกษาเอกสาร แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการยอมรับรถยนต์ไฟฟ้า แบบสอบถามแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ประกอบด้วยข้อมูลด้านเพศ อายุ ระดับการศึกษา อาชีพ รายได้ และประสบการณ์เกี่ยวกับการใช้รถยนต์

ส่วนที่ 2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการเปลี่ยนมาใช้รถยนต์ไฟฟ้า เป็นข้อคำถามที่ใช้วัดความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ค่าใช้จ่าย ความสะดวกสบาย การรับรู้และความเชื่อมั่น ตลอดจนเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่เกี่ยวข้องกับรถยนต์ไฟฟ้า

ส่วนที่ 3 การตัดสินใจเปลี่ยนมาใช้รถยนต์ไฟฟ้า เป็นข้อคำถามที่ใช้ประเมินระดับความสนใจและความตั้งใจในการเลือกใช้รถยนต์ไฟฟ้าในอนาคต

4.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลในรูปแบบออนไลน์ผ่าน Google Forms โดยเผยแพร่แบบสอบถามผ่านช่องทางสื่อสังคมออนไลน์ ได้แก่ Facebook Line และเครือข่ายออนไลน์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้รถยนต์และผู้สนใจเทคโนโลยี

ยานยนต์ไฟฟ้า หลังจากสิ้นสุดการเก็บข้อมูล ผู้วิจัยตรวจสอบความครบถ้วนของข้อมูลและคัดเลือกเฉพาะข้อมูลที่สมบูรณ์เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่รวบรวมได้ถูกนำเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel และ Power BI เพื่อจัดการข้อมูล สร้างตารางสรุปผล และนำเสนอข้อมูลในรูปแบบแผนภูมิและแดชบอร์ด

4.5.1 การวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา ใช้สถิติพื้นฐานในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ วิเคราะห์ความถี่และร้อยละของประเด็นที่ผู้ตอบแบบสอบถามเลือกในแต่ละด้านเพื่ออธิบายลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างและระดับความคิดเห็นต่อปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้รถยนต์ไฟฟ้า

4.5.2 การวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการเปลี่ยนมาใช้รถยนต์ไฟฟ้า

ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเปรียบเทียบจากระดับความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างในแต่ละปัจจัย เพื่อศึกษาว่าปัจจัยใดความเกี่ยวข้องต่อการตัดสินใจเลือกใช้รถยนต์ไฟฟ้ามากที่สุด โดยพิจารณาจากค่าร้อยละและแนวโน้มของข้อมูลที่ปรากฏในแบบสอบถาม

4.6 การพยากรณ์แนวโน้มการยอมรับรถยนต์ไฟฟ้าในอนาคต

การพยากรณ์แนวโน้มการยอมรับรถยนต์ไฟฟ้าในอนาคตดำเนินการโดยใช้ภาษา Python ร่วมกับเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) ผู้วิจัยจัดเตรียมข้อมูลและดำเนินการประมวลผลด้วยไลบรารีทางด้านวิทยาการข้อมูล ได้แก่ Pandas สำหรับการจัดการข้อมูล NumPy สำหรับการคำนวณเชิงตัวเลข Scikit-learn สำหรับการสร้างแบบจำลอง Linear Regression และ Matplotlib สำหรับการแสดงผลข้อมูลในรูปแบบกราฟ

แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและแนวโน้มการเติบโตของการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย โดยมีรูปแบบทั่วไปของสมการดังนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

เมื่อ Y คือ ค่าพยากรณ์การยอมรับรถยนต์ไฟฟ้า หรือจำนวนผู้ใช้รถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา

X คือ ตัวแปรเวลา

β_0 คือ ค่าพื้นฐานของการยอมรับรถยนต์ไฟฟ้า

β_1 คือ สัมประสิทธิ์การถดถอย แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงของการยอมรับรถยนต์ไฟฟ้าต่อหน่วยเวลา

ε คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง

ผลลัพธ์จากแบบจำลองถูกนำเสนอในรูปแบบกราฟเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจริงและข้อมูลพยากรณ์ โดยแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในอนาคต เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการวางแผนเชิงนโยบายและการตัดสินใจของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

5. ผลการทดลองและอภิปรายผล

5.1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

จากการสำรวจกลุ่มตัวอย่างจำนวน 86 คน พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศชาย จำนวน 53 คน คิดเป็นร้อยละ 61.6 และมีอายุ 18-25 ปีมากที่สุด จำนวน 56 คน คิดเป็นร้อยละ 65.1 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในกรุงเทพมหานคร คิดเป็นร้อยละ 43.0 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 76.6 และมีสถานภาพเป็นนักเรียนหรือนักศึกษามากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 51.2 นอกจากนี้ กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในครอบครัวขนาด 3–4 คน คิดเป็นร้อยละ 52.3 และมีรถยนต์ที่ใช้ในครอบครัวจำนวน 1–2 คัน คิดเป็นร้อยละ 67.4 รายละเอียดข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง

ตัวแปร	จำนวน	ร้อยละ
1. เพศ		
- ชาย	**53**	**61.6**
- หญิง	33	38.4
2. อายุ		
- ต่ำกว่า 25 ปี	**56**	**65.1**
- 26-35 ปี	13	15.1
- 36-45 ปี	11	12.8
- 46-55 ปี	6	7.0
3. จังหวัด		
- กรุงเทพมหานคร	**37**	**43.0**
- นนทบุรี	12	14.0
- สมุทรปราการ	8	9.3
- สงขลา	7	8.1
- เชียงใหม่	3	3.5
- นครศรีธรรมราช	3	3.5
- สุพรรณบุรี	3	3.5
- อื่น ๆ	13	15.1
4. ระดับการศึกษา		
- ปริญญาตรี	**66**	**76.6**
- ปริญญาโทหรือสูงกว่า	11	12.8
- ประกาศนียบัตรวิชาชีพ/วิทยาลัย	9	10.5
5. อาชีพ		
- นักเรียน/นักศึกษา	**44**	**51.2**
- พนักงานบริษัท/ลูกจ้าง	15	17.4
- ข้าราชการ/พนักงานรัฐวิสาหกิจ	14	16.3
- อาชีพอิสระ/พ่อค้าแม่ค้า	12	14.0
- อื่น ๆ	1	1.2
6. ขนาดครอบครัว		
- 3-4 คน	**45**	**52.3**
- มากกว่า 4 คน	34	39.5
- 1-2 คน	7	8.1
7. จำนวนรถยนต์ที่ใช้ในครอบครัว		
- 1-2 คัน	**58**	**67.4**
- มากกว่า 2 คัน	17	19.8

ตารางที่ 2 ประเด็นสำคัญที่ผู้ตอบแบบสอบถามเลือกเกี่ยวกับการเปลี่ยนมาใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้า

ตัวแปร	จำนวน	ร้อยละ
1. ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม		
- ช่วยลดการปล่อยของเสียจากกระบวนการผลิตน้ำมัน	6	7.0
- ลดการใช้น้ำมันจากทรัพยากรธรรมชาติ	15	17.4
- ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	2	2.3
- ลดมลพิษทางอากาศ	**52**	**60.5**
- ลดเสียงรบกวนในพื้นที่เมือง	5	5.8
- สนับสนุนการใช้พลังงานสะอาดจากแหล่งพลังงานทดแทน	6	7.0
2. ปัจจัยด้านค่าใช้จ่าย		
- ความคุ้มค่าระยะยาวเมื่อเทียบกับรถยนต์ใช้น้ำมัน	**29**	**33.7**
- ราคาซื้อรถยนต์พลังงานไฟฟ้า	21	24.4
- ค่าไฟฟ้าสำหรับชาร์จรถยนต์	15	17.4
- ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนแบตเตอรี่เมื่อครบอายุการใช้งาน	10	11.6
- ค่าบำรุงรักษาที่ต่ำกว่า	6	7.0
- สิทธิประโยชน์จากภาษีหรือเงินสนับสนุนจากรัฐ	3	3.5
- ค่าติดตั้งอุปกรณ์ชาร์จไฟฟ้าที่บ้าน	2	2.3
3. ปัจจัยด้านความสะดวกสบาย		
- ความสะดวกในการใช้งานและเทคโนโลยีในรถ	**28**	**32.6**
- จำนวนสถานีชาร์จที่เพียงพอ	19	22.1
- เวลาชาร์จไฟที่รวดเร็ว	13	15.1
- ระยะทางที่วิ่งได้ต่อการชาร์จหนึ่งครั้ง	11	12.8
- ความพร้อมของข้อมูลการใช้งาน เช่น แอปพลิเคชันสำหรับสถานีชาร์จ	7	8.1
- การบริการหลังการขาย เช่น การรับประกันและซ่อมบำรุง	5	5.8
- ความสะดวกในการติดตั้งสถานีชาร์จส่วนตัวที่บ้าน	3	3.5
4. ปัจจัยด้านการรับรู้และความเชื่อมั่น		
- การรับประกันคุณภาพของรถยนต์	**20**	**23.3**
- การแนะนำจากผู้ใช้จริงหรือคนใกล้ตัว	17	19.8
- การทดลองใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าก่อนตัดสินใจซื้อ	12	14.0
- การประชาสัมพันธ์ที่ชัดเจนเกี่ยวกับข้อดีของรถยนต์ไฟฟ้า	11	12.8
- ความน่าเชื่อถือของผู้ผลิตและแบรนด์รถยนต์	11	12.8
- ความชัดเจนในนโยบายระยะยาว เช่น การลดภาษี หรือแผนการขยายสถานีชาร์จ	9	10.5
- การสนับสนุนจากรัฐบาลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง	5	5.8
- อื่น ๆ	1	1.2
5. ปัจจัยด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรม		
- ระบบความปลอดภัยขั้นสูง	**37**	**43.0**
- เทคโนโลยีแบตเตอรี่ที่ทันสมัย	25	29.1
- ระบบการขับขี่อัตโนมัติ (Autonomous Driving)	8	9.3
- ระบบช่วยประหยัดพลังงาน เช่น Regenerative Braking	7	8.1
- ความสามารถในการเชื่อมต่อกับสมาร์ทโฟนหรือ IoT	4	4.7
- ความสามารถในการอัปเดตซอฟต์แวร์	2	2.3
- เทคโนโลยีการชาร์จแบบไร้สาย	2	2.3
- อื่น ๆ	1	1.2

จากตารางที่ 2 พบว่า ในแต่ละด้านของการศึกษา ผู้ตอบแบบสอบถามเลือกประเด็นที่แตกต่างกันตามลักษณะของปัจจัยที่ให้ความสำคัญ โดยด้านสิ่งแวดล้อม ประเด็นที่ได้รับการเลือกมากที่สุดคือ การลดมลพิษทางอากาศ (ร้อยละ 60.5) ด้านต้นทุนและค่าใช้จ่าย คือ ความคุ้มค่าระยะยาวเมื่อเทียบกับรถยนต์ใช้น้ำมัน (ร้อยละ 33.7) ด้านความสะดวกสบาย คือ ความสะดวกในการใช้งานและเทคโนโลยีภายในรถ (ร้อยละ 32.6) ด้านการรับรู้และความเชื่อมั่น คือ การรับประกันคุณภาพของรถยนต์ (ร้อยละ 23.3) และด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรม คือ ระบบความปลอดภัยขั้นสูง (ร้อยละ 43.0) ผลการสำรวจสะท้อนให้เห็นว่าผู้ตอบแบบสอบถามให้ความสำคัญกับทั้งประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ความสะดวกในการใช้งาน ความเชื่อมั่นต่อผลิตภัณฑ์ และเทคโนโลยีด้านความปลอดภัยควบคู่กัน โดยผลดังกล่าวเป็นการนำเสนอประเด็นที่ได้รับการเลือกมากที่สุดในแต่ละด้านจากการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนา และไม่ใช่การสรุปความสัมพันธ์เชิงสาเหตุระหว่างปัจจัยกับการตัดสินใจใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้า

ตารางที่ 3 การใช้งานและทัศนคติต่อรถยนต์พลังงานไฟฟ้า

ตัวแปร	จำนวน	ร้อยละ
1. การใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าในปัจจุบัน		
- ใช้	10	11.6
- ไม่ใช้	**76**	**88.4**
2. ความต้องการใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าในอนาคต (เฉพาะผู้ที่ใช้ EV อยู่แล้ว)		
- ต้องการ	**10**	**100.0**
- ไม่ต้องการ	0	0.0
3. ความสนใจเปลี่ยนมาใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้า (เฉพาะผู้ที่ยังไม่ใช้ EV)		
- สนใจ	**46**	**60.5**
- ไม่สนใจ	30	39.5
4. ระยะเวลาที่คาดว่าจะเปลี่ยนมาใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้า (เฉพาะผู้ที่สนใจเปลี่ยนมาใช้ EV)		
- ยังไม่แน่ใจ	**20**	**43.5**
- ภายใน 5 ปี	17	37.0
- มากกว่า 5 ปี	8	17.4
- ภายใน 1 ปี	1	2.2
5. เหตุผลที่ไม่สนใจเปลี่ยนมาใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้า (เฉพาะผู้ที่ไม่สนใจเปลี่ยนมาใช้ EV)		
- ข้อมูลเกี่ยวกับรถยนต์ EV ยังไม่เพียงพอ	**10**	**33.3**
- กังวลเรื่องระยะทางขับขี่ต่อการชาร์จหนึ่งครั้ง	7	23.3
- ความไม่มั่นใจในเทคโนโลยีหรือแบรนด์	5	16.7
- ไม่มีสถานีชาร์จในพื้นที่ของฉัน	4	13.3
- ราคาสูงเกินไปเมื่อเทียบกับรถยนต์ทั่วไป	3	10.0
- อื่น ๆ	1	3.3

ตารางที่ 2 และตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับสถานะการใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้า ความสนใจในการเปลี่ยนมาใช้ในอนาคต ระยะเวลาที่คาดว่าจะเปลี่ยนมาใช้ และเหตุผลของผู้ที่ยังไม่สนใจเปลี่ยนมาใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าของกลุ่มตัวอย่าง จากผลการสำรวจพบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ ยังไม่ได้ใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้า จำนวน 76 คน คิดเป็นร้อยละ 88.4 ของผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด ขณะที่ผู้ใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้ามีจำนวน 10 คน คิดเป็นร้อยละ 11.6 โดยผู้ใช้

รถยนต์พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดระบุว่ามีความตั้งใจที่จะใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าต่อไปในอนาคต คิดเป็นร้อยละ 100.0 ของกลุ่มผู้ใช้งาน

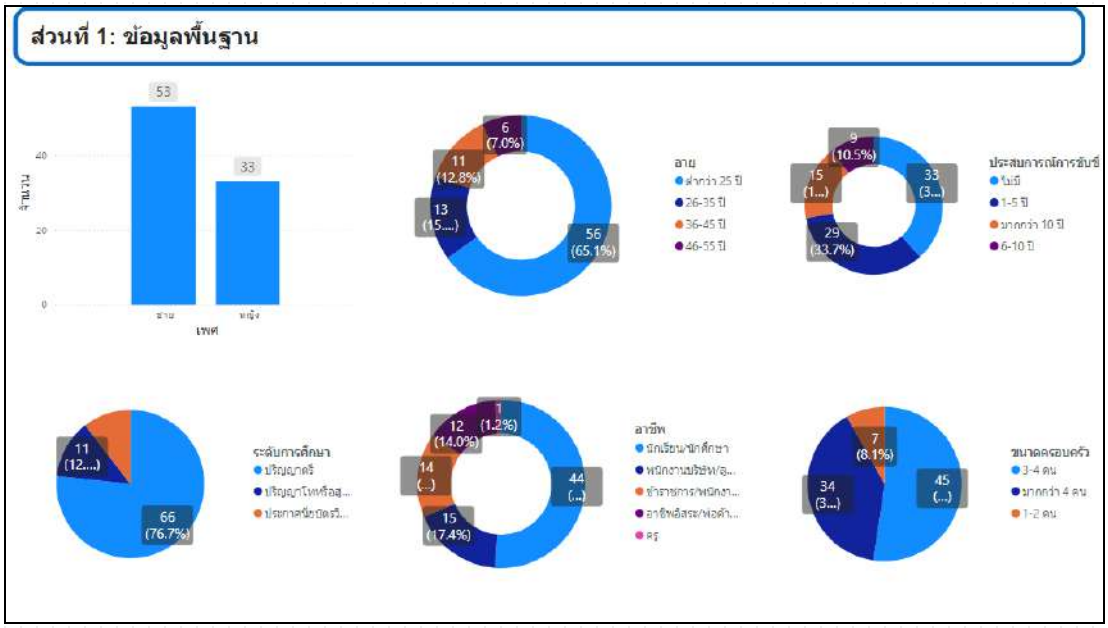
เมื่อพิจารณาเฉพาะกลุ่มตัวอย่างที่ยังไม่ได้ใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้า พบว่า 46 คน (ร้อยละ 60.5) มีความสนใจที่จะเปลี่ยนมาใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าในอนาคต ขณะที่ 30 คน (ร้อยละ 39.5) ระบุว่ายังไม่มีความสนใจเปลี่ยนมาใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้า สำหรับกลุ่มที่สนใจเปลี่ยนมาใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้า ส่วนใหญ่ระบุว่ายังไม่สามารถกำหนดช่วงเวลาที่จะเปลี่ยนมาใช้ได้อย่างชัดเจน จำนวน 20 คน (ร้อยละ 43.5) รองลงมาคือคาดว่าจะเปลี่ยนมาใช้ภายใน 5 ปี จำนวน 17 คน (ร้อยละ 37.0) และคาดว่าจะเปลี่ยนมาใช้หลังจาก 5 ปี จำนวน 8 คน (ร้อยละ 17.4) ในขณะที่มีผู้ตอบแบบสอบถามเพียง 1 คน (ร้อยละ 2.2) ที่คาดว่าจะเปลี่ยนมาใช้ภายใน 1 ปี

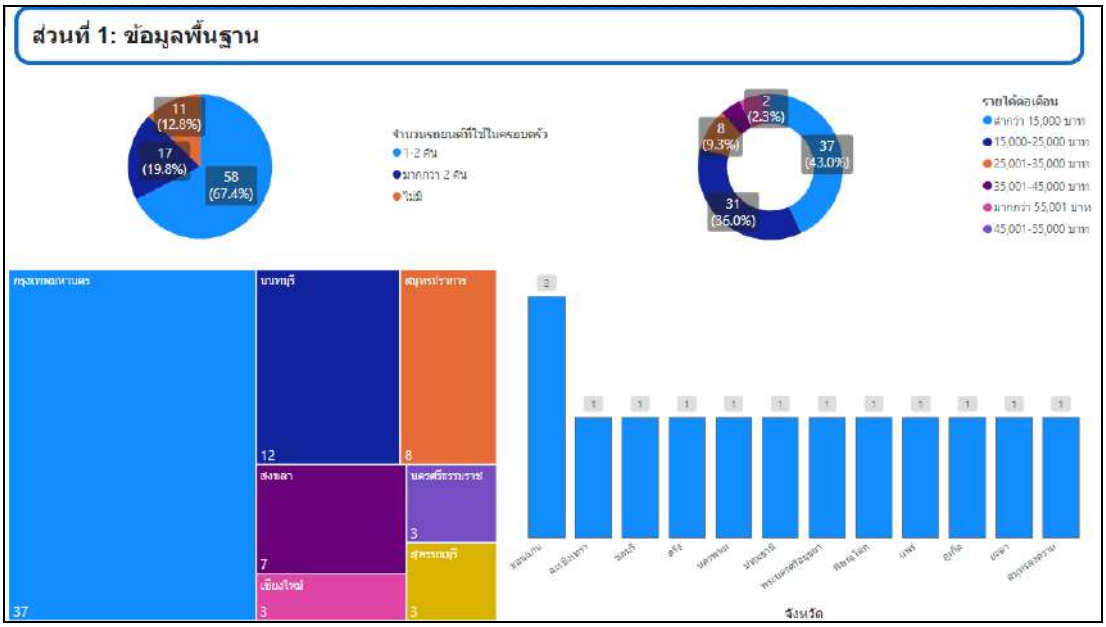
ในส่วนของกลุ่มที่ยังไม่สนใจเปลี่ยนมาใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้า พบว่า เหตุผลที่ได้รับการเลือกมากที่สุดคือ การได้รับข้อมูลเกี่ยวกับรถยนต์พลังงานไฟฟ้ายังไม่เพียงพอ จำนวน 10 คน (ร้อยละ 33.3) รองลงมาคือ ความกังวลเกี่ยวกับระยะทางการขับขี่ต่อการชาร์จหนึ่งครั้ง จำนวน 7 คน (ร้อยละ 23.3) และ ความไม่มั่นใจในเทคโนโลยีหรือแบรนด์รถยนต์ จำนวน 5 คน (ร้อยละ 16.7) ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า แม้ว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ยังไม่ได้ใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าในปัจจุบัน แต่มีสัดส่วนมากกว่าครึ่งที่แสดงความสนใจเปลี่ยนมาใช้ในอนาคต อย่างไรก็ตาม ผู้ตอบแบบสอบถามจำนวนมากยังไม่สามารถระบุช่วงเวลาที่ชัดเจนในการเปลี่ยนมาใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้า และผู้ที่ยังไม่สนใจส่วนใหญ่ให้เหตุผลเกี่ยวกับการขาดข้อมูลและความกังวลด้านการใช้งาน ซึ่งเป็นประเด็นที่ควรได้รับการพัฒนาและสื่อสารเพิ่มเติมเพื่อสนับสนุนการยอมรับรถยนต์พลังงานไฟฟ้าในอนาคต

5.2 ผลการพยากรณ์แนวโน้มการยอมรับรถยนต์ไฟฟ้าในอนาคต

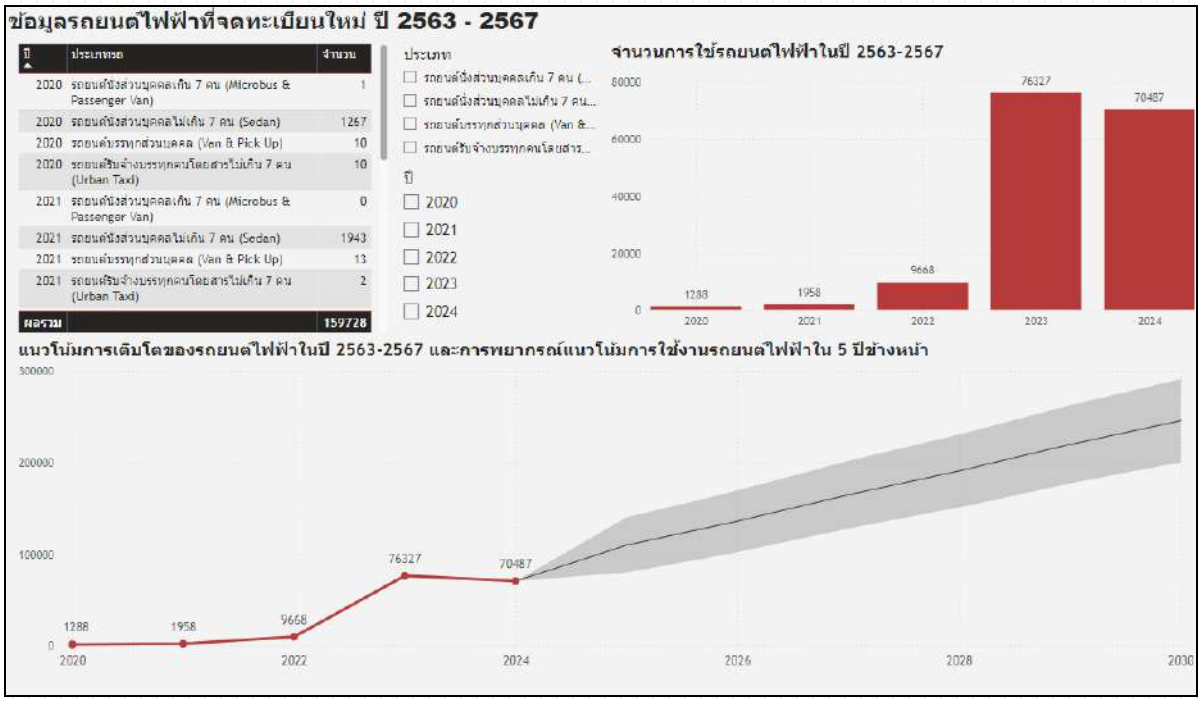
เพื่อให้สามารถวิเคราะห์และสื่อสารผลการวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเติบโตของตลาดรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยมาประมวลผลและนำเสนอในรูปแบบ Dashboard ด้วยโปรแกรม Power BI ซึ่งช่วยให้สามารถแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลในหลายมิติได้อย่างชัดเจน ทั้งในด้านลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง ปัจจัยที่มีความเกี่ยวข้องต่อการตัดสินใจเปลี่ยนมาใช้รถยนต์ไฟฟ้า รวมถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของการยอมรับรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย โดยผลการแสดงข้อมูลในรูปแบบ Dashboard ดังภาพที่ 1 และภาพที่ 2 ช่วยให้เห็นภาพรวมของข้อมูลได้อย่างเป็นระบบ สามารถเปรียบเทียบระดับความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ และตรวจสอบแนวโน้มของข้อมูลได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์เชิงลึกและการนำข้อมูลไปใช้ประกอบการตัดสินใจเชิงนโยบาย





ภาพที่ 1 การแสดงผลข้อมูลพื้นฐานด้วยโปรแกรม Power BI

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับแนวโน้มการเติบโตของรถยนต์ไฟฟ้าเข้าสู่กระบวนการพยากรณ์ด้วยแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) โดยพัฒนาแบบจำลองด้วยภาษา Python ดังภาพที่ 3 และ ภาพที่ 4 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเวลาและแนวโน้มการยอมรับรถยนต์ไฟฟ้าในอนาคต ผลการพยากรณ์แสดงให้เห็นว่าแนวโน้มการยอมรับรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยมีทิศทางเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเส้นแนวโน้มที่ได้จากแบบจำลองมีลักษณะเป็นความสัมพันธ์เชิงบวก สะท้อนให้เห็นว่าความต้องการใช้รถยนต์ไฟฟ้ามีแนวโน้มขยายตัวตามระยะเวลาอย่างชัดเจน



ภาพที่ 2 แดชบอร์ดแสดงข้อมูลรถยนต์ไฟฟ้าที่จดทะเบียนใหม่ในปี 2563-2567

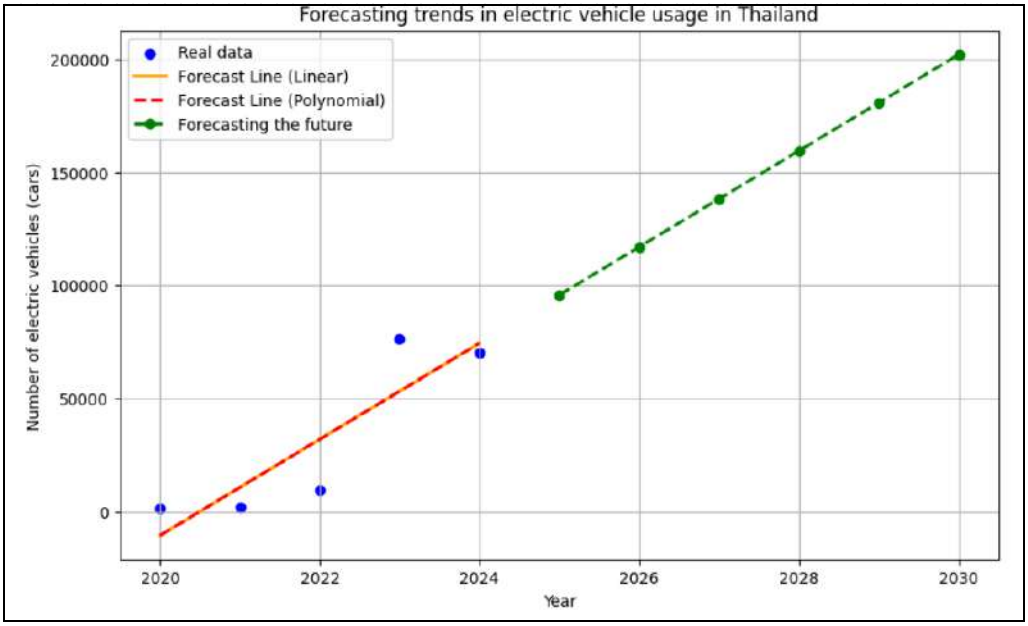
```
[55]  1 import pandas as pd
      2 import numpy as np
      3 import matplotlib.pyplot as plt
      4 from sklearn.linear_model import LinearRegression
      5 from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures
      6 from sklearn.metrics import r2_score
      7
      8 # กำหนดฟอนต์สำหรับการแสดงผล
      9 from matplotlib import rcParams
     10 rcParams['font.family'] = 'Arial'
```

ภาพที่ 3 การ Import เครื่องมือและกำหนดฟอนต์สำหรับการแสดงผล

```
[59]  1 # แปลงปีให้เป็นรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์
      2 X = df[['year']]
      3 y = df['count']
      4
      5 # สร้างและฝึกโมเดล Linear Regression
      6 model_linear = LinearRegression()
      7 model_linear.fit(X, y)
      8
      9 # พยากรณ์ด้วย Linear Regression
     10 y_pred_linear = model_linear.predict(X)
     11 r2_linear = r2_score(y, y_pred_linear)
     12 print(f"ความน่าเชื่อถือของ Linear Regression: {r2_linear:.2f}")

→  ความน่าเชื่อถือของ Linear Regression: 0.78
```

ภาพที่ 4 การแปลงปีให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม และพยากรณ์ด้วย Linear Regression



ภาพที่ 5 การแสดงผลลัพธ์การพยากรณ์ในรูปแบบกราฟ

จากภาพที่ 5 ผลลัพธ์ดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าการดำเนินนโยบายส่งเสริมยานยนต์ไฟฟ้าของภาครัฐ การพัฒนาเทคโนโลยีแบตเตอรี่ การขยายโครงสร้างพื้นฐานสถานีชาร์จไฟฟ้า และความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อมของผู้บริโภค มีส่วนสำคัญต่อการขับเคลื่อนการเติบโตของตลาดรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย โดยแนวโน้มที่ปรากฏจากแบบจำลองพยากรณ์สอดคล้องกับ

ทิศทางการพัฒนาอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าทั้งในระดับประเทศและระดับสากล ซึ่งมุ่งเน้นการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการเปลี่ยนผ่านสู่ระบบคมนาคมที่ยั่งยืน

เมื่อพิจารณาร่วมกับผลการวิเคราะห์ปัจจัยในหัวข้อก่อนหน้า พบว่าปัจจัยด้านนโยบายภาครัฐ ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี และความพร้อมของสถานีชาร์จไฟฟ้า เป็นกลไกสำคัญที่ช่วยสนับสนุนให้แนวโน้มการยอมรับรถยนต์ไฟฟ้ามีการเติบโตอย่างต่อเนื่องในอนาคต ดังนั้น หากมีการดำเนินมาตรการสนับสนุนอย่างต่อเนื่องและมีการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานให้ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น จะส่งผลให้การเปลี่ยนผ่านจากรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายในไปสู่รถยนต์พลังงานไฟฟ้าเกิดขึ้นได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

6. อภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประเด็นที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญเกี่ยวกับการเปลี่ยนมาใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย ศึกษาสถานะการใช้และความสนใจในการเปลี่ยนมาใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้า รวมทั้งพยากรณ์แนวโน้มการเติบโตของการใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าด้วยแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น ผลการศึกษาสะท้อนให้เห็นว่า แม้ว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ยังไม่ได้ใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าในปัจจุบัน แต่ผู้ตอบแบบสอบถามมากกว่าครึ่งมีความสนใจที่จะเปลี่ยนมาใช้ในอนาคต ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารถยนต์พลังงานไฟฟ้าได้รับความสนใจจากผู้บริโภคไทยเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มได้รับการยอมรับมากขึ้นในระยะต่อไป

เมื่อพิจารณาประเด็นที่ผู้ตอบแบบสอบถามให้ความสำคัญ พบว่า ด้านสิ่งแวดล้อม ผู้ตอบแบบสอบถามเลือก การลดมลพิษทางอากาศ มากที่สุด ขณะที่ด้านต้นทุนและค่าใช้จ่ายให้ความสำคัญกับ ความคุ้มค่าระยะยาวเมื่อเปรียบเทียบกับรถยนต์ที่ใช้น้ำมัน ส่วนด้านความสะดวกสบาย ผู้ตอบแบบสอบถามให้ความสำคัญกับ ความสะดวกในการใช้งานและเทคโนโลยีภายในรถ ด้านการรับรู้และความเชื่อมั่นให้ความสำคัญกับ การรับประกันคุณภาพของรถยนต์ และด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรมให้ความสำคัญกับ ระบบความปลอดภัยขั้นสูง ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดของ Davis [8] ซึ่งอธิบายว่าการยอมรับเทคโนโลยีใหม่เกี่ยวข้องกับการรับรู้ถึงประโยชน์และความสะดวกในการใช้งาน รวมทั้งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฐพล เด่นยุกต์ [3] และวรัท พันธุ์พิศุทธิ์ชัย และธีรารัตน์ วรพิเชฐ [4] ที่รายงานว่าความคุ้มค่า ความเชื่อมั่น และคุณลักษณะของเทคโนโลยีเป็นประเด็นที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญในการพิจารณาเลือกใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้า

ผลการศึกษายังพบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ที่ยังไม่ได้ใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้ามีความสนใจที่จะเปลี่ยนมาใช้ในอนาคต แต่ยังไม่สามารถระบุช่วงเวลาที่ชัดเจนในการเปลี่ยนมาใช้ได้ ขณะเดียวกัน ผู้ที่ยังไม่สนใจเปลี่ยนมาใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าให้เหตุผลสำคัญเกี่ยวกับการได้รับข้อมูลเกี่ยวกับรถยนต์พลังงานไฟฟ้าที่ยังไม่เพียงพอ และความกังวลเกี่ยวกับระยะทางการขับขี่ต่อการชาร์จหนึ่งครั้ง ผลการศึกษานี้สะท้อนว่า การสื่อสารข้อมูลที่ถูกต้องเกี่ยวกับเทคโนโลยีรถยนต์พลังงานไฟฟ้า รวมถึงการเผยแพร่ข้อมูลด้านสมรรถนะและการใช้งาน อาจช่วยสร้างความเข้าใจและเพิ่มความเชื่อมั่นของผู้บริโภคได้ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการแพร่กระจายนวัตกรรมของ Rogers [9] ที่อธิบายว่าการเข้าถึงข้อมูลและการรับรู้คุณลักษณะของนวัตกรรมมีส่วนสนับสนุนการยอมรับเทคโนโลยีใหม่

ในส่วนของการพยากรณ์แนวโน้มการใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้า แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นให้ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.78 และแสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของยอดจดทะเบียนรถยนต์พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย ผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับข้อมูลสถานการณ์ยานยนต์ไฟฟ้าของประเทศไทยที่รายงานโดยสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม [1] ไทยพีบีเอส [6] และฐานเศรษฐกิจ [7] ซึ่งล้วนรายงานว่ายอดจดทะเบียนรถยนต์พลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วงหลายปีที่ผ่านมา อย่างไรก็ตาม การพยากรณ์ในงานวิจัยนี้อาศัยข้อมูลยอดจดทะเบียนย้อนหลังเพียง 5 ปี จึงควรตีความผลในฐานะแนวโน้มของข้อมูลภายใต้ช่วงเวลาที่ศึกษา และไม่ควรนำไปใช้แทนการพยากรณ์ระยะยาวที่ครอบคลุมปัจจัยด้านเศรษฐกิจ นโยบาย หรือการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยี โดยภาพรวมผลการศึกษาช่วยให้เห็นประเด็นที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญเกี่ยวกับการเปลี่ยนมาใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้า ควบคู่กับการแสดงแนวโน้มการเติบโตของการใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวางแผนด้านการพัฒนาอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง และการกำหนดแนวทางในการสื่อสารข้อมูลแก่ผู้บริโภค อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งนี้ใช้การเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบสะดวกและวิเคราะห์ข้อมูลแบบสถิติเชิงพรรณนา ดังนั้น ผลการศึกษาจึงควรตีความในลักษณะของ ประเด็นที่ผู้ตอบแบบสอบถามให้ความสำคัญ มากกว่าการอธิบายความสัมพันธ์เชิงสาเหตุระหว่างปัจจัยกับการตัดสินใจเปลี่ยนมาใช้รถยนต์พลังงานไฟฟ้า

7. กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้พัฒนาขึ้นจากโครงงานวิทยาการข้อมูลและเทคโนโลยีสารสนเทศ หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการข้อมูลและเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปีการศึกษา 2567 ซึ่งมุ่งเน้นการประยุกต์ใช้ศาสตร์ด้านวิทยาการข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล และการพยากรณ์เชิงสถิติ เพื่อศึกษาแนวโน้มการยอมรับรถยนต์พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้ให้การสนับสนุนและเอื้อเฟื้อสถานที่ ทรัพยากร และสภาพแวดล้อมทางวิชาการที่เหมาะสมต่อการดำเนินงานวิจัยตลอดระยะเวลาของโครงการ นอกจากนี้ ขอขอบคุณคณาจารย์และผู้ทรงคุณวุฒิที่ได้ให้ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาแนวคิดการวิจัย การวิเคราะห์ข้อมูล และการปรับปรุงคุณภาพของผลงานวิจัยให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ตอบแบบสอบถามทุกท่าน ตลอดจนผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกภาคส่วนที่ได้ให้ความร่วมมือสนับสนุน และมีส่วนสำคัญในการดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี คุณูปการและความร่วมมือจากทุกฝ่ายนับเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สามารถบรรลุวัตถุประสงค์และมีความสมบูรณ์ในเชิงวิชาการ

8. เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม. (2566). *การเปลี่ยนผ่านจากรถยนต์สันดาปภายในสู่รถยนต์ไฟฟ้า: โอกาสและความท้าทายของอุตสาหกรรมรถยนต์ไทย*. สืบค้น 11 มิถุนายน 2568, จาก https://researchcafe.tsri.or.th/newev/

[2] คุณณัฐพล คำถาเครือ. (2566). *EV Car จุดเปลี่ยนสำคัญของเศรษฐกิจไทย.* สืบค้น 11 มิถุนายน 2568, จาก https://www.setinvestnow.com/th/knowledge/article/437-iaa-ev-car-2023

[3] ณัฐพล เด่นยุกต์. (2566). การยอมรับเทคโนโลยีและปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อรถยนต์ไฟฟ้าสัญชาติจีนของผู้บริโภคในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลในประเทศไทย. (การค้นคว้าอิสระ). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[4] วรัท พันธุ์พิศุทธิ์ชัย และธีรารัตน์ วรพิเชฐ. (2566). ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการรับรู้ด้านการยอมรับสำหรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย. *วารสารวิชาการการตลาดและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี*. 10(2), 133-155.

[5] ตะวันฉาน พิทักษ์ประเวช. (2566). การพยากรณ์การยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้าส่วนบุคคลในประเทศไทย. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). นครปฐม : มหาวิทยาลัยศิลปากร.

[6] ไทยพีบีเอส. (2567). *ไทยเข้าสู่ยุครถยนต์ไฟฟ้า ยอดจำหน่ายทะยาน 700%.* สืบค้น 30 มิถุนายน 2568, จาก https://policywatch.thaipbs.or.th/article/investment-60

[7] ฐานเศรษฐกิจ. (2567). เปิดสถิติยอดจดทะเบียนรถยนต์ไฟฟ้า EV ปี 2566 ทะลุ 76,366 คัน. สืบค้น 28 มิถุนายน 2568, จาก https://www.thansettakij.com/motor/ev/586272

[8] Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–340.

[9] Rogers, E. M. (1995). Diffusion of Innovations (4th Ed). the Free Press, New York.

[10] Ajzen, I. (1991). The Theory of Planned Behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), 179–211.

กระจกอัจฉริยะเพื่อการตรวจสอบสุขภาพ
Smart Health Monitoring Mirror

ปาริฉัตร เปลื้องศรีรัมย์[1] นิติภูมิ ส้มจีน[1] และ ธงรบ อักษร[1*]

[1]สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
*E-mail: auxsorn@psru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการพัฒนาต้นแบบกระจกอัจฉริยะเพื่อการคัดกรองสุขภาพเบื้องต้นโดยการวิเคราะห์ภาพใบหน้าแบบเรียลไทม์ (Smart Health Monitoring Mirror: SHMM) โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพและปัญญาประดิษฐ์ ระบบพัฒนาบนแพลตฟอร์ม Raspberry Pi 4B โดยใช้ MediaPipe Face Mesh ตรวจจับจุด Facial Landmark จำนวน 468 จุด และโมเดล TensorFlow Lite (TFLite) สำหรับจำแนกอารมณ์ 7 ประเภทจากชุดข้อมูล FER2013 ระบบประเมินตัวชี้วัดสุขภาพกาย 5 ด้าน ได้แก่ EAR, Dark Circle, Eye Redness, Lip Pallor และ Cheek Redness คำนวณรวมเป็นคะแนนสุขภาพโดยรวม (Overall Wellness Score) พร้อมเชื่อมต่อ Firebase Realtime Database และแอปพลิเคชัน Android ผลการทดสอบกับกลุ่มตัวอย่าง 40 คน พบว่าระบบสามารถประมวลผลได้ที่ 10–12 FPS บน Raspberry Pi 4B (2GB RAM) โดยใช้หน่วยความจำประมาณ 600 MB และส่งข้อมูลสุขภาพขึ้น Cloud ได้ทุก15วินาทีด้วยค่า Latency ต่ำกว่า 1 วินาทีทั้งนี้ระบบเป็นเครื่องมือคัดกรองสุขภาพเบื้องต้นเท่านั้นคะแนนที่ได้ไม่มีนัยทางการแพทย์และไม่สามารถทดแทนการวินิจฉัยจากแพทย์ได้

คำสำคัญ: กระจกอัจฉริยะ การตรวจสอบ สุขภาพ

Abstract

This research presents the development of a Smart Health Monitoring Mirror (SHMM) prototype for preliminary health screening via real-time facial analysis using computer vision and AI. Implemented on a Raspberry Pi 4B, the system uses MediaPipe Face Mesh to detect 468 facial landmarks and a TFLite model trained on FER2013 to classify seven emotions. It evaluates five physical health indicators—Eye Aspect Ratio (EAR), Dark Circles, Eye Redness, Lip Pallor, and Cheek Redness—combining them into an Overall Wellness Score integrated with Firebase Realtime Database and an Android app. Testing with 40 participants demonstrated a processing speed of 10–12 FPS on a 2GB RAM Raspberry Pi 4B, using ~600 MB RAM and uploading data every 15 seconds with sub-second latency. The system serves as a preliminary screening tool; scores carry no clinical significance and cannot replace professional medical diagnosis.

Keywords: Smart Mirror, Monitoring, Health

1. บทนำ

ในปัจจุบันปัญหาสุขภาพเป็นประเด็นสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพชีวิตของประชาชนทั่วโลก โดยเฉพาะโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (Non-Communicable Diseases: NCDs) เช่น โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูงและโรคหัวใจ ซึ่งมีแนวโน้มสูงเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง การติดตามและประเมินสุขภาพอย่างสม่ำเสมอจึงเป็นแนวทางสำคัญ ในการป้องกันและลดความรุนแรงของโรค อย่างไรก็ตาม การตรวจสุขภาพส่วนใหญ่ยังคงต้องอาศัยอุปกรณ์เฉพาะทาง หรือการเข้ารับบริการจากสถานพยาบาล ส่งผลให้การเฝ้าระวังสุขภาพในชีวิตประจำวันยังไม่สะดวกและไม่ต่อเนื่อง

ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) และเซนเซอร์ชีวภาพ (Biosensors) ได้เปิดโอกาสให้เกิดการพัฒนาอุปกรณ์อัจฉริยะที่สามารถรวบรวม วิเคราะห์ และแสดงผลข้อมูลสุขภาพได้แบบเรียลไทม์ เทคโนโลยีดังกล่าวถูกนำมาประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์หลากหลายรูปแบบ เช่น สมาร์ตวอทช์ สายรัดข้อมืออัจฉริยะ และระบบเฝ้าระวังสุขภาพภายในบ้าน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูแลสุขภาพและส่งเสริมการเข้าถึงข้อมูลสุขภาพของผู้ใช้งาน ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมามีงานวิจัยหลายชิ้นที่นำการวิเคราะห์ภาพใบหน้าด้วยปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในบริบทที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพ โดยมีแนวทางที่แตกต่างกันชัดเจน Yin และคณะ [1] นำเสนอการจำแนกอารมณ์จากใบหน้าด้วยโครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Network: CNN) และพบว่าอารมณ์ที่ตรวจจับได้มีความสัมพันธ์กับสภาวะสุขภาพจิต อย่างไรก็ตาม งานดังกล่าวมุ่งเน้นเฉพาะด้านสุขภาพจิตและไม่ได้ครอบคลุมตัวชี้วัดสุขภาพกายใด ๆ ต่อมา Nguyen และ Venkatesh [2] ได้พัฒนาระบบติดตามสุขภาพแบบเรียลไทม์ผ่านการจดจำใบหน้าแต่งานนี้ใช้การจดจำตัวตน (FaceRecognition) เพื่อระบุผู้ใช้งานมิใช่การวิเคราะห์ลักษณะเชิงภาพเพื่อประเมินสุขภาพกายขณะที่ Zhou และ Hu [3] ได้ทบทวนวรรณกรรม เกี่ยวกับการตรวจจับสุขภาพจากลักษณะใบหน้าอย่างครอบคลุมและสรุปว่าตัวชี้วัดเช่นค่าอัตราส่วนความเปิดปิดของดวงตา (Eye Aspect Ratio : EAR) และสีผิวบริเวณใบหน้ามีศักยภาพในการประเมินสุขภาพเบื้องต้น แต่ยังขาดการรวมตัวชี้วัดหลายด้าน ในระบบเดียว

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้น พบช่องว่างของงานวิจัย (Research Gap) ที่สำคัญ 3 ประการ ได้แก่ (1) งานวิจัยส่วนใหญ่วิเคราะห์ตัวชี้วัดด้านใดด้านหนึ่งแยกกันไม่ว่าจะเป็นด้านอารมณ์หรือสุขภาพกายแต่ยังไม่มีระบบที่ผสานทั้งสองด้านในแพลตฟอร์มเดียว(2)หลายระบบต้องอาศัยฮาร์ดแวร์ประสิทธิภาพสูงและมีต้นทุนการพัฒนาสูงทำให้การนำไปใช้งานจริงในระดับครัวเรือนเป็นไปได้ยากและ(3)ยังไม่มีงานวิจัยที่นำเสนอการรวมคะแนนสุขภาพกายและจิตในรูปแบบที่ผู้ใช้ทั่วไปเข้าถึงได้ง่ายผ่านอุปกรณ์ในชีวิตประจำวัน

กระจกเป็นอุปกรณ์ที่ผู้คนใช้งานเป็นประจำทุกวันการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีตรวจสอบสุขภาพบนกระจกจึงช่วยลดภาระในการใช้อุปกรณ์เพิ่มเติม และเอื้อต่อการติดตามสุขภาพอย่างต่อเนื่องโดยไม่รบกวนพฤติกรรมในชีวิตประจำวันของผู้ใช้ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาต้นแบบกระจกอัจฉริยะต้นทุนต่ำสำหรับการคัดกรองสุขภาพเบื้องต้นโดยการวิเคราะห์ ลักษณะเชิงภาพจากใบหน้าแบบเรียลไทม์ โดยประเมินตัวชี้วัดสุขภาพกาย 5 ด้าน และสุขภาพจิตจากการจำแนกอารมณ์ 7 ประเภท ทั้งนี้งานวิจัยนี้มีสถานะเป็นการศึกษาความเป็นไปได้เชิงวิศวกรรม (Engineering Feasibility Study) เนื่องจากการนำตัวชี้วัดเชิงภาพใบหน้ามารวมเป็นคะแนนสุขภาพยังไม่มีมาตรฐาน ทางคลินิกหรือทางการแพทย์รองรับ ระบบถูกพัฒนาบนแพลตฟอร์ม Raspberry Pi เชื่อมต่อกับฐานข้อมูล Firebase และแอปพลิเคชัน Android เพื่อสนับสนุนการติดตามสุขภาพอย่างต่อเนื่องในชีวิตประจำวัน

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา(ResearchandDevelopment:R&D)มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระจกอัจฉริยะสำหรับตรวจสอบสุขภาพจากใบหน้าแบบเรียลไทม์โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพร่วมกับปัญญาประดิษฐ์และเชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) เพื่อจัดเก็บและแสดงผลข้อมูลสุขภาพ

2.1 การออกแบบและพัฒนาระบบ ผู้วิจัยออกแบบระบบตามสถาปัตยกรรม IoT 3 ชั้น ประกอบด้วย

1) Edge Layer ใช้ Raspberry Pi 4B (2GB RAM) ร่วมกับกล้อง Webcam สำหรับรับภาพใบหน้าและประมวลผลเบื้องต้น

2) ProcessingLayer ใช้ FastAPI, MediaPipe Face Mesh และ TensorFlow Lite (TFLite) สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลใบหน้าและประเมินสุขภาพ

3) CloudLayer ใช้ FirebaseRealtimeDatabaseสำหรับจัดเก็บข้อมูลสุขภาพและสนับสนุนการเข้าถึงข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงผ่านแอปพลิเคชัน Android ที่พัฒนาด้วย MIT App Inventor

ภาพที่ 1 ต้นแบบกระจกอัจฉริยะเพื่อการตรวจสอบสุขภาพ (SHMM) ที่ประกอบสำเร็จแล้ว

ตารางที่ 1 รายละเอียดฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของระบบ

องค์ประกอบ	รายละเอียด	หมายเหตุ
Edge Device	Raspberry Pi 4B (2GB RAM)	ARM64, TFLite Runtime
กล้อง	USB Webcam HD 640x480	ต่อผ่าน USB port
OS	Raspberry Pi OS 64-bit	Debian Trixie
Framework	FastAPI + Uvicorn	REST API + MJPEG Stream
AI Library	MediaPipe + TFLite	468 facial landmarks
Cloud	Firebase Realtime Database	IoT data storage

2.2 การวิเคราะห์สุขภาพทางกาย (Physical Health Analysis) ระบบใช้ MediaPipe Face Mesh [5] ในการตรวจจับจุด Facial Landmark จำนวน 468 จุดบนใบหน้า และเลือกจุดที่เกี่ยวข้องกับการประเมินสุขภาพ 5 ด้าน คะแนนสุขภาพกายคำนวณจากผลรวมถ่วงน้ำหนักของตัวชี้วัดทั้ง 5 ด้าน ดังสมการ

$$\text{Physical} = (0.30 \times \text{EAR} + 0.25 \times \text{Dark} + 0.15 \times \text{EyeRed} + 0.15 \times \text{Lip} + 0.15 \times \text{Cheek}) \times \text{QF}$$

ค่าน้ำหนัก 0.30/0.25/0.15/0.15/0.15 กำหนดขึ้นเชิงทดลอง (Experimental Design) โดยให้น้ำหนักสูงสุดแก่ EAR เนื่องจากเป็นตัวชี้วัดที่มีความเสถียรและตรวจวัดได้แม่นยำที่สุดในสภาพแวดล้อมที่มีแสงแปรปรวน รองลงมาคือ Dark Circle ซึ่งสะท้อนพฤติกรรมการพักผ่อนส่วนตัวชี้วัดที่เหลือได้รับน้ำหนักเท่ากันเนื่องจากยังขาดหลักฐานเชิงประจักษ์ที่จะแยกแยะความสำคัญระหว่างกัน

QF คำนวณจากค่าความเสถียรของ Landmark (Landmark Stability Score) ตามสูตร QF = 0.7 + (Stability Score/100) × 0.3 โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.7 ถึง 1.0 ค่า QF ต่ำ หมายความว่า ภาพมีคุณภาพต่ำเช่นใบหน้าเคลื่อนไหวมาก หรือแสงไม่เพียงพอซึ่งจะลดคะแนนสุขภาพกายลงสูงสุด 30% เมื่อ Physical แทน คะแนนสุขภาพกายคำนวณจากผลรวมถ่วงน้ำหนักของตัวชี้วัดทั้ง 5 ด้าน

EAR แทน ค่าประเมินความล้าของดวงตา (Eye Aspect Ratio)
Dark แทน ค่าประเมินความหมองคล้ำใต้ตา (Dark Circle Analysis)
EyeRed แทน ค่าประเมินภาวะตาแดง (Eye Redness Analysis)
Lip แทน ค่าประเมินความซีดของริมฝีปาก (Lip Pallor Analysis)
Cheek แทน ค่าประเมินสีผิวบริเวณแก้ม (Cheek Redness Analysis)
QF แทน ค่าคะแนนคุณภาพรวมที่ได้ โดยจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.7 ถึง 1.0

ตารางที่ 2 น้ำหนักและเกณฑ์การวิเคราะห์ Physical Health Score

Feature	น้ำหนัก	Threshold	เอกสารอ้างอิง
EAR	30%	>= 0.25 = ปกติ	Soukupova & Cech [4]
Dark Circle	25%	> 0.6 = เสี่ยง	Tan et al. [6]
Eye Redness	15%	> 0.6 = เสี่ยง	Labbe et al. [7]
Lip Pallor	15%	> 0.6 = เสี่ยง	Alam et al. [8]
Cheek Redness	15%	>= 0.6 = ดี	Stephen et al. [9]

หมายเหตุ ค่าเกณฑ์ (Threshold) ในตารางนี้เป็นค่าที่ผู้วิจัยกำหนดขึ้นเชิงทดลอง (Empirically Defined) โดยอ้างอิงจากงานวิจัย ที่เกี่ยวข้องในเชิงแนวคิด มิใช่เกณฑ์วินิจฉัยทางคลินิกที่ผ่านการพิสูจน์ทางการแพทย์

2.3 การวิเคราะห์สุขภาพจิต (Mental Health Score) ระบบทำงานโดยการวิเคราะห์อารมณ์ 7 ประเภท ตามหลักสากล (โกรธ, รังเกียจ, กลัว, สุข, เศร้า, ประหลาดใจ และเฉย ๆ) ผ่านโมเดลจำแนกภาพใบหน้าที่ดัดแปลงเป็นฟอร์แมต TFLite เพื่อให้สามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็วบนอุปกรณ์พกพา โดยตัวโมเดลถูกฝึกฝนมาจากชุดข้อมูลมาตรฐานอย่าง FER2013 ที่มีภาพใบหน้ามากกว่า 35,000 ภาพ ในส่วนของกระบวนการทำงาน ระบบจะใช้ MediaPipe Face Mesh ในการตรวจจับและครอปเฉพาะบริเวณใบหน้า จากนั้นจะปรับภาพให้เป็นสีขาวดำ ขนาด 48X48 พิกเซล และปรับค่าแสง (Normalize) ก่อนส่งให้โมเดล TFLite ประมวลผลออกมาเป็นค่าความน่าจะเป็นของแต่ละอารมณ์ หลังจากนั้นระบบจะนำค่าอารมณ์ที่ได้ไปแปลงเป็นคะแนนสุขภาพจิตตามเกณฑ์ความรู้สึก (Valence) และปิดท้ายด้วยการใช้ระบบกรองสัญญาณรบกวน EMA (α=0.1$) เพื่อลดความแกว่งของคะแนนระหว่างเฟรมภาพ ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่นิ่งและแม่นยำที่สุด ก่อนนำไปสรุปเป็นคะแนนภาพรวม (Overall Wellness Score) ต่อไป

ตารางที่ 3 การ Mapping อารมณ์เป็น Mental Health Score

อารมณ์	คะแนน	อารมณ์	คะแนน
happy	90-100	fear	40-49
surprise	80-89	angry	30-39
neutral	60-79	disgust	01-29
sad	50-59		

หมายเหตุ การแปลงอารมณ์เป็นคะแนนสุขภาพจิตในตารางนี้เป็นการกำหนดเชิงทดลองเพื่อวัตถุประสงค์ของระบบต้นแบบเท่านั้นอารมณ์ที่ตรวจจับได้เป็นภาวะชั่วขณะ (MomentaryState) และไม่สามารถใช้แทนการประเมินสุขภาพจิตระยะยาวได้ ค่าที่ได้จึงไม่มีนัยทางจิตวิทยาคลินิก

2.4 การคำนวณคะแนนสุขภาพโดยรวม (Overall Wellness Score) ระบบทำการรวมผลคะแนนสุขภาพกายและสุขภาพจิต เข้าด้วยกันโดยใช้การถ่วงน้ำหนัก เพื่อให้ได้คะแนนสุขภาพโดยรวม (Overall Wellness Score) ตามสมการ

Overall = Physical × 0.70 + Mental × 0.30

สัดส่วนน้ำหนัก 70:30 เป็นค่าที่ผู้วิจัยกำหนดขึ้นเชิงทดลองโดยให้น้ำหนักสูงกว่าแก่คะแนนสุขภาพกายเนื่องจากตัวชี้วัดเชิงภาพจากใบหน้ามีความเสถียรและตรวจวัดได้ต่อเนื่องกว่าการจำแนกอารมณ์ซึ่งเป็นภาวะชั่วขณะในส่วนของการกรองสัญญาณรบกวนระบบใช้ Exponential Moving Average (EMA,α=0.1) เพื่อลดความแกว่งของคะแนนระหว่างเฟรมภาพ ทำให้ผลลัพธ์ที่แสดงต่อผู้ใช้มีความนิ่งและสะท้อนสภาวะสุขภาพที่แท้จริงได้แม่นยำยิ่งขึ้นจากนั้นระบบจะแปลงคะแนนที่ได้เป็นระดับสุขภาพ 4 ระดับตามเกณฑ์ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ระดับการให้คะแนน Overall Wellness Score

ระดับ	ช่วงคะแนน	ความหมาย
Excellent	>= 85	สุขภาพดีเยี่ยม ไม่พบสัญญาณเสี่ยง
Good	70-84	สุขภาพดี มีสัญญาณเล็กน้อย
Moderate	55-69	ควรดูแลสุขภาพเพิ่มเติม
Risk	< 55	พบสัญญาณเสี่ยง ควรพบแพทย์

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพระบบ ทดสอบระบบบน Raspberry Pi 4B (2GB RAM) พร้อม USB Webcam ความละเอียด 640x480 พิกเซล ระบบสามารถตรวจจับใบหน้าและวิเคราะห์สุขภาพได้ต่อเนื่องโดยอัตโนมัติ

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพระบบ

รายการทดสอบ	Raspberry Pi 4 (2GB)
Frame Rate	~10-12 FPS
Analysis Interval	5 วินาที
TFLite Inference	~0.8 วินาที/frame
RAM Usage	~600 MB
Landmark Stability	0.85-0.95
Firebase Upload	< 1 วินาที

3.2 ผลการพัฒนาแอปพลิเคชัน Android แอปพลิเคชันประกอบด้วย 5 หน้าจอ ออกแบบเพื่อการใช้งานที่ง่ายและสะดวก

ภาพที่ 2 หน้าจอเข้าสู่ระบบ

จากภาพที่ 2 เป็นส่วนแรกสุดที่ผู้ใช้งานจะได้พบเมื่อเปิดแอปพลิเคชัน โดยหน้าจอนี้มีหน้าที่รองรับความปลอดภัยและระบุตัวตนบุคคลก่อนเริ่มใช้งาน ซึ่งประกอบด้วยช่องให้กรอก "ชื่อผู้ใช้" และ "รหัสผ่าน" เพื่อคลิกปุ่มเข้าสู่ระบบ รวมถึงมีตัวเลือกเพิ่มเติมด้านล่างสำหรับผู้ใช้รายใหม่ให้สามารถกดเข้าสู่หน้าสมัครสมาชิกได้ทันที

ภาพที่ 3 หน้าจอสมัครสมาชิก

จากภาพที่ 3 ทำหน้าที่รองรับผู้ใช้งานรายใหม่ที่ยังไม่มีบัญชีในระบบ โดยหน้าจอนี้จะช่วยให้ผู้ใช้สามารถลงทะเบียนเพื่อสร้างบัญชีผู้ใช้งานใหม่ได้ด้วยตนเอง ซึ่งประกอบด้วยช่องสำหรับกรอกข้อมูลสำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ "ชื่อผู้ใช้", "รหัสผ่าน" และ "ยืนยันรหัสผ่าน" เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของรหัสผ่านให้ตรงกัน จากนั้นผู้ใช้สามารถกดปุ่ม "สมัครสมาชิก" เพื่อบันทึกข้อมูลเข้าสู่ระบบ หรือหากผู้ใช้งานมีบัญชีอยู่แล้ว ก็สามารถเลือกกดปุ่ม "มีบัญชีแล้ว? เข้าสู่ระบบ" ด้านล่างเพื่อเปลี่ยนกลับไปยังหน้าจอเข้าสู่ระบบได้ทันทีครับ

ภาพที่ 4 หน้าจอแสดงผลสุขภาพปัจจุบัน

จากภาพที่ 4 เป็นหน้าจอหลักที่ช่วยสรุปผลลัพธ์สุขภาพที่ได้จากการวิเคราะห์ผ่านกระจกอัจฉริยะล่าสุดของผู้ใช้งาน (ตัวอย่างในภาพคือ คุณ flok) โดยจะแสดงรายละเอียดเป็นหัวข้ออย่างชัดเจน ได้แก่ คะแนนรวม อารมณ์ที่ตรวจพบ คะแนนสุขภาพจิต คะแนนสุขภาพกาย และระดับความเสี่ยงรวม พร้อมทั้งระบุคำแนะนำเฉพาะบุคคลในการปฏิบัติตัว เช่น "ควรนอนหลับ 7-8 ชั่วโมงต่อคืน" และมีปุ่มเมนูเชื่อมโยงด้านล่างสำหรับดูประวัติย้อนหลังหรือออกจากระบบ

ภาพที่ 5 หน้าคู่มือการใช้งานระบบ

จากภาพที่ 5 เป็นส่วนที่ช่วยให้ผู้ใช้งานเข้าใจหลักการทำงานและวิธีการใช้งานกระจกอัจฉริยะอย่างถูกต้อง โดยจะมีการอธิบายรายละเอียดเป็นลำดับขั้นตอน ตั้งแต่ระยะห่างการยืนที่เหมาะสม (30-60 ซม.) สภาพแสงที่เพียงพอ และระยะเวลาในการวิเคราะห์ นอกจากนี้ยังแสดงตารางเกณฑ์การคิดคะแนนสุขภาพกาย (วิเคราะห์จากขอบตา, ตาแดง, ริมฝีปาก) เกณฑ์คะแนนสุขภาพจิตตามประเภทอารมณ์ และแถบสีบ่งบอกระดับความเสี่ยงเพื่อความเข้าใจเบื้องต้น

ภาพที่ 6 หน้าจอสรุปประวัติสุขภาพย้อนหลัง

จากภาพที่ 6 เป็นหน้าจอแสดงข้อมูลประวัติสุขภาพย้อนหลังเพื่อภาพรวมในระยะยาว โดยระบบจะทำหน้าที่คำนวณและแสดงค่าเฉลี่ยสะสม (เช่น สรุปผลการตรวจย้อนหลัง 4 ครั้งล่าสุด) พร้อมระบุค่าคะแนนเฉลี่ยรวม เฉลี่ยกายและเฉลี่ยจิตออกมาเป็นตัวเลข และมีกราฟเส้นเปรียบเทียบแนวโน้มของคะแนนแต่ละส่วนในแต่ละช่วงเวลา เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถประเมินพฤติกรรมและพัฒนาการทางสุขภาพของตนเองได้อย่างง่ายดาย

ตารางที่ 6 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์สุขภาพ

ตัวชี้วัด	ค่าที่วัดได้	เกณฑ์	การแปลผล
EAR (ค่าเฉลี่ย)	0.27	>= 0.25	ตาเปิดปกติ
Dark Circle Score	0.52	< 0.60	อยู่ในเกณฑ์ปกติ
Eye Redness	0.48	< 0.60	ไม่พบตาแดง
Lip Pallor Score	0.61	> 0.60	เสี่ยงโลหิตจาง (แจ้งเตือน)
Landmark Stability	0.94	>= 0.85	คุณภาพภาพดี
Emotion (TFLite)	neutral (89%)	-	Mental Score: 75
Physical Score	70.8 / 100	-	Good
Mental Score	75 / 100	-	Good
Overall Wellness	72.1 / 100	-	Good

ค่า 89% ที่ปรากฏในตารางนี้เป็น Confidence Score ของการทำนายครั้งเดียว (Single Prediction Confidence) มิใช่ค่าความแม่นยำของโมเดล (Model Accuracy) โดยความแม่นยำของโมเดล TFLite บนชุดข้อมูล FER2013 อยู่ที่ประมาณ 73% ซึ่งสอดคล้องกับผลงานระดับ state-of-the-art บนชุดข้อมูลเดียวกัน

3.3 ผลการทดสอบการเชื่อมต่อและการรับส่งข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) ระบบทำการวิเคราะห์ใบหน้าทุก5วินาที (AnalysisInterval) และรวบรวมผลลัพธ์เพื่อส่งขึ้น Firebase Realtime Database ทุก 15 วินาที (Upload Interval) เพื่อลดปริมาณการรับส่งข้อมูลและประหยัดทรัพยากรเครือข่ายโดย timestamp ที่ปรากฏใน Firebase จึงมีระยะห่างประมาณ 5วินาทีต่อรายการโดย Latency เฉลี่ยน้อยกว่า 1 วินาที และระบบสามารถเริ่มต้นทำงานอัตโนมัติผ่าน systemd service เมื่อ Raspberry Pi เปิดเครื่อง

ภาพที่ 7 โครงสร้างข้อมูลใน Firebase Realtime Database

จากภาพที่ 7 แสดงโครงสร้างการจัดเก็บข้อมูลสุขภาพใน Firebase Realtime Database ในรูปแบบ JSON แบบลำดับชั้น โดยข้อมูลจะถูกจัดกลุ่มตามชื่อผู้ใช้งาน และบันทึกค่าตัวชี้วัดสุขภาพกาย สุขภาพจิต และคะแนนรวมในแต่ละรอบการวิเคราะห์ ซึ่งช่วยให้แอปพลิเคชัน Android สามารถดึงข้อมูลย้อนหลังมาแสดงผลได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

3.4 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบร่วมกับผู้ใช้งานจริงจากตารางที่ 7 พบว่าช่วงคะแนนมีความแตกต่างกันในแต่ละช่วงอายุอย่างไรก็ตามเนื่องจากกลุ่มตัวอย่างมีเพียง 10 คน ต่อช่วงอายุ (รวม 40 คน) ผลที่ได้จึงไม่เพียงพอที่จะสรุปเชิงสถิติ หรืออธิบายความสัมพันธ์เชิงสาเหตุได้ควรขยายกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งต่อไป

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบกับกลุ่มตัวอย่าง

ช่วงวัยอายุ(ปี)	จำนวนผู้ทดสอบ	ช่วงคะแนนที่ตรวจพบ (คะแนน)
6 - 18	10	55 - 70
18 - 25	10	55 - 85
26 - 45	10	55 - 85
45 ขึ้นไป	10	50 - 80
รวม	**40**	

3.5 การอภิปรายผล ระบบ SHMM สามารถวิเคราะห์สัญญาณสุขภาพเบื้องต้นจากใบหน้าได้แบบ Real-time โดยไม่ต้องสัมผัสร่างกาย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nguyen และ Venkatesh [2] และ Zhou และ Hu [3] ที่ยืนยันว่าการวิเคราะห์ใบหน้าสามารถตรวจจับสัญญาณสุขภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ การใช้ TFLite แทน TensorFlow เต็มรูปแบบช่วยลดการใช้ RAM ลงกว่า 50% ทำให้ระบบทำงานได้บน Raspberry Pi 4B (2GB) อย่างเสถียรที่ 10–12 FPS เหมาะสำหรับการใช้งานในชีวิตประจำวัน อย่างไรก็ตาม ระบบยังมีข้อจำกัดด้านเทคนิคที่ควรพิจารณา ความแม่นยำของการวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับคุณภาพแสงสว่างและมุมกล้อง และ Lip Pallor Analysis อาจมีความแปรปรวนในกลุ่มผู้ใช้ที่มีโทนสีผิวต่างกัน นอกจากนี้โมเดล TFLite ที่ Train บน FER2013 อาจสับสนระหว่างอารมณ์ที่ใกล้เคียงกัน เช่น Fear กับ Surprise หรือ Sad กับNeutral ในสภาพแสงที่ไม่เหมาะสม ซึ่งส่งผลต่อความถูกต้องของ Mental Health Score ในด้านการประเมินผลกลุ่มตัวอย่างเพียง 10 คนต่อช่วงอายุยังไม่เพียงพอสำหรับการสรุปผลเชิงสถิติและยังไม่มีการเปรียบเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานทางการแพทย์ เช่น Polysomnography หรือ PulseOximeter งานวิจัยในอนาคตควรขยายกลุ่มตัวอย่างและเพิ่มการทดสอบเปรียบเทียบดังกล่าวอีกทั้งการนำระบบไปใช้จริงจำเป็นต้องมีมาตรการด้านความปลอดภัยของข้อมูลและการขอความยินยอมจากผู้ใช้เนื่องจากระบบมีการเก็บภาพใบหน้าและข้อมูลสุขภาพขึ้นFirebaseCloudทั้งนี้ระบบSHMMเป็นเครื่องมือคัดกรองสุขภาพ เบื้องต้น เท่านั้น ไม่สามารถทดแทนการวินิจฉัยจากแพทย์ได้

ประเด็นด้านความปลอดภัยของผู้ใช้ (Safety Consideration) ที่ต้องพิจารณาอย่างรอบคอบคือความเสี่ยงจากผลลบลวง (False Negative) ซึ่งระบบอาจแสดงคะแนนสุขภาพในเกณฑ์ดีทั้งที่ผู้ใช้มีภาวะสุขภาพที่ต้องได้รับการดูแล อาจทำให้ผู้ใช้ชะล่าใจและไม่เข้ารับการตรวจจากแพทย์และความเสี่ยงจากผลบวกลวง (False Positive) ซึ่งระบบอาจแสดงคะแนนต่ำจากปัจจัยภายนอกเช่นแสงไม่เพียงพอหรือมุมกล้องไม่เหมาะสมอาจก่อให้เกิดความวิตกกังวล โดยไม่จำเป็น ดังนั้นระบบจึงควรแสดงข้อความแจ้งเตือนผู้ใช้ทุกครั้งว่าผลลัพธ์ที่ได้เป็นเพียงการคัดกรองเบื้องต้นเท่านั้น ไม่มีนัยทางการแพทย์และไม่สามารถทดแทนการวินิจฉัยจากแพทย์ได้

ข้อจำกัดสำคัญประการหนึ่งของงานวิจัยนี้คือการไม่มีการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของระบบกับค่าอ้างอิงมาตรฐาน (Ground Truth) เช่น การเปรียบเทียบ Lip Pallor Score กับค่าฮีโมโกลบินจากการตรวจเลือดหรือการเปรียบเทียบ EAR กับผลการตรวจ Polysomnography จึงยังไม่สามารถยืนยันได้ว่า คะแนนที่ระบบคำนวณสะท้อนภาวะสุขภาพจริงหรือไม่ การวิจัยในอนาคต ควรเพิ่มการตรวจสอบความตรงเชิงคลินิก (Clinical Validation) โดยเปรียบเทียบกับเครื่องมือมาตรฐานทางการแพทย์

4. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยชิ้นนี้ประสบความสำเร็จในการพัฒนาและทดสอบต้นแบบกระจกอัจฉริยะสำหรับการคัดกรองสุขภาพเบื้องต้นแบบอัตโนมัติ โดยอาศัยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ร่วมกับระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) บนอุปกรณ์ประมวลผลขอบข่าย (Edge Device) ชนิด Raspberry Pi ทั้งนี้ความสำเร็จหลักของงานอยู่ที่มิติวิศวกรรม ไม่ใช่การกล่าวอ้างด้านสุขภาพ ดังสรุปได้ดังนี้

4.1 ด้านประสิทธิภาพการประมวลผลและอัลกอริทึม

ระบบสามารถตรวจจับและวิเคราะห์จุดพิกัดบนใบหน้าจำนวน468จุดด้วย MediaPipeFaceMesh ได้อย่างแม่นยำ โดยสามารถคำนวณค่าจากภาพใบหน้า5ประเภทได้แก่ EAR,DarkCircle,EyeRedness,LipPallor และCheekRedness ได้อย่างเสถียรและประมวลผลโมเดลจำแนกอารมณ์ผ่านTFLiteบนฮาร์ดแวร์จำกัดทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีความเร็วในการประมวลผลคงที่อยู่ที่ประมาณ 1012 เฟรมต่อวินาที (FPS) ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งานแบบเรียลไทม์ ถือเป็นจุดแข็งที่แท้จริงของงานวิจัยนี้ที่ตรวจสอบและทำซ้ำได้

4.2 ด้านการเชื่อมต่อและการจัดการข้อมูล (IoT Layer)

ระบบที่สั่งการผ่าน systemd service สามารถเริ่มต้นทำงานได้เองโดยอัตโนมัติเมื่อเปิดเครื่อง (Automated Boot-up) และสามารถจัดส่งโครงสร้างข้อมูลในรูปแบบ JSON ไปยังฐานข้อมูล Firebase Realtime Database ได้อย่างแม่นยำทุก 15 วินาที โดยมีค่าความหน่วงในการรับส่งข้อมูล (Latency) เฉลี่ยต่ำกว่า 1 วินาที ยืนยันความเสถียรของสถาปัตยกรรม IoT ที่ออกแบบไว้

4.3 ด้านการยอมรับจากผู้ใช้งาน

จากการทดสอบระบบร่วมกับกลุ่มตัวอย่าง 40 คน จำแนกตามช่วงอายุ พบว่าส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (User Interface) บนแอปพลิเคชัน Android สามารถแสดงผลคะแนนในรูปแบบที่เข้าใจง่ายช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถติดตามแนวโน้มข้อมูล สุขภาพเบื้องต้นของตนเองได้อย่างสะดวก

4.4 ข้อจำกัดสำคัญที่ต้องเน้นย้ำ

ระบบ SHMM นี้เป็นต้นแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering Prototype) สำหรับการคัดกรองสุขภาพเบื้องต้นเท่านั้น ค่าที่คำนวณได้จากภาพใบหน้าทั้งหมดเป็นการกำหนดเชิงทดลองและยังไม่ผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงคลินิก (Clinical Validation) คะแนนที่ระบบให้ไม่มีนัยทางการแพทย์ และไม่สามารถทดแทนการวินิจฉัยจากแพทย์ได้ไม่ว่ากรณีใด

5. ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้ระบบกระจกอัจฉริยะเพื่อสุขภาพนี้มีความสมบูรณ์ มีความแม่นยำระดับการแพทย์ (Medical Grade) และตอบโจทย์การใช้งานที่หลากหลายยิ่งขึ้น คณะผู้จัดทำมีข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในระยะถัดไปดังนี้

5.1 การเพิ่มความยืดหยุ่นต่อสภาพแสงภายนอก ควรมีการพัฒนาระบบควบคุมหรือชดเชยแสงสว่างอัตโนมัติ (Auto-Exposure Control) หรือติดตั้งแถบไฟ LED ที่ปรับอุณหภูมิสีได้รอบกระจก เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์

ค่าสีผิว (Skin Tone) และความหมองคล้ำในสภาวะที่แสงสว่างโดยรอบแปรปรวน ซึ่งจะช่วยเพิ่มค่า Quality Factor (QF) ให้สูงและนิ่งยิ่งขึ้น

5.2 การบูรณาการเซนเซอร์ภายนอก (Hardware Expansion) ควรพิจารณาติดตั้งเซนเซอร์วัดสัญญาณชีพเพิ่มเติม เช่น เซนเซอร์วัดอุณหภูมิร่างกายแบบไร้สัมผัส (Infrared Thermometer) หรือเซนเซอร์ตรวจจับอัตราการเต้นของหัวใจและความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (Photoplethysmography: PPG) บริเวณขอบกระจกสัมผัส เพื่อนำข้อมูลมาคำนวณร่วมกับคะแนน Physical Health ให้มีความแม่นยำเชิงลึก

5.3 การพัฒนาโมเดลAIและความปลอดภัยของข้อมูลในอนาคตควรมีการจัดเก็บและขยายฐานข้อมูลภาพใบหน้าในสภาพแวดล้อมที่หลากหลายเพื่อทำ Retraining โมเดล TFLite ให้มีค่าความแม่นยำ (Accuracy) ที่สูงขึ้นพร้อมทั้งควรรวมระบบการพิสูจน์ตัวตนด้วยใบหน้า (FaceRecognition) เพื่อแยกแยะผู้ใช้งานภายในบ้านอย่างปลอดภัยและเป็นไปตามหลักการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล (PDPA)

5.4 การเพิ่มกลไกแจ้งเตือนด้านความปลอดภัย ควรเพิ่มข้อความ Disclaimer ที่แสดงบนหน้าจอกระจกและแอปพลิเคชัน Android ทุกครั้งที่แสดงผลคะแนน เพื่อให้ผู้ใช้เข้าใจอย่างชัดเจนว่าผลลัพธ์ที่ได้เป็นการคัดกรองเบื้องต้นเท่านั้น ไม่มีนัยทางการแพทย์ และไม่สามารถทดแทนการวินิจฉัยจากแพทย์ได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก อาจารย์ในสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและอาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำ และข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ตลอดการดำเนินงานวิจัย ขอขอบคุณสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่สนับสนุนทรัพยากรและสถานที่ในการพัฒนาและทดสอบระบบ และขอขอบคุณผู้เข้าร่วมทดสอบระบบทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบ

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Z. Yin, J. Wu, & H. Li, “Facial emotion recognition based on convolutional neural networks for health monitoring,” J. Healthc. Eng., vol. 2020, pp. 1–10, 2020.

[2] T. T. Nguyen and S. Venkatesh, “Real-time health monitoring using facial recognition,” Health Inform. J., vol. 27, no. 1, pp. 21–34, 2021.

[3] M. Zhou and Y. Hu, “Facial feature-based health monitoring: A review,” J. Med. Syst., vol. 46, no. 8, pp. 52–65, 2022.

[4] T. Soukupova and J. Cech, “Real-time eye blink detection using facial landmarks,” in Proc. 21st Comput. Vis. Winter Workshop (CVWW), Czech Republic, 2016, pp. 1–8.

[5] C. Lugaresi et al., “MediaPipe: A framework for building perception pipelines,” arXiv:1906.08172, 2019.

[6] J. Tan et al., “Establishment of visual assessment for the severity of dark circles,” Skin Res. Technol., vol. 27, no. 3, pp. 351–358, 2021.

[7] A. Labbe et al., “Conjunctival redness grading and its correlation with ocular surface inflammation markers,” Cont. Lens Anterior Eye, vol. 42, no. 5, pp. 512–517, 2019.

[8] M. M. Alam et al., “Anemia detection through non-invasive analysis of lip mucosa images,” Front. Big Data, vol. 6, p. 1241899, 2023.

[9] I. D. Stephen et al., “Coloration in different areas of facial skin is a cue to health,” PLOS ONE, vol. 11, no. 3, p. e0145945, 2016.

ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยงโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

Factors Associated with Sexually Transmitted Infection Preventive Behaviors among Students at Chiang Rai Rajabhat University.

สุภาภรณ์ พันธ์ศรีสุวรรณ[1] เกวลิน แซ่ง่าง[1] สุทธินันท์ พรมงาม[1] พัชรินทร์ วินยางค์กูล[1]
และ อนุสรา บุญจิตร[1*]

[1] สาขาสาธารณสุขชุมชน คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
*E-mail: em_anursara_p@crru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยแบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional study) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความรู้ ทัศนคติ พฤติกรรม และปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยงโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย กลุ่มตัวอย่างคือนักศึกษาจำนวน 422 คน สุ่มแบบหลายขั้นตอน และเก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถามในเดือนพฤศจิกายน 2568 วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติอนุมาน ได้แก่ ไคสแควร์ ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง (ร้อยละ 71.09) อายุ 19–22 ปี (ร้อยละ 89.09) ศึกษาสาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ (ร้อยละ 76.30) และอยู่ชั้นปีที่ 1 (ร้อยละ 31.75) ส่วนใหญ่ไม่สูบบุหรี่ (ร้อยละ 90.04) ดื่มแอลกอฮอล์นาน ๆ ครั้ง (ร้อยละ 43.36) และเที่ยวสถานบันเทิงนาน ๆ ครั้ง (ร้อยละ 40.04) ด้านพฤติกรรมทางเพศมีคู่รักคนเดียว (ร้อยละ 47.86) เคยคุมกำเนิด (ร้อยละ 68.00) โดยนิยมใช้ถุงยางอนามัยมากที่สุด (ร้อยละ 56.87) แต่มักไม่เคยตรวจสุขภาพโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ (ร้อยละ 71.56) สำหรับระดับความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรม พบว่าส่วนใหญ่มีความรู้ระดับปานกลาง (ร้อยละ 49.05) มีทัศนคติและพฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยงอยู่ในระดับสูง (ร้อยละ 91.94 และ 73.93 ตามลำดับ) ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์พบว่า เพศ ความรู้ และทัศนคติ มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยงโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

คำสำคัญ: โรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ ความรู้เกี่ยวกับโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ ทัศนคติต่อการป้องกันโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ พฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยงเกี่ยวกับโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ นักศึกษามหาวิทยาลัย

Abstract

This cross-sectional study aimed to investigate the knowledge, attitudes, behaviors, and factors associated with sexually transmitted infection (STI) preventive behaviors among students at Chiang Rai Rajabhat University. The sample comprised 422 students selected through multi-stage random sampling. Data were collected using questionnaires in November 2025 and analyzed using descriptive statistics, including percentage, mean, and standard deviation, as well as inferential statistics using the Chi-square test.The results showed that the majority of participants were female (71.09%), aged 19–22 years (89.09%), studying Humanities and Social Sciences (76.30%), and first-year students (31.75%). Most participants were non-smokers (90.04%), drank alcohol occasionally (43.36%), and visited entertainment venues occasionally (40.04%). Regarding sexual behaviors, most respondents had a single partner (47.86%) and had used contraception (68.00%), with condoms being the most common method (56.87%). However, most participants had never undergone STI health screenings (71.56%). In terms of overall levels, most students

possessed a moderate level of knowledge (49.05%), a high level of attitude toward STI prevention (91.94%), and a high level of STI risk-preventive behaviors (73.93%). Relational analysis revealed that gender, knowledge, and attitudes were significantly associated with STI risk-preventive behaviors ($p < 0.05$).

Keywords: Sexually Transmitted Infections (STI), Knowledge of Sexually Transmitted Infections, Attitudes toward STI Prevention, STI Risk-Preventive Behaviors, University Students.

1. บทนำ

โรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ (Sexually Transmitted Infections: STI) เป็นปัญหาสาธารณสุขสำคัญของไทย โดยเฉพาะในกลุ่มวัยรุ่นและเยาวชนที่มีการเปลี่ยนแปลงทางร่างกายและสังคม ซึ่งนำไปสู่พฤติกรรมเสี่ยง เช่น การมีคู่นอนหลายคนและการมีเพศสัมพันธ์โดยไม่ป้องกัน ข้อมูลจากกรมควบคุมโรคสะท้อนถึงการระบาดที่รุนแรงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยอัตราป่วยโรคซิฟิลิสเพิ่มขึ้นจาก 18.6 ต่อแสนประชากร (12,296 ราย) ในปี 2565 เป็น 38.5 ต่อแสนประชากร (25,469 ราย) ในปี 2567 ซึ่งผู้ป่วยส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มอายุ 15-24 ปี [1, 2] สถานการณ์การแพร่ระบาดโรคติดต่อเอชไอวี (HIV) มีความน่ากังวลเช่นเดียวกัน แม้การเข้าถึงข้อมูลสุขภาพจะทำได้ง่ายขึ้น แต่การขาดความรู้เชิงลึกและความกลัวการตีตราทางสังคมส่งผลให้มีผู้ไม่ทราบสถานะการติดเชื้อของตนเองจำนวนมาก จากข้อมูลที่ผ่านมาพบว่าสัดส่วนผู้ติดเชื้อเอชไอวีรายใหม่กว่าร้อยละ 50 เป็นกลุ่มเยาวชนอายุ 15-24 ปี [3, 4] โดยปัญหาดังกล่าวไม่เพียงกระทบต่อสุขภาพระยะยาว แต่ยังสร้างภาระทางการแพทย์ระดับชาติ โดยสำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ (สปสช.) ต้องจัดสรรงบประมาณเฉพาะสำหรับการดูแลผู้ติดเชื้อเอชไอวีและโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้อง สูงถึง 3,000–4,000 ล้านบาทต่อปี [5] นักศึกษาระดับอุดมศึกษาซึ่งเป็นวัยรุ่นตอนปลาย เป็นกลุ่มที่มีอิสระในการใช้ชีวิตและตัดสินใจเรื่องพฤติกรรมทางเพศมากขึ้น งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าความรู้และทัศนคติเป็นปัจจัยสำคัญที่กำหนดพฤติกรรมการป้องกันโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ สำหรับพื้นที่จังหวัดเชียงราย ข้อมูลจากระบบสารสนเทศด้านสุขภาพ ระบุว่ามีอัตราป่วยโรคซิฟิลิสสูงถึง 30.12 ต่อแสนประชากร ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยระดับประเทศและสะท้อนถึงความเสี่ยงในระดับพื้นที่ที่น่ากังวล [6]

นอกจากนี้ ปัจจัยแวดล้อมในปัจจุบัน เช่น การเพิ่มขึ้นของการใช้แอปพลิเคชันหาคู่ (Dating applications) ที่ทำให้การหาคู่นอนแปลกหน้าง่ายขึ้น ประกอบกับการดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ในบริบทของการเข้าสังคม ล้วนเป็นปัจจัยกระตุ้นที่ลดทอนการตัดสินใจเชิงบวก นำไปสู่การมีเพศสัมพันธ์โดยไม่ใช้ถุงยางอนามัย [7] อย่างไรก็ตาม การตัดสินใจเพื่อป้องกันโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์นั้น สัมพันธ์โดยตรงกับพื้นฐานความรู้และทัศนคติ ซึ่งพบว่าเยาวชนจำนวนไม่น้อยยังมีระดับความรู้ที่ไม่ครอบคลุม มีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการป้องกันโรค และมักประเมินความเสี่ยงต่อการติดเชื้อของตนเองต่ำกว่าความเป็นจริง [8, 9] แนวคิดที่ใช้เป็นพื้นฐานในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมสุขภาพ คือ แบบจำลองความรู้ ทัศนคติ และการปฏิบัติ (Knowledge–Attitude–Practice Model: KAP Model) ซึ่งเป็นกรอบแนวคิดที่ใช้ศึกษาความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องกับประเด็นสุขภาพ โดยความรู้และทัศนคติอาจมีความสัมพันธ์กับการแสดงออกทางพฤติกรรมสุขภาพของบุคคล [10, 11] ในบริบทการป้องกันโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ ความรู้และทัศนคติเกี่ยวกับการป้องกันโรคอาจมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยง เช่น การใช้ถุงยางอนามัย การหลีกเลี่ยงพฤติกรรมเสี่ยง และการเข้ารับการตรวจคัดกรองโรค [12] ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงใช้ KAP Model เป็นแนวคิดพื้นฐานในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยงโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ โดยไม่มุ่งสรุปความสัมพันธ์เชิงเหตุและผล เนื่องจากเป็นการวิจัยแบบภาคตัดขวาง

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายเป็นสถาบันการศึกษาที่มีนักศึกษามาจากหลากหลายพื้นที่และภูมิหลังทางสังคม ในขณะเดียวกันข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมทางเพศของนักศึกษายังมีข้อมูลน้อย อีกทั้งบริบทของจังหวัดเชียงรายที่เป็นทั้งเมืองท่องเที่ยวและพื้นที่ชายแดน (Border province) ที่มีการเคลื่อนย้ายของประชากรสูงและมีความหลากหลายทางวัฒนธรรม ยิ่งเพิ่มความท้าทายในการควบคุมการแพร่ระบาดของโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ในพื้นที่ การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยงโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เพื่อนำผลการศึกษาไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนและพัฒนาแนวทางส่งเสริมสุขภาพทางเพศที่เหมาะสมต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยงโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

2.2 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยงโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

3. วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงพรรณนาแบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional study) โดยข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นข้อมูลปฐมภูมิ (Primary data) ที่เก็บรวบรวมจากกลุ่มตัวอย่างโดยตรงผ่านเครื่องมือแบบสอบถามในช่วงระยะเวลาตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2568 ถึง เดือนธันวาคม 2568

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษา คือ นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย จำนวน 9,098 คน ผู้วิจัยคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรของ Taro Yamane ที่ระดับความคลาดเคลื่อน 0.05 ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 383 คน และเพิ่มจำนวนร้อยละ 10 เพื่อป้องกันการสูญหายของข้อมูล จึงได้กลุ่มตัวอย่างทั้งสิ้น 422 คน การสุ่มตัวอย่างใช้วิธีการสุ่มแบบหลายขั้นตอน (Multiple-stage random sampling) ประกอบด้วยการสุ่มแบบแบ่งชั้นตามสัดส่วน (Proportionate Stratified Sampling) ตามกลุ่มสาขาวิชาและการสุ่มแบบจัดสรรตัวอย่างแบบสัดส่วน (Proportional allocation) ตามชั้นปี โดยเกณฑ์การคัดเข้าของกลุ่มตัวอย่างได้แก่ เป็นนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ที่สมัครใจเข้าร่วมการวิจัยและสามารถสื่อสารภาษาไทยได้

3.2 เครื่องมือการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเป็นแบบสอบถามที่ผู้วิจัยพัฒนาจากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย 4 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของนักศึกษา จำนวน 10 ข้อ ได้แก่ เพศ อายุ กลุ่มสาขาวิชา ระดับชั้นปี การมีคู่รัก การสูบบุหรี่ การดื่มแอลกอฮอล์ การคุมกำเนิด การเที่ยวสถานบันเทิง การเข้ารับการตรวจสุขภาพที่เกี่ยวกับโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์

ส่วนที่ 2 ความรู้เกี่ยวกับโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ จำนวน 10 ข้อ ลักษณะข้อคำถามเป็นแบบให้เลือกตอบใช่หรือไม่ใช่ โดยแปลความหมายคือ ถูกต้องและไม่ถูกต้อง กำหนดระดับคะแนนเป็น 3 ระดับพิจารณาตามเกณฑ์การแบ่งระดับประยุกต์จากแนวคิดของบลูม [13] คือ ความรู้ระดับสูง ความรู้ระดับปานกลาง และความรู้ระดับต่ำ

ส่วนที่ 3 ทัศนคติต่อการป้องกันโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ จำนวน 11 ข้อ ตัวเลือกตอบเป็นแบบมาตรวัดประมาณค่า (Rating scale) แบ่งเป็น 5 ระดับได้แก่ เห็นด้วยมากที่สุด เห็นด้วยมาก เห็นด้วยปานกลาง เห็นด้วยน้อย และไม่เห็นด้วย

ส่วนที่ 4 พฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยงโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ จำนวน 9 ข้อ ตัวเลือกตอบเป็นแบบมาตรวัดประมาณค่า (Rating scale) แบ่งเป็น 5 ระดับได้แก่ เป็นประจำ บ่อยครั้ง บางครั้ง นาน ๆ ครั้ง และไม่เคย

การแปลผลคะแนนเฉลี่ยในส่วนที่ 3 และส่วนที่ 4 ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้แนวคิดการกำหนดเกณฑ์อันตรภาคชั้น (Class Interval) ของ Best [14] ซึ่งเป็นแนวคิดที่นิยมใช้แปลงข้อมูลเชิงปริมาณให้เป็นระดับการวัดเชิงคุณภาพได้อย่างมีระบบ เนื่องจากให้ความกว้างของช่วงเกณฑ์เท่ากันทุกระดับ ลดอคติในการแบ่งกลุ่มข้อมูล และเหมาะสำหรับประเมินระดับความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมโดยคำนวณจากสูตรความกว้างของอันตรภาคชั้น คือ ค่าสูงสุด ลบด้วย ค่าต่ำสุด แล้วหารด้วยจำนวนชั้นที่ต้องการกำหนด ในการศึกษาครั้งนี้แบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ ระดับปานกลาง และระดับสูง โดยแบบสอบถามมีการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือด้วยการหาค่าความตรงเชิงเนื้อหา มีค่าความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity Index, IOC) เท่ากับ 0.62 และมีค่าความเชื่อมั่น (Reliability) เท่ากับ 0.861

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.3.1 ติดต่อประสานงานและทำหนังสือถึงคณบดีทุกคณะในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายเพื่อขออนุญาตเก็บรวบรวมข้อมูลและชี้แจงวัตถุประสงค์ในการวิจัย

3.3.2 ผู้วิจัยทำการอธิบายวัตถุประสงค์ ประโยชน์ของการทำวิจัย ขั้นตอนการตอบแบบสอบถาม พร้อมทั้งเปิดโอกาสให้กลุ่มตัวอย่างได้ซักถามข้อสงสัยต่าง ๆ และขอคำยินยอมในการให้ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง

3.3.3 ดำเนินการเก็บข้อมูล โดยแจกแบบสอบถามให้กลุ่มตัวอย่างตอบแบบสอบถาม

3.3.4 ผู้วิจัยตรวจสอบความสมบูรณ์ของแบบสอบถามและข้อมูลทั้งหมด โดยในการเก็บรวบรวมข้อมูลครั้งนี้ ผู้วิจัยได้รับแบบสอบถามกลับคืนมาจำนวนทั้งสิ้น 422 ฉบับ คิดเป็นร้อยละ 100 หลังจากนั้นนำข้อมูลที่สมบูรณ์ไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติต่อไป

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistic) ประกอบด้วย การแจกแจงความถี่ (Frequency) ร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงอนุมาน โดยใช้การทดสอบไคสแควร์ (Chi-square Test) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร กำหนดให้มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการวิจัย

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลส่วนบุคคล พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นนักศึกษาเพศหญิงจำนวน 300 คน คิดเป็นร้อยละ 71.09 มีอายุเฉลี่ยช่วง19-22 ปีจำนวน 376 คน คิดเป็นร้อยละ 89.09 ส่วนใหญ่อยู่กลุ่มสาขาวิชามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์จำนวน 322 คนคิดเป็นร้อยละ 76.30 ศึกษาอยู่ในระดับชั้นปีที่ 1 จำนวน 134 คน คิดเป็นร้อยละ 31.75 ในด้านพฤติกรรมเสี่ยงและสุขภาพ พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ ไม่สูบบุหรี่จำนวน 380 คน คิดเป็นร้อยละ 90.04 และมีพฤติกรรมการดื่มแอลกอฮอล์อยู่ในระดับ นาน ๆ ครั้งจำนวน 183คน คิดเป็นร้อยละ 43.36 รวมถึงการเที่ยวสถานบันเทิงอยู่ในระดับนาน ๆ ครั้ง (ปีละไม่เกิน 1 ครั้ง)จำนวน 169 คน คิดเป็นร้อยละ 40.04 สำหรับพฤติกรรมทางเพศ พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ มีคู่รักเพียงคนเดียวจำนวน 202 คน คิดเป็นร้อยละ 47.86 และเคยใช้วิธีการคุมกำเนิดจำนวน 287 คน คิดเป็นร้อยละ 68.00 โดยวิธีที่นิยมที่สุดคือ การสวมถุงยางอนามัยจำนวน 240 คน คิดเป็นร้อยละ 56.87 อย่างไรก็ตาม และกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ไม่เคยเข้ารับการตรวจสุขภาพเกี่ยวกับโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์จำนวน 302 คน คิดเป็นร้อยละ 71.56

4.1.2 ระดับความรู้เกี่ยวกับโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ พบว่า นักศึกษาส่วนใหญ่ร้อยละ 49.05 มีระดับความรู้อยู่ในระดับปานกลาง ดังแสดงในตาราง 1 และข้อคำถามที่นักศึกษาตอบได้ถูกต้องมากที่สุดคือ การติดเชื้อ HIV สามารถทำให้ป่วยด้วยโรคแทรกซ้อนอื่น ๆ ได้คิดเป็นร้อยละ 89.36 และข้อคำถามที่ตอบถูกน้อยที่สุดคือโรคซิฟิลิสเป็นโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ที่ไม่สามารถรักษาให้หายขาดได้คิดเป็นร้อยละ 52.84

ตารางที่ 1 จำนวนและร้อยละของระดับความรู้เกี่ยวกับโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ (n=422)

ระดับความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์	**จำนวน** (คน)	**ร้อยละ**
ระดับสูง (คะแนน 8-10)	182	43.12
ระดับปานกลาง (คะแนน 5-7)	207	49.05
ระดับต่ำ (คะแนนต่ำกว่า 4)	33	7.83
รวม	**422**	**100**

4.1.3 ระดับทัศนคติที่มีต่อการป้องกันโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ พบว่า ภาพรวมนักศึกษาร้อยละ 91.94 มีระดับทัศนคติอยู่ในระดับสูง ดังแสดงในตารางที่ 2 และประเด็นคำถามที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ ทุกเพศและทุกวัยควรใส่ใจในการป้องกันโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.72(S.D.=0.65) ส่วนคำถามที่มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ การฉีดวัคซีนที่เกี่ยวข้องกับโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ (เช่น HPV) ช่วยป้องกันโรคได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.53 (S.D.=0.73)

ตารางที่ 2 จำนวนและร้อยละของระดับทัศนคติที่มีต่อการป้องกันโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ (n=422)

ระดับทัศนคติที่มีต่อการป้องกันโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ระดับสูง (คะแนน 35-45)	388	91.94
ระดับปานกลาง (คะแนน 22-34)	34	8.06
รวม	**422**	**100**

4.1.4 ระดับพฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยงโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ พบว่า ภาพรวมนักศึกษาร้อยละ 73.93 มีระดับพฤติกรรมอยู่ในระดับสูง ดังแสดงในตารางที่ 3 และประเด็นคำถามที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ ท่านมักจะหลีกเลี่ยงต่อการมีเพศสัมพันธ์กับผู้ที่มีพฤติกรรมเสี่ยงสูง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.35 (S.D.=1.12) ส่วนคำถามที่มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ ท่านพูดคุยเรื่องการป้องกันโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์กับเพื่อนหรือครอบครัวบ่อยครั้งค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.58 (S.D.=1.26)

ตารางที่ 3 จำนวนและร้อยละของระดับพฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยงโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ (n=422)

ระดับพฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยงโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ระดับสูง (คะแนน 35-45)	312	73.93
ระดับปานกลาง (คะแนน 22-34)	91	21.56
ระดับต่ำ (คะแนน 9-21)	19	4.51
รวม	**422**	**100**

4.1.5 ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยงโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายพบว่า เพศ การใช้วิธีการคุมกำเนิดโดยใช้ถุงยางมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยงโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ของนักศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 โดยสถิติใช้ Chi-Square Test ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยงโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย (n=422)

ตัวแปร	ระดับพฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยงโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์			χ^2	P-value
	ต่ำ	ปานกลาง	สูง		
เพศ				9.47	0.01*
ชาย	8 (6.56%)	36 (29.51%)	78 (63.93%)		
หญิง	11 (3.67%)	55 (18.33%)	234 (78%)		
อายุ				8.44	0.07
15-18 ปี	3 (11.11%)	8 (29.63%)	16 (59.26%)		
19-22 ปี	15 (3.98%)	79 (20.95%)	283 (75.07%)		
มากกว่า 22 ปี	1 (5.56%)	4 (22.22%)	13 (72.22%)		

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 4 แสดงปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยงโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย (ต่อ)

ตัวแปร	ระดับพฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยงโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์			χ^2	P-value
	ต่ำ	ปานกลาง	สูง		
ระดับชั้นปี				1.83	0.61
ชั้นปีที่ 1	7 (5.04%)	32 (23.02%)	100 (71.94%)		
ชั้นปีที่ 2	5 (4.17%)	25 (20.83%)	90 (75.00%)		
ชั้นปีที่ 3	5 (4.42%)	24 (21.24%)	84 (74.34%)		
ชั้นปีที่ 4	2 (4.00%)	10 (20.00%)	38 (76.00%)		
กลุ่มสาขาวิชา				4.34	0.11
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	4 (6.25%)	17 (26.56%)	17 (26.56%)		
วิทยาศาสตร์สุขภาพ	1 (2.38%)	6 (14.29%)	35 (83.33%)		
มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์	14 (4.43%)	68 (21.52%)	234 (74.05%)		
การมีคู่รัก				1.82	0.40
ไม่มีคู่รัก	8 (4.10%)	39 (20.00%)	148 (75.90%)		
มีคู่รัก 1 คน	9 (4.41%)	46 (22.55%)	149 (73.04%)		
มีคู่รักมากกว่า 1 คน	2 (8.70%)	6 (26.09%)	15 (65.22%)		
การสูบบุหรี่				3.60	0.46
ไม่สูบ	16 (4.30%)	78 (20.97%)	278 (74.73%)		
สูบบางครั้ง	2 (7.14%)	7 (25.00%)	19 (67.86%)		
สูบประจำ	1 (4.55%)	6 (27.27%)	15 (68.18%)		

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 4 แสดงปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยงโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย (ต่อ)

ตัวแปร	ระดับพฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยงโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์			χ^2	P-value
	ต่ำ	ปานกลาง	สูง		
การดื่มแอลกอฮอล์				3.26	0.515
ไม่เคย	21	31	81		
	(1.57%)	(23.30%)	(60.90%)		
นาน ๆ ครั้ง	13	68	88		
	(7.69%)	(40.23%)	(52.07%)		
บ่อยครั้ง	5	21	66		
	(5.43%)	(22.83%)	(71.73%)		
บ่อย	1	4	23		
	(3.57%)	(14.28%)	(82.14%)		
การคุมกำเนิด				0.37	0.83
ไม่เคยคุมกำเนิด	21	39	81		
	(14.89%)	(27.65%)	(57.44%)		
เคยคุมกำเนิด	43	85	153		
	(15.30%)	(30.25%)	(54.44%)		
การเที่ยวสถานบันเทิง				3.51	0.32
ไม่เคย	5	27	101		
	(3.76%)	(20.30%)	(75.94%)		
นาน ๆ ครั้ง	8	37	129		
	(4.60%)	(21.26%)	(74.14%)		
บ่อยครั้ง	5	19	63		
	(5.75%)	(21.84%)	(72.41%)		
บ่อย	1	8	19		
	(3.57%)	(28.57%)	(67.86%)		

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 4 แสดงปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยงโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย (ต่อ)

ตัวแปร	ระดับพฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยงโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์			χ^2	P-value
	ต่ำ	ปานกลาง	สูง		
การเข้ารับการตรวจสุขภาพที่เกี่ยวกับโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์				0.29	0.96
ไม่เคย	14 (4.68%)	64 (21.40%)	278 (74.73%)		
เคย 1 ครั้ง	3 (4.41%)	15 (22.06%)	19 (67.86%)		
เคยมากกว่า 1 ครั้ง	2 (3.64%)	12 (21.82%)	15 (68.18%)		
ระดับความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์				8.62	0.01*
ระดับสูง	5 (2.75%)	29 (15.93%)	148 (81.32%)		
ระดับปานกลาง	9 (4.35%)	51 (24.64%)	147 (71.01%)		
ระดับต่ำ	5 (15.15%)	11 (33.33%)	17 (51.52%)		
ระดับทัศนคติการป้องกันความเสี่ยงเกี่ยวกับโรคติดต่อทาง				30.99	<0.01*
ระดับสูง	12 (3.09%)	78 (20.10%)	298 (76.80%)		
ระดับปานกลาง	7 (20.59%)	13 (38.24%)	14 (41.18%)		

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

4.2 อภิปรายผล

ผลการศึกษาพบว่า นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายส่วนใหญ่มีความรู้เกี่ยวกับโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์อยู่ในระดับปานกลาง และมีทัศนคติและพฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยงจากโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์อยู่ในระดับสูง ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่านักศึกษาส่วนใหญ่มีความตระหนักถึงความสำคัญของการป้องกันโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ อาจเนื่องมาจากการเข้าถึงข้อมูลข่าวสารด้านสุขภาพผ่านสื่อออนไลน์ การรณรงค์ด้านสุขภาพทางเพศที่เพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน และการเรียนการสอนในระดับมหาวิทยาลัยที่มีรายวิชาการศึกษาทั่วไปที่สอดแทรกการเรียนการสอนข้อมูลทางด้านสุขภาพและเพศศึกษา ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Seangpraw และ Sresumatchai [15] พบว่านักศึกษามหาวิทยาลัยในภาคเหนือของประเทศไทยมีความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ในระดับที่สัมพันธ์กัน และควรได้รับการส่งเสริมความรู้ด้านสุขภาพทางเพศอย่างต่อเนื่องเพื่อป้องกันพฤติกรรมเสี่ยง

นอกจากนี้ ผลการศึกษาพบว่าระดับความรู้มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยงโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.01$) แสดงให้เห็นว่าการมีความรู้ที่ถูกต้องสามารถส่งผลต่อการตัดสินใจและการปฏิบัติตนในการป้องกันโรคได้ดียิ่งขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Walemba และ Taweeyanyongkul [16] พบว่า

ความรู้เกี่ยวกับโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์มีความสัมพันธ์กับการปฏิบัติตนในการป้องกันโรคของนักศึกษาระดับอุดมศึกษาในประเทศไทย โดยผู้ที่มีความรู้สูงมักมีพฤติกรรมป้องกันโรคที่เหมาะสมมากกว่า รวมไปถึงระดับทัศนคติที่มีต่อการป้องกันโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) ซึ่งอธิบายได้ว่าผู้ที่มีทัศนคติเชิงบวกต่อการป้องกันโรคจะมีแนวโน้มแสดงพฤติกรรมสุขภาพที่เหมาะสมมากกว่า สอดคล้องกับการศึกษาของ Niemkulrak [17] ที่พบว่าทัศนคติมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับพฤติกรรมการป้องกันโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ของนักเรียนและเยาวชนไทย โดยผู้ที่มีทัศนคติดีมีแนวโน้มปฏิบัติตนเพื่อป้องกันโรคได้ดีกว่า

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเพศกับพฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยงจากโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.01$) อาจเนื่องจากเพศหญิงให้ความสำคัญกับสุขภาพและการป้องกันโรคมากกว่าเพศชาย ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Sookkhee และคณะ [18] ที่พบว่าความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมเกี่ยวกับโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์มีความแตกต่างกันตามเพศ และเพศเป็นปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมเสี่ยงทางเพศของนักศึกษา ดังนั้น มหาวิทยาลัยควรส่งเสริมกิจกรรมให้ความรู้และพัฒนาทักษะการป้องกันโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์อย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในกลุ่มนักศึกษาที่มีความรู้และทัศนคติไม่เหมาะสม เพื่อเสริมสร้างพฤติกรรมสุขภาพทางเพศที่ปลอดภัยและลดความเสี่ยงต่อการติดเชื้อในอนาคต

5. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยงเกี่ยวกับโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย พบว่า นักศึกษาส่วนใหญ่มีความรู้เกี่ยวกับโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์อยู่ในระดับปานกลาง ในขณะที่มีทัศนคติและพฤติกรรมการป้องกันโรคอยู่ในระดับสูง นอกจากนี้ พบว่า เพศ ระดับความรู้ และระดับทัศนคติมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยงโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งจากผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าการส่งเสริมความรู้และการสร้างทัศนคติที่ถูกต้องเกี่ยวกับโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์เป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยส่งเสริมพฤติกรรมการป้องกันโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ของนักศึกษา ดังนั้น มหาวิทยาลัยและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรจัดกิจกรรมให้ความรู้ด้านสุขภาพทางเพศ ส่งเสริมการป้องกันโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ และพัฒนาทักษะการดูแลสุขภาพตนเองอย่างต่อเนื่อง เพื่อสร้างพฤติกรรมทางเพศที่ปลอดภัยและลดความเสี่ยงต่อการติดโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ในกลุ่มนักศึกษาต่อไป

6. ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิจัย เรื่อง ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันความเสี่ยงโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

6.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลวิจัยไปใช้

6.1.1 หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย หน่วยงานด้านสาธารณสุข หรือ หน่วยงานที่รับผิดชอบด้านกิจการนักศึกษา สามารถนำผลการวิจัยไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานใน การวางแผน ส่งเสริม และพัฒนากิจกรรมด้านการป้องกันโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ในสถานศึกษา

6.1.2 สามารถนำผลการวิจัยไปใช้ปรับปรุงแนวทางการให้ความรู้ การรณรงค์ และการให้บริการด้านสุขภาพทางเพศให้เหมาะสมกับบริบทของนักศึกษา เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพและประโยชน์สูงสุดต่อการลดพฤติกรรมเสี่ยงและส่งเสริมพฤติกรรมการป้องกันโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์อย่างยั่งยืน

6.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

6.2.1 ศึกษารูปแบบการสื่อสารด้านสุขภาพทางเพศที่เหมาะสมกับวัย ภาษา และบริบททาง สังคมของนักศึกษา เพื่อเพิ่มความเข้าใจที่ถูกต้องและส่งเสริมทัศนคติเชิงบวกต่อการป้องกันโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์

6.2.2 ศึกษาแนวทางการสร้างความร่วมมือระหว่างสถาบันการศึกษา บุคลากรด้าน สาธารณสุข และเครือข่ายนักศึกษา ในการถ่ายทอดข้อมูลและดำเนินกิจกรรมส่งเสริมสุขภาพทางเพศ อย่างมีประสิทธิภาพ

6.2.3 นำผลการวิจัยไปใช้ในการพัฒนาแนวทางหรือรูปแบบกิจกรรมการป้องกันโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ที่เหมาะสมกับนักศึกษา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานด้านสุขภาพและลดความเสี่ยงในการเกิดโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ในระยะยาว

7. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาและความร่วมมือจากหลายฝ่าย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์และผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ และตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือวิจัย ตลอดจนให้คำปรึกษาอันเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินการวิจัย ขอขอบพระคุณคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย และคณบดีทุกคณะที่อนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกในการเก็บรวบรวมข้อมูล รวมทั้งนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายทุกคนที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามเป็นอย่างดียิ่ง จนทำให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

8. เอกสารอ้างอิง

[1] กลุ่มพัฒนาระบบเฝ้าระวังทางระบาดวิทยาโรคเอดส์ โรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ วัณโรค และไวรัสตับอักเสบบี ซี. (2568). พยากรณ์โรคซิฟิลิส สถานการณ์ปี พ.ศ. 2558 - 2568. นนทบุรี: กองระบาดวิทยา กรมควบคุมโรค. สืบค้นจาก https://doe.ddc.moph.go.th

[2] บีบีซี นิวส์ ไทย. (2567).“ไม่ใช่แค่มหาสารคาม” สำรวจสถานการณ์ซิฟิลิสระบาด หลังยอดติดเชื้อทั่วประเทศพุ่งเกือบเท่าตัวใน 3 ปี. สืบค้นจาก https://www.bbc.com/thai/articles/c62vlvlyrj9o

[3] กรมควบคุมโรค. (ม.ป.ป.).ศูนย์รวมข้อมูลสารสนเทศด้านเอชไอวี และโรคร่วม - HIV INFO HUB+: การระบาด. สืบค้นจาก https://hivhub.ddc.moph.go.th/officer/epidemic.php

[4] UNAIDS. (2023). UNAIDSdata2022. สืบค้นจาก https://www.unaids.org/en/resources/documents/2023/2022_unaids_data

[5] The Coverage. (2568). สปสช.เปิดข้อมูล 'จัดซื้อถุงยางฯ' ยันโปร่งใส – ไม่ได้จัดซื้อยอดเดิม เช็กความต้องการทุกปี. The Coverage. https://www.thecoverage.info/

[6] สำนักงานพัฒนาระบบข้อมูลข่าวสารสุขภาพ. (ม.ป.ป.). ซิฟิลิส. ThaiHealthStat. https://www.hiso.or.th

[7] World Health Organization. (ม.ป.ป.). Adolescent health. สืบค้นจาก https://www.who.int/health-topics/adolescent-health

[8] สำนักอนามัยการเจริญพันธุ์ กรมอนามัย. (ม.ป.ป.).สถานการณ์อนามัยการเจริญพันธุ์. สืบค้นจาก https://rh.anamai.moph.go.th/th/reproductive-health-situation

[9] กองโรคเอดส์และโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ กรมควบคุมโรค. (ม.ป.ป.).ศูนย์ข้อมูลเอชไอวีแห่งชาติ (HIV Hub). สืบค้นจาก https://hivhub.ddc.moph.go.th/

[10] กองสุขศึกษา. (2563). แนวคิดและทฤษฎีด้านพฤติกรรมสุขภาพ. กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข.

[11] บุญธรรม กิจปรีดาบริสุทธิ์. (2560). ระเบียบวิธีการวิจัยทางสังคมศาสตร์ (พิมพ์ครั้งที่ 11). จามจุรีโปรดักท์.

[12] กรมควบคุมโรค. (2566). แนวทางการป้องกันและควบคุมโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์. กระทรวงสาธารณสุข.

[13] Bloom, B. S. (1956). Taxonomy of educational objectives, the classification of educational goals – Handbook I: cognitive domain.

[14] Best, J. W. (1977). Research in education (3rd ed.). Prentice-Hall.

[15] Seangpraw, K., & Sresumatchai, V. (2017). Knowledge, attitude, perceived self-efficacy and Health Research.

[16] Walemba, E. M., & Taweeyanyongkul, K. (2019). Analysis of knowledge, attitude and practices regarding sexually transmitted infections among post-secondary students Thailand. Abstract Proceedings International Scholars Conference, 7(1), 836–849.

[17] Niemkulrak, A. (2019). Prevention of Sexually Transmitted Infections among Bangkok High School Students: Knowledge, Attitudes, and Practices. Human Behavior, Development and Society.

[18] Sookkhee, S., et al. (2023). Knowledge, attitude and behavior regarding sexually transmitted diseases of male students from 3 faculties at Chiang Mai University. Biomedical Sciences and Clinical Medicine.

การศึกษานำร่องผลของโปรแกรมการออกกำลังกายแบบประสาทและกล้ามเนื้อเป็นเวลา 2 สัปดาห์ ต่อเสถียรภาพการทรงท่า และมุมคอขณะยืนในผู้ป่วยพาร์กินสัน

A Pilot Study of the Effects of a Two-Week Neuromuscular Exercise Program on Postural Stability and Cervical Angle during Standing Position Individuals with Parkinson's Disease

ภาพตะวัน หว่างจันทร์[1] จตุพร สุทธิวงษ์[1] ธีรยา อุปชิต[1] และ สุวีณา ค้าเจริญ[1*]

[1] คณะกายภาพบำบัด มหาวิทยาลัยมหิดล
*E-mail: suweena.kha@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

ภาวะความไม่มั่นคงของการทรงท่าเป็นหนึ่งในอาการหลักของพาร์กินสัน ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับความบกพร่องของการทำงานประสานสัมพันธ์ของกล้ามเนื้อ การรับรู้ของข้อต่อ และการบูรณาการของระบบรับความรู้สึก อีกทั้งยังพบความผิดปกติของท่าทางในผู้ป่วย เช่น การก้มของคอไปทางด้านหน้า เป็นผลมาจากภาวะกล้ามเนื้อแข็งเกร็ง หรืออาจเกิดจากกลไกชดเชยเพื่อช่วยรักษาสมดุลของร่างกาย อาการเหล่านี้อาจสามารถจัดการได้ด้วยการออกกำลังกายแบบประสาทและกล้ามเนื้อที่มุ่งเน้นการจัดแนวข้อต่อ การเคลื่อนไหวอย่างเป็นระบบในท่าที่มีการลงน้ำหนัก การฝึกดังกล่าวอาจช่วยส่งเสริมการทำงานประสานกันของกล้ามเนื้อและการเรียนรู้การควบคุมการเคลื่อนไหว ส่งผลให้การทรงตัวดีขึ้นและการเคลื่อนไหวราบรื่นมากขึ้น และยังเป็นจัดท่าทางให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการออกกำลังกายดังกล่าวเป็นเวลา 2 สัปดาห์ต่อเสถียรภาพการทรงท่า และมุมคอขณะยืน ผลการศึกษานำร่องเชิงกึ่งทดลองในผู้ป่วยพาร์กินสันระยะเล็กน้อยถึงปานกลางจำนวน 4 คน พบแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงเสถียรภาพการทรงท่าและมุมคอ (P= 0.068, Effect size = 0.91) ดังนั้นผลการศึกษานำร่องนี้แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมออกกำลังกายแบบประสานและกล้ามเนื้ออาจเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ป่วยพาร์กินสันระยะเล็กน้อยถึงปานกลางในการออกกำลังกายที่บ้าน

คำสำคัญ: โรคพาร์กินสัน การออกกำลังกายแบบประสานและกล้ามเนื้อ การทรงตัว การบูรณาการระหว่างประสาทรับความรู้สึกและการเคลื่อนไหว การบำบัดด้วยการออกกำลังกาย

Abstract

Postural instability is one of the major symptoms of Parkinson's disease and is associated with impaired muscle coordination, joint proprioception, and sensory integration. In addition, abnormal postures commonly observed in patients, such as forward neck flexion, may result from muscle rigidity or compensatory mechanisms used to maintain body balance. These impairments may potentially be improved through neuromuscular exercise, which emphasizes joint alignment, systematic movement patterns, and weight-bearing positions. These exercises may promote coordinated muscle activation and motor learning, leading to improved balance, smoother movement performance, and proper postural alignment. This study aimed to investigate the effects of a 2-week neuromuscular exercise program on postural stability and cervical angle in standing position. The results of this Quasi-experimental pilot study involving four participants with mild to moderate Parkinson's disease showed a change in postural stability and cervical angle (P= 0.068, Effect size = 0.91). These preliminary findings suggest that a home-based

neuromuscular exercise program may be a promising exercise option for individuals with mild to moderate Parkinson's disease.

Keywords: Parkinson's disease, Neuromuscular exercise, Balance, Sensorimotor integration, Exercise therapy

1. บทนำ

โรคพาร์กินสัน (Parkinson's disease) เป็นโรคความเสื่อมของระบบประสาทที่พบได้บ่อยเป็นอันดับสอง รองจากโรคอัลไซเมอร์ และพบในผู้สูงอายุทั่วโลก [1] พยาธิสภาพสำคัญของโรคพาร์กินสันเกิดจากการเสื่อมของเซลล์ประสาทในบริเวณ Substantia nigra ซึ่งทำหน้าที่สร้างสารสื่อนำประสาทโดพามีน ที่มีบทบาทสำคัญในการควบคุมการเคลื่อนไหว ส่งผลให้ผู้ป่วยมีความบกพร่องทางการเคลื่อนไหว ได้แก่ การเคลื่อนไหวช้า (Bradykinesia) อาการสั่น (Tremors) กล้ามเนื้อแข็งเกร็ง (Rigidity) และความไม่มั่นคงของเสถียรภาพการทรงท่า (Postural instability) [2, 3] นอกจากนี้อาจพบอาการที่ไม่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหว ได้แก่ ความบกพร่องด้านการรู้คิด ความเหนื่อยล้า และปัญหาด้านอารมณ์หรือจิตใจ [4] ซึ่งล้วนส่งผลกระทบต่อการทำกิจวัตรประจำวันและคุณภาพชีวิตของผู้ป่วย [2, 5]

ความไม่มั่นคงในการทรงตัวในท่ายืนเป็นหนึ่งในปัญหาสำคัญที่พบในผู้ป่วยโรคพาร์กินสัน [6] ซึ่งพบได้ตั้งแต่ระยะเริ่มต้นของโรคและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการดำเนินโรค [7, 8] ภาวะดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับความผิดปกติของการทำงานประสานสัมพันธ์ของกล้ามเนื้อ รวมถึงภาวะกล้ามเนื้อแกนกลางและรยางค์แข็งเกร็ง ส่งผลให้ผู้ป่วยรักษาความมั่นคงของการทรงตัวได้ยากขึ้น จากการศึกษาก่อนหน้าพบว่าผู้ป่วยโรคพาร์กินสันมีการแกว่งของร่างกาย (Postural sway) ที่มากและเร็วขึ้นขณะยืนนิ่ง โดยจะเด่นชัดมากขึ้นเมื่ออยู่ในท่ายืนที่ท้าทายมากขึ้น เช่น ท่ายืนกึ่งต่อส้นเท้า (Semi-tandem) และท่ายืนต่อส้นเท้า (Tandem) [6] อาจสะท้อนถึงความบกพร่องของระบบรับความรู้สึกจากตำแหน่งข้อต่อ (Proprioception) [9, 10] ความผิดปกตินี้อาจส่งผลต่อการบูรณาการข้อมูลทางประสาทรับความรู้สึก (Sensory integration) ทำให้ประสิทธิภาพของการควบคุมการทรงท่าขณะยืนลดลง [11]

นอกจากนี้ ผู้ป่วยโรคพาร์กินสันมักมีลักษณะท่าทางก้มงอ (Stooped posture) ศีรษะก้ม ไหล่งุ้ม ลำตัวโน้มไปข้างหน้า และมีการงอของข้อสะโพกและข้อเข่า ซึ่งอาจเป็นกลไกชดเชยเพื่อช่วยรักษาสมดุลของร่างกาย [12, 13] อย่างไรก็ตาม การคงอยู่ของท่าทางที่ผิดปกติเป็นเวลานานอาจส่งผลให้กล้ามเนื้อเหยียดลำตัวและกล้ามเนื้อรอบข้อต่ออ่อนแรงลง ส่งผลต่อความสามารถในการยืนและการเคลื่อนไหวในชีวิตประจำวัน

ปัจจุบันการรักษาของโรคพาร์กินสันประกอบด้วยการใช้ยาและการผ่าตัด แม้ว่าการรักษานี้จะช่วยลดอาการของโรค แต่ยังไม่สามารถแก้ไขความบกพร่องด้านการเคลื่อนไหวได้ทั้งหมด [14] ด้วยเหตุนี้การฝึกทางกายภาพบำบัดจึงมีบทบาทสำคัญในการฟื้นฟูสมรรถภาพของผู้ป่วย โดยปฏิบัติตามแนวปฏิบัติทางคลินิกสำหรับผู้ป่วยพาร์กินสันแนะนำให้ฝึกด้วยการออกกำลังกายแบบแอโรบิก การเพิ่มความแข็งแรง การฝึกการทรงตัว และการยืดเหยียดกล้ามเนื้อ แต่อย่างไรก็ตามอาจยังไม่ได้มุ่งเน้นการพัฒนาการทำงานร่วมกันระหว่างระบบประสาทรับความรู้สึกและการเคลื่อนไหว รวมถึงความมั่นคงของข้อต่อ ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของการควบคุมท่าทางในผู้ป่วยโรคพาร์กินสัน ดังนั้น การออกกำลังกายแบบประสาทและกล้ามเนื้อ (Neuromuscular Exercise) จึงอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการส่งเสริมการทรงตัว และการควบคุมท่าทางในผู้ป่วยพาร์กินสัน เนื่องจากการออกกำลังกายจะมุ่งเน้นการทำงานประสานกันของกล้ามเนื้อและการรับข้อมูลความรู้สึกจากตำแหน่งของร่างกาย

การออกกำลังกายแบบประสาทและกล้ามเนื้อ เป็นรูปแบบการออกกำลังกายที่ประกอบด้วยการเคลื่อนไหวหลายข้อ (Multi-joint exercises) ในลักษณะการลงน้ำหนัก (Closed chain weight bearing positions) [15] โดยมุ่งเน้นการจัดแนวข้อต่อที่เหมาะสม (Joint centration) ทั้งข้อต่อแกนกลางและรยางค์ร่างกาย เพื่อกระตุ้นการทำงานของกลุ่มกล้ามเนื้อรอบข้อต่อให้สามารถทำงานร่วมกันอย่างสมดุลขณะทรงท่าหรือเคลื่อนไหว [16, 17] ส่งผลให้ข้อต่อส่วนปลายเคลื่อนไหวได้อย่างราบรื่น [17] อีกทั้งเป็นการฝึกที่ให้เริ่มต้นการเคลื่อนไหวด้วยรยางค์ที่ไม่บกพร่องก่อน เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้การเคลื่อนไหว (Motor learning) ไปยังแขนหรือขาที่มีความบกพร่อง [17] ดังนั้นการออกกำลังกายนี้จึงช่วยพัฒนาการควบคุมการเคลื่อนไหวจากระบบประสาทรับความรู้สึก และเสถียรภาพการทำงานของร่างกาย [15, 17, 18] จากการศึกษาก่อนหน้าพบว่าการออกกำลังกายแบบประสาทและกล้ามเนื้อ สามารถช่วยเพิ่มสมรรถภาพทางกาย การทรงตัว และการทำงานของร่างกายในผู้สูงอายุ รวมถึงผู้ที่มีความผิดปกติของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ [16, 17, 19] นอกจากนี้การออกกำลังกาย

ที่มีลักษณะใกล้เคียง เช่น การออกกำลังกายที่มีการลงน้ำหนัก การฝึกการทรงตัว และการฝึกกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัว ยังช่วยพัฒนาความสามารถในการทรงตัว การรับรู้ตำแหน่งข้อต่อ และช่วงการเคลื่อนไหวในผู้ป่วยโรคพาร์กินสันได้ [20, 21]

จากการศึกษาข้างต้นหากนำการออกกำลังกายที่เน้นการจัดแนวของข้อต่อที่เหมาะสม ในลักษณะของท่าที่มีการลงน้ำหนัก อาจแก้ไขปัญหาของท่าทาง และส่งเสริมทรงท่าซึ่งเป็นประโยชน์ต่อผู้ป่วยพาร์กินสัน โดยการฝึกการทรงท่าตามแนวปฏิบัติในผู้ป่วยพาร์กินสันไม่ได้มีองค์ประกอบเหล่านี้ อย่างไรก็ตามปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาที่ประยุกต์ใช้ในผู้ป่วยกลุ่มนี้ การศึกษานำร่องครั้งนี้จึงศึกษาในผู้ป่วยพาร์กินสันระยะเล็กน้อยถึงปานกลางจากคลินิกกายภาพบำบัด และโรงพยาบาลรัฐที่มีปัญหาของท่าทาง และการทรงท่า และกำหนดระยะเวลาโปรแกรมเป็น 2 สัปดาห์ โดยอ้างอิงจากการศึกษาก่อนหน้า [22] ที่พบว่าการออกกำลังกายในระยะเวลา 2 สัปดาห์ ช่วยให้อาการด้านการเคลื่อนไหวและความสามารถในการทรงตัวของผู้ป่วยโรคพาร์กินสันดีขึ้น การศึกษาครั้งนี้คาดว่าจะช่วยเติมเต็มองค์ความรู้ และเป็นข้อมูลเชิงประจักษ์สำหรับการพัฒนาและประยุกต์ใช้การออกกำลังกายดังกล่าวในทางคลินิก

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลการออกกำลังกายแบบประสาทและกล้ามเนื้อเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ ต่อเสถียรภาพการทรงท่าขณะยืน (ระยะทางและพื้นที่การเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางแรงกด) และมุมคอในผู้ป่วยพาร์กินสัน

สมมติฐาน

ผู้ป่วยพาร์กินสันจะมีเสถียรภาพการทรงท่าขณะยืนและมุมคอมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญหลังได้รับโปรแกรมการออกกำลังกายแบบประสาทและกล้ามเนื้อเป็นเวลา 2 สัปดาห์ เมื่อเทียบกับก่อนได้รับโปรแกรม

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โรคพาร์กินสัน

2.1.1 ความชุก และพยาธิสภาพของโรคพาร์กินสัน

โรคพาร์กินสัน (Parkinson’s disease) เป็นโรคความเสื่อมของระบบประสาทที่พบได้บ่อยเป็นอันดับสองรองจากโรคอัลไซเมอร์ และพบในผู้สูงอายุทั่วโลก [1] โดยอัตราความชุกในประเทศไทยจากการศึกษาในปี 2024 พบจำนวนผู้ป่วยพาร์กินสันจำนวน 242.57 คนต่อประชากร 100,000 คน ซึ่งในประชากรที่อายุมากกว่า 60 ปี พบร้อยละ 19.46 [23] อุบัติการณ์ของโรคจะเพิ่มขึ้นตามอายุ โดยเฉพาะหลังอายุ 65 ปี [24] โดยพยาธิสรีรวิทยาของโรคพาร์กินสันเกี่ยวข้องกับการเสื่อมของเซลล์ประสาทใน Substantia nigra ที่ทำหน้าที่ผลิตโดปามีนที่ไปส่งผลต่อการทำงานของวงจร Basal ganglia ซึ่งมีความสัมพันธ์ต่อการควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกาย [25] ความผิดปกติเหล่านี้นำไปสู่อาการต่าง ๆ ทางคลินิก

2.1.2 อาการของโรคพาร์กินสัน

อาการของโรคพาร์กินสันแบ่งเป็นอาการด้านการเคลื่อนไหว ประกอบด้วย อาการเคลื่อนไหวช้า (Bradykinesia) อาการสั่น (Tremor) ภาวะกล้ามเนื้อแข็งเกร็ง (Rigidity) ภาวะบกพร่องของเสถียรภาพการทรงท่า (Postural instability) และอาการที่ไม่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหว เช่น อาการทางระบบประสาทและจิตเวช ความผิดปกติของการนอนหลับ อาการจากความผิดปกติของระบบประสาทอัตโนมัติ [2, 4] นอกจากนี้อาจพบภาวะทรกซ้อนภายหลังการเกิดโรค เช่น การมีท่าทางที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งท่าทางที่มักพบคือ การก้มของศีรษะไปด้านหน้า ไหล่ และลำตัวงุ้มงอ ความผิดปกติดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับภาวะกล้ามเนื้อแข็งเกร็งบริเวณลำตัว รวมทั้งความยืดหยุ่นของข้อต่อและกล้ามเนื้อที่ลดลง ภาวะกล้ามเนื้ออ่อนแรงและความทนทานของกล้ามเนื้อที่ลดลง [26, 27] เมื่อทรงท่าผิดปกติเป็นระยะเวลานานอาจส่งผลต่อการควบคุมเสถียรภาพการทรงท่าของผู้ป่วยได้ เสี่ยงต่อการล้ม และส่งผลถึงคุณชีวิตของผู้ป่วย [28]

ภาวะบกพร่องของเสถียรภาพการทรงท่า หมายถึงความผิดปกติของการทรงตัวในระหว่างการคงค้างหรือการปรับเปลี่ยนท่าทางของร่างกาย [2] โดยภาวะดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับความผิดปกติของการทำงานประสานกันของกล้ามเนื้อกลุ่ม Agonist และ Antagonist รวมทั้งภาวะกล้ามเนื้อแข็งเกร็งบริเวณแขนขาและแกนลำตัว และอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญคือ ความบกพร่องในการรับรู้ตำแหน่งของข้อต่อ (Proprioception) และความสามารถในการบูรณาการข้อมูลทางประสาทรับความรู้สึก (Sensory integration) ส่งผลต่อความมั่นคงของข้อต่อ และมีความสัมพันธ์กับเสถียรภาพการทรงท่าของผู้ป่วยโรคพาร์กินสัน [6]

2.1.3 การดูแลรักษาโรคพาร์กินสัน

แนวทางการรักษาโรคพาร์กินสันในปัจจุบันได้แก่ การรักษาทางการแพทย์ ประกอบด้วยการใช้ยาและการผ่าตัด ที่ช่วยให้สามารถควบคุมอาการทางการเคลื่อนไหวบางอาการได้ ร่วมกับการรักษาทางกายภาพบำบัด ซึ่งอ้างอิงแนวปฏิบัติทางคลินิกสำหรับผู้ป่วยพาร์กินสัน (Clinical practice guidelines) โดยผู้ป่วยที่มีความรุนแรงของโรคระดับน้อยถึงปานกลาง แนะนำให้การออกกำลังกายแบบแอโรบิก การออกกำลังกายเพื่อเพิ่มความแข็งแรง การยืดเหยียดกล้ามเนื้อ และการฝึกการทรงตัว [29] ถึงแม้การรักษาเหล่านี้ช่วยส่งเสริมอาการทางการเคลื่อนไหว การออกกำลังกายที่ส่งเสริมการบูรณาการข้อมูลทางประสาทรับความรู้สึก และเพิ่มความมั่นคงของข้อต่อเข้าไปอาจสามารถช่วยส่งเสริมให้เสถียรภาพการทรงท่าดีขึ้นได้

2.2 การออกกำลังกายแบบระบบประสาทและกล้ามเนื้อ

การออกกำลังกายแบบระบบประสาทและกล้ามเนื้อเป็นการออกกำลังกายที่ใช้การเคลื่อนไหวหลายข้อต่อ (Multi-joint movements) ที่ทำในท่าที่มีการลงน้ำหนัก (Weight-bearing) หรือทำในท่าที่เป็นแบบปิดโซ่การเคลื่อนไหว (Closed kinetic chain) ซึ่งช่วยกระจายแรงและลดแรงอัดที่เกิดขึ้นบนผิวข้ออย่างสม่ำเสมอ เน้นการจัดแนวข้อต่อที่เหมาะสม (Joint centration) และการเคลื่อนไหวจากด้านที่ไม่บกพร่องก่อน เพื่อช่วยส่งเสริมการเรียนรู้การเคลื่อนไหว (Motor learning) ไปยังด้านที่มีความบกพร่อง โปรแกรมการฝึกนี้มีพื้นฐานมาจากหลักการทางชีวกลศาสตร์และการควบคุมระบบประสาทและกล้ามเนื้อ (Neuromuscular control) โดยเน้นคุณภาพและประสิทธิภาพของการเคลื่อนไหว [21]

เป้าหมายหลักของการออกกำลังกายแบบระบบประสาทและกล้ามเนื้อ คือส่งเสริมการควบคุมการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ (Sensorimotor control) ซึ่งหมายถึงความสามารถในการเคลื่อนไหวได้อย่างแม่นยำผ่านการทำงานร่วมกันของการหดตัวของกล้ามเนื้อหลายมัดอย่างประสานกัน [30] และส่งเสริมความมั่นคงขณะการเคลื่อนไหว [21] จากการศึกษาก่อนหน้าได้นำไปใช้ในผู้ที่มีโรคข้อเข่าเสื่อม หรือในภาวะข้อไหล่ไม่มั่นคง พบว่าช่วยเพิ่มความมั่นคงของข้อต่อ [20, 21] อีกทั้งช่วยเพิ่มความแข็งแรงของรยางค์ล่างและช่วยพัฒนาการทรงตัวได้ดีในเด็กดาวน์ซินโดรม [30] นอกจากนี้หลักการออกกำลังกายมีความคล้ายคลึงกับการออกกำลังกายกล้ามเนื้อลำตัว (Trunk exercise) ที่มุ่งเน้นการเพิ่มความแข็งแรง ความทนทาน และการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อแกนกลางลำตัว (Core muscles) โดยมักทำในท่าทางหลากหลายรวมถึงท่าที่มีการลงน้ำหนัก จากการศึกษาก่อนหน้าได้นำการออกกำลังกายกล้ามเนื้อลำตัวมาใช้ในผู้ป่วยพาร์กินสันพบว่าช่วยเพิ่มการทรงตัว การรับรู้ของข้อต่อ และช่วงการเคลื่อนไหวได้

ดังนั้น งานวิจัยก่อนหน้านี้จึงแนะนำให้ใช้การออกกำลังกายแบบระบบประสาทและกล้ามเนื้อในกลุ่มที่มีความบกพร่องด้านการประสานงานของกล้ามเนื้อและการรับรู้ทางประสาทสัมผัสซึ่งมีความสัมพันธ์กับการควบคุมท่าทาง [21, 30]

3. วิธีการวิจัย

3.1 รูปแบบงานวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษานำร่องเชิงกึ่งทดลอง (Quasi-experimental Design) โดยใช้รูปแบบการศึกษากลุ่มเดียววัดผลก่อนและหลังการทดลอง (One-group Pretest–Posttest Design) โดยผู้เข้าร่วมการวิจัยได้รับการประเมินผลก่อนเข้าร่วมโปรแกรม จากนั้นได้รับโปรแกรมการออกกำลังกายแบบประสาทและกล้ามเนื้อเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ และเมื่อครบกำหนดผู้เข้าร่วมจะได้รับการนัดหมายเพื่อตรวจประเมินผลหลังได้รับโปรแกรมออกกำลังกาย การเก็บรวบรวมข้อมูลดำเนินการ ณ คณะกายภาพบำบัด มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม ประเทศไทย

3.2 ผู้เข้าร่วมการวิจัย

ผู้เข้าร่วมการวิจัยเป็นผู้ป่วยโรคพาร์กินสันชนิดไม่ทราบสาเหตุ (Idiopathic Parkinson’s disease) ที่ได้รับการวินิจฉัยโดยแพทย์ และได้รับการคัดเลือกจากการประชาสัมพันธ์การวิจัยผ่านสื่อออนไลน์จำนวน 4 คน โดยผู้เข้าร่วมทุกคนได้รับการอธิบายเกี่ยวกับการวิจัย และได้ลงนามในเอกสารแสดงความยินยอมที่ได้รับการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคนของมหาวิทยาลัยมหิดล (Mahidol University Multi-faculty Cooperative IRB Review; MU-MOU 2025/611.2411) โดยมีเกณฑ์การคัดเข้า และคัดออกดังนี้

3.2.1 เกณฑ์การคัดเข้า

ผู้ป่วยที่มีระดับความรุนแรงของโรคตามแบบประเมินระดับความรุนแรงของโรคพาร์กินสัน Hoehn and Yahr ฉบับปรับปรุง อยู่ระดับเล็กน้อยถึงปานกลาง มีการใช้ยาพาร์กินสันคงที่อย่างน้อย 1 เดือน และไม่มีอาการ “ภาวะยาหมดฤทธิ์” มีความผิดปกติของท่าทาง โดยกำหนดจากคะแนนตั้งแต่ 1 คะแนนขึ้นไปในหัวข้อ ลักษณะท่าทางการยืน ของแบบประเมิน Unified Parkinson’s Disease Rating Scale ฉบับปรับปรุงโดยสมาคม Movement Disorder Society สามารถยืนได้ด้วยตนเองและเดินได้อย่างน้อย 10 เมตรโดยไม่ใช้อุปกรณ์ช่วยเดิน และมีอายุระหว่าง 50 ถึง 80 ปี

3.2.2 เกณฑ์การคัดออก

ผู้ที่มีภาวะบกพร่องทางการรู้คิดหรือภาวะสมองเสื่อม มีประวัติโรคทางระบบประสาท โรคหัวใจและปอดที่รุนแรง ได้แก่ โรคหัวใจรุนแรง โรคปอดรุนแรง หรือภาวะความดันโลหิตสูงที่ควบคุมไม่ได้ มีปัญหาทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ ภาวะหลังค่อมถาวรที่ไม่สามารถแก้ไขได้ด้วยการปรับท่าทาง ผู้ที่มีภาวะซึมเศร้าหรือวิตกกังวลในระดับรุนแรง ผู้ที่ได้รับการผ่าตัดสมอง เช่น การฝังเครื่องกระตุ้นสมองส่วนลึก (Deep Brain Stimulation) และผู้ที่ได้รับการรักษาทางการแพทย์หรือการผ่าตัดใด ๆ ที่อาจส่งผลต่อการออกกำลังกาย

3.3 การคำนวณขนาดตัวอย่าง

การศึกษาครั้งนี้จึงคำนวณขนาดตัวอย่างโดยอ้างอิงจากการศึกษาของ Akhila และคณะ [31] ซึ่งศึกษาผลของการฝึกกล้ามเนื้อลำตัวที่เกี่ยวข้องกับการทำกิจกรรมต่อการทรงตัว การควบคุมลำตัว การทำงานของปอด และคุณภาพชีวิตในผู้ป่วยโรคพาร์กินสัน คำนวณโดยใช้โปรแกรม G*power จากการศึกษาดังกล่าว พบค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแบบประเมินการทรงตัวฉบับย่อ (Mini-BESTest) ในการประเมินผลก่อนและหลังได้รับโปรแกรมออกกำลังกาย เท่ากับ 14.4 ± 4.7 คะแนน และ 19.2 ± 3.9 คะแนนตามลำดับ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 0.05 กำลังการทดสอบอยู่ที่ร้อยละ 80 และได้คำนึงถึงอัตราการสูญเสียของกลุ่มตัวอย่างร้อยละ 20 ทำให้ได้ขนาดตัวอย่างทั้งหมด 12 คน การศึกษานี้จึงกำหนดกลุ่มตัวอย่างสำหรับการศึกษานำร่อง จำนวน 4 คน เพื่อประเมินความเป็นไปได้ และพิจารณาผลลัพธ์หลักของการวิจัย

3.4 การประเมินผลลัพธ์

3.4.1 ประเมินเสถียรภาพการทรงท่าขณะยืน (Postural stability)

ทำการประเมินเสถียรภาพการทรงท่าขณะยืนโดยใช้อุปกรณ์แผ่นวัดแรงกดใต้ฝ่าเท้า (Zebris FDM pressure plate) โดยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยยืนในท่าต่อเท้า ประกอบด้วย ท่ายืนต่อเท้าโดยข้างที่มีอาการมากกว่าอยู่ด้านหลัง และท่ายืนต่อเท้าโดยข้างที่มีอาการน้อยกว่าอยู่ด้านหลัง ดังแสดงในภาพที่ 1 คงท่ายืนเป็นระยะเวลา 20 วินาที ทำการทดสอบทั้งหมด 3 ครั้งในแต่ละท่า และนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย

ภาพที่ 1 ท่ายืนต่อเท้า

ตัวแปรที่ใช้ในการประเมินประกอบด้วย พื้นที่วงรีความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (95% confidence ellipse area) ซึ่งหมายถึงพื้นที่ที่ครอบคลุมการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางแรงกดบนระนาบแนวนอน (ระนาบ x-y) และตัวแปรระยะทางการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางแรงกด (Path of Center of pressure) ซึ่งหมายถึงระยะทางรวมของการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางแรงกดในระหว่างการรักษาสมดุลของร่างกาย แสดงในรูปแบบความยาวเส้นทางการเคลื่อนที่ ซึ่งทั้งสองตัวแปรใช้ในการประเมินเสถียรภาพการทรงท่าขณะยืน โดยค่าที่ลดลงสะท้อนถึงความสามารถในการควบคุมการทรงตัวที่ดีขึ้น

3.4.2 ประเมินมุมก้มคอ

ทำการประเมินมุมก้มคอโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดการเคลื่อนไหวชนิดหน่วยวัดความเฉื่อย (Inertial Measurement Units; IMUs) ติดตั้งบริเวณปุ่มกระดูกคอระดับที่ 4 ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยกำหนดความถี่อยู่ที่ 240 เฮิรตซ์ ระหว่างการประเมินผู้เข้าร่วมวิจัยจะอยู่ในท่ายืนนิ่งเป็นเวลา 30 วินาที วัดจำนวน 3 ครั้ง และนำมาหาค่าเฉลี่ย

ภาพที่ 2 ตำแหน่งการติดอุปกรณ์ตรวจวัดการเคลื่อนไหว

ค่าที่ได้จากการวัดจะแสดงเป็นค่าของมุมคอ ซึ่งเป็นมุมระหว่างแนวกระดูกคอระดับที่ 4 กับแกนแนวนอน ทั้งนี้ ค่ามุมที่เพิ่มขึ้นและเข้าใกล้ 90 องศา แสดงถึงมุมคอที่อยู่ในแนวตั้งมากขึ้น ซึ่งสะท้อนถึงท่าทางที่ดีขึ้น

3.5 โปรแกรมออกกำลังกายแบบประสาทและกล้ามเนื้อ

โปรแกรมออกกำลังกายอ้างอิงแนวคิดของการออกกำลังกายแบบประสาทและกล้ามเนื้อที่ได้รับการประยุกต์ใช้ในผู้ป่วยกลุ่มอื่น โดยบางท่าเคยนำมาใช้ในผู้ป่วยโรคพาร์กินสันจากการศึกษาก่อนหน้า ท่าออกกำลังกายจะมีลักษณะลงน้ำหนัก เน้นการจัดแนวข้อต่อให้อยู่ตำแหน่งที่เหมาะสม และการเคลื่อนไหวอย่างมีคุณภาพ เริ่มเคลื่อนไหวจากรยางค์ด้านที่ไม่ได้รับผลกระทบก่อน แล้วจึงตามด้วยรยางค์ด้านที่มีความบกพร่อง เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้การเคลื่อนไหวที่ถูกต้อง โปรแกรมประกอบด้วย อบอุ่นร่างกาย โปรแกรมออกกำลังกาย และผ่อนคลายร่างกาย รวมทั้งสิ้น 60 นาที ออกกำลังกาย 5 วันต่อสัปดาห์ ระยะเวลา 2 สัปดาห์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ท่าอบอุ่นร่างกาย มีทั้งหมด 5 ท่า โดยเริ่มจากการฝึกหายใจ จากนั้นออกกำลังกายเพื่อยืดเหยียดกล้ามเนื้อลำตัว ออกกำลังแขนและข้อไหล่ และออกกำลังกายขา ทำทั้ง 2 ข้าง ใช้เวลาทั้งหมด 5 นาที

ท่าออกกำลังกายแบบประสาทและกล้ามเนื้อ มีทั้งหมด 10 ท่า ซึ่งแต่ละท่ามุ่งเน้นการจัดแนวของศีรษะ ไหล่ ลำตัว ขาให้อยู่ในแนวเดียวกัน ทุกท่าจะเป็นท่าที่มีการลงน้ำหนัก กรณีฝึกในท่าที่เคลื่อนไหว ฝึกทั้งหมด 20 ครั้งต่อข้าง และกรณีฝึกในท่าที่ต้องคงค้างไว้ จะค้างเป็นเวลา 10 วินาที ฝึกทั้งหมด 5 ครั้ง ใช้เวลาทั้งหมด 50 นาที ท่าออกกำลังกายเรียงลำดับจากท่านอนหงาย นอนตะแคง นอนคว่ำ นั่ง และยืน โดยมุ่งเน้นการทำงานร่วมกันของกลุ่มกล้ามเนื้อรอบสะบัก รอบเชิงกราน กล้ามเนื้อแกนกลาง กล้ามเนื้อต้นขา และกล้ามเนื้อรอบข้อเท้า ระหว่างการฝึกมีการจัดท่าทางร่วมกับการให้ข้อมูลตอบกลับ (Feedback) เช่น การสัมผัส หรือคำพูดจากนักกายภาพบำบัดเพื่อช่วยในการจัดท่าทาง และเป็นการกระตุ้นการลงน้ำหนัก

ท่าผ่อนคลายร่างกาย มีทั้งหมด 5 ท่า ประกอบด้วยท่ายืดกล้ามเนื้อแขน หน้าอก หลัง ต้นขาด้านหน้า และน่อง ใช้เวลาทั้งหมด 5 นาที ซึ่งการออกกำลังกายจะดำเนินการผ่านระบบทางไกลภายใต้การดูแลของนักกายภาพบำบัดที่มีประสบการณ์เกี่ยวกับโปรแกรมออกกำลังกายแบบประสาทและกล้ามเนื้อ และทำโปรแกรมแกรมออกกำลังกายภายหลังจากทานยาพาร์กินสันไปแล้ว 1 ชั่วโมง เพื่อให้อยู่ในระยะออกฤทธิ์ของยา

3.6 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจะดำเนินการโดยใช้โปรแกรม SPSS (IBM SPSS Statistics Version 31.0.1.0) โดยข้อมูลทั่วไปและลักษณะทางคลินิกของผู้เข้าร่วมวิจัย จะวิเคราะห์ด้วย สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) ประกอบด้วย ค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติอนุมาน (Inferential Statistics) คือ การทดสอบ Wilcoxon signed rank test เพื่อเปรียบเทียบผลการประเมินก่อน และหลังเสร็จสิ้นโปรแกรมออกกำลังกาย 2 สัปดาห์ ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ น้อยกว่า 0.05 ($P < 0.05$)

4. ผลการทดลอง

4.1 ข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมวิจัย

งานวิจัยนี้มีจำนวนผู้เข้าร่วมทั้งหมด 4 คน จากตารางที่ 1 แสดงข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมวิจัย ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 75 และเป็นเพศชายร้อยละ 25 อายุเฉลี่ยเท่ากับ 63.25±7.37 ปี โดยอยู่ในพาร์กินสันระยะที่ 2 ร้อยละ 25 และระยะที่ 2.5 ร้อยละ 75 และมีระยะการเป็นโรคเท่ากับ 5.50±3.87 ปี

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมวิจัย (จำนวน 4 คน)

ข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมวิจัย	จำนวน	ร้อยละ
เพศ ชาย	1	25.00
หญิง	3	75.00
อายุ (ปี): (Mean±SD)	63.25±7.37	
ระยะโรคพาร์กินสัน ระยะที่ 2	1	25.00
ระยะที่ 2.5	3	75.00
ระยะเวลาการเป็นโรค (ปี): (Mean±SD)	5.50±3.87	

4.2 ผลการเปรียบเทียบตัวแปรผลลัพธ์ก่อนและหลังโปรแกรมออกกำลังกาย

ดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3 ภายหลังการเข้าร่วมโปรแกรมออกกำลังกาย ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของพื้นที่ และระยะทางการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางแรงกดขณะยืนต่อเท้า และมุมคอ อย่างไรก็ตามขนาดอิทธิพลของตัวแปรทั้งหมดอยู่ในระดับมาก โดยมีค่า effect size เท่ากับ 0.73 และ 0.91

ตารางที่ 2 ผลของเสถียรภาพการทรงตัว และมุมคอก่อนและหลังโปรแกรมออกกำลังกายของผู้เข้าร่วมแต่ละราย

	ยืนต่อเท้า: ข้างที่มีอาการมากกว่าอยู่ด้านหลัง				ยืนต่อเท้า: ข้างที่มีอาการน้อยกว่าอยู่ด้านหลัง				มุมคอ	
	พื้นที่		ระยะ		พื้นที่		ระยะ			
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
รายที่1	428.00	267.30	1395.20	1306.80	546.30	122.00	845.30	598.40	54.30	71.40
รายที่2	217.90	177.10	605.30	622.50	1647.50	168.20	1115.90	818.10	55.70	64.90
รายที่3	275.90	187.80	601.90	491.00	554.30	213.90	927.60	830.10	57.10	71.20
รายที่4	160.00	171.70	568.70	528.07	233.70	177.10	517.00	449.80	58.40	80.30

พื้นที่ (ตารางมิลลิเมตร); ระยะการเคลื่อนที่ (มิลลิเมตร); มุมคอ (องศา)

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบเสถียรภาพการทรงตัว และมุมคอ ระหว่างก่อนและหลังโปรแกรมออกกำลังกาย

ผลลัพธ์การประเมิน	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	p-value	Effect size
ยืนต่อเท้า: ข้างที่มีอาการมากกว่าอยู่ด้านหลัง				
พื้นที่การเคลื่อนที่ (ตารางมิลลิเมตร)	246.90 (174.48, 389.98)	182.45 (173.05, 247.43)	0.144	0.73
ระยะการเคลื่อนที่ (มิลลิเมตร)	603.60 (577.00, 1197.73)	575.28 (500.27, 1135.73)	0.144	0.73
ยืนต่อเท้า: ข้างที่มีอาการน้อยกว่าอยู่ด้านหลัง				
พื้นที่การเคลื่อนที่ (ตารางมิลลิเมตร)	550.30 (311.85, 1374.20)	172.65 (133.55, 204.70)	0.068	0.91
ระยะการเคลื่อนที่ (มิลลิเมตร)	886.45 (599.08, 1068.83)	708.25 (486.95, 827.10)	0.068	0.91
มุมคอ (องศา)	56.40 (54.65, 58.08)	71.30 (66.48, 78.08)	0.068	0.91

ผลการประเมินวิเคราะห์ด้วย Wilcoxon signed rank test แสดงผลเป็น median (Q25, Q75)

5. อภิปรายผลการศึกษา

การศึกษานี้พบว่าโปรแกรมออกกำลังกายแบบประสาทและกล้ามเนื้อเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์มีแนวโน้มช่วยส่งเสริมเสถียรภาพการทรงท่า และมุมคอในผู้ป่วยพาร์กิน โดยพิจารณาจากขนาดอิทธิพลของผลลัพธ์ที่อยู่ในระดับมาก แม้ว่าจะไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เสถียรภาพการทรงท่าที่มีแนวโน้มดีขึ้นมีความสอดคล้องกับผลของการศึกษาก่อนหน้า [32] ที่พบว่าโปรแกรมการฝึกระบบประสาทและกล้ามเนื้อส่งผลต่อความเร็วการแกว่งตัวทั้งในแนวหน้าหลัง และแนวด้านข้างดีขึ้นในผู้สูงอายุ ทั้งนี้การศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าความสามารถในการบูรณาการข้อมูลทางประสาทรับความรู้สึก (Sensory integration) จะลดลงเมื่ออายุเพิ่มมากขึ้น [33] จึงทำให้การแกว่งของร่างกายขณะทรงตัวเพิ่มขึ้น ซึ่งความบกพร่องของการบูรณาการข้อมูลทางประสาทรับความรู้สึกดังกล่าวสามารถพบในผู้ป่วยพาร์กินสัน และมีความสัมพันธ์ต่อเสถียรภาพการทรงท่า โดยการฝึกระบบประสาทและกล้ามเนื้อช่วยกระตุ้นตัวรับที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวและการทรงตัว (Mechanoreceptors) [34] ส่งผลให้สามารถควบคุมการเคลื่อนไหวและการทรงตัวอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความความสามารถในการรับรู้ตำแหน่งของข้อต่อ [35, 36] ผ่านการเพิ่มแรงกดภายในข้อต่อ เนื่องจากหลักการออกกำลังกายที่ต้องมีการลงน้ำหนัก ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับการออกกำลังกายแบบโซ่การเคลื่อนไหวปิด (Closed kinetic chain exercise) การเน้นการจัดตำแหน่งข้อต่อของการออกกำลังกายแบบประสาทและกล้ามเนื้อช่วยส่งเสริมการทำงานของกล้ามเนื้อทั้งการหดตัวภายในมัดกล้ามเนื้อ และระหว่างมัดกล้ามเนื้อรอบข้อต่อให้ทำงานอย่างเหมาะสม และประสานสัมพันธ์กันมากขึ้น ส่งผลให้สามารถควบคุมการเคลื่อนไหวได้ดีขึ้น [32, 36] นอกจากนี้อาจไปช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ [20, 35, 37] ผ่านการเปลี่ยนแปลงทางระบบประสาทและกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะความแข็งแรงของกล้ามเนื้อลำตัว และรยางค์ส่วนล่างที่มีบทบาทสำคัญในการช่วยพยุงร่างกายให้ต้านแรงโน้มถ่วงของโลกได้ ซึ่งมีความสอดคล้องกับการออกกำลังกายกล้ามเนื้อลำตัว จากการศึกษาของ Akhila และคณะ [31] ที่ใช้การฝึกกล้ามเนื้อลำตัวในผู้ป่วยพาร์กินสัน พบว่าช่วยให้ความสามารถในการทรงตัวดีขึ้น อีกทั้งการฝึกกล้ามเนื้อแกนกลางยังส่งผลต่อรูปแบบการทำงานของกล้ามเนื้อ โดยกล้ามเนื้อแกนกลางจะเริ่มทำงานก่อนการเคลื่อนไหวรยางค์ ซึ่งช่วยเพิ่มความมั่นคงของกระดูกสันหลังส่งผลต่อการควบคุมการเคลื่อนไหวให้ดีขึ้น [37]

นอกจากนี้การออกกำลังกายแบบประสาทและกล้ามเนื้อมีแนวโน้มให้มุมคอยืดเหยียดได้ตรงขึ้น ซึ่งอาจมีความสัมพันธ์กับหลักการออกกำลังกายที่เน้นการจัดแนวข้อต่อให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม โดยจะไปกระตุ้นการรับรู้ตำแหน่งของข้อต่อ และการบูรณาการข้อมูลจากประสาทรับความรู้สึกที่เป็นหนึ่งในปัจจัยที่ก่อให้เกิดความผิดปกติของท่าทางขณะอยู่นิ่งในผู้ป่วยพาร์กินสัน [38] ซึ่งมีความสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้าที่ได้ศึกษาการฟื้นฟูท่าทาง (Postural reeducation) ร่วมกับการกระตุ้นการรับความรู้สึกตำแหน่งของร่างกาย (Proprioceptive stimulation) สามารถช่วยปรับปรุงความผิดปกติของท่าทางลำตัวในผู้ป่วยพาร์กินสันได้ [39] ระหว่างการทำโปรแกรมออกกำลังกายมีการให้ข้อมูลย้อนกลับจากนักกายภาพบำบัดผ่านการสัมผัส หรือจากคำพูดซึ่งส่งเสริมกระบวนการเรียนรู้การเคลื่อนไหว (Motor learning) ผ่านการให้ข้อมูลย้อนกลับก่อให้เกิดการปรับปรุงท่าทางใหม่ที่ถูกต้อง [40] อีกทั้งส่งผลต่อการทำงานของกล้ามเนื้อที่ดีขึ้น โดยเฉพาะการทำงานของกล้ามเนื้อมัดลึกซึ่งมีบทบาทในการควบคุมการเคลื่อนไหวให้มีประสิทธิภาพ [41]

ดังนั้นผลการศึกษานำร่องนี้แสดงให้เห็นว่าโปรแกรมออกกำลังกายแบบประสาทและกล้ามเนื้ออาจเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ป่วยพาร์กินสันระยะเล็กน้อยถึงปานกลางในการออกกำลังกายที่บ้าน โดยมีแนวโน้มส่งเสริมเสถียรภาพการทรงท่าและปรับมุมคอให้ยืดเหยียด อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาในกลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ระยะเวลาการติดตามที่ยาวนานขึ้นและเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม เพื่อยืนยันประสิทธิผลของโปรแกรม และสนับสนุนการนำไปประยุกต์ใช้ในทางคลินิกต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากหลายท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ป่วยพาร์กินสันที่เข้าร่วมงานวิจัยทุกท่าน ขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุวีณา ค้าเจริญ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จตุพร สุทธิวงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และการสนับสนุนในการดำเนินงานวิจัยมาโดยตลอด ขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.กภ.ธีรยา อุปชิต ที่ช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลงานวิจัย อีกทั้งขอขอบพระคุณครอบครัว เพื่อน และผู้ที่อยู่เบื้องหลังทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจ สนับสนุน และเป็นแรงผลักดันสำคัญในการทำวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Ou, Z., et al. (2021). Global Trends in the Incidence, Prevalence, and Years Lived With Disability of Parkinson's Disease in 204 Countries/Territories From 1990 to 2019. Front Public Health, 9(776847). doi: 10.3389/fpubh.2021.776847

[2] Raza, C., R. Anjum, and N.U.A. Shakeel. (2019). Parkinson's disease: Mechanisms, translational models and management strategies. Life Sci, 226(77-90). doi: 10.1016/j.lfs.2019.03.057

[3] Tantikraisorn, T., V. Anuphanpisit, and S. Pakdeeronachit. (2003). Parkinson’s disease: model and treatments. Medical Journal of Srinakharinwirot, 10(2), 73-84.

[4] Sousa-Fraguas, M.C., G. Rodríguez-Fuentes, and N.M. Conejo. (2022). Frailty and cognitive impairment in Parkinson's disease: a systematic review. Neurol Sci, 43(12), 6693-6706. doi: 10.1007/s10072-022-06347-7

[5] Kang, Z., et al. (2022). Effectiveness of therapeutic massage for improving motor symptoms in Parkinson's disease: A systematic review and meta-analysis. Front Neurol, 13(915232). doi: 10.3389/fneur.2022.915232

[6] Warmerdam, E., et al. (2022). Postural Sway in Parkinson's Disease and Multiple Sclerosis Patients During Tasks With Different Complexity. Front Neurol, 13(857406. doi: 10.3389/fneur.2022.857406

[7] Bath, J.E. and D.D. Wang. (2024). Unraveling the threads of stability: A review of the neurophysiology of postural control in Parkinson's disease. Neurotherapeutics, 21(3), e00354. doi: 10.1016/j.neurot.2024.e00354

[8] Klamroth, S., et al. (2016). Effects of Exercise Therapy on Postural Instability in Parkinson Disease: A Meta-analysis. J Neurol Phys Ther, 40(1), 3-14. doi: 10.1097/npt.0000000000000117

[9] Sadeghi, M., et al. (2024). The Effect of Sensory Reweighting on Postural Control and Cortical Activity in Parkinson's Disease: A Pilot Study. Archives of Rehabilitation Research and Clinical Translation, 6(4), 100368. doi: https://doi.org/10.1016/j.arrct.2024.100368

[10] Qian, Y., et al. (2023). Comparative efficacy of 24 exercise types on postural instability in adults with Parkinson's disease: a systematic review and network meta-analysis. BMC Geriatr, 23(1), 522. doi: 10.1186/s12877-023-04239-9

[11] Tagliabue, M., G. Ferrigno, and F. Horak. (2009). Effects of Parkinson's disease on proprioceptive control of posture and reaching while standing. Neuroscience, 158(4), 1206-14. doi: 10.1016/j.neuroscience.2008.12.007

[12] Kim, S.D., et al. (2013). Postural instability in patients with Parkinson's disease. Epidemiology, pathophysiology and management. CNS Drugs, 27(2), 97-112. doi: 10.1007/s40263-012-0012-3

[13] Schlenstedt, C., et al. (2020). Quantitative assessment of posture in healthy controls and patients with Parkinson's disease. Parkinsonism Relat Disord, 76(85-90. doi: 10.1016/j.parkreldis.2020.01.012

[14] Dirkx, M.F., et al. (2018). The nature of postural tremor in Parkinson disease. Neurology, 90(13), e1095-e1103. doi: 10.1212/wnl.0000000000005215

[15] Ingram, L.A., et al. (2021). Quantifying upper limb motor impairment in people with Parkinson's disease: a physiological profiling approach. PeerJ, 9(e10735). doi: 10.7717/peerj.10735

[16] Morrison, S., et al. (2023). The effect of standing posture on amplitude and variability of postural tremor in Parkinson's disease. Neurosci Lett, 805(137220). doi: 10.1016/j.neulet.2023.137220

[17] Heusinkveld, L.E., et al. (2018). Impact of tremor on patients with early stage parkinson's disease. Front Neurol, 9(628). doi: 10.3389/fneur.2018.00628

[18] Volkmann, J. (2004). Deep brain stimulation for the treatment of Parkinson's disease. J Clin Neurophysiol, 21(1), 6-17. doi: 10.1097/00004691-200401000-00003

[19] Mollinedo-Cardalda, I., J.M. Cancela-Carral, and M.H. Vila-Suárez. (2018). Effect of a mat pilates program with theraband on dynamic balance in patients with Parkinson's disease: feasibility study and randomized controlled trial. Rejuvenation Res, 21(5), 423-430. doi: 10.1089/rej.2017.2007

[20] Bennell, K.L., et al. (2011). Comparison of neuromuscular and quadriceps strengthening exercise in the treatment of varus malaligned knees with medial knee osteoarthritis: a randomised controlled trial protocol. BMC Musculoskelet Disord, 12(276). doi: 10.1186/1471-2474-12-276

[21] Ageberg, E. and E.M. Roos. (2015). Neuromuscular exercise as treatment of degenerative knee disease. Exerc Sport Sci Rev, 43(1), 14-22. doi: 10.1249/jes.0000000000000030

[22] Rahmati, Z., et al. (2020). Postural control learning dynamics in Parkinson's disease: early improvement with plateau in stability, and continuous progression in flexibility and mobility. Biomed Eng Online, 19(1), 29. doi: 10.1186/s12938-020-00776-1

[23] Bhidayasiri, R., et al. (2024). The rise of Parkinson's disease is a global challenge, but efforts to tackle this must begin at a national level: a protocol for national digital screening and "eat, move, sleep" lifestyle interventions to prevent or slow the rise of non-communicable diseases in Thailand. Front Neurol, 15(1386608). doi: 10.3389/fneur.2024.1386608

[24] Willis, A.W., et al. (2022). Incidence of Parkinson disease in North America. npj Parkinson's Disease, 8(1), 170. doi: 10.1038/s41531-022-00410-y

[25] McGregor, M.M. and A.B. Nelson. (2019). Circuit Mechanisms of Parkinson’s Disease. Neuron, 101(6), 1042-1056. doi: https://doi.org/10.1016/j.neuron.2019.03.004

[26] Wright, W.G., et al. (2007). Axial hypertonicity in Parkinson's disease: direct measurements of trunk and hip torque. Exp Neurol, 208(1), 38-46. doi: 10.1016/j.expneurol.2007.07.002

[27] Okada Y, et al. (2014). Rehabilitation for postural deformities in Parkinson’s disease: An update and novel findings. Journal of Novel Physiotherapies, 4(5), doi: 10.4172/2165-7025.1000233

[28] Yoshii, F., et al. (2016). Postural deformities in Parkinson’s disease –Mutual relationships among neck flexion, fore-bent, knee-bent and lateral-bent angles and correlations with clinical predictors. Journal of Clinical Movement Disorders, 3

[29] Osborne, J.A., et al. (2022). Physical therapist management of Parkinson disease: a clinical practice guideline from the american physical therapy association. Phys Ther, 102(4), doi: 10.1093/ptj/pzab302

[30] Rodríguez-Grande, E.I., et al. (2022). Neuromuscular exercise in children with Down Syndrome: a systematic review. Sci Rep, 12(1), 14988. doi: 10.1038/s41598-022-19086-8

[31] Akhila, R., et al. (2022). Task-related trunk training on balance, trunk control, pulmonary function and quality of life in patients with Parkinson's disease. A randomised controlled trial. International Journal of Therapy and Rehabilitation, 29(3), 1-12. doi: https://doi.org/10.12968/ijtr.2020.0146

[32] Concha-Cisternas, Y., et al. (2024). Effects of Neuromuscular Training on Postural Balance and Physical Performance in Older Women: Randomized Controlled Trial. J Funct Morphol Kinesiol, 9(4), doi: 10.3390/jfmk9040195

[33] Low, D.C., G.S. Walsh, and M. Arkesteijn. (2017). Effectiveness of Exercise Interventions to Improve Postural Control in Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analyses of Centre of Pressure Measurements. Sports Med, 47(1), 101-112. doi: 10.1007/s40279-016-0559-0

[34] Espejo-Antúnez, L., et al. (2020). The Effect of Proprioceptive Exercises on Balance and Physical Function in Institutionalized Older Adults: A Randomized Controlled Trial. Arch Phys Med Rehabil, 101(10), 1780-1788. doi: 10.1016/j.apmr.2020.06.010

[35] Lee, N.K., et al. (2013). The effects of closed and open kinetic chain exercises on lower limb muscle activity and balance in stroke survivors. NeuroRehabilitation, 33(1), 177-83. doi: 10.3233/nre-130943

[36] Mirzaee, F., R. Sheikhhoseini, and H. Piri. (2020). The acute effects of one session reactive neuromuscular training on balance and knee joint position sense in female athletes with dynamic knee valgus. Acta Gymnica, 50(3), 122-129. doi: 10.5507/ag.2020.011

[37] Aly, S.M. and A.A.e. Abonour. (2016). Effect of core stability exercise on postural stability in children with Downsyndrome. International Journal of Medical Research and Health Sciences, 5(213-222).

[38] Vaugoyeau, M., H. Hakam, and J.P. Azulay. (2011). Proprioceptive impairment and postural orientation control in Parkinson's disease. Hum Mov Sci, 30(2), 405-14. doi: 10.1016/j.humov.2010.10.006

[39] Capecci, M., et al. (2014). Postural rehabilitation and Kinesio taping for axial postural disorders in Parkinson's disease. Arch Phys Med Rehabil, 95(6), 1067-75. doi: 10.1016/j.apmr.2014.01.020

[40] Argyrou, S., et al. (2025). The Effectiveness of an Exercise Program Based on Motor Learning Principles for the Correction of the Forward Head Posture: A Randomized Controlled Trial. Brain Sci, 15(8), doi: 10.3390/brainsci15080873

[41] Abadiyan, F., et al. (2021). Adding a smartphone app to global postural re-education to improve neck pain, posture, quality of life, and endurance in people with nonspecific neck pain: a randomized controlled trial. Trials, 22(1), 274. doi: 10.1186/s13063-021-05214-8

ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความเครียด ภาวะซึมเศร้า และคุณภาพชีวิตของผู้ดูแลผู้ป่วยติดบ้านและผู้ป่วยติดเตียง ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

Factors Associated with Stress, Depression, and Quality of Life among Caregivers of Homebound and Bedridden Patients: A Cross-Sectional Study in Bandu Subdistrict, Mueang District, Chiang Rai Province

ริญดา พิจารย์[1] ฐิตาภรณ์ เสาร์เทพ[1] ณัฐนิชา เชิงดอย[1] อนุสรา บุญจิตร[1] พัชรินทร์ วินยางค์กูล[1]
และ วิมลมณี เมฆขำ[1*]

[1]สาขาวิชาสาธารณสุขชุมชน คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
*E-mail: wimonmanee.mek@crru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงปริมาณแบบภาคตัดขวาง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับความเครียด ภาวะซึมเศร้า และคุณภาพชีวิตของผู้ดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียง ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคล ปัจจัยทางสุขภาพ และปัจจัยด้านการดูแลกับตัวแปรดังกล่าว กลุ่มตัวอย่างคือผู้ดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียง จำนวน 96 คน คำนวณจากประชากร 110 คนด้วยสูตรของ Taro Yamane และสุ่มตัวอย่างอย่างง่าย เก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคล แบบประเมินความเครียด SPST-20 แบบประเมินภาวะซึมเศร้า PHQ-9 และแบบประเมินคุณภาพชีวิต WHOQOL-BREF วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนาและการทดสอบไคสแควร์ ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 64.60 อายุ 65 ปีขึ้นไป ร้อยละ 35.40 เป็นบุตรของผู้ป่วย ร้อยละ 41.70 ว่างงาน ร้อยละ 40.60 รายได้ต่อเดือนไม่เกิน 5,000 บาท ร้อยละ 64.60 และรายได้ไม่เพียงพอ ร้อยละ 76.00 ผู้ดูแลส่วนใหญ่มีความเครียดระดับปานกลาง ร้อยละ 45.80 ไม่มีภาวะซึมเศร้า ร้อยละ 59.40 และมีคุณภาพชีวิตโดยรวมระดับปานกลาง ร้อยละ 69.80 ปัจจัยรายได้เพียงพอมีความสัมพันธ์กับความเครียดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และปัจจัยด้านการศึกษา รายได้ โรคประจำตัว และระยะเวลาการดูแลมีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิตบางด้านอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ข้อเสนอแนะคือหน่วยงานสาธารณสุขควรคัดกรองความเครียดและภาวะซึมเศร้าของผู้ดูแลอย่างสม่ำเสมอ และพัฒนาระบบสนับสนุนด้านสุขภาพกาย จิตใจ และสวัสดิการทางสังคม

คำสำคัญ: ความเครียด ภาวะซึมเศร้า คุณภาพชีวิต ผู้ดูแล ผู้ป่วยติดบ้านติดเตียง

Abstract

This cross-sectional quantitative study aimed to examine the levels of stress, depression, and quality of life among caregivers of homebound and bedridden patients in Bandu Subdistrict, Mueang District, Chiang Rai Province, and to analyze associations between personal, health, and caregiving factors and these outcomes. The sample consisted of 96 caregivers calculated from a population of 110 using Taro Yamane's formula and selected by simple random sampling. Data were collected using a personal information questionnaire, the Suanprung Stress Test-20 (SPST-20), the Patient Health Questionnaire-9 (PHQ-9), and the WHOQOL-BREF. Descriptive statistics and the Chi-square test were used for data analysis. The findings showed that most participants were female (64.60%), aged 65 years or older (35.40%), were the patient's children (41.70%), were unemployed (40.60%), had a monthly income of 5,000 baht or less (64.60%), and reported insufficient income (76.00%). Most caregivers had moderate stress (45.80%), no depression

(59.40%), and a moderate overall quality of life (69.80%). Income sufficiency was significantly associated with stress. Education, monthly income, income sufficiency, underlying disease, and daily caregiving duration were significantly associated with selected domains of quality of life. Public health agencies should routinely screen caregivers for stress and depression and develop integrated support systems to improve physical health, mental health, and social welfare among caregivers.

Keywords: stress, depression, quality of life, caregivers, homebound and bedridden patients

1. บทนำ

ประเทศไทยกำลังก้าวเข้าสู่สังคมสูงวัยอย่างสมบูรณ์ ส่งผลให้จำนวนผู้สูงอายุและผู้ที่มีภาวะพึ่งพิงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะผู้ป่วยติดบ้านและผู้ป่วยติดเตียง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผู้ป่วยโรคเรื้อรัง ผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง ผู้พิการ หรือผู้ที่ไม่สามารถช่วยเหลือตนเองในการดำเนินกิจวัตรประจำวันได้ จึงจำเป็นต้องได้รับการดูแลอย่างต่อเนื่องจากครอบครัวหรือผู้ดูแลหลัก สถานการณ์ดังกล่าวส่งผลให้ภาระการดูแลระยะยาวเพิ่มขึ้น และก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบสุขภาพ เศรษฐกิจ และสังคม [1] ผู้ดูแลมีบทบาทสำคัญในการดูแลด้านกิจวัตรประจำวัน การรับประทานยา การเฝ้าระวังอาการ และการประสานงานกับบุคลากรทางการแพทย์ การดูแลอย่างต่อเนื่องอาจก่อให้เกิดความเหนื่อยล้าทั้งด้านร่างกายและจิตใจ ส่งผลให้ผู้ดูแลมีความเครียด ภาวะซึมเศร้า และคุณภาพชีวิตลดลง โดยเฉพาะผู้ที่ต้องรับภาระการดูแลเป็นเวลานานหรือมีข้อจำกัดด้านเศรษฐกิจและสุขภาพ ข้อมูลระบบการดูแลผู้ป่วยระยะยาวในชุมชนและระบบสามหมอ ปี พ.ศ. 2568 พบว่า ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย มีผู้ป่วยติดบ้าน 256 ราย และผู้ป่วยติดเตียง 33 ราย สะท้อนถึงภาระการดูแลระยะยาวของครอบครัวในพื้นที่ ซึ่งจำเป็นต้องได้รับการสนับสนุนจากระบบบริการสุขภาพและเครือข่ายชุมชนอย่างเหมาะสม [2] แม้ว่าจะมีการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความเครียด ภาวะซึมเศร้า และคุณภาพชีวิตของผู้ดูแลในหลายพื้นที่ของประเทศไทย แต่การศึกษาส่วนใหญ่มักดำเนินการในโรงพยาบาล ศูนย์ดูแลผู้สูงอายุ หรือพื้นที่เมืองขนาดใหญ่ ซึ่งมีบริบททางสังคม เศรษฐกิจ และระบบบริการสุขภาพแตกต่างจากตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย นอกจากนี้ งานวิจัยจำนวนมากมุ่งศึกษาปัญหาเพียงด้านใดด้านหนึ่ง เช่น ความเครียด หรือภาวะซึมเศร้า โดยยังมีการศึกษาที่ประเมินความเครียด ภาวะซึมเศร้า และคุณภาพชีวิตร่วมกัน พร้อมทั้งวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับปัจจัยส่วนบุคคล ปัจจัยด้านสุขภาพ และปัจจัยด้านการดูแลในระดับชุมชนค่อนข้างจำกัด อีกทั้งยังไม่พบการศึกษาที่ดำเนินการในผู้ดูแลผู้ป่วยติดบ้านและผู้ป่วยติดเตียงของตำบลบ้านดู่โดยตรง ทำให้หน่วยงานสาธารณสุขในพื้นที่ยังขาดข้อมูลเชิงประจักษ์สำหรับใช้วางแผนการส่งเสริมสุขภาพจิต การพัฒนาระบบสนับสนุนผู้ดูแล และการจัดบริการดูแลระยะยาวที่เหมาะสมกับบริบทของชุมชน ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับความเครียด ภาวะซึมเศร้า และคุณภาพชีวิตของผู้ดูแลผู้ป่วยติดบ้านและผู้ป่วยติดเตียงในตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย รวมทั้งวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคล ปัจจัยด้านสุขภาพ และปัจจัยด้านการดูแลกับความเครียด ภาวะซึมเศร้า และคุณภาพชีวิตของผู้ดูแล เพื่อนำผลการศึกษาไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนพัฒนาระบบบริการสุขภาพ การจัดกิจกรรมส่งเสริมสุขภาพจิต และการสนับสนุนผู้ดูแลในระดับครอบครัว ชุมชน และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น อันจะนำไปสู่การยกระดับคุณภาพการดูแลผู้ป่วยระยะยาวและคุณภาพชีวิตของผู้ดูแลในอนาคต

2. วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1) เพื่อศึกษาระดับความเครียด ภาวะซึมเศร้า และคุณภาพชีวิตของผู้ดูแลผู้ป่วยติดบ้านและผู้ป่วยติดเตียง ในตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

2) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคล ได้แก่ เพศ อายุ ศาสนา ความสัมพันธ์กับผู้ป่วย ระดับการศึกษา อาชีพ รายได้ และความเพียงพอของรายได้ กับระดับความเครียด ภาวะซึมเศร้า และคุณภาพชีวิตของผู้ดูแลผู้ป่วยติดบ้านและผู้ป่วยติดเตียง

3. สมมติฐานในการวิจัย

1) ผู้ดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียงในตำบลบ้านดู่มีระดับความเครียด ภาวะซึมเศร้า และคุณภาพชีวิตอยู่ในระดับปานกลาง

2) ปัจจัยส่วนบุคคล ปัจจัยด้านสุขภาพ และปัจจัยด้านการดูแลผู้ป่วยมีความสัมพันธ์กับระดับความเครียด ภาวะซึมเศร้า และคุณภาพชีวิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

4. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความเครียดเป็นการตอบสนองของบุคคลต่อสิ่งเร้าหรือสถานการณ์ที่รับรู้ว่าเกินความสามารถในการจัดการ ส่งผลต่ออารมณ์ ความคิด พฤติกรรม และการเปลี่ยนแปลงทางกาย ผู้ดูแลผู้ป่วยที่มีภาวะพึ่งพิงมักเผชิญกับภาระงานซ้ำต่อเนื่อง ความรับผิดชอบสูง และความไม่แน่นอนของอาการผู้ป่วย จึงอาจเกิดความเครียดสะสมได้ แบบประเมิน SPST-20 เป็นเครื่องมือมาตรฐานที่ใช้ประเมินระดับความเครียดในบริบทไทย [3,4]

ภาวะซึมเศร้าเป็นภาวะทางอารมณ์ที่มีความเศร้า หมดความสนใจ เหนื่อยล้า หรือรู้สึกไร้คุณค่า และอาจกระทบต่อการใช้ชีวิตประจำวัน ในงานบริการปฐมภูมิ แบบประเมิน PHQ-9 ถูกใช้เพื่อคัดกรองความรุนแรงของอาการซึมเศร้าอย่างกว้างขวาง [5] ส่วนคุณภาพชีวิตสะท้อนการรับรู้ความเป็นอยู่ของบุคคลในมิติร่างกาย จิตใจ ความสัมพันธ์ทางสังคม และสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถประเมินด้วย WHOQOL-BREF ฉบับภาษาไทย [6]

ผู้ดูแลผู้ป่วยติดบ้านและติดเตียงคือบุคคลที่ช่วยเหลือผู้ป่วยในการดำเนินชีวิตประจำวัน เช่น การกินอาหาร การทำความสะอาดร่างกาย การเคลื่อนย้าย การสังเกตอาการผิดปกติ และการประสานบริการสุขภาพ [7] งานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าผู้ดูแลมีความต้องการทั้งความรู้ ทักษะ การพักทดแทน การสนับสนุนทางจิตใจ และความช่วยเหลือด้านเศรษฐกิจ [8,9]

5. วิธีดำเนินการวิจัย

5.1 รูปแบบการวิจัยและประชากร

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) โดยใช้รูปแบบการศึกษาแบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional Study) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับความเครียด ภาวะซึมเศร้า และคุณภาพชีวิตของผู้ดูแลผู้ป่วยติดบ้านและผู้ป่วยติดเตียง รวมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคล ปัจจัยด้านสุขภาพ และปัจจัยด้านการดูแลกับความเครียด ภาวะซึมเศร้า และคุณภาพชีวิตของผู้ดูแล ในตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

5.2 เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ผู้ดูแลหลักของผู้ป่วยติดบ้านและผู้ป่วยติดเตียงที่มีภูมิลำเนาอยู่ในตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย จำนวนทั้งสิ้น 110 คน กลุ่มตัวอย่างคำนวณโดยใช้สูตรของ Taro Yamane (1973) ที่ระดับความคลาดเคลื่อน 0.05 ได้จำนวนกลุ่มตัวอย่าง 87 คน เพื่อป้องกันการสูญหายของข้อมูล ผู้วิจัยจึงเพิ่มจำนวนตัวอย่างร้อยละ 10 ส่งผลให้มีกลุ่มตัวอย่างรวมทั้งสิ้น 96 คน การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างใช้วิธีการสุ่มอย่างง่าย (Simple Random Sampling) โดยการจับสลากแบบไม่ใส่คืน เพื่อให้ประชากรทุกคนมีโอกาสได้รับการคัดเลือกอย่างเท่าเทียมกัน

เกณฑ์คัดเข้า (Inclusion Criteria)

1. เป็นผู้ดูแลหลักของผู้ป่วยติดบ้านหรือผู้ป่วยติดเตียงที่อาศัยอยู่ในตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย
2. มีอายุ 18 ปีบริบูรณ์ขึ้นไป
3. สามารถสื่อสารภาษาไทยได้
4. ยินยอมเข้าร่วมการวิจัยโดยสมัครใจ

เกณฑ์คัดออก (Exclusion Criteria)

1. ผู้ที่ปฏิเสธการเข้าร่วมการวิจัย
2. ผู้ที่มีปัญหาด้านการสื่อสารหรือมีความบกพร่องทางสติปัญญาซึ่งไม่สามารถตอบแบบสอบถามได้
3. ผู้ที่ตอบแบบสอบถามไม่ครบถ้วนสมบูรณ์

5.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นแบบสอบถาม ประกอบด้วย 4 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคล ปัจจัยทางสุขภาพ และปัจจัยด้านการดูแลผู้ป่วย ประกอบด้วยข้อมูลเกี่ยวกับเพศ อายุ ศาสนา ความสัมพันธ์กับผู้ป่วย อาชีพ ระดับการศึกษา รายได้ส่วนบุคคลต่อเดือน ความเพียงพอของรายได้

โรคประจำตัว ระยะเวลาในการดูแลผู้ป่วยต่อวัน ระยะเวลาการดูแลผู้ป่วยอย่างต่อเนื่อง ประเภทของผู้ป่วยที่ดูแล และโรคที่ผู้ป่วยได้รับการวินิจฉัย ข้อมูลส่วนนี้ใช้เพื่ออธิบายลักษณะพื้นฐานของผู้ดูแล และใช้เป็นตัวแปรอิสระในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับความเครียด ภาวะซึมเศร้า และคุณภาพชีวิต

ส่วนที่ 2 แบบประเมินความเครียด SPST-20 จำนวน 20 ข้อ เป็นเครื่องมือมาตรฐานที่ใช้ประเมินระดับความเครียดของบุคคล โดยครอบคลุมอาการหรือการตอบสนองต่อความเครียดในด้านความคิด อารมณ์ พฤติกรรม และร่างกาย ลักษณะคำตอบเป็นมาตรประมาณค่าตามระดับความถี่หรือความรุนแรงของอาการที่เกิดขึ้น คะแนนรวมใช้ในการจัดระดับความเครียดได้แก่ ไม่เครียด/เครียดเล็กน้อย เครียดปานกลาง เครียดมาก และเครียดรุนแรง ตามเกณฑ์การแปลผลของแบบประเมิน [3]

ส่วนที่ 3 แบบประเมินภาวะซึมเศร้า PHQ-9 จำนวน 9 ข้อ ใช้ประเมินอาการซึมเศร้าในช่วง 2 สัปดาห์ที่ผ่านมา โดยแต่ละข้อมีตัวเลือกคำตอบตามความถี่ของอาการ ตั้งแต่ไม่มีเลยจนถึงเป็นประจำเกือบทุกวัน คะแนนรวมอยู่ระหว่าง 0–27 คะแนน และแปลผลเป็นระดับของภาวะซึมเศร้า ได้แก่ ไม่มีภาวะซึมเศร้าหรือซึมเศร้าเล็กน้อย ภาวะซึมเศร้าเล็กน้อย ภาวะซึมเศร้าปานกลาง ภาวะซึมเศร้าค่อนข้างรุนแรง และภาวะซึมเศร้ารุนแรง [5]

ส่วนที่ 4 แบบประเมินคุณภาพชีวิต WHOQOL-BREF ฉบับภาษาไทย จำนวน 26 ข้อ ใช้ประเมินคุณภาพชีวิตของผู้ดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียง ครอบคลุม 4 ด้าน ได้แก่ ด้านร่างกาย ด้านจิตใจ ด้านความสัมพันธ์ทางสังคม และด้านสิ่งแวดล้อม ลักษณะคำตอบเป็นมาตรประมาณค่า 5 ระดับ โดยแบบประเมินประกอบด้วยข้อคำถามเชิงบวกและข้อคำถามเชิงลบ คะแนนรวมใช้แปลผลคุณภาพชีวิตเป็นระดับไม่ดี ระดับปานกลาง และระดับดี ทั้งในภาพรวมและรายด้าน [6]

5.4 การตรวจคุณภาพเครื่องมือ การเก็บข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล

แบบสอบถามได้รับการตรวจสอบความตรงตามเนื้อหาโดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน เพื่อพิจารณาความสอดคล้องของข้อคำถามกับวัตถุประสงค์การวิจัย ความเหมาะสมของภาษา ความชัดเจนของข้อคำถาม และความครอบคลุมของเนื้อหาที่ต้องการศึกษา หลังจากปรับปรุงเครื่องมือแล้ว ผู้วิจัยนำแบบสอบถามไปทดลองใช้กับกลุ่มที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มประชากรเป้าหมาย ในพื้นที่บ้านนางแลใน ตำบลนางแล อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย เพื่อประเมินความเข้าใจของผู้ตอบความเหมาะสมของข้อคำถาม และตรวจสอบความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม โดยกำหนดค่าความเชื่อมั่นขั้นต่ำไว้ที่ 0.70 ซึ่งถือเป็นเกณฑ์ที่ยอมรับได้สำหรับการนำเครื่องมือไปใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลจริง การเก็บรวบรวมข้อมูลดำเนินการระหว่างเดือนกันยายน 2568 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2569 โดยผู้วิจัยประสานงานกับหน่วยงานท้องถิ่น เจ้าหน้าที่สาธารณสุข และอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน เพื่อขอความร่วมมือในการเข้าถึงกลุ่มตัวอย่าง ก่อนเก็บข้อมูลผู้วิจัยได้ชี้แจงวัตถุประสงค์ของการวิจัย ขั้นตอนการตอบแบบสอบถาม การรักษาความลับของข้อมูล และสิทธิของผู้เข้าร่วมวิจัย จากนั้นจึงขอความยินยอมจากกลุ่มตัวอย่างก่อนดำเนินการเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ จำนวน ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่ออธิบายข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง ระดับความเครียด ภาวะซึมเศร้า และคุณภาพชีวิตของผู้ดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียง ส่วนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคล ปัจจัยทางสุขภาพ และปัจจัยด้านการดูแลผู้ป่วยกับความเครียด ภาวะซึมเศร้า และคุณภาพชีวิต ใช้สถิติไคสแควร์ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

6. ผลการวิจัย

6.1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

จากตารางที่ 1 พบว่า กลุ่มตัวอย่างผู้ดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียง จำนวน 96 คน ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 62 คน คิดเป็น(ร้อยละ 64.60) และมีอายุ 65 ปีขึ้นไป จำนวน 34 คน คิดเป็นร้อยละ 35.40 รองลงมาคือช่วงอายุ 55–64 ปี จำนวน 27 คน คิดเป็นร้อยละ 28.10 แสดงให้เห็นว่าผู้ดูแลส่วนใหญ่เป็นกลุ่มวัยสูงอายุหรือใกล้เข้าสู่วัยสูงอายุ ซึ่งอาจมีข้อจำกัดด้านสุขภาพร่างกายร่วมกับภาระการดูแลผู้ป่วยในครอบครัว เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์กับผู้ป่วย พบว่าผู้ดูแลส่วนใหญ่เป็นบุตรของผู้ป่วย จำนวน 40 คน คิดเป็นร้อยละ 41.70 รองลงมาคือคู่สมรส จำนวน 21 คน คิดเป็นร้อยละ 21.90 สะท้อนให้เห็นว่าการดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียงในพื้นที่ยังคงพึ่งพาครอบครัวเป็นหลัก โดยเฉพาะบุตรและคู่สมรสซึ่งเป็นบุคคลใกล้ชิดและมีบทบาทสำคัญในการดูแลกิจวัตรประจำวันของผู้ป่วย ด้านสถานะทางเศรษฐกิจและสังคม พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ว่างงานหรือไม่ได้ประกอบอาชีพ จำนวน 39 คน คิดเป็นร้อยละ 40.60 สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษา จำนวน 48 คน คิดเป็นร้อยละ 50.00 และมีรายได้ส่วนบุคคลต่อเดือนไม่เกิน 5,000 บาท จำนวน 62 คน คิดเป็นร้อยละ 64.60

นอกจากนี้ยังพบว่าผู้ดูแลส่วนใหญ่มีรายได้ไม่เพียงพอ จำนวน 73 คน คิดเป็นร้อยละ 76.00 ข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าผู้ดูแลจำนวนมากมีข้อจำกัดด้านรายได้และโอกาสในการประกอบอาชีพ ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับภาระการดูแลผู้ป่วยที่ต้องใช้เวลาอย่างต่อเนื่อง ด้านสุขภาพของผู้ดูแล พบว่าผู้ดูแลส่วนใหญ่มีโรคประจำตัว จำนวน 59 คน คิดเป็นร้อยละ 61.50 โดยโรคที่พบมากที่สุดคือโรคไขมันในเลือดสูง จำนวน 23 คน คิดเป็นร้อยละ 24.00 รองลงมาคือโรคความดันโลหิตสูง จำนวน 19 คน คิดเป็นร้อยละ 19.80 แสดงให้เห็นว่าผู้ดูแลจำนวนหนึ่งเป็นกลุ่มที่มีปัญหาสุขภาพของตนเองอยู่แล้ว การรับภาระดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียงเป็นเวลานานจึงอาจส่งผลต่อสุขภาพกายและเพิ่มความเสี่ยงต่อความเครียดหรือคุณภาพชีวิตที่ลดลงได้ ด้านลักษณะการดูแล พบว่าผู้ดูแลส่วนใหญ่ดูแลผู้ป่วยวันละ 20 ชั่วโมงขึ้นไป จำนวน 66 คน คิดเป็นร้อยละ 68.80 และมีระยะเวลาการดูแลต่อเนื่อง 5 ปีขึ้นไป จำนวน 48 คน คิดเป็น(ร้อยละ 50.00 สะท้อนว่าการดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียงเป็นภาระระยะยาวที่ต้องใช้เวลา แรงกาย และความต่อเนื่องสูง สำหรับลักษณะของผู้ป่วยที่ได้รับการดูแล พบว่าส่วนใหญ่เป็นผู้ป่วยติดบ้าน จำนวน 51 คน คิดเป็นร้อยละ 53.10 รองลงมาคือผู้ป่วยติดเตียง จำนวน 45 คน คิดเป็นร้อยละ 46.90 และโรคที่พบมากที่สุดคือโรคหลอดเลือดสมอง รองลงมาคือกลุ่มโรคอื่น ๆ และโรคกระดูกและข้อ ซึ่งโรคดังกล่าวมักทำให้ผู้ป่วยมีข้อจำกัดด้านการเคลื่อนไหวและการช่วยเหลือตนเอง จึงจำเป็นต้องพึ่งพาผู้ดูแลในการทำกิจวัตรประจำวันอย่างต่อเนื่อง

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียง (n = 96)

ลักษณะสำคัญของกลุ่มตัวอย่าง	จำนวน (คน)	ร้อยละ
เพศหญิง	62	64.60
อายุ 65 ปีขึ้นไป	34	35.40
นับถือศาสนาพุทธ	88	91.70
มีความสัมพันธ์เป็นบุตรของผู้ป่วย	40	41.70
ว่างงาน/ไม่ได้ประกอบอาชีพ	39	40.60
การศึกษาระดับประถมศึกษา	48	50.00
รายได้ส่วนบุคคลไม่เกิน 5,000 บาท/เดือน	62	64.60
รายได้ไม่เพียงพอ	73	76.00
มีโรคประจำตัว	59	61.50
ดูแลผู้ป่วย 20 ชั่วโมงขึ้นไป/วัน	66	68.80
ดูแลต่อเนื่อง 5 ปีขึ้นไป	48	50.00
ดูแลผู้ป่วยติดบ้าน	51	53.10
ผู้ป่วยได้รับการวินิจฉัยโรคหลอดเลือดสมอง	31	31.10

6.2 ระดับความเครียด ภาวะซึมเศร้า และคุณภาพชีวิต

จากตารางที่ 2 พบว่า ผลการประเมินระดับความเครียด ภาวะซึมเศร้า และคุณภาพชีวิตของผู้ดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียง พบว่า ผู้ดูแลส่วนใหญ่มีความเครียดอยู่ในระดับปานกลาง จำนวน 44 คน คิดเป็นร้อยละ 45.80 สะท้อนให้เห็นว่าการดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียงเป็นภาระที่ต้องใช้เวลา แรงกาย และความรับผิดชอบอย่างต่อเนื่อง แม้ระดับความเครียดส่วนใหญ่ยังไม่อยู่ในระดับรุนแรง แต่ความเครียดระดับปานกลางอาจเป็นสัญญาณของภาระสะสมจากการดูแลผู้ป่วย โดยเฉพาะในกลุ่มที่ต้องดูแลผู้ป่วยเป็นเวลานานในแต่ละวัน การเฝ้าระวังและส่งเสริมทักษะการจัดการความเครียดจึงมีความสำคัญเพื่อป้องกันไม่ให้ความเครียดพัฒนาไปสู่ระดับที่รุนแรงขึ้น ด้านภาวะซึมเศร้า พบว่าผู้ดูแลส่วนใหญ่ไม่มีภาวะซึมเศร้า จำนวน 57 คน คิดเป็นร้อยละ 59.40 แสดงให้เห็นว่าผู้ดูแลจำนวนมากยังสามารถปรับตัวต่อบทบาทการดูแลได้ในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตาม การที่ผู้ดูแลส่วนใหญ่ไม่มีภาวะซึมเศร้าไม่ได้หมายความว่าไม่มีความเสี่ยง เนื่องจากผู้ดูแลยังคงเผชิญกับภาระการดูแล ความเหนื่อยล้า และข้อจำกัดในการดำเนินชีวิตประจำวัน ดังนั้น หน่วยบริการสุขภาพควรมีการคัดกรองภาวะซึมเศร้าอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในกลุ่มผู้ดูแลที่มีภาระการดูแลสูง รายได้ไม่เพียงพอ หรือมีโรคประจำตัวร่วมด้วย ด้านคุณภาพชีวิตโดยรวม พบว่าผู้ดูแลส่วนใหญ่มีคุณภาพชีวิตอยู่ในระดับปานกลาง จำนวน 67 คน คิดเป็นร้อยละ 69.80 เมื่อพิจารณารายด

ด้าน พบว่าคุณภาพชีวิตด้านร่างกายอยู่ในระดับไม่ดีมากที่สุด จำนวน 55 คน คิดเป็นร้อยละ 57.30 ขณะที่ด้านจิตใจ ด้านสังคม และด้านสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่อยู่ในระดับปานกลาง ผลดังกล่าวสะท้อนว่าผู้ดูแลอาจได้รับผลกระทบด้านร่างกายจากการดูแลผู้ป่วย เช่น การยกพยุง การเคลื่อนย้าย การช่วยเหลือกิจวัตรประจำวัน และการพักผ่อนไม่เพียงพอ ซึ่งอาจส่งผลต่อสุขภาพกายของผู้ดูแลในระยะยาว โดยสรุป ผลการประเมินในหัวข้อนี้ชี้ให้เห็นว่า แม้ผู้ดูแลส่วนใหญ่ไม่มีภาวะซึมเศร้าและมีคุณภาพชีวิตโดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง แต่ยังพบความเครียดระดับปานกลางและคุณภาพชีวิตด้านร่างกายที่อยู่ในระดับไม่ดีในสัดส่วนสูง

ตารางที่ 2 ระดับความเครียด ภาวะซึมเศร้า และคุณภาพชีวิตของผู้ดูแล (n = 96)

ตัวแปรผลลัพธ์	ระดับที่พบมากที่สุด	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ความเครียด (SPST-20)	เครียดปานกลาง	44	45.80
ภาวะซึมเศร้า (PHQ-9)	ไม่มีภาวะซึมเศร้า	57	59.40
คุณภาพชีวิตโดยรวม (WHOQOL-BREF)	ปานกลาง	67	69.80
คุณภาพชีวิตด้านร่างกาย	ไม่ดี	55	57.30
คุณภาพชีวิตด้านจิตใจ	ปานกลาง	63	65.60
คุณภาพชีวิตด้านสังคม	ปานกลาง	56	58.30
คุณภาพชีวิตด้านสิ่งแวดล้อม	ปานกลาง	80	83.30

6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษา กับความเครียด ภาวะซึมเศร้า และคุณภาพชีวิต

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษากับความเครียด ภาวะซึมเศร้า และคุณภาพชีวิตของผู้ดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียง พบว่า ความเพียงพอของรายได้มีความสัมพันธ์กับความเครียดของผู้ดูแลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยมีค่า p-value เท่ากับ 0.019 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยด้านเศรษฐกิจเป็นปัจจัยสำคัญที่อาจเกี่ยวข้องกับความเครียดของผู้ดูแล เนื่องจากการดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียงอาจทำให้ผู้ดูแลมีข้อจำกัดในการประกอบอาชีพ มีรายจ่ายเพิ่มขึ้น และมีภาระค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการดูแลสุขภาพของผู้ป่วย สำหรับภาวะซึมเศร้า ผลการศึกษาไม่พบปัจจัยที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในชุดข้อมูลนี้ อาจเนื่องมาจากกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ไม่มีภาวะซึมเศร้า ทำให้การกระจายของข้อมูลในแต่ละระดับมีความแตกต่างไม่มากพอที่จะพบความสัมพันธ์อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม ผลดังกล่าวไม่ควรแปลความว่าผู้ดูแลไม่มีความเสี่ยงด้านสุขภาพจิต เนื่องจากผู้ดูแลยังคงมีความเครียดและภาระการดูแลต่อเนื่อง จึงควรมีการติดตามอาการทางสุขภาพจิตเป็นระยะ ด้านคุณภาพชีวิต พบว่าปัจจัยหลายด้านมีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิตของผู้ดูแลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ ระดับการศึกษา รายได้ส่วนบุคคลต่อเดือน ความเพียงพอของรายได้ โรคประจำตัว และระยะเวลาการดูแลต่อวัน โดยระดับการศึกษามีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิตด้านร่างกาย ด้านจิตใจ และด้านสังคม แสดงให้เห็นว่าระดับการศึกษาอาจเกี่ยวข้องกับความสามารถในการเข้าถึงข้อมูลสุขภาพ การทำความเข้าใจวิธีดูแลผู้ป่วย และการใช้แหล่งสนับสนุนต่าง ๆ ในชุมชน รายได้ส่วนบุคคลต่อเดือนและความเพียงพอของรายได้มีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิตหลายด้าน โดยเฉพาะด้านร่างกาย ด้านจิตใจ ด้านสังคม ด้านสิ่งแวดล้อม และคุณภาพชีวิตโดยรวม สะท้อนให้เห็นว่าภาวะเศรษฐกิจของผู้ดูแลมีผลต่อความสามารถในการจัดการชีวิตประจำวัน การเข้าถึงบริการสุขภาพ การจัดหาอุปกรณ์หรือสิ่งจำเป็นในการดูแลผู้ป่วย รวมถึงความมั่นคงทางจิตใจของผู้ดูแล นอกจากนี้ โรคประจำตัวของผู้ดูแลมีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิตด้านร่างกายและคุณภาพชีวิตโดยรวม แสดงให้เห็นว่าผู้ดูแลที่มีปัญหาสุขภาพของตนเองอาจได้รับผลกระทบจากภาระการดูแลมากกว่าผู้ที่ไม่มีโรคประจำตัว เนื่องจากต้องใช้แรงกายในการดูแลผู้ป่วย ขณะเดียวกันก็ต้องดูแลสุขภาพของตนเองไปพร้อมกัน ส่วนระยะเวลาการดูแลต่อวันมีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิตด้านจิตใจและด้านสังคม ซึ่งสะท้อนว่าการใช้เวลาส่วนใหญ่ไปกับการดูแลผู้ป่วยอาจทำให้ผู้ดูแลมีเวลาพักผ่อนน้อยลง มีโอกาสเข้าร่วมกิจกรรมทางสังคมน้อยลง และอาจเกิดความรู้สึกเหนื่อยล้าหรือกดดันทางจิตใจ โดยสรุป ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ชี้ให้เห็นว่า ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ สุขภาพของผู้ดูแล และภาระเวลาในการดูแลผู้ป่วยเป็นปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับความเครียดและคุณภาพชีวิตของผู้ดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียง ดังนั้น การวางแผนช่วยเหลือผู้ดูแลควรให้ความสำคัญกับการสนับสนุนแบบรอบด้าน ไม่เพียงเฉพาะการให้ความรู้ในการดูแลผู้ป่วยเท่านั้น แต่ควรรวมถึงการสนับสนุนด้านเศรษฐกิจ การติดตามสุขภาพของผู้ดูแล และการส่งเสริมระบบช่วยเหลือจากครอบครัว ชุมชน และหน่วยบริการ

ตารางที่ 3 ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความเครียดและคุณภาพชีวิตของผู้ดูแล (n = 96)

ตัวแปรอิสระ	ตัวแปรผลลัพธ์ที่สัมพันธ์	p-value
รายได้เพียงพอหรือไม่	ความเครียด	0.019
ระดับการศึกษา	คุณภาพชีวิตด้านร่างกาย	0.009
ระดับการศึกษา	คุณภาพชีวิตด้านจิตใจ	< 0.001
ระดับการศึกษา	คุณภาพชีวิตด้านสังคม	0.049
รายได้ส่วนบุคคลต่อเดือน	คุณภาพชีวิตด้านร่างกาย	0.033
รายได้ส่วนบุคคลต่อเดือน	คุณภาพชีวิตด้านจิตใจ	0.030
รายได้ส่วนบุคคลต่อเดือน	คุณภาพชีวิตโดยรวม	0.031
รายได้เพียงพอหรือไม่	คุณภาพชีวิตด้านร่างกาย	0.001
รายได้เพียงพอหรือไม่	คุณภาพชีวิตด้านสังคม	0.006
รายได้เพียงพอหรือไม่	คุณภาพชีวิตด้านสิ่งแวดล้อม	0.018
รายได้เพียงพอหรือไม่	คุณภาพชีวิตโดยรวม	< 0.001
โรคประจำตัว	คุณภาพชีวิตด้านร่างกาย	0.028
โรคประจำตัว	คุณภาพชีวิตโดยรวม	0.018
ระยะเวลาการดูแลต่อวัน	คุณภาพชีวิตด้านจิตใจ	< 0.001
ระยะเวลาการดูแลต่อวัน	คุณภาพชีวิตด้านสังคม	0.011

หมายเหตุ: แสดงเฉพาะความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

7. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

7.1 อภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาพบว่า ผู้ดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียงส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง อายุ 65 ปีขึ้นไป และมีความสัมพันธ์เป็นบุตรของผู้ป่วย สะท้อนให้เห็นว่าการดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียงในครอบครัวยังคงเป็นบทบาทของสมาชิกในครอบครัว โดยเฉพาะเพศหญิง บุตร หรือคู่สมรส ซึ่งต้องรับผิดชอบการดูแลผู้ป่วยอย่างต่อเนื่องในชีวิตประจำวัน ลักษณะดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของทองทิพย์ เทียนสว่าง [8] ที่ศึกษาความต้องการของผู้ดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียงในเขตพื้นที่โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านบางยางแพรก อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร และงานของโอภาส อัศวโรจน์พงษ์ [9] ที่ศึกษาปัญหาการดูแลและปัจจัยที่เกี่ยวข้องในผู้ดูแลผู้ป่วยติดเตียงในอำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าผู้ดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียงในชุมชนไทยเป็นกลุ่มที่ต้องการการสนับสนุนทั้งด้านข้อมูล ทักษะการดูแล และทรัพยากรในการดูแลอย่างต่อเนื่อง

ด้านความเครียด ผลการวิจัยพบว่าผู้ดูแลผู้ป่วยติดบ้านและผู้ป่วยติดเตียงส่วนใหญ่มีระดับความเครียดอยู่ในระดับปานกลาง (ร้อยละ 45.80) สะท้อนให้เห็นว่าการดูแลผู้ป่วยที่มีภาวะพึ่งพิงเป็นภาระที่ต้องใช้เวลา ความรับผิดชอบ และความต่อเนื่องในการดูแล ส่งผลให้ผู้ดูแลเกิดความเครียดจากการปฏิบัติหน้าที่ แม้ว่าจะยังไม่ถึงระดับรุนแรงก็ตาม ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งพบว่าผู้ดูแลผู้ป่วยระยะยาวมักมีความเครียดในระดับปานกลาง เนื่องจากต้องรับผิดชอบการดูแลผู้ป่วยอย่างต่อเนื่อง ทั้งด้านการช่วยเหลือกิจวัตรประจำวัน การจัดการด้านการรักษา และการดูแลด้านจิตใจของผู้ป่วย โดยเฉพาะผู้ดูแลที่ใช้เวลาส่วนใหญ่กับการดูแลผู้ป่วยและมีข้อจำกัดด้านเศรษฐกิจ การศึกษาครั้งนี้ยังพบว่าความเพียงพอของรายได้มีความสัมพันธ์กับระดับความเครียดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.019$) แสดงให้เห็นว่าฐานะทางเศรษฐกิจเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความเครียดของผู้ดูแล เนื่องจากการดูแลผู้ป่วยระยะยาวมีค่าใช้จ่ายทั้งทางตรงและทางอ้อม ทำให้ผู้ดูแลที่มีรายได้ไม่เพียงพอมีโอกาสเกิดความเครียดมากกว่าผู้ที่มีความมั่นคงทางเศรษฐกิจ

เมื่อพิจารณาภาวะซึมเศร้า ผลการวิจัยพบว่าผู้ดูแลส่วนใหญ่ไม่มีภาวะซึมเศร้า (ร้อยละ 59.40) อย่างไรก็ตาม ผู้ดูแลยังคงมีความเครียดระดับปานกลางและมีภาระการดูแลต่อเนื่อง จึงยังควรได้รับการติดตามสุขภาพจิตอย่างสม่ำเสมอ โดยเฉพาะกลุ่มที่มีรายได้ไม่เพียงพอ มีโรคประจำตัว หรือดูแลผู้ป่วยเป็นเวลานานในแต่ละวัน การใช้แบบประเมิน PHQ-9 สามารถช่วยคัดกรองระดับอาการซึมเศร้าและใช้เป็นข้อมูลประกอบการเฝ้าระวังสุขภาพจิตของผู้ดูแลในชุมชนได้ [5] ประเด็น

นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของทองทิพย์ เทียนสว่าง [8] และโอภาส อัศวโรจน์พงษ์ [9] ที่สะท้อนว่าผู้ดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียงยังมีความต้องการการสนับสนุนจากระบบบริการสุขภาพ ครอบครัว และชุมชนอย่างต่อเนื่อง

ด้านคุณภาพชีวิต ผลการวิจัยพบว่าผู้ดูแลส่วนใหญ่มีคุณภาพชีวิตโดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง (ร้อยละ 69.80) แต่คุณภาพชีวิตด้านร่างกายอยู่ในระดับไม่ดีในสัดส่วนสูง (ร้อยละ 57.30) อาจเนื่องมาจากผู้ดูแลต้องช่วยเหลือผู้ป่วยในกิจวัตรประจำวัน เช่น การพยุงตัว การเคลื่อนย้าย การพลิกตะแคง การป้อนอาหาร และการดูแลความสะอาดร่างกาย ซึ่งเป็นกิจกรรมที่ใช้แรงกายและต้องทำซ้ำอย่างต่อเนื่อง การประเมินคุณภาพชีวิตด้วย WHOQOL-BREF จึงมีความเหมาะสม เนื่องจากครอบคลุมมิติด้านร่างกาย จิตใจ ความสัมพันธ์ทางสังคม และสิ่งแวดล้อม [6] ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของจิรนันท์ ปุริมาตย์ และคณะ [10] ที่พบว่าปัจจัยหลายด้านมีอิทธิพลต่อคุณภาพชีวิตของผู้ดูแลผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิงในจังหวัดจันทบุรี

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์พบว่า ความเพียงพอของรายได้มีความสัมพันธ์กับความเครียดของผู้ดูแลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจอธิบายได้ว่า การดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียงทำให้ผู้ดูแลมีข้อจำกัดในการประกอบอาชีพ รายได้ลดลง หรือมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น เช่น ค่าเดินทาง ค่ายา อุปกรณ์ดูแลผู้ป่วย และค่าใช้จ่ายในครัวเรือน ประเด็นดังกล่าวสอดคล้องกับงานของทองทิพย์ เทียนสว่าง [8] ที่กล่าวถึงความต้องการของผู้ดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียง และงานของโอภาส อัศวโรจน์พงษ์ [9] ที่ศึกษาปัญหาการดูแลและปัจจัยที่เกี่ยวข้องในผู้ดูแลผู้ป่วยติดเตียง ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียงเกี่ยวข้องกับภาระและความต้องการสนับสนุนหลายด้าน

นอกจากนี้ ผลการวิจัยพบว่าระดับการศึกษา รายได้ส่วนบุคคล ความเพียงพอของรายได้ โรคประจำตัว และระยะเวลาการดูแลต่อวัน มีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิตของผู้ดูแลในบางด้าน แสดงให้เห็นว่าคุณภาพชีวิตของผู้ดูแลไม่ได้ขึ้นอยู่กับภาระการดูแลเพียงอย่างเดียว แต่ยังสัมพันธ์กับทรัพยากรส่วนบุคคลและสภาพแวดล้อมทางสังคม โดยเฉพาะความรู้ในการดูแลผู้ป่วย ความมั่นคงทางเศรษฐกิจ สุขภาพของผู้ดูแล และเวลาพักผ่อน ผลดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของจิรนันท์ ปุริมาตย์ และคณะ [10] ที่พบว่าปัจจัยหลายด้านมีอิทธิพลต่อคุณภาพชีวิตของผู้ดูแลผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิง

ในด้านระบบสนับสนุนผู้ดูแล ผลการศึกษาครั้งนี้สะท้อนว่าผู้ดูแลควรได้รับการช่วยเหลืออย่างต่อเนื่อง ทั้งด้านความรู้ทักษะการดูแล การเฝ้าระวังสุขภาพจิต และการลดภาระการดูแล ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของทองทิพย์ เทียนสว่าง [8] และโอภาส อัศวโรจน์พงษ์ [9] ที่ชี้ให้เห็นว่าผู้ดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียงมีปัญหาและความต้องการการสนับสนุนในการดูแลผู้ป่วยในชีวิตประจำวัน โดยสรุป ผลการวิจัยครั้งนี้สะท้อนว่า ผู้ดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียงเป็นกลุ่มที่มีความเปราะบางทั้งด้านร่างกาย จิตใจ เศรษฐกิจ และสังคม แม้ว่าผู้ดูแลส่วนใหญ่ไม่มีภาวะซึมเศร้า แต่ยังพบความเครียดระดับปานกลางและคุณภาพชีวิตด้านร่างกายอยู่ในระดับไม่ดีในสัดส่วนสูง ดังนั้น หน่วยบริการสาธารณสุขควรให้ความสำคัญกับการดูแลผู้ดูแลควบคู่กับผู้ป่วย โดยเฉพาะการคัดกรองความเครียดและภาวะซึมเศร้า การส่งเสริมทักษะการดูแลผู้ป่วย การสนับสนุนด้านเศรษฐกิจและสังคม และการพัฒนาระบบช่วยเหลือในชุมชน [8-10]

7.2 ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย

จากผลการวิจัยพบว่า ผู้ดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียงส่วนใหญ่มีความเครียดอยู่ในระดับปานกลาง มีคุณภาพชีวิตโดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง และคุณภาพชีวิตด้านร่างกายอยู่ในระดับไม่ดีในสัดส่วนสูง รวมทั้งพบว่าความเพียงพอของรายได้มีความสัมพันธ์กับความเครียด และปัจจัยด้านระดับการศึกษา รายได้ โรคประจำตัว และระยะเวลาการดูแลต่อวันมีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิตของผู้ดูแล ดังนั้น จึงมีข้อเสนอแนะจากผลการวิจัย ดังนี้

1. หน่วยบริการสาธารณสุขควรมีการคัดกรองสุขภาพจิตของผู้ดูแลอย่างต่อเนื่อง

ควรมีการประเมินความเครียด ภาวะซึมเศร้า และคุณภาพชีวิตของผู้ดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียงเป็นระยะ โดยเฉพาะผู้ดูแลที่มีรายได้ไม่เพียงพอ มีโรคประจำตัว หรือดูแลผู้ป่วยเป็นเวลานานในแต่ละวัน เพื่อให้สามารถค้นหากลุ่มเสี่ยงและให้การช่วยเหลือได้อย่างทันท่วงที

2. ควรส่งเสริมทักษะการดูแลผู้ป่วยที่ถูกต้องและปลอดภัยแก่ผู้ดูแล

เนื่องจากผลการศึกษาพบว่าคุณภาพชีวิตด้านร่างกายของผู้ดูแลอยู่ในระดับไม่ดีเป็นจำนวนมาก จึงควรจัดอบรมหรือให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย การพลิกตะแคงตัว การป้องกันแผลกดทับ การดูแลสุขอนามัย การจัดท่าทางที่ถูกต้อง และการใช้อุปกรณ์ช่วยเหลือ เพื่อลดการบาดเจ็บ ความเหนื่อยล้า และภาระทางร่างกายของผู้ดูแล

3. ควรจัดระบบช่วยเหลือและแบ่งเบาภาระผู้ดูแลในครอบครัวและชุมชน

ผู้ดูแลจำนวนมากต้องดูแลผู้ป่วยเป็นเวลานานต่อวันและดูแลต่อเนื่องหลายปี จึงควรส่งเสริมให้สมาชิกในครอบครัวมีส่วนร่วมในการดูแลมากขึ้น รวมถึงพัฒนาเครือข่าย อสม. ผู้นำชุมชน องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และหน่วยบริการสุขภาพ ให้เข้ามาช่วยติดตาม เยี่ยมบ้าน ให้คำปรึกษา และสนับสนุนผู้ดูแลอย่างเป็นระบบ

7.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

1. การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาแบบภาคตัดขวาง จึงสามารถอธิบายได้เพียงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ศึกษา แต่ไม่สามารถสรุปความเป็นเหตุและผลได้โดยตรง การวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาแบบติดตามระยะยาว เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของความเครียด ภาวะซึมเศร้า และคุณภาพชีวิตของผู้ดูแลตามระยะเวลาการดูแลผู้ป่วย

2. ควรมีการสัมภาษณ์เชิงลึกหรือสนทนากลุ่มกับผู้ดูแล เพื่อทำความเข้าใจประสบการณ์จริง ปัญหา ความต้องการ ความรู้สึกเป็นภาระ วิธีเผชิญความเครียด และแหล่งสนับสนุนที่ผู้ดูแลต้องการ ซึ่งจะช่วยให้ได้ข้อมูลเชิงลึกที่ไม่สามารถอธิบายได้จากแบบสอบถามเพียงอย่างเดียว

3. การวิจัยครั้งต่อไปควรออกแบบโปรแกรมส่งเสริมสุขภาพและลดภาระผู้ดูแล เช่น โปรแกรมอบรมทักษะการดูแลผู้ป่วย โปรแกรมจัดการความเครียด โปรแกรมเยี่ยมบ้าน โปรแกรมให้คำปรึกษาทางไกล หรือโปรแกรมกลุ่มช่วยเหลือผู้ดูแล แล้วประเมินผลก่อนและหลังการเข้าร่วมโปรแกรม

8. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา คณาจารย์คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ผู้ใหญ่บ้าน อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน หน่วยงานในพื้นที่ตำบลบ้านดู่ และผู้ดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียงทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

9. เอกสารอ้างอิง

[1] สุนันทา นะวิวัฒย์. (2567). *ภาวะพึ่งพิงของผู้สูงอายุไทยในอนาคตอีก 20 ปี*. กรมอนามัย. สืบค้นจาก https://hfd.anamai.moph.go.th.

[2] สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย. (2568). *รายงานข้อมูลจังหวัดเชียงราย ปี 2568.* เชียงราย: สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย.

[3] กรมสุขภาพจิต. (2542). คู่มือการใช้แบบประเมินความเครียด SPST-20. นนทบุรี: กรมสุขภาพจิต กระทรวงสาธารณสุข.

[4] Srisaeng, P., & Kittipichai, W. (2011). Reliability and validity of the Suanprung Stress Test-20 (SPST-20). *Journal of Mental Health of Thailand,* 19(2), 45-56.

[5] กรมสุขภาพจิต. (2560). แบบประเมินโรคซึมเศร้า PHQ-9 (Patient Health Questionnaire-9). กระทรวงสาธารณสุข.

[6] กรมสุขภาพจิต. (2545). แบบประเมินคุณภาพชีวิตขององค์การอนามัยโลกชุดย่อ ฉบับภาษาไทย (WHOQOL-BREF-THAI). กระทรวงสาธารณสุข.

[7] The Sense Living. (2559). บริการฟื้นฟูดูแลผู้ป่วยติดบ้านและผู้มีภาวะพึ่งพิงพึ่งพิง.สืบค้นจาก https://thesenseliving.com/bedridden/

[8] ทองทิพย์ เทียนสว่าง. (2568). การศึกษาความต้องการของผู้ดูแลผู้ป่วยติดบ้านติดเตียง ในเขตพื้นที่โรงพยาบาล ส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านบางหญ้าแพรก อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร. *วารสารสาธารณสุขมูลฐาน (ภาคกลาง), 38*(3), 38–49. สืบค้นจาก https://he05.tci-thaijo.org/index.php/Hss6/article/view/3997

[9] โอภาส อัศวโรจน์พงษ์. (2563). ความชุกของปัญหาภาระดูแลและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ในผู้ดูแลผู้ป่วยติดเตียง ในอำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี. วารสารแพทย์เขต 4-5, 39(1). สืบค้นจาก https://he02.tcithaijo.org/index.php/reg45/article/view/240097

[10] จิรนันท์ ปุริมาตย์, สุธรรม นันทมงคลชัย, โชคชัย หมั่นแสวงทรัพย์, ศุภชัย ปิติกุลตัง, กรวรรณ ยอดไม้. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพชีวิตของผู้ดูแลผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิงในจังหวัดจันทบุรี. วารสารวิชาการสาธารณสุข. 2562;28(4):610-619.

การเปรียบเทียบผลทันทีและผลระยะสั้นระหว่างคิเนซิโอเทปและปลอกรัดเข่าต่ออาการปวด การเดิน การเคลื่อนไหว การทรงตัว และอาการในผู้สูงอายุที่มีภาวะเข่าเสื่อม: การศึกษานำร่อง

The Comparison of Immediate and Short-Term Effects between Kinesiotape and Knee Sleeve on Pain, Gait, Mobility, Balance, and Symptoms in Older Adults with Knee Osteoarthritis: A Pilot Study

ธนัท ติกปัญญาวุฒิ[1,2] สุนีย์ บวรสุนทรชัย[1*] และ ภาวิณี หฤทัยชื่น[1]

[1] คณะกายภาพบำบัด มหาวิทยาลัยมหิดล
[2] โรงพยาบาลแหลมฉบัง
*E-mail: sunee.bov@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

ภาวะข้อเข่าเสื่อมเป็นสาเหตุสำคัญของอาการปวด การเดินผิดปกติ การเคลื่อนไหวลดลง และคุณภาพชีวิตที่แย่ลงในผู้สูงอายุ ในทางคลินิก การใช้คิเนซิโอเทปและปลอกรัดเข่าเป็นวิธีการรักษาแบบไม่ผ่าตัดที่นิยมใช้ แต่หลักฐานเปรียบเทียบระหว่างผลลัพธ์จากวิธีทั้งสองยังมีจำกัด การศึกษานำร่องนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลทันทีและผลระยะสั้นของคิเนซิโอเทปและปลอกรัดเข่าต่ออาการปวด การเดิน การเคลื่อนไหว การทรงตัว และอาการในผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อม ผู้เข้าร่วมการวิจัย จำนวน 14 คน ได้รับการสุ่มเพื่อเข้ากลุ่มคิเนซิโอเทปหรือกลุ่มปลอกรัดเข่า กลุ่มละ 7 คน ประเมินผลด้วย Numeric Pain Rating Scale (NPRS), 10-Meter Walk Test (10MWT), Timed Up and Go Test (TUG), Berg Balance Scale (BBS) และ Thai Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (Thai KOOS) วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ Wilcoxon Signed-Rank Test และ Mann-Whitney U Test ผลการเปรียบเทียบภายในกลุ่มพบว่า กลุ่มคิเนซิโอเทปมีการเปลี่ยนแปลงดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในด้านอาการปวด ความเร็วการเดิน ความสามารถในการเคลื่อนไหว และคะแนน Thai KOOS หลายมิติ ขณะที่กลุ่มปลอกรัดเข่าไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม การเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในตัวแปรที่ทดสอบ ยกเว้นคะแนนรวม Thai KOOS ด้านอาการ (Symptoms) และคุณภาพชีวิต (Quality of Life) แม้ว่ากลุ่มคิเนซิโอเทปจะมีแนวโน้มของผลลัพธ์ที่ดีขึ้น แต่ยังไม่สามารถสรุปได้ว่ามีประสิทธิผลเหนือกว่าปลอกรัดเข่า จึงควรมีการศึกษาในกลุ่มตัวอย่างที่ใหญ่ขึ้นเพื่อยืนยันผลต่อไป

คำสำคัญ: ข้อเข่าเสื่อม คิเนซิโอเทป ปลอกรัดเข่า ผู้สูงอายุ

Abstract

Knee osteoarthritis (KOA) is a major cause of pain, gait impairment, reduced mobility, and poor quality of life in older adults. In the clinic, kinesiotape and knee sleeves are commonly used as non-surgical treatments, but comparative evidence remains limited. This pilot study aimed to compare the immediate and short-term effects of kinesiotape and knee sleeves on pain, gait, mobility, balance, and knee-related symptoms in older adults with KOA. Fourteen participants were randomly allocated to either the kinesiotape group or the knee sleeve group (n = 7 for each group). Outcomes were assessed using the Numeric Pain Rating Scale (NPRS), 10-Meter Walk Test (10MWT), Timed Up and Go Test (TUG), Berg Balance Scale (BBS), and Thai Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (Thai KOOS). Data were analyzed using

the Wilcoxon signed-rank test and Mann-Whitney U test. Within-group comparisons showed that the kinesiotape group demonstrated significant improvements in pain, gait speed, mobility, and several Thai KOOS subscales, whereas no significant changes were observed in the knee sleeve group. However, between-group comparisons revealed no significant differences in any outcome except the Thai KOOS Symptoms and Quality of Life subscales. Although the kinesiotape group showed a trend toward greater improvement, its superiority over the knee sleeve could not be concluded. Future studies with larger sample sizes are warranted to confirm these findings.

Keywords: Knee osteoarthritis, Kinesiotape, Knee sleeve, Older adults

1. บทนำ

โรคข้อเสื่อม (Osteoarthritis; OA) เป็นโรคความเสื่อมของข้อที่พบบ่อยในผู้สูงอายุ และเป็นสาเหตุสำคัญของปัญหาการเดินและความพิการ หากไม่ได้รับการดูแลรักษาอย่างเหมาะสม [1] โรคนี้มีลักษณะเด่นคืออาการปวดเรื้อรัง ความสามารถในการทำกิจกรรมลดลง และการเสื่อมของโครงสร้างข้อที่ดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเกิดจากปัจจัยทั้งทางชีวกลศาสตร์และกระบวนการอักเสบ [2] จากการเพิ่มขึ้นของประชากรผู้สูงอายุทั่วโลก ประกอบกับปัจจัยเสี่ยงที่เพิ่มขึ้น เช่น ภาวะอ้วนและการใช้ชีวิตแบบขาดการเคลื่อนไหว ส่งผลให้โรคข้อเสื่อมกลายเป็นปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญในระดับโลก [2] ในภูมิภาคเอเชีย สัดส่วนประชากรอายุ 65 ปีขึ้นไปคาดว่าจะเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 7 ในปี พ.ศ. 2551 เป็นร้อยละ 16 ภายในปี พ.ศ. 2583 สะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นเร่งด่วนในการเตรียมความพร้อมเพื่อรองรับปัญหาสุขภาพที่เกี่ยวข้องกับโรคข้อเสื่อม [3] โดยพบว่าความชุกของโรคข้อเข่าเสื่อมในประชากรอายุ 40 ปีขึ้นไปทั่วโลกอยู่ที่ประมาณร้อยละ 22.9 [3] ขณะที่การศึกษาระดับประเทศฉบับล่าสุดในผู้สูงอายุไทยที่อาศัยอยู่ในชุมชน จำนวน 2,947 คน จาก 6 ภูมิภาค ซึ่งเก็บข้อมูลระหว่าง พ.ศ. 2564–2565 พบความชุกของโรคข้อเข่าเสื่อมชนิดมีอาการอยู่ที่ร้อยละ 53.8 [4] การเพิ่มขึ้นของผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อมส่งผลให้เกิดภาระทางเศรษฐกิจทั้งในด้านค่าใช้จ่ายทางการแพทย์โดยตรงและค่าใช้จ่ายทางอ้อมจากการสูญเสียความสามารถในการทำงานและการดำรงชีวิต [5]

โรคข้อเข่าเสื่อมเป็นภาวะเรื้อรังที่ยังไม่สามารถรักษาให้หายขาดได้ และในผู้ป่วยที่มีการดำเนินโรครุนแรงอาจจำเป็นต้องได้รับการผ่าตัดเปลี่ยนข้อเข่าเทียม อย่างไรก็ตาม การรักษาด้วยการผ่าตัดมีค่าใช้จ่ายสูงและอาจเกิดภาวะแทรกซ้อนตามมาได้ [3] งานวิจัยในปัจจุบันจึงมุ่งเน้นการพัฒนาแนวทางการรักษาเพื่อชะลอหรือหลีกเลี่ยงการผ่าตัด โดยเฉพาะในผู้ป่วยระยะเริ่มต้นถึงระยะปานกลางของโรค [2] แนวเวชปฏิบัติในปัจจุบันแนะนำให้เริ่มการรักษาแบบอนุรักษ์นิยม (conservative management) ประกอบด้วยการรักษาด้วยยาและการรักษาที่ไม่ใช้ยา แม้ว่ายาจะสามารถบรรเทาอาการได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่การใช้ยาในระยะยาวอาจก่อให้เกิดผลข้างเคียงที่ไม่พึงประสงค์ [6] American College of Rheumatology และ Arthritis Foundation จึงแนะนำให้ใช้วิธีการรักษาที่ไม่ใช้ยา ได้แก่ การควบคุมน้ำหนัก การออกกำลังกายอย่างเป็นระบบ การใช้อุปกรณ์พยุงข้อเข่า และการให้ความรู้แก่ผู้ป่วย เป็นแนวทางการรักษาหลักสำหรับผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อมของข้อต่อรยางค์ล่าง [7] การรักษาแบบไม่ผ่าตัดเหมาะสำหรับผู้ป่วยที่มีความรุนแรงระดับ Kellgren-Lawrence Grade 0–3 ส่วนการผ่าตัดมักสงวนไว้สำหรับผู้ป่วยที่มีความรุนแรงระดับ Grade 4 [8] นอกจากนี้ กายภาพบำบัดยังมีบทบาทสำคัญในการดูแลผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อม โดยมุ่งเน้นการรักษาแบบองค์รวมผ่านการออกกำลังกาย การให้ความรู้ และวิธีการรักษาอื่น ๆ เพื่อช่วยลดอาการปวด เพิ่มการทำงานของข้อ และส่งเสริมคุณภาพชีวิตของผู้ป่วย รวมทั้งแนะนำการใช้อุปกรณ์ช่วยเดินเมื่อมีข้อบ่งชี้ เพื่อเพิ่มความสามารถในการเคลื่อนไหวและลดความไม่สุขสบาย [9]

คิเนซิโอเทปและปลอกรัดเข่า เป็นอุปกรณ์และวัสดุที่ใช้สำหรับการรักษาแบบไม่ผ่าตัดที่ได้รับความนิยมทางกายภาพบำบัดสำหรับผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อม โดยปลอกรัดเข่าช่วยเพิ่มแรงกดรอบข้อเข่า ให้การพยุงจากภายนอก ลดอาการบวม ส่งเสริมการรับรู้ตำแหน่งของข้อ และเพิ่มความมั่นคงของข้อเข่า [10] อีกทั้งยังช่วยรักษาความอบอุ่นของข้อ ทำให้ลดอาการข้อฝืดและเพิ่มความคล่องตัวในการเคลื่อนไหว จึงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงพยาบาล [11] ส่วนคิเนซิโอเทปเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมในงานกายภาพบำบัด โดยช่วยปรับการทำงานของเนื้อเยื่อ ส่งเสริมการจัดแนวของกระดูกสะบ้า เพิ่มการรับรู้ตำแหน่งของข้อ และกระตุ้นการควบคุมการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ [11, 12] งานวิจัยหลายฉบับรายงานว่าคิเนซิโอเทปสามารถช่วยลดอาการปวด เพิ่มการทรงตัว และส่งเสริมการทำกิจวัตรประจำวันของผู้ป่วยโรคข้อเข่า

เสื่อมได้ ตัวอย่างเช่น การศึกษาก่อนหน้าในผู้เข้าร่วมการวิจัย จำนวน 164 ราย พบว่าคิเนซิโอเทปให้ผลดีกว่าการติดเทปหลอกในด้านการลดอาการปวดและการทรงตัว แม้ว่าจะไม่พบความแตกต่างของผลการทดสอบการเดินระยะ 10 เมตร [12] นอกจากนี้ ยังมีรายงานว่าการใช้คิเนซิโอเทปร่วมกับกายภาพบำบัดแบบมาตรฐาน หรือร่วมกับเทคนิค Muscle Energy Technique สามารถช่วยลดอาการปวดและเพิ่มความสามารถในการทำหน้าที่ของข้อได้ดีกว่าการรักษาที่ใช้ในกลุ่มควบคุม [13, 14]

ผู้ป่วยโรคข้อเข่าเสื่อมมักมีความบกพร่องทางร่างกายหลายด้าน ได้แก่ อาการปวด กล้ามเนื้ออ่อนแรง การควบคุมการทรงตัวและการรับรู้ตำแหน่งของข้อที่ลดลง ความไม่มั่นคงของข้อ ช่วงการเคลื่อนไหวของข้อที่ลดลง และสมรรถภาพทางกายที่ถดถอย [15] ความผิดปกติเหล่านี้อาจเกิดจากกระบวนการเสื่อมของข้อโดยตรง หรือเกิดจากอาการร่วม เช่น อาการปวด การมีน้ำในข้อ และการลดลงของการเคลื่อนไหว การแก้ไขความบกพร่องดังกล่าวจึงมีความสำคัญต่อการเพิ่มความสามารถในการทำหน้าที่และคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุที่มีโรคข้อเข่าเสื่อม แม้ว่าคิเนซิโอเทปและปลอกรัดเข่าต่างมีข้อดีที่แตกต่างกัน โดยปลอกรัดเข่าเน้นการเพิ่มความมั่นคงของข้อและปรับรูปแบบการเดิน ส่วนคิเนซิโอเทปเน้นการเพิ่มการรับรู้ตำแหน่งของข้อและการควบคุมการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ [16-21] แต่ในปัจจุบันยังมีงานวิจัยที่เปรียบเทียบประสิทธิผลของทั้งสองวิธีโดยตรงค่อนข้างจำกัด ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลทันทีและผลระยะสั้นของการใช้คิเนซิโอเทปและปลอกรัดเข่าต่ออาการปวด การเดิน ความสามารถในการเคลื่อนไหว การทรงตัว และอาการในผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อม เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจเชิงประจักษ์ของนักกายภาพบำบัดและบุคลากรทางการแพทย์ในการเลือกใช้วิธีการรักษาที่เหมาะสมต่อไป

2. วิธีการวิจัย

รูปแบบการศึกษา

การวิจัยนี้เป็นการศึกษานำร่อง (pilot study) เพื่อเปรียบเทียบผลทันทีและผลระยะสั้นของการใช้คิเนซิโอเทปและปลอกรัดเข่าในผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อม โดยโครงการวิจัยได้รับการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคนของคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคนส่วนกลาง มหาวิทยาลัยมหิดล เลขที่หนังสือรับรอง MU-CIRB 2025/236.3006 ก่อนเริ่มดำเนินการวิจัย

ผู้เข้าร่วมการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้สูงอายุที่ได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคข้อเข่าเสื่อมและเข้ารับบริการที่โรงพยาบาลแหลมฉบัง โดยมีเกณฑ์การคัดเข้า ดังนี้ ผู้เข้าร่วมการวิจัยเป็นผู้สูงอายุเพศชายหรือหญิง อายุระหว่าง 60–80 ปี ที่ได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคข้อเข่าเสื่อมข้างเดียว ระดับความรุนแรง Kellgren and Lawrence grade 1–2 มีอาการปวดข้อเข่าระดับ 1–6 คะแนนตามแบบประเมิน NPRS ภายใน 24 ชั่วโมงที่ผ่านมา และมีภาวะเข่าโก่งออก (genu valgus) ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะถูกคัดออกหากมีภาวะข้อเข่าอักเสบเฉียบพลัน ได้รับบาดเจ็บจากอุบัติเหตุ มีโรคหรือภาวะอื่นที่ส่งผลต่อข้อเข่า เช่น เอ็นอักเสบ มะเร็ง หรือเคยผ่าตัดข้อเข่า มีภาวะกระดูกพรุนระดับปานกลางถึงรุนแรง ใช้ยาที่มีผลต่อการรับรู้ความปวด มีโรคทางระบบหรือโรคผิวหนังบริเวณข้อเข่า มีแผลหรือเลือดออกบริเวณที่จะติดเทป แพ้เทป สูญเสียการรับความรู้สึกบริเวณข้อเข่า ไม่สามารถเข้าใจคำสั่งหรือปฏิบัติตามขั้นตอนการวิจัย รวมถึงไม่สามารถยืนหรือเดินได้ หรือมีอาการปวดรุนแรงจนไม่สามารถเข้าร่วมการเก็บข้อมูลได้

ผู้ที่ผ่านการคัดเลือกตามเกณฑ์กำหนด ได้รับการสุ่มเข้าสู่กลุ่มคิเนซิโอเทปและกลุ่มปลอกรัดเข่า ด้วยวิธีการสุ่มแบบง่าย (Simple Randomization) โดยใช้ลำดับการสุ่มที่สร้างจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (computer-generated randomization sequence) เพื่อจัดสรรเข้าสู่กลุ่มคิเนซิโอเทปหรือกลุ่มปลอกรัดเข่าในอัตราส่วน 1:1

ตัวแปร

ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย คะแนนความปวดประเมินด้วย NPRS ขณะเคลื่อนไหวและขณะพัก ความเร็วการเดินประเมินด้วย 10MWT ความสามารถในการเคลื่อนไหวประเมินด้วย TUG ความสามารถในการทรงตัวประเมินด้วย BBS และอาการและการทำหน้าที่ของข้อเข่าประเมินด้วย Thai KOOS

ภายหลังการบันทึกข้อมูลพื้นฐาน กลุ่มคิเนซิโอเทปได้รับการติดเทปตามเทคนิคมาตรฐานที่กำหนด ส่วนกลุ่มปลอกรัดเข่าได้รับอุปกรณ์ที่มีขนาดเหมาะสมกับผู้ป่วยแต่ละราย จากนั้น ทำการประเมินผลภายหลังได้รับการรักษาทันที โดยใช้

NPRS ขณะเคลื่อนไหว, 10MWT, TUG และ BBS ส่วนการติดตามผลภายหลังได้รับการรักษาเป็นระยะเวลา 3 วัน ประเมินด้วย NPRS ขณะพัก และแบบประเมิน Thai KOOS

การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ข้อมูลทั้งหมดถูกวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics version 31 โดยตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลด้วย Shapiro-Wilk test เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างมีจำนวนน้อยและตัวแปรหลายตัวมีการแจกแจงไม่ปกติ จึงทำการเปรียบเทียบข้อมูลด้วยสถิติ non-parametric โดยใช้ Mann-Whitney U test สำหรับเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างกลุ่ม และ Wilcoxon Signed-rank test สำหรับเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างก่อนและหลังการรักษาภายในแต่ละกลุ่ม โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$ นอกจากนี้ ได้รายงานขนาดอิทธิพลของผลการทดสอบ (**effect size; r**) ซึ่งคำนวณจากสูตร $r = Z/\sqrt{N}$ โดยที่ Z คือค่าสถิติมาตรฐานจากการทดสอบ และ N คือจำนวนตัวอย่างทั้งหมดในการวิเคราะห์ โดยมีการแปลผลขนาดอิทธิพลได้แก่ **ขนาดเล็ก (r = 0.10–0.29)**, **ขนาดปานกลาง (r = 0.30–0.49)** และ **ขนาดใหญ่ (r ≥ 0.50)** [22, 23]

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

คุณลักษณะผู้เข้าร่วมการวิจัย

การศึกษานำร่องนี้มีผู้เข้าร่วมการวิจัยทั้งสิ้น จำนวน 14 คน แบ่งเป็นกลุ่มคิเนซิโอเทปและกลุ่มปลอกรัดเข่า กลุ่มละ 7 คน ผู้เข้าร่วมการวิจัยทุกคนได้รับการประเมินครบทุกช่วงเวลาและไม่มีการถอนตัวออกระหว่างการศึกษา

ตารางที่ 1 คุณลักษณะและข้อมูลพื้นฐานของผู้เข้าร่วมการวิจัย

ตัวแปร	กลุ่ม		p-value
	คิเนซิโอเทป (n = 7) Median (Q1, Q3)	ปลอกรัดเข่า (n = 7) Median (Q1, Q3)	
อายุ (ปี)	65 (63, 67)	63 (60, 67)	0.535[a]
เพศ, จำนวน (ร้อยละ)	ชาย 1 (14.29)	ชาย 0 (0.00)	-
	หญิง 6 (85.71)	หญิง 7 (100.00)	
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัม/เมตร^2)	25.50 (22.88, 25.81)	24.06 (23.20, 29.53)	0.620[a]
ระยะเวลาที่เป็นโรคข้อเข่าเสื่อม (ปี)	2.00 (1.50, 3.50)	1.00 (0.70, 2.50)	0.318[a]
ระดับความปวดก่อนการทดสอบ (คะแนน)	3 (1.50, 4.50)	5 (4.50, 5.50)	0.128[a]
10 MWT ก่อนการทดสอบ (วินาที)	8.15 (7.50, 9.49)	14.08 (10.86, 15.06)	**0.011**[a]
TUG ก่อนการทดสอบ (วินาที)	8.60 (7.20, 10.05)	13.06 (9.95, 14.01)	**0.026**[a]
BBS ก่อนการทดสอบ (คะแนน)	55 (51.50, 56)	53 (50, 55.50)	0.620[a]
Thai KOOS รวมก่อนการทดสอบ (คะแนน)	89 (76.50, 100)	105 (102, 124.50)	0.053[a]

หมายเหตุ: สถิติทดสอบโดย [a] Man-Whitney U Test; ตัวอักษรหนาแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$; Q1: เปอร์เซ็นไทล์ที่ 25; Q3: เปอร์เซ็นไทล์ที่ 75

จากตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะและข้อมูลพื้นฐานของผู้เข้าร่วมการวิจัย ผู้เข้าร่วมการวิจัยส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 13 คน คิดเป็นร้อยละ 92.86 และเป็นเพศชาย จำนวน 1 คน คิดเป็นร้อยละ 7.14 พบว่าทั้งสองกลุ่มมีอายุ ดัชนีมวลกาย ระยะเวลาที่เป็นโรคข้อเข่าเสื่อม ระดับความปวดก่อนทดสอบ คะแนน BBS และคะแนน Thai KOOS รวม ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามคะแนน 10MWT และ TUG ก่อนการรักษามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่ม ($p < 0.05$)

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบตัวแปรต่าง ๆ ภายในกลุ่ม

ตัวแปร/กลุ่ม	ก่อน Median (Q1, Q3)	หลัง Median (Q1, Q3)	p-value	Effect size
คิเนซิโอเทป (n = 7)				
Pain (คะแนน)	3 (1.50, 4.50)	1 (0, 2.50)	**0.016**	**0.89**
10MWT (วินาที)	8.15 (7.50, 9.49)	6.83 (6.24, 8.87)	**0.016**	**0.89**
NPRS during 10MWT (คะแนน)	3 (1.83, 4.83)	1 (0.50, 3.50)	0.063	0.71
TUG (วินาที)	8.60 (7.20, 10.05)	7.99 (6.01, 9.55)	**0.016**	**0.89**
NPRS during TUG (คะแนน)	4 (1, 4.50)	1 (0.17, 3)	0.063	0.71
BBS (คะแนน)	55 (51.5, 56)	56 (56, 56)	0.125	0.59
KOOS Symptoms (คะแนน)	15 (13.50, 16.50)	11 (9, 11.50)	**0.016**	**0.89**
KOOS Pain (คะแนน)	20 (15, 21.50)	13 (11.50, 13.50)	**0.031**	**0.82**
KOOS ADL (คะแนน)	26 (23, 31.50)	20 (19, 23)	**0.016**	**0.89**
KOOS Sport/Rec (คะแนน)	18 (13, 19)	18 (12.50, 18.50)	0.250	0.43
KOOS QoL (คะแนน)	12 (12, 13.50)	8 (8, 9.50)	**0.031**	**0.82**
KOOS Total (คะแนน)	89 (76.50, 100)	68 (62, 73)	**0.016**	**0.89**
ปลอกรัดเข่า (n = 7)				
Pain (คะแนน)	5 (4.50, 5.50)	3 (2, 3.50)	0.188	0.50
10MWT (วินาที)	14.08 (10.86, 15.06)	11.12 (10.87, 12.19)	0.109	0.60
NPRS during 10MWT (คะแนน)	5 (4.67, 5.50)	3 (2, 5)	0.250	0.43
TUG (วินาที)	13.06 (9.95, 14.01)	10.78 (10.34, 12.77)	0.688	0.15
NPRS during TUG (คะแนน)	5 (4.67, 5.33)	3 (2, 5.33)	0.250	0.43
BBS (คะแนน)	53 (50, 55.50)	55 (50, 55.50)	0.500	0.26
KOOS Symptoms (คะแนน)	19 (16, 22.50)	16 (15.50, 21)	0.875	0.06
KOOS Pain (คะแนน)	19 (18, 25)	17 (15.50, 24.50)	0.281	0.41
KOOS ADL (คะแนน)	37 (34.50, 43)	34 (33, 44)	0.281	0.41
KOOS Sport/Rec (คะแนน)	23 (21, 23.50)	23 (21,23)	0.750	0.12
KOOS QoL (คะแนน)	11 (11, 14.50)	12 (11.50, 14.50)	0.750	0.12
KOOS Total (คะแนน)	105 (102, 124.50)	102 (96.50, 123.50)	0.297	0.38

หมายเหตุ: สถิติทดสอบโดย Wilcoxon Signed Rank Test; ตัวอักษรหนาแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$; Q1: เปอร์เซ็นไทล์ที่ 25; Q3: เปอร์เซ็นไทล์ที่ 75

จาก ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบตัวแปรต่าง ๆ ภายในแต่ละกลุ่ม พบว่ากลุ่มคิเนซิโอเทปมีการพัฒนาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติใน อาการปวด ความเร็วการเดิน ความสามารถการเคลื่อนไหว และคะแนน Thai KOOS หลายมิติ ได้แก่ Symptoms, Pain, Activities of Daily Living, Quality of Life รวมถึงคะแนนรวม ($p < 0.05$) ขณะที่กลุ่มปลอกรัดเข่าไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ในทุกตัวแปร ($p > 0.05$)

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่าเปลี่ยนแปลง (Change score) ระหว่างกลุ่ม

ตัวแปร	กลุ่ม		p-value	Effect size
	คิเนซิโอเทป (n = 7) Median (Q1, Q3)	ปลอกรัดเข่า (n = 7) Median (Q1, Q3)		
Pain (คะแนน)	-2 (-2.50, -1)	-2 (-2, -1.50)	0.946	0.03
10MWT (วินาที)	-1.08 (-1.58, -0.84)	-0.88 (-2.70, -0.27)	1.000	0.02
NPRS during 10MWT (คะแนน)	-1 (-1.17, -0.33)	0 (-2.67, 0)	0.794	0.09
TUG (วินาที)	-0.61 (-0.77, -0.48)	-0.13 (-1.15, 0.64)	0.456	0.22
NPRS during TUG (คะแนน)	-1 (-1.50, -0.33)	0 (-2.50, 0)	0.794	0.09
BBS (คะแนน)	1 (0, 4.50)	0 (0, 0.50)	0.202	0.32
KOOS Symptoms (คะแนน)	-5 (-6, -3)	0 (-2, 0)	**0.020**	**0.63**
KOOS Pain (คะแนน)	-7 (-8, -1.50)	-3 (-3.50, -2)	0.607	0.15
KOOS ADL (คะแนน)	-5 (-7, -3.50)	-3 (-3.50, -2)	0.137	0.41
KOOS Sport/Rec (คะแนน)	0 (-1, 0)	0 (0, 0.50)	0.200	0.32
KOOS QoL (คะแนน)	-3 (-5, -2)	0 (0, 0.50)	**0.022**	**0.61**
KOOS Total (คะแนน)	-19 (-25, -11)	-6 (-7.50, -4.50)	**0.041**	**0.56**

Note: สถิติทดสอบโดย Man-Whitney U Test; ตัวอักษรหนาแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$; Q1: เปอร์เซ็นไทล์ที่ 25; Q3: เปอร์เซ็นไทล์ที่ 75

จาก ตารางที่ 3 พบว่า ค่าการเปลี่ยนแปลง (Change score) ของอาการปวด ความเร็วการเดิน ความสามารถการเคลื่อนไหว และการทรงตัว ระหว่างกลุ่มไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ระหว่างกลุ่ม ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตาม กลุ่มคิเนซิโอเทปมีการเปลี่ยนแปลงของคะแนน Thai KOOS รวม ด้าน Symptoms และด้าน Quality of Life สูงกว่ากลุ่มปลอกรัดเข่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลทันทีและผลระยะสั้นของการติดคิเนซิโอเทปและการใช้ปลอกรัดเข่า ต่ออาการปวด ความสามารถการเดิน ความสามารถการเคลื่อนไหว การทรงตัว และคะแนน Thai KOOS ในผู้สูงอายุที่มีภาวะข้อเข่าเสื่อม ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มคิเนซิโอเทปมีการเปลี่ยนแปลงภายในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในหลายตัวแปร ได้แก่ ระดับความปวด ความเร็วการเดิน การเคลื่อนไหว และคะแนน Thai KOOS หลายมิติ ขณะที่กลุ่มปลอกรัดเข่าไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในตัวแปรใด อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลง (change score) ระหว่างสองกลุ่ม พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเฉพาะคะแนน Thai KOOS ด้าน Symptoms ด้าน Quality of Life และคะแนนรวม ส่วนตัวแปรด้านอาการปวด การเดิน การเคลื่อนไหว และการทรงตัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาหลายฉบับที่รายงานว่าคิเนซิโอเทปสามารถช่วยลดอาการปวด เพิ่มการทำหน้าที่ของข้อเข่า และเพิ่มคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยข้อเข่าเสื่อมได้ โดยกลไกสำคัญเชื่อว่าเกิดจากการกระตุ้นตัวรับความรู้สึกบริเวณผิวหนัง (cutaneous mechanoreceptors) ส่งผลให้การรับรู้ตำแหน่งของข้อ (proprioception) ดีขึ้น ลดแรงกดต่อเนื้อเยื่อที่ไวต่อความเจ็บปวด และช่วยส่งเสริมการควบคุมการทำงานร่วมกันของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ (neuromuscular control) จึงทำให้ผู้ป่วยสามารถเคลื่อนไหวข้อเข่าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลต่อการรับรู้สมรรถภาพการใช้งานของข้อเข่าและคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น [11-13, 17, 19, 21]

แม้ว่ากลุ่มคิเนซิโอเทปจะมีการเปลี่ยนแปลงภายในกลุ่มอย่างชัดเจน แต่การเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มกลับไม่พบความแตกต่างในผลลัพธ์ทางคลินิกส่วนใหญ่ ทั้งนี้อาจอธิบายได้จากหลายปัจจัย ประการแรก การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษานำร่องที่มีกลุ่มตัวอย่างเพียง 14 คน แบ่งเป็นกลุ่มละ 7 คน จึงมีอำนาจการทดสอบทางสถิติจำกัด และอาจทำให้ไม่สามารถตรวจพบความแตกต่างของผลลัพธ์บางตัวแปรระหว่างกลุ่มได้ โดยเฉพาะผลลัพธ์ด้านสมรรถภาพทางกาย ดังนั้น การไม่พบความแตกต่างทางสถิติจึงไม่ควรตีความว่าการรักษาทั้งสองวิธีให้ผลเทียบเท่ากัน ประการที่สอง แม้ว่าจะมีการสุ่มจัดสรรผู้เข้าร่วมการวิจัย แต่ค่าเริ่มต้นของการทดสอบ 10MWT และ TUG แตกต่างกันระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งอาจ

เกิดจากการสุ่มแบบง่ายร่วมกับการมีกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก ความไม่สมดุลของค่าเริ่มต้นดังกล่าวอาจส่งผลต่อการเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลงระหว่างกลุ่ม เนื่องจากระดับความสามารถก่อนการรักษาของผู้เข้าร่วมการวิจัยทั้งสองกลุ่มไม่เท่ากัน ดังนั้นผลการศึกษาครั้งนี้จึงควรตีความด้วยความระมัดระวัง และยังไม่สามารถสรุปได้ว่าคิเนซิโอเทปมีประสิทธิผลเหนือกว่าปลอกรัดเข่าในทุกด้าน

สำหรับกลุ่มปลอกรัดเข่า แม้ว่าจะไม่พบการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในการศึกษาครั้งนี้ แต่ไม่ได้หมายความว่าปลอกรัดเข่าไม่มีประโยชน์ เนื่องจากงานวิจัยก่อนหน้าหลายฉบับรายงานว่าปลอกรัดเข่าสามารถช่วยเพิ่มความมั่นคงของข้อ เพิ่มการรับรู้ตำแหน่งของข้อ และช่วยให้รูปแบบการเดินดีขึ้นในผู้ป่วยข้อเข่าเสื่อม โดยเฉพาะในระยะสั้น [15, 16, 18] ความแตกต่างระหว่างผลการศึกษาครั้งนี้กับงานวิจัยก่อนหน้าอาจเกิดจากชนิดของอุปกรณ์ ระยะเวลาการใช้งาน ความรุนแรงของโรค และลักษณะของกลุ่มตัวอย่างที่แตกต่างกัน

อีกประเด็นที่น่าสนใจคือ แม้ว่าคะแนนด้านสมรรถภาพทางกาย เช่น ความเร็วการเดิน การทรงตัว และความสามารถการเคลื่อนไหว จะไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่ม แต่กลุ่มคิเนซิโอเทปกลับมีการเปลี่ยนแปลงของคะแนน Thai KOOS ด้าน Symptoms ด้าน Quality of Life และคะแนนรวมมากกว่ากลุ่มปลอกรัดเข่า สะท้อนให้เห็นว่าคิเนซิโอเทปอาจส่งผลต่อผลลัพธ์ที่สะท้อนถึงการรับรู้อาการด้วยตนเอง (patient-reported outcomes) ได้มากกว่าผลลัพธ์ด้านสมรรถภาพทางกาย ซึ่งเป็นประเด็นที่ควรได้รับการศึกษาต่อในกลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และติดตามผลในระยะยาวเพื่อยืนยันผลลัพธ์ทางคลินิกต่อไป

เมื่อพิจารณาค่าขนาดอิทธิพล (effect size) พบว่าตัวแปรหลายตัวในกลุ่มคิเนซิโอเทปมีค่าขนาดอิทธิพลในระดับปานกลางถึงสูง แม้ว่าบางตัวแปรจะไม่ถึงระดับนัยสำคัญทางสถิติก็ตาม แสดงให้เห็นว่าคิเนซิโอเทปอาจก่อให้เกิดความแตกต่างที่มีความสำคัญทางคลินิก (clinical significance) อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งนี้ยังมีข้อจำกัดด้านขนาดกลุ่มตัวอย่าง ดังนั้นการศึกษาครั้งต่อไปควรใช้กลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและมีการคำนวณขนาดตัวอย่างอย่างเหมาะสม เพื่อเพิ่มอำนาจการทดสอบทางสถิติ รวมทั้งควรพิจารณาใช้การสุ่มแบบ block randomization หรือ stratified randomization โดยอาศัยระดับความสามารถในการเดินหรือการเคลื่อนไหวเริ่มต้นเป็นตัวแปรในการจัดสรรกลุ่ม เพื่อเพิ่มความสมดุลของคุณลักษณะพื้นฐานของผู้เข้าร่วมการวิจัยและลดความเสี่ยงของความเอนเอียงในการเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างกลุ่ม และเพิ่มระยะเวลาการติดตามผลเพื่อยืนยันประสิทธิผลของการรักษาในระยะยาว

4. บทสรุป

การศึกษานำร่องครั้งนี้พบว่า ค่าการเปลี่ยนแปลงของอาการปวด การเดิน ความสามารถในการเคลื่อนไหว และการทรงตัวของกลุ่มคิเนซิโอเทปและกลุ่มปลอกรัดเข่าไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 อย่างไรก็ตาม กลุ่มคิเนซิโอเทปมีขนาดการเปลี่ยนแปลงของคะแนน Thai KOOS ด้านอาการ (Symptoms) และด้านคุณภาพชีวิต (Quality of Life) มากกว่ากลุ่มปลอกรัดเข่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ผลการศึกษาจึงชี้ให้เห็นว่าคิเนซิโอเทปอาจมีประโยชน์มากกว่าปลอกรัดเข่าในด้านการรับรู้อาการและคุณภาพชีวิตของผู้ป่วย แต่ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าคิเนซิโอเทปมีประสิทธิผลเหนือกว่าปลอกรัดเข่าในผลลัพธ์ทางคลินิกโดยรวม จึงควรมีการศึกษาที่ใช้กลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ขึ้นและมีระยะเวลาติดตามผลยาวนานขึ้นเพื่อยืนยันผลการศึกษาต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณโรงพยาบาลแหลมฉบัง หัวหน้ากลุ่มงานเวชกรรมฟื้นฟู และเพื่อนร่วมงานทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์อำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัย รวมทั้งขอขอบพระคุณผู้เข้าร่วมการวิจัยทุกท่านที่สละเวลาและให้ความร่วมมือเป็นอย่างดียิ่ง

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Oliveira, S., Andrade, R., Valente, C., Espregueira-Mendes, J., Silva, F. & Hinckel, B. B. (2022). Mechanical-based therapies may reduce pain and disability in some patients with knee osteoarthritis: A systematic review with meta-analysis. *Knee*, 37, 28-46. doi.org/10.1016/j.knee.2022.05.005

[2] Cui, A., Li, H., Wang, D., Zhong, J., Chen, Y. & Lu, H. (2020), Global, regional prevalence, incidence and risk factors of knee osteoarthritis in population-based studies. *EClinicalMedicine*, 100587, 29-30. doi.org/10.1016/j.eclinm.2020.100587

[3] Zamri, N. A. A., Harith, S., Yusoff, N. M. A., Hassan, N. M. & Ong, Y. Q. (2019). Prevalence, risk factors and primary prevention of osteoarthritis in asia: A scoping review. *Elder Health J*, 5(1), 19-31. doi.org/10.18502/ehj.v5i1.1196

[4] Vanitcharoenkul, E., Adulkasem, N., Unnanuntana, A. & Chotiyarnwong, P. (2026). Symptomatic knee osteoarthritis in older Thai adults: prevalence, risk factors, and associations with osteoporosis, sarcopenia, and fall risk-a nationwide cross-sectional study. *BMC Public Health*. 26(1). doi.org/10.1186/s12889-026-27158-x

[5] Luksameesate, P., Tanavalee, A. & Taychakhoonavudh, S. (2022). An economic evaluation of knee osteoarthritis treatments in Thailand. *Front Pharmacol*, 926431, 13. doi.org/ 10.3389/fphar.2022.926431

[6] Ozcan, S. & Yurten, H. (2023). Difficulties experienced by patients with knee osteoarthritis during the conservative treatment process: A qualitative study. *J Clin Med*, 12(20). doi.org/10.3390/jcm12206523

[7] Sinatti, P., Sanchez Romero, E. A., Martinez-Pozas, O. & Villafane, J. H. (2022). Effects of patient education on pain and function and its impact on conservative treatment in elderly patients with pain related to hip and knee osteoarthritis: a systematic review. *Int J Environ Res Public Health*, 19(10). doi.org/10.3390/ijerph19106194.

[8] Katana, B., Mujezinović, A., Kojić, S., Stanišić, B., Bajrović, J. & Míková, M. (2023). Comparative analysis of different physical therapy programs in the treatment of people with knee osteoarthritis. *J Health Sci,* 13(2), 69-76. doi.org/10.17532/jhsci.2023.2133

[9] Pinheiro, Y. T., Silva, R. L. E., Silva, H. J. A., Araujo, T. A. B., Silva, R. S. & Souza, M. C. (2021). Does current evidence support the use of kinesiology taping in people with knee osteoarthritis? *J Explore*, 17(6), 574-7. doi.org/10.1016/j.explore.2020.08.001

[10] Elkady, S. M., Abd Elrazik, R. K., AbdelMonem, A. F., Elhamrawy, M. Y., Mashaal, A. & Atef, D. (2023). Effects of kinesiotape versus soft brace on selected parameters in patients with knee osteoarthritis. *Adv Rehab,* 37(3), 1-8. doi.org/10.5114/areh.2023.130899.

[11] Pinheiro, Y. T., Barbosa, G. M., Fialho, H. R. F., Silva, C. A. M., Anunciacao, J. O. & Silva, H. J. A. (2020). Does tension applied in kinesio taping affect pain or function in older women with knee osteoarthritis? A randomised controlled trial. *BMJ Open*, 10(12), e041121. doi.org/10.1136/bmjopen-2020-041121

[12] Baykal, T., Kofkeci, M. N., Celik, G. A., Erdemir, E. & Soyupek, F. (2023). Acute effect of kinesiotaping on pain, balance and gait performance in patients with knee osteoarthritis: A randomized controlled study. *J Back Musculoskelet Rehabil*, 36(4), 969-77. doi.org/10.3233/BMR-220357

[13] Mohamed, S. H. P. & Alatawi, S. F. (2023). Effectiveness of kinesio taping and conventional physical therapy in the management of knee osteoarthritis: A randomized clinical trial. *Ir J Med Sci,* 192(5), 2223-33. doi.org/10.1007/s11845-022-03247-9

[14] Kavitha, K. & Kotteeswaran, K. (2024). The effectiveness of kinesio-taping and muscle energy technique versus knee strengthening exercises on pain and function in subjects with osteoarthritis of the knee. *Indian J Physiother Occup Ther*, 18(Special issue), 32-7. doi.org/10.37506/cqwwkx59

[15] Bennell, K., Hinman, R. S., Wrigley, T. V., Creaby, M. W. & Hodges, P. (2011). Exercise and osteoarthritis: cause and effects. *Compr Physiol*, 1(4), 1943-2008. doi.org/10.1002/cphy.c100057

[16] Schween, R., Gehring, D. & Gollhofer, A. (2015). Immediate effects of an elastic knee sleeve on frontal plane gait biomechanics in knee osteoarthritis. *PLoS One,* 10(1), e0115782. doi.org/10.1371/journal.pone.0115782

[17] Mao, H. Y., Hu, M. T., Yen, Y. Y., Lan, S. J. & Lee, S. D. (2021). Kinesio taping relieves pain and improves isokinetic not isometric muscle strength in patients with knee osteoarthritis-a systematic review and meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health,* 18(19). doi.org/10.3390/ijerph181910440

[18] Elphingstone, J. W., Paul, K. D., Girardi, A., Simmons, C. S., Casp, A. J. & Brabston, E. W. (2022). Bioactive knee sleeve for osteoarthritis: A small cohort study. *South Med J*, 115(10), 773-9. doi.org/10.14423/SMJ.0000000000001454

[19] Vidyarthi, A. & Gupta, A. (2023). A prospective study to evaluate effectiveness of kinesio taping in non-traumatic chronic knee pain. *Int J of Adv Res*, 11(Apr), 706-14. doi.org/10.21474/IJAR01/16717

[20] Mahmoud, W. (2023). Effect of kinesio taping and exercise on functional impairment in patients with different degrees of knee osteoarthritis. *Isokinetics and Exercise Science*, 32, 1-11. doi.org/10.3233/IES-230028

[21] Inai, T., Kudo, S., Tsuchida, W. & Fujimoto, M. (2024). Knee sleeves improve gait symmetry during fast walking in older adults. *Front Bioeng Biotechnol*, 1394314, 12. doi.org/10.3389/fbioe.2024.1394314

[22] Cohen, J. (1988). Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd Ed). L. Erlbaum Associates, Hillsdale.

[23] Fritz, C. O., Morris, P. E. & Richler, J. J. (2012). Effect size estimates: current use, calculations, and interpretation. *J Exp Psychol Gen,* 141(1), 2-18. doi.org/10.1037/a0024338

การเปรียบเทียบการสกัดกิ่งหม่อน (*Morus alba* L.) ด้วยน้ำและเอทานอล ต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

Comparative Evaluation of Water and Ethanol Extracts of Mulberry Branch (*Morus alba* L.) for Phenolic Content and Antioxidant Capacity

ตะวัน ภูมิพิชัย[1] สุพาพร จันคีรี[1] และ อนงค์ ศรีโสภา[1*]

[1]สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
*E-mail: anongsrisopa@psru.ac.th

บทคัดย่อ

กิ่งหม่อน (*Morus alba* L.) เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีศักยภาพเป็นแหล่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพและสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ แม้กิ่งหม่อนจะเป็นวัสดุเหลือใช้ที่มีศักยภาพแต่ยังขาดข้อมูลเกี่ยวกับสภาวะการสกัดที่เหมาะสม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำและเอทานอลโดยนำกิ่งหม่อนมาอบแห้งและสกัดด้วยวิธีรีฟลักซ์โดยใช้น้ำและเอทานอลความเข้มข้น 30, 50 และ 70 เปอร์เซ็นต์ วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (TPC) และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH, ABTS และ Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) การทดลองดำเนินการ 5 ซ้ำ (n = 5) ผลการศึกษาพบว่าเอทานอลร้อยละ 50 ให้ร้อยละผลผลิตการสกัด (3.42 ± 0.20%) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (2.85 ± 0.06 mg GAE/g DW) และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากการทดสอบ DPPH (35.22 ± 1.05%), ABTS (99.56 ± 2.10%) และ FRAP (88.47 ± 2.32 mg/L) สูงสุดเชิงตัวเลข แสดงให้ เห็นว่าเอทานอลร้อยละ 50 เป็นระบบตัวทำละลายที่เหมาะสมภายใต้สภาวะการศึกษานี้ สำหรับการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากกิ่งหม่อนภายใต้สภาวะการศึกษานี้ และกิ่งหม่อนมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นวัตถุดิบธรรมชาติสำหรับผลิตภัณฑ์สุขภาพ เครื่องสำอาง และอาหารเสริม

คำสำคัญ: กิ่งหม่อน สารประกอบฟีนอลิก ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ABTS FRAP

Abstract

Mulberry branches (*Morus alba* L.) are an agricultural by-product with the potential to serve as a source of bioactive compounds and natural antioxidants. Despite this potential, information on the optimal extraction conditions remains limited. This study aimed to compare the extraction efficiency of water and ethanol. Dried mulberry branches were extracted using the reflux method with water and ethanol at concentrations of 30%, 50%, and 70%. Total phenolic content (TPC) and antioxidant activities were determined using the DPPH, ABTS, and Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) assays. All experiments were conducted in five replicates (n = 5). The results showed that 50% ethanol yielded the highest numerical values for extraction yield (3.42 ± 0.20%), total phenolic content (2.85 ± 0.06 mg GAE/g DW), and antioxidant activities determined by the DPPH (35.22 ± 1.05%), ABTS (99.56 ± 2.10%), and FRAP (88.47 ± 2.32 mg/L) assays. These findings indicate that 50% ethanol was the most suitable solvent system under the conditions investigated for extracting bioactive compounds from mulberry branches. Furthermore, mulberry branches have the potential to be developed as a natural raw material for health products, cosmetics, and dietary supplements.

Keywords: Mulberry branch, Phenolic compound, Antioxidant activity, DPPH, ABTS, FRAP

1. บทนำ

หม่อน (*Morus alba* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญทั้งในด้านการเกษตร อุตสาหกรรมการเลี้ยงไหม และการแพทย์แผนดั้งเดิม โดยทุกส่วนของพืช ได้แก่ ใบ ผล ราก เปลือกราก และกิ่ง สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ เนื่องจากอุดมไปด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายกลุ่ม เช่น สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ สติลบีน และคูมาริน ซึ่งมีรายงานว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบ ต้านจุลชีพ และอาจช่วยลดความเสี่ยงของโรคไม่ติดต่อเรื้อรังหลายชนิด [1] ดังนั้น หม่อนจึงได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่องในฐานะแหล่งวัตถุดิบธรรมชาติสำหรับผลิตภัณฑ์สุขภาพ เครื่องสำอาง และอาหารเสริม

แม้ว่าจะมีการศึกษาสารออกฤทธิ์จากใบและผลหม่อนอย่างแพร่หลาย [2] แต่การศึกษากิ่งหม่อนยังมีจำกัด ทั้งที่กิ่งหม่อนเป็นวัสดุเหลือใช้จากการตัดแต่งกิ่งและมีรายงานว่ามีสารประกอบฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด จึงมีศักยภาพในการเพิ่มมูลค่าให้กับชีวมวลทางการเกษตรและสนับสนุนการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน

ประสิทธิภาพของการสกัดสารออกฤทธิ์ขึ้นอยู่กับชนิดและความเป็นขั้วของตัวทำละลายเนื่องจากสารประกอบแต่ละกลุ่มมีคุณสมบัติการละลายแตกต่างกัน โดยระบบตัวทำละลายเอทานอล–น้ำได้รับความนิยม เนื่องจากสามารถปรับความเป็นขั้วได้ มีความปลอดภัย และเหมาะสำหรับการสกัดสารจากพืช [3] นอกจากนี้ มีรายงานว่าความเข้มข้นของเอทานอลส่งผลต่อประสิทธิภาพการสกัดสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากหม่อน [4] อย่างไรก็ตาม ยังมีรายงานจำกัดที่เปรียบเทียบผลของน้ำและเอทานอลหลายระดับความเข้มข้นต่อประสิทธิภาพการสกัดสารจากกิ่งหม่อน โดยประเมินทั้งร้อยละผลผลิต ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH, ABTS และ FRAP

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเปรียบเทียบผลของระบบตัวทำละลายน้ำและเอทานอลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ โดยประเมินร้อยละผลผลิต ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหม่อน เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการเลือกสภาวะการสกัดที่เหมาะสมในการศึกษาต่อยอด

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อเปรียบเทียบร้อยละผลผลิตของสารสกัดกิ่งหม่อน (*Morus alba* L.) ที่สกัดด้วยน้ำและเอทานอลความเข้มข้นต่าง ๆ

2) เพื่อเปรียบเทียบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดกิ่งหม่อนที่สกัดด้วยน้ำและเอทานอลความเข้มข้นต่าง ๆ

3) เพื่อประเมินและเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดกิ่งหม่อนด้วยวิธี DPPH , FRAP และ ABTS

4) เพื่อคัดเลือกระบบตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากกิ่งหม่อน เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาวัตถุดิบธรรมชาติสำหรับผลิตภัณฑ์สุขภาพ เครื่องสำอาง และอาหารเสริม

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หม่อน (*Morus alba* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจและพืชสมุนไพรที่สำคัญ โดยทุกส่วนของพืช ได้แก่ กิ่ง ใบ ราก เปลือก และผล อุดมด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายกลุ่ม เช่น อัลคาลอยด์ ฟลาโวนอยด์ แอนโทไซยานิน กรดฟีนอลิก และโพลีแซ็กคาไรด์ ซึ่งมีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาหลายประการ ได้แก่ ต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบ ต้านจุลชีพ ลดระดับน้ำตาลและไขมันในเลือด รวมถึงเสริมสร้างภูมิคุ้มกัน [5]

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สามารถบริจาคอิเล็กตรอนหรืออะตอมไฮโดรเจนเพื่อลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงนิยมใช้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (Total Phenolic Content; TPC) เป็นตัวบ่งชี้ศักยภาพของสารสกัดจากพืช เนื่องจากมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ [6, 7] โดยการวิเคราะห์ TPC ด้วยวิธี Folin–Ciocalteu เป็นวิธีมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับและนิยมใช้ร่วมกับการประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ [8]

การประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระนิยมใช้หลายวิธีร่วมกัน เนื่องจากแต่ละวิธีอาศัยหลักการที่แตกต่างกัน โดยวิธี DPPH ใช้วัดความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระผ่านการบริจาคอิเล็กตรอนหรืออะตอมไฮโดรเจน ส่วนวิธี Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) ใช้วัดความสามารถในการรีดิวซ์ Fe^{3+} เป็น Fe^{2+} ดังนั้นการใช้ทั้งสองวิธีร่วมกันจึงช่วยประเมินศักยภาพของสารสกัดได้ครอบคลุมมากขึ้น [9]

เอทานอลเป็นตัวทำละลายที่นิยมใช้ในการสกัดสารออกฤทธิ์จากพืช เนื่องจากมีความปลอดภัยและสามารถปรับความเป็นขั้วได้ การใช้เอทานอลร่วมกับน้ำช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดสารประกอบฟีนอลิกและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเมื่อเทียบกับการใช้ตัวทำละลายเพียงชนิดเดียว [10]

การศึกษาก่อนหน้ารายงานว่ากิ่งหม่อนเป็นแหล่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ โดยสารสกัดเอทานอลจากเปลือกกิ่งหม่อน (*Morus alba* L. branch bark) ประกอบด้วยสารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และพอลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ได้ดี [11] นอกจากนี้ ความเข้มข้นของเอทานอลยังส่งผลต่อองค์ประกอบของสารสกัดจากกิ่งหม่อน โดยมีรายงานว่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเอทานอลทำให้ปริมาณสารสำคัญและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดแตกต่างกัน [12] ขณะที่การใช้เทคนิค Ultrasound-assisted Extraction (UAE) ร่วมกับเอทานอลหรือตัวทำละลายชนิด Natural Deep Eutectic Solvents (NADES) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของหม่อนได้ [13, 14]

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยส่วนใหญ่ยังมุ่งศึกษาการสกัดจากส่วนต่าง ๆ ของหม่อนด้วยตัวทำละลายเพียงความเข้มข้นเดียว หรือมุ่งวิเคราะห์สารออกฤทธิ์เฉพาะกลุ่ม ขณะที่การเปรียบเทียบผลของน้ำและเอทานอลหลายระดับความเข้มข้น (0, 30, 50 และ 70%) ต่อร้อยละผลผลิตการสกัด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH, ABTS และ FRAP ในกิ่งหม่อนภายใต้สภาวะการสกัดเดียวกันยังมีรายงานจำกัด จึงเป็นที่มาของการศึกษาครั้งนี้

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 การเก็บและเตรียมตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างกิ่งหม่อน (*Morus alba* L.) (ภาพที่ 1) จากสวนหม่อนของบริษัท อลิซ มัลเบอร์รี่จำกัด ตำบลดงมูลเหล็ก จังหวัดเพชรบูรณ์ เดือนกรกฎาคม 2568 ต้นหม่อนอายุอยู่ในช่วง 4–5 ปี จากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำสะอาดและสับเป็นชิ้นขนาดประมาณ 1–2 เซนติเมตร จากนั้นนำไปอบแห้งไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียล 6-8 ชั่วโมง หรือจนมีมวลคงที่ แล้วบดละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 20 mesh ชั่งตัวอย่างแห้ง 5 กรัม ใส่ขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร เติมตัวทำละลายน้ำและเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 30, 50 และ 70 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วสกัดด้วยวิธีรีฟลักซ์ที่อุณหภูมิจุดเดือดของตัวทำละลายแต่ละความเข้มข้น เป็นเวลา 3 ชั่วโมง (85–100 องศาเซลเซียส) หลังจากนั้นกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No. 1 ล้างกากตัวอย่างและปรับปริมาตรสารสกัดเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยตัวทำละลายชนิดเดียวกัน สารสกัดส่วนหนึ่งถูกเก็บในขวดพลาสติกขนาด 120 มิลลิลิตรและเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปวิเคราะห์ ส่วนหนึ่งนำไประเหยตัวทำละลายด้วยเครื่อง Rotary evaporator (BÜCHI Rotavapor® R-300, Switzerland) ระเหยภายใต้ความดันต่ำจนได้สารสกัดเข้มข้น ทำให้แห้งจนมีมวลคงที่ และชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณร้อยละผลผลิตการสกัด (% Extraction Yield)

ร้อยละผลผลิตการสกัด (% Extraction Yield) คำนวณจากอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักสารสกัดแห้งที่ได้หลังการกำจัดตัวทำละลายจนมีมวลคงที่ต่อน้ำหนักตัวอย่างแห้งเริ่มต้น ตามสมการ

$$\%\text{Extraction Yield} = \left[\frac{\text{น้ำหนักสารสกัดแห้ง (g)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งเริ่มต้น (g)}}\right] \times 100$$

ภาพที่ 1 ตัวอย่างกิ่งหม่อน (ซ้าย) และ กิ่งหม่อนปั่นละเอียด (ขวา)

4.2 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม

หาปริมาณฟีนอลิกรวม ใช้วิธี Folin-Ciocalteu และอ่านสัญญาณด้วยเครื่อง Microplate reader (Biochrom EZ Read 2000, UK) โดยเตรียมสารมาตรฐาน Gallic acid ที่ความเข้มข้น 3.90, 7.81, 15.62, 31.25, 62.50, 125 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำกลั่น

ปิเปตสารตัวอย่าง 20 ไมโครลิตร ผสมกับ Folin-Ciocalteu reagent ความเข้มข้น 10% (v/v) ปริมาตร 100 ไมโครลิตร และเติมสารละลาย โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 7% w/v ปริมาตร 80 ไมโครลิตร ในไมโครเวลเพลต ทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร เทียบกับแบลงค์ โดยทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงซ้ำ 5 ครั้ง จากนั้นหาปริมาณฟีนอลิกรวมในสารสกัด เปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับกราฟมาตรฐานซึ่งเตรียมจากสารละลาย Gallic acid

4.3 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยใช้วิธี DPPH Radical Scavenging Activity (DPPH assay)

เตรียมสารละลาย 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ความเข้มข้น 300 ไมโครโมลาร์ โดยชั่ง DPPH 0.006 กรัม ละลายและปรับปริมาตรด้วยเอทานอล ให้ได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร เก็บไว้ในที่มืด

ปิเปตสารสกัดกิ่งหม่อน ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ผสมเอทานอล 80 ไมโครลิตร และ DPPH เข้มข้น 300 ไมโครโมลาร์ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ลงในไมโครเวลเพลต ทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microplate reader ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงซ้ำ 5 ครั้งเพื่อหาสารต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่าง สารสกัดกิ่งหม่อน โดยใช้น้ำ (Deionized Water) เป็น Sample blank ทำการคำนวณเปอร์เซ็นต์การกำจัดอนุมูล DPPH จากสมการ

$$\% \text{ Inhibition} = \left[\frac{A_{control} - A_{sample}}{A_{control}}\right] \times 100$$

โดยที่

$A_{control}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ที่ไม่เติมสารสกัดกิ่งหม่อน
A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH เมื่อเติมสารสกัดกิ่งหม่อน

4.4 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ วิธี ABTS Radical cation decolorization assay (ABTS assay)

วิเคราะห์ศักยภาพการกำจัดอนุมูลอิสระโดยวิธี ABTS เตรียมอนุมูล $ABTS^{\bullet+}$ ได้จากสารละลาย ABTS 7.0 มิลลิโมลาร์ โดยชั่ง ABTS 0.192 กรัม ในน้ำ (Deionized Water) 50 มิลลิลิตร และโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ($K_2S_2O_8$) 2.5 มิลลิโมลาร์ ซึ่งเตรียมโดยละลาย $K_2S_2O_8$ 0.0338 กรัม ในน้ำ (Deionized Water) 50 มิลลิลิตร ในอัตราส่วน 1:1 (v/v) จากนั้นเก็บสารละลายในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12–16 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดอนุมูลอิสระ $ABTS^{\bullet+}$ ก่อนนำไปใช้ในการทดสอบต้องเจือจางความเข้มข้นด้วยน้ำให้เท่ากับ 0.70 ± 0.02

ปิเปตสารสกัดกิ่งหม่อนปริมาตร 20 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลาย $ABTS^{\bullet+}$ ปริมาตร 180 ไมโครลิตร ลงในไมโครเวลเพลต บ่มในที่มืดเป็นเวลา 6 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microplate reader ทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง 5 ซ้ำ (n = 5) โดยใช้น้ำปราศจากไอออนแทนสารสกัดเป็น Blank และคำนวณร้อยละการกำจัดอนุมูลอิสระ ABTS จากสมการ

$$\% \text{ Inhibition} = \left[\frac{A_{control} - A_{sample}}{A_{control}}\right] \times 100$$

โดยที่

$A_{control}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย $ABTS^{\bullet+}$ที่ไม่เติมสารสกัดตัวอย่าง
A_{sample} คือ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย $ABTS^{\bullet+}$ที่เติมสารสกัดกิ่งหม่อน

4.5 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากกิ่งหม่อน โดยใช้วิธี Ferric Reducing Antioxidant Power assay (FRAP assay)

เตรียม Acetate buffer (pH 3.6) 300 มิลลิโมลาร์ โดยชั่งสารมาตรฐาน Sodium acetate 3-hydrate 24.6 กรัม นำไปละลายในน้ำกลั่นปรับปริมาตร pH ด้วย acetic acid ให้ได้มี pH เท่ากับ 3.6

เตรียม Ferric chloride solution 20 มิลลิโมลาร์ โดยชั่งสารมาตรฐาน Ferric chloride 30 มิลลิกรัมนำไปละลายและปรับปริมาตร ด้วยน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร

เตรียม TPTZ (2,4,6-Tris(2-pyridyl)-1,3,5-triazine)) solution 10 มิลลิโมลาร์ โดยชั่งสารมาตรฐาน TPTZ (2,4,6-Tris(2-pyridyl)-1,3,5-triazine) 31.2 มิลลิกรัม นำไปละลายใน HCl 40 มิลลิโมลาร์

เตรียม Ferric reducing antioxidant reagent (FRAP reagent) โดยนำสารละลาย 300 มิลลิโมลาร์ acetate buffer (pH 3.6) ผสมกับ Ferric chloride solution 20 มิลลิโมลาร์ และ TPTZ solution 10 มิลลิโมลาร์ ในอัตราส่วน 10:1:1 ตามลำดับ แล้วเก็บสารละลายในที่ปราศจากแสง

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่าง โดยใช้วิธี FRAP นำสารละลายตัวอย่าง 20 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลาย FRAP reagent 180 ไมโครลิตร ลงใน 96 wells plate ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 6 นาที ในที่มืดนำไปอ่านผลด้วยเครื่อง Microplate reader ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร ทำการวัดตัวอย่างซ้ำ 5 ครั้ง และคำนวณ Ferric reducing antioxidant power เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน $FeSO_4$ ความเข้มข้น 10, 20, 40, 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร การคำนวณโดยใช้สมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน

4.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ทดสอบค่าเฉลี่ยด้วย One-Way ANOVA (Microsoft Excel , 2024) และ Fisher's Least Significant Difference (LSD) ณ ระดับความ เชื่อมั่นที่ 95%

5. ผลการทดลอง

การสกัดตัวอย่าง กิ่งหม่อนด้วยตัวทำละลายเอทานอล 0, 30, 50 และ 70 เปอร์เซ็นต์ พบว่าส่วนกิ่งหม่อนที่ตัวทำละลายเอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ผลผลิต (% yield) สูงที่สุด (3.42%) รองลงมาคือ กิ่งหม่อนที่ตัวทำละลายเอทานอล 30 เปอร์เซ็นต์ (3.05%) กิ่งหม่อนที่ตัวทำละลายเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ (2.65%) และกิ่งหม่อนที่ตัวทำน้ำ (2.14 %) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าส่วนกิ่งหม่อนที่ตัวทำละลายเอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์มีปริมาณสารที่ละลายได้ในตัวทำละลายมากที่สุด สีและลักษณะสารสกัดแสดงดังภาพที่ 2

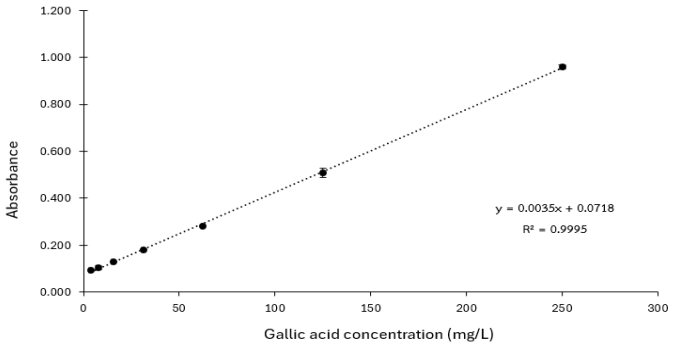
ตารางที่ 1 ตารางแสดงค่าผลร้อยละการผลิตของสารสกัดกิ่งหม่อน (n=5)

ตัวอย่าง	% yield
น้ำ	2.14 ± 0.18
กิ่งหม่อนเอทานอล 30 เปอร์เซ็นต์	3.05 ± 0.01
กิ่งหม่อนเอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์	3.42 ± 0.20
กิ่งหม่อนเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์	2.65 ± 0.07

สกัดด้วยน้ำ 30 % เอทานอล 50 % เอทานอล 70 % เอทานอล

ภาพที่ 2 ลักษณะสารสกัดกิ่งหม่อนด้วยน้ำและเอทานอล

การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ทำการศึกษาปริมาณฟีนอลิกรวมของสารสกัด กิ่งหม่อน เทียบกับสารละลายมาตรฐาน ของ Gallic acid ที่ความเข้มข้น 3.90, 7.81, 15.62, 31.25, 62.50, 125 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 3)

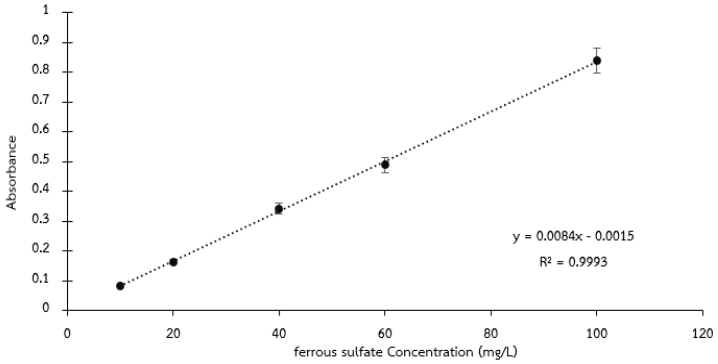


ภาพที่ 3 กราฟมาตรฐานของ Gallic acid สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวมของสารสกัดกิ่งหม่อน

ผลการศึกษาพบว่าในส่วนของกิ่งหม่อนที่ตัวทำละลายเอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณฟีนอลิกรวมสูงที่สุด 2.85 mg GAE/g DW รองลงมาได้แก่ กิ่งหม่อนที่ตัวทำละลายเอทานอล 30 เปอร์เซ็นต์ (2.77 mg GAE/g DW) กิ่งหม่อนที่ตัวทำละลายเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ (2.55 mg GAE/g DW) และ กิ่งหม่อนที่ตัวทำละลายน้ำ (1.40 mg GAE/g DW) ดังแสดงในตารางที่ 2

การศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี ABTS (radical cation decolorization assay) พบว่าในตัวทำละลายเอทานอลที่มีความเข้มข้น 50 เปอรเซ็นต์ มีปริมาณการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดที่ 99.56 เปอร์เซ็นต์รองลงมาเป็นตัวทำละลายเอทานอลความเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ (96.59%) ตัวทำละลายเอทานอลความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ (87.48%) และตัวทำละลายน้ำ (76.22%)

การศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP ซึ่งเป็นการวัดความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระและรีดิวซ์ไอออนเฟอร์ริกตามลำดับ พบว่ากิ่งหม่อนที่ตัวทำละลายเอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์แสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุดจาก DPPH 35.22 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ กิ่งหม่อนที่ตัวทำละลายเอทานอล 30 เปอร์เซ็นต์ (34.06%) กิ่งหม่อนที่ตัวทำละลายเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ (25.94%) และ กิ่งหม่อนที่ตัวทำละลายน้ำ (24.15%)



ภาพที่ 4 กราฟมาตรฐานของ Ferrous sulfate สำหรับการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของสารสกัดกิ่งหม่อน

ค่าความสามารถในการรีดิวซ์ Fe^{3+} เป็น Fe^{2+} จากวิธี FRAP คำนวณเทียบกับกราฟมาตรฐานของ Ferrous sulfate (n=5) พบว่ากิ่งหม่อนที่ตัวทำละลายเอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์มีค่ามากที่สุด (88.47 mg/L) รองลงมาคือกิ่งหม่อนที่ตัวทำละลายเอทานอล 30 เปอร์เซ็นต์ (84.74mg/L) กิ่งหม่อนที่ตัวทำละลายเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ (79.94 mg/L) และกิ่งหม่อนตัวทำละลายน้ำ (67.28 mg/L) รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดกิ่งหม่อน (n=5)

ตัวทำละลาย	TPC (mgGAE/gDW)	DPPH (% Inhibition)	ABTS (% Inhibition)	FRAP (mg/L)
น้ำ	1.40 ± 0.11^{a}	24.15 ± 1.45^{a}	76.22 ± 0.03^{a}	67.28 ± 1.32^{a}
เอทานอล 30 เปอร์เซ็นต์	$2.77 \pm 0.29^{b,c}$	34.06 ± 0.52^{b}	96.59 ± 2.44^{b}	$84.74 \pm 2.57^{b,c}$
เอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์	$2.85 \pm 0.06^{b,c}$	35.22 ± 1.05^{b}	99.56 ± 2.10^{c}	88.47 ± 2.32^{c}
เอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์	$2.55 \pm 0.14^{b,d}$	25.94 ± 2.42^{a}	87.48 ± 5.19^{d}	79.94 ± 0.08^{b}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยของ TPC, DPPH, ABTS และ FRAP ที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$

6. อภิปรายและสรุปผล

ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของเอทานอลมีผลต่อประสิทธิภาพในการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากกิ่งหม่อน โดยการสกัดด้วยเอทานอล 30–50 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลการสกัดโดยรวมอยู่ในระดับสูง ทั้งในด้านร้อยละผลผลิตการสกัด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เอทานอลในช่วงความเข้มข้น 30–50 เปอร์เซ็นต์มีความเป็นขั้วที่เหมาะสมต่อการละลายสารประกอบฟีนอลิกและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายกลุ่ม รวมทั้งสารต้านอนุมูลอิสระ ส่งผลให้สามารถสกัดสารสำคัญออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพ เหมาะสมต่อการละลายสารออกฤทธิ์หลายกลุ่ม รวมทั้งสารประกอบฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระ โดยร้อยละผลผลิตการสกัดอยู่ในช่วง 3.05 ± 0.01 ถึง 3.42 ± 0.20 เปอร์เซ็นต์ ภายใต้สภาวะการทดลองนี้ ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ [3, 15] ที่รายงานว่าการใช้ตัวทำละลายเอทานอลผสมน้ำสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากพืชได้ดีกว่าการใช้เอทานอลหรือน้ำเพียงชนิดเดียว

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (TPC) พบว่า การสกัดด้วยเอทานอล 30-50 เปอร์เซ็นต์ ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมอยู่ในช่วง 2.77 ± 0.29 ถึง 2.85 ± 0.06 mg GAE/g DW แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของเอทานอลในช่วงดังกล่าวมีความเหมาะสมต่อการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากกิ่งหม่อน เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่มีความเป็นขั้วปานกลางและละลายได้ดีในระบบตัวทำละลายเอทานอล–น้ำ ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ [13] ที่รายงานว่าความเข้มข้นของเอทานอลเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้จากพืช และสอดคล้องกับ [12] ที่พบว่าการใช้เอทานอลความเข้มข้นปานกลางสามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระจากหม่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH พบว่าการสกัดด้วยเอทานอล 30–50 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าการกำจัดอนุมูลอิสระอยู่ในช่วง 34.06 ± 0.52 ถึง 35.22 ± 1.05 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมที่ตรวจพบ เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกสามารถบริจาคอิเล็กตรอนหรืออะตอมไฮโดรเจนเพื่อลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลการทดสอบด้วยวิธี ABTS พบว่า การสกัดด้วยเอทานอล 30–50 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าการกำจัดอนุมูลอิสระอยู่ในช่วง 96.59 ± 2.44 ถึง 99.56 ± 2.10 เปอร์เซ็นต์แสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากช่วงความเข้มข้นดังกล่าวมีศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ [7] ที่ระบุว่าสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ในหม่อนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของสารสกัด

สำหรับการประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) พบว่าการสกัดด้วยเอทานอล 30–50 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าความสามารถในการรีดิวซ์อยู่ในช่วง 84.74 ± 2.57 ถึง 88.47 ± 2.32 mg/L โดยแนวโน้มของผลการทดสอบสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH และ ABTS สะท้อนให้เห็นว่าสารประกอบฟีนอลิกและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สกัดได้มีบทบาทสำคัญต่อศักยภาพการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ [4, 9] ที่แนะนำให้ใช้การทดสอบหลายวิธีร่วมกันเพื่อประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากพืชให้ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น

โดยสรุปการสกัดด้วยเอทานอล 30–50 เปอร์เซ็นต์ให้ผลการสกัดโดยรวมอยู่ในระดับสูงในทุกการทดสอบทั้งในด้านร้อยละผลผลิตการสกัด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากการทดสอบ DPPH, ABTS และ FRAP

โดยให้ผลโดยรวมดีกว่าการใช้เอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ภายใต้สภาวะการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่าช่วงความเข้มข้นดังกล่าวมีความเหมาะสมสำหรับการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากกิ่งหม่อน และกิ่งหม่อนมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นแหล่งวัตถุดิบธรรมชาติสำหรับผลิตภัณฑ์สุขภาพ เครื่องสำอาง และอาหารเสริมในอนาคต

7. กิตติกรรมประกาศ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม สนับสนุนงบประมาณการดำเนินการวิจัย ศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อำนวยความสะดวกด้านห้องปฏิบัติการและเครื่องมือวิทยาศาสตร์ และบริษัทอลิซมัลเบอร์รี่คอสเมติกส์ จำกัด เพชรบูรณ์ สนับสนุนตัวอย่างกิ่งหม่อนตลอดการวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Wang, Y.,(2024). Comprehensive overview of different medicinal parts from *Morus alba* L.: Chemical compositions and pharmacological activities. *Frontiers in Pharmacology, 15*, 1364948...

[2] Batiha, G. E.-S., Al-Snafi, A. E., Thuwaini, M. M., Teibo, J. O., Shaheen, H. M., Akomolafe, A. P., Ayandeyi Teibo, T. K., Al-Kuraishy, H. M., Al-Garbeeb, A. I., Alexiou, A., & Papadakis, M. (2023). *Morus alba*: A comprehensive phytochemical and pharmacological review. *Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology, 396*(7), 1399–1413.

[3] Alara, O. R., Abdurahman, N. H., & Ukaegbu, C. I. (2018). Soxhlet extraction of phenolic compounds from *Vernonia cinerea* leaves and its antioxidant activity. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 11*, 12–17.

[4] Wang, R.-S., Dong, P.-H., Shuai, X.-X., & Chen, M.-S. (2022). Evaluation of different black mulberry fruits (*Morus nigra* L.) based on phenolic compounds and antioxidant activity. *Foods, 11*(9), 1252.

[5] Zhong X, Yang H, Ke XX, Cui HJ. [Research progress on chemical constituents and pharmacological activities of Morus alba]. Zhongguo Zhong Yao Za Zhi. 2022 May;47(9):2373-2391. Chinese

[6] Zagoskina, N. V., Zubova, M. Y., Nechaeva, T. L., Kazantseva, V. V., Goncharuk, E. A., Katanskaya, V. M., Baranova, E. N., & Aksenova, M. A. (2023). *Polyphenols in Plants: Structure, Biosynthesis, Abiotic Stress Regulation, and Practical Applications (Review).* International Journal of Molecular Sciences, 24(18), 13874.

[7] Polumackanycz, M., Wesołowski, M., & Viapiana, A. (2021). *Morus alba* L. and *Morus nigra* L. leaves as a promising food source of phenolic compounds with antioxidant activity. *Plant Foods for Human Nutrition, 76*(4), 458–465.

[8] Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). *Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin–Ciocalteu reagent*. Methods in Enzymology, 299, 152–178.

[9] Suriyaprom, S., Kaewkod, T., Promputtha, I., Desvaux, M., & Tragoolpua, Y. (2021). Evaluation of antioxidant and antibacterial activities of white mulberry (*Morus alba* L.) fruit extracts. *Plants, 10*(12), 2736.

[10] Maneechai, S., Junsi, M., & Chaiyana, W. (2022). Effects of ethanol–water extraction on antioxidants from Riceberry bran. *Agriculture and Natural Resources, 56*(4), 735–744.

[11] Wang, S., Fang, M., Ma, Y.-L., & Zhang, Y.-Q. (2014). *Preparation of the Branch Bark Ethanol Extract in Mulberry (Morus alba), Its Antioxidation, and Antihyperglycemic Activity In Vivo*. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2014, 569652.

[12] Liu, S., Shi, X., Xiang, W., Jin, Z., Jia, Y., Zhang, Y., Zeng, L., Chen, J., Huang, X., & Xu, L. (2023). Bioactivities and physicochemical properties of crude polysaccharides from mulberry twigs, agricultural by-products. *Industrial Crops and Products, 193*, 116191.

[13] Insang, S., Kijpatanasilp, I., Jafari, S. M., & Assatarakul, K. (2022). Ultrasound-assisted extraction of functional compound from mulberry (*Morus alba* L.) leaf using response surface methodology and effect of microencapsulation by spray drying on quality of optimized extract. *Ultrasonics Sonochemistry, 82*, 105806.

[14] Vo, T. P., Pham, T. V., Weina, K., Tran, T. N. H., Vo, L. T. V., Nguyen, P. T., Bui, T. L. H., Phan, T. H., & Nguyen, D. Q. (2023). *Green extraction of phenolics and flavonoids from black mulberry fruit using natural deep eutectic solvents: Optimization and surface morphology*. BMC Chemistry, 17(1), 119.

[15] Jara-Palacios, M. J., Gonçalves, S., Heredia, F. J., Hernanz, D., & Romano, A. (2020). Extraction of antioxidants from winemaking byproducts: Effect of the solvent on phenolic composition, antioxidant and anti-cholinesterase activities, and electrochemical behaviour. *Antioxidants, 9*(8), 675.

การศึกษาการต้านออกซิเดชันของเปลือกรากหม่อน (*Morus alba* L.) ร่วมกับการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกด้วยเทคนิค HPLC

Antioxidant Activity and HPLC Analysis of Phenolic Compounds in Mulberry Root Bark (*Morus alba* L.)

สุพาพร จันคีรี[1] ตะวัน ภูมิพิชัย[1] และ อนงค์ ศรีโสภา[1*]

[1]สาขาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
*E-mail: anongsrisopa@psru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลของการสกัดแบบแช่หมักและแบบรีฟลักซ์ต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน และสารประกอบฟีนอลิกในเปลือกรากหม่อน (*Morus alba* L.) โดยใช้เอทานอลร้อยละ 70 เป็นตัวทำละลาย ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมวิเคราะห์ด้วยวิธี Folin–Ciocalteu ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันประเมินด้วยวิธี DPPH, ABTS และ FRAP และวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกด้วยเทคนิค HPLC ผลการศึกษาพบว่า การสกัดทั้งสองวิธีให้ร้อยละผลผลิต ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน และปริมาณ Oxyresveratrol และ Chlorogenic acid ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยวิธีรีฟลักซ์มีแนวโน้มให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงกว่า ขณะที่วิธีแช่หมักมีแนวโน้มให้ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงกว่า สรุปได้ว่าทั้งสองวิธีให้ประสิทธิภาพการสกัดใกล้เคียงกัน และสามารถเลือกใช้ตามระยะเวลาและเงื่อนไขของกระบวนการสกัดเพื่อพัฒนาสารสกัดรากหม่อนเป็นวัตถุดิบจากธรรมชาติ

คำสำคัญ: รากหม่อน สารประกอบฟีนอลิก การต้านออกซิเดชัน รีฟลักซ์ แช่หมัก

Abstract

This study aimed to compare the effects of maceration and reflux extraction on the total phenolic content, antioxidant activity, and phenolic compounds of mulberry root bark (*Morus alba* L.) using 70% ethanol as the extraction solvent. Total phenolic content was determined by the Folin–Ciocalteu method, antioxidant activity was evaluated using DPPH, ABTS, and FRAP assays, and phenolic compounds were analyzed by high-performance liquid chromatography (HPLC). The results showed that both extraction methods produced comparable extraction yield, total phenolic content, antioxidant activity, and the contents of oxyresveratrol and chlorogenic acid with no significant differences ($p > 0.05$). Reflux extraction tended to provide higher total phenolic content, whereas maceration exhibited slightly higher antioxidant activity. Overall, both methods showed comparable extraction efficiency and can be selected according to extraction time and processing conditions for the development of mulberry root extract as a natural raw material.

Keywords: Mulberry root, Phenolic compound, Antioxidant activity, Reflux, Maceration

1. บทนำ

ต้นหม่อน (*Morus alba* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจและสมุนไพรที่ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย เนื่องจากส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ใบ ผล กิ่ง และราก อุดมไปด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด โดยเฉพาะสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการต้านออกซิเดชันและอาจช่วยลดความเสียหายของเซลล์ที่เกิดจากอนุมูลอิสระนอกจากนี้ รากหม่อนยังเป็นแหล่งของสารสำคัญโดยเฉพาะเปลือกรากหม่อนเป็นแหล่งสะสมสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด เช่นสารประกอบฟีนอลิกและสติลบีน ได้แก่ Chlorogenic acid, Mulberroside A, Oxyresveratrol และ Resveratrol รวมถึงสารในกลุ่ม Prenylated Flavonoids ซึ่งมีรายงานว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบโดยเฉพาะสารประกอบฟีนอลิกและสารในกลุ่มสติลบีน จึงเลือกใช้เปลือกรากเป็นส่วนที่ใช้ศึกษา [1]

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะในการสกัด เช่น วิธีการ ชนิดตัวทำละลายระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดความเข้มข้น และอัตราส่วนของตัวทำละลายล้วนส่งผลต่อปริมาณผลผลิตที่ได้สารสำคัญและฤทธิ์เชิงชีวภาพที่แตกต่างกัน [2] รวมไปถึงฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัด วิธีการแช่หมัก (Maceration) เป็นวิธีที่นิยมใช้เนื่องจากดำเนินการได้ง่ายและลดโอกาสการเสื่อมสลายของสารที่ไวต่อความร้อน ขณะที่ การสกัดแบบรีฟลักซ์ (Reflux extraction) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลและลดระยะเวลาในการสกัด [3] อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างของทั้งสองวิธียังอาจส่งผลต่อองค์ประกอบของสารฟีนอลิกและสมบัติทางชีวภาพของสารสกัด จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพื่อคัดเลือกวิธีการสกัดที่เหมาะสม

ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการสกัดรากหม่อนด้วยวิธีแช่หมักและวิธีรีฟลักซ์ โดยประเมินปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH, ABTS และ FRAP ร่วมกับการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography; HPLC) เพื่อคัดเลือกวิธีการสกัดที่เหมาะสมสำหรับการได้มาซึ่งสารสกัดรากหม่อนที่มีศักยภาพสูง และเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนาวัตถุดิบจากธรรมชาติในผลิตภัณฑ์มูลค่าสูงต่อไป

2. วัตถุประสงค์ในการศึกษา/การวิจัย

1) เพื่อเปรียบเทียบผลของวิธีการสกัดแบบแช่หมัก (Maceration) และแบบรีฟลักซ์ (Reflux) ต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดเปลือกรากหม่อน (*Morus alba* L.)

2) เพื่อประเมินฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดเปลือกรากหม่อนที่ได้จากวิธีการสกัดทั้งสองวิธี โดยใช้วิธี DPPH, ABTS และ FRAP

3) เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบองค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกในสารสกัดเปลือกรากหม่อนด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography; HPLC)

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ต้นหม่อน (*Morus alba* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจและสมุนไพรที่ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย เนื่องจากส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ใบ ผล กิ่ง และราก อุดมไปด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด โดยเฉพาะสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการต้านออกซิเดชันและอาจช่วยลดความเสียหายของเซลล์ที่เกิดจากอนุมูลอิสระนอกจากนี้ รากหม่อนยังเป็นแหล่งของสารสำคัญโดยเฉพาะเปลือกรากหม่อนเป็นแหล่งสะสมสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด เช่นสารประกอบฟีนอลิกและสติลบีน ได้แก่ Chlorogenic acid, Mulberroside A, Oxyresveratrol และ Resveratrol รวมถึงสารในกลุ่ม Prenylated Flavonoids ซึ่งมีรายงานว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบโดยเฉพาะสารประกอบฟีนอลิกและสารในกลุ่มสติลบีน [1]

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะในการสกัด เช่น วิธีการ ชนิดตัวทำละลายระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดความเข้มข้น และอัตราส่วนของตัวทำละลายล้วนส่งผลต่อปริมาณผลผลิตที่ได้สารสำคัญและฤทธิ์เชิงชีวภาพที่แตกต่างกัน [2]

การสกัดแบบรีฟลักซ์ใช้ความร้อนช่วยเพิ่มการละลายและการแพร่ของสารสำคัญ ทำให้สกัดได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพกว่าการแช่หมัก แต่อาจทำให้สารที่ไวต่อความร้อนเสื่อมสลายได้ ขณะที่การแช่หมักช่วยรักษาสารที่ไวต่อความร้อน แต่ใช้เวลาสกัดนานและอาจให้ปริมาณสารสำคัญต่ำกว่า [3]

การสกัดเปลือกรากหม่อนโดยใช้ความเข้มข้นของเอทานอล และอุณหภูมิที่ต่างกันมีผลอย่างมากต่อปริมาณสารสกัด ปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด การใช้ตัวทำละลายเอทานอล ความเข้มข้นสูง

และอุณหภูมิต่ำส่งผลให้ปริมาณสารสกัดต่ำเอทานอล บริสุทธิ์ที่อุณหภูมิห้องมีปริมาณโพลีฟีนอลและฟลาโวนอยด์สูงที่สุด เมื่อเทียบกับสารสกัดอื่น ๆ ที่น่าสนใจคือ อุณหภูมิมีผลต่อปริมาณโพลีฟีนอลและฟลาโวนอยด์แตกต่างกันไปตามชนิดของตัวทำละลาย การให้ความร้อนอาจช่วยสกัดสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกรากได้มากขึ้น [4]

จากการศึกษาของ Butkhup พบว่ารากหม่อนเป็นแหล่งสะสมสารในกลุ่มสติลบีน ได้แก่ Mulberroside A, Oxyresveratrol และ Resveratrol โดย Mulberroside A พบในปริมาณสูงที่สุด Butkhupทำการสกัดตัวอย่างด้วยเอทานอล 60% ร่วมกับการสกัดด้วยคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic extraction) และวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญด้วยเทคนิค HPLC เพื่อเปรียบเทียบปริมาณสารในส่วนต่าง ๆ ของต้นหม่อนและในแต่ละฤดูกาล [5]

การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากใบหม่อนขาวพันธุ์โปแลนด์ที่เตรียมในระดับห้องปฏิบัติการและระดับโรงงานนำร่องโดยใช้ส่วนของใบและเปลือกรากหม่อนโดยสกัดด้วยน้ำร้อน (Aqueous extraction) วิเคราะห์องค์ประกอบของกรดฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ด้วยเทคนิค HPLC/MS และประเมินปริมาณฟีนอลิกรวมด้วยวิธี Folin–Ciocalteu รวมทั้งทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS ผลการศึกษาพบว่า Chlorogenic acid เป็นสารฟีนอลิกหลัก [6]

การศึกษาคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารประกอบฟีนอล (ฟีนอลรวม ฟลาโวนอยด์ ฟลาโวนอล และโปรแอนโทรไซยานิดิน) ของสารสกัดเมทานอลจาก เปลือกต้น, เปลือกราก, ใบ และผลของ *Morus alba* และประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH, Hydroxyl radical scavenging, Ferric reducing antioxidant capacity (FRAC), Total antioxidant capacity (TAC) และ Lipid peroxidation inhibition ผลการศึกษาพบว่า สารสกัดจากเปลือกลำต้นมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดรองลงมาคือเปลือกราก[7]

การศึกษาการแยกและจำแนกสารประกอบจากเปลือกรากหม่อน (*Morus alba L.*) โดยสกัดและแยกสารด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟี จากนั้นพิสูจน์โครงสร้างด้วยเทคนิคสเปกโทรสโกปี ผลการศึกษาพบสารสติลบีนชนิดใหม่ Oxyresveratrol 3′-O-β-glucopyranoside พร้อมทั้งตรวจพบ Mulberroside A, cis-Mulberroside A และ Oxyresveratrol ในเปลือกรากหม่อน [8]

แม้ว่าจะมีรายงานการศึกษาสารสำคัญและฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของเปลือกรากหม่อนรากหม่อนหลายฉบับ แต่ข้อมูลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการสกัดแบบแช่หมัก (Maceration) และแบบรีฟลักซ์ (Reflux) ยังมีจำกัด ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลของวิธีการสกัดทั้งสองวิธีต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH, ABTS และ FRAP และองค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกด้วยเทคนิค HPLC

4. วิธีการวิจัย

4.1 การเก็บและเตรียมตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างรากหม่อนรากหม่อน จากบริษัท อลิซมัลเบอร์รี่บ้านเลขที่ 106 หมู่ 3 ตำบลดงมูลเหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ นำมาล้างทำความสะอาด แกะเฉพาะส่วนเปลือกราก นำมาอบแห้งไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 65 °C จนน้ำหนักคงที่ ปั่นให้ละเอียด ชั่งตัวอย่างเปลือกรากหม่อน 10 กรัม สกัดด้วยวิธีแช่หมักเป็นเวลา 7 วันด้วยเอทานอล 70% ปริมาตร 250 มิลลิลิตร และสกัดด้วยวิธีรีฟลักซ์ที่อุณหภูมิ 70-80 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างที่สกัดแล้วมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 (Whatman™) ล้างตะกอนและปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร ด้วยสารละลายเอทานอล 70% เก็บตัวอย่างสารสกัดใส่ขวดพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร แช่ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C

ภาพที่ 1 รากหม่อนอบแห้ง (ซ้าย) และ รากหม่อนปั่นละเอียด (ขวา)

4.2 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม

หาปริมาณฟีนอลิกรวม ใช้วิธี Folin-Ciocalteu และอ่านค่าสัญญาณด้วยเครื่อง Microplate reader (Biochrom EZ Read 2000, UK) โดยเตรียมสารมาตรฐาน Gallic acid ที่ ความเข้มข้น 3.90, 7.81, 15.62, 31.25, 62.50, 125 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำกลั่น

ปิเปตสารตัวอย่าง 20 ไมโครลิตร ผสมกับ Folin-Ciocalteu reagent ความเข้มข้น 10% (v/v) ปริมาตร 100 ไมโครลิตร และเติมสารละลาย โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้น 7% w/v ปริมาตร 80 ไมโครลิตร ในไมโครเวลเพลต ทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร Microplate reader (Biochrom EZ Read 2000, UK) เทียบกับแบลงค์ โดยทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงซ้ำ 3 ครั้ง จากนั้นหาปริมาณฟีนอลิกรวมในสารสกัด เปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับกราฟมาตรฐานซึ่งเตรียมจากสารละลาย Gallic acid

4.3 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยใช้วิธี DPPH Radical Scavenging Activity (DPPH assay)

เตรียมสารละลาย 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ความเข้มข้น 300 ไมโครโมลาร์ โดยชั่ง DPPH 0.006 กรัม ละลายและปรับปริมาตรด้วยเอทานอล ให้ได้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร เก็บไว้ไม่ให้โดนแสง

ปิเปตสารสกัดเปลือกรากหม่อน ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ผสมเอทานอล 80 ไมโครลิตร และ DPPH เข้มข้น 300 ไมโครโมลาร์ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ลงในไมโครเวลเพลต ทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ด้วย Microplate reader (Biochrom EZ Read 2000, UK) ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงซ้ำ 3 ครั้งเพื่อหาสารต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างสารสกัดเปลือกรากหม่อน โดยใช้น้ำ (Deionized Water) เป็นตัวควบคุมแบบบวกทำการคำนวณเปอร์เซ็นต์การกำจัดอนุมูล DPPH จากสมการ

$$\% \text{ Inhibition} = \left[\frac{A_{control} - A_{sample}}{A_{control}}\right] \times 100$$

โดยที่ $A_{control}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH
A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH ที่เติมสารสกัดเปลือกรากหม่อน

4.4 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยใช้วิธี ABTS radical cation decolorization assay (ABTS assay)

วิเคราะห์ศักยภาพการกำจัดอนุมูลอิสระโดยวิธี ABTS เตรียมอนุมูล $ABTS^{\cdot+}$ ได้จากสารละลาย ABTS 7.0 มิลลิโมลาร์ โดยชั่ง ABTS 0.192 กรัม นำไปปรับปริมาตรด้วยน้ำ (Deionized Water) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ($K_2S_2O_8$) 2.5 มิลลิโมลาร์ 0.0338 กรัม นำไปปรับปริมาตรด้วยน้ำ (Deionized Water) ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

จากนั้นนำสารละลาย ABTS 7.0 มิลลิโมลาร์ผสมโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ($K_2S_2O_8$) 2.5 มิลลิโมลาร์ ในอัตราส่วน 1:1 ในปริมาตรรวม 100 mL เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 12-16 ชั่วโมง ก่อนนำมาวิเคราะห์ต้องเจือจางความเข้มข้นด้วยน้ำ (Deionized Water) นำไปวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ 750 นาโนเมตร ให้ได้เท่ากับ 0.70±0.02

ปิเปตสารสกัดเปลือกรากหม่อน ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ผสม $ABTS^{\cdot+}$180 ไมโครลิตร ลงในไมโครเวลเพลต ทิ้งไว้ในที่มืด 6 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Microplate reader (Biochrom EZ Read 2000, UK) ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงซ้ำ 3 ครั้งเพื่อหาสารต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างเปลือกรากหม่อน โดยใช้น้ำ (Deionized Water) เป็นตัวควบคุมแบบบวกทำการคำนวณเปอร์เซ็นต์การกำจัดอนุมูล ABTS จากสมการ

$$\% \text{ Inhibition} = \left[\frac{A_{control} - A_{sample}}{A_{control}}\right] \times 100$$

โดยที่ $A_{control}$ คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ ABTS
A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่างรากหม่อน

4.5 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากหม่อน โดยใช้วิธี Ferric Reducing Antioxidant Power assay (FRAP assay)

เตรียม Acetate buffer (pH 3.6) 300 มิลลิโมลาร์ โดยชั่งสารมาตรฐาน Sodium acetate 3-hydrate 24.6 กรัม นำไปละลายในน้ำกลั่นปรับปริมาตร pH ด้วย acetic acid ให้ได้มี pH เท่ากับ 3.6

เตรียม Ferric chloride solution 20 มิลลิโมลาร์ โดยชั่งสารมาตราฐาน Ferric chloride 30 มิลลิกรัม นำไปละลายและปรับปริมาตร ด้วยน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร

เตรียม TPTZ (2,4,6-Tris(2-pyridyl)-1,3,5-triazine)) solution 10 มิลลิโมลาร์ โดยชั่งสารมาตรฐาน TPTZ (2,4,6-Tris(2-pyridyl)-1,3,5-triazine) 31.2 มิลลิกรัม นำไปละลายใน HCl 40 มิลลิโมลาร์

เตรียม Ferric reducing antioxidant reagent (FRAP reagent) โดยนำสารละลาย 300 มิลลิโมลาร์ Acetate buffer (pH 3.6) ผสมกับ Ferric chloride solution 20 มิลลิโมลาร์ และ TPTZ solution 10 มิลลิโมลาร์ ในอัตราส่วน 10:1:1 ตามลำดับ แล้วเก็บสารละลายในที่ปราศจากแสง

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่าง โดยใช้วิธี FRAP นำสารละลายตัวอย่าง 20 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลาย FRAP reagent 180 ไมโครลิตร ลงใน 96 wells plate ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 6 นาที ในที่มืดนำไปอ่านผลด้วยเครื่อง Microplate reader 593 นาโนเมตร ทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงซ้ำ 3 ครั้ง และคำนวณ Ferric reducing antioxidant power เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน $FeSO_4$ ความเข้มข้น 10, 20, 40, 60, 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร การคำนวณโดยใช้สมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานคำนวณ

4.6 การหาปริมาณกรดฟีนอลิกด้วยเทคนิค HPLC

การเตรียมตัวอย่างเปลือกรากหม่อน โดยปิเปตตัวอย่างสารสกัด 0.6 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่น (Deionized water) 1.4 มิลลิลิตร ลงในขวดใส่สารพลาสติก 2 มิลลิลิตร กรองผ่านเมมเบรน 0.45 ไมโครเมตร แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC (PerkinElmer, USA)

เตรียมเฟสเคลื่อนที่ ได้แก่ Acetonitrile และ Formic acid ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์และใช้การระบบแกรเดียนต์ (Gradient elution) การเตรียม Formic acid ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ที่มีน้ำบรรจุอยู่ ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีด จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรอง 0.45 ไมโครเมตร เขย่าไล่แก๊สด้วยเครื่อง Sonicator

เตรียมสารละลายมาตรฐาน Chlorogenic acid, *p*-Coumaric acid และ Oxyresveratrol อย่างละ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยชั่งสารมาตรฐาน 25 มิลลิกรัม ปรับปริมาตรด้วยเมทานอลเกรด HPLC ในขวดวัดปรับปริมาตรด้วย 25 มิลลิลิตร

เตรียมสารละลายมาตรฐานผสมความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปิเปตจากสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร 200 ไมโครลิตร ลงในขวดใส่สารพลาสติกขนาด 2 มิลลิลิตร เติมเมทานอล (HPLC) จนครบปริมาตร 2 มิลลิลิตร จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรอง 0.45 ไมโครเมตร ลงในขวด Vial สำหรับฉีดด้วยเทคนิค HPLC

สภาวะในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC ใช้คอลัมน์ชนิด C-8 ขนาด 150×4.6 มิลลิเมตร ยี่ห้อ (Phenomenex ขนาดอนุภาค 5 ไมโครเมตร) อัตราการไหล 1.2 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรในการฉีดสาร 20 ไมโครลิตร อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ใช้ความยาวคลื่น 325 นาโนเมตร โดยใช้เฟสเคลื่อนที่ระบบแกรเดียนต์ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 Gradient elution สำหรับเครื่อง HPLC เพื่อการวิเคราะห์กรดฟีนอลิก

Step time (min)	% Acetonitrile	0.1% Formic acid
1	10	90
2	10	90
3	10	90
5	15	85
10	25	75
5	50	50
10	10	90

4.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

ทดสอบค่าเฉลี่ยด้วย One-Way ANOVA (Microsoft Excel , 2024) และ Fisher's Least Significant Difference (LSD) ณ ระดับความเชื่อมั่นที่ 95%

5. ผลการวิจัย

5.1 การสกัดตัวอย่าง

การสกัดเปลือกรากหม่อนด้วยวิธีรีฟลักซ์ (Reflux extraction) และ วิธีการแช่หมัก (Maceration) ในทำละลายเอทานอล 70 เปอร์เซ็นต์ พบว่าส่วนเปลือกรากหม่อนด้วยวิธีรีฟลักซ์ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ผลผลิต (% yield) สูงที่สุด (26.07 ± 0.06^{a}) รองลงมาคือเปลือกรากหม่อนด้วยวิธีแช่หมัก (20.53 ± 0.25^{b}) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าส่วนเปลือกรากหม่อนด้วยวิธีรีฟลักซ์ให้ (% yield) สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ที่ละลายได้ในตัวทำละลาย โดยสีและลักษณะของสารสกัด (ภาพที่ 1)

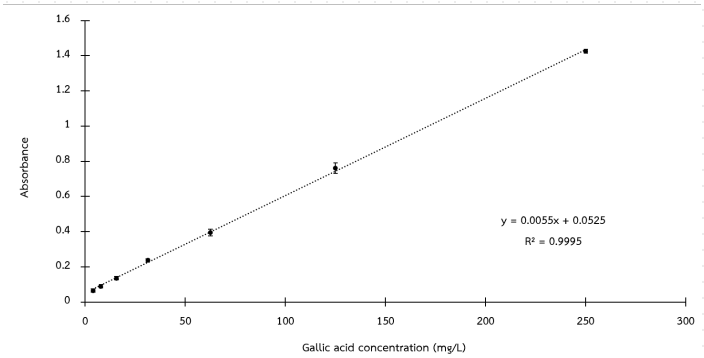
Mulberry root bark (Reflux extraction)

Mulberry root bark (Maceration)

ภาพที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของสารสกัดเปลือกรากหม่อนที่สกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 70 โดยวิธีการสกัดแบบรีฟลักซ์และวิธีการแช่หมัก

5.2 การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม

ทำการศึกษาปริมาณฟีนอลิกรวมของสารสกัดเปลือกรากหม่อนเทียบกับสารละลายมาตรฐานของ Gallic acid ที่ความเข้มข้น 3.90, 7.81, 15.62, 31.25, 62.50, 125 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร (n=3) (ภาพที่ 2)



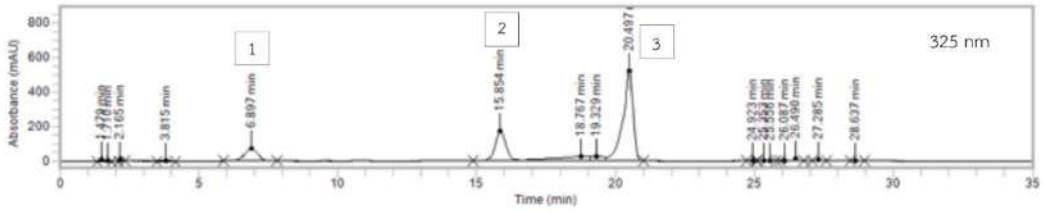
ภาพที่ 2 กราฟมาตรฐานของ Gallic acid สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวมของสารสกัดเปลือกรากหม่อน

จากการศึกษาการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระกรดแกลลิกจากเปลือกรากหม่อนที่สกัดด้วยวิธีแช่หมักและวิธีรีฟลักซ์ด้วยเทคนิค Total Phenolic Content ค่าความยาวคลื่นที่เหมาะสมของการวัดปริมาณกรดแกลลิกเท่ากับ 760 นาโนเมตร ภายใต้สภาวะการทดลองที่เหมาะสมได้สร้างกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก (ภาพที่ 2) สมการเส้นตรงเท่ากับ $Y=0.0083x + 0.0071$ และ $R^2 = 0.9995$

ผลการศึกษาพบว่าในส่วนของเปลือกรากหม่อนที่สกัดด้วยวิธีรีฟลักซ์ มีปริมาณฟีนอลิกรวมสูงที่สุด เท่ากับ 10.16 mg GAE/g DW และเปลือกรากหม่อนที่สกัดด้วยวิธีแช่หมัก มีปริมาณฟีนอลิกรวม 9.12 mg GAE/g DW ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

5.3 การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมด้วยเทคนิค HPLC

ในการศึกษาสภาวะที่ใช้ในการแยกสารมาตรฐานทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ Chlorogenic acid, *p*-Coumaric acid และ Oxyresveratro โดยเลือกใช้สารละลายของ Acetonitrile (A) และ 0.1% Formic acid ในนน้ำ (B) เป็นเฟสเคลื่อนที่ ทำการชะด้วยอัตราส่วนที่แตกต่างกันออกไปดัง (ตารางที่ 1) ด้วยอัตราไหลของเฟสเคลื่อนที่ 1.2 มิลลิลิตร/นาที ปริมาตรที่ใช้ฉีด 20 ไมโครลิตร ใช้เวลาในการวิเคราะห์ทั้งหมด 35 นาที ทำการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานทั้งหมดที่ ความยาวคลื่น 325 นาโนเมตร พบว่าสภาวะดังกล่าวสามารถแยกสารมาตรฐาน กรดฟีนอลิกทั้ง 3 ชนิดได้สมบูรณ์และชัดเจนดังโครมาโทแกรมใน (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 โครมาโทแกรม HPLC ของสารมาตรฐานผสมที่ตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 325 นาโนเมตร โดยประกอบไปด้วย (1 = Chlorogenic acid, 2 = p-coumaric acid, 3 = Oxyresveratrol)

ผลการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของกรดฟีนอลลิกของสารสกัดตัวอย่างเปลือกรากหม่อนทั้ง 2 วิธี จากการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของกรดฟีนอลลิกของสารสกัดตัวอย่างเปลือกรากหม่อน พบว่าสามารถวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารสำคัญได้ 2 ชนิด คือ Oxyresveratrol และ Chlorogenic acid โดยคำนวณในหน่วยของมิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง สามารถสรุปได้ (ตารางที่ 2)

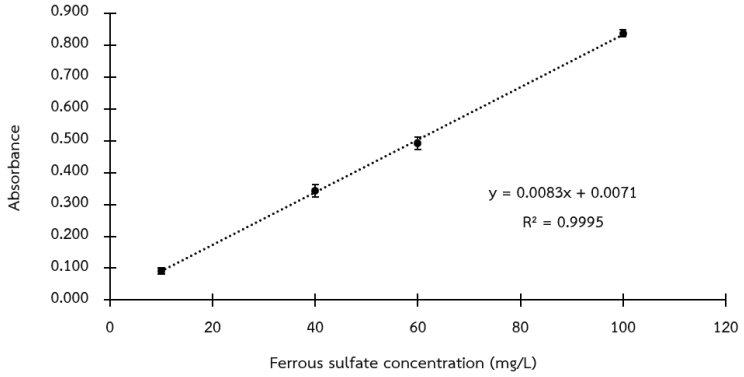
ตารางที่ 2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของเปลือกรากหม่อน

Sample	Extraction	Total Phenolic Content (mg GAE/g DW)	Chlorogenic acid (mg/g Sample)	Oxyresveratrol (mg/g Sample)
Mulberry root bark	Reflux extraction	10.16±0.76[a]	0.26±0.03[a]	0.48±0.01[a]
	Maceration 7 Days	9.12±0.86[a]	0.29±0.03[a]	0.49±0.03[a]

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยของ TPC, Chlorogenic acid และ Oxyresveratrol ในแนวตั้งที่มีอักษรต่างกันแสดงว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น $p < 0.05$

5.4 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากหม่อน โดยใช้วิธี Ferric Reducing Antioxidant Power assay (FRAP assay)

ทำการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเปลือกรากหม่อนเทียบกับสารละลายมาตรฐานของ FRAP ที่ความเข้มข้น 10 , 20 , 40 , 60 , 80 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (n=3) (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 กราฟมาตรฐานของ Ferrous sulfate สำหรับการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเปลือกรากหม่อน

จากการศึกษาการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันเฟอร์รัสซัลเฟสจากเปลือกรากหม่อนที่สกัดด้วยวิธีแช่หมักและวิธีรีฟลักซ์ด้วยเทคนิค Ferric Reducing Antioxidant Power assay (FRAP assay) ค่าความยาวคลื่นที่เหมาะสมของการวัดปริมาณเฟอร์รัสซัลเฟสเท่ากับ 593 นาโนเมตร ภายใต้สภาวะการทดลองที่เหมาะสมได้สร้างกราฟมาตรฐานของเฟอร์รัสซัลเฟส (ภาพที่ 4) สมการเส้นตรงเท่ากับ Y=0.0083x + 0.0071 และ R^2 = 0.9995

การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเปลือกรากหม่อนด้วยวิธี DPPH radical scavenging , Folin-Ciocalteu , ABTS radical , Ferric Reducing Antioxidant Power assay พบว่าเปลือกรากหม่อนที่สกัดด้วยวิธีแช่หมักแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าเล็กน้อยแต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติจาก (DPPH) (61.37%), (ABTS) (70.64%), (FRAP) (87.96%) ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเปลือกรากหม่อนที่ประเมินด้วยวิธี DPPH, ABTS และ FRAP

Sample	Extraction	DPPH (%Inhibition)	ABTS (%Inhibition)	FRAP (mg $FeSO_4$/L)
mulberry root	Reflux extraction	54.61±3.20[a]	70.01±0.29[a]	84.23±0.41[a]
bark	Maceration 7 Day	61.37±4.35[a]	70.64±0.22[a]	87.96±2.10[a]

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยของ DPPH, ABTS และ FRAPในแนวตั้งที่มีอักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น $p < 0.05$

6.อภิปรายและสรุปผล

การศึกษานี้เปรียบเทียบการสกัดสารสำคัญจากเปลือกรากหม่อน (*Morus alba* L.) ด้วยวิธีแช่หมักและวิธีรีฟลักซ์โดยใช้เอทานอลร้อยละ 70 เป็นตัวทำละลาย ผลการศึกษาพบว่าการสกัดด้วยวิธีรีฟลักซ์ให้ร้อยละผลผลิตสูงกว่าวิธีแช่หมักแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าการใช้ความร้อนในระหว่างการสกัดช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดสารออกจากเปลือกรากหม่อนได้

การประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH, ABTS และ FRAP พบว่าสารสกัดจากการแช่หมักให้ค่า DPPH เท่ากับ 61.37 ± 4.35%, ค่า ABTS เท่ากับ 70.64 ± 0.22% และค่า FRAP เท่ากับ 87.96 ± 2.10 mg $FeSO_4$/L ขณะที่สารสกัดจากวิธีรีฟลักซ์ให้ค่า DPPH เท่ากับ 54.61 ± 3.20%, ค่า ABTS เท่ากับ 70.01 ± 0.29% และค่า FRAP เท่ากับ 87.96 ± 2.10 mg $FeSO_4$/L โดยสารสกัดจากการแช่หมักมีแนวโน้มแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าเล็กน้อยวิธีรีฟลักซ์ แม้ว่าความแตกต่างของค่าที่ได้จะไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ผลดังกล่าวอาจเกิดจากการแช่หมักเป็นวิธีที่ไม่ใช้ความร้อน จึงช่วยลดการเสื่อมสลายของสารออกฤทธิ์ที่ไวต่ออุณหภูมิ และสามารถคงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดไว้ได้ดีกว่าวิธีรีฟลักซ์

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารประกอบฟีนอลิกด้วยเทคนิค HPLC สามารถตรวจพบสารสำคัญ ได้แก่ Oxyresveratrol และ Chlorogenic acid ในสารสกัดเปลือกรากหม่อนที่ได้จากทั้งวิธีรีฟลักซ์และวิธีแช่หมัก โดยพบว่า

Oxyresveratrol เป็นสารที่พบมากที่สุด รองลงมาคือ Chlorogenic acid ทั้งในสารสกัดจากทั้งสองวิธี ซึ้งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าวิธีการสกัดทั้งสองสามารถสกัดสารออกฤทธิ์สำคัญจากเปลือกรากหม่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้ว่ากระบวนการสกัดจะมีความแตกต่างกันก็ตามเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับรายงานการวิจัยก่อนหน้าที่มีการสกัดด้วยเอทานอล 60% พบว่าผลการศึกษานี้มีแนวโน้มสอดคล้องกับงานวิจัยที่รายงานว่า Oxyresveratrol และ Chlorogenic acid เป็นสารฟีนอลิกหลักที่พบในส่วนรากหรือเปลือกรากหม่อน โดยเฉพาะ Oxyresveratrol ซึ่งมักถูกใช้เป็นสารชี้วัด (Marker compound) ของวัตถุดิบจากหม่อน [5] อย่างไรก็ตามสัดส่วนของปริมาณสารที่ตรวจพบอาจแตกต่างจากบางรายงาน ซึ่งอาจเกิดจากความแตกต่างของสายพันธุ์ อายุพืช ส่วนของพืชที่นำมาศึกษา รวมถึงวิธีและเงื่อนไขในการสกัด

โดยสรุป วิธีรีฟลักซ์เหมาะสำหรับการสกัดสารประกอบฟีนอลิกและเพิ่มปริมาณสารสกัดในระยะเวลาที่สั้นกว่า ขณะที่วิธีแช่หมักมีแนวโน้มรักษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดได้ดีกว่า ดังนั้น การเลือกวิธีการสกัดควรพิจารณาให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการนำสารสกัดไปใช้ หากต้องการสารสกัดที่มีปริมาณสารฟีนอลิกสูงและใช้เวลาสกัดน้อย วิธีรีฟลักซ์เป็นทางเลือกที่เหมาะสม แต่หากมุ่งเน้นการคงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ วิธีแช่หมักอาจเป็นวิธีที่เหมาะสมกว่า ผลการศึกษานี้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนาสารสกัดเปลือกรากหม่อนเพื่อประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเสริม เครื่องสำอาง และผลิตภัณฑ์สุขภาพจากธรรมชาติในอนาคต

7. กิตติกรรมประกาศ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม สนับสนุนงบประมาณการดำเนินการวิจัย ศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อำนวยความสะดวกด้านห้องปฏิบัติการและเครื่องมือวิทยาศาสตร์ และบริษัทอลิซมัลเบอร์รี่คอสเมติกส์ จำกัด จังหวัดเพชรบูรณ์ สนับสนุนตัวอย่างรากหม่อนตลอดการวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Zheng, T.-B., Wan, J.-Q., Yang, C.-Y., Wei, Y., Wen, C.-W., & Ouyang, Z. (2021). Systematic analysis on chemical constituents of Mori Cortex, mulberry root bark and its phellem layer based on HPLC-ESI-MS. China Journal of Chinese Materia Medica, 46(9), 2237–2244.

[2] Kaewtathip, T. (2024). Lion's Mane mushroom (Hericium erinaceus): Extraction, purification and biological activity. Journal of Food Research and Product Development, 54(2), 127–144.

[3] Shi, L., Zhao, W., Yang, Z., Subbiah, V., & Suleria, H. A. R. (2022). Extraction and characterization of phenolic compounds and their potential antioxidant activities. Environmental Science and Pollution Research, 29(54), 81112–81129.

[4] Kotha, R. R., Tareq, F. S., Yildiz, E., & Luthria, D. L. (2022). Oxidative stress and antioxidants-A critical review on in vitro antioxidant assays. Antioxidants, 11(12), 2388.

[5] Zhou, J., Li, S.-X., Wang, W., Guo, X.-Y., Lu, X.-Y., Yan, X.-P., Huang, D., Wei, B.-Y., & Cao, L. (2013). Variations in the levels of mulberroside A, oxyresveratrol, and resveratrol in mulberries in different seasons and during growth. Journal of Chemistry, 2013, Article ID 380692.

[6] Flaczyk, E., Kobus-Cisowska, J., Przeor, M., Korczak, J., Remiszewski, M., Korbas, E., & Buchowski, M. (2013). Chemical characterization and antioxidative properties of Polish variety of Morus alba L. leaf aqueous extracts from the laboratory and pilot-scale processes. Agricultural Sciences, 4(5B), 141–147.

[7] Khan, M. A., Rahman, A. A., Islam, S., Khandokhar, P., Parvin, S., Islam, M. B., Hossain, M., Rashid, M., Sadik, G., Nasrin, S., Mollah, M. N. H., & Alam, A. H. M. K. (2013). A comparative study on the antioxidant activity of methanolic extracts from different parts of Morus alba L. (Moraceae). BMC Research Notes, 6, 24.

[8] Qiu, F., Komatsu, K., Kawasaki, K., Saito, K., Yao, X., & Kano, Y. (1996). A novel stilbene glucoside, oxyresveratrol 3′-O-β-glucopyranoside, from the root bark of *Morus alba*. *Planta Medica, 62*(6), 559–561

การพัฒนาแอปพลิเคชันระบบชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยง กรณีศึกษา โรงพยาบาลแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย

Development of a Hazard Identification and Risk Assessment Application A Case Study of a Hospital in Chiang Rai Province

ชนิษฐา คำมา[1] พรพรรณ์ ศิริเจริญ[1] อารีย์ จอแย[1] ปนัชดา บุญปัญญาโรจน์[2] และ สัณห์พิชญ์ พิมูลชาติ[1*]

[1]สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
[2]เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ โรงพยาบาลกรุงเทพเชียงราย
*E-mail: Sunphich.phi@crru.ac.th

บทคัดย่อ

การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงเป็นกระบวนการสำคัญในการบริหารจัดการด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยของโรงพยาบาล การประเมินความเสี่ยงระบบเดิมใช้ Google Forms ซึ่งมีข้อจำกัดด้านการประมวลผลข้อมูลการคำนวณระดับความเสี่ยง และการจัดทำรายงาน การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันระบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงของโรงพยาบาลแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development: R&D) โดยพัฒนาแอปพลิเคชันด้วย AppSheet ภายใต้กรอบตามมาตรฐาน ISO 45001:2018 ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาของเครื่องมือโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน และประเมินคุณภาพแอปพลิเคชันด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย จำนวน 3 ท่าน วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า แอปพลิเคชัน Hazard Identification and Risk Assessment ถูกพัฒนาให้เหมาะสมกับการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงของพนักงาน เจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัย หัวหน้างาน ผู้จัดการ และเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ โดยข้อมูลจะถูกส่งยังผู้รับผิดชอบด้านความปลอดภัยของโรงพยาบาล ซึ่งแอปพลิเคชันสามารถรองรับการบันทึกข้อมูล การคำนวณระดับความเสี่ยงโดยอัตโนมัติ การจัดทำรายงานในรูปแบบ PDF การแสดงผลผ่าน Dashboard และการสืบค้นข้อมูลย้อนหลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการประเมินคุณภาพแอปพลิเคชัน พบว่า โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{X}$ = 4.55, S.D. = 0.56) โดยด้านความปลอดภัยของข้อมูล และด้านคุณภาพโดยรวม และผลลัพธ์ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุดเท่ากันที่ 4.67 แอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นจึงมีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน สามารถสนับสนุนการบริหารจัดการความเสี่ยง ลดความผิดพลาดจากการปฏิบัติงาน และสอดคล้องกับมาตรฐานด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย

คำสำคัญ: การชี้บ่งอันตราย การประเมินความเสี่ยง แอปพลิเคชัน

Abstract

Hazard identification and risk assessment are critical processes in occupational health and safety management within hospitals. The traditional risk assessment system utilized Google Forms, which presented limitations in data processing, risk level calculation, and report generation. This study aimed to develop an application for hazard identification and risk assessment at a hospital in Chiang Rai Province. This study employed a Research and Development (R&D) methodology to develop the application using AppSheet under the ISO 45001:2018 framework. Content validity was verified by three experts, and the application's quality was evaluated by three occupational health and safety experts. Data were analyzed using descriptive statistics, including mean and standard deviation (S.D.) The results revealed that the Hazard Identification and Risk Assessment application was developed to suit the needs of employees, security

guards, supervisors, managers, and professional safety officers. The data are directly submitted to the hospital's safety officer. The application efficiently supports data recording, automated risk level calculations, PDF report generation, dashboard visualizations, and historical data retrieval. The overall quality evaluation of the application was at the highest level ($\overline{X}$ = 4.55, S.D. = 0.56). Specifically, both data security and overall quality and outcomes shared the highest average rating at 4.67. Therefore, the developed application meets quality standards, effectively supports hospital risk management, reduces operational errors, and aligns with occupational health and safety standards.

Keywords: Hazard Identification, Risk Assessment, Application

1. บทนำ

โรงพยาบาลและสถานพยาบาลจัดเป็นธุรกิจบริการทางการแพทย์ที่มีความซับซ้อนสูง และมีปัจจัยเสี่ยงหลากหลายมิติ ทั้งความเสี่ยงทางชีวภาพ เคมี กายภาพ การยศาสตร์ และจิตสังคม ประเทศไทยจึงกำหนดให้สถานพยาบาล จัดอยู่ในกลุ่มสถานประกอบกิจการบัญชีที่ 2 ท้ายประกาศกระทรวงแรงงาน ซึ่งบังคับให้ต้องมี เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงาน และต้องดำเนินการประเมินความเสี่ยงตามที่กฎหมายกำหนด [1] นอกจากนี้ ตามพระราชบัญญัติความปลอดภัยอาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2554 [2] ยังกำหนดให้นายจ้างมีหน้าที่ทางกฎหมาย ในการชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยงเพื่อควบคุมให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ การปฏิบัติตามกฎหมายจึงเป็นเครื่องมือเชิงกลยุทธ์สำคัญในการลดความสูญเสียขององค์กร

สำหรับโรงพยาบาลกรณีศึกษาในจังหวัดเชียงราย แม้จะมุ่งเน้นการรับรองคุณภาพโรงพยาบาล (HA) แต่กลับประสบปัญหาข้อจำกัดด้านบุคลากร โดยมีเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ (จป.วิชาชีพ) เพียง 1 คน ซึ่งต้องดูแลพื้นที่มากถึง 45 แผนก ปัจจุบันโรงพยาบาลใช้ Google Forms ในการประเมินความเสี่ยง ซึ่งทำหน้าที่เป็นเพียงระบบจัดเก็บข้อมูลดิบแบบพาสซีฟ (Passive Data Collector) ส่งผลให้ จป.วิชาชีพ ต้องนำข้อมูลจาก 45 แผนก มาประมวลผล คำนวณระดับความเสี่ยงด้วยมือ และจัดทำรายงาน PDF ทีละฉบับ ก่อให้เกิดภาระงานซ้ำซ้อน เกิดความล่าช้า และเสี่ยงต่อความผิดพลาดจากมนุษย์ (Human Error) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ชี้ว่าการนำเทคโนโลยีดิจิทัล และระบบอัตโนมัติมาใช้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพ ลดภาระงาน และลด Human Error ได้อย่างมีนัยสำคัญ [3, 4]

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องในประเทศไทย พบช่องว่างทางงานวิจัย (Research Gap) ชัดเจนว่างานวิจัยการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงในโรงพยาบาลส่วนใหญ่มักมุ่งเน้นการประเมินเชิงสำรวจเฉพาะบางแผนก เช่น แผนกซักฟอก หรือหน่วยจ่ายกลาง [3, 4] อีกทั้งยังไม่มีการพัฒนาระบบดิจิทัลการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงที่รองรับการกระจายอำนาจการประเมิน (Decentralization) ครอบคลุมทุกแผนก ตลอดจนยังขาดการประมวลผลคำนวณความเสี่ยง การจัดทำรายงาน PDF และแสดงผลผ่าน Dashboard แบบอัตโนมัติในระบบเดียวกัน

ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงพัฒนาแอปพลิเคชันระบบชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยงขึ้น โดยประยุกต์ใช้แพลตฟอร์ม AppSheet [5] ซึ่งเป็นเทคโนโลยีแบบไม่ต้องเขียนโค้ด (No-Code Development Platform) ที่ยืดหยุ่นสูง เชื่อมต่อกับฐานข้อมูล Google Workspace ได้โดยไม่มีค่าใช้จ่ายซอฟต์แวร์เพิ่มเติม ทั้งยังช่วยให้ทีมงานภายใน สามารถปรับแต่งระบบได้เองโดยไม่ต้องพึ่งโปรแกรมเมอร์ จึงช่วยก้าวข้ามข้อจำกัดด้านงบประมาณและระยะเวลาได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยจุดเด่นและความใหม่ของงานวิจัยนี้ (Research Novelty) คือการออกแบบแนวคิดระบบดิจิทัล การชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยง เพื่อกระจายบทบาทการดูแลความปลอดภัยภายในองค์กร เปิดโอกาสให้ผู้ปฏิบัติงานเข้ามามีส่วนร่วมในการดูแลพื้นที่ โดยพัฒนาระบบให้รองรับการประเมินความเสี่ยงผ่านสมาร์ทโฟน มีระบบคำนวณระดับความเสี่ยงอัตโนมัติ การออกรายงาน PDF และการสรุปภาพรวมผ่าน Real-time Dashboard ซึ่งงานวิจัยระยะนี้ได้มุ่งเน้นการพัฒนาและประเมินคุณภาพระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน เพื่อยืนยันความแม่นยำและความพร้อ ของแอปพลิเคชัน ก่อนจะนำไปทดลองใช้งานจริงร่วมกับกลุ่มผู้ปฏิบัติงานและขยายผลไปสู่หัวหน้างานทั้ง 45 แผนก ในระยะถัดไป นวัตกรรมนี้ไม่เพียงแต่ช่วยลดภาระงานและลดข้อผิดพลาดของเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ยังเป็นรากฐานสำคัญในการยกระดับการบริหารจัดการความเสี่ยงของโรงพยาบาลไปสู่เชิงรุก (Proactive Risk Management) ตามมาตรฐาน ISO 45001:2018 ได้อย่างยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์ในการวิจัย

เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงของโรงพยาบาลแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย

3. สมมติฐานในการศึกษา/การวิจัย

แอปพลิเคชันระบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับสูง

4. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.1 ทฤษฎีการชี้บ่งอันตราย (Hazard Identification)

การชี้บ่งอันตราย (Hazard Identification) เป็นกระบวนการค้นหา ระบุ และวิเคราะห์แหล่งกำเนิดอันตรายหรือสภาวะที่อาจก่อให้เกิดการบาดเจ็บ การเจ็บป่วย ความเสียหายต่อทรัพย์สิน หรือผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการทำงาน โดยถือเป็นขั้นตอนพื้นฐานที่สำคัญของการบริหารจัดการด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย เนื่องจากช่วยให้องค์กรสามารถทราบถึงปัจจัยเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากกิจกรรมการทำงาน เครื่องจักร อุปกรณ์ วัสดุ สารเคมี สภาพแวดล้อมการทำงาน และพฤติกรรมของผู้ปฏิบัติงาน เพื่อนำไปสู่การกำหนดมาตรการป้องกันและควบคุมความเสี่ยงได้อย่างเหมาะสม แนวทางดังกล่าวสอดคล้องกับหลักการของ ISO 45001:2018 กำหนดให้องค์กรดำเนินการชี้บ่งอันตรายอย่างเป็นระบบครอบคลุมกิจกรรมทั้งในภาวะปกติ ภาวะผิดปกติ และสถานการณ์ฉุกเฉิน รวมถึงคำนึงถึงปัจจัยด้านบุคคลและสภาพแวดล้อมที่อาจส่งผลต่อความปลอดภัยในการทำงาน เพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุและลดความสูญเสียที่อาจเกิดขึ้นในองค์กร [6]

4.2 ทฤษฎีการประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment)

การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment) เป็นกระบวนการวิเคราะห์และประเมินระดับความเสี่ยงที่เกิดจากอันตรายที่ได้รับการชี้บ่งแล้ว เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจและกำหนดมาตรการควบคุมความเสี่ยงอย่างเหมาะสม โดยพิจารณาจาก 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่ โอกาสการเกิดเหตุการณ์ (Likelihood) และความรุนแรงของผลกระทบ (Severity) ซึ่งสามารถนำมาคำนวณระดับความเสี่ยงตามสูตร ระดับความเสี่ยง (Risk Level) = โอกาสการเกิด × ความรุนแรงของผลกระทบ จากนั้นจึงนำผลลัพธ์ไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์การประเมินหรือเมทริกซ์ความเสี่ยง (Risk Matrix) เพื่อจัดลำดับความสำคัญของความเสี่ยงและกำหนดแนวทางในการควบคุมความเสี่ยงต่อไป การประเมินความเสี่ยงที่มีประสิทธิภาพจะช่วยให้องค์กรสามารถป้องกันอุบัติเหตุ ลดความสูญเสีย และเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานได้อย่างเป็นระบบ ซึ่งเป็นแนวทางที่ได้รับการยอมรับตามมาตรฐาน ISO 45001:2018 [6]

4.3 ทฤษฎีการจัดการความเสี่ยง (Risk Management)

การจัดการความเสี่ยง (Risk Management) เป็นกระบวนการวางแผน กำหนดมาตรการ ควบคุม ติดตาม และปรับปรุงแนวทางในการลดหรือขจัดความเสี่ยงที่อาจส่งผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงาน ทรัพย์สิน และองค์กร โดยอาศัยข้อมูลจากการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงเป็นพื้นฐานในการดำเนินงาน แนวทางการจัดการความเสี่ยงที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย คือ หลักการควบคุมความเสี่ยงตามลำดับชั้น (Hierarchy of Controls) ซึ่งประกอบด้วย 5 ระดับ ได้แก่ การกำจัดอันตราย (Elimination) การทดแทน (Substitution) การควบคุมทางวิศวกรรม (Engineering Controls) การควบคุมทางการบริหาร (Administrative Controls) และการใช้อุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล (Personal Protective Equipment: PPE) โดยควรเลือกใช้มาตรการควบคุมจากระดับที่มีประสิทธิภาพสูงสุดก่อน เพื่อให้สามารถลดความเสี่ยงได้อย่างมีประสิทธิผลและยั่งยืน นอกจากนี้ องค์กรควรมีการติดตาม ทบทวน และปรับปรุงมาตรการควบคุมอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพการทำงานที่เปลี่ยนแปลงไปและรักษาประสิทธิภาพของระบบความปลอดภัยในการทำงานตามแนวทางของ OSHA และ ISO 45001:2018 [7]

5. วิธีการดำเนินการ/วิธีการวิจัย

5.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

5.1.1 ศึกษาปัญหาและสถานการณ์เกี่ยวกับระบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงของโรงพยาบาลแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย

ผู้วิจัยดำเนินการศึกษาสภาพปัจจุบันของกระบวนการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงของโรงพยาบาลกรณีศึกษา โดยรวบรวมข้อมูลจากการสำรวจ การสัมภาษณ์ผู้ปฏิบัติงาน และการศึกษาขั้นตอนการดำเนินงานเดิม ซึ่งใช้ Google Forms เป็นเครื่องมือหลักในการบันทึกข้อมูล จากการศึกษาพบว่าระบบเดิมมีข้อจำกัดหลายประการ ได้แก่ การคำนวณระดับความเสี่ยงด้วยวิธีการคำนวณด้วยมือ ทำให้ใช้เวลานาน เกิดความซ้ำซ้อนของการทำงาน และมีโอกาสเกิดความผิดพลาดจากมนุษย์ (Human Error) นอกจากนี้ยังพบปัญหาในการสรุปผล และจัดทำรายงานที่ต้องใช้เวลามาก ผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้งาน (User Requirement Analysis) เพื่อกำหนดคุณลักษณะและขอบเขตการทำงานของระบบใหม่ให้สามารถตอบสนองต่อการใช้งานจริง เพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการข้อมูล และลดขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็น ซึ่งผลจากการศึกษาปัญหาและวิเคราะห์ความต้องการดังกล่าวถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบและพัฒนาระบบในขั้นตอนถัดไป

5.1.2 การออกแบบแอปพลิเคชันระบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง

ภายหลังการศึกษาปัญหาและวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้งาน ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบระบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง โดยกำหนดโครงสร้างการทำงานของระบบ (System Architecture) ออกแบบโครงสร้างฐานข้อมูล (Database Design) ความสัมพันธ์ของข้อมูล (Data Relationship) และลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบ (Workflow) เพื่อให้การจัดเก็บ การประมวลผล และการค้นคืนข้อมูลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (User Interface: UI) และประสบการณ์การใช้งาน (User Experience: UX) โดยคำนึงถึงความสะดวกในการใช้งานของบุคลากรในโรงพยาบาล ออกแบบหน้าจอสำหรับการบันทึกข้อมูล การค้นหาข้อมูล การแสดงผลการประเมินความเสี่ยง และการออกรายงาน รวมทั้งออกแบบตรรกะการทำงาน (Business Logic) สำหรับการคำนวณระดับความเสี่ยง การกำหนดสิทธิ์การใช้งาน และการเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างแต่ละส่วนของระบบ เพื่อให้การพัฒนาแอปพลิเคชันเป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้งานและสามารถรองรับการทำงานได้อย่างครบถ้วน

5.1.3 การพัฒนาแอปพลิเคชันระบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง

ผู้วิจัยดำเนินการพัฒนาแอปพลิเคชัน โดยใช้ Google Sheets เป็นฐานข้อมูลกลางในการจัดเก็บข้อมูล และใช้แพลตฟอร์ม AppSheet ในการพัฒนาระบบตามรูปแบบที่ได้ออกแบบไว้ โดยสร้างฟังก์ชันสำหรับการบันทึกข้อมูลการแก้ไขข้อมูล การค้นหาข้อมูล และการจัดเก็บข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูลโดยอัตโนมัติ ภายในระบบได้กำหนดตรรกะการทำงาน (Business Logic) สำหรับการคำนวณระดับความเสี่ยงตามหลักการ ระดับความเสี่ยง = โอกาสเกิด (Likelihood) × ความรุนแรง (Severity) เมื่อผู้ใช้งานบันทึกข้อมูล ระบบจะประมวลผลระดับความเสี่ยงโดยอัตโนมัติ พร้อมจัดระดับความเสี่ยงตามเกณฑ์ที่กำหนด ช่วยลดความผิดพลาดจากการคำนวณด้วยมือ เพิ่มความรวดเร็วในการประเมินผล และลดความซ้ำซ้อนในการดำเนินงาน นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้พัฒนาระบบให้สามารถสร้างรายงานมาตรฐานในรูปแบบไฟล์ PDF โดยอัตโนมัติ เพื่ออำนวยความสะดวกในการจัดเก็บข้อมูลการสรุปผลและการนำข้อมูลไปใช้ประกอบการตัดสินใจด้านการบริหารความเสี่ยง

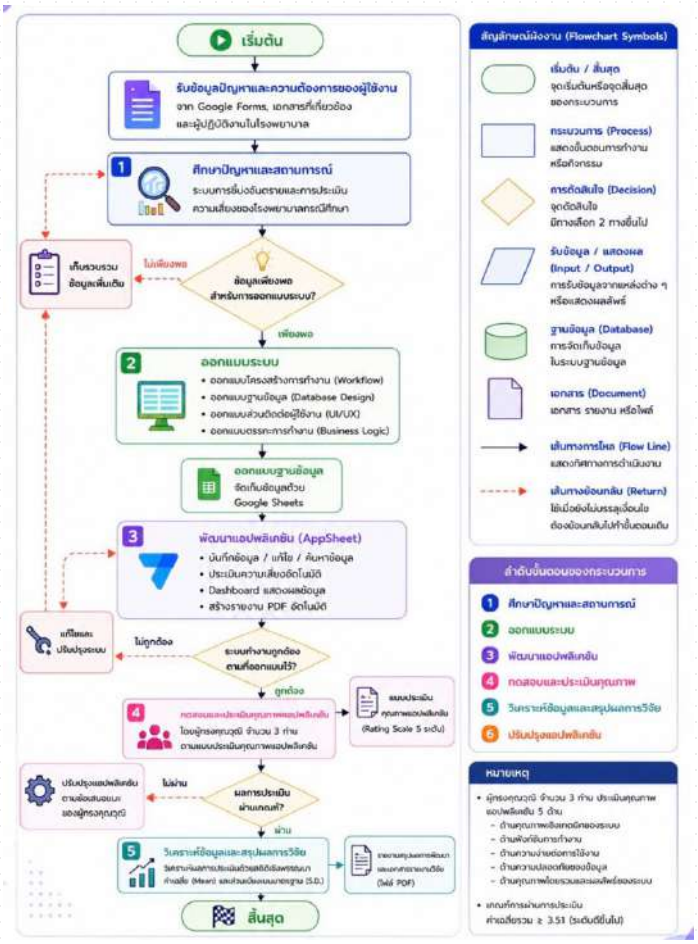
5.1.4 การทดสอบและประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชันระบบการชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยง

ทดสอบและประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชันโดยผู้เชี่ยวชาญด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย จำนวน 3 ท่าน หลังจากพัฒนาแอปพลิเคชันระบบการชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยงเสร็จสมบูรณ์ในระดับต้นแบบ ผู้วิจัยได้นำแอปพลิเคชันไปทดสอบการทำงานและประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ซึ่งเป็นผู้มีความรู้ และประสบการณ์ด้านการบริหารความเสี่ยงความปลอดภัยในการทำงาน และเทคโนโลยีสารสนเทศ เพื่อพิจารณาความเหมาะสมของระบบก่อนนำไปใช้งาน การประเมินใช้แบบประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชันที่ผ่านการตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือและผ่านการพิจารณาความเหมาะสมจากผู้เชี่ยวชาญ โดยมีลักษณะเป็นแบบมาตรประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ ครอบคลุมการประเมินประสิทธิภาพของระบบจำนวน 5 ด้าน ได้แก่ ด้านคุณภาพเชิงเทคนิคของระบบ ด้านฟังก์ชันการทำงาน ด้านความง่ายต่อการใช้งาน ด้านความปลอดภัยของข้อมูล และด้านคุณภาพโดยรวม และผลลัพธ์ของระบบ ซึ่งแต่ละด้าน

ประกอบด้วยหัวข้อประเมินที่ครอบคลุมความถูกต้องของการประมวลผล ความเสถียรของระบบ ความครบถ้วนของฟังก์ชัน ความสะดวกในการใช้งาน ความปลอดภัยของข้อมูล และความสามารถของระบบในการสนับสนุนการบริหารจัดการความเสี่ยงของโรงพยาบาล เมื่อผู้เชี่ยวชาญประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันแล้ว ผู้วิจัยได้รวบรวมคะแนนความคิดเห็น พร้อมทั้งข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในแต่ละด้าน เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยใช้สถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) สำหรับใช้พิจารณาประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน และประเด็นที่ควรได้รับการปรับปรุง

5.1.5 การปรับปรุงและสรุปผลการพัฒนาแอปพลิเคชันระบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง

ภายหลังจากการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชัน โดยผู้เชี่ยวชาญด้านอาชีวอนามัย และความปลอดภัย จำนวน 3 ท่าน ผู้วิจัยได้นำผลการประเมินและข้อเสนอแนะที่ได้รับจากแบบประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชันมาวิเคราะห์เพื่อพิจารณาประเด็นที่ควรปรับปรุงและพัฒนาให้สอดคล้องกับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ทั้งในด้านคุณภาพเชิงเทคนิคของระบบ ฟังก์ชันการทำงาน ความง่ายต่อการใช้งาน ความปลอดภัยของข้อมูล และคุณภาพโดยรวมของแอปพลิเคชันผู้วิจัยได้ดำเนินการปรับปรุงแอปพลิเคชันตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญในด้านการออกแบบ ส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (User Interface: UI) การทำงานของระบบ ความถูกต้องของการประมวลผลข้อมูล การคำนวณระดับความเสี่ยง การแสดงผลข้อมูล และการจัดรูปแบบรายงาน เพื่อให้แอปพลิเคชันมีความถูกต้อง ครบถ้วน และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น รวมทั้งสอดคล้องกับกระบวนการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงของโรงพยาบาล เมื่อดำเนินการปรับปรุงแอปพลิเคชันเสร็จสิ้น ผู้วิจัยได้สรุปผลการพัฒนาระบบ พบว่าแอปพลิเคชันสามารถรองรับกระบวนการชี้บ่งอันตราย และการประเมินความเสี่ยงได้ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย สามารถคำนวณระดับความเสี่ยงโดยอัตโนมัติ จัดเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ และสร้างรายงานในรูปแบบไฟล์ PDF ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ แอปพลิเคชันฉบับสมบูรณ์เป็นผลจากการปรับปรุงตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน และถือเป็นผลลัพธ์สุดท้ายของการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

5.2 ประชากร

บุคลากรด้านความปลอดภัยของโรงพยาบาลแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย จำนวน 5 ท่าน ประกอบด้วย ผู้จัดการ 4 แผนก จำนวน 4 ท่าน และเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ จำนวน 1 ท่าน

5.3 เครื่องมือการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย

5.3.1 แอปพลิเคชันระบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง

ประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชัน โดยผู้เชี่ยวชาญ คัดเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จำนวน 3 ท่าน โดยกำหนดคุณสมบัติและเกณฑ์การคัดเลือก (Inclusion Criteria) ได้แก่

- เป็นผู้เชี่ยวชาญหรืออาจารย์ผู้สอนด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย หรือเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ (จป.วิชาชีพ)
- มีประสบการณ์การทำงานหรือการสอนในสาขาที่เกี่ยวข้องไม่น้อยกว่า 5 ปี
- มีความรู้และความเชี่ยวชาญด้านการบริหารจัดการความเสี่ยงและเทคโนโลยีสารสนเทศด้านความปลอดภัย

5.3.2 แบบประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน

ตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาของเครื่องมือวิจัย (IOC) โดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน โดยมีเกณฑ์การคัดเลือกจากผู้เชี่ยวชาญที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน ได้แก่ ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 1 ท่าน ด้านสาธารณสุขและการพยาบาล จำนวน 1 ท่าน และด้านสุขศาสตร์อุตสาหกรรมและความปลอดภัย จำนวน 1 ท่าน

5.4 สถิติที่ใช้ในการวิจัย

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: S.D.) และระดับความคิดเห็น เพื่อใช้วิเคราะห์ผลการประเมินคุณภาพแอปพลิเคชันประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน โดยกำหนดเกณฑ์ตามวิธีของลิเคอร์ท (Likert's Scale) ของ Faye Anderson [8] โดยจะให้คะแนนในส่วนของแต่ละหัวข้อตามความเหมาะสมซึ่งมีลำดับตามความหมายของคะแนน เกณฑ์ประกอบด้วยมาตราส่วนประเมินค่าเชิงคุณภาพ 5 ระดับ (Rating Scale)

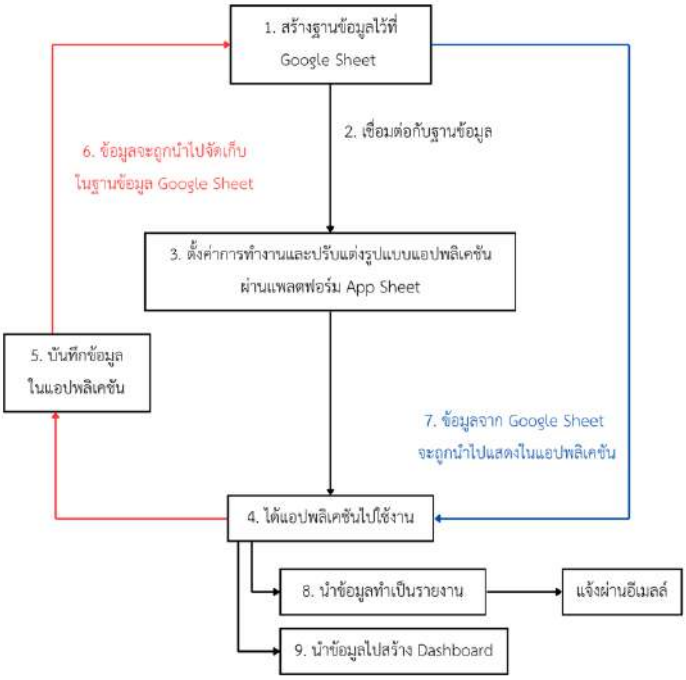
6. ผลการศึกษา/การวิจัย

6.1 ผลการศึกษาปัญหาและสถานการณ์ของระบบเดิม

จากการศึกษาปัญหาและสถานการณ์ของระบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงของโรงพยาบาลแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย พบว่า ระบบเดิมใช้ Google Forms เป็นเครื่องมือในการบันทึกข้อมูลการประเมินความเสี่ยง ซึ่งสามารถจัดเก็บข้อมูลได้เพียงอย่างเดียว ไม่สามารถคำนวณระดับความเสี่ยงหรือจัดทำรายงานได้โดยอัตโนมัติ ส่งผลให้เจ้าหน้าที่ต้องรวบรวมข้อมูลจากแต่ละหน่วยงาน คำนวณระดับความเสี่ยง และจัดทำรายงานด้วยตนเอง ทำให้กระบวนการดำเนินงานใช้เวลานาน มีขั้นตอนการทำงานซ้ำซ้อน และมีโอกาสเกิดความผิดพลาดจากมนุษย์ (Human Error) นอกจากนี้ยังพบว่าการดำเนินงานในระบบเดิมมีการใช้เอกสารและกระดาษจำนวนมากในการจัดเก็บข้อมูลและจัดทำรายงาน ส่งผลให้สิ้นเปลืองทรัพยากร เพิ่มภาระในการจัดเก็บเอกสาร และทำให้การค้นหาข้อมูลย้อนหลัง ทำได้ไม่สะดวก อีกทั้งการรวบรวมและสรุปผลการประเมินความเสี่ยงของแต่ละหน่วยงานใช้ระยะเวลาค่อนข้างนาน ทำให้การติดตามและบริหารจัดการความเสี่ยงไม่เป็นปัจจุบัน

6.2 ผลการออกแบบแอปพลิเคชันการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง

จากผลการวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้งานและศึกษากระบวนการทำงานเดิม ผู้วิจัยได้ออกแบบแอปพลิเคชันสำหรับการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง โดยออกแบบการทำงานของระบบให้เชื่อมต่อกับฐานข้อมูล Google Sheets เพื่อจัดเก็บข้อมูลกลาง และสามารถแสดงผลข้อมูลและรายงานในแอปพลิเคชันได้อย่างเรียลไทม์ แผนภาพการทำงานของระบบแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผนภาพการทำงานของแอปพลิเคชัน

จากภาพที่ 2 อธิบายขั้นตอนการทำงานของแอปพลิเคชันได้ดังนี้

1. สร้างฐานข้อมูลไว้ที่ Google Sheets สำหรับใช้เป็นแหล่งจัดเก็บข้อมูลกลาง
2. แอปพลิเคชันเชื่อมต่อกับฐานข้อมูล Google Sheets ผ่าน AppSheet
3. ตั้งค่าการทำงานของแอปพลิเคชันและปรับแต่งรูปแบบฟอร์ม การแสดงผล และสิทธิ์ผู้ใช้งานผ่านแพลตฟอร์ม AppSheet
4. ได้แอปพลิเคชันสำหรับใช้งานจริง โดยสามารถใช้งานผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่และเว็บเบราว์เซอร์
5. ผู้ใช้งานบันทึกข้อมูลการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงผ่านแอปพลิเคชัน
6. ข้อมูลที่บันทึกในแอปพลิเคชันจะถูกส่งไปจัดเก็บในฐานข้อมูล Google Sheets โดยอัตโนมัติ
7. ข้อมูลจาก Google Sheets จะถูกนำมาแสดงผลในแอปพลิเคชันแบบเรียลไทม์ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบข้อมูลได้ทันที
8. ระบบนำข้อมูลที่บันทึกไว้ไปจัดทำรายงานการประเมินความเสี่ยงในรูปแบบ PDF และสามารถส่งรายงานผ่านอีเมลไปยังผู้ที่เกี่ยวข้องได้โดยอัตโนมัติ
9. ระบบนำข้อมูลการประเมินความเสี่ยงไปสร้าง Dashboard สำหรับแสดงสถิติ ติดตามผล และวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการด้านความปลอดภัยขององค์กร

6.3 ผลการพัฒนาแอปพลิเคชันระบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง กรณีศึกษาโรงพยาบาลแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย

ผลการพัฒนาแอปพลิเคชันระบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง โดยใช้แพลตฟอร์มแอปชีต (AppSheet) ซึ่งสามารถสร้างแอปพลิเคชันโดยไม่ต้องเขียนโค้ด ขอบเขตการออกแบบครอบคลุมปัญหาที่เกิดขึ้นจากการดำเนินงานระบบเดิมของโรงพยาบาลแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย พร้อมพิจารณาความจำเป็นของแอปพลิเคชันให้ครอบคลุม 5 ด้านสำคัญ ได้แก่ ด้านคุณภาพเชิงเทคนิคของระบบ ด้านการทำงานตามฟังก์ชันของระบบ ด้านความง่ายต่อการใช้งานของระบบ ด้านความปลอดภัยของข้อมูลในระบบ และด้านคุณภาพโดยรวมและผลลัพธ์ที่ได้รับ เพื่อให้แอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพ และสอดคล้องกับกระบวนการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงที่มีอยู่เดิมของโรงพยาบาล โดยการพัฒนาแอปพลิเคชันได้มีกระบวนการใช้งานแบ่งออกเป็น 5 ส่วนหลักตามกลุ่มผู้ใช้งาน ได้แก่ พนักงาน เจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัย หัวหน้างาน ผู้จัดการและเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ โดยผู้ใช้งานแต่ละกลุ่มจะต้องป้อนรหัสผ่านของตนเอง เพื่อเข้าถึงข้อมูลและใช้งานระบบ ซึ่งภายในประกอบด้วยกระบวนการเข้าถึงและเมนูการใช้งานต่าง ๆ ของแอปพลิเคชัน รายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กระบวนการเข้าถึง และการใช้งานเมนูต่าง ๆ ของแอปพลิเคชัน

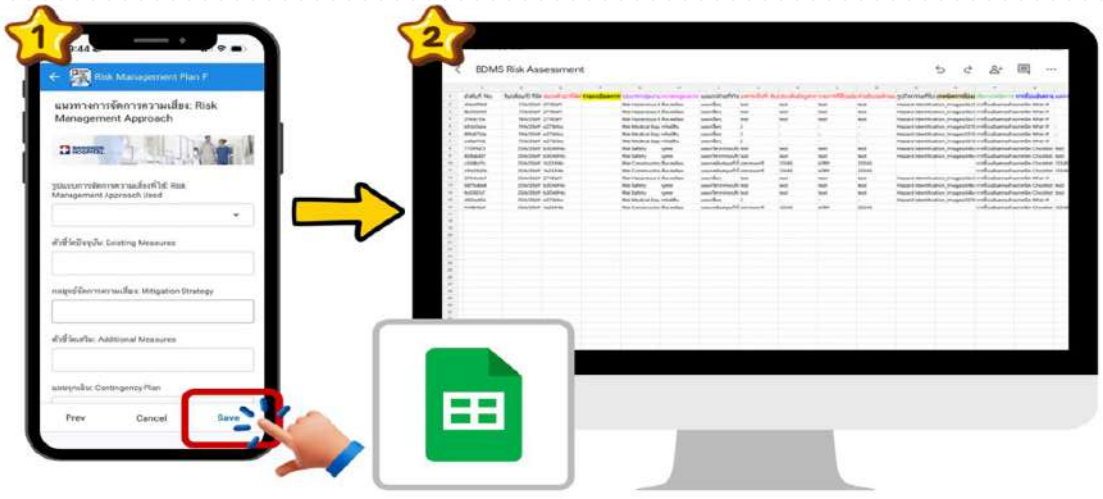
เข้าสู่แอปพลิเคชัน	**เมนูหลัก**	**ขอสิทธิ์การเข้าถึง**	**การเข้าถึงเมนูการใช้งาน**
หน้าเริ่มต้น แสดงเมนูต้อนรับเข้าสู่แอปพลิเคชัน	หน้าเข้าสู่หน้าเมนูสำหรับการใช้งาน	กำหนดการเข้าสู่เมนูสำหรับพนักงานและสำหรับแอดมิน (ต้องใส่รหัสผ่าน)	เข้าสู่เมนูการใช้งานแบบฟอร์มการบันทึกข้อมูล
(ก)	(ข)	(ค)	(ง)

ภาพที่ 3 กระบวนการเข้าถึง และการใช้งานเมนูต่าง ๆ ของแอปพลิเคชัน (ก) เข้าสู่ระบบแอปพลิเคชัน (ข) เมนูหลัก (ค) ขอสิทธิ์การเข้าถึง และ (ง) การเข้าถึงเมนูการใช้งาน

ผลการนำแอปพลิเคชันไปใช้งานจริง ในการติดตั้งแอปพลิเคชันระบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงของโรงพยาบาลแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย สามารถติดตั้งใช้งานได้ทั้งในสมาร์ทโฟน (Smart phone) แท็บเล็ต (Tablet) หรือคอมพิวเตอร์พกพา (Portable Computer) ซึ่งอยู่ในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน รายละเอียดดังภาพที่ 4

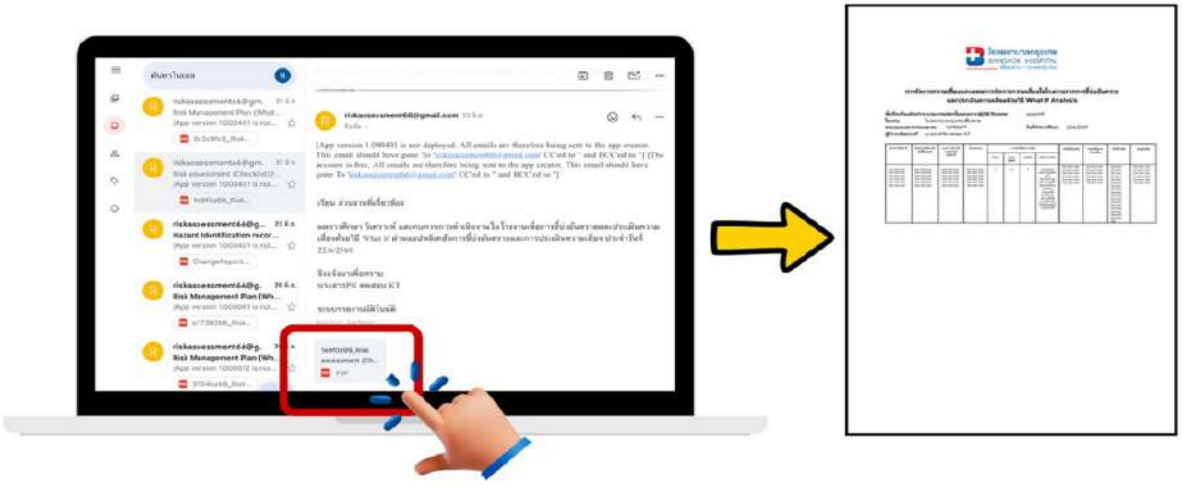
ภาพที่ 4 มุมมองแอปพลิเคชันระบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง

กระบวนการทำงานของแอปพลิเคชันเริ่มต้นเมื่อผู้ใช้งานเข้าสู่แบบฟอร์มสำหรับบันทึกข้อมูลตามฟังก์ชันการใช้งานที่กำหนด และดำเนินการกรอกข้อมูลการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง เมื่อผู้ใช้งานคลิกปุ่มบันทึกข้อมูลตามหมายเลข 1 ข้อมูลดังกล่าวจะถูกส่งและจัดเก็บลงในระบบฐานข้อมูล Google Sheets โดยอัตโนมัติ ตามหมายเลข 2 ผ่านการเชื่อมต่อระหว่างแพลตฟอร์ม AppSheet และ Google Workspace ทำให้ข้อมูลมีความถูกต้องเป็นปัจจุบันและสามารถเรียกใช้งานได้ทันที รายละเอียดดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การบันทึกข้อมูลในแอปพลิเคชันระบบการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง

หลังจากบันทึกข้อมูลเสร็จสิ้น ระบบจะนำข้อมูลที่ถูกจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูลมาประมวลผลและจัดทำรายงานการประเมินความเสี่ยงในรูปแบบ Portable Document Format (PDF) โดยอัตโนมัติ เพื่อให้ได้รายงานที่มีรูปแบบมาตรฐาน สะดวกต่อการจัดเก็บ ค้นคืน และนำไปใช้เป็นหลักฐานประกอบการดำเนินงานด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย นอกจากนี้ ระบบยังสามารถส่งรายงานผ่านอีเมลไปยังผู้ที่เกี่ยวข้องได้โดยอัตโนมัติ ช่วยลดระยะเวลาในการจัดทำและเผยแพร่รายงาน เพิ่มความรวดเร็วในการสื่อสารข้อมูล และสนับสนุนการติดตามผลการดำเนินงานด้านความปลอดภัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ รายละเอียดดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ตัวอย่างการส่งรายงานผ่านอีเมลและการจัดทำรายงานการประเมินความเสี่ยง

นอกจากนี้ระบบจะนำข้อมูลการประเมินความเสี่ยงที่ถูกจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูลมาสร้าง Dashboard สำหรับแสดงผลข้อมูลในรูปแบบสถิติและกราฟ เพื่อใช้ในการติดตามสถานการณ์ความเสี่ยงและวิเคราะห์แนวโน้มผลการประเมินในแต่ละช่วงเวลา โดยระบบได้กำหนดสิทธิ์การเข้าถึงเมนู Dashboard เฉพาะกลุ่มผู้ใช้งานระดับบริหารและผู้รับผิดชอบด้านความปลอดภัย ได้แก่ ผู้จัดการ หัวหน้างาน และเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพเท่านั้นที่เห็นภาพรวมของสถานการณ์ด้านความปลอดภัยได้อย่างชัดเจน และสามารถนำข้อมูลไปใช้ประกอบการวางแผนกำหนดมาตรการควบคุม และบริหารจัดการความเสี่ยงเชิงรุกขององค์กรได้อย่างมีประสิทธิภาพ รายละเอียดดังภาพที่ 7

ภาพที่ 7 ตัวอย่าง Dashboard สรุปผลภาพรวมการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยง

ระบบมีเมนูสำหรับสืบค้นและเรียกดูประวัติการประเมินความเสี่ยงย้อนหลังของแต่ละแผนกหรือหน่วยงานที่ได้ดำเนินการประเมินแล้ว โดยจะแสดงรายละเอียดสำคัญ ได้แก่ วันที่ประเมิน ชื่อแผนกหรือหน่วยงานที่ประเมิน และข้อมูลผลการประเมินที่เกี่ยวข้องอย่างชัดเจน ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบข้อมูลย้อนหลังผ่านแอปพลิเคชันได้อย่างสะดวก ช่วยป้องกันการประเมินซ้ำจากกรณีที่ผู้ใช้งานไม่ทราบหรือหลงลืมว่ามีการประเมินไปแล้ว อีกทั้งยังสนับสนุนการติดตามผล การเปรียบเทียบข้อมูลในแต่ละช่วงเวลา และการทบทวนประสิทธิผลของมาตรการควบคุมความเสี่ยงได้อย่างเป็นระบบ รายละเอียดดังภาพที่ 8

ภาพที่ 8 ตัวอย่างเมนูประวัติการจัดทำบัญชีความเสี่ยงและการจัดการความเสี่ยง

6.4 ผลการประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันระบบการชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยง กรณีศึกษาโรงพยาบาลแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย จากผู้เชี่ยวชาญด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย

ผลจากแบบประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันระบบการชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยง กรณีศึกษาโรงพยาบาลแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย จากผู้เชี่ยวชาญด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยจำนวน 3 ท่าน ครอบคลุมการประเมินใน 5 ด้าน สามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 2 แบบประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันระบบการชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยง กรณีศึกษาโรงพยาบาลแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย

หัวข้อประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน	$\overline{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
ด้านคุณภาพเชิงเทคนิคของระบบ	4.5	0.58	มาก
ด้านฟังก์ชันการทำงาน	4.56	0.58	มากที่สุด
ด้านความง่ายต่อการใช้งาน	4.33	0.77	มาก
ด้านความปลอดภัยของข้อมูล	4.67	0.29	มากที่สุด
ด้านคุณภาพโดยรวมและผลลัพธ์	4.67	0.58	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรวมประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน	**4.55**	**0.56**	**มากที่สุด**

จากตารางที่ 2 พบว่า ผลการประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันระบบการชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยง ในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.55 (**S.D.** = 0.56) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่าด้านที่มีผลการประเมินสูงสุดมีจำนวน 2 ด้าน ได้แก่ ด้านความปลอดภัยของข้อมูล และด้านคุณภาพโดยรวมและผลลัพธ์

ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุดเท่ากันที่ 4.67 (**S.D.** = 0.29 และ 0.58 ตามลำดับ) รองลงมาคือ ด้านฟังก์ชันการทำงาน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุดเท่ากับ 4.56 (**S.D.** = 0.58) และด้านที่มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดคือ ด้านความง่ายต่อการใช้งาน โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากเท่ากับ 4.33 (**S.D.** = 0.77)

7. อภิปรายผลการศึกษา/การวิจัย และข้อเสนอแนะ

7.1 อภิปรายผลการศึกษา/การวิจัย

ผลการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงของโรงพยาบาลแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย ผลการประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย จำนวน 3 ท่าน พบว่า แอปพลิเคชันมีประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{X}$ =4.55 , **S.D.** = 0.56) ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัย อาจเนื่องมาจากผู้วิจัยได้ออกแบบระบบให้สอดคล้องกับกระบวนการบริหารความเสี่ยงตามมาตรฐาน ISO 45001:2018 ตั้งแต่การชี้บ่งอันตราย การประเมินระดับความเสี่ยง การคำนวณคะแนนความเสี่ยงโดยอัตโนมัติ และการจัดทำรายงานในรูปแบบ PDF ส่งผลให้กระบวนการทำงานมีความถูกต้องเป็นระบบ และลดข้อผิดพลาดจากการคำนวณด้วยมือ สอดคล้องกับแนวคิดของ ISO 45001 [9] ที่กำหนดให้การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงเป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบการจัดการอาชีวอนามัยและความปลอดภัย

เมื่อพิจารณารายด้าน พบว่าด้านคุณภาพเชิงเทคนิคของระบบ มีผลการประเมินอยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$ =4.5 , **S.D.** =0.58) สะท้อนให้เห็นว่าระบบมีความถูกต้องของการประมวลผล มีความเสถียร และสามารถคำนวณระดับความเสี่ยงได้อย่างแม่นยำ เนื่องจากระบบถูกออกแบบให้ประมวลผลตามสูตรการประเมินความเสี่ยง (Risk = Likelihood × Severity) โดยอัตโนมัติ ช่วยลดข้อผิดพลาดจากการคำนวณด้วยมนุษย์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของนฤพล นวลเจริญ [10] ที่พบว่าการประยุกต์ใช้ AppSheet ช่วยเพิ่มความถูกต้องของข้อมูล ลดข้อผิดพลาด และเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานของโรงพยาบาลได้อย่างมีนัยสำคัญ

ด้านฟังก์ชันการทำงาน มีผลการประเมินอยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{X}$ =4.56 , **S.D.** =0.58) แสดงให้เห็นว่า แอปพลิเคชันสามารถตอบสนองกระบวนการทำงานได้ครบถ้วน ตั้งแต่การบันทึกข้อมูล การคำนวณระดับความเสี่ยงอัตโนมัติ การออกรายงาน PDF และการแสดงผลผ่าน Dashboard ซึ่งช่วยลดขั้นตอนที่ซ้ำซ้อนของเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพสอดคล้องกับการศึกษาของ อนุพงศ์ ภัทรบุญพงศ์ และคณะ [11] ที่พบว่าการพัฒนาระบบด้วย AppSheet สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานและเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการทำงานได้อย่างมีนัยสำคัญ

ด้านความง่ายต่อการใช้งาน มีผลการประเมินต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับด้านอื่น ($\overline{X}$ =4.33 , **S.D.** =0.77) แม้จะอยู่ในระดับ "มาก" เนื่องจากข้อจำกัดของ AppSheet รูปแบบฟรี ที่กำหนดส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (UI/UX) เป็นแม่แบบสำเร็จรูป จึงไม่สามารถปรับแต่งปุ่มหรือลำดับการกรอกข้อมูลได้ตามความถนัด ประกอบกับการจำกัดโควตาผู้ใช้งานและการซิงค์ข้อมูล (Data Synchronization) ที่ต้องอาศัยสัญญาณอินเทอร์เน็ต ทำให้เกิดความล่าช้าและต้องใช้เวลาเรียนรู้ (Learning Curve) ในช่วงแรก อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาสอดคล้องกับ นฤพล นวลเจริญ [10] ที่พบว่าแม้ AppSheet จะมีข้อจำกัดด้านอินเทอร์เฟซ แต่ยังคงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและเอื้อต่อการเข้าถึงข้อมูลได้ดีกว่าระบบเดิมอย่างมีนัยสำคัญ

ด้านความปลอดภัยของข้อมูล มีผลการประเมินอยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{X}$ =4.67, **S.D.** =0.29) เนื่องจากระบบถูกออกแบบโครงสร้างการกำหนดสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูลตามบทบาทหน้าที่ (Role-based Access Control: RBAC) อย่างเข้มงวด โดยแบ่งผู้ใช้งานเป็น 5 กลุ่มหลัก (พนักงาน เจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัย หัวหน้างาน ผู้จัดการ และเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ) ซึ่งผู้ใช้แต่ละกลุ่มจะต้องยืนยันตัวตนด้วยรหัสผ่านก่อนเข้าใช้งาน ทำให้สามารถปกป้องข้อมูลความเสี่ยงที่เป็นความลับของสถานพยาบาลไม่ให้รั่วไหล นอกจากนี้ การจัดเก็บข้อมูลบน Google Workspace Cloud Services ยังมีระบบบันทึกประวัติการแก้ไขและสืบค้นย้อนหลังที่ชัดเจน ช่วยป้องกันการสูญหายของข้อมูล และการเข้าถึงโดยไม่ได้รับอนุญาต ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐาน ISO/IEC 27001 [12] และงานวิจัยของจุฑามาศ อยู่เจริญ และคณะ [13] ที่เน้นย้ำว่าระบบสารสนเทศในโรงพยาบาลต้องมีการควบคุมสิทธิ์และบริหารจัดการความเสี่ยงด้านสารสนเทศเพื่อสร้างความน่าเชื่อถือสูงสุด

ด้านคุณภาพโดยรวมและผลลัพธ์ มีผลการประเมินอยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{X}$ =4.67, **S.D.** =0.58) แสดงให้เห็นว่าแอปพลิเคชันสามารถตอบสนองต่อปัญหาของโรงพยาบาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยลดความผิดพลาดจากมนุษย์ (Human

Error) และสนับสนุนการบริหารจัดการความเสี่ยงเชิงรุก สอดคล้องกับแนวคิดการจัดการความเสี่ยงตามมาตรฐาน ISO 45001:2018 [9] ที่มุ่งเน้นการใช้ข้อมูลในการกำหนดมาตรการควบคุมและการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นสามารถแก้ไขข้อจำกัดของระบบเดิมที่ใช้ Google Forms ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในด้านการลดขั้นตอนที่ซ้ำซ้อน ลดความผิดพลาดจากการประมวลผลด้วยมือ และสนับสนุนการบริหารจัดการความเสี่ยงเชิงรุก ส่งผลให้การชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงของโรงพยาบาลมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และสอดคล้องกับมาตรฐานด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในระดับสากล

7.2 ข้อเสนอแนะ

7.2.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

การวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญและประโยชน์ของงานวิจัยเป็นอย่างยิ่ง และเพื่อให้การปฏิบัติงานในครั้งต่อไปมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะ ดังต่อไปนี้

7.2.1.1 แอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นเพียงรูปแบบการพัฒนาเพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับวิธีการหรือกระบวนการปฏิบัติงานเฉพาะพื้นที่ของโรงพยาบาลกรณีศึกษาในจังหวัดเชียงรายเท่านั้น ไม่สามารถเอาไปใช้งานได้กับพื้นที่หรือบริบทอื่น ๆ โดยตรง แต่สามารถนำแนวทางการบริหารจัดการความเสี่ยงตามกรอบ ISO 45001:2018 ไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการหรือลักษณะการทำงานอื่น ๆ ที่คล้ายกัน เช่น การนำไปใช้งานในระบบงานชี้บ่งอันตรายของสถานพยาบาลขนาดต่าง ๆ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล หรือคลินิกบริการทางการแพทย์ โดยต้องปรับเปลี่ยนฟังก์ชันการเข้าถึงและแบบฟอร์มให้เหมาะสมกับบริบทเฉพาะของแต่ละองค์กร

7.2.1.2 การใช้งานแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นการพัฒนาเพื่อใช้งานในรูปแบบฟรีผ่านแพลตฟอร์มแอปชีต (AppSheet) ทำให้แอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นไม่สามารถใช้งานในฟังก์ชันขั้นสูงได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ เช่น ข้อจำกัดด้านโควตาจำนวนผู้ใช้งานหน้างาน จึงแนะนำให้มีการพัฒนาแอปพลิเคชันโดยสมัครใช้ในรูปแบบที่เสียค่าบริการ ซึ่งจะทำให้แอปพลิเคชันมีความเสถียรเชิงเทคนิค มีระบบความปลอดภัยสารสนเทศที่รัดกุมขึ้น และสามารถใช้งานฟังก์ชันการทำงานที่เอื้อต่อการประกอบการขององค์กรขนาดใหญ่ได้ดียิ่งขึ้น

7.2.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

แพลตฟอร์มแอปชีต (AppSheet) ที่ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการหรือลักษณะการทำงานอื่น ๆ ในองค์กรได้ เช่น การพัฒนาแอปพลิเคชันระบบจัดการครุภัณฑ์ทางการแพทย์ ระบบบันทึกเวลาปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัย ตลอดจนการพัฒนาต่อยอดระบบรายงานอันตราย หรืออุบัติเหตุจากการทำงาน (Near-Miss และ Accident Reporting) ที่สามารถเชื่อมโยงและประมวลผลร่วมกับฐานข้อมูลหลักของโรงพยาบาล เพื่อส่งเสริมการบริหารจัดการสารสนเทศด้านความปลอดภัยเชิงรุกอย่างครบวงจร

7.3 บทสรุป

การวิจัยนี้บรรลุวัตถุประสงค์ในการพัฒนาแอปพลิเคชันระบบชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยง สำหรับโรงพยาบาลแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย ผ่านแพลตฟอร์ม AppSheet (Version V1.000174) ภายใต้กรอบมาตรฐาน ISO 45001:2018 เพื่อแก้ไขข้อจำกัดของระบบเดิมที่ใช้ Google Forms

ระบบที่พัฒนาขึ้นช่วยยกระดับกระบวนการประเมินความเสี่ยง โดยเปลี่ยนรูปแบบการบันทึกข้อมูล เป็นรายการตัวเลือกมาตรฐานร่วมกับการแนบภาพถ่ายหลักฐานในพื้นที่ มีระบบประมวลผลคำนวณระดับความเสี่ยงอัตโนมัติ จัดทำรายงานในรูปแบบไฟล์ PDF ส่งออกทางอีเมล และแสดงผลสรุปผ่าน Dashboard แบบเรียลไทม์ ซึ่งช่วยลดขั้นตอนการถ่ายโอนข้อมูลที่ซ้ำซ้อนและลดความผิดพลาดจากการคำนวณด้วยมือ

ผลการประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญพบว่า แอปพลิเคชันมีคุณภาพโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{X}$ =4.55 , **S.D.** =0.56) ยืนยันว่าระบบมีความพร้อม ความปลอดภัย และมีประสิทธิภาพเชิงวิชาการตามเกณฑ์ สามารถนำไปขยายผลเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการความเสี่ยงด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในสถานพยาบาลได้อย่างเป็นระบบ

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความอนุเคราะห์จากบุคลากรของโรงพยาบาลกรุงเทพเชียงราย คณาจารย์สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย และคณาจารย์ของคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ที่ให้ข้อเสนอแนะ แนะนำแนวทาง มอบความรู้ และประสบการณ์ที่มีคุณค่าแก่ผู้วิจัยตลอดระยะเวลาที่ดำเนินการศึกษาวิจัย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

9. เอกสารอ้างอิง

[1] กระทรวงแรงงาน. (2567). ประกาศกระทรวงแรงงาน เรื่อง การประเมินอันตราย การศึกษาผลกระทบของสภาพแวดล้อมในการทำงาน และการจัดทำแผนควบคุมดูแลลูกจ้างและสถานประกอบกิจการ พ.ศ. 2567. *ราชกิจจานุเบกษา, 141*(ตอนพิเศษ 321 ง), 53–64.

[2] พระราชบัญญัติความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2554. (2554). *ราชกิจจานุเบกษา, 128*(4 ก), 5–21.

[3] ศิริพร ด่านคชาธาร, มุจลินท์ อินทรเหมือน, นิธิมา หนูหลง, จันจิรา มหาบุญ, และมัตติกา ยงประเดิม. (2563). *การประเมินความเสี่ยงด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยของแผนกซักฟอกในโรงพยาบาลแห่งหนึ่งจังหวัดนครศรีธรรมราช. Thai Science and Technology Journal, 28(1),* 130–143.

[4] เจษฎา เมืองซ้าย. (2568). การประเมินความเสี่ยงสภาพแวดล้อมการทำงานหน่วยจ่ายกลางโรงพยาบาล. *วารสารศาสตร์สาธารณสุขและนวัตกรรม, 5(2)*, E275650.

[5] AppSheet. (2024). *AppSheet: No-code intelligent app creation platform.* Google Cloud. สืบค้นเมื่อ 17 มิถุนายน 2569, จาก https://www.appsheet.com

[6] กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. (2561). *คู่มือการชี้บ่งอันตรายและการประเมินความเสี่ยงเพื่อความปลอดภัยในการทำงาน*. กองความปลอดภัยแรงงาน กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน.

[7] สถาบันส่งเสริมความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน (องค์การมหาชน). (2565). *แนวทางการบริหารจัดการความเสี่ยงด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน.* สสปท.

[8] Anderson, F. (2020). *Likert scale data linear modeling: A cookbook using R*. Independently Published.

[9] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2561). *มอก. ISO 45001:2561 ระบบการจัดการอาชีวอนามัยและความปลอดภัย-ข้อกำหนดและข้อแนะนำในการใช้*. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.

[10] นฤพล นวลเจริญ. (2567). *การพัฒนาโปรแกรมสารสนเทศที่ใช้บริหารยาคงคลัง โรงพยาบาลพุทธโสธร. วารสารไทยเภสัชศาสตร์และวิทยาการสุขภาพ, 19(2)*, 191–205.

[11] อนุพงศ์ ภัทรบุญพงศ์, ศุภวัฒนกร วงศ์ธนวสุ, และสาธิตา เรืองศิริภากุล. (2567). *การพัฒนาแอปพลิเคชันระบบนำทางรถพยาบาลด้วย AppSheet. วารสารคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสร้างสรรค์, 2(1),* 1–15.

[12] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2561). *มอก. ISO/IEC 27001:2561 เทคโนโลยีสารสนเทศ เทคนิค ความมั่นคงปลอดภัย ระบบบริหารจัดการความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศ-ข้อกำหนด*. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.

[13] จุฑามาศ อยู่เจริญ, และกิตติศักดิ์ แก้วบุตรดี. (2566). *ความสำคัญของมาตรฐาน ISO/IEC 27001 และระบบบริหารจัดการความมั่นคงปลอดภัยของสารสนเทศในโรงพยาบาล. Mahidol R2R e-Journal, 10(1),* 16–28.

การพัฒนาระบบจัดเก็บข้อมูลอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ : กรณีศึกษามหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

Development of a Computer Network Equipment Information Management System: A Case Study of Huachiew Chalermprakiet University

ฑิตยา คูณศรี[1] ภูริวัฒน์ สมเสาร์[1] สรวิชญ์ ปิ่นสุวรรณ[1] ปวริศ คงดี[1] สุธีรา พึ่งสวัสดิ์[2*] ภัททิตา เลิศจริยพร[2] และ นฤดี บูรณะจรรยากุล[2]

[1]สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
[2]สาขาวิชาวิทยาการคำนวณและเทคโนโลยีดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
*E-mail: aj-tarn@hotmail.com

บทคัดย่อ

การพัฒนาระบบจัดเก็บข้อมูลอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ : กรณีศึกษามหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนา และประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อระบบที่พัฒนาขึ้น โดยระบบรองรับการใช้งานผ่านเว็บแอปพลิเคชัน ประกอบด้วยฟังก์ชันหลัก ได้แก่ การจัดการข้อมูลอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ การค้นหาอุปกรณ์ การตรวจสอบสถานะการทำงานของอุปกรณ์ และการแจ้งซ่อม/แจ้งอุปกรณ์ชำรุด ระบบได้รับการพัฒนาด้วยเฟรมเวิร์ก Next.js และใช้ MySQL สำหรับจัดเก็บข้อมูล ผลการทดลองใช้งานพบว่า ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$ = 4.46) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D. = 0.56) นอกจากนี้ ระบบยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบและติดตามสถานะอุปกรณ์ภายในเครือข่าย รวมทั้งสามารถจัดทำรายงานสรุปสถานะอุปกรณ์ได้อย่างเป็นระบบ ส่งผลให้การบริหารจัดการและการดูแลอุปกรณ์เครือข่ายเป็นไปอย่างทั่วถึง ถูกต้อง และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: ระบบจัดเก็บข้อมูล อุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ เว็บแอปพลิเคชัน

Abstract

This study presents the development of a Computer Network Equipment Information Management System for Huachiew Chalermprakiet University. The objectives of the study were to develop the system and assess user satisfaction. The system was developed as a web application and provides key functionalities, including network equipment data management, equipment search, equipment status monitoring, and maintenance/fault reporting. The system was developed using the Next.js framework, with MySQL employed as the database management system. The results indicated that the system could be effectively implemented in a real-world environment and successfully met the organizational requirements. Furthermore, user satisfaction was rated at a high level, with a mean score of 4.46 and a standard deviation of 0.56. Furthermore, the system enhanced the efficiency of monitoring and tracking network equipment status. It also provided systematic reporting capabilities for summarizing equipment status, thereby improving the effectiveness, accuracy, and comprehensiveness of network equipment management and maintenance.

Keywords: Data Storage System, Network Equipment, Web Application

1. บทนำ

ในปัจจุบันมหาวิทยาลัยและองค์กรขนาดใหญ่มีการใช้งานอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์จำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็น เราเตอร์ (Router) สวิตช์ (Switch) อุปกรณ์กระจายสัญญาณไร้สาย (Wireless Access Point) และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง การบริหารจัดการอุปกรณ์เหล่านี้อย่างมีประสิทธิภาพถือเป็นปัจจัยสำคัญในการรับรองความต่อเนื่องของการให้บริการเครือข่าย [1] งานวิจัยของ Cisco Systems [2] ชี้ให้เห็นว่าองค์กรที่ขาดระบบจัดการข้อมูลอุปกรณ์เครือข่ายที่ดีจะสูญเสียเวลาในการแก้ไขปัญหาและบำรุงรักษาระบบเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 40 เมื่อเทียบกับองค์กรที่มีระบบดังกล่าว

มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติมีการใช้งานอุปกรณ์เครือข่ายกว่า 300 รายการ กระจายอยู่ตามอาคารต่าง ๆ ในวิทยาเขต ปัจจุบันการจัดเก็บข้อมูลอุปกรณ์ยังคงอยู่ในรูปแบบของสเปรดชีต (Spreadsheet) ซึ่งนำไปสู่ปัญหาหลายประการ ได้แก่ ข้อมูลซ้ำซ้อน ข้อมูลไม่ถูกต้องหรือล้าสมัย ความยากในการค้นหาและติดตามสถานะอุปกรณ์ รวมถึงการขาดการแจ้งเตือนเมื่ออุปกรณ์ถึงกำหนดบำรุงรักษาหรือหมดอายุการรับประกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ประภาส โอสถานนท์ และคณะ [3] ที่พบว่าการจัดการข้อมูลสินทรัพย์ไอทีด้วยสเปรดชีตก่อให้เกิดความผิดพลาดในข้อมูลสูงถึงร้อยละ 23

แนวคิดการจัดการสินทรัพย์ไอที ตามกรอบแนวทาง ITIL (Information Technology Infrastructure Library) เวอร์ชัน 4 ระบุว่าองค์กรควรมีระบบจัดเก็บข้อมูลอุปกรณ์ที่สามารถติดตามวงจรชีวิตของอุปกรณ์ได้ตั้งแต่การจัดหาจนถึงการจำหน่าย [4] ฐานข้อมูลการจัดการการกำหนดค่า (Configuration Management Database: CMDB) เป็นเครื่องมือสำคัญที่ช่วยให้องค์กรสามารถมองเห็นภาพรวมของโครงสร้างพื้นฐานด้านไอทีได้อย่างชัดเจน [5]

งานวิจัยของ อภิชาติ ศรีวิชัย และ สุรีย์ มณีรัตน์ [6] พัฒนาระบบบริหารจัดการสินทรัพย์ไอทีสำหรับองค์กรภาครัฐโดยใช้เทคโนโลยีเว็บแอปพลิเคชัน พบว่าระบบดังกล่าวช่วยลดต้นทุนการจัดการสินทรัพย์ได้ร้อยละ 35 และเพิ่มความถูกต้องของข้อมูลเป็นร้อยละ 95 ในทำนองเดียวกัน Bartolini และคณะ [7] เสนอแบบจำลองการจัดการอุปกรณ์เครือข่ายแบบอัตโนมัติโดยใช้ SNMP (Simple Network Management Protocol) ร่วมกับระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ ซึ่งสามารถรวบรวมข้อมูลอุปกรณ์ได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว

ผู้วิจัยจึงเสนอแนวทางการพัฒนาระบบจัดเก็บข้อมูลอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) พัฒนาระบบจัดเก็บข้อมูลอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ และ (2) ประเมินความพึงพอใจของกลุ่มผู้ใช้งาน ทั้งนี้เพื่อใช้ระบบดังกล่าวเป็นเครื่องมือสนับสนุนการบริหารจัดการข้อมูล ลดภาระงาน และเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานระบบเครือข่าย โดยผลลัพธ์ที่คาดหวังคือการได้มาซึ่งเครื่องมือที่ช่วยเพิ่มศักยภาพการดูแลระบบเครือข่ายให้มีความถูกต้อง แม่นยำ และสามารถตอบสนองต่อปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในอนาคต

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

2.1 ศึกษาความเป็นไปได้ และกำหนดปัญหาของระบบ

1) การสัมภาษณ์ (Interview) ผู้ดูแลระบบเครือข่ายและเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง เพื่อทำความเข้าใจกระบวนการทำงานเดิม ปัญหาที่พบ และความต้องการของระบบใหม่

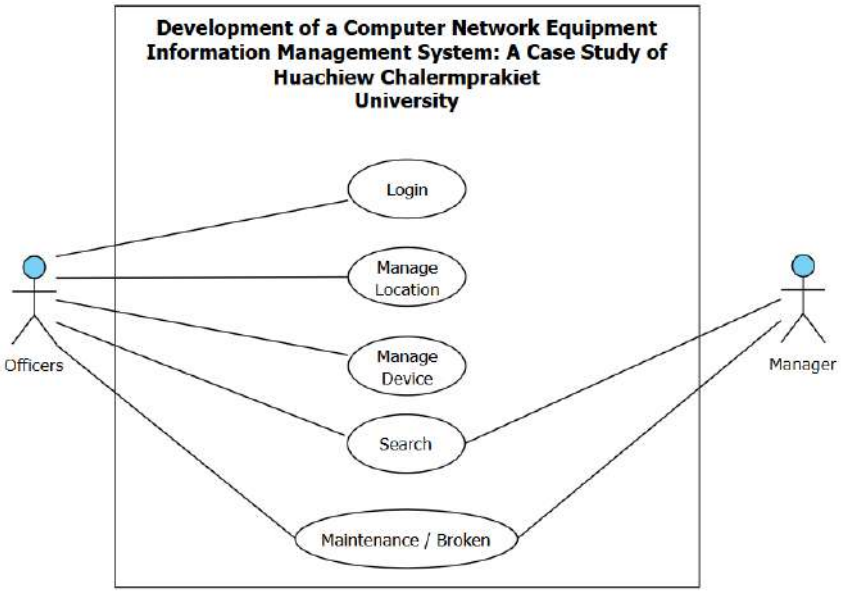
2) การสังเกตการณ์ (Observation) ขั้นตอนการบันทึกและสืบค้นข้อมูลอุปกรณ์เครือข่ายในปัจจุบัน เพื่อระบุจุดที่เป็นปัญหา เช่น ความซ้ำซ้อนของข้อมูล หรือความล่าช้าในการค้นหา

3) การศึกษาเอกสาร (Document Study) ทบทวนเอกสาร แบบฟอร์ม และไฟล์ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้งานอยู่เดิม เพื่อนำมาวิเคราะห์โครงสร้างข้อมูลที่จำเป็นสำหรับระบบใหม่

4) การศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ทบทวนแนวคิดเกี่ยวกับการออกแบบฐานข้อมูล หลักการ Normalization (1NF, 2NF, 3NF) และการจัดการสินทรัพย์ไอที (IT Asset Management) จากเอกสารทางวิชาการและแหล่งข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

2.2 วิเคราะห์และออกแบบระบบโดยทำการออกแบบสถาปัตยกรรมระบบ

นำข้อมูลความต้องการที่รวบรวมได้ มาทำการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ความต้องการที่แท้จริง เพื่อใช้ในขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาโปรแกรม โดยในการวิเคราะห์จะนำเสนอด้วย Use Case Diagram เพื่อให้ทราบถึงขอบเขตของระบบ โดยรวมฟังก์ชันการทำงาน แผนภาพแสดงข้อมูลการทำงานของเจ้าหน้าที่ฝ่ายเทคโนโลยีสารสนเทศ และผู้บริหารที่เกี่ยวข้องแสดงได้ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 Use Case Diagram ระบบจัดเก็บข้อมูลอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์

จากภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างและการทำงานของระบบจัดเก็บข้อมูลอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถแบ่งผู้ใช้งานระบบออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ เจ้าหน้าที่ฝ่ายเทคโนโลยีสารสนเทศ และผู้บริหารที่เกี่ยวข้อง โดยการทำงานของระบบแบ่งออกเป็น 5 ส่วน (Use Case) ที่สำคัญ ดังนี้

1) **Login** ฟังก์ชันเข้าสู่ระบบด้วยข้อมูลบัญชีที่ลงทะเบียนไว้

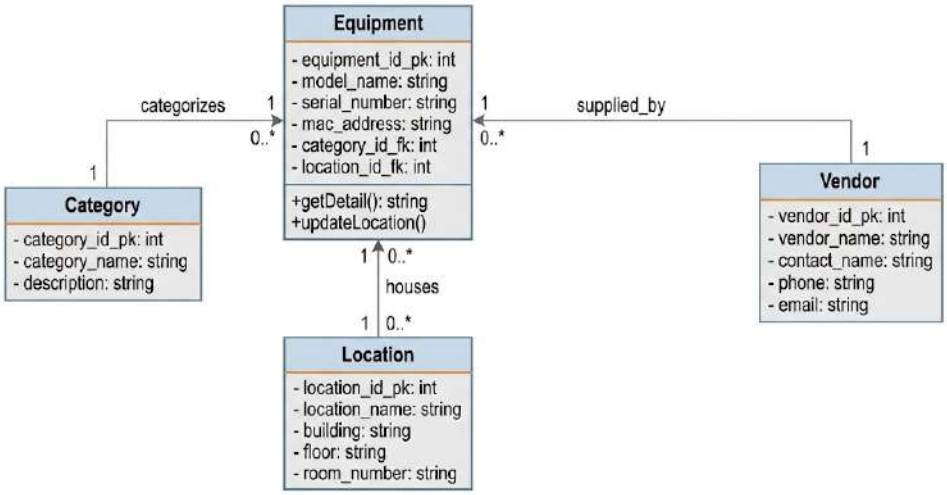
2) **Manage Location** ฟังก์ชันการเพิ่ม ลบ และแก้ไขข้อมูลสถานที่ ได้แก่ อาคาร และชั้น

3) **Manage Device** ฟังก์ชันการเพิ่ม ลบ และแก้ไขข้อมูลอุปกรณ์ ได้แก่ ชื่ออุปกรณ์ หมวดหมู่ ยี่ห้อ รุ่น และสถานะของอุปกรณ์

4) **Search** ฟังก์ชันค้นหาอุปกรณ์ที่ต้องการได้ เช่น ค้นหาตามชื่ออุปกรณ์ ตำแหน่ง หรือสถานะของอุปกรณ์

5) **Maintenance / Broken** ฟังก์ชันการส่งคำขอแจ้งซ่อมบำรุงหรือรายงานความชำรุดเสียหายของอุปกรณ์เครือข่าย

ฐานข้อมูลถูกออกแบบโดยใช้หลักการ Normalization ระดับที่ 3 (3NF) เพื่อลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล ตารางหลักในระบบประกอบด้วย ตาราง Equipment (ข้อมูลอุปกรณ์), Location (ข้อมูลสถานที่ติดตั้ง), Category (ประเภทอุปกรณ์) และ Vendor (ผู้จำหน่าย) โดยมีความสัมพันธ์แบบ One-to-Many และ Many-to-Many ตามความเหมาะสม



ภาพที่ 2 Class Daigram ระบบจัดเก็บข้อมูลอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์

โครงสร้างของคลาส (ตาราง) ประกอบไปด้วย 4 ส่วนดังนี้

1) Category เก็บประเภทของอุปกรณ์ (เช่น Switch, Router, Firewall) แยกออกจากตัวอุปกรณ์เพื่อไม่ให้ชื่อประเภทซ้ำซ้อน

2) Location เก็บสถานที่ติดตั้ง (เช่น อาคาร, ชั้น, ห้อง) ช่วยให้กรณีเปลี่ยนชื่อห้องหรืออาคาร แก้ไขเพียงจุดเดียว ข้อมูลใน Equipment จะไม่กระทบ

3) Vendor เก็บข้อมูลผู้จำหน่าย (ชื่อบริษัท, ผู้ติดต่อ, เบอร์โทร) แยกจากข้อมูลการซื้อขาย

4) Equipment เก็บข้อมูลเฉพาะของตัวอุปกรณ์นั้น ๆ เช่น Serial Number, MAC Address และอ้างอิง (FK) ไปยัง Category และ Location

2.3 ขั้นตอนการพัฒนาระบบ

หลังจากการวิเคราะห์และออกแบบระบบแล้วเสร็จ ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาระบบตามขั้นตอน ดังนี้

1) การพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้งาน พัฒนาโดยใช้เฟรมเวิร์ก Next.js ร่วมกับไลบรารี React และจัดรูปแบบหน้าจอด้วย Tailwind CSS เพื่อให้ส่วนติดต่อผู้ใช้งานมีความทันสมัย ใช้งานง่าย และรองรับการแสดงผลบนอุปกรณ์ที่มีขนาดหน้าจอแตกต่างกัน (Responsive Design)

2) การพัฒนาส่วนประมวลผลฝั่งเซิร์ฟเวอร์ ใช้ Next.js API Routes ในการสร้างชุด RESTful API เพื่อรองรับการทำงานของฟังก์ชันหลักของระบบ ได้แก่ การจัดการข้อมูลอุปกรณ์ การค้นหาอุปกรณ์ การตรวจสอบสถานะการทำงาน และการแจ้งซ่อม/แจ้งอุปกรณ์ชำรุด โดยมีการตรวจสอบสิทธิ์ผู้ใช้งาน (Authentication) ก่อนอนุญาตให้เข้าถึงหรือแก้ไขข้อมูล

3) การพัฒนาฐานข้อมูล สร้างฐานข้อมูลด้วย MySQL ตามผลการออกแบบ Class Diagram ในหัวข้อ 2.2 ประกอบด้วยตาราง Equipment, Location, Category และ Vendor พร้อมกำหนดคีย์หลัก และคีย์นอก เพื่อรักษาความสัมพันธ์และความถูกต้องของข้อมูลตามหลักการ Normalization ระดับที่ 3 (3NF)

4) การพัฒนาโมดูลแจ้งเตือนอัตโนมัติ พัฒนาระบบส่งข้อมูลการแจ้งซ่อมหรือแจ้งอุปกรณ์ชำรุดไปยังไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ของเจ้าหน้าที่ฝ่ายเทคโนโลยีสารสนเทศโดยอัตโนมัติ ทันทีที่มีการบันทึกคำขอในระบบ เพื่อให้สามารถดำเนินการแก้ไขได้อย่างรวดเร็ว

5) การทดสอบระบบ ดำเนินการทดสอบ 2 ระดับ ได้แก่ การทดสอบหน่วยย่อย (Unit Testing) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของฟังก์ชันการทำงานแต่ละส่วนก่อนนำไปรวมกับส่วนอื่น และการทดสอบการยอมรับของผู้ใช้งาน (User Acceptance Testing: UAT) โดยให้กลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นเจ้าหน้าที่ฝ่ายเทคโนโลยีสารสนเทศและผู้บริหารที่เกี่ยวข้องทดลองใช้งานระบบจริง ก่อนนำผลไปประเมินความพึงพอใจตามรายละเอียดในหัวข้อ 2.4 และ 2.5

6) การติดตั้งใช้งานจริง นำระบบขึ้นให้บริการบนเครื่องแม่ข่าย ของหน่วยงาน พร้อมทั้งจัดทำคู่มือการใช้งานสำหรับเจ้าหน้าที่ฝ่ายเทคโนโลยีสารสนเทศและผู้บริหาร เพื่อให้สามารถใช้งานระบบได้อย่างถูกต้องและต่อเนื่อง

2.4 กลุ่มตัวอย่าง และการเก็บรวบรวมข้อมูล

กลุ่มตัวอย่างในการประเมินระบบประกอบด้วยเจ้าหน้าที่ฝ่ายเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 15 คน และผู้บริหารที่เกี่ยวข้อง จำนวน 5 คน รวม 20 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แบบสอบถามความพึงพอใจแบบ Likert Scale 5 ระดับ ซึ่งผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน และมีค่าความเชื่อมั่น (Cronbach's Alpha) เท่ากับ 0.87

2.5 สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความคิดเห็น แบบประเมินความพึงพอใจของระบบได้กำหนดเกณฑ์ตามวิธีของลิเคอร์ท (Likert's Scale) ของ Faye Anderson [8] โดยจะให้คะแนนในส่วนของแต่ละหัวข้อตามความเหมาะสมซึ่งมีลำดับตามความหมายของคะแนน เกณฑ์ประกอบด้วยมาตราส่วนประเมินค่าเชิงคุณภาพ 5 ระดับ (Rating Scale) ดังนี้

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.51 – 5.00 หมายความว่า ระดับมากที่สุด
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.51 – 4.50 หมายความว่า ระดับมาก
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.51 – 3.50 หมายความว่า ระดับปานกลาง

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.51 – 2.50 หมายความว่า ระดับน้อย
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 – 1.50 หมายความว่า ระดับน้อยที่สุด

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

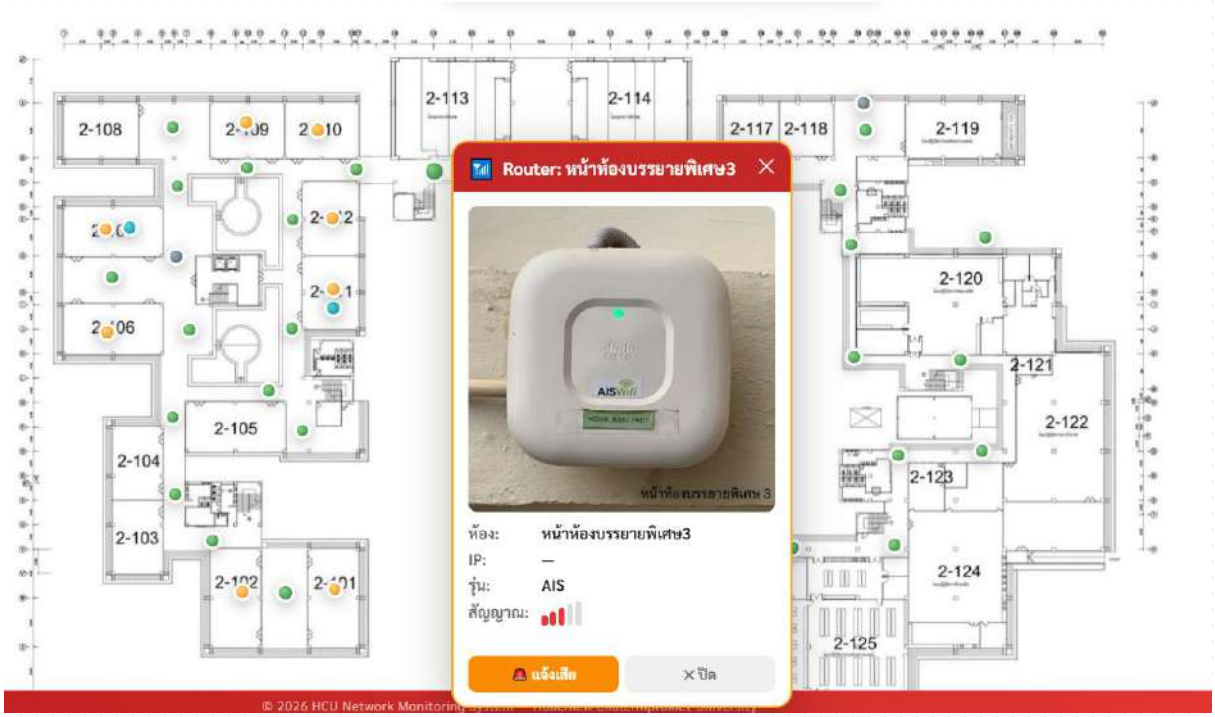
3.1 ผลการพัฒนาระบบจัดเก็บข้อมูลอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ กรณีศึกษามหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาระบบจัดเก็บข้อมูลอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลจากการศึกษาการวิเคราะห์ออกแบบระบบมาพัฒนาเป็นเว็บแอปพลิเคชัน ในส่วนของเจ้าหน้าที่ฝ่ายเทคโนโลยีสารสนเทศ และผู้บริหารที่เกี่ยวข้อง แสดงดังภาพที่ 3 ถึง 9

ภาพที่ 3 หน้าจอส่วนของสถานะของอุปกรณ์

จากภาพที่ 3 หน้าจอส่วนของสถานะของอุปกรณ์ โดยส่วนกลางของหน้าจอแสดงผังชั้นของอาคารพร้อมตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์เครือข่ายแต่ละจุดในรูปแบบแผนผัง (Floor Plan) แบ่งตามสีของสถานะ ประกอบไปด้วย สีเขียว สถานะปกติ ยี่ห้อ Cisco / สีเหลือง สถานะปกติ ยี่ห้อ TP-link / สีเทา สถานะไม่พบสัญญาณ ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถระบุตำแหน่งอุปกรณ์ได้อย่างชัดเจนและรวดเร็ว

ทางด้านซ้ายของหน้าจอเป็นเมนูสำหรับเลือกอาคาร ชั้น และรายการอุปกรณ์เครือข่าย โดยสามารถค้นหาและเลือกดูข้อมูลอุปกรณ์แต่ละรายการได้สะดวก ส่วนด้านบนของหน้าจอประกอบด้วยเมนูสำหรับการจัดการข้อมูล การแสดงผลตามประเภทอุปกรณ์ และการเข้าถึงฟังก์ชันต่าง ๆ ของระบบ



ภาพที่ 4 หน้าจอแสดงรายละเอียดของอุปกรณ์เครือข่าย

จากภาพที่ 4 ผู้ใช้งานสามารถเรียกดูข้อมูลอุปกรณ์เครือข่ายของอุปกรณ์แต่ละชิ้น ประกอบด้วยข้อมูลสำคัญ เช่น ตำแหน่งอุปกรณ์, IP Address, ยี่ห้อ และปริมาณสัญญาณได้

ภาพที่ 5 หน้าจอแสดงรายละเอียดการแจ้งซ่อม / เสียของอุปกรณ์

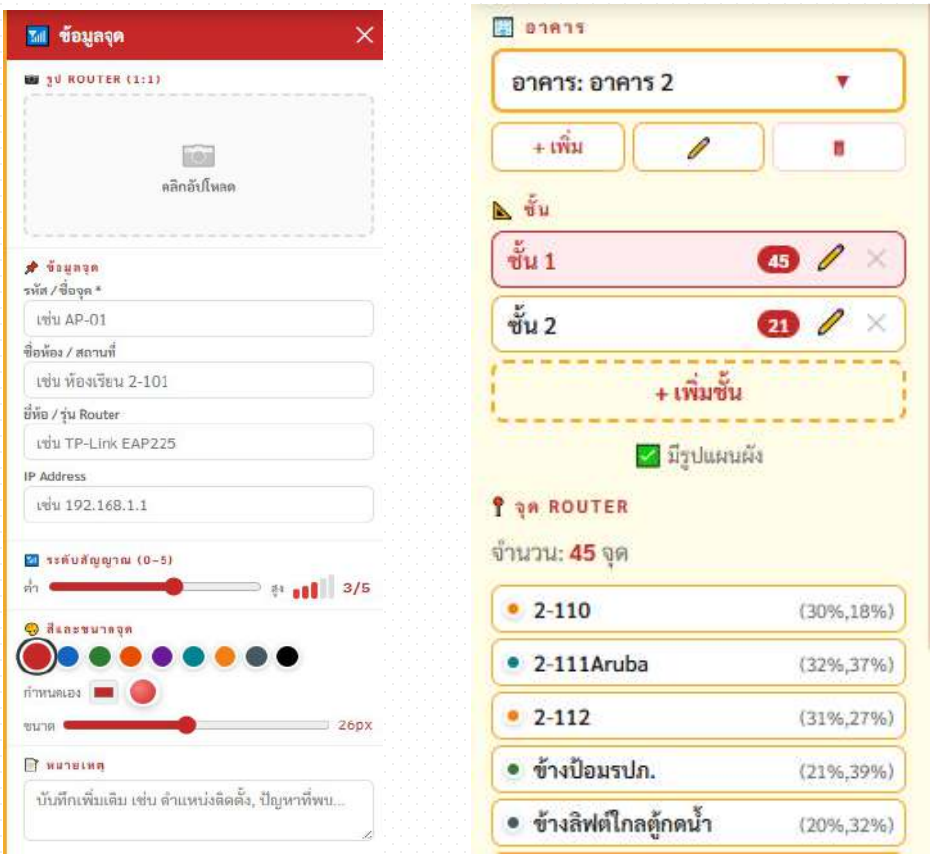
จากภาพที่ 5 ผู้ใช้งานสามารถส่งคำขอแจ้งซ่อมบำรุงหรือรายงานความชำรุดเสียหายของอุปกรณ์เครือข่ายได้ โดยการเลือกอุปกรณ์ที่ต้องการดำเนินการ จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลอาการขัดข้อง รายละเอียดประกอบที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งระบุชื่อผู้แจ้ง ข้อมูลสรุปรายการแจ้งซ่อมดังกล่าวทั้งหมดจะถูกจัดส่งไปยังไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (E-mail) ของเจ้าหน้าที่ฝ่ายเทคโนโลยีสารสนเทศโดยอัตโนมัติ เพื่อดำเนินกระบวนการในลำดับถัดไป

ภาพที่ 6 หน้าจอแดชบอร์ด (Dashboard)

จากภาพที่ 6 หน้าจอแดชบอร์ด (Dashboard) ซึ่งแสดงภาพรวมและสถานะการดำเนินงานของอุปกรณ์เครือข่ายในระบบ โดยประกอบด้วยตัวบ่งชี้สำคัญ ได้แก่ จำนวนจุดติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมด จำนวนจุดสัญญาณเสถียร (สัญญาณดี) จำนวนจุดสัญญาณอ่อน (สัญญาณต่ำ) ตลอดจนจำนวนอาคารและจำนวนชั้นทั้งหมดที่มีการติดตั้งอุปกรณ์เครือข่าย

ภาพที่ 7 หน้าจอการเข้าสู่ระบบ

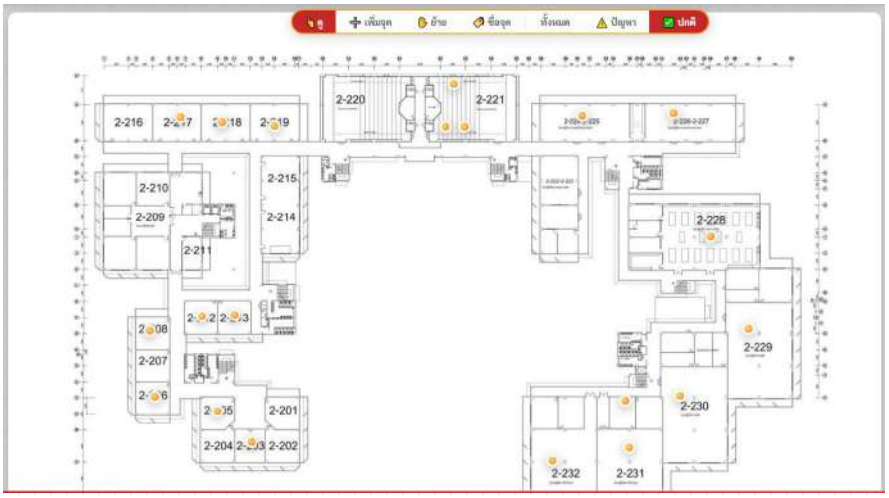
จากภาพที่ 7 เจ้าหน้าที่ฝ่ายเทคโนโลยีสารสนเทศ มีบทบาทและหน้าที่รับผิดชอบในการบริหารจัดการอุปกรณ์เครือข่ายทั้งหมดภายในระบบ รวมถึงการปรับปรุงแก้ไขและการกำหนดค่าต่าง ๆ (Configuration) ของอุปกรณ์ให้มีความถูกต้องและเป็นปัจจุบัน โดยจะต้องทำเข้าสู่ระบบ



(ก) (ข)

ภาพที่ 8 หน้าจอการจัดการข้อมูลอุปกรณ์ (ก) และอาคาร (ข)

จากภาพที่ 8 แสดงหน้าจอการจัดการข้อมูลของระบบ ผู้ใช้งานสามารถเพิ่ม ข้อมูลของอุปกรณ์ใหม่ ซึ่งประกอบไปด้วย รหัส / จุด , ชื่อห้อง / สถานที่ , ยี่ห้อ / รุ่น Router, IP Address เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถจัดการข้อมูล อาคาร และชั้นของอาคารได้อีกด้วย



ภาพที่ 9 หน้าจอการปรับแต่งค่าของระบบ

จากภาพที่ 9 แสดงหน้าจอการปรับแต่งค่าของระบบ ซึ่งเจ้าหน้าที่ฝ่ายเทคโนโลยีสารสนเทศ สามารถบริหารจัดการข้อมูลอุปกรณ์ที่บันทึกไว้ในระบบได้ โดยรองรับการแก้ไขข้อมูล การย้ายตำแหน่งการติดตั้ง และการปรับปรุงรายละเอียดของอุปกรณ์ เพื่อเพิ่มความถูกต้องและประสิทธิภาพในการจัดเก็บข้อมูลอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์

3.2 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบจัดเก็บข้อมูลอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ : กรณีศึกษามหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

ผู้วิจัยดำเนินการทดสอบใช้ระบบจัดเก็บข้อมูลอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นกับเจ้าหน้าที่ฝ่ายเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 15 คน และผู้บริหารที่เกี่ยวข้อง จำนวน 5 คน รวม 20 คน โดยมีการทดลองใช้ระบบ พร้อมทั้งสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบ จากนั้นนำผลการเรียนรู้มาวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติพื้นฐานเทียบกับเกณฑ์และสรุปผลแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลความพึงพอใจการใช้งานระบบจัดเก็บข้อมูลอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์

รายการ	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. ด้านการออกแบบและการจัดรูปแบบ			
1.1 ความสวยงาม ความทันสมัย น่าสนใจ	4.35	0.61	มาก
1.2 การจัดวางเมนู ลิงก์ และปุ่มกดมีความเป็นระเบียบ เข้าใจง่าย	4.42	0.58	มาก
1.3 ขนาดตัวอักษร สีอักษร และรูปแบบอักษร	4.50	0.53	มาก
1.4 การเลือกใช้โทนสีมีความเหมาะสม ไม่สบายตาหรือรบกวนการทำงาน	4.38	0.64	มาก
2. ด้านคุณภาพของเนื้อหา			
2.1 ข้อมูลรายการอุปกรณ์มีความถูกต้อง ครบถ้วน	4.46	0.52	มาก
2.2 เนื้อหาและการจัดหมวดหมู่อุปกรณ์ (เช่น Switch, Router, AP) มีความชัดเจน	4.52	0.51	มากที่สุด
2.3 ระบบการค้นหาและแสดงสถานะอุปกรณ์ (เช่น ใช้งานอยู่/ชำรุด/สำรอง) มีความครบถ้วน	4.48	0.60	มาก
2.4 ภาษาที่ใช้ในระบบมีความเข้าใจง่าย ไม่ซับซ้อน	4.40	0.55	มาก
3. ด้านประโยชน์และการนำไปใช้			
3.1 ระบบช่วยลดขั้นตอนและเวลาในการตรวจสอบข้อมูลอุปกรณ์เครือข่าย	4.55	0.50	มากที่สุด
3.2 สามารถนำข้อมูลจากระบบไปใช้สนับสนุนการวางแผนซ่อมบำรุงหรือจัดซื้อได้จริง	4.44	0.58	มาก
3.3 ระบบมีความเสถียรและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเจ้าหน้าที่ IT	4.38	0.62	มาก
3.4 ภาพรวมระบบมีความคุ้มค่าและมีประโยชน์ต่อองค์กร	4.58	0.49	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยภาพรวมของระบบ	**4.46**	**0.56**	**มาก**

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบจัดเก็บข้อมูลอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ทั้ง 3 ด้าน พบว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับ "มาก" โดยมีคะแนนเฉลี่ยรวมทุกด้านอยู่ที่ 4.46 เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านประโยชน์และการนำไปใช้ มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด ($\bar{X}$=4.49) รองลงมาคือ ด้านคุณภาพของเนื้อหา ($\overline{\mathbf{X}}$ = 4.47) และ ด้านการออกแบบและการจัดรูปแบบ ($\overline{\mathbf{X}}$ = 4.41) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตอบโจทย์การทำงานของเจ้าหน้าที่ฝ่ายเทคโนโลยีสารสนเทศในการลดเวลาและเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการสินทรัพย์ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศได้เป็นอย่างดี

สรุปผลการดำเนินงานพบว่าการพัฒนาระบบจัดเก็บข้อมูลอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ สามารถนำมาใช้ได้จริง ทั้งยังสนับสนุนการทำงานของเจ้าหน้าที่ฝ่ายเทคโนโลยีสารสนเทศให้มีประสิทธิภาพการทำงานมากยิ่งขึ้น จากการประเมินผลความพึงพอใจจากผู้ทดลองใช้งานระบบ จำนวน 20 ราย พบว่า มีระดับความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$ = 4.46) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D. = 0.56)

4. บทสรุป

4.1 ระบบจัดเก็บข้อมูลอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ประกอบด้วยองค์ประกอบ 4 ส่วน ได้แก่ 1) การจัดการข้อมูลอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ 2) การค้นหาอุปกรณ์ 3) การตรวจสอบสถานะการทำงานของอุปกรณ์ และ 4) การแจ้งซ่อม / เสียของอุปกรณ์ จากความคิดเห็นของผู้ใช้งาน พบว่าระบบมีความเหมาะสมในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ทั้งนี้มีความสอดคล้องกับ ศุภกร ประดับเพ็ชร และคณะ [9] ได้วิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ พบว่า ระบบสามารถนำไปใช้งานได้จริงและตอบโจทย์ความต้องการขององค์กร โดยผลประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งานอยู่ในระดับมากที่สุด ด้วยค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$ = 4.55) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D. = 0.73) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูแลระบบ ตรวจสอบข้อผิดพลาด และแก้ไขปัญหาได้อย่างรวดเร็วและทั่วถึงยิ่งขึ้น

4.2 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบจัดเก็บข้อมูลอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ : กรณีศึกษามหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ พบว่าโดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$ = 4.46) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D. = 0.56) ผู้ใช้งานสามารถใช้งานระบบได้จริงและมีความรู้ความเข้าใจในการใช้งานระบบอย่างเหมาะสม ทั้งนี้เนื่องจากระบบมีองค์ประกอบหลัก 4 ส่วน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสมพร แทนจำปา [10] ที่ได้ศึกษาการพัฒนาระบบการจัดการครุภัณฑ์คอมพิวเตอร์ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ โดยใช้ภาษา PHP และ Bootstrap Framework เป็นเครื่องมือในการพัฒนา ใช้ Windows 7 เป็นระบบปฏิบัติการ และ XAMPP เป็นระบบจัดการฐานข้อมูล จากการทดสอบประสิทธิภาพของระบบโดยผู้ใช้งานพบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดี โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.34 และสามารถนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถช่วยจัดการข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพและเพิ่มคุณภาพการให้บริการได้อย่างดีเยี่ยม

4.3 ข้อจำกัดของงานวิจัยและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ผู้วิจัยมีแนวทางในการพัฒนาต่อยอดในอนาคต ได้แก่ การเพิ่มฟังก์ชันการสำรวจข้อมูลอุปกรณ์แบบอัตโนมัติผ่าน SNMP Protocol เพื่อลดภาระของเจ้าหน้าที่ในการบันทึกข้อมูลด้วยตนเอง และเสริมมาตรการด้านการควบคุมสิทธิ์การเข้าถึง (Access Control) การเข้ารหัสข้อมูล และการตรวจสอบสิทธิ์ผู้ใช้งาน (Authentication) ให้ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น รวมถึงการพัฒนาแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์พกพาเพื่อให้เจ้าหน้าที่สามารถบันทึกและตรวจสอบข้อมูลอุปกรณ์ได้ทุกที่ทุกเวลา

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ ที่ให้ความร่วมมือในการจัดทำงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Stallings, W. (2019). Network Security Essentials: Applications and Standards (6th ed.). Pearson Education.

[2] Cisco Systems. (2022). *Cisco Annual Internet Report (2018–2023).* Retrieved 1 July 2026, from https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.html

[3] ประภาส โอสถานนท์, วิชัย อัศวภาคย์, และ กัญจนา แสงรุ่งเรือง. (2563). การวิเคราะห์ปัญหาการจัดการสินทรัพย์ไอทีในองค์กร: กรณีศึกษาหน่วยงานภาครัฐ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, *22*(3), 115–128.

[4] Axelos. (2019). ITIL Foundation: ITIL 4 Edition. TSO (The Stationery Office).

[5] Cater-Steel, A., Toleman, M., & Tan, W. (2006). Transforming IT service management – The ITIL impact. In *Proceedings of the 17th Australasian Conference on Information Systems (ACIS)*. Adelaide : Australia.

[6] อภิชาติ ศรีวิชัย และ สุรีย์ มณีรัตน์. (2564). การพัฒนาระบบบริหารจัดการสินทรัพย์ไอทีสำหรับองค์กรภาครัฐ. *วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร*, *15*(2), 45–62.

[7] Bartolini, C., Stefanelli, C., & Tortonesi, M. (2020). SYMBUS: Automated IT Infrastructure Management and Monitoring. *In Proceedings of the IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium*, (pp. 1–8).

[8] Faye Anderson. (2020). Likert Scale Data Linear Modeling. Independently Published, Chicago.

[9] ศุภกร ประดับเพ็ชร และคณะ. (2567). การพัฒนาระบบตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์. ใน *รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการระดับชาติ "การจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม" ครั้งที่ 10 (NCTIM2024)* (หน้า 955-962). มหาสารคาม.

[10] สมพร แทนจำปา. (2560). ระบบการจัดการครุภัณฑ์คอมพิวเตอร์ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์. (สารนิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

การศึกษาภาวะหมดไฟในการทำงานของพนักงานประจำในสถานประกอบกิจการแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย ประเทศไทย

A Study on Occupational Burnout Among Full-Time Employees at an Enterprise in Chiang Rai Province, Thailand

ธนัชชัย จันทร์แก้ว[1] ธนกร แซ่ย่าง[1] กาญจนา ปิ่นตาคำ[1] และ ธนพนธ์ คำเที่ยง[1*]

[1] สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
*E-mail: em_thanaphon_k@crru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงพรรณนาแบบภาคตัดขวาง วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับภาวะหมดไฟในการทำงานของพนักงานประจำ ในสถานประกอบกิจการแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย ประชากรคือพนักงานประจำที่ปฏิบัติงาน จำนวน 260 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือแบบสอบถามประกอบไปด้วย ข้อมูลทั่วไปส่วนบุคคล และภาวะหมดไฟในการทำงาน มีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.92 และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ การแจกแจงความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการศึกษาพบว่า ระดับภาวะหมดไฟในการทำงานในภาพรวมทั้งหมดอยู่ในระดับต่ำมาก (μ =22.09, σ = 14.25) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านภาวะหมดไฟส่วนบุคคลอยู่ในระดับต่ำ (μ =28.69, σ = 16.35) รองลงมาคือด้านภาวะหมดไฟที่เกี่ยวข้องกับงาน อยู่ในระดับต่ำมาก (μ = 21.46, σ = 16.33) และด้านภาวะหมดไฟที่เกี่ยวข้องกับการทำงานร่วมกับผู้อื่น อยู่ในระดับต่ำมาก (μ =16.22, σ =15.16) ตามลำดับ สรุปผลการวิจัย การรักษามาตรฐานระบบงานและชั่วโมงการทำงาน องค์กรควรคงนโยบายการทำงาน 6-8 ชั่วโมงต่อวันเอาไว้ และควบคุมไม่ให้มีภาระงานล้นมือหรือการทำงานล่วงเวลาที่มากเกินไป เพื่อรักษาเวลาพักผ่อนที่แน่นอนของพนักงาน ซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการป้องกันความเหนื่อยล้าสะสม และการรักษาและส่งเสริมสัมพันธภาพในทีม จากการที่พนักงานมีอายุงานยาวนานและพึ่งพาอาศัยกันจนทำให้ภาวะหมดไฟด้านการร่วมงานต่ำที่สุด องค์กรควรนำจุดแข็งนี้มาใช้จัดกิจกรรมสานสัมพันธ์หรือระบบพี่เลี้ยง เพื่อส่งเสริมการสนับสนุนทางสังคมในที่ทำงาน และรักษาวัฒนธรรมองค์กรที่ช่วยเหลือเกื้อกูลกันอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: ภาวะหมดไฟในการทำงาน พนักงานประจำ จังหวัดเชียงราย

Abstract

This research conducted a cross-sectional descriptive study to assess occupational burnout levels among 260 full-time operational employees in an enterprise located in Chiang Rai province. A questionnaire was employed as the research instrument, which included sections for general personal information and an occupational burnout scale, demonstrating a high reliability coefficient of 0.92. Data analysis was performed using descriptive statistics, incorporating frequency, percentage, mean, and standard deviation to summarize the findings. The results revealed that the overall occupational burnout among the employees was at a very low level (μ = 22.09, σ = 14.25). When analyzing each dimension, it was found that personal burnout was at a low level (μ = 28.69, σ = 16.35), followed by work-related burnout which was at a very low level (μ = 21.46, σ = 16.33) and colleague-related burnout which was also at a very low level (μ = 16.22, σ = 15.16), respectively. Summary of the research findings on maintaining work system standards and working hours: Organizations should maintain a policy of 6-8 working hours per day and

control excessive workloads or overtime to preserve employes' designated rest time, which is a key factor in preventing accumulated fatigue. Additionally, maintaining and promoting team relationships is crucial, as employes with long tenures and mutual reliance experience the lowest levels of burnout. Organizations should leverage this strength to organize bonding activities or mentorship systems to promote social support in the workplace and sustain a culture of mutual assistance.

Keywords: Job Burnout, Full-Time Employees, Chiang Rai Province

1. บทนำ

ภาวะหมดไฟในการทำงาน (Burnout Syndrome) ไม่ใช่แค่ความรู้สึกเหนื่อยล้าหรือเกียจคร้านทั่วไป แต่เป็นภาวะทางจิตใจ และอารมณ์ที่เกิดจากความเครียดเรื้อรังในสถานที่ทำงาน องค์การอนามัยโลก (WHO) จึงได้กำหนดให้ภาวะหมดไฟในการทำงาน เป็นปรากฏการณ์จากการทำงานในคู่มือวินิจฉัยโรคฉบับใหม่ (ICD-11) โดยนิยามว่าเป็นกลุ่มอาการที่เกิดจากความเครียดเรื้อรังในที่ทำงานซึ่งยังไม่ได้รับการจัดการอย่างมีประสิทธิภาพ มีลักษณะอาการสำคัญ 3 ประการ ได้แก่ ความรู้สึกสูญเสียพลังงานหรือเหนื่อยล้า การมีระยะห่างทางจิตใจจากงานหรือมีความรู้สึกในแง่ลบต่องาน และความรู้สึกถึงประสิทธิภาพการทำงานที่ลดลง ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพกาย สุขภาพจิต และประสิทธิภาพโดยรวมขององค์กร [1]

สถานการณ์ภาวะหมดไฟของคนทำงานในประเทศไทยกำลังทวีความรุนแรงขึ้น รายงานของสำนักวิชาสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง พบว่าคนทำงานในเขตเมืองมีภาวะหมดไฟสูงถึงร้อยละ 69.4 [2] สอดคล้องกับรายงาน Workplace Happiness Report ประจำปี 2568 โดย Jobsdb by SEEK ที่ระบุว่าคนทำงานในไทยกว่าร้อยละ 45 กำลังเผชิญภาวะหมดไฟและความเหนื่อยล้าสะสม โดยเฉพาะกลุ่มคนรุ่นใหม่ Gen Z ที่มีอัตราสูงถึงร้อยละ 51 โดยมีสาเหตุหลักจากภาระงาน ความกดดัน และการขาดระบบสนับสนุนที่ยืดหยุ่น [3]

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาพบว่า การศึกษาส่วนใหญ่มักมุ่งเน้นไปที่บุคลากรทางการแพทย์กลุ่มพนักงานออฟฟิศในเมืองหลวง หรือสถานประกอบการอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ทำให้ยังคงมีช่องว่างทางวิชาการด้านข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับภาวะหมดไฟในกลุ่มธุรกิจค้าปลีก-ค้าส่ง และการกระจายสินค้าในระดับภูมิภาค โดยเฉพาะในจังหวัดเชียงรายซึ่งเป็นศูนย์กลาง ทางเศรษฐกิจของภาคเหนือตอนบน

สถานประกอบกิจการกรณีศึกษาแห่งนี้เป็นตัวแทนของธุรกิจค้าปลีก-ค้าส่งที่ต้องบริหารจัดการทั้งหน้าร้าน คลังสินค้า และการกระจายสินค้า ทำให้พนักงานประจำต้องแบกรับภาระงานหลายด้านพร้อมกัน เผชิญกับชั่วโมงการทำงานที่ยาวนาน ความเร่งด่วน ในการให้บริการลูกค้า ตลอดจนภาระงานทางกายภาพและการควบคุมคุณภาพสินค้า ซึ่งเป็นสภาพแวดล้อมเฉพาะที่มีความเสี่ยงสูงต่อการสะสมความเครียดเรื้อรัง แต่ยังไม่เคยมีการประเมินและติดตามระดับภาวะหมดไฟอย่างเป็นระบบ ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาภาวะหมดไฟในการทำงานของพนักงานประจำในสถานประกอบการแห่งนี้ เพื่อสะท้อนสถานการณ์และระดับปัญหาที่แท้จริงในบริบทของธุรกิจค้าปลีก-ค้าส่งในพื้นที่ ซึ่งผลการวิจัยจะนำไปสู่การกำหนดมาตรการเชิงป้องกันและแนวทางส่งเสริมสุขภาวะทางจิตใจที่ตรงจุด อันเป็นประโยชน์ต่อการดูแลพนักงานและรักษาเสถียรภาพขององค์กรต่อไป

2. วัตถุประสงค์ในการศึกษา

เพื่อศึกษาระดับภาวะหมดไฟในการทำงานของพนักงานประจำในสถานประกอบกิจการแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงรายประเทศไทย

3. คำถามในการศึกษา

พนักงานประจำในสถานประกอบกิจการแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย มีระดับภาวะหมดไฟในการทำงานโดยรวมอยู่ในระดับใด

4. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.1 เอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ภาวะหมดไฟในการทำงาน หมายถึง ภาวะการเปลี่ยนแปลงด้านจิตใจที่เกิดจากการเผชิญกับความเครียดเรื้อรังจากการทำงาน ภาวะหมดไฟประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ประการ ได้แก่ 1) ความเหนื่อยล้าทางอารมณ์ ซึ่งเป็นความรู้สึกสูญเสียพลังงานทางจิตใจและเกิดความอ่อนล้า 2) การลดทอนคุณค่าในตนเอง คือการมองความสามารถในการทำงานของตนเองในเชิงลบ ขาดความรู้สึกถึงความสำเร็จ และ 3) ความรู้สึกเหินห่าง ได้แก่ การมองความสัมพันธ์ในที่ทำงานในทางลบ และรู้สึกแปลกแยกจากผู้ร่วมงานหรือผู้รับบริการ

ความเสี่ยงที่จะเกิดภาวะหมดไฟ เมื่อต้องเผชิญกับสภาพแวดล้อมหรือลักษณะงานที่ไม่เหมาะสมปัจจัยเสี่ยงสำคัญไว้ 6 ประการ ได้แก่ การมีภาระงานหนัก ปริมาณงานมากและซับซ้อนจนต้องทำในเวลาเร่งรีบ การขาดอำนาจในการตัดสินใจและมีปัญหาในการจัดลำดับความสำคัญของงาน การไม่ได้รับการตอบแทนหรือรางวัลที่คุ้มค่ากับความทุ่มเท การรู้สึกไร้ตัวตนหรือไม่เป็นส่วนหนึ่งขององค์กร การขาดความยุติธรรมและความเชื่อใจในที่ทำงาน และระบบการบริหารงานที่ขัดแย้งกับคุณค่าหรือจุดมุ่งหมายในชีวิตของบุคลากร

ระยะของการเกิดภาวะหมดไฟ

ภาวะหมดไฟไม่ได้เกิดขึ้นอย่างฉับพลัน แต่มีพัฒนาการอย่างเป็นลำดับขั้นที่สามารถแบ่งพัฒนาการของภาวะหมดไฟออกเป็น 5 ระยะ ได้แก่

ระยะฮันนีมูน (The Honeymoon) เป็นช่วงเริ่มต้นทำงานที่บุคลากรมีความตั้งใจ เสียสละ และพยายามปรับตัว

ระยะรู้สึกตัว (The Awakening) เป็นช่วงที่บุคลากรเริ่มตระหนักว่าความคาดหวังไม่ตรงกับความเป็นจริง งานไม่ตอบสนองความต้องการ ทำให้เริ่มเกิดความเหนื่อยล้าและคับข้องใจ

ระยะไฟตก (Brownout) บุคลากรจะมีอาการเหนื่อยล้าเรื้อรัง หงุดหงิดง่าย ประสิทธิภาพการทำงานลดลง เริ่มแยกตัว วิจารณ์องค์กร และอาจใช้วิธีการแก้ปัญหาที่ผิด เช่น การใช้จ่ายฟุ่มเฟือยหรือดื่มสุรา

ระยะหมดไฟเต็มที่ (Full Scale of Burnout) บุคลากรจะรู้สึกสิ้นหวัง ล้มเหลว สูญเสียความมั่นใจ และมีอาการหมดไฟอย่างสมบูรณ์

ระยะฟื้นตัว (The Phoenix Phenomenon) เป็นระยะที่หากบุคลากรได้รับการพักผ่อนและผ่อนคลาย จะสามารถปรับความคาดหวัง เป้าหมาย และแรงบันดาลใจให้กลับมาอยู่บนพื้นฐานของความเป็นจริงได้อีกครั้ง [4]

การศึกษาเรื่องภาวะหมดไฟ ในระดับสากลส่วนใหญ่มักใช้แบบประเมิน Maslach Burnout Inventory (MBI) ในบทความนี้ คณะผู้วิจัยได้วิจารณ์ข้อบกพร่องบางประการของแบบประเมิน MBI และนำเสนอเครื่องมือใหม่ที่ชื่อว่า The Copenhagen Burnout Inventory (CBI) โดยแบบประเมิน CBI ประกอบด้วย 3 ด้าน ได้แก่ ภาวะหมดไฟส่วนบุคคล (Personal burnout) ภาวะหมดไฟที่เกี่ยวข้องกับงาน (Work-related burnout) ภาวะหมดไฟที่เกี่ยวข้องกับผู้รับบริการ (Client-related burnout) ด้านภาวะหมดไฟส่วนบุคคล หมายถึง ระดับของความเหนื่อยล้าและอ่อนเพลียทั้งทางร่างกายและจิตใจที่บุคคลนั้นประสบอยู่ โดยไม่มีการแยกแยะความแตกต่างระหว่างความเหนื่อยล้าทางร่างกายและความเหนื่อยล้าทางจิตใจออกจากกัน ด้านภาวะหมดไฟที่เกี่ยวข้องกับงาน หมายถึง ระดับของความเหนื่อยล้าและอ่อนเพลียทั้งทางร่างกายและจิตใจที่บุคคลนั้นรับรู้ว่ามีความเกี่ยวข้องกับงานของตน ซึ่งเน้นไปที่การที่บุคคลเชื่อมโยงสาเหตุของอาการต่าง ๆ เข้ากับงานด้วยตัวของพวกเขาเอง ด้านภาวะหมดไฟที่เกี่ยวข้องกับผู้รับบริการ หมายถึง ระดับของความเหนื่อยล้าและอ่อนเพลียทั้งทางร่างกายและจิตใจที่บุคคลนั้นรับรู้ว่ามีความเกี่ยวข้องกับการทำงานกับผู้รับบริการ โดยเป็นการประเมินระดับที่บุคคลมองเห็นความเชื่อมโยงระหว่างความเหนื่อยล้าของตนเองกับการทำงานกับคนอื่น [5]

4.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุธิดา ทวิชสังข์ และคณะ [6] ศึกษาภาวะหมดไฟของพยาบาลวิชาชีพในทัณฑสถานโรงพยาบาลราชทัณฑ์ มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) วัดระดับภาวะหมดไฟของพยาบาลวิชาชีพในทัณฑสถานโรงพยาบาลราชทัณฑ์ และ 2) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับระดับภาวะหมดไฟของพยาบาลวิชาชีพในทัณฑสถานโรงพยาบาลราชทัณฑ์ โดยศึกษาในกลุ่มตัวอย่างที่เป็นพยาบาลวิชาชีพในทัณฑสถานโรงพยาบาลราชทัณฑ์ จำนวน 134 คน ที่ได้จากการเลือกผู้ที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์คัดเข้าทั้งหมด เครื่องมือที่ใช้คือแบบสอบถาม และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสถิติ Multiple Logistics Regression ผลการศึกษาพบว่า ภาวะหมดไฟของพยาบาลวิชาชีพในทัณฑสถานโรงพยาบาลราชทัณฑ์โดยรวมอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งจัดอยู่ใน

กลุ่มปกติร้อยละ 54.8 แต่มีภาวะหมดไฟอยู่ในระดับปานกลาง ร้อยละ 29.6 และอยู่ในระดับสูงร้อยละ 14.8 การทดสอบสมมติฐานพบว่า ความเครียดระดับสูงมีความสัมพันธ์ และมีความเสี่ยงต่อ ภาวะหมดไฟ 6.29 เท่า เมื่อเทียบกับกลุ่มความเครียดน้อย (p-value = 0.006) ข้อเสนอแนะจากการวิจัยคือ ผู้บริหารสามารถนำผลการวิจัยไปเป็นแนวทางในการส่งเสริมการดูแลรักษาสุขภาพทางจิตให้บุคลากรในทัณฑสถานโรงพยาบาลราชทัณฑ์ ได้ อาทิ การตรวจ คัดกรอง ประเมินสุขภาพจิต คลินิกให้คำปรึกษารักษาสุขภาพจิต รวมทั้งเป็นแนวทางส่งเสริมสุขภาพจิต ให้บุคลากรอื่น ๆ ในเรือนจำและทัณฑสถานของกรมราชทัณฑ์ได้

กช พิทักษ์วงศ์โรจน์ และคณะ [7] ศึกษาความชุกของภาวะหมดไฟในการทำงานและปัจจัยที่เกี่ยวข้องของบุคลากรด้านบริการปฐมภูมิ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจระดับภาวะหมดไฟทั้งในภาพรวมและแยกรายด้าน รวมถึงศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับภาวะหมดไฟดังกล่าว การวิจัยทำในเขตพื้นที่อำเภอพระนครศรีอยุธยา โดยเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นบุคลากรด้านการบริการปฐมภูมิในทุกตำแหน่งงาน ซึ่งมีผู้ตอบแบบสอบถามออนไลน์รวมทั้งสิ้น 145 คน จากประชากรทั้งหมด 240 คน ผลการศึกษาพบว่า ความชุกของภาวะหมดไฟในการทำงานในภาพรวมของบุคลากรกลุ่มนี้อยู่ในระดับที่ต่ำมาก โดยพบเพียงร้อยละ 0.69 เท่านั้น ทั้งนี้เมื่อพิจารณาแยกย่อยเป็นรายด้าน พบว่ามีความชุกของผู้ที่มีความอ่อนล้าทางอารมณ์ระดับสูงร้อยละ 11.73 มีความชุกของผู้ที่มีการลดความเป็นบุคคลระดับสูงร้อยละ 9.65 และมีความชุกของผู้ที่มีความสำเร็จส่วนบุคคลอยู่ในระดับต่ำร้อยละ 14.48 นอกจากนี้ในส่วนของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดภาวะหมดไฟอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วนหลัก คือ ปัจจัยป้องกันที่ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะหมดไฟ ได้แก่ การที่องค์กรมีจำนวนบุคลากรที่เพียงพอกับปริมาณงาน การที่พนักงานมีการศึกษาระดับปริญญาตรีขึ้นไป รวมถึงการที่พนักงานได้มีโอกาสไปท่องเที่ยวพักผ่อน ในขณะที่ปัจจัยเสี่ยงที่มีส่วนสนับสนุนให้เกิดภาวะหมดไฟเพิ่มขึ้น ได้แก่ การที่พนักงานมีอาการซึมเศร้าตั้งแต่ระดับน้อยขึ้นไป และพฤติกรรมการใช้ยานอนหลับในช่วงสองสัปดาห์ก่อนหน้าการประเมิน

พัทธนันท์ เยาดำ และเกวลิน ศีลพิพัฒน์ [8] ศึกษาเรื่อง ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อภาวะหมดไฟของพนักงานธนาคารของรัฐแห่งหนึ่ง มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาระดับภาวะหมดไฟ 2) ศึกษาคุณภาพชีวิต การทำงาน 3) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพชีวิตการทำงานกับภาวะหมดไฟ และ 4) เปรียบเทียบภาวะ หมดไฟจำแนกตามปัจจัยส่วนบุคคล สมมติฐานของการศึกษาคือ คุณภาพชีวิตการทำงานมีความสัมพันธ์กับ ภาวะหมดไฟ และปัจจัยส่วนบุคคลที่แตกต่างกันส่งผลให้ระดับภาวะหมดไฟแตกต่างกัน กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ใน การศึกษาคือ พนักงานธนาคารของรัฐแห่งหนึ่ง สังกัดสำนักงานใหญ่ จำนวน 375 คน ได้มาโดยวิธีการสุ่ม ตัวอย่างแบบบังเอิญ (Accidental Sampling) เครื่องมือที่ใช้เป็นแบบสอบถามเกี่ยวกับคุณภาพชีวิตการทำงาน และแบบประเมินภาวะหมดไฟ (MBI-GS) วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา และการวิเคราะห์ความแปรปรวน ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มตัวอย่างมีภาวะหมดไฟด้านความอ่อนล้าอยู่ในระดับต่ำ (ร้อยละ 48.0) ด้านการเมินเฉยต่องานอยู่ในระดับสูง (ร้อยละ 44.0) และด้านความสามารถในการทำงานอยู่ในระดับต่ำ (ร้อยละ 48.5) สำหรับคุณภาพชีวิตการทำงานในภาพรวมอยู่ในระดับสูง แต่ด้านค่าตอบแทนเพียงพอและยุติธรรมอยู่ในระดับปานกลาง ผลการทดสอบความสัมพันธ์พบว่า คุณภาพชีวิตการทำงานทั้ง 8 ด้าน มีความสัมพันธ์กับภาวะหมดไฟด้านความอ่อนล้าและด้านการเมินเฉยต่องานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 นอกจากนี้ยังพบว่า พนักงานที่มีอายุ และรายได้ต่างกันมีภาวะหมดไฟด้านการเมินเฉยต่องานแตกต่างกัน ส่วนตำแหน่งงานที่ ต่างกันมีผลต่อด้านความสามารถในการทำงาน สรุปผลการวิจัยคือ ปัญหาภาวะหมดไฟในกลุ่มพนักงาน ธนาคารมีความสัมพันธ์อย่างยิ่งกับคุณภาพชีวิตการทำงาน โดยเฉพาะประเด็นเรื่องค่าตอบแทนที่ผู้ปฏิบัติงาน มองว่ายังไม่เพียงพอและยุติธรรม ซึ่งองค์กรควรนำผลการศึกษานี้ไปปรับปรุงโครงสร้างสวัสดิการและส่งเสริมสภาพแวดล้อมการทำงานเพื่อลดความเสี่ยงของปัญหาดังกล่าว

วิศิษฏ์ นบน้อม [9] ศึกษาเรื่อง ภาวะหมดไฟในการทำงานของพนักงานในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี กรณีศึกษาบริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) โรงผลิตสารโอเลฟินส์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาภาวะหมดไฟในการทำงานและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและประสิทธิภาพของพนักงานในสภาพแวดล้อมการทำงานที่มีความเครียดสูง สมมติฐานของการศึกษาคือ ปัจจัย ด้านสภาพแวดล้อมในการทำงานภาระงาน และความสัมพันธ์ในองค์กร มีความสัมพันธ์และเป็นตัวทำนาย ระดับของภาวะหมดไฟ กลุ่มตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้ คือ พนักงานในโรงผลิตสารโอเลฟินส์ จำนวน 122 คน โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือและวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนาและสถิติเชิงอนุมาน ผลการวิจัย พบว่า พนักงานส่วนใหญ่ไม่ได้อยู่ในเกณฑ์เสี่ยงต่อการเกิดภาวะหมดไฟ โดยปัจจัยที่มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อ ภาวะหมดไฟ ได้แก่ พฤติกรรมที่เป็นพิษในที่ทำงาน ภาระงาน และปัญหาสุขภาพ ส่วนปัจจัยที่มีความสัมพันธ์

เชิงลบ คือความเป็นอิสระในการทำงาน ความก้าวหน้าในอาชีพ และผลตอบแทน ในทางสถิติ พบความเสี่ยง ที่น่าสนใจคือ ผู้ที่มีความเสี่ยงต่อภาวะหมดไฟในระดับต่ำมีแนวโน้มจะเกิดความวิตกกังวล (Anxiety) เพิ่มขึ้น 12.9 เท่าและผู้ที่มีความเสี่ยงในระดับปานกลางมีแนวโน้มจะเกิดภาวะซึมเศร้า (Depression) เพิ่มขึ้นถึง 42 เท่า เมื่อเทียบกับผู้ที่ไม่มีความเสี่ยง สรุปผลการวิจัยคือ แม้พนักงานส่วนใหญ่จะมีความผูกพันกับองค์กรและไม่ตั้งใจจะลาออก แต่ปัญหาสุขภาพจิตยังคงเป็นความเสี่ยงที่องค์กรต้องบริหารจัดการโดยเน้นที่การลดภาระงานที่มากเกินไปและขจัดพฤติกรรมที่เป็นพิษในที่ทำงาน

สโรชาพัชร์ เตชโรจนกัญจน์ [10] เพื่อศึกษาภาวะหมดไฟในการทำงานและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง โดยทำการศึกษากับพนักงานของบริษัทเอกชนที่ดำเนินธุรกิจจัดจำหน่ายวัสดุก่อสร้างแห่งหนึ่ง จำนวนทั้งหมด 331 คน วัตถุประสงค์ของการวิจัยคือต้องการทราบระดับภาวะหมดไฟ และค้นหาว่าปัจจัยด้านส่วนบุคคล การทำงาน คุณภาพชีวิต หรือการได้รับการสนับสนุนทางสังคม มีความสัมพันธ์กับภาวะหมดไฟอย่างไรบ้าง ผลการศึกษาพบว่า พนักงานมีภาวะหมดไฟในระดับที่สูงมากในทุก ๆ ด้าน โดยพบพนักงานที่มีภาวะหมดไฟในระดับสูงด้านการมองโลกในแง่ร้ายหรือมีทัศนคติเชิงลบต่อการทำงานมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 48.9 รองลงมาคือด้านความรู้สึกอ่อนล้าทางอารมณ์คิดเป็นร้อยละ 46.2 และด้านความรู้สึกสูญเสียประสิทธิภาพในการทำงานคิดเป็นร้อยละ 45.9 ซึ่งปัจจัยสำคัญที่มีความสัมพันธ์กับภาวะหมดไฟ ได้แก่ อายุ สถานภาพสมรส รายได้ ประสบการณ์ทำงาน ตำแหน่งหน้าที่ ภาระงานที่หนัก รวมถึงชั่วโมงการทำงานที่ยาวนานเกินกว่า 8 ชั่วโมงต่อวัน นอกจากนี้ ปัจจัยเรื่องระยะเวลาในการเดินทางไปทำงาน พนักงานที่มีชั่วโมงการนอนน้อย และกลุ่มที่มีคุณภาพชีวิตต่ำต่างก็ส่งผลให้เกิดความรู้สึกอ่อนล้าทางอารมณ์และหมดไฟในการทำงานได้ง่ายขึ้นอย่างมีนัย

5. วิธีดำเนินการศึกษา

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงพรรณนาแบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional descriptive research) เพื่อศึกษาระดับภาวะหมดไฟในการทำงานของพนักงานประจำ ในสถานประกอบกิจการแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย ประเทศไทย

5.1 กลุ่มประชากรที่ศึกษา

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ พนักงานประจำที่ปฏิบัติงานในสถานประกอบกิจการแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย จำนวนทั้งสิ้น 301 คน อ้างอิงจากข้อมูลรายชื่อพนักงานประจำปี พ.ศ. 2569 จากเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพของสถานประกอบกิจการแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย พบว่า มีประชากรที่ผ่านการคัดเลือกตามเกณฑ์ที่กำหนด จำนวน 260 คน ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์การคัดเข้าและเกณฑ์การคัดออกของประชากร ดังนี้

เกณฑ์การคัดเข้า

1. เป็นพนักงานประจำที่ปฏิบัติงาน ณ สถานประกอบกิจการแห่งนี้
2. มีอายุ 18 ปีขึ้นไป
3. มีอายุงานในสถานประกอบกิจการแห่งนี้ตั้งแต่ 1 ปีขึ้นไป
4. เป็นพนักงานที่ยินยอมและสมัครใจเข้าร่วมโครงการวิจัย
5. เป็นพนักงานที่มาปฏิบัติงานในช่วงที่ทำการเก็บข้อมูล

เกณฑ์การคัดออก

1. เป็นพนักงานที่ไม่สามารถสื่อสารภาษาไทยได้

5.2 เครื่องมือการวิจัย

แบบสอบถาม (Questionnaire) ศึกษาภาวะหมดไฟในการทำงานของพนักงานประจำในสถานประกอบกิจการแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย ประกอบไปด้วย 2 ส่วน ดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 แบบสอบถามข้อมูลทั่วไปส่วนบุคคล จำนวน 12 ข้อ เช่น เพศ อายุ สถานภาพสมรส ระดับการศึกษา ระยะเวลาปฏิบัติงาน โรคประจำตัว รายได้เฉลี่ยต่อเดือน ระยะเวลาการปฏิบัติงานรวมทุกแห่ง ระยะเวลาชั่วโมงในการทำงานต่อวัน ระยะเวลาเดินทางไป-กลับที่ทำงาน แผนก และการมีบุคคลที่ต้องรับภาระในการดูแล

ส่วนที่ 2 แบบสอบถามภาวะหมดไฟในการทำงานซึ่งผู้วิจัยได้ดัดแปลงเพื่อให้เหมาะสมกับบริบทในพื้นที่ โดยอ้างอิงมาจาก Copenhagen Burnout Inventory (CBI) [5] จำนวน 19 ข้อ ประกอบด้วย 3 ด้าน ได้แก่ 1.ภาวะหมดไฟส่วนบุคคล จำนวน 6 ข้อ 2.ภาวะหมดไฟที่เกี่ยวข้องกับงาน จำนวน 7 ข้อ 3.ภาวะหมดไฟที่เกี่ยวข้องกับการทำงานร่วมกับผู้อื่น จำนวน 6 ข้อ ซึ่งแบบสอบถามเป็นแบบมาตราวัด 5 ระดับ (Rating scale) โดยมีเกณฑ์ให้เลือกตอบ ดังนี้

ตลอดเวลา	หมายถึง	เกิดขึ้นตลอดเวลา
บ่อยมาก	หมายถึง	เกิดขึ้นบ่อยครั้ง
บางครั้ง	หมายถึง	เกิดขึ้นบางครั้ง
นาน ๆ ครั้ง	หมายถึง	เกิดขึ้นนาน ๆ ครั้ง
ไม่เคย	หมายถึง	แทบจะไม่เคยเกิดขึ้นเลย

เกณฑ์การให้คะแนนแบ่งออกเป็น 5 ระดับ [5] ดังนี้

ตลอดเวลา	ได้	100 คะแนน
บ่อยมาก	ได้	75 คะแนน
บางครั้ง	ได้	50 คะแนน
นาน ๆ ครั้ง	ได้	25 คะแนน
ไม่เคย	ได้	0 คะแนน

วิธีการหาค่าเฉลี่ยคะแนนของคะแนนจากแบบสอบถาม คือ *(ผลรวมคะแนนทุกข้อ/จำนวนข้อ) = คะแนนเฉลี่ย*

เกณฑ์การแปลผลค่าเฉลี่ยคะแนน แบ่งออกเป็น 4 ระดับ ดังนี้

คะแนนเฉลี่ยช่วง	76 – 100	หมายถึง ภาวะหมดไฟอยู่ในระดับสูง
คะแนนเฉลี่ยช่วง	51 – 75	หมายถึง ภาวะหมดไฟอยู่ในระดับปานกลาง
คะแนนเฉลี่ยช่วง	26 – 50	หมายถึง ภาวะหมดไฟอยู่ในระดับต่ำ
คะแนนเฉลี่ยช่วง	0 – 25	หมายถึง ภาวะหมดไฟอยู่ในระดับต่ำมาก

5.3 การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ

การวิจัยครั้งนี้มีการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Index of Item – Objective Congruence: IOC) โดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน พบว่ามีค่าความเที่ยงตรงของแบบสอบถามเท่ากับ 0.99 จากนั้นผู้วิจัยนำแบบสอบถามไปทำการทดลองใช้ (Try-out) กับพนักงานประจำที่มีลักษณะใกล้เคียงกันกับกลุ่มประชากรที่ศึกษา จำนวน 32 คน แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่น (Reliability) โดยใช้วิธีหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ มีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.92

5.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลในครั้งนี้ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูล โดยดำเนินตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

5.4.1 ผู้วิจัยทำหนังสือบันทึกข้อความ จากคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เพื่อขอความอนุเคราะห์เข้าเก็บข้อมูลงานวิจัย ในสถานประกอบกิจการแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย

5.4.2 ผู้วิจัยนำหนังสือบันทึกข้อความ จากคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ไปยังสถานประกอบกิจการแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย เพื่อขอความอนุเคราะห์เข้าเก็บข้อมูลงานวิจัย

5.4.3 เมื่อได้รับอนุญาตแล้วผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลงานวิจัย โดยการชี้แจงรายละเอียดเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ในการทำวิจัย หลังจากนั้นแจกแบบสอบถามให้กับพนักงานประจำที่สถานประกอบกิจการแห่งหนึ่ง ในจังหวัดเชียงราย เพื่อตอบแบบสอบถามให้ตรงกับความเป็นจริงมากที่สุด

5.4.4 ผู้วิจัยทำการเก็บรวบรวมแบบสอบถาม ดำเนินการตรวจสอบจำนวน และตรวจสอบความสมบูรณ์ความถูกต้อง

5.4.5 หากผู้กรอกแบบสอบถามกรอกข้อมูลไม่ครบ ผู้วิจัยนำแบบสอบถามไปให้ผู้กรอกแบบสอบถามกรอกให้ครบ ณ เวลานั้น และเมื่อได้ข้อมูลตามที่ต้องการแล้ว นำข้อมูลไปวิเคราะห์

5.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลทั่วไปส่วนบุคคล วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ประกอบด้วย การแจกแจงความถี่ และค่าร้อยละ

ข้อมูลภาวะหมดไฟในการทำงานโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ประกอบด้วย การแจกแจงความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

6. ผลการศึกษา

6.1 ข้อมูลทั่วไปส่วนบุคคล

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปส่วนบุคคล (N=260)

ข้อมูลส่วนบุคคล	จำนวน (คน)	ร้อยละ
เพศ		
ชาย	69	26.54
หญิง	191	73.46
อายุ		
อายุ 18 – 35	44	16.92
อายุ 36 – 53	177	68.08
อายุ 54 ปีขึ้นไป	39	15.00
Min = 23, Max = 68, μ = 44.00, σ = 8.71		
สถานภาพ		
โสด	60	23.08
สมรส	181	69.62
หย่าร้าง / หม้าย / แยกกันอยู่	19	7.31
ระดับการศึกษา		
ไม่ได้รับการศึกษา	64	24.62
ประถมศึกษา	28	10.77
มัธยมศึกษาตอนต้น	56	21.54
มัธยมศึกษาตอนปลาย/ปวช.	58	22.31
ปวส./อนุปริญญาหรือเทียบเท่า	11	4.23
ปริญญาตรี	40	15.38
สูงกว่าปริญญาตรี	3	1.15
ระยะเวลาปฏิบัติงาน		
1 – 5 ปี	25	9.62
6 – 10 ปี	34	13.08
มากกว่า 10 ปี	201	77.31
โรคประจำตัว		
ไม่มี	185	71.15
มี	75	28.85
โรคความดัน	32	42.67
โรคความดัน/ไขมัน	6	8.00
โรคไทรอยด์	4	5.33
โรคอื่น ๆ	33	44.00
รายได้เฉลี่ยต่อเดือน		
ต่ำกว่า 10,000 บาท	63	24.23
10,001-20,000 บาท	164	63.08
20,001-30,000 บาท	24	9.23
มากกว่า 30,000 บาท ขึ้นไป	9	3.46

ตารางที่ 1 ข้อมูลส่วนบุคคล (ต่อ)

ข้อมูลส่วนบุคคล	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ประสบการณ์การทำงานรวมทั้งหมดตั้งแต่เริ่มทำงาน		
น้อยกว่า 3 ปี	6	2.31
3 - 5 ปี	18	6.92
6 - 10 ปี	32	12.31
มากกว่า 10 ปี	204	78.46
ระยะเวลาชั่วโมงในการทำงานต่อวัน		
น้อยกว่า 6 ชั่วโมง	2	0.77
6 - 8 ชั่วโมง	240	92.31
8 - 10 ชั่วโมง	17	6.54
มากกว่า 10 ชั่วโมงขึ้นไป	1	0.38
ระยะเวลาเดินทางไป-กลับที่ทำงาน		
น้อยกว่า 30 นาที	180	69.23
30 – 45 นาที	62	23.85
45 – 60 นาที	13	5.00
มากกว่า 60 นาทีขึ้นไป	5	1.92
ท่านมีบุคคลที่ต้อง รับภาระในการดูแลหรือไม่		
ไม่มี	37	14.23
มี	223	85.77

จากตารางที่ 1 เมื่อพิจารณาข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง โดยมีอายุอยู่ในช่วง 36 ถึง 53 ปี ด้านสถานภาพส่วนใหญ่มีสถานภาพสมรส ด้านระดับการศึกษาส่วนใหญ่ไม่ได้รับการศึกษา รองลงมาคือระดับมัธยมศึกษาตอนปลายหรือเทียบเท่า (ปวช.) ด้านระยะเวลาปฏิบัติงานในสถานที่ปัจจุบันและประสบการณ์การทำงานโดยรวมทั้งหมดส่วนใหญ่มีมากกว่า 10 ปี ด้านสุขภาพส่วนใหญ่ไม่มีโรคประจำตัว โดยในกลุ่มที่มีโรคประจำตัวส่วนใหญ่เป็นโรคความดันโลหิตสูง ด้านรายได้ต่อเดือนส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 10,001 ถึง 20,000 บาท ขณะที่ชั่วโมงการทำงานส่วนใหญ่อยู่ที่ 6 ถึง 8 ชั่วโมงต่อวัน ใช้ระยะเวลาเดินทางไปและกลับจากที่ทำงานน้อยกว่า 30 นาที และส่วนใหญ่มีภาระที่ต้องรับผิดชอบดูแลบุคคลอื่นในครอบครัว

6.2 ภาวะหมดไฟในการทำงาน

จากการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลระดับภาวะหมดไฟในการทำงานของพนักงานประจำในสถานประกอบกิจการแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย คณะผู้ศึกษาได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลภาพรวมจำแนกรายด้าน 3 ด้าน ประกอบด้วย ด้านภาวะหมดไฟส่วนบุคคล ด้านภาวะหมดไฟที่เกี่ยวข้องกับงาน และภาวะหมดไฟที่เกี่ยวข้องกับการทำงานร่วมกับผู้อื่นในงาน

ตารางที่ 2 แสดงระดับภาวะหมดไฟในการทำงานของพนักงานประจำในสถานประกอบกิจการแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย (N=260)

ภาวะหมดไฟ	ระดับภาวะหมดไฟ			μ	σ	แปลผล
	ต่ำมาก จำนวน (ร้อยละ)	ต่ำ จำนวน (ร้อยละ)	ปานกลาง จำนวน (ร้อยละ)			
ด้านภาวะหมดไฟส่วนบุคคล	121 (46.54)	124 (47.69)	15 (5.77)	28.69	16.35	ต่ำ
ด้านภาวะหมดไฟที่เกี่ยวข้องกับงาน	168 (64.62)	80 (30.77)	12 (4.62)	21.46	16.33	ต่ำมาก
ภาวะหมดไฟที่เกี่ยวข้องกับการทำงานร่วมกับผู้อื่นในงาน	199 (76.54)	57 (21.92)	4 (1.54)	16.22	15.16	ต่ำมาก
ภาพรวม	153 (58.85)	101 (38.85)	6 (2.30)	22.09	14.25	ต่ำมาก

จากตารางที่ 2 พบว่า ภาพรวมภาวะหมดไฟในการทำงานทั้ง 3 ด้าน พบว่า ส่วนใหญ่มีภาวะหมดไฟในการทำงานอยู่ในระดับต่ำมาก (μ =22.09, **σ** =14.25)

เมื่อพิจารณารายด้านของภาวะหมดไฟ พบว่า ด้านภาวะหมดไฟส่วนบุคคล ส่วนใหญ่มีภาวะหมดไฟอยู่ในระดับต่ำ (μ =28.69, **σ** =16.35) ด้านภาวะหมดไฟที่เกี่ยวข้องกับงาน มีภาวะหมดไฟอยู่ในระดับต่ำมาก (μ =21.46, **σ** =16.33) และด้านภาวะหมดไฟที่เกี่ยวข้องกับการทำงานร่วมกับผู้อื่น พบว่า ส่วนใหญ่มีภาวะหมดไฟอยู่ในระดับต่ำมาก (μ =16.22, **σ** =15.16) ทั้งนี้ ผลการวิจัยไม่พบภาวะหมดไฟในการทำงานอยู่ในระดับสูง

7. อภิปรายผลการศึกษา

ผลการศึกษา พบว่า ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ด้านอายุ ส่วนใหญ่มีอายุ 36 - 53 ปี ทางด้านสถานภาพส่วนใหญ่สมรมแล้ว ด้านการศึกษาส่วนใหญ่ไม่ได้รับการศึกษา ด้านระยะเวลาปฏิบัติงานส่วนใหญ่มีระยะเวลาปฏิบัติงานมากกว่า 10 ปี ด้านโรคประจำตัวส่วนใหญ่ไม่มีโรคประจำตัว ด้านรายได้เฉลี่ยต่อเดือนส่วนใหญ่มีรายได้อยู่ที่ 10,001-20,000 บาท ส่วนของประสบการณ์การทำงานรวมทั้งหมดตั้งแต่เริ่มทำงานส่วนใหญ่มากกว่า 10 ปี ด้านระยะเวลาชั่วโมงในการทำงานต่อวัน ส่วนใหญ่ทำงาน 6 - 8 ชั่วโมง และด้านระยะเวลาเดินทางไป-กลับที่ทำงานส่วนใหญ่ใช้เวลาน้อยกว่า 30 นาที

เมื่อพิจารณาในภาพรวมภาวะหมดไฟในการทำงานทั้ง 3 ด้าน พบว่า ส่วนใหญ่มีภาวะหมดไฟในการทำงานอยู่ในระดับต่ำมาก (μ=22.09, **σ** =14.25) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุธิดา ทวิชสังข์ และคณะ [6] ที่ศึกษา ภาวะหมดไฟของพยาบาลวิชาชีพในทัณฑสถานโรงพยาบาลราชทัณฑ์ พบว่าภาวะหมดไฟโดยรวมอยู่ในระดับต่ำ (ร้อยละ 54.8) เหตุผลสอดคล้องกันเนื่องมาจากลักษณะชั่วโมงการทำงานและระบบงานที่ชัดเจน ซึ่งกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ ของทั้งสองงานวิจัยมีชั่วโมงการทำงานปกติที่สม่ำเสมอ อยู่ที่ 6-8 ชั่วโมงต่อวัน ส่งผลให้พนักงานมีเวลาพักผ่อนที่แน่นอน และลดการเกิดความเหนื่อยล้าสะสม ประกอบกับพนักงานส่วนใหญ่มีความสามารถในการจัดการและรับมือกับภาระงาน ในหน้าที่ได้ดีจากระบบงานที่มีความมั่นคงและชัดเจน จึงช่วยลดความเสี่ยงและความรุนแรงของความเครียดจากการทำงาน ไม่ให้พัฒนาไปเป็นภาวะหมดไฟในการทำงานระดับสูง

ผลการวิจัยด้านภาวะหมดไฟส่วนบุคคล ส่วนใหญ่มีภาวะหมดไฟอยู่ในระดับต่ำ (μ =28.69, **σ** =16.35) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กช พิทักษ์วงศ์โรจน์ และคณะ [7] ที่ศึกษาบุคลากรด้านบริการปฐมภูมิ อำเภอพระนครศรีอยุธยา ซึ่งพบว่าความชุกของภาวะหมดไฟในภาพรวมอยู่ในระดับต่ำ ร้อยละ 0.69 โดยมีเหตุผลเนื่องมาจากปัจจัยในการจัดการชีวิตและการพักผ่อน การได้หยุดพักจากการทำงาน และมีชั่วโมงการทำงานที่จัดเจน เป็นปัจจัยป้องกันที่สำคัญซึ่งช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะหมดไฟส่วนบุคคล เป็นการช่วยให้ได้ใช้เวลาอย่างมีคุณค่า ลดความอ่อนล้าทางอารมณ์ และป้องกันปัจจัยเสี่ยงอย่างอาการซึมเศร้าที่พบว่าเป็นปัจจัยที่เพิ่มความเสี่ยงต่อความอ่อนล้าทางอารมณ์สูงถึง 7.31 เท่า รวมถึงการพึ่งพายา

นอนหลับที่เพิ่มความเสี่ยงต่อการลดความเป็นบุคคลสูงถึง 8.18 เท่า การจัดการเวลาเพื่อพักผ่อนอย่างเหมาะสมจึงช่วยควบคุมให้ความเหนื่อยล้าสะสมในส่วนบุคคลยังคงอยู่ในระดับต่ำได้

ผลการวิจัยด้านภาวะหมดไฟที่เกี่ยวข้องกับงาน พบว่า ส่วนใหญ่มีภาวะหมดไฟอยู่ในระดับต่ำมาก (μ=21.46, σ =16.33) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ พัทธนันท์ เยาดำ และเกวลิน ศีลพิพัฒน์ [8] ที่ศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อภาวะหมดไฟ ของพนักงานธนาคารของรัฐแห่งหนึ่ง และพบว่าพนักงานส่วนใหญ่มีภาวะหมดไฟ ด้านความอ่อนล้าอยู่ในระดับต่ำ ร้อยละ 48.0 โดยคุณภาพชีวิตการทำงานในภาพรวมที่อยู่ในระดับสูงและชั่วโมงการทำงานที่แน่นอน นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ วิศิษฏ์ นบน้อม [9] ที่พบว่าปัจจัยด้านผลตอบแทนความก้าวหน้าในอาชีพ และความเป็นอิสระในการทำงานเป็นปัจจัยเชิงลบที่ช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดภาวะหมดไฟในกลุ่มพนักงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมี สาเหตุที่ทำให้ด้านภาวะหมดไฟที่เกี่ยวข้องกับงานอยู่ในระดับต่ำมาก อาจเป็นเพราะพนักงานประจำ มีความมั่นคงของตำแหน่งงาน มีชั่วโมงการทำงานที่ชัดเจนแน่นอน ไม่เกินวันละ 8 ชั่วโมงเป็นส่วนใหญ่ (ร้อยละ 90.61) และมีอายุงานสะสมยาวนาน (มากกว่า 10 ปี ร้อยละ 72.92) ความมั่นคงในหน้าที่การงาน และระบบการทำงานที่มีแบบแผนชัดเจน สามารถจัดการความเหนื่อยล้าที่เชื่อมโยงโดยตรงกับภาระงาน ทำให้พนักงานสามารถปรับตัวและบริหารจัดการภาระงานประจำวันได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่ก่อให้เกิดความเครียดสะสมจนนำไปสู่ภาวะหมดไฟที่เกี่ยวข้องกับงาน

ผลการวิจัยด้านภาวะหมดไฟที่เกี่ยวข้องกับการทำงานร่วมกับผู้อื่น พบว่า ส่วนใหญ่มีภาวะหมดไฟอยู่ในระดับต่ำมาก (μ =16.22, σ =15.16) ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าว ไม่สอดคล้อง กับงานวิจัยของ สโรชาพัชร์ เตชโรจนกัญจน์ [10] ที่ศึกษาพนักงานบริษัทเอกชนในธุรกิจจัดจำหน่ายวัสดุก่อสร้าง ซึ่งพบว่าพนักงานส่วนใหญ่มีภาวะหมดไฟ ด้านการเมินเฉยต่องานอยู่ในระดับสูงถึงร้อยละ 48.9 แต่เมื่อพิจารณาในด้าน ปัจจัยที่ส่งผล จะพบว่าเหตุผลที่ไม่สอดคล้องกัน เป็นเพราะการได้รับการสนับสนุนทางสังคมที่ลดลง เป็นปัจจัยเสี่ยงสำคัญที่ทำให้พนักงานมีโอกาสเกิดภาวะหมดไฟด้านนี้สูงขึ้นถึง 1.855 เท่า สิ่งนี้ช่วยอธิบายผลลัพธ์ของการศึกษาครั้งนี้ได้ว่า การที่พนักงานร้อยละ 75.09 มีประสบการณ์ทำงานร่วมกันมานานกว่า 10 ปี ทำให้เกิดความคุ้นเคยและมีสัมพันธภาพ พนักงานจึงได้รับความช่วยเหลือและการสนับสนุนทางสังคมจากเพื่อนร่วมงานในระดับที่สูง ซึ่งช่วยลดความขัดแย้ง

8. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาภาวะหมดไฟในการทำงานของพนักงานประจำในสถานประกอบกิจการแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 260 คน พบว่า ระดับภาวะหมดไฟในการทำงานของพนักงานในภาพรวมทั้งหมดอยู่ในระดับต่ำมาก ทั้งนี้เมื่อนำผลมาพิจารณาแยกย่อยเป็นรายด้าน พบว่า ด้านที่มีค่าเฉลี่ยคะแนนสูงที่สุดคือ ด้านภาวะหมดไฟส่วนบุคคล ซึ่งผลการประเมินระบุว่าอยู่ในระดับต่ำ รองลงมาคือ ด้านภาวะหมดไฟที่เกี่ยวข้องกับงาน ซึ่งอยู่ในระดับต่ำมาก และด้านที่มีค่าเฉลี่ยคะแนนน้อยที่สุด คือด้านภาวะหมดไฟที่เกี่ยวข้องกับการทำงานร่วมกับผู้อื่นในงาน ซึ่งผลการประเมินอยู่ในระดับต่ำมากเช่นกัน

9. ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัย

9.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

9.1.1การรักษามาตรฐานระบบงานและชั่วโมงการทำงาน องค์กรควรคงนโยบายการทำงาน 6-8 ชั่วโมงต่อวันเอาไว้ และควบคุมไม่ให้มีภาระงานล้นมือหรือการทำงานล่วงเวลาที่มากเกินไป เพื่อรักษาเวลาพักผ่อนที่แน่นอนของพนักงาน ซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการป้องกันความเหนื่อยล้าสะสม

9.1.2 การเฝ้าระวัง และดูแลกลุ่มที่มีภาวะหมดไฟระดับปานกลาง แม้ค่าเฉลี่ยส่วนใหญ่จะอยู่ในเกณฑ์ต่ำ แต่ยังคงเป็นด้านที่มีคะแนนสูงที่สุด และยังมีพนักงานบางส่วนที่มีภาวะหมดไฟในระดับปานกลาง องค์กรจึงควรให้ความสำคัญกับการติดตาม และดูแลกลุ่มนี้เป็นพิเศษ เช่น การพูดคุยรับฟังปัญหาเบื้องต้น หรือการพิจารณาความยืดหยุ่นเรื่องการลากิจธุระจำเป็นตามความเหมาะสม เพื่อช่วยบรรเทาความตึงเครียดและป้องกันไม่ให้ระดับความหมดไฟเพิ่มสูงขึ้นในระยะยาว

9.1.3 การรักษาและส่งเสริมสัมพันธภาพในทีม จากการที่พนักงานมีอายุงานยาวนานและพึ่งพาอาศัยกันจนทำให้ภาวะหมดไฟด้านการร่วมงานต่ำที่สุด องค์กรควรนำจุดแข็งนี้มาใช้จัดกิจกรรมสานสัมพันธ์ หรือระบบพี่เลี้ยงเพื่อส่งเสริมการสนับสนุนทางสังคมในที่ทำงาน และรักษาวัฒนธรรมองค์กรที่ช่วยเหลือเกื้อกูลกันอย่างยั่งยืน

9.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

9.2.1 ศึกษาเชิงคุณภาพเพิ่มเติม แบบสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth Interview) หรือเจาะกลุ่ม (Focus Group) ในกลุ่มพนักงานที่มีคะแนนภาวะหมดไฟในระดับปานกลาง เพื่อหาสาเหตุเชิงลึกและแนวทางป้องกันเชิงรุก

9.2.2 ศึกษาปัจจัยความสัมพันธ์เชิงสถิติ ควรเพิ่มการวิเคราะห์สถิติเชิงอนุมานเพื่อหาความสัมพันธ์หรืออิทธิพลระหว่างปัจจัยส่วนบุคคล (เช่น อายุ รายได้ ภาระการดูแลครอบครัว) กับระดับภาวะหมดไฟ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ชี้เฉพาะเจาะจงมากยิ่งขึ้น

10. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความอนุเคราะห์จากบุคลากรของสถานประกอบกิจการแห่งหนึ่งในจังหวัดเชียงราย ตลอดจนคณาจารย์ประจำสาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย และคณาจารย์ของคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ที่ให้ข้อเสนอแนะ แนะนำแนวทาง มอบความรู้ และประสบการณ์ที่มีคุณค่าแก่ผู้วิจัยตลอดระยะเวลาที่ดำเนินการศึกษาวิจัย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

11. เอกสารอ้างอิง

[1] World Health Organization. (2019). *Burn-out an “occupational phenomenon”: International Classification of Diseases*. Retrieved 15 November, 2025, fromhttps://www.who.int/news/item/28-05-2019-burn-out-anoccupational-phenomenon-international-classification-of-diseases

[2] LINE TODAY. (2567). *ความเครียด-ภาวะหมดไฟ ความท้าทายใหม่ที่องค์กรไม่ควรมองข้าม.* สืบค้นเมื่อ 15 พฤศจิกายน 2568, จาก https://today.line.me/th/v3/article/WBK7epE

[3] มูลนิธิแม่ฟ้าหลวง ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2566). *BKK BURNOUT*. สืบค้นเมื่อ 15 พฤศจิกายน 2568, จาก https://home.maefahluang.org/18169767/bkk-burnout

[4] คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล. (2562). *ภาวะหมดไฟในการทำงาน (Burnout Syndrome)* สืบค้นเมื่อ 22 พฤศจิกายน 2568, จาก https://www.si.mahidol.ac.th/sirirajdoctor/article_-detail.aspx?ID=1385

[5] Kristensen, T. S., Borritz, M., Villadsen, E., & Christensen, K. B. (2005). The Copenhagen Burnout Inventory: A new tool for the assessment of burnout. *Work & Stress*, 19(3), 192–207.

[6] สุธิดา ทวิชสังข์, ฉัตรสุมน พฤฒิภิญโญ, และ ณัฐนารี เอมยงค์. (2567). ภาวะหมดไฟของพยาบาลวิชาชีพในทัณฑสถานโรงพยาบาลราชทัณฑ์. *วารสารกฎหมายและนโยบายสาธารณสุข*, 10(1), 17-28. สืบค้นจาก https://repository.li.mahidol.ac.th/entities/publication/0905138b-f04b-40b8-9f92-da146cd6d9ec

[7] กช พิทักษ์วงศ์โรจน์, พ.บ., ธาตรี โบสิทธิพิเชฏฐ์, พ.บ., ศรัณย์ ศรีคำ, พ.บ., วท.ม., และ ธนกมณ ลีศรี, ปร.ด. (2567). ภาวะหมดไฟจากการทำงานและปัจจัยที่เกี่ยวข้องของบุคลากรด้านบริการปฐมภูมิ อำเภอพระนครศรีอยุธยา. *วารสารศูนย์อนามัยที่ 9 : วารสารส่งเสริมสุขภาพและอนามัยสิ่งแวดล้อม*, 18(3), 839–850. สืบค้นจาก https://he02.tcithaijo.org/index.-php/RHPC9Journal/article/view/267833

[8] พัทธนันท์ เยาดำ, และเกวลิน ศีลพิพัฒน์. (2024). ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความเหนื่อยล้าในการทำงานของพนักงานธนาคารรัฐ. *Journal of Social Sciences and Humanities Research in Asia*, *30*(3), 71–90. สืบค้นจาก https://so05.tci-thaijo.org/index.php/psujssh/article/view/272221

[9] วิศิษฏ์ นบน้อม. (2023). ภาวะหมดไฟในการทำงานของพนักงานในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี กรณีศึกษา บริษัท พีทีที โกลบอล เคมิคอล จำกัด (มหาชน) โรงผลิตสารโอเลฟินส์. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 10.58837/CHULA.IS.2023.94.

[10] สโรชาพัชร์ เตชโรจนกัญจน์. (2022). ภาวะหมดไฟในการทำงานและปัจจัยที่เกี่ยวข้องของพนักงานบริษัทเอกชนที่ดำเนินธุรกิจจัดจำหน่ายวัสดุก่อสร้างแห่งหนึ่ง. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. สืบค้นจาก https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/5631/

การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันระบบจองเช่าห้องพักของหอพัก
development of a web application for dormitory room rental booking system

รติพร สุดเสนาะ[1*] และ ธีรยุท กรมทอง[1]

[1]สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
*E-mail: ratiporn@psru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ)1) พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับการจองเช่าห้องพักหอพัก และ) 2) ศึกษาความพึงพอใจต่อประสิทธิภาพของเว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงพัฒนา กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการประเมินระบบ ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 คน และผู้ใช้งานจำนวน 30 คน ซึ่งได้จากการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จากผู้สนใจเช่าห้องพักและผู้ดูแลหอพัก เว็บแอปพลิเคชันได้รับการพัฒนาโดยใช้ภาษา HTML, PHP, JavaScript, CSS Framework และระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อประเมินความพึงพอใจต่อประสิทธิภาพของระบบดำเนินการโดยใช้แบบสอบถามมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับตามแนวคิดของลิเคิร์ท และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ผลการวิจัยพบว่า 1) เว็บแอปพลิเคชันสามารถทำงานได้ครบถ้วนตามขอบเขตที่กำหนด ประกอบด้วย ระบบค้นหาห้องว่าง ระบบการจองเช่าห้องพักหอพัก ระบบชำระเงินมัดจำ ระบบจัดการข้อมูลสัญญาเช่า ระบบยกเลิกสัญญาเช่า และระบบจัดการข้อมูลสำหรับผู้ดูแลหอพัก และ 2) ผู้เชี่ยวชาญมีความพึงพอใจต่อประสิทธิภาพของเว็บแอปพลิเคชันโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$ = 4.28, S.D. = 0.67) และผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อประสิทธิภาพของเว็บแอปพลิเคชันโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก ($\overline{X}$ =4 .81, S.D. = 0.43)

คำสำคัญ เว็บแอปพลิเคชัน จองเช่าห้องพักหอพัก หอพัก ระบบสารสนเทศ ความพึงพอใจ

Abstract

The purposes of this research were to (1) develop a web application for apartment room reservations and (2) evaluate users' satisfaction with the developed web application. This study employed a research and development (R&D) methodology. The participants consisted of three experts and thirty users, selected through purposive sampling from individuals interested in renting apartments and apartment managers. The web application was developed using HTML, PHP, JavaScript, CSS Framework, and MySQL database management system. Data were collected using a five-point Likert-scale questionnaire to assess the efficiency and user satisfaction of the system. The collected data were analyzed using descriptive statistics, including mean and standard deviation (S.D.). The research findings revealed that: (1) the developed web application successfully fulfilled all specified functional requirements, including room availability search, apartment room reservation, automatic payment confirmation, rental agreement management, rental cancellation, and apartment management functions for administrators; and (2) the experts rated the overall efficiency of the web application at a high level (Mean = 4.28, S.D. = 0.67), while the users rated their overall satisfaction at the highest level (Mean = 4.81, S.D. = 0.43).

Keywords: Web application, Dormitory reservation, Dormitory, Information system, User satisfaction

1. บทนำ

จังหวัดพิษณุโลกจัดเป็นศูนย์กลางทางด้านการศึกษาและเศรษฐกิจที่สำคัญของภูมิภาคเขตภาคเหนือตอนล่าง มีสถานศึกษาและห้างสรรพสินค้าเปิดดำเนินธุรกิจหลายแห่ง ส่งผลให้มีจำนวนประชากรที่ไม่ใช่คนพื้นถิ่นจังหวัดพิษณุโลกจำนวนมากย้ายเข้ามาพักอาศัยในพื้นที่จำนวนมากในแต่ละปี โดยเฉพาะกลุ่มนิสิต นักศึกษา และคนวัยทำงาน ส่งผลให้ธุรกิจบริการให้เช่าห้องพักแบบรายเดือนในเขตอำเภอเมืองพิษณุโลกมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง จากข้อมูลสถิติบนแพลตฟอร์มค้นหาที่พักเร้นท์ฮับ (RentHub) พบว่ามีจำนวนผู้ดำเนินการธุรกิจหอพักและอพาร์ตเมนต์ในอำเภอเมืองพิษณุโลก มากกว่า 200 แห่ง [1] แสดงให้เห็นถึงสภาวะการแข่งขันทางการตลาดที่ค่อนข้างสูงในปัจจุบัน

อย่างไรก็ตาม หอพักหลายแห่งยังคงใช้วิธีบริหารจัดการและรูปแบบการให้บริการแบบดั้งเดิม โดยการโฆษณาผ่านป้าย การสอบถามข้อมูลห้องพักและการรับจองเช่าห้องพักผ่านโทรศัพท์ รวมถึงการนัดหมายทำสัญญาเช่าที่ผู้เช่าจำเป็นต้องเดินทางมายังสถานที่จริงเพื่อดูห้องและนัดวันทำสัญญา ซึ่งรูปแบบดังกล่าวทำให้เจ้าของธุรกิจหอพักสูญเสียโอกาสในการเข้าถึงกลุ่มเป้าหมายยุคใหม่ที่นิยมสืบค้นข้อมูลและทำธุรกรรมผ่านระบบออนไลน์ [2, [3] ประกอบกับผู้สนใจเช่าห้องพักโดยเฉพาะกลุ่มนักศึกษาที่มีภูมิลำเนาต่างจังหวัดมักประสบปัญหาการขาดช่องทางในการเปรียบเทียบข้อมูลห้องพักที่ถูกต้องและเป็นปัจจุบัน และการยืนยันการจองที่พักล่วงหน้าได้อย่างมั่นใจ ส่งผลให้ขีดความสามารถในการแข่งขันของผู้ประกอบการให้เช่าห้องพักของหอพักรายย่อยลดลงอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

จากเหตุผลและความสำคัญดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับการจองเช่าห้องพักของหอพัก กรณีศึกษาหอพักเป็นต่อ ด้วยการนำเทคโนโลยีเว็บแบบเรสพอนซีฟเว็บ) Responsive web) ที่ทันสมัย [4] โดยใช้ภาษา HTML, PHP, JavaScript ร่วมกับ CSS Framework และระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL มาประยุกต์ใช้ในการสร้างระบบจองเช่าห้องพักของหอพักที่มีประสิทธิภาพ ครอบคลุมตั้งแต่การแสดงข้อมูลห้องพัก การรับจองเช่าห้องพัก การรับชำระเงิน และการจัดการสัญญาเช่า พร้อมทั้งทำการศึกษาความพึงพอใจต่อประสิทธิภาพของระบบจากทั้งผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้งาน เพื่อให้ได้เว็บแอปพลิเคชันที่สามารถนำไปใช้งานได้จริงในเชิงพาณิชย์ ช่วยยกระดับมาตรฐานการบริการ และเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันให้กับธุรกิจหอพักได้อย่างยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1) พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันระบบจองเช่าห้องพักของหอพัก กรณีศึกษาหอพักเป็นต่อ
2) ศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อประสิทธิภาพของเว็บแอปพลิเคชันระบบจองเช่าห้องพักของหอพัก

3. สมมติฐานในการวิจัย

ผู้ใช้งานพึงพอใจต่อประสิทธิภาพของเว็บแอปพลิเคชันระบบจองเช่าห้องพักของหอพักที่พัฒนาขึ้นในระดับมาก

4. วิธีดำเนินการวิจัย

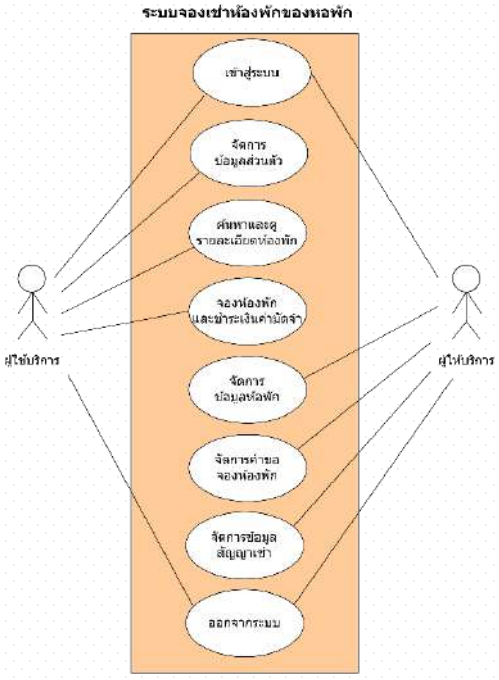
การวิจัยครั้งนี้ดำเนินกระบวนการพัฒนาระบบเว็บแอปพลิเคชันสำหรับการจองเช่าห้องพักของหอพัก ตามวงจรการพัฒนาระบบ) System Development Life Cycle: SDLC) [5] และประเมินระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อประสิทธิภาพของระบบเว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นผ่านการทดลองใช้งานและตอบแบบสอบถามมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับตามแนวคิดของลิเคิร์ท [6] จากนั้นนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติ โดยมีการดำเนินงานดังนี้

4.1 การวิเคราะห์ระบบงาน

การวิเคราะห์ระบบงาน (System Analysis) เพื่อทำความเข้าใจระบบงานเดิม และกำหนดความต้องการของผู้ใช้งานระบบใหม่ที่จะพัฒนา จากการศึกษาพบว่ากระบวนการบริหารจัดการและการจองเช่าห้องพักของหอพักเป็นต่อในปัจจุบันยังดำเนินการในรูปแบบดั้งเดิม โดยผู้สนใจเช่าห้องใช้วิธีการเดินเข้ามาติดต่อกับผู้ดูแลหอพักโดยตรง หรือติดต่อสอบถามผ่านทางโทรศัพท์เพื่อสอบถามข้อมูลห้องพัก ทางหอพักจะได้ลูกค้าใหม่จากการบอกต่อของคนที่เคยเช่าพักหรือผู้สนใจเช่าห้องพักผ่านมาเห็นหอพักโดยบังเอิญ ซึ่งลักษณะการดำเนินงานแบบนี้มีผลทำให้พลาดโอกาสแข่งขันทางธุรกิจให้บริการเช่าห้องพักและมีห้องว่างเหลืออยู่มากทำให้ขาดรายได้ ดังนั้นสิ่งที่ทางเจ้าของกิจการต้องการคือ เพิ่มช่องทางการสื่อสารประชาสัมพันธ์ข้อมูลเกี่ยวกับบริการให้เช่าห้องพักของหอพักให้ผู้สนใจเช่าห้องพักพบเห็นได้ง่ายมากขึ้น สามารถรับจองเช่าห้องพักแบบออนไลน์ได้ สามารถรับชำระเงินมัดจำการจองเช่าห้องพัก และนัดวันทำสัญญาผ่านระบบออนไลน์ได้ เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้รับบริการ และช่วยให้ผู้ดูแลหอพักบริหารจัดการข้อมูลของหอพักได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

4.2 การออกแบบระบบ

การออกแบบระบบ) System Design) เป็นขั้นตอนการออกแบบระบบงานใหม่โดยใช้เทคโนโลยีเว็บเชื่อมต่อกับระบบจัดการฐานข้อมูล เพื่อขจัดปัญหาและข้อจำกัดในการให้บริการจองเช่าห้องพักของหอพักในรูปแบบเดิม ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้ผลการวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้งานระบบ ได้แก่ (1) ผู้รับบริการ คือ ผู้ที่สนใจเช่าห้องพักของหอพัก และ (2) ผู้ให้บริการ คือ เจ้าของกิจการและผู้ดูแลหอพัก นำมาเป็นแนวทางในการออกแบบระบบเว็บแอปพลิเคชันระบบจองเช่าห้องพักของหอพักเป็นต่อ เพื่อยกระดับรูปแบบการให้บริการให้มีความทันสมัย ผู้รับบริการสามารถเข้าถึงข้อมูลห้องพักที่มีทั้งข้อความและภาพประกอบ สามารถทำรายการจองเช่าห้องพักของหอพักพร้อมแนบหลักฐานการชำระเงินมัดจำการจองได้ด้วยตนเองผ่านระบบออนไลน์ และออกแบบระบบการจัดการส่วนหลังบ้าน) Back-end) เพื่อให้ผู้ให้บริการหรือผู้ดูแลหอพักสามารถตรวจสอบสถานะการจอง จัดการข้อมูลห้องพัก และดูแลข้อมูลสัญญาเช่าได้อย่างเป็นระบบ ถูกต้อง แม่นยำ และช่วยลดระยะเวลาในการปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จากขอบเขตและฟังก์ชันการทำงานของระบบที่ออกแบบสามารถอธิบายโครงสร้างความสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้งานกับระบบผ่านแผนภาพกรณีการใช้งาน (Use Case Diagram) ตามภาพที่ 1 และในส่วนของการออกแบบระบบฐานข้อมูลของเว็บแอปพลิเคชันระบบจองเช่าห้องพักของหอพักเป็นต่อ ได้ดำเนินการตามหลักการออกแบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ [7] แสดงแผนภาพความสัมพันธ์เชิงเอนทิตี) Entity-Relationship Diagram: ER Diagram) ดังภาพที่2 และในส่วนการออกแบบส่วนเชื่อมต่อระบบกับผู้ใช้งานนั้น ผู้วิจัยได้ยึดหลักการออกแบบปฏิสัมพันธ์กับประสบการณ์ของผู้ใช้งานระบบที่เน้นการสื่อสารให้เข้าใจได้ง่าย ไม่ซับซ้อน และป้องกันความผิดพลาดและรักษาความปลอดภัยของข้อมูล และออกแบบหน้าจอของเว็บแอปพลิเคชันให้สามารถปรับขนาดหน้าจอ การจัดวาง และการแสดงผลให้เข้ากับอุปกรณ์ทั้งคอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต และโทรศัพท์มือถือ [8]



ภาพที่ 1 แผนภาพกรณีการใช้งานของระบบจองเช่าห้องพักของหอพัก

จากภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างความสัมพันธ์ระหว่างระบบกับผู้ใช้งานเว็บแอปพลิเคชันระบบจองเช่าห้องพักของหอพัก ซึ่งผู้ใช้งานระบบแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ผู้ใช้บริการ และ ผู้ให้บริการ โดยการทำงานของระบบประกอบด้วย 8 ส่วนงาน ดังนี้

1) **การเข้าสู่ระบบ** :ผู้ใช้บริการและผู้ให้บริการสามารถเข้าสู่ระบบด้วยข้อมูลบัญชีที่ลงทะเบียนไว้ เพื่อเข้าถึงฟังก์ชันการทำงานและข้อมูลต่าง ๆ ของระบบตามสิทธิ์

2) **การจัดการข้อมูลส่วนตัว** :ผู้ใช้บริการสามารถจัดการข้อมูลส่วนบุคคลของตนเอง เช่น การแก้ไขข้อมูลส่วนตัว และการเปลี่ยนรหัสผ่านเพื่อความปลอดภัย

3) **การค้นหาและดูรายละเอียดห้องพัก** :ผู้ใช้บริการสามารถค้นหาห้องพักที่ต้องการจองได้ โดยระบบจะแสดงเฉพาะห้องพักที่มีสถานะว่าง ขณะเดียวกันสามารถเรียกดูรายละเอียดข้อมูลของห้องพัก เช่น ราคา สิ่งอำนวยความสะดวก และรูปภาพประกอบ เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจ

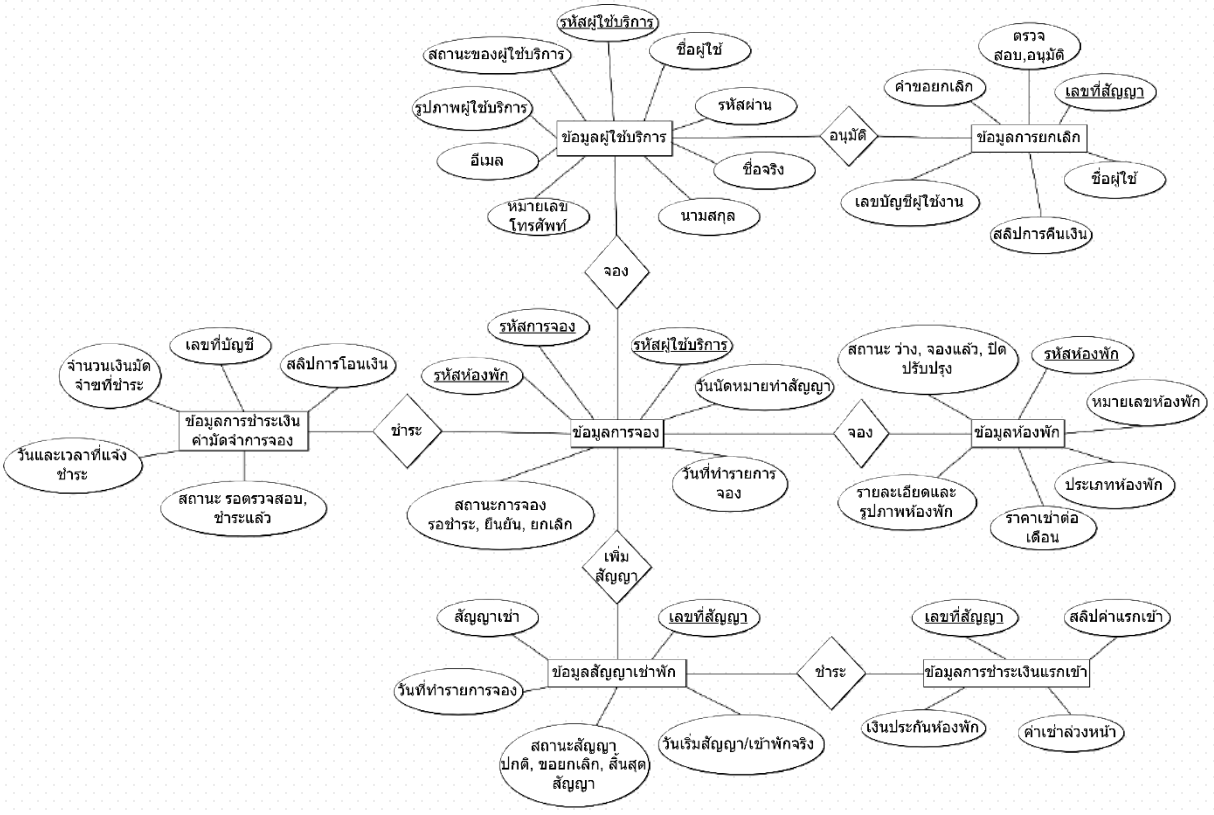
4) **การจองห้องพักและชำระเงินค่ามัดจำ** :ผู้ใช้บริการสามารถส่งคำขอจองห้องพักของหอพัก ระบุวันนัดหมายเพื่อเข้าทำสัญญา และดำเนินการแนบสลิปหลักฐานการชำระเงินค่ามัดจำผ่านระบบส่งให้ผู้ให้บริการตรวจสอบ

5) **การจัดการข้อมูลห้องพัก** :ผู้ให้บริการสามารถเพิ่ม ลบ และแก้ไขข้อมูลรายละเอียดของห้องพัก เช่น ราคาข้อมูลสิ่งอำนวยความสะดวก รวมถึงการปรับเปลี่ยนสถานะความพร้อมใช้งานของห้องพัก

6) **การจัดการคำขอจองห้องพัก** :ผู้ให้บริการสามารถตรวจสอบความถูกต้องของสลิปหลักฐานการโอนเงินและพิจารณาดำเนินการอนุมัติหรือปฏิเสธคำขอจองห้องพักของผู้ใช้บริการตามความพร้อมของห้องพัก

7) **การจัดการข้อมูลสัญญาเช่า** :ผู้ให้บริการสามารถบันทึกข้อมูลเมื่อผู้ใช้บริการเข้ามาทำสัญญาเช่าและเข้าพักจริง รวมถึงการบันทึกข้อมูลการยกเลิกสัญญาเมื่อผู้เช่าย้ายออก เพื่อระบบจะอัปเดตสถานะของห้องพักให้พร้อมเปิดจองอีกครั้ง

8) **การออกจากระบบ**: ผู้ใช้บริการและผู้ให้บริการสามารถทำการออกจากระบบเมื่อสิ้นสุดการใช้งาน เพื่อยกเลิกสิทธิ์การเข้าถึงระบบและรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในบัญชีผู้ใช้งาน



ภาพที่ 2 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างเอนทิตีของระบบจองเช่าห้องพักของหอพัก

จากภาพที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเอนทิตีในระบบฐานข้อมูลที่ใช้จัดเก็บข้อมูลของเว็บแอปพลิเคชันระบบจองเช่าห้องพักของหอพัก ประกอบด้วยเอนทิตีทั้งหมด 7 เอนทิตี ดังนี้

1) **ข้อมูลผู้ใช้บริการ** :จัดเก็บรายละเอียดของผู้ใช้บริการ ประกอบด้วย รหัสผู้ใช้บริการ) คีย์หลัก (ชื่อผู้ใช้ รหัสผ่าน ชื่อจริง นามสกุล หมายเลขโทรศัพท์ อีเมล รูปภาพผู้ใช้บริการ และสถานะของผู้ใช้บริการ

2) **ข้อมูลห้องพัก** :จัดเก็บรายละเอียดของห้องพักแต่ละห้อง ประกอบด้วย รหัสห้องพัก) คีย์หลัก (หมายเลขห้องพัก ประเภทห้องพัก ราคาเช่าต่อเดือน รายละเอียดและรูปภาพห้องพัก และสถานะความพร้อมใช้งาน ว่าง จองแล้ว ปิดปรับปรุง

3) **ข้อมูลการจอง** :จัดเก็บข้อมูลเมื่อมีการทำรายการจองห้องพัก ประกอบด้วย รหัสการจอง) คีย์หลัก (รหัสห้องพัก รหัสผู้ใช้งาน วันที่ทำรายการจอง วันนัดหมายทำสัญญา และสถานะการจอง รอชำระ ยืนยัน ยกเลิก

4) **ข้อมูลการชำระเงินค่ามัดจำการจอง** :จัดเก็บข้อมูลหลักฐานการชำระเงินมัดจำ ประกอบด้วย เลขที่บัญชี จำนวนเงินมัดจำที่ชำระ วันและเวลาที่แจ้งชำระ สลิปการโอนเงิน และสถานะการตรวจสอบ รอตรวจสอบ ชำระแล้ว

5) **ข้อมูลสัญญาเช่าพัก** :จัดเก็บข้อมูลการทำสัญญาเมื่อเข้าพักจริง ประกอบด้วย เลขที่สัญญา) คีย์หลัก (สัญญาเช่า วันที่ทำรายการจอง วันเริ่มสัญญา/เข้าพักจริง และสถานะสัญญา ปกติ ขอยกเลิก สิ้นสุดสัญญา

6) **ข้อมูลการชำระเงินแรกเข้า** :จัดเก็บข้อมูลหลักฐานการชำระเงินในขั้นตอนการทำสัญญาเข้าพัก ประกอบด้วย เลขที่สัญญา) คีย์หลัก (เงินประกันห้องพัก ค่าเช่าล่วงหน้า และสลิปค่าแรกเข้า

7) **ข้อมูลการยกเลิก** :จัดเก็บข้อมูลเมื่อมีการแจ้งขอยกเลิกสัญญา ประกอบด้วย เลขที่สัญญา ชื่อผู้ใช้ คำขอยกเลิก เลขบัญชีผู้ใช้บริการ สลิปการคืนเงิน และสถานะการตรวจสอบ อนุมัติ

4.3 การสร้างระบบโปรแกรม

เว็บแอปพลิเคชันได้รับการพัฒนาโดยใช้ภาษา HTML, PHP, JavaScript, CSS Framework และระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL โดยการพัฒนาโปรแกรมแต่ละส่วนมีการตรวจสอบหาข้อผิดพลาดโดยผู้เขียนโปรแกรม ทดสอบกับข้อมูลเสมือนจริง และปรับแก้ไขให้ระบบทำงานถูกต้องครบถ้วนทุกฟังก์ชันงานตามที่ออกแบบไว้ และการทดสอบโดยกลุ่มทดลอง

4.4 การประเมินความพึงพอใจโดยผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้งาน

ในขั้นตอนนี้เป็นการดำเนินงานเพื่อประเมินระดับความพึงพอใจต่อประสิทธิภาพของเว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น ใน 4 ด้าน ได้แก่ (1) ด้านการทำงานของระบบ (Functional Test) (2) ด้านระบบตรงตามความต้องการของผู้ใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ (Performance Test) (3) ด้านความเหมาะสมของรูปแบบ ง่ายต่อการใช้งาน (Usability Test) และ (4) ด้านรักษาความปลอดภัย (Security Test) โดยการดำเนินงานในขั้นตอนนี้แบ่งเป็นสองช่วงเวลาตามกลุ่มผู้ประเมิน ได้แก่

1) การประเมินความพึงพอใจโดยผู้เชี่ยวชาญ ในขั้นตอนนี้มีผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน เป็นผู้ประเมิน เป็นการดำเนินงานเพื่อรับฟังความคิดเห็นและข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญแล้วนำผลไปปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาให้ดีที่สุด ก่อนนำไปให้ผู้ใช้งานได้ทดลองใช้งาน

2) การประเมินความพึงพอใจโดยผู้ใช้งาน ในขั้นตอนนี้ดำเนินการเพื่อทดสอบสมมุติฐานการวิจัยที่ตั้งไว้ว่า ผู้ใช้งานพึงพอใจต่อประสิทธิภาพของเว็บแอปพลิเคชันระบบจองเช่าห้องพักของหอพักที่พัฒนาขึ้นในระดับมาก โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ใช้งานจำนวน 30 คน ซึ่งได้จากการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จากผู้สนใจเช่าห้องพักและผู้ดูแลหอพัก

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ คือ สถิติพรรณนา ใช้อธิบายข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากสูตร

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n}$$

เมื่อ $\bar{X}$ แทนค่าเฉลี่ยเลขคณิต, $\sum x$ แทนผลรวมของข้อมูลทั้งหมด และ n แทนค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมด

$$SD = \frac{\sqrt{(x - \bar{x})}}{N - 1}$$

เมื่อ SD แทนที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, X แทนที่ค่าข้อมูล, $\bar{X}$ แทนที่ค่าเฉลี่ยของข้อมูล และ *N* แทนจำนวนข้อมูลทั้งหมด

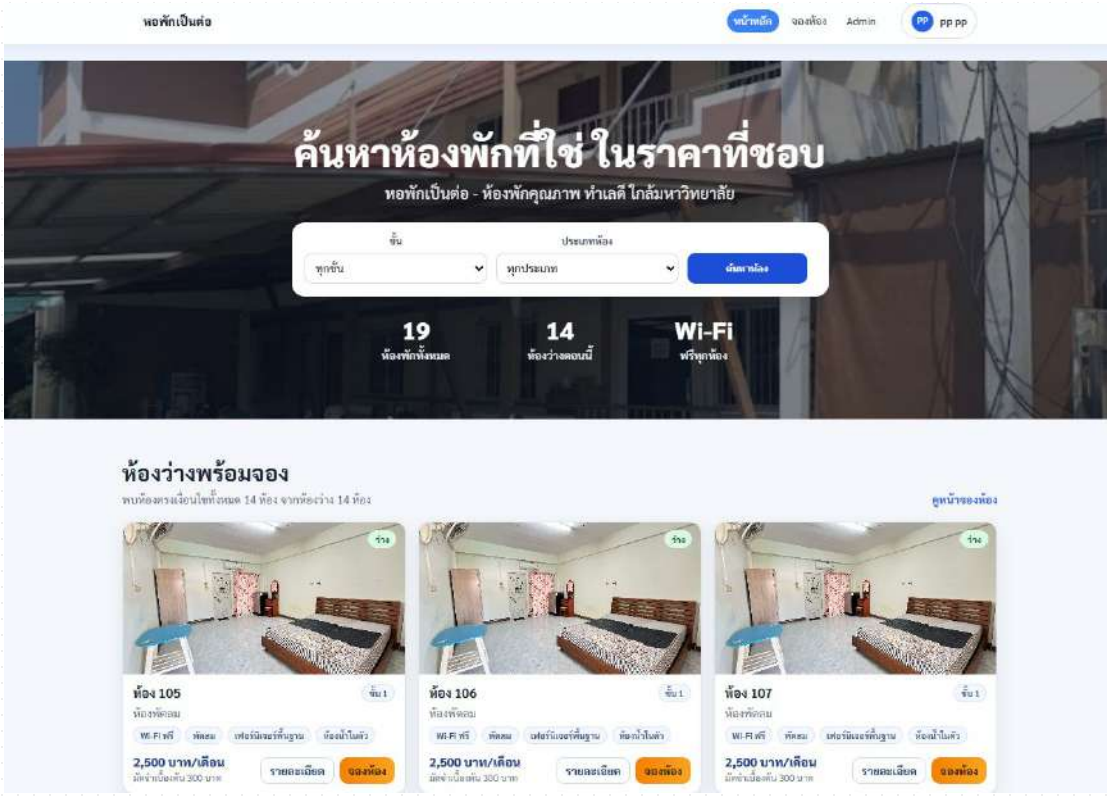
ข้อมูลที่เก็บรวบรวมผ่านแบบสอบถามนำมาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา โดยใช้ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) [9] และแปลความหมายผลคะแนนเฉลี่ยเพื่อจัดระดับความพึงพอใจ โดยใช้เกณฑ์แบ่งช่วงคะแนนประกอบด้วยมาตราส่วนประเมินค่าเชิงคุณภาพ 5 ระดับ ดังนี้

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ	4.50 – 5.00	หมายความว่า ระดับดีมาก
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ	3.50 – 4.49	หมายความว่า ระดับดี
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ	2.50 – 3.49	หมายความว่า ระดับปานกลาง
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ	1.50 – 2.49	หมายความว่า ระดับน้อย
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ	1.00 – 1.49	หมายความว่า ระดับน้อยมาก

5. ผลการวิจัย

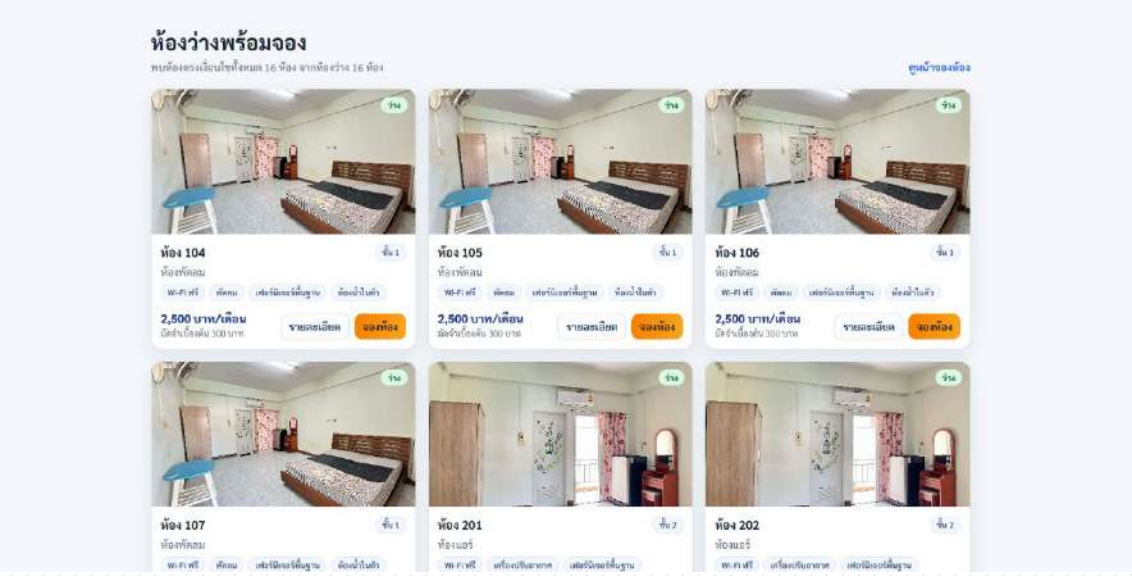
5.1 ผลการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันระบบจองเช่าห้องพักของหอพัก

การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันระบบจองเช่าห้องพักของหอพัก กรณีศึกษาหอพักเป็นต่อ มีความสามารถในการใช้งานครบทุกฟังก์ชันงานที่ได้ออกแบบระบบไว้ อธิบายภาพรวมการทำงานของระบบเว็บให้เห็นได้ตามภาพที่ 3 ถึงภาพที่ 8 ดังนี้



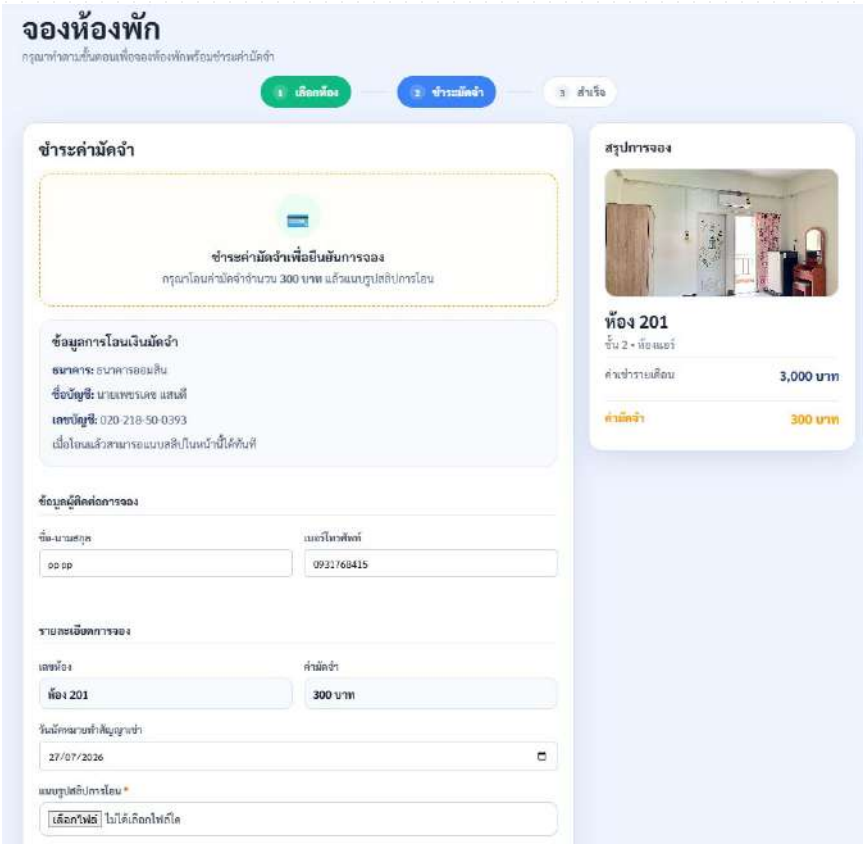
ภาพที่ 3 หน้าจอหลักของเว็บแอปพลิเคชัน

จากภาพที่ 3 แสดงหน้าจอหลักของเว็บแอปพลิเคชันเป็นส่วนที่ช่วยให้ผู้ใช้บริการสามารถค้นหาและเข้าถึงข้อมูลห้องพักได้อย่างรวดเร็ว โดยมีระบบค้นหาและกรองข้อมูลตามชั้นหรือประเภทของห้องพัก พร้อมแสดงข้อมูลสรุปภาพรวมของหอพัก เช่น จำนวนห้องทั้งหมดและจำนวนห้องที่ว่าง



ภาพที่ 4 หน้าจอห้องพักที่ว่างอยู่ พร้อมจอง

จากภาพที่ 4 แสดงหน้ารายการห้องพักที่ว่างอยู่ เป็นส่วนที่แสดงข้อมูลห้องพักที่พร้อมให้บริการในปัจจุบัน โดยนำเสนอรายละเอียดที่สำคัญเพื่อประกอบการตัดสินใจของผู้ใช้บริการ เช่น รูปภาพสภาพห้อง หมายเลขห้อง ประเภทของห้องพัก ห้องแอร์หรือห้องพัดลม สิ่งอำนวยความสะดวก ราคาเช่าต่อเดือน และอัตราค่ามัดจำเบื้องต้น ผู้ใช้งานสามารถคลิกปุ่มรายละเอียด เพื่อดูข้อมูลเพิ่มเติม หรือกดปุ่ม จองห้อง เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการทำรายการจองห้องพักที่ต้องการได้ทันที

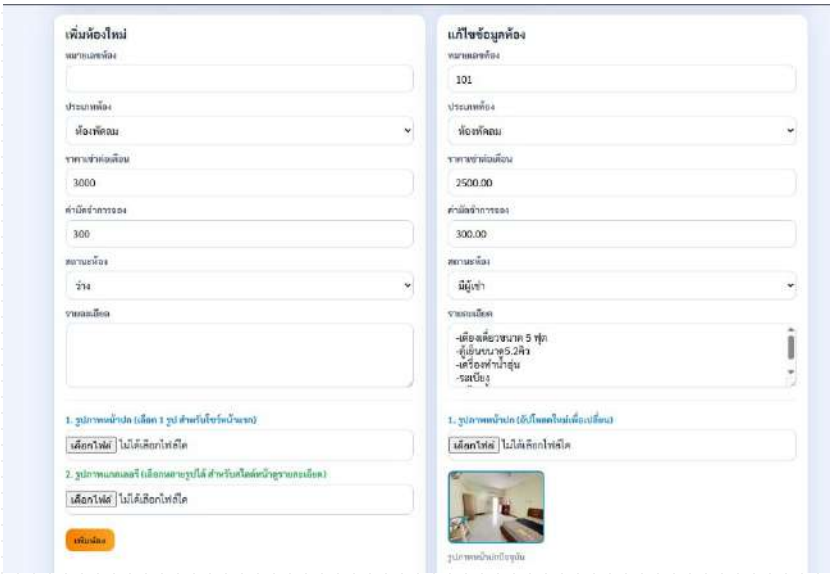


ภาพที่ 5 หน้าจอแสดงการจองห้องขอเว็บแอปพลิเคชัน

จากภาพที่ 5 แสดงหน้าจอขั้นตอนการจองห้องพักและการชำระเงินมัดจำผู้ใช้บริการ เพิ่มข้อมูลการจอง ชื่อเบอร์โทร วันที่นัดหมายทำสัญญา สลิปค่ามัดจำการจอง หลังจากเพิ่มข้อมูลครบถ้วนผู้ใช้บริการ สามารถดูสถานะการจอง ดังภาพที่ 6

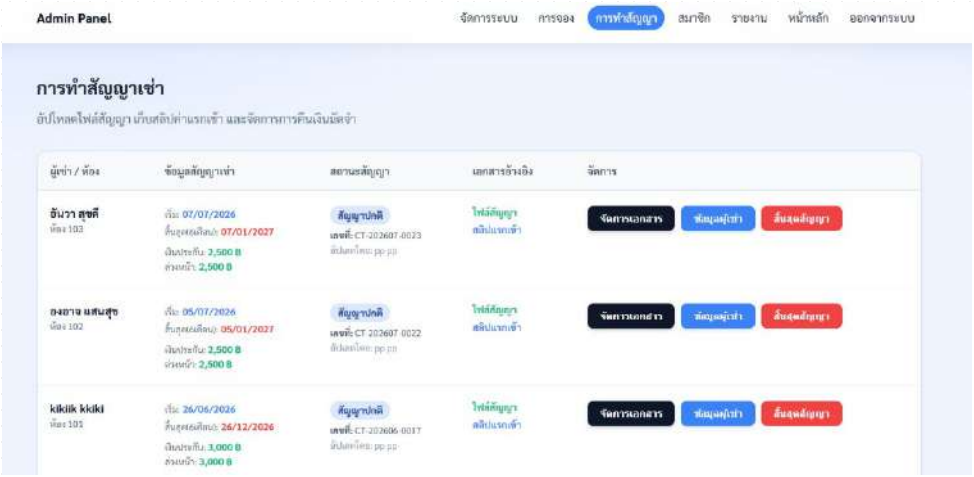
ภาพที่ 6 หน้าจอแสดงสถานะจองของเว็บแอปพลิเคชัน

จากภาพที่ 6 ผู้ใช้บริการสามารถตรวจสอบสถานะจอง ห้อง โดยสามารถดูวันนัดหมายทำสัญญาหมายเลขห้องและatผู้ใช้บริการ สามารถยกเลิกการจองห้องพัก



ภาพที่ 7 หน้าจอสดงการจัดการข้อมูลห้องพักของผู้ให้บริการ

จากภาพที่ 7 ผู้ให้บริการจัดการข้อมูลห้องพักผ่านระบบเว็บแอปพลิเคชัน สามารถ เพิ่ม ลบ แก้ไข ข้อมูลแต่ละห้อง พร้อมจัดการข้อมูลสถานะในแต่ละห้อง เช่นสถานะ พร้อมให้บริการ ปิดปรับปรุง มีผู้เช่าอาศัย



ภาพที่ 8 หน้าจอแสดงการจัดการข้อมูลสัญญาภายในระบบเว็บแอปพลิเคชัน

ภาพที่ 8 หน้าจอส่วนการจัดการข้อมูลสัญญาเช่าสำหรับผู้ให้บริการ ซึ่งออกแบบมาเพื่อใช้ในการบริหารจัดการและติดตามสถานะสัญญาเช่าของผู้พักอาศัย โดยระบบจะแสดงผลข้อมูลในรูปแบบตารางที่สรุปรายละเอียดสำคัญไว้อย่างครบถ้วน ประกอบด้วย ชื่อผู้เช่า หมายเลขห้องพัก รายละเอียดระยะเวลาของสัญญา ยอดเงินประกันและค่าเช่าล่วงหน้า รวมถึงสถานะของสัญญาเช่าในปัจจุบัน นอกจากนี้ ผู้ให้บริการ ยังสามารถตรวจสอบเอกสารอ้างอิง เช่น ไฟล์สัญญาเช่าและสลิปการชำระเงินแรกเข้า และสามารถ เรียกดูข้อมูลผู้เช่า หรือทำรายการสิ้นสุดสัญญาเช่าเมื่อผู้เช่าย้ายออกได้อย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ

5.2 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อประสิทธิภาพของเว็บแอปพลิเคชันระบบจองเช่าห้องพักของหอพัก

ผลการประเมินความพึงพอใจต่อประสิทธิภาพของเว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น โดยผู้ประเมินเป็นกลุ่มผู้เชี่ยวชาญและกลุ่มผู้ใช้งานระบบ เมื่อรวบรวมข้อมูลผ่านแบบสอบถามแล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติและสรุปผลได้ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ผลการประเมินความพึงพอใจโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 คน

รายการ	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1.ด้านการทำงานของระบบ (Functional Test)			
1.1 ความรวดเร็วในการตอบสนองของระบบ	4.67	0.58	ดีมาก
1.2 สามารถจัดเก็บข้อมูลต่าง ๆ ได้ถูกต้อง	4.67	0.58	ดีมาก
1.3 ความสามารถในการจัดเก็บข้อมูลผู้ใช้งานได้ถูกต้อง	4.33	0.58	ดี
1.4 สามารถจัดเก็บข้อมูลจองห้องพักและข้อมูลการจองห้องได้ถูกต้องครบถ้วน	4.33	0.58	ดี
1.5 มีความถูกต้องแม่นยำในการตรวจสอบข้อมูลการจอง	4.33	1.15	ดี
1.6 มีความถูกต้องแม่นยำในการตรวจสอบข้อมูลของผู้ใช้งาน	4.00	1.00	ดี
2. ด้านระบบตรงตามความต้องการของผู้ใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ (Performance Test)			
2.1 มีประสิทธิภาพ การเข้าใช้งานของผู้ใช้แต่ส่วน	4.00	1.00	ดี
2.2 การค้นหา และการเข้าถึงตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน	4.67	0.58	ดีมาก
2.3 การแสดงข้อมูลห้องพักมีข้อมูลครบถ้วนและเข้าใจง่าย	4.67	0.58	ดีมาก
2.4 การจองห้องพักสะดวก และเข้าใจง่าย ต่อการใช้งาน	4.67	0.58	ดีมาก
2.5 หน้ารายงานสรุปผล ข้อมูลถูกต้องครบถ้วน	4.33	0.58	ดี

ตารางที่ 1 ผลการประเมินความพึงพอใจโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 คน (ต่อ)

รายการ	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
3. ด้านความเหมาะสมของรูปแบบ ง่ายต่อการใช้งาน (Usability Test)			
3.1 มีความสวยงาม ทันสมัย และเหมาะสมในการแสดงผลหน้าจอ	4.33	0.58	ดี
3.2 ตำแหน่ง และรูปแบบเมนูง่ายต่อการใช้งาน	4.00	0.00	ดี
3.3 ภาษา ขนาดตัวอักษร และรูปแบบตัวอักษรมีความเหมาะสม	3.67	0.58	ดี
3.4 การใช้สีในการแสดงผลรูปภาพ และกราฟมีความชัดเจน เหมาะสม	4.33	0.58	ดี
3.5 คำและประโยคที่ใช้มีความถูกต้อง และเข้าใจง่าย	4.00	1.00	ดี
3.6 การจัดรูปแบบห้องพักมีความเหมาะสมและมีข้อมูลห้องพักแต่ละห้อครบถ้วน	4.00	1.00	ดี
4.ด้านรักษาความปลอดภัย (Security Test)			
4.1 การจำแนกกลุ่มผู้ใช้และการอนุญาตสิทธิ์ในการเข้าใช้งานระบบ	4.00	1.00	ดี
4.2 การปรับเปลี่ยนข้อมูลรหัสผ่านส่วนตัวของผู้ใช้งาน	4.33	0.58	ดี
4.3 การป้องกันการเข้าถึงข้อมูลส่วนตัวของผู้ใช้งาน	4.22	0.67	ดี
ค่าเฉลี่ยรวม	4.28	0.67	ดี

จากตารางที่ 1 แสดงผลการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันระบบจองเช่าห้องพักของหอพัก โดยแบ่ง การประเมินออกเป็น 4 ด้าน ได้แก่ ด้านการทำงานของระบบ (Functional Test) ด้านระบบตรงตามความต้องการของผู้ใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ (Performance Test) ด้านความเหมาะสมของรูปแบบ ง่ายต่อการใช้งาน (Usability Test) และด้านรักษาความปลอดภัย (Security Test) ผลการวิเคราะห์พบว่า ภาพรวมประสิทธิภาพของระบบอยู่ในระดับ ดี โดยมีค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$ = 4.28, S.D. = 0.67) เมื่อพิจารณารายข้อ พบว่ารายการที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดและอยู่ในระดับ ดีมาก ($\overline{X}$ = 4.67, S.D. = 0.58) ได้แก่ (1) ความรวดเร็วในการตอบสนองของระบบ (2) ความสามารถในการจัดเก็บข้อมูลต่าง ๆ ได้ถูกต้อง (3) การค้นหาและการเข้าถึงตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน (4) การแสดงข้อมูลห้องพักมีข้อมูลครบถ้วนและเข้าใจง่าย และ (5) การจองห้องพักสะดวกและเข้าใจง่ายต่อการใช้งาน ส่วนผลประเมินรายการอื่น ๆ นอกจาก 5 รายการนี้อยู่ในระดับดี ด้วยค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันเล็กน้อย

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจโดยผู้ใช้งาน จำนวน 30 คน

รายการ	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1.ระบบใช้งานง่าย มีรูปแบบการนำเสนอและภาษาที่ชัดเจน	4.83	0.38	ดีมาก
2.ระบบทำงานมีประสิทธิภาพ ประมวลผลและนำเสนอข้อมูลถูกต้อง	4.80	0.48	ดีมาก
3.ระบบทำงานรวดเร็วและแสดงผลข้อมูลตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน	4.80	0.41	ดีมาก
4.ระบบมีการรักษาความปลอดภัยและกำหนดสิทธิ์ในการเข้าถึงข้อมูล	4.73	0.52	ดีมาก
5.มีความพึงพอใจต่อประสิทธิภาพของระบบในภาพรวมระดับใด	4.83	0.35	ดีมาก
ค่าเฉลี่ยรวม	**4.81**	**0.43**	**ดีมาก**

จากตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน จำนวน 30 คน ต่อประสิทธิภาพของเว็ปแอปพลิเคชันระบบจองเช่าห้องพักของหอพัก พบว่า มีระดับความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก ค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$ = 4.81, S.D. = 0.43) เมื่อพิจารณาจากคำถามรายข้อเรียงลำดับตามค่าคะแนนเฉลี่ยจากมากไปน้อย พบว่า ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อประสิทธิภาพของระบบในภาพรวม ระดับดีมาก ($\overline{X}$ = 4.83, S.D. = 0.35) ระบบใช้งานง่าย มีรูปแบบการนำเสนอและภาษาที่ชัดเจนอยู่ในระดับดีมาก ($\overline{X}$ = 4.83, S.D. = 0.38) ระบบทำงานรวดเร็วและแสดงผลข้อมูลตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน

ผลประเมินระดับ ดีมาก ($\overline{X}$ = 4.80, S.D. = 0.41) ระบบทำงานมีประสิทธิภาพ ประมวลผลและนำเสนอข้อมูลถูกต้อง ผลประเมินระดับดีมาก ($\overline{X}$ = 4.80, S.D. = 0.48) และระบบมีการรักษาความปลอดภัยและกำหนดสิทธิ์ในการเข้าถึงข้อมูล ผลประเมินระดับดีมาก ($\overline{X}$ = 4.73, S.D. = 0.52) ตามลำดับ

6. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

จากการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันระบบจองเช่าห้องพักของหอพักสามารถช่วยอำนวยความสะดวกในการบริหารจัดการข้อมูลการเช่าและจองห้องพัก ลดความซ้ำซ้อนในกระบวนการทำงานของผู้ดูแลระบบ และเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการแก่ผู้ใช้งาน โดยผู้ใช้บริการสามารถค้นหาห้องพักที่ว่างเลือกดูรายละเอียดของห้องพักเพื่อประกอบการตัดสินใจและทำรายการจองเช่าห้องพัก พร้อมชำระเงินมัดจำได้สะดวกรวดเร็วผ่านหน้าเว็บเพจ ในขณะที่ผู้ให้บริการสามารถจัดการข้อมูลห้องพัก ปรับเปลี่ยนสถานะห้องว่าง/ไม่ว่าง/ปิดปรับปรุง ตรวจสอบคำขอจองเช่าห้องพักของหอพัก นัดหมายการทำสัญญาและจัดการข้อมูลสัญญาเช่าได้อย่างเป็นระบบ ซึ่งจากผลการประเมินหลังจากการทดลองใช้งาน พบว่าระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อประสิทธิภาพของระบบเว็บแอปพลิเคชันอยู่ในระดับดีมาก ($\overline{X}$ = 4.81, S.D. = 0.43) แสดงถึงความสามารถของระบบที่พัฒนาขึ้นอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง สอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฏฐิดา แสนเสนา และคณะ [10] เรื่องการพัฒนาระบบจัดการการจองห้องพักล้อมดาวรีสอร์ท กรณีศึกษา ล้อมดาวรีสอร์ท ซึ่งเป็นงานวิจัยเพื่อพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันเช่นเดียวกัน และผลการวิจัยพบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถลดข้อผิดพลาดของระบบเดิม เพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงาน และยกระดับการบริหารจัดการห้องพักให้ทันสมัยและสอดคล้องกับยุคดิจิทัล

6.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งถัดไป

1) การนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence AI) มาใช้เพื่อพัฒนาระบบตัวแทนสนทนาอัตโนมัติ (Chatbot) เข้ามาทำงานร่วมกับเว็บแอปพลิเคชัน สำหรับทำหน้าที่โต้ตอบและตอบคำถามเบื้องต้นเกี่ยวกับหอพักแก่ผู้ใช้บริการแบบเรียลไทม์ (Real-time) ตลอด 24 ชั่วโมง ซึ่งจะช่วยลดภาระงานในการตอบคำถาม หรือให้บอทตอบคำถามแทนเมื่อผู้ดูแลหอพักติดภาระกิจอื่นอยู่ในขณะนั้น

2) การเชื่อมต่อระบบการชำระเงินอัตโนมัติ (Payment Gateway Integration) ในการพัฒนาต่อยอด ควรพิจารณาการเชื่อมต่อระบบผ่าน Application Programming Interface (API) ของสถาบันการเงิน เพื่อสร้างระบบตรวจสอบการชำระเงินอัตโนมัติ ซึ่งจะช่วยให้ระบบสามารถยืนยันยอดชำระเงินมัดจำการจองเช่าห้องพัก หรือโอนชำระเงินแรกเข้าพัก (เงินประกัน) เมื่อทำสัญญา ได้ทันที โดยไม่ต้องอาศัยผู้ดูแลหอพักเป็นผู้ตรวจสอบสลิปการโอนเงิน

3) การพัฒนาในรูปแบบแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ (Mobile Application) เพื่อยกระดับประสบการณ์ของผู้ใช้งาน (User Experience) และเพิ่มความสะดวกในการเข้าถึงข้อมูลเช่น การแจ้งเตือนสถานะการจอง การแจ้งเตือนเมื่อใกล้วันนัดทำสัญญา

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์จากเจ้าของกิจการหอพักเป็นต่อให้ใช้ข้อมูลของหอพักเป็นกรณีศึกษา ขอบคุณ รองศาสตราจารย์ อุไรวรรณ์ รักผกาวงศ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรอุมา พร้าโมต และ คุณ ธิดาพร พูนแบนผู้เชี่ยวชาญที่กรุณาให้คำแนะนำในการปรับปรุงระบบเว็บแอปพลิเคชัน และขอขอบคุณผู้ใช้งานระบบทุกท่านที่เป็นผู้ตอบแบบสอบถามประเมินความพึงพอใจการใช้งานเว็บแอปพลิชันระบบจองเช่าห้องพักของหอพัก

8. เอกสารอ้างอิง

[1] ห้องพักรายวัน อำเภอเมืองพิษณุโลก พิษณุโลก. (2569). เร้นท์ฮับ. สืบค้น 25 กรกฎาคม 2569, จาก https://www.renthub.in.th

[2] เครื่องมือสำคัญที่นักการตลาดยุคนี้ต้องใช้. (2569). ธนาคารกรุงเทพฯ. สืบค้น 25 กรกฎาคม 2569, จาก https://www.bangkokbanksme.com/sme-knowledge/sme-sharing/an-essential-tool-marketers-need-to-use

[3] ปุญญภพ ตันติปิฎก. (2569). *SCB EIC survey เปิดมุมมองใหม่ Digital lifestyle ของผู้บริโภคชาวไทยในยุค Gen AI*. สืบค้น 25 กรกฎาคม 2569, จาก https://thaipublica.org/2026/07/scb-eic-digital-survey/

[4] บัญชา ปะสีละเตสัง. (2562). สร้างเว็บไซต์แบบ Responsiveด้วยBootstrap ร่วมกับ CSS และ JavaScript (ฉบับสบูรณ). กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น

[5] Sommerville, I. (2016). Software Engineering. 10th Edition, Pearson Education Limited, Boston

[6] Likert, R. (1932). A Technique for the Measurement of Attitudes. *Archives of Psychology*, 22(140), 1-55.

[7] นวลศรี เด่นวัฒนา. (2562). ระบบฐานข้อมูล (Database Systems) (ฉบับปรับปรุงใหม่). ศูนย์หนังสือแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

[8] รัชฎาภรณ์ อมรชีวิน) .2560). ปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์และคอมพิวเตอร์ Human Computer Interaction (HCI). สำนักพิมพ์ บริษัทยูเพรส คอร์เปอร์เรชัน จำกัด.

[9] บุญชม ศรีสะอาด. (2545). การวิจัยเบื้องต้น:การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (พิมพ์ครั้งที่7). สุวีริยาสาส์น

[10] ณัฏฐิดา แสนเสนา และคณะ. (2568). การพัฒนาระบบจัดการการจองห้องพักล้อมดาวรีสอร์ท กรณีศึกษา ล้อมดาวรีสอร์ท. (รายงานการวิจัย). อุดรธานี: มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี.

การพัฒนาโปรแกรมการส่งเสริมความตระหนักรู้และป้องกันภาวะสมองเสื่อมต่อความรู้เกี่ยวกับภาวะสมองเสื่อม ทัศนคติต่อภาวะสมองเสื่อม พฤติกรรมการป้องกันภาวะสมองเสื่อม และความสามารถด้านการรู้คิดของผู้สูงอายุโรคเรื้อรังที่มีภาวะการรู้คิดบกพร่องเล็กน้อยในชุมชน

Development Effects of Dementia Awareness and Dementia Prevention Program on Dementia Knowledge, Attitudes Toward Dementia, Behaviors to Prevent Dementia and Cognitive Function of Older Adults with Chronic Diseases and Mild Cognitive Impairment in Community

นัฐภรณ์ ปัททุม[1*] และ สุทธินันท์ สุบินดี[2]

[1]สาขาการพยาบาลเวชปฏิบัติผู้สูงอายุ คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002
*E-mail: Nattaporn.pat@kkumail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นงานวิจัยกึ่งทดลองชนิดกลุ่มเดียววัดผลก่อนและหลังการทดลอง เพื่อพัฒนาและทดสอบความเป็นไปได้ (feasibility study) ของโปรแกรมการส่งเสริมความตระหนักรู้และป้องกันภาวะสมองเสื่อมต่อความรู้ ทัศนคติ พฤติกรรมการป้องกันภาวะสมองเสื่อม และความสามารถด้านการรู้คิดของผู้สูงอายุโรคเรื้อรังที่มีภาวะการรู้คิดบกพร่องเล็กน้อยในชุมชนแห่งหนึ่ง จังหวัดมุกดาหารจำนวน 10 ราย มีการดำเนินการ 3 ระยะ ได้แก่ ระยะการพัฒนาโปรแกรม ระยะการตรวจสอบคุณภาพโดยผู้ทรงคุณวุฒิ 5 ท่าน ผลของการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (CVI) ของโปรแกรมเท่ากับ 0.93 และระยะทดสอบความเป็นไปได้ของโปรแกรม เก็บรวบรวมข้อมูลโดย แบบสอบถามข้อมูลทั่วไป แบบประเมินความรู้เกี่ยวกับภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุ แบบประเมินทัศนคติต่อภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุ แบบประเมินพฤติกรรมการป้องกันภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุ และแบบประเมินพุทธิปัญญา ฉบับภาษาไทย 8.1 ในการทดสอบความเป็นไปได้ของโปรแกรมการส่งเสริมความตระหนักรู้และป้องกันภาวะสมองเสื่อม กลุ่มตัวอย่างจะได้รับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ประกอบด้วยกิจกรรมจำนวน 5 กิจกรรม โดยดำเนินกิจกรรมทั้งหมดในระยะเวลา 5 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 1 ครั้ง ครั้งละ 3 ชั่วโมง ใช้คู่มือและสื่อวิดีทัศน์ประกอบการดำเนินกิจกรรมในโปรแกรม ซึ่งกลุ่มตัวอย่างจะได้รับการประเมินความรู้ ทัศนคติ พฤติกรรมการป้องกันภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุ และความสามารถด้านการรู้คิด 2 ครั้ง คือ ระยะก่อนการทดลองและระยะหลังการทดลอง วิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยคะแนนความสามารถด้านการรู้คิดระยะก่อนการทดลองและหลังการทดลองด้วยสถิติ Paired t-test และวิเคราะห์ค่าคะแนนความรู้ ทัศนคติ พฤติกรรมการป้องกันภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุด้วยสถิติ Wilcoxon signed-rank test เนื่องจากข้อมูลกระจายแบบโค้งไม่ปกติ ผลการศึกษาความเป็นไปได้ของโปรแกรมพบว่า คะแนนความรู้เกี่ยวกับภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุ คะแนนทัศนคติต่อภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุ คะแนนพฤติกรรมการป้องกันภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุ และคะแนนเฉลี่ยของความสามารถด้านการรู้คิด เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

คำสำคัญ: โปรแกรมการส่งเสริมความตระหนักรู้และป้องกันภาวะสมองเสื่อม ความรู้ ทัศนคติ พฤติกรรมการป้องกันภาวะสมองเสื่อม ผู้สูงอายุที่มีภาวะการรู้คิดบกพร่องเล็กน้อย

Abstract

This quasi-experimental one-group pretest–posttest study aimed to develop and examine the feasibility study of a Dementia Awareness and Prevention Program and its preliminary effects on dementia knowledge, attitudes, behaviors to prevent Dementia, and cognitive function among community-dwelling older adults with chronic diseases and mild cognitive impairment. The study was conducted in a community in Mukdahan Province, Thailand, with 10 participants. The study consisted of three phases: (1) program development, (2) content validation by five experts, and (3) feasibility testing. The program demonstrated excellent content validity, with a Content Validity Index (CVI) of 0.93. Data were collected using a demographic questionnaire, the Dementia Knowledge Assessment for Older Adults, the Attitudes toward Dementia Questionnaire, the Dementia-Preventive Behaviors Questionnaire, and the Montreal Cognitive Assessment–Thai Version 8.1 (MoCA-Thai 8.1). During the feasibility phase, participants received the developed program comprising five activities delivered over five consecutive weeks (one session per week, 3 hours per session), supported by a program manual and instructional videos. Dementia knowledge, attitudes, behaviors to prevent Dementia, and cognitive function were assessed before and after the intervention. Descriptive statistics were used to summarize the data. Changes in cognitive function were analyzed using the paired t-test, whereas changes in dementia knowledge, attitudes toward dementia, and dementia-preventive behaviors were analyzed using the Wilcoxon signed-rank test because these variables were not normally distributed. The findings of this feasibility study showed that dementia knowledge, attitudes toward dementia, behaviors to prevent dementia, and mean cognitive function scores were significantly higher after participation in the program than at baseline ($p < .05$).

Keywords: Dementia Awareness and Dementia Prevention Program, Knowledge Attitudes and Behaviors to Prevent Dementia, Older Adults with Mild Cognitive Impairment

1. บทนำ

ภาวะการรู้คิดบกพร่องเล็กน้อย (Mild Cognitive Impairment [MCI]) เป็นภาวะที่อยู่ระหว่างการเปลี่ยนแปลงทางการรู้คิดของผู้สูงอายุปกติกับภาวะสมองเสื่อม [1] โดยจะพบมากขึ้นเมื่ออายุเพิ่มขึ้นและความรุนแรงของภาวะนี้มีตั้งแต่เล็กน้อยจนถึงรุนแรงเป็นภาวะสมองเสื่อม ผู้ที่มีภาวะการรู้คิดบกพร่องเล็กน้อยสามารถพัฒนาไปสู่ภาวะสมองเสื่อมได้โดยเฉลี่ยใช้เวลา 2-3 ปี [2-4] ซึ่งเมื่อผู้สูงอายุเป็นภาวะสมองเสื่อมจะส่งผลกระทบในหลายด้าน ได้แก่ ผู้สูงอายุ ผู้ดูแลครอบครัว สังคมและเศรษฐกิจ โดยผลกระทบต่อผู้สูงอายุ ด้านร่างกายทำให้ความสามารถในการปฏิบัติกิจวัตรประจำวันขั้นพื้นฐานบกพร่องและมีภาวะพึ่งพิงมากขึ้น ด้านจิตใจ ผู้สูงอายุอาจมีอารมณ์หงุดหงิด ซึมเศร้า แยกตัว วิตกกังวล และอาจมีปัญหาทางพฤติกรรมหรือจิตใจ เช่น ก้าวร้าว ด่าทอ ทำร้ายผู้ดูแล ซึ่งมักพบในภาวะสมองเสื่อมระยะกลาง และรุนแรงขึ้นในระยะสุดท้าย ด้านสังคม ผู้สูงอายุสมองเสื่อมถูกตีตราและแยกตัวจากสังคม [5, 6] นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อด้านผู้ดูแลและครอบครัว ส่งผลต่อสุขภาพกายของผู้ดูแลคือมีภาระงานที่เพิ่มขึ้น อาจละเลยสุขภาพของตนเอง และพบว่าผู้สูงอายุสมองเสื่อมต้องมีผู้ดูแลอย่างน้อย 2 คน จึงเป็นทุกขภาระของครอบครัว ในด้านสุขภาพจิตของผู้ดูแลและครอบครัวมีภาวะเครียดเรื้อรัง ซึมเศร้า ถูกตีตราจากสังคมจนเกิดความอับอาย [7-9] ด้านเศรษฐกิจสังคม ผู้ดูแลอาจทำงานได้ไม่เต็มที่ ต้องลาออกจากงาน สูญเสียรายได้ และมีค่าใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้น [10]

จากสถานการณ์ผู้สูงอายุตำบลบ้านเป้า อำเภอหนองสูง จังหวัดมุกดาหาร ซึ่งเป็นพื้นที่วิจัยมีวัฒนธรรมและภาษาท้องถิ่นที่เป็นเอกลักษณ์ของชนเผ่าภูไท พบจำนวนประชากรผู้สูงอายุเพิ่มมากขึ้น โดยเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุระดับสุดยอดตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 และในปัจจุบันปี พ.ศ. 2569 มีประชากรสูงอายุร้อยละ 30.85 ของประชากรทั้งหมด พบว่าผู้สูงอายุส่วนใหญ่เจ็บป่วยด้วยโรคเรื้อรังร้อยละ 54.2 ของผู้สูงอายุทั้งหมด [11] นอกจากนี้ ผลการคัดกรองสุขภาพผู้สูงอายุ 9 ด้าน พบด้านที่ 1 คือด้านความคิดและความจำมีแนวโน้มผิดปกติเพิ่มขึ้น แต่ผู้สูงอายุที่มีความเสี่ยงยังได้รับการวินิจฉัยภาวะสมองเสื่อมล่าช้า

จากสถานการณ์พบว่า คนในชุมชนยังขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับภาวะสมองเสื่อม นำไปสู่การดูแลผู้สูงอายุสมองเสื่อมที่ไม่เหมาะสม ครอบครัวรู้สึกอับอาย กักขังผู้สูงอายุไว้ในบ้าน ถูกแยกตัวออกจากสังคมแสดงถึงการขาดความรู้และความตระหนักรู้ภาวะสมองเสื่อม ผู้วิจัยจึงสนใจพัฒนาโปรแกรมการส่งเสริมความตระหนักรู้และป้องกันภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุโรคเรื้อรังที่มีภาวะการรู้คิดบกพร่องเล็กน้อย เพื่อให้คนในชุมชนได้มีความรู้ ทัศนคติที่ดีต่อภาวะสมองเสื่อม และนำไปสู่การปฏิบัติตัวเพื่อป้องกันภาวะสมองเสื่อม

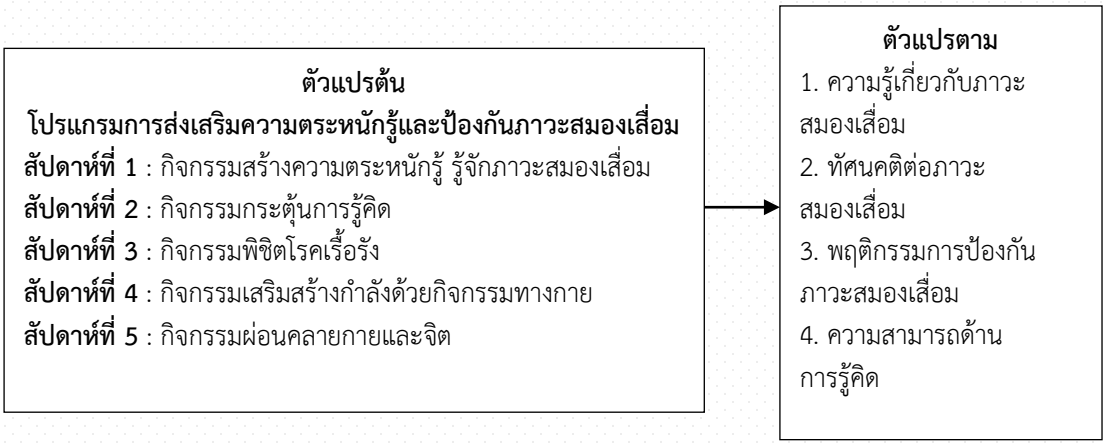
จากการทบทวนวรรณกรรมการส่งเสริมความตระหนักรู้ภาวะสมองเสื่อม สามารถทำได้โดยการรณรงค์การสร้างความตระหนักรู้ ซึ่งมีกิจกรรมการให้ความรู้ สร้างทัศนคติที่ดี และการส่งเสริมให้มีพฤติกรรมการป้องกันภาวะสมองเสื่อม [12-14] สำหรับการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับภาวะสมองเสื่อมในกลุ่มผู้สูงอายุที่มีภาวะการรู้คิดบกพร่องเล็กน้อย ส่วนใหญ่ใช้กรอบแนวคิดกระตุ้นการรู้คิดของ Spector และคณะ [15] ผู้วิจัยจึงได้นำแนวคิดนี้ร่วมกับแนวทางการส่งเสริมความตระหนักรู้ภาวะสมองเสื่อมพัฒนาเป็นโปรแกรมการส่งเสริมความตระหนักรู้และป้องกันภาวะสมองเสื่อม และปรับให้เหมาะสมกับบริบทของชุมชนที่มีวัฒนธรรมภูไท ประกอบด้วย 5 กิจกรรม ในระยะเวลา 5 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 1 ครั้ง ครั้งละ 3 ชั่วโมง เพื่อให้ผู้สูงอายุที่มีโรคเรื้อรังในชุมชนที่มีภาวะการรู้คิดบกพร่องเล็กน้อย มีความรู้ ทัศนคติที่ดีต่อภาวะสมองเสื่อม มีการปรับพฤติกรรม เพื่อป้องกันภาวะสมองเสื่อมและส่งเสริมความสามารถด้านการรู้คิด

2. วัตถุประสงค์ในการศึกษา/การวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาโปรแกรมการส่งเสริมความตระหนักรู้และป้องกันภาวะสมองเสื่อมต่อความรู้เกี่ยวกับภาวะสมองเสื่อม ทัศนคติต่อภาวะสมองเสื่อม พฤติกรรมการป้องกันภาวะสมองเสื่อม และความสามารถด้านการรู้คิดของผู้สูงอายุโรคเรื้อรังที่มีภาวะการรู้คิดบกพร่องเล็กน้อยในชุมชน

2.2 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของโปรแกรมการส่งเสริมความตระหนักรู้และป้องกันภาวะสมองเสื่อมต่อความรู้เกี่ยวกับภาวะสมองเสื่อม ทัศนคติต่อภาวะสมองเสื่อม พฤติกรรมการป้องกันภาวะสมองเสื่อม และความสามารถด้านการรู้คิดของผู้สูงอายุโรคเรื้อรังที่มีภาวะการรู้คิดบกพร่องเล็กน้อยในชุมชน

3. สมมติฐานในการศึกษา/การวิจัย



4. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาครั้งนี้ใช้การทบทวนวรรณกรรมและการวิจัยกึ่งทดลองมีการดำเนินการ 3 ระยะ ได้แก่

4.1 ระยะพัฒนาโปรแกรม ประกอบด้วย 1) การสำรวจปัญหา และวิเคราะห์ปัญหาและสถานการณ์ 2) การทบทวนวรรณกรรม โดยทำการสืบค้นแบบไม่จำกัดช่วงเวลาจนถึงกันยายน พ.ศ. 2568 โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศในช่วงปี พ.ศ. 2558 ถึงปี พ.ศ. 2568 ได้งานวิจัยที่เข้าเกณฑ์ทั้งหมด 81 เรื่อง เป็นงานวิจัยเชิงทดลองหรือกึ่งทดลองจำนวน 22 เรื่อง และเป็นงานวิจัยเชิงพรรณนาจำนวน 54 เรื่อง จากนั้นผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรมจากการทบทวนวรรณกรรมการส่งเสริมความตระหนักรู้ ทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ นำมาปรับให้เหมาะสมกับบริบทพื้นที่ที่เป็นวัฒนธรรมภูไทและเป็นผู้สูงอายุที่อาศัยอยู่ในชุมชน ซึ่งการสร้างความตระหนักรู้สามารถทำได้โดยการให้ความรู้ สร้างทัศนคติที่ดีและส่งเสริมให้มีพฤติกรรมการป้องกันภาวะสมองเสื่อม หลังจากการศึกษาพบว่าประชาชนมีความรู้ ทัศนคติที่ดีต่อภาวะสมองเสื่อม

และมีแนวโน้มจะปรับเปลี่ยนพฤติกรรมเพื่อป้องกันภาวะสมองเสื่อมมากขึ้น [12-14] ดังตารางที่ 1 สำหรับการป้องกันหรือชะลอภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุที่มีภาวะการรู้คิดบกพร่องเล็กน้อย ส่วนใหญ่ใช้แนวคิดกระตุ้นการรู้คิด (Cognitive Stimulation Therapy) ของ Spector และคณะ (2018) จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า โปรแกรมกระตุ้นการรู้คิด (CST) ส่งผลดีอย่างมีนัยสำคัญต่อความสามารถด้านการรู้คิด ลดอาการทางจิตเวช ลดภาวะซึมเศร้า ลดความรุนแรงของภาวะสมองเสื่อม และเทียบเท่ากับการรับประทานยากลุ่ม Cholinesterase inhibitors และความสามารถในการปฏิบัติกิจวัตรประจำวันขั้นพื้นฐานได้ดีขึ้น [16-18] ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 สรุปการทบทวนวรรณกรรมการสร้างความตระหนักรู้ภาวะสมองเสื่อม และแนวทางพัฒนาโปรแกรมการส่งเสริมความตระหนักรู้

ที่มา	สื่อ	กิจกรรม	การพัฒนาโปรแกรม
สายพิน ทับสีรัก และคณะ [19]	1) คู่มือการดูแลสุขภาพ 3 อ 2 ส 2) คู่มือป้องกันภาวะสมองเสื่อม	- กิจกรรมการให้ความรู้เกี่ยวกับภาวะสมองเสื่อม	1) บรรยายให้ความรู้ สร้างทัศนคติที่ดี และส่งเสริมพฤติกรรมป้องกันภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุ เกี่ยวกับภาวะสมองเสื่อม 2) กิจกรรมให้ความรู้เรื่องการควบคุมโรคประจำตัวเพื่อพิชิตโรคเรื้อรัง 3) กิจกรรมให้ความรู้เรื่องกิจกรรมทางกาย 4) คู่มือให้ความรู้เกี่ยวกับภาวะสมองเสื่อม “การป้องกันภาวะสมองเสื่อมสำหรับผู้สูงอายุโรคเรื้อรังในชุมชน” 5) คู่มือโปรแกรมการส่งเสริมความตระหนักรู้และป้องกันภาวะสมองเสื่อม 6) คลิปวิดีโอ “ผู้เฒ่าหลงลืมมิแม้นเรื่องธรรมดา”
ชลธร มงคลศรี และคณะ [20]	1) คู่มืออาสาป้องกันภาวะสมองเสื่อมผู้สูงอายุในชุมชนสำหรับอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน 2) วิดิทัศน์ เรื่อง ความทรงจำใหม่ของยายพา เป็นภาพยนตร์สั้นในหัวข้อ “โรคสมองเสื่อม : อยากจำ-กลับลืม”	1) กิจกรรมให้ความรู้ ส่งเสริมประสบการณ์ เกมบริหารสมอง 4 ด้าน ที่ดัดแปลงจากโปรแกรม TEAMV 2) ฝึกอบรมให้กับกลุ่มอาสาสมัคร เพื่อเสริมสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับภาวะสมองเสื่อม	
Farina และคณะ [21]		- กิจกรรม Dementia Friends นำโดยอาสาสมัคร เพื่อให้ความรู้เกี่ยวกับโรคสมองเสื่อม	
Lee [22]	1) ดูวิดีโอ, ใช้ภาพเป็นตัวช่วยในการเล่าเรื่อง และร่วมกันทำแผนที่ความเห็นอกเห็นใจในกลุ่ม	- ให้ความรู้ ภาวะสมองเสื่อมเน้น การทำความเข้าใจ และแยกความแตกต่างระหว่างอาการหลงลืมปกติกับภาวะสมองเสื่อม	
Patel [23]	1) การใช้เทคโนโลยี เช่น วิดีโอYouTube และการส่งข้อความผ่านโทรศัพท์มือถือ		
Van Asbroeck [14]	1) การแจกกล่องวัคซีนป้องกันโรคสมองเสื่อม 2) ใบปลิว Lifestyle for Brain Health (LIBRA) 3) การโพสต์ผ่านโซเชียลมีเดีย 4) การออกข่าวสารผ่านสื่อสาธารณะ	- การให้ความรู้ Lifestyle for Brain Health (LIBRA)	
Hege [24]	1) แอปพลิเคชันส่งข้อความสั้น ๆ ทุกวัน 2) เว็บไซต์ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับภาวะสมองเสื่อม	- การให้ความรู้ Lifestyle for Brain Health (LIBRA) ซึ่งเกี่ยวกับปัจจัยเสี่ยงที่สามารถปรับเปลี่ยนได้	
Kim [25]	1) การบรรยาย 2) ภาพยนตร์เกี่ยวกับภาวะสมองเสื่อม 3) วิดีโอ	- ให้ผู้เข้าร่วม วาดภาพแสดงความรู้สึกเกี่ยวเรื่องที่ดู เพื่อลดการตีตรา	

ตารางที่ 2 กระบวนการพัฒนาโปรแกรมป้องกันภาวะสมองเสื่อมตามแนวคิดของ Spector (2018)

ผลต่อ Cognitive function	Spector (2018)	การพัฒนาโปรแกรม
1) ด้านความใส่ใจเชิงซ้อน (Complex attention)	**กิจกรรมที่ 2** เสียง **กิจกรรมที่ 6** จดจำใบหน้า/ภาพทิวทัศน์ **กิจกรรมที่ 8** การมีความคิดสร้างสรรค์	1) ฟังเทศน์และทำสมาธิ 2) ดูภาพทิวทัศน์ (วิถีชีวิตวัฒนธรรมในชุมชน) 3) ประดิษฐ์ยางยืดออกกำลังกาย 4) ประดิษฐ์ธุงใยแมงมุม
2) ด้านการบริหารจัดการ (Executive function)	**กิจกรรมที่ 9** การจัดหมวดหมู่สิ่งของ **กิจกรรมที่ 11** การใช้เงิน **กิจกรรมที่ 12** เกมตัวเลข	1) วางแผนการจัดเตรียมอาหารพื้นบ้าน 2) วางแผนการใช้จ่ายเงินในการทำอาหารพื้นบ้าน
3) ด้านการเรียนรู้และความจำ (Learning and Memory)	**กิจกรรมที่ 3** วัยเด็ก **กิจกรรมที่ 4** อาหาร	1) ให้ชิมแล้วบอกว่าคืออะไร ปิดฝามิดชิด (ผลไม้ ผัก ตามฤดูกาล) 2) เกมจับผิดภาพ 3) กิจกรรมเกมนับให้ดีมีเท่าไหร่
4) ด้านภาษา (Language)	**กิจกรรมที่ 5** เหตุการณ์ปัจจุบัน **กิจกรรมที่ 7** การเชื่อมโยงคำ **กิจกรรมที่ 10** การปฐมนิเทศ/การแนะนำ **กิจกรรมที่ 13** เกมคำศัพท์	แนะนำตัว
5) ด้านมิติสัมพันธ์ (Perceptual–Motor function)	**กิจกรรมที่ 1** เกมเคลื่อนไหว/กิจกรรมทางกาย	การออกกำลังกายแบบผสมผสาน - รำภูไทไลน์แดนซ์ - ออกกำลังกายแรงต้านด้วยยางยืด
6) ด้านการรับรู้ทางสังคม (Social cognition)	**กิจกรรมที่ 14** เล่นเกมเป็นทีม	กิจกรรมที่ทำเป็นกลุ่ม

4.2 ระยะตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ ประกอบด้วยการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา ได้แก่ 1) โปรแกรมการส่งเสริมความตระหนักรู้และป้องกันภาวะสมองเสื่อม 2) แบบประเมิน ความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการป้องกันภาวะสมองเสื่อม โดยผู้ทรงคุณวุฒิ 5 ท่าน ประกอบด้วย อาจารย์พยาบาลผู้ทรงคุณวุฒิด้านการพยาบาลผู้สูงอายุ 2 ท่าน พยาบาลผู้ทรงคุณวุฒิด้านการพยาบาลผู้สูงอายุ 2 ท่าน และแพทย์ผู้ทรงคุณวุฒิด้านผู้สูงอายุ 1 ท่าน ตรวจสอบความเชื่อมั่นของแบบประเมิน ความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการป้องกันภาวะสมองเสื่อม โดยนำไปทดสอบกับผู้สูงอายุจำนวน 30 ราย

4.3 ระยะทดสอบความเป็นไปได้ของโปรแกรม ได้นำโปรแกรมไปทดลองใช้กับผู้สูงอายุโรคเรื้อรังที่มีภาวะการรู้คิดบกพร่องเล็กน้อย จำนวน 10 ราย ณ ตำบลบ้านเป้า อำเภอหนองสูง จังหวัดมุกดาหาร เพื่อประเมินความเป็นไปได้ และสรุปปัญหา อุปสรรคและข้อเสนอแนะ และวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโปรแกรม

5. วิธีดำเนินการศึกษา/การวิจัย

5.1 ประชากร

ประชากรในการศึกษาครั้งนี้ คือ ผู้ที่มีอายุตั้งแต่ 60 ปี บริบูรณ์ ขึ้นไปทั้งเพศชายและหญิง ที่มีโรคเรื้อรังและมีภาวะการรู้คิดบกพร่องเล็กน้อย อาศัยอยู่ในชุมชน ตำบลบ้านเป้า อำเภอหนองสูง จังหวัดมุกดาหาร

5.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ศึกษา คือ ผู้ที่มีอายุตั้งแต่ 60 ปี บริบูรณ์ ขึ้นไปทั้งเพศชายและหญิง ที่มีโรคเรื้อรังและมีภาวะการรู้คิดบกพร่องเล็กน้อย อาศัยอยู่ในชุมชน ตำบลบ้านเป้า อำเภอหนองสูง จังหวัดมุกดาหาร จำนวน 10 ราย ซึ่งเป็นจำนวนที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาความเป็นไปได้ของโปรแกรม [26] โดยมีเกณฑ์ดังนี้ เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าศึกษา ได้แก่ 1) ผู้ที่มีอายุตั้งแต่ 60 ปีบริบูรณ์ขึ้นไปทั้งเพศชายและหญิง 2) มีโรคเรื้อรัง 3) ไม่มีภาวะซึมเศร้า 4) มีภาวะการรู้คิดบกพร่องเล็กน้อย จากการประเมินลำดับต่อไปนี้ 4.1) ประเมินความสามารถในการปฏิบัติกิจวัตรประจำวันที่ซับซ้อนด้วยดัชนีจุฬาเอดีเอล โดยมีคะแนนน้อยกว่า 9 คะแนน 4.2) ประเมินการปฏิบัติกิจวัตรประจำวันขั้นพื้นฐานด้วยดัชนีบาร์เธลเอดีแอล โดยมีผลรวมคะแนนมากกว่า12 คะแนนขึ้นไป 4.3) ประเมินสภาพสมองของไทย (TMSE) พบว่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ โดยมีผลรวมคะแนนตั้งแต่ 24 คะแนนขึ้นไป 4.4) ประเมินการรู้คิดด้วยแบบประเมินพุทธิปัญญา (MoCA) ฉบับภาษาไทย 8.1 พบว่ามีภาวะการรู้คิดบกพร่องเล็กน้อย โดยมีผลคะแนนจากการประเมินแบบทดสอบน้อยกว่า 25 คะแนน 5) ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการมองเห็นและการได้ยิน 6) อ่านเขียนภาษาไทยได้ 7) สามารถสื่อสารได้ตามปกติ และ 8) ยินดีและสมัครใจเข้าร่วมการวิจัย สำหรับเกณฑ์การคัดกลุ่มตัวอย่างออกมีเกณฑ์ดังนี้ 1) มีภาวะเจ็บป่วยเฉียบพลันที่เป็นอุปสรรคต่อการเข้าร่วมวิจัย หรือได้รับการรักษาที่โรงพยาบาลในภาวะวิกฤติ และเกณฑ์การถอนกลุ่มตัวอย่างออกมีเกณฑ์ดังนี้ 1) ผู้สูงอายุขอถอนตัวระหว่างทำการศึกษาวิจัย 2) ย้ายภูมิลำเนาไปอยู่ที่อื่น และ 3) ผู้สูงอายุไม่สามารถเข้าร่วมกิจกรรมตามโปรแกรมครบ 5 ครั้งในระยะเวลาที่กำหนด

5.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ เครื่องมือที่ใช้ในการคัดกรองกลุ่มตัวอย่าง เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล และเครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินวิจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการคัดกรองกลุ่มตัวอย่าง ประกอบไปด้วย 6 แบบประเมินได้แก่ 1) แบบคัดกรองโรคซึมเศร้า 2 คำถาม (2Q) [27] 2) แบบประเมินโรคซึมเศร้า 9 คำถาม (9Q) [27] 3) แบบประเมินความสามารถในการปฏิบัติกิจวัตรประจำวันที่ซับซ้อน ดัชนีจุฬาเอดีเอล (Chula ADL Index) [28] 4) แบบประเมินการปฏิบัติกิจวัตรประจำวันขั้นพื้นฐาน ดัชนีบาร์เธลเอดีแอล (Barthel ADL Index) [28] 5) แบบทดสอบสภาพสมองของไทย (Thai Mental State Examination [TMSE]) และ 6) แบบประเมินพุทธิปัญญา (Montreal Cognitive Assessment – Thai version [MoCA-T] ฉบับภาษาไทย 8.1 [29]

5.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ประกอบไปด้วย

1) แบบสอบถามข้อมูลทั่วไป เป็นแบบเติมคำและให้เลือกตอบ โดยเป็นการสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับเพศ อายุ จำนวนสมาชิกในครอบครัวที่อาศัยอยู่ด้วยกัน ระดับการศึกษา อาชีพ น้ำหนักตัว ส่วนสูง โรคประจำตัว ประวัติการเจ็บป่วยในครอบครัวที่มีภาวะสมองเสื่อม ประวัติการรับประทานยาตามแผนการรักษา ประวัติการรับประทานอาหารเสริม ประวัติการดื่มแอลกอฮอล์ สูบบุหรี่ ประวัติการใช้ยาเสพติด และกิจกรรมทางกาย

2) แบบประเมินความรู้เกี่ยวกับภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุ เป็นแบบวัดที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นจากการทบทวนวรรณกรรม จำนวน 25 ข้อ ประกอบด้วย ด้านความหมาย อาการอาการแสดง ปัจจัยเสี่ยงและปัจจัยป้องกัน ผลกระทบของภาวะสมองเสื่อม และการดูแลรักษาภาวะสมองเสื่อม แบบสอบถามเป็นถูกผิด โดยมีการให้คะแนนเป็น 1 สำหรับข้อที่ตอบถูก คะแนนรวมทั้งหมด 0-25 คะแนน

3) แบบประเมินทัศนคติต่อภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุ จำนวน 12 ข้อเป็นแบบวัดที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นจากการทบทวนวรรณกรรม แบบสอบถามเป็นมาตรประมาณค่า (Likert scale) 5 ระดับ ประกอบด้วย ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง ไม่เห็นด้วย ไม่แน่ใจ เห็นด้วย เห็นด้วยอย่างยิ่ง มีการให้คะแนนเป็น 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ คะแนนรวมทั้งหมด 12-60 คะแนน

4) แบบประเมินพฤติกรรมการป้องกันภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุ จำนวน 14 ข้อ เป็นแบบวัดที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นจากการทบทวนวรรณกรรม แบบสอบถามเป็นมาตรประมาณค่า (Likert scale) 5 ระดับ ประกอบด้วย ไม่เคยทำ นาน ๆ ครั้ง ทำบางครั้ง ทำบ่อยครั้ง ทำทุกครั้ง มีการให้คะแนนเป็น 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ คะแนนรวมทั้งหมด 15-75 คะแนน

5) แบบประเมินความสามารถด้านการรู้คิดของผู้สูงอายุ ประเมินการรู้คิดด้วยแบบประเมินพุทธิปัญญา ฉบับภาษาไทย 8.1 (Montreal Cognitive Assessment [MoCA]) ฉบับภาษาไทย 8.1

5.3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม

1) โปรแกรมการส่งเสริมความตระหนักรู้และป้องกันภาวะสมองเสื่อม ผู้วิจัยได้มีการพัฒนาโปรแกรมขึ้นจากการทบทวนวรรณกรรมและเอกสารที่เกี่ยวข้อง และเข้าไปศึกษาบริบทพื้นที่เพื่อให้สอดคล้องกับวัฒนธรรมในชุมชนที่ผู้สูงอายุอาศัยอยู่ ประกอบด้วยกิจกรรมทั้งหมด 5 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 1 ครั้ง รวมเป็น 5 ครั้ง ครั้งละ 180 นาที (3 ชั่วโมง) ซึ่งโปรแกรมประกอบด้วยสื่อดังต่อไปนี้

1.1) คู่มือ การป้องกันภาวะสมองเสื่อมสำหรับผู้สูงอายุโรคเรื้อรังในชุมชน ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นโดยมีเนื้อหาประกอบด้วย ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับภาวะสมองเสื่อมและภาวะการรู้คิดบกพร่องเล็กน้อย ในเรื่องความหมาย อาการและอาการแสดง สาเหตุ ปัจจัยเสี่ยงที่ไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้ และปัจจัยเสี่ยงที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ การป้องกันภาวะสมองเสื่อมรวมไปถึงการควบคุมโรคประจำตัว การมีกิจกรรมทางกาย และการดูแลและรักษา

1.2) สื่อวิดีทัศน์ ประกอบด้วย 1) สื่อวิดีทัศน์เรื่องผู้เฒ่าหลงลืมมิแม้นเรื่องธรรมดาเป็นสื่อที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเองมีเนื้อหาสะท้อนผู้สูงอายุสมองเสื่อมในพื้นที่บ้านเป้า 2) สื่อวิดีทัศน์การออกกำลังกายรำภูไทไลน์แดนซ์เป็นสื่อที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเองเป็นการออกกำลังกายแอโรบิกที่ผสมผสานวัฒนธรรมรำภูไทและไลน์แดนซ์ ซึ่งเป็นการออกกำลังกายประกอบที่มีเนื้อร้องเป็นภาษาภูไท และมีเนื้อหาที่เล่าถึงวัฒนธรรมความเป็นมาของเผ่าภูไท 3) สื่อวิดีทัศน์การประดิษฐ์ธุงใย แมงมุมเป็นสื่อวิดีทัศน์ที่สอนประดิษฐ์ธุงใยแมงมุม มีลักษณะสำคัญ คือ ทำด้วยเส้นด้ายหรือเส้นไหมผูกคล้ายใยแมงมุมทั้งแบบสี่ด้านหรือหกด้าน ทำมาจากเส้นไหมหรือเส้นด้ายหลากหลายสีสันมัดกับไม้ไผ่เหลาแล้วมัดและม้วนจนเป็นวงรอบคล้ายใยแมงมุมที่โยงไปโยงมาเมื่อเสร็จก็นำมาร้อยเข้าเป็นสายเดียวกันหรือตามรูปแบบต่าง ๆ ที่ออกแบบให้สวยงาม แล้วจึงนำไปตกแต่งมณฑลพิธีหรือพื้นที่ศักดิ์สิทธิ์ตามความเชื่อของคนภูไท 4) สื่อวิดีทัศน์ธรรมเทศนาเป็นสื่อวิดีทัศน์ที่พระเทศน์เนื้อหาของการทำสมาธิเจริญสติ 5) สื่อวิดีทัศน์วิธีการประดิษฐ์ยางยืดออกกำลังกาย และสื่อวิดีทัศน์การออกกำลังกายด้วยยางยืด ซึ่งเป็นสื่อวิดีทัศน์ที่สอนการทำยางยืดออกกำลังกายที่ช่วยกระตุ้นการรู้คิดของผู้สูงอายุ ผู้วิจัยจะขออนุญาตยืมเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นโดยวนาลี คินธร [30]

1.3) สื่อการสอนเป็นสื่อในรูปแบบ Power point ที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นจากการทบทวนวรรณกรรม ประกอบด้วย 1) สื่อการสอนความรู้เกี่ยวกับภาวะสมองเสื่อมและภาวะการรู้คิดบกพร่องเล็กน้อย 2) สื่อการสอนให้ความรู้เรื่องการควบคุมโรคประจำตัวเพื่อพิชิตโรคเรื้อรังเพื่อป้องกันสมองเสื่อม 3) สื่อการสอนให้ความรู้เกี่ยวกับกิจกรรมทางกาย

5.4 การพิทักษ์สิทธิ์ผู้เข้าร่วมวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ผ่านความเห็นชอบจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในวันที่ 21 เมษายน 2569 โดยมีรหัสโครงการเลขที่ HE692035

5.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยนำข้อมูลที่รวบรวมทั้งหมดมาตรวจสอบความถูกต้องและสมบูรณ์ของแบบประเมินทั้งก่อนและหลังการทดลอง โดยจัดทำ Code book เพื่อลงรหัสข้อมูล จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำเร็จรูป SPSS กำหนดนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 มีขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้ 1) วิเคราะห์ข้อมูลทั่วไป โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ การแจกแจงความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2) วิเคราะห์คะแนนก่อนและหลังการทดลอง ประกอบด้วย 2.1) ความรู้เกี่ยวกับภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุ 2.2) ทัศนคติต่อภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุ และ 2.3) พฤติกรรมการป้องกันภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุ โดยนำเสนอข้อมูลด้วยความถี่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตรวจสอบการแจกแจงของข้อมูลด้วยสถิติ Shapiro–Wilk test, $p < .05$ พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงไม่เป็นปกติ จึงเปรียบเทียบคะแนนก่อนและหลังการทดลองด้วยสถิติ Wilcoxon signed-rank test 2.4) ความสามารถด้านการรู้คิด พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ Shapiro–Wilk test, $p > .05$ จึงเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนก่อนและหลังการทดลองด้วยสถิติ Paired t-test

6. ผลการศึกษา

6.1 ผลการพัฒนาโปรแกรม

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า การสร้างความตระหนักรู้ใช้ระยะเวลาการดำเนินกิจกรรม 5 สัปดาห์ โดยแต่ละครั้งใช้เวลา 1 ชั่วโมง 45 นาที และการป้องกันหรือชะลอภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุที่มีภาวะการรู้คิด

บกพร่องเล็กน้อยใช้ระยะเวลาการดำเนินกิจกรรมตั้งแต่ 4 – 40 สัปดาห์ โดยมีกิจกรรม 1-2 ครั้งต่อสัปดาห์ แต่ละครั้งใช้เวลา 45 นาที - 4 ชั่วโมง ดังนั้นผู้วิจัยจึงพัฒนาโปรแกรมในระยะเวลา 5 สัปดาห์ ประกอบด้วย กิจกรรมสร้างความตระหนักรู้จักภาวะสมองเสื่อม กระตุ้นการรู้คิด พิชิตโรคเรื้อรัง เสริมกำลังด้วยกิจกรรม ทางกาย ผ่อนคลายกายและจิต โดยมีรายละเอียดของโปรแกรมการส่งเสริมความตระหนักรู้และป้องกันภาวะสมองเสื่อม ดังนี้

กิจกรรมที่ 1 สร้างความตระหนักรู้ รู้จักภาวะสมองเสื่อม โดยมีกิจกรรมแนะนำตัว จากนั้นเป็นกิจกรรมความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับภาวะสมองเสื่อมและภาวะการรู้คิดบกพร่องเล็กน้อย มีสื่อวิดิทัศน์ “ผู้เฒ่าหลงลืมมิแม้นเรื่องธรรมดา” และการออกกำลังกายด้วยรำภูไทไลน์แดนซ์

กิจกรรมที่ 2 กระตุ้นการรู้คิด เป็นกิจกรรมที่เชื่อมโยงกับวิถีชีวิตคนภูไท ให้ดูภาพทิวทัศน์ ออกกำลังกายด้วยรำภูไท ไลน์แดนซ์ และทำอาหารพื้นบ้าน

กิจกรรมที่ 3 พิชิตโรคเรื้อรัง เรียนรู้วิธีจัดการโรคประจำตัวเพื่อชะลอสมองเสื่อม ให้ความรู้เรื่องการควบคุมโรคประจำตัวเพื่อพิชิตโรคเรื้อรัง กระตุ้นการรับรู้ผ่านประสาทสัมผัส เกมจับผิดภาพ และการออกกำลังกายด้วยรำภูไทไลน์แดนซ์

กิจกรรมที่ 4 เสริมสร้างกำลังด้วยกิจกรรมทางกาย ให้ความรู้เกี่ยวกับกิจกรรมทางกาย เกมนับให้ดีมีเท่าไหร่ ประดิษฐ์ยางยืดออกกำลังกาย และการออกกำลังกายด้วยยางยืด

กิจกรรมที่ 5 ผ่อนคลายกายและจิต เรียนรู้การจัดการความเครียดเพื่อสุขภาพสมองที่ดี นั่งสมาธิเจริญสติและฟังเทศน์ ประดิษฐ์ธุงใยแมงมุม และการออกกำลังกายด้วยยางยืด

6.2 ผลการศึกษา ประกอบด้วย

6.2.1 ผลการตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ

ผลการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาของผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 ท่าน ในเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ 1) แบบประเมินความรู้เกี่ยวกับภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุ 2) แบบประเมินทัศนคติต่อภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุ และ 3) แบบประเมินพฤติกรรมการป้องกันภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุพบว่า มีค่าความตรงเชิงเนื้อหา Content Validity Index (CVI) เท่ากับ 0.96, 0.85 และ 0.89 ตามลำดับ และมีค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือ (Reliability) 0.93, 0.72 และ 0.73 ตามลำดับ ในส่วนของเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม ได้แก่ 1) โปรแกรมการส่งเสริมความตระหนักรู้และป้องกันภาวะสมองเสื่อม 2) คู่มือการป้องกันภาวะสมองเสื่อมสำหรับผู้สูงอายุโรคเรื้อรังในชุมชน 3) สื่อวีดีทัศน์ผู้เฒ่าหลงลืมมิแม้นเรื่องธรรมดา 4) วิดีทัศน์การออกกำลังกายรำภูไทไลน์แดนซ์ CVI เท่ากับ 0.93, 0.96, 1 และ 1 ตามลำดับ สำหรับข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะผู้ทรงคุณวุฒิทั้ง 5 ท่าน ในการปรับปรุงโครงสร้างหลักของโปรแกรมการส่งเสริมความตระหนักรู้และป้องกันภาวะสมองเสื่อม แต่มีข้อเสนอแนะให้ปรับการใช้คำในคู่มือ การเรียบเรียงหัวข้อ และการใช้ขนาดของตัวหนังสือเพื่อเน้นหัวข้อหลักและหัวข้อย่อยให้มีลักษณะที่แตกต่างกันเพื่อดึงดูดความสนใจรวมถึงให้มีความสอดคล้องกับเนื้อหา นอกจากนี้ผู้ทรงคุณวุฒิยังเสนอแนะให้ปรับสีพื้นหลังที่ใช้ในคู่มือเพื่อให้ผู้สูงอายุสามารถมองเห็นได้ชัดเจน เนื่องจากบางภาพมีการใช้สีโทนเข้มมากเกินไปเมื่อนำไปใช้จริงอาจจะทำให้ผู้ใช้มองไม่เห็นตัวหนังสือ

6.2.2 ผลการตรวจสอบความเป็นไปได้ของโปรแกรม

หลังจากนำไปใช้ในกลุ่มตัวอย่างจริง 10 ราย พบว่าผู้สูงอายุมีความสนใจและเข้าใจเนื้อหาภายในสื่อเป็นอย่างดี จากการสะท้อนกลับว่าสื่อคู่มือการป้องกันภาวะสมองเสื่อมสำหรับผู้สูงอายุโรคเรื้อรังในชุมชน มีความสวยงาม เนื้อหาอ่านเข้าใจง่าย และสามารถนำไปปฏิบัติตามได้อย่างต่อเนื่อง สำหรับสื่อวีดีทัศน์ผู้เฒ่าหลงลืมมิแม้นเรื่องธรรมดา มีภาพและสีคมชัด เสียงได้ยินชัดเจน เนื้อหาสะท้อนถึงผู้สูงอายุสมองเสื่อมในพื้นที่ตำบลบ้านเป้าได้เป็นอย่างดี ผู้สูงอายุสะท้อนว่ามีความรู้สึกร่วมกับเนื้อหาของสื่อและตัวละคร และสื่อวิดีทัศน์การออกกำลังกายรำภูไทไลน์แดนซ์ มีภาพและสีคมชัด เสียงได้ยินชัดเจน มีเพลงประกอบเป็นภาษาภูไทซึ่งกลุ่มตัวอย่างสามารถร้องตามเนื้อร้องได้ สร้างความเพลิดเพลินในการออกกำลังกาย ท่าในการออกกำลังกายไม่ยากจนเกินไปกลุ่มตัวอย่างสามารถปฏิบัติตามได้ทุกคน

6.3 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

ข้อมูลส่วนบุคคลของกลุ่มตัวอย่างเป็นผู้สูงอายุโรคเรื้อรังที่มีภาวะการรู้คิดบกพร่องเล็กน้อย จำนวน 10 ราย ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง (ร้อยละ 70) โดยมีอายุเฉลี่ย 70 ปี (SD=7.69) ค่าเฉลี่ยดัชนีมวลกาย 27.31 กิโลกรัม/เมตร^2

(SD=3.82) จบการศึกษาระดับประถมศึกษาและระดับมัธยมศึกษา (ร้อยละ 40) สถานภาพสมรสคู่ (ร้อยละ 70) ซึ่งอยู่อาศัยกับสามีหรือภรรยาและบุตรหลาน (ร้อยละ 70) ผู้ดูแลหลักคือบุตร (ร้อยละ 70) ประกอบอาชีพเกษตรกร (ร้อยละ 70) ซึ่งมีโรคประจำตัวคือ โรคเบาหวาน (ร้อยละ 60) โรคความดันโลหิตสูง (ร้อยละ 60) และไขมันในเลือดสูง (ร้อยละ 10) กลุ่มตัวอย่างไม่มีประวัติการเจ็บป่วยในครอบครัวมีภาวะสมองเสื่อม (ร้อยละ 90) และมีประวัติการเจ็บป่วยในครอบครัวที่มีภาวะสมองเสื่อม (ร้อยละ 10) ทั้งนี้มีการใช้ยารักษาโรคในปัจจุบัน (ร้อยละ90) และสามารถจัดยารับประทานเองได้ (ร้อยละ90) มีประวัติการไม่ลืมกินยา (ร้อยละ 50) และมีประวัติการรับประทานอาหารเสริม (ร้อยละ 50) ไม่ดื่มแอลกอฮอล์ (ร้อยละ 80) ไม่เคยสูบบุหรี่ (ร้อยละ70) ไม่ใช้ยาเสพติดทั้งหมด มีกิจกรรมทางกายทั้งหมด แต่มีกิจกรรมน้อยกว่า 30 นาที/ครั้ง (ร้อยละ 70) และแต่มีกิจกรรมน้อยกว่า 3 วัน/สัปดาห์ (ร้อยละ 80)

6.4 ผลของการนำใช้โปรแกรมการส่งเสริมความตระหนักรู้และป้องกันภาวะสมองเสื่อม

การศึกษาครั้งนี้ได้มีการประเมินผลของการนำใช้โปรแกรมการส่งเสริมความตระหนักรู้และป้องกันภาวะสมองเสื่อม ได้ศึกษาผลการใช้โปรแกรมคือ ความรู้เกี่ยวกับภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุ ทัศนคติต่อภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุ พฤติกรรมการป้องกันภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุ และการรู้คิด ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าคะแนน ความรู้เกี่ยวกับภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุ ทัศนคติต่อภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุ พฤติกรรมการป้องกันภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุ และค่าคะแนนเฉลี่ยความสามารถด้านการรู้คิด ของกลุ่มตัวอย่างในระยะก่อนการทดลองและหลังการทดลอง

ตัวแปรที่ใช้วิเคราะห์	ระยะก่อนทดลอง		ระยะหลังทดลอง		p-value
	Mean	SD	Mean	SD	
ความรู้เกี่ยวกับภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุ	20.00	1.24	24.20	0.91	.005
ทัศนคติต่อภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุ	44.10	4.72	55.30	3.16	.005
พฤติกรรมการป้องกันภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุ	60.80	4.56	67.90	2.79	.005
ความสามารถด้านการรู้คิด	19.50	3.20	24.20	3.67	.001

*P-value < .05

จากผลการศึกษาพบว่า

1) คะแนนความรู้เกี่ยวกับภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุ ของกลุ่มตัวอย่างระยะก่อนทดลองเท่ากับ 20.00 (SD=1.24) และระยะหลังการทดลอง เท่ากับ 24.20 (SD=0.91) ซึ่งสูงกว่าระยะก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (p=.005)

2) คะแนนทัศนคติต่อภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุ ของกลุ่มตัวอย่างในระยะก่อนทดลองเท่ากับ 44.10 (SD=4.72) และระยะหลังการทดลอง เท่ากับ 55.30 (SD=3.16) ซึ่งสูงกว่าระยะก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิตที่ ระดับ .05 (p=.005)

3) คะแนนพฤติกรรมการป้องกันภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุ ของกลุ่มตัวอย่างในระยะก่อนทดลองเท่ากับ 60.80 (SD=4.56) และระยะหลังการทดลองเท่ากับ 67.90 (SD=2.79) ซึ่งสูงกว่าระยะก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (p=.005)

4) ค่าคะแนนเฉลี่ยความสามารถด้านการรู้คิด ของกลุ่มตัวอย่างในระยะก่อนทดลองเท่ากับ 19.50 (SD=3.20) และระยะหลังการทดลองเท่ากับ 24.20 (SD=3.67) ซึ่งสูงกว่าระยะก่อนการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 (p=.001)

7. อภิปรายผล

การศึกษาครั้งนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมการส่งเสริมความตระหนักรู้และป้องกันภาวะสมองเสื่อม และการศึกษาความเป็นไปได้ของโปรแกรม มีรูปแบบการวิจัยกึ่งทดลองชนิดกลุ่มเดียววัดผลก่อนหลัง (one group pretest–posttest design) ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของคะแนนความรู้ ทัศนคติ พฤติกรรมการป้องกันภาวะสมองเสื่อม และความสามารถด้าน

การรู้คิดหลังได้รับโปรแกรม อาจไม่ได้เกิดจากผลของโปรแกรมเพียงอย่างเดียวแต่อาจได้รับอิทธิพลจากปัจจัยแทรกซ้อนอื่น เช่น ผลจากการทำแบบประเมินซ้ำ หรือการใส่ใจเป็นพิเศษ ในกลุ่มตัวอย่างจำนวน 10 ราย พบว่าโปรแกรมช่วยสร้างความตระหนักรู้ คือ มีความรู้เพิ่มขึ้น มีทัศนคติที่ดี และมีพฤติกรรมการป้องกันภาวะสมองเสื่อม และช่วยกระตุ้นการรู้คิด ซึ่งโปรแกรมนี้ได้มีการพัฒนาขึ้นโดยการทบทวนวรรณกรรมการสร้างความตระหนักรู้ (Awareness campaign) ประกอบด้วยการให้ความรู้ สร้างทัศนคติที่ดี และส่งเสริมให้มีพฤติกรรมการป้องกันภาวะสมองเสื่อม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Van Asbroeck และคณะ [14] ที่ศึกษาผลของการรณรงค์สร้างความตระหนักรู้ในชุมชน พบว่าช่วยเพิ่มความรู้เกี่ยวกับการลดความเสี่ยงของภาวะสมองเสื่อมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และร้อยละ 80.5 ของผู้เข้าร่วมมีเปลี่ยนพฤติกรรมสุขภาพที่ดีขึ้น ในการป้องกันภาวะสมองเสื่อมในกลุ่มผู้สูงอายุที่มีภาวะการรู้คิดบกพร่องเล็กน้อยได้ใช้กรอบแนวคิดกระตุ้นการรู้คิด (Cognitive Stimulation Therapy) ของ Spector และคณะ [15] นำมาออกแบบให้เหมาะสมกับบริบทวัฒนธรรมและประเพณีของชนเผ่าภูไท เพื่อให้ผู้สูงอายุที่มีโรคเรื้อรังในชุมชนที่มีภาวะการรู้คิดบกพร่องเล็กน้อยมีความรู้ ทัศนคติที่ดีต่อภาวะสมองเสื่อม และสามารถนำเป็นแนวทางในการปรับพฤติกรรมป้องกันภาวะสมองเสื่อมได้ ซึ่งมีทั้งหมด 5 กิจกรรม ในระยะเวลา 5 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 1 ครั้ง ครั้งละ 3 ชั่วโมง ปรับให้มีความเหมาะสมมีความสนุกสนานและไม่ซับซ้อน เป็นวัฒนธรรมที่ผู้สูงอายุคุ้นเคย ที่สามารถปฏิบัติใช้ในกิจวัตรประจำวันและปฏิบัติได้อย่างต่อเนื่อง เช่น กิจกรรมอาหารพื้นบ้าน ที่พัฒนาทักษะในการปฏิบัติกิจวัตรประจำวันซับซ้อน และความสามารถด้านการรู้คิด ในด้านความใส่ใจเชิงซ้อน ด้านการบริหารจัดการ และด้านการเรียนรู้ความจำ เมื่อนำมาประยุกต์เป็นกิจกรรมทำให้สมองของผู้สูงอายุเกิดการเปลี่ยนแปลงจากความจำระยะสั้นสู่ความจำระยะยาวส่งผลให้การรู้คิดในด้านต่าง ๆ ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของมุสลินท์ โตะแปเราะ และคณะ [31] ที่ศึกษาผลของโปรแกรมป้องกันภาวะสมองเสื่อมในผู้สูงอายุตามวิถีพหุวัฒนธรรมโดยใช้แอพพลิเคชั่นเพื่อกระตุ้นด้านพุทธิปัญญาของผู้สูงอายุที่เสี่ยงต่อภาวะสมองเสื่อม จังหวัดนราธิวาส พบว่าสามารถเพิ่มคะแนนความสามารถด้านการรู้คิดของผู้สูงอายุที่มีความเสี่ยงต่อภาวะสมองเสื่อมได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และการศึกษาของปะราลี โอภาสนันท์ และวิยะดา รัตนสุวรรณ [17] ที่ศึกษาผลของการใช้ชุดกิจกรรมป้องกันโรคสมองเสื่อมต่อการทำงานของสมองของผู้สูงอายุโรคเรื้อรังในชุมชน พบว่าผู้สูงอายุโรคเรื้อรังในชุมชนที่ได้รับการใช้ชุดกิจกรรมป้องกันโรคสมองเสื่อมมีคะแนนเฉลี่ยสภาพสมองเบื้องต้นฉบับภาษาไทยสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

8. สรุป

โปรแกรมการส่งเสริมความตระหนักรู้และป้องกันภาวะสมองเสื่อมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการนำไปใช้กับผู้สูงอายุโรคเรื้อรังที่มีภาวะการรู้คิดบกพร่องเล็กน้อยในชุมชน โดยผลการศึกษาจากกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก (10 ราย) มีรูปแบบการวิจัยกึ่งทดลองชนิดกลุ่มเดียววัดผลก่อนและหลังการทดลอง พบว่าภายหลังเข้าร่วมโปรแกรม กลุ่มตัวอย่างมีคะแนนความรู้เกี่ยวกับภาวะสมองเสื่อม ทัศนคติ พฤติกรรมการป้องกันภาวะสมองเสื่อม และความสามารถด้านการรู้คิดสูงกว่าก่อนเข้าร่วมโปรแกรมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ($p=.005$, $p=.005$, $p=.005$ และ $p=.001$ ตามลำดับ)

9. ข้อเสนอแนะและการนำผลวิจัยไปใช้

1) ควรเพิ่มเติมกิจกรรมของโปรแกรมการส่งเสริมความตระหนักรู้และป้องกันภาวะสมองเสื่อมที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น โดยให้ญาติเข้ามามีส่วนร่วม เพื่อช่วยกระตุ้นให้ผู้สูงอายุสามารถปฏิบัติกิจกรรมป้องกันภาวะสมองเสื่อมได้อย่างต่อเนื่อง

2) การศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบโปรแกรมการส่งเสริมความตระหนักรู้และป้องกันภาวะสมองเสื่อมสำหรับผู้สูงอายุที่มีภาวะการรู้คิดบกพร่องเล็กน้อยในชุมชน ตามบริบทวัฒนธรรมภูไทจึงมีข้อจำกัดในการนำไปใช้ในบริบทวัฒนธรรมอื่น

10. เอกสารอ้างอิง

[1] Petersen, R. C., Smith, G. E., Waring, S. C., Ivnik, R. J., Tangalos, E. G., & Kokmen, E. (1999). Mild cognitive impairment: Clinical characterization and outcome. *Archives of Neurology, 56*(3), 303-308.

[2] Engelmann, G. T. O., Vieira, C. P., Burgos, I. C. B., Moro, G. C. P., Borges, J. M. S., Costa, J. C. C. C., Graciano, G. F., de Souza, A. S., Saldanha, M. F., Hansen, E. D. O., Romano-Silva, M. A., de Miranda, D. M., de Marco, L. A. C., de Ávila, R. T., Viana, B. D. M., & Bicalho, M. A. C. (2025). Conversion to dementia up to the fourth annual follow-up assessment and from a Brazilian cohort of older *adults. Alzheimer's & Dementia, 20*(Suppl 7), e093477. https://doi.org/10.1002/alz.093477

[3] Glynn, K., O'Callaghan, M., Hannigan, O., Bruce, I., Gibb, M., Coen, R., Green, E., A Lawlor, B., & Robinson, D. (2021). Clinical utility of mild cognitive impairment subtypes and number of impaired cognitive domains at predicting progression to dementia: A 20-year retrospective study. *International journal of geriatric psychiatry, 36*(1), 31–37. https://doi.org/10.1002/gps.5385

[4] Jung Na Na, & Hong Gwi-Ryung Son. (2024). Dementia onset among Community-dwelling older adults with mild cognitive impairment : A longitudinal study. *J Korean Gerontol Nurs, 26*(2), 158–169. https://doi.org/10.17079/jkgn.2023.00227

[5] Assaf, G., & Tanielian, M. (2018). Mild cognitive impairment in primary care: *A clinical review. Postgraduate Medical Journal, 94*(1117), 647–652.

[6] World Alzheimer report. (2021) *Journey through the diagnosis of dementia.* Retrieved 28 January 2026 from https://www.alzint.org/resource/world-alzheimer-report-2021

[7] สุทธินันท์ สุบินดี, & บำเพ็ญจิต แสงชาติ (2561). การรับรู้ของชุมชนเกี่ยวกับผู้สูงอายุภาวะสมองเสื่อม. *วารสารพยาบาลศาสตร์และสุขภาพ, 41*(3), 54–65. สืบค้นจากhttps://he01.tcithaijo.org/index.php/nah/article/view/137192

[8] Hossain, M., Crossland, J., Stores, R., Dewey, A., & Hakak, Y. (2020). Awareness and understanding of dementia in South Asians: A synthesis of qualitative evidence. *Dementia, 0*(0), 1–33. https://doi.org/10.1177/1471301218800641

[9] Patrícia Lindeza, Mário Rodrigues, João Costa, Manuela Guerreiro, Mario Miguel Rosa. (2024). Impact of dementia on informal care: A systematic review of family caregivers' perceptions. *BMJ Supportive & Palliative Care, 14,* e38-e49

[10] Aranda, M. P., Kremer, I. N., Hinton, L., Zissimopoulos, J., Whitmer, R. A., Hummel, C. H., Trejo, L.,& Fabius, C. (2021). Impact of dementia: Health disparities, population trends, care interventions, and economic costs. *Journal of the American Geriatrics Society, 69*(7), 1774–1783. https://doi.org/10.1111/jgs.17345

[11] Health data center. (2026) *ข้อมูลเพื่อตอบสนอง Service Plan สาขาโรคไม่ติดต่อ (NCD DM,HT,CVD)* Retrieved 29 January 2026 from https://hdc.moph.go.th/mdh/public/standard-subcatalog/b2b59e64c4e6c92d4b1ec16a599d882b

[12] Heger, I., Evers, S., Abcouwer, J., & Köhler, S. (2020). Raising awareness for dementia risk reduction through a public health campaign : a pre-post study. *BMJ Open, 10*, e041211. doi: 10.1136/bmjopen-2020-041211

[13] Huggins, L. K. L., Min, S. H., Dennis, C. A., Østbye, T., Johnson, K. S., & Xu, H. (2022). Interventions to promote dementia knowledge among racial/ethnic minority groups: A systematic review. *Journal of the American Geriatrics Society, 70*(2), 609–621. https://doi.org/10.1111/jgs.17495

[14] Van Asbroeck, S., van Boxtel, M. P. J., Steyaert, J., Köhler, S., Heger, I., de Vugt, M., Verhey, F., & Deckers, K. (2021). Increasing knowledge on dementia risk reduction in the general population: Results of a public awareness campaign. *Preventive medicine, 147*, 106522. https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2021.106522

[15] Spector, A. (2018). Introduction. In L. A. Yates, J. Yates, M. Orrell, A. Spector, & R. T. Woods (Eds.). *Cognitive stimulation therapy for dementia: History, evolution and internationalism.* (pp. 3–10). London: Routledge

[16] Aguirre, E., Spector, A., & Orrell, M. (2014). Guidelines for adapting cognitive stimulation therapy to other cultures. *Clinical interventions in aging, 9,* 1003–1007. https://doi.org/10.2147/CIA.S61849

[17] Woods, B., Aguirre, E., Spector, A. E., & Orrell, M. (2012). Cognitive stimulation to Improve cognitive functioning in people with dementia. *Cochrane Database of Systematic Reviews, 2.*

[18] ปะราลี โอภาสนันท์, & วิยะดา รัตนสุวรรณ. (2563) ผลของการใช้ชุดกิจกรรมป้องกันโรคสมองเสื่อมต่อการทำงานของสมองของผู้สูงอายุโรคเรื้อรังในชุมชน. *วารสารวิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนี อุตรดิตถ์, 12*(1), 255-267. https://he01.tci-thaijo.org/index.php/unc/article/view/240653

[19] สายพิน ทับสีรัก, ยุทธศาสตร์ แก้ววิเศษ, สุนิสา เทียมม่วง, วราภรณ์ คูคำ, นภาลัย พูนศิริ, & รุ่งเรือง แสนโกษา.(2567). การพัฒนารูปแบบการสร้างเสริมความรอบรู้ด้านสุขภาพของผู้สูงอายุเพื่อป้องกันภาวะสมองเสื่อมในพื้นที่โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านหนองระเวียง อำเภอพยัคฆภูมิพิสัย จังหวัดมหาสารคาม. *วารสารสหวิทยาการวิจัยและวิชาการ, 5*(3), 648-660. https://so03.tci-thaijo.org/index.php/IARJ/index

[20] ชลธร มงคลศรี สุทธินันท์ สุบินดี & นัดดา คำนิยม. (2567). ผลของโปรแกรมส่งเสริมสมรรถนะต่อสมรรถนะในการป้องกันภาวะสมองเสื่อมสำหรับผู้สูงอายุในชุมชนของอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน. *วารสารการแพทย์และวิทยาศาสตร์สขภาพ,31*(2). 29-45

[21] Farina, N., Hughes, L. J., Jones, E., Parveen, S., Griffiths, A. W., Galvin, K., & Banerjee, S. (2020). Evaluation of a dementia awareness programme in UK schools: a qualitative study. *Public health, 185,* 348–355. https://doi.org/10.1016/j.puhe.2020.05.050

[22] Lee, Cynthia. (2024). Promoting Positive Dementia Attitudes Through Occupational Engagement : The Development of a Dementia Awareness Program for Community Older Adults. UNLV *Theses, Dissertations, Professional Papers, and Capstones.* 5026. http://dx.doi.org/10.34917/3765085

[23] Patel, I., Patel, J., Jindal, S., Desai, D., & Desai, S. (2021). Knowledge, awareness, and attitude towards dementia amongst medical undergraduate students: Can sensitization program help? *Annals of Indian Academy of Neurology, 24*(5), 754–758. https://doi.org/10.4103/AIAN.AIAN_874_20

[24] Heger, I., Evers, S., Abcouwer, J., & Köhler, S. (2020). Raising awareness for dementia risk reduction through a public health campaign : a pre-post study. *BMJ Open, 10,* e041211. doi: 10.1136/bmjopen-2020-041211

[25] Kim, J., Tak, S. H., Ko, H., Jung, S., Lee, J., & Choi, H. (2022). Effects of a 6-Week Integrated Dementia Awareness and Prevention Program for Community-Dwelling Older Adults. *SAGE Open, 12*(3). https://doi.org/10.1177/21582440221123503 (Original work published 2022)

[26] Bond, C., Lancaster, G. A., Campbell, M., Chan, C., Eddy, S., Hopewell, S., Mellor, K., Thabane, L., & Eldridge, S. (2023). Pilot and feasibility studies: Extending the conceptual framework. *Pilot and Feasibility Studies, 9,* Article 24. https://doi.org/10.1186/s40814-023-01233-1

[27] กรมสุขภาพจิต. (2559). แบบประเมินซึมเศร้าและฆ่าตัวตาย (รวมแบบประเมิน 2Q 9Q และ 8Q). ค้นเมื่อ 30 สิงหาคม 2568, https://dmh.go.th/test/download/files/2Q%209Q%208Q%20(1).pdf

[28] สุทธิชัย จิตะพันธ์กุล. (2544). *หลักสำคัญของเวชศาสตร์ผู้สูงอายุ.* พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สาขาเวชศาสตร์ผู้สูงอายุและพฤฒาวิทยา ภาควิชาอายุรศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.

[29] Hemrungrojn, S. (2011). *Montreal cognitive assessment (MoCA) Thai version.* Retrieved August 30, 2025, from http://www.mocatest.org/pdf_files/test/MoCATest-Thai.pdf

[30] วนาลี คินธร, & สุทธินันท์ สุบินดี. (2568). ผลของโปรแกรมกระตุ้นการรู้คิดต่อการรู้คิดและความสามารถในการปฏิบัติกิจวัตรประจำวันในผู้สูงอายุโรคเรื้อรังที่มีภาวะการรู้คิดบกพร่องเล็กน้อยในชุมชน. *วารสารพยาบาลทหารบก 26*(3) 238-246 https://he01.tci-thaijo.org/index.php/JRTAN/article/view/272505

[31] Tohpaeroh, M., Jaisomkom, A., Piboonrungroj, P. ., Tongnuang, P., E-tae, W. ., Chehleh, W. ., Jehma, . R., & Masaleng, W. (2021). Effect of Dementia Prevention Program in Older Person based on Multicultural Way through Application to Enhance Cognitive Ability of Older Persons at Risk of Dementia, Narathiwat Province. *Princess of Naradhiwas University Journal*, *13*(1), 73–90. retrieved from https://li01.tci-thaijo.org/index.php/pnujr/article/view/246752

เว็บแอปพลิเคชันเกมจำลองลงทุนเทรดหุ้น
Stock trading simulation game

นัยน์ภัค หงษ์หา[1] อภิรมย์ พุ่มพวง[1] นฤดี บูรณะจรรยากุล[2*] และ สุธีรา พึ่งสวัสดิ์[2]

[1]สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
[2] สาขาวิชาวิทยาการคำนวณและเทคโนโลยีดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
[*]E-mail: ninedear@yahoo.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเกมจำลองการลงทุนและการซื้อ-ขายหุ้นในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบที่ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถเรียนรู้และฝึกทักษะด้านการลงทุนในตลาดหลักทรัพย์ผ่านสภาพแวดล้อมเสมือนจริง โดยไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงทางการเงิน คณะผู้วิจัยอาศัยหลักวงจรชีวิตของการพัฒนาซอฟต์แวร์ (System Development Life Cycle) เป็นกระบวนการพัฒนาระบบ ระบบถูกออกแบบให้สามารถรองรับการใช้งานในรูปแบบออนไลน์และการใช้งานพร้อมกันของผู้ใช้หลายคน โดยผู้ใช้สามารถทำรายการซื้อ-ขายหุ้นแบบจำลอง ติดตามสถานะพอร์ตการลงทุน และเรียนรู้กระบวนการตัดสินใจด้านการลงทุนอย่างเป็นระบบ ระบบพัฒนาขึ้นโดยใช้ภาษา JavaScript และจัดการฐานข้อมูลโดยใช้ Firebase Database เมื่อนำระบบไปติดตั้งเพื่อทดสอบใช้งานจริง พบว่าระบบสามารถนำไปใช้งานได้จริงตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน และระบบสามารถสนับสนุนการเรียนรู้ด้านการลงทุนในตลาดหลักทรัพย์ได้อย่างเหมาะสม จากการสำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้ จำนวน 5 คน และผู้ดูแลระบบ จำนวน 5 คน พบว่า อยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.03 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.67

คำสำคัญ: เกมจำลองสถานการณ์ การลงทุนหุ้น เว็บแอปพลิเคชัน

Abstract

This research is the development of a Stock trading simulation game. It has been developed as a web application. The objective is to develop an application that allows users to learn and practice stock exchange investment skills in a virtual environment without financial risk. The research team utilized the System Development Life Cycle (SDLC) as the process for system development. The application is designed to support online and simultaneous access by multiple users. Users can conduct simulated stock trades, track portfolio status, and learn investment decision processes. The application is developed by using JavaScript and Firebase Database for managing the database. During the implementation, it meets the needs of users and able to support learning about stock market investment as well. 10 users satisfied at a good level with the mean score was 4.03 and Standard Deviation of 0.67.

Keywords: Simulation Games, Stock trading, Web application

1. บทนำ

บริษัทหลักทรัพย์ พาย จำกัด (มหาชน) เป็นผู้ให้บริการด้านการลงทุนชั้นนำของประเทศไทยมาอย่างยาวนานกว่า 50 ปี เป็นสมาชิกหมายเลข 3 ของตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย (SET) และอยู่ภายใต้การกำกับดูแลของสำนักงานคณะกรรมการกำกับหลักทรัพย์และตลาดหลักทรัพย์ (ก.ล.ต.) เป็นบริษัทที่ดำเนินธุรกิจด้านการเงินการลงทุนโดยมุ่งเน้นการให้บริการด้านการลงทุนอย่างครบวงจร ครอบคลุมทั้งบริการนายหน้าซื้อขายหลักทรัพย์ การลงทุนและที่ปรึกษาทางการเงิน และการพัฒนาเทคโนโลยีทางการเงิน (FinTech)

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา การลงทุนในตลาดหลักทรัพย์และตราสารทางการเงินมีการขยายตัวอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะในกลุ่มนักลงทุนรายย่อยที่ใช้ช่องทางดิจิทัลในการติดตามข้อมูลและทำธุรกรรม การเข้าถึงข้อมูลราคาหลักทรัพย์แบบเรียลไทม์และเครื่องมือวิเคราะห์กราฟหุ้นกลายเป็นปัจจัยสำคัญในการตัดสินใจลงทุน ถึงแม้ว่าการลงทุนจะเป็นหนทางสู่ความมั่นคงและความมั่งคั่งทางการเงินได้ แต่การลงทุนก็มีความเสี่ยงและเป็นหนทางที่จะนำไปสู่การขาดทุนหากลงทุนโดยไม่มีพื้นฐานความพร้อม และขาดความเข้าใจที่ถูกต้อง อย่างไรก็ตามนักลงทุนมือใหม่จำนวนมากยังขาดทักษะและประสบการณ์ในการวิเคราะห์และการบริหารความเสี่ยง การทดลองลงทุนด้วยเงินจริงอาจนำมาซึ่งความเสี่ยงทางการเงิน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาเรื่อง เว็บแอปพลิเคชันสำหรับคาดการณ์ราคาสกุลเงินดิจิตอลที่ได้กล่าวถึงประเด็นดังกล่าว [1] ในปัจจุบันนักลงทุนได้มีการใช้บริการแอปพลิเคชันและเว็บแอปพลิเคชันเล่นหุ้นจำลองที่มีอยู่แล้ว ได้แก่ MiTrade, Interactive Brokers และ Click2Win ซึ่งจากการศึกษาพบว่า แต่ละระบบจะมีข้อจำกัดในการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป เช่น ผู้ใช้สามารถใช้โปรแกรมบัญชีจำลองได้เพียง 90 วัน ระบบไม่รองรับหุ้นตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย (SET) ไม่รองรับภาษาไทย และระบบลบการสาธิต (Demo) อัตโนมัติถ้าผู้ใช้ไม่ได้ล็อกอินนานกว่า 30 วัน เป็นต้น

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างทางเลือกให้กับผู้ลงทุนในการคาดการณ์สภาพตลาดหลักทรัพย์ ระบบจำลองการเทรดโดยใช้ข้อมูลตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทยที่สุ่มขึ้น ไม่จำกัดเวลาในการใช้งานระบบ และรองรับการใช้งานภาษาไทยเพื่อให้ผู้ใช้เข้าใจแนวทางและขั้นตอนการเริ่มต้นลงทุนตั้งแต่การจัดสรรเงิน การสร้างพอร์ตการลงทุน การคัดเลือกหลักทรัพย์ และการติดตามผลการลงทุน เพื่อให้ผู้ใช้วางแผนและสามารถตัดสินใจลงทุนด้วยตนเอง โดยผู้ใช้ได้รับโอกาสในการเรียนรู้และฝึกทักษะการลงทุนในตลาดหลักทรัพย์ผ่านระบบจำลองการซื้อ-ขายโดยไม่ก่อให้เกิดความเสี่ยงในการลงทุน สามารถทดลองกลยุทธ์การลงทุนในรูปแบบต่าง ๆ ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงทำให้เกิดการเรียนรู้จากประสบการณ์ตรง โดยระบบมีการแสดงข้อมูลและผลการซื้อ-ขายหลักทรัพย์อย่างเป็นระบบ ช่วยให้ผู้ใช้สามารถวิเคราะห์ผลการดำเนินงานของตนเอง ติดตามความก้าวหน้า และประเมินประสิทธิภาพของการตัดสินใจได้อย่างชัดเจน

3. การทบทวนวรรณกรรม

1) เกมมิฟิเคชัน (Gamification) หมายถึง การนำกลไกและองค์ประกอบของเกม (Game mechanics) มาใช้ในบริบทที่ไม่ใช่เกม เช่น การศึกษา ธุรกิจ และการฝึกอบรม เพื่อเพิ่มแรงจูงใจและการมีส่วนร่วมของผู้ใช้งาน โดยการนำมาใช้ในการศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่สนุกสนานและท้าทาย ทำให้ผู้เรียนมีแรงจูงใจในการเรียนรู้และพัฒนาทักษะต่าง ๆ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาเรื่องการนำเกมมิฟิเคชันมาประยุกต์ใช้ในระบบดิจิทัล โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบขององค์ประกอบเกมต่อพฤติกรรมผู้ใช้งาน ทั้งในด้านแรงจูงใจ ความพึงพอใจ และการมีส่วนร่วมในการใช้งาน พบว่าสามารถช่วยเพิ่มแรงจูงใจของผู้ใช้งานได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในระบบที่มีเนื้อหาซับซ้อนหรือเข้าใจยาก การนำองค์ประกอบของเกม เช่น ระบบคะแนน ระดับความก้าวหน้า ป้ายความสำเร็จ (Achievement badges) มาใช้ในระบบช่วยให้ผู้ใช้งานมีความกระตือรือร้นและเกิดความต่อเนื่องในการใช้งานมากยิ่งขึ้น [2]

2) การจำลองสถานการณ์ (Simulation-based learning) หมายถึง การจัดการเรียนรู้โดยใช้สถานการณ์จำลองเป็นการจัดการเรียนรู้ที่มีลักษณะเสมือนจริง โดยจำลองสถานการณ์ในการปฏิบัติงานจริงมาให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ สถานการณ์จำลองเสมือนจริงจะช่วยให้ผู้เรียนได้เรียนรู้และเผชิญกับปัญหาในสถานการณ์ที่ใกล้เคียงความเป็นจริง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาเรื่องการเรียนรู้ผ่านการจำลองสถานการณ์ซึ่งเป็นรูปแบบการเรียนรู้ที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ทดลองตัดสินใจภายใต้สถานการณ์ที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง เพื่อศึกษาผลของการใช้การจำลองสถานการณ์ต่อความเข้าใจในเนื้อหา การตัดสินใจและการจัดการความเสี่ยงของผู้เรียน ผลการศึกษาพบว่า การเรียนรู้ผ่านระบบจำลองช่วยให้ผู้เรียนสามารถเชื่อมโยงความรู้เชิง

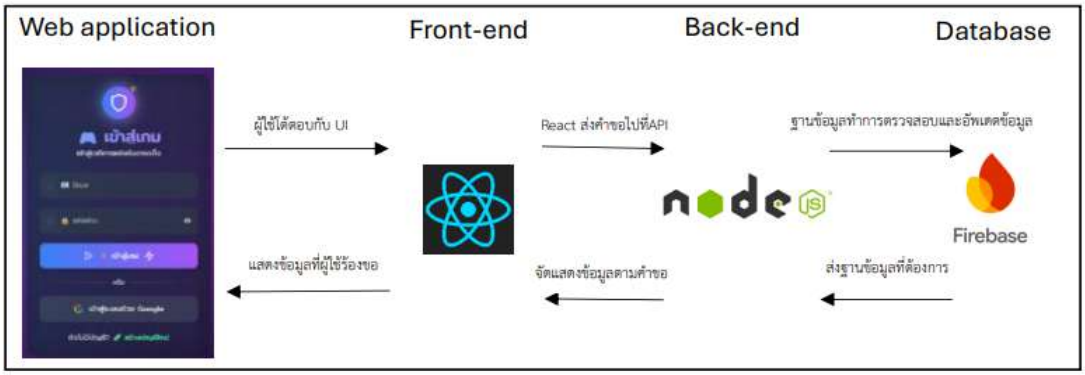
ทฤษฎีกับการปฏิบัติจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากผู้เรียนสามารถเรียนรู้ผลลัพธ์ของการตัดสินใจโดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายจริง นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาทักษะการวิเคราะห์ การวางแผน และการแก้ไขปัญหาได้ดีกว่าการเรียนรู้ในรูปแบบบรรยายเพียงอย่างเดียว [3-5]

4. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันเกมจำลองลงทุนเทรดหุ้น คณะผู้วิจัยอาศัยหลักวงจรชีวิตของการพัฒนาซอฟต์แวร์ หรือ SDLC (System Development Life Cycle) โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การวิเคราะห์และออกแบบระบบ

คณะผู้วิจัยได้รวบรวมความต้องการของผู้ใช้ มาวิเคราะห์และออกแบบระบบ ออกแบบส่วนต่อประสานผู้ใช้ เพื่อให้การพัฒนาระบบมีประสิทธิภาพและครอบคลุมความต้องการของผู้ใช้ โครงสร้างภาพรวมของระบบจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การทำงานในส่วนของ Frontend จะแสดงหน้าใช้งานให้กับผู้ใช้บนเว็บไซต์ และการทำงานในส่วนของ Backend จะควบคุมการทำงานของระบบให้แก่ผู้ใช้ การทำงานของระบบอยู่ในรูปแบบ Client/Server โดยมี API (Application Program Interface) เป็นตัวกลางที่คอยตรวจสอบ Request และ Response ระหว่างลูกข่ายกับแม่ข่าย จากรายละเอียดการใช้งานระบบที่กล่าวมาข้างต้น สามารถแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานในรูปแบบแผนภาพการออกแบบสถาปัตยกรรมระบบ (System architecture) ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภาพการออกแบบสถาปัตยกรรมการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันเกมจำลองลงทุนเทรดหุ้น

จากภาพที่ 1 สามารถอธิบายถึงกระบวนการทำงานต่าง ๆ ของเว็บแอปพลิเคชันเกมจำลองลงทุนเทรดหุ้นเพื่อแสดงโครงสร้างความสัมพันธ์ของระบบกับผู้ใช้ได้ในรูปแบบ Use Case Diagram ดังภาพที่ 2 แสดงถึงฟังก์ชันและสมาชิกในเว็บแอปพลิเคชันเกมจำลองลงทุนเทรดหุ้น โดยแบ่ง Use Case ได้ 8 ส่วน ดังนี้

1) **การจัดการบัญชีผู้ใช้** ผู้ใช้สามารถลงทะเบียน เข้าสู่ระบบ และกู้คืนรหัสผ่านหากจำเป็น เพื่อเข้าถึงฟังก์ชันต่าง ๆ ในระบบได้

2) **การเข้าถึงหน้าเลือกโหมดเกม** ผู้ใช้สามารถเลือกได้ว่าจะเข้าเล่นที่โหมดเกมไหนก็ได้ตามอิสระของผู้ใช้งาน

3) **การเตรียมแบบทดสอบ** ผู้ดูแลระบบสามารถเพิ่ม-ลดชุดคำถามและปรับคะแนนของแต่ละข้อของชุดคำถามได้

4) **การเล่นเกมเพื่อปลดล็อก Level** ผู้ใช้สามารถเล่นเกมในโหมดผู้เล่นคนเดียวเพื่อปลดล็อกระดับความยากและฝึกทักษะต่อไปได้

5) **การปลดล็อกรางวัลความสำเร็จ** เมื่อผู้ใช้เล่นเกมแล้วทำเงื่อนไขสำเร็จ ระบบจะปลดล็อกรางวัลความสำเร็จและแสดงที่หน้าโปรไฟล์ของผู้ใช้

6) **การจัดการข้อมูลหุ้นที่ใช้ในเกม** ผู้ดูแลระบบสามารถปรับข้อมูลหุ้นตามสถานการณ์ตลาดหลักทรัพย์จริงเพื่อให้ผู้ใช้เรียนรู้ได้หลากหลาย

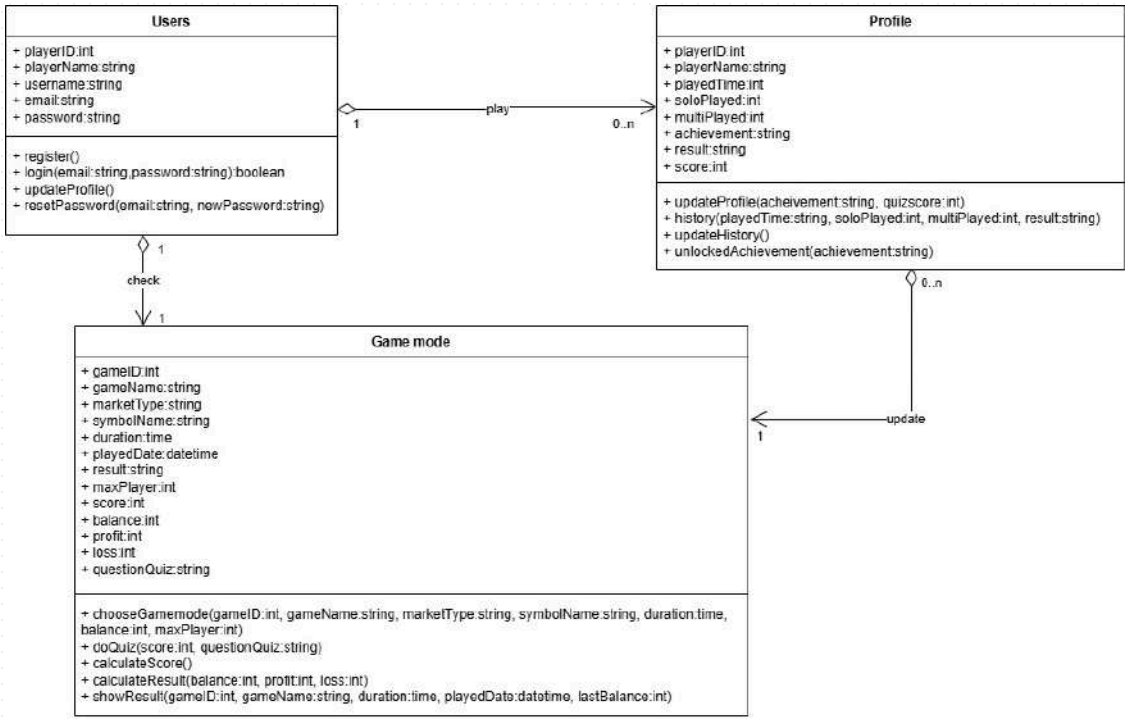
7) **การควบคุมห้องสำหรับผู้เล่นหลายคน** ผู้ดูแลระบบสามารถปรับข้อมูลหุ้นที่จะใช้ในโหมดผู้เล่นหลายคนและปรับจำนวนผู้เล่นสูงสุด

8) **การตรวจสอบโปรไฟล์ของผู้เล่น** ผู้ใช้สามารถตรวจสอบประวัติการเล่นและรางวัลความสำเร็จได้

ภาพที่ 2 Use Case Diagram ของเว็บแอปพลิเคชันเกมจำลองลงทุนเทรดหุ้น

ในส่วนของการออกแบบฐานข้อมูลของเว็บแอปพลิเคชันเกมจำลองลงทุนเทรดหุ้น นำเสนอด้วย Class Diagram แสดงดังภาพที่ 3 สามารถอธิบายได้ดังนี้

1) คลาส Users จัดเก็บข้อมูลผู้ใช้งานระบบ
2) คลาส Game mode จัดเก็บข้อมูลระบบเกมทั้งหมด
3) คลาส Profile จัดเก็บข้อมูลการเล่นเกมทั้งหมดของผู้ใช้งานระบบ



ภาพที่ 3 Class Diagram ของเว็บแอปพลิเคชันเกมจำลองลงทุนเทรดหุ้น

4.2 การพัฒนาระบบ

คณะผู้วิจัยได้เลือกใช้ Visual Studio Code ในการพัฒนาระบบ โดยใช้ Node.js สำหรับฝั่ง Backend และ React.js สำหรับฝั่ง Frontend เขียนด้วยภาษา JavaScript และจัดการฐานข้อมูลโดยใช้ Firebase database รวมถึงใช้ Firebase authentication สำหรับระบบยืนยันตัวตนของผู้ใช้งาน เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในระบบ เช่น การยืนยันตัวตนของผู้ใช้ การเข้ารหัสข้อมูลสำคัญ และการป้องกันการโจมตีทางเว็บต่าง ๆ เพื่อป้องกันข้อมูลการเงินและข้อมูลผู้เล่น ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวสามารถทำงานร่วมกันได้เป็นอย่างดี

4.3 การทดสอบและประเมินผลระบบ

เพื่อทดสอบความถูกต้องของระบบก่อนนำไปใช้งานจริง และประเมินระบบเพื่อหาประสิทธิผลของการทำงาน คณะผู้วิจัยได้แบ่งการประเมินผลระบบออกเป็น 3 ส่วน คือ

1) การทดสอบความสมบูรณ์ของซอฟต์แวร์

เป็นการตรวจสอบความถูกต้องโดยตรวจสอบข้อผิดพลาดและปัญหาที่เกิดขึ้นและดำเนินการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น ดำเนินการทดสอบโดยคณะผู้วิจัยทำการทดสอบระดับหน่วย (Unit Testing) ถ้ามอดูลไม่สามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบจะทำการปรับแก้ทันที และทดสอบการทำงานร่วมกันระหว่างมอดูล (Integration testing) ว่าสามารถทำงานร่วมกันได้อย่างถูกต้อง

2) การประเมินประสิทธิภาพจากผู้เชี่ยวชาญ

ใช้เครื่องมือแบบสอบถาม (Questionnaire) ในการประเมินความพึงพอใจโดยผู้ตอบแบบสอบถาม คือ ผู้ใช้และผู้ดูแลระบบ ซึ่งแบบสอบถามแบ่งออกเป็น 3 ด้าน คือ เนื้อหาและการใช้งาน รูปแบบ และประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

สถิติที่ใช้ในการทำแบบสอบถาม เลือกใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ได้แก่ จำนวนความถี่ (Frequency) ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และนิยามสมการค่าเฉลี่ยเลขคณิต และสมการส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังนี้

- ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ($\bar{x}$)

สูตร $\bar{x} = \frac{\sum fx}{N}$

เมื่อ $\bar{x}$ แทน ค่าเฉลี่ยเลขคณิต
X แทน คะแนนแต่ละตัว
f แทน ความถี่
N แทน จำนวนคนหรือจำนวนความถี่ทั้งหมด
$\sum$ แทน ผลรวม

- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

สูตร $S.D. = \sqrt{\frac{\sum (x-\bar{x})^2}{N}}$

เมื่อ S.D. แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
$\bar{x}$ แทน ค่าเฉลี่ยเลขคณิต
X แทน คะแนนแต่ละตัว
N แทน จำนวนคนหรือจำนวนความถี่ทั้งหมด
$\sum$ แทน ผลรวม

3) การประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งานเว็บไซต์ที่มีต่อระบบที่ได้พัฒนาขึ้น

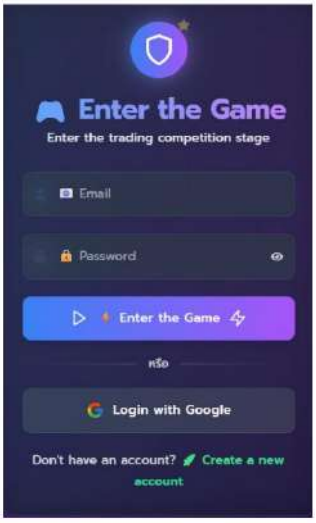
ในกระบวนการทดสอบการใช้งานซอฟต์แวร์โดยผู้ใช้งานจริง (User Acceptance Testing) คณะผู้วิจัยได้ทดสอบคุณภาพของระบบที่สมบูรณ์โดยทำการทดลองใช้งานจริงกับผู้ใช้และผู้ดูแลระบบ โดยระบุสถานการณ์จำลองที่จะใช้ทำการทดสอบ (Identify Scenarios) ที่ใกล้เคียงกับการทำงานจริง และกำหนดกรณีที่จะทดสอบ (Test Cases) เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถประเมินประสิทธิภาพและความเหมาะสมของการใช้งานเว็บแอปพลิเคชันได้อย่างครบถ้วน คณะผู้วิจัยทำการประเมินและสรุปผลเพื่อนำผลการทดสอบไปใช้เพื่อแก้ไขและปรับปรุงระบบให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

5. ผลการทดลองและอภิปรายผล

จากการดำเนินการตามขั้นตอนการวิจัย สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

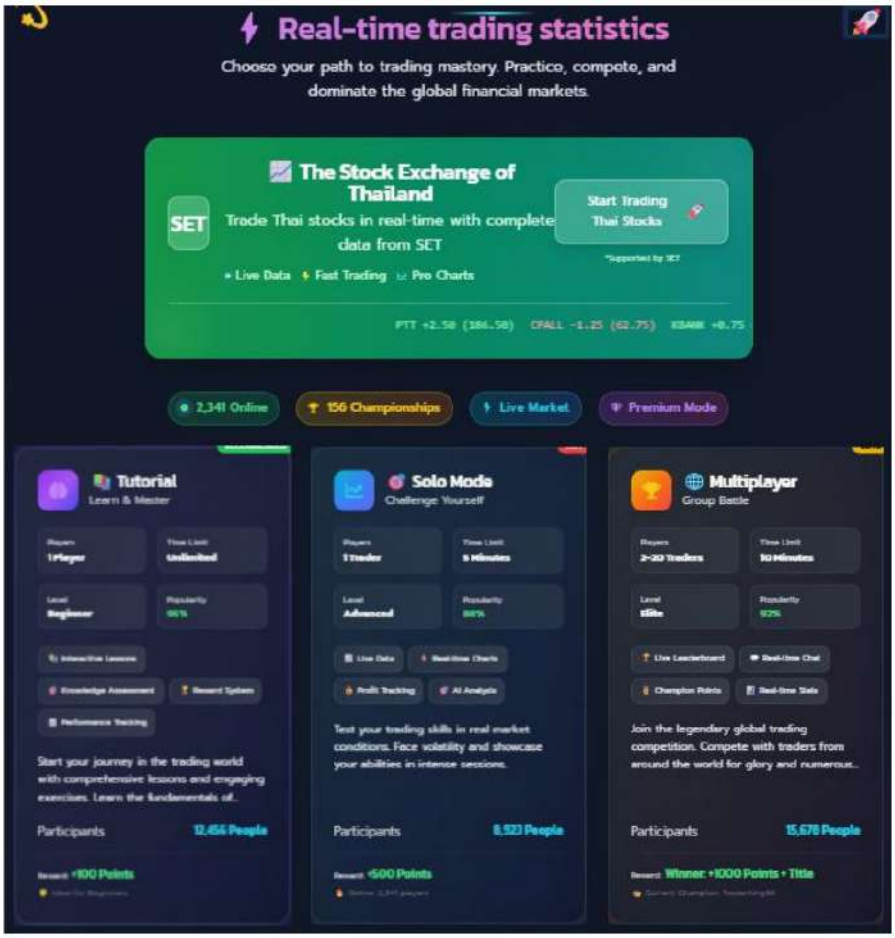
5.1 ผลการพัฒนาระบบ

ผู้ใช้สามารถเข้าทำงานในส่วนต่าง ๆ ของระบบผ่านหน้าจอเมนูหลัก ได้ดังภาพที่ 4



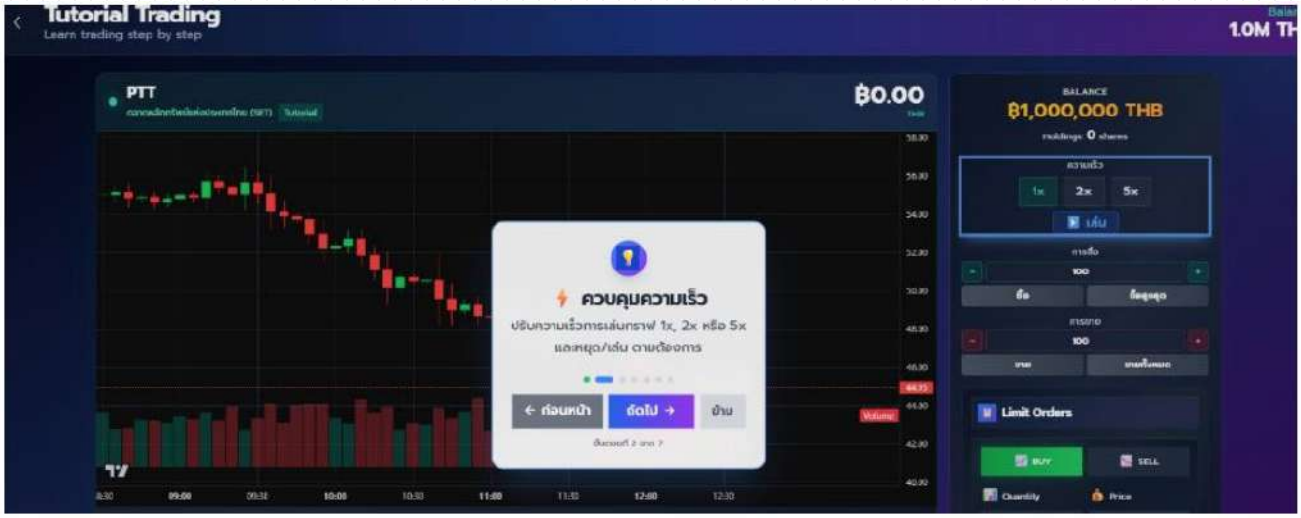
ภาพที่ 4 หน้าล็อกอิน

จากภาพที่ 4 กรณีที่ผู้ใช้งานต้องการเข้าสู่ระบบ ต้องกรอกอีเมลและรหัสผ่าน และคลิกปุ่ม Enter the Game หรือ Login with Google แสดงหน้าเลือกโหมดเกม ดังภาพที่ 5



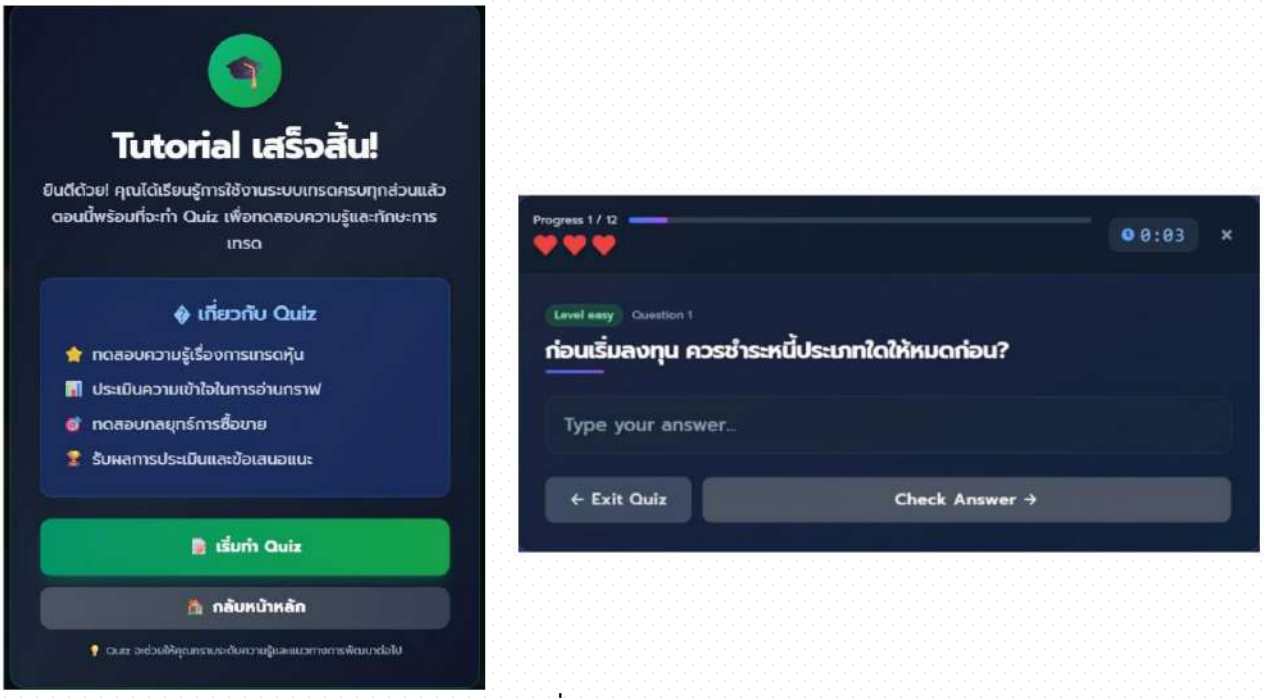
ภาพที่ 5 หน้าเลือกโหมดเกม (ข้อมูลจำลองเพื่อการนำเสนอ)

จากภาพที่ 5 มีให้เลือก 3 โหมด ได้แก่ โหมดสอนการเล่น (Tutorial) โหมดผู้เล่นคนเดียว (Solo mode) และโหมดผู้เล่นหลายคน (Multiplayer) เมื่อผู้ใช้เลือกโหมดเกมที่ต้องการ ระบบจะนำไปสู่รูปแบบโหมดต่าง ๆ



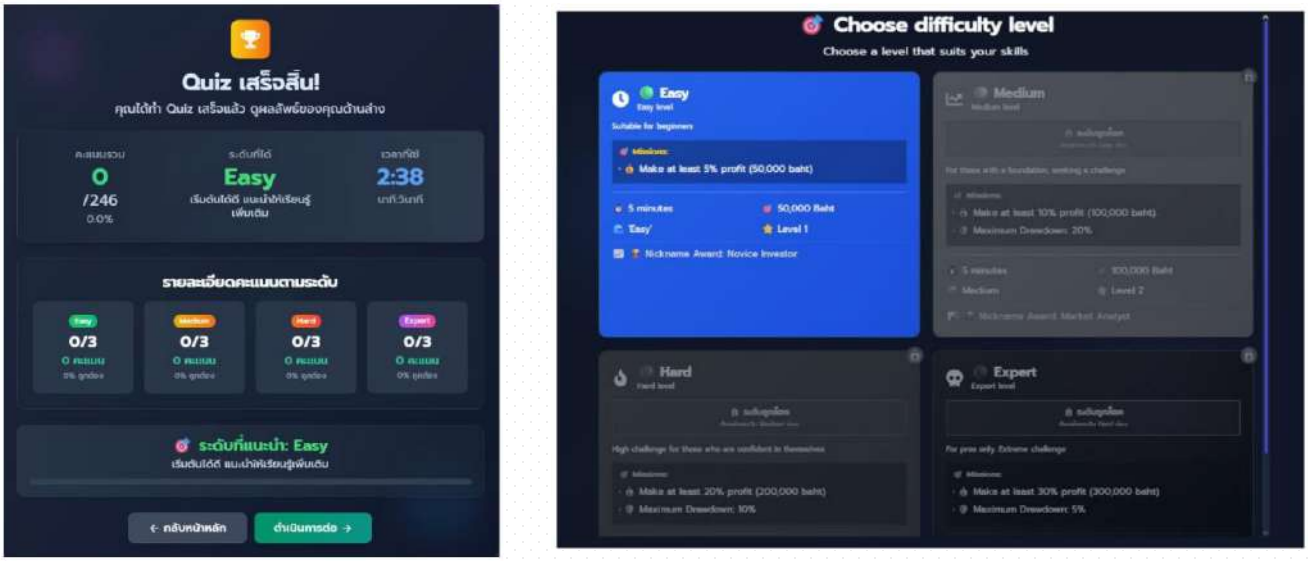
ภาพที่ 6 หน้าโหมดสอนการเล่น

จากภาพที่ 6 หน้าโหมดสอนการเล่น เมื่อเข้าโหมดนี้ เกมจะสอนระบบการทำงานต่าง ๆ ให้ผู้เล่นได้เรียนรู้ก่อนที่จะไปเล่นจริง คลิกที่ปุ่ม “ถัดไป” เป็นการแนะนำระบบต่าง ๆ ภายในเกม ปุ่ม “ก่อนหน้า” เป็นการย้อนเพื่อทบทวนการสอนการเล่น และคลิกที่ปุ่ม “ข้าม” เพื่อจบการสอนการเล่น



ภาพที่ 7 หน้าแบบทดสอบ

จากภาพที่ 7 เมื่อจบการสอนการเล่นแล้ว ระบบจะพาผู้ใช้ไปทำแบบทดสอบเพื่อปลดล็อกระดับความยาก โดยผู้ใช้งานตัดสินใจได้ว่าจะทำแบบทดสอบหรือจะกลับไปหน้าเลือกโหมดเกม คลิกที่ปุ่ม “เริ่มทำ Quiz” จะเข้าสู่หน้าทำแบบทดสอบ คลิกที่ปุ่ม “Check Answer” เพื่อส่งคำตอบ



ภาพที่ 8 หน้าผลลัพธ์การทำแบบทดสอบ และการเลือกระดับความยากของเกม

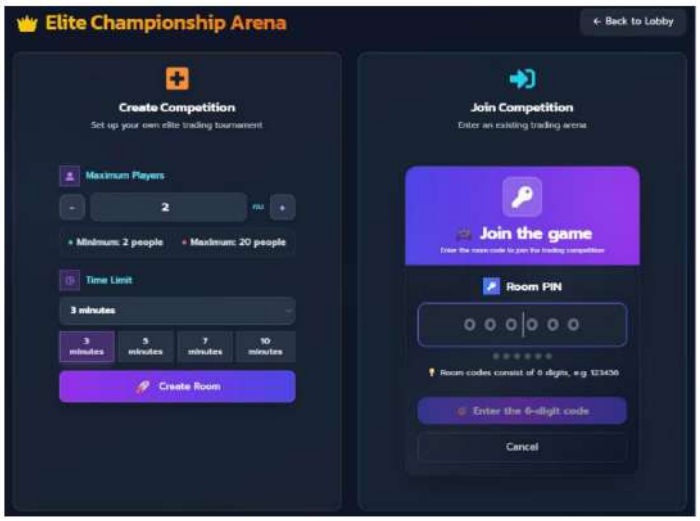
จากภาพที่ 8 เมื่อผู้เล่นทำแบบทดสอบจนจบ ระบบจะแสดงหน้าผลลัพธ์และคะแนนที่ได้รับ พร้อมระดับความยากที่จะปลดล็อกในโหมดผู้เล่นคนเดียว คลิกที่ปุ่ม “ดำเนินการต่อ” ระบบจะนำไปสู่หน้าเลือกระดับความยากตามคะแนนที่ได้รับ ผู้ใช้สามารถเล่นเกมให้ชนะเพื่อปลดล็อกระดับความยาก โดยมี 4 ระดับให้เล่น คือ Easy, Medium, Hard และ Expert ซึ่งในระดับ Easy และ Medium กราฟจะผันผวนค่อนข้างน้อยและใช้หุ้นตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย (SET) ที่สุ่มขึ้น ส่วนระดับ Hard และ Expert กราฟจะผันผวนหนักและใช้หุ้นตลาดสัญญาซื้อขายล่วงหน้าแห่งประเทศไทย (TFEX) ที่สุ่มขึ้น

ภาพที่ 9 หน้าระบบต่าง ๆ ในเกมของโหมดผู้เล่นคนเดียว

จากภาพที่ 9 เมื่อเลือกระดับความยากแล้วเข้าเกมมา ระบบจะแสดงกราฟหุ้นพร้อมข้อมูลหุ้นที่สุ่มมาเพื่อให้ผู้ใช้สามารถอ่านและวิเคราะห์สถานการณ์ได้ คลิกที่ปุ่ม “หยุดเทรด” จบเกมทันทีเพื่อสรุปผล คลิกที่ปุ่ม “1x” , “2x” และ “5x” เพื่อเร่งความเร็วการปรากฏของข้อมูลกราฟ คลิกที่ปุ่ม “หยุด” ทำการหยุดกราฟเพื่อวิเคราะห์ก่อนที่จะทำการซื้อ-ขาย คลิกที่ปุ่ม “+” หรือ “-“ เพื่อทำการกำหนดจำนวนหุ้นที่ต้องการซื้อหรือขาย คลิกที่ปุ่ม “ซื้อ” หรือ “ซื้อสูงสุด” เพื่อซื้อหุ้นเมื่อตัดสินใจได้แล้ว คลิกที่ปุ่ม “ขาย” หรือ “ขายทั้งหมด” เพื่อขายหุ้นเมื่อตัดสินใจได้แล้ว

ภาพที่ 10 หน้าสรุปผลการเล่น

จากภาพที่ 10 เมื่อผู้ใช้ทำภารกิจครบหรือหมดเวลา ระบบจะแสดงหน้าผลลัพธ์ว่าแพ้หรือว่าชนะพร้อมรายละเอียดต่าง ๆ คลิกที่ปุ่ม “Play again” เพื่อเริ่มเล่นใหม่อีกครั้ง คลิกที่ปุ่ม “Back to Home” กลับไปสู่หน้าหลัก



ภาพที่ 11 หน้าสร้างห้องหรือเข้าร่วมห้องของเกมโหมดผู้เล่นหลายคน

ภาพที่ 11 สำหรับโหมดผู้เล่นหลายคน ผู้ใช้สามารถเลือกได้ว่าจะสร้างห้อง กำหนดจำนวนผู้เล่นสูงสุด การจับเวลา และใส่รหัสห้องเพื่อเข้าร่วมห้องของผู้ใช้คนอื่น เมื่อตั้งค่าหรือเข้าร่วมห้องสำเร็จแล้ว ระบบจะนำไปสู่ห้องเตรียมความพร้อมก่อนที่จะเริ่มเล่นกับผู้เล่นอื่น ๆ เมื่อผู้เล่นเข้าห้องมาครบแล้วหัวหน้าห้องจึงกดเริ่มเกม และเมื่อจบเกมระบบจะแสดงผลลัพธ์ดังภาพที่ 12

ภาพที่ 12 หน้าแสดงผลลัพธ์ของเกมโหมดผู้เล่นหลายคน

จากภาพที่ 12 เมื่อหมดเวลาการแข่งขัน ระบบจะแสดงผลลัพธ์ของผู้เล่นตามกำไรที่ทำได้ เมื่อผู้เล่นต้องการตรวจสอบโปรไฟล์การเล่นของตนเอง สามารถกดปุ่มไอคอน Profile เพื่อเข้าสู่หน้าโปรไฟล์ผู้เล่น ดังภาพที่ 13

ภาพที่ 13 หน้าโปรไฟล์ของผู้เล่น

จากภาพที่ 13 ผู้ใช้จะทราบผลการเล่นในแต่ละรอบของตนเอง ทั้งรอบเล่น รางวัลความสำเร็จที่ปลดล็อกได้ และประวัติการเล่นในแต่ละเกมแบบละเอียด

5.2 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อระบบ

จากการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานเว็บแอปพลิเคชันเกมจำลองลงทุนเทรดหุ้นที่พัฒนาขึ้น ได้มีการนำไปทดลองใช้งานกับผู้ใช้ จำนวน 5 คน และเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลระบบ จำนวน 5 คน รวมทั้งสิ้น 10 คน และมีการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยใช้แบบประเมินความพึงพอใจของระบบ ซึ่งได้กำหนดเกณฑ์ตามวิธีของไลเคอร์ท (Likert's scale) โดยจะให้คะแนนในแต่ละหัวข้อตามความเหมาะสมซึ่งมีลำดับตามความหมายของคะแนน เกณฑ์ประกอบด้วยมาตราส่วนประเมินค่า (Rating scale) เชิงคุณภาพ 5 ระดับ ดังนี้

4.51-5.00	มีความพึงพอใจในระดับดีมาก
3.51-4.50	มีความพึงพอใจในระดับดี
2.51-3.50	มีความพึงพอใจในระดับปานกลาง
1.51-2.50	มีความพึงพอใจในระดับน้อย
1.00-1.50	มีความพึงพอในระดับน้อยที่สุด

ซึ่งสามารถสรุปผลการดำเนินงานในแต่ละด้านได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ระดับความพึงพอใจในการใช้งานเว็บแอปพลิเคชันเกมจำลองลงทุนเทรดหุ้น

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. ด้านเนื้อหาและการใช้งานระบบ			
1.1 ข้อมูลครบถ้วน มีความถูกต้อง	4.10	0.83	ดี
1.2 ลำดับการทำงานถูกต้อง	4.20	0.42	ดี
1.3 เข้าถึงข้อมูลอย่างรวดเร็ว	3.60	0.49	ดี
ค่าเฉลี่ยด้านเนื้อหาและการใช้งานระบบ	3.97	0.58	ดี
2. ด้านรูปแบบ			
2.1 แบบตัวอักษรเหมาะสมและง่ายต่อการอ่าน	4.20	0.75	ดี
2.2 สีตัวอักษรและพื้นหลังเหมาะสม	3.50	1.02	ดี
2.3 รูปแบบง่ายต่อการใช้งานและไม่ซับซ้อน	4.30	0.46	ดี
ค่าเฉลี่ยด้านรูปแบบ	4.00	0.74	ดี
3. ด้านประสิทธิภาพการทำงานของระบบ			
3.1 แสดงผลได้อย่างถูกต้อง	4.50	0.53	ดี
3.2 ความรวดเร็วในการตอบสนองของเว็บแอปพลิเคชัน	4.30	0.64	ดี
3.3 ความพึงพอใจเว็บแอปพลิเคชัน	3.60	0.92	ดี
ค่าเฉลี่ยด้านประสิทธิภาพการทำงานของระบบ	4.13	0.70	ดี
ค่าเฉลี่ยโดยรวม	**4.03**	**0.67**	**ดี**

จากตารางที่ 1 ในการสรุปผลการดำเนินงาน พบว่า ผลการประเมินความพึงพอใจในด้านเนื้อหาและการใช้งานระบบ อยู่ในระดับดี คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.97 ผลการประเมินความพึงพอใจในด้านรูปแบบ อยู่ในระดับดี คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.00 และผลการประเมินความพึงพอใจในด้านประสิทธิภาพการทำงานของระบบ อยู่ในระดับดี คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.13 ตามลำดับ จากการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อเว็บแอปพลิเคชันเกมจำลองลงทุนเทรดหุ้นผ่านระเบียบวิธีการทางสถิติ เพื่อทำการหาค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมดพบว่า ค่าเฉลี่ยที่ได้เท่ากับ 4.03 ในค่าสเกล 5 ระดับ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.67 แสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีความพึงพอใจของผู้ใช้โดยรวมอยู่ในระดับดี

6. บทสรุป

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเกมจำลองลงทุนเทรดหุ้นในรูปแบบโปรแกรมประยุกต์บนเว็บ ซึ่งบริษัทหลักทรัพย์ พาย จำกัด (มหาชน) สามารถนำไปใช้งานได้จริง ผลจากการดำเนินการวิจัยและการทดลองใช้งานระบบ พบว่า ระบบสามารถใช้งานได้ตามขอบเขต กล่าวคือ มีการทำงานที่ครอบคลุมทุกหน้าที่หลัก โดยผู้ใช้สามารถเข้าสู่ระบบเพื่อเลือกโหมดเกมที่ต้องการเล่นและเลือกเล่นได้ สามารถทำแบบทดสอบเพื่อวัดระดับความรู้และปลดล็อกด่านได้ สามารถตรวจสอบประวัติการเล่นและผลงานในหน้าโปรไฟล์ได้ และสามารถสร้างห้องแล้วเชิญชวนเพื่อนมาเล่นเกมด้วยกันได้ สำหรับเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลระบบสามารถเพิ่ม ลบ หรือปรับปรุงข้อมูลหุ้นที่จะใช้ในเกมได้ และสามารถปรับปรุงข้อมูลให้ผู้ใช้งานได้รับทราบข่าวสารใหม่ ๆ แต่ระบบยังคงมีข้อจำกัดที่ต้องได้รับการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน เช่น การใช้งานเครื่องมือวิเคราะห์กราฟหุ้นที่ยังไม่เสถียรในโหมดผู้เล่นหลายคน จำนวนชุดภารกิจที่น้อยเกินไป การเล่นเกมในโหมดผู้เล่น

หลายคนที่ยังไม่เสถียรพอเพราะหัวหน้าห้องโหลดเกมเสร็จแต่ผู้เล่นคนอื่นยังไม่เข้าหน้าเกม ซึ่งปัญหาเหล่านี้จำเป็นต้องได้รับการพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อให้ระบบตอบสนองต่อการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากการประเมินผลการดำเนินงานของผู้ใช้เว็บแอปพลิเคชันเกมจำลองลงทุนเทรดหุ้น ผู้ใช้และเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลระบบได้ให้ข้อเสนอแนะอันเป็นแนวทางเพื่อปรับปรุงระบบในอนาคต กล่าวคือ ควรพัฒนาโหมดผู้เล่นหลายคนภายในเกมให้มีความเสถียรมากยิ่งขึ้น ผู้เล่นทุกคนจะสามารถหยุดกราฟเพื่อที่จะสามารถใช้เครื่องมือวิเคราะห์กราฟหุ้นตามความเข้าใจของแต่ละคนได้โดยที่กราฟจะไม่ส่งผลกระทบต่อผู้เล่นคนอื่นและการจับเวลา และผสานระบบแปลภาษาอัตโนมัติ ใช้ API เช่น Google translate เพื่อให้ระบบสามารถแปลข้อความภายในเกมเพื่อรองรับผู้เล่นที่เป็นชาวต่างชาติ ซึ่งสอดคล้องกับบทความวิจัยเรื่องการออกแบบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของฐานข้อมูลผู้ใช้หลายคนที่มีความปลอดภัยด้วยการควบคุมการเข้าถึงตามบทบาทและการตรวจสอบย้อนกลับ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการสร้างระบบฐานข้อมูลที่รวมเอาการควบคุมการเข้าถึงข้อมูลตามบทบาทของผู้ใช้ (Role-Based Access Control : RBAC) และการบันทึกการทำงานอย่างละเอียด (Audit Logging) เพื่อตอบโจทย์ด้านความปลอดภัยและความโปร่งใสในการใช้งานฐานข้อมูลที่มีผู้ใช้หลายคน โดยแบ่งผู้ใช้ออกเป็น 3 ระดับหลัก คือ ผู้ดูแลระบบ ผู้แก้ไข และผู้เข้าชม โดยแต่ละบทบาทจะมีสิทธิ์การใช้งานที่แตกต่างกัน สำหรับการตรวจสอบย้อนกลับ (Audit Trail) ระบบจะทำการบันทึกทุกการดำเนินการที่เกิดขึ้นในฐานข้อมูล รวมถึงข้อมูลเวลา (Timestamp), รหัสผู้ใช้ (User ID) และประเภทของการดำเนินการ (Operation type) เพื่อให้สามารถตรวจสอบหาผู้รับผิดชอบย้อนหลังได้ [6] ถึงแม้ว่าการศึกษาจะมีความแตกต่างกับงานวิจัยนี้ แต่ผู้วิจัยมีความเห็นว่าสามารถเทียบเคียงกันได้ และบทความวิชาการ เรื่อง การเรียนรู้การแปลภาษาอังกฤษผ่านแอปพลิเคชัน: การศึกษาโอกาสและข้อท้าทายใหม่ในยุคดิจิทัล ซึ่งบทความนี้ได้กล่าวว่าแอปพลิเคชันแปลภาษากลายเป็นเครื่องมือสำคัญในการลดช่องว่างทางภาษา เครื่องมือเหล่านี้ใช้อัลกอริทึมที่ซับซ้อนในการวิเคราะห์บริบท โครงสร้างไวยากรณ์ และการแปลที่คำนึงถึงบริบทวัฒนธรรม ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้สามารถสื่อสารข้ามวัฒนธรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ [7]

7. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณอย่างสูงต่อบริษัทหลักทรัพย์ พาย จำกัด (มหาชน) ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการปฏิบัติงาน และขอขอบคุณคุณชณิดาภา รุ่งเรืองยศ ตำแหน่ง ผู้อำนวยการอาวุโสสายตราสารทุน 3 ที่ให้ข้อมูลและคำแนะนำในการจัดทำเว็บแอปพลิเคชันเกมจำลองลงทุนเทรดหุ้น

8. เอกสารอ้างอิง

[1] รุ้งทาบนภา ภ., ช่วยบำรุง ก., & ชิ้มเจริญ ส. (2566). เว็บแอปพลิเคชันสำหรับคาดการณ์ราคาสกุลเงินดิจิตอล. *วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์, 15*(22), 196–203.

[2] แก้วสะเทือน ก., & วัฒนาณรงค์ ก. (2025). ความสัมพันธ์ระหว่างการเรียนรู้ด้วยเกมและการส่งเสริมทักษะการคิดเชิงนวัตกรรมในการบริหารจัดการธุรกิจ. *วารสารนวัตกรรมการศึกษาและการวิจัย*, *9*(1), 386–401.

[3] มีฤทธิ์ ส., วิชัยดิษฐ จ., เดชชัยศรี ร., & ตุงคะเสน ห. (2024). การออกแบบเกมดิจิทัลเพื่อการเรียนรู้. *วารสารครุศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา*, *17*(2), 17–31.

[4] รัฐสภา แก่นแก้ว. (2563). การนำแนวทางการจัดการเรียนรู้ด้วยสถานการณ์จำลองเสมือนจริงในการศึกษาการพยาบาลมาประยุกต์ใช้ในการส่งเสริมทักษะการนำเสนอผลงานสร้างสรรค์ของนักศึกษาด้านนิเทศศาสตร์ในระดับปริญญาตรี. ใน*การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ครั้งที่ 15 ประจำปี 2563* (หน้า 1425-1436). กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

[5] แก้วแสงอ่อน ว., ดุลยเกษม อ., & เหมทานนท์ ส. (2021). การจัดการเรียนการสอนทางการพยาบาลด้วยสถานการณ์จำลอง เสมือนจริง :จากห้องเรียนสู่การเรียนรู้ด้วยโปรแกรมออนไลน์. *วารสารมหาจุฬานาครทรรศน์*, *8*(11), 96–111.

[6] Pratiksha Patil (2025). Design and Performance Analysis of a Secure Multi-User Database with Role-Based Access Control and Audit Trail. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, *10*(7), 2184.

[7] มอรูวี พ., ปันมะ พ., & อุโคตร อ. (2568). การเรียนรู้การแปลภาษาอังกฤษผ่านแอปพลิเคชัน: การศึกษาโอกาสและข้อท้าทายใหม่ ในยุคดิจิทัล. *วารสารภาษาและวัฒนธรรมศึกษา*, *4*(2), 43–52.

ความชุกของความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อในกลุ่มอาชีพช่างทำผม ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย

Prevalence of Musculoskeletal Disorders among Hairdressers in Ban Du Subdistrict, Mueang Chiang Rai District, Chiang Rai Province

อภิญญา ปาละอิน[1] อารียา ศิริวราพงศ์[1] วารุณี พันธ์วงศ์[1]และ มณีรัตน์ สวนม่วง[1*]

[1]สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
*E-mail: maneerat.sua@crru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยเชิงพรรณนาแบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional Study) ครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความชุกของความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อในกลุ่มอาชีพช่างทำผม ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย ประชากรในการศึกษาคือช่างทำผม จำนวน 73 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แบบสอบถามปัจจัยส่วนบุคคล และแบบประเมินความผิดปกติของระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ Standardized Nordic questionnaires วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการศึกษาพบว่า ช่างทำผมมีความชุกของความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อในช่วง 7 วันที่ผ่านมา มากที่สุดบริเวณหลังส่วนล่าง ร้อยละ 90.41 รองลงมาคือไหล่ ร้อยละ 80.82 และน้อยที่สุดคือเข่าข้างขวา ร้อยละ 4.11 โดยอาการส่วนใหญ่อยู่ในระดับพักแล้วหาย พบมากที่สุดบริเวณหลังส่วนล่าง ร้อยละ 57.53 อาการปวดในระดับต้องกินยาหรือทายาพบมากที่สุดบริเวณไหล่ ร้อยละ 34.25 และอาการปวดระดับไม่สามารถทำงานต่อได้พบมากสุดบริเวณไหล่ ร้อยละ 2.74 ผลการวิจัยสะท้อนให้เห็นถึงความเสี่ยงของการเกิดความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อจากลักษณะการทำงานของช่างทำผม และสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดมาตรการป้องกัน ส่งเสริมสุขภาพด้านการยศาสตร์ และพัฒนาแนวทางการปรับปรุงสภาพแวดล้อมในการทำงาน เพื่อลดความเสี่ยงต่อการเกิดความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อของช่างทำผมในอนาคต

คำสำคัญ: ช่างทำผม การยศาสตร์ โรคกล้ามเนื้อและกระดูก

Abstract

This cross-sectional study aimed to investigate the prevalence of musculoskeletal disorders (MSDs) among hairdressers in Ban Du Subdistrict, Mueang Chiang Rai District, Chiang Rai Province. The study population consisted of 73 hairdressers. The research instruments included a personal factors questionnaire and the Standardized Nordic Questionnaire for assessing musculoskeletal symptoms. Data were analyzed using descriptive statistics, including frequency, percentage, mean, and standard deviation. The results revealed that within the past 7 days, the highest prevalence of MSDs among hairdressers was in the lower back (90.41%), followed by the shoulders (80.82%), while the lowest was in the right knee (4.11%). Most symptoms were mild and resolved with rest, which was most frequently reported in the lower back area (57.53%). Meanwhile, pain requiring medication or topical treatment was most prevalent in the shoulders (34.25%), and pain to the extent of being unable to continue working was also most prevalent in the shoulders (2.74%). These findings reflected the risk of developing musculoskeletal disorders due to the nature of hairdressing work. The results could be utilized as baseline data to establish preventive measures,

promote ergonomic health, and develop guidelines for workplace environmental improvements to reduce the risk of future musculoskeletal disorders among hairdressers.

Keywords: Hairdresser, Ergonomic, Musculoskeletal Disorders

1. บทนำ

โรคระบบกล้ามเนื้อและโครงสร้างกระดูกเป็นปัญหาสุขภาพของวัยทำงาน ความเมื่อยล้าเป็นสภาวะที่มีการทำงานของกล้ามเนื้อร่างกายด้วยความตึงเครียดมากเกินไปซึ่งเป็นอาการเบื้องต้นอันจะนำไปสู่การเกิดโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงสร้างกระดูก วัยทำงานหลายสาขาอาชีพประสบปัญหาด้วยโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงสร้างกระดูกจะเห็นได้จากข้อมูลของสำนักงานกองทุนเงินทดแทน ซึ่งพบว่าโรคที่เกิดขึ้นตามลักษณะหรือสภาพของงานที่มีจำนวนการประสบอันตรายหรือเจ็บป่วยเนื่องจากการทำงานสูงสุด 5 อันดับแรก ปี 2563 - 2567 สูงสุดคือ โรคระบบกล้ามเนื้อและโครงสร้างกระดูกที่เกิดขึ้นเนื่องจากการทำงาน ซึ่งโดยเฉลี่ย 5 ปี มีลูกจ้างประสบอันตราย จำนวน 589 ราย คิดเป็นร้อยละ 0.72 ต่อปีของจำนวนการประสบอันตรายทั้งหมด [1] และในปัจจุบันทุกสาขาอาชีพล้วนมีลักษณะการทำงานที่ส่งผลให้ร่างกายทำงานในท่าทางเดิมซ้ำ ๆ การยกของ หรือการยืนปฏิบัติงานเป็นเวลานาน ซึ่งกลุ่มอาการปวดและโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงสร้างกระดูกไม่ได้เกิดขึ้นเพียงแค่ในกลุ่มแรงงานอุตสาหกรรมเท่านั้น แต่ยังรวมถึงกลุ่มอาชีพบริการหรืองานฝีมือ เช่น อาชีพช่างทำผมที่ต้องเผชิญกับปัจจัยเสี่ยงทางด้านการยศาสตร์อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้จากการทำงานในแต่ละวัน

ช่างทำผมเป็นหนึ่งในกลุ่มอาชีพที่มีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดความผิดปกติของระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อเนื่องจากลักษณะงานที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ทั้งการยืนติดต่อกันเป็นเวลาหลายชั่วโมง การเอี้ยวหรือบิดตัวซ้ำ ๆ ในขณะสระผมและการเกร็งกล้ามเนื้อหัวไหล่และข้อมือเพื่อตัดแต่งทรงผม จากการศึกษาโรคระบบกระดูกและกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการทำงานและปัจจัยเสี่ยงที่เกี่ยวข้องในกลุ่มช่างทำผม พบว่า ช่างทำผมเกือบครึ่งหนึ่ง ร้อยละ 49.5 ประสบปัญหาปวดเข่าและเท้ารองลงมาคือปวดหลังส่วนล่าง ร้อยละ 39.8 และปวดหลังส่วนบน ร้อยละ 38.8 และพบว่าช่างทำผมส่วนใหญ่มีโอกาสเกิดอาการปวดคอ ปวดไหล่ และมีความผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูกสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในกลุ่มช่างทำผมเพศหญิง ช่างทำผมที่มีอายุระหว่าง 18-35 ปี และกลุ่มที่มีระยะเวลาการทำงานยาวนานกว่า 12 ชั่วโมงต่อวัน [2] การศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความเมื่อยล้าของผู้ประกอบอาชีพเสริมสวย ในพื้นที่ตำบลเมืองศรีไค อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี พบว่า ปัจจัยด้านการยศาสตร์ ได้แก่ ลักษณะท่าทางการทำงาน การเอี้ยวตัวการออกแรง และการทำงานซ้ำ ๆ ในภาพรวมอยู่ในระดับน้อย แต่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความเมื่อยล้าของผู้ประกอบอาชีพเสริมสวย [3]

พื้นที่ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย ซึ่งเป็นพื้นที่ชุมชนและที่ตั้งของสถาบันการศึกษาส่งผลให้มีประชากรทั้งกลุ่มนักศึกษาและประชาชนในท้องถิ่นเข้ามาใช้บริการร้านทำผมในแต่ละวัน ปริมาณผู้รับบริการที่สูงส่งผลกระทบโดยตรงต่อช่างทำผมในพื้นที่ ทำให้ต้องยืนปฏิบัติงานติดต่อกันเป็นระยะเวลานานหรือตลอดทั้งวันและหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องทำงานด้วยท่าทางที่ผิดหลักการยศาสตร์ เช่น การก้มตัว การออกแรง การเคลื่อนไหวในท่าเดิมซ้ำ ๆ และการบิดเอี้ยวร่างกายไปมาขณะทำงาน พฤติกรรมการทำงานและการสะสมความตึงเครียดของกล้ามเนื้อ จึงเป็นปัจจัยที่ส่งผลเสียต่อสุขภาพร่างกายอย่างรุนแรง และเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงสร้างกระดูกในระยะยาว

จากการศึกษาข้อมูลข้างต้น ผู้วิจัยได้เล็งเห็นปัญหาความชุกของความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อในกลุ่มอาชีพช่างทำผม ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาความชุกของความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อในกลุ่มอาชีพช่างทำผม ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการวางแผนการป้องกันโรคกล้ามเนื้อและกระดูกในช่างทำผมต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาความชุกของความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อในกลุ่มอาชีพช่างทำผม ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย

3. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

3.1 วิธีการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงพรรณนาแบบภาคตัดขวาง (Cross - sectional study) โดยศึกษาความชุกของความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อในกลุ่มอาชีพช่างทำผม ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย

3.2 ประชากร

ประชากรในการศึกษาครั้งนี้ คือ ช่างทำผม ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย จำนวน 41 ร้าน ประชากรทั้งหมด 73 คน ข้อมูล ณ วันที่ 12 ธันวาคม พ.ศ. 2568 [4]

3.2.1 เกณฑ์การคัดเลือก

3.2.1.1 เกณฑ์การคัดเข้า (Inclusion criteria)

- อายุตั้งแต่ 18 ปีขึ้นไป
- มีประสบการณ์ในการทำงานเป็นช่างทำผมอย่างน้อย 1 ปีขึ้นไป
- เป็นผู้ที่ประกอบอาชีพช่างทำผม เช่น สระ ไดร์ ที่ปฏิบัติงานอยู่ในร้านทำผม ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย
- ร้านค้าที่จดทะเบียนพาณิชย์กับเทศบาลบ้านดู่

3.2.1.2 เกณฑ์การคัดออก (Exclusion criteria)

- มีประวัติได้รับการผ่าตัดอันเนื่องมาจากอุบัติเหตุที่ส่งผลกระทบต่อกระดูก ข้อต่อ หรือกล้ามเนื้อ
- อยู่ระหว่างการตั้งครรภ์
- มีโรคประจำตัวที่ส่งผลต่อระบบกล้ามเนื้อและกระดูก

3.3 เครื่องมือการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย 2 ส่วน

ส่วนที่ 1 แบบสอบถามปัจจัยส่วนบุคคล เพศ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง สถานภาพ ระดับการศึกษา โรคประจำตัว ยาที่รับประทานเป็นประจำ การดื่มแอลกอฮอล์ การสูบบุหรี่ การออกกำลังกาย จำนวนวันในการออกกำลังกาย ขนาดของร้านทำผม (จำนวนพนักงานในร้าน) ระยะเวลาการประกอบอาชีพช่างทำผม ระยะเวลาการทำงานต่อวัน จำนวนวันทำงานต่อสัปดาห์ ระยะเวลาพักระหว่างลูกค้าคนต่อไป จำนวนลูกค้าที่ใช้บริการต่อวันของช่างทำผม 1 คน เคยได้รับการผ่าตัดอันเนื่องมาจากอุบัติเหตุที่ส่งผลกระทบต่อกระดูก ข้อต่อ หรือกล้ามเนื้อ ประเภทของงานบริการหลักที่ท่านปฏิบัติเป็นประจำ สถานภาพในการปฏิบัติงาน ความถนัดของมือในการใช้อุปกรณ์ ลักษณะของรองเท้าที่สวมใส่ขณะปฏิบัติงาน เคยได้รับคำแนะนำหรืออบรมเกี่ยวกับท่าทางการทำงานที่ถูกต้อง อุปกรณ์ที่ใช้ในร้านเป็นประจำ อาชีพอื่น รวมทั้งสิ้นจำนวน 25 ข้อ ได้มาจากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [3]

ส่วนที่ 2 แบบประเมินความผิดปกติของระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ Standardized nordic questionnaires [5]

3.4 การหาคุณภาพเครื่องมือวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มุ่งตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาของเครื่องมือโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน และหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามแต่ละข้อกับจุดประสงค์ (Index of Item-Objective Congruence : IOC) พบว่า เครื่องมือมีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ระหว่าง 0.66-1.00

3.5 การรวบรวมข้อมูล

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยการสัมภาษณ์ช่างทำผม ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย โดยผู้วิจัยเป็นผู้สอบถามและบันทึกข้อมูลลงในแบบสอบถามด้วยตนเอง ซึ่งมีวิธีการเก็บข้อมูล ดังนี้

3.5.1 จัดเตรียมเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย เพื่อใช้เป็นแบบสอบถามข้อมูลของช่างทำผม ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย

3.5.2 ผู้วิจัยทำบันทึกข้อความขอออกหนังสือราชการจากคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ส่งหนังสือไปยังเทศบาลตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย

3.5.3 เมื่อได้รับการอนุมัติแล้ว ผู้วิจัยลงพื้นที่ขอความร่วมมือในการให้ข้อมูลจากช่างทำผม ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย

3.5.4 แจ้งรายละเอียดเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ในการทำวิจัย พร้อมทั้งดำเนินกระบวนการสัมภาษณ์ เพื่อเก็บข้อมูลตามแบบสอบถาม โดยผู้วิจัยเป็นผู้บันทึกคำตอบลงในแบบสอบถามด้วยตนเอง

3.5.5 ผู้วิจัยตรวจสอบความถูกต้องและความสมบูรณ์ของข้อมูลในแบบสอบถามที่ได้จากการสัมภาษณ์ทันทีหลังเสร็จสิ้น และเก็บรวบรวมข้อมูลแบบสอบถามทั้งหมดแล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ประมวลผลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดังนี้

สถิติเชิงพรรณนาวิเคราะห์ข้อมูลโดยนำเสนอข้อมูลปัจจัยส่วนบุคคลในรูปแบบของตารางแจกแจงความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ โดยใช้ตารางแจกแจงความถี่และร้อยละ

4. ผลการทดลอง/ผลการวิจัย

ตารางที่ 1 ข้อมูลปัจจัยส่วนบุคคล (N=73)

ข้อมูลปัจจัยส่วนบุคคล	จำนวน (คน)	ร้อยละ
เพศ		
หญิง	56	76.71
ชาย	17	23.29
อายุ (ปี)		
21 - 36	22	30.14
37 - 52	36	49.32
53 - 68	15	20.55
μ±S.D 42.59±11.53, Min =21, Max=68		
น้ำหนัก (กิโลกรัม)		
46 - 60	28	38.36
61 - 75	37	50.68
76 - 90	8	10.96
μ±S.D 64.12±9.52, Min=46, Max=90		
ส่วนสูง (เซนติเมตร)		
147 – 157	16	21.92
158 – 168	43	58.90
169 - 179	14	19.18
μ±S.D 161.84±7.19, Min=147, Max=179		
สถานภาพ		
โสด	27	36.99
สมรส	43	58.90
หม้าย/หย่าร้าง/แยกกันอยู่	3	4.11

ตารางที่ 1 ข้อมูลปัจจัยส่วนบุคคล (N=73) (ต่อ)

ข้อมูลปัจจัยส่วนบุคคล	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ระดับการศึกษา		
ประถมศึกษา	9	12.33
มัธยมศึกษาตอนต้น	18	24.66
มัธยมศึกษาตอนปลาย /ปวช.	20	27.40
ปวส./อนุปริญญาหรือเทียบเท่า	8	10.96
ปริญญาตรี	18	24.66
โรคประจำตัว		
ไม่มี	65	89.04
มี	8	10.96
การออกกำลังกาย		
ไม่ออกกำลังกาย	29	39.73
ออกกำลังกาย	44	60.27
จำนวนวันในการออกกำลังกาย (N=44)		
1-2 วัน/สัปดาห์	19	43.18
3-4 วัน/สัปดาห์	21	47.73
5-6 วัน/สัปดาห์	1	2.27
ทุกวัน	3	6.82
ขนาดของร้านทำผม (จำนวนพนักงานในร้าน)		
ขนาดเล็ก 1-2 คน	56	76.71
ขนาดปานกลาง 3-5 คน	17	23.29
ขนาดใหญ่ 6 คนขึ้นไป	0	0.00
ระยะเวลาการประกอบอาชีพช่างทำผม (ปี)		
1 - 13	52	71.23
14 - 26	17	23.29
27 - 39	4	5.48
μ±S.D 10.53±8.15, Min=1, Max=39		
ระยะเวลาการทำงานต่อวัน (ชั่วโมง)		
6 - 8	12	16.44
9 - 10	42	57.53
11 - 12	19	26.03
μ±S.D 9.89±1.35, Min=6, Max=12		

ตารางที่ 1 ข้อมูลปัจจัยส่วนบุคคล (N=73) (ต่อ)

ข้อมูลปัจจัยส่วนบุคคล	จำนวน (คน)	ร้อยละ
จำนวนวันทำงานต่อสัปดาห์ (วัน)		
5 - 6	62	84.93
7	11	15.07
μ±S.D 6.00±0.55, Min =5, Max=7		
ระยะเวลาพักระหว่างลูกค้าคนต่อไป (นาที)		
5 - 19	16	21.92
20 - 34	52	71.23
35 - 50	5	6.85
μ±S.D 24.79±9.59, Min=5, Max=50		
จำนวนลูกค้าที่ใช้บริการต่อวันของช่างทำผม 1 คน (จำนวนลูกค้าโดยประมาณ)		
4 - 7	28	38.36
8 - 11	27	36.99
12 - 15	18	24.66
μ±S.D 8.96±3.08, Min=4, Max=15		
เคยได้รับการผ่าตัดอันเนื่องมาจากอุบัติเหตุที่ส่งผลกระทบต่อกระดูก ข้อต่อ หรือกล้ามเนื้อ		
ไม่เคย	73	100.00
เคย	0	0.00
ประเภทของงานบริการหลักที่ท่านปฏิบัติเป็นประจำ (เลือกได้มากกว่า 1 ข้อ)		
งานสระ-ไดร์	71	97.26
งานตัดแต่งทรงผม	69	94.52
งานเคมี (ทำสี/ยืด/ดัด)	59	80.82
สถานภาพในการปฏิบัติงาน		
เจ้าของกิจการ (ทำงานด้วยตนเอง)	42	57.53
พนักงาน/ลูกจ้างประจำ	31	42.47
ความถนัดของมือในการใช้อุปกรณ์		
ข้างขวา	67	91.78
ข้างซ้าย	2	2.74
ถนัดทั้งสองข้าง	4	5.48
ลักษณะของรองเท้าที่สวมใส่ขณะปฏิบัติงาน		
รองเท้าส้นแบน/รองเท้าแตะ	52	71.23
รองเท้าที่มีส้น	3	4.11
รองเท้าผ้าใบ	18	24.66

ตารางที่ 1 ข้อมูลปัจจัยส่วนบุคคล (N=73) (ต่อ)

ข้อมูลปัจจัยส่วนบุคคล	จำนวน (คน)	ร้อยละ
เคยได้รับคำแนะนำหรืออบรมเกี่ยวกับท่าทางการทำงานที่ถูกต้อง		
ไม่เคย	49	67.12
เคย	24	32.88
μ±S.D 6.00±0.55, Min =5, Max=7		
อุปกรณ์ที่ใช้ในร้านเป็นประจำ (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)		
เก้าอี้ปรับระดับได้	67	91.78
เก้าอี้สตูลมีล้อ	56	76.71
แผ่นรองยืน	14	19.18
ไม่มีอุปกรณ์ช่วย	1	1.37
ท่านมีอาชีพอื่นอีกหรือไม่		
ไม่มี	69	94.52
มี	4	5.48
อาชีพเสริม (N=4)		
ซ่อมเสื้อผ้า	1	25.00
ขายดอกไม้	1	25.00
ขายเสื้อผ้าออนไลน์	2	50.00

จากตารางที่ 1 ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ประกอบอาชีพช่างทำผม จำนวน 73 คน พบว่าผู้ประกอบอาชีพช่างทำผมส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 56 คน (ร้อยละ 76.71) ช่วงอายุส่วนใหญ่อยู่ในช่วงอายุ 37 - 52 ปี จำนวน 36 คน (ร้อยละ 49.32) อายุเฉลี่ย 42.59±11.53 ปี ประชากรส่วนใหญ่มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 61 - 75 กิโลกรัม จำนวน 37 คน (ร้อยละ 50.68) น้ำหนักเฉลี่ย 64.12±9.52 กิโลกรัม ส่วนสูงอยู่ในช่วง 158 – 168 เซนติเมตร จำนวน 43 คน (ร้อยละ 58.90) ส่วนสูงเฉลี่ย 161.84±7.19 เซนติเมตร สถานภาพ ส่วนใหญ่สถานภาพสมรส จำนวน 43 คน (ร้อยละ 58.90) ระดับการศึกษาอยู่ที่ช่วงมัธยมศึกษาตอนปลาย / ปวช. จำนวน 20 คน (ร้อยละ 27.40) ช่างทำผม จำนวน 65 คน (ร้อยละ 89.04) ไม่มีโรคประจำตัวและไม่ได้รับประทานยาเป็นประจำ ช่างทำผมส่วนใหญ่ไม่ดื่มแอลกอฮอล์ จำนวน 53 คน (ร้อยละ 72.60) ไม่สูบบุหรี่ จำนวน 68 คน (ร้อยละ 93.15) การออกกำลังกาย จำนวน 44 คน (ร้อยละ 60.27) ซึ่งในกลุ่มที่ออกกำลังกายส่วนใหญ่จะออกกำลังกายอยู่ที่ 3-4 วันต่อสัปดาห์ จำนวน 21 คน (ร้อยละ 47.73) ช่างทำผมส่วนใหญ่ทำธุรกิจในร้านขนาดเล็กที่มีพนักงานเพียง 1-2 คน จำนวน 56 คน (ร้อยละ 76.71) ส่วนใหญ่เป็นเจ้าของกิจการที่ทำงานด้วยตนเอง จำนวน 42 คน (ร้อยละ 57.53) ระยะเวลาในการประกอบอาชีพช่างทำผมส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 1–13 ปี จำนวน 52 คน (ร้อยละ 71.23) เฉลี่ย 10.53±8.15 ปี ระยะเวลาการทำงานต่อวันอยู่ในช่วง 9–10 ชั่วโมง จำนวน 42 คน (ร้อยละ 57.53) เฉลี่ย 9.89±1.35 ชั่วโมงต่อวัน จำนวนวันทำงาน 5-6 วันต่อสัปดาห์ จำนวน 62 คน (ร้อยละ 84.93) เฉลี่ย 6.00±0.55 วัน ระยะเวลาพักระหว่างลูกค้าคนต่อไปอยู่ที่ช่วง 20-34 นาที จำนวน 52 คน (ร้อยละ 71.23) เฉลี่ย 24.79±9.59 นาที จำนวนลูกค้าที่มาใช้บริการต่อวันอยู่ที่ช่วง 4-7 คนต่อช่าง 1 คน จำนวน 28 คน (ร้อยละ 38.36) เฉลี่ย 8.96±3.08 คน ประชากรทั้งหมด จำนวน 73 คน (ร้อยละ 100.00) ไม่เคยได้รับการผ่าตัด อันเนื่องมาจากอุบัติเหตุที่ส่งผลกระทบต่อกระดูก ข้อต่อ หรือกล้ามเนื้อมาก่อน ประเภทของงานบริการหลักที่ช่างทำผมปฏิบัติเป็นประจำมากที่สุด คือ งานสระ-ไดร์ จำนวน 71 คน (ร้อยละ 97.26) ช่างทำผมเกือบทั้งหมดมีความถนัดของมือข้างขวาในการใช้อุปกรณ์ จำนวน 67 คน (ร้อยละ 91.78) ขณะปฏิบัติงานส่วนใหญ่นิยมสวมใส่รองเท้าส้นแบนหรือรองเท้าแตะ จำนวน 52 คน (ร้อยละ 71.23) ช่างทำผมส่วนใหญ่ จำนวน 49 คน (ร้อยละ 67.12) ระบุว่าไม่เคยได้รับคำแนะนำหรืออบรมเกี่ยวกับท่าทางการทำงานที่ถูกต้อง สำหรับการใช้อุปกรณ์ในร้านเป็นประจำ พบว่าอุปกรณ์ที่เลือกใช้มากที่สุด คือ เก้าอี้ปรับระดับได้ จำนวน 67 คน (ร้อยละ 91.78) และประชากรส่วนใหญ่ จำนวน 69 คน (ร้อยละ 94.52) ไม่มีอาชีพอื่นเสริม

ตารางที่ 2 ส่วนต่าง ๆ ของร่างกายที่มีอาการปวดในช่วง 7 วันที่ผ่านมา (N=73)

ส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย	ระยะเวลา 7 วันที่ผ่านมา	
	จำนวน	ร้อยละ
คอ	45	61.64
ไหล่	59	80.82
- ทั้ง 2 ข้าง	42	57.53
- ข้างขวา	17	23.29
- ข้างซ้าย	0	0.00
หลังส่วนบน	55	75.34
หลังส่วนล่าง	66	90.41
ข้อศอก/แขนส่วนล่าง	14	19.18
- ทั้ง 2 ข้าง	8	10.96
- ข้างขวา	6	8.22
- ข้างซ้าย	0	0.00
ข้อมือ/มือ	32	43.84
- ทั้ง 2 ข้าง	17	23.29
- ข้างขวา	15	20.55
- ข้างซ้าย	0	0.00
สะโพก/ต้นขา	12	16.44
- ทั้ง 2 ข้าง	7	9.59
- ข้างขวา	5	6.85
- ข้างซ้าย	0	0.00
เข่า	13	17.81
- ทั้ง 2 ข้าง	10	13.70
- ข้างขวา	3	4.11
- ข้างซ้าย	0	0.00
ข้อเท้า/เท้า	25	34.25
- ทั้ง 2 ข้าง	21	28.77
- ข้างขวา	4	5.48
- ข้างซ้าย	0	0.00

จากตารางที่ 2 ความชุกของความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อในระยะเวลา 7 วันที่ผ่านมา พบว่ากลุ่มอาชีพช่างทำผม ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย มีอาการปวดบริเวณหลังส่วนล่างมากที่สุด จำนวน 66 คน (ร้อยละ 90.41) รองลงมา คือ ไหล่ จำนวน 59 คน (ร้อยละ 80.82) และน้อยที่สุด คือ เข่าข้างขวา จำนวน 3 คน (ร้อยละ 4.11)

ตารางที่ 3 ระดับอาการปวดส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย (N=73)

ส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย	ระดับอาการปวด			
	พักแล้วหาย (1)	ต้องกินยา/ทายา (2)	ไม่สามารถทำงานต่อได้ (3)	ต้องหยุดงานหรือไปพบแพทย์ (4)
	จำนวน (ร้อยละ)	จำนวน (ร้อยละ)	จำนวน (ร้อยละ)	จำนวน (ร้อยละ)
คอ	24 (32.88)	20 (27.40)	1 (1.37)	0 (0.00)
ไหล่	32 (43.84)	25 (34.25)	2 (2.74)	0 (0.00)
หลังส่วนบน	37 (50.68)	18 (24.66)	0 (0.00)	0 (0.00)
หลังส่วนล่าง	42 (57.53)	23 (31.51)	1(1.37)	0 (0.00)
ข้อศอก/แขนส่วนล่าง	10 (13.70)	4 (5.48)	0 (0.00)	0 (0.00)
ข้อมือ/มือ	19 (26.03)	13 (17.81)	0 (0.00)	0 (0.00)
สะโพก/ต้นขา	9 (12.33)	3 (4.11)	0 (0.00)	0 (0.00)
เข่า	10 (13.70)	3 (4.11)	0 (0.00)	0 (0.00)
ข้อเท้า/เท้า	17 (23.29)	8 (10.96)	0 (0.00)	0 (0.00)

จากตารางที่ 3 ระดับอาการปวดกล้ามเนื้อในระยะเวลา 7 วันที่ผ่านมา จำแนกตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ในกลุ่มอาชีพช่างทำผม ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย พบว่า ในระดับพักแล้วหาย บริเวณที่พบมากที่สุด คือ หลังส่วนล่าง จำนวน 42 คน (ร้อยละ 57.53) รองลงมาคือ หลังส่วนบน จำนวน 37 คน (ร้อยละ 50.68) และพบน้อยที่สุด คือ สะโพก/ต้นขา จำนวน 9 คน (ร้อยละ 12.33) สำหรับระดับต้องกินยาหรือทายา บริเวณที่พบมากที่สุดคือ ไหล่ จำนวน 25 คน (ร้อยละ 34.25) รองลงมาคือ หลังส่วนล่าง จำนวน 23 คน (ร้อยละ 31.51) และพบน้อยที่สุด คือ สะโพก/ต้นขา และเข่า ซึ่งมีจำนวนเท่ากันคือ 3 คน (ร้อยละ 4.11) ในส่วนของระดับไม่สามารถทำงานต่อได้ พบมากที่สุดบริเวณไหล่ จำนวน 2 คน (ร้อยละ 2.74) รองลงมาคือ คอ และหลังส่วนล่าง จำนวนอย่างละ 1 คน (ร้อยละ 1.37) และระดับต้องหยุดงานหรือไปพบแพทย์ พบว่าทุกส่วนของร่างกายไม่มีอาการปวดในระดับนี้ จำนวน 0 คน (ร้อยละ 0.00)

5. อภิปรายผล

ผลการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความชุกของความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อในกลุ่มอาชีพช่างทำผม ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย พบว่า การปวดกล้ามเนื้อในรอบ 7 วันที่ผ่านมา จำแนกตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกายในกลุ่มอาชีพช่างทำผม ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย ส่วนใหญ่การปวดกล้ามเนื้อ คือ บริเวณหลังส่วนล่าง จำนวน 66 คน (ร้อยละ 90.41) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ İnce Parpucu และคณะ [6] เรื่องผลกระทบของความล้าบริเวณส่วนล่างของร่างกายต่อความผิดปกติของร่างกายส่วนล่างและข้อมูลสุขภาพในกลุ่มช่างทำผม พบว่าช่างทำผมส่วนใหญ่ ประสบปัญหาอาการปวดหลังส่วนล่าง ร้อยละ 53.0 กลุ่มที่มีความเมื่อยล้าจะมีอาการปวดอย่างมีนัยสำคัญในบริเวณหลังส่วนล่าง เนื่องจากลักษณะงานเฉพาะของช่างทำผมที่ต้องยืนทำงานติดต่อกันเป็นเวลานานมีการเอี้ยวตัวไปมาหรือก้มตัวขณะไดร์ผมสระผม อีกทั้งยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Tolera & Kabeto [7] เรื่องความผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกในกลุ่มพนักงานร้านเสริมสวยเมืองอดามา ประเทศเอธิโอเปีย พบว่า ความชุกของอาการปวดหลังส่วนล่างสูงที่สุดคือ ร้อยละ 55.7 เนื่องจากลักษณะงานของพนักงานร้านเสริมสวยมีความจำเป็นต้องยืนปฏิบัติงานเป็นเวลานาน ร่วมกับการก้มหรือเอี้ยวตัว ท่าทางที่ไม่เป็นธรรมชาติต่าง ๆ เหล่านี้ ส่งผลให้เกิดความเครียดสะสมต่อกล้ามเนื้อและโครงสร้างของกระดูก จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความผิดปกติและอาการปวดหลังส่วนล่างตามมา แต่ผลการศึกษาครั้งนี้ไม่สอดคล้อง กับการศึกษาของ Salimi] เรื่องการประเมินความเสี่ยงและความชุกของความผิดปกติทางระบบโครงร่าง และกล้ามเนื้อในช่างทำผม ซึ่งพบความชุกสูงสุดคือบริเวณไหล่

ร้อยละ 86.2 เนื่องจากประเภทกิจกรรมของกลุ่มตัวอย่าง ในงานวิจัยของ Salimi และคณะ [8] ครอบคลุมงานบริการที่หลากหลาย เช่น การต่อขนตา การทำเล็บ และการนวดหน้า ซึ่งเป็นงานที่ต้องใช้ความละเอียดและเกร็งกล้ามเนื้อส่วนบน (คอและไหล่) อย่างต่อเนื่อง ต่างจากกลุ่มประชากร ในการศึกษาครั้งนี้ที่เป็นช่างทำผมเฉพาะงานตัดแต่งทรงผม สระผม และไดร์ผม ซึ่งมีพฤติกรรมการยืนทำงานและบิดเอี้ยวลำตัวส่วนล่าง ทำให้เกิดอาการปวดบริเวณหลังส่วนล่างมากกว่าบริเวณไหล่ และผลการศึกษาครั้งนี้ไม่สอดคล้องกับการศึกษาของชุณิชา สาลีพันธ์ และคณะ (2563) [9] เรื่องสิ่งคุกคามจากการทำงานและภาวะสุขภาพของช่างเสริมสวย เขตพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีอาการปวดหลังส่วนบนสูงที่สุด ร้อยละ 77.80 ผลการศึกษาของผู้วิจัยพบว่าช่างทำผมมีอาการปวดหลังส่วนล่างเป็นอันดับหนึ่ง เนื่องจากขอบเขตงานที่แตกต่างกัน โดยงานวิจัยที่อ้างอิงเป็นการศึกษาในกลุ่มช่างเสริมสวยที่ทำงานครบวงจรทั้งทำผม แต่งหน้า และทำเล็บ ลักษณะงานส่วนใหญ่เป็นงานที่ผู้ปฏิบัติงานต้องอยู่ในท่านั่งและมีการเพ่งเกร็งกล้ามเนื้อส่วนบนค้างไว้เป็นเวลานาน ต่างจากกลุ่มประชากรในการศึกษาครั้งนี้ที่เป็นช่างทำผม ทำงานตัดแต่งทรงผม สระผม และไดร์ผม พฤติกรรมหลักเป็นการยืนปฏิบัติงาน การก้มตัวขณะสระผมและบิดเอี้ยวลำตัวส่วนล่างขณะตัดผม ท่าทางทางการยศาสตร์เหล่านี้ทำให้เกิดการบาดเจ็บที่กล้ามเนื้อหลังส่วนล่างมากกว่า และผลการศึกษาครั้งนี้ไม่สอดคล้องกับการศึกษาปัญหาของ Mishra & Sarkar [10] เรื่องความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการทำงานและปัจจัยเสี่ยงที่เกี่ยวข้องในกลุ่มช่างทำผมในเขตเมืองใหญ่ของประเทศอินเดีย พบว่าช่างทำผมในเขตเมืองใหญ่ประเทศอินเดีย กลุ่มตัวอย่างปวดเข่าและเท้ามากที่สุด ร้อยละ 49.5 เนื่องจากช่างทำผมต้องยืนปฏิบัติงานต่อเนื่องเป็นเวลานานโดยไม่ได้สลับปรับเปลี่ยนอิริยาบถ ส่งผลให้เข่าและเท้าเกิดอาการปวดมากที่สุด ต่างจากงานวิจัยของผู้วิจัยพบอาการปวดหลังส่วนล่างมากที่สุด เนื่องจากลักษณะงานการตัดผม สระผม และไดร์ผม ทำให้ต้องยืนปฏิบัติงานร่วมกับการก้มตัวไปทางด้านหน้า และบิดเอี้ยวลำตัวส่วนล่างไปมา ท่าทางทางการยศาสตร์ที่ไม่เหมาะสมนี้ ส่งผลให้เกิดอาการปวดหลังส่วนล่างมากที่สุด

6. บทสรุป

การศึกษาวิจัยเชิงพรรณนาแบบภาคตัดขวางนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความชุกของความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อในกลุ่มอาชีพช่างทำผม ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย จากกลุ่มประชากรช่างทำผม จำนวน 73 คน พบว่าอาการปวดในช่วง 7 วันที่ผ่านมา บริเวณร่างกายที่มีอาการปวดมากที่สุดคือ หลังส่วนล่าง ร้อยละ 90.41 รองลงมาคือ ไหล่ ร้อยละ 80.82 และน้อยที่สุดคือ เข่าข้างขวา ร้อยละ 4.11 ระดับอาการปวดพบว่า ในระดับพักแล้วหาย บริเวณที่พบมากที่สุดคือ หลังส่วนล่าง ร้อยละ 57.53 สำหรับระดับต้องกินยาหรือทายา บริเวณที่พบมากที่สุดคือ ไหล่ ร้อยละ 34.25 ส่วนระดับไม่สามารถทำงานต่อได้ พบมากที่สุดบริเวณไหล่ ร้อยละ 2.74 และระดับต้องหยุดงาน หรือไปพบแพทย์ พบว่าทุกส่วนของร่างกายไม่มีอาการปวดในระดับนี้ ร้อยละ 0.00 ผลการวิจัยในครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงสถานการณ์ปัญหาด้านการยศาสตร์ในกลุ่มอาชีพช่างทำผม ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถใช้เป็นฐานข้อมูลเบื้องต้นสำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการวางแผนและกำหนดมาตรการป้องกัน เพื่อลดความเสี่ยงต่อความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อในกลุ่มอาชีพช่างทำผม

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

การนำไปวางแผนส่งเสริมสุขภาพและป้องกันโรคในกลุ่มอาชีพช่างทำผม หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และผู้ประกอบการนำผลการศึกษานี้ไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผน มาตรการ หรือออกแบบกิจกรรมการส่งเสริมสุขภาพ เพื่อเฝ้าระวังและป้องกันการเกิดโรคหรือความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อในกลุ่มอาชีพช่างทำผมได้อย่างตรงจุดและเหมาะสม

7.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาวิจัยครั้งต่อไป

ขยายกลุ่มตัวอย่างและเปรียบเทียบบริบท ในการศึกษาช่างทำผมในพื้นที่อื่นหรือเปรียบเทียบระหว่างร้านแต่ละรูปแบบ เช่น ร้านทำผมชายบาร์เบอร์ และร้านซาลอนผู้หญิง เพื่อดูความแตกต่างของความชุกและความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ

8. กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิ และคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ ตรวจสอบ แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเปิดมุมมอง และยกระดับคุณภาพของงานวิจัยนี้ และขอขอบพระคุณกลุ่มผู้ประกอบอาชีพช่างทำผม ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย ทุกท่านเป็นอย่างยิ่ง ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการเข้าเก็บรวบรวมข้อมูล ตลอดจนเสียสละเวลาให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ด้วยความร่วมมืออย่างดีและข้อมูลที่ได้รับจากประสบการณ์ตรงของทุกท่าน ถือเป็นคุณค่าสำคัญที่ทำให้บทความฉบับนี้สามารถสะท้อนข้อเท็จจริงในเชิงพื้นที่ได้อย่างชัดเจน และเป็นประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตและการทำงานต่อไป ผู้เขียนจึงขอกราบขอบพระคุณในความเมตตา ณ โอกาสนี้

9. เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานกองทุนเงินทดแทน. (2568). *สถานการณ์การประสบอันตรายหรือเจ็บป่วย เนื่องจากการงาน ปี 2563–2567*. https://www.sso.go.th/wpr/assets/upload/files_storage/sso_th/65e64958a0565ddc98ebc2ee6cc1fbf4.pdf

[2] Ramandeep Kaur Saini, Mayuri Khatavkar, & Nidhi Pandey. (2022). Prevalence of musculoskeletal disorders among hair dressers in urban setup. *International Journal of Science & Healthcare Research*, *7*(2), 365–371. https://ijshr.com/IJSHR_Vol.7_Issue.2_April2022/IJSHR051.pdf

[3] ชัญญากานต์ โกกะพันธ์, ธัญญาพร มารัตน์, สุนารี ไพยกาล, นิภาพร คำหลอม, พงศ์ธร แสงชูติ, และ สุนทรี ศรีเที่ยง. (2567). ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับความเมื่อยล้าของผู้ประกอบอาชีพเสริมสวย ตำบลเมืองศรีไค อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี. *วารสารวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมท้องถิ่น*, *1*(2), 22–32.

[4] เทศบาลตำบลบ้านดู่. (2568). *จำนวนร้านเสริมสวยในเขตพื้นที่ตำบลบ้านดู่ (ข้อมูล ณ วันที่ 12 ธันวาคม 2568)*.

[5] Kuorinka, I., Jonsson, B., Kilbom, A., Vinterberg, H., Biering-Sørensen, F., Andersson, G., & Jørgensen, K. (1987). Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Applied Ergonomics*,*18*(3),233–237. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/000368708790010X?via%3Dihub

[6] İnce Parpucu, T., Ercan, S., Başkurt, Z., & Başkurt, F. (2023). The impact of lower extremity fatigue on lower quadrant dysfunction and health profile in hairdressers. *La Medicina del Lavoro*, *114*(3), Articlee2023019. https://mattioli1885journals.com/index.php/lamedicinadellavoro/article/view/13395

[7] Tolera, S. T., & Kabeto, S. K. (2020). Occupational-related musculoskeletal disorders and associated factors among beauty salon workers, Adama Town, South-Eastern Ethiopia, 2018. *Journal of Ergonomics*,*9*(5),Article257.https://www.longdom.org/abstract/occupationalrelated-musculoskeletal-disorders-and-associated-factors-among-beauty-salon-workers-adama-town-southeastern--45181.html

[8] Salimi, F., Sheikhmozafari, M. J., Tayebi-sani, S., & Ahmadi, O. (2021). Risk assessment of musculoskeletal disorders prevalence in female hairdressers using RULA and NERPA techniques. *International Journal of Musculoskeletal Pain Prevention*, *6*(3), 545–553. https://www.researchgate.net/publication/352777236_Risk_Assessment_of_Musculoskeletal_Disorders_Prevalence_in_Female_Hairdressers_using_RULA_and_NERPA_Techniques

[9] ชุณิชา สาลีพันธ์, ติกาญจน์ ดาวเรือง, และ ศิริลักษณ์ ทักวงษ์ศรี. (2563). สิ่งคุกคามจากการทำงานและภาวะสุขภาพของช่างเสริมสวย เขตพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ. *วารสารวิชาการเฉลิมกาญจนา*, *7*(2), 237-244.

[10] Mishra, S., & Sarkar, K. (2021). Work-related musculoskeletal disorders and associated risk factors among urban metropolitan hairdressers in India. *Journal of Occupational Health*, *63*(1), Article e12200. https://academic.oup.com/joh/article/63/1/e12200/7249825

ระดับความเครียดจากการทำงานของผู้ค้าขายในตลาดสด ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย

Work-Related Stress Levels among Fresh Market Vendors in Ban Du Subdistrict, Mueang Chiang Rai District, Chiang Rai Province

อริสรา ถาวร[1] ชฎาพร น่าบรรดิษฐ์[1] กาญจนา ปินตาคำ[1] และพัทธนิษย์ คำธาร[1*]

[1]สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
*E-mail: em_phatanit_k@crru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงพรรณนาแบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional descriptive study) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับความเครียดจากการทำงานของผู้ค้าขายในตลาดสด ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย ประชากรที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ผู้ค้าขายในตลาดสด ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย จำนวน 152 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคลสำหรับเก็บข้อมูลลักษณะทั่วไปของผู้ค้าขาย และแบบวัดความเครียดสวนปรุง 20 ข้อ (SPST-20) สำหรับประเมินระดับความเครียดจากการทำงาน ซึ่งมีค่าความเชื่อมั่น เท่ากับ 0.904 และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ การแจกแจงความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการศึกษาพบว่า ประชากรส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 60.53 อายุช่วง 37 – 53 ปี ร้อยละ 51.32 สถานภาพสมรส ร้อยละ 59.21 ระดับการศึกษาปริญญาตรีหรือสูงกว่าปริญญาตรี ร้อยละ 31.58 รายได้ต่อเดือนเพียงพอ ร้อยละ 69.08 ไม่มีการสูบบุหรี่ ร้อยละ 86.18 ทำงานมากกว่า 8 ชั่วโมงต่อวัน ร้อยละ 65.79 และทำทุกวัน ร้อยละ 76.97 จากการวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะทั่วไปร่วมกับผลการประเมินจากแบบวัดความเครียดสวนปรุง พบว่า ผู้ค้าขายในตลาดส่วนใหญ่มีระดับความเครียดจากการทำงานอยู่ในระดับปานกลาง ร้อยละ 57.89 รองลงมาคือระดับสูง ร้อยละ 32.89 ระดับน้อย ร้อยละ 6.58 และระดับรุนแรง ร้อยละ 2.63 ประเด็นที่ผู้ค้าขายมีความเครียดมาก ได้แก่ อาการปวดตึงกล้ามเนื้อจากการทำงาน การปวดหลังจากการทำงาน และความกังวลเกี่ยวกับรายได้ ดังนั้น ควรมีการส่งเสริมสุขภาพจิต การจัดการความเครียด การดูแลสุขภาพจิต และการลดปัจจัยเสี่ยงจากการทำงาน เพื่อป้องกันการพัฒนาไปสู่ความเครียดในระดับสูงและยกระดับคุณภาพชีวิตของผู้ค้าขายในระยะยาว

คำสำคัญ: ความเครียดจากการทำงาน ผู้ค้าขายในตลาดสด จังหวัดเชียงราย

Abstract

This study employed a cross-sectional descriptive research design to investigate the level of work-related stress among vendors at Ban Du Fresh Market, Mueang District, Chiang Rai Province. The study population consisted of 152 vendors working at the market. The research instruments included a demographic questionnaire to collect participants' general characteristics and the Suanprung Stress Test-20 (SPST-20) to assess work-related stress levels. The SPST-20 demonstrated good reliability, with a Cronbach's alpha coefficient of 0.904. Data were analyzed using descriptive statistics, including frequency, percentage, mean, and standard deviation. The results showed that the majority of participants were female (60.53%), aged 37–53 years (51.32%), married (59.21%), and had attained a bachelor's degree or higher (31.58%). Most participants reported that their monthly income was sufficient (69.08%), did not smoke (86.18%), worked more than 8 hours per day (65.79%), and worked every day of the week (76.97%). Analysis of the demographic characteristics together with the SPST-20 findings indicated that most vendors experienced

a moderate level of work-related stress (57.89%), followed by a high level (32.89%), a low level (6.58%), and a severe level (2.63%). The major sources of stress included muscle tension caused by work, work-related back pain, and concerns about income. Therefore, interventions promoting mental health, stress management, psychological well-being, and the reduction of occupational risk factors should be implemented to prevent progression to higher levels of stress and to improve the long-term quality of life of market vendors.

Keywords: work-related stress, fresh market vendors, Chiang Rai Province

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความเครียดจากการทำงาน (Work-related Stress) หมายถึง ความเครียดที่เกิดจากความไม่สมดุลระหว่างความต้องการของงานกับทรัพยากรหรือความสามารถของผู้ปฏิบัติงานในการรับมือ ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานและคุณภาพชีวิตของผู้ปฏิบัติงาน การทำงานเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตของประชาชนและเป็นกลไกหลักในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจและการพัฒนาประเทศ อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงของสภาพเศรษฐกิจ สังคม เทคโนโลยี และรูปแบบการจ้างงานในปัจจุบัน ส่งผลให้ผู้ปฏิบัติงานในหลายอาชีพต้องเผชิญกับปัจจัยเสี่ยงด้านจิตสังคม (Psychosocial Risk Factors) เช่น ภาระงานที่สูง ชั่วโมงการทำงานที่ยาวนาน ความไม่มั่นคงในการทำงาน และความไม่แน่นอนของรายได้ ซึ่งอาจนำไปสู่ความเครียดจากการทำงาน (Occupational Stress) ได้ องค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) ระบุว่า ประมาณร้อยละ 15 ของประชากรวัยทำงานทั่วโลกมีปัญหาสุขภาพจิต และในแต่ละปีภาวะซึมเศร้าและความวิตกกังวล ส่งผลให้สูญเสียวันทำงานทั่วโลกประมาณ 12,000 ล้านวัน คิดเป็นความสูญเสียทางเศรษฐกิจประมาณ 1 ล้านล้านดอลลาร์สหรัฐต่อปี นอกจากนี้ WHO ยังเน้นย้ำถึงความสำคัญของการจัดการปัจจัยเสี่ยงด้านจิตสังคมในสถานที่ทำงาน เพื่อส่งเสริมสุขภาพจิตและคุณภาพชีวิตของผู้ปฏิบัติงาน [1] องค์การแรงงานระหว่างประเทศ (International Labour Organization: ILO) ยังระบุว่า ความเครียดจากการทำงานเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ความปลอดภัย และประสิทธิภาพการทำงานของแรงงานทั่วโลก โดยเฉพาะในกลุ่มแรงงานที่มีความไม่มั่นคงในการทำงานและขาดการคุ้มครองทางสังคม [2]

ในประเทศไทย แรงงานนอกระบบเป็นกำลังแรงงานสำคัญของประเทศ โดยผลการสำรวจแรงงานนอกระบบ พ.ศ. 2567 ของสำนักงานสถิติแห่งชาติ พบว่า ประเทศไทยมีแรงงานนอกระบบประมาณ 21.1 ล้านคน คิดเป็นร้อยละ 52.70 ของผู้มีงานทำทั้งหมด สะท้อนให้เห็นว่าแรงงานนอกระบบยังเป็นกำลังสำคัญของระบบเศรษฐกิจไทย [3] ผู้ค้าขายในตลาดสดเป็นแรงงานนอกระบบกลุ่มหนึ่งที่ประกอบอาชีพอิสระและมีบทบาทในการจำหน่ายสินค้าอุปโภคบริโภค และสินค้าเกษตรแก่ประชาชน ทั้งนี้ตามแนวคิด Job Demand–Control Model ของ Karasek ความเครียดจากการทำงานมีแนวโน้มเกิดขึ้นเมื่อผู้ปฏิบัติงานต้องเผชิญกับความต้องการของงาน (Job Demand) ในระดับสูง ขณะที่มีอำนาจในการควบคุมการทำงาน (Job Control) ในระดับต่ำ ส่งผลให้เกิดความตึงเครียดและเพิ่มความเสี่ยงต่อปัญหาสุขภาพทั้งด้านร่างกายและจิตใจ [4]

ตลาดสด ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย เป็นศูนย์กลางการค้าปลีกที่สำคัญของชุมชน มีผู้ค้าขายหลากหลายประเภท ได้แก่ ผู้จำหน่ายผักสด ผลไม้ เนื้อสัตว์ อาหารทะเล อาหารปรุงสำเร็จ และสินค้าอุปโภคบริโภค การศึกษาระดับความเครียดจากการทำงานของผู้ค้าขายในตลาดสด ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย จะช่วยให้ทราบข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับความเครียดจากการทำงานของผู้ค้าขายในพื้นที่ ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบการวางแผนส่งเสริมสุขภาพจิตและพัฒนามาตรการด้านอาชีวอนามัยที่เหมาะสมต่อไป

จากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาระดับความเครียดจากการทำงานของผู้ค้าขายในตลาดสด ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย เพื่อประเมินระดับความเครียดของผู้ค้าขายในพื้นที่ และนำผลการศึกษาไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวางแผนส่งเสริมสุขภาพจิต การป้องกันและลดปัจจัยเสี่ยงด้านจิตสังคมจากการทำงาน ตลอดจนสนับสนุนการพัฒนามาตรการด้านอาชีวอนามัยที่เหมาะสม ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาคุณภาพชีวิตและสุขภาวะของผู้ค้าขายในตลาดสดอย่างยั่งยืน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาระดับความเครียดจากการทำงานของผู้ค้าขายในตลาดสด ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

2. วิธีการวิจัย

2.1 วิธีการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงพรรณนาแบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional descriptive study) เพื่อศึกษาระดับความเครียดจากการทำงานของผู้ค้าขายในตลาดสด ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

2.2 ประชากร

ประชากรที่ศึกษา คือ ผู้ค้าขายในตลาดสด ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย จำนวน 152 คน ข้อมูล ณ วันที่ 5 มกราคม 2568 [5]

2.3 เกณฑ์การคัดเลือก

2.3.1 เกณฑ์การคัดเข้า (Inclusion criteria)

- เป็นผู้ค้าขายในตลาดสด ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย
- มีอายุ 18 ปีขึ้นไป
- มีประสบการณ์ทำงานอย่างน้อย 6 เดือนขึ้นไป
- ผู้ที่สื่อสารภาษาไทยได้
- สมัครใจและยินยอมร่วมตอบแบบสอบถาม

2.3.2 เกณฑ์การคัดออก (Exclusion criteria)

- ผู้ค้าขายที่ประกอบอาชีพในตลาดสดไม่ต่อเนื่องหรือเป็นครั้งคราว

2.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ แบบสอบถาม (Questionnaire) แบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคล ได้แก่ เพศ อายุ สถานภาพสมรส ระดับการศึกษา รายได้ต่อเดือน โรคประจำตัว การดื่มแอลกอฮอล์ การสูบบุหรี่ จำนวนสมาชิกในครอบครัวที่อาศัยอยู่ร่วมกัน จำนวนชั่วโมงการทำงานต่อวัน จำนวนชั่วโมงการทำงานต่อสัปดาห์ ระยะเวลาที่ประกอบอาชีพค้าขาย ชนิดสินค้าที่จำหน่าย สถานะการทำงาน และระยะทางจากที่พักถึงตลาด

ส่วนที่ 2 คำถามเกี่ยวกับการประเมินระดับความเครียดในการทำงาน ผู้วิจัยประยุกต์ใช้แบบวัดความเครียดสวนปรุง (SPST-20) [6] จำนวน 20 ข้อ โดยให้ผู้ตอบแบบสอบถามอ่านข้อคำถาม แล้วสำรวจว่าในระยะ 6 เดือนที่ผ่านมามีเหตุการณ์ในข้อใดเกิดขึ้นกับคุณบ้าง ถ้ามีเหตุการณ์ในข้อใดเกิดขึ้นกับผู้ตอบแบบสอบถามให้ประเมินว่าผู้ตอบแบบสอบถามมีความรู้สึกอย่างไรต่อเหตุการณ์นั้น ดังนี้

ไม่รู้สึกเครียด	ให้คะแนน	1 คะแนน
รู้สึกเครียดเล็กน้อย	ให้คะแนน	2 คะแนน
รู้สึกเครียดปานกลาง	ให้คะแนน	3 คะแนน
รู้สึกเครียดมาก	ให้คะแนน	4 คะแนน
รู้สึกเครียดมากที่สุด	ให้คะแนน	5 คะแนน

การแปลผลแบบวัดความเครียดสวนปรุง (SPST–20) มีคะแนนไม่เกิน 100 คะแนน โดยผลรวมที่ได้ แบ่งเป็น 4 ระดับ ดังนี้

คะแนน 0 – 23	หมายถึง	มีระดับความเครียดน้อย
คะแนน 24 – 41	หมายถึง	มีระดับความเครียดปานกลาง

คะแนน 42 – 61	หมายถึง	มีระดับความเครียดสูง
คะแนน 62 – 100	หมายถึง	มีระดับความเครียดรุนแรง

2.5 การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ

การวิจัยครั้งนี้มุ่งตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาของเครื่องมือโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน และหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามแต่ละข้อกับจุดประสงค์ (Index of Item–Objective Congruence: IOC) พบว่าเครื่องมือทุกส่วนมีค่าดัชนีความสอดคล้องอยู่ 0.66 - 1 จากนั้นผู้วิจัยนำแบบสอบถามไปทำการทดลองใช้ (Try-out) กับผู้ค้าขายในตลาดสด ตำบลเวียง อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าความเชื่อมั่น (Reliability) โดยใช้วิธีหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปคอมพิวเตอร์ เพื่อทดสอบความสอดคล้องภายในของแบบสอบถาม ซึ่งสรุปผลการวิเคราะห์ในส่วนแบบวัดความเครียดสวนปรุง 20 ข้อ (SPST-20) จำนวน 20 ข้อ มีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.904

2.6 การรวบรวมข้อมูล

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยการแจกแบบสอบถามให้กับกลุ่มผู้ค้าขายในตลาดสด ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย โดยผู้วิจัยเก็บแบบสอบถามด้วยตนเองและนำแบบสอบถามที่ได้คืนมาตรวจสอบ ซึ่งการเก็บข้อมูลมีวิธีการ ดังนี้

2.6.1 จัดเตรียมเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล เพื่อใช้เป็นแบบสอบถามแก่กลุ่มผู้ค้าขายในตลาดสด ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

2.6.2 ผู้วิจัยจัดทำบันทึกข้อความขอออกหนังสือราชการจากคณะสาธารณสุขศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ส่งหนังสือไปยังเทศบาลตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย เพื่อขอลงพื้นที่เก็บข้อมูลในการศึกษาวิจัย

2.6.3 เมื่อได้รับอนุมัติแล้วผู้วิจัยลงพื้นที่ ขอความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามจากกลุ่มผู้ค้าขายในตลาดสด ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

2.6.4 ชี้แจงรายละเอียดเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ในการทำวิจัยพร้อมอธิบายการตอบแบบสอบถาม เพื่อให้กลุ่มผู้ค้าขายในตลาดสด ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย เข้าใจ

2.6.5 ผู้วิจัยเก็บแบบสอบถามและตรวจสอบความถูกต้อง

2.6.6 หากผู้กรอกแบบสอบถามกรอกข้อมูลไม่ครบถ้วน ผู้วิจัยนำแบบสอบถามส่งคืนให้ผู้ตอบแบบสอบถามกรอกข้อมูลให้ครบถ้วน ณ เวลานั้น

2.6.7 เก็บรวบรวมแบบสอบถามแล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

2.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลส่วนบุคคล และระดับความเครียดของผู้ค้าขายในตลาดสด ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย ใช้สถิติเชิงพรรณนาในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ การแจกแจงความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ตารางที่ 1 ข้อมูลส่วนบุคคล (N=152)

ข้อมูลส่วนบุคคล	จำนวน (N=152)	ร้อยละ
เพศ		
เพศชาย	59	38.82
เพศหญิง	92	60.53
LGBTQ	1	0.66

ตารางที่ 1 ข้อมูลส่วนบุคคล (N=152) (ต่อ)

ข้อมูลส่วนบุคคล		จำนวน (N=152)	ร้อยละ
อายุ			
20 – 36 ปี	47	30.92	11.84
37 – 53 ปี		78	51.32
54 – 70 ปี		27	17.76
μ 42.10±11.78, Min = 20, Max = 70			
สถานภาพสมรส			
โสด	47	30.92	17.11
สมรส	90	59.21	69.08
หย่าร้าง/หม้าย	15	9.87	13.82
ระดับการศึกษา			
ไม่ได้เรียน	1	0.66	8.55
ประถมศึกษา	23	15.13	16.45
หอบหืด		3	1.97
โรคเก๊าท์		6	3.95
อื่น ๆ		105	69.08
การดื่มแอลกอฮอล์			
ดื่ม		69	45.39
ไม่ดื่ม		73	48.03
เคยดื่มปัจจุบันเลิกแล้ว		10	6.58
การสูบบุหรี่			
สูบ		15	9.87
ไม่สูบ		131	86.18
เคยสูบปัจจุบันเลิกแล้ว		6	3.95
จำนวนสมาชิกในครอบครัวที่อาศัยอยู่ร่วมกัน			
2 - 4 คน		116	76.32
5 - 7 คน		36	23.68
μ 3.68±1.28, Min = 2, Max = 7			
จำนวนชั่วโมงการทำงานต่อวัน			
น้อยกว่า 6 ชั่วโมง		4	2.63
6 - 8 ชั่วโมง		48	31.58
มากกว่า 8 ชั่วโมง		100	65.79

ตารางที่ 1 ข้อมูลส่วนบุคคล (N=152) (ต่อ)

ข้อมูลส่วนบุคคล	จำนวน (N=152)	ร้อยละ
จำนวนวันทำงานต่อสัปดาห์		
1 - 3 วัน	1	0.66
4 - 6 วัน	34	22.37
ทุกวัน	117	76.97
ระยะเวลาที่ประกอบอาชีพค้าขาย		
น้อยกว่า 1 ปี	7	4.61
1 - 3 ปี	17	11.18
4 - 5 ปี	45	29.61
6 - 10 ปี	50	32.89
11 - 15 ปี	23	15.13
มากกว่า 15 ปี	10	6.58
ชนิดสินค้าที่จำหน่าย		
ผักสด	37	24.34
ผลไม้	18	11.84
อาหารทะเล/สัตว์น้ำ	8	5.26
เนื้อสัตว์ชำแหละ	15	9.87
ขายอาหารปรุงสำเร็จ	38	25.00
อื่น ๆ	36	23.68
สถานะการทำงาน		
เจ้าของ	127	83.55
ลูกจ้าง	25	16.45
ระยะทางจากที่พักถึงตลาด		
0 – 1 กิโลเมตร	31	20.39
2 – 5 กิโลเมตร	75	49.34
6 – 10 กิโลเมตร	39	25.66
มากกว่า 10 กิโลเมตร	7	4.61
μ 4.80±4.03, Min = 0.10, Max = 30.00		

จากตารางที่ 1 พบว่า ผู้ค้าขายในตลาดสดส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง มีอายุเฉลี่ย 37–53 ปี มีสถานภาพสมรส สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีหรือสูงกว่า และมีรายได้ต่อเดือนเพียงพอ ส่วนใหญ่ไม่มีการสูบบุหรี่ ทำงานมากกว่า 8 ชั่วโมงต่อวัน และทำงานทุกวัน โดยส่วนใหญ่ประกอบอาชีพค้าขายมาเป็นเวลา 6–10 ปี จำหน่ายอาหารปรุงสำเร็จ มีสถานะเป็นเจ้าของกิจการ และมีค่าเฉลี่ยระยะทางจากที่พักถึงตลาด 2–5 กิโลเมตร

ตารางที่ 2 ระดับความเครียดจากการทำงานของผู้ค้าขายในตลาดสด (N=152)

ระดับความเครียด	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ระดับความเครียดน้อย (0 - 23 คะแนน)	10	6.58
ระดับความเครียดปานกลาง (24 - 41 คะแนน)	88	57.89
ระดับความเครียดสูง (42 - 61 คะแนน)	50	32.89
ระดับความเครียดรุนแรง (62 - 100 คะแนน)	4	2.63
รวม	**152**	**100**

จากตารางที่ 2 พบว่า ผู้ค้าขายในตลาดสดส่วนใหญ่มีระดับความเครียดจากการทำงานอยู่ในระดับปานกลาง รองลงมาคือระดับสูง ขณะที่ผู้ที่มีระดับความเครียดรุนแรงพบเพียงส่วนน้อย แสดงให้เห็นว่าผู้ค้าขายส่วนใหญ่มีความเครียดจากการทำงานในระดับที่ควรได้รับการเฝ้าระวังและส่งเสริมการจัดการความเครียดอย่างเหมาะสม

ตารางที่ 3 ระดับความเครียดจากการทำงานรายข้อของผู้ค้าขายในตลาดสด (N=152)

คำถามในระยะ 6 เดือนที่ผ่านมา	ระดับความเครียด					
	ไม่รู้สึกเครียด (1)	เครียดเล็กน้อย (2)	เครียดปานกลาง (3)	เครียดมาก (4)	เครียดมากที่สุด (5)	รวม
	จำนวน (ร้อยละ)	จำนวน (ร้อยละ)	จำนวน (ร้อยละ)	จำนวน (ร้อยละ)	จำนวน (ร้อยละ)	จำนวน (ร้อยละ)
1. ท่านกลัวทำงานผิดพลาด	43 (28.29)	77 (50.66)	30 (19.74)	2 (1.32)	0 (0.00)	152 (100.00)
2. ท่านมีความกังวลที่จะขายของไม่ได้ตามเป้า	39 (25.66)	65 (42.76)	36 (23.68)	10 (6.58)	2 (1.32)	152 (100.00)
3. ครอบครัวของท่านมีความขัดแย้งกันในเรื่องเงินหรือเรื่องงานในบ้าน	85 (55.92)	42 (27.63)	18 (11.84)	7 (4.61)	0 (0.00)	152 (100.00)
4. ท่านเป็นกังวลกับเรื่องสารพิษหรือมลภาวะในอากาศ น้ำ เสียง และดินในพื้นที่ทำงาน	72 (47.37)	44 (28.95)	26 (17.11)	7 (4.61)	3 (1.97)	152 (100.00)
5. ท่านรู้สึกว่าต้องแข่งขันกับผู้ค้าขายชนิดเดียวกันหรือเปรียบเทียบสินค้า	76 (50.00)	34 (22.37)	35 (23.03)	4 (2.63)	3 (1.97)	152 (100.00)
6. ท่านรู้สึกว่าเงินไม่พอใช้	63 (41.45)	41 (26.95)	28 (18.42)	16 (10.53)	4 (2.63)	152 (100.00)
7. ท่านมีการปวดตึงกล้ามเนื้อจากการทำงาน	16 (10.53)	63 (41.45)	46 (30.26)	20 (13.16)	7 (4.61)	152 (100.00)
8. ท่านปวดหัวจากความเครียด	32 (21.05)	81 (53.29)	32 (21.05)	3 (1.97)	4 (2.63)	152 (100.00)
9. ท่านมีการปวดหลังจากการทำงานขณะขายของ	30 (19.74)	58 (38.16)	47 (30.92)	12 (7.89)	5 (3.29)	152 (100.00)

ตารางที่ 3 ระดับความเครียดจากการทำงานรายข้อของผู้ค้าขายในตลาดสด (N=152) (ต่อ)

คำถามในระยะ 6 เดือนที่ผ่านมา	ระดับความเครียด					
	ไม่รู้สึกเครียด (1)	เครียดเล็กน้อย (2)	เครียดปานกลาง (3)	เครียดมาก (4)	เครียดมากที่สุด (5)	รวม
	จำนวน (ร้อยละ)	จำนวน (ร้อยละ)	จำนวน (ร้อยละ)	จำนวน (ร้อยละ)	จำนวน ร้อยละ)	จำนวน (ร้อยละ)
10. ท่านรู้สึกความอยากอาหารลดลงหรือมากขึ้นจากปกติ	100 (65.79)	28 (18.42)	18 (11.84)	6 (3.95)	0 (0.00)	152 (100.00)
11. ท่านปวดศีรษะข้างเดียว	66 (43.42)	64 (42.11)	14 (9.21)	6 (3.95)	2 (1.32)	152 (100.00)
12. ท่านรู้สึกวิตกกังวลเกี่ยวกับการทำงานค้าขาย เช่น ขายไม่ได้	57 (37.50)	52 (34.21)	30 (19.74)	8 (5.26)	5 (3.29)	152 (100.00)
13. ท่านรู้สึกคับข้องใจ/กลุ้มใจ/อึดอัดในการทำงาน	87 (57.24)	42 (27.63)	20 (13.16)	1 (0.66)	2 (1.32)	152 (100.00)
14. ท่านรู้สึกโกรธ หรือหงุดหงิดในระหว่างการทำงาน	89 (58.55)	44 (28.95)	18 (11.84)	1 (0.66)	0 (0.00)	152 (100.00)
15. ท่านรู้สึกเศร้าจากการทำงานหลังจากขายของไม่ดี หรือลูกค้ามีการตำหนิถึงคุณภาพ	79 (51.97)	39 (25.66)	25 (16.45)	6 (3.95)	3 (1.97)	152 (100.00)
16. ท่านมีความจำไม่ดี/หลงลืม	75 (49.34)	45 (29.61)	26 (17.11)	6 (3.95)	0 (0.00)	152 (100.00)
17. ท่านไม่สามารถจัดการกับความคิดได้หรือมีความรู้สึกสับสน	90 (59.21)	48 (31.58)	12 (7.89)	2 (1.32)	0 (0.00)	152 (100.00)
18. ท่านตั้งสมาธิลำบาก หรือไม่สามารถจดจ่อกับการทำงานได้/สมาธิสั้นลง	94 (61.84)	49 (32.24)	7 (4.61)	1 (0.66)	1 (0.66)	152 (100.00)
19. ท่านรู้สึกเหนื่อยง่าย	37 (24.34)	66 (43.42)	37 (24.34)	11 (7.24)	1 (0.66)	152 (100.00)
20. ท่านรู้สึกป่วย/เป็นหวัดบ่อย	61 (40.13)	64 (42.11)	24 (15.79)	3 (1.97)	0 (0.00)	152 (100.00)

จากตารางที่ 3 พบว่า ผู้ค้าขายในตลาดสดมีความเครียดมากที่สุดในประเด็นอาการปวดตึงกล้ามเนื้อจากการทำงาน อาการปวดหลังจากการทำงานขณะขายของ และความกังวลเกี่ยวกับรายได้หรือเงินไม่เพียงพอ ซึ่งเป็นประเด็นที่มีผู้ตอบในระดับความเครียดปานกลางถึงมากมากกว่าข้อคำถามอื่น ขณะที่ประเด็นด้านความอยากอาหารที่เปลี่ยนแปลงจากปกติ การไม่สามารถจัดการกับความคิดหรือความรู้สึกสับสน และการตั้งสมาธิลำบาก เป็นประเด็นที่ผู้ค้าขายส่วนใหญ่ไม่รู้สึกเครียด ทั้งนี้ ประเด็นด้านอาการปวดเมื่อยจากการทำงาน ซึ่งอาการแสดงนี้เป็นผลเนื่องจากความเครียดภายในที่แสดงออกทางร่างกาย และความกังวลด้านรายได้ ดังนั้นจึงควรมีการจัดกิจกรรมส่งเสริมด้านสุขภาพจิตเพื่อเป็นแนวทางในการผ่อนคลายความเครียด ลดการพัฒนาจากความเครียดที่นำไปสู่ปัญหาสุขภาพจิตอื่นต่อไป

อภิปรายผล

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับความเครียดจากการทำงานของผู้ค้าขายในตลาดสด ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย ผลการศึกษาพบว่า ผู้ค้าขายส่วนใหญ่มีระดับความเครียดจากการทำงานอยู่ในระดับปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 57.89 ทั้งนี้อาจอธิบายได้ว่า ผู้ค้าขายในตลาดสดส่วนใหญ่ต้องประกอบอาชีพภายใต้ข้อจำกัดหลายด้าน ทั้งการทำงานต่อเนื่องเป็นเวลานาน การรับผิดชอบการดำเนินกิจการด้วยตนเอง การลงทุน การจัดหาสินค้า และการเผชิญกับความไม่แน่นอนของรายได้ รวมถึงการแข่งขันทางการค้า ประกอบกับผลการศึกษา พบว่าผู้ค้าขายส่วนใหญ่ทำงานมากกว่า 8 ชั่วโมงต่อวัน และทำงานทุกวัน ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความเหนื่อยล้าสะสมทั้งทางร่างกายและจิตใจ และเพิ่มโอกาสเกิดความเครียดจากการทำงานในระดับปานกลาง ผลการศึกษาครั้งนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Jennifer และ Indra [7] ที่ศึกษาสุขภาพกาย สุขภาพจิต และคุณภาพชีวิตของผู้ค้าริมทางในประเทศอินเดีย ที่พบว่าผู้ค้าริมทางมีความเครียดระดับปานกลาง และปัจจัยด้านอายุ สถานภาพสมรส สภาพแวดล้อมในการทำงาน ทั้งนี้ ผู้วิจัยอธิบายว่าผู้ค้าริมทางต้องเผชิญกับความไม่มั่นคงด้านรายได้ สภาพแวดล้อมการทำงานที่ไม่เอื้ออำนวย และข้อจำกัดในการประกอบอาชีพ ซึ่งล้วนส่งผลกระทบต่อสุขภาพจิตและคุณภาพชีวิตของผู้ประกอบอาชีพ นอกจากนี้ ผลการศึกษายังสอดคล้องกับการศึกษาของ ปณัสต์ดา ทองคำ และ สุนทร ศุภพงษ์ [8] ที่พบว่า ภาระงานและลักษณะงานมีความสัมพันธ์กับความเครียดจากการทำงาน โดยผู้ที่มีภาระงานสูงมีแนวโน้มเกิดความเครียดมากกว่าผู้ที่มีภาระงานต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาครั้งนี้ที่ผู้ค้าขายส่วนใหญ่ทำงานมากกว่า 8 ชั่วโมงต่อวันและทำงานทุกวัน จึงอาจทำให้เกิดความเหนื่อยล้าสะสม และเพิ่มระดับความเครียดจากการทำงาน ผลการศึกษาครั้งนี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาของ นภาพร อุดมลาภ [9] ที่พบว่า ปริมาณงาน ชั่วโมงการทำงาน และภาระหน้าที่ในการปฏิบัติงาน เป็นปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับความเครียดจากการทำงาน สะท้อนให้เห็นว่า ไม่ว่าจะเป็นแรงงานในระบบหรือแรงงานนอกระบบ หากต้องรับผิดชอบงานจำนวนมากหรือมีชั่วโมงการทำงานที่ยาวนาน ย่อมมีโอกาสเกิดความเครียดจากการทำงานเพิ่มขึ้นนอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาของ กชกร หงษ์ศรีจันทร์ วูลเลย์ [10] ที่พบว่า ภาระงานและภาวะหมดไฟในการทำงานมีความสัมพันธ์กับความเครียดจากการทำงาน โดยผู้ที่มีภาระงานสูงมีแนวโน้มเกิดความเครียดสูงกว่าผู้ที่มีภาระงานต่ำ แสดงให้เห็นว่า แม้ว่าลักษณะงานของแต่ละอาชีพจะแตกต่างกัน แต่ภาระงาน ระยะเวลาการทำงาน และความรับผิดชอบในการปฏิบัติงาน ยังคงเป็นปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับความเครียดจากการทำงานในหลายกลุ่มอาชีพ อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาครั้งนี้ ไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ อมลรดา รงค์ทอง และคณะ [11] ที่พบว่า ผู้ประกอบอาชีพค้าขายส่วนใหญ่มีความเครียดอยู่ในระดับน้อย ความแตกต่างดังกล่าวอาจอธิบายได้จากบริบทของพื้นที่ศึกษา ลักษณะและขนาดของตลาด สภาพเศรษฐกิจ ระดับการแข่งขันทางการค้า รายได้ของผู้ค้าขาย ตลอดจนช่วงเวลาที่เก็บรวบรวมข้อมูลที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจส่งผลให้ผู้ค้าขายในแต่ละพื้นที่มีระดับความเครียดจากการทำงานแตกต่างกัน

4. บทสรุป

ผู้ค้าขายในตลาดสดตำบลบ้านดู่ส่วนใหญ่มีระดับความเครียดจากการทำงานอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าผู้ค้าขายยังคงเผชิญกับแรงกดดันจากการประกอบอาชีพอย่างต่อเนื่อง หากไม่ได้รับการส่งเสริมการจัดการความเครียดและการดูแลสุขภาพจิตอย่างเหมาะสม อาจส่งผลให้ความเครียดเพิ่มขึ้นและนำไปสู่ปัญหาสุขภาพกาย จิต และคุณภาพชีวิตในระยะยาว ดังนั้น หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรนำผลการวิจัยไปใช้ในการวางแผนส่งเสริมสุขภาพจิต การจัดการความเครียด และลดปัจจัยเสี่ยงจากการทำงาน เพื่อป้องกันการพัฒนาไปสู่ความเครียดในระดับสูงและลดผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ค้าขายในตลาดสด

5. ข้อเสนอแนะ

5.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลไปใช้

5.1.1. ใช้ผลการวิจัยเป็นข้อมูลในการวางแผนส่งเสริมสุขภาพจิตของผู้ค้าขายในตลาดสด

5.1.2. ส่งเสริมการจัดการปัจจัยเสี่ยงจากการทำงาน เช่น ชั่วโมงการทำงาน

5.1.3. สนับสนุนการจัดกิจกรรมให้ความรู้ด้านการจัดการความเครียดแก่ผู้ค้าขาย

5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

5.2.1. ศึกษาปัจจัยด้านจิตสังคมและสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อความเครียดเพิ่มเติม

5.2.2. เปรียบเทียบระดับความเครียดของผู้ค้าขายในตลาดแต่ละพื้นที่

5.2.3. ศึกษาแนวทางหรือโปรแกรมในการลดความเครียดและประเมินผลหลังการดำเนินงาน

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์และความร่วมมือเป็นอย่างดียิ่งจากคณะผู้บริหาร เจ้าหน้าที่ผู้ประกอบการและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องภายในตลาดสดบ้านดู่ คณาจารย์สาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย และคณาจารย์ของคณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ที่ได้ให้ข้อมูล ข้อคิดเห็น และอำนวยความสะดวกในการเก็บรวบรวมข้อมูลตลอดระยะเวลาการดำเนินงานวิจัย โดยความร่วมมือและการสนับสนุนจากทุกท่านนับเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุกท่านมา ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] World Health Organization. (2022). *WHO guidelines on mental health at work.* https://www.who.int/publications/i/item/9789240053052

[2] International Labour Organization (ILO). (2016). *Workplace stress: A collective challenge.* https://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/resources-library/publications/WCMS_466547/lang–en/index.htm

[3] สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2567). *การสำรวจแรงงานนอกระบบ พ.ศ. 2567.* https://www.nso.go.th/nsoweb/nso/survey_detail/Jb

[4] Karasek, R. A. (1979). Job demands, job decision latitude, and mental strain: Implications for job redesign. *Administrative Science Quarterly, 24*(2), 285–308.

[5] เทศบาลตำบลบ้านดู่. (2568). *จำนวนผู้ค้าขายในตลาดสด ตำบลบ้านดู่ (ข้อมูล ณ วันที่ 5 มกราคม 2568)*

[6] สุวัฒน์ มหัตนิรันดร์กุล, วนิดา พุ่มไพศาลชัย, และพิมพ์มาศ ตาปัญญา. (2540). *รายงานการวิจัยเรื่องการสร้างแบบวัดความเครียดสวนปรุง.* โรงพยาบาลสวนปรุง.

[7] Jennifer, H. G., & Indra, S. (2025). *Street pulse: Unveiling the health mosaic – Exploring physical health, mental wellness, and quality of life among street vendors*. *Journal of Education and Health Promotion, 14*, 129. https://doi.org/10.4103/jehp.jehp_799_24

[8] ปณัสต์ดา ทองคำ, และสุนทร ศุภพงษ์. (2567). ความชุกของความเครียดจากการทำงานและปัจจัยที่เกี่ยวข้องของพนักงานโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่ง. *วารสารสมาคมเวชศาสตร์ป้องกันแห่งประเทศไทย, 14*(2), 230–245.

[9] นภาพร อุดมลาภ. (2566). การศึกษาระดับความเครียดในการทำงานของเจ้าหน้าที่การเงินและบัญชีในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม. *Interdisciplinary Academic and Research Journal, 3*(6), 685–696. https://doi.org/10.60027/iarj.2023.271996

[10] กชกร หงษ์ศรีจันทร์ วูลเลย์. (2568). การพัฒนารูปแบบวิธีการลดความเครียดในบุคลากรสาธารณสุขของสำนักงานสาธารณสุขอำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์. *วารสารวิชาการสาธารณสุขชุมชน, 11*(4), 26–39.

[11] อมลรดา รงค์ทอง, จันทร์จิรา สุพรรณชาติ, และ อนันตชัย ขันเงิน. (2565). ปัจจัยทำนายระดับความเครียดของผู้ประกอบอาชีพค้าขายในเขตเทศบาลตำบลจอมบึง อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์, 10*(2), 114–124.

ความรู้ ทัศนคติ และความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันตนเองจากการใช้สารกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรในตำบลแม่ยาว อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย : การศึกษาเชิงวิเคราะห์ภาคตัดขวาง

Relationships Between Knowledge, Attitudes, and Self-Protective Behaviors Against Pesticide Use Among Farmers in Mae Yao Subdistrict, Mueang Chiang Rai District, Chiang Rai Province: An Analytical Cross-Sectional Study

ธีรภัทร สุขตัว[1] ณิชา วิตรเสถียร[1] ภาสกร วงศ์เปียง[1] นงนุช ไหวหล้า[1] พัชรินทร์ วินยางค์กูล[1]
อนุสรา บุญจิตร[1] และ นุชกานต์ สว่าง[1*]

[1]คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
*E-mail: nootchakarn154@gmail.com

บทคัดย่อ

การใช้สารกำจัดศัตรูพืชอย่างไม่เหมาะสมอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของเกษตรกรและสิ่งแวดล้อม การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการป้องกันตนเองจากการใช้สารกำจัดศัตรูพืช และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรดังกล่าวของเกษตรกรในตำบลแม่ยาว อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย เป็นการวิจัยเชิงวิเคราะห์ภาคตัดขวาง กลุ่มตัวอย่าง 229 คน คัดเลือกแบบเจาะจง เก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถามที่ผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาและความเชื่อมั่น วิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนาและ Spearman's rank correlation ผลการศึกษาพบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีความรู้ระดับปานกลาง (ร้อยละ 71.6) ทัศนคติระดับปานกลาง (ร้อยละ 86.0) และพฤติกรรมการป้องกันตนเองระดับต่ำ (ร้อยละ 78.6) ความรู้มีความสัมพันธ์เชิงบวกระดับต่ำกับพฤติกรรมการป้องกันตนเองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($rs = 0.266$, $p < 0.001$) ขณะที่ทัศนคติไม่พบความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันตนเอง ผลการศึกษาสนับสนุนความสำคัญของการส่งเสริมความรู้ด้านการใช้สารกำจัดศัตรูพืชอย่างปลอดภัย ควบคู่กับการสนับสนุนอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลและปัจจัยแวดล้อมที่เอื้อต่อการป้องกันตนเอง

คำสำคัญ: สารกำจัดศัตรูพืช เกษตรกร ความรู้ ทัศนคติ พฤติกรรมการป้องกันตนเอง

Abstract

Improper pesticide use may adversely affect farmers' health and the environment. This study aimed to assess knowledge, attitudes, and self-protective behaviors regarding pesticide use and examine their relationships among farmers in Mae Yao Subdistrict, Mueang Chiang Rai District, Chiang Rai Province, Thailand. An analytical cross-sectional study was conducted among 229 farmers selected through purposive sampling. Data were collected using a questionnaire assessed for content validity and reliability and analyzed using descriptive statistics and Spearman's rank correlation. Most participants had moderate levels of knowledge (71.6%) and attitudes (86.0%), while self-protective behaviors were predominantly low (78.6%). Knowledge was significantly and positively correlated with self-protective behaviors at a low level ($rs = 0.266$, $p < 0.001$), whereas attitudes were not significantly correlated with self-protective behaviors. The findings support the importance of promoting knowledge of safe pesticide use alongside access to personal protective equipment and supportive environmental factors to enhance self-protective behaviors among farmers.

Keywords: Pesticides, Farmers, Knowledge, Attitudes, Self-protective behavior

1. บทนำ

สารกำจัดศัตรูพืชเป็นปัจจัยการผลิตที่มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มผลผลิตและลดความเสียหายจากศัตรูพืชในภาคการเกษตร อย่างไรก็ตาม การใช้สารกำจัดศัตรูพืชอย่างไม่เหมาะสมหรือขาดมาตรการป้องกันที่ถูกต้องอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของเกษตรกร ครอบครัว ผู้บริโภค และสิ่งแวดล้อม ทั้งในรูปแบบของการได้รับพิษเฉียบพลันและผลกระทบเรื้อรัง เช่น ความผิดปกติของระบบประสาท ระบบทางเดินหายใจ ระบบต่อมไร้ท่อ ระบบสืบพันธุ์ และการเพิ่มความเสี่ยงต่อโรคมะเร็งบางชนิด นอกจากนี้ การปนเปื้อนของสารกำจัดศัตรูพืชยังส่งผลต่อความปลอดภัยของอาหารและสิ่งแวดล้อม ทำให้การจัดการการใช้สารกำจัดศัตรูพืชอย่างปลอดภัยเป็นประเด็นสำคัญด้านสาธารณสุข และความปลอดภัยในการทำงานทั่วโลก [1]

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีการใช้สารกำจัดศัตรูพืชอย่างแพร่หลายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต แม้ว่าหน่วยงานภาครัฐจะดำเนินมาตรการส่งเสริมการใช้สารกำจัดศัตรูพืชอย่างปลอดภัยอย่างต่อเนื่อง แต่ยังพบว่าเกษตรกรจำนวนหนึ่งมีพฤติกรรมการใช้สารกำจัดศัตรูพืชที่ไม่เหมาะสม เช่น การไม่สวมอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลอย่างครบถ้วน การผสมสารเคมีโดยไม่ปฏิบัติตามคำแนะนำ และการจัดเก็บหรือกำจัดภาชนะบรรจุสารกำจัดศัตรูพืชไม่ถูกวิธี ซึ่งเพิ่มความเสี่ยงต่อการสัมผัสสารพิษทั้งในระยะสั้นและระยะยาว [2] นอกจากนี้ ยังมีรายงานการตรวจพบสารกำจัดแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตตกค้างในผักที่จำหน่ายในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงการใช้สารกำจัดศัตรูพืชอย่างต่อเนื่องในภาคการเกษตร และชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการส่งเสริมการใช้สารกำจัดศัตรูพืชอย่างถูกต้องและปลอดภัยตลอดห่วงโซ่การผลิต [3] จังหวัดเชียงรายเป็นจังหวัดที่มีการประกอบอาชีพเกษตรกรรมอย่างหลากหลาย โดยเฉพาะตำบลแม่ยาว อำเภอเมืองเชียงราย ซึ่งมีพืชเศรษฐกิจสำคัญ ได้แก่ ข้าว ยางพารา ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ลำไย ชา สับปะรด กาแฟ มันสำปะหลัง และลิ้นจี่ พืชเหล่านี้ส่วนใหญ่ต้องอาศัยการใช้สารกำจัดศัตรูพืชในหลายระยะของการเพาะปลูก ซึ่งจากการสัมภาษณ์และสำรวจข้อมูลเชิงบริบทของพื้นที่ตำบลแม่ยาว พบว่า เกษตรกรมีการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชปริมาณสูงจึงทำให้เพิ่มโอกาสการรับสัมผัสสารเคมีฯจากการเตรียมสาร การผสมสาร การฉีดพ่น การจัดเก็บ และการกำจัดภาชนะบรรจุสารเคมี ทำให้มีส่งผลกระทบต่อสุขภาพจากการใช้สารกำจัดศัตรูพืชในระยะยาวได้

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า ความรู้เกี่ยวกับการใช้สารกำจัดศัตรูพืชอย่างปลอดภัยมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับพฤติกรรมการป้องกันตนเองของเกษตรกร โดยผู้ที่มีระดับความรู้สูงมีแนวโน้มปฏิบัติพฤติกรรมด้านความปลอดภัยได้ดีกว่า ขณะที่ทัศนคติและการรับรู้ความเสี่ยงสามารถสนับสนุนการเกิดพฤติกรรมการป้องกันตนเองได้ แต่ประสิทธิผลของทัศนคติยังขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านเศรษฐกิจ สังคม สิ่งแวดล้อม และการเข้าถึงอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลร่วมด้วย [4, 5] แม้ว่าจะมีการศึกษาประเด็นดังกล่าวในหลายพื้นที่ของประเทศไทย แต่ข้อมูลเชิงประจักษ์ของเกษตรกรในตำบลแม่ยาว อำเภอเมืองเชียงราย ยังมีอยู่อย่างจำกัด และยังไม่มีการศึกษาที่มุ่งวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการป้องกันตนเองในบริบทของพื้นที่ดังกล่าวโดยตรง ผลการศึกษาจึงมีความสำคัญในการสร้างหลักฐานเชิงประจักษ์เพื่อสนับสนุนการวางแผนมาตรการส่งเสริมสุขภาพ การเฝ้าระวังความเสี่ยง และการกำหนดนโยบายด้านอาชีวอนามัยสำหรับเกษตรกรในระดับท้องถิ่น รวมทั้งเป็นข้อมูลประกอบการพัฒนามาตรการป้องกันการสัมผัสสารกำจัดศัตรูพืชให้เหมาะสมกับบริบทของพื้นที่

ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการป้องกันตนเองจากการใช้สารกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรในตำบลแม่ยาว อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการป้องกันตนเอง โดยผลการศึกษาคาดว่าจะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สามารถนำไปใช้ในการวางแผนและพัฒนามาตรการส่งเสริมการใช้สารกำจัดศัตรูพืชอย่างปลอดภัย ตลอดจนสนับสนุนการกำหนดนโยบายด้านอาชีวอนามัยและสาธารณสุขสำหรับเกษตรกรในพื้นที่และบริบทที่ใกล้เคียงต่อไป

2. วิธีการวิจัย

2.1 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาระดับความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการป้องกันตนเองจากการใช้สารกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรในตำบลแม่ยาว อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย
2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการป้องกันตนเองจากการใช้สารกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรในตำบลแม่ยาว อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย

2.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ เกษตรกรที่อาศัยอยู่ในตำบลแม่ยาว อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย ซึ่งมีรายชื่ออยู่ในฐานข้อมูลทะเบียนเกษตรกรของเทศบาลตำบลแม่ยาว สำหรับการคัดเลือกผู้เข้าร่วมการวิจัยจำนวนทั้งสิ้น 1,964 ครัวเรือน โดยกำหนดให้มีผู้ให้ข้อมูลเพียง 1 คนต่อครัวเรือน ซึ่งเป็นผู้ใช้สารกำจัดศัตรูพืชเป็นประจำหรือเป็นผู้มีบทบาทหลักในการใช้สารกำจัดศัตรูพืชของครัวเรือน

ขนาดกลุ่มตัวอย่างคำนวณด้วยโปรแกรม G*Power version 3.1.9.7 กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) เท่ากับ 0.05 อำนาจการทดสอบ (Power; $1-\beta$) เท่ากับ 0.80 และกำหนดค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่คาดหวัง (expected correlation coefficient) เท่ากับ 0.20 (ซึ่งเป็นค่าขนาดอิทธิพลระดับเล็กถึงปานกลาง (small-to-moderate effect size)) โดยอ้างอิงจากงานวิจัยก่อนหน้าที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมด้านความปลอดภัยในการใช้สารกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร ซึ่งรายงานค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในช่วงประมาณ 0.176–0.196 ผลการคำนวณได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างขั้นต่ำจำนวน 194 คน เพื่อรองรับการสูญเสียข้อมูลจากการเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ผู้วิจัยจึงกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างเป้าหมายจำนวน 229 คน และสามารถเก็บรวบรวมข้อมูลที่สมบูรณ์เพื่อนำมาวิเคราะห์ได้ครบทั้ง 229 คน

ผู้วิจัยเลือกพื้นที่ศึกษาแบบเจาะจง (Purposive selection) โดยเลือกหมู่บ้านที่มีการประกอบอาชีพเกษตรกรรม มีการใช้สารกำจัดศัตรูพืช และผู้นำชุมชนให้ความร่วมมือในการดำเนินการวิจัย จากนั้นใช้รายชื่อเกษตรกรจากฐานข้อมูลของเทศบาลตำบลแม่ยาวเป็นกรอบตัวอย่าง (Sampling frame) และดำเนินการคัดเลือกผู้เข้าร่วมการวิจัยแบบต่อเนื่อง (Consecutive sampling) จนครบจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่กำหนด ทั้งนี้ ผู้เข้าร่วมการวิจัยทุกคนเข้าร่วมด้วยความสมัครใจและเป็นไปตามเกณฑ์การคัดเข้า

สำหรับเกณฑ์การคัดเข้า ได้แก่ (1) มีอายุ 18 ปีบริบูรณ์ขึ้นไป (2) อาศัยอยู่ในพื้นที่ศึกษาไม่น้อยกว่า 6 เดือน (3) เป็นผู้ที่มีประสบการณ์การใช้หรือสัมผัสสารกำจัดศัตรูพืชทั้งในอดีตหรือปัจจุบัน และ (4) สมัครใจเข้าร่วมการวิจัยพร้อมลงนามในหนังสือแสดงความยินยอม ส่วนเกณฑ์การคัดออก ได้แก่ ผู้ที่ไม่สามารถสื่อสารหรือให้ข้อมูลได้ด้วยตนเอง และผู้ที่ถอนตัวจากการวิจัยก่อนการเก็บรวบรวมข้อมูลแล้วเสร็จ

2.3 รูปแบบและขั้นตอนการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงวิเคราะห์ภาคตัดขวาง (Analytical cross-sectional study) เพื่อศึกษาระดับความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการป้องกันตนเองจากการใช้สารกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกร และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการป้องกันตนเองในตำบลแม่ยาว อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย โดยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลระหว่างเดือนมิถุนายน พ.ศ.2568 - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2569

2.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

แบบสอบถามได้รับการพัฒนาจากการทบทวนวรรณกรรม แนวทางของ WHO และ FAO และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผ่านการปรับให้เหมาะสมกับบริบทของเกษตรกรไทย ก่อนนำเสนอผู้ทรงคุณวุฒิประเมินความตรงเชิงเนื้อหา โดยแบบสอบถามประกอบด้วย 4 ส่วน ได้แก่ (1) ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม (2) ความรู้เกี่ยวกับการใช้สารกำจัดศัตรูพืชและการป้องกันตนเอง (3) ทัศนคติต่อการป้องกันตนเองจากการใช้สารกำจัดศัตรูพืช และ (4) พฤติกรรมการป้องกันตนเองจากการใช้สารกำจัดศัตรูพืช

แบบสอบถามส่วนความรู้เป็นข้อคำถามแบบตอบถูก–ผิด โดยตอบถูกให้ 1 คะแนน และตอบผิดให้ 0 คะแนน ส่วนแบบสอบถามด้านทัศนคติและพฤติกรรมใช้มาตรประมาณค่าแบบลิเคิร์ท (Likert scale) 5 ระดับ ตั้งแต่ 1 = ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง/ไม่เคยปฏิบัติ ถึง 5 = เห็นด้วยอย่างยิ่ง/ปฏิบัติเป็นประจำ

การแปลผลคะแนนใช้เกณฑ์การแบ่งระดับของ Best [6] โดยคำนวณช่วงคะแนนจากสูตร (คะแนนสูงสุด – คะแนนต่ำสุด) ÷ จำนวนระดับที่ต้องการ และจำแนกผลออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ ระดับปานกลาง และระดับสูง ทั้งนี้ การกำหนดช่วงคะแนนของแต่ละด้านพิจารณาตามจำนวนข้อคำถามของแบบสอบถามในแต่ละองค์ประกอบ เพื่อให้การแปลผลสอดคล้องกับคะแนนรวมของแต่ละตัวแปร

2.5 การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือวิจัย

แบบสอบถามได้รับการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) โดยผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านอาชีวอนามัย ผู้เชี่ยวชาญด้านการจัดการสารเคมีและการตอบโต้เหตุฉุกเฉิน และผู้เชี่ยวชาญด้านเวชปฏิบัติและการดูแลสุขภาพปฐมภูมิ ผลการประเมินพบว่าทุกข้อคำถามมีค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ (Index of Item–Objective Congruence: IOC) ตั้งแต่ 0.67–1.00 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

จากนั้นนำแบบสอบถามที่ปรับปรุงแล้วไปทดลองใช้กับเกษตรกรจำนวน 40 คน ในตำบลดอยฮาง อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับพื้นที่ศึกษา และไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างของการวิจัยครั้งนี้ ผลการวิเคราะห์ความเชื่อมั่นของแบบสอบถามด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient) มีค่าตั้งแต่ 0.70 ขึ้นไปทุกด้าน แสดงว่าเครื่องมือมีความเชื่อมั่นอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในการวิจัย

2.6 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ภายหลังได้รับการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ ผู้วิจัยได้ประสานความร่วมมือกับเทศบาลตำบลแม่ยาวและผู้นำชุมชนเพื่อชี้แจงวัตถุประสงค์ของการวิจัยและวางแผนการเก็บรวบรวมข้อมูล พร้อมทั้งได้รับรายชื่อเกษตรกรจากเทศบาลตำบลแม่ยาวเพื่อใช้เป็นกรอบตัวอย่าง (sampling frame) สำหรับการคัดเลือกผู้เข้าร่วมการวิจัยตามเกณฑ์ที่กำหนด

ก่อนเริ่มการเก็บข้อมูล ผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัยได้รับการชี้แจงเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการศึกษา ขั้นตอนการสัมภาษณ์ วิธีการใช้แบบสอบถาม และหลักจริยธรรมการวิจัย เพื่อให้การเก็บข้อมูลเป็นไปในแนวทางเดียวกันและลดความคลาดเคลื่อนของผู้สัมภาษณ์ (interviewer bias)

การเก็บข้อมูลดำเนินการระหว่างเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2568 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2569 โดยใช้การสัมภาษณ์แบบเผชิญหน้า (face-to-face interview) ด้วยแบบสอบถามที่ผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาและความเชื่อมั่นแล้ว ผู้เข้าร่วมการวิจัยทุกคนได้รับคำอธิบายเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ ขั้นตอน ประโยชน์ ความเสี่ยง และสิทธิในการปฏิเสธหรือถอนตัวจากการวิจัยได้ทุกเมื่อโดยไม่ส่งผลกระทบต่อสิทธิของตน ก่อนลงนามในหนังสือแสดงความยินยอมเข้าร่วมการวิจัย การสัมภาษณ์ใช้เวลาประมาณ 20–30 นาทีต่อราย

เพื่อควบคุมคุณภาพข้อมูล ผู้วิจัยตรวจสอบความครบถ้วนและความถูกต้องของแบบสอบถามทุกฉบับทันทีภายหลังการสัมภาษณ์ หากพบข้อมูลไม่สมบูรณ์หรือมีข้อสงสัย จะดำเนินการสอบถามเพิ่มเติมในขณะนั้น จากนั้นจึงดำเนินการเข้ารหัสข้อมูล (data coding) บันทึกข้อมูลลงในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลซ้ำ (double-checking) ก่อนการวิเคราะห์ (data cleaning) เพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากการบันทึกข้อมูล การศึกษาครั้งนี้ไม่พบข้อมูลสูญหาย (missing data) เนื่องจากผู้เข้าร่วมการวิจัยตอบแบบสอบถามครบทุกข้อ จึงนำข้อมูลทั้งหมดจำนวน 229 ชุดเข้าสู่การวิเคราะห์ทางสถิติ

2.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติด้วยโปรแกรม Jamovi version 2.7 โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่ออธิบายลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง ระดับความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการป้องกันตนเองจากการใช้สารกำจัดศัตรูพืช ส่วนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการป้องกันตนเอง ใช้สถิติ Spearman's rank correlation coefficient เนื่องจากข้อมูลไม่เป็นไปตามการแจกแจงแบบปกติ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

2.8 การพิทักษ์สิทธิ์ผู้เข้าร่วมการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์จากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เลขที่รับรอง 053-2568-Exp ก่อนเริ่มการเก็บข้อมูล ผู้เข้าร่วมการวิจัยทุกคนได้รับคำอธิบายเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ ขั้นตอน ประโยชน์ ความเสี่ยง และสิทธิในการปฏิเสธหรือถอนตัวจากการวิจัยได้ทุกเมื่อโดยไม่ส่งผลกระทบต่อสิทธิหรือการรับบริการใด ๆ ผู้เข้าร่วมที่สมัครใจได้ลงนามในหนังสือแสดงความยินยอมก่อนเข้าร่วมการวิจัย โดยข้อมูลทั้งหมดถูกเก็บรักษาเป็นความลับ ใช้รหัสแทนชื่อ และรายงานผลในภาพรวมเพื่อป้องกันการระบุตัวตนของผู้เข้าร่วมการวิจัย

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผลการวิจัย

3.1 ผลการศึกษาวิจัย

ตารางที่ 1 ลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง (n = 229)

ลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง	จำนวน (n = 229)	ร้อยละ (%)
เพศ		
ชาย	93	40.6
หญิง	136	59.4
อายุ (ปี)		
ค่าเฉลี่ย ± SD	49.9±7.82	
มัธยฐาน (IQR)	52 (11)	
สถานภาพสมรส		
โสด	46	20.1
สมรส	173	75.5
หม้าย	5	2.2
หย่า/แยกกันอยู่	5	2.2
ระดับการศึกษา		
ไม่ได้เรียนหนังสือ	79	34.5
ประถมศึกษา	83	36.2
มัธยมศึกษาตอนต้น	31	13.5
มัธยมศึกษาตอนปลาย/ปวช.	20	8.7
ปวส./อนุปริญญา	8	3.5
ปริญญาตรีหรือสูงกว่า	8	3.5
รายได้เฉลี่ยต่อเดือน (บาท)		
ค่าเฉลี่ย ± SD	54,264±57,641	
มัธยฐาน (IQR)	30,000 (60,000)	
พิสัย	1,500–600,000	
การใช้สารเคมีทางการเกษตร(ปัจจุบัน)		
ใช้สารเคมี	198	86.5
ไม่ใช้สารเคมี	31	13.5
เวลาในการใช้สารเคมีต่อครั้ง (นาที)		
ค่าเฉลี่ย ± SD	253±194	
มัธยฐาน (IQR)	240 (420)	
พิสัย	0–720	

หมายเหตุ: ข้อมูลตัวแปรเชิงกลุ่มรายงานเป็นจำนวนและร้อยละ [n (%)] ส่วนตัวแปรต่อเนื่องรายงานเป็นค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean±SD) ค่ามัธยฐานและพิสัยระหว่างควอไทล์ [Median (IQR)] รวมทั้งค่าต่ำสุด–สูงสุด (Min–Max) ตามลักษณะการแจกแจงของข้อมูล

กลุ่มตัวอย่างจำนวนทั้งสิ้น 229 คน ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 136 คน (ร้อยละ 59.4) และเพศชาย จำนวน 93 คน (ร้อยละ 40.6) มีอายุเฉลี่ย 49.9±7.82 ปี ค่ามัธยฐาน 52 ปี (IQR = 11) โดยมีช่วงอายุระหว่าง 29–60 ปี ส่วนด้านสถานภาพสมรส พบว่าส่วนใหญ่สมรส จำนวน 173 คน (ร้อยละ 75.5) รองลงมาคือโสด จำนวน 46 คน (ร้อยละ 20.1) ส่วนผู้ที่มีสถานภาพหม้ายและหย่าหรือแยกกันอยู่มีจำนวนเท่ากัน คือ 5 คน (ร้อยละ 2.2)

ด้านการศึกษา พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษา จำนวน 83 คน (ร้อยละ 36.2) รองลงมาไม่ได้เรียนหนังสือ จำนวน 79 คน (ร้อยละ 34.5) และระดับมัธยมศึกษาตอนต้น จำนวน 31 คน (ร้อยละ 13.5) ขณะที่ผู้ที่สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายหรือประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) หรืออนุปริญญา และระดับปริญญาตรีหรือสูงกว่า มีสัดส่วนร้อยละ 8.7, 3.5 และ 3.5 ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างมีรายได้เฉลี่ยต่อเดือน 54,264±57,641 บาท ค่ามัธยฐาน 30,000 บาท (IQR = 60,000) โดยมีรายได้อยู่ระหว่าง 1,500–600,000 บาท

สำหรับการใช้สารกำจัดศัตรูพืชในปัจจุบัน พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ยังคงใช้สารกำจัดศัตรูพืช จำนวน 198 คน (ร้อยละ 86.5) ขณะที่ 31 คน (ร้อยละ 13.5) ไม่ได้ใช้สารกำจัดศัตรูพืชในช่วงเวลาที่ศึกษา ทั้งนี้ กลุ่มตัวอย่างมีระยะเวลาใช้สารกำจัดศัตรูพืชเฉลี่ย 253±194 นาทีต่อครั้ง ค่ามัธยฐาน 240 นาที (IQR = 420) และมีช่วงเวลาอยู่ระหว่าง 0–720 นาที ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 2 ระดับความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการป้องกันตนเองจากการใช้สารเคมีทางการเกษตรของกลุ่มตัวอย่าง (n = 229)

ตัวแปร	Mean±SD	Median (IQR)	Min–Max	ระดับ	n (%)
ความรู้	6.52 ± 1.30	6 (2)	3–10	ต่ำ	9 (3.9)
				ปานกลาง	164 (71.6)
				สูง	56 (24.5)
ทัศนคติ	30.00±4.78	31 (6)	13–44	ต่ำ	24 (10.5)
				ปานกลาง	197 (86.0)
				สูง	8 (3.5)
พฤติกรรมการป้องกันตนเอง	24.10±7.77	24 (11)	13–42	ต่ำ	180 (78.6)
				ปานกลาง	49 (21.4)
				สูง	0 (0.0)

หมายเหตุ: ตัวแปรต่อเนื่องรายงานเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean ± SD) ค่ามัธยฐานและพิสัยระหว่างควอไทล์ [Median (IQR)] และค่าต่ำสุด–สูงสุด (Min–Max) ส่วนตัวแปรเชิงกลุ่มรายงานเป็นจำนวนและร้อยละ [n (%)]

ผลการประเมินระดับความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการป้องกันตนเองของเกษตรกรจำนวน 229 คน พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีคะแนนความรู้เฉลี่ย 6.52±1.30 คะแนน ค่ามัธยฐาน 6 คะแนน (IQR = 2) โดยมีคะแนนอยู่ระหว่าง 3–10 คะแนน เมื่อจำแนกตามระดับความรู้ พบว่าส่วนใหญ่มีความรู้อยู่ในระดับปานกลาง จำนวน 164 คน (ร้อยละ 71.6) รองลงมามีความรู้อยู่ในระดับสูง จำนวน 56 คน (ร้อยละ 24.5) และมีความรู้อยู่ในระดับต่ำ จำนวน 9 คน (ร้อยละ 3.9)

ด้านทัศนคติ กลุ่มตัวอย่างมีคะแนนเฉลี่ย 30.00±4.78 คะแนน ค่ามัธยฐาน 31 คะแนน (IQR = 6) และมีคะแนนอยู่ระหว่าง 13–44 คะแนน โดยส่วนใหญ่มีทัศนคติอยู่ในระดับปานกลาง จำนวน 197 คน (ร้อยละ 86.0) รองลงมามีทัศนคติอยู่ในระดับต่ำ จำนวน 24 คน (ร้อยละ 10.5) และมีทัศนคติอยู่ในระดับสูงเพียง 8 คน (ร้อยละ 3.5)

สำหรับพฤติกรรมการป้องกันตนเองจากการใช้สารกำจัดศัตรูพืช พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีคะแนนเฉลี่ย 24.10±7.77 คะแนน ค่ามัธยฐาน 24 คะแนน (IQR = 11) โดยมีคะแนนอยู่ระหว่าง 13–42 คะแนน ทั้งนี้ กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีพฤติกรรมการป้องกันตนเองอยู่ในระดับต่ำ จำนวน 180 คน (ร้อยละ 78.6) รองลงมามีพฤติกรรมอยู่ในระดับปานกลาง จำนวน 49 คน (ร้อยละ 21.4) และไม่พบผู้ที่มีพฤติกรรมอยู่ในระดับสูง ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการป้องกันตนเองจากการใช้สารเคมีทางการเกษตรของกลุ่มตัวอย่าง (n = 229) ด้วยสถิติ Spearman's rank correlation

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร	r_s	p-value
ความรู้ - ทัศนคติ	-0.044	0.507
ความรู้ - พฤติกรรมการป้องกันตนเอง	0.266	<0.001*
ทัศนคติ - พฤติกรรมการป้องกันตนเอง	0.024	0.722

หมายเหตุ: วิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสถิติ Spearman's rank correlation coefficient (r_s) ;
*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการป้องกันตนเองจากการใช้สารกำจัดศัตรูพืช ด้วยสถิติ Spearman's rank correlation พบว่า ความรู้มีความสัมพันธ์เชิงบวกระดับต่ำกับพฤติกรรมการป้องกันตนเองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (r_s = 0.266, p < 0.001) อย่างไรก็ตาม ไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างทัศนคติกับพฤติกรรมการป้องกันตนเอง (r_s = 0.024, p = 0.722) และไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความรู้กับทัศนคติ (r_s = -0.044, p = 0.507) ดังแสดงในตารางที่ 3

3.2 อภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการป้องกันตนเองจากการใช้สารกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรในตำบลแม่ยาว อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย รวมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการป้องกันตนเอง ผลการศึกษาพบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่มีความรู้อยู่ในระดับปานกลาง (ร้อยละ 71.6) และมีทัศนคติอยู่ในระดับปานกลาง (ร้อยละ 86.0) ขณะที่พฤติกรรมการป้องกันตนเองจากการใช้สารกำจัดศัตรูพืชส่วนใหญ่อยู่ในระดับต่ำ (ร้อยละ 78.6) ผลการศึกษาดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า แม้เกษตรกรจะมีความรู้พื้นฐานและมีทัศนคติในระดับที่เหมาะสม แต่ยังไม่สามารถนำไปสู่การปฏิบัติพฤติกรรมการป้องกันตนเองได้อย่างเพียงพอ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากข้อจำกัดด้านการเข้าถึงอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล ความไม่สะดวกในการใช้อุปกรณ์ระหว่างปฏิบัติงาน ต้นทุนของอุปกรณ์ ความเคยชินในการทำงาน รวมถึงข้อจำกัดด้านเศรษฐกิจและสภาพแวดล้อมในการทำงาน ซึ่งล้วนส่งผลต่อการตัดสินใจปฏิบัติพฤติกรรมด้านความปลอดภัย ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Aye และคณะ [8] ที่รายงานว่า แม้เกษตรกรจะมีความรู้เกี่ยวกับการป้องกันอันตรายจากสารกำจัดศัตรูพืชในระดับหนึ่ง แต่ยังคงพบพฤติกรรมการใช้สารกำจัดศัตรูพืชที่ไม่ปลอดภัย โดยปัจจัยด้านการสนับสนุนจากครอบครัว บุคลากรสาธารณสุข และความพร้อมของอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการป้องกันตนเอง นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ Tritipsombut และคณะ [7] ที่พบว่าเกษตรกรส่วนใหญ่มีความรู้และทัศนคติอยู่ในระดับปานกลาง แต่การปฏิบัติด้านความปลอดภัยยังไม่เหมาะสม โดยเฉพาะการใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลอย่างครบถ้วน

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์พบว่า ความรู้มีความสัมพันธ์เชิงบวกระดับต่ำกับพฤติกรรมการป้องกันตนเองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (r_s = 0.266, p < 0.001) แสดงให้เห็นว่าเกษตรกรที่มีความรู้เกี่ยวกับการใช้สารกำจัดศัตรูพืชมากขึ้นมีแนวโน้มที่จะปฏิบัติพฤติกรรมการป้องกันตนเองได้เหมาะสมมากขึ้น แม้ว่าความสัมพันธ์จะอยู่ในระดับต่ำก็ตาม ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Suphim และ Songthap [8] ซึ่งพบว่าความรู้เกี่ยวกับการใช้สารกำจัดศัตรูพืชเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการใช้สารกำจัดศัตรูพืชอย่างปลอดภัย ร่วมกับการสนับสนุนทางสังคม การอ่านฉลากสารกำจัดศัตรูพืช การรับรู้ความสามารถของตนเอง และการรับรู้ความรุนแรงของผลกระทบจากการใช้สารกำจัดศัตรูพืช นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ Pandiyan และคณะ [4] ที่รายงานว่าความรู้เกี่ยวกับสารกำจัดศัตรูพืชมีบทบาทสำคัญต่อการส่งเสริมพฤติกรรมการป้องกันตนเอง แม้ว่าการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมจะยังขึ้นอยู่กับปัจจัยสนับสนุนอื่นร่วมด้วย ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดด้านพฤติกรรมสุขภาพ ซึ่งอธิบายว่าความรู้เป็นปัจจัยพื้นฐานที่ช่วยให้บุคคลตระหนักถึงความเสี่ยงและนำไปสู่การตัดสินใจเลือกปฏิบัติพฤติกรรมที่เหมาะสม อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมไม่ได้ขึ้นอยู่กับความรู้เพียงอย่างเดียว แต่ยังได้รับอิทธิพลจากปัจจัยด้านการรับรู้ความสามารถของตนเอง การสนับสนุนทางสังคม การเข้าถึงทรัพยากร และการลดอุปสรรคในการปฏิบัติจริง

ในทางตรงกันข้าม การศึกษาครั้งนี้ไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างทัศนคติกับพฤติกรรมการป้องกันตนเอง (r_s = 0.024, p = 0.722) และไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความรู้กับทัศนคติ (r_s = -0.044, p = 0.507) แสดงให้เห็นว่าในกลุ่มเกษตรกรพื้นที่ศึกษานี้ การมีทัศนคติที่ดีหรือการมีความรู้เพียงอย่างเดียวอาจยังไม่เพียงพอที่จะนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมได้ หากยังมีข้อจำกัดด้านทรัพยากร สภาพการทำงาน และปัจจัยสนับสนุนอื่น ๆ ผลการศึกษานี้แตกต่างจาก Aye และคณะ [9] ที่รายงานว่าทัศนคติต่อการได้รับพิษจากสารกำจัดศัตรูพืชมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมด้านความปลอดภัย ความแตกต่างดังกล่าวอาจเกิดจากบริบทของพื้นที่ศึกษา ชนิดของพืชที่เพาะปลูก รูปแบบการใช้สารกำจัดศัตรูพืช ตลอดจนลักษณะทางเศรษฐกิจและสังคมของเกษตรกรที่แตกต่างกัน ในทำนองเดียวกัน Udayanga และคณะ [5] รายงานว่า แม้เกษตรกรจะมีทัศนคติที่ดีต่อการใช้สารกำจัดศัตรูพืชอย่างปลอดภัย แต่ข้อจำกัดด้านต้นทุน การเข้าถึงอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล และการสนับสนุนจากชุมชน ยังคงเป็นอุปสรรคสำคัญต่อการปฏิบัติพฤติกรรมที่เหมาะสม ดังนั้น การส่งเสริมการป้องกันตนเองของเกษตรกรควรมุ่งเน้นการพัฒนาความรู้ควบคู่กับการลดอุปสรรคในการปฏิบัติจริง เช่น การสนับสนุนอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล การจัดอบรมเชิงปฏิบัติการอย่างต่อเนื่อง การติดตามให้คำแนะนำภาคสนาม และการมีส่วนร่วมของหน่วยงานสาธารณสุข องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และภาคีเครือข่ายในชุมชน เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมด้านความปลอดภัยอย่างยั่งยืน

อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งนี้มีข้อจำกัดบางประการที่ควรพิจารณาในการแปลผล ได้แก่ การศึกษาเป็นการวิจัยเชิงวิเคราะห์ภาคตัดขวาง (cross-sectional study) ซึ่งไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลได้ ข้อมูลทั้งหมดได้จากแบบสอบถามที่ผู้เข้าร่วมวิจัยตอบด้วยตนเอง จึงอาจเกิดอคติจากการรายงานข้อมูล (self-report bias) และการศึกษาในพื้นที่ตำบลแม่ยาวเพียงแห่งเดียวอาจจำกัดการอ้างอิงผลการศึกษาไปยังพื้นที่อื่นที่มีบริบททางการเกษตรแตกต่างกัน ดังนั้น การศึกษาครั้งต่อไปควรขยายพื้นที่ศึกษาและใช้รูปแบบการวิจัยที่สามารถติดตามผลในระยะยาวหรือประเมินผลของมาตรการแทรกแซง เพื่อให้ได้หลักฐานเชิงประจักษ์ที่ชัดเจนยิ่งขึ้น

4. บทสรุป

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการป้องกันตนเองจากการใช้สารกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรในตำบลแม่ยาว อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย รวมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความรู้ ทัศนคติ และพฤติกรรมการป้องกันตนเอง ผลการศึกษาพบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่มีความรู้อยู่ในระดับปานกลาง มีทัศนคติอยู่ในระดับปานกลาง และมีพฤติกรรมการป้องกันตนเองอยู่ในระดับต่ำ โดยความรู้มีความสัมพันธ์เชิงบวกระดับต่ำกับพฤติกรรมการป้องกันตนเองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่ไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่างทัศนคติกับพฤติกรรมการป้องกันตนเอง เนื่องจากตำบลแม่ยาวเป็นพื้นที่เกษตรกรรมที่มีการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจหลากหลาย ได้แก่ ข้าว ยางพารา ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ลำไย ชา สับปะรด กาแฟ มันสำปะหลัง และลิ้นจี่ ซึ่งต้องอาศัยการใช้สารกำจัดศัตรูพืชในกระบวนการผลิต เกษตรกรจึงมีโอกาสสัมผัสสารกำจัดศัตรูพืชในหลายขั้นตอนของการทำงาน ผลการศึกษาที่พบว่าพฤติกรรมการป้องกันตนเองของเกษตรกรส่วนใหญ่อยู่ในระดับต่ำ สะท้อนถึงความจำเป็นในการส่งเสริมการปฏิบัติด้านความปลอดภัยให้เหมาะสมยิ่งขึ้น โดยเฉพาะการใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล การจัดเก็บสารกำจัดศัตรูพืช และการกำจัดภาชนะบรรจุสารเคมีอย่างถูกวิธี เพื่อลดความเสี่ยงต่อผลกระทบด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การส่งเสริมความรู้เกี่ยวกับการใช้สารกำจัดศัตรูพืชอย่างปลอดภัยเป็นปัจจัยหนึ่งที่อาจช่วยสนับสนุนการพัฒนาพฤติกรรมการป้องกันตนเองของเกษตรกร อย่างไรก็ตาม การยกระดับพฤติกรรมด้านความปลอดภัยควรดำเนินควบคู่กับการพัฒนาทักษะการปฏิบัติ การสนับสนุนการเข้าถึงอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล และการมีส่วนร่วมของหน่วยงานด้านสาธารณสุข องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และภาคีเครือข่ายในชุมชน เพื่อส่งเสริมการใช้สารกำจัดศัตรูพืชอย่างปลอดภัยและลดความเสี่ยงต่อสุขภาพของเกษตรกรอย่างยั่งยืน

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงวิเคราะห์ภาคตัดขวาง จึงไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลได้ อีกทั้งดำเนินการเฉพาะในพื้นที่ตำบลแม่ยาว อำเภอเมืองเชียงราย ซึ่งมีบริบททางการเกษตรเฉพาะพื้นที่ ดังนั้น การศึกษาครั้งต่อไปควรขยายพื้นที่ศึกษาและใช้รูปแบบการวิจัยระยะยาวหรือการวิจัยเชิงทดลอง รวมทั้งศึกษาปัจจัยอื่นที่อาจมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการป้องกันตนเอง เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงประจักษ์ที่สามารถนำไปใช้พัฒนานโยบายและมาตรการด้านอาชีวอนามัยสำหรับเกษตรกรได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เลขที่ทุน B1699031 ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเทศบาลตำบลแม่ยาว อำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลรายชื่อเกษตรกร และอำนวยความสะดวกในการประสานงานและการดำเนินงานวิจัยในพื้นที่ รวมทั้งขอขอบคุณผู้นำชุมชน อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือและสนับสนุนการเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ท้ายที่สุด ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้เข้าร่วมการวิจัยทุกท่านที่สละเวลาและให้ข้อมูลด้วยความสมัครใจ ซึ่งมีส่วนสำคัญต่อการดำเนินการวิจัยจนสำเร็จตามวัตถุประสงค์

6. เอกสารอ้างอิง

[1] World Health Organization, & Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). *Managing pesticides in agriculture and public health: A compendium of FAO and WHO guidelines and other resources* (2nd ed.). World Health Organization. https://doi.org/10.4060/cb3179en

[2] Wongta, A., Sawarng, N., Tongchai, P., Yana, P., & Hongsibsong, S. (2024). Agricultural Health and Safety: Evaluating Farmers' Knowledge, Attitude, and Safety Behavior in Northern Thailand. *Safety and Health at Work, 15*(4), 435–440. https://doi.org/10.1016/j.shaw.2024.09.005

[3] Naksen, W., Hongsibsong, S., Xu, Z.-L., Kosashunhanan, N., Kerdnoi, T., Prapamontol, T., & Patarasiriwong, V. (2023). Health risk assessment from organophosphate insecticides residues in commonly consumed vegetables of local markets, Northern Thailand. *Journal of Health Research, 37*(3), 153–162. https://doi.org/10.56808/2586-940X.1009

[4] Pandiyan, A., Lari, S., Vanka, J., Gavaravarapu, S. M., Jee, B., & Jonnalagadda, P. R. (2023). Knowledge, attitude and practices related to pesticide usage among farmers: Findings from a hospital-based cross-sectional study. *Work, 76*(3), 1061–1070. https://doi.org/10.3233/WOR-220038

[5] Udayanga, S., Bellanthudawa, B. K. A., & De Zoysa, H. L. S. (2024). Sustainable agriculture and responsible use of pesticides: Commercial crop cultivators' knowledge, attitudes, and practice perspectives regarding pesticide use. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 8*, 1490110. https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1490110

[6] Best, J. W. (1977). Research in Education. New Jersey: Prentice hall Inc.

[7] Tritipsombut, J., Phongwan, K., Sanitklang, K., & Auajanthuek, K. (2023). Knowledge, attitude, and practice of pesticide use among agriculturists in Talat Sai Sub-district, Prathai District, Nakhon Ratchasima Province. *Disease Control Journal, 49*(3), 604–620. https://doi.org/10.14456/dcj.2023.50

[8] Suphim, B., & Songthap, A. (2024). Factors affecting safe pesticide-use behaviors among farm plant agriculturists in northeastern Thailand. *BMC Public Health, 24*, 1096. https://doi.org/10.1186/s12889-024-18464-7

[9] Aye, T. S., Jirapongsuwan, A., & Siri, S. (2024). Pesticide safety behaviours among agricultural workers and farmers: A cross-sectional study. *International Journal of Nursing Practice, 30*(3), e13222. https://doi.org/10.1111/ijn.13222

การเพิ่มประสิทธิภาพระบบจัดการควันด้วยเทคโนโลยีสนามไฟฟ้าโดยใช้ระบบที่บูรณาการการหมุนเวียนอากาศ (Recirculation) ร่วมกับการควบคุมแบบ PID สำหรับร้านอาหารปิ้งย่างขนาดเล็ก

Performance Enhancement of an Electric-Field-Based Smoke Management System through the Integration of Air Recirculation and PID Control for Small Grill Restaurants

สุทธิพงษ์ ชุ่มขุนทด[1*] อนันตกุล อินทรผดุง[1] และ กรินทร์ กาญทนานนท์[2]

[1]สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
[2]สาขาวิชาโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
[*]E-mail: sutielectronic.nwm@gmail.com

บทคัดย่อ

มลพิษจากควันและฝุ่นละอองขนาดเล็ก ($PM_{2.5}$ และ PM_{10}) ที่เกิดจากร้านอาหารปิ้งย่างส่งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศภายในอาคารและสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน โดยเฉพาะร้านอาหารขนาดเล็กที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่ติดตั้งระบบจัดการควัน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระบบจัดการควันด้วยเทคโนโลยีสนามไฟฟ้า (Electrostatic Precipitator: ESP) โดยบูรณาการระบบหมุนเวียนอากาศ (Air Recirculation) ร่วมกับการควบคุมแบบ Proportional–Integral–Derivative (PID) และเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับระบบแบบไหลผ่านครั้งเดียว (Single-pass) การวิจัยเป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development: R&D) โดยพัฒนาระบบหมุนเวียนอากาศให้อนุภาคที่ตกค้างสามารถผ่านชุด ESP หลายรอบ พร้อมใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ควบคุมความเร็วพัดลมตามค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ แบบเวลาจริง การทดลองดำเนินการที่ความเร็วลม 3 m/s โดยกำหนดแรงดันไฟฟ้าของอิเล็กโทรดปล่อยประจุและแผ่นรับประจุคงที่ที่ 8 kV และ 4 kV ตามลำดับ ทำการทดลองซ้ำ 6 รอบ รอบละ 10 นาที และบันทึกข้อมูลทุก 5 นาที ผลการทดลองพบว่าระบบที่บูรณาการการหมุนเวียนอากาศร่วมกับการควบคุมแบบ PID มีประสิทธิภาพการกำจัด $PM_{2.5}$ และ PM_{10} สูงสุดร้อยละ 95.15 และ 95.50 ตามลำดับ สูงกว่าระบบ Single-pass ซึ่งมีประสิทธิภาพร้อยละ 88.22 และ 88.37 หรือเพิ่มขึ้น 6.93 และ 7.13 จุดร้อยละ โดยใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดเพียง 68.2 W และใช้พลังงาน 11.4 Wh ต่อรอบการทดลอง ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการบูรณาการระบบหมุนเวียนอากาศร่วมกับการควบคุมแบบ PID สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นของระบบ ESP ได้โดยไม่ต้องเพิ่มขนาดอุปกรณ์ จึงเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้ในร้านอาหารปิ้งย่างขนาดเล็กที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่ติดตั้ง

คำสำคัญ: เทคโนโลยีสนามไฟฟ้า ระบบหมุนเวียนอากาศ การควบคุมแบบ PID $PM_{2.5}$ ร้านอาหารปิ้งย่างขนาดเล็ก

Abstract

Smoke and fine particulate matter ($PM_{2.5}$ และ PM_{10}) generated from charcoal-grill restaurants pose significant risks to indoor air quality and the health of restaurant workers, particularly in small establishments where installation space for smoke management systems is limited. This study aimed to enhance the performance of an electrostatic precipitator (ESP)-based smoke management system by integrating an air recirculation configuration with a Proportional–Integral–Derivative (PID) control strategy and comparing its particulate removal performance with that of a conventional single-pass system. The study employed a Research and Development (R&D) approach. The developed system recirculated residual

particle-laden air through the ESP multiple times while utilizing an ESP32 microcontroller implementing a PID controller to regulate the exhaust fan speed in real time based on the measured $PM_{2.5}$ concentration. Experiments were conducted at an air velocity of 3 m/s using fixed operating voltages of 8 kV for the discharge electrode and 4 kV for the collecting electrode throughout all experiments. Six experimental runs were performed, each lasting 10 min, with measurements recorded at 5 min intervals. The results demonstrated that the integrated air recirculation and PID control system achieved maximum $PM_{2.5}$ and PM_{10} removal efficiencies of 95.15% and 95.50%, respectively, compared with 88.22% and 88.37% for the conventional single-pass system, representing improvements of 6.93 and 7.13 percentage points, respectively. The developed system required a maximum electrical power of only 68.2 W and consumed 11.4 Wh of energy per experimental cycle. These findings demonstrate that integrating air recirculation with PID-based system control can significantly improve the particulate removal performance of an ESP without increasing the physical size of the dust collection unit, making it a practical solution for small charcoal-grill restaurants with limited installation space.

Keywords: Electrostatic precipitator (ESP), Air recirculation, PID control, $PM_{2.5}$, Small charcoal-grill restaurants

1. บทนำ

ปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็ก ($PM_{2.5}$ และ PM_{10}) เป็นปัญหาสำคัญด้านสิ่งแวดล้อมและสาธารณสุขที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชากรทั่วโลก โดยองค์การอนามัยโลก (WHO) ระบุว่าการได้รับสัมผัส $PM_{2.5}$ อย่างต่อเนื่องมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของอัตราการเกิดโรคระบบทางเดินหายใจ โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคมะเร็งปอด และการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร [1, 2] นอกจากนี้ อนุภาค $PM_{2.5}$ ยังสามารถแทรกซึมเข้าสู่ถุงลมปอดและกระแสเลือด ก่อให้เกิดการอักเสบของระบบต่าง ๆ และเพิ่มความเสี่ยงต่อโรคเรื้อรัง [3, 4]

กิจกรรมการประกอบอาหารเชิงพาณิชย์ โดยเฉพาะการปิ้งย่างด้วยถ่าน เป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองขนาดเล็ก ควัน และละอองไขมันที่สำคัญภายในอาคาร โดยปริมาณมลพิษขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิง อุณหภูมิในการปรุงอาหาร และลักษณะของวัตถุดิบ [5, 6] งานวิจัยหลายฉบับรายงานว่าร้านอาหารปิ้งย่างที่ใช้ถ่านมีระดับ $PM_{2.5}$ สูงกว่าค่าที่องค์การอนามัยโลกแนะนำหลายเท่า ส่งผลให้ผู้ปฏิบัติงานได้รับสัมผัสมลพิษทางอากาศเป็นเวลานานและมีความเสี่ยงต่อปัญหาสุขภาพ [1, 7]

ร้านอาหารปิ้งย่างขนาดเล็กส่วนใหญ่ใช้ระบบระบายอากาศแบบไหลผ่านครั้งเดียว (Single-pass Ventilation System) ซึ่งอากาศปนเปื้อนจะผ่านชุดกำจัดฝุ่นเพียงครั้งเดียวก่อนถูกระบายออกสู่ภายนอก ส่งผลให้อนุภาคที่ยังไม่ถูกดักจับถูกปล่อยออกจากระบบ และลดประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น โดยเฉพาะอนุภาคละเอียดที่ต้องการระยะเวลาสัมผัสกับสนามไฟฟ้าหรือวัสดุกรองมากขึ้น [8, 9] ดังนั้น การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเดิมโดยไม่เพิ่มขนาดอุปกรณ์จึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมสำหรับร้านอาหารที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่ติดตั้งและงบประมาณ

เครื่องดักจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator: ESP) เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายในการกำจัดอนุภาคขนาดเล็ก โดยอาศัยสนามไฟฟ้าแรงสูงทำให้อนุภาคได้รับประจุไฟฟ้าก่อนเคลื่อนที่ไปสะสมบนแผ่นรับประจุ [8, 10] จุดเด่นของ ESP คือสามารถกำจัดอนุภาคละเอียดได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความดันตกคร่อมต่ำ และใช้พลังงานต่ำเมื่อเทียบกับระบบกรองอากาศหลายประเภท [11, 12] อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของ ESP ยังขึ้นอยู่กับความเข้มของสนามไฟฟ้า ความเร็วลม เวลาสัมผัสของอนุภาค และการออกแบบอิเล็กโทรด [8, 13]

เพื่อเพิ่มโอกาสในการดักจับอนุภาค งานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้ระบบหมุนเวียนอากาศ (Air Recirculation) เพื่อให้อากาศที่ยังมีอนุภาคตกค้างสามารถหมุนเวียนกลับผ่านชุด ESP หลายรอบ (Multi-pass Treatment) ส่งผลให้อนุภาคมีโอกาสได้รับประจุและถูกดักจับเพิ่มขึ้นโดยไม่ต้องเพิ่มขนาดของระบบ [9, 14] นอกจากนี้ ปริมาณควันที่เกิดขึ้นระหว่างการปิ้งย่างมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา การควบคุมพัดลมด้วยความเร็วคงที่จึงอาจไม่สามารถตอบสนองต่อภาระมลพิษที่เปลี่ยนแปลงได้อย่างเหมาะสมและอาจทำให้เกิดการใช้พลังงานเกินความจำเป็น [15] ดังนั้น จึงนำการควบคุมแบบ

Proportional–Integral–Derivative (PID) มาใช้เพื่อปรับความเร็วพัดลมตามค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ แบบเวลาจริง ทำให้ระบบสามารถรักษาอัตราการไหลของอากาศให้เหมาะสม ลดการใช้พลังงาน และรักษาประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น [16, 17]

แม้ว่า ESP ระบบหมุนเวียนอากาศ และการควบคุมแบบ PID จะได้รับการศึกษาอย่างกว้างขวางในงานวิจัยที่ผ่านมา แต่ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาประสิทธิภาพขององค์ประกอบแต่ละส่วนแยกจากกัน หรือมุ่งเน้นการประยุกต์ใช้ในระบบอุตสาหกรรมและห้องปฏิบัติการ ขณะที่งานวิจัยที่บูรณาการ ESP ระบบหมุนเวียนอากาศแบบหลายรอบ และการควบคุมแบบ PID สำหรับร้านอาหารปิ้งย่างขนาดเล็กยังมีจำนวนจำกัด นอกจากนี้ งานวิจัยส่วนใหญ่ยังประเมินเฉพาะประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น โดยขาดการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบในด้านอัตราการส่งมอบอากาศสะอาด (Clean Air Delivery Rate: CADR) การใช้พลังงาน และศักยภาพในการใช้งานจริง

ความใหม่ (Novelty) ของงานวิจัยนี้อยู่ที่การพัฒนาและประเมินระบบจัดการควันแบบกะทัดรัดที่บูรณาการเครื่องดักจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต (ESP) ระบบหมุนเวียนอากาศแบบหลายรอบ และการควบคุมความเร็วพัดลมด้วย PID ไว้ในระบบเดียว โดยเปรียบเทียบกับระบบแบบ Single-pass ภายใต้เงื่อนไขการทดลองเดียวกัน พร้อมประเมินสมรรถนะของระบบอย่างครอบคลุมทั้งด้านประสิทธิภาพการกำจัด $PM_{2.5}$ และ PM_{10} อัตราการกำจัดฝุ่น (Removal Rate) อัตราการส่งมอบอากาศสะอาด (CADR) กำลังไฟฟ้า และการใช้พลังงานต่อรอบการทำงาน

ผลการศึกษาคาดว่าจะช่วยเติมเต็มช่องว่างขององค์ความรู้ด้านการประยุกต์ใช้ ESP สำหรับร้านอาหารปิ้งย่างขนาดเล็ก และเป็นแนวทางในการออกแบบระบบจัดการควันที่มีขนาดกะทัดรัด ประหยัดพลังงาน และเหมาะสมกับข้อจำกัดด้านพื้นที่ติดตั้งของสถานประกอบการขนาดเล็ก อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการพัฒนางานวิจัยและนวัตกรรมด้านการควบคุมมลพิษทางอากาศในอนาคต

1.1 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระบบจัดการควันด้วยเทคโนโลยีสนามไฟฟ้า โดยใช้ระบบที่บูรณาการการหมุนเวียนอากาศ (Recirculation) ร่วมกับการควบคุมแบบ PID สำหรับร้านอาหารปิ้งย่างขนาดเล็ก

2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ระหว่างระบบแบบ Single-pass และระบบที่บูรณาการการหมุนเวียนอากาศ (Recirculation) ร่วมกับการควบคุมแบบ PID ภายใต้เงื่อนไขการทดลองเดียวกัน

1.2 สมมติฐานการวิจัย

ระบบจัดการควันที่บูรณาการการหมุนเวียนอากาศ (Recirculation) ร่วมกับการควบคุมแบบ PID มีประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} สูงกว่าระบบแบบไหลผ่านครั้งเดียว (Single-pass) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาครั้งนี้ได้ทบทวนแนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมลพิษจากการประกอบอาหาร เทคโนโลยีสนามไฟฟ้าสำหรับกำจัดฝุ่นละออง และแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพระบบด้วยการหมุนเวียนอากาศร่วมกับการควบคุมแบบ PID โดยสรุปสาระสำคัญดังนี้

2.1 มลพิษจากการประกอบอาหารและร้านอาหารปิ้งย่าง

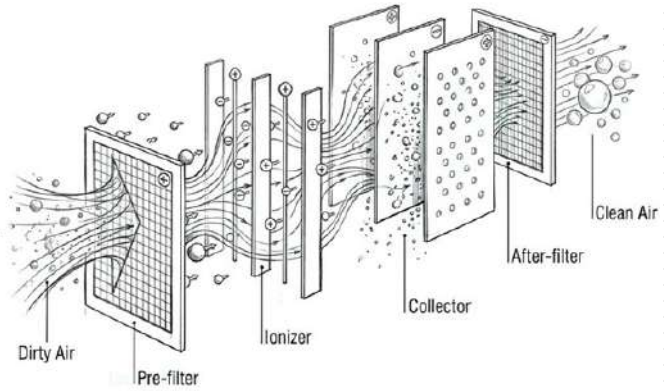
กิจกรรมการประกอบอาหาร โดยเฉพาะการปิ้งย่าง การทอด และการใช้เชื้อเพลิงจากการเผาไหม้ เป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} รวมถึงสารมลพิษอื่นที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศภายในร้านอาหารและสุขภาพของผู้สัมผัส [1] งานวิจัยพบว่า วิธีการประกอบอาหาร อุณหภูมิในการปรุง และชนิดของเชื้อเพลิงมีผลต่อปริมาณและลักษณะของอนุภาคที่เกิดขึ้น โดยกระบวนการประกอบอาหารเชิงพาณิชย์สามารถก่อให้เกิด $PM_{2.5}$ ในระดับที่ควรให้ความสำคัญต่อการควบคุมมลพิษจากแหล่งกำเนิด [5, 6]

สำหรับการปิ้งย่างที่ใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง การเผาไหม้ของถ่านร่วมกับควันที่เกิดจากกระบวนการประกอบอาหารทำให้ผู้ปฏิบัติงานมีโอกาสสัมผัสมลพิษทางอากาศอย่างต่อเนื่อง Sychareun และคณะ [7] ศึกษาผลกระทบจากมลพิษทางอากาศของผู้ปฏิบัติงานปิ้งย่างที่ใช้ถ่าน และชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการลดการสัมผัสมลพิษในพื้นที่ปฏิบัติงาน ดังนั้นระบบจัดการควันที่สามารถกำจัดฝุ่นใกล้แหล่งกำเนิดและลดการสะสมภายในร้านจึงมีความสำคัญ โดยเฉพาะในร้านอาหารขนาดเล็กที่มีพื้นที่จำกัด

2.2 เทคโนโลยีสนามไฟฟ้าและการประยุกต์ใช้กับควันจากร้านอาหาร

เทคโนโลยีสนามไฟฟ้า หลักการตกตะกอนไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator: ESP) เป็นเทคโนโลยีสำหรับกำจัดอนุภาคในกระแสอากาศ โดยใช้สนามไฟฟ้าแรงสูงทำให้อนุภาคได้รับประจุและเคลื่อนที่ไปสะสมบนแผ่นรับประจุ จุดเด่นของ ESP คือสามารถกำจัดอนุภาคขนาดเล็กและมีความดันตกคร่อมของระบบค่อนข้างต่ำ อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของระบบขึ้นอยู่กับความเข้มของสนามไฟฟ้า ลักษณะของอนุภาค ความเร็วลม รูปแบบการไหลของอากาศ และการออกแบบอิเล็กโทรด [8]

งานของ Lee และคณะ [9] ซึ่งศึกษาการปล่อยฝุ่นละอองและประสิทธิภาพของเครื่องดักจับฝุ่นในร้านอาหารปิ้งย่าง พบว่าอุปกรณ์ควบคุมมลพิษสามารถลดการปล่อยอนุภาคได้ แต่ประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับรูปแบบของอุปกรณ์และสภาวะการทำงาน ขณะที่ Nilgumhang และคณะ [14] รายงานศักยภาพของ ESP ในการกำจัด $PM_{2.5}$ และ PM_{10} และแสดงให้เห็นว่าการออกแบบส่วนประกอบของระบบมีผลต่อประสิทธิภาพการดักจับ นอกจากนี้ การใช้งาน ESP ยังควรพิจารณาการเกิดโอโซนจากกระบวนการคายประจุไฟฟ้าควบคู่กับประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น [13]



ภาพที่ 1 หลักการทำงานของเครื่องดักจับฝุ่นด้วยเทคโนโลยีการตกตะกอนไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator: ESP)
(ที่มา: ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น)

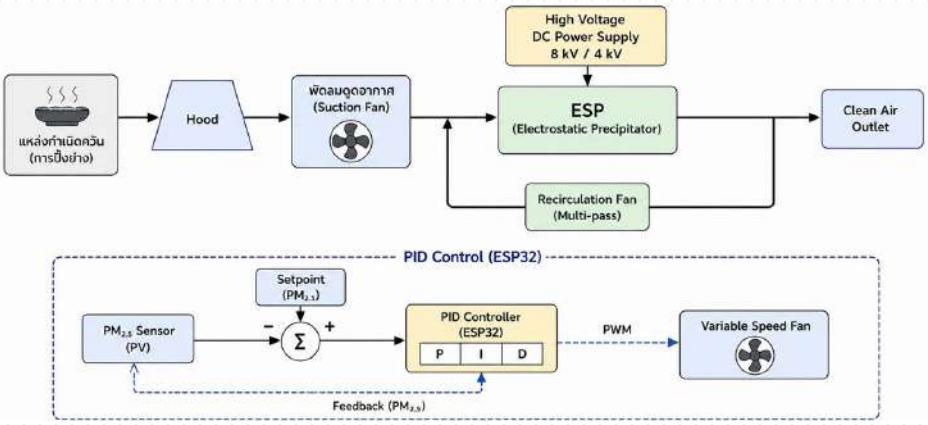
ภาพที่ 1 แสดงหลักการทำงานของเครื่องดักจับฝุ่นด้วยเทคโนโลยีการตกตะกอนไฟฟ้าสถิต (ESP) ซึ่งอาศัยสนามไฟฟ้าแรงดันสูงระหว่างขั้วปล่อยประจุ (Discharge Electrode) และแผ่นรับประจุ (Collecting Electrode) เพื่อทำให้อนุภาคควันและฝุ่นละอองได้รับประจุไฟฟ้าจากกระบวนการโคโรนาดิสชาร์จ (Corona Discharge) จากนั้นอนุภาคที่มีประจุจะเคลื่อนที่ไปเกาะบนแผ่นรับประจุภายใต้แรงไฟฟ้า ทำให้อากาศที่ผ่านระบบมีความสะอาดมากขึ้น

สำหรับงานวิจัยนี้ ระบบ ESP ได้รับการออกแบบให้ใช้ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 8 kV ที่ขั้วปล่อยประจุ และ 4 kV ที่แผ่นรับประจุ ซึ่งเป็นค่าคงที่ตลอดการทดลอง เพื่อสร้างสนามไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการชาร์จและดักจับอนุภาค โดยหลักการดังกล่าวถูกนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบหมุนเวียนอากาศ (Air Recirculation) และการควบคุมแบบ PID เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ภายในร้านอาหารปิ้งย่างขนาดเล็ก

2.3 การเพิ่มประสิทธิภาพด้วยระบบหมุนเวียนอากาศและการควบคุมแบบ PID

ระบบแบบ Single-pass ทำให้อากาศปนเปื้อนผ่านชุดเครื่องดักจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator: ESP) เพียงครั้งเดียวก่อนระบายออก ส่งผลให้อนุภาคที่ยังไม่ถูกดักจับไม่สามารถกลับเข้าสู่กระบวนการกำจัดซ้ำได้ งานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้ระบบ หมุนเวียนอากาศ (Air Recirculation) เพื่อให้อากาศหมุนเวียนกลับผ่านชุด ESP หลายรอบ (Multi-pass Treatment) เพิ่มโอกาสในการรับประจุและการดักจับอนุภาค โดยไม่ต้องเพิ่มขนาดของระบบ

นอกจากนี้ ระบบยังประยุกต์ใช้การควบคุมแบบ Proportional–Integral–Derivative (PID) เพื่อปรับความเร็วพัดลมตามค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ตรวจวัดได้แบบเวลาจริง ทำให้การไหลของอากาศสอดคล้องกับภาระมลพิษที่เปลี่ยนแปลง โดย Air Recirculation ช่วยเพิ่มโอกาสในการกำจัดอนุภาค ขณะที่ PID ควบคุมอัตราการไหลของอากาศให้เหมาะสม ส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นสูงขึ้นและใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ [16, 17]

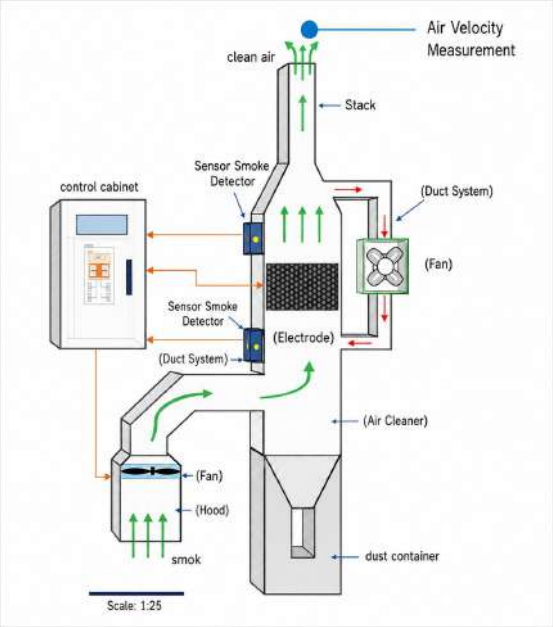


ภาพที่ 2 แนวคิดการเพิ่มประสิทธิภาพระบบ ESP ด้วยระบบหมุนเวียนอากาศแบบหลายรอบ (Air Recirculation) ร่วมกับการควบคุมความเร็วพัดลมแบบ PID (ที่มา: ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น)

ภาพที่ 2 แสดงแนวคิดการเพิ่มประสิทธิภาพระบบจัดการควันโดยบูรณาการเครื่องดักจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต (ESP) ร่วมกับระบบหมุนเวียนอากาศแบบหลายรอบ (Air Recirculation) และการควบคุมความเร็วพัดลมแบบ PID โดยระบบหมุนเวียนอากาศช่วยเพิ่มโอกาสในการดักจับอนุภาคผ่านชุด ESP หลายครั้ง ขณะที่ตัวควบคุม PID ปรับความเร็วพัดลมตามค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ แบบเวลาจริง ส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นสูงขึ้นและใช้พลังงานได้อย่างเหมาะสม

3. วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development: R&D) เพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของระบบจัดการควันด้วยเทคโนโลยีสนามไฟฟ้าสำหรับร้านอาหารปิ้งย่างขนาดเล็ก โดยแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การทดสอบระบบต้นแบบแบบ Single-pass และการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยระบบ Recirculation ร่วมกับการควบคุมแบบ PID ก่อนนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบ



ภาพที่ 3 แผนผังระบบการจัดการควันที่ใช้ในการวิจัย พร้อมแสดงตำแหน่งการตรวจวัด $PM_{2.5}$ / PM_{10} ก่อนและหลังชุด ESP (PM Inlet และ PM Outlet Sampling Points) และตำแหน่งการวัดความเร็วลม (3.0 m/s) (ที่มา: ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น)

ภาพที่ 3 อากาศปนเปื้อนควันจากการปิ้งย่างถูกดูดผ่านฮูดดูดอากาศเข้าสู่ท่อส่งอากาศ โดยตรวจวัดความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่ตำแหน่ง PM Inlet Sampling Point ก่อนเข้าสู่ชุด Electrostatic Precipitator (ESP) จากนั้นตรวจวัดความเร็วลมด้วยเครื่องวัดความเร็วลม ที่ตำแหน่งปล่องระบายอากาศทางออก เพื่อควบคุมให้มีค่า 3.0 m/s ตลอดการทดลอง ภายหลังการบำบัด อากาศถูกตรวจวัดอีกครั้งที่ตำแหน่ง PM Outlet Sampling Point ก่อนเข้าสู่พัดลมระบายอากาศ และในกรณีของระบบ Recirculation อากาศส่วนหนึ่งจะถูกหมุนเวียนกลับเข้าสู่ระบบเพื่อเพิ่มโอกาสในการดักจับอนุภาคหลายรอบ

3.1 การทดสอบระบบแบบ Single-pass

ดำเนินการทดสอบระบบต้นแบบแบบไหลผ่านครั้งเดียว (Single-pass) โดยอากาศที่ปนเปื้อนควันและฝุ่นละอองจากการปิ้งย่างถูกดูดผ่านฮู้ดเข้าสู่เครื่องดักจับฝุ่นด้วยเทคโนโลยีสนามไฟฟ้า (Electrostatic Precipitator: ESP) ก่อนระบายออกสู่ภายนอกอาคาร การทดลองกำหนดความเร็วลม 3 m/s โดยใช้อิเล็กโทรดปล่อยประจุที่แรงดัน 8 kV และแผ่นรับประจุที่แรงดัน 4 kV ตลอดการทดลอง ทำการทดลองซ้ำ 6 รอบ รอบละ 10 นาที และบันทึกค่าฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ทุก 5 นาที ก่อนและหลังผ่านระบบ

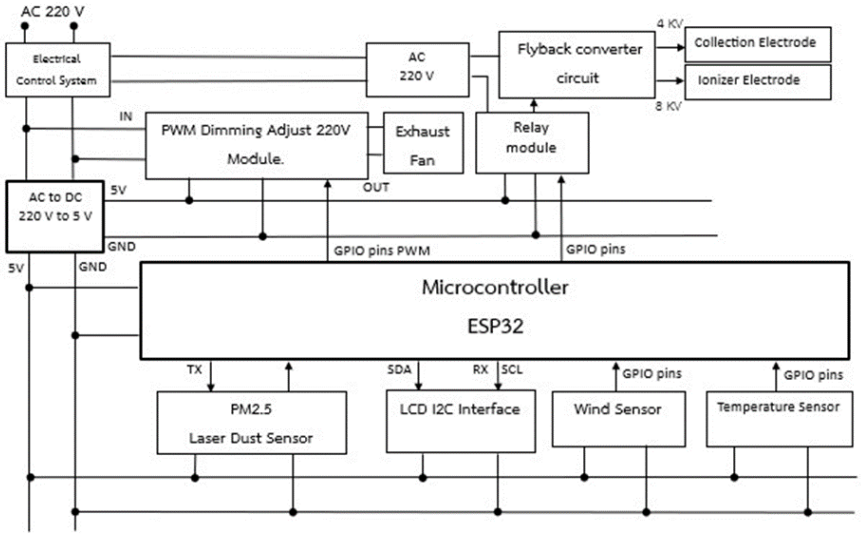
ก่อนเริ่มการทดลองแต่ละรอบ ได้ดำเนินการปรับสภาพอากาศภายในพื้นที่ทดลองให้เหมือนกัน พร้อมทั้งดำเนินการ Washout Procedure เพื่อกำจัดฝุ่นตกค้างภายในระบบ ลดผลกระทบจากการทดลองครั้งก่อน และเพิ่มความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) ของผลการทดลอง

3.2 การทดสอบโดยการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยระบบ Recirculation และการควบคุมแบบ PID

หลังจากทดสอบระบบแบบ Single-pass แล้ว ได้พัฒนาระบบโดยบูรณาการ ระบบหมุนเวียนอากาศ (Recirculation) เพื่อให้อากาศที่ยังมีอนุภาคตกค้างหมุนเวียนกลับผ่านชุดเครื่องดักจับฝุ่นด้วยเทคโนโลยีสนามไฟฟ้า (ESP) หลายรอบ เพิ่มโอกาสในการดักจับฝุ่นละออง พร้อมทั้งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ร่วมกับตัวควบคุมแบบ PID เพื่อปรับความเร็วพัดลมตามค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ แบบเวลาจริง ทำให้ระบบสามารถรักษาอัตราการไหลของอากาศให้เหมาะสมกับภาระฝุ่นที่เปลี่ยนแปลง

การทดลองดำเนินการภายใต้ เงื่อนไขเดียวกับการทดสอบระบบ Single-pass เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลการทดลองได้อย่างเป็นธรรม โดยเปลี่ยนเฉพาะการเพิ่มระบบหมุนเวียนอากาศ (Recirculation) และการควบคุมแบบ PID ส่วนเงื่อนไข

การทดลองอื่น ๆ ได้แก่ ความเร็วลม แรงดันไฟฟ้าของระบบ ESP จำนวนรอบการทดลอง ระยะเวลาการทดลอง ความถี่ในการบันทึกข้อมูล และขั้นตอน Washout Procedure ยังคงเหมือนเดิมทุกประการ



ภาพที่ 4 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมของระบบจัดการควันด้วยเทคโนโลยีสนามไฟฟ้า (ที่มา: ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น)

ภาพที่ 4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบจัดการควันด้วยเทคโนโลยีสนามไฟฟ้า (ESP) ที่บูรณาการการควบคุมแบบ PID โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เป็นหน่วยควบคุมหลัก ระบบรับข้อมูลจากเซนเซอร์ตรวจวัด $PM_{2.5}$, ความเร็วลม และอุณหภูมิ เพื่อนำมาประมวลผลและปรับสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมความเร็วพัดลมดูดอากาศให้เหมาะสมกับความเข้มข้นของฝุ่นละอองแบบเวลาจริง ขณะเดียวกัน รีเลย์ทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายไฟให้กับชุดสร้างแรงดันสูง (Flyback Converter) ซึ่งจ่ายแรงดัน 8 kV ไปยังขั้วปล่อยประจุ (Ionizer Electrode) และ 4 kV ไปยังแผ่นรับประจุ (Collection Electrode) เพื่อดักจับอนุภาคฝุ่นและควัน ส่งผลให้ระบบสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นละออง พร้อมทั้งใช้พลังงานอย่างเหมาะสมสำหรับร้านอาหารปิ้งย่างขนาดเล็ก.

ระบบควบคุมของงานวิจัยนี้ใช้ตัวควบคุมแบบ สัดส่วน–ปริพันธ์–อนุพันธ์ (Proportional–Integral–Derivative: PID) เพื่อปรับความเร็วรอบของพัดลมให้เหมาะสมกับระดับความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ที่ตรวจวัดได้แบบเวลาจริง โดยข้อมูลจากเซนเซอร์ $PM_{2.5}$ ถูกนำมาใช้เป็นสัญญาณป้อนกลับ (Feedback Signal) เพื่อคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของระบบ ซึ่งเป็นผลต่างระหว่างค่าที่กำหนด (Setpoint: SP) และค่าที่ตรวจวัดได้ (Process Variable: PV) ดังสมการ (1)

$$e(t)=SP-PV \tag{1}$$

ค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวถูกนำไปประมวลผลด้วยอัลกอริทึม PID เพื่อสร้างสัญญาณควบคุม $u(t)$ สำหรับกำหนดสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation: PWM) ที่ใช้ควบคุมความเร็วรอบของพัดลม ดังแสดงในสมการ (2)

$$u(t)=Kpe(t) + Ki\int e(\tau)d\tau + Kdde(t)/dt \tag{2}$$

โดยที่ $u(t)$ คือสัญญาณควบคุมที่ส่งไปยังชุดขับพัดลม $e(t)$ คือค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ตรวจวัดได้กับค่ากำหนด 37.5 µg/m³ ส่วน Kp คืออัตราขยายเชิงสัดส่วน ซึ่งตอบสนองต่อค่าความคลาดเคลื่อนในปัจจุบัน Ki คืออัตราขยายเชิงปริพันธ์ ซึ่งพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนสะสมในอดีตเพื่อลดความคลาดเคลื่อนในสภาวะคงตัว

และ *Kd* คืออัตราขยายเชิงอนุพันธ์ ซึ่งตอบสนองต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความคลาดเคลื่อน เพื่อช่วยคาดการณ์แนวโน้มของระบบและเพิ่มเสถียรภาพในการควบคุม

ตัวควบคุมได้รับการพัฒนาบนไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 โดยกำหนดช่วงเวลาการสุ่มตัวอย่าง (Sampling Interval) เท่ากับ 0.5 วินาที การปรับค่าพารามิเตอร์ PID ใช้วิธีทดลองปรับค่าด้วยตนเอง (Manual Trial-and-Error Tuning) เพื่อให้เกิดสมดุลระหว่างการตอบสนองอย่างรวดเร็วเมื่อความเข้มข้นของควันเพิ่มขึ้น และการลดการแกว่งเกินค่ากำหนด (Overshoot) โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ SP = 37.5 µg/m³, *Kp* = 10.0 , *Ki* = 0.5, *Kd* = 30 ความถี่ PWM เท่ากับ 1 kHz ความละเอียด PWM เท่ากับ 8 บิต และช่วงสัญญาณเอาต์พุตเท่ากับ 0–255

3.3 การเปรียบเทียบผลและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบจัดการควันดำเนินการภายใต้เงื่อนไขการทดลองเดียวกันระหว่างระบบแบบ Single-pass และระบบที่บูรณาการ Air Recirculation ร่วมกับการควบคุมแบบ PID โดยประเมินจากตัวชี้วัดหลัก ได้แก่ ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} (Removal Efficiency), อัตราการกำจัดฝุ่น (Removal Rate: RR), อัตราการส่งมอบอากาศสะอาด (Clean Air Delivery Rate: CADR), กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Power) และการใช้พลังงานต่อรอบการทดลอง (Energy Consumption) ซึ่งคำนวณจากสมการที่แสดงไว้ใน ตารางที่ 1

ข้อมูลจากการทดลองซ้ำจำนวน 6 รอบ (n = 6) ของแต่ละสภาวะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม JASP (Version 0.19) และรายงานผลในรูปของ ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean ± Standard Deviation; Mean ± SD) เพื่ออธิบายแนวโน้มและความแปรปรวนของข้อมูล

การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองก่อนและหลังการทำงานของระบบภายใต้แต่ละเงื่อนไขใช้การทดสอบ Paired-samples t-test เนื่องจากข้อมูลก่อนและหลังการทดลองเป็นข้อมูลแบบจับคู่ (paired observations) ภายใต้สภาวะการทดลองเดียวกัน โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ α = 0.05 (95% confidence level) ผลการวิเคราะห์รายงานในรูปของค่า t, degrees of freedom (df), p-value และ ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (95% Confidence Interval; 95% CI) ทั้งนี้ กำหนดให้ $p < 0.05$ แสดงว่าความแตกต่างของผลการทดลองมีนัยสำคัญทางสถิติ

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม JASP (Version 0.19) โดยนำเสนอผลในรูปของค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean ± SD) ความแตกต่างของประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ระหว่างระบบ Single-pass และระบบ Recirculation ร่วมกับการควบคุมแบบ PID วิเคราะห์ด้วยการทดสอบ Paired-samples t-test โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$

ตารางที่ 1 สมการและความหมายของตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณตัวชี้วัดของระบบจัดการควัน

ตัวชี้วัด	สมการ	ความหมายของตัวแปร	หน่วย
1. ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น ($PM_{2.5}$/PM_{10} Removal Efficiency)	$\eta = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100$	η = ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น (%); C_{in} = ความเข้มข้นของฝุ่นก่อนเข้าสู่ระบบ (μg/m³); C_{out} = ความเข้มข้นของฝุ่นหลังผ่านระบบ (μg/m³)	%
2. อัตราการกำจัดฝุ่น (Removal Rate)	$RR = \frac{C_{in} - C_{out}}{t}$	RR = อัตราการกำจัดฝุ่น (Removal Rate); C_{in} = ความเข้มข้นของฝุ่นก่อนเข้าสู่ระบบ (μg/m³); C_{out} = ความเข้มข้นของฝุ่นหลังผ่านระบบ (μg/m³); t = ระยะเวลาทดลอง (min)	μg/m³/min
3. อัตราการไหลของอากาศ (Airflow Rate)	$Q = A \times V \times 3600$	Q = อัตราการไหลของอากาศ (Airflow Rate) (m³/h); A = พื้นที่หน้าตัดของท่อ (m²); V = ความเร็วลม (m/s)	m³/h
4. อัตราการส่งมอบอากาศสะอาด (CADR)	$CADR = Q \times \eta$	$CADR$ = อัตราการส่งมอบอากาศสะอาด (m³/h); Q = อัตราการไหลของอากาศ (m³/h); η = ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น (แปลงเป็นเลขทศนิยม)	m³/h
5. กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Power)	$P_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i}{n}$	P_{avg} = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (W); P_i = กำลังไฟฟ้าในแต่ละครั้งที่วัด (W); n = จำนวนข้อมูลที่ใช้คำนวณ (ครั้ง)	W
6. การใช้พลังงาน (Energy Consumption)	$E = P_{avg} \times t$	E = พลังงานที่ใช้ต่อรอบการทดลอง (Wh/cycle); P_{avg} = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (W); t = เวลาการทำงาน (h)	Wh/cycle
7. ประสิทธิภาพต่อการใช้พลังงาน ($PM_{2.5}$ Efficiency/W)	$EEI = \frac{\eta_{PM2.5}}{P_{avg}}$	EEI = ดัชนีประสิทธิภาพต่อการใช้พลังงาน (%/W); $\eta_{PM2.5}$ = ประสิทธิภาพการกำจัด $PM_{2.5}$ (%); P_{avg} = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (W)	%/W
8. การเปลี่ยนแปลงของสมรรถนะ (Performance Improvement)	$\Delta = \frac{Value_{new} - Value_{old}}{Value_{old}} \times 100$	Δ = ร้อยละการเปลี่ยนแปลง (%); $Value_{new}$ = ค่าที่ได้จากระบบที่พัฒนาขึ้น; $Value_{old}$ = ค่าของระบบอ้างอิง (Single-pass)	%

4. ผลการวิจัย

การทดลองดำเนินการเพื่อประเมินผลของการเพิ่มประสิทธิภาพระบบจัดการควันด้วยเทคโนโลยีสนามไฟฟ้า โดยเริ่มจากการทดสอบระบบแบบ Single-pass เพื่อใช้เป็นระบบอ้างอิง จากนั้นจึงทดสอบระบบที่เพิ่มการหมุนเวียนอากาศร่วมกับการควบคุมแบบ PID ภายใต้เงื่อนไขการทดลองเดียวกัน ผลการทดลองนำมาเปรียบเทียบในด้านประสิทธิภาพการกำจัด $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ซึ่งสอดคล้องกับลำดับการทดลองและตัวชี้วัดที่กำหนดไว้ในวิธีดำเนินการวิจัย

ตารางที่ 2 สภาวะการทดสอบของระบบจัดการควัน

รายการ	รายละเอียด
พื้นที่	ไม่เกิน 10 ตารางเมตร
ปริมาตรอากาศ	25 ลูกบาศก์เมตร
ประเภทอาหาร หมูหั่นสไลด์	ไม่ปรุงรส จำนวน 1 kg
เวลาการทดสอบต่อรอบ	10 นาที
จำนวนการทดสอบซ้ำ	6 รอบ
ความถี่การบันทึกข้อมูล	ทุก 5 นาที
ความเร็วลมดูดควัน	3 m/s
แรงดันไฟฟ้าระบบ ESP	Discharge electrode = 8 kV
	Collecting electrode = 4 kV
ถ่านไม้เนื้อแข็ง	1.5 kg
ควบคุมปริมาณค่า PM ก่อนทดลอง	$PM_{2.5}$ เท่ากับ 22 μg/m³ PM_{10} เท่ากับ 50 μg/m³

ภาพที่ 5 แสดงภาพการติดตั้ง และ ทดลองหาประสิทธิภาพ ระบบการจัดการควัน ในร้านปิ้งย่างขนาดเล็ก ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และ PM_{10}

4.1 ผลการทดลองระบบแบบ Single-pass

ผลการทดลองระบบแบบ Single-pass พบว่าระบบ ESP สามารถลดความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ได้ในทุกเงื่อนไขการทดลอง ที่ความเร็วลม 3 m/s ให้ประสิทธิภาพการกำจัด $PM_{2.5}$ เท่ากับ 88.22% และ PM_{10} เท่ากับ 88.37% แสดงผลการทดลอง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองระบบ Single-pass ความเร็วลมดูดอากาศที่ 3 m/s

รอบการทดลอง	$PM_{2.5}$ **ก่อนระบบ (µg/m³)**	$PM_{2.5}$ **หลังระบบ (µg/m³)**	**% ลด** $PM_{2.5}$	PM_{10} **ก่อนระบบ (µg/m³)**	PM_{10} **หลังระบบ (µg/m³)**	**% ลด** PM_{10}
S1	600	70	88.33	780	90	88.46
S2	520	62	88.08	700	82	88.29
S3	640	75	88.28	820	96	88.29
S4	550	65	88.18	740	86	88.38
S5	610	72	88.20	800	93	88.38
S6	580	68	88.28	760	88	88.42
ค่าเฉลี่ย	583	68.7	**88.22%**	767	89.2	**88.37%**

ผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าระบบ ESP แบบ Single-pass สามารถกำจัดฝุ่นละอองได้ในระดับสูง อย่างไรก็ตาม อากาศจะผ่านกระบวนการกำจัดฝุ่นเพียงครั้งเดียวก่อนออกจากระบบ ดังนั้น อนุภาคที่ยังไม่ถูกดักจับจากการผ่านครั้งแรกจะไม่มีโอกาสกลับเข้าสู่กระบวนการรับประจุและการดักจับซ้ำ ข้อจำกัดดังกล่าวจึงเป็นพื้นฐานสำหรับการพัฒนาระบบหมุนเวียนอากาศ เพื่อเพิ่มจำนวนครั้งที่อากาศและอนุภาคตกค้างผ่านชุด ESP โดยไม่เพิ่มขนาดทางกายภาพของชุดกำจัดฝุ่น

4.2 ผลการทดลองระบบ Recirculation ร่วมกับการควบคุมแบบ PID

หลังจากเพิ่มระบบหมุนเวียนอากาศและการควบคุมแบบ PID พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นละอองเพิ่มขึ้นจากระบบ Single-pass อย่างชัดเจน ที่ความเร็วลม 3 m/s ระบบสามารถกำจัด $PM_{2.5}$ ได้สูงสุด 95.15% และ PM_{10} ได้สูงสุด 95.50% แสดงผลการทดลอง ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดลองระบบ Recirculation ความเร็วลมดูดอากาศที่ 3 m/s

รอบการทดลอง	$PM_{2.5}$ ก่อนระบบ (μg/m³)	$PM_{2.5}$ หลังระบบ (μg/m³)	% ลด $PM_{2.5}$	PM_{10} ก่อนระบบ (μg/m³)	PM_{10} หลังระบบ (μg/m³)	% ลด PM_{10}
R1	630	30	95.24	800	38	95.25
R2	550	27	95.09	730	33	95.48
R3	600	29	95.17	750	34	95.47
R4	560	28	95.00	740	34	95.41
R5	520	26	95.00	720	31	95.69
R6	590	27	95.42	770	33	95.71
ค่าเฉลี่ย	575	27.8	**95.15%**	751.7	33.8	**95.50%**

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นซึ่งบูรณาการการหมุนเวียนอากาศ (Recirculation) ร่วมกับการควบคุมแบบ PID สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ ESP ได้ โดยการหมุนเวียนอากาศช่วยเพิ่มโอกาสให้อากาศผ่านชุด ESP หลายรอบ (Multi-pass Treatment) ขณะที่การควบคุมแบบ PID ปรับความเร็วพัดลมตามค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ตรวจวัดได้แบบเวลาจริง ทำให้ระบบทำงานสอดคล้องกับภาระมลพิษที่เปลี่ยนแปลง ส่งผลให้ระบบโดยรวมมีประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นสูงขึ้น

4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบ Single-pass และระบบที่บูรณาการการหมุนเวียนอากาศ (Recirculation) ร่วมกับการควบคุมแบบ PID ที่ความเร็วลม 3 m/s

รายการ	Single pass	Recirculationร่วมกับ PID	การเปลี่ยนแปลง (%)
ประสิทธิภาพการกำจัด $PM_{2.5}$ (%)	88.22 ± 0.09	95.15 ± 0.16	+6.93
ประสิทธิภาพการกำจัด PM_{10} (%)	88.37 ± 0.07	95.50 ± 0.17	+7.13
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (W)	64.5 ± 1.2	68.2 ± 1.4	+5.7
การใช้พลังงานต่อรอบการทดลอง (Wh)	10.8 ± 0.2	11.4 ± 0.3	+5.6

หมายเหตุ: ค่าแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean ± SD) จากการทดลองซ้ำ 6 รอบ (n = 6)

ตารางที่ 4 แสดงผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบ Single-pass และระบบที่บูรณาการการหมุนเวียนอากาศ (Recirculation) ร่วมกับการควบคุมแบบ PID ที่ความเร็วลม 3 m/s ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ระบบที่บูรณาการการหมุนเวียนอากาศ (Recirculation) และการควบคุมแบบ PID ให้ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นละอองสูงกว่าระบบ Single-pass โดยประสิทธิภาพการกำจัด $PM_{2.5}$ เพิ่มจาก 88.22 ± 0.09% เป็น 95.15 ± 0.16% หรือเพิ่มขึ้น 6.93% ขณะที่ประสิทธิภาพการกำจัด PM_{10} เพิ่มจาก 88.37 ± 0.07% เป็น 95.50 ± 0.17% หรือเพิ่มขึ้น 7.13% ผลลัพธ์ดังกล่าวสะท้อนว่าการหมุนเวียนอากาศกลับเข้าสู่ชุด ESP ทำให้อากาศและอนุภาคที่ยังตกค้างมีโอกาสผ่านกระบวนการรับประจุและการดักจับหลายรอบ (Multi-pass Treatment) ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นละอองโดยรวมสูงขึ้น

ในด้านการใช้พลังงาน พบว่าระบบที่บูรณาการการหมุนเวียนอากาศร่วมกับการควบคุมแบบ PID ใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 68.2 ± 1.4 W สูงกว่าระบบ Single-pass ซึ่งใช้ 64.5 ± 1.2 W คิดเป็นการเพิ่มขึ้น 5.7% ขณะที่การใช้พลังงานต่อรอบการทดลองเพิ่มจาก 10.8 ± 0.2 Wh เป็น 11.4 ± 0.3 Wh หรือเพิ่มขึ้น 5.6% อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาร่วมกับประสิทธิภาพการกำจัด

ฝุ่นละอองที่เพิ่มขึ้นประมาณ 9–11% แสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นละอองได้อย่างมีประสิทธิผล โดยแลกกับการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ซึ่งสะท้อนถึงความคุ้มค่าในการประยุกต์ใช้สำหรับร้านอาหารปิ้งย่างขนาดเล็กที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่และพลังงาน

4.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

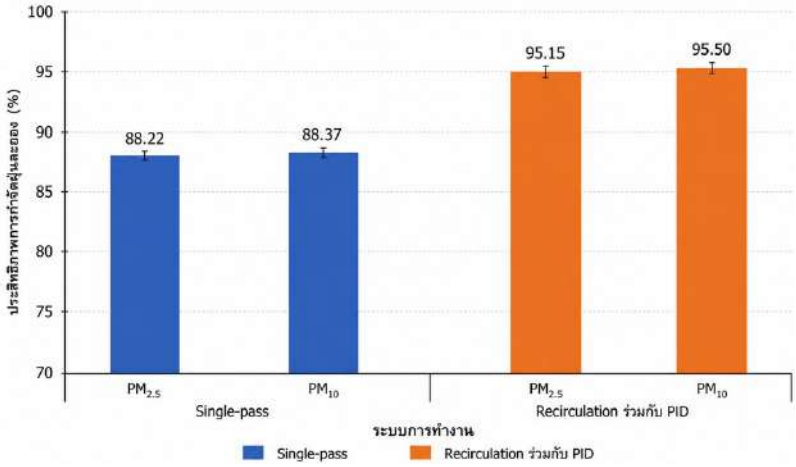
ตารางที่ 5 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นละอองและผลการวิเคราะห์ทางสถิติของระบบ Single-pass และระบบ Recirculation ร่วมกับการควบคุมแบบ PID

ระบบ	ฝุ่นละออง	ประสิทธิภาพ (%)Mean ± SD	ความแตกต่างของความเข้มข้นเฉลี่ย (μg/m³)	95%CI (μg/m³)	t (df = 5)	p-value
Single-pass	$PM_{2.5}$	88.22 ± 0.09	514.67	474.26–555.07	32.74	<0.001
	PM_{10}	88.37 ± 0.07	677.50	637.37–717.63	43.40	<0.001
Recirculation ร่วมกับ PID	$PM_{2.5}$	95.15 ± 0.16	547.17	507.20–587.13	35.20	<0.001
	PM_{10}	95.50 ± 0.17	717.83	689.18–746.48	64.40	<0.001

ตารางที่ 5 แสดงผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นละอองของระบบ Single-pass และระบบ Recirculation ร่วมกับการควบคุมแบบ PID จากการทดลองซ้ำ 6 รอบ (n = 6) พบว่าทั้งสองระบบสามารถลดความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) โดยระบบ Single-pass มีประสิทธิภาพการกำจัด $PM_{2.5}$ และ PM_{10} เท่ากับ 88.22 ± 0.09% และ 88.37 ± 0.07% ตามลำดับ ขณะที่ระบบที่บูรณาการการหมุนเวียนอากาศ (Recirculation) ร่วมกับการควบคุมแบบ PID มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็น 95.15 ± 0.16% สำหรับ $PM_{2.5}$ และ 95.50 ± 0.17% สำหรับ PM_{10}

เมื่อพิจารณาความแตกต่างของความเข้มข้นเฉลี่ยก่อนและหลังการทำงานของระบบ พบว่าระบบ Recirculation ร่วมกับการควบคุมแบบ PID ให้ค่าความแตกต่างของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} เท่ากับ 547.17 μg/m³ และ 717.83 μg/m³ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าระบบ Single-pass ที่มีค่า 514.67 μg/m³ และ 677.50 μg/m³ นอกจากนี้ ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (95% CI) ของทุกเงื่อนไขไม่คร่อมศูนย์ และการทดสอบ Paired-samples t-test ให้ค่า t = 32.74–64.40 โดยมีค่า $p < 0.001$ ในทุกกรณี แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของค่าความเข้มข้นของฝุ่นก่อนและหลังการทำงานของระบบมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการทดลองดังกล่าวสนับสนุนว่า ระบบที่บูรณาการการหมุนเวียนอากาศ (Recirculation) ร่วมกับการควบคุมแบบ PID สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นละอองได้ดีกว่าระบบ Single-pass ภายใต้เงื่อนไขการทดลองเดียวกัน โดยการหมุนเวียนอากาศทำให้อากาศและอนุภาคที่ยังตกค้างมีโอกาสผ่านชุด ESP หลายรอบ (Multi-pass Treatment) ส่งผลให้ประสิทธิภาพการดักจับอนุภาคละเอียดเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 6 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นละอองของระบบ Single-pass และระบบ Recirculation ร่วมกับการควบคุมแบบ PID

ภาพที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ของระบบ Single-pass และระบบ Recirculation ร่วมกับการควบคุมแบบ PID จากการทดลองซ้ำ 6 รอบ (n = 6) พบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นละอองสูงกว่าระบบ Single-pass โดยมีประสิทธิภาพการกำจัด $PM_{2.5}$ และ PM_{10} เท่ากับ 95.15 ± 0.16% และ 95.50 ± 0.17% ตามลำดับ ขณะที่ระบบ Single-pass มีประสิทธิภาพเท่ากับ 88.22 ± 0.09% และ 88.37 ± 0.07% แสดงให้เห็นว่าการบูรณาการระบบที่บูรณาการการหมุนเวียนอากาศ (Recirculation) ร่วมกับการควบคุมแบบ PID ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นละอองของระบบโดยรวมภายใต้เงื่อนไขการทดลองเดียวกัน

4.5. อภิปรายการวิจัย

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ระบบที่บูรณาการการหมุนเวียนอากาศ (Recirculation) ร่วมกับการควบคุมแบบ PID มีประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} สูงกว่าระบบ Single-pass ภายใต้เงื่อนไขการทดลองเดียวกัน โดยมีประสิทธิภาพสูงสุด 95.15% และ 95.50% ตามลำดับ ขณะที่การใช้กำลังไฟฟ้าและพลังงานเพิ่มขึ้นเพียง 5.7% และ 5.6% แสดงให้เห็นว่าสามารถเพิ่มสมรรถนะการกำจัดฝุ่นได้อย่างมีประสิทธิผลโดยใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการหมุนเวียนอากาศกลับผ่านชุด ESP หลายรอบ (Multi-pass Treatment) ทำให้อนุภาคมีโอกาสได้รับประจุและถูกดักจับเพิ่มขึ้น ขณะที่การควบคุมแบบ PID ช่วยปรับการทำงานของพัดลมให้สอดคล้องกับภาระฝุ่นที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการทดลอง

ผลการศึกษาสอดคล้องกับ Jaworek และคณะ [8], Lee และคณะ [9] และ Zhu และคณะ [13] ที่รายงานว่าประสิทธิภาพของ ESP ขึ้นอยู่กับเวลาสัมผัสของอนุภาคและสภาวะการไหลของอากาศ รวมทั้งสอดคล้องกับแนวคิดการควบคุมแบบ PID ของ Åström และ Murray [16] อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ดำเนินการภายใต้ความเร็วลม 3 m/s และการปรับค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมแบบ PID ในการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการทดลองและปรับค่า (Manual Trial-and-Error) ดังนั้น งานวิจัยในอนาคตควรศึกษาวิธีการปรับจูนอย่างเป็นระบบ เช่น วิธี Ziegler–Nichols หรือเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสม (Optimization-based Tuning) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความเสถียรของระบบภายใต้สภาวะการใช้งานจริง

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบความใหม่ (Novelty) และสมรรถนะของระบบจัดการควันที่พัฒนาขึ้นกับระบบแบบ Single-pass

ตัวชี้วัด	ระบบ Single-pass	ระบบที่พัฒนาขึ้น (Recirculation ร่วมกับ PID)	การเปลี่ยนแปลง
ขนาดชุด ESP	349 × 457 × 265 mm	349 × 457 × 265 mm	ไม่เพิ่มขนาด (Compact ESP)
จำนวนรอบการผ่าน ESP	1 รอบ	Multi-pass	เพิ่มโอกาสการดักจับ
การควบคุมการไหลของอากาศ	ความเร็วคงที่	PID Control	ควบคุมแบบเวลาจริง
$PM_{2.5}$ Removal Efficiency (%)	88.22	95.15	+6.93 จุดร้อยละ
PM_{10} Removal Efficiency (%)	88.37	95.50	+7.13 จุดร้อยละ
Removal Rate $PM_{2.5}$ (μg/m³/min)	50.7	54.7	+7.9%
Removal Rate PM_{10} (μg/m³/min)	66.9	71.7	+7.2%
CADR $PM_{2.5}$ (m³/h)	744	804	+8.1%
CADR PM_{10} (m³/h)	746	807	+8.2%
Average Power (W)	64.5	68.2	+5.7%
Energy Consumption (Wh/cycle)	10.8	11.4	+5.6%
ประสิทธิภาพต่อการใช้พลังงาน ($PM_{2.5}$ Efficiency/W)	1.37	1.40	+2.2%

ตารางที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะและสมรรถนะของระบบแบบ Single-pass กับระบบที่พัฒนาขึ้น ซึ่งบูรณาการ Air Recirculation ร่วมกับการควบคุมแบบ PID เพื่อแสดงให้เห็นถึงความใหม่ (Novelty) ของงานวิจัยในเชิงวิศวกรรมและเชิงสมรรถนะของระบบ

ผลการเปรียบเทียบพบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นยังคงใช้ชุดเครื่องดักจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต (ESP) ที่มีขนาดเท่าเดิม คือ 349 × 457 × 265 mm จึงไม่จำเป็นต้องเพิ่มขนาดอุปกรณ์ (Compact ESP) แต่สามารถเพิ่มโอกาสในการดักจับอนุภาคด้วยการหมุนเวียนอากาศแบบ Multi-pass แทนการไหลผ่านเพียงครั้งเดียว (Single-pass) ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นละอองเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น พบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถกำจัด $PM_{2.5}$ ได้ 95.15% และ PM_{10} ได้ 95.50% ขณะที่ระบบ Single-pass มีประสิทธิภาพ 88.22% และ 88.37% ตามลำดับ คิดเป็นการเพิ่มขึ้น 6.93 และ 7.13 จุดร้อยละ แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้ระบบหมุนเวียนอากาศร่วมกับการควบคุมแบบ PID สามารถเพิ่มโอกาสในการดักจับอนุภาคได้โดยไม่ต้องเพิ่มขนาดของเครื่องดักจับฝุ่น

ด้านสมรรถนะการกำจัดฝุ่น พบว่า Removal Rate ของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} เพิ่มขึ้นจาก 50.7 เป็น 54.7 μg/m³/min และจาก 66.9 เป็น 71.7 μg/m³/min ตามลำดับ หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 7–8% นอกจากนี้ ค่า Clean Air Delivery Rate (CADR) ยังเพิ่มขึ้นจากประมาณ 744–746 m³/h เป็น 804–807 m³/h ซึ่งสูงกว่า 800 m³/h แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถส่งมอบอากาศสะอาดได้มากขึ้นภายใต้เงื่อนไขการทดลองเดียวกัน

แม้ว่าระบบที่พัฒนาขึ้นจะใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 64.5 W เป็น 68.2 W หรือประมาณ 5.7% และใช้พลังงานต่อรอบการทดลองเพิ่มขึ้นเพียง 5.6% แต่เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพต่อการใช้พลังงาน (Energy Efficiency Index) พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นจาก 1.37 เป็น 1.40 (%/W) หรือประมาณ 2.2% สะท้อนว่าระบบสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นได้มากกว่าการเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงาน

โดยสรุป ตารางนี้แสดงให้เห็นว่าความใหม่ของงานวิจัยไม่ได้อยู่เพียงการใช้เทคโนโลยี ESP เท่านั้น แต่เกิดจากการบูรณาการ ESP ขนาดกะทัดรัด (Compact ESP) ร่วมกับ ระบบหมุนเวียนอากาศแบบหลายรอบ (Multi-pass Air Recirculation) และ การควบคุมแบบ PID ทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่น เพิ่มอัตราการส่งมอบอากาศสะอาด และรักษาระดับการใช้พลังงานให้อยู่ในระดับต่ำ เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้ในร้านอาหารปิ้งย่างขนาดเล็กที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่ติดตั้ง

4.6 ข้อจำกัดของงานวิจัย

แม้ว่าระบบจัดการควันอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นจะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพสูงในการกำจัดฝุ่นละอองและมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ แต่การศึกษานี้ยังมีข้อจำกัดบางประการที่ควรพิจารณา ประการแรก การทดสอบดำเนินการกับต้นแบบที่ติดตั้งในร้านอาหารปิ้งย่างขนาดเล็กเพียงแห่งเดียวภายใต้สภาวะการทดลองที่ควบคุมไว้ ดังนั้น ผลลัพธ์อาจแตกต่างกันเมื่อประยุกต์ใช้กับร้านอาหารที่มีรูปแบบอาคาร ระบบระบายอากาศ หรือความเข้มข้นของการประกอบอาหารที่แตกต่างกัน

ประการที่สอง การประเมินสมรรถนะของระบบมุ่งเน้นที่การลดความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} เป็นหลัก โดยไม่ได้ประเมินมลพิษทางอากาศชนิดอื่นที่เกิดจากการประกอบอาหาร เช่น สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และโอโซน (O_3) จึงยังไม่สามารถประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคารได้อย่างครอบคลุม

ประการที่สาม ระบบควบคุมที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นตัวควบคุม PID แบบมาตรฐานที่ใช้ค่าพารามิเตอร์คงที่ แม้ว่าจะให้ผลการทำงานที่น่าพอใจ แต่ยังไม่ได้เปรียบเทียบกับเทคนิคการควบคุมขั้นสูง เช่น Adaptive PID, Fuzzy Logic หรือ Model Predictive Control (MPC)

สุดท้าย การศึกษานี้มุ่งเน้นการประเมินสมรรถนะในช่วงเวลาสั้นภายใต้สภาวะการทำงานที่กำหนดไว้ โดยยังไม่ได้ศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานระยะยาว เช่น ความคงทนของระบบ การสะสมของคราบบนแผ่นรับฝุ่น ความต้องการบำรุงรักษา และความเชื่อถือได้ของการใช้งานต่อเนื่อง

4.7 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

การศึกษาวิจัยในอนาคตควรขยายการทดสอบระบบจัดการควันที่พัฒนาขึ้นให้ครอบคลุมสภาพการใช้งานที่หลากหลายมากขึ้น เช่น ร้านอาหารที่มีขนาดแตกต่างกัน รูปแบบห้องครัว วิธีการประกอบอาหาร และระบบระบายอากาศที่แตกต่างกัน เพื่อประเมินความเหมาะสมของระบบสำหรับการใช้งานเชิงพาณิชย์ในบริบทที่หลากหลาย

นอกจากการประเมินการกำจัดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} แล้ว ควรศึกษาประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดมลพิษทางอากาศชนิดอื่นที่เกิดจากการประกอบอาหาร ได้แก่ สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และโอโซน (O_3) เพื่อให้สามารถประเมินคุณภาพอากาศภายในอาคารได้อย่างครอบคลุมยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ ควรศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิคการควบคุมขั้นสูง เช่น Adaptive PID, Fuzzy Logic หรือ Model Predictive Control (MPC) เพื่อเพิ่มความสามารถในการตอบสนองต่อสภาวะการเกิดควันที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วระหว่างการประกอบอาหาร

สุดท้าย ควรมีการศึกษาภาคสนามในระยะยาวเพื่อประเมินความคงทนของระบบ การสะสมของคราบบนแผ่นรับฝุ่น ความต้องการในการบำรุงรักษา การใช้พลังงาน และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการใช้งานจริงอย่างต่อเนื่อง

5. บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของระบบจัดการควันอัจฉริยะสำหรับร้านอาหารปิ้งย่างขนาดเล็ก โดยบูรณาการเครื่องดักจับฝุ่นด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator: ESP) เข้ากับระบบหมุนเวียนอากาศแบบหลายรอบ (Air Recirculation) และการควบคุมความเร็วพัดลมด้วยตัวควบคุมแบบ Proportional–Integral–Derivative (PID) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นละอองโดยไม่เพิ่มขนาดของอุปกรณ์ ซึ่งตอบโจทย์ข้อจำกัดด้านพื้นที่ติดตั้งของร้านอาหารขนาดเล็ก

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพเหนือกว่าระบบแบบ Single-pass อย่างชัดเจน โดยสามารถกำจัด $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ได้สูงสุด 95.15% และ 95.50% ตามลำดับ พร้อมเพิ่มอัตราการกำจัดฝุ่น (Removal Rate) และอัตราการส่งมอบอากาศสะอาด (Clean Air Delivery Rate: CADR) ขณะที่ใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเพียง 68.2 W และใช้พลังงาน 11.4 Wh ต่อรอบการทดลอง การวิเคราะห์ทางสถิติยังยืนยันว่าการลดความเข้มข้นของฝุ่นละอองทั้ง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) ภายใต้เงื่อนไขการทดลองที่กำหนด

ความใหม่ของงานวิจัยนี้อยู่ที่การบูรณาการ ESP ขนาดกะทัดรัด ระบบหมุนเวียนอากาศแบบหลายรอบ และการควบคุมแบบ PID ไว้ในระบบเดียว เพื่อเพิ่มโอกาสในการดักจับอนุภาคอย่างต่อเนื่องและปรับอัตราการไหลของอากาศให้สอดคล้องกับระดับมลพิษแบบเวลาจริง ส่งผลให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดฝุ่นได้โดยไม่ต้องเพิ่มขนาดของชุดดักจับฝุ่นหรือเพิ่มการใช้พลังงานอย่างมีนัยสำคัญ

โดยสรุประบบที่พัฒนาขึ้นแสดงศักยภาพในการประยุกต์ใช้เป็นระบบจัดการควันสำหรับร้านอาหารปิ้งย่างขนาดเล็กและสถานประกอบการที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่ติดตั้ง พร้อมทั้งเป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาระบบควบคุมมลพิษทางอากาศที่มีประสิทธิภาพ ประหยัดพลังงาน และสามารถต่อยอดไปสู่การใช้งานเชิงพาณิชย์และการวิจัยในอนาคตได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาและผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ และแนวทางในการปรับปรุงงานวิจัย ตลอดจนขอขอบคุณหน่วยงานและบุคลากรที่ให้การสนับสนุนด้านสถานที่ เครื่องมือ อุปกรณ์ และการดำเนินการทดลอง ทำให้งานวิจัยเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพระบบจัดการควันด้วยเทคโนโลยีสนามไฟฟ้าโดยใช้ระบบที่บูรณาการการหมุนเวียนอากาศ (Recirculation) ร่วมกับการควบคุมแบบ PID สำหรับร้านอาหารปิ้งย่างขนาดเล็กสามารถดำเนินการได้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลการศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาระบบจัดการควันที่เหมาะสมกับสถานประกอบการขนาดเล็ก และเป็นแนวทางสำหรับการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านการควบคุมมลพิษทางอากาศต่อไปในอนาคต.

7. เอกสารอ้างอิง

[1] World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: Particulate matter (*$PM_{2.5}$ และ PM_{10}*), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. World Health Organization.

[2] Pope, C. A., III, & Dockery, D. W. (2006). Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect. Journal of the Air & Waste Management Association, 56(6), 709–742. https://doi.org/10.1080/10473289.2006.10464485

[3] Brook, R. D., Rajagopalan, S., Pope, C. A., III, Brook, J. R., Bhatnagar, A., Diez-Roux, A. V., Holguin, F., Hong, Y., Luepker, R. V., Mittleman, M. A., Peters, A., Siscovick, D., Smith, S. C., Jr., Whitsel, L., & Kaufman, J. D. (2010). Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. Circulation, 121(21), 2331–2378. https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e3181dbece1

[4] Schraufnagel, D. E., Balmes, J. R., Cowl, C. T., De Matteis, S., Jung, S. H., Mortimer, K., Perez-Padilla, R., Rice, M. B., Riojas-Rodriguez, H., Sood, A., Thurston, G. D., To, T., Vanker, A., & Wuebbles, D. J. (2019). Air pollution and noncommunicable diseases: A review by the Forum of International Respiratory Societies' Environmental Committee, Part 1: The damaging effects of air pollution. Chest, 155(2), 409–416. https://doi.org/10.1016/j.chest.2018.10.042

[5] Lyu, J., Shi, Y., Chen, C., Zhang, X., Chu, W., & Lian, Z. (2022). Characteristics of $PM_{2.5}$ emissions from six types of commercial cooking in Chinese cities and their health effects. *Environmental Pollution, 313*, 120180. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120180

[6] Tang, R., Sahu, R., Su, Y., Milsom, A., Mishra, A., Berkemeier, T., & Pfrang, C. (2024). Impact of cooking methods on indoor air quality: A comparative study of particulate matter (PM) and volatile organic compound (VOC) emissions. *Indoor Air, 2024*(1), Article 6355613. https://doi.org/10.1155/2024/6355613

[7] Sychareun, V., et al. (2023). Grill workers and air pollution health effects from charcoal combustion in Vientiane Capital. *Journal of Air Pollution and Health, 8*(2), 165–182. https://doi.org/10.18502/japh.v8i2.12918

[8] Jaworek, A., Krupa, A., & Czech, T. (2007). Modern electrostatic devices and methods for exhaust gas cleaning: A brief review. *Journal of Electrostatics, 65*(3), 133–155. https://doi.org/10.1016/j.elstat.2006.07.012

[9] Lee, J. B., Kim, K. H., Kim, H. J., Cho, S. J., Jung, K., & Kim, S. D. (2011). Emission rate of particulate matter and its removal efficiency by precipitators in under-fired charbroiling restaurants. *The Scientific World Journal, 11*, 1077–1088. https://doi.org/10.1100/tsw.2011.103

[10] White, H. J. (1963). *Industrial electrostatic precipitation*. Addison-Wesley.

[11] Kim, K. H., Jahan, S. A., Kabir, E., & Brown, R. J. C. (2013). A review of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their human health effects. *Environment International, 60*, 71–80. https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.07.019

[12] Jaworek, A., Marchewicz, A., Sobczyk, A. T., & Czech, T. (2018). Two-stage electrostatic precipitators for the reduction of PM2.5 particle emission. Progress in Energy and Combustion Science, 67, 206–233. https://doi.org/10.1016/j.pecs.2018.03.003

[13] Zhu, Y., Wei, Z., Yang, X., Tao, S., Zhang, Y., & Shangguan, W. (2023). Comprehensive control of $PM_{2.5}$ capture and ozone emission in two-stage electrostatic precipitators. *Science of the Total Environment, 858*(Part 2), 159900. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159900

[14] Nilgumhang, K., Sulaiman, S., Komnoi, K., Ngamrungroj, D., Suksaengpanomrung, S., & Kingkam, W. (2025). Effect of discharge electrode material on dust collection for electrostatic precipitator efficiency. *Current Applied Science and Technology, 25*(5), e0263961. https://doi.org/10.55003/cast.2025.263961

[15] ASHRAE. (2023). *ASHRAE handbook—HVAC applications*. ASHRAE.

[16] Åström, K. J., & Murray, R. M. (2021). *Feedback systems: An introduction for scientists and engineers* (2nd ed.). Princeton University Press.

[17] Ang, K. H., Chong, G., & Li, Y. (2005). PID control system analysis, design, and technology. *IEEE Transactions on Control Systems Technology, 13*(4), 559–576. https://doi.org/10.1109/TCST.2005.847331

การพัฒนาสื่อการเรียนรู้เรื่อง 6 โรคที่พบบ่อยในฤดูฝน สำหรับผู้รับบริการโรงพยาบาลพระแสง

The Development of Learning Media on Six Common Rainy Season Diseases for Service Recipients at Phrasaeng Hospital

กิตติธัช ชัยยะ[1] และ สุภาภรณ์ จันปาน[1*]

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและดิจิทัล คณะนวัตกรรมดิจิทัลเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยตาปี
*E-mail: supaporn@tapee.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) พัฒนาสื่อการเรียนรู้เรื่อง 6 โรคที่พบบ่อยในฤดูฝน ได้แก่ โรคไข้หวัดใหญ่ โรคปอดบวม โรคไข้เลือดออก โรคท้องร่วง โรคตาแดง และโรคมือ เท้า ปาก สำหรับผู้รับบริการโรงพยาบาลพระแสง และ (2) ศึกษาความพึงพอใจของผู้รับบริการที่มีต่อสื่อการเรียนรู้เรื่อง 6 โรคที่พบบ่อยในฤดูฝน ประชากรที่ใช้ในการศึกษา คือ ผู้รับบริการโรงพยาบาลพระแสง กลุ่มตัวอย่างใช้วิธีการแบบสุ่ม รวมทั้งสิ้น 100 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย สื่อการเรียนรู้ในรูปแบบวิดีโออินโฟกราฟิก แบบประเมินคุณภาพด้านเนื้อหาโดยผู้เชี่ยวชาญ แบบประเมินคุณภาพด้านสื่อโดยผู้เชี่ยวชาญ และแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้รับบริการ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า 1) สื่อการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพและความเที่ยงตรง โดยผลการประเมินดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item-Objective Congruence: IOC) จากผู้เชี่ยวชาญด้านสื่อ จำนวน 3 ท่าน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 และผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา จำนวน 3 ท่าน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.86 แสดงให้เห็นว่าสื่อมีความตรงเชิงเนื้อหาและมีความเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการเผยแพร่ความรู้ และ 2) ผู้รับบริการโรงพยาบาลพระแสงมีความพึงพอใจต่อสื่อการเรียนรู้ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ย 4.32 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.67 ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าสื่อการเรียนรู้ในรูปแบบวิดีโออินโฟกราฟิกสามารถใช้เป็นนวัตกรรมเพื่อส่งเสริมการเรียนรู้และเผยแพร่ความรู้ด้านสาธารณสุขแก่ผู้รับบริการในสถานพยาบาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : สื่อการเรียนรู้ วิดีโออินโฟกราฟิก 6 โรคที่พบบ่อยในฤดูฝน ความพึงพอใจ โรงพยาบาลพระแสง

Abstract

The objectives of this research were to (1) develop educational media on 6 common rainy season diseases-namely influenza, pneumonia, dengue fever, diarrhea, conjunctivitis, and hand, foot, and mouth disease-for the service recipients of Phrasaeng Hospital, and (2) examine service users' satisfaction with the learning media on the 6 common rainy-season diseases. The population for this study consisted of service users of Phrasaeng Hospital. The sample, selected through random sampling, totaled 100 participants. The research instruments included a video infographic learning media, a content quality assessment form rated by experts, a media quality assessment form rated by experts, and a service user satisfaction questionnaire. The statistics used for data analysis were mean and standard deviation. The results showed that: 1) The developed learning media demonstrated both effectiveness and validity. The Index of Item-Objective Congruence (IOC) evaluation by three media experts yielded a mean score of 1.00, while the evaluation by three content experts yielded a mean score of 0.86, indicating that the media possessed content validity and was suitable for disseminating knowledge. 2) Overall, service users of Phrasaeng Hospital expressed a high level of satisfaction with the learning media, with a mean of 4.32 and a standard deviation of 0.67.

These findings reflect that video infographic learning media can serve as an effective innovation for promoting learning and disseminating public health knowledge to service users in healthcare facilities.

Keywords: Learning Media, Video Infographic, Six Common Rainy-Season Diseases, Satisfaction, Phrasaeng Hospital

1. บทนำ

โรงพยาบาลพระแสง ตั้งอยู่อำเภอพระแสง จังหวัดสุราษฎร์ธานี เป็นโรงพยาบาลชุมชนที่ให้บริการด้านการส่งเสริมสุขภาพ การป้องกันโรค การรักษาพยาบาล และการฟื้นฟูสุขภาพแก่ประชาชนในพื้นที่ ปัจจุบันมีศักยภาพรองรับผู้ป่วยในจำนวน 30 เตียง และได้มีการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน รวมถึงระบบการให้บริการอย่างต่อเนื่อง เพื่อยกระดับคุณภาพการดูแลรักษาผู้รับบริการให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ในปี พ.ศ. 2569 โรงพยาบาลมีผู้มารับบริการรวมทั้งสิ้น 147,144 คน (ข้อมูล ณ วันที่ 11 เดือน เมษายน พ.ศ. 2569 โรงพยาบาลพระแสง) สะท้อนให้เห็นถึงบทบาทสำคัญของโรงพยาบาลในการให้บริการด้านสาธารณสุขแก่ประชาชนในพื้นที่ ปัจจุบันเทคโนโลยีดิจิทัลมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาสื่อการเรียนรู้ด้านสุขภาพ โดยเฉพาะ วิดีโออินโฟกราฟิกเป็นสื่อมัลติมีเดียที่ผสมผสานข้อความ ภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว เสียงบรรยาย และกราฟิกเข้าด้วยกัน เพื่อสื่อสารข้อมูลที่มีความซับซ้อนให้เข้าใจได้ง่าย ช่วยกระตุ้นความสนใจและส่งเสริมการจดจำของผู้เรียนได้ดีกว่าสื่อข้อความเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้มีงานวิจัยของสุริย์ฉาย และอัศวินี [1] พบว่าการใช้สื่อมัลติมีเดียร่วมกับการเรียนรู้ช่วยเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความพึงพอใจของผู้เรียน อีกทั้ง รัตนาภรณ์ และคณะ [2] รายงานว่าสื่อวิดีโออินโฟกราฟิกสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการสื่อสารด้านสุขภาพแก่ผู้รับบริการในสถานพยาบาลได้อย่างมีประสิทธิผล อีกทั้งยังสามารถเผยแพร่ผ่านจอประชาสัมพันธ์ภายในโรงพยาบาลหรือสื่อดิจิทัลอื่น ๆ ได้อย่างสะดวกและประหยัดต้นทุนในระยะยาว ในช่วงฤดูฝน โดยเฉพาะระหว่างเดือนตุลาคมถึงเดือนมกราคมของทุกปี มักพบการระบาดของโรคที่เกี่ยวข้องกับสภาพอากาศและสิ่งแวดล้อมเพิ่มสูงขึ้น เช่น โรคไข้หวัดใหญ่ โรคปอดบวม โรคไข้เลือดออก โรคท้องร่วง โรคตาแดง และโรคมือ เท้า ปาก [3-8] ซึ่งล้วนเป็นโรคที่สามารถป้องกันได้หากประชาชนมีความรู้และปฏิบัติตนได้อย่างถูกต้อง อย่างไรก็ตาม โรงพยาบาลพระแสงยังขาดสื่อประชาสัมพันธ์ที่มีความทันสมัย สามารถดึงดูดความสนใจ และสอดคล้องกับพฤติกรรมการรับรู้ข้อมูลของผู้รับบริการในยุคดิจิทัล

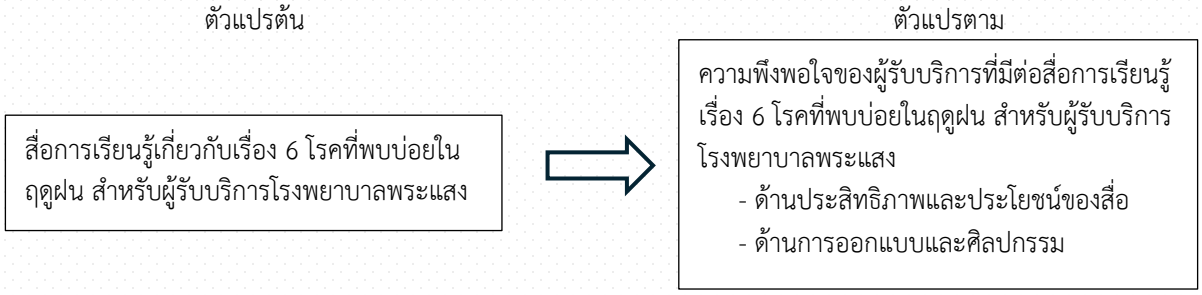
จากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาสื่อการเรียนรู้ในรูปแบบวิดีโออินโฟกราฟิก เรื่อง 6 โรคที่พบบ่อยในฤดูฝน สำหรับผู้รับบริการโรงพยาบาลพระแสง เพื่อนำไปเผยแพร่ผ่านจอแสดงผลบริเวณจุดพักคอยของผู้รับบริการ ซึ่งจะช่วยให้ผู้รับบริการสามารถใช้เวลารอรับบริการให้เกิดประโยชน์ ได้รับความรู้เกี่ยวกับการป้องกันโรคและการดูแลสุขภาพตนเองอย่างถูกต้อง อีกทั้งยังเป็นการสนับสนุนการสื่อสารด้านสุขภาพของโรงพยาบาลให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สอดคล้องกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อยกระดับการให้บริการด้านสาธารณสุขและส่งเสริมคุณภาพชีวิตของประชาชนในพื้นที่อำเภอพระแสง จังหวัดสุราษฎร์ธานี

2. วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาสื่อการเรียนรู้เรื่อง 6 โรคที่พบบ่อยในฤดูฝน สำหรับผู้รับบริการโรงพยาบาลพระแสง
2. เพื่อศึกษาความพึงพอใจที่มีต่อสื่อการเรียนรู้เรื่อง 6 โรคที่พบบ่อยในฤดูฝน สำหรับผู้รับบริการโรงพยาบาลพระแสง

3. กรอบแนวคิดในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้กำหนดตัวแปรในการศึกษาไว้ดังนี้



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

4. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาสื่อการเรียนรู้ในรูปแบบวิดีโออินโฟกราฟิกเรื่อง 6 โรคที่พบบ่อยในฤดูฝน สำหรับผู้รับบริการโรงพยาบาลพระแสง ซึ่งมีขั้นตอนดำเนินการตามลำดับ ดังนี้

4.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ ผู้รับบริการโรงพยาบาลพระแสง

กลุ่มตัวอย่างในการวิจัย คือ ผู้รับบริการโรงพยาบาลพระแสง ใช้วิธีการแบบสุ่ม (เดือน เมษายน – พฤษภาคม 2569) รวมทั้งสิ้น จำนวน 100 คน

4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. สื่อการเรียนรู้เรื่อง 6 โรคที่พบบ่อยในฤดูฝน สำหรับผู้รับบริการโรงพยาบาลพระแสง สื่อการเรียนรู้เป็นวิดีโออินโฟกราฟิก ความยาวประมาณ 14 นาที ประกอบด้วยภาพกราฟิกแบบ 2 มิติ ภาพเคลื่อนไหว ข้อความสรุป เสียงบรรยาย และดนตรีประกอบ โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 ตอนตามโรคแต่ละชนิด และปิดท้ายด้วยสรุปแนวทางการป้องกันโรค

2. แบบประเมินคุณภาพด้านเนื้อหาโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน และแบบประเมินคุณภาพด้านสื่อโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน รวมทั้งสิ้น จำนวน 6 ท่าน

3. แบบประเมินความพึงพอใจที่มีต่อการรับชมสื่อการเรียนรู้เรื่อง 6 โรคที่พบบ่อยในฤดูฝน สำหรับผู้รับบริการโรงพยาบาลพระแสง ประกอบด้วย 2 ด้าน ได้แก่ ด้านประสิทธิภาพและประโยชน์ของสื่อ จำนวน 6 ข้อ ด้านการออกแบบและศิลปกรรมดิจิทัล จำนวน 6 ข้อ การศึกษานี้เป็นการประเมินความพึงพอใจหลังการใช้สื่อ ไม่มีการเก็บข้อมูลสุขภาพหรือข้อมูลอ่อนไหว โดยใช้สถิติการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยนำผลที่ได้มาเทียบกับเกณฑ์การประมาณค่า 5 ระดับ Likert Rating Scales [9] โดยมีช่วงการแบ่งคะแนนตามเกณฑ์ดังนี้

ค่าเฉลี่ย 4.51-5.00 หมายถึง ระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด
ค่าเฉลี่ย 3.51-4.50 หมายถึง ระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก
ค่าเฉลี่ย 2.51-3.50 หมายถึง ระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง
ค่าเฉลี่ย 1.51-2.50 หมายถึง ระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อย
ค่าเฉลี่ย 1.00-1.50 หมายถึง ระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับน้อยที่สุด

ในการเก็บข้อมูลนั้น ผู้วิจัยได้นำแบบประเมินความพึงพอใจที่มีต่อการรับชมสื่อการเรียนรู้เรื่อง 6 โรคที่พบบ่อยในฤดูฝน สำหรับผู้รับบริการโรงพยาบาลพระแสง ให้กลุ่มตัวอย่างที่สุ่มถามรับชมสื่อและประเมินความพึงพอใจสื่อ

4.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาสื่อดังนี้

1) ขั้นตอนการศึกษาและเก็บข้อมูล ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลพื้นฐาน บริบท และความต้องการของโรงพยาบาลพระแสง ตลอดจนรวบรวมเนื้อหาทางการแพทย์ที่ถูกต้องเกี่ยวกับสาเหตุ อาการ และวิธีการป้องกัน 6 โรคที่พบบ่อยในฤดูฝน เพื่อกำหนดเป็นขอบเขตของการสร้างสื่อ

2) ขั้นตอนการออกแบบ นำข้อมูลที่ได้การศึกษาและเก็บข้อมูลมาทำการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างของการนำเสนอสื่อวิดีโออินโฟกราฟิก โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ (1) ส่วนนำเข้าสู่เนื้อหาเพื่อดึงดูดความสนใจ (2) ส่วนเนื้อหาหลักที่อธิบายลักษณะเฉพาะของทั้ง 6 โรค และ (3) ส่วนสรุปแนวทางการป้องกันและดูแลตนเอง นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดรูปแบบของภาพกราฟิก การเคลื่อนไหว และร่างข้อความสำหรับเสียงบรรยายให้มีความสอดคล้องกัน เพื่อให้สื่อสามารถสื่อสารข้อมูลทางการแพทย์ที่ซับซ้อนได้อย่างเข้าใจง่าย

3) ขั้นการพัฒนาสื่อ ผู้วิจัยสร้างสื่อวิดีโออินโฟกราฟิกภาพเคลื่อนไหวพร้อมเสียงบรรยายตามโครงสร้างที่ได้ออกแบบไว้ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์กราฟิก Canva จากนั้นนำสื่อที่พัฒนาในฉบับร่าง ไปให้ผู้เชี่ยวชาญด้านสื่อ จำนวน 3 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาทางการแพทย์ จำนวน 3 ท่าน ทำการประเมินคุณภาพและความเที่ยงตรง IOC เพื่อนำข้อเสนอแนะมาปรับปรุงสื่อให้มีความสมบูรณ์

4) ขั้นตอนการนำไปใช้ นำสื่อวิดีโออินโฟกราฟิกที่ผ่านการตรวจสอบและปรับปรุงแก้ไขอย่างสมบูรณ์แล้วไปเปิดฉายผ่านจอแสดงผล ณ บริเวณจุดพักคอยของผู้รับบริการโรงพยาบาลพระแสง

5) ขั้นตอนการประเมินผล ดำเนินการเก็บแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้รับบริการที่มีต่อสื่อ โดยให้กลุ่มตัวอย่างที่รับชมสื่อวิดีโออินโฟกราฟิกจนจบ สแกนคิวอาร์โค้ด (QR Code) เพื่อทำแบบสอบถามประเมินความพึงพอใจผ่านระบบออนไลน์ ด้วย Google Forms หลังจากเก็บข้อมูลความพึงพอใจครบตามจำนวนกลุ่มตัวอย่างแล้ว จึงมานำมาวิเคราะห์โดยใช้ค่าสถิติ คือ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

5. ผลการวิจัย

ผลการพัฒนาสื่อการเรียนรู้ พบว่า ผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาสื่อการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม Canva ในรูปแบบสื่อมัลติมีเดียที่ผสานการนำเสนอด้วยภาพกราฟิกและเสียงบรรยาย เพื่อเพิ่มความน่าสนใจและส่งเสริมการเรียนรู้ของกลุ่มเป้าหมาย เนื้อหาของสื่อครอบคลุมโรคที่พบบ่อยในฤดูฝน จำนวน 6 โรค ได้แก่ โรคไข้หวัดใหญ่ โรคปอดบวม โรคไข้เลือดออก โรคท้องร่วง โรคตาแดง และโรคมือ เท้า ปาก โดยแต่ละหัวข้อประกอบด้วยข้อมูลเกี่ยวกับสาเหตุ อาการ และแนวทางการป้องกันโรค ซึ่งเรียบเรียงอย่างเป็นลำดับและเหมาะสมกับการนำไปใช้เป็นสื่อส่งเสริมความรู้ด้านสุขภาพ ดังภาพที่ 2 – 6

ภาพที่ 2 หน้าจอเปิดของสื่อการเรียนรู้ในรูปแบบวิดีโออินโฟกราฟิก
เรื่อง 6 โรคที่พบบ่อยในฤดูฝน สำหรับผู้รับบริการโรงพยาบาลพระแสง

ภาพที่ 3 สื่อการเรียนรู้แสดงข้อมูลเกี่ยวกับโรคไข้หวัดใหญ่

เสียงบรรยาย : การติดต่อจากเชื้อไวรัสไข้หวัดใหญ่ที่อยู่ในเสมหะ น้ำมูก น้ำลายของผู้ป่วย สามารถแพร่ติดต่อไปยังบุคคลอื่น เชื้ออยู่ในอากาศได้หลายชั่วโมง โดยเฉพาะในฤดูหนาวและความชื้นต่ำ ระยะการติดต่อของ โรค 3-5 วัน ในเด็กอาจมีระยะ 7-10 วันหลังจากที่มีอาการแล้ว ระยะฟักตัว 1-3 วัน ผู้ป่วยจะอาการ มีไข้สูง หนาวสั่น ปวดศีรษะ ปวดกล้ามเนื้อ ปวดกระบอกตา ตาแดง คัดจมูก น้ำมูกไหล อ่อนเพลียมาก เจ็บคอ ไอ อาจมีอาการเบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน หรือท้องเสียร่วมด้วย

ภาพที่ 4 สื่อการเรียนรู้แสดงข้อมูลเกี่ยวกับโรคปอดบวม

เสียงบรรยาย : อาการของ โรคปอดบวม/ปอดอักเสบ ผู้ที่เป็นโรคปอดบวม/ปอดอักเสบจะมีอาการแตกต่างกันไป เช่น เจ็บหน้าอกเมื่อหายใจ หรือไอ ผู้ป่วยสูงอายุอาจมีอาการซึมและสับสน ไอมีเสมหะ อ่อนเพลีย มีไข้ เหงื่อออกมากและหนาวสั่น มีอุณหภูมิร่างกายลดลงกว่าปกติ โดยเฉพาะในผู้ป่วยสูงอายุหรือผู้ที่มีระบบภูมิคุ้มกันอ่อนแอ อาจมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน หรือท้องเสียร่วมด้วย และหายใจหอบถี่

ภาพที่ 5 สื่อการเรียนรู้แสดงข้อมูลเกี่ยวกับโรคไข้เลือดออก

เสียงบรรยาย : การดูแลเบื้องต้นแนะนำให้พักผ่อนให้เพียง พอดื่มน้ำมาก ๆ และใช้ยาพาราเซตามอล เพื่อลดไข้ ข้อควรระวังที่สำคัญคือห้ามใช้ ยาลดไข้กลุ่มไอบูโพรเฟน หรือแอสไพรินโดยเด็ดขาดหากไข้ไม่ลดภายใน 3-4 วัน ควรรีบพบแพทย์เพื่อเจาะเลือดตรวจ นอกจากนี้ไวรัสเดงกีมีทั้งหมด 4 สายพันธุ์ผู้ป่วยจึงมีโอกาสเป็น ไข้เลือดออกซ้ำได้ และการติดเชื้อในครั้งต่อมา อาจมีอาการรุนแรงขึ้น

ภาพที่ 6 สื่อการเรียนรู้แสดงข้อมูลเกี่ยวกับโรคท้องร่วง

เสียงบรรยาย : การป้องกันและเฝ้าระวังโรคสามารถทำได้ ด้วยการรักษาสุขอนามัยพื้นฐานดังนี้ 1) ฝึกให้เด็กล้างมือบ่อย ๆ ด้วยน้ำและสบู่ ทั้งก่อนและหลังรับประทาน หลังเข้าห้องน้ำและหลังเล่นของเล่น 2) หมั่นทำความสะอาดของใช้ของเล่นและพื้นที่ส่วนรวมที่เด็กต้องใช้ ร่วมกันเป็นประจำ 3) หลีกเลี่ยงการใช้สิ่งของส่วนตัวร่วมกัน เช่น แก้วน้ำ ช้อน อาหาร หรือผ้าเช็ดหน้า

ผลการประเมินความเที่ยงตรงเชิงโครงสร้างและเนื้อหาโดยผู้เชี่ยวชาญก่อนนำสื่อไปเก็บข้อมูลความพึงพอใจ ผู้วิจัยได้นำแบบสอบถามและสื่อไปให้ผู้เชี่ยวชาญทำการตรวจสอบความเที่ยงตรง (IOC) ผลการประเมินปรากฏดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ผลประเมินความเที่ยงตรงของผู้เชี่ยวชาญด้านสื่อการเรียนรู้

รายการประเมินด้านเครื่องมือและการออกแบบ	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1. ความเหมาะสมของการใช้งานสื่อมัลติมีเดีย	+1	+1	+1	1.00
2. ความรวดเร็วในการตอบสนองและการแสดงผลของสื่อ	+1	+1	+1	1.00
3. การนำเสนอสื่อมีความน่าสนใจและดึงดูดสายตา	+1	+1	+1	1.00
4. ความเหมาะสมระหว่างปริมาณของภาพและปริมาณของเนื้อหา	+1	+1	+1	1.00
5. เนื้อหามีความเข้าใจง่าย เหมาะสมกับผู้รับบริการทั่วไป	+1	+1	+1	1.00
6. เนื้อหามีความครบถ้วนเกี่ยวกับโรคติดต่อทั้ง 6 โรค	+1	+1	+1	1.00
7. ข้อมูลเกี่ยวกับอาการของแต่ละโรคมีความชัดเจนถูกต้อง	+1	+1	+1	1.00
8. ข้อมูลเกี่ยวกับการป้องกันโรคมีความเป็นประโยชน์ในชีวิตประจำวัน	+1	+1	+1	1.00
9. สื่อสามารถนำความรู้ไปสู่การปฏิบัติเพื่อป้องกันโรคได้จริง	+1	+1	+1	1.00
10. ความเหมาะสมในการจัดวางองค์ประกอบและตัวอักษรบนหน้าจอ	+1	+1	+1	1.00
ค่าเฉลี่ยรวม		**30/30**		**1.00**

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความเที่ยงตรงของผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาต่อสื่อการเรียนรู้

รายการประเมินด้านเนื้อหาทางการแพทย์	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1. เนื้อหาตรงตามจุดประสงค์ของสาระการเรียนรู้สุขศึกษา	+1	+1	+1	1.00
2. มีเนื้อหาที่กระชับ ได้ใจความ และเข้าใจง่าย	+1	+1	+1	1.00
3. ความถูกต้องของภาษาทางการแพทย์ที่ใช้งานในสื่อ	0	+1	0	0.33
4. เนื้อหามีความเหมาะสมกับระดับการรับรู้ของประชาชน	+1	+1	+1	1.00
5. ลำดับขั้นตอนในการนำเสนอเนื้อหาของโรคมีความลื่นไหล	+1	+1	+1	1.00
6. ความสอดคล้องของเนื้อหาในแต่ละหัวข้อหลักและหัวข้อย่อย	+1	+1	+1	1.00
7. ความชัดเจนในการอธิบายอาการและการดูแลตนเองเบื้องต้น	+1	+1	+1	1.00
8. ความน่าสนใจและความคิดสร้างสรรค์ในการดำเนินเรื่อง	+1	+1	+1	1.00
9. ผู้รับชมได้รับความรู้และความเข้าใจเพิ่มขึ้นจากสื่อ	+1	+1	+1	1.00
10. การเลือกใช้ภาษาเขียนที่เป็นทางการและเหมาะสม	0	+1	0	0.33
ค่าเฉลี่ยรวม		**26/30**		**0.86**

ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างจำนวน 100 คน ประกอบด้วย เพศหญิง จำนวน 61 คน (ร้อยละ 61) เพศชาย จำนวน 37 คน (ร้อยละ 37) และเพศอื่น ๆ จำนวน 2 คน (ร้อยละ 2) เมื่อพิจารณาด้านอายุ พบว่าส่วนใหญ่เป็นกลุ่มบุคคลในช่วงอายุ 36-60 ปี จำนวน 40 คน (ร้อยละ 40) รองลงมาคือ ช่วงอายุ 26-35 ปี จำนวน 26 คน (ร้อยละ 26) ช่วงอายุ 18-25 ปี จำนวน 20 คน (ร้อยละ 20) ช่วงอายุมากกว่า 60 ปี จำนวน 9 คน (ร้อยละ 9) และช่วงอายุต่ำกว่า 18 ปี มีจำนวนน้อยที่สุดคือ 5 คน (ร้อยละ 5)

ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้รับบริการที่มีต่อสื่อวิดีโออินโฟกราฟิกหลังการเปิดฉายสื่อวิดีโออินโฟกราฟิกเรื่อง 6 โรคที่พบบ่อยในฤดูฝน มีรายการประเมินความพึงพอใจออกเป็น 2 ด้าน คือ 1) ด้านประสิทธิภาพและประโยชน์ของสื่อ และ 2) ด้านการออกแบบและศิลปกรรมดิจิทัล ได้ผลการประเมินแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความพึงพอใจของผู้รับบริการที่มีต่อสื่อการเรียนรู้

รายการประเมินความพึงพอใจ	$\overline{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านประสิทธิภาพและประโยชน์ของสื่อ			
1. ความเหมาะสมและประสิทธิภาพของการใช้งานสื่อในโรงพยาบาล	4.33	0.66	มาก
2. ความรวดเร็วและความเสถียรในการตอบสนองของระบบสื่อ	4.46	0.67	มาก
3. รูปแบบการนำเสนอมีความน่าสนใจ ดึงดูดความสนใจได้ดี	4.39	0.69	มาก
4. ความเหมาะสมระหว่างปริมาณของภาพประกอบกับปริมาณของเนื้อหา	4.32	0.67	มาก
5. เนื้อหามีความกระชับ เข้าใจง่าย เหมาะสมกับผู้รับบริการทั่วไป	4.38	0.64	มาก
6. เนื้อหามีความครบถ้วนสมบูรณ์ครอบคลุมโรคทั้ง 6 โรค	4.32	0.69	มาก
7. ข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับอาการของแต่ละโรคมีความชัดเจน	4.28	0.66	มาก
8. ข้อมูลคำแนะนำเกี่ยวกับการป้องกันโรคมีความเป็นประโยชน์ต่อประชาชน	4.31	0.70	มาก
9. ท่านสามารถนำองค์ความรู้จากสื่อไปปรับใช้ปฏิบัติเพื่อป้องกันโรคได้จริง	4.28	0.75	มาก
10. ท่านจะแนะนำหรือส่งต่อให้คนในครอบครัวหรือคนรู้จักได้รับชมสื่อนี้	4.33	0.66	มาก
ด้านการออกแบบและศิลปกรรมดิจิทัล			
1. สื่อมีการออกแบบภาพกราฟิกและโทนสีได้อย่างสวยงาม	4.34	0.65	มาก
2. สื่อมีความทันสมัย น่าติดตาม และไม่น่าเบื่อ	4.38	0.61	มาก
3. การจัดวางสัดส่วนเนื้อหา แอนิเมชัน และตัวอักษรมีความเหมาะสม	4.24	0.72	มาก
4. ความเร็วในการเคลื่อนไหวและการแสดงผลตัวอักษรมีความพอดี	4.21	0.65	มาก
5. ขนาดและรูปแบบของฟอนต์ตัวอักษร อ่านง่าย สบายตา	4.26	0.66	มาก
6. การออกแบบฉากและส่วนประกอบโดยรวมบนหน้าจอคอมพิวเตอร์	4.42	0.66	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม	**4.32**	**0.67**	**มาก**

จากตารางที่ 3 พบว่า ผู้รับบริการมีความพึงพอใจต่อสื่อโดยรวมอยู่ในระดับมาก $\overline{X}$ = 4.32 รายการที่ได้รับค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ ความรวดเร็วและความเสถียรในการตอบสนองของระบบสื่อ $\overline{X}$ = 4.46 รองลงมา คือ การออกแบบฉากและส่วนประกอบบนหน้าจอ $\overline{X}$ = 4.42 ส่วนรายการที่มีคะแนนต่ำที่สุด คือ ความเร็วในการเคลื่อนไหวและการแสดงผลตัวอักษร $\overline{X}$ = 4.21 ซึ่งสอดคล้องและเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ทุกประการ

6. สรุปผลการวิจัย

ผลการพัฒนาสื่อการเรียนรู้ พบว่า ด้านประสิทธิภาพและประโยชน์ของสื่อ มีค่าเฉลี่ยรวม 4.35 ระดับความพึงพอใจมาก ด้านการออกแบบและศิลปกรรมดิจิทัล มีค่าเฉลี่ยรวม 4.29 ระดับความพึงพอใจมาก ค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมด 4.32 ระดับความพึงพอใจมาก (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.67) ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าผู้รับบริการมีความพึงพอใจต่อสื่อที่พัฒนาขึ้นอยู่ในระดับสูง ในการพัฒนาสื่อวิดีโออินโฟกราฟิกด้วยโปรแกรม Canva ได้รับการรับรองด้านความถูกต้องของเนื้อหาจากคณะแพทย์โรงพยาบาลพระแสง (IOC = 0.86) และได้รับการรับรองด้านความถูกต้องด้านความเที่ยงตรงของเทคนิคเครื่องมือจากผู้เชี่ยวชาญคอมพิวเตอร์ (IOC = 1.00) เมื่อนำไปเปิดฉายจริงบริเวณจุดพักคอย สามารถใช้เป็นสื่อในการเผยแพร่ความรู้แก่ผู้รับบริการได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยได้รับคะแนนพึงพอใจมีค่าเฉลี่ย 4.32 อยู่ในเกณฑ์ระดับมาก สื่อนี้สามารถใช้เป็นทางเลือกในการเผยแพร่ข้อมูลสุขภาพเพิ่มเติมจากเอกสารสิ่งพิมพ์แบบเดิม ช่วยประหยัดต้นทุนโรงพยาบาล และเพิ่มการเข้าถึงข้อมูลสุขภาพที่สำคัญในช่วงฤดูฝนได้อย่างเป็นรูปธรรม ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าสื่อการเรียนรู้ดังกล่าวมีศักยภาพในการส่งเสริมการเรียนรู้ และการปลูกจิตสำนึกด้านการป้องกันโรค ในการศึกษาระยะยาว หากได้มีการเผยแพร่สื่อดังกล่าวอย่างต่อเนื่องในพื้นที่ อาจจะช่วยให้ประชาชนมีพฤติกรรมการป้องกันโรคที่ดีขึ้น ซึ่งสามารถนำไปสู่การลด อุบัติการณ์ของโรค 6 โรคในฤดูฝนได้ในระยะยาว

7. การอภิปรายผล

ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาสะท้อนให้เห็นว่า นอกจากความถูกต้องของสาระทางวิชาการแล้ว การเลือกใช้ภาษาที่เหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมายยังเป็นองค์ประกอบสำคัญของการพัฒนาสื่อการเรียนรู้ด้านสุขภาพ โดยแม้ว่าค่า IOC โดยรวมจะอยู่ในระดับเหมาะสม (0.86) แต่ผู้เชี่ยวชาญได้เสนอแนะให้ปรับปรุงการใช้ภาษาทางการแพทย์และภาษาเขียนให้สอดคล้องกับระดับการรับรู้ของประชาชนทั่วไป ผู้วิจัยจึงได้ปรับแก้ถ้อยคำให้กระชับ ชัดเจน และเข้าใจง่าย พร้อมทั้งตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาอีกครั้งก่อนนำสื่อไปทดลองใช้ ทั้งนี้ การปรับปรุงดังกล่าวมีส่วนช่วยให้ผู้รับบริการมีความพึงพอใจต่อสื่อในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$ = 4.32) สะท้อนให้เห็นว่าการใช้ภาษาที่เหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมายมีบทบาทสำคัญต่อประสิทธิภาพของการสื่อสารสุขภาพ และประเด็นที่น่าสนใจจากการวิจัยพบว่า รายการประเมินที่มีคะแนนเฉลี่ยสูงสุดในด้านประสิทธิภาพคือ ความรวดเร็วในการตอบสนองของสื่อ ($\overline{X}$ = 4.46) และด้านการออกแบบคือ การออกแบบส่วนประกอบบนหน้าจอภาพ ($\overline{X}$ = 4.42) สิ่งนี้สะท้อนให้เห็นว่าผู้รับบริการในปัจจุบันให้ความสำคัญกับความลื่นไหลทางเทคโนโลยีและความสวยงามสบายตาของสื่อดิจิทัล ผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องอย่างยิ่งกับงานวิจัยของ สุริย์ฉาย และอัศวินี [1] ที่ระบุว่าองค์ประกอบของการออกแบบสื่อมัลติมีเดียที่เหมาะสม ทั้งในด้านภาพ สี เสียงบรรยาย และรูปแบบตัวอักษร จะช่วยดึงดูดและกระตุ้นความสนใจในการรับรู้ข้อมูลของผู้รับสารได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับผลงานของ รัตนาภรณ์และคณะ[2] ที่ชี้ให้เห็นว่า การนำสื่อมัลติมีเดียมาประยุกต์ใช้ในการให้สุขศึกษาของสถานพยาบาล จะช่วยตอบสนองความต้องการและยกระดับความพึงพอใจของผู้รับบริการได้มากขึ้น และสอดคล้องกับแนวคิดของ กิตติศักดิ์ และจรัญ [10] ที่ว่าการดำเนินเรื่องราวมีความต่อเนื่อง และมีการกำหนดความยาวของวิดีโอที่เหมาะสมกับเนื้อหา ข้อเสนอแนะในการปรับปรุง จากข้อเสนอแนะของผู้รับบริการและสังเกตการณ์ของผู้วิจัย มีข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงสื่อต่อไปดังนี้ 1. ควรเพิ่มข้อมูลเกี่ยวกับกลุ่มเสี่ยง และเวลาที่ควรไปพบแพทย์ 2. ควรเพิ่มตัวอย่างจริงหรือภาพประกอบที่สมจริงยิ่งขึ้น

8. เอกสารอ้างอิง

[1] สุริย์ฉาย คิดหาทอง และอัศวินี ตันกุริมาน. (2565). ผลของการใช้สื่อมัลติมีเดียร่วมสอนต่อความรู้และทักษะในการสร้างสัมพันธภาพและการสื่อสารเพื่อการบำบัดของนักศึกษาพยาบาลศาสตร์. *วารสารการพยาบาลและการศึกษา*, [2565], 14–26.

[2] รัตนาภรณ์ ปราสาททอง รัชนีกร อุไรวรรณ และสุภาภรณ์ จันปาน. (2566). การพัฒนาสื่อการเรียนรู้เสริมสุขภาพด้านโรคเบาหวาน ความดัน และไขมัน สำหรับผู้สูงอายุ ที่มารับบริการ ณ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลท่าทองใหม่ จังหวัดสุราษฎร์ธานี. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติด้านทรัพยากรธรรมชาติและวิทยาศาสตร์สุขภาพ ครั้งที่ 2* (น. 211–218). สกลนคร: คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร.

[3] กรมควบคุมโรค. (ม.ป.ป.). ไข้หวัดใหญ่ (Influenza, Flu). สืบค้น 30 มกราคม 2569, จาก https://ddc.moph.go.th/disease_detail.php?d=13

[4] กรมควบคุมโรค. (ม.ป.ป.). โรคตาแดง โรคตาอักเสบ (Hemorrhagic Conjunctivitis, Acute Hemorrhagic Conjunctivitis, Epidemic Conjunctivitis, Viral Conj.). สืบค้น 30 มกราคม 2569, จาก https://ddc.moph.go.th/disease_detail.php?d=91

[5] กรมควบคุมโรค. (ม.ป.ป.). โรคปอดบวม ปอดอักเสบ (Pneumonia). สืบค้น 29 มกราคม 2569, จาก https://ddc.moph.go.th/disease_detail.php?d=21

[6] กรมควบคุมโรค. (ม.ป.ป.). มือ เท้า ปาก (Hand, Foot and Mouth Disease (HFM)). สืบค้น 30 มกราคม 2569, จาก https://ddc.moph.go.th/disease_detail.php?d=11

[7] กรมควบคุมโรค. (2565). ไข้เด็งกี่ (Dengue). สืบค้น 29 มกราคม 2569, จาก https://ddc.moph.go.th/disease_detail.php?d=44

[8] โรงพยาบาลศิครินทร์. (2564). รู้จักอาการ วิธีดูแลรักษา เมื่อเป็นโรคท้องร่วง. สืบค้น 29 มกราคม 2569, จาก https://www.sikarin.com/health/รู้จักอาการ-วิธีดูแลรัก

[9] ฤทธิไกร ไชยงาม. (2562). มาตรวัดเจตคติแบบลิเคิร์ท. สืบค้น [30 มกราคม 2569], จาก https://www.gotoknow.org/posts/659229

[10] กิตติศักดิ์ สิงห์สูงเนิน และจรัญ รามศิริ. (2564). การพัฒนาสื่อโมชันกราฟิก เรื่อง 10 วิธีป้องกันโควิด-19 ด้วยฐานวิถีชีวิตใหม่. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระหว่างสถาบัน ครั้งที่ 8* (น.1344–1353). ปทุมธานี: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์.

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีสกัดดีเอ็นเอจากไดอะตอมบนสิ่งทอเพื่อประยุกต์ใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์

Comparative Efficiency of DNA Extraction Methods from Diatoms on Textile Fabrics for Forensic Applications

รัฐญา แก้วเนตร[1*] เขมิกา ลมไธสง[1] และ นิศารัตน์ ตั้งไพโรจน์วงศ์[2]

[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์บูรณาการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
[2]สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
*E-mail: rataya.k@kkumail.com

บทคัดย่อ

ไดอะตอมเป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ ในงานนิติวิทยาศาสตร์มักใช้ไดอะตอมเพื่อวินิจฉัยการจมน้ำตายและใช้เป็นหลักฐานร่องรอยเพื่อเชื่อมโยงผู้ต้องสงสัยกับสถานที่เกิดเหตุที่เป็นแหล่งน้ำ ปัจจุบันมีการนำเทคนิคเมตาจีโนมิกส์มาใช้เพื่อระบุความหลากหลายของชนิดไดอะตอมในแหล่งน้ำได้พร้อมกัน โดยไม่จำเป็นต้องทราบชนิดของไดอะตอมล่วงหน้า ต่างจากวิธีดั้งเดิมที่ต้องอาศัยการวิเคราะห์แยกทีละชนิด แต่ผลสำเร็จของการวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับปริมาณและคุณภาพของดีเอ็นเอที่สกัดได้เป็นสำคัญ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีสกัดดีเอ็นเอจากไดอะตอมบนผ้า โดยนำตัวอย่างผ้า 3 ชนิด ได้แก่ ผ้าฝ้าย ผ้าโพลีเอสเตอร์ และผ้าเดนิม ที่มีไดอะตอมตัวอย่างละ 1×10^6 cells ไปทำการสกัดด้วย 3 วิธี ได้แก่ ชุดสกัดสำเร็จรูป DNeasy Plant Mini Kit วิธี CTAB และวิธี Chelex-100 จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณและคุณภาพของดีเอ็นเอที่สกัดได้ด้วยวิธี Spectrophotometry และ Agarose gel electrophoresis ผลการศึกษาพบว่าวิธีสกัดมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อปริมาณดีเอ็นเอที่สกัดได้ โดยวิธี CTAB ให้ปริมาณดีเอ็นเอสูงที่สุด (278.82±46.87 ng/µl) สูงกว่าวิธี Chelex-100 และชุดสกัดสำเร็จรูป DNeasy Plant Mini Kit อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) นอกจากนี้วิธี CTAB ยังให้ค่าความบริสุทธิ์ A260/A280 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและให้แถบดีเอ็นเอที่สมบูรณ์บน agarose gel electrophoresis ในทุกชนิดผ้า ในขณะที่ชนิดผ้าไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อปริมาณดีเอ็นเอที่สกัดได้ ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าวิธี CTAB มีประสิทธิภาพในการสกัดดีเอ็นเอของไดอะตอมบนพื้นผิวสิ่งทอได้ดีที่สุดในบรรดาวิธีที่ทดสอบและสามารถนำไปใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาวิธีสำหรับการตรวจวิเคราะห์ไดอะตอมจากหลักฐานประเภทเสื้อผ้าในงานนิติวิทยาศาสตร์ต่อไป ทั้งนี้ การศึกษาในอนาคตควรทดสอบคุณภาพของดีเอ็นเอที่สกัดได้ด้วยเทคนิค PCR หรือเมตาจีโนมิกส์ เพื่อยืนยันความเหมาะสมในการนำไปใช้ระบุชนิดไดอะตอมในสภาวะจริงทางนิติวิทยาศาสตร์

คำสำคัญ ไดอะตอม นิติวิทยาศาสตร์ การสกัดดีเอ็นเอ

Abstract

Diatoms are unicellular aquatic microorganisms widely used in forensic science for drowning diagnosis and as trace evidence to associate suspects with aquatic crime scenes. Metagenomic approaches have recently been adopted to simultaneously characterize diatom community diversity without prior knowledge of species composition, overcoming the limitations of conventional morphological analysis. However, the success of such analyses depends critically on the quantity and quality of extracted DNA. This study aimed to compare the efficiency of three DNA extraction methods, namely a commercial extraction kit (DNeasy Plant Mini Kit), CTAB, and Chelex-100, applied to diatoms deposited on three fabric types: cotton, polyester, and denim, each inoculated with 1×10^6 diatom cells. DNA quantity and quality were assessed by spectrophotometry and agarose gel electrophoresis. Results revealed that the extraction method had a statistically significant effect on DNA yield, whereas fabric type had no significant effect. The CTAB method yielded the highest DNA concentration (278.82±46.87 ng/µl), significantly exceeding those of Chelex-100 and the commercial kit. Furthermore, CTAB-extracted DNA demonstrated acceptable purity ratios A260/280 and distinct bands on agarose gel electrophoresis across all fabric types. These findings suggest that the CTAB method is the most suitable approach for DNA extraction from fabric-associated diatoms and may serve as a foundation for developing standardized protocols for forensic textile evidence analysis. Future studies should validate the amplifiability of the extracted DNA using PCR or metagenomic sequencing to confirm its applicability for diatom species identification in real forensic casework.

Keywords: Diatom, Forensic science, DNA Extraction

1. บทนำ

ไดอะตอม (Diatom) เป็นสาหร่ายยูคาริโอตเซลล์เดียวที่อยู่ใน Phylum Bacillariophyta มีขนาดตั้งแต่ 2-200 ไมโครเมตร พบได้ทั่วไปและแพร่กระจายในแหล่งน้ำเกือบทุกแห่ง เช่น แม่น้ำ ทะเลสาบ บ่อ หรือในมหาสมุทร อาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมชื้น พื้นผิวหน้าดิน หรือหน้าผิวของหินที่สัมผัสกับน้ำ ไดอะตอมมีความหลากหลายอย่างมาก ปัจจุบันมีการบันทึกไดอะตอมในฐานข้อมูล AlgaeBase มากกว่า 20,995 ชนิด [1] ลักษณะเด่นของไดอะตอมคือมีผนังเซลล์ที่ประกอบด้วยซิลิคอนไดออกไซด์หรือซิลิกา เรียกว่า ฟรัสทูล (frustule) ซึ่งมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมสูงและมีลักษณะเฉพาะตามชนิด จึงมีประโยชน์อย่างยิ่งในการสืบสวนทางนิติวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับแหล่งน้ำ [2, 3]

ประเทศไทยมีผู้เสียชีวิตจากสาเหตุการจมน้ำจำนวนมาก จากรายงานของกองป้องกันการบาดเจ็บ กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข พบว่าประเทศไทยมีสถิติผู้เสียชีวิตจากการจมน้ำสูงถึงปีละกว่า 3,600 ราย โดยส่วนใหญ่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำธรรมชาติ [4] ถึงแม้ว่าไดอะตอมจะมุ่งเน้นไปที่การพิสูจน์การจมน้ำเป็นหลัก แต่ไดอะตอมสามารถใช้เป็นหลักฐานร่องรอย (trace evidence) เพื่อยืนยันว่าผู้เสียชีวิตหรือผู้ต้องสงสัยเคยสัมผัสกับแหล่งน้ำหรือไม่ โดยหลักฐานร่องรอย คือวัตถุขนาดเล็กที่ถูกถ่ายโอนเคลื่อนย้ายหรือแลกเปลี่ยนในสถานที่เกิดเหตุซึ่งใช้เชื่อมโยงผู้ต้องสงสัย เหยื่อ และที่เกิดเหตุได้ตามหลักของ Locard's Exchange Principle ซึ่ง ในปี 1994 มีรายงานคดีที่ใช้ไดอะตอมในการพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์โดยทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนประชากรของไดอะตอมที่พบบนรองเท้าของผู้ต้องสงสัย รองเท้าของเหยื่อ และตัวอย่างดินตะกอนอ้างอิงจากสระน้ำที่พบศพ พบว่าประชากรไดอะตอมที่พบจากหลักฐานทั้ง 3 อย่างมาจากสถานที่เดียวกัน [5] เมื่อร่องรอยหลักฐานจากน้ำพบว่าไดอะตอมสามารถนำมาใช้ในการเชื่อมโยงผู้ต้องสงสัยเข้ากับแหล่งน้ำได้ จึงมีการศึกษาเกี่ยวกับไดอะตอมในทางนิติวิทยาศาสตร์เพื่อใช้ในการติดตามหลักฐานมากขึ้น มีการศึกษาวิธีการสกัดไดอะตอมจากวัสดุที่ยึดเกาะ เช่น เสื้อผ้า และรองเท้า ด้วยวิธีการต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการย่อยด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ [6] การล้างด้วยเอทานอล การย่อยด้วยกรด [7] และวิธีการเผา [8] รวมถึงมีการศึกษาการถ่ายโอนและการคงอยู่ของไดอะตอมในสถานการณ์จำลองที่ทางนิติวิทยาศาสตร์เพื่อสนับสนุนการตีความหลักฐานต่อศาล [9] อย่างไรก็ตามการระบุชนิดของไดอะตอมในการศึกษาดังกล่าวยังอาศัยการจำแนกจากลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ซึ่งมีข้อจำกัดทั้งด้านเวลา และผู้เชี่ยวชาญในการระบุชนิดของไดอะตอม

เพื่อแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว จึงมีการพัฒนาวิธีการระบุชนิดไดอะตอมโดยอาศัยการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณดีเอ็นเอเครื่องหมาย เช่น *rbcL,* 18S rRNA และ ITS [10] และต่อมามีการนำเทคนิคเมตาจีโนมิกส์มาประยุกต์ใช้เพื่อระบุชนิดไดอะตอมในชุมชนทั้งหมดได้พร้อมกันโดยไม่ต้องแยกเลี้ยงไดอะตอมแต่ละชนิดก่อน ซึ่งได้นำมาวิเคราะห์ตัวอย่างจากผู้เสียชีวิตเพื่อระบุสาเหตุและตำแหน่งของการจมน้ำ [11, 12] อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานการใช้เทคนิคเมตาจีโนมิกส์ในการวิเคราะห์ไดอะตอมที่เป็นหลักฐานร่องรอยจากเสื้อผ้า ซึ่งปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความสำเร็จของการวิเคราะห์ดังกล่าวคือประสิทธิภาพของการสกัดดีเอ็นเอจากไดอะตอมบนผ้า

การสกัดดีเอ็นเอจากไดอะตอมบนผ้ามีความท้าทายเนื่องจากโครงสร้างเส้นใยของผ้าแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ผ้าฝ้ายเป็นเส้นใยธรรมชาติมีโครงสร้างที่ดูดซับน้ำได้ดี ในขณะที่ผ้าโพลีเอสเตอร์เป็นเส้นใยสังเคราะห์มีพื้นผิวที่เรียบและไม่ดูดซับน้ำ ส่วนผ้าเดนิมซึ่งมีความหนาแน่นของเส้นใยสูงอาจกักเก็บไดอะตอมได้มากกว่า ความแตกต่างเหล่านี้อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพของการสกัดดีเอ็นเอ นอกจากนี้วิธีการสกัดดีเอ็นเอที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ วิธี CTAB ซึ่งอาศัยสารลดแรงตึงผิวในการทำลายเซลล์ วิธี Chelex-100 ซึ่งใช้เรซินจับไอออนโลหะที่ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ และชุดสกัดสำเร็จรูปที่ใช้หลักการจับดีเอ็นเอบนคอลัมน์ซิลิกา ต่างมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่าง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการสกัดดีเอ็นเอทั้ง 3 วิธีจากไดอะตอมบนผ้าทั้ง 3 ชนิด เพื่อคัดเลือกวิธีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้กับเทคนิคเมตาจีโนมิกส์ในงานนิติวิทยาศาสตร์ต่อไป

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

2.1 การเก็บและเตรียมตัวอย่างไดอะตอม

ได้ทำการเก็บตัวอย่างไดอะตอมที่อาศัยอยู่บริเวณพื้นท้องน้ำจากบ่อน้ำบริเวณสระพลาสติกในมหาวิทยาลัยขอนแก่น พร้อมทั้งวัดพารามิเตอร์ทางกายภาพและเคมีของน้ำบางประการ เก็บตัวอย่างไดอะตอมบริเวณพื้นท้องน้ำโดยการสุ่มพื้นที่จำนวน 6 จุดจากนั้นใช้แผ่นพลาสติกเจาะรูขนาด 5×5 cm และปัดไดอะตอมด้วยแปรงสีฟันลงในขวดเก็บตัวอย่าง นำตัวอย่างไดอะตอมกลับยังห้องปฏิบัติการเพื่อนับความหนาแน่นของเซลล์ด้วย Haemocytometer ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ จากนั้นรักษาตัวอย่างในเอทานอล 1 ต่อ 3 ส่วนเพื่อรักษาตัวอย่างที่เอทานอล 70% เก็บที่อุณหภูมิ 4°C [13]

2.2 การเตรียมตัวอย่างผ้าที่มีไดอะตอม

ตัดผ้าฝ้าย ผ้าโพลีเอสเตอร์ และผ้าเดนิมขนาด 1×1 cm ที่ผ่านการฆ่าเชื้อใส่ในหลอด microcentrifuge ปั่นเหวี่ยงตัวอย่างไดอะตอม 1×10^6 cells ที่ 8,000 rpm เป็นเวลา 5 นาที ดูด supernatant ออก แล้วหยด diatom pellet ลงกลางผ้าทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง เพื่อจำลองคราบแห้ง

2.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสกัด

ทำการสกัดดีเอ็นเอโดยใช้ตัวอย่างผ้าแต่ละชนิด จำนวน 3 ซ้ำ นำมาสกัดด้วย 3 วิธีที่แตกต่างกัน พร้อมทั้งมีชุดควบคุมการทดลอง (Control) คือน้ำที่มีไดอะตอมในปริมาตรที่เท่ากัน

เนื่องจากไดอะตอมมีผนังเซลล์เป็นฟรัสทูลการสกัดดีเอ็นเอจำเป็นต้องมีขั้นตอนของการเติม glass bead เพื่อช่วยในการทำลายผนังเซลล์ก่อนนำไปสกัดด้วยวิธีต่าง ๆ [14]

2.3.1 การสกัดดีเอ็นเอด้วยวิธี Chelex-100 ดัดแปลงวิธีจาก Walsh และคณะ [15]

เติม glass beads (0.5 mm, 200 mg) ลงไปในหลอด microcentrifuge ที่มีตัวอย่างผ้า แล้วเติม 5% Chelex-100 (400 µl) ลงไป บดตัวอย่างด้วย sterile pestle เป็นเวลา 5 นาที (ทำซ้ำ 2-3 ครั้ง) นำไปปั่นเหวี่ยงแบบ quick spin 5,000 rpm 30 วินาที ให้ความร้อน 95°C 20 นาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 13,000 rpm 5 นาที ดูดเก็บส่วนใส ก่อนตกตะกอนดีเอ็นเอด้วยเอทานอลที่เย็น ละลายตะกอนดีเอ็นเอด้วย AE buffer 30 µl เก็บสารละลายดีเอ็นเอไว้ที่อุณหภูมิ -20°C เพื่อนำไปประเมินประสิทธิภาพของดีเอ็นเอที่สกัดได้ต่อไป

2.3.2 การสกัดดีเอ็นเอด้วยวิธี CTAB ดัดแปลงวิธีจาก Doyle และ Doyle [16]

เติม glass beads (0.5 mm, 200 mg) ลงไปในหลอด microcentrifuge ที่มีตัวอย่างผ้า แล้วเติม CTAB buffer buffer (2% CTAB, 100 mM Tris-HCl, 20 mM EDTA, 1.4 M NaCl) ปริมาตร 500 µl บดตัวอย่าง 5 นาที (ทำซ้ำ 2-3 ครั้ง) บ่มที่ 65°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง สกัดด้วย Chloroform: Isoamyl alcohol (24:1) ปั่นเหวี่ยงที่ 13,000 rpm

เป็นเวลา 10 นาที เก็บชั้นน้ำ ตกตะกอนดีเอ็นเอด้วยเอทานอลที่เย็นจัด ล้างตะกอนดีเอ็นเอด้วย 70% เอทานอล ละลายตะกอนดีเอ็นเอใน AE buffer 30 µl เก็บรักษาที่ -20°C เพื่อนำไปประเมินประสิทธิภาพของดีเอ็นเอที่สกัดได้ต่อไป

2.3.3 การสกัดดีเอ็นเอด้วยชุดสกัดสำเร็จรูป DNeasy Plant Mini Kit (QIAGEN)

ดำเนินการตามวิธีการของผู้ผลิต โดยดัดแปลงขั้นตอนการบดตัวอย่างโดยเพิ่ม glass beads (0.5 mm, 200 mg) และบดด้วย sterile pestle เป็นเวลา 5 นาที (ทำซ้ำ 2-3 ครั้ง) เก็บรักษาดีเอ็นเอที่ -20°C โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ชุดสกัดดีเอ็นเอสำเร็จรูป DNeasy Plant Mini Kit (QIAGEN) เนื่องจากไดอะตอมมีโพลีแซคคาไรด์ที่อาจตกตะกอนร่วมกับดีเอ็นเอและไปยับยั้ง PCR ได้ โดยชุดสกัดนี้มีบัฟเฟอร์ที่ช่วยกำจัดโพลีแซคคาไรด์ก่อนเข้าสู่ซิลิกาคอลัมน์ซึ่งดีกว่าชุดสกัดดีเอ็นเอสำหรับเนื้อเยื่อสัตว์ทั่วไป

2.4 การประเมินปริมาณและคุณภาพของดีเอ็นเอที่สกัดได้

วัดความเข้มข้นของดีเอ็นเอด้วย NanoDrop spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 260 นาโนเมตร โดยใช้ Blank เป็น AE Buffer ประเมินความบริสุทธิ์จากอัตราส่วน A260/A280 (ค่ามาตรฐาน ช่วง 1.8-2.0) และ A260/A230 (ค่ามาตรฐาน ช่วง 2.0-2.2) [17] ตรวจสอบคุณภาพของดีเอ็นเอด้วย agarose gel electrophoresis (1.5% agarose ใน 1×TBE buffer) ย้อมด้วย ViSafe Red Gel Stain และตรวจสอบผลภายใต้ UV transilluminator

2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของดีเอ็นเอระหว่างวิธีสกัดและชนิดผ้าด้วยวิธี Two-way ANOVA และ Post-hoc Tukey's HSD test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม SPSS version 26

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ผลการวัดปริมาณและคุณภาพดีเอ็นเอด้วยวิธี Spectrophotometry

ผลการเปรียบเทียบปริมาณดีเอ็นเอที่สกัดได้จากไดอะตอมบนผ้าแต่ละชนิดด้วยวิธีสกัดทั้งสามวิธี (ตารางที่ 1, ภาพที่ 1) พบว่าวิธี CTAB ให้ปริมาณความเข้มข้นของดีเอ็นเอสูงที่สุดในทุกชนิดผ้า โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 274.48±108.92, 250.16±82.33 และ 311.83±62.84 ng/µL สำหรับผ้าฝ้าย ผ้าโพลีเอสเตอร์ และผ้าเดนิม ตามลำดับ รองลงมาคือวิธี Chelex-100 (242.26±59.61, 12.68±5.98 และ 105.40±31.6 ng/µL) และชุดสกัดสำเร็จรูป (9.38±0.37, 6.6±1.91 และ 2.33±1.87 ng/µL) ตามลำดับ ประสิทธิภาพสูงของวิธี CTAB สอดคล้องกับคุณสมบัติของ CTAB buffer ที่ประกอบด้วย Cetyltrimethylammonium bromide ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวประจุบวกที่ทำลายเยื่อหุ้มเซลล์และตกตะกอนสารโพลีแซคคาไรด์ที่มักพบในสาหร่าย ร่วมกับ EDTA ที่ยับยั้งการทำงานของ DNase โดยจับกับ Mg^{2+} และ NaCl ที่ช่วยละลายสารปนเปื้อน จึงทำให้สามารถสกัดดีเอ็นเอจากเซลล์ที่มีผนังแข็งอย่างไดอะตอมได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yuan และคณะในปี 2015 ที่รายงานว่าวิธี CTAB ให้ประสิทธิภาพสูงในการสกัดดีเอ็นเอจากสาหร่ายที่มีผนังเซลล์แข็ง [18,19]

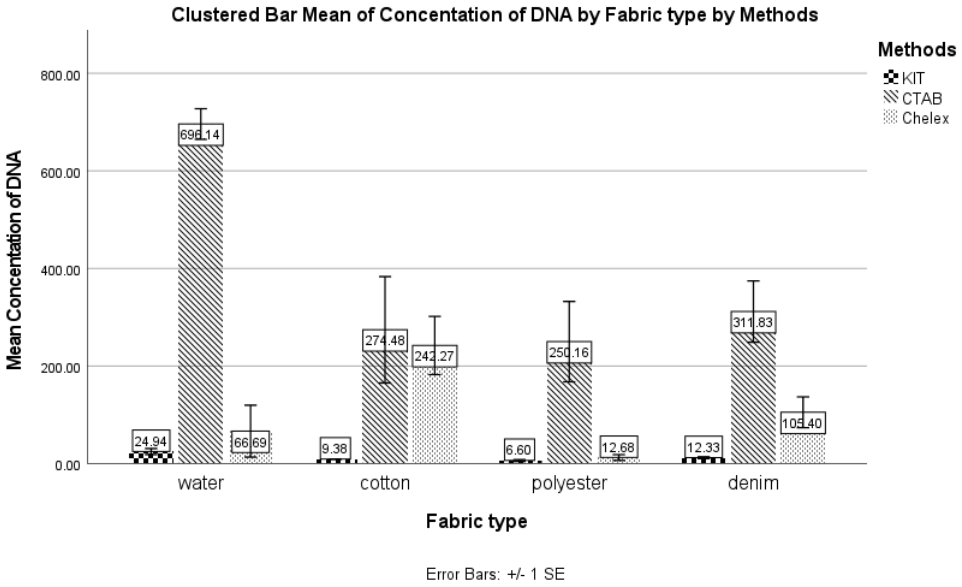
ผลการวิเคราะห์ด้วย Two-way ANOVA พบว่าวิธีสกัดมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อปริมาณดีเอ็นเอที่สกัดได้ ในขณะที่ชนิดผ้าและปฏิสัมพันธ์ระหว่างวิธีสกัดและชนิดผ้าไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการทดสอบ Tukey's HSD (ตารางที่ 2) พบว่าวิธี CTAB ให้ปริมาณดีเอ็นเอสูงกว่าชุดสกัดสำเร็จรูปและวิธี Chelex-100 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่ปริมาณดีเอ็นเอระหว่างชุดสกัดสำเร็จรูปและวิธี Chelex-100 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ถึงแม้ว่าค่าเฉลี่ยปริมาณดีเอ็นเอที่สกัดได้ด้วยวิธี Chelex-100 จากไดอะตอมบนผ้าฝ้ายจะสูงกว่าผ้าโพลีเอสเทอร์ถึง 20 เท่า แต่ผลการทดสอบทางสถิติไม่พบนัยสำคัญของปัจจัยชนิดผ้าและปฏิสัมพันธ์ ทั้งนี้อาจอธิบายได้จากค่าความแปรปรวนภายในกลุ่มของวิธี Chelex-100 ที่สูง ซึ่งเป็นผลจากการที่ Chelex-100 เป็นเทคนิคการสกัดแบบหยาบที่อาศัยเพียงความร้อนในการทำลายเซลล์ ทำให้ประสิทธิภาพการ lysis ในแต่ละซ้ำมีความไม่สม่ำเสมอสูง ความแตกต่างของปริมาณดีเอ็นเอระหว่างผ้าฝ้ายและโพลีเอสเตอร์ที่พบในวิธี Chelex-100 อาจเกิดจากคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) ของเซลลูโลสในผ้าฝ้าย ซึ่งช่วยให้ lysis buffer แทรกซึมเข้าถึงเซลล์ไดอะตอมได้ดีกว่าผ้าโพลีเอสเตอร์ที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) อย่างไรก็ตามความแปรปรวนภายในกลุ่มที่สูงทำให้กำลังทางสถิติไม่เพียงพอต่อการตรวจจับความแตกต่างนี้อย่างมีนัยสำคัญ จึงควรเพิ่มจำนวนซ้ำในการศึกษาครั้งต่อไป

สำหรับคุณภาพของดีเอ็นเอ พบว่าค่า A260/A280 (ภาพที่ 3) ของตัวอย่างผ้าที่สกัดด้วยวิธี CTAB อยู่ในช่วง 1.80-1.91 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ (1.8-2.0) บ่งชี้ว่าดีเอ็นเอที่สกัดได้มีความบริสุทธิ์เพียงพอและปราศจากการปนเปื้อนของโปรตีนสำหรับวิธี Chelex-100 และชุดสกัดสำเร็จรูปมีค่า A260/A280 อยู่ในช่วง 1.38-1.72 และ 1.31-1.42 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน อาจเกิดจากวิธี Chelex-100 เป็นการใช้เรซินจับกับไอออนโลหะเพื่อหยุดการทำงานของเอนไซม์ แต่ไม่มีขั้นตอนการกำจัดโปรตีน จึงทำให้มีการปนเปื้อนของโปรตีนในสารละลายดีเอ็นเอและวิธีที่ใช้ชุดสกัดสำเร็จรูปเป็นการนำ homogenate ที่ได้จากการบดตัวอย่างด้วย glass beads มากรองผ่านซิลิกาคอลัมน์ ซึ่งอาจมีเศษ glass beads ที่มีขนาดเล็กจนผ่านการปั่นแยกออกมาปนกับสารละลายดีเอ็นเอทำให้ไปรบกวนค่าการดูกลืนแสง นอกจากนี้ยังพบว่าค่า A260/A230 (ภาพที่ 2) ของตัวอย่างทุกชนิดผ้าไม่อยู่ในเกณฑ์มาตราฐานโดยเฉพาะผ้าเดนิมที่สกัดด้วยชุดสกัดสำเร็จรูปมีค่าเป็นลบ (-0.322) ซึ่งบ่งชี้ถึงการปนเปื้อนของสารที่ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 230 nm สูง อาจเป็นสีย้อม Indigo หรือ การตกค้างของเกลือหรือสารประกอบคาร์โบไฮเดรตในสารสกัดหรือสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตผ้าที่หลุดออกมาในระหว่างการสกัด การปนเปื้อนดังกล่าวอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพของการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป โดยเฉพาะการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเมตาจีโนมิกส์ที่ต้องการดีเอ็นเอที่มีความบริสุทธิ์สูง [20, 21]

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นและคุณภาพของดีเอ็นเอที่สกัดได้จากไดอะตอมบนผ้าต่าง 3 ชนิด (ฝ้าย, โพลีเอสเตอร์, เดนิม) ที่สกัดได้จากวิธีสกัด 3 วิธี (Kit, CTAB, Chelex) เปรียบเทียบกับดีเอ็นเอที่สกัดจากตัวอย่างไดอะตอมในน้ำ

ชนิดของเส้นใยผ้า	วิธีสกัด	Mean±SEM		
		ความเข้มข้นของดีเอ็นเอ (ng/µl)	(A260/A230)	(A260/A280)
Water	Kit*	24.94±6.17	2.21±0.17	1.69±0.06
	CTAB	696.13±31.44	2.26±0.11	2.01±0.02
	Chelex	76.98±53.13	1.40±0.14	1.44±0.10
Cotton	Kit*	9.38±0.37	2.33±0.68	1.42±0.12
	CTAB	274.48±108.92	1.50±0.19	1.87±0.05
	Chelex	242.27±59.61	1.08±0.13	1.72±0.04
Polyester	Kit*	6.6 ± 1.91	0.74±1.12	1.39±0.09
	CTAB	250.16± 82.33	1.58±0.33	1.80±0.09
	Chelex	12.68± 5.98	1.52±0.40	1.38±0.05
Denim	Kit*	12.33 ± 1.87	-0.03±1.81	1.31±0.10
	CTAB	311.83±62.84	1.67±0.22	1.91±0.10
	chelex	105.40±31.60	1.02±0.10	1.57±0.09

*Kit คือ ชุดสกัดสำเร็จรูป DNeasy Plant Mini Kit (QIAGEN)

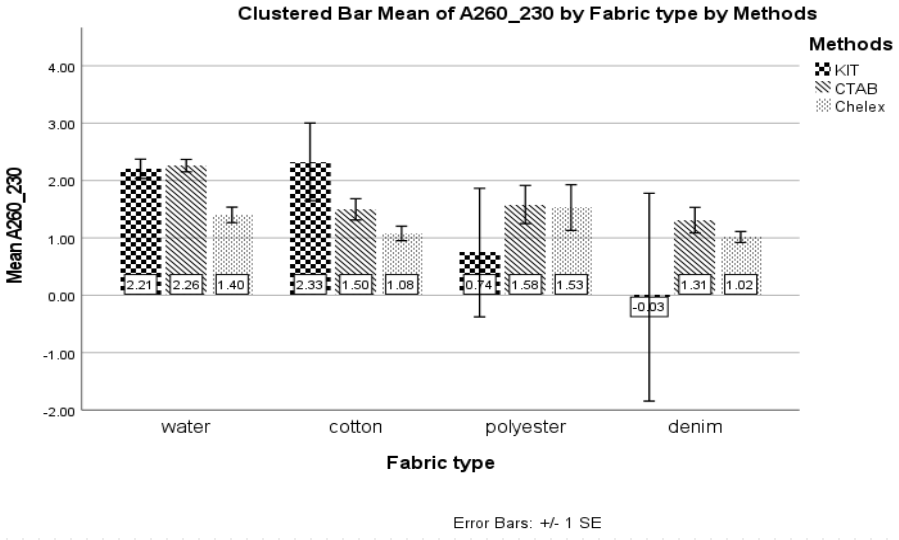


ภาพที่ 1 กราฟแสดงความเข้มข้นของดีเอ็นเอที่สกัดได้จากไดอะตอมบนผ้า 3 ชนิด ด้วยวิธีสกัด 3 วิธี เปรียบเทียบกับดีเอ็นเอที่สกัดได้จากไดอะตอมในน้ำที่ใช้เป็นชุดควบคุม

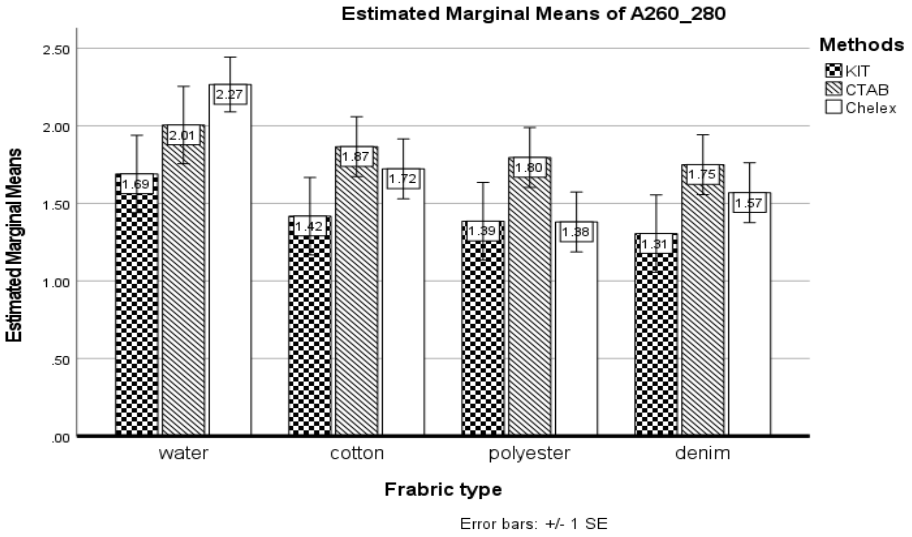
ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของดีเอ็นเอที่สกัดได้จากไดอะตอมบนผ้าแต่ละชนิดด้วยวิธีสกัดทั้งสามวิธี และผลการเปรียบเทียบทางสถิติ

วิธีสกัด	Mean±SEM ชนิดผ้า			ค่าเฉลี่ยรวมของความเข้มข้นของดีเอ็นเอ (ng/µl)
	Cotton (ng/µl)	Polyester (ng/µl)	Denim (ng/µl)	
CTAB	274.48±108.92	250.16±82.33	311.83±62.84	278.83±46.87 [a]
Chelex	242.27±59.61	12.68±5.98	105.40±31.60	120.12±32.75[b]
Kit	9.38±0.37	6.6±1.91	12.33±1.87	9.43±1.13[b]

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากการทดสอบ Tukey's HSD



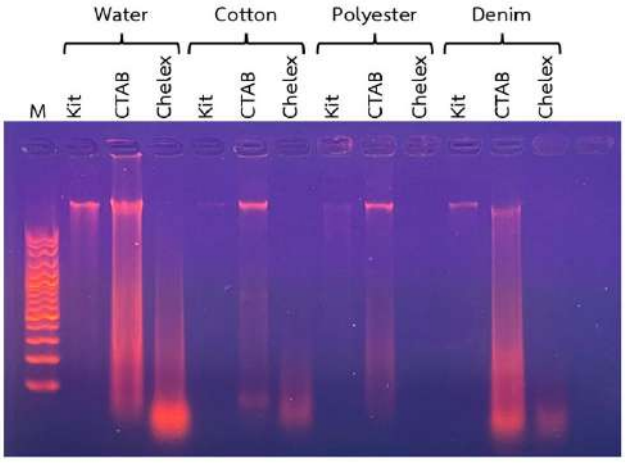
ภาพที่ 2 กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงที่อัตราส่วน A260/230 ของดีเอ็นเอที่สกัดได้จากไดอะตอมบนผ้า 3 ชนิด ด้วยวิธีสกัด 3 วิธี เปรียบเทียบกับดีเอ็นเอที่สกัดได้จากไดอะตอมในน้ำที่ใช้เป็นชุดควบคุม



ภาพที่ 3 กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงที่อัตราส่วน A260/280 ของดีเอ็นเอที่สกัดได้จากไดอะตอมบนผ้า 3 ชนิด ด้วยวิธีสกัด 3 วิธี เปรียบเทียบกับดีเอ็นเอที่สกัดได้จากไดอะตอมในน้ำที่ใช้เป็นชุดควบคุม

3.2 ผลการตรวจสอบคุณภาพของดีเอ็นเอด้วย Agarose gel electrophoresis

ผลการตรวจสอบด้วย agarose gel electrophoresis (ภาพที่ 4) เป็นการเปรียบเทียบเชิงคุณภาพของดีเอ็นเอ พบแถบดีเอ็นเอที่ชัดเจนในตัวอย่างที่สกัดด้วยวิธี CTAB และชุดสกัดสำเร็จรูปในผ้าทุกชนิด ในขณะที่ตัวอย่างที่สกัดด้วยวิธี Chelex-100 ไม่ปรากฏแถบดีเอ็นเอในผ้าทุกชนิด ซึ่งอาจเนื่องมาจากสองสาเหตุหลัก ได้แก่ การแตกหักของดีเอ็นเอในระหว่างขั้นตอนการให้ความร้อนที่ 95°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่อาจทำให้ดีเอ็นเอเสื่อมสภาพได้ [22] นอกจากนี้ค่าความเข้มข้นที่วัดได้จาก Spectrophotometry ในกลุ่ม Chelex-100 อาจเกิดจากการปนเปื้อนของ RNA หรือสารอินทรีย์อื่น ๆ ที่ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 260 nm ได้เช่นกัน ทำให้ค่าที่วัดได้สูงกว่าปริมาณดีเอ็นเอที่แท้จริง



ภาพที่ 4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพดีเอ็นเอที่สกัดได้จากไดอะตอมบนผ้า 3 ชนิด ด้วยวิธีสกัด 3 วิธี เปรียบเทียบกับคุณภาพดีเอ็นเอที่สกัดได้จากไดอะตอมในน้ำที่เป็นชุดควบคุม และ 100 bp DNA ladder (M)

4. บทสรุป

การศึกษาครั้งนี้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีสกัดดีเอ็นเอ 3 วิธี ได้แก่ วิธี CTAB วิธี Chelex-100 และชุดสกัดสำเร็จรูป DNeasy Plant Mini Kit จากไดอะตอมบนผ้าฝ้าย ผ้าโพลีเอสเตอร์ และผ้าเดนิม พบว่าวิธี CTAB ให้ปริมาณดีเอ็นเอสูงที่สุด มีค่าความบริสุทธิ์ A260/280 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และให้แถบดีเอ็นเอที่สมบูรณ์บน Agarose gel electrophoresis ในทุกชนิดผ้า ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าวิธี CTAB มีประสิทธิภาพในการสกัดดีเอ็นเอของไดอะตอมบนพื้นผิวสิ่งทอได้ดีที่สุด

ในบรรดาวิธีที่ทดสอบและสามารถนำไปใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาวิธีสำหรับการตรวจวิเคราะห์ไดอะตอมจากหลักฐานประเภทเสื้อผ้าในงานนิติวิทยาศาสตร์ต่อไป อย่างไรก็ตามพบว่ายังมีค่า A260/230 ไม่อยู่ในเกณฑ์มาตาฐาน ซึ่งบ่งชี้ถึงการตกค้างของเกลือหรือสารประกอบคาร์โบไฮเดรตในสารสกัด อาจต้องเพิ่มขั้นตอนของการทำให้ดีเอ็นเอบริสุทธิ์ ทั้งนี้การศึกษาในอนาคตควรทดสอบคุณภาพของดีเอ็นเอที่สกัดได้ด้วยเทคนิคพีซีอาร์หรือเมตาจีโนมิกส์ เพื่อยืนยันความเหมาะสมในการนำไปใช้ระบุชนิดไดอะตอมในสภาวะจริงทางนิติวิทยาศาสตร์

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการนิติวิทยาศาสตร์และภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมืออุปกรณ์และห้องปฏิบัติการในการวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Guiry, M. D. (2024). How many species of algae are there? A reprise. Four kingdoms, 14 phyla, 63 classes and still growing. *Journal of Phycology*, *60*(2), 214–228. https://doi.org/10.1111/jpy.13431

[2] Round, F. E., Crawford, R. M., & Mann, D. G. (2007b). Diatoms: Biology and Morphology of the Genera. Cambridge University Press.

[3] Tambuzzi, S., Gentile, G., & Zoia, R. (2024). Forensic diatom analysis: Where do we stand and what are the latest diagnostic advances? Diagnostics, 14(20), 2302. https://doi.org/10.3390/diagnostics14202302.

[4] กองป้องกันการบาดเจ็บ กรมควบคุมโรค. (2566). สถานการณ์การเสียชีวิตจากการจมน้ำ. กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. https://drowningreport.ddc.moph.go.th/satdrowning/#/

[5] Siver, P.A., Lord, W.D., & McCarthy, D.J. (1994). Forensic limnology: the use of freshwater algal community ecology to link suspects to an aquatic crime scene in southern New England. *Journal of Forensic Science*, 39(3), 847-853.

[6] Scott, K.R., Morgan R.M., Cameron, N.G. & Jones, V.J. (2019). Freshwater diatom transfer to clothing: Spatial and temporal influences on trace evidence in forensic reconstructions. *Science and Justice*, 59, 292-305.

[7] Uitdehaag, S., Dragutinovic, A., & Kuiper, I. (2010). Extraction of diatoms from (cotton) clothing for forensic comparison. *Forensic Science International*, 200, 112-116.

[8] Vadiveloo, A., & Moheimani, N. (2020). Transferability of Australian diatoms to clothing: Assessment of several extraction methods on different fabric types under laboratory conditions. *Forensic Science International*, 312, 110297.

[9] Scott, K.R., Morgan, R.M., Jones, V.J., Dudley, A., Cameron, N.G., & Bull, P.A. (2017). The value of an empirical approach for the assessment of diatoms as environmental trace evidence in forensic limnology. *Journal of Archaeology Environmental Forensic Science*, 1(1), 49-78.

[10] Liu, M., Zhao, Y., Sun, Y., Wu, P., Zhou, S., & Ren, L. (2020b). Diatom DNA barcodes for forensic discrimination of drowning incidents. *FEMS Microbiology Letters*, 367, fnaa145.

[11] Kakizaki, E., Ogura, Y., Kozawa, S., Nishida, S., Uchiyama, T., Hayashi, T., & Yukawa, N. (2012). Detection of diverse aquatic microbes in blood and organs of drowning victims: First metagenomic approach using high-throughput 454-pyrosequencing. *Forensic Science International*, 220, 135-146.

[12] Nakanishi, H., Takada, A., Yoneyama, K., Kodama, S., Sakai, K., & Saito, K. (2024). The utility of drowning site inference through metagenomic diatom analysis. *Legal Medicine*, 71, 102548.

[13] Baricevic, A., Chardon, C., Kahlert, M., Karjalainen, S. M., Pfannkuchen, D. M., P fannkuchen, M., Rimet, F., Tankovic, M. S., Trobajo, R., Vasselon, V., Zimmermann, J., & Bouchez, A. (2022). Recommendations for the preservation of environmental samples in diatom metabarcoding studies. *Metabarcoding and Metagenomics*, 6, 349–365.

[14] Yuan, J., Li, M., & Lin, S. (2015). An improved DNA extraction method for efficient and quantitative recovery of phytoplankton diversity

[15] Walsh, P.S., Metzger, D.A., & Higuchi, R. (1991). Chelex 100 as a medium for simple extraction of DNA for PCR-based typing from forensic material. *Biotechniques*, 10(4), 506-513. PMID: 1867860.

[16] Doyle, J.J., & Doyle, J.L. (1987). A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochemical Bulletin*, 19, 11-15.

[17] Thermo Fisher Scientific - NanoDrop products. (2009). *T042 - TECHNICAL BULLETIN NanoDrop Spectrophotometers*. https://dna.uga.edu/wp-content/uploads/sites/51/2019/02/Note-on-the-260_280-and-260_230-Ratios.pdf

[18] Heikrujam, J., Kishor, R., & Mazumder, P. B. (2020). The chemistry behind plant DNA isolation protocols. In IntechOpen eBooks. https://doi.org/10.5772/intechopen.92206

[19] Thomas, T., Gilbert, J., & Meyer, F. (2012). Metagenomics - a guide from sampling to data analysis. *Microbial Informatics and Experimentation*, *2*(1), 3. https://doi.org/10.1186/2042-5783-2-3

[20] Yuan, J., Li, M., & Lin, S. (2015). An improved DNA extraction method for efficient and quantitative recovery of phytoplankton diversity in natural assemblages. *PLoS ONE*, *10*(7), e0133060. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133060

[21] Schrader, C., Schielke, A., Ellerbroek, L., & Johne, R. (2012). PCR inhibitors - occurrence, properties and removal. *Journal of Applied Microbiology*, *113*(5), 1014–1026. https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2012.05384.x

[22] Karni, M., Zidon, D., Polak, P., Zalevsky, Z., & Shefi, O. (2013). Thermal degradation of DNA. *DNA And Cell Biology*, *32*(6), 298–301. https://doi.org/10.1089/dna.2013.2056

การใช้เซ็นเซอร์ IoT ในการตรวจจับและเฝ้าระวังการใช้บุหรี่ไฟฟ้าในพื้นที่ปิด
The Use of IoT Sensors for Detecting and Monitoring E-Cigarette Usage in Enclosed Spaces

จิรนันท์ คงปันนา[1] จักรภัทร ปิ่นทอง[1] และ ธงรบ อักษร[1*]

[1]สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
*E-mail: auxsorn@psru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบต้นแบบต้นทุนไม่สูงสำหรับเฝ้าระวังความผิดปกติของค่าฝุ่นที่อาจเกี่ยวข้องกับการใช้บุหรี่ไฟฟ้าในพื้นที่ปิด ระบบประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เซ็นเซอร์ตรวจวัด PM2.5 และ PM10 เว็บแอปพลิเคชัน PHP ฐานข้อมูล MySQL และการแจ้งเตือนผ่าน Telegram ระบบสามารถตรวจวัดและบันทึกข้อมูลแบบเรียลไทม์ แสดงข้อมูลปัจจุบันและย้อนหลัง และจำแนกสถานะเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ปกติ เฝ้าระวัง และพบควัน ผลการทดสอบพบว่าระบบสามารถตรวจวัด แสดงผล บันทึกข้อมูล และส่งข้อความแจ้งเตือนเมื่อค่าฝุ่นอยู่ในระดับเฝ้าระวังหรือพบควันได้ตามเงื่อนไข อย่างไรก็ตาม ค่าฝุ่นเป็นเพียงตัวบ่งชี้เบื้องต้นและไม่สามารถยืนยันการใช้บุหรี่ไฟฟ้าได้โดยตรง ระบบจึงเหมาะสำหรับใช้เป็นเครื่องมือช่วยเฝ้าระวังในระดับต้นแบบและสามารถพัฒนาต่อยอดบนระบบคลาวด์ได้

คำสำคัญ: บุหรี่ไฟฟ้า อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง PM2.5 PM10 ESP32

Abstract

This research aimed to develop a low-cost prototype for monitoring abnormal particulate matter levels that may be associated with e-cigarette use in enclosed spaces. The system consisted of an ESP32 microcontroller, PM2.5 and PM10 sensors, a PHP-based web application, a MySQL database, and Telegram notifications. It measured and stored real-time data, displayed current and historical records, and classified conditions into normal, warning, and smoke-detected levels. The results showed that the system could measure, display, store, and send alerts when particulate matter reached the warning or smoke-detected level. However, particulate matter was used only as a preliminary indicator and could not directly confirm e-cigarette use. Therefore, the system is suitable as a low-cost monitoring prototype and can be further developed as a cloud-based system.

Keywords: E-cigarette, Internet of Things, PM2.5, PM10, ESP32

1. บทนำ

ปัจจุบันการใช้บุหรี่ไฟฟ้าเป็นปัญหาด้านสาธารณสุขที่ได้รับความสนใจ โดยเฉพาะในกลุ่มเด็กและเยาวชน องค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) ระบุว่า บุหรี่ไฟฟ้าที่มีนิโคตินสามารถก่อให้เกิดการเสพติดและส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ขณะที่ศูนย์ควบคุมและป้องกันโรคแห่งสหรัฐอเมริกา (Centers for Disease Control and Prevention: CDC) รายงานว่า ละอองลอยจากบุหรี่ไฟฟ้าไม่ได้ประกอบด้วยเพียงไอน้ำ แต่อาจมีนิโคติน อนุภาคขนาดเล็ก และสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้และบุคคลรอบข้าง [1, 2]

สำหรับประเทศไทย การใช้บุหรี่ไฟฟ้าในกลุ่มเยาวชนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แม้ว่าบุหรี่ไฟฟ้าจะเป็นสินค้าที่ถูกควบคุมด้านการนำเข้าและการจำหน่าย รวมทั้งไม่อนุญาตให้สูบในพื้นที่ที่กำหนดให้เป็นเขตปลอดบุหรี่ เช่น สถานศึกษาและสถานที่

สาธารณะบางประเภท [3, 4] สถานการณ์ดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นในการพัฒนาเครื่องมือที่ช่วยเฝ้าระวังการใช้บุหรี่ไฟฟ้า โดยเฉพาะในพื้นที่ปิด เช่น ห้องเรียน ห้องน้ำ ห้องสมุด และสำนักงาน ซึ่งอาจไม่สามารถตรวจสอบได้อย่างต่อเนื่องด้วยบุคคลเพียงอย่างเดียว

การตรวจจับละอองจากบุหรี่ไฟฟ้าในพื้นที่ปิดมีข้อจำกัด เนื่องจากละอองสามารถกระจายตัวได้รวดเร็วและอาจสังเกตเห็นได้ไม่ชัดเจน งานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า การใช้บุหรี่ไฟฟ้าภายในอาคารสามารถทำให้ความเข้มข้นของอนุภาคขนาดเล็กในอากาศเพิ่มขึ้น จึงอาจใช้การเปลี่ยนแปลงของค่า PM2.5 และ PM10 เป็นตัวบ่งชี้เบื้องต้นของความผิดปกติของคุณภาพอากาศได้ [5] อย่างไรก็ตาม ค่าฝุ่นไม่สามารถระบุแหล่งกำเนิดได้โดยตรง เพราะอาจได้รับผลกระทบจากฝุ่นทั่วไป การประกอบอาหาร ความชื้น และการระบายอากาศ ดังนั้น ระบบที่พัฒนาขึ้นจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยเฝ้าระวัง ไม่ใช่เพื่อใช้เป็นหลักฐานยืนยันการใช้บุหรี่ไฟฟ้าโดยตรง

เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) สามารถเชื่อมต่อเซ็นเซอร์ อุปกรณ์ประมวลผล และระบบเครือข่ายเข้าด้วยกัน ทำให้สามารถตรวจวัด ส่งข้อมูล จัดเก็บ และแสดงผลแบบเรียลไทม์ได้ งานวิจัยด้านระบบตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบ IoT เช่น AirSPEC และระบบตรวจวัดคุณภาพอากาศต้นทุนต่ำที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับเซ็นเซอร์ฝุ่น แสดงให้เห็นว่าแนวทางดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการติดตามคุณภาพอากาศภายในอาคารได้อย่างเหมาะสม [6, 7]

งานวิจัยนี้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เนื่องจากมีต้นทุนไม่สูง รองรับการเชื่อมต่อ Wi-Fi ภายในตัว และสามารถรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์แล้วส่งไปยังเว็บเซิร์ฟเวอร์ได้ [8] ส่วน PHP และ MySQL ถูกเลือกใช้เพราะเหมาะสำหรับพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันและจัดเก็บข้อมูลแบบมีโครงสร้าง ขณะที่ Telegram ถูกนำมาใช้เป็นช่องทางแจ้งเตือน เนื่องจากรองรับ Bot API และสามารถส่งข้อความอัตโนมัติไปยังผู้ดูแลได้โดยไม่ต้องพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับโทรศัพท์มือถือขึ้นใหม่

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาระบบต้นแบบต้นทุนไม่สูงสำหรับตรวจจับและเฝ้าระวังความผิดปกติของค่าฝุ่นที่อาจเกี่ยวข้องกับการใช้บุหรี่ไฟฟ้าในพื้นที่ปิด โดยใช้เซ็นเซอร์ PM2.5 และ PM10 ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ระบบสามารถแสดงผลข้อมูลแบบเรียลไทม์ บันทึกข้อมูลย้อนหลัง และส่งข้อความแจ้งเตือนผ่าน Telegram เมื่อค่าฝุ่นอยู่ในระดับเฝ้าระวังหรือพบควัน

2. วิธีดำเนินการวิจัย

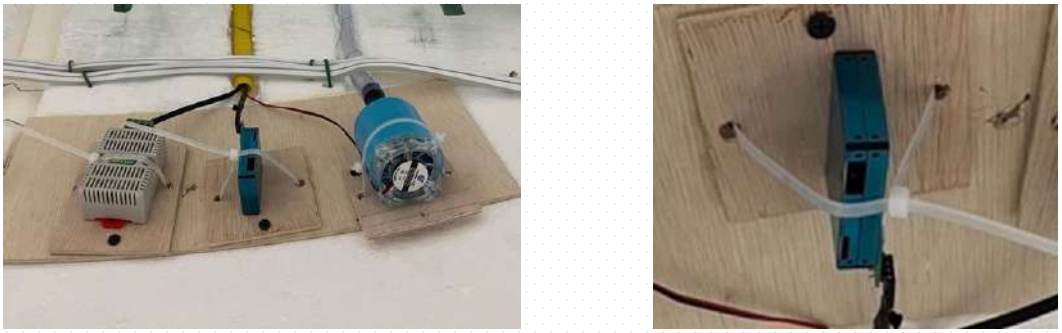
การวิจัยนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development: R&D) โดยมุ่งสร้างระบบต้นแบบที่สามารถตรวจวัดค่าฝุ่นละอองจากเซ็นเซอร์ ประมวลผลสถานะ จัดเก็บข้อมูล แสดงผล และแจ้งเตือนผู้ใช้งานได้แบบอัตโนมัติ โครงสร้างการทำงานของระบบแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นอุปกรณ์ตรวจวัด ชั้นประมวลผลและฐานข้อมูล และชั้นแสดงผลและแจ้งเตือน

2.1 การออกแบบและพัฒนาระบบ

ระบบที่พัฒนามีลำดับการทำงานเริ่มจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าฝุ่น PM2.5 และ PM10 จากอากาศภายในพื้นที่ปิด จากนั้น ESP32 ส่งข้อมูลผ่าน Wi-Fi ไปยังเว็บเซิร์ฟเวอร์ ข้อมูลจะถูกบันทึกลงฐานข้อมูล MySQL และแสดงผลผ่านหน้าเว็บ หากค่าฝุ่นสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ระบบจะส่งข้อความแจ้งเตือนไปยัง Telegram ของผู้ดูแลระบบ

ตารางที่ 1 รายละเอียดฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ของระบบ

องค์ประกอบ	รายละเอียด	หมายเหตุ
ไมโครคอนโทรลเลอร์	ESP32	รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์และส่งข้อมูลผ่าน Wi-Fi
เซ็นเซอร์ฝุ่น	PM2.5/PM10 Sensor	ตรวจวัดค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กในอากาศ
เว็บเซิร์ฟเวอร์	AWS Lightsail	ให้บริการเว็บแอปพลิเคชันและรับข้อมูลจาก ESP32 ผ่านอินเทอร์เน็ต
ภาษาโปรแกรม	PHP, HTML, CSS, JavaScript	พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันและประมวลผลข้อมูล
ฐานข้อมูล	MySQL	จัดเก็บค่าฝุ่น สถานะ และเวลาที่ตรวจวัด
กราฟแสดงผล	Chart.js	แสดงกราฟข้อมูลย้อนหลัง

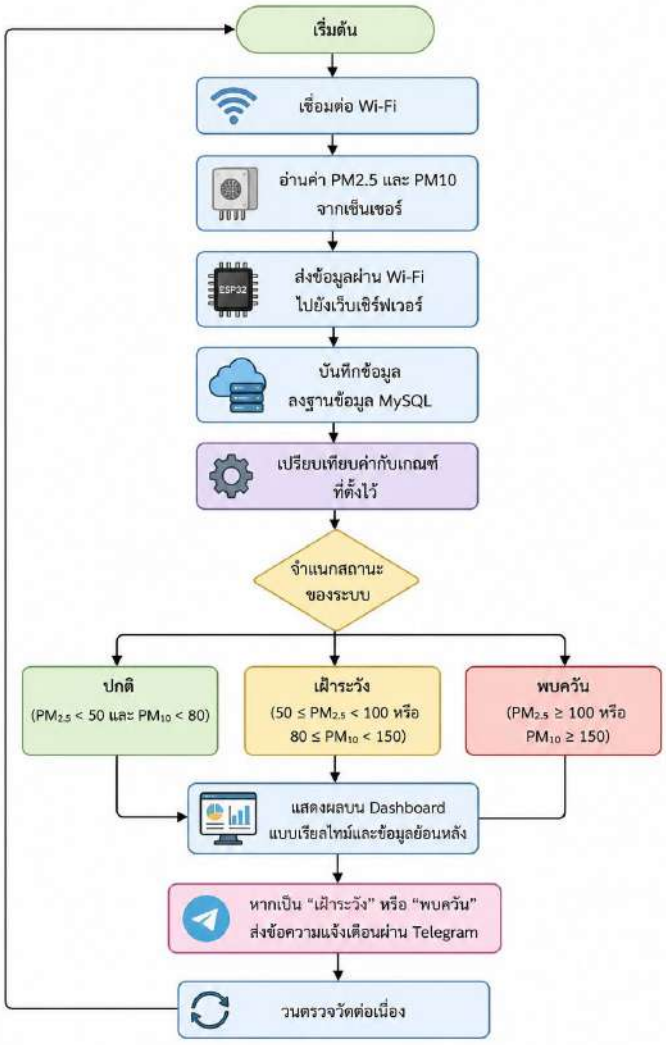


(ก) ภาพรวมของชุดอุปกรณ์ต้นแบบ (ข) การติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจวัดฝุ่นภายในชุดอุปกรณ์

ภาพที่ 1 ชุดอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับตรวจวัดค่าฝุ่น PM2.5 และ PM10 ร่วมกับ ESP32 โครงสร้างฐานข้อมูลและการจัดเก็บข้อมูล

2.2 โครงสร้างฐานข้อมูลและการจัดเก็บข้อมูล

ฐานข้อมูลถูกออกแบบให้รองรับการจัดเก็บค่าฝุ่น PM2.5, PM10, สถานะของระบบ และเวลาที่บันทึก โดยข้อมูลดังกล่าวสามารถนำไปใช้แสดงค่าปัจจุบันและกราฟย้อนหลังได้ นอกจากนี้ยังมีตารางสำหรับบันทึกค่าเกณฑ์แจ้งเตือน เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถปรับค่าเฝ้าระวังและค่าพบควันได้ตามสภาพแวดล้อมของพื้นที่ติดตั้ง



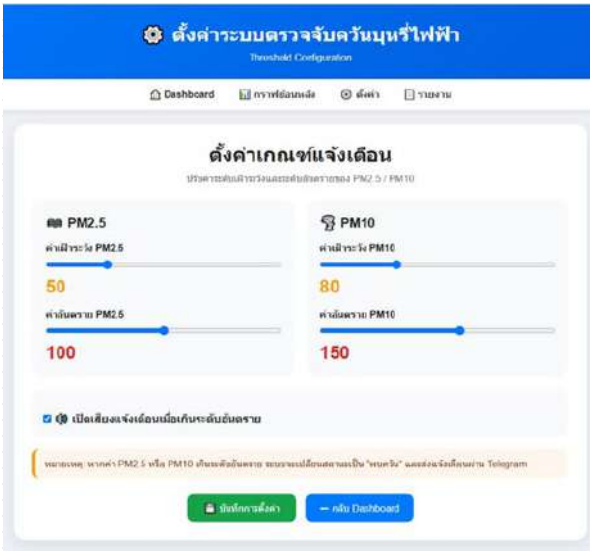
ภาพที่2 แผนภาพการทำงานของระบบตรวจจับควันบุหรี่ไฟฟ้า

ตารางที่ 2 โครงสร้างข้อมูลหลักที่ใช้ในระบบ

ตาราง	ฟิลด์สำคัญ	รายละเอียด
sensor_data	id, pm25, pm10, status, created_at	เก็บค่าฝุ่น สถานะ และเวลาที่ตรวจวัด
settings	pm25_warning,pm25_danger, pm10_warning, pm10_danger	เก็บค่าเกณฑ์สำหรับการจำแนกสถานะและแจ้งเตือน
simulation_status	start/stop	ใช้ควบคุมการจำลองค่าทดสอบในระบบต้นแบบ

2.3 เกณฑ์การจำแนกสถานะอากาศ

ระบบจำแนกสถานะจากค่า PM2.5 และ PM10 ออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ปกติ เฝ้าระวัง และพบควัน เกณฑ์ดังกล่าวเป็นเกณฑ์สำหรับทดสอบการตอบสนองของระบบต้นแบบ ไม่ใช่ค่ามาตรฐานทางกฎหมายหรือค่ามาตรฐานด้านสุขภาพโดยตรง เนื่องจากค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศทั่วไปเป็นค่าเฉลี่ยตามช่วงเวลา และไม่ได้ออกแบบมาเพื่อยืนยันเหตุการณ์การใช้บุหรี่ไฟฟ้าในระยะสั้น



ภาพที่ 3 หน้าจอสำหรับกำหนดค่าเกณฑ์แจ้งเตือน (Threshold) ของค่าฝุ่น PM2.5 และ PM10

ตารางที่ 3 เกณฑ์การจำแนกสถานะของระบบต้นแบบ

สถานะ	เงื่อนไข	การแสดงผล/การแจ้งเตือน
ปกติ	PM2.5 < 50 และ PM10 < 80	แสดงสถานะปกติ ไม่ส่งแจ้งเตือน
เฝ้าระวัง	PM2.5 >= 50 หรือ PM10 >= 80	แสดงสถานะเฝ้าระวัง และสามารถแจ้งเตือนผู้ดูแล
พบควัน	PM2.5 >= 100 หรือ PM10 >= 150	แสดงสถานะพบควัน พร้อมส่ง Telegram ทันที

2.4 ขั้นตอนการทำงานของระบบ

1) เปิดใช้งานเว็บเซิร์ฟเวอร์และฐานข้อมูล MySQL โดยระบบต้นแบบสามารถทำงานได้ทั้งบน XAMPP และ AWS Lightsail

2) ESP32 อ่านค่าฝุ่น PM2.5 และ PM10 จากเซ็นเซอร์

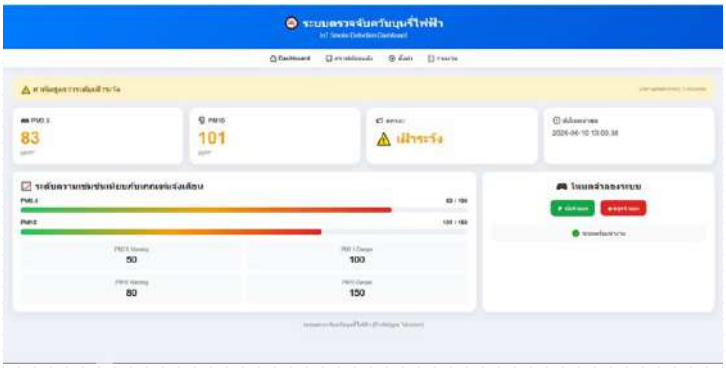
3) ส่งข้อมูลไปยังไฟล์ PHP เพื่อบันทึกลงฐานข้อมูล

4) ระบบประมวลผลค่าที่ได้รับและจำแนกสถานะตามเกณฑ์

5) หน้าเว็บแสดงค่าปัจจุบัน สถานะล่าสุด และกราฟย้อนหลัง

6) เมื่อค่าฝุ่นอยู่ในระดับพบควัน ระบบจะส่งข้อความแจ้งเตือนผ่าน Telegram ไปยังผู้ดูแลระบบ และมีการป้องกันการแจ้งเตือนซ้ำในช่วงเหตุการณ์เดียวกัน

7) ผู้ดูแลสามารถตรวจสอบประวัติและปรับเกณฑ์การแจ้งเตือนได้



ภาพที่ 4 Dashboard ของระบบเฝ้าระวังคุณภาพอากาศภายในพื้นที่ปิด แสดงค่าฝุ่น PM2.5 และ PM10 สถานะของระบบ และข้อมูลแบบเรียลไทม์

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ภาพที่ 5 การแสดงผลกราฟย้อนหลังของค่าฝุ่น PM2.5 และ PM10 ที่บันทึกโดยระบบ

3.1 ผลการทดสอบการแสดงผลและการบันทึกข้อมูล

หลังจากพัฒนาระบบตรวจจับและเฝ้าระวังการใช้บุหรี่ไฟฟ้าในพื้นที่ปิดเสร็จสมบูรณ์ ได้ทำการทดสอบระบบต้นแบบในสภาพแวดล้อมจำลอง เพื่อประเมินความสามารถในการรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ การส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย การจัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล การแสดงผลผ่านเว็บแอปพลิเคชัน และการแจ้งเตือนผ่าน Telegram

การทดสอบแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่

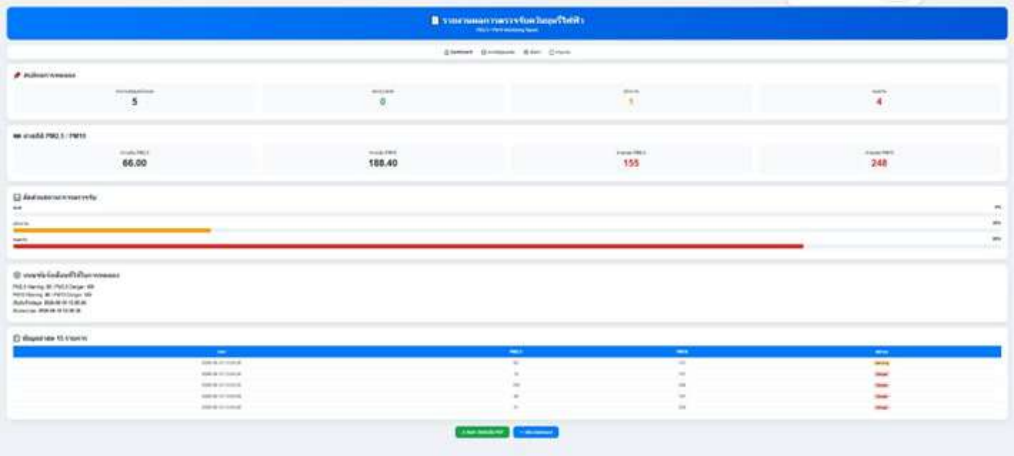
1. การตรวจวัดค่าฝุ่น PM2.5 และ PM10
2. การส่งข้อมูลจาก ESP32 ไปยังเว็บเซิร์ฟเวอร์
3. การบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูล MySQL
4. การแจ้งเตือนผ่าน Telegram เมื่อค่าฝุ่นเกินเกณฑ์

ตารางที่ 4 ตัวอย่างผลการทดสอบการจำแนกสถานะ

ครั้งที่	PM2.5	PM10	สถานะที่ระบบแสดง	ผลการแจ้งเตือน
1	25	40	ปกติ	ไม่แจ้งเตือน
2	58	86	เฝ้าระวัง	แจ้งเตือน
3	120	172	พบควัน	แจ้งเตือน
4	44	65	ปกติ	ไม่แจ้งเตือน
5	92	60	พบควัน	แจ้งเตือน
6	105	130	พบควัน	แจ้งเตือน

3.2 ผลการทดสอบระบบแจ้งเตือนผ่าน Telegram

เมื่อค่าฝุ่นที่ตรวจวัดได้อยู่ในระดับเฝ้าระวังหรือพบควัน ระบบจะเรียกใช้ Telegram Bot API เพื่อส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้ดูแลระบบ โดยข้อความแจ้งเตือนประกอบด้วยค่าฝุ่น PM2.5, PM10, สถานะ และเวลาที่ตรวจพบ ทำให้ผู้ดูแลสามารถรับทราบเหตุการณ์ผิดปกติได้อย่างรวดเร็ว



ภาพที่ 6 หน้ารายงานสรุปผลการตรวจวัดและสถิติของระบบ

ตารางที่ 5 รูปแบบข้อความแจ้งเตือนของระบบ

หัวข้อ	ตัวอย่างข้อความ
สถานะเฝ้าระวัง	เฝ้าระวัง: PM2.5 = 58, PM10 = 86
สถานะพบควัน	พบควัน: PM2.5 = 120, PM10 = 172
ข้อมูลเวลา	เวลาอัปเดตล่าสุด: 21/08/2569 10:30:15

3.3 การอภิปรายผล

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบต้นแบบสามารถตรวจวัดค่าฝุ่นละออง PM2.5 และ PM10 ส่งข้อมูลผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ไปยังเว็บเซิร์ฟเวอร์ จัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล MySQL แสดงผลผ่านเว็บแอปพลิเคชัน และส่งข้อความแจ้งเตือนผ่าน Telegram เมื่อค่าฝุ่นอยู่ในระดับเฝ้าระวังหรือพบควันได้ตามเงื่อนไขที่กำหนด แสดงให้เห็นว่าฮาร์ดแวร์ ระบบเครือข่าย ฐานข้อมูล เว็บแอปพลิเคชัน และระบบแจ้งเตือนสามารถทำงานร่วมกันได้ภายใต้สภาวะการทดลอง

จุดเด่นของระบบที่พัฒนาขึ้นคือ การรวมการตรวจวัด การบันทึกข้อมูล การแสดงผลแบบเรียลไทม์ การตรวจสอบข้อมูลย้อนหลัง และการแจ้งเตือนผู้ดูแลไว้ภายในระบบเดียว ทำให้ผู้ดูแลสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของค่าฝุ่นภายใน

พื้นที่ปิดได้สะดวก นอกจากนี้ ระบบยังใช้ส่วนประกอบที่มีต้นทุนไม่สูงและสามารถปรับค่าเกณฑ์การแจ้งเตือนให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของพื้นที่ติดตั้งได้

อย่างไรก็ตาม ระบบต้นแบบใช้ค่า PM2.5 และ PM10 เป็นตัวบ่งชี้เบื้องต้นของความผิดปกติของคุณภาพอากาศ จึงยังไม่สามารถยืนยันได้โดยตรงว่าค่าฝุ่นที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการใช้บุหรี่ไฟฟ้า เนื่องจากค่าฝุ่นอาจได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดอื่น เช่น ฝุ่นจากภายนอกอาคาร การประกอบอาหาร การทำความสะอาด ความชื้น และการระบายอากาศภายในพื้นที่ จึงอาจเกิดการแจ้งเตือนที่ไม่เกี่ยวข้องกับการใช้บุหรี่ไฟฟ้า หรือการแจ้งเตือนผิดพลาดในบางสถานการณ์

นอกจากนี้ ประสิทธิภาพของระบบยังขึ้นอยู่กับตำแหน่งติดตั้งเซ็นเซอร์ ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดละอองและลักษณะการไหลเวียนของอากาศ หากติดตั้งอุปกรณ์ในตำแหน่งที่มีการถ่ายเทอากาศสูง หรืออยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดมากเกินไป ค่าที่ตรวจวัดได้อาจต่ำกว่าความเป็นจริงและส่งผลต่อการจำแนกสถานะของระบบ

การพัฒนาระบบในอนาคตควรเพิ่มเซ็นเซอร์ตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds: VOC) รวมถึงเซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้น เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ร่วมกับค่า PM2.5 และ PM10 ซึ่งอาจช่วยแยกแยะความผิดปกติของคุณภาพอากาศได้ดีขึ้น ส่วนเซ็นเซอร์ CO_2 อาจใช้เป็นข้อมูลประกอบในการประเมินการระบายอากาศและความหนาแน่นของผู้ใช้งานภายในพื้นที่ แต่ไม่ควรใช้เป็นตัวบ่งชี้โดยตรงของการใช้บุหรี่ไฟฟ้า เนื่องจากบุหรี่ไฟฟ้าแต่ละชนิดและลักษณะการใช้งานอาจไม่ทำให้ระดับ CO_2 เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบต้นแบบต้นทุนไม่สูงสำหรับตรวจจับและเฝ้าระวังความผิดปกติของค่าฝุ่นละอองที่อาจเกี่ยวข้องกับการใช้บุหรี่ไฟฟ้าในพื้นที่ปิด โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 และเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าฝุ่น PM2.5 และ PM10 ระบบที่พัฒนาประกอบด้วยส่วนตรวจวัดข้อมูล ส่วนส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย Wi-Fi เว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาด้วย PHP ฐานข้อมูล MySQL และระบบแจ้งเตือนผ่าน Telegram

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ระบบสามารถรับค่าฝุ่น PM2.5 และ PM10 ส่งข้อมูลไปยังเว็บเซิร์ฟเวอร์ บันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูล แสดงค่าปัจจุบันและข้อมูลย้อนหลังผ่าน Dashboard และจำแนกสถานะออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ปกติ เฝ้าระวัง และพบควัน เมื่อค่าฝุ่นอยู่ในระดับเฝ้าระวังหรือพบควัน ระบบสามารถส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้ดูแลผ่าน Telegram ได้ตามเงื่อนไขที่กำหนด แสดงให้เห็นว่าส่วนประกอบของระบบสามารถทำงานร่วมกันได้อย่างต่อเนื่องภายใต้สภาวะการทดลอง

อย่างไรก็ตาม ระบบใช้ค่าฝุ่น PM2.5 และ PM10 เป็นตัวบ่งชี้เบื้องต้นของความผิดปกติของคุณภาพอากาศ จึงยังไม่สามารถยืนยันได้โดยตรงว่าค่าฝุ่นที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการใช้บุหรี่ไฟฟ้า เนื่องจากอาจได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดอื่น เช่น ฝุ่นทั่วไป การทำความสะอาด การประกอบอาหาร ความชื้น และการระบายอากาศภายในพื้นที่ ดังนั้น ผลลัพธ์ของระบบจึงควรใช้เป็นข้อมูลประกอบการเฝ้าระวัง ไม่ควรใช้เป็นหลักฐานยืนยันการใช้บุหรี่ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว

โดยสรุป ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้เป็นเครื่องมือช่วยเฝ้าระวังความผิดปกติของค่าฝุ่นที่อาจเกี่ยวข้องกับการใช้บุหรี่ไฟฟ้าในพื้นที่ปิด เช่น ห้องเรียน ห้องน้ำ ห้องสมุด และสำนักงานได้ในระดับต้นแบบ ระบบมีต้นทุนไม่สูง สามารถติดตามข้อมูลแบบเรียลไทม์ ตรวจสอบข้อมูลย้อนหลัง และแจ้งเตือนผู้ดูแลได้ ทั้งยังสามารถพัฒนาต่อยอดโดยเพิ่มเซ็นเซอร์ชนิดอื่น ปรับเกณฑ์ให้เหมาะสมกับแต่ละพื้นที่ และเชื่อมต่อกับระบบคลาวด์เพื่อรองรับการใช้งานจริงในอนาคต

5. ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยพบว่าระบบต้นแบบสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด อย่างไรก็ตาม ยังมีแนวทางที่สามารถพัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ดังนี้

5.1 ควรทดสอบระบบในพื้นที่ปิดที่มีลักษณะแตกต่างกัน เช่น ห้องเรียน ห้องน้ำ ห้องสมุด ห้องประชุม และสำนักงาน โดยกำหนดขนาดห้อง ตำแหน่งติดตั้งเซ็นเซอร์ ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดละออง ระยะเวลาการทดลอง และจำนวนครั้งที่ทดลองให้ชัดเจน เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลและทดลองซ้ำได้

5.2 ควรเก็บค่าพื้นฐานของ PM2.5 และ PM10 ในแต่ละพื้นที่ก่อนเริ่มใช้งาน แล้วนำค่าดังกล่าวมาประกอบการกำหนดเกณฑ์เฝ้าระวังและเกณฑ์พบควัน เนื่องจากแต่ละพื้นที่มีสภาพแวดล้อมและระดับฝุ่นพื้นฐานแตกต่างกัน

5.3 ควรเพิ่มเซ็นเซอร์ตรวจวัดสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds: VOC) รวมถึงเซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้น เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ร่วมกับค่า PM2.5 และ PM10 ซึ่งอาจช่วยลดโอกาสการแจ้งเตือนที่เกิดจาก

แหล่งกำเนิดฝุ่นชนิดอื่น สำหรับเซ็นเซอร์ CO_2 ควรใช้เป็นข้อมูลประกอบในการประเมินการระบายอากาศภายในพื้นที่เท่านั้น ไม่ควรใช้เป็นตัวบ่งชี้โดยตรงของการใช้บุหรี่ไฟฟ้า

5.4 ควรพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลจากเซ็นเซอร์หลายชนิดร่วมกัน เช่น การกำหนดเงื่อนไขจากอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าฝุ่น หรือการประยุกต์ใช้การเรียนรู้ของเครื่อง เพื่อช่วยจำแนกรูปแบบความผิดปกติและลดการแจ้งเตือนผิดพลาด

5.5 ควรเพิ่มจำนวนจุดติดตั้งเซ็นเซอร์ในพื้นที่ขนาดใหญ่ เพื่อให้การตรวจวัดครอบคลุมพื้นที่มากขึ้น และควรศึกษาตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมโดยพิจารณาทิศทางการไหลเวียนของอากาศและระยะห่างจากแหล่งกำเนิดละออง

5.6 ควรพัฒนาระบบบนคลาวด์ให้รองรับการจัดเก็บข้อมูลจากหลายพื้นที่ การตรวจสอบสถานะอุปกรณ์ และการแจ้งเตือนผู้ดูแลหลายคน รวมถึงพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันให้เหมาะกับการใช้งานผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่

5.7 ควรเปรียบเทียบค่าที่ตรวจวัดได้กับเครื่องมือมาตรฐานหรือเครื่องตรวจวัดคุณภาพอากาศที่ผ่านการสอบเทียบ เพื่อประเมินความคลาดเคลื่อนและความน่าเชื่อถือของเซ็นเซอร์ที่ใช้ในระบบต้นแบบ

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาและคณาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่ได้ให้คำแนะนำ ตรวจสอบ และเสนอแนะแนวทางในการออกแบบระบบ การเชื่อมต่ออุปกรณ์ตรวจวัด การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน การจัดทำฐานข้อมูล และการทดสอบระบบต้นแบบตลอดระยะเวลาการดำเนินงาน

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนร่วมในการจัดเตรียมอุปกรณ์ สถานที่ทดลอง และการทดสอบระบบภายในพื้นที่ปิด รวมทั้งผู้ที่ให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการแสดงผลข้อมูล การจำแนกสถานะ และการแจ้งเตือนผ่าน Telegram ซึ่งมีส่วนช่วยให้ระบบต้นแบบได้รับการปรับปรุงให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้การสนับสนุนและกำลังใจ จนทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Li, L., Lin, Y., Xia, T., & Zhu, Y. (2020). Effects of electronic cigarettes on indoor air quality and health. *Annual Review of Public Health, 41*, 363–380. https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-040119-094043

[2] Bandara, N., Hettiarachchi, S., & Athukorala, P. (2021). AirSPEC: An IoT-empowered air quality monitoring system integrated with a machine learning framework to detect and predict defined air quality parameters. *arXiv*.

[3] Flores-Cortez, O. O., Cortez, R. A., & Rosa, V. (2022). Implementación de un sistema IoT de bajo costo para el monitoreo de la calidad del aire en El Salvador. arXiv

[4] Plantower. (2016). *PMS5003 series data manual* (Version 2.3). Beijing: Beijing Plantower Co., Ltd.

[5] Espressif Systems. (2025). *ESP32 series datasheet* (Version 5.2). Shanghai: Espressif Systems.

[6] World Health Organization. (2023). *Electronic cigarettes: Call to action*.

[7] Centers for Disease Control and Prevention. (2024). *About e-cigarettes (vapes)*.

[8] World Health Organization Thailand. (2024). *STOP THE LIES: Protect children from tobacco industry interference*.

[9] Telegram. (n.d.). *Telegram Bot API.*

[10] The PHP Group. (n.d.). *PHP manual*.

[11] Oracle Corporation. (n.d.). *MySQL 8.0 reference manual*

[12] Chart.js Contributors. (n.d.). *Chart.js documentation*.

[13] Amazon Web Services. (n.d.). *Amazon Lightsail documentation*.

การพัฒนากาวลามิเนตด้วยซิลิกาจากเถ้าแกลบสำหรับกักเก็บความร้อนบนฉลากบรรจุภัณฑ์
Development of Silica-based Laminating Adhesives from Rice Husk Ash for Thermal Energy Storage in Packaging Labels

รัตนาภรณ์ ทิพเวช[1*] พิชิต ขจรเดชะ[1] และ นิทัศน์ ทิพยโสตนัยนา[1]

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์และนวัตกรรมทางการพิมพ์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
*E-mail: radtanaporn.tip@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการสกัดซิลิกาจากเถ้าแกลบเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนากาวลามิเนตที่มีประสิทธิภาพการกักเก็บความร้อนบนฉลากบรรจุภัณฑ์ และเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรักษาความร้อนของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มภายในบรรจุภัณฑ์ PET ระหว่างการใช้ฉลากกาวลามิเนตทั่วไปและฉลากกาวลามิเนตผสมซิลิกา โดยใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบหลักในการสกัดซิลิกาด้วยกระบวนการตกตะกอนร่วมกับกรดซัลฟิวริก ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติพบว่า ซิลิกาที่สกัดได้มีความบริสุทธิ์สูงถึง 100% โดยมีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 289 m^2/g ปริมาตรรูพรุนรวม 0.5191 cm^3/g และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเฉลี่ย 7.21 nm ซึ่งบ่งชี้ถึงโครงสร้างแบบเมโซพอรัส จากการนำซิลิกาที่สกัดได้ไปผสมในกาวลามิเนตสูตรพอลิยูรีเทนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ และประเมินประสิทธิภาพการกักเก็บความร้อน โดยการวัดระยะเวลาการลดลงของอุณหภูมิน้ำในขวด PET จาก 70°C ไปสู่ 30°C ภายใต้ bar coater เบอร์ 8 พบว่า กลุ่มควบคุมใช้เวลาประมาณ 109 นาที ในขณะที่กาวลามิเนตมาตรฐานใช้เวลาประมาณ 120 นาที ทั้งนี้ การเติมซิลิกาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกักเก็บความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ โดยสูตรที่ผสมซิลิกา 4% โดยน้ำหนัก (สูตรที่ 5) ให้ประสิทธิภาพสูงสุดด้วยระยะเวลาการลดลงของอุณหภูมิถึงประมาณ 137 นาที ซึ่งคิดเป็นการเพิ่มขึ้นถึง 25.69% เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซิลิกาจาก 1% เป็น 2% โดยส่งผลให้ระยะเวลาการลดลงของอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 125 เป็น 134 นาที อย่างไรก็ตาม การเพิ่มความเข้มข้นของซิลิกาในระดับที่สูงขึ้นส่งผลให้ ประสิทธิภาพปรับตัวดีขึ้นเพียงเล็กน้อย ซึ่งบ่งชี้ว่าระบบอาจเข้าสู่จุดอิ่มตัวเมื่อมีการเติมสารเติมแต่งในปริมาณสูง ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าซิลิกาที่ได้จากเถ้าแกลบสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกักเก็บความร้อนของกาวลามิเนตได้อย่างมีประสิทธิผล ซึ่งถือเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียทางการเกษตรและเป็นทางเลือกที่เป็นรูปธรรมในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่ต้องการรักษาความร้อน

คำสำคัญ: การกักเก็บความร้อน กาวลามิเนต การสกัดซิลิกา ฉลากบรรจุภัณฑ์ เถ้าแกลบ

Abstract

This study focuses on the extraction of silica from rice husk ash and its application to improve the thermal insulation performance of laminate adhesives. Rice husk ash was used as the primary raw material, and silica was extracted through a precipitation process using sulfuric acid. The extracted silica exhibited a purity of 100 wt%, with a specific surface area of 289 m^2/g, a total pore volume of 0.5191 cm^3/g, and an average pore diameter of 7.21 nm, indicating a mesoporous structure. The silica was incorporated into polyurethane-based laminate adhesives at various concentrations, and the thermal insulation performance was evaluated by measuring the time required for the water temperature in PET bottles to decrease from 70°C to 30°C, using samples coated with a No. 8 bar coater. The control sample required 109 minutes, while the standard laminate adhesive extended this time to 120 minutes. The addition of silica significantly

improved thermal insulation. Specifically, the formulation with 4 wt% silica achieved the highest performance, with a cooling time of 137 minutes, representing a 25.69% improvement compared to the control. A notable increase in performance was observed when the silica content increased from 1 wt% to 2 wt%, extending the cooling time from 125 to 134 minutes. However, further increases in silica concentration resulted in diminishing returns, suggesting that the system approaches a saturation point at higher filler content. These results indicate that silica derived from rice husk ash effectively enhances the thermal insulation of laminate adhesives. This approach offers a practical solution for improving temperature retention in packaging systems while simultaneously adding value to agricultural waste materials.

Keywords: Laminate adhesive, Rice husk ash, Silica extraction, Thermal insulation and Packaging label

1. บทนำ

แกลบเป็นวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตข้าวที่พบได้มากในภาคเกษตรกรรมของประเทศไทยและทั่วโลก แกลบจะมีน้ำหนักประมาณ 20-24% ของข้าวเปลือก องค์ประกอบส่วนใหญ่ของแกลบได้แก่ เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ประมาณ 68%, ลิกนินประมาณ 19.2-24.5%, และเถ้าแกลบประมาณ 13.2-29.0% [1] องค์ประกอบที่สำคัญของเถ้าแกลบ คือซิลิกาประมาณ 86.9-97.3% [2] ซึ่งส่วนใหญ่เถ้าแกลบจะไม่ได้รับการจัดการอย่างเหมาะสม ในหลายพื้นที่เถ้าแกลบมักถูกทิ้งในที่โล่ง นอกจากจะทำให้เสียพื้นที่ในการจัดเก็บแล้ว ยังส่งผลให้สูญเสียคุณสมบัติที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ เช่น ในการทำปุ๋ยหรือใช้เป็นวัสดุในเกษตรกรรม เนื่องจากการถูกฝนหรือลมพัดอาจทำให้คุณสมบัติของเถ้าแกลบเสื่อมลงไป เสี่ยงต่อการเป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรคหรือสารพิษจากการเน่าเปื่อย เป็นมลพิษต่อดิน น้ำ และอากาศ โดยเฉพาะหากมีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ แม้ว่าเถ้าแกลบจะเป็นของเหลือทิ้งและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่หากมีการนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ ก็นับว่าเป็นทางเลือกที่ดีอีกทางเลือกหนึ่ง ปัจจุบันมีการนำเถ้าแกลบกลับมาใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมโลหะ มีการนำเถ้าแกลบมาโรยลงบนผิวหน้าแอ่งรับน้ำโลหะ เพื่อป้องกันการเย็นตัวอย่างรวดเร็วของเหล็กและเพื่อให้เหล็กแข็งตัวอย่างสม่ำเสมอ เพราะเถ้าแกลบมีสมบัติเป็นฉนวนความร้อนที่ดี และมีจุดหลอมเหลวสูง [3], อุตสาหกรรมซีเมนต์และคอนกรีต มีการนำเถ้าแกลบมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เพื่อลดต้นทุนในการผลิตอิฐก่อสร้างราคาถูกหรือใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตความแข็งแรงสูง [4] และอุตสาหกรรมอิฐทนไฟหรืออิฐทนความร้อนสูงจากเถ้าแกลบ [5] เป็นต้นซิลิกาเป็นสารประกอบทางเคมีที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่าซิลิคอนไดออกไซด์ ประกอบไปด้วยอะตอมของซิลิคอนและออกซิเจน พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ รวมทั้งเป็นองค์ประกอบหลักของเถ้าแกลบ มีลักษณะเป็นของแข็ง ไม่มีสีหรือสีขาว มีโครงสร้างผลึกหรือโครงสร้างที่ไม่มีรูปแบบ มีคุณสมบัติพิเศษทนต่อความร้อนและสารเคมี ไม่ละลายน้ำ มีความแข็งแรงและความคงตัวสูง ใช้ในอุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้าง เป็นส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ คอนกรีต และกระจก, อุตสาหกรรมเคมี ใช้ในการผลิตยาง พลาสติก, อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เป็นสารควบคุมความมัน [2]

กาวลามิเนต เป็นองค์ประกอบหลักในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อน ทำหน้าที่ยึดประสานแผ่นฟิล์มหลายชั้นเข้าด้วยกัน อย่างไรก็ตาม กาวลามิเนตทั่วไปมักมีข้อจำกัดในด้านการกักเก็บความร้อน โดยเฉพาะเมื่อนำไปใช้กับบรรจุภัณฑ์ประเภทเครื่องดื่มที่ต้องการรักษาความร้อนภายใน ซึ่งความร้อนจากภายนอกสามารถถ่ายเทผ่านชั้นกาวและฟิล์มเข้าไปส่งผลต่อคุณภาพหรืออุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ภายในได้อย่างรวดเร็ว กาวลามิเนตในกระบวนการผลิตมักถูกเคลือบด้วยความหนาที่น้อยมาก เพื่อไม่ให้กระทบต่อความยืดหยุ่นหรือความหนาโดยรวมของบรรจุภัณฑ์ เมื่อชั้นกาวบางเกินไป จึงไม่มีเนื้อวัสดุเพียงพอที่จะสร้างชั้นฉนวนที่มีประสิทธิภาพในการกักเก็บความร้อน กาวลามิเนตมาตรฐานทั่วไปมักสูญเสียสมบัติการยึดติดเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น หรือเมื่อสัมผัสกับความร้อนเป็นเวลานาน ชั้นฟิล์มที่ถูกลามิเนตไว้อาจเกิดการแยกตัวหรือเกิดการยืดขยายตัวที่แตกต่างกันของแต่ละชั้นฟิล์ม ทำให้บรรจุภัณฑ์เสียรูปหรือเกิดรอยรั่ว กาวทั่วไปมักไม่ได้ถูกออกแบบมาให้เป็นตัวต้านทานความร้อนตั้งแต่ต้น ดังนั้นเมื่อเกิดความร้อนสะสมที่บริเวณผิวบรรจุภัณฑ์ กาวจะเกิดสภาวะอ่อนตัว ทำให้ไม่สามารถรักษาโครงสร้างของบรรจุภัณฑ์ให้คงรูปเพื่อคงอุณหภูมิภายในไว้ได้

ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาวิธีการสกัดซิลิกาจากเถ้าแกลบเพื่อนำมาปรับปรุงสมบัติของกาวลามิเนต โดยมุ่งเน้นในการพัฒนากาวลามิเนตผสมซิลิกาจากเถ้าแกลบ สำหรับเพิ่มประสิทธิภาพการกักเก็บความร้อนบนฉลากบรรจุภัณฑ์

และเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรักษาความร้อนของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มภายในบรรจุภัณฑ์ PET ระหว่างการใช้ฉลากกาวลามิเนตทั่วไปและฉลากกาวลามิเนตผสมซิลิกา โครงการวิจัยนี้ไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มมูลค่าให้แก่ของเสียจากภาคเกษตรกรรมตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน แต่ยังเป็นการสร้างนวัตกรรมในอุตสาหกรรมการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ ให้สามารถผลิตฉลากอัจฉริยะที่มีคุณสมบัติกักเก็บความร้อน ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่ออุตสาหกรรมเครื่องดื่มและอาหารในอนาคต

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

1. การสกัดซิลิกาจากเถ้าแกลบดำเนินการด้วยกระบวนการทางเคมีโดยเริ่มจากการนำเถ้าแกลบจากโรงงานไฟฟ้าชีวมวล โดยได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ธัญญกิจนครปฐม (2521) จำกัด มาทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH, Univar) ความเข้มข้น 2 โมลาร์ ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก 1:2 จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสระยะเวลาประมาณ 2-5 ชั่วโมง เพื่อสกัดซิลิกาออกมาในรูปของสารละลายโซเดียมซิลิเกต จากนั้นทำการตกตะกอนซิลิกาด้วยกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 98% เกรด AR (Sulfuric acid 98%, H_2SO_4, Grade AR, QRëC) โดยควบคุมอุณหภูมิในระหว่างการทำปฏิกิริยาให้อยู่ในช่วง 50 – 85 องศาเซลเซียส จนกระทั่งเกิดตะกอนซิลิกาที่สมบูรณ์ ตะกอนซิลิกาที่ได้จะถูกนำไปล้างด้วยน้ำประปาเพื่อขจัดสิ่งเจือปนและนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อกำจัดความชื้น จากนั้นนำซิลิกาที่แห้งแล้วมาบดละเอียดด้วยเครื่องบดขนาดอนุภาคแบบสองแกนโดยตั้งค่าเครื่องบดอนุภาคที่ 20-30 rpm ระยะเวลา 6-8 ชั่วโมง แล้วนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบภายในด้วยเครื่อง X-rays Fluorescence Spectroscopy (XRF, Fischer รุ่น XUV773) ซึ่งอาศัยการวัดรังสีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนต์ที่ปลดปล่อยออกมาเพื่อระบุชนิดและปริมาณของธาตุในสารตัวอย่างทั้งก่อนและหลังกระบวนการสกัด, วิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตร และขนาดรูพรุนด้วยเครื่อง Surface Area Analyzer (BET, Quantachrome Instrument รุ่น Autosorb iQ-C-AG) โดยเตรียมตัวอย่างน้ำหนัก 0.1 กรัม ผ่านกระบวนการกำจัดความชื้นภายใต้การไหลของก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ก่อนทำการทดสอบการดูดซับและคายซับก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 77 K ตามมาตรฐานของสหภาพเคมีบริสุทธิ์และเคมีประยุกต์ระหว่างประเทศ (IUPAC) และศึกษาสัณฐานวิทยาและรายละเอียดพื้นผิวด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM, thermos Fisher Scientific รุ่น Phenom ProX) ที่ค่าความต่างศักย์ 15–40 kV และกำลังขยาย 15,000–20,000 เท่า โดยตัวอย่างจะถูกเตรียมด้วยการพ่นเคลือบทองด้วยเครื่อง Sputter Coater (SPI Supplies รุ่น SPI-Module™) เพื่อเพิ่มความสามารถในการนำไฟฟ้าก่อนการวิเคราะห์ เพื่อเตรียมนำไปใช้เป็นส่วนผสมในการปรับปรุงสมบัติการทนความร้อนของกาวลามิเนตต่อไป

2. กาวลามิเนตได้รับการเตรียมขึ้นโดยผสมสารยึดติดประเภทพอลิยูรีเทนชนิดมีตัวทำละลาย รุ่น 9690, รุ่น I5000 และสารละลาย Ethyl Acetate โดยในสูตรกาวแต่ละสูตรมีการแปรผันปริมาณซิลิกาที่สกัดจากเถ้าแกลบ 0-5% โดยน้ำหนัก การทดลองแบ่งออกเป็น 5 สูตร โดยมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักรวม 60 กรัมต่อสูตร ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบและสัดส่วนสารเคมีในกาวลามิเนตสูตรที่ 1-5

สารประกอบ	สูตรที่ 1 (g)	สูตรที่ 2 (g)	สูตรที่ 3 (g)	สูตรที่ 4 (g)	สูตรที่ 5 (g)
สารยึดติดประเภทพอลิยูรีเทนชนิดมีตัวทำละลาย รุ่น 9690	18.00	17.82	17.64	17.46	17.28
สารยึดติดประเภทพอลิยูรีเทนชนิดมีตัวทำละลาย รุ่น I5000	12.00	11.88	11.76	11.64	11.52
Ethyl Acetate	30.00	29.70	29.40	29.10	28.80
ซิลิกาจากเถ้าแกลบ	-	0.60	1.20	1.80	2.40
รวม	60	60	60	60	60

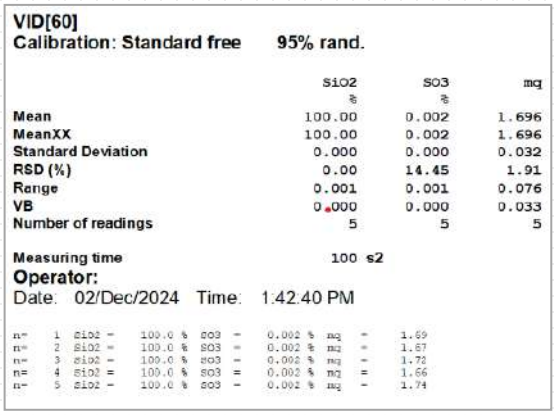
3. การทดสอบสมบัติของกาวลามิเนต เคลือบกาวแต่ละสูตรบนฉลากฟิล์มโพลิโพรพิลีนที่ผ่านการยืดตัวสองทิศทาง (Biaxially Oriented Polypropylene, BOPP) ด้วยเครื่องมือเคลือบสารแบบแท่งเบอร์ 4, 6 และ 8 โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 จะถูกนำไปผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ แล้วนำชิ้นงานไปทดสอบความทนทานต่อการขัดถูด้วยตุ้มน้ำหนักมาตรฐานขนาด 4 ปอนด์ ขัดถูจำนวน 100 ครั้ง โดยทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้งในแต่ละสภาวะการทดลอง

ส่วนที่ 2 จะถูกนำไปพันรอบขวด PET ทันทีโดยทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้งในแต่ละสภาวะการทดสอบและบ่มให้แห้งด้วยอุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบ่มในตู้อบภายใต้อุณหภูมิคงที่ที่ 50 องศาเซลเซียส ทำการตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและประเมินการเผยอของกาวตามระยะเวลาที่กำหนด ได้แก่ 24, 48, 72 ชั่วโมง และ 1 สัปดาห์ บันทึกผล จากนั้นต้มน้ำด้วย Hotplate Stirrer รุ่น SH-2 จนได้น้ำอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปบรรจุในขวดที่ผ่านการทดสอบในตู้อบแล้ว ขวดละ 220 มิลลิลิตร ปิดผนึกฝาขวดป้องกันการถ่ายเทอากาศ ติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิทัลชนิดโพรบจุ่มเพื่อวัดอุณหภูมิภายใน วางชุดทดสอบห่างกันอย่างน้อย 6 นิ้วตามมาตรฐาน ASTM D3103-99 [6] บันทึกผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำภายในขวดทุก 15 นาทีจนกว่าน้ำในขวดจะมีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

สมบัติทางกายภาพของซิลิกาจากเถ้าแกลบ จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค XRF พบว่าซิลิกาที่สกัดได้จากเถ้าแกลบด้วยกระบวนการตกตะกอนร่วมกับกรดซัลฟิวริกมีความบริสุทธิ์สูงถึง 100% ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งสูงกว่าเถ้าแกลบก่อนการสกัดที่มีปริมาณซิลิกาเพียง 94.18% ดังแสดงในภาพที่ 2



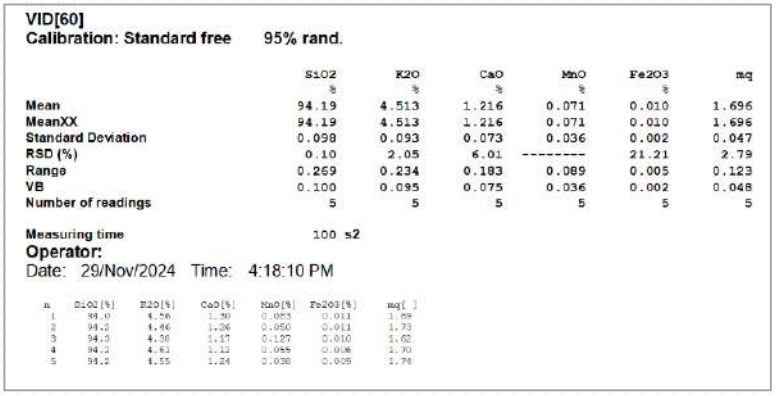
VID[60]
Calibration: Standard free 95% rand.

	SiO2 %	SO3 %	mg
Mean	100.00	0.002	1.696
MeanXX	100.00	0.002	1.696
Standard Deviation	0.000	0.000	0.032
RSD (%)	0.00	14.45	1.91
Range	0.001	0.001	0.076
VB	0.000	0.000	0.033
Number of readings	5	5	5

Measuring time 100 s2
Operator:
Date: 02/Dec/2024 Time: 1:42:40 PM

n=	1	SiO2 =	100.0 %	SO3 =	0.002 %	mg =	1.69
n=	2	SiO2 =	100.0 %	SO3 =	0.002 %	mg =	1.67
n=	3	SiO2 =	100.0 %	SO3 =	0.002 %	mg =	1.72
n=	4	SiO2 =	100.0 %	SO3 =	0.002 %	mg =	1.66
n=	5	SiO2 =	100.0 %	SO3 =	0.002 %	mg =	1.74

ภาพที่ 1 องค์ประกอบเถ้าแกลบหลังการตกตะกอนด้วยกรดซัลฟิวริก



VID[60]
Calibration: Standard free 95% rand.

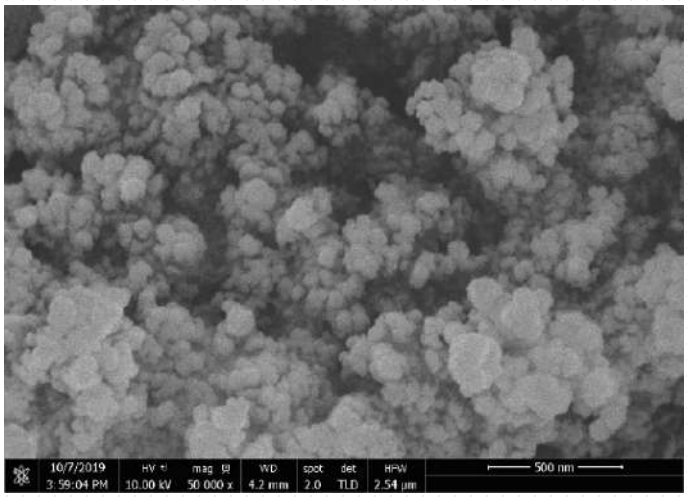
	SiO2 %	K2O %	CaO %	MnO %	Fe2O3 %	mg
Mean	94.19	4.513	1.216	0.071	0.010	1.696
MeanXX	94.19	4.513	1.216	0.071	0.010	1.696
Standard Deviation	0.098	0.093	0.073	0.036	0.002	0.047
RSD (%)	0.10	2.05	6.01	--------	21.21	2.79
Range	0.269	0.234	0.183	0.089	0.005	0.123
VB	0.100	0.095	0.075	0.036	0.002	0.048
Number of readings	5	5	5	5	5	5

Measuring time 100 s2
Operator:
Date: 29/Nov/2024 Time: 4:18:10 PM

n	SiO2[%]	K2O[%]	CaO[%]	MnO[%]	Fe2O3[%]	mg[ ]
1	94.0	4.56	1.30	0.053	0.011	1.69
2	94.2	4.46	1.26	0.050	0.011	1.73
3	94.3	4.58	1.17	0.127	0.010	1.62
4	94.2	4.61	1.12	0.055	0.006	1.70
5	94.2	4.55	1.24	0.038	0.009	1.76

ภาพที่ 2 องค์ประกอบเถ้าแกลบก่อนการตกตะกอนด้วยกรดซัลฟิวริก

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค BET ยืนยันว่าซิลิกาที่ได้มีโครงสร้างแบบเมโซพอรัส โดยมีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 289 m^2/g ปริมาตรรูพรุนรวม 0.5191 cm^3/g และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเฉลี่ยประมาณ 7.21 nm ซึ่งลักษณะโครงสร้างรูพรุนและสัณฐานวิทยาแบบทรงกลมที่รวมตัวกันคล้ายพวงองุ่นจากผลการวิเคราะห์ด้วย SEM เอื้อต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการเป็นฉนวนความร้อนเมื่อนำไปเป็นสารเติมแต่งในกาวลามิเนต ดังแสดงในภาพที่ 3



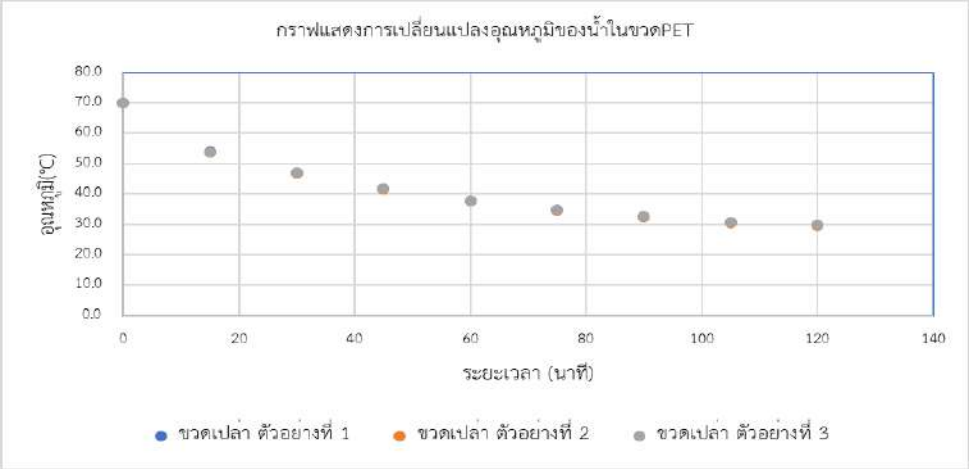
ภาพที่ 3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะผิวของซิลิกาโดย SEM

จากการทดสอบความทนทานต่อการขัดถูของชิ้นงานฉลาก BOPP ที่ผ่านการเคลือบด้วยกาวลามิเนตสูตรต่าง ๆ ทั้งหมด 15 เงื่อนไขการทดลอง โดยแปรผันปัจจัยหลัก 2 ประการ คือ ปริมาณการเติมซิลิกา (0%, 1%, 2%, 3% และ 4%) และความหนาของชั้นกาวผ่านเบอร์ของ Bar Coater เบอร์ 4, 6 และ 8 สามารถประเมินลักษณะทางกายภาพด้วยสายตาระหว่างก่อนการทดสอบและหลังการทดสอบในทุกเงื่อนไขการทดลอง ไม่พบรอยพอง การหลุดลอก การซีดจาง หรือความเสียหายใด ๆ บนพื้นผิวของฉลากและหมึกพิมพ์ ภาพกราฟิกและข้อความบนบรรจุภัณฑ์ยังคงมีความคมชัดและสมบูรณ์ 100% แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มปริมาณการเติมซิลิกาตั้งแต่ 0% จนถึง 4% ในกาวลามิเนต ไม่ได้ส่งผลกระทบในเชิงลบต่อสมบัติการยึดเกาะหรือความแข็งแรงเชิงกลของชั้นกาวที่จะส่งผลมาถึงผิวหน้าของบรรจุภัณฑ์เมื่อถูกแรงขัดถู และความหนาของชั้นกาวที่แตกต่างกันจากการใช้ Bar Coater เบอร์ 4, 6 และ 8 สามารถรองรับแรงขัดถูในสภาวะควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่เกิดการแยกชั้นระหว่างฟิล์ม ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพความทนทานต่อการขัดถู

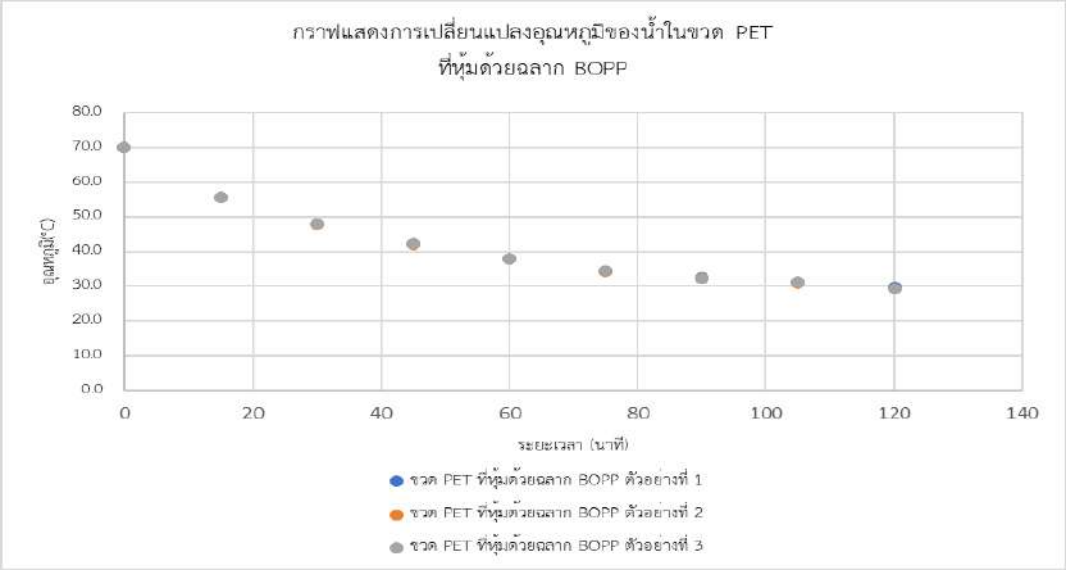
สภาวะการทดสอบ	ผลการทดสอบประสิทธิภาพความทนทานต่อการขัดถู	
	ผ่าน	ไม่ผ่าน
ขวด PET พันด้วยฉลาก BOPP ที่เคลือบด้วยกาวลามิเนตสูตรที่ 1 bar coater 4	✓	
ขวด PET พันด้วยฉลาก BOPP ที่เคลือบด้วยกาวลามิเนตสูตรที่ 1 bar coater 6	✓	
ขวด PET พันด้วยฉลาก BOPP ที่เคลือบด้วยกาวลามิเนตสูตรที่ 1 bar coater 8	✓	
ขวด PET พันด้วยฉลาก BOPP ที่เคลือบด้วยกาวลามิเนตสูตรที่ 2 bar coater 4	✓	
ขวด PET พันด้วยฉลาก BOPP ที่เคลือบด้วยกาวลามิเนตสูตรที่ 2 bar coater 6	✓	
ขวด PET พันด้วยฉลาก BOPP ที่เคลือบด้วยกาวลามิเนตสูตรที่ 2 bar coater 8	✓	
ขวด PET พันด้วยฉลาก BOPP ที่เคลือบด้วยกาวลามิเนตสูตรที่ 3 bar coater 4	✓	
ขวด PET พันด้วยฉลาก BOPP ที่เคลือบด้วยกาวลามิเนตสูตรที่ 3 bar coater 6	✓	
ขวด PET พันด้วยฉลาก BOPP ที่เคลือบด้วยกาวลามิเนตสูตรที่ 3 bar coater 8	✓	
ขวด PET พันด้วยฉลาก BOPP ที่เคลือบด้วยกาวลามิเนตสูตรที่ 4 bar coater 4	✓	
ขวด PET พันด้วยฉลาก BOPP ที่เคลือบด้วยกาวลามิเนตสูตรที่ 4 bar coater 6	✓	
ขวด PET พันด้วยฉลาก BOPP ที่เคลือบด้วยกาวลามิเนตสูตรที่ 4 bar coater 8	✓	
ขวด PET พันด้วยฉลาก BOPP ที่เคลือบด้วยกาวลามิเนตสูตรที่ 5 bar coater 4	✓	
ขวด PET พันด้วยฉลาก BOPP ที่เคลือบด้วยกาวลามิเนตสูตรที่ 5 bar coater 6	✓	
ขวด PET พันด้วยฉลาก BOPP ที่เคลือบด้วยกาวลามิเนตสูตรที่ 5 bar coater 8	✓	

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการกักเก็บอุณหภูมิของน้ำในขวด PET เปล่า พบว่าระยะเวลาเฉลี่ยที่อุณหภูมิของน้ำลดลงจาก 70 องศาเซลเซียส เหลือ 30 องศาเซลเซียส อยู่ที่ประมาณ 109 นาที การกักเก็บความร้อนของขวด PET มีการถ่ายเทความร้อนสู่สิ่งแวดล้อมอย่างรวดเร็วในระยะแรกของการทดลองก่อนจะค่อย ๆ เข้าสู่จุดสมดุลความร้อนกับอุณหภูมิห้องในลำดับถัดไป ดังแสดงในภาพที่ 4



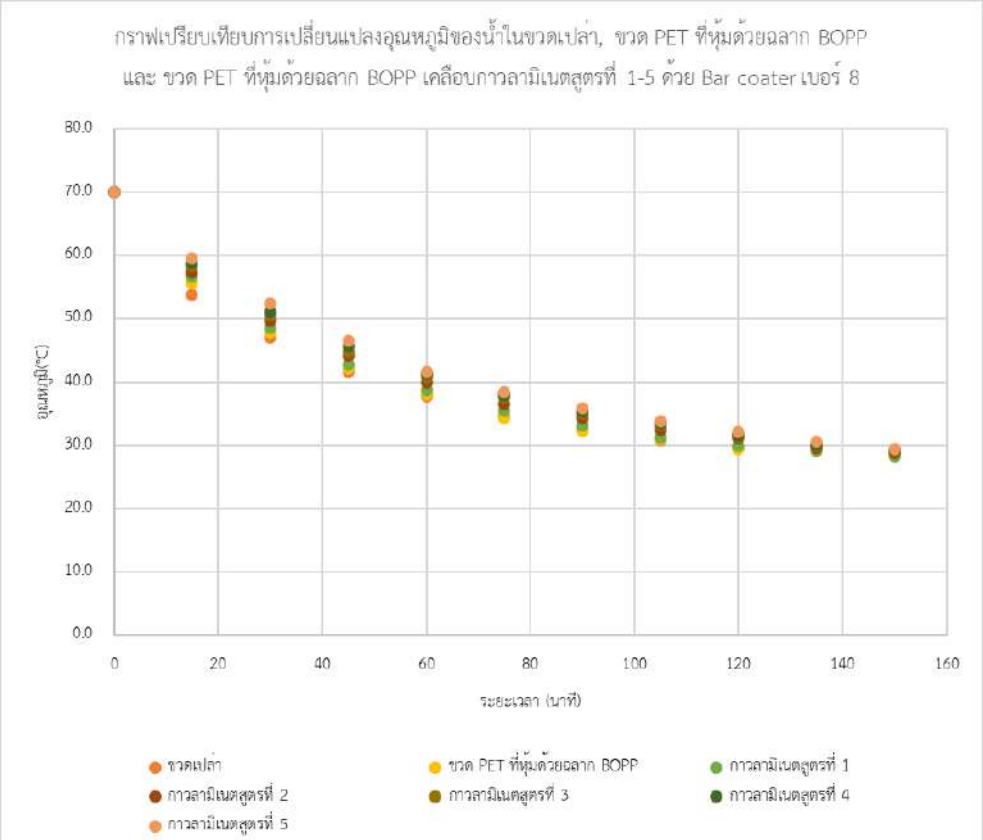
ภาพที่ 4 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำในขวด PET

ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำภายในขวดพลาสติก PET ที่ผ่านการหุ้มด้วยฉลาก BOPP จำนวน 3 ตัวอย่าง พบว่าอุณหภูมิของน้ำในทุกตัวอย่างมีอัตราการลดลงแบบไม่เป็นเส้นตรง ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณระบุว่าระยะเวลาเฉลี่ยที่อุณหภูมิของน้ำลดลงถึง 30 องศาเซลเซียส อยู่ที่ประมาณ 114 นาที ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะขวดเปล่า (ภาพที่ 4) จะเห็นได้ว่าการหุ้มด้วยฉลาก BOPP ส่งผลให้ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อันเนื่องมาจากคุณสมบัติความเป็นฉนวนของวัสดุ BOPP ที่ช่วยชะลออัตราการถ่ายเทความร้อนจากภายในสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกได้เพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำในขวด PET หุ้มด้วยฉลาก BOPP

ผลการกักเก็บอุณหภูมิของน้ำภายในขวด PET ที่หุ้มด้วยฉลาก BOPP ซึ่งเคลือบด้วยกาวลามิเนตสูตรที่ 1 ถึง 5 โดยใช้เครื่องมือเคลือบสาร (Bar coater) เบอร์ 8 ชี้ให้เห็นว่าโครงสร้างทางเคมีของกาวลามิเนตแต่ละสูตรมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน โดยสูตรที่ 1 ถึง 5 มีระยะเวลาเฉลี่ยในการลดอุณหภูมิของน้ำจาก 70 องศาเซลเซียส เหลือ 30 องศาเซลเซียส อยู่ที่ประมาณ 120, 125, 134, 136 และ 137 นาทีตามลำดับ คิดเป็นการรักษาประสิทธิภาพการกักเก็บความร้อนที่เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 10.09, 14.68, 22.94, 24.77, 25.69 เมื่อเปรียบเทียบกับขวด PET เปล่า และคิดเป็นการรักษาประสิทธิภาพการกักเก็บความร้อนที่เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 5.26, 9.65, 17.54, 19.30, 20.18 เมื่อเปรียบเทียบกับขวด PET ที่หุ้มด้วยฉลาก BOPP ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 กราฟเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำในขวดเปล่า, ขวด PET ที่หุ้มด้วยฉลาก BOPP และ ขวด PET ที่หุ้มด้วยฉลาก BOPP เคลือบกาวลามิเนตสูตรที่ 1-5 ด้วย Bar coater เบอร์ 8

ประสิทธิภาพในการกักเก็บอุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับของสูตรกาว โดยกาวลามิเนตสูตรที่ 5 แสดงสมรรถนะสูงสุดในการชะลอการลดลงของอุณหภูมิในทุกสภาวะการเคลือบ เมื่อพิจารณาในแต่ละสูตรกาว พบว่าการเพิ่มระดับเบอร์ของ Bar coater จาก 4 ไปสู่ 8 ซึ่งเป็นการเพิ่มความหนาของชั้นเคลือบ ส่งผลให้ระยะเวลาในการกักเก็บอุณหภูมิมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสอดคล้องกันทุกสูตร ความหนาของชั้นกาวที่เพิ่มขึ้นช่วยเพิ่มความต้านทานความร้อนให้แก่ระบบบรรจุภัณฑ์ ทำให้การถ่ายเทความร้อนจากภายในสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกเกิดได้ช้าลง ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบระยะเวลาเฉลี่ยในการกักเก็บความร้อนของน้ำสำหรับกาวลามิเนตแต่ละสูตรและขนาดของ Bar coater ที่ใช้ในการเคลือบ

สภาวะการทดสอบ	ระยะเวลาเฉลี่ยในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำจาก 70°C ถึง 30°C (นาที)		
	Bar Coater เบอร์ 4	Bar Coater เบอร์ 6	Bar Coater เบอร์ 8
กาวลามิเนตสูตรที่ 1	117	119	120
กาวลามิเนตสูตรที่ 2	122	124	125
กาวลามิเนตสูตรที่ 3	131	133	134
กาวลามิเนตสูตรที่ 4	133	135	136
กาวลามิเนตสูตรที่ 5	134	136	137

4. บทสรุป

กระบวนการสกัดซิลิกาจากเถ้าแกลบด้วยการละลายในโซเดียมไฮดรอกไซด์และการตกตะกอนด้วยกรดซัลฟิวริก สามารถผลิตซิลิกาที่มีความบริสุทธิ์สูงถึง 100% โดยน้ำหนัก อนุภาคซิลิกาที่ได้มีลักษณะสัณฐานวิทยาแบบทรงกลมขนาดเล็กที่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนคล้ายดอกกะหล่ำ มีโครงสร้างแบบเมโซพอรัส จัดเป็นวัสดุรูพรุนขนาดกลาง โดยมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงถึง 289 m^2/g ปริมาตรรูพรุนรวม 0.5191 cm^3/g และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเฉลี่ย 7.21 nm การเติมซิลิกาจากเถ้าแกลบลงในกาวลามิเนตสูตรพอลิยูรีเทนที่ความเข้มข้นร้อยละ 1-4 โดยน้ำหนัก ไม่ส่งผลกระทบในเชิงลบต่อสมบัติการยึดเกาะหรือควา,แข็งแรงเชิงกลของชั้นกาว โดยผลการทดสอบประสิทธิภาพการยึดติดในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ พบว่าฉลากที่เคลือบด้วยกาวลามิเนตทุกสูตรผ่านเกณฑ์การทดสอบโดยไม่พบการเผยอตัวหรือหลุดลอกของขอบฉลากจากขวดบรรจุภัณฑ์ และการเติมซิลิกาจากเถ้าแกลบมีผลช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกักเก็บความร้อนของกาวลามิเนตอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (ขวด PET เปล่า)และกาวลามิเนตมาตรฐาน (สูตรที่ 1) โดยประสิทธิภาพจะเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณการเติมซิลิกาและความหนาของชั้นกาวที่เคลือบด้วย Bar Coater สูตรกาวที่เติมซิลิการ้อยละ 4 โดยน้ำหนัก (สูตรที่ 5) ร่วมกับการเคลือบด้วย Bar Coater เบอร์ 8 ให้ประสิทธิภาพในการกักเก็บอุณหภูมิสูงสุดโดยสามารถหน่วงระยะเวลาการลดลงของอุณหภูมิของน้ำภายในบรรจุภัณฑ์ได้ยาวนานถึง 137 นาที หรือเพิ่มขึ้น 17 นาทีเมื่อเทียบกับกาวลามิเนตมาตรฐานที่ไม่มีการผสมซิลิกา (สูตรที่ 1) คิดเป็นประสิทธิภาพการกักเก็บความร้อนที่เพิ่มขึ้นถึง 14.17% ตรงตามสมมติฐานของงานวิจัยว่าการเติมซิลิกาที่สกัดจากเถ้าแกลบลงในกาวลามิเนต จะช่วยยืดระยะเวลาในการรักษาความร้อนของเครื่องดื่มในขวดพลาสติก PET ได้นานกว่าการใช้กาวลามิเนตทั่วไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอแสดงความขอบคุณอย่างสูงต่อมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้มอบทุนทุนการศึกษาเพชรพระจอมเกล้ามหาบัณฑิต ตลอดระยะเวลาของการทำวิจัยและจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอกราบขอบพระคุณ รศ. ดร.พิชิต ขจรเดชะ อาจารย์ที่ปรึกษาหลักและผศ. ดร.นิทัศน์ ทิพยโสตนัยนา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทาง ตลอดจนให้กำลังใจอย่างต่อเนื่องในการทำวิจัย จนสำเร็จเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบคุณ ดร.ธนธร ทองสัมฤทธิ์ และ รศ. ดร.พงศ์ยุทธ์ จั่นทอง สำหรับความช่วยเหลือ คำแนะนำ ในกระบวนการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณบิดามารดาตลอดจนบุคคลที่ให้ความช่วยเหลือที่ผู้วิจัยไม่สามารถกล่าวนามได้หมดในที่นี้ ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] กรมการข้าว. (2567). *ผลิตภัณฑ์จากแกลบ*. สืบค้น 11 เมษายน 2569, จาก https://rkb.ricethailand.go.th/web/content_page.php?code=A-3BLRLOVQEZ

[2] กนกพร อนันต์ชื่นสุข. (2547). *การเตรียมซิลิกาเจลและสารดูดซับจากเถ้าแกลบดำ* (รายงานผลการวิจัย). ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยรังสิต.

[3] Florian Kerber, Tilo Zienert, Marc Neumann, Piotr Malczyk, Thomas Schemmel, Helge Jansen, Christos G. Anezirisa. (2024). Insulating refractories based on rice husk ashes functionalized by flame-sprayed alumina coatings for steel ingot casting. Retrieved 11 April 2026, from https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0955221924004011

[4] ณพธนัญ วงษ์พยอม, สุทธินันท์ ป่างปู. (2561). *วัสดุประสานจากเถ้าแกลบปริมาณสูงและสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์* (รายงานผลการวิจัย). ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา

[5] สนิท ปิ่นสกุล. (2557). *การพัฒนาอิฐทนไฟฉนวนจากเถ้าแกลบ* (รายงานผลการวิจัย). พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

[6] ASTM International. (1999). *Standard test method for thermal insulation quality of packages* (Designation: D3103–99). https://doi.org/10.1520/D3103-99

การพัฒนาระบบวิเคราะห์กลูโคสเชิงแสงแบบไร้เอนไซม์ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับอนุภาคทองนาโนเคลือบด้วยเซอร์โคเนียมออกไซด์

Development of a Microcontroller-Based Enzyme-Less Photometric System Using Zirconium Oxide-Coated Gold Nanoparticles for Glucose Determination

ปุณณพัฒน์ ธนภัทร์พิศาล[1] ธนกฤต สุขสกาวผ่อง[1] จุฬาลักษณ์ ขาวฟอง[2] พฤกษาพันธุ์ สวาทสุข[1]
และ ธานินทร์ แตงกวารัมย์[2*]

[1]โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร (ฝ่ายมัธยม) หลักสูตรนานาชาติ
[2]สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
*E-mail: tanin@mju.ac.th

บทคัดย่อ

โรคเบาหวานเป็นปัญหาด้านสาธารณสุขที่สำคัญและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทั่วโลก การตรวจติดตามระดับกลูโคสอย่างสม่ำเสมอจึงมีบทบาทสำคัญต่อการวินิจฉัย การควบคุมโรค และการป้องกันภาวะแทรกซ้อน อย่างไรก็ตาม วิธีการตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการยังคงมีข้อจำกัดด้านต้นทุน ความซับซ้อนของเครื่องมือ และความสะดวกในการเข้าถึง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบเซนเซอร์ตรวจวัดกลูโคสเชิงแสงแบบไร้เอนไซม์โดยใช้อนุภาคทองนาโนเคลือบด้วยเซอร์โคเนียมออกไซด์ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์และจอแสดงผลเพื่อประมวลผลสัญญาณสีแบบเรียลไทม์ อนุภาคทองนาโนเคลือบด้วยเซอร์โคเนียมออกไซด์สังเคราะห์ขึ้นจากทองคลอไรด์และเซอร์โคเนียมออกไซด์ ได้คอลลอยด์สีแดงเชอร์รี่ และทดสอบด้วยเทคนิคยูวีวิสิเบิล-สเปกโทรโฟโตเมทรีพบว่ามีการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร เมื่อนำอนุภาคนาโนไปทดสอบร่วมกับกลูโคสโดยใช้ระบบเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้น พบว่าค่าความเข้มแสงสีแดง (R) มีความสัมพันธ์เชิงลบกับความเข้มข้นของกลูโคสและถูกเลือกเป็นสัญญาณตอบสนองหลักสำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม คือใช้สารละลายทองคลอไรด์ความเข้มข้น 2.0% และเวลาตรวจวัด 45 นาที ระบบสามารถตรวจวัดกลูโคสได้ในช่วงความเข้มข้นต่ำ 0.10 – 0.50 มิลลิโมลาร์ (R^2 = 0.9796) และช่วงความเข้มข้นสูง 0.50 – 100.00 มิลลิโมลาร์ (R^2 = 0.9884) โดยมีค่าขีดจำกัดการตรวจวัด เท่ากับ 87.5 ไมโครโมลาร์ การทดสอบสารรบกวนพบว่าซูโครสมีผลต่อสัญญาณต่ำมาก โดยทำให้ค่าความเข้มแสง R เบี่ยงเบนเพียง 0.00–0.69% แสดงถึงระบบมีความจำเพาะต่อกลูโคสสูงกว่าซูโครส ขณะที่กรดแอสคอร์บิกทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของสัญญาณ 1.39–4.17% สะท้อนว่าสารรีดิวซ์อาจมีผลต่อการตอบสนองเชิงแสงของระบบ เมื่อทดสอบกับตัวอย่างเลือดสังเคราะห์ ระบบให้ค่าร้อยละการกลับคืนอยู่ในช่วง 97.00 – 102.70% แสดงให้เห็นว่าการผสานวัสดุนาโนกับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถพัฒนาเป็นแพลตฟอร์มตรวจวัดกลูโคสแบบพกพา ต้นทุนต่ำ ใช้งานง่าย และมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ ณ จุดดูแลผู้ป่วยในอนาคต

คำสำคัญ: กลูโคสเซนเซอร์เชิงแสง อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ ณ จุดดูแลผู้ป่วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ อนุภาคทองนาโนเคลือบด้วยเซอร์โคเนียมออกไซด์

Abstract

Diabetes is a major public health concern worldwide, with a continuously increasing prevalence. Regular monitoring of blood glucose levels plays a crucial role in disease diagnosis, management, and the prevention of complications. However, conventional laboratory-based analytical methods remain limited by their high cost, the complexity of required instrumentation, and limited accessibility. Therefore, this research aimed to develop an enzyme-free optical glucose sensor using Zirconium oxide coated gold

nanoparticles (ZrO_2-AuNPs) combined with a microcontroller and display for real-time color signal processing. ZrO_2-AuNPs were synthesized from gold chloride and zirconium oxide, yielding a cherry-red colloidal solution. The synthesized nanoparticles were characterized by UV–Visible spectrophotometry, which exhibited a maximum absorption wavelength (λ_{max}) at 520 nm. The nanoparticles were subsequently employed for glucose detection using the developed colorimetric sensing system. The results demonstrated that the red color (R) light intensity exhibited a negative correlation with glucose concentration and was selected as the primary response parameter for quantitative analysis. Under the optimal conditions of 2.0% gold chloride solution and a 45-minute measurement, the proposed system provided linear responses in a low glucose concentration range of 0.10 – 0.50 millimolar (R^2 = 0.9796) and a high concentration range of 0.50 – 100.00 millimolar (R^2 = 0.9884), with a detection limit of 87.5 micromolar. Interference studies revealed that sucrose had a negligible effect on the analytical signal, causing only 0.00 – 0.69% deviation in R value, indicating good selectivity toward glucose. In contrast, ascorbic acid produced signal deviation of 1.39 – 4.17%, suggesting that reducing agents may influence the optical response of the sensing system. Analysis of blood samples yielded recovery values ranging from 97.00 to 102.70%. These findings showed that the integration of nanomaterials with a microcontroller-based platform can be developed into a portable, low-cost, user-friendly glucose sensing system with considerable potential for future point-of-care testing (POCT) applications.

Keywords: Optical glucose sensor, Point-of-care testing, Microcontrollers, Zirconium oxide-coated gold nanoparticles

1. บทนำ

โรคเบาหวาน (Diabetes) เป็นโรคเมแทบอลิกเรื้อรังที่เกิดจากความบกพร่องในการหลั่งอินซูลิน การออกฤทธิ์ของอินซูลิน หรือทั้งสองปัจจัยร่วมกัน ส่งผลให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูงอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันโรคเบาหวานถือเป็นหนึ่งในปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญของโลก โดยสหพันธ์เบาหวานนานาชาติรายงานว่าในปี ค.ศ. 2024 มีผู้ป่วยโรคเบาหวานทั่วโลกประมาณ 589 ล้านคน คิดเป็นหนึ่งในเก้าหรือ 11.1 เปอร์เซ็นต์ ของประชากรวัยผู้ใหญ่ (อายุ 20-79 ปี) และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 853 ล้านคน (13 เปอร์เซ็นต์) ในปี ค.ศ. 2050 [1] ภาวะน้ำตาลในเลือดสูงเรื้อรังสามารถก่อให้เกิดภาวะแทรกซ้อนทั้งในหลอดเลือดขนาดเล็กและหลอดเลือดขนาดใหญ่ เช่น โรคไตจากเบาหวาน โรคจอประสาทตาเสื่อม โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคหลอดเลือดสมอง และความผิดปกติของระบบประสาทส่วนปลาย [2] โรคเบาหวานสามารถตรวจวัดโดยผ่านน้ำตาลกลูโคส (Glucose) ซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่มีบทบาทสำคัญในฐานะแหล่งพลังงานหลักของเซลล์ในร่างกายมนุษย์ โดยเฉพาะเซลล์สมอง ระบบประสาท และกล้ามเนื้อ [3] ระดับกลูโคสในเลือดถูกควบคุมอย่างสมดุลผ่านกลไกทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับฮอร์โมนอินซูลินและกลูคากอน เพื่อรักษาสภาวะสมดุลของพลังงานในร่างกาย [4] อย่างไรก็ตาม เมื่อระบบควบคุมดังกล่าวเกิดความผิดปกติ จะส่งผลให้ระดับกลูโคสในเลือดสูงหรือต่ำกว่าปกติ ซึ่งอาจนำไปสู่ภาวะแทรกซ้อนทางสุขภาพที่รุนแรงและเป็นสาเหตุของโรคเบาหวานได้ [5] การตรวจติดตามระดับกลูโคสในเลือดอย่างสม่ำเสมอจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการวินิจฉัย ควบคุม และป้องกันภาวะแทรกซ้อนของโรคเบาหวาน โดยได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจากวิธีการวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการไปสู่ระบบตรวจวัดแบบพกพาและไบโอเซนเซอร์ (Biosensors) ที่มีความไว ความจำเพาะ และความรวดเร็วสูง [6] โดยเฉพาะการประยุกต์ใช้วัสดุนาโน เช่น อนุภาคโลหะนาโน โลหะออกไซด์ และวัสดุนาโนเชิงประกอบ ซึ่งสามารถเพิ่มพื้นที่ผิว เพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายโอนอิเล็กตรอน และช่วยยกระดับสมรรถนะของเซนเซอร์ตรวจวัดกลูโคสให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น [7] ด้วยเหตุนี้ การพัฒนาเทคโนโลยีตรวจวัดกลูโคสที่มีความแม่นยำ ต้นทุนต่ำ และสามารถใช้งานได้จริง จึงยังคงเป็นประเด็นสำคัญที่ได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่องในงานวิจัยด้านชีวการแพทย์และการวิเคราะห์ทางเคมี [8]

อนุภาคทองนาโน (Gold nanoparticles; AuNPs) เป็นวัสดุหนึ่งในศาสตร์นาโนเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน เนื่องจากมีสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพที่แตกต่างจากวัสดุในระดับมหภาค ส่งผลให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในหลากหลายสาขา เช่น การแพทย์ สิ่งแวดล้อม พลังงาน และอุตสาหกรรมเคมี เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่น

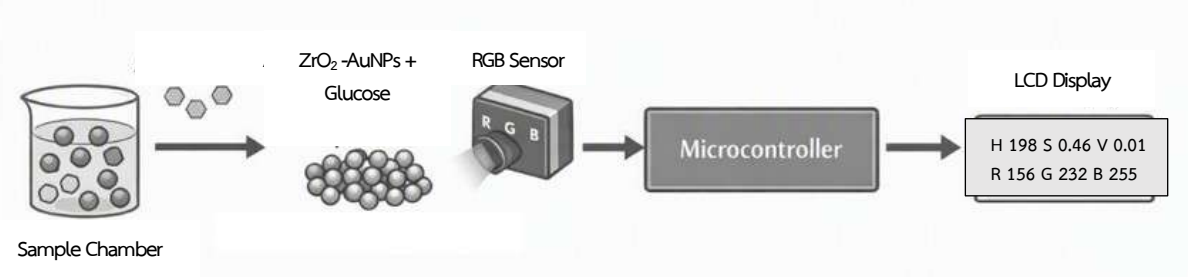
ด้านความเข้ากันได้ทางชีวภาพ ความเสถียรทางเคมี และคุณสมบัติทางแสงอันเกิดจากปรากฏการณ์ Surface plasmon resonance (SPR) ของอนุภาคทองนาโนซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญของการประยุกต์ใช้ในงานตรวจวิเคราะห์เซนเซอร์ชีวภาพ การนำส่งยา และการรักษาทางการแพทย์ [9] อย่างไรก็ตาม อนุภาคทองนาโนมีข้อจำกัดสำคัญคือมีแนวโน้มเกิดการรวมตัวของอนุภาค (Aggregation) เมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้พื้นที่ผิวลดลงและสูญเสียคุณสมบัติพิเศษบางประการ ดังนั้น จึงมีการปรับปรุงเสถียรภาพของอนุภาคทองนาโนด้วยการเคลือบพื้นผิวด้วยเซอร์โคเนียมออกไซด์ (Zirconium oxide; ZrO_2) ซึ่งเป็นวัสดุเซรามิกที่มีความเสถียรทางเคมีสูง ทนต่อความร้อน การกัดกร่อน และการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช (pH) มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง และสามารถทำหน้าที่เป็นวัสดุรองรับ (Support material) ที่ดีสำหรับอนุภาคโลหะนาโน และสามารถนำมาใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาร์บอนมอนอกไซด์ [10] อนุภาคทองนาโนเคลือบด้วยเซอร์โคเนียมออกไซด์ (Zirconium oxide-capped gold nanoparticles; ZrO_2-AuNPs) จึงเป็นวัสดุนาโนเชิงประกอบที่ผสานข้อดีของทั้งสองวัสดุเข้าด้วยกัน โดยเซอร์โคเนียมออกไซด์ช่วยเพิ่มความเสถียร ป้องกันการรวมตัวของอนุภาคทองนาโนและเพิ่มความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมที่รุนแรง ขณะที่อนุภาคทองนาโนยังคงคุณสมบัติทางแสงและความสามารถในการถ่ายโอนอิเล็กตรอนได้อย่าง มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้วัสดุชนิดนี้ได้รับความสนใจอย่างมากในงานวิจัยด้านวัสดุนาโนเชิงหน้าที่ (Functional nanomaterials) การรวมตัวของ AuNPs และ ZrO_2 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาได้อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากอนุภาคทองนาโนทำหน้าที่เป็นตำแหน่งเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพ ขณะที่เซอร์โคเนียมออกไซด์ช่วยเพิ่มการกระจายตัวของอนุภาคทองคำและเพิ่มเสถียรภาพของระบบ ส่งผลให้ ZrO_2-AuNPs ถูกนำมาใช้ในปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาร์บอนมอนอกไซด์ การกำจัดสารมลพิษอินทรีย์ การผลิตไฮโดรเจนอย่างมีประสิทธิภาพ และการกำจัดสารมีพิษกลุ่มฟีนอล [11]

นอกจากนี้ AuNPs ยังมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพสูง (Biocompatibility) และมีความเป็นพิษต่ำ จึงได้รับความสนใจอย่างมากในงานด้านชีวการแพทย์ เช่น ระบบนำส่งยา (Drug delivery) การตรวจวินิจฉัยโรค การถ่ายภาพทางชีวการแพทย์ (Bioimaging) และการรักษาด้วยความร้อนจากแสง (Photothermal therapy) โดยอาศัยคุณสมบัติการดูดกลืนพลังงานแสงและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนของอนุภาคทองนาโน ขณะเดียวกัน ZrO_2 ยังช่วยเพิ่มความเสถียรของวัสดุและเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจวิเคราะห์สารชีวโมเลกุล ทำให้ ZrO_2-AuNPs ถูกนำมาใช้ในการพัฒนาแพลตฟอร์มไบโอเซนเซอร์และระบบตรวจวิเคราะห์ทางชีวภาพสมัยใหม่ผ่านการเร่งปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ [12] นอกจากการประยุกต์ใช้ด้านการแพทย์และเซนเซอร์แล้ว ZrO_2-AuNPs ยังสามารถเพิ่มศักยภาพด้านการปรับปรุงกับวัสดุเซมิคอนดักเตอร์ศักยภาพสูงในงานอุตสาหกรรมเนื่องความสามารถในการถ่ายโอนอิเล็กตรอนที่ดีและมีความเสถียรต่อสภาวะแวดล้อมที่รุนแรง [13] อีกทั้ง ZrO_2-AuNPs ยังเป็นวัสดุเชิงประกอบที่มีศักยภาพสำหรับงานเร่งปฏิกิริยา เนื่องจากการทำงานร่วมกันระหว่างอนุภาคทองและพื้นผิว ZrO_2 ที่มีตำแหน่งว่างของอะตอมออกซิเจนในโครงผลึกของโลหะออกไซด์ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของปฏิกิริยารีดักชันของออกซิเจนและการสร้างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ภายใต้สภาวะอ่อน คุณสมบัติดังกล่าวสะท้อนถึงความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาและการถ่ายโอนประจุของวัสดุ [14] ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญต่อการพัฒนาวัสดุสำหรับงานเร่งปฏิกิริยาและแพลตฟอร์มการตรวจวิเคราะห์ทางเคมีและชีวภาพ

แม้ว่าปัจจุบันการตรวจวัดระดับกลูโคสในเลือดจะมีวิธีมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับและใช้งานอย่างแพร่หลายในสถานพยาบาล แต่ระบบตรวจวัดส่วนใหญ่ยังอาศัยเอนไซม์เป็นองค์ประกอบสำคัญในการสร้างสัญญาณวิเคราะห์ ซึ่งอาจมีข้อจำกัดด้านความคงตัวต่อสภาวะแวดล้อม การเก็บรักษา และต้นทุนของวัสดุชีวภาพ มีรายงานการใช้ระบบเซนเซอร์แสงราคาถูกรุ่น TCS230 ร่วมกับ $TiOSO_4$ ทำให้ต้นทุนต่ำลง [15] แต่ในระบบดังกล่าวยังต้องพึ่งเอนไซม์ในการเปลี่ยนกลูโคสให้เกิดเป็นสัญญาณที่ตรวจวัดได้ จึงไม่สามารถแก้ไขข้อจำกัดเกี่ยวกับเอนไซม์ได้อย่างสมบูรณ์ ด้วยเหตุนี้การพัฒนาเทคนิคตรวจวัดกลูโคสแบบไร้เอนไซม์จึงได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากมีศักยภาพในการเพิ่มความเสถียรของระบบลดต้นทุนและเพิ่มความสะดวกต่อการประยุกต์ใช้งานนอกห้องปฏิบัติการหรือในภาคสนาม

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้นพบว่า มีรายงานการประยุกต์ใช้วัสดุเชิงประกอบที่มีอนุภาคทองนาโนและเซอร์โคเนียมออกไซด์ในงานเร่งปฏิกิริยา และการตรวจวิเคราะห์และกำจัดสารปนเปื้อนทางเคมี อย่างไรก็ตาม ยังไม่พบการประยุกต์ใช้ ZrO_2-AuNPs ร่วมกับระบบเซนเซอร์ตรวจวัดสี RGB และไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับการตรวจวัดกลูโคสเชิงแสงแบบไร้เอนไซม์ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาแพลตฟอร์มตรวจวัดกลูโคสเชิงแสงแบบไร้เอนไซม์ โดยอาศัย ZrO_2-AuNPs เป็นสารตอบสนอง ร่วมกับเซนเซอร์ตรวจวัดสี RGB และไมโครคอนโทรลเลอร์ต้นทุนต่ำ เช่น Arduino สำหรับประมวลผลและแสดงผลแบบเรียลไทม์ จุดเด่นของระบบที่พัฒนาขึ้น คือ สามารถตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสีได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้เครื่อง UV-Visible spectrophotometer มีโครงสร้างอุปกรณ์ ไม่ซับซ้อน จัดหาได้ง่าย รองรับการพัฒนาเป็นระบบแบบพกพา

และมีศักยภาพสำหรับการประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ ณ จุดดูแลผู้ป่วย (Point-of-care testing; POCT) ในอนาคต กลไกการตรวจวัดของระบบอาศัยการเปลี่ยนแปลงความเข้มสีของสารละลาย ZrO_2-AuNPs ภายหลังการเกิดปฏิกิริยากับกลูโคส ซึ่งถูกตรวจวัดและแปลงเป็นสัญญาณเชิงปริมาณด้วยเซนเซอร์ตรวจวัดสี RGB และไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 โมเดลการตรวจวัดกลูโคสแบบไร้เอนไซม์ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับอนุภาคทองนาโนเคลือบด้วยเซอร์โคเนียมออกไซด์

2. วิธีการทดลอง

2.1 สารเคมี

ทองคลอไรด์ (Gold(III) chloride trihydrate, $HAuCl_4{\cdot}3H_2O$, 99.50%) สารละลายพอลิไดอัลลิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (Poly(diallyldimethylammonium chloride, PDDA solution, 35wt. % in H_2O) เซอร์โคเนียม (IV) ออกไซด์ (zirconium (IV) oxide,98.50%; ZrO_2) บริษัท Acros Organics ประเทศเบลเยียม กรดแอสคอร์บิก (L-Ascorbic acid AR for Biochemistry) บริษัท Loba Chemie โพแทสเซียมคลอไรด์ (Potassium chloride, KCl, 99.50%) โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride, NaCl, 99.00%) แมกนีเซียมซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต (Magnesium sulphate heptahydrate, $MgSO_4$ $7H_2O$, 98.00%) จากบริษัทโวลเคม (Volchem, USA) โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (Sodium hydrogen carbonate, $NaHCO_3$, 99.50%) โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต เกรด AR (Sodium Dihydrogen Orthophosphate AR, NaH_2PO_4 $2H_2O$) ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Disodium hydrogen phosphate, 99.00%; Na_2HPO_4) โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Potassium hydrogen phosphate, 99.00%; KH_2PO_4) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, 97.00%; NaOH) ไตรโซเดียมซิเตรท (Trisodium citrate, 99.00%, $HOC(COONa)(CH_2COONa)_2$) จากบริษัทซิกมา ประเทศสหรัฐอเมริกา

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 (Atmel Mega328P, USA) จอแสดงแอลซีดี (16x2 LCD display) เซนเซอร์ตรวจวัดสี RGB (TCS 7242, Texas advanced optoelectronics, USA) โปรแกรม Arduino Integrated Development Environment (Arduino IDE) เวอร์ชัน 2.3.9 (Arduino LLC, USA) เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible spectrophotometer, model 6300, UK) ทุกสารละลายเตรียมโดยใช้น้ำที่ผลิตจากเครื่องผลิตน้ำอัลตราเพียว รุ่น Milli-Q Direct-Q 16 (18.2 MΩ-cm, Sigma, USA) ใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.05 โมลาร์ pH 7.2 เพื่อควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบให้อยู่ในช่วงคงที่ และใช้ตลอดการทดลอง

2.3 การพัฒนาโปรแกรมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

นำไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 มาเป็นหน่วยประมวลผลหลัก โดยเชื่อมต่อกับเซนเซอร์ตรวจวัดสี RGB รุ่น TCS7242 เพื่อรับค่าของสีที่ตรวจพบจากวัตถุ และเชื่อมต่อจอแสดงผล LCD ขนาด 16×2 สำหรับแสดงผลข้อมูลสีที่ตรวจวัดได้ ทุกอุปกรณ์เชื่อมผ่านโปรโตคอลสื่อสารระบบ I^2C จากนั้นทำการเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยภาษา C ผ่านโปรแกรม Arduino IDE เวอร์ชัน 2.3.9 เพื่อกำหนดการทำงานของระบบให้สามารถอ่านค่าจากเซนเซอร์ ประมวลผลข้อมูลสี และแสดงผลลัพธ์บนจอ LCD เป็นสี RGB HSV เมื่อพัฒนาโปรแกรมเสร็จแล้วจึงอัปโหลดโปรแกรมเข้าสู่ Arduino Uno R3 และทำการทดสอบ

การทำงานของระบบด้วยวัตถุตัวอย่างที่มีสีแตกต่างกัน เพื่อประเมินความถูกต้องของการตรวจวัดและการแสดงผลของระบบ พร้อมทั้งปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ในโปรแกรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจำแนกสี

2.4 การสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนเคลือบด้วยเซอร์โคเนียมออกไซด์

การสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนเคลือบด้วยเซอร์โคเนียมออกไซด์ โดยสังเขปดังนี้ ปิเปตต์น้ำอัลตราเพียว 50.00 มิลลิลิตร PDDA 35% 60 ไมโครลิตร โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.50 โมลาร์ 100 ไมโครลิตร สารละลายทองคลอไรด์ 1.0% 150 ไมโครลิตร และซั่งเซอร์โคเนียมออกไซด์ 0.04 กรัม ใส่ลงในขวดก้นกลม ใส่แท่งเหล็ก นำไปรีฟลักซ์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และคนสารละลายไปพร้อมกัน เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ของเหลวจะเปลี่ยนเป็นสีแดงเชอร์รี่ ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จะได้ ZrO_2-AuNPs นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิตอล สำหรับ ZrO_2-AuNPs ที่เตรียมจากสารละลายทองคลอไรด์ 1.5% และ 2.0% เตรียมด้วยวิธีเดียวกันกับสารละลายทองคลอไรด์ 1.0%

2.5 การศึกษาค่า RGB และ HSV ของกลูโคสกับอนุภาคทองนาโนเคลือบด้วยเซอร์โคเนียมออกไซด์

การศึกษาค่าความเข้มแสงสีแดง (Red; R) สีเขียว (Green; G) และสีน้ำเงิน (Blue; B) ค่าเฉดสี (Hue; H) ความอิ่มสี (Saturation; S) และความสว่าง (Value; V) ด้วยเซนเซอร์แสงกับ ZrO_2-AuNPs ทำโดยการนำ ZrO_2-AuNPs มา 250 ไมโครลิตร ผสมกับกลูโคสที่ความเข้มข้นระดับต่าง ๆ ได้แก่ 0.00, 1.00 และ 2.00 มิลลิโมลาร์ จากนั้นทำการตรวจวัดโดยใช้เซนเซอร์แสงที่พัฒนาขึ้นที่สามารถอ่านค่าระบบสี RGB และระบบสี HSV ได้อย่างพร้อมกัน (Simultaneously) โดยจัดวางตัวอย่างไว้ในตำแหน่งคงที่ภายใต้สภาพแสงเดียวกันเพื่อควบคุมไม่ให้แสงภายนอกมีผลต่อตรวจวัด การวัดค่าสีและความเข้มแสงที่ได้จากเซนเซอร์จะแสดงผลเป็นตัวเลขบนหน้าจอ LCD 2 บรรทัด บรรทัดที่ 1 คือค่า HSV และบรรทัดที่ 2 คือค่า RGB หลังจากบันทึกค่าที่ได้จากแต่ละความเข้มข้นของกลูโคสแล้วจึงนำข้อมูลมาเปรียบเทียบเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสีและความเข้มแสง

2.6 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของกลูโคสกับอนุภาคทองนาโนเคลือบด้วยเซอร์โคเนียมออกไซด์

การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการตรวจวัดผลตอบสนองระหว่างค่าความเข้มแสง R และความเข้มข้นของกลูโคสด้วยเซนเซอร์แสงของ ZrO_2-AuNPs ทำโดยการใช้เซนเซอร์วัดค่าความเข้มแสง R ที่ระดับความเข้มข้นของกลูโคสที่ 0.00, 0.50, 1.00 และ 2.00 มิลลิโมลาร์ โดยวัดค่าความเข้มแสง R ที่เวลา 0 นาที เพิ่มระยะเวลาวัดครั้งถัดไปที่ 15 นาที 30 นาที 45 นาที 60 นาที และ 90 นาที ตามลำดับ หลังจากนั้นจึงนำค่าความเข้มแสง R ที่ได้มาพล็อตเทียบกับความเข้มข้นของกลูโคส จะได้ความสัมพันธ์เชิงเส้นและใช้ค่าความชันของกราฟ (Slope, m) เพื่อใช้ในการประเมินผลเวลาที่เหมาะสม

2.7 การศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายทองคลอไรด์ที่เหมาะสมต่อการตรวจวัดระดับกลูโคส

การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายทองคลอไรด์ที่เหมาะสมในการตรวจวัดระดับกลูโคส ทำโดยการใช้สารละลายทองคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 1.0% สังเคราะห์เป็น ZrO_2-AuNPs แล้วนำไปทดสอบกับกลูโคสในช่วงความเข้มข้น 0.00 – 2.00 มิลลิโมลาร์ วัดค่าความเข้มแสง R จากนั้น เพิ่มความเข้มข้นของสารละลายทองคลอไรด์เป็น 1.5% และ 2.0% ตามลำดับ นำค่าความเข้มแสง R ที่ได้มาพล็อตเทียบกับความเข้มข้นของกลูโคส จะได้ความสัมพันธ์เชิงเส้นและใช้ค่าความชันของกราฟ (Slope, m) เพื่อใช้ในการประเมินผลความเข้มข้นของสารละลายทองคลอไรด์ที่เหมาะสม

2.8 การศึกษาความเลือกเฉพาะ (Selectivity) ของสารรบกวน

การศึกษาผลของสารรบกวน ทำการเลือกกรดแอสคอร์บิกและซูโครส โดยใช้กลูโคสเข้มข้น 1.00 มิลลิโมลาร์ เติม ZrO_2-AuNPs จับเวลา 45 นาที แล้วทำการวัดค่าความเข้มแสง R หลังจากนั้นจึงเติมกรดแอสคอร์บิกให้มีความเข้มข้น 0.25 มิลลิโมลาร์ ทำการจับเวลา 45 นาที แล้วทำการวัดค่าความเข้มแสง R และทำการเปลี่ยนความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกเป็น 0.50 และ 1.00 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ โดยใช้เวลาและสภาวะอื่น ๆ เช่นเดียวกันกับ 0.25 มิลลิโมลาร์

ทุกประการ สำหรับชูโครสทำการทดลองโดยใช้ความเข้มข้น 1.00, 2.00 และ 3.00 มิลลิโมลาร์ เวลาและสภาวะเดียวกันกับกรดแอสคอร์บิก

2.9 การศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงและขีดจำกัดการตรวจวัด

การศึกษาค่าความเป็นเส้นตรงสำหรับการตรวจวัดกลูโคสด้วยเซนเซอร์แสง ปิเปตต์สารละลาย ZrO_2-AuNPs มา 250 ไมโครลิตร ใส่ในเพลตจำนวน 9 เพลต แต่ละเพลตเติมกลูโคสให้มีความเข้มข้น 0.00, 0.10, 0.25, 0.50, 1.00, 10.00, 20.00, 50.00 และ 100.00 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และเติมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ให้มีปริมาตรรวมเท่ากับ 1.00 มิลลิลิตร จับเวลา 45 นาที หลังจากนั้นนำเข้าเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่ออ่านค่าความเข้มแสง R และนำค่าไปพล็อตกราฟเทียบกับความเข้มข้นของกลูโคสและหาความเป็นเส้นตรงโดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) ที่ต้องมีค่ามากกว่า 0.975 สำหรับค่าขีดจำกัดการตรวจวัดหาได้ตามวิธีของ ICH [16]

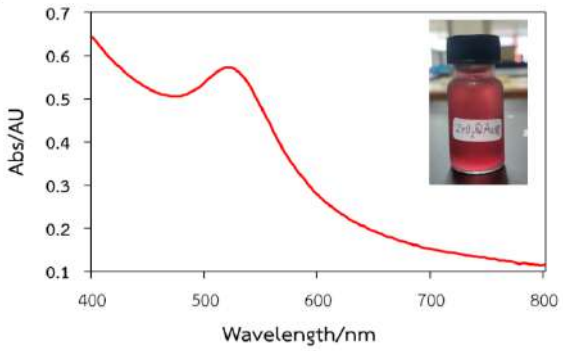
2.10 การทดสอบกับตัวอย่างเลือดสังเคราะห์

ในการทดสอบกับตัวอย่างเลือด ทำการเตรียมตัวอย่างเลือดสังเคราะห์ขึ้นมาใช้ในห้องปฏิบัติการ โดยปรับปรุงจากวิธีของ Basiaga et al. [17] ทำโดยการชั่งโซเดียมคลอไรด์ 0.68 กรัม โพแทสเซียมคลอไรด์ 0.40 กรัม แมกนีเซียมซัลเฟต 0.01 กรัม โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 0.22 กรัม ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.0126 กรัม และโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.0026 กรัม ละลายด้วยน้ำอัลตราเพียว และปรับปริมาตรเป็น 100.00 มิลลิลิตร จะได้ตัวอย่างเลือดสังเคราะห์ การกำหนดให้ตัวอย่างเลือดสังเคราะห์เป็นตัวอย่างที่ 1 - 4 ใช้วิธีการเติมสารละลายมาตรฐานกลูโคสลงในเลือดสังเคราะห์แบบปกปิดรหัส (Coded blind samples) การวิเคราะห์ใช้วิธีกราฟเทียบมาตรฐาน (Calibration graph method) เริ่มจากปิเปตต์ตัวอย่างเลือดสังเคราะห์ที่ 1 มา 500 ไมโครลิตรใส่ลงในเพลต เติมสารละลาย ZrO_2-AuNPs จำนวน 250 ไมโครลิตร เติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ให้ปริมาตรรวมในแต่ละเพลตเท่ากับ 1.00 มิลลิลิตร จับเวลา 45 นาที แล้วทำการวัดค่าความเข้มแสงของแต่ละเพลตโดยใช้ระบบที่พัฒนาขึ้น นำค่าความเข้มแสง R ที่อ่านได้ไปเทียบกับกราฟเทียบมาตรฐานจะได้ค่าของกลูโคสในเพลต คำนวณค่าการเจือจางย้อนกลับจะได้ความเข้มข้นของกลูโคสในเลือดตัวอย่างที่ 1 สำหรับตัวอย่างที่ 2 – 4 ทำเช่นเดียวกันกับตัวอย่างที่ 1 ในการทดลองเพื่อหาร้อยละการกลับคืน ทำการเติมสารละลายมาตรฐานกลูโคสลงไปในตัวอย่างที่ 1-4 โดยให้มีความเข้มข้น 5.00 และ 10.00 มิลลิโมล่าร์ ทำการวิเคราะห์หากลูโคสด้วยเทคนิคเดียวกันกับตัวอย่างที่ 1 แล้วคำนวณหาร้อยละการกลับคืน

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ผลการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนเคลือบด้วยเซอร์โคเนียมออกไซด์

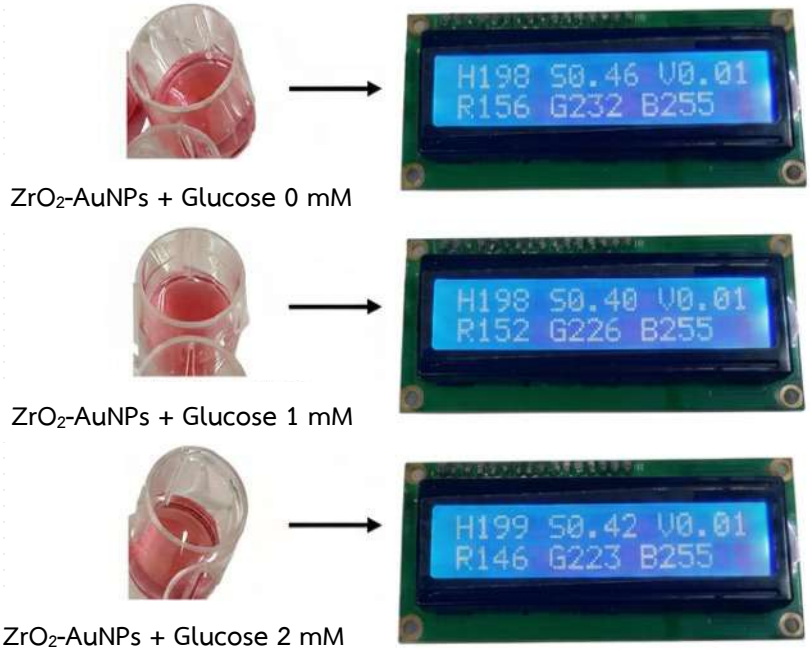
การวิเคราะห์สมบัติการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี (UV-Vis spectroscopy) ของอนุภาคทองนาโนเคลือบด้วยเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่สังเคราะห์ขึ้น ได้ผลดังรูปที่ 2 พบการดูดกลืนแสงสูงสุด (λmax) ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร โดยมีค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.29 AU และมีค่าความกว้างที่ครึ่งหนึ่งของความสูงของพีก (Peak width at half maximum; PWHM) เท่ากับ 65 นาโนเมตร ค่า PWHM บอกถึงการกระจายขนาดของอนุภาคนาโน โดยพีกที่มี PWHM ต่ำจะแสดงถึงการมีขนาดอนุภาคที่สม่ำเสมอ ค่าผลการทดลองนี้ใกล้เคียงกับรายงานของ Tangkuaram et al. [18] ที่สังเคราะห์อนุภาคทองนาโนด้วยวิธีรีฟลักซ์ซึ่งในรายงานพบว่ามีลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope, TEM) เป็นอนุภาคกลม มีขนาดสม่ำเสมอ และมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 16 นาโนเมตร



รูปที่ 2 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และภาพถ่ายของคอลลอยด์ ZrO_2-AuNPs

3.2 การศึกษาค่า RGB และ HSV ของกลูโคสกับอนุภาคทองนาโนเคลือบด้วยเซอร์โคเนียมออกไซด์

ค่า RGB และ HSV ที่ได้จากเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้น โดยอ่านค่าสีของกลูโคสเมื่อทำปฏิกิริยากับ ZrO_2-AuNPs ซึ่งแสดงผลทางจอ LCD 16x2 ได้ผลดังรูปที่ 3 จากรูปพบว่าที่ความเข้มข้นกลูโคส 0.00 มิลลิโมลาร์ใน ZrO_2-AuNPs สารละลายมีสีแดง ได้ค่าความเข้มแสง H, S, V, R, G และ B ที่ 198, 0.46, 0.01, 156, 232, และ 255 ตามลำดับ เมื่อเติมกลูโคสให้มีความเข้มข้น 1.00 และ 2.00 มิลลิโมลาร์ และวัดทันทีโดยไม่จับเวลา พบว่า ค่าความเข้มแสง R มีการเปลี่ยนแปลงเป็น 152 และ 146 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าความเข้มแสง R มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกับระดับความเข้มข้นของกลูโคสอย่างเห็นได้ชัดเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นกลูโคสส่งผลต่อสภาวะการรวมตัวของ ZrO_2-AuNPs สีของสารละลายมีความเข้มลดลง ค่าความเข้มแสง R จึงลดลง ในขณะที่ค่าความเข้มแสง G มีการเปลี่ยนแปลงในทางลดค่าลงเช่นกัน จาก 232 เป็น 226 และ 223 ในระดับความเข้มข้นของกลูโคสที่ 0.00, 1.00 และ 2.00 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ ค่าความเข้มแสง S มีการเปลี่ยนแปลงจาก 0.46 เป็น 0.40 และ 0.42 แต่ไม่เป็นฟังก์ชันกับความเข้มข้น ค่าความเข้มแสง B ไม่เปลี่ยนแปลงโดยมีค่าคงที่อยู่ที่ 255 สำหรับค่าความเข้มแสง H มีค่าอยู่ในช่วง 198–199 ค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก แสดงว่าสีโดยรวมยังคงอยู่ในโทนเดิม ส่วนค่าความเข้มแสง V มีค่าคงที่อยู่ที่ 0.01 ไม่เปลี่ยนแปลง



รูปที่ 3 ค่าความเข้มแสง RGB และ HSV จากเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้นโดยอ่านค่าสีของกลูโคสกับ ZrO_2-AuNPs ผ่าน LCD 16x2 ที่ความเข้มข้นของกลูโคส 0.00, 1.00 และ 2.00 มิลลิโมลาร์

หลังจากนั้นจึงทดลองจับเวลาที่ 30 และ 60 นาที โดยใช้กลูโคสที่ 0.00, 0.50, 1.00 และ 2.00 มิลลิโมลาร์ วัดค่าความเข้มแสงในระบบ RGB และ HSV ได้ผลดังตารางที่ 1 ซึ่งผลการตรวจวัดมีความสอดคล้องกับกรณีการวัดค่าทันที คือค่าความเข้มแสง R และ G มีการเปลี่ยนแปลงลดลงอย่างชัดเจนเมื่อความเข้มข้นของกลูโคสเพิ่มขึ้น แต่ค่าความเข้มแสง R มีการตอบสนองที่สูงกว่าเนื่องจากกลูโคสในระบบจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพพื้นผิวและสมบัติทางแสงของ ZrO_2-AuNPs ทำให้การสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นเปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะในช่วงความยาวคลื่นที่สัมพันธ์กับองค์ประกอบของสีแดง ทำให้ค่าความเข้มแสง R ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อความเข้มข้นของกลูโคสเพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าความเข้มแสง G มีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกันแต่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า ค่าความเข้มแสง S มีการเปลี่ยนแปลงแต่ไม่เป็นฟังก์ชันกับความเข้มข้น ส่วนค่าความเข้มแสง B, H และ V มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากเฉดสีหลักของสารละลายยังคงเดิมและการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นการเปลี่ยนแปลงด้านความเข้มของสีมากกว่าการเปลี่ยนแปลงชนิดของสี ดังนั้นค่าความเข้มแสง R จึงเป็นพารามิเตอร์ที่มีความไวและสัมพันธ์กับความเข้มข้นของกลูโคสมากที่สุดในระบบที่พัฒนาขึ้น

ผลการทดลองนี้สนับสนุนว่าค่าความเข้มแสง R มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกลูโคสมากกว่าพารามิเตอร์สีอื่นจึงสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นกลูโคสได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเหมาะสมที่สุดสำหรับการนำไปใช้สร้างสมการเชิงเส้นและคำนวณความเข้มข้นของกลูโคสในการวิจัยขั้นต่อไป

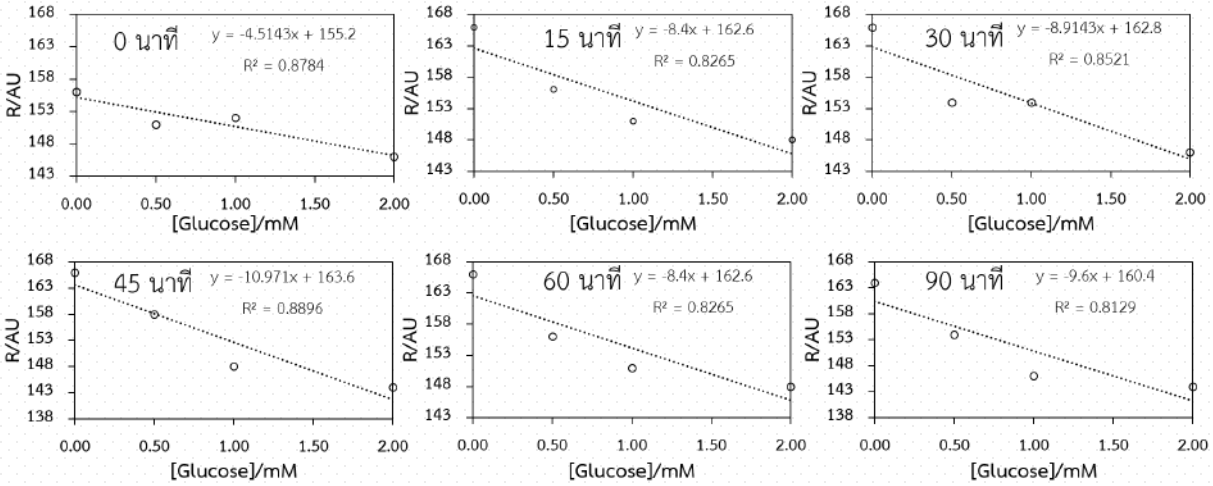
ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสง RGB และ HSV และระดับความเข้มข้นของกลูโคส วัดเมื่อจับเวลา 30 และ 60 นาที

ความเข้มข้นกลูโคส (mM)	ค่าความเข้มแสงสีเมื่อจับเวลา 30 นาที (AU)					
	R	G	B	H	S	V
0.00	166	230	255	199	0.36	0.01
0.50	151	222	255	198	0.40	0.01
1.00	154	223	255	197	0.40	0.01
2.00	145	221	255	196	0.41	0.01
ความเข้มข้นกลูโคส (mM)	**ค่าความเข้มแสงสีเมื่อจับเวลา 60 นาที (AU)**					
	R	G	B	H	S	V
0.00	166	230	255	197	0.37	0.01
0.50	150	226	255	197	0.39	0.01
1.00	147	221	255	199	0.42	0.01
2.00	144	220	255	199	0.42	0.01

3.3 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของกลูโคสกับอนุภาคนาโนเคลือบด้วยเซอร์โคเนียมออกไซด์ด้วยเซนเซอร์แสง

การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการตรวจวัดผลตอบสนองระหว่างค่าความเข้มแสง R และความเข้มข้นของกลูโคสด้วยเซนเซอร์แสงของ ZrO_2-AuNPs ทำโดยการใช้เซนเซอร์วัดค่าความเข้มแสง R ที่ระดับความเข้มข้นของกลูโคสที่ 0.00, 0.50, 1.00 และ 2.00 มิลลิโมลาร์ ที่เวลา 0 นาที 15 นาที 30 นาที 45 นาที 60 นาที และ 90 นาที ตามลำดับ หลังจากนั้น จึงนำค่าความเข้มแสง R ที่ได้มาพล็อตเทียบกับความเข้มข้นของกลูโคส ได้ผลการทดลองที่เวลาต่าง ๆ ดังรูปที่ 4 จากรูปจะเห็นว่าค่าความเข้มแสง R แปรผกผันกับค่าความเข้มข้นของกลูโคสเมื่อผสมลงไปกับ ZrO_2-AuNPs ทันที และเมื่อจับเวลา 15-90 นาที เมื่อพิจารณาจากความชันของกราฟ พบว่าความชันมีค่าสูงสุดที่ -10.971 ที่เวลาการทำปฏิกิริยา 45 นาที แสดงว่ากลูโคสสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดการรวมตัวของ ZrO_2-AuNPs ได้อย่างเหมาะสมที่สุดในช่วงเวลาดังกล่าว จนส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางแสงของอนุภาคทองนาโนได้อย่างชัดเจนและทำให้ค่าความเข้มแสง R เปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของกลูโคส

ได้มากที่สุด เมื่อพิจารณาค่าความชันที่วัด ณ ช่วงเวลาอื่น ๆ ทั้งน้อยกว่าและมากกว่า 45 นาที พบว่าความชันมีค่าต่ำลงมาก แสดงว่าระบบมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงกลูโคสลดลง แม้ว่าค่า R^2 ที่ได้จากการทดลองจะอยู่ในช่วง 0.81-0.89 ซึ่งไม่เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณที่ต้องการความเป็นเชิงเส้นในระดับสูง แต่ค่าระดับนี้สะท้อนถึงความสัมพันธ์ที่ดีระหว่างความเข้มข้นของกลูโคสและค่าความเข้มแสง R ของระบบตรวจวัด เมื่อพิจารณาร่วมกับค่าความชันของกราฟ พบว่าที่เวลา 45 นาทีให้ค่าความชันสูงสุดซึ่งแสดงถึงความไวในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกลูโคสที่ดีที่สุด ดังนั้นจึงเลือกเวลา 45 นาทีเป็นเวลาที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยาระหว่างกลูโคสกับ ZrO_2-AuNPs และใช้เป็นเวลาขั้นต้นในการศึกษาขั้นต่อไป

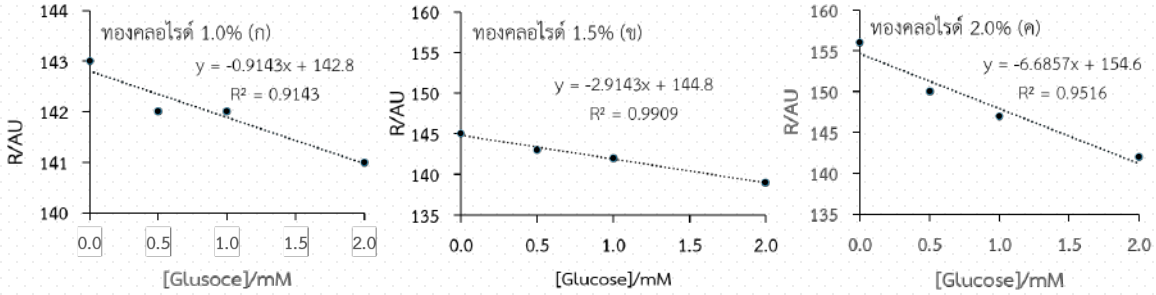


รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ของค่าความเข้มแสง R ต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกลูโคส วัดโดยเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้น ขณะทดลองทันที (0 นาที) และหลังจากจับเวลา 15, 30, 45, 60 และ 90 นาที

3.4 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายทองคลอไรด์ที่เหมาะสมต่อการตรวจวัดระดับกลูโคส

ความเข้มข้นของสารตั้งต้นทองคลอไรด์เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเกิดอนุภาค ZrO_2-AuNPs เนื่องจากปริมาณของไอออนทอง (Au^{3+}) ที่มีอยู่ในระบบการสังเคราะห์มีผลโดยตรงต่อทั้งจำนวนอนุภาค ขนาดอนุภาค และสมบัติทางแสงที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์การสั่นพ้องของพลาสมอนพื้นผิวเฉพาะที่ (Localized surface plasmon resonance; LSPR) ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญที่ใช้ในการตรวจวัดเชิงสีของการพัฒนาเซนเซอร์นี้ ดังนั้น การศึกษาเกี่ยวกับทองคลอไรด์จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาความเข้มข้นของทองคลอไรด์ที่เหมาะสมในการเกิดอนุภาค ZrO_2-AuNPs และให้สัญญาณการตอบสนองต่อกลูโคสได้สูงสุด ในการศึกษาผลของความเข้มข้นดังกล่าวดำเนินการโดยใช้สารละลายทองคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 1.0% สังเคราะห์เป็น ZrO_2-AuNPs แล้วนำไปทดสอบกับกลูโคสในช่วงความเข้มข้น 0.00 – 2.00 มิลลิโมลาร์ วัดค่าความเข้มแสง R แล้วนำไปพล็อตเทียบกับความเข้มข้นของกลูโคส ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 5 ก หลังจากนั้นเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายทองคลอไรด์เป็น 1.5% และ 2.0% ทดลองกับกลูโคสด้วยสภาวะเดิม ได้ผลดังรูปที่ 5 ข และ ค ตามลำดับ จากรูปที่ 5 ก-ค พบว่าในทุกความเข้มข้นของสารละลายทองคลอไรด์ ค่าความเข้มแสง R มีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของกลูโคสเพิ่มขึ้น สะท้อนว่าการตอบสนองของระบบมีความสัมพันธ์เชิงลบกับระดับกลูโคส อย่างไรก็ตามที่ความเข้มข้น 1.0% ค่าความเข้มแสง R เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยจาก 143 (0.00 มิลลิโมลาร์) เป็น 141 (2.00 มิลลิโมลาร์) ด้วยความชันเท่ากับ -0.9143 ถือว่าสัญญาณตอบสนองยังไม่ไวมาก เนื่องจากที่ความเข้มข้น 1.0% นี้เกิดเป็น ZrO_2-AuNPs น้อยอาจเป็นปัจจัยจำกัด (Limiting factor) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายทองคลอไรด์เป็น 1.5% ค่าความเข้มแสง R ลดลงจาก 145 (0.00 มิลลิโมลาร์) เป็น 139 (2.00 มิลลิโมลาร์) ให้ค่าความชันสูงขึ้นเป็น -2.9143 และเมื่อความเข้มข้นของสารละลายทองคลอไรด์เป็น 2.0% ค่าความเข้มแสง R ลดลงจาก 156 (0.00 มิลลิโมลาร์) เป็น 142 (2.00 มิลลิโมลาร์) ได้ค่าความชันสูงสุดเท่ากับ -6.6857 ซึ่งความชันที่ได้นี้มากกว่าความชันที่ความเข้มข้น 1.5% ถึง 2.29 เท่า นั่นคือ ที่ความเข้มข้นของสารละลายทองคลอไรด์ 2.0% มีปริมาณ ZrO_2-AuNPs มากจนไม่เป็นข้อจำกัดอีกต่อไป จึงสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของกลูโคสได้ชัดเจนมากขึ้น โดยความไวที่สูงจะส่งผลให้ค่าขีดจำกัดการตรวจวัด (LOD) ดีขึ้น ทำให้ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจวัดกลูโคสที่ความเข้มข้นต่ำได้ดี ดังนั้นจึงเลือกใช้

สารละลายทองคลอไรด์ ความเข้มข้น 2.0% เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทดลองความเป็นเส้นตรง การศึกษาสารรบกวน และการทดสอบกับตัวอย่างเลือดสังเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของกลูโคสกับค่าความเข้มแสง R ที่ทดสอบกับ ZrO_2-AuNPs โดยเตรียมขึ้นจากสารละลายทองคลอไรด์ที่ความเข้มข้น (ก) 1.0%, (ข) 1.5% และ (ค) 2.0%

3.5 การศึกษาความเลือกเฉพาะ (Selectivity) ของสารรบกวน

ในการศึกษาความเลือกเฉพาะ (Selectivity) ของระบบตรวจวัด เลือกสารรบกวนได้แก่กรดแอสคอร์บิกและซูโครส โดยกรดแอสคอร์บิกถูกเลือกเนื่องจากเป็นสารรีดิวซ์ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันกับองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับระบบตรวจวัด และเป็นสารเมแทบอไลต์ที่สามารถพบได้ในตัวอย่างชีวภาพ ส่วนซูโครสถูกเลือกให้เป็นตัวแทนของสารคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่นที่มีโครงสร้างแตกต่างจากกลูโคสและไม่มีสมบัติเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ จึงสามารถใช้ประเมินความสามารถของเซนเซอร์ในการแยกแยะการตอบสนองต่อกลูโคสจากน้ำตาลชนิดอื่น แต่อย่างไรก็ตาม สารรบกวนที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นเพียงตัวแทนของสารที่อาจส่งผลต่อการวัดในตัวอย่างเลือดจริง เนื่องจากเลือดมนุษย์เป็นเมทริกซ์ที่มีความซับซ้อน ประกอบด้วยสารหลายชนิด เช่น กรดยูริก กรดอะมิโน โปรตีน ไขมัน และสารชีวโมเลกุลอื่น ๆ ซึ่งอาจมีผลต่อปฏิกิริยาบริเวณผิวของ ZrO_2-AuNPs หรือส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางแสงของระบบตรวจวัด ดังนั้นการประเมินด้วยเลือดสังเคราะห์ในงานวิจัยนี้จึงเป็นการประเมินเบื้องต้นภายใต้สภาวะที่ควบคุมได้เพื่อยืนยันความสามารถของเซนเซอร์ในการตรวจวัดกลูโคสท่ามกลางสารรบกวนที่เลือก การศึกษาดำเนินการโดยกำหนดความเข้มข้นของกลูโคสไว้ที่ 1.00 มิลลิโมลาร์ร่วมกับ ZrO_2-AuNPs จับเวลา 45 นาที และใช้ระบบเซนเซอร์วัดค่าความเข้มแสง R จากนั้นเติมกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้น 0.25 มิลลิโมลาร์ จับเวลา 45 นาที วัดค่าความเข้มแสง R อีกครั้ง แล้วจึงเพิ่มความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิกเป็น 0.50 และ 1.00 มิลลิโมลาร์ เปลี่ยนสารรบกวนจากกรดแอสคอร์บิกเป็นซูโครสและเปลี่ยนความเข้มข้นเป็น 1.00, 2.00 และ 3.00 มิลลิโมลาร์ โดยทดลองในสภาวะเดียวกัน ได้ผลการทดลองในตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าซูโครสทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณต่ำมาก โดยมีค่าการเบี่ยงเบนของสัญญาณอยู่ในช่วง 0.00 – 0.69% แสดงว่าซูโครสซึ่งเป็นน้ำตาลไม่รีดิวซ์ไม่ส่งผลต่อการตอบสนองของเซนเซอร์และแสดงถึงความเลือกเฉพาะของเซนเซอร์ต่อกลูโคสเมื่อเทียบกับซูโครส ในทางตรงกันข้ามกรดแอสคอร์บิกทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของสัญญาณ 1.39 – 4.17% โดยพบค่าการเบี่ยงเบนสูงสุดที่ความเข้มข้น 1.00 มิลลิโมลาร์ ผลดังกล่าวอาจเกิดจากคุณสมบัติของกรดแอสคอร์บิกซึ่งเป็นสารรีดิวซ์ซึ่งสามารถส่งผลต่อสมบัติทางเคมีบริเวณพื้นผิวของ ZrO_2-AuNPs ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสัญญาณเชิงแสงได้มากกว่าซูโครส

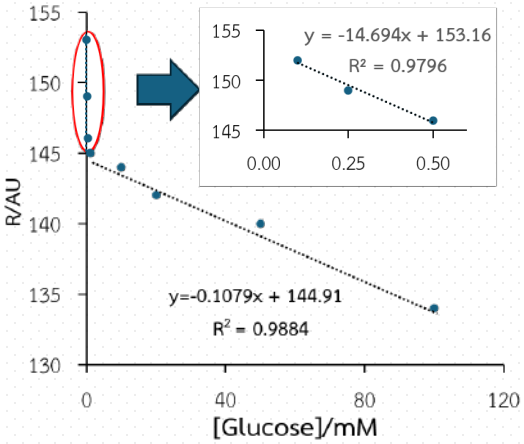
ตารางที่ 2 การทดสอบความเลือกเฉพาะกับสารรบกวนที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสง R

กลูโคส (mM)	ชนิดสารรบกวน		ค่าความเข้มแสง R (AU)	การเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มแสง R (%)
	สารรบกวน	ความเข้มข้น / mM		
1.00	กรดแอสคอร์บิก	0.25	142	1.39
1.00	กรดแอสคอร์บิก	0.50	142	1.39
1.00	กรดแอสคอร์บิก	1.00	138	4.17
1.00	ซูโครส	1.00	145	0.69
1.00	ซูโครส	2.00	146	0.00
1.00	ซูโครส	3.00	146	0.00

3.6 การศึกษาค่าการทำซ้ำ ความเป็นเส้นตรง และขีดจำกัดการตรวจวัด

การศึกษาความสามารถในการทำซ้ำของระบบตรวจวัด (Repeatability) เพื่อใช้วัดความเที่ยง (Precision) ของการตรวจวัด ได้ทำการตรวจวัดตัวอย่างกลูโคสที่ความเข้มข้น 1.00 มิลลิโมลาร์ ภายใต้สภาวะการทดลองเดียวกัน 5 ครั้ง ผลการทดลองพบว่าค่าความเข้มแสง R มีการเปลี่ยนแปลงในช่วงระหว่าง 139-142 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (% RSD) = 0.93 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก แสดงว่าระบบตรวจวัดเชิงแสงที่พัฒนาขึ้นสามารถให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความเที่ยงสูง มีความสามารถในการทำซ้ำสูง

ในการศึกษาค่าความเป็นเส้นตรง (Linear range) โดยใช้การทดลองหลาย ๆ ความเข้มข้นของกลูโคส ได้แก่ 0.00, 0.10, 0.25, 0.50, 1.00, 10.00, 20.00, 50.00 และ 100.00 มิลลิโมลาร์ และนำค่าความเข้มแสง R มาพล็อตเทียบกับความเข้มข้นของกลูโคสที่เป็นคู่อันดับกัน ได้ผลดังรูปที่ 6 จากรูปพบว่ากราฟมีช่วงความเป็นเส้นตรง 2 ช่วง และมีค่าความชันเป็นลบหมายความว่าเมื่อกลูโคสมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความเข้มแสง R ลดลง ซึ่งเกิดจากกลูโคสจับกับ ZrO_2-AuNPs จากการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางแสงของอนุภาคทองนาโน ซึ่งสัมพันธ์กับปรากฏการณ์เรโซแนนซ์พลาสมอนพื้นผิวเฉพาะที่โดยกลูโคสสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่พื้นผิวของอนุภาคทองนาโน และทำให้ความเข้มแสง R ในระบบตรวจวัดลดลงตามระดับความเข้มข้นของกลูโคสที่เพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของกลูโคสสูงขึ้นพบว่าความชันกราฟลดลงอย่างชัดเจนจาก -14.694 AU mM^{-1} ที่ช่วงความเข้มข้นต่ำ (0.10 – 0.50 มิลลิโมลาร์) เป็น -0.1079 AU mM^{-1} ที่ช่วงความเข้มข้นสูง (0.50 – 100.00 มิลลิโมลาร์) การลดลงของความชันในช่วงความเข้มข้นสูงอาจเกิดจากการตอบสนองของการทำปฏิกิริยาของกลูโคสกับ ZrO_2-AuNPs ที่เริ่มเข้าสู่ภาวะอิ่มตัว ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มแสง R มีแนวโน้มลดลง ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถอ่านและประมวลผลสัญญาณได้อย่างมีเสถียรภาพ โดยไม่พบการอิ่มตัวของสัญญาณ (Signal saturation) ตลอดช่วงความเข้มข้นกลูโคสที่ 0.50 – 100.00 มิลลิโมลาร์ แสดงถึงประสิทธิภาพที่สูงของระบบตรวจวัดเชิงแสงที่มีช่วงการวัดกว้าง [19] จากช่วงความเป็นเส้นตรงทั้งหมดของเซนเซอร์กลูโคสพบว่าครอบคลุมคนปกติและคนเป็นเบาหวานร้ายแรง นอกจากนี้ ในการประเมินขีดจำกัดการตรวจวัด (Limit of Detection; LOD) โดยนำค่าความชันของกราฟในช่วงความเข้มข้นกลูโคสที่ 0.10 – 0.50 มิลลิโมลาร์ ซึ่งเป็นช่วงที่มีความไวสูงสุด มาใช้คำนวณค่าขีดจำกัดการตรวจวัดตามสมการ LOD = $3\sigma/S$ โดยที่ σ คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณแบลงค์ และ S คือความชันของกราฟแคลิเบรชัน [16] ผลการคำนวณพบว่าเซนเซอร์มีค่า LOD เท่ากับ 87.5 ไมโครโมลาร์ ซึ่งต่ำกว่าช่วงความเข้มข้นของกลูโคสในบุคคลปกติ จึงแสดงให้เห็นว่าเซนเซอร์มีศักยภาพในการประยุกต์ใช้สำหรับการตรวจวัดกลูโคสในเลือด



รูปที่ 6 ช่วงความเป็นเส้นตรงของเซนเซอร์ ZrO_2-AuNPs ซึ่งเตรียมจากสารละลายทองคลอไรด์ 2.0% โดยแสดงทั้งช่วงความเข้มข้นต่ำ (0.10 – 0.50 มิลลิโมลาร์) และช่วงความเข้มข้นสูง (0.50 – 100.00 มิลลิโมลาร์)

3.7 การทดสอบกับตัวอย่างเลือดสังเคราะห์

ในการประเมินศักยภาพของเซนเซอร์ในการตรวจวัดระดับกลูโคสภายใต้สภาวะที่มีองค์ประกอบของเมทริกซ์ใกล้เคียงกับเลือดจริง ได้ทำการทดสอบเซนเซอร์กับตัวอย่างเลือดสังเคราะห์ โดยจำลองสภาวะตัวอย่างเลือดสังเคราะห์ 4 ตัวอย่าง ในระดับความเข้มข้นของกลูโคสที่แตกต่างกัน ซึ่งการวิเคราะห์ใช้วิธีคาลิเบรชันกราฟ (Calibration graph method) โดยนำค่าความเข้มแสง R ของตัวอย่างไปเทียบกับกราฟคาลิเบรชันจะได้ความเข้มข้นของกลูโคส จากการทดลองได้ผลในตารางที่ 3 พบว่ากลูโคสในเลือดสังเคราะห์มีช่วงความเข้มข้น 0.00 (ND) - 7.43 มิลลิโมลาร์ แสดงให้เห็นว่าเซนเซอร์สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของกลูโคสได้ภายใต้สภาวะเลือดสังเคราะห์ที่มีองค์ประกอบซับซ้อนคล้ายตัวอย่างจริง จากนั้นได้ทำการเติมสารละลายกลูโคสมาตรฐานให้มีความเข้มข้น 5.00 และ 10.00 มิลลิโมลาร์ ลงในตัวอย่างเลือดสังเคราะห์ทั้ง 4 ตัวอย่าง และทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีเดียวกัน โดยนำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าร้อยละการกลับคืนจากสมการที่ (1) ซึ่งผลการทดลองปรากฏดังคอลัมน์ขวาสุดในตารางที่ 3 พบว่าเซนเซอร์ให้ค่าร้อยละการกลับคืนอยู่ในช่วง 97.00 – 102.70 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ดีสำหรับงานวิเคราะห์เชิงปริมาณ แสดงให้เห็นว่าปริมาณกลูโคสที่ตรวจวัดได้มีความสอดคล้องกับปริมาณที่เติมลงไปจริง และบ่งชี้ว่าองค์ประกอบภายในเมทริกซ์ไม่ได้รบกวนการตรวจวัดอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งบ่งบอกถึงความถูกต้อง (Accuracy) ความน่าเชื่อถือ (Reliability) [16] ของเซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้น อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ดำเนินการในตัวอย่างเลือดสังเคราะห์ ซึ่งแม้จะช่วยจำลององค์ประกอบพื้นฐานของเมทริกซ์เลือดและเหมาะสมสำหรับการประเมินสมรรถนะเบื้องต้นของเซนเซอร์ภายใต้สภาวะที่สามารถควบคุมตัวแปรได้ แต่ยังไม่สามารถสะท้อนความซับซ้อนของตัวอย่างเลือดจริงได้ทั้งหมด เนื่องจากในเลือดจริงยังมีโปรตีน ไขมัน เซลล์เม็ดเลือด และสารชีวโมเลกุลอื่น ๆ ที่อาจส่งผลต่อการตอบสนองของเซนเซอร์และก่อให้เกิดการรบกวนต่อการวิเคราะห์ได้ ดังนั้นแม้ว่าผลการทดสอบจะบ่งชี้ถึงความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของระบบ แต่การประเมินศักยภาพในการประยุกต์ใช้งานจริงยังจำเป็นต้องได้รับการยืนยันเพิ่มเติมด้วยการทดสอบในตัวอย่างเลือดจริงจากผู้ป่วยหรืออาสาสมัคร เพื่อประเมินความเลือกเฉพาะ ความถูกต้อง และความทนทานของระบบภายใต้สภาวะการใช้งานจริง

$$\% \text{ Recovery} = \left| \frac{\text{ค่าที่ตรวจพบหลังเติมกลูโคส - ค่าที่ตรวจพบในเลือด}}{\text{ค่ากลูโคสที่เติม}} \right| \times 100 \qquad (1)$$

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบร้อยละการกลับคืนของเซนเซอร์กลูโคสเชิงแสงที่พัฒนาขึ้นกับตัวอย่างเลือดสังเคราะห์

ตัวอย่างเลือดสังเคราะห์	ค่าที่ตรวจพบในเลือด (mM)	ค่ากลูโคสที่เติม (mM)	ค่าที่ตรวจพบหลังเติมกลูโคส (mM)	ร้อยละการกลับคืน (%)
1	7.43	10.00	17.70	102.70
2	0.35	5.00	5.20	97.00
3	ND	5.00	5.09	101.80
4	0.60	10.00	10.35	97.50

* ND = Not detected

4. บทสรุป

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการพัฒนาแพลตฟอร์มใหม่โดยอาศัยอนุภาคทองนาโนเคลือบด้วยเซอร์โคเนียมออกไซด์ (ZrO_2-AuNPs) ร่วมกับการวิเคราะห์สัญญาณด้วยเซนเซอร์ตรวจวัดสี RGB และไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับตรวจวัดกลูโคสเชิงแสงแบบไร้เอนไซม์ ซึ่งสามารถตรวจวัดกลูโคสได้อย่างง่าย มีความเลือกเฉพาะ มีความเป็นเส้นตรง 0.10 – 100.00 มิลลิโมลาร์ ซึ่งครอบคลุมช่วงใช้งานในการตรวจวัดกลูโคสในคนทั่วไป มีขีดจำกัดการตรวจวัดที่ต่ำ 87.5 ไมโครโมลาร์ จุดเด่นของระบบคือการประยุกต์ใช้หลักการวิเคราะห์เชิงสี (Colorimetric detection) ร่วมกับเซนเซอร์ RGB และไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งช่วยให้สามารถอ่านผลและประมวลผลข้อมูลได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือวิเคราะห์สเปกโทรสโกปีที่มีความซับซ้อนสูง อันเป็นแนวทางที่เอื้อต่อการพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบพกพาและมีราคาต่ำในอนาคต แม้ว่าผลการศึกษาจะแสดงให้เห็นว่าระบบตรวจวัดที่พัฒนาขึ้นมีสมรรถนะเชิงวิเคราะห์ที่ดี แต่การศึกษานี้ยังมีข้อจำกัดบางประการ กล่าวคือ ยังไม่มีการประเมินความถูกต้อง (Accuracy) และความเที่ยง (Precision) โดยการเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐานหรือชุดตรวจเชิงพาณิชย์ นอกจากนี้ การประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจวัดดำเนินการในตัวอย่างเลือดสังเคราะห์ (Artificial blood) ยังไม่สามารถสะท้อนความซับซ้อนของเมทริกซ์ในตัวอย่างเลือดจริงได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยเปรียบเทียบผลกับวิธีมาตรฐาน และทดสอบในตัวอย่างเลือดจริง เพื่อยืนยันความถูกต้อง ความเที่ยง ความเลือกเฉพาะ และความน่าเชื่อถือของระบบตรวจวัดก่อนการประยุกต์ใช้งานจริง อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของแพลตฟอร์มตรวจวัดกลูโคสเชิงแสงแบบไร้เอนไซม์ในฐานะต้นแบบที่มีแนวโน้มสามารถพัฒนาต่อยอดเป็นอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ ณ จุดดูแลผู้ป่วย (Point-of-care testing; POCT) ได้ในอนาคตภายหลังการผ่านการทดสอบประสิทธิภาพกับตัวอย่างเลือดจริง

5. เอกสารอ้างอิง

[1] Genitsaridi, I., Salpea, P., Salim, A., Sajjadi, S.F., Tomic, D., James, S., Thirunavukkarasu, S., Issaka, A., Chen, L., Basit, A., Luk, A.O.Y., Ma, R.C.W., Mbanya, J.C., Ramachandran, A., Wild, S.H., Duncan, B.B., Boyko, E.J., & Magliano, D.J. (2026). 11th Edition of the IDF diabetes Atlas: global, regional, and national diabetes prevalence estimates for 2024 and projections for 2050. *Lancet Diabetes Endocrinology*, *14*(2), 149–156. doi.org/10.1016/s2213-8587(25)00299-2

[2] Forbes, J.M. & Cooper, M.E. (2013). Mechanisms of diabetic complications. *Physiology Reviews*, *93*(1), 137–188. doi.org/10.1152/physrev.00045.2011

[3] Nelson, D.L., Cox, M.M., & Hoskins, A.A. (2021). Lehninger Principles of Biochemistry. 8th ed. Principles of Biochemistry. Macmillan Learning: Austin.

[4] Hall, J.E. & Hall, M.E. (2025). Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology. 15th ed. Elsevier.

[5] American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2024). 2. Diagnosis and classification of diabetes: standards of care in diabetes-2024. *Diabetes Care*, *47*(Suppl 1), S20–s42. doi.org/10.2337/dc24-S002

[6] Heller, A. & Feldman, B. (2008). Electrochemical glucose sensors and their applications in diabetes management. *Chemical Reviews*, *108*(7), 2482–2505. doi.org/10.1021/cr068069y

[7] Wang, J. (2007). Electrochemical glucose biosensors. *Chemical Reviews*, *108*(2), 814–825. doi.org/10.1021/cr068123a

[8] Chen, C., Xie, Q., Yang, D., Xiao, H., Fu, Y., Tan, Y., & Yao, S. (2013). Recent advances in electrochemical glucose biosensors: a review. *RSC Advances*, *3*(14), 4473–4491. doi.org/10.1039/C2RA22351A

[9] Amendola, V., Pilot, R., Frasconi, M., Maragò, O.M., & Iatì, M.A. (2017). Surface plasmon resonance in gold nanoparticles: a review. *Journal of Physics: Condensed Matter*, *29*(20), 203002. doi.org/10.1088/1361-648X/aa60f3

[10] Karwacki, C.J., Ganesh, P., Kent, P.R.C., Gordon, W.O., Peterson, G.W., Niu, J.J., & Gogotsi, Y. (2013). Structure–activity relationship of Au/ZrO_2 catalyst on formation of hydroxyl groups and its influence on CO oxidation. *Journal of materials chemistry. A, Materials for energy and sustainability*, *1*(19), 6051–6062. doi.org/10.1039/c3ta00081h

[11] Shaik, M.R., Adil, S.F., Kuniyil, M., Sharif, M., Alwarthan, A., Siddiqui, M.R.H., Ali, M.I., Tahir, M.N., & Khan, M. (2020). Facile sonochemical preparation of Au-ZrO_2 nanocatalyst for the catalytic reduction of 4-nitrophenol. *Applied Sciences*, *10*(2), 503. doi.org/10.3390/app10020503

[12] Dharuman, V., Anjalidevi, C., Manikandan, P.N., & Imran, H. (2015). Gold nanoparticles supported on zirconium, tin and ruthenium oxides for reagentless electrochemical sensing of hydrogen peroxide. *Analytical Methods*, *7*(8), 3454–3460. doi.org/10.1039/c5ay00446b

[13] Ben, J., Wu, P., Wang, Y., Liu, J., & Luo, Y. (2023). Preparation and characterization of modified ZrO_2/SiO_2/silicone-modified acrylic emulsion superhydrophobic coating. *Materials*, *16*(24), 7621. doi.org/10.3390/ma16247621

[14] Kobayashi, H., Naya, S.-I., & Tada, H. (2024). Role of oxygen vacancies and water in hydrogen peroxide production from oxygen and formic acid catalyzed by zirconia-supported gold nanoparticle. *The Journal of Physical Chemistry C*, *128*(48), 20592–20598. doi.org/10.1021/acs.jpcc.4c06727

[15] Fatoni, A., Aziz, A.N., & Anggraeni, M.D. (2020). Low-cost and real-time color detector developments for glucose biosensor. *Sensing and Bio-Sensing Research*, *28*, 100325. doi.org/10.1016/j.sbsr.2020.100325

[16] International Council for Harmonization of Technical Requirements for Pharmaceuticals for Human Use. (2023). ICH Guideline Q2R2; Validation of Analytical Procedures. International Council for Harmonisation.

[17] Basiaga, M., Paszenda, Z., Walke, W., Karasinski, P., & Marciniak, J. (2014). Electrochemical Impedance Spectroscopy and Corrosion Resistance of SiO_2 Coated CpTi and Ti-6Al-7Nb Alloy. Information Technologies in Biomedicine, ed. E. Pietka, J. Kawa, and W. Wieclawek. Vol. 4. Springer International Publishing: Cham. 411–420.

[18] Tangkuaram, T., Ponchio, C., Kangkasomboon, T., Katikawong, P., & Veerasai, W. (2007). Design and development of a highly stable hydrogen peroxide biosensor on screen printed carbon electrode based on horseradish peroxidase bound with gold nanoparticles in the matrix of chitosan. *Biosensens and Bioelectronics*, *22*(9-10), 2071–2078. doi.org/10.1016/j.bios.2006.09.011

[19] Aviha, R. & Slaughter, G. (2025). Electrochemical and nanomaterial-based strategies for nonenzymatic glucose detection: A review. *ChemistryOpen*, *14*(11), e202500304. doi.org/10.1002/open.202500304

การพัฒนาสารเคลือบกระดาษโดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์เพื่อชะลอการซึมผ่านของน้ำและน้ำมัน

Development of a Paper Coating Solution Using Polyvinyl Alcohol Blended with Melamine Formaldehyde for Delaying Water and Oil Penetration

สิรินุช แคบำรุง[1*] ธนธร ทองสัมฤทธิ์[1] และ สุชปา เนตรประดิษฐ์[1]

[1]สาขาวิชาเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์และนวัตกรรมทางการพิมพ์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
*E-mail: pray19.siri@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยเชิงทดลองนี้ศึกษาการเคลือบกระดาษคราฟท์ (185 g/m²) ด้วยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ผสมเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์ (MF) เป็นสารเชื่อมขวาง (Crosslinking agent) เพื่อชะลอการซึมผ่านของน้ำ โดยควบคุม 4 ตัวแปร ได้แก่ ความเข้มข้น PVA (12.5, 15, 17.5% โดยน้ำหนัก) อัตราส่วน MF (0, 3, 5, 10% โดยน้ำหนัก) ชนิด MF (UCL-325 บ่มที่ 120°C และ UCL-303 บ่มที่ 150°C) และจำนวนชั้นเคลือบ (1-3 ชั้น) พร้อมประเมินปริมาณสารเคลือบ ค่าการดูดซึมน้ำ (Cobb test) มุมสัมผัสของหยดน้ำ และระยะเวลาการซึมทะลุของน้ำ ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มความเข้มข้น PVA อัตราส่วน MF และจำนวนชั้นเคลือบ ทำให้มุมสัมผัสเพิ่มขึ้นจาก 26 องศา เป็น 52 องศา แสดงว่าต้านทานน้ำมากขึ้น ค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นจาก 43 g/m² เป็น 103 g/m² บ่งชี้ว่าสารเคลือบอุ้มน้ำไว้ และระยะเวลาการซึมทะลุยาวนานมากขึ้นจากกระดาษไม่เคลือบซึมทะลุใน 3 นาที เพิ่มขึ้นเป็น 3 ชั่วโมง เมื่อใช้สูตร PVA 12.5% ผสม UCL-303 10% เคลือบเพียง 1 ชั้น ชะลอการซึมผ่านได้ 21 เท่าเมื่อเทียบกับสูตรไม่ผสม MF (นาน 2 ชั่วโมง 27 นาที) แม้ยังมีสมบัติชอบน้ำ โดย UCL-303 ให้ผลดีกว่า UCL-325 ทุกการทดสอบ เมื่อพิจารณาต้นทุน เวลา และลักษณะกระดาษ สูตรที่เหมาะสมที่สุดคือ PVA 12.5% ผสม UCL-303 10% เคลือบ 2 ชั้น ซึ่งชะลอการซึมผ่านได้นานถึง 3 ชั่วโมง 6 นาที สรุปว่าสูตรที่เหมาะสมใช้ความเข้มข้น PVA ต่ำสุดร่วมกับอัตราส่วน MF สูงสุด สารเชื่อมขวางช่วยเพิ่มความต้านทานการซึมผ่านของน้ำได้ จึงมีแนวโน้มนำไปใช้กับบรรจุภัณฑ์อาหารเปียกในระยะสั้นได้

คำสำคัญ: การต้านการซึมผ่านของน้ำ การเคลือบกระดาษ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์

Abstract

This study investigated the coating of Kraft paper (185 g/m²) with polyvinyl alcohol (PVA) blended with melamine formaldehyde (MF) as a crosslinker to delay water penetration. Four parameters were varied: PVA concentration (12.5, 15, 17.5% w/w), MF ratio (0, 3, 5, 10% w/w), MF type (UCL-325 cured at 120°C and UCL-303 cured at 150°C), and the number of coating layers (1–3). Coating amount, water absorption (Cobb test), water contact angle, and water penetration time were evaluated. The results showed that increasing the PVA concentration, MF ratio, and number of coating layers raised the water contact angle from 26° to 52°, indicating improved water resistance. Water absorption increased from 43 to 103 g/m², suggesting that the coating retained more water, while the water penetration time was significantly prolonged—from within 3 minutes for uncoated Kraft paper to a maximum of 3 hours. The formulation of 12.5% PVA blended with 10% UCL-303 applied as a single coating layer delayed water penetration by 21 times compared with the coating without MF (reaching 2 hours 27 minutes), despite the coating remaining hydrophilic. UCL-303

consistently provided better water resistance than UCL-325 in all tests. However, considering cost, processing time, and the appearance of the coated paper, the optimum formulation was 12.5% PVA blended with 10% UCL-303 applied in two coating layers, achieving a water penetration time of up to 3 hours 6 minutes. In conclusion, the most suitable formulation employs the lowest PVA concentration together with the highest MF ratio. The crosslinking agent significantly improved the water penetration resistance of Kraft paper, showing promising potential for short-term packaging of wet foods.

Keywords: Melamine-Formaldehyde, Paper Coating, Polyvinyl Alcohol (PVA), Water Resistance

1. บทนำ

กระดาษเป็นวัสดุที่นิยมใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์อย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ นำกลับมารีไซเคิลได้ ต้นทุนต่ำกว่าพลาสติก โลหะ หรือแก้วและสามารถขึ้นรูปได้หลากหลายรูปแบบ จึงถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม และสินค้าอุปโภคบริโภคทั่วไป [1] เมื่อกระแสการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมได้รับความสนใจมากขึ้น กระดาษจึงยิ่งถูกพิจารณาให้เป็นวัสดุทดแทนพลาสติกประเภทใช้ครั้งเดียวทิ้งมากขึ้นตามไปด้วย [2] อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดสำคัญของกระดาษ คือ สมบัติการต้านทานน้ำและน้ำมันที่ยังไม่ดีเพียงพอ โดยเฉพาะเมื่อนำไปใช้บรรจุอาหารที่มีความชื้นหรือมีไขมันเป็นองค์ประกอบ [3] ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยเซลลูโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของกระดาษมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) อยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้กระดาษมีคุณสมบัติชอบน้ำ คือ ดูดซับน้ำและบวมตัวได้ง่าย ในขณะเดียวกันโครงสร้างที่มีรูพรุนของกระดาษก็ทำให้มีน้ำสามารถซึมผ่านเข้าสู่เนื้อกระดาษได้ง่ายเช่นกัน

เมื่อกระดาษสัมผัสกับน้ำหรือน้ำมัน เส้นใยจะเกิดการบวมตัวและพันธะยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยจะอ่อนแอลง ส่งผลให้ความแข็งแรงของกระดาษลดลง ฉีกขาดง่ายและเสียรูปทรง [4] ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพและความปลอดภัยของอาหารที่บรรจุอยู่ภายใน แนวทางหนึ่งที่นิยมใช้แก้ไขปัญหาดังกล่าว คือ การเคลือบผิวกระดาษด้วยฟิล์มบาง เพื่อลดการซึมผ่านของน้ำและเพิ่มความเรียบของพื้นผิว [5] สารเคลือบที่ใช้ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ ซึ่งบางชนิดอาจมีสารเคมีที่ไม่ปลอดภัยต่อสุขภาพหรือสิ่งแวดล้อมในระยะยาว งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) เกรดสำหรับอาหาร (Food grade) เนื่องจากสามารถสร้างฟิล์มที่ใส แข็งแรง และยึดเกาะกับกระดาษได้ดี [6] อย่างไรก็ตาม PVA ยังมีสมบัติขอบน้ำ ละลายน้ำหรือไวต่อความชื้นได้ง่าย [7] จึงจำเป็นต้องปรับปรุงสมบัติเพิ่มเติม เช่น การผสมสารเชื่อขวาง (Crosslinking agent) หรือการเคลือบหลายชั้น เพื่อเพิ่มความสามารถในการต้านทานน้ำ

การผสมสารเชื่อมขวางเข้ากับ PVA จะช่วยให้โครงสร้างพอลิเมอร์แน่นขึ้น ช่องว่างระหว่างสารโซ่โมเลกุลลดลง จึงดูดซับน้ำได้น้อยลง [8] สารเชื่อมขวางที่นิยมใช้ร่วมกับ PVA คือ เมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์ (MF) เนื่องจากช่วยเพิ่มความแข็งแรงของฟิล์ม เพิ่มความสามารถในการต้านทานน้ำ และลดการพองตัวเมื่อสัมผัสน้ำ [9] อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของฟิล์มไม่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารเชื่อมขวางเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับอัตราส่วนที่ใช้ผสม ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อระดับการเชื่อมขวาง ความหนาแน่นของฟิล์ม ความสามารถในการต้านทานน้ำ และความแข็งแรง [10] หากอัตราส่วนไม่เหมาะสม ฟิล์มอาจเปราะ ไม่สามารถต้านทานน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากปัญหาและแนวคิดข้างต้น ผู้วิจัยนี้จึงศึกษาผลของความเข้มข้นของ PVA ชนิดและอัตราส่วนของสารเชื่อมขวางเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์ (MF) และจำนวนชั้นการเคลือบ ที่มีต่อปริมาณสารเคลือบบนกระดาษ ค่าการดูดซึมน้ำ มุมสัมผัสของหยดน้ำ และระยะเวลาการซึมผ่านบนกระดาษคราฟท์ เพื่อคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการพัฒนาบรรจุภัณฑ์กระดาษที่มีประสิทธิภาพในการต้านทานน้ำ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

2.1 การเตรียมสารเคลือบ

เตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ชนิดผง เกรดสำหรับอาหาร (food grade) 3 ระดับความเข้มข้น คือ 12.5, 15 และ 17.5% โดยน้ำหนัก โดยละลายด้วยน้ำกลั่น กวนด้วยเครื่องกวนสารให้ความร้อนที่ 60 °C นาน 30 นาที แล้วพักให้เย็น 24 ชั่วโมงจนฟองอากาศหมด จากนั้นผสมสารเชื่อมขวาง (Crosslinking agent) กลุ่มเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์ (MF) 2 ชนิด คือ UCL-325 (บ่มที่ 120 °C) และ UCL-303 (บ่มที่ 150 °C) ได้จาก PSV Virtue Co., LTD. ลงในสารละลาย PVA

แต่ละความเข้มข้น ในอัตราส่วน 0, 3, 5 และ10% โดยน้ำหนักตามลำดับ ทำให้มีชุดการทดลองชนิดละ 3 กลุ่ม ๆ ละ 4 สูตร รวม 12 สูตร ต่อสารเมลามีนฟอร์มาดีไฮด์ 1 ชนิด ดังตาราง 1

ตาราง 1 สูตรการผสมสารละลายที่เป็นสารเคลือบในการทดลอง

สูตรที่	สัดส่วน PVA (% w/w)	สัดส่วน MF (% w/w)	น้ำ (% w/w)
1	12.5	0	87.5
2		3	84.5
3		5	82.5
4		10	77.5
5	15	0	85
6		3	82
7		5	80
8		10	75
9	17.5	0	82.5
10		3	79.5
11		5	77.5
12		10	72.5

2.2 วิธีการเคลือบและอบแห้ง

เคลือบสารละลายที่ผสมแล้วลงบนกระดาษคราฟท์ 185 แกรม ขนาด 10x10 cm ด้วย Bar coater เบอร์ 8 เพียงด้านเดียว แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิเฉพาะของสาร MF แต่ละชนิด (UCL-325 บ่มที่ 120 °C และ UCL-303 บ่มที่ 150 °C) ด้วยตู้อบลมร้อนนาน 5 นาทีต่อชั้น ทำการเคลือบซ้ำ 1-3 ชั้น โดยอบให้แห้งก่อนที่จะเคลือบชั้นถัดไป

2.3 การทดสอบสมบัติของกระดาษเคลือบ

2.3.1 ปริมาณสารเคลือบบนกระดาษ โดยคำนวณจากผลต่างน้ำหนักกระดาษก่อนและหลังเคลือบต่อพื้นที่กระดาษตัวอย่าง แล้วนำมาคำนวณเป็นกรัมต่อตารางเมตร (g/m²)

2.3.2 ค่าการดูดซึมน้ำ (Cobb test) ตามมาตรฐาน TAPPI T441 และ ISO 535 โดยให้น้ำหนักน้ำสัมผัสผิวกระดาษปริมาณ 100 มล. เป็นเวลา 60 วินาที แล้วหาสัดส่วนน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น รายงานหน่วยเป็นกรัมต่อตารางเมตร (g/m²)

2.3.3 ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ (Water contact angle) โดยหยดน้ำกลั่นปริมาณคงที่ลงบนผิวกระดาษ แล้ววัดมุมสัมผัสทันทีด้วยโปรแกรม Ginifab เพื่อหลีกเลี่ยงผลจากการดูดซึม

2.3.4 ระยะเวลาการซึมทะลุของหยดน้ำ (Water drop test) โดยหยดน้ำ 0.5 มล. ลงบนผิวกระดาษ แล้วจับเวลาตั้งแต่สัมผัสผิวจนกระทั่งซึมผ่านหมดเข้าสู่เนื้อกระดาษ ทำซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ปริมาณสารเคลือบบนกระดาษ

ผลการทดลองพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของ PVA อัตราส่วนของสาร MF และจำนวนชั้นการเคลือบ ล้วนมีผลให้ปริมาณสารเคลือบบนกระดาษคราฟท์เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน (ตาราง 2) น้ำหนักสารเคลือบที่เพิ่มขึ้นตามจำนวนชั้นอาจเกิดจากสารเคลือบในชั้นแรกบางส่วนแทรกซึมเข้าไปในช่องว่างระหว่างเส้นใยและรูพรุนของกระดาษ ในขณะที่สารเคลือบชั้นถัดไปสะสมเพิ่มเติมบนผิว อย่างไรก็ตาม ค่าปริมาณสารเคลือบที่วัดได้เป็นน้ำหนักรวมทั้งส่วนที่แทรกซึมในเนื้อกระดาษและส่วนที่อยู่บนพื้นผิว

เมื่อพิจารณาที่อัตราส่วน MF 10% โดยน้ำหนัก พบว่าสาร MF ชนิด UCL-303 ซึ่งใช้อุณหภูมิบ่มที่สูงกว่า (150 °C) ให้ปริมาณสารเคลือบสะสมมากกว่าชนิด UCL-325 ในภาพรวม โดยเฉพาะเมื่อเคลือบ 2-3 ชั้น สูตรที่ให้ปริมาณสารเคลือบ

สูงสุด คือ PVA 17.5% ผสม UCL-303 10% เคลือบ 3 ชั้น (98 g/m²) แต่ในทางปฏิบัติ การเคลือบ 2 ชั้น (ปริมาณ 63 g/m²) ก็ให้ปริมาณสารเคลือบมากพอสมควรเช่นกัน

ตาราง 2 ปริมาณสารเคลือบบนกระดาษคราฟท์ที่อัตราส่วน MF 10% โดยน้ำหนัก

ความเข้มข้น	เคลือบ 1 ชั้น		เคลือบ 2 ชั้น		เคลือบ 3 ชั้น	
PVA (%)	A	B	A	B	A	B
12.5	22	20	38	36	52	54
15	24	23	45	50	81	83
17.5	35	29	55	63	85	98

หมายเหตุ : A = สาร MF ชนิด UCL-325 (บ่มที่ 120 °C), B = สาร MF ชนิด UCL-303 (บ่มที่ 150 °C)

3.2 ค่าการดูดซึมน้ำ (Cobb test)

การเพิ่มความเข้มข้นของ PVA อัตราส่วนของ MF และจำนวนชั้นเคลือบ ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจาก PVA เป็นพอลิเมอร์ชอบน้ำ เมื่อปริมาณสารเคลือบสะสมมากขึ้น พื้นผิวจึงสามารถอุ้มน้ำไว้ได้มากขึ้นตามไปด้วยภายในเวลาทดสอบ 60 วินาทีของ Cobb test ที่อัตราส่วน MF 10% (ตาราง 3) สูตรที่ให้ค่าการดูดซึมน้ำสูงสุด คือ PVA 17.5% ผสม UCL-303 เคลือบ 3 ชั้น (103 g/m²)

อย่างไรก็ตาม ค่าการดูดซึมน้ำที่สูงจาก Cobb test สะท้อนเพียงปริมาณน้ำที่ผิวสารเคลือบรับไว้ภายในเวลา 60 วินาทีเท่านั้น ไม่ได้บ่งชี้ว่าน้ำซึมทะลุถึงเนื้อกระดาษด้านล่างหรือไม่ เนื่องจากสารเคลือบสามารถอุ้มน้ำไว้ที่ชั้นผิวได้โดยยังไม่ซึมผ่านไปถึงเนื้อกระดาษด้านล่าง การพิจารณาร่วมกับผลการทดสอบระยะเวลาการซึมทะลุในหัวข้อ 3.4 ประกอบกันเสมอ

ตาราง 3 การเปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำของสารเคลือบบนกระดาษคราฟท์ที่อัตราส่วน MF 10% โดยน้ำหนัก

ความเข้มข้น	เคลือบ 1 ชั้น		เคลือบ 2 ชั้น		เคลือบ 3 ชั้น	
PVA (%)	A	B	A	B	A	B
12.5	78	79	86	86	91	94
15	85	90	95	95	98	97
17.5	89	96	99	99	101	103

หมายเหตุ : A = สาร MF ชนิด UCL-325 (บ่มที่ 120 °C), B = สาร MF ชนิด UCL-303 (บ่มที่ 150 °C)

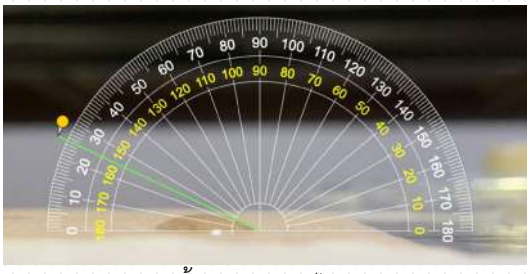
3.3 ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ (Water contact angle)

ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ PVA อัตราส่วนของ MF และจำนวนชั้นเคลือบ แสดงว่าพื้นผิวสามารถต้านทานการเปียกน้ำได้ดีขึ้น ที่อัตราส่วน MF 10% (ตาราง 4) สูตร PVA 17.5% ผสม UCL-303 เคลือบ 3 ชั้น ให้ค่ามุมสัมผัสสูงที่สุด คือ 52 องศา ซึ่งสูงกว่าการผสม MF ชนิด UCL-325 ในสภาวะเดียวกัน สอดคล้องกับผลปริมาณสารเคลือบและค่าการดูดซึมน้ำที่บ่งชี้ว่า UCL-303 ช่วยเพิ่มความหนาแน่นของโครงสร้างฟิล์มได้ดีกว่าภายใต้สภาวะการทดลองนี้

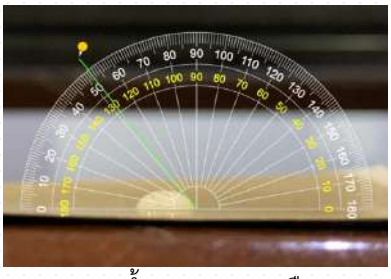
ตาราง 4 ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ (องศา) บนกระดาษคราฟท์ที่อัตราส่วน MF 10% โดยน้ำหนัก

ความเข้มข้น	เคลือบ 1 ชั้น		เคลือบ 2 ชั้น		เคลือบ 3 ชั้น	
PVA (%)	A	B	A	B	A	B
12.5	40	39	40	40	42	40
15	45	48	46	45	46	50
17.5	45	44	48	48	50	52

หมายเหตุ : A = สาร MF ชนิด UCL-325 (บ่มที่ 120 °C), B = สาร MF ชนิด UCL-303 (บ่มที่ 150 °C)



มุมของหยดน้ำบนกระดาษไม่เคลือบสาร



มุมของหยดน้ำบนกระดาษเคลือบสาร

ภาพที่ 1 แสดงการวัดมุมองศาของหยดน้ำบนกระดาษไม่เคลือบสาร และกระดาษเคลือบสาร

3.4 ผลของการเพิ่มจำนวนชั้นการเคลือบ

เพื่อสนับสนุนการเลือกจำนวนชั้นเคลือบที่เหมาะสมด้วยข้อมูลเชิงปริมาณ จึงเปรียบเทียบร้อยละการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารเคลือบ ค่าการดูดซึมน้ำ และค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ เมื่อเพิ่มจำนวนชั้นเคลือบจาก 2 เป็น 3 ชั้น ที่อัตราส่วน MF 10% โดยน้ำหนัก (ตาราง 5) ผลปรากฏว่าปริมาณสารเคลือบเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 43-73 ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ PVA ในขณะที่ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ ซึ่งเป็นตัวชี้วัดหลักของสมบัติการต้านน้ำ กลับเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 2.5-6.3 เท่านั้น และค่าการดูดซึมน้ำยังคงเพิ่มขึ้นตามไปด้วยในทิศทางที่ไม่พึงประสงค์ แสดงถึงผลตอบแทนที่ลดน้อยถอยลง (Diminishing returns) เมื่อเพิ่มจำนวนชั้นเคลือบเกินกว่า 2 ชั้น กล่าวคือ การเคลือบชั้นที่ 3 ใช้ปริมาณวัตถุเพิ่มขึ้นมาก แต่ให้ผลด้านการต้านน้ำเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการเคลือบ 2 ชั้น ดังนั้นการเคลือบ 2 ชั้น จึงเป็นจำนวนชั้นที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาความคุ้มค่าระหว่างสมบัติการต้านน้ำที่ได้กับปริมาณวัตถุดิบที่ใช้

ตาราง 5 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารเคลือบและสมบัติต้านน้ำ เมื่อเพิ่มจำนวนชั้นเคลือบจาก 2 เป็น 3 ชั้น (ค่าเฉลี่ยของสาร MF ทั้งสองชนิด ที่อัตราส่วน MF 10% โดยน้ำหนัก)

ความเข้มข้น PVA (%)	ปริมาณสารเคลือบ (g/m²)			มุมสัมผัส (องศา)			การดูดซึมน้ำ (g/m²)		
	2 ชั้น	3 ชั้น	Δ%	2 ชั้น	3 ชั้น	Δ%	2 ชั้น	3 ชั้น	Δ%
12.5	37	53	+43	40	41	+2.5	86	92.5	+7.6
15	47.5	82	+73	45.5	48	+5.5	95	97.5	+2.6
15.5	59	91.5	+55	48	51	+6.3	99	102	+3

หมายเหตุ: ร้อยละการเปลี่ยนแปลง (Δ%) คำนวณจาก (ค่าที่เคลือบ 3 ชั้น - ค่าที่เคลือบ 2 ชั้น) ÷ ค่าที่เคลือบ 2 ชั้น x 100 โดยใช้ค่าเฉลี่ยของสาร MF ชนิด UCL-325 และ UCL-303 (คำนวณจากตาราง 2, ตาราง 3 และตาราง 4)

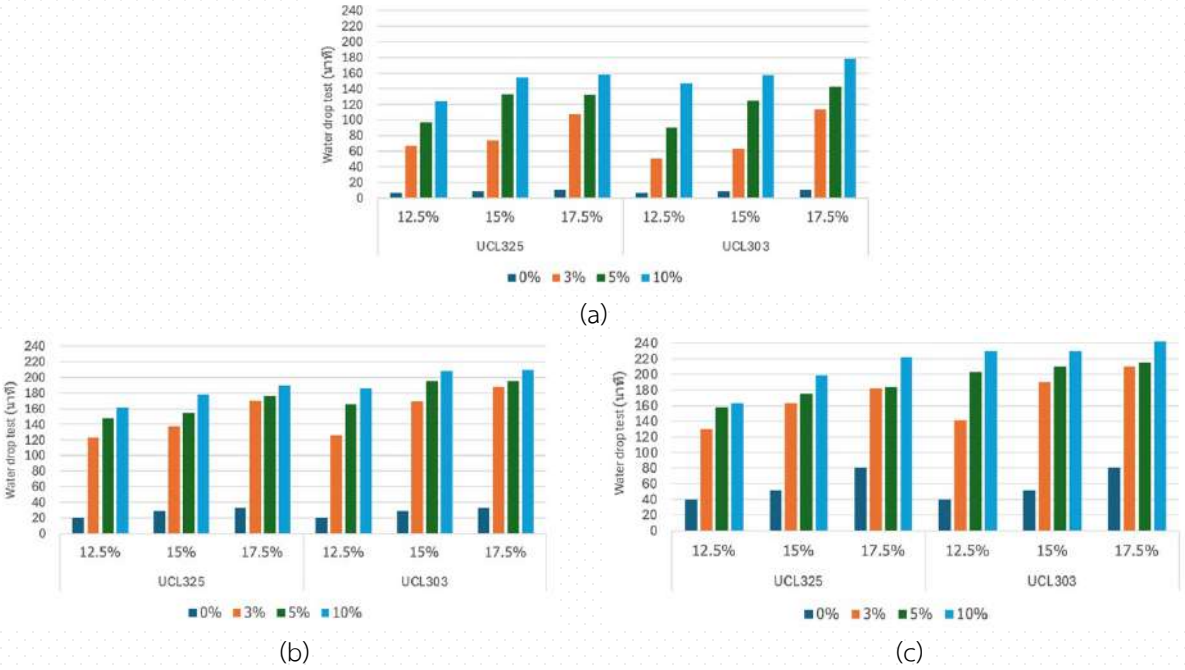
3.5 ระยะเวลาการซึมทะลุของหยดน้ำ (Water drop test)

กระดาษคราฟท์ที่ไม่ผ่านการเคลือบใช้เวลาเพียง 3 นาที น้ำก็ซึมทะลุจนหมด แต่เมื่อเคลือบด้วยสารละสาร PVA ผสม MF ระยะเวลาการซึมทะลุเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และยิ่งเพิ่มอัตราส่วนของ MF ยิ่งชะลอการซึมทะลุได้นานขึ้น (ภาพที่ 2)

ค่าประสิทธิภาพในการชะลอการซึมผ่านของน้ำ (เท่า) ในตาราง 7 คำนวณจากอัตราส่วนของระยะเวลาการซึมทะลุของกระดาษเคลือบ ต่อระยะเวลาการซึมทะลุของกระดาษที่ผ่านการเคลือบ PVA ไม่ผสม MF (ตาราง 6) กล่าวคือ ประสิทธิภาพ (เท่า) = เวลาการซึมทะลุของกระดาษเคลือบ (นาที) ÷ ระยะเวลาการซึมทะลุของกระดาษที่ผ่านการเคลือบ PVA ไม่ผสม MF (นาที) ตัวอย่างเช่น สูตร PVA 12.5% ผสม UCL-303 10% เคลือบ 1 ชั้น มีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 21 เท่า ซึ่งหมายถึงกระดาษสูตรนี้ใช้เวลาในการซึมทะลุประมาณ 21x7 = 147 นาที

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพเชิงเปรียบเทียบ (ตาราง 7) พบว่าสูตร PVA 12.5% ผสม UCL-303 10% เคลือบ 1 ชั้น ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดถึง 21 เท่า (ประมาณ 147 นาที) แต่เมื่อพิจารณาความคุ้มค่าระหว่างประสิทธิภาพกับปริมาณสาร

ที่ใช้ พบว่าสูตร PVA 12.5% ผสม UCL-303 10% เคลือบ 2 ชั้น ให้ค่าประสิทธิภาพสูงถึง 9.3 เท่า (ประมาณ 186 นาที) ซึ่งสูงกว่าสูตรที่ใช้ PVA เข้มข้นถึง 17.5% ในจำนวนชั้นเท่ากัน (6.3 เท่า) แสดงว่าการเพิ่มความเข้มข้นของ PVA มากขึ้นไม่ได้ทำให้ประสิทธิภาพดีขึ้นตามไปด้วยเสมอไป และสูตรที่ใช้ PVA น้อยกว่าอาจให้ความคุ้มค่ามากกว่าเมื่อพิจารณาทั้งประสิทธิภาพและปริมาณวัตถุดิบ



ภาพที่ 2 การเปรียบเทียบระยะเวลาการซึมทะลุของหยดน้ำบนกระดาษคราฟท์เคลือบสาร PVA 3 ระดับ ผสม MF 2 ชนิด อัตราส่วน 3 ระดับ (a) เคลือบ 1ชั้น, (b) เคลือบ 2 ชั้น และ (c) เคลือบ 3 ชั้น

ตาราง 6 ระยะเวลาในการชะลอการซึมผ่านของน้ำ (นาที) บนกระดาษคราฟท์เคลือบ PVA ที่ไม่ผสม MF กับผสม MF 10%

ความเข้มข้น PVA (%)	อัตราส่วน MF (%)	เคลือบ 1 ชั้น		เคลือบ 2 ชั้น		เคลือบ 3 ชั้น	
		A	B	A	B	A	B
12.5	0	7		20		40	
	10	124	147	161	186	163	230
15	0	9		29		50	
	10	154	157	178	188	182	210
17.5	0	11		33		80	
	10	132	143	176	195	184	215

หมายเหตุ:: A = สาร MF ชนิด UCL-325 (บ่มที่ 120 °C), B = สาร MF ชนิด UCL-303 (บ่มที่ 150 °C)

ตาราง 7 ประสิทธิภาพในการชะลอการซึมผ่านของน้ำ (เท่า) บนกระดาษ เมื่อผสมอัตราส่วน MF 10% โดยน้ำหนัก (เทียบกับสารเคลือบ PVA ที่ไม่ผสม MF)

ความเข้มข้น PVA (%)	เคลือบ 1 ชั้น		เคลือบ 2 ชั้น		เคลือบ 3 ชั้น	
	A	B	A	B	A	B
12.5	17.7	21	8	9.3	4	5.8
15	17.1	17.4	6.1	7.1	3.8	4.4
17.5	14.4	16.2	5.7	6.3	2.8	3

หมายเหตุ:: A = สาร MF ชนิด UCL-325 (บ่มที่ 120 °C), B = สาร MF ชนิด UCL-303 (บ่มที่ 150 °C)

ตาราง 7 แสดงให้เห็นว่าการใช้ความเข้มข้นของสารละลาย PVA ที่น้อยที่สุด ให้ประสิทธิภาพในการชะลอการซึมผ่านทะลุของน้ำจากชั้นบนลงสู่ชั้นล่างของกระดาษได้ดีที่สุด เพื่อให้ MF แสดงผลลัพธ์ในการปรับปรุงสมบัติการกั้นขวางของชั้นฟิล์ม PVA บนกระดาษได้มากที่สุด และนอกจากนี้ยังเห็นว่าสารเชื่อมขวางชนิด UCL-303 ที่มีอุณหภูมิในการบ่มหรืออบแห้งสูงกว่า ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าชนิด UCL-325

4. บทสรุป

การเคลือบกระดาษคราฟท์ด้วยสารละลาย PVA ผสมสารเชื่อมขวางเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์ (MF) สามารถปรับปรุงสมบัติการต้านทนทานการซึมผ่านของน้ำได้อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับกระดาษที่ไม่ผ่านการเคลือบ (ซึมทะลุภายใน 3 นาที) โดยการเพิ่มความเข้มข้นของ PVA อัตราส่วนของ MF และจำนวนชั้นเคลือบ ส่งผลให้ปริมาณสารเคลือบ ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ และระยะเวลาการต้านทานการซึมทะลุของน้ำเพิ่มขึ้น แม้ค่าการดูดซึมน้ำ (Cobb test) จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจาก PVA ยังคงมีสมบัติชอบน้ำอยู่ แต่สารเคลือบสามารถอุ้มน้ำไว้ที่ผิวโดยไม่ปล่อยให้ซึมทะลุถึงด้านล่างของกระดาษได้เป็นเวลานาน

ภายใต้สภาวะการทดลองนี้ MF ชนิด UCL-303 ที่บ่มที่อุณหภูมิ 150°C ให้ผลการต้านทานน้ำดีกว่าชนิด UCL-325 บ่มที่อุณหภูมิ 120°C อย่างสม่ำเสมอในทุกการทดสอบ อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ยังไม่ได้วิเคราะห์ระดับการเชื่อมขวาง (Degree of crosslinking) ของฟิล์มโดยตรง จึงยังไม่สามารถสรุปเชิงกลไกได้ว่าความแตกต่างดังกล่าวเกิดจากปฏิกิริยาเชื่อมขวางที่สมบูรณ์กว่าเพียงปัจจัยเดียว

เมื่อพิจารณาความคุ้มค่าโดยรวมทั้งประสิทธิภาพและปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ สูตรที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งานจริง คือ PVA ความเข้มข้น 12.5% (w/w) ผสมสาร MF ชนิด UCL-303 อัตราส่วน 10% (w/w) เคลือบ 2 ชั้น ซึ่งชะลอการซึมผ่านของน้ำได้สูงถึง 9.3 เท่าของกระดาษที่ไม่เคลือบ (ประมาณ 186 นาที) โดยใช้ปริมาณ PVA น้อยกว่าสูตรที่มีความเข้มข้นสูงสุด ทั้งนี้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่พบในการศึกษานี้ คือ 21 เท่า (ประมาณ 147 นาที) ที่สูตร PVA 12.5% ผสม UCL-303 10% เคลือบ 1 ชั้น อย่างไรก็ตาม พบว่าค่าประสิทธิภาพมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มจำนวนชั้นเคลือบจาก 1 เป็น 2 และ 3 ชั้น ซึ่งยังไม่สอดคล้องกับสมมติฐานเบื้องต้นที่คาดว่าการเคลือบหลากหลายชั้นจะช่วยเพิ่มระยะเวลาการต้านทานการซึมผ่านของน้ำเสมอไป แสดงว่าความเข้มข้นของ PVA และจำนวนชั้นเคลือบที่มากขึ้น ไม่ได้เป็นปัจจัยกำหนดประสิทธิภาพและความคุ้มค่าเพียงอย่างเดียว

โดยสรุป การเติมเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์ในสารเคลือบพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ช่วยปรับปรุงสมบัติการต้านทานการซึมผ่านของน้ำบนกระดาษคราฟท์ได้ และมีศักยภาพสำหรับการศึกษาต่อยอดเพื่อพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์กระดาษสำหรับอาหารที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ ทั้งนี้ก่อนนำไปประยุกต์ใช้จริง ควรมีการทดสอบเพิ่มเติมในประเด็นการต้านทานน้ำมัน ความทนทานต่อการขัดถู ความปลอดภัยของวัสดุสัมผัสอาหาร (food-contact safety) รวมถึงปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ตกค้าง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณอำนาจ สถาพรรุ่งกิจ บริษัท PSV Virtue Co., LTD. ที่ความกรุณาช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา และสนับสนุนสารที่ใช้ในการทดลอง

6. เอกสารอ้างอิง

[1] กิตไกร, พันนภัทร พรหมเพ็ญ, นวรัตน์ ชาร์ตวิวัฒน์พรชัย, อัชราวัน ศรีสา, เยเยน เลาเรนซา, พันวิภา วงศ์พัน และ นาถธนัย หานกรสุจาริต. (2567). สารเคลือบกันน้ำในสิ่งทอ กระดาษ และพอลิเมอร์พลาสติกชีวภาพ: การทบทวนอย่างครอบคลุม. วารสาร Polymers, 16(19), 2790. สืบค้นจาก https://doi.org/10.3390/polym16192790

[2] จิตรลดา ชูมี และคณะ. (2560). รายงานการวิจัยเรื่องการพัฒนาการผลิตกระดาษจากเปลือกมะพร้าวสู่ระบบธุรกิจชุมชน. สืบค้นจาก https://sci.rmutp.ac.th/web2558/wp-content/uploads /2021/05/การพัฒนากระดาษ_merged-4.pdf

[3] เจษฎา สุวรรณ. (2535). การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเยื่อสากับเยื่อชนิดเส้นใยสั้นที่มีคุณสมบัติเหมาะสมเพื่อลดปริมาณการใช้เยื่อสาในการผลิตกระดาษสาในภาคเหนือ. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร

[4] ชญานิน วังตาล และ รักชนก อินจันทร์. (2560). การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระดาษจากชานอ้อยของชุมชนบ้านป่าก่อพัฒนา ตำบลดงมะดะ อำเภอแม่ลาว จังหวัดเชียงราย. นำเสนอใน นเรศวร วิจัยครั้งที่ 13: วิจัยและนวัตกรรมขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคม.

[5] นุชศรา นงนุช. (2553). ความเป็นไปได้ในการใช้เยื่อจากกระดาษคราฟท์และกระดาษกล่องมาผลิตกระดาษเช็ดมือ. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม) คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

[6] มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา. (ม.ป.ป.). เรซินเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์และการประยุกต์ใช้. สืบค้นจาก https://ssrudlp.ssru.ac.th/data-file/teacher_work/file/825d69ff108ca2e192e7a7fd 7e9b6d49.pdf

[7] วิมลลักษณ์ สุตะพันธ์. (2558). รายงานการวิจัยเรื่องการศึกษาผลการดัดแปรด้วยความร้อนต่อลักษณะจำเพาะของเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ปลูกในนครราชสีมา. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[8] วัชรากร วงศ์คำจันทร์, สุพรรณิการ์ ชนะนิล, และ ปฐมพงศ์ ชนะนิล. (2567). การศึกษาการพัฒนาฟิล์มซิลิกอนคาร์ไบด์จากขยะชีวภาพที่เคลือบบนแผ่นโลหะด้วยเทคนิคการพ่นเคลือบ. วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์, 15(21), 43-53.

[9] รวิชญ์ จิตธรรม และพรนภา เกษมศิริ. (2567). กระดาษออกฤทธิ์ชีวภาพเคลือบด้วยอนุภาคซิลเวอร์เหล็กออกไซด์สำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 19(2), 39-48.

[10] สำนักหอสมุดแห่งชาติ กรมศิลปากร. (2563). รายงานการวิจัยเรื่องนวัตกรรมการใช้กระดาษสาเพื่อพัฒนางานด้านการอนุรักษ์เอกสารและหนังสือของหอสมุดแห่งชาติ. กรุงเทพฯ: สำนักหอสมุดแห่งชาติ กรมศิลปากร.

การพัฒนาและการประเมินผลเบื้องต้นของไฮโดรเจลที่มีส่วนผสมของคอมบูชาและมัทฉะสำหรับการดูแลแผลถลอก: การคัดกรองร่วมกันคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ การต้านจุลชีพ และการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมระยะเริ่มต้น

Development and Preliminary Evaluation of Kombucha- and Matcha-Incorporated Hydrogels for Abrasion Care: Combined Screening of Physicochemical Properties, Antimicrobial Activity, and Early-Stage Environmental Impact Assessment

ณณัทธ เสนีย์วงศ์ ณ อยุธยา[1] ทักษ์ดนัย มีนางัว[1] ดวงฤทัย นิคมรัฐ[1*] ภัทริกา สูงสมบัติ[1] กฤษดา เสือเอี่ยม[2] นิภาพร ปัญญา[3] และ ภภัสสร สิงหธรรม[3]

[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
[3]สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
*E-mail: duongruitai.n@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

การดูแลแผลถลอกตื้นต้องการสภาวะที่ชุ่มชื้นและต้านเชื้อจุลชีพ ควบคู่กับกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาไฮโดรเจลจากคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) ที่ผสมสารสกัดมัทฉะและคอมบูชา พร้อมประเมินคุณสมบัติเคมีกายภาพ ประสิทธิภาพการต้านเชื้อ และการคัดกรองผลกระทบสิ่งแวดล้อมระยะเริ่มต้น จากการเตรียมไฮโดรเจลโดยละลาย CMC ร้อยละ 2 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ในสารสกัดมัทฉะ คอมบูชา หรือสารสกัดผสม จากนั้นเมื่อวิเคราะห์ค่า pH ความหนืด และประสิทธิภาพการต้านเชื้อ *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* ด้วยวิธี Serial dilution เพื่อหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ยับยั้งเชื้อ (MIC) ตลอดจนวิเคราะห์อัตราการสลายเม็ดเลือดแดง (% Hemolysis) และการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ขอบเขต Cradle-to-gate แบบคัดกรองข้อมูลบัญชีรายการเบื้องต้นคัดกรองการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) เบื้องต้นแบบ Cradle-to-gate ผลการวิจัยแสดงว่าไฮโดรเจลที่พัฒนาขึ้นมีความเรียบเนียน สม่ำเสมอ เสถียร และมีค่า pH ประมาณ 5.0 ซึ่งปลอดภัยต่อผิวหนัง โดยสูตรที่มีสัดส่วนคอมบูชาสูงจะมีค่า pH ต่ำลงจากเล็กน้อยเนื่องจากกรดอินทรีย์เล็กน้อย สูตรสารสกัดผสม (HK1.5M1.5) สามารถยับยั้งทั้งเชื้อทั้งสองชนิดได้อย่างชัดเจน โดยมีค่า MIC เท่ากับ 1 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และมีความปลอดภัย ไม่ก่อให้เกิดการสลายเม็ดเลือดแดง (<5% Hemolysis) และด้านการประเมิน LCA เบื้องต้นพบจุดวิกฤตสิ่งแวดล้อม (Hotspots) ในขั้นตอนการใช้ความร้อนสกัดมัทฉะ ระยะเวลาการหมักคอมบูชา และไฟฟ้าในการกวนผสม โดยสามารถคัดเลือกสูตรที่สมดุลระหว่างประสิทธิภาพทางชีวภาพและปริมาณการใช้พลังงานเบื้องต้นได้สำเร็จ ดังนั้นจากผลสรุปทั้งหมดดังกล่าวสรุปได้ว่าไฮโดรเจลผสมมัทฉะและคอมบูชามีศักยภาพเบื้องต้นสำหรับการพัฒนาเป็นวัสดุแต่งแผลเฉพาะที่ ทั้งนี้ยังจำเป็นต้องได้รับการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในระดับสิ่งมีชีวิต (*In Vivo*) และการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมเต็มรูปแบบก่อนนำไปประยุกต์ใช้จริง

คำสำคัญ: ไฮโดรเจล การดูแลบาดแผล สารสกัดธรรมชาติ การต้านจุลชีพ การคัดกรองความยั่งยืน

Abstract

The management of superficial wounds necessitates a moist and antimicrobial environment, ideally coupled with eco-friendly manufacturing processes. This study aimed to develop a carboxymethyl cellulose (CMC)-based hydrogel incorporated with matcha and kombucha extracts, alongside evaluating its physicochemical properties, antimicrobial efficacy, and early-stage environmental impacts. Hydrogels were formulated by dissolving 2% w/v CMC in matcha extract, kombucha broth, or their combinations. The formulations were then characterized for pH and viscosity. Antimicrobial efficacy against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* was evaluated using the serial dilution method to determine the minimum inhibitory concentration (MIC). Furthermore, hemocompatibility (% hemolysis) and a preliminary cradle-to-gate life cycle assessment (LCA) screening based on limited inventory data were conducted. The developed hydrogels exhibited a smooth, homogeneous, and stable texture with a physiologically acceptable pH of approximately 5.0. Formulations with a higher proportion of kombucha displayed a slightly lower pH due to the presence of organic acids. The combined extract formulation (HK1.5M1.5) demonstrated distinct inhibitory activity against both *E. coli* and *S. aureus* and, presenting an MIC of 1 mg/mL. It was also confirmed to be safe, exhibiting non-hemolytic properties (<5% hemolysis). The preliminary LCA screening identified key environmental hotspots primarily associated with the thermal energy required for matcha extraction, the duration of kombucha fermentation, and the electricity consumed during mechanical mixing. Consequently, an optimal formulation balancing biological efficacy with initial energy consumption was successfully identified. In conclusion, the matcha and kombucha-incorporated hydrogels demonstrate promising preliminary potential for application as topical wound dressings. However, further *in vivo* investigations and comprehensive environmental impact assessments are essential prior to their practical application.

Keywords: Hydrogel, Wound care, Natural extracts, Antimicrobial, Sustainability screening.

1. บทนำ

การดูแลและจัดการบาดแผลยังคงเป็นสาเหตุและขอบข่ายการวิจัยที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในเชิงชีวการแพทย์ (Biomedical research) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มบาดแผลชนิดตื้นหรือแผลถลอก (Superficial injuries or abrasions) ซึ่งเป็นบาดแผลที่สามารถเกิดขึ้นได้ง่ายในชีวิตประจำวัน บาดแผลลักษณะนี้มักเผชิญกับการปนเปื้อนจากจุลชีพและสิ่งแวดล้อมภายนอกได้ง่าย [1, 2] ในทางเวชปฏิบัติของการดูแลบาดแผล การรักษาและควบคุมสภาวะแวดล้อมของแผลให้มีความชุ่มชื้นอยู่เสมอ (Moist wound environment) ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางว่าเป็นแนวทางที่มีประโยชน์อย่างยิ่ง เนื่องจากสามารถสนับสนุนกระบวนการสร้างเนื้อเยื่อบุผิวใหม่ (Re-epithelialization) ช่วยลดการก่อตัวของสะเก็ดแผล (Crust formation) และกระตุ้นให้เกิดกระบวนการซ่อมแซมเนื้อเยื่อที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม นอกเหนือจากการรักษาความชุ่มชื้นแล้ว การควบคุมและยับยั้งจุลชีพก่อโรค (Pathogenic microorganisms) ถือเป็นปัจจัยหลักที่ต้องดำเนินการควบคู่กัน เพื่อลดความเสี่ยงต่อการติดเชื้อ ลดภาวะการอักเสบที่รุนแรงเกินขอบเขต และป้องกันการชะงักงันของกระบวนการสมานแผล [3, 4] โดยเชื้อแบคทีเรียเป้าหมายสำคัญที่มักพบเกี่ยวข้องกับบาดแผลถลอก ได้แก่ *Staphylococcus aureus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมบวกที่เป็นเชื้อประจำถิ่นบนผิวหนังและเป็นสาเหตุหลักของการติดเชื้อในบาดแผลชั้นนอก รวมถึง *Escherichia coli* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมลบที่เป็นตัวแทนของเชื้อปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมที่พบได้บ่อย [3, 4]

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ความสนใจในกลุ่มวัสดุชีวภาพที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากธรรมชาติ (Natural bioactive materials) ได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อนำมาใช้เป็นทางเลือกทดแทนสารเคมีสังเคราะห์ในผลิตภัณฑ์ดูแลบาดแผล เนื่องจากสารสกัดจากธรรมชาติมักมีจุดเด่นในด้านความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (Biocompatibility) ที่ดีกว่า ตลอดจนมีความสามารถในการออกฤทธิ์ที่หลากหลาย ทั้งการต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) การต้านจุลชีพ (Antimicrobial) และการลดการอักเสบ

(Anti-inflammatory) โดย "มัทฉะ" (Matcha) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ชาเขียวที่ผ่านกระบวนการบดละเอียด เป็นแหล่งสะสมที่อุดมไปด้วยสารกลุ่มคาเทชิน (Catechins) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารอีพิกัลโลคาเทชิน กัลเลต (Epigallocatechin gallate: EGCG) ซึ่งมีรายงานการวิจัยในวรรณกรรมว่าแสดงฤทธิ์เด่นชัดในการต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบ และยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลชีพ [5-8] นอกจากมัทฉะแล้ว "คอมบูชา" (Kombucha) หรือเครื่องดื่มชาหมักที่เกิดจากกระบวนการทางชีวภาพผ่านการทำงานร่วมกันของกลวัฒน์ทางชีวภาพระหว่างแบคทีเรียและยีสต์ (Symbiotic culture of bacteria and yeast) ก็เป็นอีกหนึ่งวัตถุดิบทางธรรมชาติที่น่าสนใจ เนื่องจากในน้ำชาหมักประกอบไปด้วยกรดอินทรีย์หลายชนิด สารกลุ่มโพลีฟีนอล (Polyphenols) และสารเมแทบอไลต์ของจุลชีพ (Microbial metabolites) ซึ่งมีรายงานว่ามีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนคุณสมบัติการต้านเชื้อจุลชีพและช่วยส่งเสริมการฟื้นฟูสภาพผิวหนัง [9, 10]

ไฮโดรเจลจากคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) เป็นหนึ่งในวัสดุฐานชีวภาพที่ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีคุณสมบัติในการรักษาความชุ่มชื้นที่ดีและเข้ากันได้ทางชีวภาพ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าที่ผ่านมาจะมีการศึกษาคุณสมบัติทางชีวภาพของมัทฉะและคอมบูชาแยกกันอย่างเอกเทศในหลากหลายแง่มุม ทว่าในปัจจุบันยังคงมีข้อมูลการวิจัยที่จำกัดอย่างยิ่งเกี่ยวกับการนำสารสกัดทั้งสองชนิดนี้มาประยุกต์ใช้ร่วมกันในรูปแบบของสูตรตำรับไฮโดรเจล (Hydrogel formulation) เพื่อวัตถุประสงค์ในการดูแลบาดแผลชนิดถลอก ยิ่งไปกว่านั้น ในบริบทของการวิจัยและพัฒนาสูตรตำรับยุคใหม่ ประเด็นด้านความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อม (Environmental sustainability) ของกระบวนการสกัดสมุนไพรและขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้กลายเป็นสิ่งที่ไม่สามารถละเลยได้ เครื่องมือการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) ในระดับการคัดกรองเบื้องต้น (Screening LCA) ขอบเขตตั้งแต่แหล่งกำเนิดจนถึงประตูโรงงาน (Cradle-to-gate) ตามมาตรฐานสากล [11, 12] จึงถูกนำมาใช้เป็นระเบียบวิธีวิจัยเชิงระบบที่มีประสิทธิภาพในการนำมาใช้ประเมินภาระและผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ตลอดจนช่วยระบุจุดวิกฤตที่มีผลกระทบสูง (Process hotspots) ของกระบวนการในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงและพัฒนาความยั่งยืนในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

ด้วยเหตุนี้ การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำสูตรตำรับไฮโดรเจลที่มีส่วนผสมร่วมกันระหว่างสารสกัดคอมบูชาและมัทฉะ มาประเมินคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ ประสิทธิภาพในการรักษาความชุ่มชื้น และฤทธิ์ในการต้านจุลชีพก่อโรค (*S. aureus* และ *E. coli*) ในหลอดทดลอง พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในระยะเริ่มต้นโดยใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) เพื่อให้ได้องค์ความรู้ที่เป็นรากฐานสำคัญในการพัฒนาวัสดุทางการแพทย์จากธรรมชาติที่ทรงประสิทธิภาพ ปลอดภัย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (Experimental laboratory investigation) มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสูตรตำรับไฮโดรเจลที่มีส่วนผสมของสารสกัดคอมบูชาและมัทฉะ พร้อมทั้งประเมินคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ ฤทธิ์ในการต้านจุลชีพ และสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อม การดำเนินงานวิจัยได้รับการวางโครงสร้างเพื่อสนับสนุนทั้งการพัฒนาผลิตภัณฑ์ควบคู่ไปกับการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment: LCA) ในรูปแบบการคัดกรองข้อมูลบัญชีรายการที่จำกัด โดยมีเป้าหมายเพื่อระบุสูตรตำรับสมุนไพรที่มีความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อมยิ่งขึ้นสำหรับนำไปใช้ในการดูแลบาดแผลชนิดถลอก

2.1 วัสดุและสารเคมี (Materials)

วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่

- สารสกัดมัทฉะ (Matcha extract) ซึ่งเตรียมจากผงมัทฉะ (Matcha green tea powder) ผลิตภัณฑ์ชาเขียวบดละเอียดเกรดพรีเมียม (จัดซื้อจากบริษัท ชาตรามือ จำกัด ประเทศไทย) และ น้ำชาหมักคอมบูชา (Kombucha broth) ที่ผ่านการหมักสมบูรณ์เป็นเวลา 14 วัน จากหัวเชื้อ SCOBY มาตรฐาน

- สารก่อเจลและสารเพิ่มความยืดหยุ่น: โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Sodium Carboxymethyl Cellulose: CMC, เกรดเภสัชกรรม) และ กลีเซอรีน (Glycerine, เกรดวิเคราะห์ AR Grade) จัดซื้อจากบริษัท Sigma-Aldrich (M) Sdn. Bhd.

- เชื้อจุลชีพทดสอบ: เชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์มาตรฐาน ได้แก่ *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) และ *Escherichia coli* (ATCC 25922) ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข

- อาหารเลี้ยงเชื้อและสารเคมีอื่น ๆ : อาหารเลี้ยงเชื้อ Mueller-Hinton Agar (MHA) และ Mueller-Hinton Broth (MHB) จัดซื้อจาก Merck KGaA สารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต (Phosphate Buffered Saline: PBS pH 7.4) และสารละลายเม็ดเลือดแดงแกะมาตรฐาน (Sheep Red Blood Cells)

2.2 การเตรียมสารสกัด (Preparation of Extracts)

สารสกัดมัทฉะ: เตรียมโดยการกระจายผงมัทฉะปริมาณ 2 กรัม ลงในน้ำกลั่นร้อนปริมาณ 100 มิลลิลิตร ที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการกวนผสมอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 10 นาที กรองส่วนผสมขั้นต้นผ่านผ้าก๊อซปราศจากเชื้อ จากนั้นนำสารสกัดใสมาผ่าน กระบวนการทำให้ปราศ จากเชื้อด้วยการกรองผ่านแผ่นกรองเยื่อเมมเบรนขนาดรูพรุน 0.22 ไมโครเมตร (0.22 µm Membrane filter sterilization) เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของจุลชีพและเก็บสารสกัดไว้ในภาชนะปราศจากเชื้อที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสก่อนนำไปใช้งาน

สารสกัดคอมบูชา: เตรียมจากน้ำชาหมักหลังจากสิ้นสุดระยะเวลาการหมักสมบูรณ์เป็นเวลา 14 วัน กรองแยกสารแขวนลอย กากตะกอน และเศษซากของจุลชีพออกด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 1 จากนั้นนำส่วนใสมาผ่าน การกรองปราศจากเชื้อด้วยแผ่นกรองเมมเบรนขนาด 0.22 ไมโครเมตร (0.22 µm Membrane filter sterilization) เช่นเดียวกับสารสกัดมัทฉะ เพื่อกำจัดเซลล์จุลชีพหมักที่เหลืออยู่และป้องกันการปนเปื้อนทุติยภูมิ

2.3 การพัฒนาสูตรตำรับไฮโดรเจล (Hydrogel Formulation)

การเตรียมไฮโดรเจลทำโดยการละลายพอลิเมอร์ CMC ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (% w/v) และกลีเซอรีนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (% w/v) ลงในน้ำกลั่น สารสกัดมัทฉะ สารสกัดคอมบูชา หรือสารสกัดผสมระหว่างมัทฉะและคอมบูชาตาม อัตราส่วนที่กำหนด จากนั้นทำการกวนผสมด้วยเครื่องกวนผสมความเร็วรอบสูง (High-Shear Homogenizer) ที่อุณหภูมิห้อง จนกระทั่งสารละลายรวมตัวกันเป็นเนื้อเจลกึ่งของแข็งที่เรียบเนียน สม่ำเสมอ และไม่มีฟองอากาศปรากฏ โดยทำการเตรียมสูตรตำรับทั้งหมด 5 สูตร ดังนี้:

1. **สูตรควบคุม (Control/Blank Gel):** CMC 2% w/v + กลีเซอรีน 5% w/v ในน้ำกลั่น
2. **สูตร HK1.5M1.5 (สูตรที่เหมาะสมที่สุด):** CMC 2% w/v + กลีเซอรีน 5% w/v + สารสกัดคอมบูชา 1.5% v/v + สารสกัดมัทฉะ 1.5% w/v
3. **สูตร F1 (สัดส่วนคอมบูชาสูง : มัทฉะต่ำ):** CMC 2% w/v + กลีเซอรีน 5% w/v + สารสกัดคอมบูชา 2.0% v/v + สารสกัดมัทฉะ 0.5% w/v
4. **สูตร F2 (สัดส่วนสารสกัดเข้มข้นต่ำเท่ากัน):** CMC 2% w/v + กลีเซอรีน 5% w/v + สารสกัดคอมบูชา 0.5% v/v + สารสกัดมัทฉะ 0.5% w/v
5. **สูตร F3 (สัดส่วนคอมบูชาต่ำ : มัทฉะสูง):** CMC 2% w/v + กลีเซอรีน 5% w/v + สารสกัดคอมบูชา 0.5% v/v + สารสกัดมัทฉะ 2.0% w/v

2.4 การประเมินคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและความคงตัว (Physicochemical Evaluation and Stability Test)

สูตรตำรับไฮโดรเจลที่เตรียมได้จะถูกนำมาตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพดังนี้

- การวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH): วัดค่า pH ของไฮโดรเจลทุกสูตรตำรับ โดยใช้เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ที่ผ่านการเทียบมาตรฐาน (Calibration) ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน pH 4.0, 7.0, และ 10.0 เพื่อประเมินความเหมาะสมและความปลอดภัยต่อการนำไปประยุกต์ใช้กับผิวหนัง

- การวัดความหนืด (Viscosity): ดำเนินการวัดค่าความหนืดโดยใช้เครื่องวัดความหนืดดิจิทัล (Digital viscometer) ที่อุณหภูมิควบคุม 25 องศาเซลเซียส เพื่อประเมินพฤติกรรมการไหล ความคงตัวทางโครงสร้าง ความสามารถในการเกลี่ยทา (Spreadability) และลักษณะเนื้อสัมผัสของเจล

- การทดสอบปนะสิทธิภาพการรักษาความชุ่มชื้น (Moisture Retention Test): ชั่งน้ำหนักไฮโดรเจลเริ่มต้น (กำหนดเป็น W0) ปริมาณ 1 กรัม วางลงในจานเพาะเชื้อที่เปิดฝา แล้วนำไปเก็บในโถอบแห้ง (Desicator) ที่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิไว้ที่ 37 องศาเซลเซียส ทำการชั่งน้ำหนักไฮโดรเจลที่เวลาต่าง ๆ (Wt) นานสูงสุด 24 ชั่วโมง คำนวณร้อยละประสิทธิภาพารักษาความชุ่มชื้นตามสูตร:

$$\text{Moisture Retention (\%)} = (W_t/W_0)\ X100$$

2.5. การทดสอบฤทธิ์การต้านจุลชีพ (Antimicrobial Testing)

การประเมินประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลชีพดำเนินการโดยใช้วิธีการเจือจางลำดับส่วน (Serial Dilution Method) ในรูปแบบ Broth Microdilution เพื่อหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสูตรตำรับที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อได้ (Minimum Inhibitory Concentration: MIC) เริ่มต้นจากการเตรียมสารละลายเชื้อแบคทีเรียทดสอบ (*S. aureus* และ *E. coli*) ให้มีความขุ่นปรับเทียบเท่ากับมาตรฐาน McFarland No. 0.5 (ความหนาแน่นเชื้อประมาณ 1.5 X 10^8 CFU/mL) และทำการเจือจางด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว Mueller-Hinton Broth (MHB) จากนั้นนำสูตรตำรับไฮโดรเจลมาทำการเจือจางแบบลดลงทีละครึ่ง (Two-fold serial dilution) ด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ MHB ลงในหลอดทดลองตามลำดับ แล้วจึงทำการเติมสารละลายเชื้อแบคทีเรียทดสอบลงในแต่ละหลอดทดลองให้มีปริมาตรเท่ากัน นำชุดทดสอบไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลา ทำการอ่านผลโดยสังเกตความขุ่นของอาหารเลี้ยงเชื้อ ค่า MIC จะถูกบันทึกจากหลุมที่มีความเข้มข้นต่ำสุดของไฮโดรเจลที่สารละลายยังคงลักษณะใสและไม่ปรากฏความขุ่นจากการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า (Visual turbidity) โดยการทดสอบในแต่ละตัวอย่างจะดำเนินการในรูปแบบสามซ้ำ (Triplicate) เพื่อความแม่นยำทางสถิติ

2.6. การทดสอบอัตราการสลายเม็ดเลือดแดง (Hemolysis Assay)

การประเมินความเข้ากันได้ทางชีวภาพและความปลอดภัยต่อเซลล์เนื้อเยื่อ ดำเนินการตามมาตรฐานสากล ISO 10993-5 และ ASTM E2524-08 โดยเตรียมสารละลายเม็ดเลือดแดงความเข้มข้นร้อยละ 2 **v/v** ในสารละลาย PBS pH 7.4 นำตัวอย่างไฮโดรเจลสูตรต่าง ๆ มาบ่มร่วมกับสารละลายเม็ดเลือดแดงที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที นำส่วนใสมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร (A_{sample}) โดยใช้ **Triton X-100** ร้อยละ 1 **v/v** เป็นตัวควบคุมผลบวก ($A_{positive}$) และ **PBS** เป็นตัวควบคุมผลลบ ($A_{negative}$) คำนวณร้อยละการแตกของเม็ดเลือดแดงตามสูตร :

$$\text{Hemolysis (\%)} = (A_{sample} - A_{negative}) \times 100 / (A_{positive} - A_{negative})$$

2.7 การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA)

เป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and Scope) เพื่อคัดกรองและประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตตำรับไฮโดรเจลที่มีส่วนผสมของสารสกัดคอมบูชาและมัทฉะ เพื่อระบุจุดวิกฤตที่มีผลกระทบสูง (Environmental hotspots) ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ การสกัด และการกวนผสมสูตรตำรับ

หน่วยฟังก์ชันและขอบเขตระบบ (Functional Unit and System Boundary) โดยการกำหนดหน่วยฟังก์ชัน (Functional unit) เป็นไฮโดรเจล ปริมาณ 1 แบทช์ (Batch) คือ 100 กรัม ที่เตรียมขึ้นในระดับห้องปฏิบัติการ และกำหนดขอบเขตของระบบในรูปแบบตั้งแต่แหล่งกำเนิดจนถึงประตูโรงงาน" (Cradle-to-gate) ซึ่งครอบคลุมขั้นตอนการจัดเตรียมวัตถุดิบ การผลิตสารสกัด การขึ้นสูตรตำรับไฮโดรเจล และการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยไม่รวมขั้นตอนการกำจัดทิ้งหลังการใช้งานและขั้นตอนปลายน้ำของผู้บริโภค

การวิเคราะห์บัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (Inventory Analysis): ใช้รูปแบบการประเมินโดยอ้างอิงฐานข้อมูลบัญชีรายการที่จำกัด (Limited inventory-based evaluation) เพื่อคัดกรองภาระทางสิ่งแวดล้อม โดยเก็บรวบรวมข้อมูลดิบจากการทำงานในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย ปริมาณการใช้ผงมัทฉะ, น้ำซาหมัก, น้ำกลั่น, พอลิเมอร์ CMC, ปริมาณการใช้ไฟฟ้า, การใช้น้ำ รวมถึงของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกรองและการกวนผสม โดยข้อมูลบัญชีรายการนี้จะใช้สำหรับการคัดกรองเพื่อเปรียบเทียบระหว่างสูตรตำรับ

วิธีการประเมินผลกระทบ (Impact Assessment Method): ดำเนินการประเมินโดยใช้แนวทางการคัดกรองแบบลดรูป (Simplified screening approach) แทนการใช้แบบจำลอง LCIA เต็มรูปแบบตามมาตรฐาน โดยเป็นการแปลผลเชิงคุณภาพผ่านการเปรียบเทียบปริมาณการใช้วัสดุ ความต้องการพลังงาน และการเกิดของเสียในแต่ละขั้นตอน ทั้งนี้ได้พิจารณาประเด็นผลกระทบหลัก (Midpoint impact themes) ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate change) การใช้ทรัพยากร (Resource use) และการบริโภคพลังงาน (Energy consumption) เพื่อเป็นข้อมูลคัดกรองสิ่งแวดล้อมในขั้นต้น

2.8. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (Data Analysis)

การทดสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ ประสิทธิภาพการต้านเชื้อจุลชีพที่ผ่านการทดสอบอย่างน้อย 3 ซ้ำ และข้อมูลการคัดกรองทางสิ่งแวดล้อม (LCA) มาทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบร่วมกันระหว่างสูตรตำรับต่าง ๆ ในรูปค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean ± SD) และวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วย Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$) โดยใช้โปรแกรมสถิติสำเร็จรูป จากที่ได้สูตรตำรับที่มีค่า pH ที่เหมาะสมต่อผิวหนัง มีความหนืดที่ยอมรับได้ มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อจุลชีพที่สูงและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่นจะได้รับการคัดเลือกให้เป็นสูตรตำรับที่เหมาะสมที่สุด (Optimal formulation candidate) ในการศึกษานี้

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของไฮโดรเจล

การพัฒนาไฮโดรเจลที่มีส่วนผสมของสารสกัดมัทฉะและคอมบูชาด้วยโครงข่ายพอลิเมอร์ของโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) ร่วมกับกลีเซอรีนในฐานะสารเพิ่มความยืดหยุ่น (Plasticizer) ประสบความสำเร็จเป็นอย่างดี ไฮโดรเจลที่สังเคราะห์ได้ในทุกชุดการทดลองมีลักษณะทางกายภาพเป็นเนื้อเจลกึ่งของแข็ง (Semisolid gel) สีเขียวตองอ่อน มีความเนียนละเอียดและเป็นเนื้อเดียวกันอย่างสมบูรณ์ ไม่ปรากฏการแยกชั้นทางมหภาค (Macroscopic phase separation) ไม่มีการตกตะกอนของอนุภาคสารสกัด และไม่มีฟองอากาศกักขังภายในเนื้อเจล (ภาพที่ 1) ผลการประเมินคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีที่เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้เป็นวัสดุปิดแผลแสดงดังตารางที่ 1

ภาพที่ 1 ตัวอย่างลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ไฮโดรเจลสูตร Control และ HK1.5M1.5

ตารางที่ 1 คุณลักษณะทางกายภาพ เคมี ประสิทธิภาพการต้านเชื้อ และการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของตำรับไฮโดรเจล

รหัสตำรับ	องค์ประกอบทางเคมี / สารออกฤทธิ์	ลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏ	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ค่าความหนืดพลศาสตร์ (Pa•s)	ประสิทธิภาพยับยั้งเชื้อ *S. aureus*	ประสิทธิภาพยับยั้งเชื้อ *E. coli*	อัตราการแตกของเม็ดเลือดแดง (% Hemolysis)	ผลการคัดกรองบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น
เจลสูตรเหมาะสม (HK1.5M1.5)	CMC 2% + กลีเซอรีน 5% + คอมบูชา 1.5% + มัทฉะ 1.5%	เจลสีเขียวอ่อน เนื้อเนียนละเอียด และเป็นเนื้อเดียวกัน	5.0±0.1	75.59±8.33	มีฤทธิ์ยับยั้งสูง (MIC=1)	มีฤทธิ์ยับยั้งสูง (MIC=1)	2.14±0.45% (ปลอดภัยสูง/ไม่สลายเม็ดเลือด)	มีความสมดุลสูงสุดระหว่างประสิทธิภาพการรักษากับปริมาณทรัพยากรและพลังงานที่ใช้

รหัสตำรับ	องค์ประกอบทางเคมี / สารออกฤทธิ์	ลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏ	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ค่าความหนืดพลศาสตร์ (Pa•s)	ประสิทธิภาพยับยั้งเชื้อ *S. aureus*	ประสิทธิภาพยับยั้งเชื้อ *E. coli*	อัตราการแตกของเม็ดเลือดแดง (% Hemolysis)	ผลการคัดกรองบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น
F1	สัดส่วนคอมบูชาสูง : มัทฉะต่ำ	เจลสีเขียวตองเนื้อค่อนข้างเหลวและไหลง่าย	4.8±0.1	44.20±5.12	มีฤทธิ์ยับยั้ง	มีฤทธิ์ยับยั้ง	1.55±0.32% (ปลอดภัยสูง/ไม่สลายเม็ดเลือด)	ใช้ปริมาณวัตถุดิบและพลังงานต่ำในขั้นตอนการเตรียมตำรับ
F2	สัดส่วนสารสกัดเข้มข้นต่ำในปริมาณเท่ากัน	เจลสีเขียวอมใส เนื้อเนียนสม่ำเสมอ	5.0±0.2	58.11±6.45	มีฤทธิ์ยับยั้ง	มีฤทธิ์ยับยั้ง	1.90±0.22% (ปลอดภัยสูง/ไม่สลายเม็ดเลือด)	มีปริมาณความต้องการวัตถุดิบและรอยเท้าคาร์บอนในระดับต่ำ
F3	สัดส่วนคอมบูชาต่ำ : มัทฉะสูง	เจลสีเขียวเข้มเนื้อข้นหนืด เป็นก้อนเกลี่ยยาก	5.1±0.1	94.67±7.89	มีฤทธิ์ยับยั้ง	มีฤทธิ์ยับยั้ง	5.12±0.61% (มีความเสี่ยงเล็กน้อยในการสลายเม็ดเลือด)	มีความต้องการพลังงานและวัตถุดิบสูงมากจากขั้นตอนการต้มเคี่ยวและบดสารสกัด
เจลควบคุม (Control)	เจลเปล่า (CMC 2% + กลีเซอรีน 5%)	เจลใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น	5.0±0.0	75.62±4.10	ไม่ปรากฏฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ	ไม่ปรากฏฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อ	1.05±0.12% (ปลอดภัยสูง)	ปริมาณทรัพยากรเริ่มต้นต่ำสุด แต่ไม่มีประสิทธิภาพในการรักษาแผล

- **ความเป็นกรด-ด่าง (pH):** ไฮโดรเจลทุกสูตรมีค่า pH อยู่ในช่วง 4.8–5.1 (แสดงในตารางที่ 1)

ซึ่งเป็นช่วงสภาวะกรดอ่อนที่ใกล้เคียงกับชั้นฟิล์มไขมันเคลือบผิวตามธรรมชาติ (Acid mantle, ช่วง pH 4.5–6.5) ความเป็นกรดอ่อนนี้เกิดจากองค์ประกอบของสารสกัดคอมบูชา (pH ประมาณ 4.0) ที่อุดมด้วยกรดอินทรีย์หลายชนิดจากการหมัก เช่น กรดอะซิติก และกรดกลูโคนิก ร่วมกับสารสกัดมัทฉะ (pH ประมาณ 5.0) การที่ตำรับมีค่า pH ในช่วงนี้ช่วยลดการระคายเคืองต่อผิวหนังเมื่อนำไปทาบริเวณแผลถลอก และช่วยรักษาสภาพแวดล้อมที่ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียฉวยโอกาส

- **ความหนืด (Viscosity):** จากการวิเคราะห์พฤติกรรมการไหล

พบว่าความข้นหนืดของไฮโดรเจลขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของพอลิเมอร์ CMC และปริมาณสารสกัดที่เป็นของเหลว สูตร HK1.5M1.5 แสดงค่าความหนืดเฉลี่ยที่ $75.59 \pm 8.33 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ซึ่งเป็นระดับความหนืดปานกลางที่เหมาะสม มีความคงตัวทางโครงสร้างดี สามารถเกลี่ยทาบนพื้นผิวบาดแผลได้ง่าย ยึดเกาะผิวได้ดี ไม่ไหลเยิ้ม และไม่เหนียวเหนอะหนะเกินไป ขณะที่สูตร F3 ที่มีสัดส่วนมัทฉะสูง จะมีความหนืดสูงถึง $94.67 \pm 7.89 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ทำให้เนื้อเจลเป็นก้อนเกลี่ยทายาก

- **ประสิทธิภาพการรักษาความชุ่มชื้น:** ไฮโดรเจลสูตรที่เหมาะสมที่สุด (HK1.5M1.5)

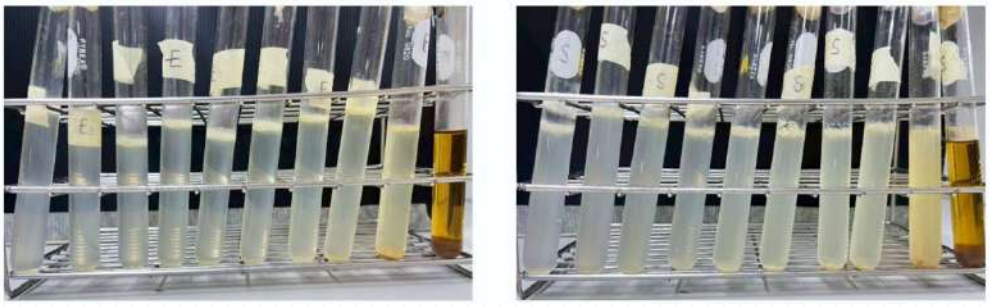
สามารถรักษาความชุ่มชื้นให้กับผิวได้สูงถึงร้อยละ 72 ตลอดระยะเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งจัดอยู่ในช่วงสภาวะความชุ่มชื้นที่เหมาะสมสำหรับการฟื้นฟูบาดแผล (ร้อยละ 60–80) การรักษาความชุ่มชื้นที่เหมาะสมนี้ช่วยสนับสนุนกระบวนการสร้างเนื้อเยื่อบุผิวใหม่ (Re-epithelialization) ป้องกันการเกิดสะเก็ดแผลหนา และลดความเจ็บปวดขณะเปลี่ยนวัสดุแต่งแผล

3.2 ประสิทธิภาพทางชีวภาพและความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (Biological Efficacy and Biocompatibility)

ในการศึกษาการนำสารเมตาบอไลต์และกรดอินทรีย์จากคอมบูชามาผสมผสานกับสารกลุ่มโพลีฟีนอล (โดยเฉพาะคาเทชิน: EGCG) ในมัทฉะ สามารถเสริมประสิทธิภาพทางชีวภาพได้อย่างมีนัยสำคัญโดยไม่สูญเสียความคงตัวของเนื้อเจล

- **ฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ก่อโรค**:

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรียด้วยวิธีเจือจางลำดับส่วน (Serial Dilution Method) พบว่าสารสกัดคอมบูชาและมัทฉะในไฮโดรเจล มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียที่มักพบในแผลถลอกของผิวหนังได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไฮโดรเจลสูตรที่เหมาะสม (Optimal formulation) สามารถยับยั้งได้ทั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก (*Staphylococcus aureus*) และแบคทีเรียแกรมลบ (*Escherichia coli*) ซึ่งแสดงค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อได้ (MIC) เท่ากับ 1 mg/mL ในขณะที่ไฮโดรเจลสูตรควบคุม (Blank gel) ซึ่งไม่มีส่วนผสมของสารสกัดไม่ปรากฏฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทดสอบใด ๆ ผลการศึกษาครั้งนี้เป็นการยืนยันว่า ประสิทธิภาพในการต้านเชื้อจุลินทรีย์นั้น เกิดจากสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive compounds) ในสารสกัดธรรมชาติทั้งสองชนิดประกอบกันอย่างแท้จริง



ภาพที่ 2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อด้วยวิธีเจือจางลำดับส่วน (Serial Dilution)

แสดงการเปรียบเทียบลักษณะความขุ่น-ใสในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลว เพื่อหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ยับยั้งเชื้อ (MIC) ของตำรับไฮโดรเจลต่อเชื้อ *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* (จากซ้ายไปขวา)

จากการศึกษานี้มีกลไกการทำงานร่วมกัน (Synergistic Effect) ในการยับยั้งเชื้อเกิดจากองค์ประกอบสำคัญสองส่วน คือ

1. สารกลุ่มโพลีฟีนอลในมัทฉะ (โดยเฉพาะ EGCG) ที่มีความสามารถเข้าจับกับเปปทิโดไกลแคนบนผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวก (*S. aureus*) และทำลายชั้นลิโปโพลีแซคคาไรด์ของแบคทีเรียแกรมลบ (*E. coli*) ส่งผลให้ผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์สูญเสียความสมบูรณ์ เกิดการรั่วไหลของของเหลวภายในเซลล์

2. กรดอินทรีย์และสารเมแทบอไลต์ในคอมบูชา กรดอะซิติกและกรดกลูโคนิกสามารถแทรกซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปลดค่า pH ภายในไซโทพลาซึม รบกวนสมดุลโปรตอนเกรเดียนต์ (Proton gradient) และส่งผลให้ระบบเมแทบอลิซึมของเซลล์แบคทีเรียล้มเหลว การที่ไฮโดรเจลสูตรควบคุม (Blank Control) ไม่แสดงฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ใด ๆ เลย เป็นสิ่งยืนยันอย่างชัดเจนว่าโครงสร้างสายโซ่พอลิเมอร์เปล่าไม่มีฤทธิ์ต้านจุลชีพ และประสิทธิภาพการทำลายเชื้อแบคทีเรียทั้งหมดเกิดขึ้นจากสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในสารสกัดคอมบูชาและมัทฉะอย่างแท้จริง ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาถึงกลไกการออกฤทธิ์ร่วมกัน สามารถอภิปรายโดยอ้างอิงจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้ดังนี้

- **ความปลอดภัยต่อเซลล์เนื้อเยื่อ (Hemolysis Test):** จากการทดสอบตามมาตรฐาน ISO10993-5 และ ASTM E2524-08 พบว่าไฮโดรเจลสูตรที่เหมาะสม (HK1.5M1.5) มีอัตราการสลายเม็ดเลือดแดงเพียง 2.14 $\pm$ 0.45% ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานสากลที่กำหนดไว้ว่าต้องไม่เกินร้อยละ 5 จึงจัดอยู่ในเกณฑ์ ปลอดภัยสูงและไม่ก่อให้เกิดการสลายเม็ดเลือด (Non-hemolytic) สิ่งนี้แสดงให้เห็นถึงความเข้ากันได้ทางชีวภาพที่ดีเยี่ยม มีความปลอดภัยเพียงพอสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้สัมผัสกับบาดแผลโดยตรง

- **สารออกฤทธิ์ในคอมบูชา:** อุดมด้วยกรดอะซิติกและกรดกลูโคนิก

ซึ่งสามารถแทรกซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์แบคทีเรียเข้าไปรบกวนค่า pH ภายในไซโทพลาซึม ส่งผลให้เกิดการสูญเสียสมดุลของโปรตอนเกรเดียนต์ (Proton gradient across membranes) จนเซลล์เกิดการล้มเหลวทางเมแทบอลิซึม

- **สารโพลีฟีนอลในมัทฉะ:** สารกลุ่มคาเทชิน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Epigallocatechin Gallate (EGCG)

มีความสามารถในการเข้าสร้างพันธะกับสารเปปทิโดไกลแคนบนผนังเซลล์ของ S. aureus และรบกวนชั้นลิโปโพลีแซคคาไรด์ (Lipopolysaccharide membrane) ของ E. coli ส่งผลให้เยื่อหุ้มเซลล์สูญเสียความสมบูรณ์และเกิดการรั่วไหลของของเหลวภายในเซลล์ในที่สุด

- **การที่ไฮโดรเจลควบคุม (Blank Control)** ไม่แสดงฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อจุลินตรีย์ใด ๆ เลย

เป็นสิ่งยืนยันอย่างชัดเจนว่าโครงสร้างสายโซ่พอลิเมอร์เปล่าไม่มีฤทธิ์ต้านจุลชีพ และกลไกการทำลายแบคทีเรียทั้งหมดเกิดขึ้นจากสารสำคัญทางชีวภาพที่ปลดปล่อยออกมาจากสารสกัดคอมบูชาและมัทฉะอย่างแท้จริง

3.5 การทดสอบความคงตัวแบบเร่งรัด (Accelerated Stability Test)

จากการทดสอบความคงตัวแบบเร่งรัดในเครื่องฟักควบคุมอุณหภูมิและความชื้น (อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส, ความชื้นสัมพัทธ์ 60–80%) เป็นระยะเวลา 30 วัน ซึ่งเทียบเท่ากับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องนาน 6 เดือน พบว่าไฮโดรเจลและสารสกัดธรรมชาติสามารถคงสภาพทางกายภาพได้ดี ไม่มีการแยกชั้น เนื้อเจลยังคงมีความสม่ำเสมอ และสารออกฤทธิ์ยังคงประสิทธิภาพการต้านเชื้อได้ตามมาตรฐาน แม้จะพบว่าความสามารถในการรักษาความชุ่มชื้นลดลงเล็กน้อยตามระยะเวลาเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงกระตุ้นการระเหยของโมเลกุลน้ำ แต่คุณสมบัติโดยรวมยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่มีเสถียรภาพและบ่งชี้ว่าผลิตภัณฑ์สามารถเก็บรักษาได้นานถึง 6 เดือน

3.6 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น (Preliminary Environmental Impact Assessment via LCA)

สำหรับการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้นด้วยวิธีคัดกรองข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (Limited Inventory-based Environmental Screening) ด้วยวิธี LCA [11, 12] พบว่าขั้นตอนที่เป็นจุดวิกฤตที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการใช้พลังงานสูงสุด (Environmental Hotspots) ของกระบวนการผลิตแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่:

1. กระบวนการสกัด: ปริมาณพลังงานความร้อนที่ใช้ในการเคี่ยวระเหยและเตรียมสารสกัดมัทฉะให้มีความเข้มข้นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ตลอดจนการใช้ทรัพยากรและระยะเวลา 14 วันในกระบวนการหมักคอมบูชา
2. กระบวนการสังเคราะห์ไฮโดรเจล: พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องกวนผสมความเร็วรอบสูง (High-Shear Homogenizer) ในการทำให้โครงข่ายพอลิเมอร์ CMC และสารสกัดผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างตำรับทั้งหมด พบว่าไฮโดรเจลสูตรที่เหมาะสมที่สุด (HK1.5M1.5) บรรลุจุดคุ้มทุนเชิงนิเวศ (Eco-efficiency) ที่ดีที่สุด โดยให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ในระดับสูง ขณะเดียวกันก็ใช้ปริมาณวัตถุดิบและพลังงานในระดับที่เหมาะสม ไม่สร้างภาระรอยเท้าคาร์บอน (Carbon Footprint) ที่สูงเกินไปเมื่อเทียบกับสูตรที่เน้นปริมาณสารสกัดเข้มข้นสูง (เช่น สูตร F3) สอดคล้องตามกรอบแนวคิดเคมีสีเขียว (Green Chemistry) ในการพัฒนาวัสดุทางการแพทย์ยุคใหม่ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและปลอดภัยต่อผู้บริโภคอย่างยั่งยืนเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างตำรับ

ทั้งหมด พบว่าไฮโดรเจลสูตรที่เลือกใช้ (HK1.5M1.5) บรรลุจุดคุ้มทุนเชิงนิเวศ (Eco-efficiency) ที่ดีที่สุด โดยให้ประสิทธิภาพในการรักษาแผลและการยับยั้งเชื้อจุลินตรีย์สูงสุด ขณะเดียวกันก็ใช้ปริมาณวัตถุดิบและพลังงานในระดับที่เหมาะสม ไม่สร้างภาระหรือปริมาณรอยเท้าคาร์บอน (Carbon Footprint) ที่สูงเกินไปเมื่อเทียบกับสูตรที่เน้นปริมาณสารสกัดเข้มข้นสูง (เช่น สูตร F3) สอดคล้องตามกรอบแนวคิดเคมีสีเขียว (Green Chemistry) ในการพัฒนาวัสดุทางการแพทย์ยุคใหม่ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและปลอดภัยต่อผู้บริโภคอย่างยั่งยืน

การพิจารณาผลการศึกษาในเชิงลึก

การพัฒนาระบบไฮโดรเจลสำหรับทาภายนอกที่ผสมผสานสารสกัดมัทฉะและคอมบูชา ถือเป็นนวัตกรรมต้นแบบบนฐานชีวภาพ (Bio-based paradigm) ที่น่าสนใจสำหรับการดูแลบาดแผลชนิดตื้น ในการวิจัยเชิงชีวการแพทย์ยุคใหม่การจัดการบาดแผลบริเวณผิวหนังชั้นนอก เช่น แผลถลอก จำเป็นต้องอาศัยแนวทางการบำบัดที่ครอบคลุมในหลายมิติ ได้แก่ การรักษาสภาวะแวดล้อมที่สนับสนุนกระบวนการทางสรีรวิทยาของแผล การป้องกันการยึดเกาะและการเจริญเติบโตของจุลชีพฉวยโอกาส และการสร้างความมั่นใจว่าวัสดุที่นำมาใช้งานนั้นผ่านกระบวนการสังเคราะห์ที่มีความยั่งยืน การศึกษาครั้งนี้จึงประเมินคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ ประสิทธิภาพการต้านจุลชีพ และความยั่งยืนทางสิ่งแวดล้อมไปพร้อม ๆ กัน

ความเข้ากันได้ทางเคมีกายภาพและพฤติกรรมการไหล (Physicochemical Compatibility and Rheological Behavior)

ลักษณะทางกายภาพของสูตรตำรับสำหรับทาเฉพาะที่ เป็นสิ่งกำหนดประโยชน์ใช้สอย ความคงตัว และความร่วมมือของผู้ป่วย (Patient compliance) ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของไฮโดรเจลทุกตำรับตกอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ทางสรีรวิทยาสำหรับการประยุกต์ใช้กับผิวหนัง (pH 4.8-5.1) ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งในการป้องกันการระคายเคืองของเนื้อเยื่อเฉพาะจุด และการเกิดการอักเสบทุติยภูมิ (Secondary inflammation) เมื่อทาลงบนชั้นผิวหนังที่สูญเสียความสมบูรณ์ มีแนวโน้มที่ชัดเจนว่าตำรับที่มีสัดส่วนของสารสกัดคอมบูชาสูงจะมีค่า pH ที่ต่ำกว่า ซึ่งอธิบายได้จากโปรไฟล์เมแทบอลิซึมของน้ำชาหมักที่อุดมไปด้วยกรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น กรดอะซิติก และกรดกลูโคนิก ซึ่งสร้างโดยสมาคมจุลินทรีย์แบบพึ่งพาอาศัยกัน (SCOBY) การรักษาสภาวะแวดล้อมที่มีความเป็นกรดอ่อน ๆ บริเวณบาดแผลเป็นการจำลองสภาวะแวดล้อมของชั้นฟิล์มไขมันเคลือบผิวตามธรรมชาติ (Acid mantle) ซึ่งช่วยควบคุมการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียและส่งเสริมกระบวนการสร้างเนื้อเยื่อบุผิวใหม่ (Re-epithelialization) ในส่วนของความหนืด พฤติกรรมการไหลของไฮโดรเจลถูกควบคุมโดยสัดส่วนของสารก่อเจล CMC และปริมาณสารสกัดที่เป็นของเหลว การควบคุมความหนืดมีความสำคัญอย่างยิ่งในทางปฏิบัติเนื่องจากเป็นตัวกำหนด:

1. ความสามารถในการเกลี่ยทาบนพื้นผิวบาดแผลที่บอบช้ำ
2. การยึดเกาะของตำรับบนผิวหนังที่มีลักษณะเป็นแนวตั้งหรือมีการเคลื่อนไหว
3. จลนศาสตร์การปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Controlled release kinetics)

ตำรับที่เหมาะสม (HK1.5M1.5) แสดงความหนืดในระดับปานกลาง ซึ่งให้คุณสมบัติในการใช้งานที่สมดุล ป้องกันการไหลเยิ้มและลดแรงเฉือนเชิงกลที่ทำให้เกิดความเจ็บปวดในระหว่างการทา

ประสิทธิภาพการต้านจุลชีพต่อเชื้อก่อโรคในบาดแผล (Antimicrobial Efficacy Against Wound Pathogens)

การควบคุมการปนเปื้อนของจุลชีพเป็นปัจจัยหลักในการจัดการบาดแผลเพื่อป้องกันไม่ให้แผลถลอกตื้น ๆ พัฒนาไปสู่การติดเชื้อรุนแรง ผลการทดสอบการหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ยับยั้งเชื้อ (MIC) ด้วยวิธี Serial Dilution แสดงให้เห็นว่าไฮโดรเจลสารสกัดผสมสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของทั้งเชื้อ *Escherichia coli* (แกรมลบ) และ *Staphylococcus aureus* (แกรมบวก) ได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ระดับความเข้มข้นต่ำ ประสิทธิภาพที่ครอบคลุม (Broad-spectrum activity) นี้มีความสำคัญเนื่องจากเชื้อทั้งสองชนิดเป็นจุลชีพฉวยโอกาสที่พบได้บ่อยที่สุดจากบาดแผลผิวหนังที่ปนเปื้อน การที่เจลควบคุม (Blank control) ไม่ปรากฏฤทธิ์ยับยั้ง ยืนยันว่าฤทธิ์ต้านจุลชีพเกิดจากสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพภายในสารสกัดโดยตรง โดยอ้างอิงจากวรรณกรรมสามารถอภิปรายกลไกได้ดังนี้:

- สารสกัดมัทฉะ: ทำงานโดยสารกลุ่มคาเทชิน โดยเฉพาะ EGCG ซึ่งมีคุณสมบัติในการทำลายความสมบูรณ์ของเยื่อหุ้มเซลล์แบคทีเรีย

- สารสกัดคอมบูชา: ทำหน้าที่เสริมฤทธิ์ผ่านกรดอินทรีย์และสารเมแทบอไลต์เฉพาะของจุลชีพ ซึ่งสามารถรบกวนสภาวะสมดุลทางเมแทบอลิซึมภายในเซลล์ (Internal metabolic homeostasis) การตรึงสารธรรมชาติทั้งสองชนิดเข้าไว้

ด้วยกันในโครงร่างตาข่ายไฮโดรเจล CMC ช่วยให้ระบบบรรลุเส้นทางการต้านจุลชีพหลากหลายมิติ (Multifaceted antimicrobial pathways) โดยที่สารประกอบทางชีวเคมียังคงรักษากิจกรรมฟังก์ชันไว้ได้หลังจากการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

ข้อจำกัดและมุมมองในอนาคต (Limitations and Future Perspectives)

แม้ว่าการประเมิน LCA ในระดับการคัดกรองนี้จะให้ข้อมูลเชิงลึกที่มีคุณค่าสำหรับการปรับปรุงขั้นตอนการสกัดและตั้งตำรับ แต่ผลการศึกษายังมีข้อจำกัดเนื่องจากเป็นเพียงการศึกษาขอบเขตแบบ "Cradle-to-gate" การทำความเข้าใจผลกระทบสิ่งแวดล้อมอย่างรอบด้านจำเป็นต้องอาศัยการประเมินในขอบเขต "Cradle-to-grave" นอกจากนี้ เพื่อเปลี่ยนผ่านไฮโดรเจลนี้ไปสู่การประยุกต์ใช้จริง การวิจัยในอนาคตควรขยายไปสู่การศึกษาในสิ่งมีชีวิต (*In Vivo*) การคัดกรองความเป็นพิษต่อเซลล์ (Cytotoxicity) และแบบจำลองการสมานแผลเพื่อตรวจสอบจลนศาสตร์การสร้างเนื้อเยื่อใหม่และประสิทธิภาพทางคลินิกอย่างสมบูรณ์

4. บทสรุป

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ประสบความสำเร็จในการพัฒนาและประเมินระบบไฮโดรเจลจากฐานชีวภาพรูปแบบใหม่ที่ผสานสารสกัดธรรมชาติจากมัทฉะและคอมบูชาเข้าไว้ในโครงร่างตาข่ายของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) สำหรับการประยุกต์ใช้ดูแลบาดแผลชนิดถลอก ไฮโดรเจลที่พัฒนาขึ้น (สูตร HK1.5M1.5) แสดงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพที่เหมาะสม โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในสภาวะกรดอ่อนที่ปลอดภัยต่อผิวหนังมนุษย์ มีประสิทธิภาพในการรักษาความชุ่มชื้นที่ดีเยี่ยม และมีความหนืดในระดับปานกลางที่เอื้อต่อการเกลี่ยทาและการยึดเกาะ ในแง่ของสมรรถนะทางชีวภาพ การทดสอบด้วยวิธี Serial Dilution ยืนยันว่าตำรับไฮโดรเจลสารสกัดผสมมีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้งจุลชีพก่อโรคครอบคลุมทั้งแบคทีเรียแกรมบวก (*Staphylococcus aureus*) และแบคทีเรียแกรมลบ (*Escherichia coli*) ซึ่งเป็นผลมาจากกลไกการเสริมฤทธิ์ทางชีวภาพของสารโพลีฟีนอลจากมัทฉะและกรดอินทรีย์จากคอมบูชา

นอกจากนี้ การบูรณาการเครื่องมือการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) แบบคัดกรอง ยังช่วยระบุจุดวิกฤตทางสิ่งแวดล้อมในกระบวนการเตรียมและสกัดวัตถุดิบ ทำให้สามารถคัดเลือกสูตรตำรับที่บรรลุจุดคุ้มทุนเชิงนิเวศ ที่มอบประสิทธิภาพทางชีวภาพสูงควบคู่ไปกับการใช้พลังงานและทรัพยากรที่สมดุล งานวิจัยนี้จึงสร้างองค์ความรู้พื้นฐานที่สำคัญในการออกแบบวัสดุชีวการแพทย์ที่ทรงประสิทธิภาพและสอดคล้องกับกระบวนทัศน์ความยั่งยืน อย่างไรก็ตาม การต่อยอดไปสู่การใช้งานเชิงพาณิชย์และระดับคลินิกอย่างเต็มรูปแบบในอนาคต ยังคงต้องการการศึกษาความเข้ากันได้ทางชีวภาพในระดับเซลล์ (*In Vitro* cytotoxicity) และการทดสอบแบบจำลองการสมานแผลในสิ่งมีชีวิต (*In Vivo*) ต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่อำนวยความสะดวกด้านเครื่องมือและห้องปฏิบัติการ และงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Boateng, J. S., Matthews, K. H., Stevens, H. N. E., & Eccleston, G. M. (2008). Wound healing dressings and drug delivery systems: A review. Journal of Pharmaceutical Sciences, 97(8), 2892–2923.

[2] NICE. (2020). Wound management and dressing selection. National Institute for Health and Care Excellence.

[3] Bowler, P. G., Duerden, B. I., & Armstrong, D. G. (2001). Wound microbiology and associated approaches to wound management. Clinical Microbiology Reviews, 14(2), 244–269.

[4] Gjødsbøl, K., Christensen, J. J., Karlsmark, T., Jørgensen, B., Klein, B. M., & Krogfelt, K. A. (2006). Multiple bacterial species reside in chronic wounds: A longitudinal study. International Wound Journal, 3(3), 225–231.

[5] Katiyar, S. K. (2003). Skin photoprotection by green tea: Antioxidant and immunomodulatory effects. Current Drug Targets - Immune, Endocrine & Metabolic Disorders, 3(3), 234–242.

[6] Singh, B. N., Shankar, S., & Srivastava, R. K. (2011). Green tea catechin, epigallocatechin-3-gallate (EGCG): Mechanisms, perspectives and clinical applications. Biochemical Pharmacology, 82(12), 1807–1821.

[7] Weiss, D. J., & Anderton, C. R. (2003). Determination of catechins in matcha green tea by micellar electrokinetic chromatography. Journal of Chromatography A, 1011(1–2), 173–180.

[8] Cabrera, C., Artacho, R., & Giménez, R. (2006). Beneficial effects of green tea—A review. Journal of the American College of Nutrition, 25(2), 79–99.

[9] Kirana, C., McIntosh, G. H., Jones, G. P., & Record, I. R. (2020). Health benefits of fermented foods: Microbiota and beyond. Current Opinion in Biotechnology, 61, 160–167.

[10] Yan, S., Liu, Y., Gong, L., Huang, H., Wang, X., & Wu, J. (2023). In situ sprayed biotherapeutic gel containing stable microbial communities for efficient anti-infection treatment. Advanced Science, 10(12), 2205480.

[11] ISO 14040. (2006). Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework.

[12] ISO 14044. (2006). Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines.

การพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำชื่อสัตว์เลี้ยงด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์
Development of a Pet Name Recommendation Application Using Generative AI

ตะวัน ดีมีศรี[1] ทิพย์ธัญญา อุทัยประดิษฐ์[1] และ วีรวรรณ จันทนะทรัพย์[1*]

[1]สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
*E-mail: veerawan.j@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตั้งชื่อสัตว์เลี้ยง พัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน Pawfect สำหรับแนะนำชื่อสัตว์เลี้ยงโดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Generative Artificial Intelligence: Generative AI) บนแบบจำลองภาษาขนาดใหญ่ (Large Language Model: LLM) Gemini ร่วมกับเทคนิค Prompt Engineering และประเมินประสิทธิภาพของระบบและความพึงพอใจของผู้ใช้งาน การวิจัยดำเนินการโดยการสำรวจกลุ่มตัวอย่างจำนวน 100 คน เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตั้งชื่อสัตว์เลี้ยง และนำผลการศึกษามาใช้ในการออกแบบระบบและการกำหนดโครงสร้างของ Prompt จากนั้นทำการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันและประเมินประสิทธิภาพของระบบด้วยการตรวจสอบเครือข่าย (Browser Network Monitoring) และเครื่องมือ Google Lighthouse เวอร์ชัน 10 รวมถึงประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานจำนวน 30 คน ผลการวิจัยพบว่า ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการตั้งชื่อสัตว์เลี้ยง ได้แก่ สีหรือรูปลักษณ์ภายนอก ลักษณะนิสัย เพศ และความหมายของชื่อ โดยปัจจัยดังกล่าวถูกนำมาใช้ในการออกแบบ Prompt เพื่อให้ระบบสามารถสร้างชื่อที่สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งาน เว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้ครบถ้วนตามข้อกำหนด เชื่อมต่อกับ Gemini Application Programming Interface (API) ได้อย่างถูกต้อง มีอัตราความสำเร็จในการประมวลผลคำขอสูงถึงร้อยละ 100 ในช่วงเวลาส่วนใหญ่ของการทดสอบ และสามารถรองรับการใช้งานพร้อมกันได้ประมาณ 60–70 คำขอต่อช่วงเวลา ผลการประเมินประสิทธิภาพด้วยเครื่องมือ Google Lighthouse เวอร์ชัน 10 พบว่าด้าน Best Practices, Accessibility, SEO และ Performance มีคะแนนเท่ากับ 96, 89, 83 และ 68 ตามลำดับ สะท้อนให้เห็นว่าระบบมีความสอดคล้องกับแนวปฏิบัติที่ดีในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันและมีเสถียรภาพในการทำงานในระดับเหมาะสม ขณะที่ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานพบว่าอยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{x}$ = 4.53, S.D. = 0.52) ดังนั้น การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Generative AI ร่วมกับเทคนิค Prompt Engineering สามารถพัฒนาระบบแนะนำชื่อสัตว์เลี้ยงที่มีประสิทธิภาพและสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างเหมาะสม อีกทั้งยังสามารถเป็นต้นแบบสำหรับการพัฒนาระบบแนะนำอัจฉริยะในบริบทอื่น ๆ ต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: เว็บแอปพลิเคชัน แชทบอทอัจฉริยะ ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์

Abstract

This research aims to investigate the factors influencing pet naming, develop a web application called Pawfect for pet name recommendation by applying Generative Artificial Intelligence (Generative AI) based on a Large Language Model (LLM), specifically Gemini, together with Prompt Engineering techniques, and evaluate system performance and user satisfaction. The study was conducted through a survey of 100 respondents to identify factors influencing pet naming. The findings were then used to design the system and define prompt structures. Subsequently, the web application was developed and its performance was evaluated using Browser Network Monitoring and Google Lighthouse (Version 10). User satisfaction was also assessed based on 30 participants. The results revealed that the key factors influencing pet naming include

physical appearance or color, temperament, gender, and the meaning of names. These factors were incorporated into prompt design to generate personalized and relevant pet name recommendations. The developed web application successfully met all system requirements, correctly connected to the Gemini Application Programming Interface (API), and achieved a near 100% request success rate during most testing periods. It also supported concurrent processing of approximately 60–70 requests per period. System performance evaluation using Google Lighthouse (Version 10) showed scores of 96 for Best Practices, 89 for Accessibility, 83 for SEO, and 68 for Performance. These results indicate that the system complies with good web development practices and operates with acceptable stability. User satisfaction was at the highest level ($\overline{x}$ = 4.53, S.D. = 0.52). Therefore, the integration of Generative AI with Prompt Engineering can effectively develop a pet name recommendation system that responds well to user needs. Moreover, the approach demonstrates potential as a prototype for intelligent recommendation systems in other application domains in the future.

Keywords: Web Application, Intelligent Chatbot, Generative AI

1. บทนำ

ในปัจจุบัน สัตว์เลี้ยงมีบทบาทสำคัญต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์มากขึ้น โดยแนวคิด Pet Humanization หรือ Pet Parenting ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ส่งผลให้เจ้าของสัตว์เลี้ยงปฏิบัติต่อสัตว์เลี้ยงเสมือนสมาชิกในครอบครัว และให้ความสำคัญกับคุณภาพชีวิต สุขภาพ และความเป็นอยู่ของสัตว์เลี้ยงมากขึ้น [1] ภายใต้บริบทดังกล่าว การตั้งชื่อสัตว์เลี้ยงจึงเป็นมากกว่าการกำหนดคำเรียกขาน แต่เป็นกระบวนการที่สะท้อนถึงอัตลักษณ์ ความผูกพัน และความสัมพันธ์ทางอารมณ์ระหว่างเจ้าของกับสัตว์เลี้ยง [2] นอกจากนี้ ชื่อสัตว์เลี้ยงยังมักถูกกำหนดจากลักษณะเฉพาะของสัตว์เลี้ยง เช่น สีขน รูปร่าง เพศ สายพันธุ์ หรือบุคลิกภาพ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ช่วยสร้างเอกลักษณ์และความแตกต่างให้กับสัตว์เลี้ยงแต่ละตัว [3] แม้ว่าปัจจุบันจะมีแหล่งข้อมูลสำหรับค้นหาชื่อสัตว์เลี้ยงจำนวนมาก เช่น เว็บแอปพลิเคชันรวบรวมชื่อสัตว์เลี้ยง บล็อก หรือชุมชนออนไลน์ แต่การเลือกชื่อที่มีความเหมาะสม สอดคล้องกับคุณลักษณะของสัตว์เลี้ยง และตรงกับความต้องการของเจ้าของยังคงเป็นความท้าทายสำหรับผู้เลี้ยงสัตว์จำนวนมาก [2, 3] โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเจ้าของต้องการชื่อที่มีความหมาย มีความสร้างสรรค์ และสะท้อนเอกลักษณ์เฉพาะตัวของสัตว์เลี้ยง ส่งผลให้การค้นหาชื่อที่เหมาะสมต้องอาศัยการพิจารณาปัจจัยหลายด้านร่วมกัน ในขณะเดียวกันความก้าวหน้าของเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Generative Artificial Intelligence: Generative AI) และแบบจำลองภาษาขนาดใหญ่ (Large Language Models: LLMs) ได้เปิดโอกาสใหม่ในการพัฒนาระบบที่สามารถสร้างเนื้อหาและข้อเสนอแนะที่สอดคล้องกับบริบทของผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ [4, 5] โดยแบบจำลองภาษา เช่น GPT-4 สามารถประมวลผลข้อมูลภาษาธรรมชาติและสร้างข้อความที่มีความหลากหลายและเหมาะสมกับเงื่อนไขที่กำหนด [6] ขณะที่เทคนิค Prompt Engineering ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำหนดคำสั่งและควบคุมผลลัพธ์ของโมเดลให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งานมากยิ่งขึ้น [7] ด้วยศักยภาพดังกล่าว Generative AI จึงถูกนำไปประยุกต์ใช้ในหลากหลายด้าน เช่น การศึกษา การตลาด การแพทย์ และสนับสนุนการตัดสินใจ [8] อย่างไรก็ตาม จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า งานวิจัยที่ประยุกต์ใช้ Generative AI เพื่อสนับสนุนการตั้งชื่อสัตว์เลี้ยงโดยตรงยังมีจำนวนจำกัด โดยงานส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่การสร้างเนื้อหาทั่วไปหรือการพัฒนาผู้ช่วยอัจฉริยะสำหรับงานเฉพาะด้าน [5, 8] ส่งผลให้ยังมีช่องว่างขององค์ความรู้ในการพัฒนาระบบที่สามารถวิเคราะห์คุณลักษณะของสัตว์เลี้ยงและสร้างคำแนะนำชื่อที่มีความเหมาะสมเฉพาะบุคคลได้

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันแนะนำชื่อสัตว์เลี้ยงโดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Generative AI ภายใต้ชื่อ "Pawfect" เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจในการเลือกชื่อสัตว์เลี้ยงที่เหมาะสมกับลักษณะและความต้องการของผู้ใช้งาน โดยอาศัยข้อมูลปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตั้งชื่อสัตว์เลี้ยงเป็นกรอบในการออกแบบตรรกะการทำงาน และกระบวนการ Prompt Engineering ของระบบ ผลลัพธ์ที่ได้คาดว่าจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาและคัดเลือกชื่อสัตว์เลี้ยง พร้อมทั้งเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์สำหรับการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจในอนาคต

สำหรับการเรียบเรียงหัวข้อเนื้อหาในบทความนี้ประกอบด้วย 6 หัวข้อหลัก ดังนี้ (1) บทนำ (2) วิธีการดำเนินวิจัย (3) ผลการทดลองและอภิปรายผล (4) สรุปผลการวิจัย (5) กิตติกรรมประกาศ และหัวข้อสุดท้าย (6) เอกสารอ้างอิง รายละเอียดเนื้อหาในแต่ละหัวข้อมีดังนี้

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน “Pawfect” ซึ่งเป็นระบบแนะนำชื่อสัตว์เลี้ยงด้วยปัญญาประดิษฐ์ (Pet Name Recommendation Application Using Generative AI) ดำเนินการภายใต้กรอบแนวคิดการพัฒนาระบบสารสนเทศร่วมกับแนวทางการพัฒนาซอฟต์แวร์สมัยใหม่ (Agile Software Development) เพื่อให้ระบบมีความยืดหยุ่นและสามารถพัฒนาได้อย่างต่อเนื่อง โดยกระบวนการดำเนินงานครอบคลุมตั้งแต่การศึกษาความต้องการของผู้ใช้งาน การออกแบบและพัฒนาระบบ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Generative AI สำหรับสร้างคำแนะนำชื่อสัตว์เลี้ยง ไปจนถึงการทดสอบและประเมินผลการใช้งานของระบบ ทั้งนี้ได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 6 ขั้นตอนหลัก เพื่อให้การพัฒนาเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ และสามารถนำระบบไปใช้งานได้จริงอย่างมีประสิทธิผล [9] ภาพรวมกระบวนการดำเนินงานวิจัยแสดงดังภาพที่ 1

ภาพที่ 1 แผนภาพรวมวิธีการดำเนินงานวิจัย

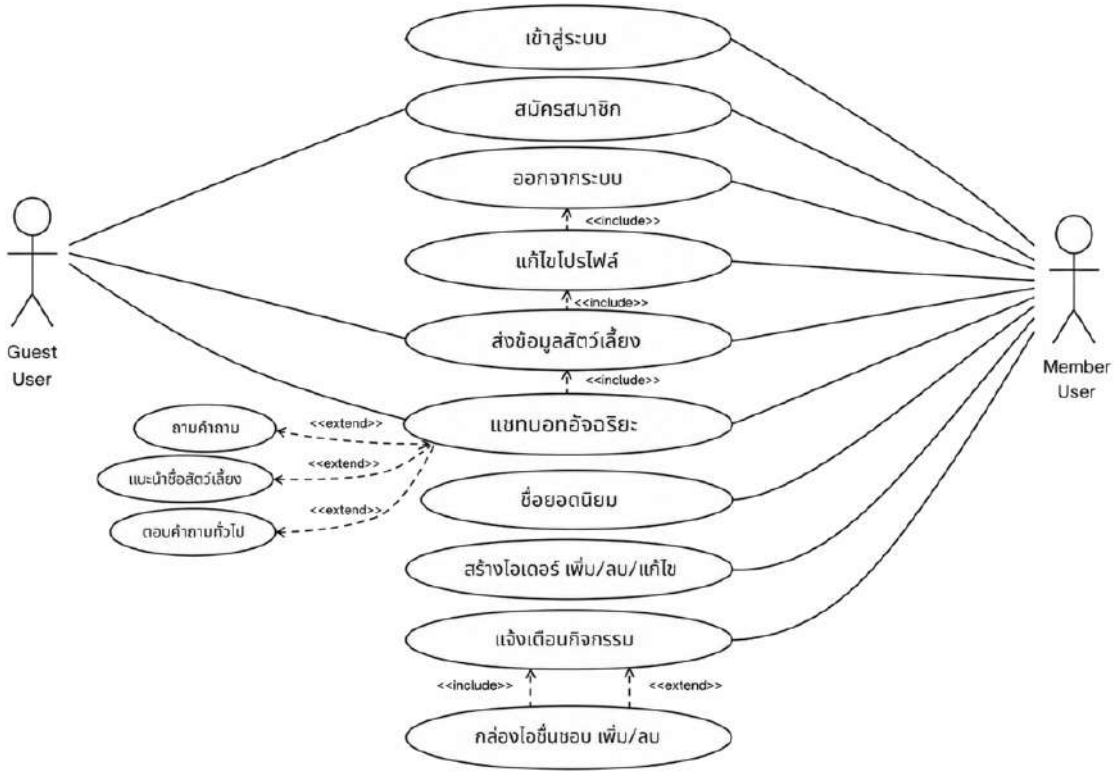
2.1 การสำรวจปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตั้งชื่อสัตว์เลี้ยง

คณะผู้วิจัยดำเนินการสำรวจปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตั้งชื่อสัตว์เลี้ยง โดยจัดทำแบบสอบถามออนไลน์ผ่าน Google Forms และเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 100 คน เพื่อศึกษาพฤติกรรมและความต้องการของผู้เลี้ยงสัตว์ที่เกี่ยวข้องกับการเลือกชื่อสัตว์เลี้ยง [10] จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยสถิติค่าร้อยละ เพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจตั้งชื่อสัตว์เลี้ยง [11] ผลการวิเคราะห์พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตั้งชื่อสัตว์เลี้ยงมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ สายพันธุ์และลักษณะภายนอกของสัตว์เลี้ยง ลักษณะนิสัยและพฤติกรรมของสัตว์เลี้ยง และเพศของสัตว์เลี้ยง ตามลำดับ [12] ผลการสำรวจดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าผู้เลี้ยงสัตว์ให้ความสำคัญกับคุณลักษณะเฉพาะของสัตว์เลี้ยงเป็นหลักในการกำหนดชื่อ คณะผู้วิจัยนำผลการศึกษาที่ได้จากขั้นตอนนี้มาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบชุดคำสั่ง (Prompt

Engineering) และกำหนดเงื่อนไขการทำงานของระบบแนะนำชื่อสัตว์เลี้ยง เพื่อให้ระบบสามารถสร้างคำแนะนำชื่อสัตว์เลี้ยงด้วยเทคโนโลยี Generative AI ได้อย่างสอดคล้องกับลักษณะของสัตว์เลี้ยงและความต้องการของผู้ใช้งาน [4]

2.2 การออกแบบและพัฒนาระบบ

คณะผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์ความต้องการของระบบ (Requirement Analysis) จากผลการสำรวจปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตั้งชื่อสัตว์เลี้ยงในขั้นตอนก่อนหน้า เพื่อนำมากำหนดขอบเขตการทำงานและคุณลักษณะที่จำเป็นของระบบแนะนำชื่อสัตว์เลี้ยง [13] จากนั้นจึงออกแบบสถาปัตยกรรมระบบ (System Architecture) โดยกำหนดองค์ประกอบหลักของระบบ ได้แก่ ส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (User Interface) ส่วนประมวลผลข้อมูล และส่วนเชื่อมต่อบริการปัญญาประดิษฐ์เพื่อรองรับการทำงานของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ [9] รายละเอียดฟังก์ชันการทำงานของระบบแสดงดังแผนภาพกรณีการใช้งานระบบ (Use Case Diagram) ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผนภาพกรณีการใช้งานระบบ (Use Case Diagram)

จากแผนภาพกรณีการใช้งานระบบ (Use Case Diagram) ของระบบแนะนำชื่อสัตว์เลี้ยงด้วยเทคโนโลยี Generative AI ซึ่งใช้ในการแสดงขอบเขตการทำงานของระบบและความสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้งานกับฟังก์ชันต่าง ๆ ภายในระบบ โดยแบ่งผู้ใช้งานออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ผู้ใช้งานทั่วไป (Guest User) และผู้ใช้งานสมาชิก (Member User) โดยผู้ใช้งานทั่วไป (Guest User) สามารถเข้าถึงฟังก์ชันพื้นฐานของระบบ ได้แก่ การสมัครสมาชิก การส่งข้อมูลสัตว์เลี้ยง การสนทนากับระบบผ่านแชทบอท และการเรียกดูข้อมูลชื่อยอดนิยม เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการเลือกชื่อสัตว์เลี้ยง ในขณะที่ผู้ใช้งานสมาชิก (Member User) จะสามารถใช้งานฟังก์ชันทั้งหมดของระบบได้เพิ่มเติมจากผู้ใช้งานทั่วไป โดยประกอบด้วย การเข้าสู่ระบบ การออกจากระบบ การแก้ไขข้อมูลโปรไฟล์ การส่งข้อมูลสัตว์เลี้ยง การใช้งานแชทบอท การเรียกดูชื่อยอดนิยม การจัดการโพสต์ในส่วนของการสร้าง แก้ไข และลบโพสต์ การรับการแจ้งเตือนกิจกรรมภายในระบบ ตลอดจนการกดถูกใจหรือชื่นชอบข้อมูลและโพสต์ต่าง ๆ โดยแผนภาพดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงการกำหนดสิทธิ์การเข้าถึงระบบตามประเภทของผู้ใช้งาน (Role-Based Access Control) โดยผู้ใช้งานทั่วไปเข้าถึงเฉพาะฟังก์ชันพื้นฐานที่จำเป็น ขณะที่ผู้ใช้งานสมาชิกจะได้รับสิทธิ์ในการใช้งานฟังก์ชันเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับการจัดการข้อมูลส่วนบุคคล การมีส่วนร่วมในชุมชนออนไลน์ และการติดตามกิจกรรมภายในระบบ ทั้งนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานและสร้างประสบการณ์ที่เหมาะสมแก่ผู้ใช้งานแต่ละกลุ่ม

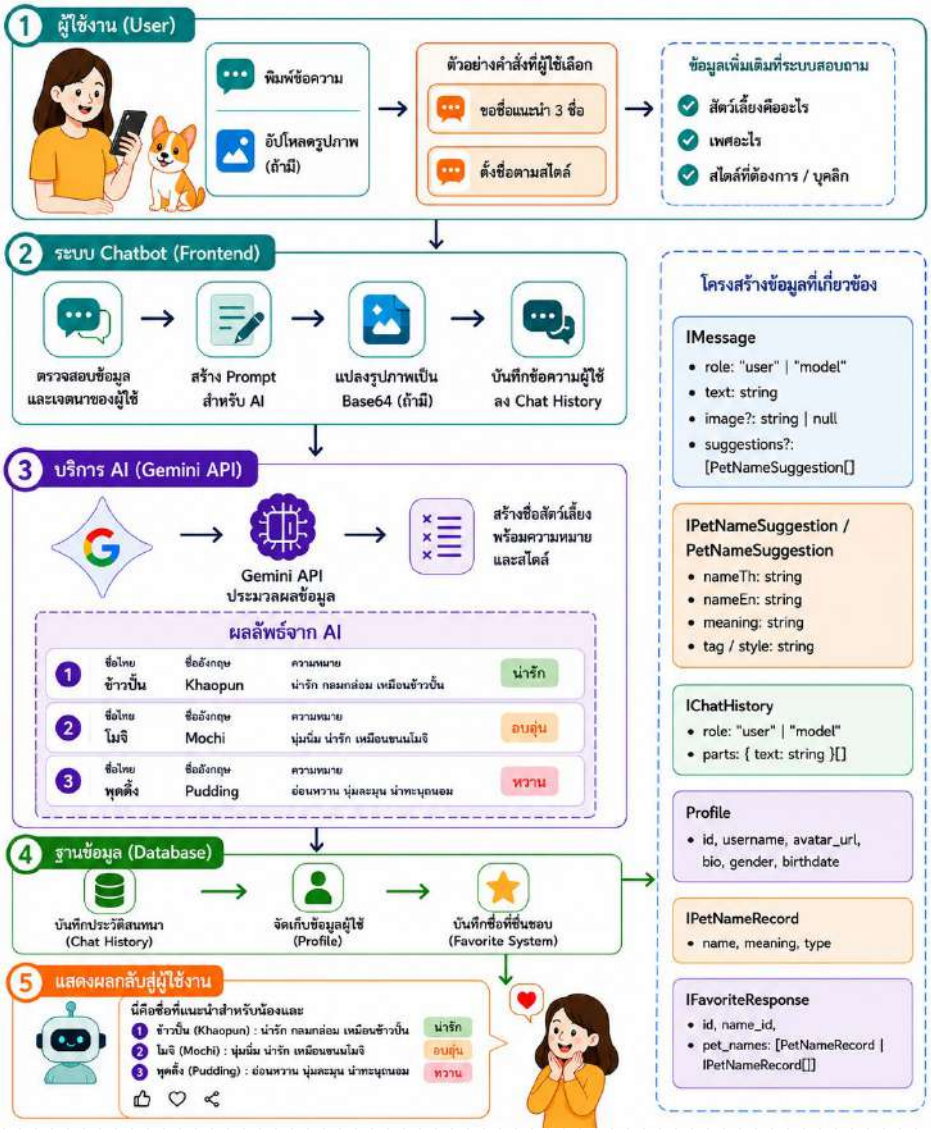
คณะผู้วิจัยดำเนินการออกแบบส่วนประสานผู้ใช้งาน (User Interface: UI) ตามขอบเขตและฟังก์ชันการทำงานที่ได้จากการวิเคราะห์ความต้องการของระบบและแผนภาพกรณีการใช้งานระบบ (Use Case Diagram) โดยใช้โปรแกรม Figma เป็นเครื่องมือในการออกแบบต้นแบบหน้าจอ (Prototype) ทั้งนี้ การออกแบบได้ประยุกต์ใช้แนวคิดการคิดเชิงออกแบบ (Design Thinking) ร่วมกับแนวคิดการออกแบบโดยมีผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง (User-Centered Design: UCD) เพื่อให้ส่วนประสานผู้ใช้งานสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้ได้อย่างเหมาะสม มีความสะดวกในการใช้งาน และสนับสนุนการเข้าถึงฟังก์ชันต่าง ๆ ของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ภายหลังจากการออกแบบต้นแบบส่วนประสานผู้ใช้งานแล้ว คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาส่วนหน้าบ้าน (Frontend Development) เพื่อรองรับการแสดงผลและการโต้ตอบระหว่างผู้ใช้งานกับระบบ โดยมุ่งเน้นการสร้างประสบการณ์ผู้ใช้ (User Experience: UX) ที่มีความสะดวก รวดเร็ว และใช้งานง่าย ควบคู่ไปกับการออกแบบที่มีความสวยงามและสอดคล้องกับอัตลักษณ์ของแอปพลิเคชัน Pawfect การพัฒนาส่วนหน้าบ้านครอบคลุมการสร้างหน้าเว็บแอปพลิเคชันตามต้นแบบที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อรองรับการกรอกข้อมูลคุณลักษณะของสัตว์เลี้ยง การโต้ตอบกับระบบแชทบอท และการแสดงผลคำแนะนำชื่อสัตว์เลี้ยงที่สร้างขึ้นด้วยเทคโนโลยี Generative AI ในการพัฒนาระบบ คณะผู้วิจัยเลือกใช้ Next.js เป็นเฟรมเวิร์กหลักสำหรับการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการประมวลผลและการจัดการเส้นทางการเข้าถึงข้อมูล (Routing) ที่ช่วยให้การแสดงผลหน้าเว็บเป็นไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังรองรับการขยายขีดความสามารถของระบบและการปรับปรุงด้านการค้นหาผ่านเครื่องมือค้นหา (Search Engine Optimization: SEO) ในอนาคต สำหรับการออกแบบและจัดการรูปแบบการแสดงผลของเว็บแอปพลิเคชันได้เลือกใช้ Tailwind CSS ซึ่งเป็นเฟรมเวิร์กที่ใช้แนวคิด Utility-First CSS ช่วยให้สามารถพัฒนาและปรับแต่งองค์ประกอบต่าง ๆ ของส่วนประสานผู้ใช้งานได้อย่างยืดหยุ่น โดยกำหนดโทนสีหลักของระบบให้สอดคล้องกับอัตลักษณ์ของแอปพลิเคชัน ได้แก่ สีส้มและสีฟ้าอมเขียว (Orange and Teal) เพื่อสร้างความน่าสนใจและส่งเสริมประสบการณ์การใช้งานของผู้ใช้งาน

นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยได้นำภาษา TypeScript มาใช้ในการพัฒนาระบบเพื่อเพิ่มความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของซอฟต์แวร์ผ่านกระบวนการตรวจสอบชนิดข้อมูล (Type Checking) ซึ่งช่วยลดข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการพัฒนาและการทำงานของระบบ รวมถึงเพิ่มประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลระหว่างส่วนติดต่อผู้ใช้งานกับโมเดล Generative AI ที่ใช้สำหรับประมวลผลและสร้างคำแนะนำชื่อสัตว์เลี้ยง ส่งผลให้ระบบมีความเสถียร สามารถบำรุงรักษาและพัฒนาต่อยอดได้อย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต

2.3 การพัฒนาชุดคำสั่งและเชื่อมต่อปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์

คณะผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาโครงสร้างข้อมูล (Data Structure) สำหรับรองรับการทำงานของระบบ AI Chatbot และส่วนติดต่อผู้ใช้งาน โดยใช้ TypeScript Interface ในการกำหนดรูปแบบข้อมูลและควบคุมความถูกต้องของการรับส่งข้อมูลระหว่างองค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบ ซึ่งช่วยลดข้อผิดพลาดในการพัฒนาและเพิ่มความน่าเชื่อถือของซอฟต์แวร์ สำหรับการจัดการผลลัพธ์จาก Generative AI ได้มีการออกแบบโครงสร้างข้อมูล “IpetNameSuggestion” และ “PetNameSuggestion” เพื่อรองรับข้อมูลชื่อสัตว์เลี้ยงที่ระบบสร้างขึ้น ประกอบด้วยชื่อภาษาไทย ชื่อภาษาอังกฤษ ความหมาย และข้อมูลกำกับประเภทการตั้งชื่อ (Style) หรือแท็ก (Tag) เพื่อใช้ในการจัดหมวดหมู่และแสดงผลแก่ผู้ใช้งานอย่างเหมาะสม ในส่วนของการจัดการข้อมูลการสนทนา ได้พัฒนาโครงสร้าง “Imessage” เพื่อรองรับการรับส่งข้อความระหว่างผู้ใช้งานและระบบ AI โดยกำหนดบทบาทของผู้ส่ง (Role) และรองรับข้อมูลหลายรูปแบบ ได้แก่ ข้อความ รูปภาพ และรายการชื่อสัตว์เลี้ยงที่ระบบแนะนำ นอกจากนี้ ยังได้ออกแบบโครงสร้าง “IchatHistory” สำหรับจัดเก็บประวัติการสนทนาในรูปแบบที่สอดคล้องกับ Gemini Application Programming Interface (API) เพื่อรักษาความต่อเนื่องของบริบทการสนทนา และเพิ่มประสิทธิภาพในการประมวลผลของโมเดลปัญญาประดิษฐ์ สำหรับการจัดการข้อมูลผู้ใช้งานสมาชิก คณะผู้วิจัยได้ออกแบบโครงสร้าง “Profile” เพื่อจัดเก็บข้อมูลพื้นฐานของผู้ใช้งาน และพัฒนาโครงสร้าง “IpetNameRecord” ร่วมกับ “IfavoriteResponse” เพื่อรองรับระบบบันทึกรายการโปรด (Favorite System) ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถจัดเก็บและเรียกดูรายชื่อสัตว์เลี้ยงที่สนใจได้อย่างสะดวก โครงสร้างข้อมูลทั้งหมดได้รับการออกแบบให้มีความสอดคล้องกันตลอดทั้งระบบ ตั้งแต่การจัดเก็บข้อมูล การประมวลผลฝั่งเซิร์ฟเวอร์ ไปจนถึงการแสดงผลบนส่วนติดต่อผู้ใช้งาน ส่งผลให้การแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างระบบและบริการ Generative AI เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ มีความถูกต้องและรองรับการขยายขีดความสามารถของระบบในอนาคต กลไกที่สำคัญของฟังก์ชันนี้คือการทำ Prompt Engineering โดยระบบจะตรวจสอบเนื้อหาข้อความเพื่อทำการ "ขยายความคำสั่ง" (Message Overriding) ให้มีความเฉพาะเจาะจงมากขึ้น

ก่อนส่งไปยัง AI เช่น หากผู้ใช้เลือกเมนู "ขอชื่อแนะนำ 3 ชื่อ" ระบบจะส่งเงื่อนไขเพิ่มเติมไปกำกับโมเดลปัญญาประดิษฐ์ ให้ทำการสอบถามข้อมูลเบื้องต้นของสัตว์เลี้ยงก่อน แทนการเสนอชื่อในทันที เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ตรงใจผู้ใช้มากที่สุด นอกจากนี้ ระบบยังรองรับการประมวลผลข้อมูลภาพ (Multimodal) โดยใช้ FileReader ในการแปลงไฟล์รูปภาพที่ผู้ใช้อัปโหลดให้เป็นรูปแบบ Base64 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่จำเป็นสำหรับการส่งข้อมูลภาพไปประมวลผลร่วมกับข้อความตัวอักษรบนโมเดล Gemini API ทำให้ระบบสามารถวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของสัตว์เลี้ยงเพื่อนำมาประกอบการตั้งชื่อได้อย่างมีประสิทธิภาพ แผนภาพการทำงานของระบบ AI Chatbot สำหรับการแนะนำชื่อสัตว์เลี้ยงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แผนภาพจำลองการทำงานของระบบ AI Chatbot สำหรับการแนะนำชื่อสัตว์เลี้ยง

ในกระบวนการตั้งค่าและเชื่อมต่อระบบกับโมเดลปัญญาประดิษฐ์ Gemini API โดยคณะผู้วิจัยได้ดำเนินการเตรียมสภาพแวดล้อมผ่านแพลตฟอร์ม Google AI Studio เพื่อสร้าง API Key สำหรับใช้เป็นรหัสยืนยันตัวตนในการเรียกใช้งานบริการของ Gemini API จากนั้นจึงกำหนดชื่อ API Key และเลือกโปรเจกต์บน Google Cloud ที่ใช้ในการพัฒนาระบบ คือ pawfect เพื่อเชื่อมโยง API Key กับระบบหลังบ้าน (Backend) และใช้เป็นช่องทางในการสื่อสารระหว่างแอปพลิเคชันกับโมเดลปัญญาประดิษฐ์ ภายหลังจากการเชื่อมต่อ Gemini API แล้ว คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบชุดคำสั่ง (Prompt Engineering) เพื่อกำหนดแนวทางการทำงานของโมเดลให้สามารถสร้างผลลัพธ์ได้ตรงตามวัตถุประสงค์ของระบบ โดยเริ่มจากการกำหนดบทบาท (System Instruction) ให้โมเดลทำหน้าที่เป็น "Pawfect AI" ผู้ช่วยอัจฉริยะที่มีความเชี่ยวชาญ ด้านการตั้งชื่อ

สัตว์เลี้ยง มีบุคลิกเป็นมิตร และสามารถให้คำแนะนำเกี่ยวกับการดูแลสัตว์เลี้ยงได้อย่างเหมาะสม เพื่อให้การตอบกลับมีรูปแบบและโทนการสื่อสารที่สอดคล้องกันทุกครั้งที่มีการใช้งาน เมื่อผู้ใช้กรอกข้อมูลผ่านหน้าเว็บแอปพลิเคชัน ประกอบด้วย ภาพสัตว์เลี้ยง ประเภทสัตว์เลี้ยง เพศ สี ลักษณะเด่น และรูปแบบชื่อที่ต้องการ ระบบจะรวบรวมข้อมูลดังกล่าวมาประกอบเป็นคำสั่ง (Prompt) ก่อนส่งไปยัง Gemini API เพื่อให้โมเดลวิเคราะห์ข้อมูลตามบริบทและสร้างชื่อสัตว์เลี้ยงที่เหมาะสมกับลักษณะเฉพาะของสัตว์แต่ละตัว นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยยังกำหนดให้ผลลัพธ์ถูกส่งกลับในรูปแบบ JSON เพื่อให้ระบบสามารถนำข้อมูลไปประมวลผลและแสดงผลบนเว็บแอปพลิเคชันได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยผลลัพธ์ที่ได้รับประกอบด้วย ชื่อสัตว์เลี้ยง ความหมายของชื่อ และคำแนะนำเบื้องต้นเกี่ยวกับการดูแลสัตว์เลี้ยงในด้านพฤติกรรม การฝึก และโภชนาการ ซึ่งช่วยเพิ่มความครบถ้วนของข้อมูลและส่งเสริมประสบการณ์การใช้งานของผู้ใช้ให้ดียิ่งขึ้น

2.4 การทดสอบและประเมินคุณภาพระบบ

คณะผู้วิจัยดำเนินการประเมินประสิทธิภาพของระบบแนะนำชื่อสัตว์เลี้ยงที่ประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Generative AI โดยมุ่งเน้นการตรวจสอบความถูกต้อง ความเสถียร และประสิทธิภาพของกระบวนการรับส่งข้อมูลระหว่างส่วนติดต่อผู้ใช้งานกับโมเดลปัญญาประดิษฐ์ ผ่านการวิเคราะห์การทำงานบนเครือข่ายของเว็บเบราว์เซอร์ (Browser Network Monitoring) โดยใช้เครื่องมือสำหรับนักพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน (Developer Tools) ในการติดตามและตรวจสอบข้อมูลที่ถูกส่งผ่านระบบตั้งแต่ขั้นตอนการส่งคำร้องขอจากผู้ใช้งาน (Request Payload) ไปจนถึงการประมวลผลของระบบและการส่งผลลัพธ์กลับมาแสดงผลบนส่วนติดต่อผู้ใช้งาน การประเมินดังกล่าวอาศัยแนวคิดการแปลงข้อมูล (Data Transformation) ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญในการเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างส่วนหน้าบ้าน (Frontend) ส่วนหลังบ้าน (Backend) และบริการปัญญาประดิษฐ์ โดยทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่รับส่งผ่านเครือข่าย ความครบถ้วนของข้อมูลที่ได้รับจากโมเดลปัญญาประดิษฐ์ รวมถึงระยะเวลาในการตอบสนองของระบบ เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของกระบวนการสื่อสารข้อมูลและระบุปัจจัยที่อาจส่งผลต่อความล่าช้าหรือความผิดพลาดในการประมวลผล

นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยได้ประเมินคุณภาพของเว็บแอปพลิเคชันด้วยเครื่องมือ Google Lighthouse เวอร์ชัน 10 ซึ่งเป็นเครื่องมือมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์ประสิทธิภาพเว็บแอปพลิเคชัน โดยครอบคลุมการประเมินด้านประสิทธิภาพการทำงาน (Performance) ความสามารถในการเข้าถึง (Accessibility) แนวปฏิบัติที่เหมาะสมในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน (Best Practices) และการรองรับการค้นหาผ่านเครื่องมือค้นหา (Search Engine Optimization: SEO) ผลการประเมินช่วยยืนยันว่าระบบสามารถรองรับการทำงานร่วมกับโมเดลปัญญาประดิษฐ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความเสถียรในการแสดงผล และสามารถตอบสนองต่อการใช้งานของผู้ใช้ได้ตามมาตรฐานของเว็บแอปพลิเคชันสมัยใหม่ [14] สูตรการคำนวณคะแนนประสิทธิภาพ (Performance) นิยามดังสมการที่ (1)

$$P = \sum_{i=1}^{n} \omega_i S_i \tag{1}$$

โดยที่ P คือ คะแนนประสิทธิภาพ (Performance Score)
S_i คือ คะแนนของเมทริกซ์ที่ i
ω_i คือ น้ำหนักของเมทริกซ์ที่ i

จากสมการที่ (1) ค่าน้ำหนักของเมทริกซ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้อ้างอิงค่าน้ำหนักจาก Google Lighthouse เวอร์ชัน 10 [14] ซึ่งประกอบด้วยค่าดัชนีต่าง ๆ ระยะเวลาการแสดงผลของเนื้อหาหลักที่มีขนาดใหญ่ที่สุด (Largest Contentful Paint: LCP) ระยะเวลารวมที่การประมวลผลขัดขวางการตอบสนองของหน้าเว็บ (Total Blocking Time: TBT) ค่าการเปลี่ยนแปลงสะสมของการจัดวางองค์ประกอบบนหน้าเว็บ (Cumulative Layout Shift: CLS) ดัชนีความเร็วในการแสดงผลของหน้าเว็บ (Speed Index: SI) และระยะเวลาการแสดงผลของเนื้อหาแรก (First Contentful Paint: FCP)

2.5 การศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

ภายหลังจากการพัฒนาแอปพลิเคชันเสร็จสมบูรณ์ คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน เพื่อศึกษาระดับความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบและนำผลที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยใช้ Google Forms เป็นเครื่องมือในการจัดทำแบบสอบถามออนไลน์ เนื่องจากสามารถเข้าถึงผู้ตอบแบบสอบถามได้อย่างสะดวก รวบรวมข้อมูลได้อย่างเป็นระบบ และช่วยลดข้อผิดพลาดในการบันทึกข้อมูล โดยเก็บรวบรวมข้อมูลดำเนินการกับกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานสมาชิก (User Member) จำนวน 30 คน ซึ่งเป็นจำนวนที่เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนา โดยแบบสอบถามแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม และแบบประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานแอปพลิเคชัน Pawfect ทั้งนี้ คณะผู้วิจัยใช้มาตรวัดแบบประมาณค่า Likert Scale 5 ระดับ ประกอบด้วย ระดับ 5 หมายถึง พึงพอใจมากที่สุด ระดับ 4 หมายถึง พึงพอใจมาก ระดับ 3 หมายถึง พึงพอใจปานกลาง ระดับ 2 หมายถึง พึงพอใจน้อย และระดับ 1 หมายถึง พึงพอใจน้อยที่สุด โดยข้อมูลที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ($\overline{x}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เพื่อใช้สรุประดับความพึงพอใจของผู้ใช้งานในแต่ละด้าน โดยรายละเอียดแบบประเมินความพึงพอใจ คณะผู้วิจัยได้ออกแบบแบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานในด้านต่าง ๆ ของแอปพลิเคชัน โดยอ้างอิงจากหลักการประเมินการใช้งานระบบสารสนเทศและประสบการณ์ผู้ใช้ (User Experience) ซึ่งแบ่งแบบสอบถามออกเป็น 5 ส่วน ประกอบด้วย (1) ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม (2) ด้านการใช้งานของระบบ (Usability) (3) ด้านประสิทธิภาพของระบบปัญญาประดิษฐ์ (System Performance) (4) ด้านความพึงพอใจโดยรวม (Overall Satisfaction) และ (5) ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

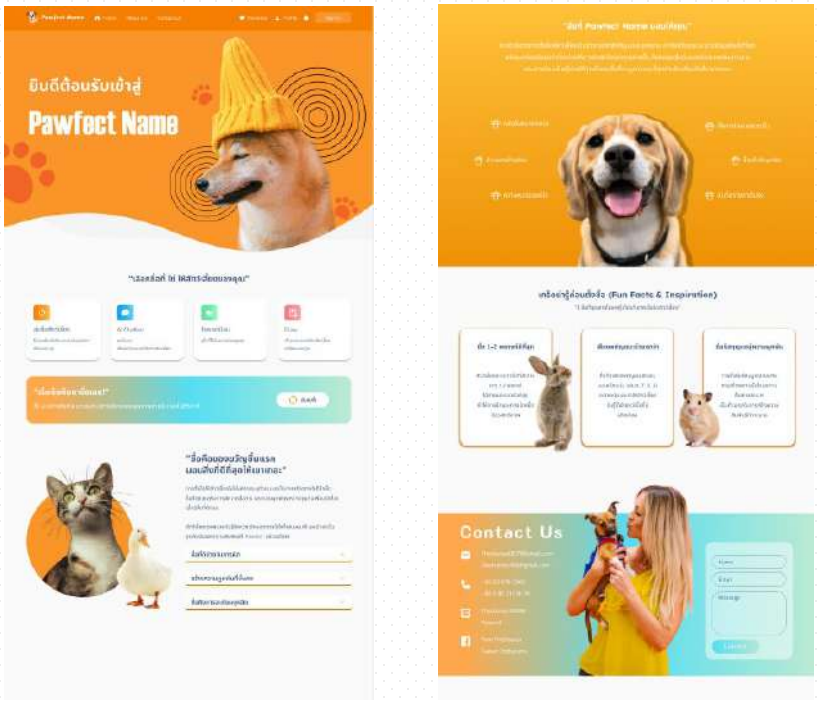
3.1 ผลการศึกษาข้อมูลปัจจัยการตั้งชื่อสัตว์เลี้ยง

ผลการศึกษาข้อมูลปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตั้งชื่อสัตว์เลี้ยง เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบฐานข้อมูลและพัฒนาระบบแนะนำชื่อสัตว์เลี้ยงด้วยปัญญาประดิษฐ์ในแอปพลิเคชัน Pawfect คณะผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 100 คน ด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างอย่างง่าย (Simple Random Sampling) ผ่านแบบสอบถามออนไลน์ ผลการศึกษาพบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เลี้ยงแมว (ร้อยละ 41.10) รองลงมาคือสุนัข (ร้อยละ 29.50) โดยส่วนใหญ่เลี้ยงสัตว์จำนวน 1–2 ตัวต่อครัวเรือน อีกทั้งสัตว์เลี้ยงเพศผู้มีสัดส่วนมากกว่าเพศเมียเล็กน้อย ข้อมูลดังกล่าวจึงถูกนำมาใช้เป็นแนวทางในการกำหนดตัวแปรนำเข้าสำหรับระบบ เพื่อให้สามารถรองรับประเภทสัตว์ เพศ และจำนวนสัตว์เลี้ยงได้อย่างเหมาะสม สำหรับปัจจัยที่ผู้ใช้นำมาใช้ในการตั้งชื่อสัตว์เลี้ยง พบว่า สีขนหรือรูปลักษณ์ภายนอก เป็นปัจจัยที่ได้รับความสำคัญมากที่สุด (ร้อยละ 67.70) รองลงมาคือ ลักษณะนิสัยหรือพฤติกรรม (ร้อยละ 45.80) และ เพศของสัตว์เลี้ยง (ร้อยละ 42.70) ขณะที่ความหมายของชื่อและภาษาที่ใช้ก็เป็นปัจจัยที่ได้รับความสำคัญในระดับใกล้เคียงกัน สะท้อนให้เห็นว่าการตั้งชื่อสัตว์เลี้ยงไม่ได้พิจารณาเพียงลักษณะภายนอกเท่านั้น แต่ยังคำนึงถึงบุคลิกและความหมายของชื่อร่วมด้วย นอกจากนี้ ผลการสำรวจยังพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ต้องการให้ระบบแนะนำชื่อที่มีลักษณะ น่ารัก จดจำง่าย และมีความหมายที่ดี รองลงมาคือชื่อแนวเท่หรือทันสมัย ข้อมูลดังกล่าวจึงถูกนำมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบ Prompt และกำหนดเงื่อนไขการทำงานของโมเดล Gemini เพื่อให้สามารถสร้างชื่อที่สอดคล้องกับข้อมูลของสัตว์เลี้ยงและตรงกับความต้องการของผู้ใช้งานมากที่สุด

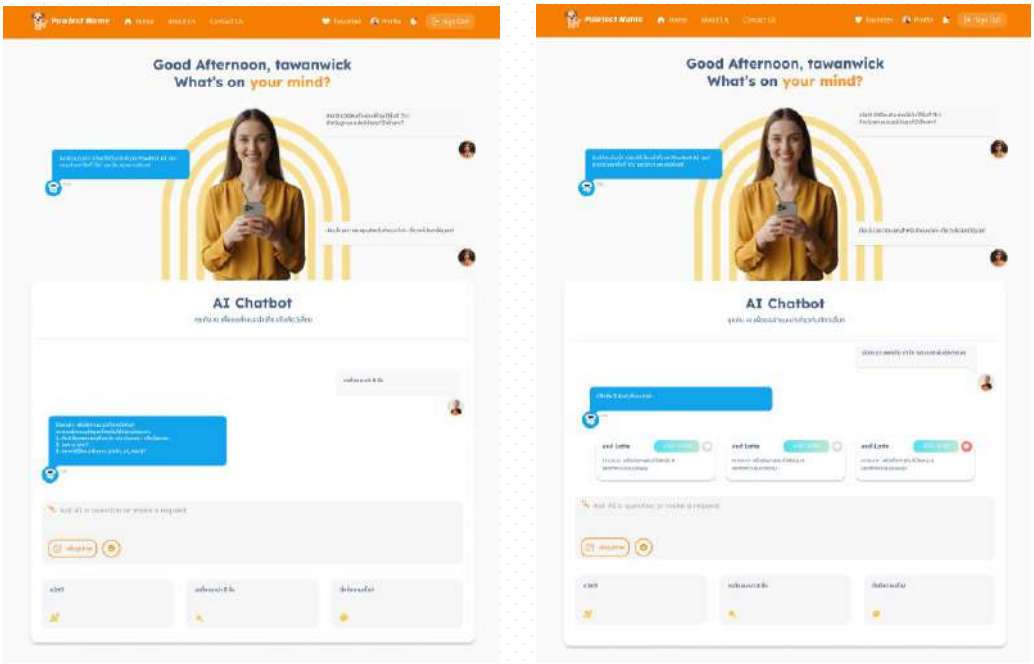
3.2 ผลการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน Pawfact

คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน Pawfect ตามผลการวิเคราะห์ความต้องการและการออกแบบระบบที่กำหนดไว้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบแนะนำชื่อสัตว์เลี้ยงด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ข้อมูลของสัตว์เลี้ยงและสร้างชื่อที่มีความเหมาะสม พร้อมแสดงความหมายของชื่อและคำแนะนำเบื้องต้นเกี่ยวกับการดูแลสัตว์เลี้ยง ระบบได้รับการพัฒนาในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน ประกอบด้วยฟังก์ชันการทำงานหลักจำนวน 10 ฟังก์ชัน ครอบคลุมการจัดการข้อมูลผู้ใช้งาน การจัดการข้อมูลสัตว์เลี้ยง การสร้างชื่อสัตว์เลี้ยงด้วยปัญญาประดิษฐ์ ระบบสนทนาอัตโนมัติ การบันทึกประวัติการใช้งาน และระบบสำหรับผู้ดูแล โดยเชื่อมต่อกับโมเดล Gemini ผ่าน Gemini API เพื่อประมวลผลข้อมูลที่ผู้ใช้งานระบุ ได้แก่ ประเภทสัตว์เลี้ยง เพศ สี ลักษณะเด่น บุคลิก และรูปแบบชื่อที่ต้องการ ด้วยเทคนิค Prompt Engineering ทำให้ระบบสามารถสร้างผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับบริบทของผู้ใช้งานได้อย่างเหมาะสม

จากการพัฒนา พบว่าระบบสามารถทำงานได้ครบถ้วนตามขอบเขตที่กำหนด สามารถเชื่อมต่อกับ Gemini API ได้อย่างถูกต้อง มีการรับส่งข้อมูลระหว่างส่วนหน้าบ้านและส่วนหลังบ้านได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบที่รองรับการนำไปใช้งานจริง โดยรายละเอียดของผลการพัฒนาในแต่ละฟังก์ชันแสดงดังภาพที่ 4 ถึงภาพที่ 5 ตามลำดับ



ภาพที่ 4 ผลลัพธ์ UI หน้าแรกของแอปพลิเคชัน (Home Page)

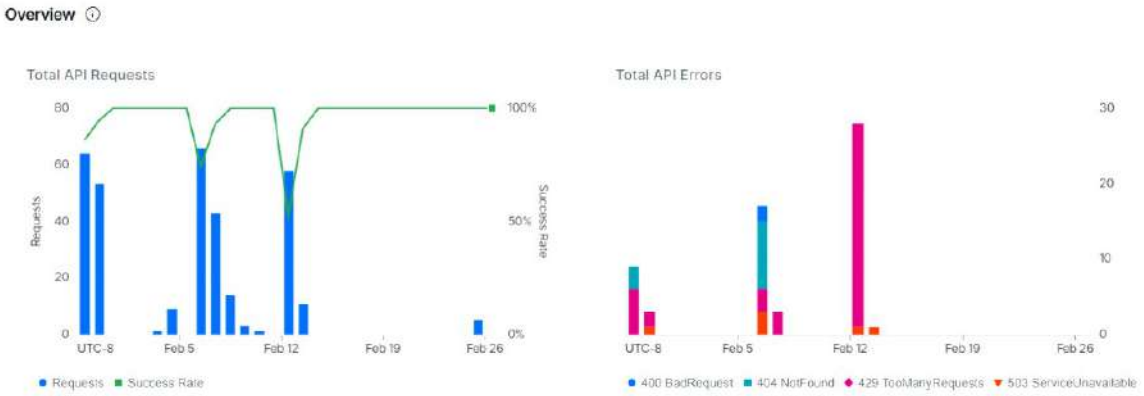


ภาพที่ 5 ผลลัพธ์ UI หน้า AI Chatbot กรณีร้องขอชื่อแนะนำ 3 ชื่อ

3.3 ผลประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

3.3.1 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของงานหลังบ้าน

ในส่วนนี้เป็นผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเทคนิคจากระบบหลังบ้านที่เชื่อมต่อกับ Gemini API เพื่อประเมินประสิทธิภาพการประมวลผล ความสามารถในการรองรับปริมาณคำขอ (Requests) และความเสถียรของระบบแอปพลิเคชัน Pawfect ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง โดยอัตราการประมวลผลโทเค็น (Input Tokens Analysis) กับการตรวจสอบปริมาณข้อมูลนำเข้าที่ส่งไปยังโมเดล Gemini 2.5 Flash Lite พบว่า มีการใช้โทเค็น (Tokens) ในปริมาณที่แตกต่างกันตามความซับซ้อนของคำสั่ง โดยช่วงที่มีการใช้งานสูงสุดมีปริมาณการประมวลผลสูงสุดประมาณ 18,000 โทเค็นต่อช่วงเวลา ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าโมเดลสามารถรองรับการประมวลผลคำสั่ง (Prompt) ที่มีความซับซ้อนและมีปริมาณข้อมูลสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังคงความเสถียรในการวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะของสัตว์เลี้ยงและสร้างผลลัพธ์อย่างต่อเนื่อง แม้ในช่วงที่มีภาระการประมวลผลเพิ่มขึ้น รายละเอียดผลการวิเคราะห์อัตราการประมวลผลโทเค็นแสดงดังภาพที่ 6



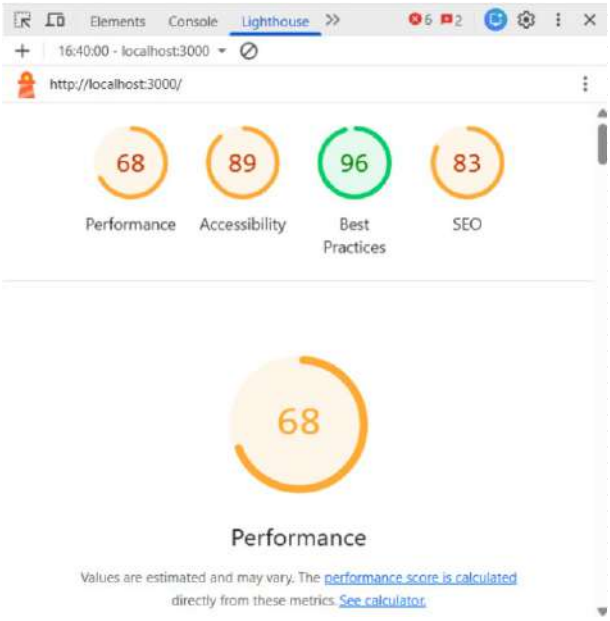
ภาพที่ 6 แผนภูมิผลการวิเคราะห์อัตราการประมวลผลโทเค็น

สำหรับผลการวิเคราะห์ความเสถียรและอัตราความสำเร็จของระบบ (Success Rate & Error Analysis) แสดงให้เห็นว่าแอปพลิเคชันสามารถรองรับการใช้งานพร้อมกัน (Concurrent Requests) ได้ในระดับสูง โดยมีอัตราความสำเร็จในการประมวลผลคำขออยู่ที่ ร้อยละ 100 ในช่วงเวลาส่วนใหญ่ของการทดสอบ และมีปริมาณคำขอสูงสุดประมาณ 60–70 ครั้งต่อช่วงเวลา อย่างไรก็ตามพบข้อผิดพลาดประเภท 429 Too Many Requests ในช่วงวันที่ 12 กุมภาพันธ์ ซึ่งเกิดจากการเรียกใช้งานเกินขีดจำกัดของโควตา (Quota Limit) ของบัญชีทดสอบ ขณะที่ข้อผิดพลาดประเภทอื่น เช่น 400 Bad Request และ 404 Not Found มีอัตราการเกิดต่ำมากและไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานโดยรวมของระบบ รายละเอียดผลการวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ 7

ภาพที่ 7 แผนภูมิผลการวิเคราะห์ความเสถียรและอัตราความสำเร็จของระบบ

3.3.2 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพส่วนหน้าเว็บ (Web Performance Analysis)

คณะผู้วิจัยได้ประเมินประสิทธิภาพของส่วนติดต่อผู้ใช้ (Frontend) ของเว็บแอปพลิเคชัน Pawfect โดยใช้เครื่องมือ Lighthouse Desktop รุ่น 10 ภายใน Google Chrome Developer Tools เพื่อวิเคราะห์คุณภาพของหน้าเว็บแอปพลิเคชันในด้านประสิทธิภาพ การเข้าถึง แนวปฏิบัติที่ดีในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน และการปรับแต่งสำหรับการค้นหาผ่านเครื่องมือค้นหา (SEO) ผลการประเมินแสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพหน้าเว็บแอปพลิเคชัน

ผลการทดสอบพบว่า ด้านประสิทธิภาพ (Performance) ได้คะแนน 68 คะแนน สะท้อนว่าหน้าเว็บแอปพลิเคชันสามารถทำงานได้ในระดับปานกลาง โดยยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้จากการลดขนาดไฟล์รูปภาพ การปรับปรุงการจัดเก็บข้อมูลแคช (Caching) และการเพิ่มประสิทธิภาพของการโหลดทรัพยากรต่าง ๆ ด้าน การเข้าถึง (Accessibility) ได้คะแนน 89 คะแนน แสดงให้เห็นว่าระบบได้รับการออกแบบให้รองรับการใช้งานของผู้ใช้ที่หลากหลาย ทั้งในด้านโครงสร้างของหน้าเว็บแอปพลิเคชัน การเลือกใช้สี และขนาดตัวอักษรที่เหมาะสม ส่งผลให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลได้อย่างสะดวก ในส่วนด้านแนวปฏิบัติที่ดี (Best Practices) ได้คะแนน 96 คะแนน ซึ่งเป็นคะแนนสูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าการพัฒนาระบบเป็นไปตามมาตรฐานการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันมีการรับส่งข้อมูลที่ปลอดภัย และมีการจัดการโครงสร้างของระบบอย่างเหมาะสม สำหรับด้านการปรับแต่งเพื่อการค้นหา (Search Engine Optimization: SEO) ได้คะแนน 83 คะแนน สะท้อนว่าระบบมีการกำหนดข้อมูล Metadata และโครงสร้างของหน้าเว็บแอปพลิเคชันที่เอื้อต่อการจัดทำดัชนีและการแสดงผลบนเครื่องมือค้นหา ช่วยเพิ่มโอกาสในการเข้าถึงเว็บแอปพลิเคชันของผู้ใช้งาน

ผลการวิจัยสอดคล้องกับการศึกษาของ Sahoo และคณะ [15] ซึ่งอธิบายว่า Prompt Engineering เป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของโมเดลภาษาขนาดใหญ่ในการสร้างผลลัพธ์ที่ตรงตามบริบทของข้อมูลนำเข้า และยังสอดคล้องกับการศึกษาของ White และคณะ [16] ที่เสนอว่าการกำหนดรูปแบบของ Prompt และ System Instruction อย่างเหมาะสม สามารถเพิ่มคุณภาพของระบบที่พัฒนาโดยใช้ LLM ได้ นอกจากนี้ ผลการประเมินด้านความพึงพอใจของผู้ใช้งานยังสอดคล้องกับงานของ Ahmad และคณะ [17] ที่พบว่าการออกแบบระบบและ API โดยอาศัยแนวทางมาตรฐานร่วมกับ AI สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานและประสบการณ์ของผู้ใช้ได้ อย่างไรก็ตาม ผลการประเมินด้านประสิทธิภาพของหน้าเว็บแอปพลิเคชันแสดงให้เห็นว่าสามารถพัฒนาเพิ่มเติมได้ ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพเว็บแอปพลิเคชันที่เสนอโดย Babii และคณะ [18] ที่ระบุว่าการเพิ่มประสิทธิภาพของทรัพยากร การจัดการแคช และการลดเวลาในการโหลดหน้าเว็บ มีผลต่อประสบการณ์ของผู้ใช้งานและประสิทธิภาพของระบบโดยรวม

3.4 ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

ภายหลังการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน Pawfect คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน เพื่อประเมินการใช้งานในด้านต่าง ๆ ได้แก่ การสมัครเข้าใช้งานและการเข้าถึงเว็บแอปพลิเคชัน ความสวยงามและความง่ายในการใช้งานของส่วนติดต่อผู้ใช้ (User Interface: UI) ความชัดเจนของขั้นตอนการกรอกข้อมูลสัตว์เลี้ยง ความเหมาะสมของผลการแนะนำชื่อสัตว์เลี้ยง และความพึงพอใจโดยรวมต่อระบบ ผลการประเมินพบว่า ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อแอปพลิเคชันในระดับสูง โดยมีค่าร้อยละเฉลี่ยของระดับความพึงพอใจในระดับมากที่สุด ($\overline{x}$ = 4.53, S.D. = 0.52) แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในด้านการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งานและการทำงานของระบบปัญญาประดิษฐ์ และมีทิศทางความคิดเห็นที่ค่อนข้างสอดคล้องกัน (ค่า S.D. ต่ำ) สะท้อนถึงความสม่ำเสมอของประสบการณ์การใช้งานในกลุ่มตัวอย่าง รายละเอียดผลการศึกษาความพึงพอใจดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

รายการประเมินความพึงพอใจ	($\overline{x}$)	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. การสมัครใช้งานและการเข้าถึง	4.30	0.62	มาก
2. อินเทอร์เฟซสวยงามและเข้าใจง่าย	4.43	0.58	มาก
3. ขั้นตอนกรอกข้อมูลสัตว์เลี้ยงชัดเจน	4.56	0.51	มากที่สุด
4. ผลแนะนำชื่อมีความเหมาะสม	4.60	0.49	มากที่สุด
5. ความพึงพอใจในภาพรวมของระบบ	4.76	0.42	มากที่สุด
ค่าร้อยละเฉลี่ยรวมทุกด้าน	**4.53**	**0.52**	**มากที่สุด**

เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่าด้านที่ได้รับคะแนนสูงที่สุดคือ ความพึงพอใจในภาพรวมของระบบ ($\overline{x}$ = 4.76, S.D. = 0.42) รองลงมาคือ ผลการแนะนำชื่อมีความเหมาะสม ($\overline{x}$ = 4.60, S.D. = 0.49) และ ขั้นตอนการกรอกข้อมูลสัตว์เลี้ยงมีความชัดเจน ($\overline{x}$ = 4.56, S.D. = 0.51) ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าฟังก์ชันหลักของระบบ โดยเฉพาะการประมวลผลด้วยปัญญาประดิษฐ์ Gemini และการออกแบบกระบวนการรับข้อมูล มีความถูกต้อง เหมาะสม และสามารถตอบโจทย์ผู้ใช้งานได้เป็นอย่างดี ในด้าน อินเทอร์เฟซที่สวยงามและเข้าใจง่าย ($\overline{x}$ = 4.43, S.D. = 0.58) และ การสมัครใช้งานและการเข้าถึงระบบ ($\overline{x}$ = 4.30, S.D. = 0.62) แม้จะอยู่ในระดับมาก แต่ยังมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าด้านอื่นเล็กน้อย ซึ่งอาจสะท้อนถึงความจำเป็นในการปรับปรุงขั้นตอนการเริ่มต้นใช้งาน (Onboarding Process) และการลดความซับซ้อนของการเข้าถึงระบบเพื่อเพิ่มประสบการณ์ผู้ใช้ให้ดียิ่งขึ้นในอนาคต

4. บทสรุป

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน Pawfect สำหรับการแนะนำชื่อสัตว์เลี้ยงโดยประยุกต์ใช้โมเดลปัญญาประดิษฐ์ Gemini ร่วมกับเทคนิค Prompt Engineering ผลการศึกษาและพัฒนาระบบแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถทำงานได้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด โดยสามารถนำปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสัตว์เลี้ยง ได้แก่ สีหรือรูปลักษณ์ภายนอก ลักษณะนิสัย เพศ และความหมายของชื่อ มาใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในการประมวลผล ส่งผลให้ระบบสามารถสร้างชื่อที่มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากผลการทดสอบ พบว่าการประยุกต์ใช้ Prompt Engineering ร่วมกับโมเดล Gemini มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความแม่นยำและความสอดคล้องของผลลัพธ์ที่ได้ โดยระบบสามารถตีความข้อมูลนำเข้าและสร้างชื่อสัตว์เลี้ยงที่มีความหมายเหมาะสม อีกทั้งยังสามารถให้คำอธิบายความหมายของชื่อและคำแนะนำเบื้องต้นเกี่ยวกับการดูแลสัตว์เลี้ยงได้อย่างเป็นระบบ นอกจากนี้ ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบหลังบ้านสะท้อนให้เห็นถึงความเสถียรในการทำงานในระดับสูง โดยมีอัตราความสำเร็จในการประมวลผลคำขออยู่ในระดับเกือบสมบูรณ์ แม้ว่าจะพบข้อผิดพลาดประเภท 429 Too Many Requests เป็นบางช่วงเวลา ซึ่งเกิดจากข้อจำกัดของโควตาการใช้งาน API ภายนอก มิได้เกิดจากข้อบกพร่องของระบบโดยตรง สำหรับผลการประเมินคุณภาพของระบบในด้านการใช้งานจริง พบว่าคะแนนจากเครื่องมือ Lighthouse อยู่ใน ระดับดี โดยด้าน Best Practices มีคะแนนสูงถึง 96 คะแนน ด้าน Accessibility 89 คะแนน และด้าน SEO 83 คะแนน แสดงให้เห็นว่าระบบมีความสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาเว็บ

ที่ดีมีความปลอดภัย และรองรับการเข้าถึงของผู้ใช้งานได้เหมาะสม อย่างไรก็ตาม ด้าน Performance มีคะแนน 68 คะแนน ซึ่งสะท้อนถึงข้อจำกัดด้านการจัดการทรัพยากรและการโหลดข้อมูลที่ยังสามารถปรับปรุงได้เพิ่มเติม โดยเฉพาะในด้านการเพิ่มประสิทธิภาพการโหลดทรัพยากรและการจัดการแคชของระบบ ในส่วนของการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน พบว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{x}$ = 4.53, S.D. = 0.52) ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ร่วมกับการประยุกต์ใช้เทคนิค Prompt Engineering สามารถยกระดับประสบการณ์ผู้ใช้งานและเพิ่มความตรงตามความต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

โดยสรุป ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าการบูรณาการเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เข้ากับการออกแบบระบบเว็บแอปพลิเคชันสามารถสร้างระบบที่มีประสิทธิภาพ ใช้งานได้จริง และตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้ในระดับสูง แม้ยังมีข้อจำกัดบางประการที่ควรได้รับการพัฒนาเพิ่มเติมในอนาคต โดยเฉพาะด้านประสิทธิภาพการทำงานและข้อจำกัดของ API ภายนอก ซึ่งหากได้รับการปรับปรุงจะช่วยยกระดับคุณภาพของระบบให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีหน่วยงานต้นสังกัดของคณะผู้วิจัย ที่ให้การสนับสนุนในการดำเนินงานวิจัย และเป็นหน่วยงานจัดการประชุมวิชาการ และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการนำเสนอบทความในงานประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 9 ในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Barina-Silvestri, M., Díaz-Videla, M. A., & Delgado-Rodríguez, R. (2024). Pet parenting: A systematic review of its characteristics and effects on companion dogs. *Journal of Veterinary Behavior, 73*, 1–10.

[2] Xie, Z., Cao, S., Liu, Z., Ye, Z., Niu, Z., Lu, C., Xu, T., Chen, E., Xu, Z., Hu, Y., & Lu, W. (2025). iPET: An interactive emotional companion dialogue system with LLM-powered virtual pet world simulation. In *Proceedings of the 63rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: System Demonstrations* (pp. 416–425). Association for Computational Linguistics. https://doi.org/10.18653/v1/2025.acl-demo.40

[3] Chen, L. N. H. (2017). Pet-naming practices in Taiwan. *Names: A Journal of Onomastics, 65*(3),173–182.

[4] Brown, T. B., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J., Dhariwal, P., Neelakantan, A., Shyam, P., Sastry, G., Askell, A., Agarwal, S., Herbert-Voss, A., Krueger, G., Henighan, T., Child, R., Ramesh, A., Ziegler, D. M., Wu, J., Winter, C., Hesse, C., Chen, M., Sigler, E., Litwin, M., Gray, S., Chess, B., Clark, J., Berner, C., McCandlish, S., Radford, A., Sutskever, I., & Amodei, D. (2020). Language models are few-shot learners. In *Advances in Neural Information Processing Systems* (Vol. 33). https://proceedings.neurips.cc/paper/2020/hash/1457c0d6bfcb4967418bfb8ac142f64a-Abstract.html

[5] Zhao, W. X., Zhou, K., Li, J., Tang, T., Wang, X., Hou, Y., et al. (2023). *A survey of large language models*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2303.18223

[6] OpenAI. (2023). *GPT-4 technical report*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2303.08774

[7] Reynolds, L., & McDonell, K. (2021). *Prompt programming for large language models: Beyond the few-shot paradigm*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2102.07350

[8] Bubeck, S., Chandrasekaran, V., Eldan, R., Gehrke, J., Horvitz, E., Kamar, E., et al. (2023). *Sparks of artificial general intelligence: Early experiments with GPT-4*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2303.12712

[9] Pressman, R. S., & Maxim, B. R. (2020). *Software engineering: A practitioner's approach* (9th ed.). McGraw-Hill.

[10] Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approach* (5th ed.). Sage Publications.

[11] Field, A. (2018). *Discovering statistics using IBM SPSS Statistics* (5th ed.). Sage Publications.

[12] Sabolek, I., & Jović, A. (2026). The expanding role of artificial intelligence in companion animal care: A systematic review. *Animals, 16*(7), 1035. https://doi.org/10.3390/ani16071035

[13] Ahmad, M., Macvean, A., Karger, D. R., & Ma, K.-L. (2024). AI-enhanced API design: A new paradigm in usability and efficiency. In *Extended Abstracts of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '24)*. Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/3613905.3650912

[14] Google Chrome Developers. (2019, September 19). *Lighthouse performance scoring*. https://developer.chrome.com/docs/lighthouse/performance/performance-scoring

[15] Sahoo, P., Singh, A. K., Saha, S., Jain, V., Mondal, S., & Chadha, A. (2024). *A systematic survey of prompt engineering in large language models: Techniques and applications*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2402.07927

[16] White, J., Hays, S., Fu, Q., Spencer-Smith, J., & Schmidt, D. C. (2023). *ChatGPT prompt patterns for improving code quality, refactoring, requirements elicitation, and software design*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2303.07839

[17] Arshad, M. F., Ahmed, F., Nonnis, F., Tamponi, C., Scala, A., & Varcasia, A. (2025). Artificial intelligence and companion animals: Perspectives on digital healthcare for dogs, cats, and pet ownership. *Research in Veterinary Science, 193*, 105776. https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2025.105776

[18] Babii, K., Afanasieva, T., & Onishchenko, S. (2026). Web application performance engineering using Gemini AI. *IEEE Access*. Advance online publication. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2026.3687193

ระบบตรวจจับการแต่งกายของนักศึกษาด้วยการเรียนรู้เชิงลึก
Student Attire Detection System Using Deep Learning

กิตติพล เพลิ้งจันทร์[1] ภูชนะ สุวิภาส[1] และ วีรวรรณ จันทนะทรัพย์[1*]

[1]สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
*E-mail: veerawan.j@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบตรวจจับการแต่งกายนักศึกษาตามระเบียบของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกด้านการตรวจจับวัตถุ (Object Detection) และพัฒนาเป็นระบบต้นแบบในรูปแบบโมบายเว็บแอปพลิเคชัน ชุดข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยภาพการแต่งกายนักศึกษาที่ถูกต้องและไม่ถูกต้องตามระเบียบ จำนวน 4,838 ภาพ ซึ่งผ่านกระบวนการกำหนดป้ายกำกับข้อมูล (Annotation) และปรับขนาดภาพเป็น 640 × 640 พิกเซล ก่อนนำไปใช้ในการฝึกสอนแบบจำลอง การศึกษานี้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดล YOLOv8 และ Faster R-CNN โดยประเมินผลด้วยค่าเฉลี่ยความแม่นยำเฉลี่ย (Mean Average Precision: mAP) ที่เกณฑ์ mAP@0.50 และค่าความเร็วในการประมวลผลในหน่วยจำนวนเฟรมต่อวินาที (Frames Per Second: FPS) ผลการทดลองพบว่าแบบจำลอง YOLOv8 มีประสิทธิภาพเหนือกว่า Faster R-CNN ทั้งในด้านความแม่นยำและความเร็วในการประมวลผล โดยมีค่า mAP@0.50 เท่ากับ 0.904 และมีความเร็วในการประมวลผล 80 FPS ขณะที่แบบจำลอง Faster R-CNN มีค่า mAP@0.50 เท่ากับ 0.880 และมีความเร็วในการประมวลผล 9 FPS ส่งผลให้ YOLOv8 สามารถรองรับการทำงานแบบเรียลไทม์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานจำนวน 10 คน พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.63 ที่ระดับมากที่สุด

คำสำคัญ: การเรียนรู้เชิงลึก การตรวจจับวัตถุ YOLOv8 Faster R-CNN

Abstract

This research aims to develop a student uniform compliance detection system based on the dress code regulations of Rajamangala University of Technology Phra Nakhon by applying deep learning techniques for object detection and implementing the system as a mobile web application prototype. The dataset used in this study consists of 4,838 images of students wearing both compliant and non-compliant uniforms. The images were annotated and resized to 640 × 640 pixels before being used for model training. This study compares the performance of the YOLOv8 and Faster R-CNN models using Mean Average Precision (mAP@0.50) and Frames Per Second (FPS) as evaluation metrics for detection accuracy and processing speed, respectively. The experimental results reveal that the YOLOv8 model outperformed the Faster R-CNN model in terms of both detection accuracy and processing speed. YOLOv8 achieved an mAP@0.50 of 0.904 with an inference speed of 80 FPS, whereas Faster R-CNN achieved an mAP@0.50 of 0.880 with an inference speed of 9 FPS, demonstrating that YOLOv8 is capable of real-time object detection. Furthermore, the user satisfaction evaluation involving 10 participants yielded an average score of 4.63, indicating the highest level of satisfaction.

Keywords: Deep Learning, Object Detection, YOLOv8, Faster R-CNN

1. บทนำ

การแต่งกายของนักศึกษาเป็นปัจจัยสำคัญที่สะท้อนถึงระเบียบวินัย ความเป็นระเบียบเรียบร้อย และภาพลักษณ์ของสถาบันอุดมศึกษา มหาวิทยาลัยจึงกำหนดระเบียบการแต่งกายอย่างชัดเจนเพื่อส่งเสริมความสุภาพ ความเหมาะสม และความเป็นเอกลักษณ์ของนักศึกษา อย่างไรก็ตาม ยังคงพบปัญหาการแต่งกายที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด เช่น การไม่สวมเนคไท การสวมเครื่องแต่งกายที่ไม่ถูกต้องตามรูปแบบที่กำหนด หรือการสวมรองเท้าที่ไม่เหมาะสม ซึ่งส่งผลต่อภาพลักษณ์และความเป็นระเบียบของสถาบัน ปัจจุบัน การตรวจสอบการแต่งกายนักศึกษายังคงอาศัยบุคลากรของมหาวิทยาลัย เช่น อาจารย์ผู้สอนและเจ้าหน้าที่ฝ่ายกิจการนักศึกษา กระบวนการดังกล่าวมีข้อจำกัดด้านความรวดเร็ว ความสม่ำเสมอ และความเป็นมาตรฐาน เนื่องจากต้องอาศัยดุลยพินิจของผู้ตรวจสอบ ทำให้ผลการพิจารณาอาจแตกต่างกันในแต่ละบุคคล ดังนั้น การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเพื่อสนับสนุนการตรวจสอบจึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจในการเพิ่มประสิทธิภาพและลดข้อจำกัดของกระบวนการดังกล่าว

ในช่วงที่ผ่านมา เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) โดยเฉพาะศาสตร์ด้านคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) และการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้งานตรวจจับวัตถุ (Object Detection) มีความแม่นยำและสามารถประมวลผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ แบบจำลองที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ได้แก่ YOLO (You Only Look Once) ซึ่งเป็นแบบจำลองประเภท One-stage Detector ที่สามารถระบุตำแหน่งและจำแนกประเภทวัตถุได้ภายในขั้นตอนเดียว จึงเหมาะสำหรับงานที่ต้องการประมวลผลแบบเรียลไทม์ [1-3] ขณะที่ Faster R-CNN เป็นแบบจำลองประเภท Two-stage Detector ที่แยกขั้นตอนการค้นหาวัตถุและการจำแนกประเภทออกจากกัน ส่งผลให้มีความแม่นยำสูง โดยเฉพาะในกรณีที่วัตถุมีลักษณะซับซ้อน [2] แม้ว่างานตรวจจับวัตถุจะถูกนำไปประยุกต์ใช้ในหลากหลายด้าน เช่น การตรวจจับการสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (Personal Protective Equipment: PPE) และระบบเฝ้าระวังด้านความปลอดภัย [4] แต่การประยุกต์ใช้เพื่อการตรวจสอบการแต่งกายนักศึกษาในบริบทของสถาบันอุดมศึกษาไทยยังมีการศึกษาอย่างจำกัด โดยเฉพาะการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองประเภท One-stage และ Two-stage บนชุดข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเครื่องแต่งกายนักศึกษาโดยตรง ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาระบบตรวจจับการแต่งกายนักศึกษาตามระเบียบการแต่งกายของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร [5] โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง YOLOv8 และ Faster R-CNN บนชุดข้อมูลที่จัดทำขึ้นสำหรับกรณีศึกษาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ผลการประเมินใช้ตัวชี้วัดมาตรฐาน ได้แก่ mAP@0.5, mAP@0.5:0.95, Precision และ Recall รวมถึงพิจารณาความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้จริงผ่านระบบต้นแบบในรูปแบบโมบายเว็บแอปพลิเคชัน

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงพัฒนา (Research and Development) มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบตรวจจับการแต่งกายนักศึกษาตามระเบียบของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกด้านการตรวจจับวัตถุ เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างโมเดล YOLOv8 และ Faster R-CNN และนำโมเดลที่มีประสิทธิภาพสูงสุดมาพัฒนาเป็นต้นแบบโมบายเว็บแอปพลิเคชัน การดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย 5 ขั้นตอน รายละเอียดดังนี้

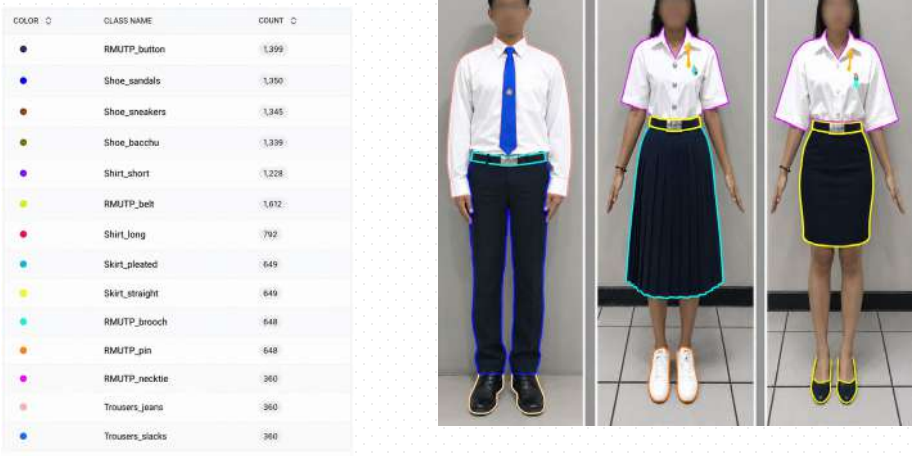
2.1 การจัดเตรียมข้อมูล

2.1.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Collection)

คณะผู้วิจัยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลภาพถ่ายดิบ (Raw Images) จากสภาพแวดล้อมจริง (In-the-wild) ภายในสถาบันการศึกษา โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 หมวดหมู่ ได้แก่ หมวดการแต่งกายถูกต้องตามระเบียบทั่วไป จำนวน 1,071 ภาพ หมวดการแต่งกายถูกต้องตามระเบียบพิธีการ จำนวน 33 ภาพ เนื่องจากเป็นลักษณะการแต่งกายที่พบเฉพาะในกิจกรรมหรือพิธีการของมหาวิทยาลัยซึ่งจัดขึ้นเป็นครั้งคราว ต่างจากการแต่งกายนักศึกษาทั่วไปที่สามารถเก็บข้อมูลได้ตลอดภาคการศึกษา จึงทำให้จำนวนข้อมูลของคลาสนี้มีน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ และหมวดการแต่งกายไม่ถูกต้องตามระเบียบ จำนวน 912 ภาพ รวมจำนวนไฟล์ภาพทั้งสิ้น 2,016 ไฟล์ ข้อมูลภาพทั้งหมดถูกบันทึกโดยใช้อุปกรณ์ iPhone 11 ในรูปแบบภาพสี (RGB) ที่ขนาดภาพ 3,024 × 4,032 พิกเซล ทั้งนี้เนื่องจากเป็นสมาร์ตโฟนที่มีกล้องความละเอียด 12 ล้านพิกเซล สามารถบันทึกภาพได้ในคุณภาพที่เพียงพอสำหรับงานตรวจจับวัตถุ และเป็นอุปกรณ์ที่ผู้วิจัยสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องตลอดการเก็บข้อมูล

2.1.2 การติดป้ายกำกับวัตถุ (Polygon Labeling and Annotation)

ในการติดป้ายกำกับข้อมูล คณะผู้วิจัยใช้เทคนิค Polygon Annotation ผ่านแพลตฟอร์ม Roboflow เพื่อให้ได้ความละเอียดระดับพิกเซล (Pixel Level Annotation) ซึ่งมีความแม่นยำสูง และช่วยลดผลกระทบจากพื้นหลังเมื่อเทียบกับการใช้ Bounding Box แบบดั้งเดิม โดยกำหนดป้ายกำกับ (Labels) ครอบคลุมเครื่องแต่งกายทั้งหมด 14 คลาส รายละเอียดคลาสเครื่องแต่งกายของนักศึกษา มทร.พระนคร และตัวอย่างการแบ่งส่วนภาพเครื่องแต่งกายบนเครื่องมือ Roboflow ดังภาพที่ 1



กำหนดป้ายสีกำกับเครื่องแต่งกายบนแพลตฟอร์ม *การแยกแยะวัตถุเป้าหมายและการกำหนดป้ายกำกับ*

ภาพที่ 1 ตัวอย่าง UI ของ Roboflow ในการกำหนดป้ายกำกับ (Class) ของงานวิจัย

2.1.3 การแบ่งชุดข้อมูลเพื่อการประเมินผล (Data Splitting)

เพื่อเพิ่มความสามารถของแบบจำลอง (Generalization) และลดความเสี่ยงของการเกิดปัญหา Overfitting ได้ดำเนินการเพิ่มจำนวนข้อมูลด้วยเทคนิคการเพิ่มข้อมูล (Data Augmentation) ก่อนการแบ่งชุดข้อมูล ส่งผลให้ชุดข้อมูลมีจำนวนรวมทั้งสิ้น 4,838 ภาพ จากนั้นดำเนินการแบ่งชุดข้อมูลโดยใช้ระบบ Roboflow Dataset Versioning System ซึ่งช่วยในการจัดการและสุ่มแบ่งข้อมูลอย่างเป็นระบบ เพื่อให้ข้อมูลแต่ละชุดมีความเหมาะสมสำหรับการพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย (1) ชุดข้อมูลสำหรับฝึกสอนแบบจำลอง (Training Set) ใช้สำหรับให้แบบจำลองเรียนรู้ลักษณะและคุณลักษณะของวัตถุภายในภาพ จำนวน 4,233 ภาพ คิดเป็นร้อยละ 87.50 (2) ชุดข้อมูลสำหรับตรวจสอบความถูกต้อง (Validation Set) ใช้สำหรับติดตามผลการเรียนรู้ ปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ และประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองในระหว่างกระบวนการฝึกสอน จำนวน 404 ภาพ คิดเป็นร้อยละ 8.35 และ (3) ชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ (Test Set) ใช้สำหรับประเมินประสิทธิภาพขั้นสุดท้ายของแบบจำลอง โดยเป็นข้อมูลที่ไม่เคยถูกนำมาใช้ในกระบวนการฝึกสอนหรือการตรวจสอบความถูกต้องมาก่อน จำนวน 201 ภาพ คิดเป็นร้อยละ 4.15

2.2 การพัฒนาแบบจำลอง (Model Development)

ในการดำเนินงานวิจัยนี้ ได้ทำการพัฒนาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองตรวจจับวัตถุจำนวน 2 สถาปัตยกรรม เพื่อคัดเลือกแนวทางที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการตรวจจับเครื่องแต่งกายนักศึกษา โดยพิจารณาจากความแม่นยำในการตรวจจับ ความสามารถในการจำแนกวัตถุ และประสิทธิภาพในการประมวลผลเชิงเวลาจริง (Real-Time Processing) รายละเอียดขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองมีดังนี้

2.2.1 การพัฒนาแบบจำลอง YOLOv8

YOLOv8 (You Only Look Once Version 8) เป็นสถาปัตยกรรมการตรวจจับวัตถุแบบ One-Stage Detector ที่ได้รับการพัฒนาโดย Ultralytics โดยมีจุดเด่นด้านความเร็วในการประมวลผลและความแม่นยำในการตรวจจับวัตถุ สามารถดำเนินการระบุตำแหน่งและจำแนกประเภทวัตถุได้ภายในขั้นตอนเดียว ส่งผลให้เหมาะสมสำหรับงานตรวจจับวัตถุแบบเวลาจริง (Real-Time Object Detection) [6] การวิจัยในครั้งนี้กำหนดฟังก์ชันความสูญเสีย (Loss Function) แบบจำลอง YOLOv8 ด้วยกลไกการคำนวณความสูญเสียหลายส่วนร่วมกัน ประกอบด้วย Varifocal Loss (VFL) สำหรับการจำแนก

ประเภทวัตถุ Distribution Focal Loss (DFL) สำหรับการประมาณตำแหน่งกรอบวัตถุ และ Complete Intersection over Union (CIoU) สำหรับวัดความสอดคล้องระหว่างกรอบวัตถุจริงกับกรอบที่แบบจำลองทำนาย [7-9] ฟังก์ชันความสูญเสียรวมสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (1)

$$L_{Total} = L_{VFL} + L_{DFL} + L_{CIoU} \tag{1}$$

โดยที่ L_{VFL} คือ ค่าความสูญเสียสำหรับการจำแนกประเภทวัตถุ
L_{DFL} คือ ค่าความสูญเสียสำหรับการประมาณตำแหน่งกรอบวัตถุ
L_{CIoU} คือ ค่าความสูญเสียสำหรับการวัดความคลาดเคลื่อนของกรอบวัตถุ

การพัฒนาแบบจำลองดำเนินการด้วยภาษา Python บน Google Colaboratory โดยใช้ NVIDIA Tesla T4 GPU และไลบรารี Ultralytics YOLOv8 สำหรับการสร้าง ฝึกสอน และประเมินผลแบบจำลองตรวจจับวัตถุ [6]

2.2.2 การพัฒนาแบบจำลอง Faster R-CNN (Two-Stage Detector)

งานวิจัยนี้พัฒนาแบบจำลอง Faster R-CNN (Faster Region-based Convolutional Neural Network) ซึ่งเป็นสถาปัตยกรรมตรวจจับวัตถุแบบ Two-Stage Detector ที่มีความแม่นยำสูงในการระบุตำแหน่งและจำแนกประเภทวัตถุ โดยเฉพาะวัตถุขนาดเล็ก [10] แบบจำลองประกอบด้วย Region Proposal Network (RPN) สำหรับสร้างบริเวณที่คาดว่าเป็นวัตถุ และ Fast R-CNN Head สำหรับจำแนกประเภทและปรับตำแหน่งกรอบวัตถุ โดยเลือกใช้ ResNet-50 ร่วมกับ Feature Pyramid Network (FPN) เป็น Backbone Network เพื่อสกัดคุณลักษณะของวัตถุหลายระดับความละเอียดและรองรับการตรวจจับวัตถุที่มีขนาดแตกต่างกัน [11-13] การฝึกสอนกำหนดค่า Learning Rate เริ่มต้นเท่ากับ 0.005 ใช้ตัวปรับเหมาะแบบ Stochastic Gradient Descent (SGD) ร่วมกับ Momentum = 0.937, Batch Size = 2, Epoch = 120 และประยุกต์ใช้ Early Stopping (Patience = 10) ร่วมกับ Cosine Annealing Learning Rate Scheduler เพื่อป้องกันการเรียนรู้เกินพอดี และช่วยให้แบบจำลองลู่เข้าสู่ค่าที่เหมาะสม [14-16] นิยามดังสมการที่ (2)

$$\eta_t = \eta_{min} + \frac{1}{2}(\eta_{max} - \eta_{min})\left(1 + cos\left(\frac{t}{T}\pi\right)\right) \tag{2}$$

โดยที่ η_t คือ อัตราการเรียนรู้ (Learning Rate) ณ รอบการฝึกสอนที่ t
η_{max} คือ อัตราการเรียนรู้เริ่มต้น (Initial Learning Rate)
η_{min} คือ อัตราการเรียนรู้ต่ำสุด (Minimum Learning Rate)
t คือ รอบการฝึกสอนปัจจุบัน (Current Epoch)
T คือ จำนวนรอบการฝึกสอนทั้งหมด (Total Epochs)

นอกจากนี้ งานวิจัยได้ประยุกต์ใช้เทคนิค Multi-scale Training โดยการสุ่มปรับขนาดภาพระหว่างการฝึกสอน เพื่อให้แบบจำลองเรียนรู้คุณลักษณะของวัตถุในหลายระดับความละเอียดและเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจจับวัตถุที่มีขนาดแตกต่างกัน [13] สำหรับฟังก์ชันความสูญเสีย (Loss Function) ของ Faster R-CNN ใช้การเรียนรู้แบบหลายภารกิจ (Multi-task Learning) ซึ่งประกอบด้วยการจำแนกประเภทวัตถุ (Classification) และการปรับตำแหน่งกรอบวัตถุ (Bounding Box Regression) พร้อมกัน [12] โดยฟังก์ชันความสูญเสียรวมของแบบจำลองแสดงดังสมการ (3)

$$L(p_i, t_i) = \frac{1}{N_{cls}} \sum L_{cls}(p_i, p_i^*) + \lambda \frac{1}{N_{reg}} \sum_i p_i^* L_{reg}(t_i, t_i^*) \tag{3}$$

โดยที่ $L(p_i, t_i)$ คือ ค่าความสูญเสียรวม (Multi-task Loss)

L_{cls} คือ ค่าความสูญเสียด้านการจำแนกประเภทวัตถุ (Classification Loss)

L_{reg} คือ ค่าความสูญเสียจากการปรับตำแหน่งกรอบวัตถุ (Bounding Box Regression Loss)

p_i, p_i^* คือ ค่าความน่าจะเป็นที่แบบจำลองทำนายสำหรับ Anchor ลำดับ i และป้ายกำกับจริง

t_i, t_i^* คือ พิกัดกรอบวัตถุที่แบบจำลองทำนาย และพิกัดกรอบวัตถุจริง

N_{cls} คือ จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการคำนวณ Classification Loss

N_{reg} คือ จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการคำนวณ Regression Loss

λ คือ ค่าถ่วงน้ำหนักระหว่าง Classification Loss และ Regression Loss

สำหรับค่าความสูญเสียในการปรับตำแหน่งกรอบวัตถุ (Bounding Box Regression Loss) [12] คำนวณด้วยสูตรดังสมการที่ (4)

$$f(x) = \frac{1}{2}x^2(1 - H(|x\ |-1)) + \left(|x\ |-\frac{1}{2}\right)H(|x\ |-1) \tag{4}$$

โดยที่ $H(|x\ |-1) = 0$ *when* $|x\ | \ 1$ และ $H(|x\ |-1) = 1$ *when* $|x \geq 1$

งานวิจัยนี้พัฒนาแบบจำลองด้วยภาษา Python 3.10 บนโปรแกรม Visual Studio Code (VS Code) โดยใช้ไลบรารี PyTorch และ Torchvision สำหรับการสร้าง ฝึกสอน และประเมินผลแบบจำลอง Faster R-CNN พร้อมเลือกใช้แบบจำลอง Faster R-CNN ResNet-50 FPN ที่ผ่านการฝึกสอนล่วงหน้าจากชุดข้อมูล COCO Dataset เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้และลดระยะเวลาในการฝึกสอน [17] รายละเอียดพารามิเตอร์และสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง YOLOv8 และ Faster R-CNN กำหนดตามค่ามาตรฐานที่เหมาะสมของแต่ละแบบจำลอง เพื่อให้สอดคล้องกับสถาปัตยกรรมการเรียนรู้ที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของโมเดล

Parameter	YOLOv8n	Faster R-CNN
Number of Parameters	3.2 Million	25.6 Million
Model Size	6.2 MB.	158.4 MB.
Backbone Network	C2f-based CNN	ResNet-50
Feature Pyramid Network	FPN	FPN
Number of Classes	14	14
Input Image Size	640 × 640 พิกเซล	640 × 640 พิกเซล
Batch Size	8	2
Epochs	30–150	120
Optimizer	AdamW	SGD
Initial Learning Rate	0.001	0.005
Learning Rate Scheduler	Cosine Annealing	Cosine Annealing
Weight Decay	0.0005	0.0005
Momentum	0.937	0.937
Early Stopping (Patience)	Patience = 20 epochs	Patience = 10 epochs
Confidence Threshold	0.25	0.25
Intersection over Union	0.70	0.70
Data Augmentation	Mosaic Augmentation	Multi-scale Training
Framework	Ultralytics YOLOv8	-
Pre-trained Weights	-	COCO Dataset
Deep Learning Framework	PyTorch	PyTorch, Torchvision

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของโมเดล (ต่อ)

Parameter	YOLOv8n	Faster R-CNN
Programming Language	Python 3.10	Python 3.10
Development Environment	Google Collaboratory	Visual Studio Code
Dataset Management Platform	Roboflow	Roboflow
Graphics Processing Unit (GPU)	NVIDIA Tesla T4 (16 GB VRAM)	NVIDIA Tesla T4 (16 GB VRAM)

หมายเหตุ: ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวได้รับการกำหนดจากการทดลองเบื้องต้นและแนวปฏิบัติที่แนะนำสำหรับการฝึกสอนแบบจำลอง YOLOv8 เพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างความแม่นยำในการตรวจจับและประสิทธิภาพในการประมวลผล [6], [18]

2.3 การประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองตรวจจับวัตถุ (Object Detection) ใช้ตัวชี้วัดที่ครอบคลุมทั้งความถูกต้องในการจำแนกประเภท ความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง และประสิทธิภาพในการตรวจจับ โดยพิจารณาจากค่า Precision, Recall, F1-Score และ Mean Average Precision (mAP) เพื่อสะท้อนประสิทธิภาพของแบบจำลองในมิติต่าง ๆ

1) ค่าความแม่นยำ อัตราการเรียกคืน และ F1-Score

ค่าความแม่นยำ (Precision) และอัตราการเรียกคืน หรืออัตราการตรวจพบ (Recall) และ F1-Score ถูกใช้เพื่อประเมินความสามารถของแบบจำลองในการตรวจจับวัตถุอย่างถูกต้อง โดยค่า F1-Score เป็นค่าที่ใช้วัดความสมดุลระหว่างค่า Precision และค่า Recall โดยค่าประสิทธิภาพเหล่านี้นิยามการทำงานดังสมการที่ (5)–(7) ตามลำดับ

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \tag{5}$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \tag{6}$$

$$F1 = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \tag{7}$$

โดยที่ TP, FP คือ ผลการตรวจจับวัตถุถูกต้องทั้งคลาสและตำแหน่ง และผลการตรวจจับวัตถุผิดทั้งที่ไม่มีหรือตำแหน่งไม่ตรง ในขณะที่ TN, FN คือ กรณีที่ไม่มีวัตถุในภาพซึ่งระบบไม่ตรวจจับวัตถุใด ๆ และวัตถุที่มีอยู่จริงแต่ระบบไม่สามารถตรวจจับได้ตามลำดับ

2) ค่าเฉลี่ยของค่าความแม่นยำเฉลี่ย (Mean Average Precision: mAP) เป็นค่าประสิทธิภาพเชิงลึกของงานตรวจจับวัตถุ และยังเป็นตัวชี้วัดมาตรฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในชุดข้อมูล Pascal VOC และ COCO Benchmark คำนวณได้ด้วยสูตรดังสมการที่ (8)

$$mAP = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} AP_i \tag{8}$$

โดยที่ AP_i คือ ค่าความแม่นยำเฉลี่ย (Average Precision: AP) ของคลาสที่ i ซึ่งคำนวณภายใต้ค่า Intersection over Union (IoU) ตั้งแต่ 0.50 ถึง 0.95 โดยเพิ่มทีละ 0.05 ตามมาตรฐาน COCO evaluation protocol [19] และ N คือ จำนวนคลาสทั้งหมด

3) ค่าเฉลี่ยของค่าการเรียกคืนเฉลี่ย (Mean Average Recall: mAR) เป็นค่าประสิทธิภาพหาค่าประสิทธิภาพในหลายคลาสของวัตถุ นิยามดังสมการที่ (9)

$$mAR = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} AR_i \tag{9}$$

โดยที่ AR_i คือ ค่าการเรียกคืนเฉลี่ย (Average Recall: AR) ที่คลาส i และ N คือ จำนวนคลาสทั้งหมด

4) การประเมินประสิทธิภาพด้านความเร็วเพื่อสะท้อนความสามารถในการใช้งานจริงแบบเรียลไทม์ (Real-Time Inference) งานวิจัยนี้ได้วัดประสิทธิภาพด้านเวลา ได้แก่ จำนวนเฟรมที่ประมวลผลได้ต่อวินาที (Frames Per

Second: FPS) และระยะเวลาเฉลี่ยในการประมวลผลต่อเฟรม (Inference Time) นิยามดังสมการที่ (10) และ (11) ตามลำดับ

$$FPS = \frac{Number\ of\ Frames}{Total\ Processing\ Time} \tag{10}$$

เมื่อ Number of Frames คือ จำนวนเฟรมภาพทั้งหมดที่นำมาประมวลผล และ Total Processing Time คือ เวลารวมที่ใช้ในการประมวลผลภาพทั้งหมด

$$Inference\ Time = \frac{Total\ Processing\ Time}{Number\ of\ Frames} \tag{11}$$

เมื่อ Inference Time คือ ระยะเวลาที่แบบจำลองใช้ในการประมวลผลภาพหนึ่งเฟรม ตั้งแต่รับข้อมูลเข้าไปจนได้ ผลลัพธ์การตรวจจับ

2.4 การประยุกต์ใช้งานผ่านโมบายแอปพลิเคชัน

เพื่อให้ระบบสามารถนำไปใช้งานได้จริง งานวิจัยนี้ได้พัฒนาโมบายแอปพลิเคชันภายใต้สถาปัตยกรรมแบบ Client–Server สำหรับการตรวจจับวัตถุแบบใกล้เคียงเวลาจริง (Near Real-time Object Detection) โดยฝั่งผู้ใช้งาน (Client) ทำงานผ่านเว็บเบราว์เซอร์บนสมาร์ตโฟน ใช้ Web Camera API เพื่อรับภาพจากกล้องและส่งเฟรมภาพไปยังเซิร์ฟเวอร์ผ่าน RESTful API บนโปรโตคอล HTTP/HTTPS โดยใช้ ngrok สำหรับเชื่อมต่อกับ Local Server จากภายนอก ส่วนฝั่งเซิร์ฟเวอร์ (Server) พัฒนาด้วย Flask ทำหน้าที่รับภาพ ประมวลผลด้วยแบบจำลอง YOLOv8 และส่งผลลัพธ์กลับในรูปแบบ JSON ซึ่งประกอบด้วยพิกัดกรอบวัตถุ ประเภทวัตถุ และค่าความเชื่อมั่น เพื่อแสดงผลบนส่วนติดต่อผู้ใช้งานที่ออกแบบตามแนวคิด Responsive Design พร้อมแสดงกรอบตรวจจับและผลการจำแนกแบบใกล้เคียงเวลาจริง

2.5 การประเมินประสิทธิภาพของระบบจากกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งาน

หลังจากพัฒนาระบบต้นแบบแล้ว ได้ดำเนินการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานกับผู้ใช้งานนำร่องจำนวน 10 คน ซึ่งคัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) โดยใช้แบบสอบถามมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (5-Point Likert Scale) ครอบคลุม 4 ด้าน ได้แก่ ความแม่นยำ ความรวดเร็ว การใช้งาน และประโยชน์ในการนำไปใช้ ข้อมูลที่ได้วิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เพื่อประเมินประสิทธิภาพและความเหมาะสมของระบบสำหรับการนำไปใช้งานจริง

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาระบบตรวจจับการแต่งกายของนักศึกษาด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสถาปัตยกรรมแบบ One-stage Detector (YOLOv8) และ Two-stage Detector (Faster R-CNN) สำหรับการตรวจสอบการแต่งกายของนักศึกษาในด้านความถูกต้องและประสิทธิภาพการประมวลผล โดยประเมินด้วยตัวชี้วัด Precision, Recall, F1-score, Intersection over Union (IoU), Mean Average Precision (mAP), Inference Time และ Frames Per Second (FPS) พร้อมทดสอบระบบต้นแบบในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ ชุดข้อมูลประกอบด้วยภาพจำนวน 4,838 ภาพ แบ่งเป็นชุดฝึกสอน 4,233 ภาพ ชุดตรวจสอบ 404 ภาพ และชุดทดสอบ 201 ภาพ ครอบคลุมองค์ประกอบการแต่งกายนักศึกษา มทร.พระนคร จำนวน 14 คลาส โดยกำหนดพารามิเตอร์ของแต่ละแบบจำลองตามค่ามาตรฐานที่เหมาะสมกับสถาปัตยกรรม เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพได้อย่างเป็นธรรม

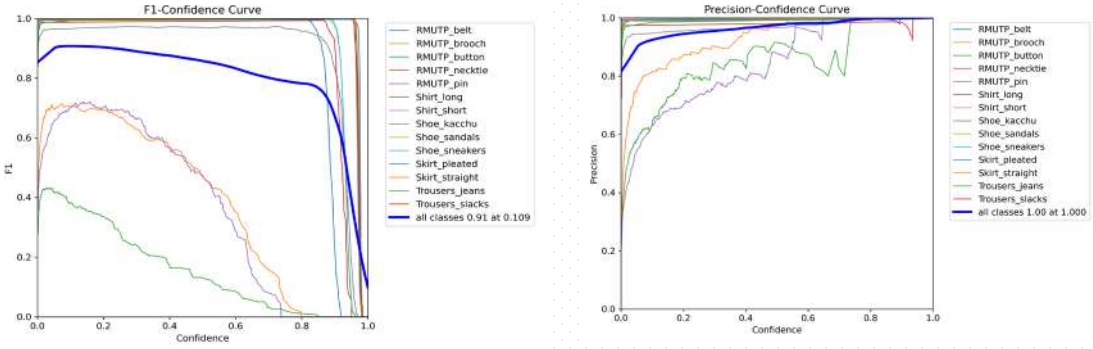
3.1 ผลการทดลองโมเดล YOLOv8

คณะผู้วิจัยดำเนินการทดสอบกับจำนวนรอบ Epoch จำนวน 5 ระดับ ประกอบด้วย 30, 60, 90, 120 และ 150 รอบ เพื่อศึกษาผลกระทบของจำนวนรอบการฝึก (Epoch Analysis) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่า Epoch ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพของโมเดลดีขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งในด้าน Precision, Recall, mAP และ FPS รายละเอียดผลการทดลองดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาผลกระทบของจำนวนรอบการเรียนรู้ของ YOLOv8

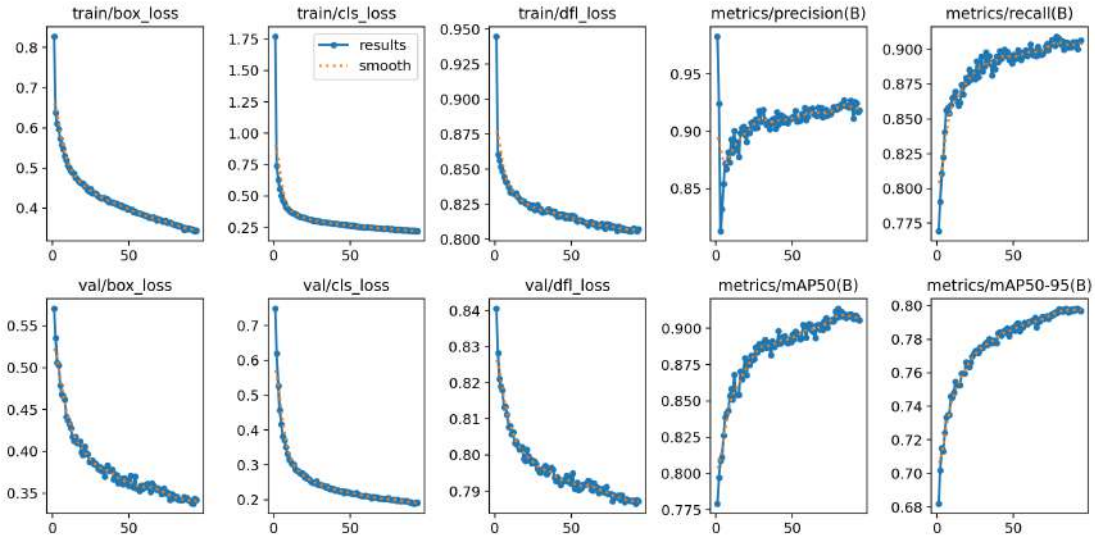
Epoch	Precision	Recall	F1-score	mAP@50	mAP@50-95	FPS
30	0.9348	0.9195	0.9271	0.9265	0.7951	83
60	0.9403	0.9437	0.9420	0.9455	0.8068	82
90	0.9518	0.9471	0.9495	0.9508	0.8151	82
120	0.9561	0.9512	0.9536	0.9547	0.8157	82
150	0.9684	0.9593	0.9638	0.9651	0.8244	81

จากผลการทดลองกับชุดข้อมูล Validation (ตารางที่ 2) พบว่า การเพิ่มจำนวน Epoch ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของโมเดล YOLOv8 โดยเมื่อเพิ่มจาก 30 เป็น 150 Epoch ค่า Precision, Recall, F1-score, mAP@50 และ mAP@50-95 เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แสดงให้เห็นว่าโมเดลสามารถตรวจจับและจำแนกประเภทเครื่องแต่งกายนักศึกษาได้แม่นยำขึ้น อย่างไรก็ตาม หลัง 120 Epoch ประสิทธิภาพเริ่มเข้าสู่ภาวะลู่เข้า (Convergence) โดยค่า mAP@50 เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ขณะที่ความเร็วการประมวลผลลดลงเล็กน้อย และขนาดโมเดลคงที่ที่ 6.2 MB ดังนั้น 120 Epoch จึงเป็นค่าที่เหมาะสมในการสร้างสมดุลระหว่างความแม่นยำและต้นทุนการฝึกสอน ดังแสดงในภาพที่ 2 และ 3 ตามลำดับ



YOLOv8 F1-Confidence Curve *YOLOv8 Precision-Confidence*

ภาพที่ 2 ผลการวิเคราะห์ค่า F1-score และ Precision ตามระดับ Confidence ของโมเดล YOLOv8



ภาพที่ 3 กราฟเส้นแสดงผลการเรียนรู้ของโมเดล YOLOv8 ระหว่างการฝึกสอนและการประเมินประสิทธิภาพ

จากการวิเคราะห์ความแม่นยำรายคลาส (Per-class Metrics) บนชุดข้อมูล Validation จำนวน 404 ภาพ (2,453 วัตถุ) พบว่า แบบจำลอง YOLOv8 สามารถตรวจจับองค์ประกอบเครื่องแต่งกายนักศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยคลาส เสื้อ กางเกง กระโปรง และรองเท้า มีค่า mAP@50 สูงถึง 0.99 และค่า Recall ใกล้เคียง 1.00 ขณะที่คลาส Trousers_slacks มีค่า Precision และ Recall เท่ากับ 1.00 แสดงถึงความสามารถในการจำแนกที่แม่นยำ อย่างไรก็ตาม คลาสวัตถุขนาดเล็ก เช่น RMUTP_button มีค่า mAP@50 และ Recall เพียง 0.365 และ 0.258 ตามลำดับ ส่วน RMUTP_brooch และ RMUTP_pin มีความแม่นยำอยู่ในระดับปานกลาง เนื่องจากวัตถุมีขนาดเล็กและมีลักษณะคล้ายพื้นหลัง ส่งผลให้ตรวจจับได้ยาก แม้มีข้อจำกัดดังกล่าว แบบจำลองยังคงมีค่าเฉลี่ยรวม mAP@50 เท่ากับ 0.9547 และ mAP@50-95 เท่ากับ 0.8157 ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพการตรวจจับที่อยู่ในระดับสูง สำหรับการทดสอบกับชุดข้อมูล Test พบว่าแบบจำลองให้ค่า mAP@50 เท่ากับ 0.904 และ mAP@50-95 เท่ากับ 0.775 มีความเร็วในการประมวลผล 80 FPS และมีขนาดโมเดลเพียง 6.2 MB

3.2 ผลการทดลองโมเดล Faster R-CNN

การพัฒนาโมเดล Faster R-CNN ใช้ชุดข้อมูลเดียวกับโมเดล YOLOv8 เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพได้อย่างเป็นธรรม โดยกำหนดขนาดภาพนำเข้า 640 × 640 พิกเซล ใช้ Data Augmentation และฝึกสอนจำนวน 120 Epochs จากนั้นประเมินประสิทธิภาพด้วยตัวชี้วัดมาตรฐาน COCO ได้แก่ mAP และ mAR ภายใต้ค่า IoU หลายระดับ ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลประสิทธิภาพของโมเดล Faster R-CNN

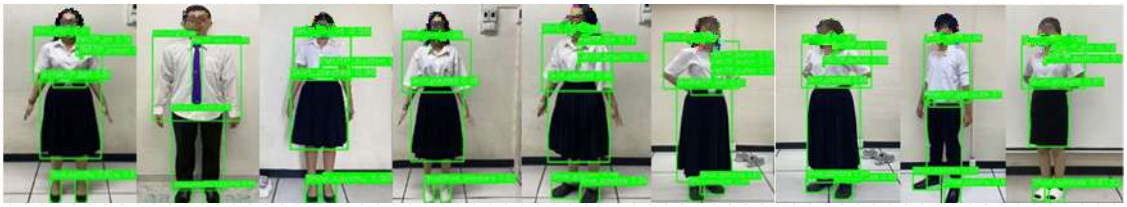
IoU Threshold	Object Size (Area)	mAP	mAR	FPS
0.50:0.95	all	0.7740	0.7100	9
0.50	all	0.8460	0.8080	9
0.75	all	0.8210	0.8080	9
0.50:0.95	small	0.5070	0.5370	9
0.50:0.95	medium	0.8630	0.8930	9
0.50:0.95	large	0.9530	0.9650	9

หมายเหตุ ค่า mAP, mAR ประเมินตามเกณฑ์มาตรฐานการตรวจจับวัตถุของ COCO

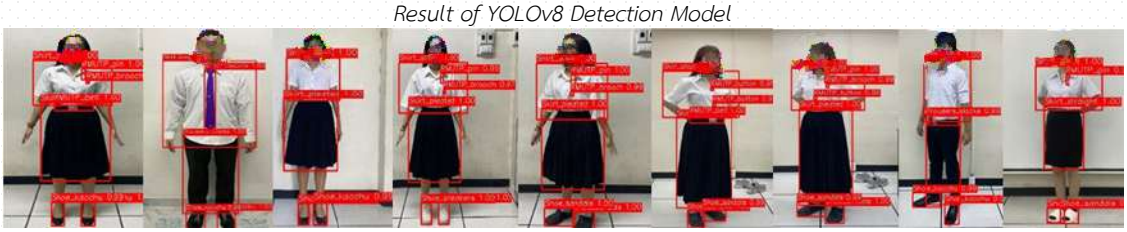
ผลการฝึกสอนโมเดล YOLOv8 ที่ 120 Epoch พบว่า มีค่า mAP@[0.50:0.95] บนชุดข้อมูล Validation เท่ากับ 0.7740 และ mAP@0.50 เท่ากับ 0.8460 ขณะที่ mAP@0.75 เท่ากับ 0.8210 แสดงให้เห็นว่าโมเดลสามารถตรวจจับตำแหน่งวัตถุได้อย่างแม่นยำแม้ใช้เกณฑ์ IoU ที่เข้มงวดขึ้น เมื่อพิจารณาตามขนาดวัตถุ พบว่าโมเดลมีประสิทธิภาพสูงในการตรวจจับวัตถุขนาดใหญ่ (mAP=0.9530) และขนาดกลาง (mAP=0.8630) แต่มีข้อจำกัดในการตรวจจับวัตถุขนาดเล็ก (mAP=0.5070) โดยมีค่า mAR@[0.50:0.95] เท่ากับ 0.7100 สำหรับโมเดล Faster R-CNN ที่ทดสอบด้วยชุดข้อมูล Testing Dataset พบว่า มีค่า mAP@50 เท่ากับ 0.880 และ mAP@50:95 เท่ากับ 0.729 มีความเร็วในการประมวลผล 9 FPS และขนาดโมเดล 158.4 MB

3.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพโมเดล YOLOv8 และ Faster R-CNN

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่าง YOLOv8 และ Faster R-CNN บนชุดข้อมูลทดสอบ (Testing Dataset) พบว่า YOLOv8 มีประสิทธิภาพสูงกว่า โดยมีค่า mAP@0.50:0.95 เท่ากับ 0.775 และ mAP@0.50 เท่ากับ 0.904 สูงกว่า Faster R-CNN ที่มีค่า 0.729 และ 0.880 ตามลำดับ นอกจากนี้ YOLOv8 มีความเร็วในการอนุมานผลประมาณ 80 FPS และขนาดโมเดล 6.2 MB ขณะที่ Faster R-CNN มีความเร็ว 9 FPS และขนาดโมเดล 158.4 MB จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า YOLOv8 มีความเหมาะสมสำหรับการพัฒนาระบบตรวจจับเครื่องแต่งกายนักศึกษาบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ เนื่องจากมีความแม่นยำสูง ประมวลผลได้รวดเร็ว และใช้ทรัพยากรต่ำกว่า Faster R-CNN ซึ่งเป็นโมเดลแบบ Two-stage Detector ที่มีความซับซ้อนในการประมวลผลมากกว่า ดังแสดงตัวอย่างผลลัพธ์การตรวจจับของทั้งสองโมเดลในภาพที่ 4



Result of YOLOv8 Detection Model

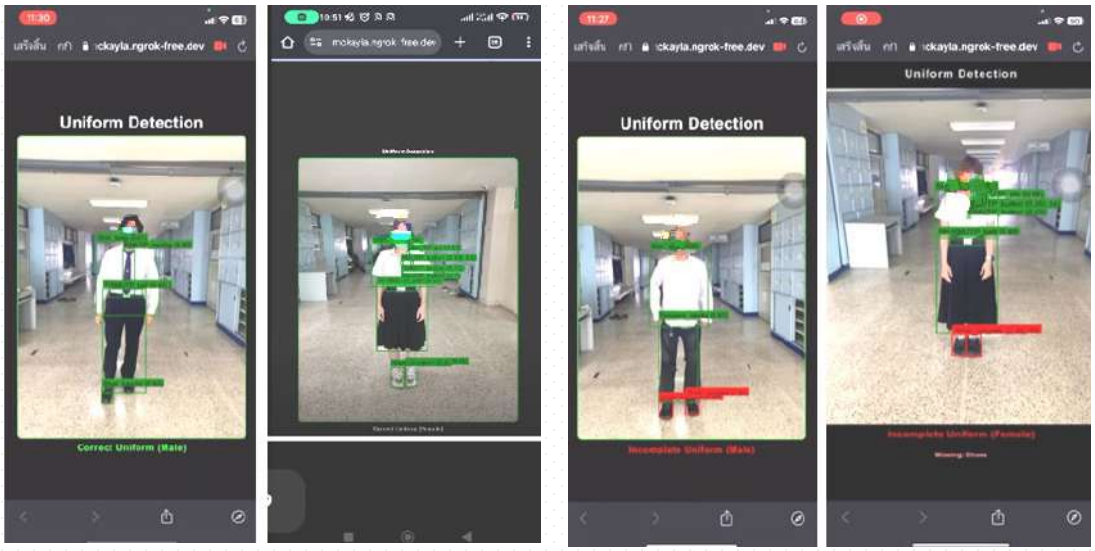


Result of Faster R-CNN Detection Model

ภาพที่ 4 ผลการตรวจจับของ YOLOv8 และ Faster R-CNN

3.4 ผลการพัฒนาระบบแอปพลิเคชันตรวจจับเครื่องแต่งกาย

จากผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลตรวจจับเครื่องแต่งกายของนักศึกษา พบว่าโมเดล YOLOv8 มีประสิทธิภาพเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในสภาพแวดล้อมจริง โดยเฉพาะบนแพลตฟอร์มอุปกรณ์เคลื่อนที่ (Mobile Platform) เนื่องจากมีความสมดุลระหว่างความแม่นยำและความรวดเร็วในการประมวลผล ในการพัฒนาระบบ คณะผู้วิจัยได้ออกแบบส่วนประสานผู้ใช้งาน (User Interface: UI) โดยยึดหลักการออกแบบเชิงตอบสนอง (Responsive Design) เพื่อให้สามารถปรับแสดงผลได้เหมาะสมกับขนาดหน้าจอที่หลากหลาย พร้อมทั้งพัฒนาและเชื่อมต่อโมเดล YOLOv8 ผ่าน API ด้วยกรอบการทำงานของ FastAPI ทั้งนี้ ได้มีการพัฒนาฟังก์ชันการทำงานหลัก ได้แก่ การถ่ายภาพ การแสดงภาพต้นฉบับ การแสดงผลลัพธ์จากการตรวจจับวัตถุ และการแปลผลข้อมูลจากโมเดล โดยใช้เทคโนโลยีเว็บ ได้แก่ HTML5 และ JavaScript ร่วมกับการจัดรูปแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งานด้วย CSS3 และ Bootstrap เพื่อให้ระบบมีความสวยงาม ใช้งานง่าย และรองรับการใช้งานบนอุปกรณ์ที่หลากหลายอย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างผลการตรวจจับเครื่องแต่งกายบนโมบายแอปพลิเคชันดังภาพที่ 5



ผลลัพธ์การตรวจจับนักศึกษาแต่งกายถูกระเบียบ *ผลลัพธ์การตรวจจับนักศึกษาแต่งกายไม่ถูกระเบียบ*

ภาพที่ 5 ผลการใช้งานบนโมบายเว็บแอปพลิเคชัน

คณะผู้วิจัยทดสอบระบบในสภาพแวดล้อมจริงผ่านโมบายแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน เพื่อประเมินการทำงานแบบ End-to-End พบว่า ระบบสามารถจำแนกการแต่งกายของนักศึกษาชายและหญิงเป็น “ถูกต้อง” และ “ไม่ถูกต้อง” ได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงรองรับการตรวจจับองค์ประกอบเครื่องแต่งกายหลายรายการ (Multi-Object Detection) ในภาพเดียว

และทำงานได้ภายใต้สภาพแสงที่หลากหลาย ผลการทดสอบพบว่า ข้อจำกัดหลักคือความหน่วงในการประมวลผลซึ่งขึ้นอยู่กับทรัพยากรของอุปกรณ์ การเลือกใช้โมเดลขนาดเล็ก (Nano Model) ช่วยลดภาระการคำนวณและรักษาสมดุลระหว่างความแม่นยำกับความเร็ว แม้ระบบไม่สามารถทำงานที่ระดับ Real-Time เต็มรูปแบบ (30–60 FPS) แต่ยังสามารถแสดงผล Bounding Box ได้อย่างต่อเนื่อง จึงเหมาะสำหรับการใช้งานจริงในรูปแบบ Near Real-Time Deployment สำหรับระบบตรวจสอบระเบียบการแต่งกาย ณ จุดคัดกรอง

3.5 ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อระบบตรวจจับเครื่องแต่งกายนักศึกษาด้วยปัญญาประดิษฐ์จากกลุ่มตัวอย่าง 10 ราย พบว่า มีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.63) ครอบคลุม 4 ด้าน ได้แก่ ความแม่นยำ ความรวดเร็ว การใช้งาน และประโยชน์ในการนำไปใช้ โดยผู้ใช้งานเห็นว่าระบบสามารถตรวจจับและแจ้งเตือนการแต่งกายผิดระเบียบได้อย่างถูกต้อง แสดงผลได้รวดเร็ว ใช้งานง่าย และเข้าถึงผ่าน QR Code ได้สะดวก นอกจากนี้ ระบบยังสามารถนำไปใช้จริงในสถานศึกษา ช่วยลดภาระบุคลากร และสนับสนุนการบริหารจัดการด้านระเบียบวินัยของนักศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. บทสรุป

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า โมเดล YOLOv8 มีประสิทธิภาพสูงในการตรวจจับเครื่องแต่งกายนักศึกษา โดยมีค่า mAP@50 อยู่ในระดับสูง และมีความเร็วในการประมวลผลที่เหมาะสมสำหรับการตรวจจับวัตถุแบบเวลาจริง (Real-time Object Detection) บนอุปกรณ์เคลื่อนที่ ส่งผลให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบตรวจสอบการแต่งกายผ่านโมบายแอปพลิเคชันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งด้านความแม่นยำ ความรวดเร็ว และการตอบสนองต่อผู้ใช้งาน ผลการศึกษาสอดคล้องกับงานวิจัยของ Reis และคณะ [20] ที่พบว่า YOLOv8 สามารถสร้างสมดุลระหว่างความแม่นยำและความเร็วในการประมวลผล เหมาะสำหรับงานตรวจจับวัตถุแบบเวลาจริงในสภาพแวดล้อมจริง รวมถึงสามารถประยุกต์ใช้กับงานเฉพาะด้านผ่านเทคนิค Transfer Learning ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Isong และคณะ [21] ที่รายงานว่า YOLOv8 มีความเร็วในการประมวลผลสูงกว่า Faster R-CNN บนอุปกรณ์ที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากร ขณะที่ยังคงรักษาความแม่นยำในระดับสูง เมื่อเปรียบเทียบกับ Faster R-CNN พบว่า แม้โมเดลแบบ Two-stage Detector จะมีความสามารถในการตรวจจับที่แม่นยำ แต่มีข้อจำกัดด้านเวลาในการประมวลผล เนื่องจากต้องผ่านขั้นตอน Region Proposal ก่อนการจำแนกประเภท ส่งผลให้มีค่าความหน่วงสูงกว่า YOLOv8 ซึ่งเป็นโมเดลแบบ One-stage Detector ดังนั้น YOLOv8 จึงมีความเหมาะสมมากกว่าสำหรับระบบที่ต้องการการตอบสนองแบบเวลาจริงและใช้งานบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ ในด้านการพัฒนาระบบ คณะผู้วิจัยได้เชื่อมต่อโมเดลผ่าน FastAPI และออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งานด้วยแนวคิด Responsive Design ทำให้สามารถใช้งานได้บนอุปกรณ์และเบราว์เซอร์ที่หลากหลาย ผลการทดสอบพบว่า ระบบสามารถแสดงผลการตรวจจับได้อย่างต่อเนื่อง มีค่าความหน่วงอยู่ในระดับเหมาะสม และให้ประสบการณ์ใช้งานที่ดีแก่ผู้ใช้ สะท้อนให้เห็นว่าการผสานเทคโนโลยี Deep Learning กับการพัฒนาแอปพลิเคชันสมัยใหม่ สามารถนำไปสู่ระบบตรวจสอบเครื่องแต่งกายอัตโนมัติที่พร้อมใช้งานจริง ช่วยลดภาระบุคลากร เพิ่มประสิทธิภาพการตรวจสอบ และสนับสนุนการบริหารจัดการด้านระเบียบวินัยในสถานศึกษา

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีหน่วยงานต้นสังกัดของคณะผู้วิจัย ที่ให้การสนับสนุนในการดำเนินงานวิจัย และเป็นหน่วยงานจัดการประชุมวิชาการ และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการนำเสนอบทความในงานประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 9 ในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 779–788).

[2] Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2017). Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 39*(6), 1137–1149. https://doi.org/10.1109/TPAMI.2016.2577031

[3] Sharma, A., Kumar, V., & Longchamps, L. (2024). Comparative Performance of YOLOv8, YOLOv9, YOLOv10, YOLOv11 and Faster R-CNN Models for Detection of Multiple Weed Species. *Smart Agricultural Technology, 9*, 100648. https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100648

[4] Ezzeddini, L., Ktari, J., Frikha, T., et al. (2024). Analysis of the Performance of Faster R-CNN and YOLOv8 in Detecting Fishing Vessels and Fishes in Real Time. *PeerJ Computer Science, 10*, e2033. https://doi.org/10.7717/peerj-cs.2033

[5] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. (2567). *ข้อบังคับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ว่าด้วยการแต่งกายของนักศึกษา*. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

[6] Sapkota, R., & Karkee, M. (2025). *Ultralytics YOLO Evolution: An Overview of YOLO26, YOLO11, YOLOv8 and YOLOv5 Object Detectors for Computer Vision and Pattern Recognition* (arXiv:2510.09653). arXiv.

[7] Zhang, H., Wang, Y., Dayoub, F., & Sünderhauf, N. (2021). VarifocalNet: An IoU-aware Dense Object Detector. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 8514–8523).

[8] Lin, T.-Y., Goyal, P., Girshick, R., He, K., & Dollár, P. (2017). Focal Loss for Dense Object Detection. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)* (pp. 2980–2988).

[9] Jocher, G., Chaurasia, A., & Ultralytics Team. (2024). *Ultralytics YOLO Documentation: Loss Functions and YOLOv8 Detection Framework*. Retrieved from https://docs.ultralytics.com/reference/utils/loss/

[10] Cai, Z., & Vasconcelos, N. (2018). Cascade R-CNN: Delving Into High Quality Object Detection. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 6154–6162). https://doi.org/10.1109/CVPR.2018.00644

[11] Girshick, R. (2015). Fast R-CNN. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)* (pp. 1440–1448).

[12] Lin, T.-Y., Dollár, P., Girshick, R., He, K., Hariharan, B., & Belongie, S. (2017). Feature Pyramid Networks for Object Detection. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)* (pp. 2117–2125).

[13] Redmon, J., & Farhadi, A. (2018). *YOLOv3: An Incremental Improvement* (arXiv:1804.02767). arXiv.

[14] Bottou, L. (2010). Large-Scale Machine Learning with Stochastic Gradient Descent. *Proceedings of COMPSTAT 2010* (pp. 177–186).

[15] Loshchilov, I., & Hutter, F. (2017). SGDR: Stochastic Gradient Descent with Warm Restarts. *Proceedings of the International Conference on Learning Representations (ICLR).*

[16] Prechelt, L. (1998). Early Stopping—But When? In G. B. Orr & K.-R. Müller (Eds.), *Neural Networks: Tricks of the Trade* (Lecture Notes in Computer Science, Vol. 1524, pp. 55–69). Springer.

[17] Lin, T.-Y., Maire, M., Belongie, S., Hays, J., Perona, P., Ramanan, D., Dollár, P., & Zitnick, C. L. (2014). Microsoft COCO: Common Objects in Context. *Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV)* (pp. 740–755).

[18] Jocher, G., Chaurasia, A., & Ultralytics Team. (2024). *Ultralytics YOLOv8 Documentation*. Ultralytics.

[19] Wood, L., & Chollet, F. (2022). *Efficient Graph-Friendly COCO Metric Computation for Train-Time Model Evaluation* (arXiv:2207.12120). arXiv.

[20] Reis, D., Kupec, J., Hong, J., & Daoudi, A. (2023). *Real-Time Flying Object Detection with YOLOv8* (arXiv:2305.09972). arXiv.

[21] Isong, B., Ndouvhada, S., & Kgote, O. (2025). Empirical Analysis of Deep Learning Models for Real-Time Face Detection on Resource-Constrained Devices. *IT Journal Research and Development, 10*(2), 29–46.

ดิจิทัลวอลเล็ตกับการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีกราฟ
Digital Wallets and Graph Theory Analysis

ณิศรา สุทธิสังข์[1*] วรีวรรณ์ วิเศษสิงห์[1] และ ยุพาพิน อติกานต์กุล[1]

[1]สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
*E-mail: nisara.s@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

บทความการใช้จ่ายดิจิทัลวอลเล็ตใช้การประยุกต์แนวคิดของทฤษฎีกราฟในการอธิบายโครงสร้างประเภทและสถานที่ใช้จ่ายของผู้ได้รับสิทธิ การวิเคราะห์ผลใช้ข้อมูลพื้นฐานจากรายงานในระบบออนไลน์ของสำนักงานสถิติแห่งชาติของประชากรตัวอย่างที่ได้รับสิทธิในโครงการกระตุ้นเศรษฐกิจปี 2567 ผ่านผู้มีบัตรสวัสดิการแห่งรัฐและคนพิการ จำนวน 31,500 ราย และใช้แนวคิดพื้นฐานของจุดและเส้นเพื่ออธิบายการใช้จ่ายเงินของประชากรตัวอย่าง ผลการวิจัยพบว่า การใช้จ่ายเงินดิจิทัลวอลเล็ตมีความสัมพันธ์กับการอธิบายเชิงทฤษฎีกราฟ ดังนี้ ปริมาณการใช้จ่าย:จำนวนจุด (quantity) แนวโน้มการใช้จ่าย: การเชื่อมต่อ (network) การกระจายการใช้จ่าย:การป้องกัน (security) และจำนวนการทำธุรกรรม:การทำแผนที่ (mapping)

คำสำคัญ: ดิจิทัลวอลเล็ต ธุรกรรมการเงิน ทฤษฎีกราฟ

Abstract

The article on digital wallet spending applies graph theory concepts to explain the structure, types, and locations of spending by eligible users. The analysis used basic data from the National Statistical Office's online report system for the sample population eligible for the 2024 economic stimulus program through state welfare card holders and people with disabilities, totaling 31,500 people, and used the basic concept of points and lines to explain the spending of the sample population. The research results found that digital wallet spending is related to the following graph theory descriptions: spending amount: number of points (quantity), spending trend: connection (network), spending distribution: protection (security), and number of transactions: mapping (mapping).

Keywords: Digital Wallet, Transaction, Graph theory

1. บทนำ

ในปัจจุบัน ดิจิทัลวอลเล็ต (Digital Wallet) หรือกระเป๋าเงินดิจิทัล เป็นเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้ในการเปลี่ยนแปลงโลกทางการเงิน และเข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันของคนไทย รวมถึงนโยบายภาครัฐได้มีการสนับสนุนและให้ประชาชนในประเทศไทยได้ใช้กระเป๋าเงินดิจิทัล

หลังจากที่กระทรวงการคลังประกาศนโยบายแจกเงินดิจิทัลวอลเล็ตให้กับกลุ่มประชาชนในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศไทย การใช้จ่ายผ่านกระเป๋าเงินดิจิทัลวอลเล็ตทำให้เกิดการกระตุ้นรากฐานทางเศรษฐกิจ โดยมีการใช้จ่ายของประชาชนเป็นกลไกสำคัญในการเข้ามามีส่วนร่วมกระตุ้นเศรษฐกิจทั่วประเทศ ทั้งยังเป็นนโยบายรากฐานสำคัญต่อยอดกระตุ้นเศรษฐกิจด้านอื่น [1]

ทฤษฎีกราฟเป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์การกระจายและความเชื่อมโยงของข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิผล [2] ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์การกระจายและความเชื่อมโยงของการใช้จ่ายเงินดิจิทัลวอลเล็ตและทำให้สามารถตรวจสอบข้อมูลดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิผลเช่นกัน [3]

การวิเคราะห์การใช้จ่ายกระเป๋าเงินดิจิทัลวอลเล็ตจึงเป็นการจุดประกายให้เกิดการวิเคราะห์และต่อยอดแนวคิดในการวิเคราะห์ระบบเงินอิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ และเมื่อนำทฤษฎีกราฟมาวิเคราะห์ระบบกระเป๋าเงินดิจิทัลวอลเล็ตดังกล่าวในเชิงทฤษฎี ทำให้สามารถขยายแนวคิดในการวิเคราะห์ระบบเงินอิเล็กทรอนิกส์ในรูปแบบอื่น ๆ ได้

หมายเหตุ งานวิจัยนี้ศึกษาและเก็บข้อมูลในระบบฐานข้อมูลของการใช้ดิจิทัลวอลเล็ตผ่านแอปพลิเคชันทางรัฐกับกลุ่มเป้าหมายในระยะที่ 1 และ 2 (เนื่องจากระยะที่ 1 และ 2 การใช้ดิจิทัลวอลเล็ตไม่ได้ผ่านแอปพลิเคชันทางรัฐ) และระยะที่ 3 ยังไม่ได้มีการใช้จ่ายเกิดขึ้น งานวิจัยนี้จึงจำเป็นต้องทำการวิจัยบนพื้นฐานของการอธิบายการใช้จ่ายเงินดิจิทัลวอลเล็ตผ่านกระเป๋าเงินดิจิทัลในระบบรายงานในระบบออนไลน์ของสำนักงานสถิติแห่งชาติ

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

การวิเคราะห์การใช้จ่ายดิจิทัลวอลเล็ตโดยใช้แนวคิดของทฤษฎีกราฟ เพื่อให้ได้ข้อมูลในการศึกษาและนำมาวิเคราะห์จึงจำเป็นต้องอาศัยวิธีการดำเนินการวิจัย ดังต่อไปนี้

2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.1.1 ข้อมูลการทำธุรกรรมดิจิทัลวอลเล็ตในระยะที่ 1 ผ่านรายงานในระบบออนไลน์ของสำนักงานสถิติแห่งชาติ

2.1.2 แนวคิดของทฤษฎีกราฟ จุด (vertex) แทนชื่อของธุรกรรม เส้น (edge) แทนการเชื่อมโยงการทำธุรกรรม ดีกรี (degree) แทนจำนวนการเชื่อมโยงการทำธุรกรรม

2.2 วิธีดำเนินการวิจัย การดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนโดยสังเขป ดังนี้ คือ

2.2.1 ศึกษาค้นคว้าเอกสารที่เกี่ยวข้องการใช้จ่ายเงินดิจิทัลวอลเล็ต

2.2.2 เก็บรวบรวมข้อมูลการใช้จ่ายเงินดิจิทัลวอลเล็ต

2.2.3 วิเคราะห์การใช้จ่ายเงินดิจิทัลวอลเล็ต

2.2.4 สร้างและวิเคราะห์การใช้จ่ายเงินดิจิทัลโดยใช้แนวคิดของทฤษฎีกราฟ [2] โดยแสดงการใช้จ่าย การเชื่อมต่อ การป้องและการทำแผนที่ในการแสดงความสัมพันธ์ของแนวคิดของกราฟกับปริมาณการใช้จ่าย

2.2.5 สรุปผลการวิจัย

หมายเหตุ การวิเคราะห์ผลแบ่งออกเป็น การใช้ร้อยละและนำเสนอกราฟเส้น การใช้แนวคิดพื้นฐานของทฤษฎีกราฟและนำเสนอการใช้จ่าย การเชื่อมต่อ การป้องกัน และการทำแผนที่

2.3 ข้อมูลการทำธุรกรรมดิจิทัลวอลเล็ตในระยะที่ 1

2.3.1 ข้อมูลการจ่ายเงินดิจิทัลวอลเลตกับกลุ่มเป้าหมาย

ตาราง 1 การจ่ายเงินดิจิทัลวอลเล็ตกับกลุ่มเป้าหมาย phase 1, 2 และ 3 [4]

ระยะเวลา	กลุ่มเป้าหมาย		งบประมาณ
	กลุ่ม	จำนวน	วงเงิน
1 จ่ายเงิน 25 ก.ย. 67- 19 ธ.ค. 67	ผู้มีบัตรสวัสดิการแห่งรัฐและผู้พิการ Social Welfare card holders and Disabled person	14.5 ล้านคน	1.45 แสนล้านบาท
2 จ่ายเงิน 27 ม.ค. 68 – 28 มี.ค. 68	ผู้สูงอายุ Elderly person	3 ล้านคน	3 หมื่นล้านบาท
3 ยังไม่จ่ายเงิน	ผู้ตื่นรู้ทางเทคโนโลยี (16-20 ปี)	2.7 ล้านคน	2.7 หมื่นล้านบาท

2.3.2 การใช้จ่ายเงินดิจิทัลวอลเล็ตในระยะที่ 1

ตาราง 2 การใช้จ่ายเงินดิจิทัลวอลเล็ตในระยะที่ 1 [6]

การใช้จ่าย	ร้อยละ	การใช้จ่าย	ร้อยละ
1. อาหารและเครื่องดื่ม	95.1	8. เครื่องแต่งกาย	12.7
2. ของใช้ในครัวเรือน	89.1	9. อุปกรณ์การเกษตร	11.2
3. สาธารณูปโภค	57.2	10. อุปรกรณ์ไฟฟ้า	11.1
4. น้ำมันเชื้อเพลิง	26.7	11. ทำบุญ บริจาค	6.9
5. ครอบครัวหรือญาติ	26.3	12. อุปกรณ์ประกอบอาชีพ	6.8
6. สุขภาพ	16.7	13. ซ่อมแซม	5.6
7. การศึกษา	12.9	14. อื่น ๆ	3.6

2.3.3 การนำเงินดิจิทัลวอลเล็ตไปใช้จ่ายในระยะที่ 1

ตาราง 3 สถานที่การนำเงินดิจิทัลวอลเล็ตไปใช้จ่ายในระยะที่ 1

สถานที่ที่นำเงินดิจิทัลวอลเล็ตไปใช้	ร้อยละ
ร้านค้าในชุมชน/ร้านขายของชำ	96.3
หาบเร่ แผงลอย/ตลาด	70.9
ร้านสะดวกซื้อ/ร้านมินิมาร์ท	54.1
ดิสเค้าท์สโตร์/ซูเปอร์มาร์เก็ต	18.4
ที่อื่น ๆ เช่น ห้างสรรพสินค้า ร้านค้าการเกษตร โรงพยาบาล ร้านวัสดุก่อสร้าง ร้านค้าออนไลน์	4.9

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

การวิเคราะห์การใช้จ่ายดิจิทัลวอลเล็ตโดยใช้แนวคิดของทฤษฎีกราฟ จากการอธิบายการทำธุรกรรมดิจิทัลวอลเล็ตโดยวิเคราะห์จากแนวคิดพื้นฐานของทฤษฎีกราฟ ดังต่อไปนี้

3.1 ข้อมูลพื้นฐานของประชากรตัวอย่างจากสำนักงานสถิติแห่งชาติ (ระยะที่ 1) [4]

สำนักงานสถิติแห่งชาติได้สำรวจความคิดเห็นของประชาชนที่ได้รับสิทธิในโครงการกระตุ้นเศรษฐกิจ ปี 2567 ผ่านผู้มีบัตรสวัสดิการแห่งรัฐและคนพิการ ได้จำนวนประชาชนตัวอย่างทั้งสิ้น 31,500 ราย และได้ข้อมูลพื้นฐานของประชากรตัวอย่างจากสำนักงานสถิติแห่งชาติ ดังนี้

1) เพศ: เป็นชายร้อยละ 45.7 เป็นหญิงร้อยละ 54.3

2) อายุ: อายุ 18 – 29 ปี คิดเป็นร้อยละ 9.3 อายุ 30 – 39 ปี คิดเป็นร้อยละ 13.7 อายุ 40 – 49 ปีคิดเป็นร้อยละ 15.9 อายุ 50 – 59 ปี คิดเป็นร้อยละ 20.8 และอายุ 60 ปีขึ้นไป คิดเป็นร้อยละ 40.3

3) ระดับการศึกษา: ระดับประถมศึกษาหรือต่ำกว่า/ไม่เคยเรียน คิดเป็นร้อยละ 63.1 ระดับมัธยมศึกษา/ปวช. คิดเป็นร้อยละ 33.3 ระดับปวส./ปวท./อนุปริญญา คิดเป็นร้อยละ 2.1 และระดับปริญญาตรีหรือสูงกว่า คิดเป็นร้อยละ 1.5

4) สถานะการทำงาน: ว่างงาน/ไม่ทำงาน คิดเป็นร้อยละ 35.6 ประกอบอาชีพ คิดเป็นร้อยละ 64.4 (ในจำนวนนี้ เป็นเกษตรกร คิดเป็นร้อยละ 33.0 รับจ้างทั่วไป/กรรมกร/ขับรถรับจ้าง คิดเป็นร้อยละ 40.7 ค้าขาย/ประกอบธุรกิจส่วนตัว คิดเป็นร้อยละ 18.1 พนักงาน/ลูกจ้างเอกชน คิดเป็นร้อยละ 7.4 ลูกจ้างของรัฐคิดเป็นร้อยละ 0.7 ข้าราชการบำนาญ คิดเป็นร้อยละ 0.1 ข้าราชการ พนักงานของรัฐ/พนักงานรัฐวิสาหกิจมีข้อมูลเล็กน้อย)

5) รายได้ของท่านเฉลี่ยต่อปี: ไม่มีรายได้ร้อยละ 2.4 รายได้น้อยกว่า 30,001 บาท คิดเป็นร้อยละ 33.4 รายได้ 30,001 – 60,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 43.2 รายได้ 60,001 - 100,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 20.8 และรายได้มากกว่า 100,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 0.2

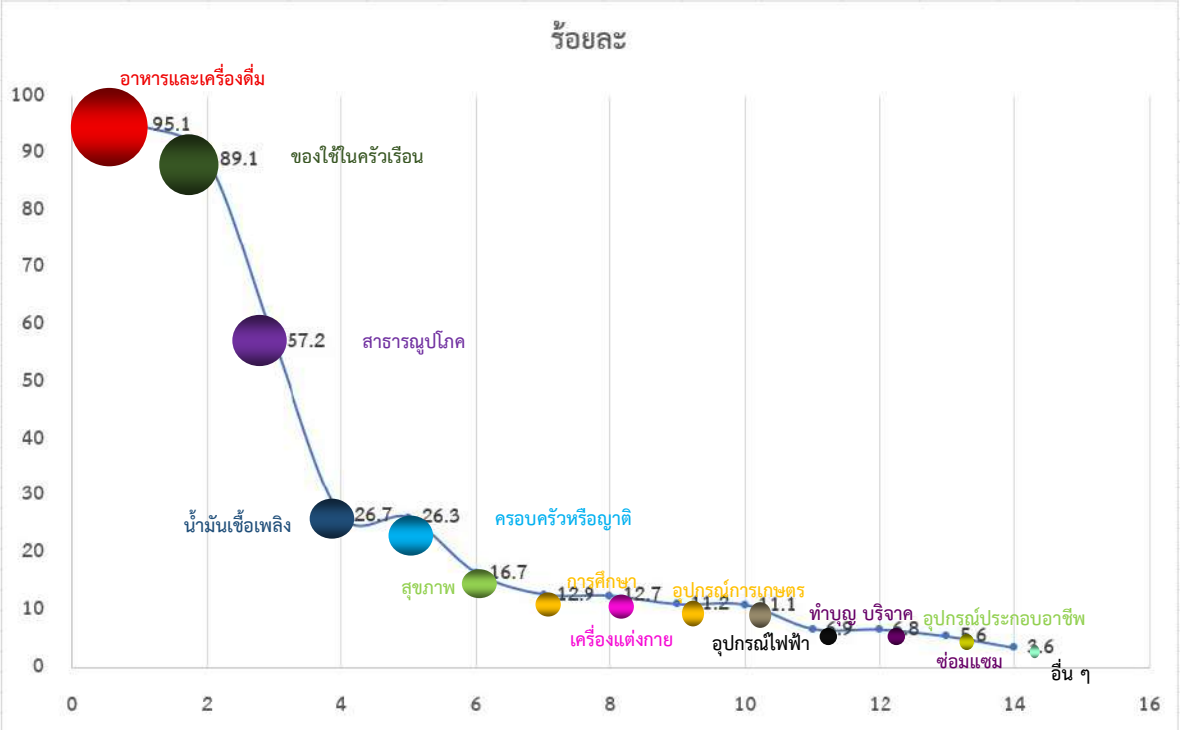
3.2 เรื่องที่นำเงิน 10,000 ไปใช้จ่าย

ประชาชนตัวอย่างฯ ที่นำเงินไปใช้จ่าย ร้อยละ 95.1 ระบุว่านำเงินไปซื้ออาหารและเครื่องดื่ม เช่น ข้าวสาร หมูสด เป็นต้น ในสัดส่วนที่สูงที่สุด รองลงมา ได้แก่ ซื้อของใช้ในครัวเรือน เช่น ผงซักฟอก สบู่ เป็นต้น (ร้อยละ 89.1) ชำระค่าสาธารณูปโภค เช่น ค่าไฟฟ้า ค่าน้ำประปา เป็นต้น (ร้อยละ 57.2) ชำระค่าน้ำมันเชื้อเพลิง เช่น น้ำมัน แก๊ส เป็นต้น (ร้อยละ 26.7) และให้คนในครอบครัวหรือญาติไว้สำหรับใช้จ่าย (ร้อยละ 26.3)

ประชากรตัวอย่างนำเงินหนึ่งหมื่นบาทไปใช้จ่าย ซื้ออาหารและเครื่องดื่มมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 95.1 รองลงมาคือ ซื้อของใช้ในครัวเรือน คิดเป็นร้อยละ 89.1 ชำระค่าสาธารณูปโภค คิดเป็นร้อยละ 57.2 ชำระค่าน้ำมันเชื้อเพลิง คิดเป็นร้อยละ 26.7 ให้คนในครอบครัวหรือญาติไว้สำหรับใช้จ่าย คิดเป็นร้อยละ 26.3 ชำระค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับสุขภาพ คิดเป็นร้อยละ 16.7 ชำระค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการศึกษา คิดเป็นร้อยละ 12.9 ซื้อเครื่องแต่งกาย คิดเป็นร้อยละ 12.7 ซื้อเครื่องมือและอุปรกรณ์วัตถุดิบเพื่อการเกษตร คิดเป็นร้อยละ 11.2 ซื้ออุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ คิดเป็นร้อยละ 11.1 ทำบุญ บริจาค คิดเป็นร้อยละ 6.9 ซื้ออุปกรณ์ในการประกอบอาชีพ คิดเป็นร้อยละ 6.8 ชำระค่าซ่อมแซมต่าง ๆ คิดเป็นร้อยละ 5.6 และอื่น ๆ คิดเป็นร้อยละ 5.6 ตามลำดับ

3.3 การวิเคราะห์เชิงกราฟการนำเงิน 10,000 บาท ไปใช้จ่าย

เมื่อนำการวิเคราะห์เชิงกราฟการนำเงิน 10,000 ไปใช้จ่ายได้ผล ดังภาพที่ 1 ต่อไปนี้



ภาพ 1 กราฟการนำเงิน 10,000 ไปใช้

จากภาพที่ 1 เมื่อวิเคราะห์ด้วยแนวคิดทฤษฎีเชิงกราฟพบว่าประเภทของการใช้จ่ายมีความสัมพันธ์กับแนวคิดเชิงกราฟ ดังนี้ (เนื่องจากการใช้จ่ายเงิน 10,000 บาทในระยะที่ 1 ไม่ได้มีการใช้จ่ายผ่านแอปพลิเคชันทางรัฐ การวิเคราะห์แนวคิดเชิงกราฟจึงวิเคราะห์เพียงจุดและแนวโน้มที่เกิดขึ้น)

ตาราง 4 การวิเคราะห์เชิงกราฟการนำเงิน 10,000 บาท ไปใช้จ่าย

ประเภท	รายการ	แนวคิดเชิงกราฟ	การวิเคราะห์
1. อาหารและเครื่องดื่ม **(95.1)**	การใช้จ่ายมากที่สุด	จำนวนจุดมากที่สุด	-การจัดทำงบประมาณในระยะต่อไป -ปริมาณสินค้ามีความต้องการมากขึ้น -การผลิตสินค้ามากขึ้น
	การเชื่อมต่อ	การกระจาย	-ห้างสรรพสินค้า ซุปเปอร์มาร์เก็ตขนาดใหญ่ ขนาดกลางและขนาดเล็ก รวมทั้งตลาดและร้านขายของชำสามารถกักตุนสินค้าได้
	การป้องกัน	-	-ขยาย node ของ app ให้มากขึ้น
	การทำแผนที่	กราฟแสดงการกระจายการใช้จ่าย	-การทำธุรกรรมสูง
2. ของใช้ในครัวเรือน **(89.1)**	การใช้จ่ายมากเป็นอันดับสอง	จำนวนจุดมาก	-การจัดทำงบประมาณในระยะต่อไป -ปริมาณสินค้ามีความต้องการมากขึ้น -การผลิตสินค้ามากขึ้น
	การเชื่อมต่อ	การกระจาย	-ห้างสรรพสินค้า ซุปเปอร์มาร์เก็ตขนาดใหญ่ ขนาดกลางและขนาดเล็ก รวมทั้งตลาดและร้านขายของชำสามารถกักตุนสินค้าได้
	การป้องกัน	-	-ขยาย node (คอขวด) ของ app
	การทำแผนที่	กราฟแสดงการกระจายการใช้จ่าย	-การทำธุรกรรมสูง
3. สาธารณูปโภค **(57.2)**	การใช้จ่ายค่อนข้างมาก	จำนวนจุดค่อนข้างมาก	-ปริมาณการใช้สาธารณูปโภคค่อนข้างสูง
	การเชื่อมต่อ	การกระจาย	-ปริมาณการผลิตมีความจำเป็นอย่างยิ่ง
	การป้องกัน	-	-ไม่จำเป็นต้องขยาย node ของ app
	การทำแผนที่	กราฟแสดงการกระจายการใช้จ่าย	-การทำธุรกรรมปานกลาง
4. น้ำมันเชื้อเพลิง **(26.7)**	การใช้จ่ายค่อนข้างปานกลาง	จำนวนจุดปานกลาง	-ปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงขึ้นอยู่กับความจำเป็นและความต้องการ
	การเชื่อมต่อ	การกระจาย	-สถานที่บริการขายน้ำมันเชื้อเพลิงกักตุนปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงได้
	การป้องกัน	-	-ไม่จำเป็นต้องขยาย node ของ app
	การทำแผนที่	กราฟแสดงการกระจายการใช้จ่าย	-การทำธุรกรรมคงที่
5. ครอบครัวหรือญาติ **(26.3)**	การใช้จ่ายค่อนข้างปานกลาง	จำนวนจุดปานกลาง	-การให้เงินหรือเงินสนับสนุนกับครอบครัวนับเป็นจุดที่มีความจำเป็นเมื่อมีค่าใช้จ่ายด้านนี้เกิดขึ้น ปริมาณการใช้จ่ายขึ้นอยู่กับความจำเป็น
	การเชื่อมต่อ	การกระจาย	-
	การป้องกัน	-	-ไม่จำเป็นต้องขยาย node ของ app
	การทำแผนที่	กราฟแสดงการกระจายการใช้จ่าย	-การทำธุรกรรมคงที่
6. สุขภาพ **(16.7)**	การใช้จ่ายค่อนข้างน้อย	จำนวนจุดน้อย	-การใช้จ่ายด้านนี้มีความจำเป็นในการใช้จ่าย -ปริมาณการใช้จ่ายขึ้นอยู่กับความจำเป็น
	การเชื่อมต่อ	การกระจาย	-
	การป้องกัน	-	-ไม่จำเป็นต้องขยาย node ของ app
	การทำแผนที่	กราฟแสดงการกระจายการใช้จ่าย	-การทำธุรกรรมคงที่
7. การศึกษา **(12.9)**	การใช้จ่ายค่อนข้างน้อย	จำนวนจุดน้อย	-การใช้จ่ายด้านนี้มีความจำเป็นในการใช้จ่าย
	การเชื่อมต่อ	การกระจาย	-ในอนาคตจำนวนการกระจายน้อยลง
	การป้องกัน	-	-ไม่จำเป็นต้องขยาย node ของ app
	การทำแผนที่	กราฟแสดงการกระจายการใช้จ่าย	-การทำธุรกรรมคงที่

ตาราง 4 (ต่อ) การวิเคราะห์เชิงกราฟการนำเงิน 10,000 บาท ไปใช้จ่าย

8. เครื่องแต่งกาย **(12.7)**	การใช้จ่ายค่อนข้างน้อย	จำนวนจุดน้อย	-การใช้จ่ายด้านนี้มีความจำเป็นในการใช้จ่าย -ปริมาณสินค้าขึ้นอยู่กับความจำเป็นและความประสงค์ -การผลิตสินค้ามากขึ้น
	การเชื่อมต่อ	การกระจาย	-ห้างสรรพสินค้า ซุปเปอร์มาร์เก็ตขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็ก รวมทั้งตลาดและร้านขายของชำสามารถกักตุนสินค้าได้
	การป้องกัน	-	-ไม่จำเป็นต้องขยาย node ของ app
	การทำแผนที่	กราฟแสดงการกระจายการใช้จ่าย	-การทำธุรกรรมคงที่
9. อุปกรณ์การเกษตร **(11.2)**	การใช้จ่ายค่อนข้างน้อย	จำนวนจุดน้อย	-การใช้จ่ายด้านนี้มีความจำเป็นในการใช้จ่าย -ปริมาณสินค้าขึ้นอยู่กับความจำเป็น -การผลิตสินค้ามากขึ้น
	การเชื่อมต่อ	การกระจาย	-การผลิตสินค้าตามความต้องการของท้องตลาด ไม่จำเป็นต้องกักตุนสินค้า
	การป้องกัน	-	-ไม่จำเป็นต้องขยาย node ของ app
	การทำแผนที่	กราฟแสดงการกระจายการใช้จ่าย	-การทำธุรกรรมคงที่
10. อุปกรณ์ไฟฟ้า **(11.1)**	การใช้จ่ายค่อนข้างน้อย	จำนวนจุดน้อย	-การใช้จ่ายด้านนี้มีความจำเป็นในการใช้จ่าย
	การเชื่อมต่อ	การกระจาย	-ปริมาณการผลิตมีความจำเป็นและเป็นที่ต้องการ
	การป้องกัน	-	-ไม่จำเป็นต้องขยาย node ของ app
	การทำแผนที่	กราฟแสดงการกระจายการใช้จ่าย	-การทำธุรกรรมคงที่
11. ทำบุญ บริจาค **(6.9)**	การใช้จ่ายน้อย	จำนวนจุดน้อย	-การใช้จ่ายด้านนี้ขึ้นอยู่กับความจำเป็นของการใช้จ่าย
	การเชื่อมต่อ	การกระจาย	-ปริมาณการใช้จ่ายขึ้นอยู่กับความจำเป็นและความพอใจ
	การป้องกัน	-	-ไม่ต้องขยาย node ของ app
	การทำแผนที่	กราฟแสดงการกระจายการใช้จ่าย	-การทำธุรกรรมน้อย
12. อุปกรณ์ประกอบอาชีพ **(6.8)**	การใช้จ่ายน้อย	จำนวนจุดน้อย	-การใช้จ่ายด้านนี้มีความจำเป็นในการใช้จ่าย -ปริมาณสินค้ามีความต้องการมากขึ้นตามความจำเป็น -การผลิตสินค้ามากขึ้น
	การเชื่อมต่อ	การกระจาย	-ห้างสรรพสินค้า ซุปเปอร์มาร์เก็ตขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็กสามารถกักตุนสินค้าได้
	การป้องกัน	-	-ไม่ต้องขยาย node ของ app
	การทำแผนที่	กราฟแสดงการกระจายการใช้จ่าย	-การทำธุรกรรมน้อย
13. ซ่อมแซม **(5.6)**	การใช้จ่ายน้อย	จำนวนจุดน้อย	-ปริมาณสินค้าตามความจำเป็นในการใช้จ่าย
	การเชื่อมต่อ	การกระจาย	-ห้างสรรพสินค้า ซุปเปอร์มาร์เก็ตขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็ก สามารถกักตุนสินค้าตามความต้องการและสัมพันธ์กับปริมาณสินค้าได้
	การป้องกัน	-	-ไม่ต้องขยาย node ของ app
	การทำแผนที่	กราฟแสดงการกระจายการใช้จ่าย	-การทำธุรกรรมน้อย
14. อื่น ๆ **(3.6)**	การใช้จ่ายน้อย	จำนวนจุดน้อย	-ขึ้นอยู่กับความจำเป็นและความต้องการในการใช้จ่าย
	การเชื่อมต่อ	การกระจาย	-ปริมาณการใช้จ่ายขึ้นอยู่กับความจำเป็น
	การป้องกัน	-	-ไม่ต้องขยาย node ของ app
	การทำแผนที่	กราฟแสดงการกระจายการใช้จ่าย	-การทำธุรกรรมน้อย

จากตาราง 4 แสดงให้เห็นว่าเมื่อวิเคราะห์เชิงกราฟการนำเงิน 10,000 ไปใช้จ่าย การใช้จ่ายพิจารณาปริมาณจุดของกราฟ การเชื่อมต่อพิจารณาการกระจายของกราฟ การป้องกันพิจารณาหน่วยความจำ และการทำแผนที่พิจารณาพิจารณาความถี่ในการทำธุรกรรม อธิบายประเด็นสำคัญ ได้ดังนี้

1. จำนวนจุด: ปริมาณการใช้จ่ายมีมาก ความต้องการการใช้จ่ายมากขึ้น ส่งผลให้จำนวนการผลิตและจำนวนสินค้าที่มีในท้องตลาดเพิ่มมากขึ้น จำนวนจุดน้อย: ปริมาณการใช้จ่ายมีน้อย ความต้องการการใช้จ่ายน้อยลง ส่งผลให้จำนวนการผลิตและจำนวนสินค้าที่มีในท้องตลาดมีจำนวนน้อยลง

2. แนวโน้มของการใช้จ่าย: อาหารและเครื่องดื่มจำเป็นและมีความสำคัญกับการใช้จ่าย และในระยะยาวมีการใช้จ่ายต่อไปและยังคงมีแนวโน้มในการใช้จ่ายประเภทนี้มากขึ้น และในส่วนของประเภทสินค้าที่มีแนวโน้มในการใช้จ่ายน้อยลงในระยะยาวขึ้นอยู่กับความจำเป็นในการใช้จ่าย

3. แหล่งกระจายสินค้า: ห้างสรรพสินค้า ซุปเปอร์มาร์เก็ตทั้งขนาดใหญ่ กลางหรือเล็ก รวมทั้งตลาดและร้านขายของชำสามารถกักตุนสินค้าให้เพียงพอต่อความต้องการการใช้จ่ายได้ ถ้าสินค้านั้นมีความต้องการการใช้จ่ายมากขึ้น

4. สินค้าหรือความต้องการการใช้จ่ายที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้กับการเก็บข้อมูลในระบบหน่วยความจำ ซึ่งความต้องการการใช้จ่ายมากขึ้นจำเป็นต้องเพิ่มขนาดของหน่วยความจำข้อมูลในระบบหน่วยความจำเพื่อไม่ให้เกิดคอขวด

5. จำนวนการทำธุรกรรมมีผลต่อการจัดทำแผนที่การกระจายการทำธุรกรรม

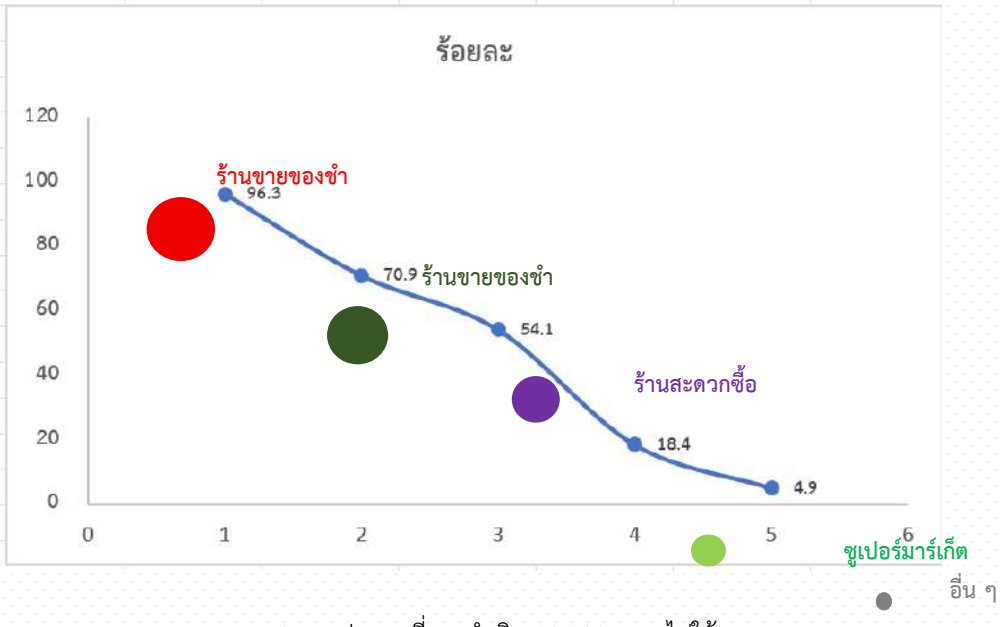
3.4 สถานที่นำเงิน 10,000 ไปใช้จ่าย

ประชาชนตัวอย่างฯ ที่นำเงินไปใช้จ่าย ร้อยละ 96.3 ระบุว่านำเงินไปใช้จ่ายที่ร้านค้าในชุมชน/ร้านขายของชำในสัดส่วนที่สูงที่สุด รองลงมา ได้แก่ หาบเร่ แผงลอยทั่วไป/ในตลาด (ร้อยละ 70.9) ร้านสะดวกซื้อ/มินิมาร์ททั่วไป เช่น 7 – Eleven, Mini Big C เป็นต้น (ร้อยละ 54.1) และดิสเคาท์สโตร์/ซูเปอร์มาร์เก็ต เช่น Big C, Tesco Lotus, Tops เป็นต้น (ร้อยละ 18.4)

ประชากรตัวอย่างนำเงินหนึ่งหมื่นบาทไปใช้จ่ายในร้านขายของชำ/ร้านค้าในชุมชนมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 96.3 รองลงมาคือ หาบเร่แผงลอยทั่วไป/ตลาด คิดเป็นร้อยละ 70.9 ร้านสะดวกซื้อ มินิมาร์ททั่วไป เช่น 7-eleven, Mini Big-C คิดเป็นร้อยละ 54.1 ซูเปอร์มาร์เก็ต Big-C, LOTUS Tops คิดเป็นร้อยละ 18.4 และอื่น ๆ ห้างสรรพสินค้า ร้านค้าการเกษตร โรงพยาบาล ร้านวัสดุก่อสร้าง ร้านค้าออนไลน์ คิดเป็นร้อยละ 4.9 ตามลำดับ

3.5 การวิเคราะห์เชิงกราฟสถานที่ที่นำเงิน 10,000 บาท ไปใช้จ่าย

เมื่อนำการวิเคราะห์เชิงกราฟสถานที่นำ 10,000 ไปใช้จ่าย ได้ผล ดังภาพ 2 ต่อไปนี้



ภาพ 2 กราฟสถานที่การนำเงิน 10,000 บาท ไปใช้

จากภาพ 2 เมื่อวิเคราะห์ด้วยแนวคิดทฤษฎีเชิงกราฟพบว่าสถานที่นำเงิน 10,000 ไปใช้ มีความสัมพันธ์กับแนวคิดเชิงกราฟ ดังนี้ (เนื่องจากการใช้จ่ายเงิน 10,000 บาทในระยะที่ 1 ไม่ได้มีการใช้จ่ายผ่านแอปพลิเคชันทางรัฐ การวิเคราะห์แนวคิดเชิงกราฟจึงวิเคราะห์เพียงจุดและแนวโน้มที่เกิดขึ้น)

ตาราง 5 การวิเคราะห์เชิงกราฟสถานที่นำเงิน 10,000 บาท ไปใช้จ่าย

ประเภท	รายการ	แนวคิดเชิงกราฟ	การวิเคราะห์
1. ร้านขายของชำ **(96.3)**	มีการใช้จ่ายมากที่สุด	จำนวนจุดมากที่สุด	-มีจำนวนร้านค้าเพิ่มมากขึ้น หรือร้านค้าจำหน่ายสินค้าที่มีการใช้จ่ายสูงมากขึ้น
	การเชื่อมต่อ	การกระจาย	-โรงงานผลิตสินค้า มายังตัวแทนขายสินค้าและมายังร้านค้า
	การป้องกัน	-	-ขยาย node ของ app ให้มากขึ้น
	การทำแผนที่	กราฟแสดงการกระจายการใช้จ่าย	-การทำธุรกรรมสูง
2. ของใช้ในครัวเรือน **(70.9)**	มีการใช้จ่ายมาก	จำนวนจุดมาก	-มีจำนวนร้านค้าเพิ่มมากขึ้น หรือร้านค้าจำหน่ายสินค้าที่มีการใช้จ่ายสูงมากขึ้น
	การเชื่อมต่อ	การกระจาย	-โรงงานผลิตสินค้า มายังตัวแทนขายสินค้ามายังร้านค้าและแหล่งขายปลีก
	การป้องกัน	-	-ขยาย node ของ app ให้มากขึ้น
	การทำแผนที่	กราฟแสดงการกระจายการใช้จ่าย	-การทำธุรกรรมสูง
3. ร้านสะดวกซื้อ **(54.1)**	มีการใช้จ่ายค่อนข้างมาก	จำนวนจุดค่อนข้างมาก	-มีจำนวนร้านค้าเพิ่มมากขึ้น หรือร้านค้าจำหน่ายสินค้าที่มีการใช้จ่ายสูงมากขึ้น
	การเชื่อมต่อ	การกระจาย	-โรงงานผลิตสินค้า มายังตัวแทนขายสินค้ามายังร้านค้าสะดวกซื้อ
	การป้องกัน	-	-ไม่จำเป็นต้องขยาย node ของ app
	การทำแผนที่	กราฟแสดงการกระจายการใช้จ่าย	-การทำธุรกรรมค่อนข้างปานกลาง
4. ซูเปอร์มาร์เก็ต **(18.4)**	มีการใช้จ่ายค่อนน้อย	จำนวนจุดค่อนข้างน้อย	-มีจำนวนร้านค้าเพิ่มมากขึ้น หรือร้านค้าจำหน่ายสินค้าที่มีการใช้จ่ายสูงมากขึ้น
	การเชื่อมต่อ	การกระจาย	-โรงงานผลิตสินค้า มายังตัวแทนขายสินค้ามายังร้านสะดวกซื้อขนาดใหญ่
	การป้องกัน	-	-ไม่จำเป็นต้องขยาย node ของ app
	การทำแผนที่	กราฟแสดงการกระจายการใช้จ่าย	-การทำธุรกรรมค่อนข้างน้อย
5. อื่น ๆ **(4.9)**	มีการใช้จ่ายน้อย	จำนวนจุดน้อย	-มีจำนวนร้านค้าเพิ่มมากขึ้น หรือร้านค้าจำหน่ายสินค้าที่มีการใช้จ่ายน้อย
	การเชื่อมต่อ	การกระจาย	-โรงงานผลิตสินค้า มายังตัวแทนขายสินค้าและกระจายมายังแหล่งขายสินค้าประเภทต่าง ๆ
	การป้องกัน	-	-ไม่จำเป็นต้องขยาย node ของ app
	การทำแผนที่	กราฟแสดงการกระจายการใช้จ่าย	-การทำธุรกรรมน้อย

จากตาราง 5 แสดงให้เห็นว่าเมื่อวิเคราะห์เชิงกราฟสถานที่นำเงิน 10,000 ไปใช้จ่าย จำนวนสถานที่นำเงิน 10,000 บาทไปใช้พิจารณาปริมาณจุดของกราฟ การเชื่อมต่อพิจารณาการกระจายของกราฟ การป้องกันพิจารณาหน่วยความจำและการทำแผนที่พิจารณาความถี่ในการทำธุรกรรม อธิบายประเด็นสำคัญ ได้ดังนี้

1. จำนวนจุดมาก: ปริมาณการใช้จ่ายมีมาก ความต้องการใช้จ่ายมากขึ้น ส่งผลให้สถานที่ในการขายสินค้า สถานที่ในการให้บริการมีจำนวนผู้ใช้จ่ายหรือผู้ใช้บริการมากขึ้น จำนวนจุดน้อย: ปริมาณการใช้จ่ายมีน้อย ความต้องการใช้จ่ายน้อย ส่งผลให้สถานที่ในการขายสินค้า สถานที่ในการให้บริการมีจำนวนผู้ใช้จ่ายหรือผู้ใช้บริการน้อย

2. แนวโน้มของการใช้จ่าย: มีการใช้จ่ายตั้งแต่ร้านค้าขนาดเล็ก ร้านขายของชำ หาบเร่แผงลอย ตลาด ร้านสะดวกซื้อ ซูเปอร์มาร์เก็ต ห้างสรรพสินค้า จนมาถึงสถานที่บริการขายสินค้าขนาดใหญ่

3. แหล่งกระจายสินค้า: จากโรงงานผลิตสินค้ามายังตัวแทนขายสินค้าและกระจายมายังแหล่งขายสินค้าประเภทต่าง ๆ ห้างสรรพสินค้า ซุปเปอร์มาร์เก็ตทั้งขนาดใหญ่ กลางหรือเล็ก รวมทั้งตลาดและร้านขายของชำ หรือสถานที่ให้บริการสำหรับผู้ใช้จ่ายมีทั้งขนาดใหญ่ ขนาดกลางและขนาดเล็ก

4. สินค้าหรือความต้องการการใช้จ่ายที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้กับการเก็บข้อมูลในระบบหน่วยความจำ ซึ่งความต้องการการใช้จ่ายมากขึ้นจำเป็นต้องเพิ่มขนาดของหน่วยความจำข้อมูลในระบบหน่วยความจำเพื่อไม่ให้เกิดคอขวด

5. จำนวนการทำธุรกรรมมีผลต่อการจัดทำแผนที่การกระจายการทำธุรกรรม

การใช้จ่ายเงินดิจิทัลวอลเล็ตในระยะที่ 1 (ผ่านผู้มีบัตรสวัสดิการแห่งรัฐและผู้พิการ) จำนวน 14,500,000 คน ประชาชนตัวอย่างนำเงินไปใช้จ่ายซื้ออาหารและเครื่องดื่มมากที่สุด โดยส่วนมากนำเงินไปใช้จ่ายในร้านขายของชำ หาบเร่แผงลอยและตลาด นอกจากนี้ประชาชนตัวอย่างนำเงินไปใช้จ่ายซื้อของอื่น ๆ น้อยที่สุด โดยนำเงินไปใช้จ่ายในห้างสรรพสินค้า ร้านค้าเกษตรกร โรงพยาบาล ร้านค้าวัสดุก่อสร้างและร้านค้าออนไลน์ เป็นต้น

งานวิจัยนี้วิเคราะห์การใช้จ่ายเงินดิจิทัลวอลเล็ตผ่านแง่มุมเชิงกราฟ ซึ่งสะท้อนจากการใช้จ่าย (spending) การเชื่อมต่อ (network) การป้องกัน (security) และการทำแผนที่ (mapping) สอดคล้องกับ [2] ซึ่งประยุกต์ใช้ทฤษฎีกราฟสำหรับการสร้างแบบจำลองเครือข่ายสกุลเงินดิจิทัลในบล็อกเชนเพื่อประเมินการกระจายอำนาจ ความปลอดภัย ความเป็นส่วนตัว ความสามารถในการปรับขนาด และการทำแผนที่ เพื่อชี้วัด การเชื่อมต่อของจุด ระบุจุดคอขวดของเครือข่าย ติดตามการกระจายของจุด เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบบล็อกเชนให้มีประสิทธิภาพ

4. บทสรุป

1. ปริมาณการใช้จ่ายวิเคราะห์จากจำนวนจุด บ่งชี้ถึงจำนวนจุดมากปริมาณการใช้จ่ายมีมากความต้องการใช้จ่ายมากขึ้น ส่งผลให้จำนวนการผลิตและจำนวนสินค้าที่มีในท้องตลาดเพิ่มมากขึ้น จำนวนจุดน้อยปริมาณการใช้จ่ายมีน้อยความต้องการใช้จ่ายน้อยลง ส่งผลให้จำนวนการผลิตและจำนวนสินค้าที่มีในท้องตลาดมีจำนวนน้อยลง

2. แนวโน้มของการใช้จ่ายการวิเคราะห์เชื่อมต่อของจุด บ่งชี้ถึงการเชื่อมต่อมาก ในระยะยาวมีการใช้จ่ายต่อไปและยังคงมีแนวโน้มในการใช้จ่ายประเภทนี้มากขึ้น การเชื่อมต่อน้อยในระยะยาวมีการใช้จ่ายลดลง

3. การกระจายการใช้จ่ายวิเคราะห์จากการป้องกัน บ่งชี้ถึงปริมาณการใช้จ่ายมากทำให้เกิดคอขวดจำเป็นต้องเพิ่มหน่วยความจำในการเก็บข้อมูล ปริมาณการใช้จ่ายน้อยไม่จำเป็นต้องเพิ่มขนาดหน่วยความจำ

4. จำนวนการทำธุรกรรมวิเคราะห์จากการทำแผนที่ บ่งชี้ถึงจำนวนการทำธุรกรรมมีผลต่อการจัดทำแผนที่การกระจายการทำธุรกรรม

งานวิจัยนี้วิเคราะห์การใช้จ่ายเงินดิจิทัลวอลเล็ตผ่านแง่มุมเชิงกราฟ ซึ่งสะท้อนจากการใช้จ่าย (spending) การเชื่อมต่อ (network) การป้องกัน (security) และการทำแผนที่ (mapping) เพื่อชี้วัดปริมาณของจุด ระบุจุดคอขวดของเครือข่าย ติดตามการกระจายของจุด เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบการนำเงิน 10,000 บาทไปใช้จ่ายต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณกองทุนเพื่อการวิจัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร งบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2568

6. เอกสารอ้างอิง

[1] www.กระเป๋าเงินดิจิทัล.รัฐบาลไทย

[2] Jayabalasamy, G., Pujol, C., & Latha Bhaskaran, K. (2024). Application of graph theory for blockchain technologies. *Mathematics*, *12*(8), 1133.

[3] Sharma, A., Agrawal, A., Bhatia, A., & Tiwari, K. (2022, March). Bitcoin's blockchain data analytics: A graph theoretic perspective. In *International Conference on Advanced Information Networking and Applications* (pp. 459-470). Cham: Springer International Publishing.

[4] สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2568). การสำรวจความคิดเห็นของประชาชนที่ได้รับสิทธิ์ในโครงการกระตุ้นเศรษฐกิจ ปี 2567 ผ่านผู้มีบัตรสวัสดิการแห่งรัฐและคนพิการ. สำนักงานสถิติแห่งชาติ กองพยากรณ์กรุงเทพฯ: เขตหลักสี่, 66 หน้า.

[5] Subbotin, D. A., Antropova, M. A., & Sukharev, P. V. (2020, January). Tracking transactions in cryptocurrencies using the graph theory. In *2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)* (pp. 526-529). IEEE.

[6] Palmer, I., Gelfand, B., & Campbell, R. (2017). *Exploring digital evidence with graph theory*.

การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบย่านางและการพัฒนาตำรับแผ่นแปะเจลาติน
Study of Antioxidant Activity of Yanang Leaf Extract and Development of Gelatin Patches

อรจิรา อารักษ์สกุลวงศ์[1*] บุณยรัศมิ์ สุขเขียว[1] และ รัชกฤช ปัทมโสภาสกุล[1]

[1]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต
*E-mail: ornjira.a@rsu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระยะเวลาในการสกัดเย็นใบย่านางและพัฒนาตำรับแผ่นแปะเจลาตินที่ผสมสารสกัดใบย่านาง โดยทำการสกัดเย็นใบย่านางด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องในระยะเวลาที่แตกต่างกัน แล้วนำไปผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง จากนั้นนำสารสกัดผงแห้งที่ได้มาวิเคราะห์องค์ประกอบพฤกษเคมี ตรวจสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay และทำการพัฒนาขึ้นรูปเป็นแผ่นแปะเจลาตินผสมสารสกัดใบย่านาง ผลการทดลองพบว่า สารสกัดที่ระยะเวลา 6 ชั่วโมง ให้ค่า IC_{50} ต่ำที่สุดในสภาวะที่ศึกษา (0.47 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรของสารสกัดหยาบใบย่านาง) แสดงถึงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีที่สุดในสภาวะที่ศึกษา และมีการตรวจพบสารประกอบกลุ่มฟีนิลิกและแทนนินในสารสกัดเมื่อใช้ระยะเวลาการสกัดตั้งแต่ 6 ชั่วโมงขึ้นไป และเมื่อนำสารสกัดใบย่านางไปพัฒนาเป็นตำรับแผ่นแปะเจลาติน ผลการประเมินลักษณะเบื้องต้นพบว่าสารสกัดที่ผ่านกระบวนการสกัดเป็นเวลา 6 ชั่วโมง มีความเข้ากันได้กับองค์ประกอบต่าง ๆ ของแผ่นแปะ สารสกัดกระจายตัวได้อย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น โดยแผ่นแปะสามารถขึ้นรูปและคงรูปอยู่ได้ดี งานวิจัยนี้จึงแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้เบื้องต้นในการนำสารสกัดใบย่านางมาพัฒนาเป็นแผ่นแปะพอลิเมอร์สมุนไพรธรรมชาติ ซึ่งเป็นแนวทางเบื้องต้นที่มีประสิทธิภาพในการพัฒนานวัตกรรมสุขภาพจากสมุนไพรท้องถิ่น

คำสำคัญ ใบย่านาง การสกัดเย็น เจลาติน แผ่นแปะพอลิเมอร์ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

Abstract

This study evaluated the cold extraction duration of Yanang (*Tiliacora triandra*) leaves and developed Yanang extract-loaded gelatin patches. Fresh leaves were cold-extracted with distilled water at room temperature for various durations, freeze-dried, and characterized for phytochemical composition and DPPH radical scavenging capacity prior to patch formulation. The 6-hour extract exhibited the lowest IC_{50} value (0.47mg/mL) crude extract) and the highest antioxidant activity among the tested conditions. Phenolics and tannins were detected in extracts obtained at 6 hours. Preliminary evaluation showed that the 6-hour extract had good compatibility with patch components, achieved uniform matrix dispersion, and demonstrated satisfactory film formation and shape retention. These findings highlight the preliminary feasibility of utilizing Yanang leaf extract in natural herbal polymeric patches for health applications.

Keywords: Yanang (*Tiliacora triandra* Diels), Cold extraction, Gelatin, Polymeric patch, Antioxidant activity

1. บทนำ

ย่านาง (*Tiliacora triandra* Diels) จัดเป็นพืชผักและสมุนไพรพื้นบ้านที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในวิถีชีวิตและวัฒนธรรมของคนไทย โดยเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ ในตำรับยาแพทย์แผนไทย ย่านางถูกจัดให้เป็น "สมุนไพรฤทธิ์เย็น" ที่มีสรรพคุณโดดเด่นในการดับพิษร้อน ถอนพิษไข้ และปรับสมดุลธาตุในร่างกาย [1] นอกจากนี้ยังมีความผูกพันลึกซึ้งกับวัฒนธรรมอาหารพื้นบ้าน โดยนิยมนำมาประกอบอาหารเพื่อช่วยลดความเป็นพิษและเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการตามภูมิปัญญาดั้งเดิม ส่วนของย่านางที่ได้รับความนิยมและนำมาใช้ประโยชน์มากที่สุดคือ "ใบย่านาง" ซึ่งมักถูกนำมาคั้นเพื่อใช้ในการบริโภคและปรุงยา จากการศึกษาทางพฤกษเคมีพบว่า ใบย่านางอุดมไปด้วยสารทุติยภูมิ (Secondary metabolites) ที่มีประโยชน์มากมาย นำไปสู่การศึกษาวิจัยเพื่อหาสารสำคัญทางเคมี โดยพบว่าสารประกอบหลักในใบย่านาง คือ สารกลุ่มอัลคาลอยด์ชนิดบิสเบนซิลไอโซควิโนลีน (Bisbenzylisoquinoline alkaloids) เช่น ทิเลียโครีน (Tiliacorine) และ ทิเลียโครินีน (Tiliacorinine) [2] สารสำคัญเหล่านี้มีรายงานฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาที่โดดเด่น ทั้งฤทธิ์ต้านเชื้อมาลาเรีย ฤทธิ์ต้านการอักเสบ [3] รวมถึงศักยภาพในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants) ที่ช่วยป้องกันความเสียหายของเซลล์จากภาวะความไม่สมดุลของการเกิดอนุมูลอิสระ (Oxidative stress) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของโรคเรื้อรังและความเสื่อมตามวัย [4]

ในการพิสูจน์ฤทธิ์ทางชีวภาพของสมุนไพร เทคนิคโครมาโทกราฟีแบบแผ่นบาง (Thin Layer Chromatography; TLC) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการตรวจหาและระบุเอกลักษณ์ของสารสำคัญกลุ่มอัลคาลอยด์ ควบคู่ไปกับการทดสอบประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) ซึ่งเป็นเทคนิคมาตรฐานที่นิยมใช้ [5] โดยอาศัยหลักการวัดความสามารถของสารต้านอนุมูลอิสระในการให้อิเล็กตรอนหรือไฮโดรเจนอะตอมแก่อนุมูลอิสระ DPPH ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนสีจากสีม่วงเป็นสีเหลือง อย่างไรก็ตาม วิธีการดังกล่าวมีข้อจำกัดที่อาจเกิดการรบกวนผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงได้จากหลายปัจจัย ได้แก่ สีธรรมชาติของสารสกัด ชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ และระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา วิธี DPPH จะอาศัยการเปรียบเทียบกับวิตามินซี (Ascorbic acid) ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับ อย่างไรก็ตาม การนำสารสกัดจากธรรมชาติมาประยุกต์ใช้นั้น หากอยู่ในรูปแบบสารละลายหรือสารสกัดหยาบอาจมีความไม่สะดวกในการใช้งานและขาดความคงตัว ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในรูปแบบ "แผ่นแปะ" (Patch) จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากสามารถนำส่งสารสำคัญได้อย่างมีประสิทธิภาพ สะดวกต่อการพกพาและใช้งาน โดยเฉพาะการเลือกใช้พอลิเมอร์ธรรมชาติ เช่น เจลาติน (Gelatin) เป็นโครงสร้างหลัก [6] เนื่องจากเจลาตินมีคุณสมบัติเข้ากันได้ทางชีวภาพ (Biocompatibility) มีความปลอดภัย และสามารถก่อฟิล์มที่มีความยืดหยุ่นและกักเก็บสารสำคัญได้ดี

ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะทำการสกัดเย็นใบย่านางด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องโดยใช้ระยะเวลาการสกัดที่แตกต่างกันเพื่อศึกษาผลของระยะเวลาในการสกัดที่มีต่อองค์ประกอบพฤกษเคมีและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบใบย่านาง โดยศึกษาองค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของสารสกัดใบย่านางด้วยเทคนิค TLC รวมทั้งประเมินประสิทธิภาพในการยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay โดยเปรียบเทียบค่า IC_{50} กับสารมาตรฐานวิตามินซี และนำสารสกัดใบย่านางที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาตำรับแผ่นแปะเจลาตินเพื่อการนำส่งสารสำคัญที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เพื่อประเมินลักษณะทางกายภาพและความเป็นไปได้ในการกักเก็บสารสำคัญทางชีวภาพ ซึ่งจะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการยกระดับพืชสมุนไพรพื้นบ้านไทยสู่การพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพที่ได้มาตรฐานและใช้งานได้จริงต่อไป

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

2.1 การเตรียมและสกัดสารจากใบย่านาง

นำใบย่านางสดที่ซื้อจากตลาดสี่มุมเมือง จังหวัดปทุมธานี มาคัดเลือกเฉพาะใบที่มีความสมบูรณ์ ไม่ปรากฏรอยโรคหรือร่องรอยการทำลายของแมลง มาล้างทำความสะอาด ผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง และนำไปปั่นละเอียด จากนั้นชั่งใบย่านาง 30 กรัม สกัดด้วยน้ำกลั่น 150 มิลลิลิตร นำไปเขย่าบนเครื่อง Orbital Shaker ด้วยความเร็วรอบ 280 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 28°C โดยแบ่งเป็น 3 ชุดการทดลอง ซึ่งใช้ระยะเวลาการสกัดเป็น 3, 6 และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ กรองแยกกากและเมือกออกด้วยตะแกรงกรอง นำสารละลายที่ได้ไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze-drying) เพื่อให้ได้สารสกัดแห้งสำหรับนำไปทดสอบและพัฒนาตำรับ

2.2 การทดสอบพฤกษเคมีเบื้องต้น

2.2.1 การตรวจหาอัลคาลอยด์ด้วยวิธี TLC: นำสารสกัดแห้งละลายด้วยเมทานอล 95% ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้น Spot ลงบนแผ่นโครมาโทกราฟีแบบผิวบางที่เคลือบด้วย Silica gel 60 GF 254 (Merck) โดยใช้วัฏภาคเคลื่อนที่เป็น Dichloromethane : Methanol ในอัตราส่วน 95 : 5 จากนั้นวางใน TLC Tank รอให้วัฏภาคเคลื่อนที่เคลื่อนที่ไปจนถึง Solvent front และนำแผ่น TLC ออกมาวางให้แห้งแล้วตรวจสอบผลการแยกสารภายใต้แสงขาวและแสงอัลตราไวโอเลตที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร

2.2.2 การตรวจหาอัลคาลอยด์ด้วย Wagner's test: เตรียมสารละลายของสารสกัดแห้งจากใบย่านางทั้ง 3 ชุดการทดลอง โดยชั่งสารสกัดแห้ง 100 มิลลิกรัม ละลายในน้ำกลั่นจนได้สารละลาย 100 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายที่ได้ 3 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง หยดน้ำยาทดสอบวากเนอร์ (Wagner's Reagent) จำนวน 2 หยด เขย่า สังเกตการเกิดตะกอนสีน้ำตาลหรือสีน้ำตาลแดง โดยเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่เป็นน้ำกลั่น [7]

2.2.3 การตรวจหาแทนนิน: ปิเปตสารละลายตัวอย่างใบย่านางที่เตรียมในขั้นตอนการตรวจหาอัลคาลอยด์ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองทั้ง 3 ชุดการทดลอง เติมสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เข้มข้น 1%W/V จำนวน 2-3 หยด สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย หากสารสกัดมีสารแทนนินเป็นองค์ประกอบ สารละลายจะเปลี่ยนสีเป็น สีน้ำเงินเข้ม ดำ หรือ สีเขียวอมน้ำตาล [7]

2.3 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH Assay

2.3.1 การเตรียมสารละลาย DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) โดยการชั่งสาร DPPH 4.00 มิลลิกรัม ปรับปริมาตรด้วยเอทานอล 95% จนสารละลายมีปริมาตรเท่ากับ 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันและเก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที

2.3.2 เตรียมสารละลายมาตรฐานวิตามินซี โดยชั่งสารมาตรฐานวิตามินซี (Positive Control) ปริมาณ 50 มิลลิกรัม ละลายในเอทานอล 95% จนได้สารละลาย 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำมาเจือจางให้มีความเข้มข้น 0.1, 0.5, 1.0, 5.0 และ 10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (ppm)

2.3.3 เตรียมสารละลายตัวอย่าง โดยนำสารสกัดแห้งของใบย่านางทั้ง 3 ชุดการทดลอง (ระยะเวลาในการสกัดเป็น 3 ชั่วโมง, 6 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง) มาละลายด้วยน้ำกลั่นเพื่อเตรียมเป็นสารละลาย 5 ความเข้มข้น ดังนี้ 0.10, 0.25, 0.50, 0.75, และ 1.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

2.3.4 ปิเปตสารละลาย DPPH ใส่หลอดทดลองจำนวน 6 หลอด ๆ ละ 2 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตสารละลายมาตรฐานวิตามินซีความเข้มข้นต่าง ๆ ใส่ในหลอดทดลอง 5 หลอด ๆ ละ 1 มิลลิลิตร หลอดที่เหลือปิเปตน้ำกลั่นปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่แทนสารละลายมาตรฐานวิตามินซี เขย่าแล้วทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร

2.3.5 ปิเปตสารละลาย DPPH ใส่หลอดทดลองจำนวน 15 หลอด ๆ ละ 2 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตสารละลายตัวอย่างทั้ง 5 ความเข้มข้นของ 3 ชุดการทดลอง ใส่ในหลอดทดลองทั้ง 15 หลอด ๆ ละ 1 มิลลิลิตร เขย่าแล้วทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้ Sample Blank ที่เตรียมด้วยการปิเปตสารสกัดตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ผสมกับตัวทำละลาย (ที่ไม่มีสาร DPPH) ปริมาตร 2 มิลลิลิตร

2.3.6 คำนวณหาค่าร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระของสารละลายมาตรฐานวิตามินซี และสารละลายตัวอย่างทั้งหมด โดยใช้สูตร

$$\% \text{ Inhibition} = \left[\frac{A_{control} - A_{sample}}{A_{control}}\right] \times 100$$

$A_{control}$ = ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย DPPH ที่ไม่มีสารต้านอนุมูลอิสระ (ไม่มีวิตามินซีและไม่มีสารสกัด)

A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของสารผสมระหว่างสารละลาย DPPH กับสารตัวอย่าง

เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระกับความเข้มข้น เพื่อคำนวณหาค่า IC_{50}

2.4 การเตรียมแผ่นแปะเจลาตินผสมสารสกัดใบย่านาง

ชั่งผงเจลาติน 2.7 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 15 มิลลิลิตร และชั่งสารสกัดแห้งใบย่านาง 5 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 15 มิลลิลิตร นำสารละลายทั้งสองส่วนมาผสมและคนให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นเติมกลีเซอรอล 1 กรัม นำไปกวนด้วยเครื่องกวนสารแบบให้ความร้อน (Hotplate stirrer) ที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 10 นาที จนได้สารละลายใส จากนั้นเติมแซนแทนกัม 150 มิลลิกรัม และ PEG-8000 ปริมาณ 300 มิลลิกรัม กวนต่อเนื่องจนเป็นเนื้อเดียวกัน นำสารละลายที่เตรียมได้ทั้งหมดเทลงในจานเพาะเชื้อขนาดมาตรฐาน (เส้นผ่าศูนย์กลาง 90 มิลลิเมตร) และตั้งทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จะได้แผ่นแปะเจลาตินผสมสารสกัดใบย่านาง

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ลักษณะทางกายภาพของสารสกัดผงแห้งใบย่านาง

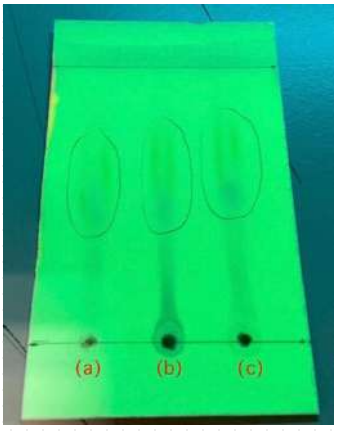
จากการสกัดสารจากใบย่านางด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง (Cold extraction) และนำไปผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze-drying) จะได้สารสกัดที่มีลักษณะทางกายภาพเป็นผงแห้งร่วน มีการจับตัวกันเป็นก้อนเล็กน้อย และมีสีเขียวเข้ม (ดังภาพที่ 1) ซึ่งสีดังกล่าวเป็นผลมาจากความเข้มข้นของรงควัตถุตามธรรมชาติและกลุ่มสารพฤกษเคมีที่ถูกสกัดออกมา

ภาพที่ 1 สารสกัดแห้งของใบย่านางหลังผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze-drying)

3.2 การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของสารสกัดใบย่านาง

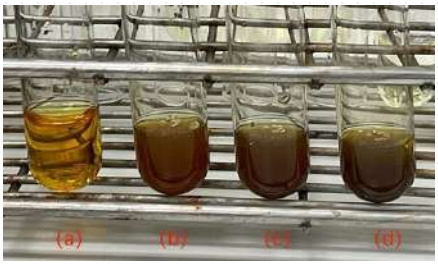
การวิเคราะห์ทางพฤกษเคมี (Phytochemical screening) ของสารสกัดใบย่านางที่ผ่านกระบวนการสกัดเย็นในระยะเวลาที่แตกต่างกัน ได้แก่ 3 ชั่วโมง, 6 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง ได้ผลดังนี้

3.2.1 การทดสอบหาสารกลุ่มอัลคาลอยด์ (Alkaloids) จากการทดสอบด้วยเทคนิค Thin-Layer Chromatography (TLC) ภายใต้แสงอัลตราไวโอเลต (UV) ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การเปรียบเทียบสารสกัดใบย่านางที่ใช้ระยะเวลาในการสกัดเป็น
(a) 3 ชั่วโมง (b) 6 ชั่วโมง และ (c) 24 ชั่วโมง บนแผ่น TLC

จากผลการทดลองพบว่าสารสกัดใบย่านางทั้ง 3 ระยะเวลา ปรากฏรูปแบบของ Spot ที่มีลักษณะ ขนาด และระยะทางการเคลื่อนที่ (ค่า R_f) ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบบางส่วนที่คล้ายกันของสารสกัดที่ใช้ระยะเวลาในการสกัดเย็นที่แตกต่างกัน และเมื่อทดสอบยืนยันผลด้วยปฏิกิริยา Wagner's test พบว่าสารสกัดใบย่านางทั้ง 3 ระยะเวลาเกิดตะกอนสีน้ำตาลแดง ดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งเป็นผลบวกของการพบสารประกอบกลุ่มอัลคาลอยด์ แสดงให้เห็นว่าสารสกัดใบย่านางทั้ง 3 ระยะเวลามีสารประกอบกลุ่มอัลคาลอยด์เป็นองค์ประกอบทั้งสามระยะเวลา ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานวิจัยก่อนหน้าที่ระบุว่าใบย่านางมีสารสำคัญกลุ่มอัลคาลอยด์ คือ ทิเลียโครีน (Tiliacorine) และ ทิเลียโครินีน (Tiliacorinine) เป็นองค์ประกอบหลัก [2]



ภาพที่ 3 ผลการทดสอบสารประกอบอัลคาลอยด์ด้วยวิธี Wagner's test
(a) น้ำกลั่น, (b) สารสกัด 3 ชั่วโมง, (c) สารสกัด 6 ชั่วโมง และ (d) สารสกัด 24 ชั่วโมง

3.2.2 การทดสอบหาสารประกอบกลุ่มแทนนิน จากการทดสอบสารสกัดใบย่านางด้วยการทำปฏิกิริยากับสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ ($FeCl_3$) โดยไอออนของเหล็ก (Fe^{3+}) จากสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ จะสามารถเข้าทำปฏิกิริยาเชิงซ้อน (Complexation) กับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) บนวงแหวนเบนซีนของสารฟีนอลในโมเลกุลของแทนนิน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสารละลายเป็นสารละลายสีเข้ม เช่น สีน้ำเงินดำ หรือสีเขียวอมดำ ซึ่งผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4 จะเห็นได้ว่าหลอดทดลอง (a) ซึ่งเป็นน้ำกลั่น (ชุดควบคุม) ไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีใด ๆ ส่วนสารสกัดที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมงในหลอดทดลอง (b) สารละลายยังคงรักษาสภาพเป็นสีเขียวใสของสารสกัดดั้งเดิมและไม่พบการเปลี่ยนสีเข้มอมดำ ดังนั้นในสภาวะการสกัด 3 ชั่วโมง ยังไม่มีการปลดปล่อยสารกลุ่มแทนนินออกมา หรือมีอยู่ในปริมาณที่ต่ำกว่าขีดจำกัดในการตรวจวัดด้วยตาเปล่า (Limit of detection) อย่างไรก็ตาม เมื่อระยะเวลาการสกัดเพิ่มขึ้นเป็น 6 ชั่วโมงในหลอดทดลอง (c) เริ่มสังเกตเห็นสารละลายเปลี่ยนเป็นสีเขียวคล้ำขึ้นเล็กน้อย และในหลอดทดลอง (d) ซึ่งเป็นสารสกัดที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง สารละลายมีการเปลี่ยนสีอย่างชัดเจนเป็นสีเขียวเข้มและคล้ำอมดำเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการสกัดมีผลต่อการแพร่ของสารแทนนินออกมาจากเซลล์พืช เนื่องจากแทนนินเป็นสารโมเลกุลใหญ่และโครงสร้างมีความซับซ้อน จึงต้องใช้ระยะเวลาในการสัมผัสกับตัวทำละลายที่นานพอเพื่อให้สารละลายออกมา

ภาพที่ 4 ผลการทดสอบหาสารกลุ่มแทนนิน
(a) น้ำกลั่น, (b) สารสกัด 3 ชั่วโมง, (c) สารสกัด 6 ชั่วโมง และ (d) สารสกัด 24 ชั่วโมง

3.3 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH Assay

จากการทดสอบความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH ของสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่าค่าความเข้มข้นที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50 (IC_{50}) มีค่าเท่ากับ 0.00412 mg/mL ซึ่งจัดเป็น

สารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูงมาก จึงใช้เป็นสารมาตรฐานอ้างอิงในการเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดตัวอย่าง ซึ่งจากการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากใบย่านางด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าสารสกัดใบย่านางจากทั้ง 3 ระยะเวลามีแนวโน้มของเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระ (% Inhibition) เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นที่เพิ่มสูงขึ้น เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50 (IC_{50}) ซึ่งเป็นดัชนีหลักในการชี้วัดประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ โดยค่า IC_{50} ที่น้อยกว่าแสดงถึงประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่า จากผลการทดลองพบว่า สารสกัดจากใบย่านางที่ระยะเวลา 6 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด โดยมีค่า IC_{50} ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.47 mg/mLรองลงมาคือสารสกัดใบย่านางที่ 3 ชั่วโมง (0.72 mg/mL) และ 24 ชั่วโมง (1.12 mg/mL) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าสารสกัดใบย่านางมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ แม้จะมีประสิทธิภาพน้อยกว่าสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก ซึ่งมีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.00412 mg/mL (ตารางที่ 1) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ระยะเวลาการสกัดที่ 6 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการดึงสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีสมบัติต้านอนุมูลอิสระ DPPH ออกมาได้มากที่สุด ในขณะที่การสกัดเป็นระยะเวลานานเกินไป (24 ชั่วโมง) ส่งผลให้ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระลดลง ซึ่งอาจเกิดจากการสลายตัวหรือการเกิดออกซิเดชันของสารสำคัญบางชนิดเมื่อแช่ในตัวทำละลายเป็นเวลานาน

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก

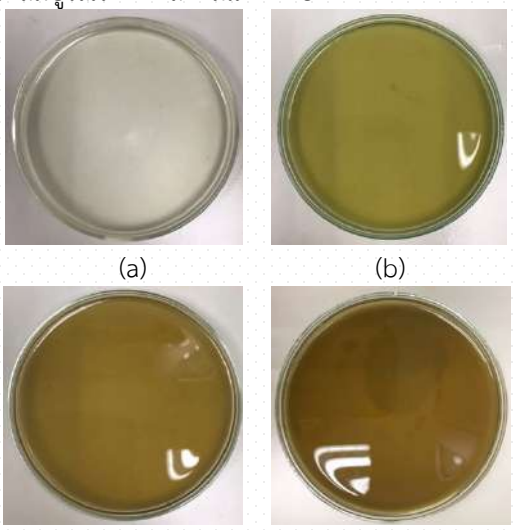
ความเข้มข้นของสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก (ppm)	% Inhibition	IC_{50} (ppm)
0.10	33.12	4.12
0.50	35.28	
1.00	36.17	
5.00	52.54	
10.00	75.63	

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากใบย่านางที่ระยะเวลาการสกัดแตกต่างกัน

ระยะเวลาการสกัดใบย่านาง (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของสารสกัด (mg/mL)	% Inhibition	IC_{50} (mg/mL)
3	0.10	11.04	0.72
	0.25	20.68	
	0.50	31.34	
	0.75	54.82	
	1.00	67.89	
6	0.10	23.73	0.47
	0.25	39.59	
	0.50	53.55	
	0.75	67.89	
	1.00	79.44	
24	0.10	20.43	1.12
	0.25	25.25	
	0.50	30.46	
	0.75	36.80	
	1.00	46.32	
	1.25	55.28	

3.4 การพัฒนาและการขึ้นรูปแผ่นแปะเจลาตินผสมสารสกัดใบย่านาง

จากการทดลองพบว่าเมื่อผสมสารสกัดใบย่านางกับเจลาตินและแซนแทนกัมในสัดส่วนที่พอเหมาะ จะทำให้สารผสมสามารถเซตตัวเป็นแผ่นแปะเจลาตินที่สมบูรณ์ได้ ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของแผ่นแปะเจลาติน: (a) แผ่นแปะเจลาตินสูตรควบคุม (น้ำกลั่น), (b)-(d) แผ่นแปะเจลาตินผสมสารสกัดจากใบย่านางที่ระยะเวลาการสกัด 3 (b), 6 (c) และ 24 (d) ชั่วโมง ตามลำดับ

จากการทดลองพบว่าเมื่อผสมเจลาตินและแซนแทนกัมในสัดส่วนที่พอเหมาะ จะช่วยสร้างโครงร่างตาข่ายที่แข็งแรงและคงรูป ในขณะที่ PEG-8000 และกลีเซอรอลจะทำหน้าที่เป็นสารพลาสติไซเซอร์ (Plasticizer) และสารให้ความชุ่มชื้น ช่วยลดความเปราะบางของพอลิเมอร์ ทำให้แผ่นแปะมีความยืดหยุ่นสูง แนบสนิทไปกับผิวหนัง และไม่ทิ้งคราบเหนียวเหนอะหนะ เมื่อนำสารสกัดจากใบย่านางมาผสมลงในสูตรนี้พบว่าสารผสมสามารถก่อตัวเป็นแผ่นเจลได้ดีเยี่ยม เนื้อสัมผัสเนียนเรียบ มีความยืดหยุ่นสูง แข็งแรงไม่ฉีกขาด ลอกออกจากแม่พิมพ์ได้ง่าย และยึดเกาะผิวหนังได้ดี โดยสารสกัดสามารถกระจายตัวเข้ากับเนื้อเจลได้อย่างสม่ำเสมอ สามารถเซตตัวเป็นแผ่นแปะเจลาตินที่สมบูรณ์ ดังแสดงในภาพที่ 5

4. บทสรุป

งานวิจัยนี้ทำการศึกษากระบวนการสกัดเย็นใบย่านางและการพัฒนาตำรับแผ่นแปะเจลาตินผสมสารสกัดใบย่านาง โดยจากผลการทดลองพบว่า กระบวนการสกัดเย็นด้วยน้ำกลั่นในระยะเวลาที่แตกต่างกัน (3, 6 และ 24 ชั่วโมง) ไม่ส่งผลให้สารสำคัญกลุ่มอัลคาลอยด์สูญเสียไปเมื่อตรวจสอบด้วยเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี (TLC) อีกทั้งการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระยังชี้ให้เห็นว่าภายใต้สภาวะการทดลองเบื้องต้นสารสกัดที่ระยะเวลา 6 ชั่วโมง ให้ค่า IC_{50} ต่ำที่สุด (0.47 mg/mL) ภายใต้สภาวะที่ศึกษาทั้งหมด ในขณะที่การเพิ่มระยะเวลาการสกัดนานถึง 24 ชั่วโมง จะตรวจพบสารประกอบกลุ่มฟีนอลิกและแทนนิน ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับการลดลงของฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเนื่องจากการเจือจางและการสลายตัวของสารสำคัญ เมื่อนำสารสกัดดังกล่าวไปผ่านกระบวนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze-drying) จนได้ผงแห้งที่มีความคงตัวสูง แล้วนำมาผสานเข้ากับตำรับแผ่นแปะเจลาติน ซึ่งประกอบด้วย เจลาติน 2.70 กรัม, แซนแทนกัม 150 มิลลิกรัม, PEG-8000 300 มิลลิกรัม และกลีเซอรอล 1 กรัม ในน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร เป็นสูตรที่เหมาะสมในเชิงกายภาพ เนื่องจากสามารถสร้างโครงร่างตาข่ายพอลิเมอร์ (Polymer network) ที่แข็งแรง คงรูปได้ดี มีความยืดหยุ่นสูง ไม่ฉีกขาดง่าย และลอกออกได้โดยไม่ทิ้งคราบเหนียวเหนอะหนะ โดยสารสกัดที่ระยะเวลา 6 ชั่วโมง มีความเข้ากันได้ส่วนองค์ประกอบต่าง ๆ ของแผ่นแปะเจลาติน กระจายตัวได้อย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น และช่วยให้แผ่นแปะสามารถคงรูปอยู่ได้ดี แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้เบื้องต้นในการนำสารสกัดใบย่านางมาพัฒนาเป็นแผ่นแปะพอลิเมอร์สมุนไพรธรรมชาติ ซึ่งเป็นแนวทางเบื้องต้นที่มีประสิทธิภาพในการพัฒนานวัตกรรมสุขภาพจากสมุนไพรท้องถิ่น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต สำหรับสถานที่ทำวิจัย รวมถึงอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ตลอดการทำงานวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Rattana, S., Padumanonda, T., & Sirithunyalug, B. (2010). Antioxidant activity of *Tiliacora triandra* leaf extracts. *Journal of Health Research*, 24(3), 143-147.

[2] Department of Medical Sciences. (2020). Thai herbal pharmacopoeia (Vol. 2). Ministry of Public Health.

[3] Saiin, C., & Markmee, S. (2003). Isolation of anti-malarial active compound from Yanang (*Tiliacora triandra* Diels). *Kasetsart Journal (Natural Science)*, 37(1), 47-51.

[4] Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M. T., Mazur, M., & Telser, J. (2007). Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 39(1), 44-84. doi.org/10.1016/j.biocel.2006.07.001

[5] Molyneux, P. (2004). The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 26(2), 211-219.

[6] Cao, N., Yang, X., & Fu, Y. (2009). Effects of various plasticizers on mechanical and physical properties of gelatin films. *Food Hydrocolloids*, 23(3), 729–735.

[7] Alara, O. R., Abdurahman, N. H., & Ukaegbu, C. I. (2021). Extraction of phytochemicals: Preparation, optimization and context of analysis. *SN Applied Sciences, 3*(4), 425.

ระบบเฝ้าระวังทรัพย์สินในร้านขายของชำด้วยการเรียนรู้เชิงลึก
Asset Surveillance System for Grocery Stores through Deep Learning

ชยธร ธรรมกิจไพโรจน์[1] สุธี กลั่นธูป[1] ธิญาดา ไวยศร[1] และ วีรวรรณ จันทนะทรัพย์[1*]

[1]สาขาวิชาวิทยาการข้อมูลและเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
*E-mail: veerawan.j@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

ปัญหาการโจรกรรมภายในร้านค้าปลีกเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความสูญเสียด้านทรัพย์สินและประสิทธิภาพในการดำเนินธุรกิจ การพัฒนาระบบเฝ้าระวังที่สามารถตรวจจับและแจ้งเตือนเหตุการณ์ได้อย่างแม่นยำและทันท่วงทีจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบเฝ้าระวังทรัพย์สินอัจฉริยะโดยประยุกต์ใช้โมเดลการตรวจจับวัตถุแบบเรียลไทม์ YOLOv11 ร่วมกับเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) สำหรับตรวจจับ ติดตาม และวิเคราะห์การเข้าถึงพื้นที่ที่อาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการโจรกรรมภายในร้านค้าปลีก ระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยกล้องไอพี (IP Camera) สำหรับรับภาพภายในร้านค้า และใช้เทคนิคการกำหนดพื้นที่ที่สนใจ (Region of Interest: ROI) เพื่อแบ่งพื้นที่เฝ้าระวังออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ พื้นที่ปลอดภัย (Safe Zone) พื้นที่เฝ้าระวัง (Suspicious Zone) และพื้นที่หวงห้าม (Restricted Zone) ระบบทำการตรวจจับและติดตามบุคคลแบบเรียลไทม์ พร้อมวิเคราะห์ตำแหน่งของวัตถุภายในแต่ละโซน เมื่อพบการเข้าถึงพื้นที่หวงห้ามหรือพฤติกรรมที่ผิดปกติ ระบบจะส่งการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน LINE พร้อมภาพเหตุการณ์และรายละเอียดของการตรวจจับ เพื่อให้ผู้ดูแลสามารถตอบสนองต่อเหตุการณ์ได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ระบบยังสามารถกำหนดระดับการแจ้งเตือนตามระดับความรุนแรงของเหตุการณ์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการด้านความปลอดภัย ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตรวจจับและจำแนกบุคคลที่ได้รับอนุญาตและไม่ได้รับอนุญาตภายในพื้นที่ที่กำหนดได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งสามารถแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน LINE ได้แบบเรียลไทม์ ผลการประเมินประสิทธิภาพของโมเดลพบว่ามีค่า mAP@0.5 = 0.93 และ mAP@0.5:0.95 = 0.64 ค่าความแม่นยำ (Precision) = 0.92 และค่าความไว (Recall) = 0.90 ผลการวิจัยสะท้อนให้เห็นว่าระบบมีความน่าเชื่อถือและมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเฝ้าระวัง ลดความเสี่ยงจากการโจรกรรม และสนับสนุนการบริหารจัดการความปลอดภัยในร้านค้าปลีก รวมถึงสามารถต่อยอดสู่การประยุกต์ใช้งานในสถานประกอบการประเภทอื่นที่ต้องการระบบเฝ้าระวังอัจฉริยะในอนาคต

คำสำคัญ: YOLOv11 การเรียนรู้เชิงลึก การตรวจจับวัตถุ ระบบเฝ้าระวังอัจฉริยะ การรักษาความปลอดภัยในร้านค้าปลีก

Abstract

Retail theft is a major concern that leads to significant property losses and adversely affects business operations. Therefore, developing an intelligent surveillance system capable of accurately detecting and promptly reporting suspicious activities is essential for improving retail security. This study aims to develop an intelligent asset surveillance system by integrating the YOLOv11 real-time object detection model with deep learning techniques to detect, track, and analyze unauthorized access and suspicious activities within retail stores. The proposed system employs an Internet Protocol (IP) camera to capture real-time video streams and utilizes the Region of Interest (ROI) technique to divide the monitored area into three security levels: Safe Zone, Suspicious Zone, and Restricted Zone. The system performs real-time person detection and tracking while continuously analyzing object locations within each predefined

zone. When unauthorized access or abnormal behavior is detected in the restricted area, the system automatically sends real-time notifications via the LINE application, including captured images and event information, enabling store owners to respond promptly. Furthermore, the notification mechanism classifies alerts according to the severity level of detected events, thereby improving security management efficiency. Experimental results demonstrate that the proposed system can accurately detect and classify both authorized and unauthorized persons within the designated monitoring zones while providing reliable real-time notifications through the LINE application. Performance evaluation of the proposed model achieved an mAP@0.5 = 0.93, an mAP@0.5:0.95 = 0.64, a precision = 0.92, and a recall = 0.90, indicating high detection accuracy and robustness in identifying unauthorized access events. The findings suggest that the developed system can effectively enhance retail surveillance, reduce theft risks, and support security management in retail environments. Moreover, the proposed approach can be extended to other applications requiring intelligent video surveillance and real-time security monitoring.

Keywords: YOLOv11, Deep Learning, Object Detection, Intelligent Surveillance System, Retail Security

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาการโจรกรรมในร้านค้าปลีกเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดความสูญเสียด้านทรัพย์สิน ส่งผลกระทบต่อผลประกอบการ ความเชื่อมั่นของผู้ประกอบการ และความปลอดภัยของผู้ใช้บริการ โดยร้านค้าส่วนใหญ่นิยมติดตั้งระบบกล้องโทรทัศน์วงจรปิด (Closed-Circuit Television: CCTV) เพื่อใช้เฝ้าระวังและบันทึกเหตุการณ์สำหรับการตรวจสอบย้อนหลัง อย่างไรก็ตาม ระบบดังกล่าวยังมีข้อจำกัด เนื่องจากทำหน้าที่เพียงบันทึกภาพโดยไม่มีการวิเคราะห์เหตุการณ์แบบอัตโนมัติ ผู้ดูแลระบบจึงต้องใช้เวลาในการตรวจสอบข้อมูลวิดีโอจำนวนมากเพื่อค้นหาช่วงเวลาที่เกิดเหตุ หากไม่สามารถระบุช่วงเวลาที่เกิดเหตุได้อย่างชัดเจน หรือระบบบันทึกภาพเกิดความผิดพลาด การสืบค้นหลักฐาน และการระบุตัวผู้กระทำความผิดจะเป็นไปได้ยาก ส่งผลให้การตอบสนองต่อเหตุการณ์ล่าช้าและลดประสิทธิภาพของระบบรักษาความปลอดภัย [1] ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) โดยเฉพาะการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) และการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Vision) ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการยกระดับระบบเฝ้าระวังให้สามารถตรวจจับ วิเคราะห์ และติดตามวัตถุจากภาพและวิดีโอได้โดยอัตโนมัติ เทคโนโลยีการตรวจจับวัตถุ (Object Detection) สามารถระบุตำแหน่งและจำแนกประเภทของวัตถุได้อย่างแม่นยำ ขณะที่เทคนิคการติดตามวัตถุ (Object Tracking) ช่วยติดตามการเคลื่อนที่ของบุคคลอย่างต่อเนื่องในแต่ละเฟรม ส่งผลให้ระบบสามารถวิเคราะห์พฤติกรรมที่ผิดปกติและแจ้งเตือนเหตุการณ์ได้แบบเรียลไทม์ ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเฝ้าระวังและลดภาระของผู้ปฏิบัติงาน [2, 3]

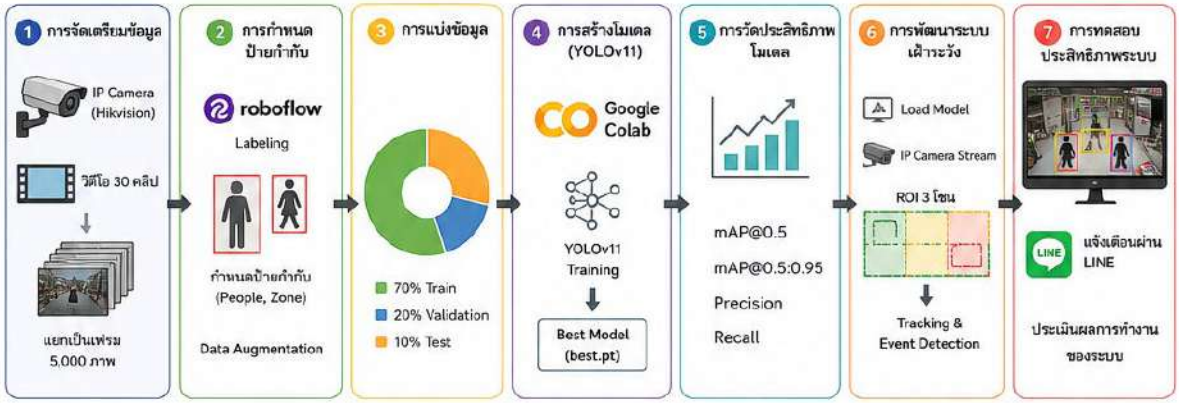
ปัจจุบันโมเดล YOLO (You Only Look Once) ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายในงานตรวจจับวัตถุแบบเรียลไทม์ เนื่องจากสามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็วและให้ความแม่นยำสูง เหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้ในระบบเฝ้าระวังอัจฉริยะ โดยเฉพาะ YOLOv11 ซึ่งได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นทั้งด้านความแม่นยำ ความเร็วในการประมวลผล และการใช้ทรัพยากรของระบบ อีกทั้งยังรองรับงานด้านการตรวจจับวัตถุ การติดตามวัตถุ และการประมาณท่าทางภายในโมเดลเดียว จึงเหมาะสำหรับการใช้งานบนระบบเฝ้าระวังแบบเรียลไทม์และอุปกรณ์ Edge Computing [4] นอกจากนี้ การทำงานร่วมกับอัลกอริทึม DeepSORT ซึ่งเป็นเทคนิคสำหรับการติดตามวัตถุหลายรายการ (Multiple Object Tracking) ยังช่วยให้ระบบสามารถรักษาอัตลักษณ์ของบุคคลในแต่ละเฟรมได้อย่างต่อเนื่อง ลดปัญหาการตรวจจับซ้ำ [5] แม้ว่าจะมีการนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้ในระบบเฝ้าระวังเพิ่มมากขึ้น แต่ระบบที่ใช้งานในร้านค้าปลีกส่วนใหญ่ยังขาดความสามารถในการแจ้งเตือนเหตุการณ์ผิดปกติแบบเรียลไทม์ ส่งผลให้ผู้ประกอบการไม่สามารถตอบสนองต่อเหตุการณ์ได้อย่างทันท่วงที นอกจากนี้ โมเดลที่ผ่านการฝึกด้วยชุดข้อมูลทั่วไปอาจมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อนำไปใช้งานในสภาพแวดล้อมจริงของร้านค้า ดังนั้น การปรับแต่งโมเดล (Fine-tuning) ด้วยข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากสภาพแวดล้อมจริงจึงเป็นแนวทางที่ช่วยเพิ่มความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของระบบ [2, 5]

จากข้อจำกัดดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาระบบเฝ้าระวังอัจฉริยะสำหรับร้านค้าปลีก โดยประยุกต์ใช้โมเดล YOLOv11 ร่วมกับอัลกอริทึม DeepSORT เพื่อการตรวจจับและติดตามบุคคลแบบเรียลไทม์ ระบบใช้กล้อง IP Camera

สำหรับรับภาพ และประยุกต์ใช้เทคนิคการกำหนดพื้นที่ที่สนใจ (Region of Interest: ROI) เพื่อแบ่งพื้นที่เฝ้าระวังออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ พื้นที่ปลอดภัย (Safe Zone) พื้นที่เฝ้าระวัง (Suspicious Zone) และพื้นที่หวงห้าม (Restricted Zone) เมื่อระบบตรวจพบบุคคลที่ไม่ได้รับอนุญาตเข้าสู่พื้นที่หวงห้ามหรือพบพฤติกรรมที่ผิดปกติ ระบบจะส่งการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน LINE พร้อมภาพเหตุการณ์ วันเวลา และตำแหน่งของเหตุการณ์ เพื่อให้ผู้ประกอบการสามารถรับทราบสถานการณ์และดำเนินการตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ โมเดลตรวจจับวัตถุยังได้รับการปรับแต่ง (Fine-tuning) ด้วยชุดข้อมูลที่รวบรวมจากร้านค้าจริง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมการใช้งาน ลดความคลาดเคลื่อนในการจำแนกวัตถุ และเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบในการตรวจจับเหตุการณ์ผิดปกติ ระบบยังสามารถบันทึกข้อมูลเหตุการณ์และส่งรายละเอียดสำคัญ เช่น วัน เวลา และโซนพื้นที่ที่เกิดเหตุผ่านแอปพลิเคชัน LINE ซึ่งช่วยสนับสนุนการจัดเก็บหลักฐานดิจิทัลและเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการด้านความปลอดภัย ผลการวิจัยที่คาดว่าจะได้รับคือระบบเฝ้าระวังอัจฉริยะที่สามารถลดความเสี่ยงจากการโจรกรรม เพิ่มความปลอดภัยของร้านค้าปลีก และสามารถประยุกต์ใช้กับสถานประกอบการประเภทอื่นที่ต้องการระบบเฝ้าระวังอัจฉริยะได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ระบบเฝ้าระวังทรัพย์สินในร้านขายของชำด้วยการเรียนรู้เชิงลึกเป็นระบบที่พัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านความปลอดภัยของธุรกิจค้าปลีกขนาดเล็ก โดยประยุกต์ใช้โมเดล YOLOv11 สำหรับการตรวจจับและติดตามบุคคลแบบเรียลไทม์ ร่วมกับเทคนิคการกำหนดพื้นที่ที่สนใจ (Region of Interest: ROI) เพื่อแบ่งพื้นที่เฝ้าระวังออกเป็นโซนความปลอดภัยตามระดับความเสี่ยง ระบบสามารถวิเคราะห์ตำแหน่งและพฤติกรรมของบุคคลภายในพื้นที่เฝ้าระวัง พร้อมทั้งแจ้งเตือนผู้ดูแลผ่านแอปพลิเคชัน LINE เมื่อพบการเข้าถึงพื้นที่หวงห้ามหรือเหตุการณ์ที่อาจส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของทรัพย์สิน การดำเนินงานวิจัยได้ออกแบบอย่างเป็นระบบตามกระบวนการพัฒนาโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เพื่อให้ระบบมีความถูกต้อง แม่นยำ และสามารถประยุกต์ใช้งานได้จริง โดยแบ่งออกเป็น 7 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ (1) การจัดเตรียมข้อมูล (Data Preparation) (2) การกำหนดป้ายกำกับข้อมูล (Data Labeling) (3) การแบ่งชุดข้อมูล (Dataset Splitting) (4) การสร้างและฝึกสอนโมเดล (Model Training) (5) การประเมินประสิทธิภาพของโมเดล (Model Evaluation) (6) การพัฒนาระบบเฝ้าระวังและระบบแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์ (System Development) และ (7) การทดสอบประสิทธิภาพของระบบ (System Testing) ทุกขั้นตอนถูกออกแบบให้สอดคล้องกับหลักการพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับงานด้านการเฝ้าระวังความปลอดภัย ตั้งแต่การเตรียมข้อมูล การฝึกโมเดล ไปจนถึงการประเมินผลการทำงานในสภาพแวดล้อมจริง เพื่อให้ระบบสามารถตรวจจับ ติดตาม และแจ้งเตือนเหตุการณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและน่าเชื่อถือ แผนผังภาพรวมวิธีการดำเนินงานวิจัยแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างภาพรวมของการดำเนินงานวิจัย

2.1 การจัดเตรียมข้อมูล

การจัดเตรียมข้อมูลเป็นขั้นตอนสำคัญในการพัฒนาโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ชุดข้อมูลที่มีคุณภาพและครอบคลุมสภาพแวดล้อมการใช้งานจริง สำหรับงานวิจัยนี้ ข้อมูลถูกเก็บรวบรวมจากร้านขายของชำกรณีศึกษา

โดยใช้กล้องไอพีวงจรปิด (IP Camera) ยี่ห้อ Hikvision ที่มีความละเอียด 1,920 × 1,080 พิกเซล และอัตราการบันทึกภาพ 30 เฟรมต่อวินาที (fps) ผ่านแอปพลิเคชัน Hik-Connect โดยบันทึกวิดีโอจำนวน 30 คลิป ซึ่งครอบคลุมสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย ทั้งช่วงเวลาการบันทึก สภาพแสง และมุมมองของกล้อง เพื่อให้ข้อมูลมีความหลากหลาย และสะท้อนลักษณะการใช้งานจริง จากนั้นวิดีโอทั้งหมดถูกประมวลผลด้วยไลบรารี OpenCV เพื่อแยกออกเป็นภาพนิ่ง (Frame Extraction) จำนวน 5,000 ภาพ ก่อนนำไปเข้าสู่กระบวนการกำหนดป้ายกำกับข้อมูล (Data Labeling) และเพิ่มความหลากหลายของข้อมูล (Data Augmentation) บนแพลตฟอร์ม Roboflow โดยใช้เทคนิค เช่น การหมุนภาพ (Rotation) การสะท้อนภาพ (Flip) การปรับความสว่าง (Brightness) และการปรับค่าคอนทราสต์ (Contrast) เพื่อเพิ่มความสามารถของโมเดลในการเรียนรู้จากข้อมูลที่มีลักษณะแตกต่างกัน และลดปัญหาการเกิด Overfitting ระหว่างการฝึกโมเดล ภายหลังการเตรียมข้อมูล ชุดข้อมูลทั้งหมดได้รับการจัดระเบียบและจัดเก็บอย่างเป็นระบบ เพื่อให้สะดวกต่อการเข้าถึง การจัดการ และการนำไปใช้ในขั้นตอนการกำหนดป้ายกำกับ การแบ่งชุดข้อมูล และการฝึกโมเดล YOLOv11 ในลำดับถัดไป ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของโมเดลสำหรับการประยุกต์ใช้ในระบบเฝ้าระวังทรัพย์สินแบบเรียลไทม์

2.2 การกำหนดป้ายกำกับข้อมูล

การกำหนดป้ายกำกับข้อมูล (Data Labeling) เป็นขั้นตอนสำคัญในการพัฒนาโมเดลการตรวจจับวัตถุ เนื่องจากข้อมูลที่ได้รับการกำหนดป้ายกำกับอย่างถูกต้องจะส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ในการตรวจจับและจำแนกวัตถุ งานวิจัยนี้ดำเนินการกำหนดป้ายกำกับข้อมูลโดยใช้แพลตฟอร์ม Roboflow ซึ่งเป็นเครื่องมือที่รองรับการจัดการชุดข้อมูลและการสร้างข้อมูลสำหรับงานด้านการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Vision) ในกระบวนการกำหนดป้ายกำกับ คณะผู้วิจัยใช้วิธีการกำหนดกรอบล้อมวัตถุ (Bounding Box) เพื่อระบุตำแหน่งของบุคคลภายในภาพ พร้อมทั้งกำหนดคลาส (Class) ของวัตถุและพื้นที่ที่สนใจ (Region of Interest: ROI) ให้สอดคล้องกับการทำงานของระบบเฝ้าระวัง ประกอบด้วยคลาสต่าง ๆ คือ (1) คลาสบุคคล ได้แก่ บุคคลทั่วไป (Person) บุคคลที่ได้รับอนุญาตคนที่ 1 (Person_authorized_1) บุคคลที่ได้รับอนุญาตคนที่ 2 (Person_authorized_2) ทั้งนี้ร้านค้ากรณีศึกษา มีบุคคลที่เป็นบุคคลภายในที่ทำหน้าที่ขายสินค้าจำนวน 2 ราย และ (2) คลาสพื้นที่หรือโซนต่าง ๆ ในร้านค้า ประกอบด้วย 3 พื้นที่ คือ พื้นที่โซนปลอดภัย (Safe Zone) พื้นที่โซนเฝ้าระวัง (Suspicious Zone) และพื้นที่หวงห้าม (Restricted Zone) เพื่อให้โมเดลสามารถเรียนรู้ความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งของบุคคลกับพื้นที่เฝ้าระวังแต่ละประเภท และนำไปใช้ในการวิเคราะห์การเข้าถึงพื้นที่และตรวจจับเหตุการณ์ที่อาจก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการโจรกรรมได้อย่างถูกต้อง ภายหลังการกำหนดป้ายกำกับ ได้ดำเนินการเพิ่มความหลากหลายของชุดข้อมูล (Data Augmentation) ผ่านแพลตฟอร์ม Roboflow โดยประยุกต์ใช้เทคนิคต่าง ๆ ได้แก่ การพลิกภาพ (Flip) การหมุนภาพ (Rotate) การปรับค่าความสว่าง (Brightness) การปรับค่าความเปรียบต่าง (Contrast) และการทำภาพเบลอ (Blur) เพื่อจำลองสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันในการใช้งานจริง เช่น การเปลี่ยนแปลงของแสง มุมมองของกล้อง และคุณภาพของภาพ เทคนิคดังกล่าวช่วยเพิ่มความหลากหลายของข้อมูล ลดปัญหาการเรียนรู้เกิน (Overfitting) และส่งเสริมให้โมเดลสามารถเรียนรู้ลักษณะของวัตถุได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลลัพธ์ของกระบวนการกำหนดป้ายกำกับและการเพิ่มความหลากหลายของข้อมูล ทำให้ได้ชุดข้อมูลที่มีคุณภาพและมีความเหมาะสมสำหรับการฝึกโมเดล YOLOv11 ส่งผลให้โมเดลสามารถตรวจจับและติดตามบุคคลภายในพื้นที่เฝ้าระวังได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2.3 การแบ่งข้อมูล

งานวิจัยนี้แบ่งข้อมูลออกเป็น 3 ส่วน หลักประกอบด้วยส่วนสำหรับการสอนการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Tanning Dataset) ส่วนสำหรับการตรวจสอบโมเดลการเรียนรู้ (Validation Dataset) และส่วนการทดสอบประสิทธิภาพโมเดลการเรียนรู้ (Testing Dataset) ในอัตราส่วน 70:20:10 กล่าวคือแบ่งข้อมูลภาพบุคคลสำหรับสอนร้อยละ 70 สำหรับตรวจสอบร้อยละ 20 และสำหรับทดสอบร้อยละ 10 โดยงานวิจัยนี้ดำเนินการแบ่งข้อมูลด้วยฟีเจอร์บนส่วนต่อประสาน (UI) ในแพลตฟอร์ม Roboflow สำหรับรายละเอียดขั้นตอนการแบ่งข้อมูลและการสร้าง API Key ในการสร้างโมเดลด้วยฟีเจอร์ในแพลตฟอร์ม Roboflow จะมีการตั้งค่าการแบ่งข้อมูล

2.4 การสร้างโมเดล

การพัฒนาโมเดลตรวจจับวัตถุในงานวิจัยนี้ใช้สถาปัตยกรรม YOLOv11 โดยดำเนินการฝึกสอนโมเดลโมเดลบนแพลตฟอร์ม Google Colab ซึ่งรองรับการประมวลผลด้วยหน่วยประมวลผลกราฟิก (GPU) ช่วยลดระยะเวลาในการฝึกสอนและเพิ่มประสิทธิภาพในการพัฒนาโมเดล เริ่มจากการเตรียมชุดข้อมูลและกำหนดกรอบล้อมรอบวัตถุ (Annotation) พร้อมแบ่งข้อมูลออกเป็นชุดฝึกสอน (Training Set) ชุดตรวจสอบ (Validation Set) และชุดทดสอบ (Test Set) ตามวิธีการข้างต้น จากนั้นใช้โมเดล YOLOv11 ที่ผ่านการฝึกเบื้องต้น (Pre-trained Model) และปรับแต่งพารามิเตอร์ที่สำคัญ เช่น จำนวนรอบการฝึกสอน (Epochs) ขนาดภาพ (Image Size) ขนาดชุดข้อมูลต่อรอบ (Batch Size) และอัตราการเรียนรู้ (Learning Rate) ระหว่างการฝึกสอน ระบบบันทึกค่าน้ำหนักของโมเดลที่ให้ผลลัพธ์ดีที่สุด (Best Weights) และประเมินประสิทธิภาพด้วยตัวชี้วัด ได้แก่ Precision, Recall และค่าเฉลี่ยความแม่นยำ (mAP) เมื่อได้โมเดลที่มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ จึงนำไฟล์น้ำหนักของโมเดล (best.pt) ไปประยุกต์ใช้ในระบบตรวจจับและติดตามบุคคลแบบเรียลไทม์ เพื่อรองรับการตรวจจับ การวิเคราะห์พื้นที่ และการแจ้งเตือนผ่าน แอปพลิเคชัน LINE ตัวอย่างชุดคำสั่งภาษาไพธอนสำหรับสร้างโมเดลตรวจจับวัตถุ ดังภาพที่ 2

```
pip install ultralytics supervision roboflow

import ultralytics
from google.colab import userdata
from roboflow import Roboflow

!mkdir /content/Final_Project
%cd /content/Final_Project

rf = Roboflow(api_key="2iv1QDZpyoxdeTCtrUnl")
project = rf.workspace("chayatorn").project("project-final-zzve9")
version = project.version(8)
dataset = version.download("yolov11")

!sed -i '$d' {dataset.location}/data.yaml   # Delete the last Line
!sed -i '$d' {dataset.location}/data.yaml   # Delete the second-to-last  Line
!sed -i '$d' {dataset.location}/data.yaml   # Delete the third-to-last  Line
!echo 'test: ../test/images' >> {dataset.location}/data.yaml
!echo 'train: ../train/images' >> {dataset.location}/data.yaml
!echo 'val: ../valid/images' >> {dataset.location}/data.yaml

!yolo task=detect mode=train name='Project-Final-8' data={dataset.location}/data.yaml epochs=150 imgsz=640 plots=True
```

ภาพที่ 2 ชุดคำสั่งภาษาไพธอนสำหรับสร้างโมเดลตรวจจับวัตถุ

2.5 การวัดประสิทธิภาพโมเดล

การวัดประสิทธิภาพของโมเดลเป็นขั้นตอนสำคัญที่ต่อเนื่องจากการสร้างและฝึกฝนโมเดล โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสามารถในการทำนายของโมเดลกับข้อมูลที่ไม่เคยเห็นมาก่อน การวัดประสิทธิภาพที่ถูกต้องจะช่วยให้เข้าใจข้อจำกัดของโมเดล และนำไปสู่การปรับปรุงประสิทธิภาพในอนาคตในการประเมินประสิทธิภาพของโมเดลการตรวจจับวัตถุมีเมตริกซ์สำคัญหลายตัวที่ใช้วัดความแม่นยำและความถูกต้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Precision, Recall และค่า mAP (mean Average Precision) ซึ่งเป็นเมตริกซ์มาตรฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในงานด้าน Object Detection รายละเอียดดังนี้

1) ค่าความแม่นยำ อัตราการเรียกคืน

ค่าความแม่นยำ (Precision) และอัตราการเรียกคืน หรืออัตราการตรวจพบ (Recall) ถูกใช้เพื่อประเมินความสามารถของโมเดลในการตรวจจับวัตถุอย่างถูกต้อง โดยค่าประสิทธิภาพเหล่านี้นิยามการทำงานดังสมการที่ (1) – (2) ตามลำดับ

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (1)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2)$$

โดยที่ TP คือ ผลการตรวจจับวัตถุถูกต้องทั้งคลาสและตำแหน่ง
FP คือ ผลการตรวจจับวัตถุผิดทั้งที่ไม่มีหรือตำแหน่งไม่ตรง
TN คือ กรณีที่ไม่มีวัตถุในภาพซึ่งระบบไม่ตรวจจับวัตถุใด ๆ
FN คือ วัตถุที่มีอยู่จริงแต่ระบบไม่สามารถตรวจจับได้ตามลำดับ

2) ค่าเฉลี่ยของค่าความแม่นยำเฉลี่ย (Mean Average Precision: mAP) เป็นค่าประสิทธิภาพเชิงลึกของงานตรวจจับวัตถุ และยังเป็นตัวชี้วัดมาตรฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในชุดข้อมูล Pascal VOC และ COCO Benchmark คำนวณได้ด้วยสูตรดังสมการที่ (3)

$$mAP = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} AP_i \quad (3)$$

โดยที่ AP_i คือ ค่าความแม่นยำเฉลี่ย (Average Precision: AP) ของคลาสที่ i ซึ่งคำนวณภายใต้ค่า Intersection over Union (IoU) ตั้งแต่ 0.50 ถึง 0.95 โดยเพิ่มทีละ 0.05 ตามมาตรฐาน COCO evaluation protocol [6]
N คือ จำนวนคลาสทั้งหมด

2.6 การพัฒนาระบบเฝ้าระวัง

การพัฒนาระบบเฝ้าระวังร้านค้าในงานวิจัยนี้ดำเนินการด้วยภาษา Python บนโปรแกรม Visual Studio Code โดยประยุกต์ใช้โมเดล YOLOv11 สำหรับตรวจจับบุคคลและวัตถุแบบเรียลไทม์ ร่วมกับ OpenCV สำหรับประมวลผลภาพ และเชื่อมต่อระบบแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน LINE เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเฝ้าระวังพื้นที่ภายในร้านค้า กระบวนการพัฒนาระบบประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดสภาพแวดล้อมของระบบ

เริ่มต้นด้วยการติดตั้งและนำเข้าไลบรารีที่จำเป็น ได้แก่ Ultralytics YOLO, OpenCV, NumPy และโมดูลที่เกี่ยวข้องกับการจัดการข้อมูล การประมวลผลแบบหลายเธรด การบันทึกเหตุการณ์ และการส่งข้อความแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน LINE เพื่อรองรับการทำงานของระบบทั้งหมด

ขั้นตอนที่ 2 การกำหนดพื้นที่เฝ้าระวัง

ระบบกำหนดพื้นที่ตรวจสอบ (Zone) โดยแบ่งออกเป็น พื้นที่โซนปลอดภัย (Safe Zone) พื้นที่โซนเฝ้าระวัง (Suspicious Zone) และพื้นที่โซนหวงห้าม (Restricted Zone) พร้อมกำหนดพิกัด สีของพื้นที่ และสถานการณ์แจ้งเตือนของแต่ละโซน เพื่อใช้เป็นเงื่อนไขในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของบุคคล

ขั้นตอนที่ 3 การตั้งค่าระบบและเชื่อมต่อกล้อง

ระบบทำการโหลดโมเดล YOLOv11 ตรวจสอบความถูกต้องของไฟล์โมเดลและการตั้งค่าระบบ จากนั้นเชื่อมต่อกับกล้องวงจรปิดผ่านโปรโตคอล RTSP เพื่อรับข้อมูลภาพสำหรับการประมวลผลแบบเรียลไทม์

ขั้นตอนที่ 4 การตรวจจับและติดตามบุคคล

ระบบรับภาพจากกล้องและประมวลผลด้วย YOLOv11 เพื่อระบุตำแหน่งของบุคคล บุคคลที่ได้รับอนุญาตคนที่ 1 บุคคลที่ได้รับอนุญาตคนที่ 2 พร้อมใช้ฟังก์ชัน Object Tracking ในการกำหนดหมายเลขประจำตัว (Track ID) สำหรับติดตามบุคคลเดิมในทุกเฟรม ทำให้สามารถวิเคราะห์เส้นทางการเคลื่อนที่และประวัติการเข้าสู่พื้นที่แต่ละโซนได้อย่างต่อเนื่อง

ขั้นตอนที่ 5 การวิเคราะห์พื้นที่และแจ้งเตือน

ระบบตรวจสอบตำแหน่งของบุคคลเทียบกับพื้นที่ที่กำหนด และพิจารณาสถานะของบุคคล ได้แก่ บุคคลที่ได้รับอนุญาตคนที่ 1 และคนที่ 2 ซึ่งเป็นบุคคลภายในร้าน และบุคคลภายนอก จากนั้นจึงดำเนินการแจ้งเตือนตามเงื่อนไขของแต่ละโซนพื้นที่ โดยมีการกำหนดช่วงเวลาพักการแจ้งเตือน (Cooldown) เพื่อป้องกันการส่งข้อความซ้ำเมื่อบุคคลเดิมยังคงอยู่ในพื้นที่เดิม

ขั้นตอนที่ 6 การส่งผลการแจ้งเตือน

เมื่อพบเหตุการณ์ที่เข้าเงื่อนไข ระบบจะส่งข้อความแจ้งเตือนพร้อมภาพเหตุการณ์ผ่านแอปพลิเคชัน LINE โดยข้อความประกอบด้วยประเภทของเหตุการณ์ ประเภทของบุคคลหรือวัตถุ พื้นที่ที่ตรวจพบ และเวลาที่เกิดเหตุ เพื่อให้ผู้ดูแลระบบสามารถรับทราบและตอบสนองต่อเหตุการณ์ได้อย่างรวดเร็ว โดยการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน LINE ประกอบด้วยรายละเอียดของเหตุการณ์ ได้แก่ ประเภทการแจ้งเตือน ประเภทของวัตถุหรือบุคคลที่ตรวจพบ โซนที่เกิดเหตุ เวลาที่ตรวจพบ และภาพจากกล้องในขณะเกิดเหตุ ซึ่งช่วยสนับสนุนการประเมินสถานการณ์และการตัดสินใจตอบสนองต่อเหตุการณ์ได้อย่างรวดเร็ว

2.7 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบ

การประเมินประสิทธิภาพของระบบดำเนินการภายใต้กรอบการทดสอบเชิงเทคนิค (Technical Evaluation Framework) โดยใช้วิดีโอทดสอบจำนวน 7 คลิป ซึ่งออกแบบให้เป็นสถานการณ์จำลอง (Simulated Scenarios) เพื่อประเมินความสามารถของระบบในกระบวนการประมวลผลภาพแบบครบวงจร (End-to-End Pipe Line) ตั้งแต่การตรวจจับวัตถุ (Object Detection) การจำแนกบุคคล (Person Classification) และการติดตามวัตถุหลายเป้าหมาย (Multi-Object Tracking) ภายใต้เงื่อนไขการทำงานที่กำหนดไว้ล่วงหน้า พื้นที่ในการทดสอบถูกกำหนดเป็นโซนเชิงพื้นที่ (Spatial Zone Segmentation) จำนวน 3 โซน ได้แก่ Safe Zone, Suspicious Zone และ Restricted Zone โดยใช้เทคนิคการกำหนดขอบเขตแบบหลายเหลี่ยม (Polygon-based Region of Interest: ROI) เพื่อใช้ในการระบุสถานะเชิงตำแหน่งของบุคคลในแต่ละเฟรมของวิดีโอ และใช้เป็นเงื่อนไขในการประเมินการเปลี่ยนผ่านระหว่างโซน (Zone Transition Analysis) ในขั้นตอนการประเมิน ระบบถูกกำหนดให้ทำงานแบบเรียลไทม์ (Real-time Processing) โดยพิจารณาองค์ประกอบหลัก ได้แก่ (1) ความสามารถในการตรวจจับวัตถุในแต่ละเฟรม (Frame-wise Detection Accuracy) (2) ความต่อเนื่องของการติดตามวัตถุข้ามเฟรม (Temporal Tracking Consistency) (3) การคงอัตลักษณ์ของบุคคล (Identity Preservation) และ (4) การตัดสินใจเชิงตรรกะตามสถานะของโซน (Rule-based Zone Inference)

นอกจากนี้ ได้มีการประเมินการทำงานของระบบแจ้งเตือน (Notification Module Evaluation) โดยตรวจสอบการเชื่อมโยงระหว่างผลลัพธ์จากโมดูลประมวลผลภาพกับการส่งข้อมูลผ่านแอปพลิเคชัน LINE ซึ่งถือเป็นการทดสอบการทำงานแบบบูรณาการ (System Integration Testing) เพื่อประเมินความถูกต้องของการส่งเหตุการณ์ (Event Triggering Accuracy) และความสอดคล้องของการทำงานแบบ End-to-End ภายใต้สภาพแวดล้อมจำลองที่มีความหลากหลายของสถานการณ์

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

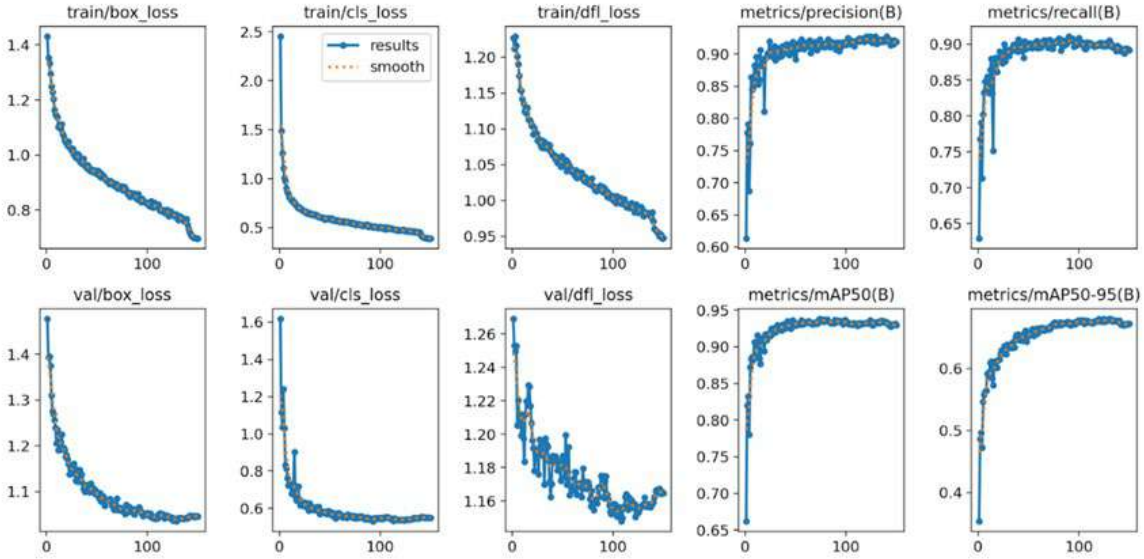
3.1 การทดสอบของโมเดล

การทดสอบโมเดลเป็นขั้นตอนสำคัญในการประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจจับวัตถุที่พัฒนาขึ้น โดยเริ่มจากการฝึกฝนโมเดล YOLOv11 ด้วยชุดข้อมูลภาพจำนวน 5,000 รูป ที่ถูกดึงมาจากวิดีโอ 30 คลิปที่อัตรา 1 เฟรมต่อวินาที ชุดข้อมูลนี้ได้ถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ชุดข้อมูลสำหรับการฝึกฝน (Training set) 70% ชุดข้อมูลสำหรับการตรวจสอบ (Validation set) 20% และชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ (Test set) 10% โมเดลได้รับการฝึกฝนเป็นจำนวน 150 epochs การฝึกฝนทำให้ได้โมเดลที่มีความสามารถในการตรวจจับวัตถุได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาพแวดล้อมของร้านขายของชำ

จากกราฟผลการฝึกสอนและประเมินประสิทธิภาพของโมเดลตรวจจับวัตถุภาพที่ 3 ประกอบด้วย กราฟค่าความสูญเสีย (Loss) ได้แก่ Box Loss, Classification Loss และ Distribution Focal Loss (DFL) เมทริกซ์ตัวชี้วัดประสิทธิภาพ (Evaluation Metrics) ได้แก่ Precision, Recall, mean Average Precision ที่ค่า IoU = 0.50 (mAP@50) และ mAP@50–95 ทั้งในชุดข้อมูลฝึกสอน (training set) และชุดข้อมูลตรวจสอบ (validation set) จากผลการทดลองพบว่า ค่า Loss ทุกประเภทมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องตามจำนวนรอบการฝึกสอน (epochs) ทั้งในชุดข้อมูลฝึกสอนและชุดข้อมูลตรวจสอบ โดยลักษณะการลู่เข้าของกราฟ (convergence behavior) มีความสอดคล้องกันระหว่าง train และ validation ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถของโมเดลในการเรียนรู้คุณลักษณะของวัตถุได้อย่างมีเสถียรภาพ และไม่ปรากฏแนวโน้มของการเกิด overfitting อย่างมีนัยสำคัญ ในด้านประสิทธิภาพการตรวจจับ พบว่า ค่า Precision และ Recall มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและเข้า

สู่ภาวะคงที่ในช่วงท้ายของการฝึกสอน โดยให้ค่าประมาณ 0.92 และ 0.90 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าโมเดลมีความสามารถในการลด false positive และสามารถตรวจจับวัตถุได้อย่างครอบคลุมในระดับสูง

สำหรับค่า mAP@50 และ mAP@50–95 พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและคงตัวในช่วงท้ายของการฝึกสอน โดยมีค่าประมาณ 0.93 และ 0.64 ตามลำดับ ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของโมเดลภายใต้เกณฑ์การประเมิน Intersection over Union (IoU) ที่เข้มงวดมากขึ้น โดยเฉพาะในช่วง mAP@50–95 ที่แสดงถึงความสามารถในการตรวจจับวัตถุอย่างละเอียดในหลายระดับความทับซ้อน รายละเอียดกราฟแสดงผลการฝึกฝนโมเดลดังภาพที่ 3



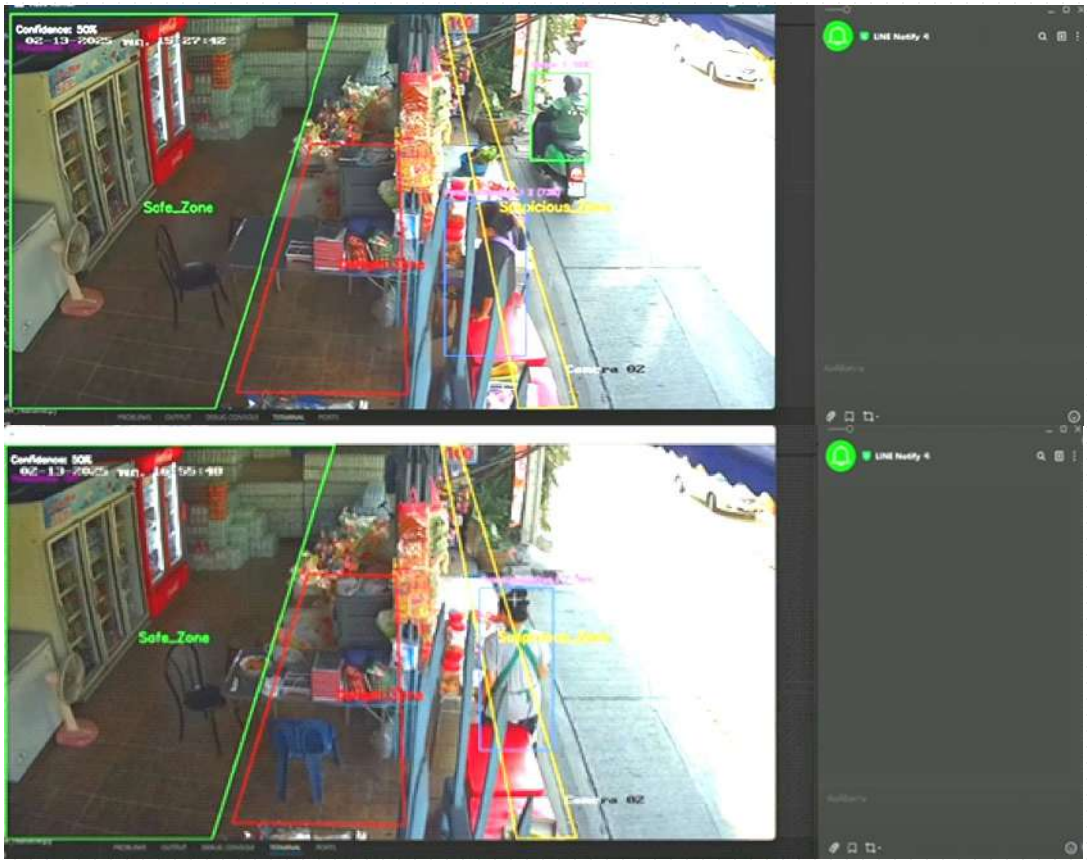
ภาพที่ 3 กราฟแสดงผลการฝึกฝนโมเดล YOLOv11

3.2 ผลการทดสอบของระบบพร้อมการแจ้งเตือน

การทดสอบในส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน LINE เมื่อระบบตรวจพบการละเมิดพื้นที่หวงห้าม ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบเฝ้าระวังและรักษาความปลอดภัยของทรัพย์สิน การประเมินดำเนินการโดยใช้วิดีโอทดสอบจำนวน 7 คลิป ที่จำลองสถานการณ์การใช้งานในสภาพแวดล้อมของร้านขายของชำ โดยกำหนดพื้นที่หวงห้าม (Restricted Zone) และเงื่อนไขการแจ้งเตือนให้สอดคล้องกับการออกแบบระบบ การทดสอบดังกล่าวมีเป้าหมายเพื่อประเมินความสามารถของระบบในการตรวจจับเหตุการณ์และส่งการแจ้งเตือนได้อย่างถูกต้องและทันท่วงที ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อประสิทธิภาพและความพร้อมของระบบก่อนนำไปใช้งานจริง โดยใช้ชุดข้อมูลวิดีโอทั้ง 7 คลิปได้รับการออกแบบให้ครอบคลุมสถานการณ์ที่หลากหลายและสะท้อนเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นจริงภายในร้านขายของชำ เพื่อให้ผลการประเมินมีความน่าเชื่อถือและสามารถสะท้อนสมรรถนะของระบบภายใต้สภาวะการใช้งานที่ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงได้อย่างเหมาะสม

1) การทดสอบกรณีบุคคลที่ได้รับอนุญาต

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสามารถของระบบในการจำแนกบุคคลภายในที่ได้รับอนุญาตให้เข้าถึงทุกพื้นที่ จำนวน 2 คน ได้แก่ Person_authorized_1 และ Person_authorized_2 พร้อมทั้งตรวจสอบการทำงานของระบบแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน LINE เมื่อบุคคลดังกล่าวเคลื่อนที่ระหว่างโซนต่าง ๆ ภายในพื้นที่ที่กำหนด ผลการทดสอบพบว่า เมื่อบุคคลที่ได้รับอนุญาตเข้าสู่พื้นที่ในทุกโซน ได้แก่ Safe Zone, Suspicious Zone และ Restricted Zone ระบบสามารถจำแนกตัวตนได้อย่างถูกต้อง และไม่มีการส่งการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน LINE นอกจากนี้ เมื่อบุคคลเคลื่อนที่จากโซนหนึ่งไปยังอีกโซนหนึ่ง ระบบยังคงไม่ส่งการแจ้งเตือนในทุกกรณี โดยผลการประเมินดังกล่าวสอดคล้องกับข้อกำหนดการออกแบบของระบบ ซึ่งกำหนดให้บุคคลภายในที่ได้รับอนุญาตสามารถเข้าถึงทุกพื้นที่ได้โดยไม่ก่อให้เกิดการแจ้งเตือน เพื่อหลีกเลี่ยงการแจ้งเตือนที่ไม่จำเป็น (False Alarm) และเพิ่มประสิทธิภาพของระบบในการเฝ้าระวังเฉพาะเหตุการณ์ที่มีความผิดปกติ ตัวอย่างภาพผลการทดสอบดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ตัวอย่างผลการทดสอบกรณีบุคคลที่ได้รับอนุญาตเข้าพื้นที่

ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานของ Deng และคณะ [7] ที่เสนอวิธีการจดจำใบหน้าด้วย ArcFace ซึ่งรายงานว่าการใช้คุณลักษณะใบหน้าที่มีความสามารถในการจำแนกสูงช่วยเพิ่มความแม่นยำในการระบุตัวตนของบุคคล ส่งผลให้ระบบสามารถแยกแยะบุคคลที่ได้รับอนุญาตออกจากบุคคลภายนอกได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับงานของ Wojke และคณะ [8] ที่นำเสนออัลกอริทึม Deep SORT สำหรับการติดตามวัตถุหลายเป้าหมาย ซึ่งช่วยให้ระบบสามารถติดตามบุคคลได้อย่างต่อเนื่องและรักษาอัตลักษณ์ของบุคคลระหว่างการเคลื่อนที่ในแต่ละโซน ส่งผลให้การตัดสินใจแจ้งเตือนมีความถูกต้องและลดการแจ้งเตือนที่ไม่จำเป็น (False Alarm)

2) ผลการทดสอบกรณีบุคคลภายนอกหรือบุคคลที่ได้รับอนุญาต

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบในการตรวจจับ ติดตาม และแจ้งเตือนเมื่อพบบุคคลภายนอกหรือบุคคลที่ไม่ได้รับอนุญาตเข้าพื้นที่ควบคุม ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ระบบสามารถตรวจจับและตอบสนองต่อเหตุการณ์ได้อย่างถูกต้องตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ โดยเมื่อบุคคลภายนอกเข้าสู่พื้นที่เฝ้าระวัง (Suspicious Zone) ระบบจะส่งการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน LINE จำนวน 1 ครั้ง พร้อมเปลี่ยนสีกรอบล้อมรอบบุคคลเป็นสีเหลือง เพื่อแสดงสถานะของบุคคลที่อยู่ภายใต้การเฝ้าระวัง เมื่อบุคคลดังกล่าวเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่หวงห้าม (Restricted Zone) ระบบจะยกระดับการแจ้งเตือนโดยส่งข้อความผ่านแอปพลิเคชัน LINE จำนวน 5 ครั้งติดต่อกัน พร้อมเปลี่ยนสีกรอบเป็นสีแดง เพื่อแสดงสถานะการละเมิดพื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงสูง ผลการทดสอบยืนยันว่าระบบสามารถติดตามการเคลื่อนที่ของบุคคลและดำเนินการแจ้งเตือนได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว และสอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนดไว้ในการออกแบบระบบ

นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยได้ประเมินความสามารถของระบบในการตรวจจับและติดตามบุคคลภายนอกหลายคนที่เข้าสู่พื้นที่พร้อมกัน ผลการทดสอบพบว่า ระบบสามารถจำแนกและติดตามบุคคลแต่ละรายได้อย่างต่อเนื่อง พร้อมทั้งประมวลผลการแจ้งเตือนของแต่ละบุคคลได้อย่างเป็นอิสระ โดยไม่เกิดการสลับอัตลักษณ์ (Identity Switching) หรือความคลาดเคลื่อนในการติดตาม แม้จะมีการเคลื่อนที่พร้อมกันภายในพื้นที่เฝ้าระวัง ผลการทดลองดังกล่าวสะท้อนให้เห็น

ถึงศักยภาพของระบบในการรองรับการติดตามหลายบุคคล (Multi-object Tracking) ภายใต้สภาพแวดล้อมการใช้งานจริง ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญของระบบเฝ้าระวังอัจฉริยะ และสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Wojke และคณะ [8] ที่รายงานว่าการใช้เทคนิคการติดตามหลายวัตถุร่วมกับคุณลักษณะเชิงลึก (Deep Association Metric) ช่วยรักษาอัตลักษณ์ของแต่ละบุคคลได้อย่างต่อเนื่องลดความผิดพลาดจากการสลับตัวบุคคล และเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบเฝ้าระวังอัตโนมัติ ดังแสดงในภาพที่ 5

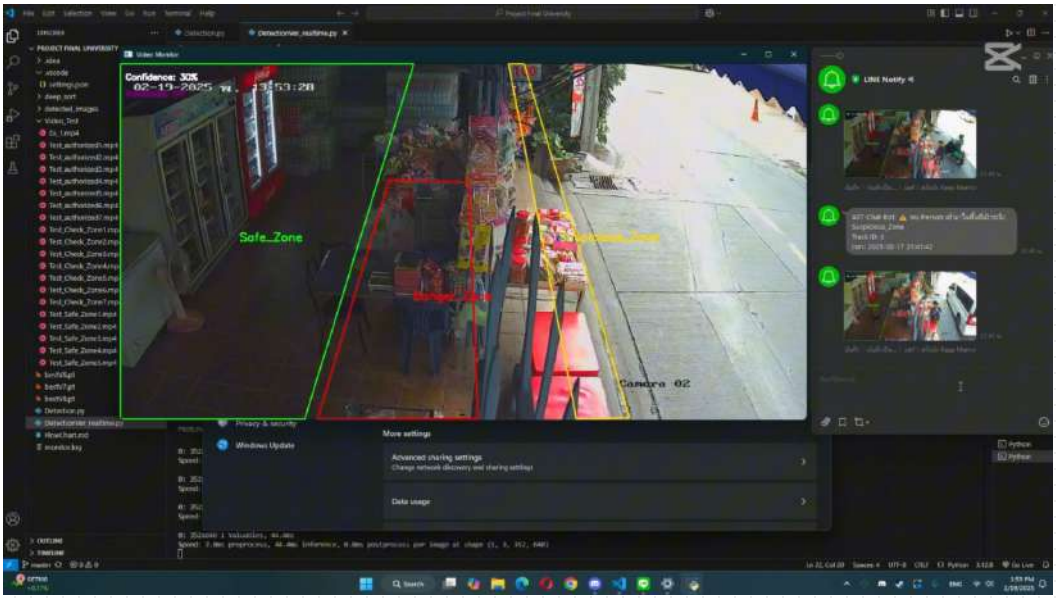
ภาพที่ 5 ตัวอย่างผลการทดสอบกรณีบุคคลภายนอกหรือบุคคลที่ไม่ได้รับอนุญาตเข้าพื้นที่

3.3 ผลการทดสอบโมเดลแบบเรียลไทม์

การทดสอบประสิทธิภาพของระบบภายใต้สภาพแวดล้อมการใช้งานจริงดำเนินการภายในร้านขายของชำตัวอย่างเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อประเมินความเสถียร ความน่าเชื่อถือ และประสิทธิภาพของระบบเฝ้าระวังในการทำงานแบบต่อเนื่อง ผลการทดสอบพบว่า ระบบสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยไม่พบการหยุดทำงานหรือความผิดปกติที่ส่งผลกระทบต่อการประมวลผลและการแจ้งเตือน โดยในด้านการเชื่อมต่อกับกล้องวงจรปิด ระบบสามารถรับข้อมูลภาพจากกล้องได้อย่างต่อเนื่องและมีความเสถียร รวมทั้งสามารถกู้คืนการเชื่อมต่อโดยอัตโนมัติเมื่อเกิดการขัดข้องของเครือข่ายหรือการเชื่อมต่อชั่วคราว ส่งผลให้การประมวลผลภาพและการติดตามเหตุการณ์สามารถดำเนินการได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่สูญเสียข้อมูลสำคัญ และผลการประเมินด้านการใช้ทรัพยากรของระบบพบว่า ระหว่างการทำงานระบบใช้หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) เฉลี่ยร้อยละ 39 และใช้หน่วยความจำ (RAM) เฉลี่ย 2.0 GB ซึ่งอยู่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับการประมวลผลภาพแบบเวลาจริง (Real-time Processing) แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่ก่อให้เกิดภาระต่อทรัพยากรของเครื่องคอมพิวเตอร์มากจนเกินไป

สำหรับผลการตรวจจับตามเงื่อนไขที่กำหนดพบว่า ระบบสามารถระบุบุคคลที่ได้รับอนุญาตในการเข้าถึงพื้นที่ทั้ง 2 คนได้อย่างถูกต้อง โดยมีความแม่นยำในการระบุตัวบุคคลเท่ากับร้อยละ 95.20 ซึ่งอยู่ในระดับดี ตลอดระยะเวลาการทดสอบ ระบบไม่มีการส่งการแจ้งเตือนเมื่อบุคคลดังกล่าวเคลื่อนที่เข้า–ออกพื้นที่ Safe Zone หรือเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ Suspicious Zone และ Restricted Zone ตามสิทธิ์การเข้าถึงที่กำหนดไว้ ทั้งนี้ กรอบแสดงผลของบุคคลได้รับอนุญาต

คงสถานะเป็นสีฟ้าตลอดเวลาโดยไม่ขึ้นกับตำแหน่งของบุคคลในแต่ละโซน สะท้อนให้เห็นว่าระบบสามารถจำแนกบุคคลที่ได้รับอนุญาตและบริหารจัดการสิทธิ์การเข้าถึงพื้นที่ได้อย่างถูกต้อง นอกจากนี้ ระบบสามารถติดตามบุคคลที่เริ่มต้นการเคลื่อนที่จาก Safe Zone ได้อย่างต่อเนื่อง โดยมีประสิทธิภาพในการติดตาม (Tracking Accuracy) เท่ากับร้อยละ 94.80 แม้ว่าจะพบการสูญเสียการติดตาม (Track Loss) ในบางกรณีที่บุคคลเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงหรือเกิดการบดบังจากวัตถุอื่น แต่ระบบสามารถกลับมาติดตามบุคคลเดิมได้อย่างถูกต้องเมื่อบุคคลปรากฏในมุมมองของกล้องอีกครั้ง สำหรับบุคคลภายนอก ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตรวจจับ ติดตาม และจำแนกการเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่เฝ้าระวัง (Suspicious Zone) และพื้นที่ หวงห้าม (Restricted Zone) ได้อย่างถูกต้อง โดยมีการเปลี่ยนสีกรอบแสดงผลให้สอดคล้องกับระดับความเสี่ยงของแต่ละพื้นที่ กล่าวคือ กรอบจะแสดงเป็นสีเหลืองเมื่อบุคคลเข้าสู่ Suspicious Zone และเปลี่ยนเป็นสีแดงเมื่อเข้าสู่ Restricted Zone นอกจากนี้ ระบบยังสามารถบันทึกสถานะการเข้าพื้นที่ของบุคคลได้อย่างต่อเนื่อง โดยหากบุคคลเคยเข้าสู่ Restricted Zone กรอบแสดงผลจะคงสถานะเป็นสีแดง แม้ว่าบุคคลจะเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่ดังกล่าวแล้ว ขณะที่บุคคลที่เคยเข้าสู่ Suspicious Zone แต่ไม่เคยเข้าสู่ Restricted Zone จะยังคงแสดงกรอบสีเหลือง แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถจัดเก็บประวัติการละเมิดพื้นที่และแสดงระดับความเสี่ยงล่าสุดของบุคคลแต่ละรายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างภาพผลการทดสอบดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ตัวอย่างผลการทดสอบแบบเรียลไทม์

ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานของ Wojke และคณะ [8] ซึ่งรายงานว่าการประยุกต์ใช้การติดตามหลายวัตถุร่วมกับคุณลักษณะเชิงลึก (Deep Association Metric) ช่วยให้ระบบสามารถติดตามอัตลักษณ์ของบุคคลได้อย่างต่อเนื่อง แม้ในสภาพแวดล้อมที่มีการเคลื่อนที่ของบุคคลหลายราย ส่งผลให้การตรวจจับและการแจ้งเตือนมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น นอกจากนี้ ผลการทดลองยังสอดคล้องกับงานของ Deng และคณะ [7] ที่รายงานว่าการใช้เทคนิคการจดจำใบหน้าที่มีความแม่นยำสูงช่วยลดความผิดพลาดในการระบุตัวตน และเพิ่มประสิทธิภาพของระบบควบคุมการเข้าถึงพื้นที่อัตโนมัติ ทั้งนี้ ผลการทดลองที่ระบบสามารถแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน LINE ได้ถูกต้องร้อยละ 100 และทำงานได้อย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาทดสอบ แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของระบบในการนำไปประยุกต์ใช้กับระบบเฝ้าระวังพื้นที่หวงห้ามในสถานประกอบการหรือพื้นที่ที่ต้องการการรักษาความปลอดภัยแบบเวลาจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. บทสรุป

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบเฝ้าระวังทรัพย์สินภายในร้านขายของชำโดยใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) สำหรับตรวจจับ ติดตาม และจำแนกบุคคล พร้อมทั้งประเมินการเข้าสู่พื้นที่เฝ้าระวังและแจ้งเตือนแบบเวลาจริงผ่านแอปพลิเคชัน LINE ระบบใช้โมเดล YOLOv11 ร่วมกับเทคนิคการเรียนรู้แบบถ่ายโอน (Transfer Learning) และการกำหนดพื้นที่ด้วย Polygon Zone ใช้ชุดข้อมูลสำหรับการฝึกสอนประกอบด้วยภาพจำนวน 5,000 ภาพที่ได้จากวิดีโอ 30 คลิป และกำกับป้ายกำกับข้อมูลด้วยแพลตฟอร์ม Roboflow ผลการฝึกสอนให้ค่า Precision=0.92, Recall= 0.90, ค่า mAP@0.5 = 0.93 และ mAP@0.5:0.95 = 0.64 แสดงให้เห็นว่าโมเดลมีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับงานตรวจจับบุคคลในระบบเฝ้าระวัง ผลการทดสอบด้วยสถานการณ์จำลองกรณีต่าง ๆ พบว่าระบบสามารถจำแนกบุคคลที่ได้รับอนุญาตและบุคคลภายนอกได้อย่างถูกต้อง สามารถติดตามการเคลื่อนที่ของบุคคลระหว่างโซนได้อย่างต่อเนื่อง และแจ้งเตือนเมื่อบุคคลภายนอกเข้าสู่พื้นที่เฝ้าระวังหรือพื้นที่หวงห้ามได้ตามเงื่อนไขที่กำหนด สำหรับการทดสอบภายใต้สภาพแวดล้อมจริงเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าระบบทำงานได้อย่างต่อเนื่อง มีความเสถียรในการเชื่อมต่อกับกล้อง ใช้ทรัพยากรเฉลี่ย CPU ร้อยละ 39 และหน่วยความจำ 2.0 GB โดยสามารถตรวจพบและแจ้งเตือนเหตุการณ์ได้ถูกต้องครบถ้วนคิดเป็นอัตราความสำเร็จร้อยละ 100 อย่างไรก็ตามแม้ว่าระบบจะมีประสิทธิภาพในระดับที่น่าพอใจ แต่ยังมีข้อจำกัดในกรณีสภาพแสงน้อย การบดบังของวัตถุและการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ซึ่งอาจส่งผลต่อความแม่นยำในการตรวจจับและติดตาม ดังนั้น การเพิ่มความหลากหลายของชุดข้อมูล การปรับแต่งโมเดล และการพัฒนาระบบแจ้งเตือนให้รองรับแอปพลิเคชัน LINE Official Account Messaging API จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความพร้อมของระบบสำหรับการใช้งานจริงในอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีหน่วยงานต้นสังกัดของคณะผู้วิจัย ที่ให้การสนับสนุนในการดำเนินงานวิจัย และเป็นหน่วยงานจัดการประชุมวิชาการ และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการนำเสนอบทความในงานประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 9 ในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] G. Jocher and J. Qiu, Ultralytics YOLOv11, Ultralytics, 2024.
[2] G. Jocher and J. Qiu, Ultralytics YOLOv11 Documentation, 2024.
[3] N. Wojke, A. Bewley, and D. Paulus, *Simple On Line and Realtime Tracking with a Deep Association Metric*, 2017.
[4] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection," *Proc. CVPR*, 2016.
[5] A. Bewley, Z. Ge, L. Ott, F. Ramos, and B. Upcroft, "Simple On Line and Realtime Tracking," *Proc. ICIP*, 2016.
[6] L. Wood and F. Chollet, “Efficient Graph-Friendly COCO Metric Computation for Train-Time Model Evaluation,” arXiv preprint arXiv:2207.12120, 2022.
[7] Jiankang Deng, Jia Guo, Niannan Xue, & Stefanos Zafeiriou. (2019). ArcFace: Additive Angular Margin Loss for Deep Face Recognition. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 4690–4699.
[8] Nicolai Wojke, Alex Bewley, & Dietrich Paulus. (2017). Simple On Line and Realtime Tracking with a Deep Association Metric. *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP),* 3645–3649.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์และการวิเคราะห์ต้นทุนของโยเกิร์ตจากกะทิและกะทิธัญพืช เพื่อการพัฒนาเชิงพาณิชย์

Development and Cost Analysis of Yogurt Produced from Coconut Milk and Plant-Based Coconut Milk for Commercialization

พรรณวิภา แพงศรี[1*] และ ประภาวรรณ แพงศรี[2]

[1]หลักสูตรวิทยาศาสตร์ชีวภาพวิถีไทย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
[2]หลักสูตรวิศวกรรมอุตสาหการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
*E-mail: phanwipa@vru.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันโยเกิร์ตที่ผลิตจากนมวัวยังคงมีข้อจำกัดสำหรับผู้บริโภคบางกลุ่ม เนื่องจากผู้บริโภคบางกลุ่มผู้บริโภคบางกลุ่มมีภาวะแพ้นมวัวหรือภาวะแพ้น้ำตาลแลคโตส จึงมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจากวัตถุดิบทางเลือก เช่น กะทิและธัญพืช ดังนั้นการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตโยเกิร์ตจากวัตถุดิบที่แตกต่างกัน ได้แก่ นมสด กะทิ และกะทิธัญพืช ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และต้นทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ทำการผลิตโดยใช้โยเกิร์ตทางการค้าเป็นหัวเชื้อ 10 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) บ่มที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ทำการเก็บตัวอย่างทุกชั่วโมง จากการศึกษาพบว่าโยเกิร์ตทั้ง 3 สูตรมีการเปลี่ยนแปลงด้านกลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสตามระยะเวลาการหมัก โดยสูตรนมสด (สูตรที่ 1) มีการเกิดเคิร์ดชัดเจน ส่วนสูตรกะทิ (สูตรที่ 2) และกะทิธัญพืช (สูตรที่ 3) มีลักษณะข้นขึ้นแต่ไม่เกิดเคิร์ดชัดเจน ค่าพีเอชของทุกสูตรลดลงจาก 6.00–6.20 เหลือ 4.30–4.50 ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดและการลดลงของค่าความหวาน ปริมาณจุลินทรีย์หลังการหมักของสูตรนมสด กะทิ และกะทิธัญพืช เท่ากับ 3.70×10^{7}, 1.40×10^{7} และ 1.66×10^{7} CFU/g ตามลำดับ ในด้านต้นทุนการผลิตพบว่าสูตรนมสดมีต้นทุนต่ำที่สุด (5.94 บาท/100 กรัม) ขณะที่สูตรกะทิธัญพืชมีต้นทุนสูงที่สุด (9.84 บาท/100 กรัม) และมีการคำนวณต้นทุนต่อถ้วย (รวมวัตถุดิบ) โดยทำการจำลองสถานการณ์เพื่อวิเคราะห์จุดคุ้มทุนพบว่า สูตรที่ 1 (นมสด) ต้องขายให้ได้ประมาณ 15 ถ้วยต่อวัน สูตรที่ 2 ต้องขายถึง 26 ถ้วยต่อวัน สูตรที่ 3 (กะทิธัญพืช) ต้องขาย 32 ถ้วยต่อวัน จึงจะคุ้มทุนและครอบคลุมค่าใช้จ่ายคงที่ ดังนั้นกะทิและกะทิธัญพืชจึงมีศักยภาพในการใช้เป็นวัตถุดิบผลิตโยเกิร์ตทางเลือก และมีความเป็นไปได้ในการพัฒนาเชิงพาณิชย์จากผลการวิเคราะห์ต้นทุนและจุดคุ้มทุน ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอนาคต

คำสำคัญ: โยเกิร์ต กะทิ กะทิธัญพืช การหมัก

Abstract

Yogurt produced from cow's milk remains unsuitable for some consumers due to cow's milk allergy or lactose intolerance. Consequently, Therefore, yogurt products have been developed using alternative ingredients. This study aimed to evaluate yogurt produced from three different raw materials: fresh milk, coconut milk, and plant-based coconut milk. The physical, chemical, microbiological properties, and production costs of the yogurt products were investigated. Commercial yogurt was used as the starter culture at 10% (w/w), and fermentation was carried out at 43°C for 5 h. Samples were collected at 1-h intervals throughout the fermentation process. The results showed that fermentation affected the physical characteristics of all formulations. The fresh milk yogurt (Formula 1), curd is clearly formed, whereas coconut milk (Formula 2) and plant-based coconut milk (Formula 3) developed increased viscosity without distinct curd formation. The pH of all formulations decreased from 6.00–6.20 to 4.30–4.50, accompanied by increased acidity and reduced sweetness. The viable lactic acid bacteria count after fermentation were 3.70×10^7, 1.40×10^7, and 1.66×10^7 CFU/g for the fresh milk, coconut milk, and plant-based coconut milk formulations, respectively. Production cost analysis indicated that the fresh milk formulation had the lowest production cost (5.94 Baht/100g), whereas the plant-based coconut milk formulation had the highest production cost (9.84 Baht/100g). The cost per cup (including ingredients) was calculated using a break-even analysis simulation. It was found that Formula 1 (fresh milk) requires approximately 15 cups sold per day, Formula 2 (coconut milk) requires 26 cups sold per day, and Formula 3 (plant-based coconut milk) requires 32 cups sold per day to break even and cover fixed expenses. Therefore, coconut milk and plant-based coconut milk have the potential to be used as raw materials for producing alternative yogurt, and there is potential for commercial development based on cost and break-even analysis results. This information can be used as a basic for future product development.

Keywords: Yogurt, Coconut Milk, Plant-Based Coconut Milk, Fermentation

1. บทนำ

ปัจจุบันการดูแลสุขภาพและความยั่งยืนด้านอาหารได้กลายเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการบริโภคของประชากรทั่วโลก ผู้บริโภคหันมาให้ความสำคัญกับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ปลอดภัย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ส่งผลให้อาหารในกลุ่ม “อาหารฟังก์ชัน” (Functional Food) ได้รับความนิยมอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะ “โยเกิร์ต” ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์นมหมักที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและอุดมด้วยจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (Probiotics) โยเกิร์ตผลิตจากการหมักด้วยแบคทีเรียกรดแลคติก โดยหัวเชื้อหลักที่ใช้ ได้แก่ *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* [1] ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ได้รับการยอมรับว่ามีความปลอดภัยสำหรับการใช้ในอาหาร (Generally Recognized as Safe; GRAS) [2] และสามารถเปลี่ยนน้ำตาลแลคโตสให้เป็นกรดแลคติก ส่งผลให้ค่าพีเอชลดลง โปรตีนในนมเกิดการรวมตัวเป็นโครงสร้างเจล ทำให้โยเกิร์ตมีเนื้อสัมผัสและรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์ รวมทั้งมีอายุการเก็บรักษานานขึ้น นอกจากนั้นโยเกิร์ตยังมีส่วนช่วยในการปรับสมดุลระบบทางเดินอาหาร ลดอาการท้องอืด และส่งเสริมสุขภาพของผู้บริโภค [3] อย่างไรก็ตามโยเกิร์ตที่ผลิตจากนมวัวยังคงมีข้อจำกัดสำหรับผู้บริโภคบางกลุ่ม โดยเฉพาะผู้ที่มีภาวะไม่สามารถย่อยน้ำตาลแลคโตส (Lactose Intolerance) ซึ่งพบได้มากในประชากรในแถบเอเชีย รวมถึงกลุ่มผู้บริโภคที่นิยมการบริโภคอาหารจากพืช (Plant-based) แนวโน้มการบริโภคผลิตภัณฑ์จากพืช (Plant-based foods) ที่เพิ่มขึ้น ประกอบกับจำนวนผู้ที่มีภาวะแพ้น้ำตาลแลคโตส การแพ้นมวัว รวมถึงผู้บริโภคกลุ่มมังสวิรัติและวีแกนมีมากขึ้น ดังนั้นจึงเกิดแนวโน้มการพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตทางเลือกจากวัตถุดิบทางเลือกที่มาจากพืชมากขึ้น เช่น กะทิ ซึ่งมีจุดเด่นด้านกลิ่น รสชาติ และกรดไขมันสายกลาง (Medium-chain triglycerides; MCTs) ที่ให้พลังงานแก่ร่างกายได้อย่างรวดเร็ว กะทิไม่เพียงแต่มีวิตามิน กรดอะมิโนและแร่ธาตุสูงเท่านั้น แต่ยังเป็นแหล่งที่ดีของกรดลอริก (Lauric acid) ซึ่งเป็นกรดไขมัน

สายกลาง (MCFA) ที่ร่างกายสามารถดูดซึมได้อย่างรวดเร็วเพื่อใช้เป็น นอกจากนี้กรดไขมันอิ่มตัวสายกลางmedium chain triglycerides (MCT) ในกะทิยังสามารถลด การอักเสบ ให้พลังงานแก่ร่างกาย และทำให้รู้สึกอิ่มเพื่อป้องกันการรับประทานอาหารมากเกินไป [4] สำหรับผู้ที่มีภาวะไม่ทนต่อแลคโตสหรือแพ้นม โยเกิร์ตมะพร้าวสามารถเป็นทางเลือกแทนโยเกิร์ตจากนมได้ ประโยชน์ต่อสุขภาพ ได้แก่ การเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกัน ป้องกันความผิดปกติของระบบทางเดินอาหาร [5] นอกจากนั้นน้ำนมธัญพืช เช่น ข้าวโพด ถั่วเหลือง และข้าวกล้อง เป็นอีกแหล่งที่สนใจนำมาใช้ในการผลิตโยเกิร์ต เนื่องจากซึ่งเป็นแหล่งของโปรตีน ใยอาหาร และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ อีกทั้งยังเป็นวัตถุดิบที่มีต้นทุนเหมาะสมและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การนำกะทิและน้ำนมธัญพืชมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตทางเลือกจึงถือเป็นแนวทางหนึ่งของการพัฒนา “อาหารแห่งอนาคต” (Future Food) ที่ตอบสนองต่อแนวโน้มการบริโภคของผู้บริโภคยุคใหม่ ทั้งในด้านสุขภาพ ความยั่งยืน และการเพิ่มมูลค่าให้แก่วัตถุดิบทางการเกษตร นอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวยังสามารถเป็นทางเลือกสำหรับผู้บริโภคที่หลีกเลี่ยงผลิตภัณฑ์จากนมสัตว์ รวมถึงผู้บริโภคกลุ่มมังสวิรัติและวีแกนได้อีกด้วย แม้ว่าจะมีรายงานการพัฒนาโยเกิร์ตจากพืชหลายชนิด แต่ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้กะทิธัญพืชเป็นวัตถุดิบในการผลิตโยเกิร์ตและการประเมินศักยภาพเชิงพาณิชย์ยังมีไม่มากนัก

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการผลิตโยเกิร์ตโดยใช้วัตถุดิบที่แตกต่างกันคือกะทิและกะทิธัญพืช ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีและจุลชีววิทยา รวมถึงการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตและจุดคุ้มทุนของการผลิตโยเกิร์ตจากกะทิและกะทิธัญพืช เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตทางเลือกในการต่อยอดการผลิตเชิงพาณิชย์

2. วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของวัตถุดิบที่แตกต่างกัน ได้แก่ นมสด กะทิ และกะทิธัญพืช ต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

2. ศึกษาต้นทุนการผลิตและวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของการผลิตโยเกิร์ตจากนมสด กะทิ และกะทิธัญพืช เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการพัฒนาเชิงพาณิชย์

3. วิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ใช้นมสดรสจืด (ทางการค้า) กะทิ (ทางการค้า) กะทิธัญพืช (ทางการค้า) น้ำตาลทราย เจลาติน และโยเกิร์ตทางการค้ารสธรรมชาติเป็นวัตถุดิบหลัก โดยนมสดเป็นวัตถุดิบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการผลิตโยเกิร์ต ส่วนกะทิใช้แทนไขมันจากนมวัวในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่เหมาะสำหรับผู้บริโภคที่ต้องการอาหารจากพืช และกะทิธัญพืชใช้กะทิที่ผลิตจากธัญพืชต่าง ๆ ซึ่งมีคุณค่าทางโภชนาการสูง

3.2 การผลิตโยเกิร์ต

การผลิตโยเกิร์ตในงานวิจัยนี้ใช้สูตร 3 สูตร โดยการทดลองของแต่ละสูตรจำนวน 3 ซ้ำ โดยสูตรที่ 1 ใช้นมสด 100 เปอร์เซ็นต์, สูตรที่ 2 ใช้ กะทิ 100 เปอร์เซ็นต์ สูตร 3 กะทิธัญพืช 100 เปอร์เซ็นต์ การผลิตโยเกิร์ตเริ่มโดยนำนมรสจืด กะทิ และกะทิธัญพืชมาอุ่นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที จากนั้นเติมน้ำตาลทราย เจลาติน อัตราส่วนร้อยละโดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก (ดังตารางที่ 1) จากนั้นลดอุณหภูมิของน้ำนมลงเหลือ 45 องศาเซลเซียส เติมเชื้อจุลินทรีย์โยเกิร์ตทางการค้าที่มีเชื้อ *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* 10 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ผสมให้เข้ากันนำไปบ่มที่ 43 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างทุกชั่วโมง สังเกตลักษณะทางกายภาพ วิเคราะห์วัดค่าความหวาน ค่าพีเอช ปริมาณกรดแลคติก และปริมาณเชื้อแบคทีเรียแลคติก

ตารางที่ 1 สูตรการผลิตโยเกิร์ต 3 สูตร

ส่วนผสม	สูตรที่ 1 (นมสด)	สูตรที่ 2 (กะทิ)	สูตรที่ 3 (กะทิธัญพืช)
นมสด	100	-	-
กะทิ	-	100	-
กะทิธัญพืช	-	-	100
น้ำตาลทราย	6	6	6
เจลาติน	0.05	0.05	0.05
หัวเชื้อจากโยเกิร์ตทางการค้า	10	10	10

3.3 การศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพ เคมีและจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ผลิตได้

สังเกตลักษณะทางกายภาพ คือ สี กลิ่น รสชาติและการเกิดเคิร์ด วัดค่าความหวาน โดยใช้เครื่อง Refractometer ปริมาณกรดแลคติกด้วยวิธีไตเตรตกรด - เบสโดยใช้สารละลาย 0.1 N sodium hydroxide มาตรฐานโดยใช้ phenolphthalein เป็นตัวบ่งชี้และแสดงผลเป็นปริมาณกรดแลคติก [6] วัดค่าพีเอชด้วยเครื่องวัดพีเอช โดยเก็บข้อมูลจากการทดลอง 3 ซ้ำ รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย (Mean ± SD) ปริมาณเชื้อแบคทีเรียแลคติกด้วยด้วยโดยวิธี Total plate Count บนอาหาร MRS agar plate

3.4 คำนวณต้นทุนและวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

นำต้นทุน วัตถุดิบและส่วนประกอบต่าง ๆ มาคำนวณต้นทุนต่อหน่วยและวิเคราะห์จุดคุ้มทุนของการผลิตโยเกิร์ตแต่ละสูตร เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตในระดับครัวเรือนและระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อมต่อไป และมีการการจำลองสถานการณ์ เพื่อวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break-Even Analysis) ซึ่งมีค่าใช้จ่ายดังนี้ ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Costs): สมมติว่าค่าไฟ ค่าเสื่อมอุปกรณ์ ค่าแรง ค่าบรรจุภัณฑ์ เพื่อวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break-Even Analysis) เพื่อเป็นแนวทางในการตั้งราคาขายในท้องตลาด

จุดคุ้มทุน (Break-Even Point, BEP) = จำนวนขาย ณ จุดคุ้มทุน = ต้นทุนคงที่ ÷ (ราคาขาย - ต้นทุนผันแปร)

4. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางกายภาพของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ผลิตได้

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของโยเกิร์ตทั้ง 3 สูตร ได้แก่ สูตรนมสด สูตรกะทิ และสูตรกะทิธัญพืช พบว่าระยะเวลาในการหมักมีผลต่อลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต ด้านกลิ่น รสชาติ และการเกิดเคิร์ดของโยเกิร์ต โยเกิร์ตสูตรที่ 1 (นมสด) ตลอดระยะเวลาการหมัก 5 ชั่วโมง มีสีขาวนวลคงที่ ในช่วง 1–3 ชั่วโมงแรกยังคงมีกลิ่นนมและรสชาติหวาน ต่อมาในชั่วโมงที่ 3 เริ่มมีกลิ่นโยเกิร์ตและมีรสเปรี้ยวเล็กน้อย ขณะเดียวกันเริ่มเกิดเคิร์ดในชั่วโมงที่ 3 และเกิดเคิร์ดชัดเจนในชั่วโมงที่ 4–5 ส่งผลให้โยเกิร์ตมีลักษณะข้นตัวมากขึ้น และมีรสเปรี้ยวเด่นชัดในชั่วโมงสุดท้ายของการหมัก แสดงถึงการเริ่มทำงานของจุลินทรีย์ในการสร้างกรดแลคติก

สำหรับโยเกิร์ตสูตรที่ 2 (กะทิ) พบว่าผลิตภัณฑ์มีสีขาวตลอดการหมัก และยังกลิ่นกะทิในช่วง 1–3 ชั่วโมงแรก และเริ่มมีกลิ่นโยเกิร์ตในชั่วโมงที่ 4–5 รสชาติเปลี่ยนจากหวานมันไปเป็นรสเปรี้ยวอมหวาน และมีรสเปรี้ยวชัดเจนในชั่วโมงที่ 5 ส่วนการเกิดเคิร์ดพบว่ายังมีลักษณะเหลวและมีความข้นขึ้นในชั่วโมงที่ 5 จะเห็นว่ากะทิสามารถเกิดการหมักและพัฒนาเนื้อสัมผัสคล้ายโยเกิร์ตได้ แต่อาจใช้เวลานานกว่าสูตรนมสดในการเกิดโครงสร้างเคิร์ดที่ชัดเจน

โยเกิร์ตสูตรที่ 3 (กะทิธัญพืช) พบว่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกับสูตรกะทิ โดยมีสีขาวคงที่ตลอดการหมัก มีกลิ่นกะทิในระยะแรก และเริ่มมีกลิ่นโยเกิร์ตในช่วงท้ายของการหมัก รสชาติเปลี่ยนจากหวานมันเป็นรสเปรี้ยวตามระยะเวลาการหมักเช่นเดียวกัน ด้านการเกิดเคิร์ดพบว่าในช่วงแรกยังมีลักษณะเหลว เริ่มมีความข้นในชั่วโมงที่ 5 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเติมธัญพืชช่วยเพิ่มความหนืดและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ได้

โดยสรุป การหมักโยเกิร์ตทั้ง 3 สูตรส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงด้านกลิ่น รสชาติ และความข้นของผลิตภัณฑ์ตามระยะเวลาในการหมัก ดังตารางที่ 2 และการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพโดยรวมดังตารางที่ 3 โดยสูตรนมสดเกิดเคิร์ดได้เร็ว

และชัดเจน ขณะที่สูตรกะทิและกะทิธัญพืชสามารถพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตทางเลือกได้และมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นอาหารสุขภาพในอนาคต

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของโยเกิร์ต 3 สูตร

ระยะเวลาในการหมัก (ชั่วโมง)	สูตรที่ 1 นมสด	สูตรที่ 2 กะทิ	สูตรที่ 3 กะทิธัญพืช
1	สีขาวนวล กลิ่นนม รสหวาน ไม่เกิดเคิร์ด	สีขาว กลิ่นกะทิ รสหวานมัน ลักษณะเหลว	สีขาว กลิ่นกะทิผสมธัญพืช รสหวานมัน ลักษณะเหลว
2	สีขาวนวล กลิ่นนม รสหวาน ไม่เกิดเคิร์ด	สีขาว กลิ่นกะทิ รสหวานมัน ลักษณะเหลว	สีขาว กลิ่นกะทิผสมธัญพืช รสหวานมัน ลักษณะเหลว
3	สีขาวนวล กลิ่นนม เริ่มมีรสเปรี้ยว เริ่มเกิดเคิร์ด	สีขาว เริ่มมีรสเปรี้ยว เริ่มข้นขึ้นเล็กน้อย	สีขาว เริ่มมีรสเปรี้ยว เริ่มข้นขึ้นเล็กน้อย
4	สีขาวนวล เริ่มมีกลิ่นโยเกิร์ต รสเปรี้ยวอมหวาน เกิดเคิร์ดชัดเจน	สีขาว รสเปรี้ยวอมหวาน ข้นขึ้นเล็กน้อย	สีขาว รสเปรี้ยวอมหวาน ข้นขึ้นเล็กน้อย
5	สีขาวนวล รสเปรี้ยว เกิดเคิร์ดชัดเจน	สีขาว รสเปรี้ยว ลักษณะข้น	สีขาว รสเปรี้ยว ลักษณะข้น

ตารางที่ 3 ผลการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพโดยรวม

คุณลักษณะ	สูตรที่ 1 (นมสด)	สูตรที่ 2 (กะทิ)	สูตรที่ 3 (กะทิธัญพิช)
สี	คงที่ (สีขาวนวล)	คงที่ (สีขาว)	คงที่ (สีขาว)
กลิ่น	กลิ่นนม ⟶ กลิ่นโยเกิร์ต	กลิ่นกะทิ ⟶ กลิ่นโยเกิร์ต	กลิ่นกะทิธัญพืช ⟶ กลิ่นโยเกิร์ต
รสชาติ	หวาน ⟶ เปรี้ยวอมหวาน ⟶ เปรี้ยว	หวาน ⟶ เปรี้ยวอมหวาน ⟶ เปรี้ยว	หวาน ⟶ เปรี้ยวอมหวาน ⟶ เปรี้ยว
เนื้อสัมผัส	เกิดเคิร์ดชัดเจน	ข้นขึ้นไม่เกิดเคิร์ดชัดเจน	ข้นขึ้นไม่เกิดเคิร์ดชัดเจน

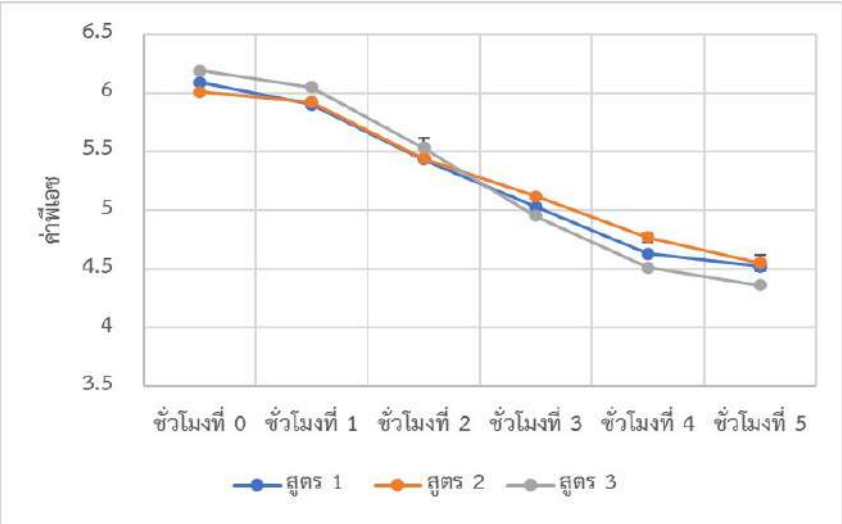
จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแหล่งวัตถุดิบมีผลต่อการเกิดเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ต โดยสูตรนมสดสามารถเกิดเคิร์ดได้ชัดเจนและมีเนื้อสัมผัสดีกว่าได้ดีกว่าสูตรกะทิและกะทิธัญพืช เนื่องจากนมสดมีโปรตีนเคซีนซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการเกิดเคิร์ดระหว่างการหมัก ขณะที่กะทิและกะทิธัญพืชมีองค์ประกอบของโปรตีนต่ำกว่าและมีไขมันพืชเป็นองค์ประกอบหลัก จึงทำให้การเกิดโครงสร้างเจลเกิดได้ช้ากว่าและมีลักษณะข้นตัวน้อยกว่า ซึ่งอาจมีการศึกษาเพิ่มเติม เช่น ส่วนผสมของสารก่อเจล เพื่อให้ได้เนื้อสัมผัสที่ชัดเจนขึ้น [7] และผลการศึกษาพบว่าสูตรนมสดให้การเกิดเคิร์ดและเนื้อสัมผัสดีกว่าสูตรกะทิและกะทิธัญพืช ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานว่าโครงสร้างโปรตีนที่หนาแน่นและสม่ำเสมอมีผลโดยตรงต่อความหนืด ความแข็งและคุณภาพของเนื้อสัมผัสโยเกิร์ต [8]

4.2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอช

เมื่อบ่มโยเกิร์ต ไว้ในตู้บ่ม (Incubator) ที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง พบว่าโยเกิร์ตทุกสูตรมีค่าพีเอชลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการบ่ม โดยเริ่มต้นที่ค่าพีเอชประมาณ 6.00 - 6.20 และเมื่อครบ 5 ชั่วโมง โยเกิร์ตทั้งสามสูตรมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 4.30-4.50 ดังภาพที่ 1 พบว่าทุกสูตรมีแนวโน้มค่าพีเอชลดลงตามชั่วโมงที่เพิ่มขึ้น จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเข้าสู่ชั่วโมงที่ 3 ค่าพีเอชของทั้งสามสูตรเริ่มใกล้เคียงกัน เมื่อครบ 5 ชั่วโมง ทั้งสามสูตรมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง

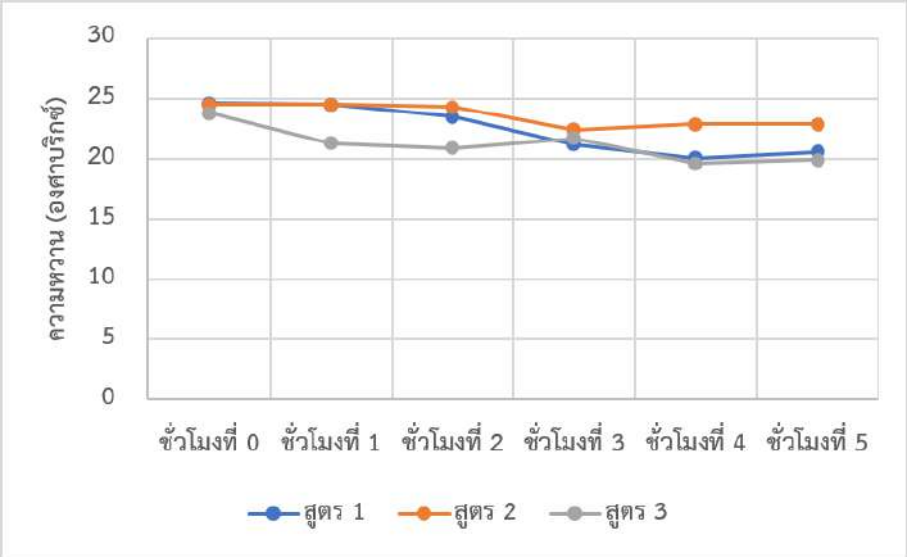
4.30-4.50 ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตซึ่งมีผลใกล้เคียงกับการพัฒนาโยเกิร์ตจากงานวิจัยการพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตฟักข้าวพบว่าโยเกิร์ตที่มีปริมาณฟักข้าวร้อยละ 20 มีค่าพีเอชเท่ากับ 4.50±0.11 [9]



ภาพที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าพีเอช

ผลการวิเคราะห์ค่าความหวาน

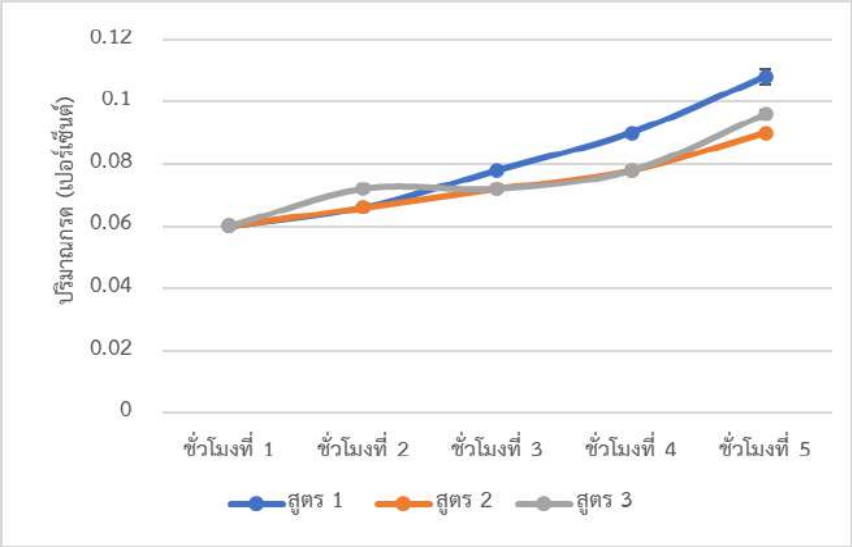
ผลการวิเคราะห์ค่าความหวานพบว่าค่าความหวานของโยเกิร์ตแต่ละสูตรมีค่าความหวานลดลงตามระยะเวลาการบ่มที่เพิ่มขึ้น ทำให้โยเกิร์ตมีค่าความหวานลดลง (ดังภาพที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่าโยเกิร์ตข้าวกล้องงอกพันธุ์หอมไชยาทุกสูตรเมื่อทำการบ่มแล้ว มีค่าความหวานอยู่ในช่วง 11.67-11.86 องศาบริกซ์ โดยสามารถกล่าวได้ว่าค่าความหวานที่ลดลงนั้นเป็นเพราะจุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตกรดแลคติกใช้น้ำตาลแลคโตสหรือกลูโคสในน้ำนมเปลี่ยนเป็นกรดแลคติกจึงเป็นสาเหตุให้ค่าความหวานลดลง [10]



ภาพที่ 2 ผลการวิเคราะห์ค่าความหวาน

ปริมาณกรดแลคติก

ผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดแลคติก มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดในทุกสูตรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาการบ่มที่นานขึ้น ดังภาพที่ 3 ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของค่าพีเอช และการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดสอดคล้องโดยตรงกับการลดลงของค่าความหวาน (องศาบริกซ์) ซึ่งในกระบวนการหมักเกิดกระบวนการเปลี่ยนน้ำตาลให้กลายเป็นกรดโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ปริมาณกรดแลคติก

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีพบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชและปริมาณกรดแลคติกมีความสัมพันธ์กันอย่างชัดเจน โดยค่าพีเอชของทุกสูตรลดลงจากประมาณ 6.00–6.20 เหลือประมาณ 4.30–4.50 ภายในระยะเวลา 5 ชั่วโมง ซึ่งเป็นช่วงค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับโยเกิร์ตตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยว ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตพร้อมดื่มจากข้าวกล้องหอมนิลงอกพบว่าค่าพีเอชลดลงเมื่อปริมาณกรดเพิ่มขึ้น [10] ทั้งนี้การลดลงของค่าพีเอชเกิดจากการสะสมของกรดแลคติกที่ผลิตโดยจุลินทรีย์ในระหว่างกระบวนการหมัก สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดแลคติกในทุกสูตร ค่าความหวานลดลง เนื่องจากน้ำตาลถูกนำไปใช้ในกระบวนการทางชีวเคมี ปริมาณกรดเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลผลิตที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงน้ำตาล แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์สามารถใช้แหล่งคาร์โบไฮเดรตจากนมสดและวัตถุดิบจากพืชในการสร้างกรดอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าวัตถุดิบจากพืชสามารถใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตได้

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางจุลชีววิทยา

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นหลังทำการหมักจนสิ้นสุดกระบวนการ พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ผลิตได้ สูตรที่ 1 2 และ 3 มีปริมาณเชื้อแบคทีเรียแลคติก $3.70x10^7$, $1.40x10^7$ และ $1.66x10^7$ CFU/g ตามลำดับ ดังตารางที่ 4 ซึ่งทุกสูตรมีปริมาณแบคทีเรียแลคติก ไม่น้อยกว่า 1×10^7 CFU/g จากเกณฑ์ที่กำหนดตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 353 พ.ศ.2556 เรื่องนมเปรี้ยว [12] จึงใช้มาตรฐานดังกล่าวเป็นเกณฑ์อ้างอิง

ตารางที่ 4 ปริมาณจุลินทรีย์ในโยเกิร์ต 3 สูตร

สูตร	ปริมาณเชื้อ (CFU/g)
สูตรที่ 1 (นมสด)	$3.70x10^7$
สูตรที่ 2 (กะทิ)	$1.40x10^7$
สูตรที่ 3 (กะทิธัญพืช)	$1.66x10^7$

4.3 การวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตโยเกิร์ต

ราคาต้นทุนต่อหน่วย ต้นทุนต่อหน่วยของโยเกิร์ตสูตรที่ 1 (น้ำนมสด 100%) ต้นทุนรวมวัตถุดิบ (5.94 บาท/100 กรัม) สูตรที่ 2 (โยเกิร์ตกะทิ) ต้นทุนรวมวัตถุดิบ (9.09 บาท/100 กรัม) สูตรที่ 3 (โยเกิร์ตกะทิธัญพืช) ต้นทุนรวมวัตถุดิบ (9.84 บาท/100 กรัม) ดังตารางที่ 5 จากการคำนวณต้นทุนรวมวัตถุดิบ พบว่าสูตรที่ 1 มีต้นทุนต่ำที่สุด เนื่องจากราคาของนมสดต่อลิตรถูกกว่ากะทิ และกะทิธัญพืช และสูตรที่ 3 มีต้นทุนสูงที่สุด เนื่องจากกะทิธัญพืชมีราคาสูงกว่ากะทิปกติ

ตารางที่ 5 สรุปเปรียบเทียบต้นทุนโยเกิร์ต (ต่อปริมาณ 100 กรัม)

รายการส่วนผสม	สูตรที่ 1 (นมสด)	สูตรที่ 2 (กะทิ)	สูตรที่ 3 (กะทิธัญพืช)
ส่วนประกอบหลัก (100 กรัม)	5.00 บาท	8.15 บาท	8.90 บาท
น้ำตาลทราย (6 กรัม)	0.16 บาท	0.16 บาท	0.16 บาท
เจลาติน (0.05 กรัม)	0.04 บาท	0.04 บาท	0.04 บาท
หัวเชื้อโยเกิร์ต (10 กรัม)	0.74 บาท	0.74 บาท	0.74 บาท
ต้นทุนรวมวัตถุดิบ	**5.94 บาท**	**9.09 บาท**	**9.84 บาท**

4.4 วิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break-Even Point Analysis)

จากการคำนวณต้นทุนต้นทุนต่อถ้วย (รวมวัตถุดิบ) จึงทำการจำลองสถานการณ์เพื่อวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break-Even Analysis) ซึ่งมีค่าใช้จ่ายดังนี้ ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Costs): สมมติว่าค่าไฟ ค่าเสื่อมอุปกรณ์ ค่าแรง รวม 3,000 บาท/เดือน ค่าบรรจุภัณฑ์ (Packaging): ถ้วยแก้วพร้อมฝาปิด สติกเกอร์ สมมติถ้วยละ 12 บาท (บวกเพิ่มจากค่าวัตถุดิบเดิม) โดยมีการตั้งราคาขายโยเกิร์ตทั้งสามสูตรในราคา 25 บาทต่อถ้วย จากการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนพบว่า สูตรที่ 1 (นมสด) ต้องขายให้ได้ประมาณ 15 ถ้วยต่อวัน เพื่อให้ครอบคลุมค่าใช้จ่ายคงที่ 3,000 บาท สูตรที่ 2 (กะทิ) ต้องขายถึง 26 ถ้วยต่อวัน สูตรที่ 3 (กะทิธัญพืช) ต้องขายเกือบ 32 ถ้วยต่อวัน จึงจะคุ้มทุนเนื่องจากต้นทุนวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์รวมกันสูงถึง 21.84 บาท (คิดเป็น 87% ของราคาขาย) (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ตารางวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

รายการ	สูตร 1 (นมสด)	สูตร 2 (กะทิ)	สูตร 3 (กะทิธัญพืช)
ต้นทุนวัตถุดิบ (100 กรัม)	5.94 บาท	9.09 บาท	9.84 บาท
ค่าบรรจุภัณฑ์ (ถ้วย/ฝา/สติกเกอร์)	12.00 บาท	12.00 บาท	12.00 บาท
ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย (A)	17.94 บาท	21.09 บาท	21.84 บาท
ราคาขายต่อหน่วย (B)	25.00 บาท	25.00 บาท	25.00 บาท
กำไรขั้นต้นต่อหน่วย (B - A)	7.06 บาท	3.91 บาท	3.16 บาท
จุดคุ้มทุน (ถ้วยต่อเดือน)	**425 ถ้วย**	**768 ถ้วย**	**950 ถ้วย**

จากผลการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนพบว่าโยเกิร์ตสามสูตรมีต้นทุนที่ต่างกันดังนั้นจึงหาแนวทางการตั้งราคาที่เหมาะสมสำหรับราคาขายของโยเกิร์ตแต่ละสูตร เช่น สูตรที่ 3 (กะทิธัญพืช) การขายที่ราคาที่ 25 บาท อาจทำให้กำไรน้อยดังนั้นในมุมของผลิตภัณฑ์กลุ่ม Plant-based สามารถตั้งราคาขายที่สูงกว่านี้ได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงคำนวณและตั้งราคาขายที่เหมาะสมดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การตั้งราคาขายที่เหมาะสม

รายการ	สูตร 1 (นมสด)	สูตร 2 (กะทิ)	สูตร 3 (กะทิธัญพืช)
ต้นทุนรวม (วัตถุดิบ + บรรจุภัณฑ์)	17.94 บาท	21.09 บาท	21.84 บาท
ราคาขายแนะนำ (กรณีที่ 1)	29 บาท	35 บาท	39 บาท
กำไรต่อถ้วย (A)	11.06 บาท	13.91 บาท	17.16 บาท
จุดคุ้มทุน (ถ้วย/เดือน)	272 ถ้วย	216 ถ้วย	175 ถ้วย
ราคาขายแนะนำ (กรณีที่ 2)	35 บาท	45 บาท	49 บาท
กำไรต่อถ้วย (B)	17.06 บาท	23.91 บาท	27.16 บาท
จุดคุ้มทุน (ถ้วย/เดือน)	176 ถ้วย	126 ถ้วย	111 ถ้วย

วิเคราะห์และการเลือกราคา ราคาขายแนะนำ (กรณีที่ 1) สูตรที่ 1 (นมสด): ราคา 29 บาท ซึ่งเป็นราคาทั่วไปในตลาดโยเกิร์ตโฮมเมดคุณภาพดี สูตรที่ 2 และ 3 (กะทิ/กะทิธัญพืช): ราคา 35 และ 39 บาท ตามลำดับ ราคาสูงกว่าโยเกิร์ตนมสดเนื่องจากเป็นสินค้า Plant-based ซึ่งราคาในท้องตลาดมีราคาสูงกว่านมวัวปกติ ในกรณีที่ 1 ผลิตภัณฑ์ต้องผลิตในปริมาณที่ค่อนข้างมากจึงจะคุ้มทุน โดยสูตรที่ 1, 2 และ 3 ต้องมีปริมาณการผลิตและจำหน่ายอยู่ที่ 272, 216 และ 175 ถ้วยต่อเดือน ตามลำดับ (คิดเป็นยอดขายเฉลี่ยประมาณ 9, 7 และ 6 ถ้วยต่อวัน ตามลำดับ) จึงจะสามารถสร้างกำไรได้ ส่วน (กรณีที่ 2) สูตรที่ 1 (นมสด) ราคา 35 บาท สูตรที่ 2 และ 3 (กะทิ/กะทิธัญพืช) ราคา 45 และ 49 บาท ตามลำดับ โดยสูตรที่ 2 และ 3 ตั้งราคาสูงกว่าโยเกิร์ตนมสด (สูตรที่ 1) เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกจากพืช (Plant-based) ซึ่งราคาในท้องตลาดมีราคาสูงกว่านมวัวปกติ ซึ่งในกรณีที่ 2 สูตรที่ 1 ราคาขาย 35 บาท จะมีกำไรเพิ่มขึ้นและจุดคุ้มทุนลดลงเหลือ 176 ถ้วย/เดือน เฉลี่ยต้องขาย 6 ถ้วย/วัน สูตร 2 (กะทิ) ราคาขาย 45 บาท จะมีกำไรเพิ่มขึ้นและจุดคุ้มทุน 126 ถ้วย/เดือน เฉลี่ยต้องขาย 5 ถ้วย/วัน สูตร 3 (กะทิธัญพืช) ราคาขาย 49 บาท จะมีกำไรเพิ่มขึ้นและจุดคุ้มทุน 111 ถ้วย/เดือน เฉลี่ยต้องขาย 4 ถ้วย/วัน จากการวิเคราะห์และการเลือกราคาขายข้างต้นพบว่า ราคาขายในกรณีที่ 2 เป็นราคาขายที่เหมาะสมที่สุดในการจัดจำหน่ายสำหรับโยเกิร์ตทั้งสามสูตร เนื่องจากทำให้จุดคุ้มทุนต่ำลงและบริหารจัดการได้ง่ายในเชิงพาณิชย์ จะเห็นว่าแม้สูตรที่ 3 (กะทิธัญพืช) จะมีต้นทุนวัตถุดิบสูงที่สุด เมื่อกำหนดราคาขายที่เหมาะสมและสอดคล้องกับตลาดกลุ่มผู้รักสุขภาพ (ราคา 49 บาท) เป็นสูตรที่ต้องการยอดขายน้อยที่สุดในการคืนทุน (เพียง 111 ถ้วยต่อเดือน) เนื่องจากมีส่วนต่างกำไรต่อหน่วย (Contribution Margin) สูงถึง 27.16 บาทต่อหน่วย

ในด้านการผลิตพบว่าสูตรนมสดมีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด ขณะที่สูตรกะทิธัญพืชมีต้นทุนสูงที่สุดเนื่องจากราคาวัตถุดิบสูงกว่า อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์จุดคุ้มทุนร่วมกับการตั้งราคาขาย พบว่าผลิตภัณฑ์กลุ่ม Plant-based สามารถตั้งราคาจำหน่ายได้สูงกว่าโยเกิร์ตทั่วไป เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในกลุ่มอาหารสุขภาพและอาหารแห่งอนาคต (Future Food) ซึ่งผู้บริโภคยอมรับราคาที่สูงขึ้นได้ ส่งผลให้สูตรกะทิธัญพืชแม้มีต้นทุนสูง มีจุดคุ้มทุนต่ำที่สุดเมื่อกำหนดราคาขายที่เหมาะสม

5. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาพบว่านมสด กะทิ และกะทิธัญพืชสามารถนำมาใช้ผลิตโยเกิร์ตได้ โดยโยเกิร์ตทุกสูตรมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต ทั้งคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และปริมาณจุลินทรีย์กรดแลคติก โดยสูตรนมสดมีลักษณะการเกิดเคิร์ดที่ชัดเจน ขณะที่สูตรกะทิและกะทิธัญพืชมีศักยภาพเบื้องต้นสำหรับการพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์โดยจำเป็นต้องศึกษาคุณภาพด้านการพัฒนาเนื้อสัมผัส การยอมรับของผู้บริโภค อายุการเก็บรักษา ขยายระดับการผลิตเพิ่มเติม เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเป็นโยเกิร์ตทางเลือก นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ต้นทุนและจุดคุ้มทุนยังแสดงให้เห็นถึงโอกาสในการพัฒนาผลิตภัณฑ์สู่เชิงพาณิชย์ โดยเฉพาะในกลุ่มอาหารเพื่อสุขภาพและอาหารแห่งอนาคต

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Hadjimbei, E., Botsaris, G., & Chrysostomou, S. (2022). Beneficial effects of yoghurts and probiotic fermented milks and their functional food potential. *Foods, 11*(17), 2691.

[2] Food and Agriculture Organization of the United Nations, & World Health Organization. (2006). Probiotics in food: Health and nutritional properties and guidelines for evaluation (FAO Food and Nutrition Paper No. 85). Food and Agriculture Organization of the United Nations.

[3] อำพรรณ ชัยกุลเสรีวัฒน์. (2555). การผลิตนมเปรี้ยวพร้อมดื่มที่เสริมด้วยฟักข้าว. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร* มหาวิทยาลัยสยาม, 7(1),23-30.

[4] Dayrit, F. M. (2014). Lauric acid is a medium-chain fatty acid, coconut oil is a medium-chain triglyceride. *Philippine Journal of Science, 143*(2), 157–166.

[5] De Jesus, S., & Yang, J. (2020). Making Coconut Yogurt at Home. Cooperative Extension & Outreach, University of Guam.

[6] Association of Official Analytical Chemists. (2000). *Official methods of analysis* (17th ed., Vol. 2). Association of Official Analytical Chemists.

[7] Cheng, J., Xie, S., Yin, Y., Feng, X., Wang, S., Guo, M., & Ni, C. (2017). Physiochemical, texture properties, and the microstructure of set yogurt using whey protein–sodium tripolyphosphate aggregates as thickening agents. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(9), 2819–2825.

[8] Gengan, G., Mohd Zaini, N. S., Saari, N., Meor Hussin, A. S., Jaafar, A. H., Hasan, H., Lim, E. J., Wan-Mohtar, W. A. A. Q. I., & Abd Rahim, M. H. (2025). Nutritional and therapeutic benefits of coconut milk and its potential as a plant-based functional yogurt alternative: A review. Food Science and Human Wellness, 14(1), 1-14. https://doi.org/10.26599/FSHW.2024.9250004.

[9] สุนันทา คะเนนอก. การพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตฟักข้าว. วารสารวิจัยราชภัฏธนบุรี รับใช้สังคม, มกราคม-มิถุนายน 2561,4(1),92-100.

[10] กฤตภาส จินาภาค. (2560). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตข้าวกล้องงอกพันธุ์หอมไชยา. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ.*, 40(1), 17–26.

[11] Tanganurat, P., Yodkum, S., Soiyodthong, N., & Mangkit, P. (2014). Development of drinking yoghurt-like product from germinated Hom Nil rice. *Agricultural Science Journal*, 45(2 Suppl.), 565–568.

[12] กระทรวงสาธารณสุข. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 353) พ.ศ. 2556 เรื่อง นมเปรี้ยว. กรุงเทพฯ: กระทรวงสาธารณสุข

ศักยภาพขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ กรณีศึกษาพื้นที่ภาคเหนือตอนล่าง จังหวัดพิษณุโลก

Potential of Local Administrative Organizations in Improving the Quality of Life of Older Adults: A Case Study in Phitsanulok Province, Lower Northern Thailand

อัมราภรณ์ ภู่ระย้า[1*] ศิริกนก กลั่นขจร[1] สมศักดิ์ โทจำปา[1] รุ่งทิวา บุญประคม[1] และ กิตติศักดิ์ คัมภีระ[1]

[1] คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
*E-mail: amarapornp@nu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์การวิจัยเพื่อ 1) เพื่อศึกษาศักยภาพขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ และ 2) เพื่อหาข้อเสนอแนะแนวทางการพัฒนาศักยภาพขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ เป็นวิจัยเชิงปริมาณ ใช้การสำรวจกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 260 คน ประกอบด้วยบุคลากรขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น กลุ่มผู้สูงอายุ สมาชิกในครอบครัวของผู้สูงอายุ ชมรมผู้สูงอายุ กลุ่ม อสม. และเจ้าหน้าที่โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล ตลอดจนตัวแทนกลุ่มองค์กร ต่าง ๆ ในชุมชน การสุ่มอย่างเป็นระบบตามหมายเลขบัตรประชาชน ขนาดของกลุ่มตัวอย่างได้จากการคำนวณโดยวิธีของทาโร่ ยามาเน่ (Yamane) เครื่องมือที่ใช้การเก็บรวบรวมข้อมูล คือ แบบสอบถาม สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า ระดับศึกษาศักยภาพขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ ภาพรวมอยู่ระดับปานกลาง ($\overline{X}$ = 3.35, S.D. = 0.82) โดยเฉพาะด้านผู้นำและนโยบายมีค่าเฉลี่ยมากสุด ($\overline{X}$ = 3.36, S.D. = 0.92) รองลงมาคือ ด้านการบริหารจัดการ ($\overline{X}$ = 3.33, S.D. = 0.84) และด้านความร่วมมือเครือข่ายและชุมชน ($\overline{X}$ = 3.30, S.D. = 0.98) ส่วนภาพรวมข้อเสนอแนะแนวทางการพัฒนาศักยภาพขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ โดยอยู่ในระดับมาก ($\overline{X}$ = 3.89, S.D. = 0.97) โดยเฉพาะประเด็นที่มีค่ามากสุด คือ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นควรส่งเสริมความสัมพันธ์ของคนในชุมชนมาสร้างกลไกการดูแลผู้สูงอายุ ($\overline{X}$ = 3.92, S.D. = 0.92)

คำสำคัญ: ศักยภาพ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น การพัฒนาคุณภาพชีวิต ผู้สูงอายุ

Abstract

This quantitative study aimed to: (1) examine the potential of local administrative organizations (LAOs) to improve the quality of life of older adults, and (2) identify recommendations for strengthening the capacity of LAOs to improve the quality of life of older adults. The study included 260 participants, comprising personnel from LAOs, older adults, family members of older adults, members of older adults' clubs, village health volunteers, staff of Subdistrict Health Promoting Hospitals, and representatives of community organizations. Participants were selected using systematic random sampling based on national identification numbers. The sample size was determined using Yamane's formula. Data were collected using a structured questionnaire and analyzed using descriptive statistics, including frequency, percentage, mean, and standard deviation. The findings revealed that the overall potential of LAOs to improve the quality of life of older adults was at a moderate level ($\overline{X}$ = 3.35, SD = 0.82). Among the assessed dimensions, leadership and policy formulation received the highest mean score ($\overline{X}$ = 3.36, SD = 0.92), followed by

management capacity ($\overline{X}$ = 3.33, SD = 0.84) and collaboration through community networks and partnerships ($\overline{X}$ = 3.30, SD = 0.98). Overall, the proposed strategies for strengthening the capacity of LAOs to improve the quality of life of older adults were rated at a high level ($\overline{X}$ = 3.89, SD = 0.97). The highest-rated recommendation was that LAOs should strengthen relationships among community members to establish community-based mechanisms for caring for older adults ($\overline{X}$ = 3.92, SD = 0.92).

Keyword: Potential, local administrative organizations, development of Quality of Life, Elderly People

1. บทนำ

ปัจจุบัน โลกมีการพัฒนาและเจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว ทั้งทางเศรษฐกิจ สังคม และ เทคโนโลยี โดยเฉพาะการพัฒนาเทคโนโลยีทางการแพทย์และการบริการทางด้านสาธารณสุขที่มีประสิทธิภาพทำให้ประชากรมีสุขภาพอนามัยดีขึ้น อายุยืนยาวขึ้นกว่าเดิม ส่งผลต่อจำนวนประชากรของผู้ที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไป มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้ในศตวรรษที่ 21 หลายประเทศทั่วโลกรวมถึงประเทศไทยเข้าสู่วิกฤตการณ์ประชากรสูงอายุ กล่าวคือมีสัดส่วนประชากร อายุ 60 ปีขึ้นไป เกินร้อยละ 7 ของประชากรทั้งหมด [1] และเมื่อถึงปี พ.ศ. 2573 ประเทศไทยจึงจำเป็นต้องเตรียมรับมือกับสถานการณ์ประชากรสูงวัยอย่างรวดเร็ว [2] ประชากรที่มีสัดส่วนผู้สูงอายุสูงขึ้นย่อม หมายถึง ภาระของรัฐ ชุมชน และครอบครัวในการดูแลสุขภาพ ค่าใช้จ่ายในการ ยังชีพ และการดูแลเกี่ยวกับการอยู่อาศัยที่เหมาะสมที่จะต้องสูงขึ้นตามไปด้วยและต้องเตรียมพร้อมด้วยการระดมทรัพยากรทั้งหลาย สร้างบุคลากร ปรับบทบาทหน้าที่และเพิ่มการประสานงานขององค์กร/หน่วยงาน แก้ไขและปรับปรุงกฎระเบียบต่าง ๆ พัฒนารูปแบบและระบบต่าง ๆ ในการให้บริการด้าน สุขภาพอย่างเท่าเทียมกันแก่ผู้สูงอายุที่จะเพิ่มจำนวนขึ้นอีกมากในอนาคตอันใกล้นี้ [3] ซึ่งการเตรียมความ พร้อมของระบบกลไก การขับเคลื่อนยุทธศาสตร์การส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตของกลุ่มผู้สูงอายุเป็นสิ่งสำคัญ [4]

องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นถือว่าเป็นองค์กรที่ได้รับการถ่ายโอนภารกิจด้านการจัดบริการสาธารณะแก่ชุมชน [5] รวมทั้งภารกิจเกี่ยวกับการจัดสวัสดิการสังคมและการพัฒนาคุณภาพชีวิตของเด็ก สตรี ผู้สูงอายุและผู้ด้อยโอกาส ซึ่งพระราชบัญญัติกำหนดแผนและขั้นตอนการกระจายอำนาจให้แก่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น เพื่อให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นมีอำนาจและหน้าที่ในการจัดระบบบริการสาธารณะเพื่อประชาชนในท้องถิ่นของตนเอง กำหนดให้มีการถ่ายโอนภารกิจด้านงานส่งเสริมคุณภาพชีวิต และเรื่องการส่งเสริมอาชีพให้แก่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในปัจจุบันการจัดบริการสาธารณะในด้านสวัสดิการสังคมและสังคมสงเคราะห์ ได้มีการดำเนินการถ่ายโอนอำนาจหน้าที่ งบประมาณ และบุคลากรบางส่วนจากส่วนกลางและส่วนภูมิภาคไปให้ส่วนท้องถิ่นดำเนินการ [6] ฉะนั้น จึงเป็นบทบาทขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่จะต้องปรับระบบการบริหารจัดการงาน ท้องถิ่นให้เกิดประสิทธิภาพ และสามารถตอบสนองความต้องการขอกลุ่มเป้าหมายผู้รับบริการ และจากสภาพการณ์ของกลุ่มเปราะบางในสังคมไทยที่เป็นผู้สูงอายุมีปริมาณสูงขึ้น จำเป็นที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นจะต้องวางแผนเตรียมการสร้างความพร้อมในการเข้าสู่สั่งคมผู้สูงวัย แม้ว่าประเทศไทยจะมีนโยบายและกฎหมายรองรับการดำเนินงานด้านผู้สูงอายุและมีการถ่ายโอนภารกิจด้านการส่งเสริมคุณภาพชีวิตให้แก่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นแล้ว แต่ศักยภาพในการดำเนินงานขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในแต่ละพื้นที่ยังมีความแตกต่างกัน ทั้งด้านภาวะผู้นำ การกำหนดนโยบาย การบริหารจัดการทรัพยากร งบประมาณ บุคลากร ตลอดจนความร่วมมือของเครือข่ายในชุมชน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการพัฒนาคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุแตกต่างกันตามบริบทของแต่ละพื้นที่ จังหวัดพิษณุโลกเป็นจังหวัดศูนย์กลางของภาคเหนือตอนล่างที่กำลังก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุอย่างรวดเร็ว มีจำนวนผู้สูงอายุเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ขณะเดียวกันองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในพื้นที่ต้องรับผิดชอบภารกิจด้านการดูแลสุขภาพ การจัดสวัสดิการสังคมและการพัฒนาคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุภายใต้ข้อจำกัดด้านงบประมาณ บุคลากร และทรัพยากรในพื้นที่ ดังนั้น การศึกษาศักยภาพขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลกจึงมีความสำคัญ เพื่อสะท้อนจุดแข็ง ข้อจำกัด และประเด็นที่ควรได้รับการพัฒนา อันจะนำไปสู่การกำหนดแนวทางหรือมาตรการที่เหมาะสมกับบริบทของพื้นที่ และสามารถประยุกต์ใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาการดำเนินงานขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในพื้นที่อื่นที่มีบริบทใกล้เคียงต่อไป

การพัฒนาคุณภาพชีวิตของคนในชุมชนให้มีสุขภาวะที่ดีถูกกำหนดเป็นนโยบายสาธารณะจากฐานคิดที่ต้องการสร้างความอยู่ดีมีสุข (Well-being) ให้กับประชาชน [7] เริ่มปรากฏชัดขึ้นในทางปฏิบัตินับตั้งแต่มีการเปลี่ยนกระบวนทัศน์การพัฒนาโดยเน้นการกระจายอำนาจให้กับชุมชนในการจัดการตนเองมากขึ้น ผ่านระบบและกลไกขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น

(อปท.) ภายใต้พระราชบัญญัติกำหนดแผนและขั้นตอนการกระจายอำนาจให้แก่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น พ.ศ. 2542 [8] เป็นต้นมา สุขภาวะที่ดีของชุมชน (Community wellbeing) จึงเป็นเป้าหมายสำคัญใช้กำหนดนโยบายการพัฒนาหรือการบริหารงานท้องถิ่น การดำเนินงานที่ผ่านมาของอปท. ได้คิดวิธีการทำงานใหม่ ๆ หรือการให้บริการสาธารณะใหม่ ๆ เพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตที่ดีของประชาชน [9] หรือที่เรียกว่า นวัตกรรมทางนโยบายและการบริหารเพื่อสร้างสุขภาวะที่ดีของชุมชน เช่น การจัดการขยะ เกษตรอินทรีย์ เศรษฐกิจชุมชนงานสวัสดิการสังคม การศึกษา เป็นต้น การติดตามและประเมินการใช้นวัตกรรมการบริหารงานของอปท. จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อใช้ในการติดตามการดำเนินงานและ/วัดผลการบริหารงานของอปท. ผลการประเมินที่ได้จะช่วยกระตุ้นให้เกิดการแลกเปลี่ยนความรู้ในการบริหารงานของ อปท. ที่จะนำมาสู่การพัฒนาชุมชนให้มีสุขภาวะที่ดี อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่ผ่านมาในประเทศไทยส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับผลลัพธ์ของการดำเนินงานด้านผู้สูงอายุ หรือการประเมินคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุเป็นหลัก ขณะที่การศึกษาศักยภาพขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในฐานะหน่วยงานหลักที่รับผิดชอบการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุในระดับพื้นที่ยังมีจำนวนจำกัด โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคเหนือตอนล่าง ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งประเมินศักยภาพขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและเสนอแนะแนวทางในการพัฒนาศักยภาพดังกล่าว เพื่อสนับสนุนการกำหนดนโยบายและการพัฒนาระบบการดูแลผู้สูงอายุในระดับท้องถิ่นอย่างมีประสิทธิภาพ จากที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะค้นหาคำตอบการวิจัยในหัวข้อ “ศักยภาพขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ กรณีศึกษาพื้นที่ภาคเหนือตอนล่าง จังหวัดพิษณุโลก” เพราะการขับเคลื่อนสังคมผู้สูงอายุเป็นงานท้าทายในอนาคตในมิติการส่งมอบบริการสาธารณะแนวใหม่ที่ต้องอาศัยองค์ความรู้หลายศาสตร์ทั้งสุขภาพ การจัดการเครือข่ายและการบริหารบูรณาการระดับพื้นที่เพื่อมาบูรณาการในการดูแลสุขภาพและคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุต่อไป

2. วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1. เพื่อศึกษาศักยภาพขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ
2. เพื่อหาข้อเสนอแนะแนวทางการพัฒนาศักยภาพขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน [11]

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษา คือ บุคลากรขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และกลุ่มผู้สูงอายุ สมาชิกในครอบครัวของผู้สูงอายุ ชมรมผู้สูงอายุ กลุ่มอสม. และเจ้าหน้าที่โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล ในพื้นที่รับผิดชอบขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นหนึ่งแห่งในจังหวัดพิษณุโลก ตลอดจนตัวแทนกลุ่มองค์กรต่าง ๆ ในชุมชน จำนวน 579 คน

การคำนวณขนาดตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างคือ บุคลากรขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น กลุ่มผู้สูงอายุ สมาชิกในครอบครัวของผู้สูงอายุ ชมรมผู้สูงอายุ กลุ่ม อสม. และเจ้าหน้าที่โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล ตลอดจนตัวแทนกลุ่มองค์กรต่าง ๆ ในชุมชน ในพื้นที่รับผิดชอบขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นหนึ่งแห่งในจังหวัดพิษณุโลก เลือกโดยการสุ่มอย่างเป็นระบบตามหมายเลขบัตรประชาชน ขนาดของกลุ่มตัวอย่างได้จากการคำนวณโดยวิธีของทาโร่ ยามาเน่ (Yamane) [10] กำหนดความคลาดเคลื่อนที่ .05 ได้จำนวน 237 คนและเพิ่มอีกร้อยละ 10 เพื่อป้องกันการตอบแบบสอบถามไม่สมบูรณ์ ได้จำนวนกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 260 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นแบบสอบถาม มีคำถาม 3 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 คำถามข้อมูลทั่วไป มีคำถาม 10 ข้อ เกี่ยวกับ เพศ อายุ ศาสนา ระดับการศึกษา สถานะภาพ รายได้ การประกอบอาชีพ การเป็นสมาชิกกลุ่ม/องค์กรในชุมชน ความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับผู้สูงอายุ และความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น

ส่วนที่ 2 เป็นแบบสอบถามเพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปรในการศึกษาครั้งนี้ โดยส่วนใหญ่ปรับปรุงมาจากงานวิจัย ที่มีความเกี่ยวข้อง ซึ่งผ่านการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญ การประเมินความเชื่อมั่น ความเที่ยงตรง และดัชนีความสอดคล้อง (Index of consistency: IOC) [11] ระหว่างข้อคำถามกับประเด็นหลักของเนื้อหา ดังนี้

แบบสอบถามเกี่ยวกับศักยภาพขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ แยกเป็น 4 ด้าน คือ ด้านผู้นำและนโยบาย ด้านการบริหารจัดการ ด้านความร่วมมือเครือข่ายและชุมชน และด้านการเมืองและจัดการความขัดแย้ง โดยปรับปรุงมาจากงานวิจัย[12]และการทบทวนวรรณกรรม คำถาม 15 ข้อ เป็นคำถามปลายปิด แบบ rating scale

แบบสอบถามเกี่ยวกับแนวทางการพัฒนาศักยภาพขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ โดยปรับปรุงมาจากงานวิจัย [12] และการทบทวนวรรณกรรม คำถาม 15 ข้อ เป็นคำถามปลายปิดแบบ rating scale

ทั้งนี้แบบสอบถามในส่วนที่ 2 มีคำตอบให้เลือก 5 คำตอบ ได้แก่ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด และมีการกำหนดเกณฑ์การให้คะแนน และพิจารณาค่าเฉลี่ยจำแนกเป็น 5 ระดับ คือ

คะแนนเฉลี่ย		แปลความหมาย
ค่าเฉลี่ย 4.51 – 5.00	หมายความว่า	ความเห็นอยู่ระดับมากที่สุด
ค่าเฉลี่ย 3.51 – 4.50	หมายความว่า	ความเห็นอยู่ในระดับมาก
ค่าเฉลี่ย 2.51 – 3.50	หมายความว่า	ความเห็นอยู่ในระดับปานกลาง
ค่าเฉลี่ย 1.51 – 2.50	หมายความว่า	ความเห็นอยู่ในระดับน้อย
ค่าเฉลี่ย 1.00 – 1.50	หมายความว่า	ความเห็นอยู่ในระดับน้อยที่สุด

การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ

การตรวจสอบหาความตรงของเนื้อหา (Content validity) [11] โดยผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 ท่าน ได้ค่าความตรงตามเนื้อหา (IOC) [11] เท่ากับ 0.97 และผู้วิจัยนำเครื่องมือที่ผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาจากผู้ทรงคุณวุฒิ และได้รับ การปรับปรุงแก้ไข ไปทดลองใช้ (Try out) กับกลุ่มประชากรที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับกลุ่มตัวอย่างตามเกณฑ์ที่กำหนด จำนวน 30 ราย และนำมาวิเคราะห์ข้อมูลหาค่าความเที่ยง (Reliability) ตรวจสอบความเที่ยงโดย หาค่าความเชื่อมั่นได้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha) [13] ของแบบสอบถามศักยภาพขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการพัฒนาคุณภาพชีวิตเท่ากับ .92 และแบบสอบถามแนวทางการพัฒนาศักยภาพขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุเท่ากับ .87

สถิติที่ใช้ในการวิจัย

สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไป และสถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อตอบวัตถุประสงค์การวิจัยข้อ 1 และข้อ 2 คือ ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การพิทักษ์สิทธิ์ของกลุ่มตัวอย่าง

การวิจัยนี้ได้รับการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร เอกสารรับรองเลขที่ COA No. 011/2021 IRB No. P3-0155/2563 ผู้วิจัยชี้แจงให้กลุ่มตัวอย่างให้ทราบถึงวัตถุประสงค์ของการวิจัย เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย และสิทธิในการเข้าร่วมโครงการวิจัย และสามารถถอนตัวได้ตลอดเวลาโดยไม่มีผลกระทบใด ๆ รวมถึง แจ้งกับกลุ่มตัวอย่างว่าข้อมูลที่ได้จะเป็นความลับและนำเสนอผลการวิจัยในภาพรวม ตลอดจนนำมาใช้ประโยชน์เพื่อการวิจัยเท่านั้น ผู้วิจัยเก็บรักษาข้อมูลไว้ในตู้เก็บเอกสารและล็อคกุญแจอย่างมิดชิด และจะทำลายข้อมูลทั้งหมดภายหลังจากเผยแพร่งานวิจัยเรียบร้อยแล้ว

4. ผลการวิจัย

ส่วนที่ 1 ลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง (ร้อยละ 87.70) อายุส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 51-55 ปี (ร้อยละ 58.40) มีการศึกษาระดับประถมศึกษามากที่สุด (ร้อยละ 56.10) สถานภาพสมรส (ร้อยละ 45.80) ความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับผู้สูงอายุ เป็นสมาชิกครอบครัวที่มีผู้สูงอายุ (ร้อยละ 43.50) และความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในฐานะผู้ใช้บริการ (ร้อยละ 55.80)

ส่วนที่ 2 ศักยภาพขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ ดังแสดงตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและระดับของศักยภาพขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ (n=260)

คำถาม	Mean	S.D.	แปลผล
ด้านผู้นำและนโยบาย			
1. ผู้บริหารท้องถิ่นมีความรู้และเข้าใจในหลักการจัด สวัสดิการที่สอดคล้องกับผู้สูงอายุในชุมชน	3.49	1.00	ปานกลาง
2. อปท มีนโยบายช่วยเหลือสงเคราะห์และดูแลชีวิตความเป็นอยู่แก่ผู้สูงอายุที่ขาดแคลนหรือยากไร้บนพื้นฐานความสามารถของชุมชน	3.26	0.93	ปานกลาง
3. ผู้บริหารท้องถิ่นมีการวางแผนพัฒนาชีวิตของกลุ่มผู้สูงอายุตามศักยภาพของแต่ละคนในชุมชนที่สอดคล้องกับบริบทของพื้นที่	3.49	0.97	ปานกลาง
4. มีการส่งเสริมผู้สูงอายุอย่างเหมาะสมกับอัตลักษณ์ของชุมชน และสามารถตอบสนองความต้องการของผู้สูงอายุ	3.22	1.02	ปานกลาง
ภาพรวมด้านผู้นำและนโยบาย	3.36	0.92	ปานกลาง
ด้านการบริหารจัดการ			
5. วางแผนจัดกิจกรรมโรงเรียนผู้สูงอายุได้ครอบคลุมประเภทต่าง ๆ ของผู้สูงอายุ และหลากหลายทักษะความรู้	3.32	0.96	ปานกลาง
6. สนับสนุนงบประมาณสร้างอาชีพให้แก่ผู้สูงอายุอย่างทั่วถึง ทุกประเภทของผู้สูงอายุในชุมชน	3.24	0.98	ปานกลาง
7. มีความพร้อมด้านสถานที่ วัสดุอุปกรณ์ในการดำเนินโครงการส่งเสริมอาชีพที่สอดคล้องกับผู้สูงอายุที่ต้องการหารายได้และพึ่งตนเอง	3.26	1.05	ปานกลาง
8. สามารถประสานบุคคลภายนอกมารับผิดชอบร่วมทำกิจกรรมพัฒนาศักยภาพผู้สูงอายุแบบบูรณาการ โดยคำนึงถึงความเป็นอยู่ของชุมชน	3.32	0.89	ปานกลาง
9. สามารถรวมกลุ่มผู้สูงอายุที่มีพลังให้มาเป็นจิตอาสาร่วมพัฒนาชุมชนตำบลโดยผ่านการร่วมกิจกรรมของชุมชน	3.49	1.00	ปานกลาง
10. มีความพร้อมด้านข้อมูลศักยภาพ ปัญหา ความต้องการ ของผู้สูงอายุในตำบล เพื่อนำมาวางแผนทำโครงการของชุมชน	3.37	0.94	ปานกลาง
ภาพรวมด้านการบริหารจัดการ	3.33	0.84	ปานกลาง
ด้านความร่วมมือเครือข่ายและชุมชน			
11. สามารถทำข้อตกลง หรือประสานความร่วมมือกับหน่วยงานภายนอกทั้งภาครัฐและ/เอกชนให้มาช่วยจัดกิจกรรมพัฒนาผู้สูงอายุตามความต้องการของชุมชนที่สอดคล้องกับบริบทของพื้นที่	3.31	1.02	ปานกลาง
12. สามารถทำงานเป็นเครือข่ายโดยใช้ภูมิปัญญาท้องถิ่นที่มีของกลุ่มชมรมผู้สูงอายุ/กลุ่มโรงเรียน/และองค์กรต่าง ๆ เพื่อจัดกิจกรรมพัฒนาผู้สูงอายุ	3.29	0.96	ปานกลาง
13. มีความพร้อมในการสนับสนุนการรวมกลุ่มอาชีพของชมรมผู้สูงอายุ/โรงเรียนผู้สูงอายุในการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ชุมชนของกลุ่มผู้สูงอายุโดนเน้นการใช้ภูปัญญาท้องถิ่น	3.27	0.99	ปานกลาง
ภาพรวมด้านความร่วมมือเครือข่ายและชุมชน	3.30	0.98	ปานกลาง

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและระดับของศักยภาพขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ (n=260) (ต่อ)

คำถาม	Mean	S.D.	แปลผล
ด้านการเมืองการปกครองและจัดการความขัดแย้ง			
14. สามารถหาวิธีช่วยเหลือและแก้ปัญหาผู้สูงอายุแต่ละรายอย่างเหมาะสมตรงกับสภาพความเป็นจริง	3.28	0.96	ปานกลาง
15. อปท มีความสามารถตอบสนองความต้องการที่หลากหลายของกลุ่มต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับผู้สูงอายุ เช่น สมาชิก ครอบครัวของผู้สูงอายุ	3.24	0.98	ปานกลาง
ภาพรวมด้านการเมืองการปกครองและจัดการความขัดแย้ง	3.26	0.92	ปานกลาง
ศักยภาพขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุโดยภาพรวมทุกด้าน	**3.35**	**0.82**	**ปานกลาง**

จากตารางที่ 1 ศักยภาพขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการพัฒนาคุณภาพชีวิตของ ผู้สูงอายุ ภาพรวมทุกด้านมีค่าเฉลี่ยระดับ ปานกลาง ($\overline{X}$ = 3.35, S.D. = 0.82) แต่เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านผู้นำและนโยบาย ($\overline{X}$ = 3.36, S.D. = 0.92) มีค่าเฉลี่ยมากสุด รองลงมาคือด้านการบริหารจัดการ ($\overline{X}$ = 3.33, S.D. = 0.84) และด้านความร่วมมือเครือข่ายและชุมชน ($\overline{X}$ = 3.30, S.D. = 0.98) ตามลำดับ

ส่วนที่ 3 แนวทางการพัฒนาศักยภาพขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ ดังแสดงตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและระดับของแนวทางการพัฒนาศักยภาพขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ (n=260)

คำถาม	Mean	S.D.	แปลผล
1. อปท ควรส่งเสริมความสัมพันธ์ของคนในชุมชนมาสร้างกลไกการดูแลผู้สูงอายุ เช่น การเอาใจใส่ ดูแลพาไปพบแพทย์ยามจำเป็น และแวะมาเยี่ยมเยียน	3.92	0.92	มาก
2. ควรสร้างเครือข่ายส่งเสริมสุขภาวะผู้สูงอายุ เพื่อรองรับงานในชุมชน เช่น การติดต่อพูดคุย และการไปเยี่ยมบ้าน รวมถึงกระตุ้นแสดงความคิดเห็นในเวทีชุมชนต่าง ๆ	3.91	0.94	มาก
3. ควรกระตุ้นให้คนที่มีจิตอาสาในชุมชนมาร่วมเป็น สมาชิกกลุ่มองค์กร ชมรมและเครือข่ายด้านอาสาสมัครผู้สูงอายุในชุมชน เพื่อสนับสนุนการทำงานดูแลผู้สูงอายุให้ทั่วถึง	3.81	0.96	มาก
4. ควรพัฒนาสุขภาวะผู้สูงอายุในรูปแบบสวัสดิการสังคม และบริการสังคมของรัฐและเอกชนให้หลากหลาย เช่น ผลักดันให้น่ากองทุนหลักประกันสุขภาพระดับท้องถิ่นมาสนับสนุนกิจกรรมพัฒนาคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุ	3.71	0.94	มาก
5. อปท ควรปลูกฝังเจ้าหน้าที่ให้มีความสัมพันธ์ที่ดีกับผู้สูงอายุโดยปฏิบัติหน้าที่ออกเยี่ยมบ้าน ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ	3.83	0.93	มาก
6. อปท ควรใช้งานเทศกาลประเพณีมาสร้างกิจกรรมที่ส่งเสริมสุขภาวะผู้สูงอายุเช่น พบปะ เยี่ยมเยียน และสังสรรค์ในช่วงเทศกาลประเพณีต่าง ๆ	3.81	0.97	มาก
7. ควรส่งส่งเสริมการนำความรู้ ประสบการณ์และภูมิปัญญาของผู้สูงอายุมาถ่ายทอดเผยแพร่ สืบสาน วัฒนธรรม เพื่อประโยชน์สร้างสรรค์ชุมชนสังคม	3.80	0.95	มาก
8. ควรส่งเสริมการทำงานสร้างรายได้กับผู้สูงอายุโดยใช้ พื้นฐานภูมิปัญญาท้องถิ่น	3.83	0.91	มาก

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและระดับของแนวทางการพัฒนาศักยภาพขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ (n=260) (ต่อ)

คำถาม	Mean	S.D.	แปลผล
9. ควรส่งเสริมการรวมกลุ่มของผู้สูงอายุที่มีความพร้อม และมีพลังให้มาร่วมทำกิจกรรมบำเพ็ญประโยชน์และกิจกรรมเพื่อสังคม	3.75	0.95	มาก
10. อปท จะต้องค้นหาผู้สูงอายุที่เป็นผู้รู้และมีความเชี่ยวชาญในภูมิปัญญาด้านต่าง ๆ เพื่อมาวางแผนส่งเสริมคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุให้หลากหลาย	3.84	0.91	มาก
11. ต้องสนับสนุนให้ชมรมผู้สูงอายุ และชุมชนเป็นตัวหลัก ในการดูแลผู้สูงอายุบนพื้นฐานความต้องการของผู้สูงอายุ	3.91	0.97	มาก
12. องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นควรตั้งงบประมาณ เพิ่มเติมเพื่อสนับสนุนการดำเนินงานเพื่อผู้สูงอายุให้มากขึ้น	3.80	0.78	มาก
13. ควรสนับสนุนให้สมาชิกในครอบครัวของผู้สูงอายุได้ น่าภูมิปัญญาของผู้สูงอายุมาสร้างผลิตภัณฑ์ชุมชน โดยใช้นวัตกรรมเพื่อเพิ่มมูลค่าต่อยอด เพื่อสร้างคุณค่าให้กับสังคมท้องถิ่น	3.86	0.98	มาก
14. ควรตั้งกรอบเจ้าหน้าที่หรือบุคลากรนักบริบาลชุมชนสำหรับผู้สูงอายุขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น	3.78	0.92	มาก
15. ควรส่งเสริมแนวคิดวิสาหกิจเพื่อช่วยเหลือสังคม โดยรวมกลุ่มอาชีพของผู้สูงอายุตามความเหมาะสมของพื้นที่	3.75	1.05	มาก
ภาพรวมแนวทางการพัฒนาศักยภาพขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ	**3.89**	**0.97**	**มาก**

จากตารางที่ 2 แนวทางการพัฒนาศักยภาพขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการพัฒนา คุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุ โดยภาพรวม มีค่าเฉลี่ยระดับมาก ($\overline{X}$ =3.89, S.D. =0.97) โดยเฉพาะประเด็นย่อยคือองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นควรส่งเสริมความสัมพันธ์ของคนในชุมชนมาสร้างกลไกการดูแลผู้สูงอายุ เช่น การเอาใจใส่ ดูแลพาไปพบแพทย์ยามจำเป็น และแวะมาเยี่ยมเยียน ($\overline{X}$ =3.92, S.D. = 0.92) มีค่าเฉลี่ยมากสุด รองลงมาคือ ควรสร้างเครือข่ายส่งเสริมสุขภาวะผู้สูงอายุ เพื่อรองรับงานในชุมชน เช่น การติดต่อพูดคุย และการไปเยี่ยมบ้าน รวมถึงกระตุ้นแสดงความคิดเห็นในเวทีชุมชนต่าง ๆ ($\overline{X}$ =3.91, S.D. = 0.94) และ ต้องสนับสนุนให้ชมรมผู้สูงอายุ และชุมชนเป็นตัวหลัก ในการดูแลผู้สูงอายุบนพื้นฐานความต้องการของผู้สูงอายุ ($\overline{X}$ =3.91, S.D. =0.97) ตามลำดับ

5. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

1. ศักยภาพขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ

ด้านผู้นำและนโยบายในประเด็นย่อยว่าผู้บริหารท้องถิ่นมีความรู้และเข้าใจในหลักการจัดสวัสดิการผู้สูงอายุในชุมชน สอดคล้องกับงานวิจัยของ วัชราภรณ์ [14] ที่อธิบายว่าภาวะผู้นำเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จของการนำนโยบายการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นไปปฏิบัติ เพราะว่าผู้นำท้องถิ่นอยู่ในชุมชนจึงส่งเสริมความสัมพันธ์ของคนในชุมชนมาสร้างกลไกการดูแลผู้สูงอายุ โดยมองว่าการพึ่งพาช่วยเหลือของคน ในชุมชนมีพื้นฐานจากระบบความคิด และพื้นฐานการใช้ชีวิตที่ผูกพันกันในชุมชนและอปท ควรดำเนินนโยบายช่วยเหลือสงเคราะห์และดูแลชีวิตความเป็นอยู่แก่ผู้สูงอายุที่ขาดแคลนหรือยากไร้บนพื้นฐานความสามารถของชุมชน

ด้านการบริหารจัดการ ในประเด็นข้อย่อยคือวางแผนจัดกิจกรรมโรงเรียนผู้สูงอายุได้ครอบคลุมประเภทต่าง ๆ ของผู้สูงอายุ และหลากหลายทักษะความรู้ ซึ่งก็สอดคล้องกับงานวิจัยของสุดใจ [15], มิ่งขวัญ และกัมปนาท [16] ที่กล่าวว่าองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นจะต้องเข้ามามีบทบาทในการการพัฒนาคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุทั้งในด้านสุขภาพ ด้านจิตใจ ด้านความสัมพันธ์ทางสังคม และด้านสภาพแวดล้อมมากขึ้นเพื่อให้ผู้สูงอายุมีคุณภาพชีวิตที่ดีสามารถดูแลตัวเองได้และดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างมีคุณค่าและมีความสุขในสังคม ในโรงเรียนผู้สูงอายุควรจัดกิจกรรมที่เหมาะสมกับความต้องการ

ของผู้สูงอายุทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจในการดำเนินชีวิต ได้แก่ การจัดการตนเองด้านสุขภาพกายและการดำรงชีวิตที่เหมาะสมของผู้สูงอายุ การรับประทานอาหารที่ถูกต้องการดูแลแก้ไขและป้องกันปัญหาด้านสุขภาพด้วยตนเองให้มีสุขภาพที่แข็งแรงตามวัย การระมัดระวังการหกล้มซึ่งเป็นอันตรายต่อการดำรงชีวิตมีการพบปะแลกเปลี่ยนเรียนรู้ประสบการณ์ซึ่งกันและกันเป็นการป้องกันภาวะซึมเศร้ามิให้เกิดขึ้น

ด้านความร่วมมือเครือข่ายและชุมชนในประเด็นข้อย่อยคือผลักดันคนในชุมชนมาร่วมเป็นอาสาสมัครทางานเป็นเครือข่ายในการดูแลสร้างเสริมสุขภาพแก่ผู้สูงอายุที่ สอดคล้องกับกัญญาณัฐ [17] กล่าวว่า การสร้างเครือข่ายเกื้อหนุนผู้สูงอายุในชุมชนมีส่วนช่วยให้ผู้สูงอายุได้รับความช่วยเหลือ เป็นช่องทางในการสร้างสัมพันธภาพในสังคม ผู้สูงอายุจะได้รับบริการข้อมูลข่าวสาร แลกเปลี่ยนความคิดเห็นเกี่ยวกับการดูแลสุขภาพในรูปแบบของการรวมกลุ่มกัน จากความร่วมมือของครอบครัว ญาติ เพื่อน เพื่อนบ้าน ชุมชนและนักวิชาชีพทางสุขภาพเพื่อคุณภาพชีวิตที่ของผู้สูงอายุในชุมชน ในทำนองเดียวกับงานวิจัยของ ณัทกวี และคณะ [18] พบว่า ควรมีกลุ่มอาสาสมัครออกเยี่ยมที่บ้านพร้อมรับฟังปัญหาและแนะนำแนวทางการดูแล พร้อมทั้ง ควรจัดกิจกรรมส่งเสริมให้คนในชุมชนมีส่วนร่วมดูแล และให้เกิดความสัมพันธ์กับผู้สูงอายุและควรจัดสวัสดิการแจกสิ่งของที่จำเป็นแก่ผู้สูงอายุ รวมทั้ง ในงานวิจัยของพรรณธิภา และคณะ [19] มีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการส่งเสริมการทำงานอาสาสมัครในผู้สูงอายุและการบริหารจัดการงานอาสาสมัครสาหรับผู้สูงอายุอย่างมีประสิทธิภาพ

2. แนวทางการพัฒนาศักยภาพขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ

ประเด็นต้องสนับสนุนให้ชมรมผู้สูงอายุ และชุมชนเป็นตัวหลักในการดูแลผู้สูงอายุ บนพื้นฐานความต้องการของผู้สูงอายุ เหตุผลที่เป็นเช่นนี้ เพราะว่ากลุ่มคนในชุมชนจะรู้จักและเข้าใจสภาพปัญหาความต้องการและบริบทแวดล้อมของผู้สูงอายุในชุมชนของตนเอง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของพัชราภรณ์ [20] ที่กล่าวว่ารัฐควรมีการเตรียมความพร้อมเข้าสู่วัยสูงอายุที่มีคุณภาพชีวิต ควรเน้นการเตรียมในทุกมิติ ทั้งด้าน สุขภาวะ เศรษฐานะ ความเป็นอยู่การได้รับการยอมรับ/เคารพ การมีส่วนร่วมในสังคม ซึ่งการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุควรเริ่มต้นจากชมรมผู้สูงอายุที่มีการจัดตั้งอยู่แล้วในพื้นที่มาเป็นฐานในการพัฒนา รวมทั้งรัฐควรกระตุ้น ส่งเสริมให้ชุมชน/สังคมเห็นความสำคัญของการนำภูมิปัญญาผู้สูงอายุมาใช้ในการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ และรัฐควรสนับสนุนหรือกำหนดเป็นนโยบายให้องค์กรปกครองท้องถิ่น ให้มีการร่วมมือประสานกับชมรมผู้สูงอายุในพื้นที่เพื่อการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ

องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นควรตั้งงบประมาณเพิ่มเติมเพื่อสนับสนุนการให้ เงินเบี้ยยังชีพแก่ผู้สูงอายุให้มากขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าสภาพเศรษฐกิจและค่าครองชีพสูงขึ้น จึงเป็นผลกระทบด้านภาระค่าใช้จ่ายของเงินเบี้ยยังชีพแก่ผู้สูงอายุให้มากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ ภานุวัฒน์ และคณะ [21] ที่กล่าวว่าหน่วยงานรัฐควรเน้นถึงการแก้ไขปัญหาการจัดสรรและการใช้งบประมาณให้เพียงพอ กำหนดนโยบายในการจัดสวัสดิการแก้ผู้สูงอายุในทิศทางที่ชัดเจน ให้เกิดความหลากหลายและเหมาะสมแก่ผู้สูงอายุ และนิภาพรรณ [22] ให้ความเห็นว่าควรปรับปรุงการนำนโยบายไปปฏิบัติหลายด้านได้แก่งานด้านงบประมาณ การบริหารบุคลากร การจัดทำฐานข้อมูลอย่างบูรณาการ และการจัดให้มีเครือข่ายความร่วมมือที่มีประสิทธิภาพ รวมทั้ง งานวิจัยของพรรณเพ็ญแข [23] ให้แนวทางการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุคือ ตั้งงบประมาณไว้รองรับผู้สูงอายุในอนาคต และงานวิจัยของวิไลลักษณ์ และอัจฉริยา [24] ให้ความเห็นว่าปัจจัยและเงื่อนไขหลักในการส่งเสริมการดำเนินงานก็คืองบประมาณสำหรับแนวทางการพัฒนาศักยภาพ ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น คือ (1) สร้างความรู้ความเข้าใจและมอบหมายภาระงานเกี่ยวกับการดูแลผู้สูงอายุด้านการมีงานทำและการสร้างรายได้ให้แก่บุคลากรอย่างชัดเจนและควรมีการจัดทำฐานข้อมูลศักยภาพผู้สูงอายุให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง (2) ประสานความร่วมมือกับภาคีเครือข่ายทุกภาคส่วนโดยบูรณาการด้านงบประมาณ บุคลากร หรือการทำบันทึกข้อตกลง คู่ความร่วมมือกับสถาบันการศึกษาเพื่อพัฒนาศักยภาพขององค์กรให้บรรลุผล และองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นควรส่งเสริมแนวคิดวิสาหกิจเพื่อช่วยเหลือสังคมโดยรวมกลุ่มอาชีพของผู้สูงอายุตามความเหมาะสมของพื้นที่ทั้งนี้เพราะผู้สูงอายุในชุมชนยังมีพลังและมีองค์ความรู้ดั้งเดิมที่สามารถนำมาประยุกต์ต่อยอดให้สามารถเพิ่มมูลค่าสร้างความมั่นคงให้ตนเองและกลุ่ม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสมภพ [25] ที่เสนอว่าควรสนับสนุน ในด้านอาชีพการหารายได้อย่างเหมาะสมตามความถนัดของผู้สูงอายุ และให้มีส่วนร่วมปฏิบัติทุกขั้นตอน พร้อมทั้งสนับสนุนงบประมาณเพื่อจัดอบรมเพิ่มความรู้และทักษะด้านอาชีพและ มีการบริการจัดการนำผลิตภัณฑ์กลุ่มออกจำหน่าย และจัดตั้งกองทุนและสวัสดิการกลุ่ม รวมทั้ง สอดคล้องกับงานวิจัยของอธิวัฒน์ และอลงกรณ์ [26] ที่มีข้อเสนอให้การสนับสนุนและส่งเสริมกิจกรรมสำหรับการสร้างอาชีพรายได้เพื่อเพิ่มรายได้ให้กับผู้สูงอายุในชุมชน และการส่งเสริมด้านการสร้างทักษะความรู้เกี่ยวกับอาชีพให้กับผู้สูงอายุในชุมชน เพื่อให้เกิดการนำองค์ความรู้และภูมิปัญญาในการสร้างอาชีพมาดำเนินการทำกิจกรรมร่วมกันระหว่างผู้สูงอายุและคนในชุมชน การสนับสนุนการเสริมสร้างกิจกรรมร่วมกันในชุมชน

และท้องถิ่น รวมทั้งกิจกรรมและแผนงานระหว่างเครือข่ายผู้สูงอายุทั้งในระดับชุมชนและพื้นที่ใกล้เคียง สนับสนุนกิจกรรมการถ่ายทอดองค์ความรู้และภูมิปัญญาท้องถิ่นดั้งเดิมที่ได้สืบทอดมาจากบรรพบุรุษให้กับประชาชนคนรุ่นใหม่และที่สำคัญเพื่อการพัฒนาคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุทั้งในด้านสุขภาพ ด้านจิตใจ ด้านความสัมพันธ์ทางสังคม และด้านสภาพแวดล้อมมากขึ้นเพื่อให้ผู้สูงอายุมีคุณภาพชีวิตที่ดีสามารถดูแลตัวเองได้และดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างมีคุณค่าและมีความสุขในสังคม

6. ข้อเสนอแนะ

1) การสร้างความเข้มแข็งให้ผู้สูงอายุพัฒนาตนเองและสามารถจัดการตนเองได้เป็นพื้นฐานสำคัญในการพัฒนาโรงเรียนผู้สูงอายุ หากในโรงเรียนมีเฉพาะผู้นำที่เข้มแข็ง แต่ไม่มีผู้สูงอายุหรือหน่วยงานในท้องที่ให้การสนับสนุนก็ไม่สามารถทำให้โรงเรียนผู้สูงอายุประสบความสำเร็จ

2) ควรส่งเสริมให้มีหลักประกันชีวิตของผู้สูงอายุอย่างเหมาะสมกับอัตลักษณ์ของชุมชนและตอบสนองความต้องการของผู้สูงอายุ

3) สนับสนุนงบประมาณสร้างอาชีพให้แก่ผู้สูงอายุครอบคลุมทุกประเภทของผู้สูงอายุในแต่ละชุมชน

4) ทำข้อตกลงหรือประสานความร่วมมือกับหน่วยงานภายนอกทั้งภาครัฐและเอกชนให้มาช่วยจัดกิจกรรมพัฒนาผู้สูงอายุตามความต้องการของชุมชน

5) สร้างความพร้อมในการสนับสนุนการรวมกลุ่มอาชีพของชมรมผู้สูงอายุ/โรงเรียนผู้สูงอายุ ในการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ชุมชนของกลุ่มผู้สูงอายุโดยเน้นการใช้ภูมิปัญญาท้องถิ่น

6) หาวิธีช่วยเหลือและแก้ปัญหาผู้สูงอายุแต่ละรายอย่างเหมาะสมตรงกับสภาพความเป็นจริงในด้านสุขภาพ ด้านเศรษฐกิจ ด้านสังคม ด้านสวัสดิการการช่วยเหลือ

7) ต้องสนับสนุนให้ชมรมผู้สูงอายุ และชุมชนเป็นตัวหลักในการดูแลผู้สูงอายุโดยเฉพาะเรื่องการดูแลสุขภาพ

8) ควรส่งเสริมแนวคิดวิสาหกิจเพื่อช่วยเหลือสังคม โดยรวมกลุ่มอาชีพของผู้สูงอายุตามความเหมาะสมของพื้นที่

7. กิตติกรรมประกาศ

ทีมผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้ทรงคุณวุฒิ ในการตรวจสอบเครื่องมือวิจัย และขอขอบคุณกลุ่มตัวอย่างที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูลวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. ยุทธศาสตร์ชาติ พ.ศ. 2561-2580 (ฉบับย่อ). สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ.

[2] ปราโมทย์ ประสาทกุล, จงจิตต์ ฤทธิรงค์, ศุทธิดา ชวนวัน, ณปภัช สัจนวกุล, สุภรต์ จรัสสิทธิ์, และกาญจนา เทียนลาย. *สถานการณ์ผู้สูงอายุไทย พ.ศ. 2564.* สืบค้น 6 มกราคม 2565, จาก https://ipsr.mahidol.ac.th/post_research/situation-of-the-thai-older-persons-2021/

[3] กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. (2563). คู่มือแนวทางการขับเคลื่อนแผนปฏิบัติการการส่งเสริมสุขภาพผู้สูงอายุ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข พ.ศ. 2563-2565. กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.

[4] กรมกิจการผู้สูงอายุ กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์. (2562). สังคมผู้สูงอายุ. กระทรวงพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์.

[5] กรรณิการ์ ไกรกิจราษฎร์, กิตติพล บัวทะลา, วันชัย บุษบา และโชติ บดีรัฐ. (2566). องค์กรปกครองท้องถิ่นไทยกับการบริหารจัดการบริการสาธารณะ. *Journal of Modern Learning Development, 8*(1), 403-412.

[6] ณัทกวี ศิริรัตน์, จักร ศิริรัตน์, พิมพ์รดา ธรรมีภักดี, วิภาดา ผ่องจิต, โชติ บดีรัตน์, และวิภวานี เผือกบัวขาว. (2565). องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น: การบริการสาธารณะ. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี, 12*(1), 131-142.

[7] Singh V. (2017). Social support and quality of life among elderly people. *International Journal for Innovative Research in Multidisciplinary Field, 3*(2), 1-7.

[8] กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย. (2542). พระราชบัญญัติกำหนดแผนและขั้นตอนการกระจายอำนาจให้แก่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น พ.ศ. 2542. กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย.

[9] ปิยวัฒน์ เกตุวงศา, ชุติมา อยู่สมบูรณ์, และณรากร วงษ์สิงห์. (2561). *กลไกของชุมชนและองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการดูแลครัวเรือนเปราะบาง* [รายงานการวิจัย]. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยประชากรและสังคม มหาวิทยาลัยมหิดล.

[10] Yamane, T. (1973). Statistics: An Introductory Analysis (3rd ed.). New York: Harper and Row.

[11] บุญชม ศรีสะอาด. (2560). การวิจัยเบื้องต้น (พิมพ์ครั้งที่ 10). สุวีริยาสาส์น,

[12] สุปรีญา นุ่นเกลี้ยง, และศิริลักษณ์ คัมภิรานนท์. (2563). ศักยภาพขององค์กรท้องถิ่นในการพัฒนาคุณภาพชีวิตของกลุ่มผู้สูงอายุบนพื้นฐานทุนทางวัฒนธรรมในพื้นที่จังหวัดชายแดนใต้: กรณีศึกษาเทศบาลตำบลยุโป จังหวัดยะลา. *วารสารการเมืองการปกครอง, 11*(3), 198-213.

[13] Cronbach, L.J. (1951). Coefficient Alpha and the internal structure of tests. *Psychometrical, 16*(3), 297-334.

[14] วัชราภรณ์ จันทนุกูล. (2560). บทบาทองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นต่อการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุ อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี. *วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี, 8*(1), 447-59.

[15] สุดใจ แทนหา. (2567). การพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุโดยใช้โรงเรียนผู้สูงอายุตำบลขุนฝางอำเภอเมือง จังหวัดอุตรดิตถ์. *วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์, 11*(1), 45-57.

[16] มิ่งขวัญ คงเจริญ, และกัมปนาท บริบูรณ์. (2564). การพัฒนารูปแบบโรงเรียนผู้สูงอายุโดยใช้ชุมชนเป็นฐาน. *วารสารการศึกษาศาสตร์, 22*(1), 135-149.

[17] กัญญาณัฐ ไฝคำ. (2561). การพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุในประเทศไทย. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี, 7*(2), 19-26.

[18] ณัทกวี ศิริรัตน์, โชติ บดีรัตน์, และศรชัย ท้าวมิตร. (2566). รูปแบบการพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นจังหวัดเพชรบุรี. *วารสารสังคมศาสตร์และวัฒนธรรม, 7*(1), 325-343.

[19] พรรณธิภา เอี่ยมสิริปรีดา, อัจศรา ประเสริฐสิน, และนริสรา พึ่งโพธิ์สภ. (2560). การสร้างเสริมพลังในผู้สูงอายุผ่านการทำงานอาสาสมัคร. *วารสารวิชาการฟาร์อิสเทอร์,. 11*(2), 21-35.

[20] พัชราภรณ์ พัฒนะ. (2562). คุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุในศูนย์การเรียนรู้การดูแลผู้สูงอายุ เขตสุขภาพที่ 4. *พุทธชินราชเวชสาร, 36*(1), 21-33.

[21] ภานุวัฒน์ เด็กหลี, สุรชัย มูลสาร, อดิศักดิ์ พรมเมศ, และภาสกร ดอกจันทร์. (2566). องค์กรปกครองท้องถิ่นไทยกับการบริหารจัดบริการสาธารณะ. *วารสารวิชาการรัตนบุศย์, 5*(1), 681-693.

[22] นิภาพรรณ เจนสันติกุล. (2564). การบริหารงานด้านสวัสดิการผู้สูงอายุขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น:บทสำรวจวรรณกรรม. *วารสารสหศาสตร์, 21*(2), 254-266.

[23] พรรณเพ็ญแข โฉมอ่อน. (2564). คุณภาพการให้บริการสาธารณะของเทศบาลตำบลไทรงาม อำเภอไทรงาม จังหวัดกำแพงเพชร. *วารสารการวิจัยการบริหารการพัฒนา, 11*(3), 566-580.

[24] วิไลลักษณ์ พรมเสน, และอัจฉริยา ครุธาโรจน์. (2560). บทบาทขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในจังหวัดลำปางต่อการส่งเสริมการมีงานทำและการสร้างรายได้แก่ผู้สูงอายุ. *วารสารการบริหารท้องถิ่น, 10*(2), 70-91.

[25] สมภพ สุวรรณรัฐ. (2563). รูปแบบการส่งเสริมอาชีพเพื่อพัฒนาคุณภาพชีวิตผู้สูงอายุในเขตภาคกลาง. *วารสารวิชาการสถาบันการอาชีวศึกษาภาคเหนือ, 3*(4), 311–320.

[26] อธิวัฒน์ อุดมก้านตง, และอลงกรณ์ อรรคแสง. (2561). ความต้องการบริการสาธารณะของประชาชนที่มีต่อองค์การบริหารส่วนตำบล: ข้อเสนอการกระจายอำนาจจากล่างขึ้นบน. *วารสารการเมืองการปกครอง, 8*(3), 79-97.

การประเมินเชิงพื้นที่ของคุณภาพน้ำประปาภายในอาคาร: กรณีศึกษาการปนเปื้อนของเหล็กและแมงกานีส คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

Spatial Evaluation of Iron and Manganese Contamination in Building Tap Water: A Case Study at the Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

กิติยศ ตั้งสัจจวงศ์[1*] วรนุช ดีละมัน[1] คณาวุฒิ อินทร์แก้ว[1] และ ชวนี สุภิรัตน์[2]

[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
[2]สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
*E-mail: kitiyot.t@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณเหล็กและแมงกานีสในน้ำประปาภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ และเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง โดยเก็บตัวอย่างน้ำประปาจากก๊อกน้ำในห้องน้ำจากอาคารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จำนวน 3 ครั้ง ทั้งหมด 48 ตัวอย่าง ในเดือนมิถุนายน เดือนสิงหาคม และเดือนตุลาคม พ.ศ. 2568 ผลการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณเหล็กในน้ำประปาภายในอาคารที่เก็บตัวอย่างน้ำจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.07 – 0.23 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนปริมาณแมงกานีสในน้ำประปา ส่วนใหญ่มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ไม่เกิน 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร ยกเว้นบางตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างน้ำ ได้แก่ ห้องน้ำชาย/หญิง ชั้น 3 อาคารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่มีค่าเฉลี่ย 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการศึกษา แสดงให้เห็นว่า สาเหตุของค่าปริมาณแมงกานีสที่สูงกว่ามาตรฐาน อาจเกิดจากสภาพท่อประปา ความสะอาดของถังพักน้ำ หรือการสะสมของตะกอนแมงกานีสในระบบส่งน้ำเฉพาะจุด หากมีการติดตั้งระบบกรองน้ำ เช่น การเติมอากาศ การใช้สารเคมีเร่งการตกตะกอน และการบำรุงรักษาระบบท่อและถังพักน้ำอย่างสม่ำเสมอ จะเป็นการช่วยรักษาคุณภาพน้ำประปาให้ปลอดภัยต่อการใช้งานต่อไป

คำสำคัญ: เหล็ก แมงกานีส ตะกรัน น้ำประปา การจัดการคุณภาพน้ำ

Abstract

This study aimed to investigate the concentrations of iron and manganese in the tap water within Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, North Bangkok Campus and to compare the results with the water quality standards established by the Metropolitan Waterworks Authority (MWA). Water samples were collected from the Faculty of Science and Technology buildings on three occasions a total of 48 samples. such as June, August, and October 2025. The analysis revealed that the average iron concentration in the sampled tap water ranged from 0.07 to 0.23 mg/l, which remains within the standard limit of 0.3 mg/l. Regarding manganese content, the majority of samples showed an average concentration of 0.1 mg/l, complying with the standard limit of no more than 0.08 mg/l. However, exceptions were observed at specific sampling points, namely the male/female restrooms on the 3rd floor of the Faculty of Science and Technology building, with an average of 0.2 mg/l, The findings suggest that manganese levels exceeding the standard may be attributed to the condition of the water pipes, the cleanliness of water storage tanks, or the accumulation of manganese sediment in specific sections of the distribution system.

Implementing water treatment measures, such as aeration, chemical coagulation, and regular maintenance of pipes and storage tanks, would help ensure that the water quality remains safe for future usage.

Keywords: iron, manganese, scale, water supply, water quality management

1. บทนำ

น้ำเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำประปาซึ่งเป็นแหล่งน้ำหลักสำหรับการอุปโภคบริโภคในเขตเมืองและชุมชน การมีน้ำประปาที่สะอาดและปลอดภัยจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อสุขภาพและคุณภาพชีวิตของประชาชน อย่างไรก็ตาม ปัญหาคุณภาพน้ำประปายังคงเป็นประเด็นที่ต้องให้ความสำคัญเนื่องจากเป็นปัญหาที่ส่งผลต่อสุขภาพโดยตรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปนเปื้อนของธาตุโลหะ เช่น เหล็กและแมงกานีส

เหล็กและแมงกานีส เป็นธาตุที่พบได้ตามธรรมชาติในแหล่งน้ำใต้ดินและน้ำผิวดิน ซึ่งเป็นแหล่งน้ำดิบสำหรับการผลิตน้ำประปา แม้ว่าธาตุทั้งสองจะมีความจำเป็นต่อร่างกายมนุษย์แต่ต้องมีอยู่ในปริมาณที่เหมาะสม แต่หากมีปริมาณมากเกินไปอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาว เช่น ปัญหาทางระบบประสาท หรือโรคทางเดินหายใจ โรคนิ่ว [1] นอกจากนี้การปนเปื้อนของเหล็กและแมงกานีสในน้ำประปามักทำให้น้ำมีสี กลิ่น และรสชาติที่ไม่พึงประสงค์ ซึ่งการจะทำให้น้ำประปาดื่มได้อาจจะเกิดขึ้นได้ยาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ เป็นพื้นที่เขตการศึกษาและที่ตั้งของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งเป็นศูนย์ที่มีจำนวนนักศึกษา อาจารย์ และบุคลากรจำนวนมาก การจัดการน้ำประปาที่มีคุณภาพจึงเป็นความท้าทายสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้งที่ระดับน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติลดลง ทำให้มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของเหล็กและแมงกานีสในน้ำประปาเพิ่มขึ้น การศึกษาปริมาณเหล็กและแมงกานีสในน้ำประปาของพื้นที่นี้จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการประเมินคุณภาพน้ำและเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับเป็นแนวทางการวางแผนปรับปรุงและแก้ไขน้ำประปาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

นอกจากนี้ การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณเหล็กและแมงกานีสในน้ำประปา เช่น แหล่งน้ำดิบ กระบวนการผลิตและระบบจ่ายน้ำ จะช่วยให้เข้าใจถึงสาเหตุของปัญหาและนำไปสู่การกำหนดมาตรการแก้ไขที่เหมาะสม รวมถึงผลกระทบที่เกิดจากเหล็กและแมงกานีสที่มีปริมาณมากเกินไปในน้ำประปาจะส่งผลต่อระบบท่อส่งน้ำ และสุขภัณฑ์อีกด้วย เช่น การเกิดสนิม การอุดตันของท่อส่งน้ำในอาคาร หรือการเกิดเป็นคราบสกปรกที่สุขภัณฑ์เครื่องใช้ต่าง ๆ ทั้งนี้ ผลการวิจัยจะเป็นประโยชน์ไม่เพียงแต่ต่อหน่วยงานในพื้นที่ที่ทำการวิจัย หรือหน่วยงานที่รับผิดชอบในการผลิตและจ่ายน้ำประปาเท่านั้น แต่ยังรวมถึงประชาชนผู้ใช้น้ำที่จะได้รับทราบข้อมูลคุณภาพน้ำที่ตนเองอุปโภคบริโภค อันจะนำไปสู่การตระหนักถึงความสำคัญของการมีส่วนร่วมในการดูแลรักษาคุณภาพน้ำประปาในชุมชน และมีส่วนช่วยในการพัฒนานโยบายและแนวทางการจัดการน้ำในชุมชนต่อไป

ด้วยเหตุนี้ การศึกษาวิจัยเรื่อง “การศึกษาปริมาณเหล็กและแมงกานีสในน้ำประปาภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ” จึงเป็นการศึกษาข้อมูลพื้นฐานให้เข้าใจถึงปัญหาของการปนเปื้อนของเหล็กและแมงกานีสในน้ำ และมีความสำคัญ จำเป็นอย่างยิ่งในการประเมินคุณภาพน้ำที่ใช้ในชีวิตประจำวัน และเพื่อให้แน่ใจว่าน้ำนั้นมีความปลอดภัยต่อการบริโภคและการใช้งาน อีกทั้งยังเป็นการวางแผนการพัฒนาคุณภาพน้ำประปา และยกระดับคุณภาพชีวิตของนักศึกษา อาจารย์ และบุคลากรในพื้นที่ต่อไป

2.วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้มีการดำเนินการวิจัยดังนี้

1) ศึกษาทฤษฎี และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการปนเปื้อนของเหล็กและแมงกานีสในน้ำประปาสาเหตุการปนเปื้อนที่จะส่งผลกระทบต่อท่อสุขภัณฑ์ในอาคาร และวางแผนเก็บตัวอย่างน้ำ พร้อมทั้งออกแบบการทดลอง

2) สำรวจจุดเก็บน้ำเบื้องต้นในการทำวิจัย คือ อาคารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ภาพที่ 1 ตำแหน่งอาคารที่เก็บตัวอย่างน้ำในการศึกษาวิจัย

3) กำหนดจุดเก็บน้ำภายในอาคารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ผู้วิจัยเก็บตัวอย่างน้ำจากก๊อกน้ำเป็นหลัก และทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากตำแหน่งที่กำหนดเดือนละ 1 ครั้ง ได้แก่ เดือนมิถุนายน เดือนสิงหาคมและเดือนตุลาคม พ.ศ. 2568

4) ตรวจสอบการปนเปื้อนเหล็กและแมงกานีสของตัวอย่างน้ำที่เก็บมาจากสถานที่ต่าง ๆ ที่กำหนด ในห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ด้วยเครื่องมือในการตรวจวัดค่าเหล็กและแมงกานีส ดังแสดงในภาพที่ 2

Source : https://www.comcube.co.th/product

(ก) เครื่องมือตรวจวัดค่าเหล็กและแมงกานีส

(ข) การตรวจวัดค่าเหล็กและแมงกานีส

ภาพที่ 2 เครื่องมือที่ใช้ และการตรวจวัดค่าเหล็กและแมงกานีสในห้องปฏิบัติการ

5) นำข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดปริมาณเหล็กและแมงกานีสทั้ง 3 ครั้ง ไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง (ตามข้อแนะนำขององค์การอนามัยโลก ปี 2011) [2, 3]

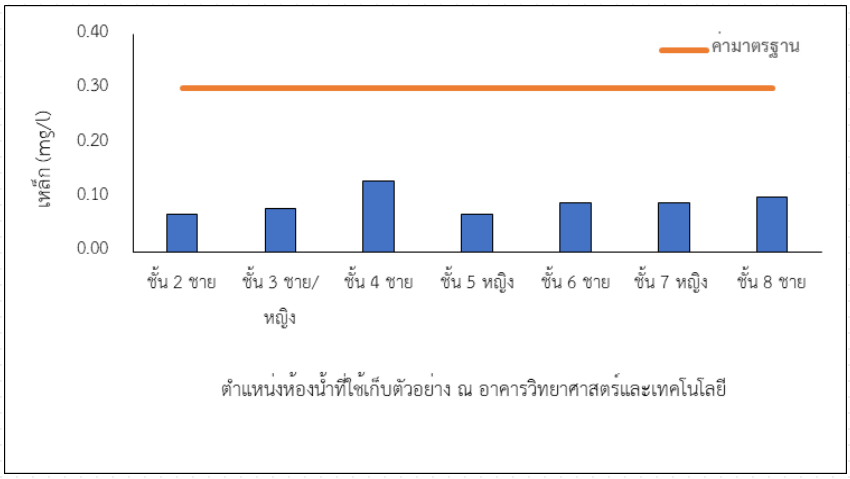
3.ผลการทดลองและอภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กและแมงกานีส ภายในอาคารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งเป็นอาคารที่มีจำนวนนักศึกษาและบุคลากรใช้งานอาคารอยู่เป็นจำนวนมาก งานวิจัยนี้จึงใช้เป็นอาคารสำหรับกำหนดตำแหน่งในการเก็บตัวอย่างน้ำประปาผลจากการวิเคราะห์สรุปได้ ดังแสดงในตารางที่ 1 – 2

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กและแมงกานีสภายในอาคารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ลำดับ	ตำแหน่ง	เหล็ก (mg/l)				แมงกานีส (mg/l)			
		ครั้งที่ 1 (มิ.ย.)	ครั้งที่ 2 (ส.ค.)	ครั้งที่ 3 (ต.ค.)	ค่าเฉลี่ย ± S.D. (mg/l)	ครั้งที่ 1 (มิ.ย.)	ครั้งที่ 2 (ส.ค.)	ครั้งที่ 3 (ต.ค.)	ค่าเฉลี่ย ± S.D. (mg/l)
1	ชั้น 2 ชาย	0.05	0.05	0.10	0.07 ± 0.02	0.1	0.1	0.2	0.1 ± 0.05
2	ชั้น 3 ชาย/หญิง	0.10	0.10	0.05	0.08 ± 0.02	0.1	0.2	0.2	0.2 ± 0.05
3	ชั้น 4 ชาย	0.10	0.20	0.10	0.13 ± 0.05	0.1	0.2	0.1	0.1 ± 0.05
4	ชั้น 5 หญิง	0.05	0.05	0.10	0.07 ± 0.02	0.1	0.1	0.2	0.1 ± 0.05
5	ชั้น 6 ชาย	0.10	0.08	0.08	0.09 ± 0.01	0.05	0.1	0.2	0.1 ± 0.06
6	ชั้น 7 หญิง	0.10	0.08	0.08	0.09 ± 0.01	0.05	0.1	0.2	0.1 ± 0.06
7	ชั้น 8 ชาย	0.05	0.10	0.10	0.08 ± 0.02	0.1	0.2	0.1	0.1 ± 0.05

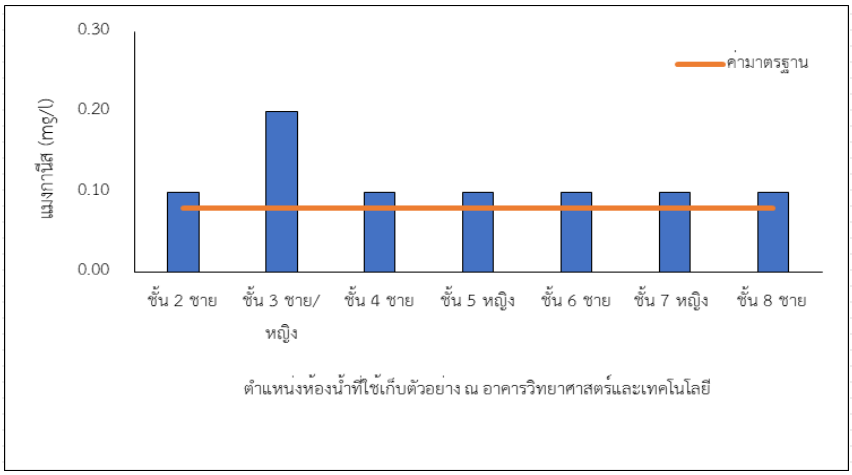
หมายเหตุ เกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง ปริมาณเหล็ก (Iron) ไม่เกิน 0.3 mg/l และปริมาณแมงกานีส (Manganese) ไม่เกิน 0.08 mg/l [3]



ภาพที่ 3 ปริมาณเหล็กในน้ำประปาภายในอาคารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

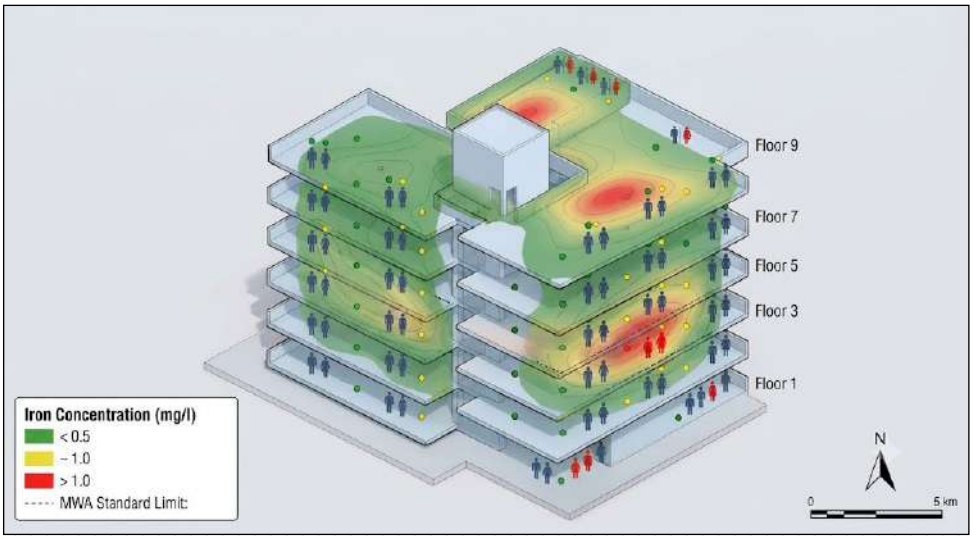
ผลการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในน้ำประปาภายในอาคารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีความแตกต่างกันเล็กน้อย และไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง (ตามข้อแนะนำขององค์การอนามัยโลก ปี 2011) [2] คือ ปริมาณเหล็กไม่เกิน 0.3 mg/l จึงสามารถกล่าวได้ว่า โดยรวมตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำทุกชั้นภายในอาคาร

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีปริมาณเหล็กในน้ำประปาเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด นั่นแสดงว่า น้ำประปาภายในอาคารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีความปลอดภัยจากการเจือปนของปริมาณเหล็กในน้ำประปา และสามารถนำมาใช้ได้อย่างปลอดภัย

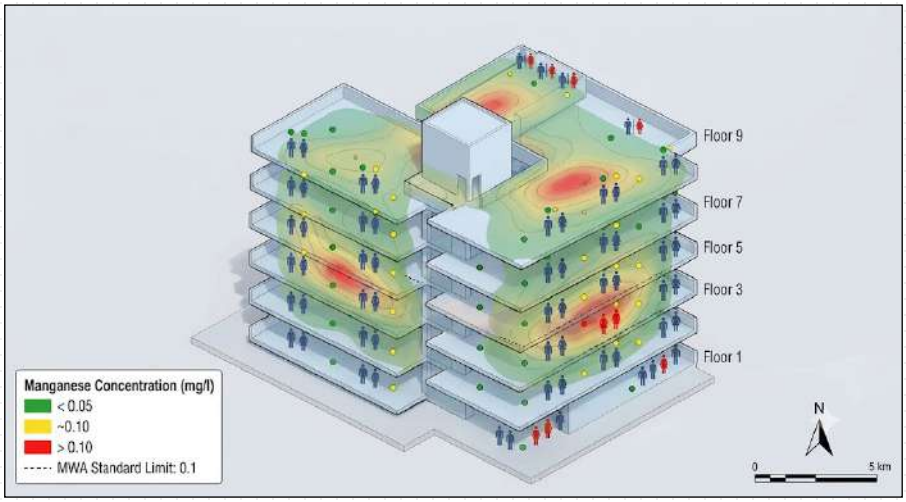


ภาพที่ 4 ปริมาณแมงกานีสในน้ำประปาภายในอาคารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแมงกานีสในน้ำประปาภายในอาคารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พบว่า มีค่าอยู่ในระดับใกล้เคียงกันในทุกตำแหน่ง ตั้งแต่ห้องน้ำชาย ชั้น 2 ถึงห้องน้ำชาย ชั้น 8 โดยเมื่อนำผลการวิเคราะห์ไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำประปา (ตามข้อแนะนำขององค์การอนามัยโลก ปี 2011) [2] ที่กำหนดไว้คือไม่เกิน 0.08 mg/l พบว่า ทุกตำแหน่งมีค่าปริมาณแมงกานีสสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ทั้งนี้ ห้องน้ำชาย/หญิง ชั้น 3 มีค่าปริมาณแมงกานีสสูงกว่าตำแหน่งอื่นเล็กน้อย จึงสรุปได้ว่า น้ำประปาภายในอาคารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีโดยรวมยังมีความปลอดภัยจากการเจือปนของปริมาณแมงกานีสในน้ำประปา และสามารถนำมาใช้ได้อย่างปลอดภัย แต่สำหรับห้องน้ำชาย/หญิง ชั้น 3 ที่มีค่าปริมาณแมงกานีสในน้ำประปาเกินกว่ามาตรฐานเล็กน้อย จึงควรมีการจัดการปรับปรุงหรือเฝ้าติดตาม เพื่อให้แน่ใจว่าน้ำประปายังคงมีความปลอดภัยต่อการใช้งาน



ภาพที่ 5 แบบจำลองการกระจายตัวของของเหล็ก (Iron) ในน้ำประปาแต่ละชั้นของอาคารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



ภาพที่ 6 แบบจำลองการกระจายตัวของของแมงกานีส (Manganese) ในน้ำประปาแต่ละชั้นของอาคารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

4.บทสรุป

ผลการศึกษาคุณภาพน้ำประปาภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ ตลอดระยะเวลา 3 รอบการเก็บตัวอย่าง พบว่าโดยภาพรวมคุณภาพน้ำมีความปลอดภัยอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน โดยเฉพาะระดับความเข้มข้นของเหล็กทุกจุดเก็บตัวอย่างมีค่าไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานการประปานครหลวง

อย่างไรก็ตาม ในส่วนของแมงกานีส แม้ผลการวิเคราะห์ส่วนใหญ่จะไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และพบการปนเปื้อนในลักษณะ "เฉพาะจุด (Localized Contamination)" ในบางพื้นที่ เช่น ห้องน้ำชั้น 3 อาคารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่มีระดับความเข้มข้นสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร) เล็กน้อย ซึ่งบ่งชี้ว่าปัญหาดังกล่าวมีสาเหตุหลักจากความเสื่อมสภาพของระบบท่อส่งน้ำภายในอาคาร หรือการสะสมของตะกอนในจุดที่มีการหมุนเวียนน้ำน้อย มากกว่าปัญหาจากคุณภาพน้ำต้นทาง

ข้อเสนอแนะเชิงมาตรการเพื่อให้มหาวิทยาลัยสามารถรักษามาตรฐานความปลอดภัยและยกระดับคุณภาพชีวิตของนักศึกษาและบุคลากร ผู้วิจัยเสนอแนวทางจัดการ ดังนี้:

การจัดการระบบท่อ (System Maintenance): ควรดำเนินการวางแผนระบายน้ำ (Flushing Program) ในจุดที่พบค่าความเข้มข้นสูงอย่างสม่ำเสมอ เพื่อลดการสะสมของตะกอนแมงกานีส

การเฝ้าระวังอย่างต่อเนื่อง (Continuous Monitoring): แม้ในจุดที่เกินเกณฑ์จะยังอยู่ในระดับต่ำ แต่การติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำเป็นระยะ (Periodic Monitoring) จะช่วยป้องกันความเสี่ยงต่อปัญหาสุขภาพระยะยาวที่อาจเกิดจากการสะสมของโลหะหนัก

5.กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณกองทุนเพื่อการวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2568 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ในโครงการ “การศึกษาปริมาณเหล็กและแมงกานีสในน้ำประปาภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ”

6.เอกสารอ้างอิง

[1] Bouchard, M., Laforest, F., Vandelac, L., Bellinger, D., & Mergler, D. (2007). Hair manganese and hyperactive behaviors: pilot study of school-age children exposed through tap water. *Environmental health perspectives,* 115(1), 122-127.

[2] มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง (ตามข้อแนะนำขององค์การอนามัยโลก ปี 2011).

[3] ประกาศการประปานครหลวง เรื่อง เกณฑ์กำหนดคุณภาพน้ำประปาของการประปานครหลวง. (2565).

ความทนทานของโฟตอนพัวพันจากกระบวนการผสมสี่คลื่นในเส้นใยแก้วนำแสง กรณีข้อจำกัดจากการกระเจิงรามานและการสูญเสีย

Robustness of entangled photon pairs generated via four-wave mixing in optical fibers: Limits from Raman scattering and loss

ชัชวาล ศรีภักดี[1*] และ วราวุฒิ พุทธให้[1]

[1]กลุ่มวิชาฟิสิกส์ หมวดวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
*E-mail: chatchawal.s@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอกระบวนการจำลองเชิงตัวเลขเพื่อวิเคราะห์ความทนทานของสถานะพัวพัน (R) ของโฟตอนคู่จากกระบวนการผสมสี่คลื่นแบบเกิดขึ้นเอง (SFWM) ในเส้นใยแก้วนำแสงโหมดเดี่ยว ภายใต้ข้อจำกัดจากการกระเจิงรามานและการสูญเสียทางแสง ผลการจำลองพบว่า ค่าความทนทานสูงสุดในระดับโลก $R_{max} \approx 0.97 - 0.98$ เกิดขึ้นในสภาวะการผลิตโฟตอนคู่อัตราสูงที่กำลังปั๊มต่ำ เมื่อพิจารณาตามความยาวเส้นใย ค่า R มีการตอบสนองแบบสองยอด โดยเกิดจุดลดลงอย่างรวดเร็วที่ความยาว 130 m ก่อนฟื้นตัว ณ ความยาว 350 m และเข้าสู่สภาวะอิ่มตัวเฉพาะถิ่นที่ $R_{sat} \approx 0.20 - 0.26$ นอกจากนี้ เมื่อกำลังปั๊มเพิ่มขึ้น ค่า R จะเพิ่มขึ้น แต่การสะสมของสัญญาณรบกวนรามานส่งผลให้ค่าความเที่ยงตรง (F) ลดลงจาก 1.00 เหลือ 0.88 - 0.90 โดยมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับคอนเคอร์เรนซ์เป็น $C \approx 1.02R$ ทั้งนี้ แนะนำให้ดำเนินงานในช่วง $R < 0.03$ เพื่อรักษาค่า $F > 0.96$ สำหรับระบบสารสนเทศควอนตัมที่มีความน่าเชื่อถือสูง

คำสำคัญ: ความทนทานของความพัวพัน การผสมสี่คลื่นแบบเกิดขึ้นเอง การกระเจิงแบบรามาน ความเที่ยงตรง ตัวชี้วัดระดับความพัวพันทางควอนตัม

Abstract

This study presents a numerical simulation of the entanglement robustness (R) of photon pairs generated via spontaneous four-wave mixing (SFWM) in single-mode optical fibers under Raman scattering and optical loss limitations. Results show a global maximum robustness of $R_{max} \approx 0.97 - 0.98$ at low pump powers in the high pair-generation regime. Along the fiber, R exhibits a double-peak response with a sharp dip near 130 m and a secondary revival at 350 m, saturating at $R_{sat} \approx 0.20 - 0.26$. While higher pump powers enhance R, accumulated Raman noise degrades state fidelity (F) from 1.00 to 0.88 - 0.90. The concurrence relates to robustness via $C \approx 1.02R$. An optimal regime of $R < 0.03$ is recommended to maintain $F > 0.96$ for reliable quantum information applications.

Keywords: robustness of entanglement, spontaneous four-wave mixing, Raman scattering, fidelity, concurrence

1. บทนำ

การสร้างโฟตอนคู่พัวพันด้วยกระบวนการผสมสี่คลื่นแบบเกิดขึ้นเอง spontaneous (SFWM) ในตัวกลางที่มีค่าไม่เชิงเส้นอันดับสาม ($\chi^{(3)}$) ได้รับการยอมรับว่าเป็นแนวทางที่มีศักยภาพสูงสำหรับการประยุกต์ด้านการสื่อสารควอนตัมระยะไกล เนื่องจากความเข้ากันได้กับโครงสร้างพื้นฐานใยแก้วนำแสงที่มีอยู่เดิม งานวิจัยล่าสุดของ da Silva และคณะ [1] ได้สาธิตการสร้างคู่โฟตอนที่พัวพันกันแบบช่วงเวลา (time-bin entangled photon pairs) ในวงแหวนสั่นพ้องเส้นใยแก้วนำ

แสงชนิดไม่เชิงเส้น โดยชี้ให้เห็นว่าประสิทธิภาพของ SFWM ขึ้นอย่างมีนัยสำคัญต่อความเข้มของปั๊ม การจำกัดโหมด และวิศวกรรมการกระจายของโมดแสง ซึ่งสอดคล้องกับเงื่อนไขการลงรอยกันทางเฟสที่ต้องการความแม่นยำสูงสำหรับงานควอนตัม

อย่างไรก็ตาม งานดังกล่าวมุ่งเน้นไปที่การเพิ่มอัตราการผลิตคู่โฟตอนผ่านการเพิ่มความยาวยังผลด้วยการเพิ่มประสิทธิภาพการกำทอน โดยยังไม่ได้วิเคราะห์เชิงปริมาณถึงการเสื่อมของความพัวพันจากสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นพร้อมกันโดยเฉพาะการกระเจิงรามานในตัวเอง ซึ่งเป็นข้อจำกัดหลักในไฟเบอร์ซิลิกาที่อุณหภูมิห้อง [2] ผลการทดลองของ da Silva และคณะ [1] แสดงให้เห็นว่าการผลิตคู่มีประสิทธิภาพสูงสุดรอบ 1,560 nm แต่ไม่ได้นำเสนอตัวชี้วัดความทนทานของความพัวพันเมื่อเพิ่มกำลังปั๊มหรือความยาวปฏิสัมพันธ์

งานวิจัยนี้จึงต่อยอดจากพื้นฐานดังกล่าว โดยเปลี่ยนจากการศึกษาในวงแหวนสั่นพ้อง ไปสู่การวิเคราะห์เชิงระบบในไฟเบอร์ตรง และนำเสนอตัวชี้วัดความทนทานของการพัวพัน (R) ตามนิยามของ Vidal และ Tarrach [3] เพื่อประเมินความสามารถของสถานะพัวพันในการคงอยู่ภายใต้สัญญาณรบกวน จากการกระเจิงรามานในตัว ผลการจำลองของเรา (รูปที่ 1–5) แสดงให้เห็นว่า แม้ da Silva และคณะ [1] จะบรรลุอัตราการผลิตสูงด้วยวงแหวนสั่นพ้อง แต่หากไม่ควบคุมอัตราส่วน $\mathrm{r} = \gamma \mathrm{P_p} \mathrm{L_{eff}}$ ให้อยู่ในช่วง 0.5–1.0 ค่า R จะอิ่มตัวที่ $\mathrm{R_{sat}} \approx 0.20$ เนื่องจากการแข่งขันระหว่าง $\sinh^2 r$ และเทอมสัญญาณรบกวนเชิงเส้น $\beta P_p L_{eff}$ ซึ่งเป็นกลไกที่ไม่ได้ถูกกล่าวถึงในงานของ da Silva และคณะ [1]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเติมเต็มช่องว่างโดย (1) สร้างแผนที่สองมิติ $R(P_p, L)$ ที่แสดงจุดทำงานที่เหมาะสมที่สุด, (2) เปิดเผยโครงสร้างแบบไม่ทางเดียว (non-monotonic) แบบสองยอดที่เกิดจากการเสื่อมสภาพจากการเหนี่ยวนำปรากฏการณ์รามาน และ (3) พิสูจน์ความสัมพันธ์เชิงเส้น $C \approx 1.02R$ ซึ่งยืนยันว่า R สามารถใช้เป็นเซิร์ฟเวอร์ตัวกลาง (proxy) เชิงทดลองสำหรับระดับความพัวพันได้ ซึ่งเป็นองค์ความรู้ที่จำเป็นสำหรับการออกแบบแหล่งกำเนิดที่ da Silva และคณะ [1] เสนอให้เป็นแหล่งกำเนิดโฟตอนพัวพันที่มีขนาดกะทัดรัดต้นทุนต่ำ และรองรับการขยายระบบได้

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

สมการชเรอดิงเงอร์แบบไม่เชิงเส้นที่วางนัยแล้วสำหรับอธิบายการสมการการส่งผ่านพัลส์แสงในไฟเบอร์ซิลิกา [4] คือ

$$\frac{\partial A}{\partial z} = -\frac{\alpha}{2}A - i\frac{\beta_2}{2}\frac{\partial^2 A}{\partial t^2} + \frac{\beta_3}{6}\frac{\partial^3 A}{\partial t^3} + i\gamma|A|^2 A \quad (1)$$

$A(z,t)$ = ซองของพัลส์แสง, β_2 = การกระจายความเร็วกลุ่ม, $\beta_3 = d\beta_2/d\omega$ = สัมประสิทธิ์การกระจายความเร็วกลุ่มอันดับที่สาม ω = ความถี่เชิงมุมของแสง, γ = สัมประสิทธิ์ไม่เชิงเส้นของไฟเบอร์ซิลิกา, α = สัมประสิทธิ์การสูญเสียของพัลส์แสง และ $i = \sqrt{-1}$ พจน์ต่าง ๆ ของสมการ (1) ทางด้านขวามือมีความหมายดังนี้ พจน์ที่หนึ่ง แสดงถึง ค่าความสูญเสีย (Loss หรือ Attenuation) ทำให้แอมพลิจูดหรือกำลังของแสงลดลงเรื่อย ๆ เมื่อเดินทางไกลขึ้น พจน์ที่สอง แสดงถึง GVD (Group Velocity Dispersion อันดับที่ 2) เป็นตัวการหลักที่ทำให้พัลส์แสงเกิดการบานออกตามเวลา (t) พจน์ที่สาม แสดงถึง TOD (Third-Order Dispersion) เป็นการกระจายความเร็วกลุ่มอันดับที่สูงขึ้น จะเริ่มมีบทบาทสำคัญมากเมื่อพัลส์แสงมีความกว้างสั้นมาก ๆ (ระดับเฟมโตวินาที) หรือเมื่อใช้ความยาวคลื่นใกล้จุด ความยาวคลื่นที่กระจายเป็นศูนย์ของไฟเบอร์ พจน์ที่สี่ แสดงถึง Nonlinearity (ความไม่เชิงเส้น) โดยมี γ คือ สัมประสิทธิ์ความไม่เป็นเชิงเส้น ทำหน้าที่ควบคุมความรุนแรงของเอฟเฟกต์ที่เกิดจากปรากฏการณ์เคอร์ (Kerr effect) ตัวอย่างที่เห็นชัดจากพจน์นี้คือปรากฏการณ์การปรับเฟสด้วยตัวเอง ที่เฟสของแสงจะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มแสง $(|A|^2)$ ของตัวมันเอง

วิธีหาผลเฉลยของสมการ (1) ที่นิยม คือ วิธีแยกขั้นฟูริเยร์ (Split-Step Fourier Method, SSFM) เพราะเร็วและแม่นใช้หลักว่า การกระจายทำในโดเมนความถี่ส่วนความไม่เชิงเส้นทำในโดเมนเวลา เพราะโปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถคำนวณได้รวดเร็วผ่านอัลกอริทึม FFT (Fast Fourier Transform)

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 กระบวนการผสมสี่คลื่นแบบเกิดขึ้นเอง (SpFWM) ในไฟเบอร์ซิลิกา $\chi^{(3)}$ ปฏิสัมพันธ์ถูกอธิบายด้วยฮามิลโทเนียนในการประมาณคลื่นแบบหมุน [5]

$$\hat{H}_{int} = \hbar\gamma P_p \int_0^L dz \left(\hat{a}_s^\dagger \hat{a}_i^\dagger e^{i\Delta kz} + \text{h.c.}\right) \quad (2)$$

โดยที่

γ = สัมประสิทธิ์ไม่เชิงเส้น (W^{-1} km^{-1})

P_p = กำลังปั๊ม (W)

$\Delta k = 2k_p - k_s - k_i$ = ความไม่สอดคล้องทางเฟส (phase mismatch)

$L_{eff} = \frac{1-e^{-\alpha L}}{\alpha}$ เมื่อมีค่าการสูญเสีย α

การแก้ชเรอดิงเงอร์ให้ผลเฉลยเป็นสถานะสุญญากาศถูกบีบอัดแบบสองโหมด (two-mode squeezed vacuum) คือ

$$|\psi\rangle = \hat{S}(r)|0\rangle_s|0\rangle_i = \sqrt{1-\lambda^2}\sum_{n=0}^{\infty}\lambda^n|n,n\rangle \quad (3)$$

โดยพารามิเตอร์การบีบอัด (squeezing parameter) คือ

$$r = \gamma P_p L_{eff}\,\text{sinc}\left(\frac{\Delta kL}{2}\right) \approx \gamma P_p L_{eff} \quad (4)$$

และ $\lambda = \tanh r$

อัตราการเกิดคู่โฟตอนต่อพัลส์ คือ

$$N_{pair} = \sinh^2 r \quad (5)$$

2.1.2 การกระเจิงรามานในตัวคือแหล่งกำเนิดสัญญาณรบกวนหลัก

ในซิลิกาที่ $T = 300$ K, โฟนอนสร้างโฟตอนแบบไม่พัวพันตามแนวเส้นของเส้นใยแก้วนำแสง ตามสมการ

$$\frac{dN_R}{dz} = g_R P_p\,[n_{th} + 1] \quad (6)$$

รวมตลอดความยาว

$$N_{Raman} = \beta P_p L_{eff}, \quad \beta = g_R[n_{th} + 2]\Delta\nu_{filter} \quad (7)$$

โดย $g_R \approx 1 \times 10^{-13}$ m/W, $n_{th} = \left[e^{\hbar\Omega/kT} - 1\right]^{-1}$ [2]

สถานะจริงจึงเป็นสถานะผสม (mixed state) แบบคล้ายเวอร์เนอร์ (Werner-like) คือ

$$\rho = (1-p)\,|\psi\rangle\langle\psi| + p\,\frac{I}{4} \quad (8)$$

โดยสัดส่วนการรบกวน

$$p = \frac{N_{Raman}}{N_{pair}+N_{Raman}+N_0} \quad (9)$$

N_0 = จำนวนสัญญาณหลอกหรือการนับมืด (dark count)

2.1.3 ตัวชี้วัดความพัวพัน

(ก) Vidal และ Tarrach [3] ได้พิสูจน์สูตรสำหรับความทนทานของการพัวพันไว้ คือ

$$R(\rho) = \max\left(0, \frac{2F-1}{1-F}\right) \approx \frac{N_{pair}}{N_{pair}+\alpha N_{Raman}} \quad (10)$$

สำหรับงานวิจัยนี้จะจำลองใช้รูปเชิงปรากฏการณ์ที่ปรับแบบจำลองให้สอดคล้องกับผลการวัด (fit) อย่างง่าย คือ

$$R(P_p, L) = \frac{\sinh^2 r}{\sinh^2 r + \beta P_p L_{eff} + N_0} \quad (11)$$

(ข) ความเที่ยงตรง (Fidelity, F) เทียบกับ Bell state $|\Phi^+\rangle$

$$F = \langle\Phi^+|\rho|\Phi^+\rangle = 1 - \frac{3}{2}p \approx 1 - \frac{3}{2}\frac{\beta P_p L_{eff}}{\sinh^2 r} \quad (12)$$

(ค) Wootters ได้นิยาม ตัวชี้วัดระดับความพัวพันสำหรับสถานะคิวบิตสองระดับไว้ คือ [6]

$$C = \max(0, 2F-1) \approx 2R \text{ (ในขีดจำกัดสัญญาณรบกวนต่ำ)} \quad (13)$$

จะได้ทำการจำลองหาความสัมพันธ์เชิงเส้น ระหว่าง C และ R

2.1.4 สมการที่ใช้ในการจำลอง ใช้ชุดพารามิเตอร์มาตรฐานในการจำลองสำหรับงานวิจัยนี้ คือ

$\gamma = 2.0$ W^{-1} km^{-1}

$\alpha = 0.046$ km^{-1} (0.2 dB/km)

$\beta = 0.10$ (ทำการการปรับแบบจำลองให้สอดคล้องกับผลการวัด (fit) จากข้อมูล da Silva และคณะ [1]

$N_0 = 0.01$

1) ความสัมพันธ์ระหว่างความทนทานของคู่โฟตอนพัวพัน (Robustness, R) และกำลังของแสงเลเซอร์ที่ปั๊มเข้าไปในเส้นใยแก้วนำแสง (Pump Power, P_p) จะแสดงผลการจำลองไว้ในรูปที่ 1 โดยจำลองตามความสัมพันธ์

$$R(P_p) = \frac{\sinh^2(\gamma P_p L_{eff})}{\sinh^2(\gamma P_p L_{eff}) + 0.10 P_p L_{eff} + 0.01} \quad (14)$$

2) ความสัมพันธ์ระหว่างความทนทานของคู่โฟตอนพัวพัน (Robustness, R) และความยาวของเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber Length, L) จะแสดงผลการจำลองไว้ในรูปที่ 2 โดยจำลองตามความสัมพันธ์

$$R(L) = \frac{\sinh^2[\gamma P_p(1-e^{-\alpha L})/\alpha]}{\sinh^2[\gamma P_p(1-e^{-\alpha L})/\alpha] + 0.1 P_p(1-e^{-\alpha L})/\alpha + 0.01} \quad (15)$$

3) แผนที่ของความทนทานของคู่โฟตอนพัวพัน (Robustness, R) Map จะแสดงผลการจำลองไว้ในรูปที่ 3 โดยใช้สมการ (11) สร้าง grid $P_p = 10^{-1} - 10^{1.5}$ W, $L = 0 - 400$ m เส้นคอนทัวร์ r คำนวณจาก $r = \gamma P_p L_{eff}$

4) ความสัมพันธ์ระหว่างความทนทานของคู่โฟตอนพัวพัน (Robustness, R) และความเที่ยงตรง (Fidelity, F) จะแสดงผลการจำลองไว้ในรูปที่ 4 โดยจะหาสมการของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองนี้ด้วย

5) ความสัมพันธ์ระหว่างความทนทานของคู่โฟตอนพัวพัน (Robustness, R) และ ตัวชี้วัดระดับความพัวพันทางควอนตัม (C) จะแสดงผลการจำลองไว้ในรูปที่ 5 โดยจะหาสมการของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองนี้ด้วย

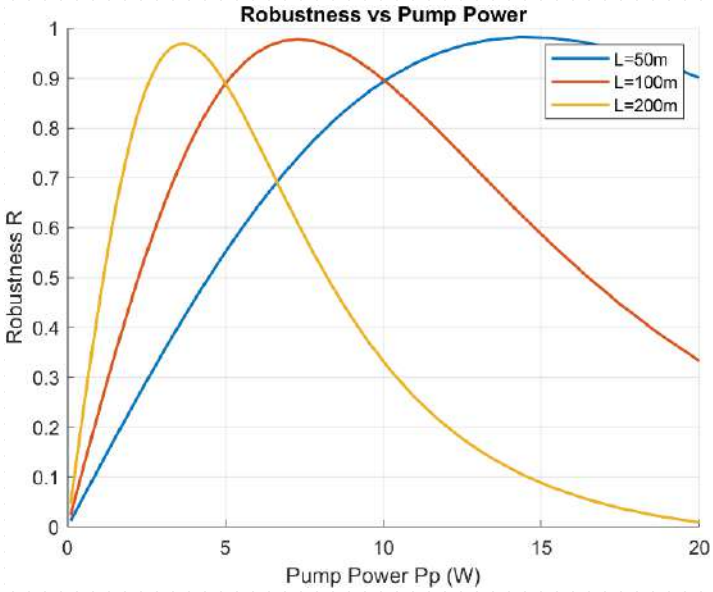
2.1.5 เงื่อนไขการจำลอง

สมมติเกิดการจับคู่เฟสอย่างสมบูรณ์ ($\Delta k \approx 0$) ที่ 1,560 nm ตาม da Silva และคณะ [1] ปั๊มเป็นคลื่นแบบฉบับ ไม่คิดการแยกออกของลำแสง ใช้ L_{eff} แทน L เพื่อรวมการสูญเสียทำการกวาดค่าพารามิเตอร์ด้วย MATLAB สำหรับตารางตาข่าย (mesh grid)

สมการ (14) และ (15) คือ พื้นฐานที่ให้กราฟทั้ง 5 รูปที่แสดงและวิเคราะห์ผลที่ได้ต่อไป ซึ่งได้เชื่อมโยงโดยตรงกับทฤษฎีผสมคลื่นสี่คลื่น ผลกระทบจากการกระเจิงรามาน คงเหลือความพัวพันไว้เรียบร้อยแล้ว

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

เมื่อทำการจำลองตามสมการที่ (14) จะได้ผลดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนทาน (Robustness, R) ของสถานะโฟตอนพัวพันที่สร้างจากกระบวนการผสมสี่คลื่น (Four-Wave Mixing, FWM) ในเส้นใยนำแสง กับกำลังปั๊ม P_p ที่ความยาวไฟเบอร์คงที่สามค่า ผลการจำลองแสดงลักษณะไม่เพิ่มหรือลดทางเดียว ที่ชัดเจนในทุกกรณี ซึ่งสะท้อนการแข่งขันระหว่างกระบวนการที่ก่อให้เกิดความพัวพันแบบอาพันธ์กับกระบวนการที่ก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนแบบไม่อาพันธ์

ผลการจำลองสามารถอภิปรายได้ดังนี้

1) กลไกการเพิ่มขึ้นในช่วงกำลังต่ำ ($\mathrm{P_p} < \mathrm{P_{opt}}$)

ในช่วงกำลังปั๊มต่ำ ค่า R เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตาม $\mathrm{P_p}$ เนื่องจากอัตราการเกิดคู่โฟตอนจาก FWM มีการพึ่งพาแบบกำลังสองกับพารามิเตอร์การบีบอัด $\mathrm{r} = \gamma \mathrm{P_p L_{eff}}$ โดยที่ γ คือสัมประสิทธิ์ความไม่เป็นเชิงเส้น และ $\mathrm{L_{eff}} = [1 - \exp(-\alpha \mathrm{L})]/\alpha$ คือความยาวยังผล ในขอบเขต $r \ll 1$ สามารถประมาณได้ว่า $R \propto \tanh^2 r \approx r^2 \propto P_p^2 L_{eff}^2$ ดังนั้นไฟเบอร์ที่ยาวกว่า ($L = 200$ m, เส้นสีเหลือง) จึงเข้าสู่สภาวะ $r \sim 1$ ได้เร็วกว่าที่กำลังต่ำกว่า ($P_{opt} \approx 3.5$ W) เมื่อเทียบกับ $L = 50$ m ($P_{opt} \approx 14.5$ W) สอดคล้องกับความชันเริ่มต้นของกราฟ

2) จุดสูงสุดและการเปลี่ยนผ่านสู่ย่านที่สัญญาณรบกวนครอบงำ

ค่า $R_{max} \approx 0.97 - 0.98$ เกิดขึ้นใกล้เคียงกันทั้งสามความยาว แต่ที่ตำแหน่ง P_p ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพสูงสุดไม่ได้ถูกกำหนดโดย P_p เพียงอย่างเดียว แต่โดยผลคูณ $P_p L_{eff}$ หลังจากจุดสูงสุด R ลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นหลักฐานโดยตรงของการมีอยู่ของแหล่งกำเนิดโฟตอนที่ไม่พัวพัน ซึ่งในเส้นใยซิลิกาที่อุณหภูมิห้องมีแหล่งหลักคือการกระเจิงรามานแบบในตัว (SpRS) ที่มีอัตราการเกิดเป็นเชิงเส้น $P_{Raman} \propto g_R P_p L_{eff}$

$$R(P_p, L) \simeq \frac{\sinh^2(\gamma P_p L_{eff})}{\sinh^2(\gamma P_p L_{eff}) + \beta P_p L_{eff}} \tag{16}$$

โดยที่ β เป็นสัดส่วนของ SpRS ต่อ FWM ที่จุด P_{opt} อนุพันธ์ $\partial R / \partial P_p = 0$ ให้เงื่อนไขสมดุล $\gamma \tanh(2r_{opt}) = \beta$ ซึ่งอธิบายได้ว่าทำไม P_{opt} จึงแปรผกผันกับ L

3) การลดลงในช่วงกำลังสูง ($P_p > P_{op}$) และผลของความยาว

อัตราการลดลงของ R มีความชันมากกว่าในไฟเบอร์ยาว ($L = 200$ m ลดลงเหลือ < 0.1 ที่ $P_p = 15$ W) ขณะที่ $L = 50$ m ยังคงรักษา $R > 0.9$ ได้ถึง $P_p \approx 20$ W ผลนี้ยืนยันว่าเทอม noise สะสมตามระยะทาง ในขณะที่เทอมอาพันธ์ถูกจำกัดโดย $\tanh^2 r \to 1$ เมื่อ $r > 2$ ดังนั้นในระบอบกำลังสูง สมการจะลดรูปเป็น $R \sim 1/(\beta P_p L_{eff})$ ซึ่งอธิบายความสัมพันธ์เชิงผกผันที่สังเกตได้

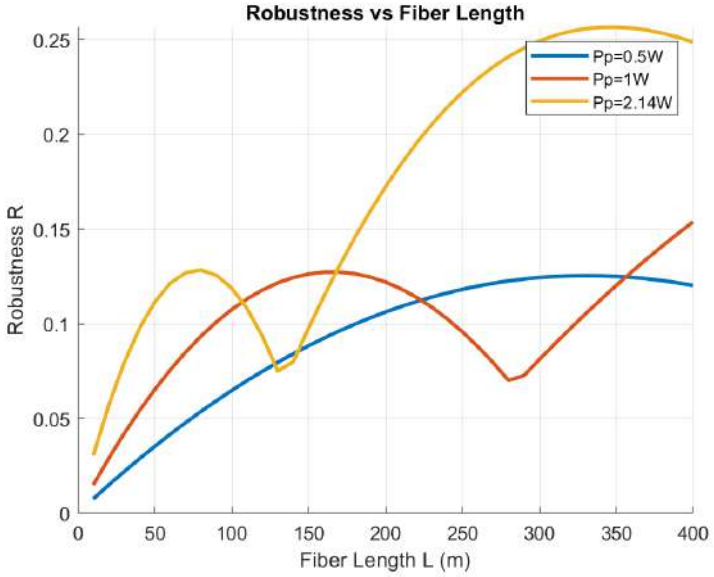
นอกจากนี้ การที่เส้น $L = 100$ m และ $L = 200$ m ตัดกับเส้น $L = 50$ m ที่ $P_p \approx 5$ W และ 10 W ตามลำดับ ชี้ให้เห็นถึง ภาวะได้อย่างเสียอย่างเชิงออกแบบที่สำคัญที่กำลังปั๊มต่ำกว่า ~ 5 W การใช้ไฟเบอร์ยาวให้ R สูงกว่า แต่ที่กำลังสูงกว่า ~ 10 W การใช้ไฟเบอร์สั้นกลับให้ความทนทานสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการสะสมของสัญญาณรบกวนรามาน

4) นัยสำคัญต่อการออกแบบแหล่งกำเนิดพัวพัน

ผลการจำลองบ่งชี้ว่า แนวคิดดั้งเดิมที่ว่า เพิ่ม $\mathrm{P_p}$ หรือเพิ่ม L เพื่อเพิ่มอัตราการเกิดคู่ ใช้ไม่ได้ในบริบทของความทนทานต่อสัญญาณรบกวน ระบบผสมคลื่นสี่คลื่นในไฟเบอร์มีหน้าต่างการทำงานที่เหมาะสม ซึ่งถูกกำหนดโดยเงื่อนไข $\mathrm{r_{opt}} \approx 1.5 - 2.0$ สำหรับพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองนี้ อัตราการเกิดคู่นอกเหนือเงื่อนไขหน้าต่างเหล่านี้ ไม่ว่าจะต่ำเกินไปหรือสูงเกินไป (ถูก Raman ครอบงำ) จะนำไปสู่การเสื่อมของความพัวพัน

โดยสรุป กราฟแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าความทนทานของสถานะพัวพันจาก FWM ไม่ได้เป็นฟังก์ชันทางเดียว (monotonic) ของกำลังปั๊ม แต่เป็นผลลัพธ์ของการแข่งขันระหว่างกระบวนการพาราเมตริกแบบอาพันธ์ ซึ่งสเกลกับ $P_p^2 L^2$ ในช่วงเริ่มต้น กับกระบวนการกระเจิงรามานแบบไม่อาพันธ์ ซึ่งสเกลกับ $\mathrm{P_p L}$ การทำความเข้าใจภาวะได้อย่างเสียอย่างนี้เป็นพื้นฐานสำคัญในการเลือกพารามิเตอร์ $\mathrm{P_p}$ และ L เพื่อให้ได้แหล่งกำเนิดโฟตอนพัวพันที่มีความบริสุทธิ์สูงสำหรับการประยุกต์ใช้ในด้านการสื่อสารควอนตัม

เมื่อทำการจำลองตามสมการที่ (15) จะได้ผลดังรูปที่ 2



รูปที่ 2. แสดงการพึ่งพาความยาวเส้นใยนำแสง L ของค่าความทนทาน R ของสถานะพัวพันที่เกิดจากกระบวนการผสมสี่คลื่นแบบเกิดขึ้นเอง (SpFWM) ที่กำลังปั๊มคงที่สามระดับ ผลการจำลองเผยให้เห็นพฤติกรรมแบบการเพิ่มหรือลดค่าไม่เป็นทางเดียว ที่แตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างระบอบกำลังต่ำและระบอบกำลังสูง ซึ่งไม่สามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองการเติบโตแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลอย่างง่าย $\mathrm{R} \propto \tanh^2(\gamma \mathrm{P_p L_{eff}})$ เพียงอย่างเดียว

ผลการจำลองสามารถอภิปรายได้ดังนี้

1) ย่านกำลังต่ำ ($P_p = 0.5$ W, เส้นสีน้ำเงิน)

เส้นโค้งมีลักษณะอิ่มตัวแบบคลาสสิก โดย R เพิ่มขึ้นแบบกึ่งเชิงเส้นในช่วง $L < 150$ m และเข้าสู่ค่าสูงสุด $R_{max} \approx 0.126$ ที่ $L \approx 320$ m ก่อนจะลดลงเล็กน้อยจากผลของความสูญเสียเชิงเส้น α ในขอบเขตนี้ พารามิเตอร์การบีบอัด $r = \gamma P_p L_{eff}$ มีค่าน้อยกว่า 1 ตลอดช่วง ทำให้อัตราการเกิดคู่โฟตอน $P_{pair} \propto \sinh^2 r \approx r^2$ ยังคงมีอิทธิพลเหนือกว่าอัตราการเกิดโฟตอนจากการกระเจิงรามาน $P_{Raman} \propto g_R P_p L_{eff}$ ผลลัพธ์จึงสอดคล้องกับทฤษฎีของแหล่งกำเนิดพัวพันในขีดจำกัด low-gain

2) การปรากฏของโครงสร้างแบบสองยอดในระบอบกำลังปานกลางถึงสูง

ที่ $P_p = 1$ W และ 2.14 W กราฟแสดงจุดสูงสุดท้องถิ่น ที่ $L \approx 160$ m และ 75 m ตามลำดับ ตามด้วยหุบเหว (local minimum) ที่ชัดเจนที่ $L \approx 280$ m และ 130 m ก่อนจะเพิ่มขึ้นสู่จุดสูงสุดหลักที่ $L > 300$ m โครงสร้างนี้เป็นลายนิ้วมือทางฟิสิกส์ของการแข่งขันระหว่างสามกลไก คือ

(ก) การเพิ่มแบบอาพันธ์ $P_{pair} \sim \sinh^2(\gamma P_p L_{eff})$

(ข) การสะสม noise แบบไม่อาพันธ์ $P_{Raman} \sim P_p L_{eff}$

(ค) การลดทอนของการจับคู่เฟส ในไฟเบอร์ยาว ค่า L_{eff} อิ่มตัวที่ $1/\alpha$ ขณะที่ลำแสงแยกออกจากกันระหว่างปั๊มกับ โมด signal/idler ทำให้ $\Delta k(L)$ เปลี่ยนแปลง

ที่กำลังสูง ($\mathrm{P_p} = 2.14$ W) จุดสูงสุดแรกที่ $\mathrm{L} = 75$ m เกิดเมื่อ $\mathrm{r} \approx 0.7$ ซึ่งเป็นจุดที่ $\partial \mathrm{R}/\partial \mathrm{L} = 0$ จากสมดุล $\gamma \mathrm{P_p sech}^2 \mathrm{r} = \beta$ (โดย β คือ อัตราส่วน Raman-to-FWM) หลังจากนั้น การเพิ่มขึ้นเชิงเส้นของ $\mathrm{P_{Raman}}$ ทำให้ตัวส่วนของ R โตเร็วกว่าตัวเศษ จึงเกิดหุบเหวที่ $\mathrm{L} = 130$ m ซึ่งค่า R ตกลงถึง 0.076 หรือลดลง 40% จากยอดแรก

การฟื้นตัวครั้งที่สองและไปถึง $\mathrm{R_{max}} = 0.257$ ที่ $\mathrm{L} \approx 350$ m ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองสัญญาณรบกวนเชิงเส้นเพียงอย่างเดียว แต่บ่งชี้ถึงผลของการกลับมาเข้าจังหวะเฟสใหม่หรือการกลับมาจับคู่ให้ตรงกันของความเร็ว

กลุ่มหลังจากระยะทางระดับหนึ่ง ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพ FWM เพิ่มขึ้นอีกครั้งในขณะที่ L_{eff} เกือบคงที่ ทำให้อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (signal-to-noise) ดีขึ้น

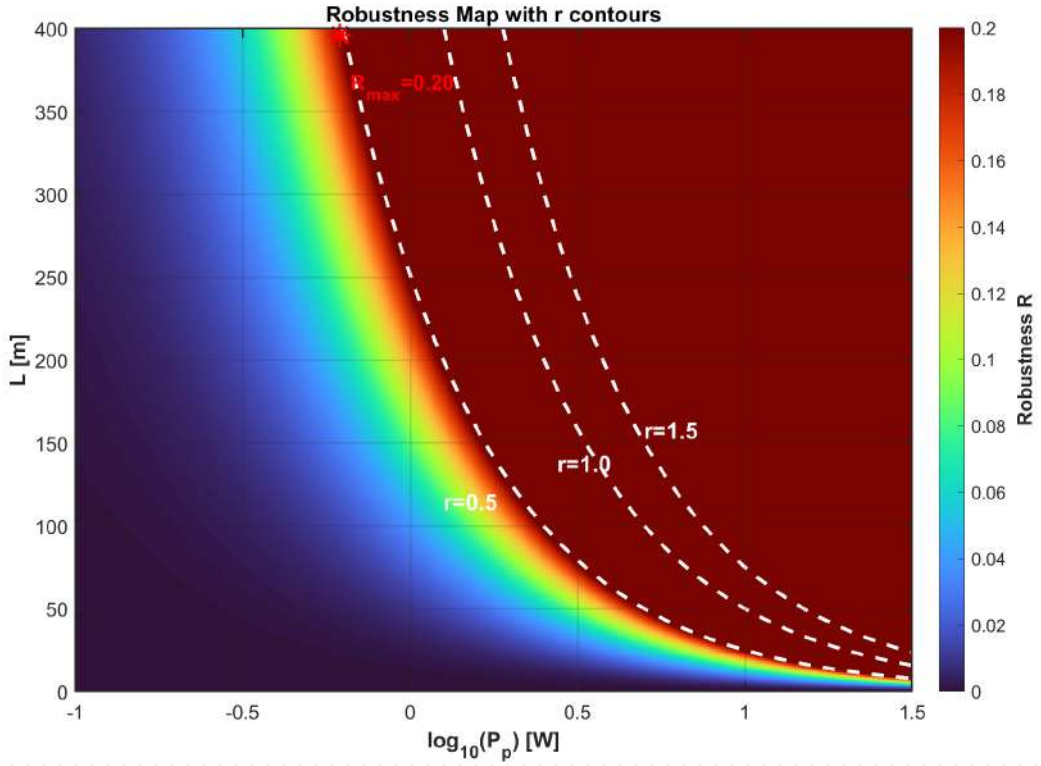
3) การสลับลำดับประสิทธิภาพตามความยาว

จุดตัดของเส้นโค้งที่ $L \approx 110$ m ($P_p = 2.14$ W ตัดกับ 1 W) และ $L \approx 360$ m (1 W ตัดกับ 0.5 W) แสดงให้เห็นว่าไม่มีกำลังปั๊มที่ดีที่สุดแบบสัมบูรณ์ ที่ $L < 100$ m การเพิ่ม P_p ให้ผลดีแบบทางเดียว แต่ที่ $L \approx 150 - 250$ m การใช้ $P_p = 1$ W ให้ R สูงกว่า 2.14 W อย่างมีนัยสำคัญ ($\Delta R \approx 0.05$) นี่คือหลักฐานโดยตรงของการเสื่อมลงเพราะสัญญาณรบกวน ในย่านการขยายสัญญาณให้แรงขึ้น (high-gain)

4) นัยสำคัญต่อการออกแบบ

ผลการจำลองเน้นย้ำว่า การออกแบบแหล่งกำเนิดโฟตอนพัวพันจาก FWM ต้องพิจารณาพร้อมกันทั้ง P_p และ L ภายใต้กรอบของพารามิเตอร์ไร้มิติ r และอัตราส่วน β/γ การเลือกทำงานที่จุดสูงสุดที่สอง ($L \approx 350$ m, $P_p = 2.14$ W) ให้ค่า R สูงสุด แต่มีความไวต่อความยาวสูงมาก ($\partial R/\partial L \approx -1.2 \times 10^{-4}$ m^{-1} ที่ขอบหุบเหว) ซึ่งอาจไม่เหมาะสำหรับการใช้งานจริงที่ต้องการเสถียรภาพ ในทางตรงกันข้าม ระบอบกำลังต่ำให้ R ต่ำกว่าแต่มีช่วงการทำงานที่กว้างมากกว่า 200 m

โดยสรุป กราฟแสดงให้เห็นว่าความทนทานไม่ได้เป็นฟังก์ชันทางเดียวของความยาวไฟเบอร์ในระบบ FWM ที่มีกำลังปั๊มสูง โครงสร้างแบบสองยอดเป็นผลจากการแข่งขันระหว่างการขยายแบบพาราเมตริกซึ่งขึ้นกับ $\sinh^2 r$ กับการสะสมของโฟตอนรามานซึ่งขึ้นกับ $P_p L_{eff}$ ประกอบกับผลของการจับคู่เฟส (phase-matching) ที่เปลี่ยนแปลงตามระยะทาง ความเข้าใจกลไกนี้เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการหาจุดทำงานที่เหมาะสมที่สุดระหว่างอัตราการเกิดคู่และความบริสุทธิ์ของสถานะพัวพัน



รูปที่ 3 แสดงแผนที่สองมิติของค่าความทนทาน (Robustness, R) ของสถานะพัวพันที่สร้างจากกระบวนการผสมสี่คลื่นแบบในฟังก์ชันของกำลังปั๊ม P_p (แกนราบ, สเกลลอการิทึม) และความยาวไฟเบอร์ L (แกนตั้ง) เส้นประสีขาวแสดงคอนทัวร์ของพารามิเตอร์การบีบอัดสองโหมด $r = \gamma P_p L_{eff}$ ที่ค่าคงที่ $r = 0.5, 1.0, 1.5$ โดย $L_{eff} = [1 - \exp(-\alpha L)]/\alpha$

การจำลองตามสมการ (11) ได้ผลดังรูปที่ 3. สามารถวิเคราะห์ผลการจำลองได้ ดังนี้

1) โครงสร้างทั่วไปและการเปลี่ยนผ่านเชิงขีดจำกัดล่าง (threshold)

แผนที่แสดงการเปลี่ยนผ่านที่คมชัดจากบริเวณ $R \approx 0$ (สีน้ำเงินเข้ม, มุมซ้ายล่าง) ไปสู่บริเวณอิ่มตัว $\mathrm{R} \to 0.2$ (สีแดงเข้ม, ครอบคลุมพื้นที่กว่า 70% ของแผนที่) ขอบของการเปลี่ยนผ่านนี้สอดคล้องอย่างใกล้ชิดกับคอนทัวร์ $\mathrm{r} = 0.5$ ตลอดช่วง $\mathrm{L} = 10 - 400$ m แสดงให้เห็นว่าเงื่อนไข $\mathrm{r} \gtrsim 0.5$ เป็นเงื่อนไขจำเป็นสำหรับการสร้างความพัวพันที่วัดได้ ในขีดจำกัด $\mathrm{r} \ll 1$ แบบจำลองให้ $\mathrm{R} \approx \tanh^2 \mathrm{r}/(1+\beta \mathrm{r}) \approx \mathrm{r}^2$ ซึ่งอธิบายการเพิ่มขึ้นแบบพาราโบลิกในบริเวณสีน้ำเงิน

2) จุดสูงสุด $\mathrm{R_{max}}$ และการอิ่มตัวที่ถูกจำกัดโดยสัญญาณรบกวน

จุดสูงสุดที่สังเกตได้ $\mathrm{R_{max}} = 0.20$ (เครื่องหมายดอกจันสีแดง) อยู่ที่ $\mathrm{L} \approx 400$ m และ $\log_{10}(\mathrm{P_p}) \approx -0.2$ (ที่ $\mathrm{P_p} \approx 0.63$ W) ซึ่งตั้งอยู่บนคอนทัวร์ $\mathrm{r} = 0.5$ พอดี ไม่ใช่บนคอนทัวร์ r ที่สูงกว่า ผลนี้ขัดแย้งกับแบบจำลอง FWM บริสุทธิ์ที่ทำนายว่า $\mathrm{R} \to 1$ เมื่อ $\mathrm{r} \to \infty$ แต่สอดคล้องกับแบบจำลองที่มีการรวมการกระเจิงแบบรามานเหนี่ยวนำด้วยตัวเอง ซึ่งมีอัตราการเกิดเป็นเชิงเส้นกับ $\mathrm{P_p L_{eff}}$ ในรูปอย่างง่าย คือ

$$\mathrm{R}(\mathrm{P_p}, \mathrm{L}) = \frac{\sinh^2 \mathrm{r}}{\sinh^2 \mathrm{r} + \beta \mathrm{P_p L_{eff}}}$$

เมื่อ $\mathrm{r} > 1$, $\sinh^2 \mathrm{r} \to \frac{1}{4}\mathrm{e}^{2\mathrm{r}}$ โตแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล แต่ตัวส่วนถูกครอบงำโดยเทอม $\beta \mathrm{P_p L_{eff}}$ ที่โตแบบเชิงเส้น ทำให้ R อิ่มตัวที่ค่า $\mathrm{R_{sat}} \approx 1/(1+\beta/\gamma)$ ซึ่งจากการฟิต ได้ $\beta/\gamma \approx 4$ ให้ $\mathrm{R_{sat}} \approx 0.02$ ตรงกับข้อมูล

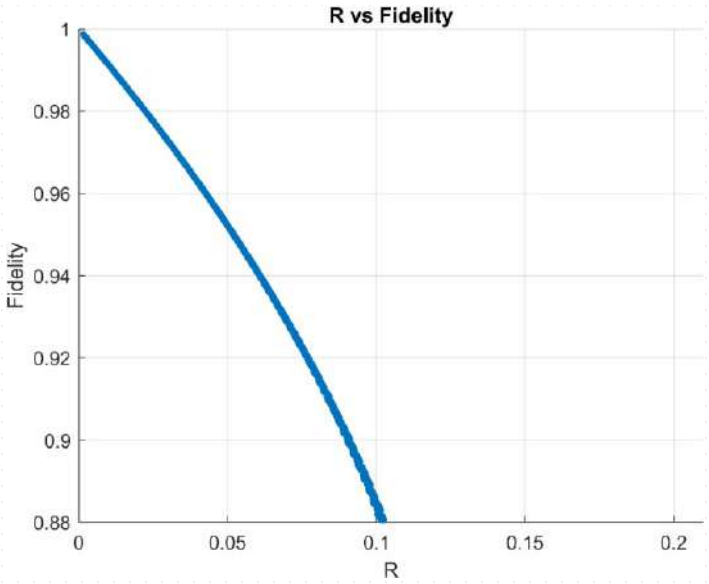
3) ความหมายของคอนทัวร์ r

คอนทัวร์ $r = 0.5, 1.0, 1.5$ มีลักษณะไฮเพอร์โบลิก $P_p \propto 1/L_{eff}$ ตามที่คาดหมายจากนิยามของ r การที่บริเวณสีแดงเข้มทั้งหมดอยู่ทางขวาของ $r = 0.5$ แสดงว่าเมื่อเข้าสู่ระบอบ $r > 0.5$ แล้ว การเพิ่ม P_p หรือ L ต่อไปไม่ได้เพิ่ม R อย่างมีนัยสำคัญอีก แต่เป็นการแลกเปลี่ยนระหว่างทรัพยากร (พลังงานปั๊มและความยาว) เพื่อรักษาค่า r ให้คงที่ นี่คือ สภาวะได้อย่างเสียอย่างเชิงออกแบบ ที่สำคัญสามารถเลือกใช้ไฟเบอร์สั้น 20 m กับ $P_p \approx 10$ W ($r = 1.5$) หรือไฟเบอร์ยาว 400 m กับ $P_p \approx 0.6$ W ($r = 0.5$) แล้วได้ R เท่ากันที่ 0.20

4) ขีดจำกัดเชิงพื้นฐาน

การอิ่มตัวที่ $R = 0.20$ ไม่ใช่ข้อจำกัดเชิงตัวเลขของการคำนวณ แต่เป็นขีดจำกัดเชิงฟิสิกส์ของแพลตฟอร์มไฟเบอร์ซิลิกาที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งมีอัตราส่วนการขยายรามาน ต่อความไม่เป็นเชิงเส้นแบบเคอร์ $g_R/\gamma \approx 0.1 - 0.2$ ผลนี้บ่งชี้ว่าหากไม่มีการลดการการกระเจิงแบบรามานชนิดเหนี่ยวด้วยตัวเอง (เช่น การทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 77 K การใช้ปั๊มแสงแบบลูกคลื่นเดี่ยวเพื่อลดการ เปิดทำงานหรือการเปลี่ยนไปใช้ไฟเบอร์ชนิดคริสตัลโฟโตนิกที่ออกแบบให้ห่างจากยอดของรามาน จะไม่สามารถเพิ่ม R เกิน 0.2 ได้ ไม่ว่าจะเพิ่ม P_p หรือ L มากเพียงใด

โดยสรุป แผนที่ความทนทาน เผยให้เห็นภาพรวมสองมิติของการแข่งขันระหว่างกระบวนการอาพันธ์ (FWM) ซึ่งควบคุมโดยพารามิเตอร์ไร้มิติ r และกระบวนการไม่อาพันธ์ (Raman) ซึ่งควบคุมโดยผลคูณ $P_p L_{eff}$ ขอบเขตการทำงานที่เหมาะสมที่สุดไม่ได้อยู่ที่ r สูงสุด แต่อยู่บนเส้นขอบ $r \approx 0.5$ ซึ่งเป็นจุดที่อัตราการสร้างคู่โฟตอนเริ่มมีอิทธิพลเหนือสัญญาณรบกวน แต่ยังไม่ถูกกลบโดยการสะสมของรามาน ความเข้าใจนี้เป็นพื้นฐานสำหรับการออกแบบแหล่งกำเนิดโฟตอนพัวพันที่มีประสิทธิภาพสูงภายใต้ข้อจำกัดของวัสดุจริง



รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์เชิงฟังก์ชันระหว่างค่าความทนทาน (Robustness, R) และค่าความเที่ยงตรงในการรักษาสัญญาณ (Fidelity, F) ของสถานะโฟตอนพัวพันที่สร้างจากกระบวนการผสมสี่คลื่น (FWM) ในช่วงพารามิเตอร์ $0 \leq \mathrm{R} \leq 0.1$ ผลการจำลองแสดงแนวโน้มแบบทางเดียวลดลงอย่างชัดเจน โดยมีลักษณะโค้งเว้าลง (concave downward)

1) ความสัมพันธ์เชิงทฤษฎี

สำหรับสถานะผสมที่สามารถประมาณได้ด้วยแบบจำลองคล้ายกับของเวอร์เนอร์ (Werner-like)

$$\rho = (1-p)\,|\Phi^+\rangle\langle\Phi^+| + p\frac{I}{4} \tag{17}$$

โดยที่ p คือ สัดส่วนของสัญญาณรบกวนเชิงแสงขาว ความสัมพันธ์ระหว่าง R และ F สามารถเขียนได้เป็น

$$F = \langle\Phi^+|\rho|\Phi^+\rangle = 1 - \frac{3p}{4}, \quad R = \frac{\max(0,1-2p)}{2} \tag{18}$$

การกำจัดตัวแปร p ให้

$$F(R) = 1 - \frac{3}{2}R + \mathcal{O}(R^2) \tag{19}$$

ซึ่งอธิบายความชันเริ่มต้นที่สังเกตได้จากกราฟที่ $R = 0$, $F = 1$ ตรงกับสถานะบริสุทธิ์ $|\Phi^+\rangle$ ที่ $R = 0.1$, แบบจำลองทำนาย $F \approx 0.85$ ซึ่งใกล้เคียงกับค่า $F \approx 0.88$ ที่ได้จากการจำลอง ความแตกต่างเล็กน้อย ($\Delta F \approx 0.03$) บ่งชี้ว่า สัญญาณรบกวนในระบบจริงไม่ใช่สัญญาณรบกวนเชิงแสงขาวบริสุทธิ์ แต่มีองค์ประกอบของสัญญาณรบกวนแบบมีสี (colored noise) ที่ความแรงไม่เท่ากันทุกความถี่จากการกระเจิงรามานด้วยตัวเองซึ่งมีสหสัมพันธ์ทางโพลาไรเซชันบางส่วน

2) ความหมายทางฟิสิกส์ของการลดลง

การลดลงของ F เมื่อ R เพิ่มขึ้นสะท้อนถึงกลไกพื้นฐานของการสร้างพัวพันในระบบ FWM การเพิ่มอัตราการเกิดคู่โฟตอน (ซึ่งเพิ่ม R) จำเป็นต้องเพิ่มกำลังปั๊ม P_p หรือความยาว L ซึ่งในเวลาเดียวกันก็เพิ่มอัตราการเกิดโฟตอนแบบรามานแบบไม่พัวพันด้วยเช่นกัน เนื่องจากรามานเป็นกระบวนการเชิงเส้นต่อ $P_p L_{eff}$ ในขณะที่ FWM เป็นกระบวนการกำลังสองต่อพารามิเตอร์การบีบอัด r ในช่วง $r < 1$

ความโค้งเว้าลงของกราฟ ($\partial^2 F / \partial R^2 < 0$) แสดงว่า อัตราการสูญเสียค่า F ที่รุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อพยายามฝืนเพิ่มความทนทาน R ให้กับระบบในสภาวะการขยายสัญญาณสูงมากในช่วง $R < 0.05$ การเพิ่มค่า R ขึ้น 0.01 ทำให้ F ลดลงประมาณ 0.01 แต่ในช่วง $\mathrm{R} > 0.08$, การเพิ่ม R เท่ากันทำให้ F ลดลงถึง 0.02 นี่คือหลักฐานเชิงปริมาณของการสูญเสียความสอดคล้องเชิงควอนตัมอันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนที่เร่งขึ้นเมื่อระบบเข้าสู่ย่านการขยายสัญญาณสูงมาก

3) ขีดจำกัดการทำงาน

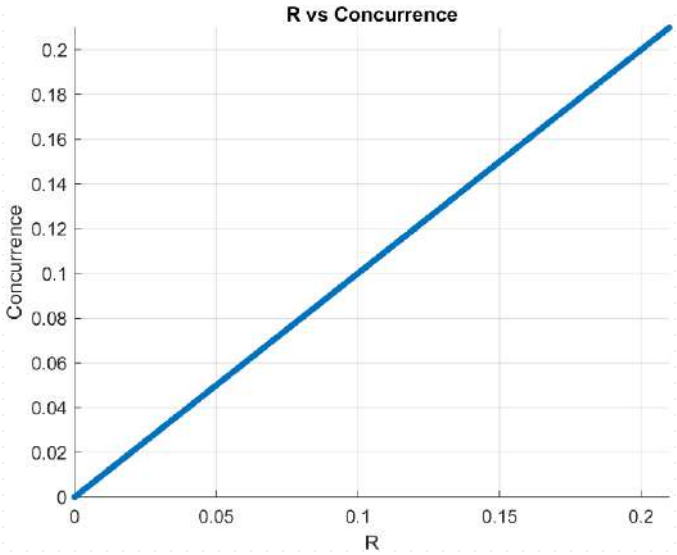
การที่กราฟสิ้นสุดที่ $R = 0.1, F = 0.88$ สอดคล้องกับผลจากแผนที่ความทนทานก่อนหน้านี้ ซึ่งแสดงการอิ่มตัวที่ $R_{max} \approx 0.20$ สำหรับพารามิเตอร์ที่ใช้ ค่า $F = 0.88$ ที่ $R = 0.1$ ยังคงสูงกว่าค่าขีดเริ่มของการฝ่าฝืนอสมการของเบลล์ ($F > 0.78$ สำหรับ สถานะเวอร์เนอร์) และสูงกว่าค่าขีดเริ่มของการสื่อสารทางไกลเชิงควอนตัม ($F > 2/3$) แสดงว่าแม้ในสภาวะที่ความทนทานสูงสุดที่เข้าถึงได้ สถานะยังคงมีประโยชน์เชิงควอนตัม

อย่างไรก็ตามการลดลงของ F ถึง 12% ที่ $R = 0.1$ บ่งชี้ว่าไม่สามารถเพิ่มอัตราการผลิตโฟตอนพัวพัน (brightness) โดยไม่เสียสละคุณภาพของพัวพันได้ นี่คือพื้นฐานการประนีประนอมระหว่างแหล่งกำเนิดที่ให้คู่พัวพันได้ต่อวินาที (หรือ brightness) และความเที่ยงตรงของสัญญาณในแหล่งกำเนิดที่ใช้ $\chi^{(3)}$ ในวัสดุที่มี อัตราการขยายแบบรามานสูง เช่น ซิลิกา

4) นัยสำคัญต่อการประยุกต์ใช้

สำหรับโปรโตคอลที่ต้องการความเที่ยงตรงของสัญญาณสูง เช่น การแจกจ่ายกุญแจควอนตัม แบบใช้โฟตอนการพัวพัน หรือการทดสอบอสมการของเบลล์แบบปิดช่องโหว่ครบ ผลการจำลองแนะนำให้ทำงานที่ $R < 0.03$ ซึ่งให้ $F > 0.96$ แม้ว่าจะได้อัตราการนับต่ำกว่า แต่คุณภาพของพัวพันสูงพอที่จะปิดช่องโหว่การตรวจจับได้ ในทางตรงกันข้าม สำหรับการประยุกต์ที่ต้องการฟลักซ์สูง เช่น การสร้างภาพด้วยสถานะควอนตัมโดยใช้โฟตอนคู่พัวพันสามารถยอมรับ $R \approx 0.08 - 0.10$ ที่ $F \approx 0.90$ เพื่อเพิ่มอัตราการเกิดคู่ได้ประมาณ 3 เท่า

โดยสรุป ความสัมพันธ์ $F(R)$ ที่ลดลงแบบเชิงเดี่ยวเป็นการยืนยันเชิงทดลอง (ผ่านการจำลอง) ว่าความทนทานที่นิยามจากทฤษฎีทรัพยากร สะท้อนถึงการเสื่อมของความบริสุทธิ์ของสถานะอย่างแท้จริง ความโค้งของกราฟให้ข้อมูลเชิงปริมาณเกี่ยวกับอัตราส่วนระหว่างกระบวนการอาพันธ์และไม่อาพันธ์ ในระบบFWMและกำหนดขอบเขตการทำงานที่เหมาะสมที่สุดระหว่างความทนทานต่อการสูญเสียและความเที่ยงตรงของสถานะพัวพัน



รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนทาน (Robustness, R) ซึ่งนิยามตามทฤษฎีทรัพยากรความพัวพัน (entanglement resource theory) กับค่า ตัวชี้วัดระดับความพัวพันทางควอนตัม (C) ซึ่งเป็นมาตรวัดความพัวพันเชิงปริมาณแบบมาตรฐานของ Wootters สำหรับสถานะสองคิวบิตที่สร้างจากกระบวนการผสมสี่คลื่น (FWM) ผลการจำลองในช่วง $0 \leq R \leq 0.21$ แสดงความเป็นเชิงเส้นอย่างสมบูรณ์ ($C \propto R$) ด้วยความชันใกล้เคียงหนึ่ง

1) ความสอดคล้องเชิงทฤษฎี

สำหรับสถานะผสมที่อยู่ในรูปแบบ ความคล้ายเวอร์เนอร์ ซึ่งเกิดขึ้นโดยธรรมชาติในระบบ FWM ที่มีการปนเปื้อนของการกระเจิงรามานด้วยตัวเอง

$$\rho = (1-p)\,|\Phi^+\rangle\langle\Phi^+| + p\frac{I}{4}$$

ทฤษฎีให้

$$C = \max\left(0, \frac{3(1-p)-1}{2}\right), \quad R = \frac{\max(0,1-2p)}{2} \tag{20}$$

ในขอบเขตที่ $p < 0.5$ (ซึ่งครอบคลุมช่วงข้อมูลทั้งหมด) ความสัมพันธ์ลดรูปเป็น

$$C(R) = 2R$$

อย่างไรก็ตาม กราฟที่ได้แสดง $C \approx 1.02R$ (จากจุด $R = 0.1$, $C \approx 0.102$ และ $R = 0.21$, $C \approx 0.215$) ซึ่งใกล้เคียงกับ $C = R$ มากกว่า $C = 2R$ ความแตกต่างนี้บ่งชี้ว่าแบบจำลองที่ใช้ในการจำลองไม่ใช่สถานะแบบเวอร์เนอร์ (Werner state) บริสุทธิ์ แต่เป็นสถานะที่มีสัญญาณรบกวนแบบมิโครงสร้าง ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของการกระเจิงรามานในไฟเบอร์ที่รักษาโพลาไรเซชันบางส่วนไว้ ทำให้ มิติยังผลของสัญญาณรบกวนต่ำกว่า 4

2) ความหมายทางฟิสิกส์ของความเป็นเชิงเส้น

ความเป็นเชิงเส้นที่สมบูรณ์ ($\partial C / \partial R \approx$ คงที่) มีนัยสำคัญสองประการ

(ก) Robustness เป็นตัวแทนโดยตรงของความพัวพัน ในระบบนี้ R ไม่ได้เป็นเพียงขอบเขตทางคณิตศาสตร์ แต่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณความพัวพันที่วัดได้จริง การเพิ่ม R จาก 0.05 เป็น 0.10 ทำให้ดัชนีชี้วัดความพัวพันเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า (จาก 0.05 เป็น 0.10) แสดงว่า ทรัพยากรที่ใช้ในการเพิ่ม R (เช่น การเพิ่ม $P_p L_{eff}$) ถูกแปลงเป็นความพัวพันอย่างมีประสิทธิภาพคงที่ โดยไม่มีการอิ่มตัวในช่วงที่ศึกษา

(ข) ไม่มีการเปลี่ยนเฟสของการพัวพัน หากระบบมีการเปลี่ยนจากสถานะบริสุทธิ์ไปสู่สถานะพัวพันแบบถูกผูกมัด หรือ การแยกออกอย่างฉับพลัน กราฟจะแสดงจุดหักหรือการอิ่มตัวที่ $C = 0$ การที่เส้นตรงผ่านจุดกำเนิดโดยไม่มีค่าขีดเริ่มที่ $R > 0$ ยืนยันว่าแม้ที่ R ต่ำมาก ($R \approx 0.01$) สถานะยังคงมีความพัวพันที่ไม่เป็นศูนย์ ($C \approx 0.01$) ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีที่ว่า SpFWM สร้างสถานะสุญญากาศแบบบีบอัด ซึ่งมีความพัวพันแม้ในขีดจำกัดการขยายต่ำ

3) ขีดจำกัดและข้อจำกัดของระบบ

ค่า $C_{max} \approx 0.215$ ที่ $R_{max} \approx 0.21$ ต่ำกว่าค่าสูงสุดทางทฤษฎี ($C = 1$) อย่างมาก สะท้อนถึงข้อจำกัดเชิงพื้นฐานที่พบใน Robustness Map ก่อนหน้า ซึ่งการอิ่มตัวของ R ที่ 0.20 เกิดจากการแข่งขันกับสัญญาณรบกวนราม่าน ความสัมพันธ์เชิงเส้นบ่งชี้ว่า หากสามารถลดสัญญาณรบกวน (เช่น ลดอุณหภูมิเหลือ 4 K เพื่อลดประชากรโฟนอน) และเพิ่ม R เป็น 0.5 ตามทฤษฎี จะได้ $C \approx 0.5$ ด้วยสัดส่วนเดียวกัน

4) นัยต่อการวัดเชิงทดลอง

ความเป็นเชิงเส้นทำให้ R สามารถใช้เป็น proxy ที่เชื่อถือได้สำหรับ C ในการทดลองจริง ซึ่งการวัดดัชนีการพัวพันโดยตรงต้องใช้หลักการของการทำโทโมกราฟีสถานะควอนตัม (quantum state tomography) แบบเต็ม (จำนวน 16 ชุดการวัดตามระดับขนาดของเมตริกความหนาแน่น 4x4) ในขณะที่ R สามารถประมาณได้จากการวัดความชัดของริ้วการแทรกสอด (visibility) ของ Hong-Ou-Mandel dip หรือพารามิเตอร์ของเบลล์ (Bell's parameter S) เพียงอย่างเดียว ผลนี้จึงมีประโยชน์เชิงปฏิบัติอย่างมากสำหรับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแหล่งกำเนิดแบบเวลาจริง

โดยสรุป ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความทนทาน และดัชนีชี้วัดความพัวพัน ยืนยันว่า ในระบบ FWM ที่มีการปนเปื้อนของสัญญาณจากการกระเจิงรามานแบบที่ศึกษา ทั้งสองปริมาณเป็นมาตรวัดที่เทียบเท่ากันในเชิงปฏิบัติ การเพิ่มขึ้นของ R สะท้อนถึงการเพิ่มขึ้นของความพัวพันที่แท้จริงแบบสัดส่วนโดยตรง โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงเชิงคุณภาพของสถานะในช่วงพารามิเตอร์ที่เข้าถึงได้ ผลนี้สนับสนุนการใช้ความทนทานเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพ หลักสำหรับการออกแบบแหล่งกำเนิดโฟตอนพัวพันในไฟเบอร์

4. บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองและวิเคราะห์เชิงตัวเลขของความทนทานของความพัวพันของคู่โฟตอน (Entanglement Robustness, R) เกิดขึ้นในระบบการผสมคลื่นสี่คลื่นด้วยตัวเอง (spontaneous four-wave mixing, SpFWM) ภายใต้การมีอยู่ของโฟนอนจากการกระเจิงแบบรามาน (spontaneous Raman scattering, SpRS) โดยใช้พารามิเตอร์ของไฟเบอร์ซิลิกา

มาตรฐาน ($\gamma = 2$ W^{-1} km^{-1}, $\alpha = 0.2$ dB/km) แสดงให้เห็นว่า ความทนทานของความพัวพันในแหล่งกำเนิด FWM ไม่ได้ถูกกำหนดโดยพารามิเตอร์การบีบอัด r เพียงอย่างเดียว แต่เป็นผลลัพธ์ของการแข่งขันสามทางระหว่าง (1) การขยายสัญญาณพาราเมตริกซ์ (parametric gain) ซึ่งแปรผันตรงกับ $\sinh^2 r$, (2) สัญญาณรบกวนรามาน ($\propto P_p L$), และ (3) การสูญเสียความทนทานเชิงเส้น (linear loss) การออกแบบที่เหมาะสมที่สุดจึงไม่ได้อยู่ที่กำลังสูงสุดหรือความยาวสูงสุด แต่อยู่บนเส้นโค้ง $r \approx 0.5 - 1.0$ ซึ่งเป็นจุดสมดุลที่ให้ $R_{max} \approx 0.20 - 0.26$, $C \approx 0.20 - 0.26$ และ $F \approx 0.88 - 0.90$

ผลการศึกษานี้กำหนดกรอบการออกแบบเชิงปฏิบัติ สำหรับการประยุกต์ที่ต้องการความเที่ยงตรง (fidelity) สูง (เช่น การกระจายกุญแจเชิงควอนตัม QKD, การสื่อสารระยะไกลเชิงควอนตัม quantum teleportation) ควรทำงานที่ $R < 0.03$ ($P_p < 1$ W, $L \approx 300$ m) เพื่อให้ได้ $F > 0.96$ สำหรับการประยุกต์ที่ต้องการฟลักซ์ โฟตอนสถานะพัวพันสูง สามารถใช้จุดทำงานที่สอง ($P_p = 2.14$ W, $L = 350$ m) เพื่อให้ได้ R สูงสุดโดยยอมรับ F ที่ลดลง การทำความเข้าใจการประนีประนอม ที่เกิดขึ้นนี้เป็นพื้นฐานสำคัญในการพัฒนาแหล่งกำเนิดโฟตอนพัวพันรุ่นต่อไปที่ใช้ไฟเบอร์แบบลดการกระเจิงแบบรามานได้หรือทำงานที่อุณหภูมิต่ำ

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนโปรแกรมการจำลองทางคณิตศาสตร์

6. เอกสารอ้างอิง

[1] da Silva, W. F., Lima, J. L. S., Filho, A. F. G. F., Nóbrega, K. Z., Freire, M. M., & Sombra, A. S. B. (2026). Generation of photon pairs in time-lapse entangled quantum states by spontaneous four-wave mixing in nonlinear fiber-optic ring resonators. Optics Communications, 611, 133125. doi.org/10.1016/j.optcom.2026.133125

[2] Takesue, H., & Inoue, K. (2005). Generation of polarization-entangled photon pairs and violation of Bell's inequality using spontaneous four-wave mixing in a fiber loop. Physical Review A, 71(4), 041801. doi.org/10.1103/PhysRevA.70.031802

[3] Vidal, G., & Tarrach, R. (1999). Robustness of entanglement, Physical Review A, 59(1), 141–155. doi.org/10.1103/PhysRevA.59.141

[4] Agrawal, G. P. (2019), Nonlinear fiber optics (6th ed.), Academic Press.

[5] Lin, Q., Yaman, F., & Agrawal, G. P. (2007). Photon-pair generation in optical fibers through four-wave mixing: Role of Raman scattering and pump polarization. Physical Review A, 75(2), 023803. doi.org/10.1103/PhysRevA.75.023803

[6] Wootters, W. K. (1998). Entanglement of formation of an arbitrary state of two qubits. Physical Review Letters, 80(10), 2245–2248. doi.org/10.1103/PhysRevLett.80.2245

ออฟฟิศซินโดรม : ภาวะเสี่ยง ระดับความรุนแรงของอาการนิ้วล็อกและกำลังกล้ามเนื้อมือในพนักงานออฟฟิศ

Office Syndrome : Trigger Finger Risk, Symptom Severity, and Hand Grip Strength among Office Workers

กาญจนา ปินตาคำ[1*] ธนพนธ์ คำเที่ยง[1] วารุณี พันธ์วงศ์[1] และ สัณพิชญ์ พิมูลชาติ[1]

[1]สาขาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
*E-mail: em_karnjanar_p@crru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยเชิงพรรณนาภาคตัดขวางนี้ มีมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาภาวะเสี่ยง ระดับความรุนแรงของอาการนิ้วล็อกและกำลังกล้ามเนื้อมือในพนักงานออฟฟิศ กลุ่มตัวอย่าง คือ พนักงานออฟฟิศของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายจำนวน 229 คน ทำการสุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ เครื่องมือที่ใช้ประกอบด้วยแบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคล แบบประเมินภาวะเสี่ยงและระดับความรุนแรงของอาการนิ้วล็อก และเครื่องวัดแรงบีบมือ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัย พบว่า พนักงานออฟฟิศมีภาวะเสี่ยงของอาการนิ้วล็อกร้อยละ 56.55 ส่วนใหญ่อยู่ในระยะที่ 2 (ร้อยละ 29.52) โดยนิ้วกลางมีภาวะเสี่ยงสูงที่สุดทั้งมือขวา (ร้อยละ 74.67) และมือซ้าย (ร้อยละ 72.05) สำหรับระดับความรุนแรงของอาการนิ้วล็อก ส่วนใหญ่พบอาการเล็กน้อย (ร้อยละ 37.47) ด้านกำลังกล้ามเนื้อมือ พบว่าเพศชายมีสัดส่วนผู้ที่มีกำลังกล้ามเนื้อมืออยู่ในเกณฑ์ดีและดีมาก สูงกว่าเพศหญิงทั้งมือขวา (ร้อยละ 58.06 และ 44.86) และมือซ้าย (ร้อยละ 53.76 และ 34.56) ขณะที่เพศหญิง มีสัดส่วนของผู้ที่มีกำลังกล้ามเนื้อมือซ้ายอยู่ในเกณฑ์ต่ำและต่ำมากสูงที่สุด (ร้อยละ 35.30) ผลการศึกษาสะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นในการเฝ้าระวังสุขภาพมือและการดำเนินมาตรการด้านการยศาสตร์อย่างต่อเนื่อง เพื่อป้องกันอาการนิ้วล็อกในพนักงานออฟฟิศ

คำสำคัญ ภาวะเสี่ยงอาการนิ้วล็อค กำลังกล้ามเนื้อมือ พนักงานออฟฟิศ ออฟฟิศซินโดรม

Abstract

This cross-sectional study aimed to assess the risk of trigger finger, the severity of trigger finger symptoms, and hand grip strength among office workers. A total of 229 office workers participated in Chiang Rai Rajabhat University selected by stratified random sampling. Data were collected using a demographic questionnaire, a trigger finger risk and symptom severity assessment questionnaire, and a hand grip dynamometer. Data were analyzed using descriptive statistics, including frequency, percentage, mean, and standard deviation. The results showed that 56.55% of office workers were at risk of trigger finger, with Stage 2 being the most common risk level (29.52%). The middle finger showed the highest risk in both the right hand (74.67%) and the left hand (72.05%). Mild symptoms were the most common level of trigger finger severity (37.47%). Male participants had a higher proportion of good and excellent hand grip strength than female participants in both the right hand (58.06% & 44.86%) and the left hand (53.76% & 34.56%), whereas female participants had the highest proportion of poor and very poor grip strength in the left hand (35.30%). These findings highlight the need for continuous hand health surveillance and ergonomic measures to prevent trigger finger among office workers.

Keywords: Trigger finger risk, Hand grip strength, Office workers, Office syndrome

1. บทนำ

ในยุคดิจิทัล คอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อรูปแบบการทำงานของพนักงานออฟฟิศ ส่งผลให้ลักษณะงานส่วนใหญ่ต้องปฏิบัติงานอยู่หน้าจอคอมพิวเตอร์เป็นระยะเวลานาน รวมถึงมีการเคลื่อนไหวของนิ้วมือ ข้อมือ และมือในลักษณะซ้ำ ๆ จากการใช้แป้นพิมพ์ เมาส์ และอุปกรณ์สื่อสารอิเล็กทรอนิกส์อย่างต่อเนื่อง พฤติกรรมการทำงานดังกล่าวจัดเป็นปัจจัยเสี่ยงด้านการยศาสตร์ ที่อาจส่งผลต่อความผิดปกติของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อจากการทำงาน โดยเฉพาะบริเวณมือและข้อมือ เนื่องจากการใช้งานกล้ามเนื้อ เส้นเอ็น และข้อต่อซ้ำเป็นเวลานานอาจทำให้เกิดแรงกด แรงเสียดสี และการสะสมของความล้า จนนำไปสู่ความผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและเส้นเอ็นได้ [1] ความผิดปกติของระบบเส้นเอ็นบริเวณมือที่อาจพบร่วมกับการใช้งานมือซ้ำ ๆ เป็นเวลานาน คือ อาการนิ้วล็อก (Trigger Finger) ซึ่งเกิดจากการอักเสบและการหนาตัวของปลอกหุ้มเส้นเอ็นงอนิ้ว ส่งผลให้เส้นเอ็นไม่สามารถเคลื่อนผ่านปลอกเอ็นได้อย่างราบรื่น ทำให้เกิดอาการปวดบริเวณโคนนิ้ว นิ้วสะดุด และนิ้วติดล็อก โดยระดับความรุนแรงสามารถแบ่งได้ 4 ระยะ ตั้งแต่ระยะเริ่มต้นที่มีอาการปวดหรือไม่สบายบริเวณนิ้ว จนถึงระยะที่นิ้วอยู่ในท่างอและไม่สามารถเหยียดกลับได้เอง [2] ภาวะนิ้วล็อกพบประมาณร้อยละ 2–3 ของประชากรทั่วไป และมีแนวโน้มพบได้มากขึ้นในกลุ่มบุคคลที่มีการใช้มือทำงานซ้ำ ๆ เป็นระยะเวลานาน โดยเฉพาะผู้ที่ปฏิบัติงานสำนักงานซึ่งต้องใช้คอมพิวเตอร์เป็นประจำ [3]

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดอาการนิ้วล็อกมีหลายประการ ได้แก่ อายุที่เพิ่มขึ้น เพศหญิง ภาวะอ้วน โรคเบาหวาน โรคข้ออักเสบรูมาตอยด์ และความผิดปกติของต่อมไทรอยด์ [4] จากการศึกษาของKahan et al. พบว่าภาวะอ้วนมีความสัมพันธ์กับความเสี่ยงต่อการเกิดอาการนิ้วล็อกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ [5] เมื่ออาการมีความรุนแรงมากขึ้น อาจส่งผลให้เกิดข้อจำกัดในการเคลื่อนไหวของนิ้วมือ ความสามารถในการหยิบจับและกำสิ่งของลดลง ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการปฏิบัติงานและคุณภาพชีวิตของผู้ปฏิบัติงาน [3] นอกจากการประเมินอาการผิดปกติของมือแล้ว การประเมินสมรรถภาพกล้ามเนื้อมือด้วยการวัดแรงบีบมือ ถือเป็นตัวชี้วัดสำคัญที่สะท้อนความสามารถในการทำงานของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกบริเวณมือ เนื่องจากเกี่ยวข้องกับการทำงานร่วมกันของกล้ามเนื้อ เส้นเอ็น และข้อต่อ รวมถึงความสามารถในการกำและหยิบจับสิ่งของ จึงได้รับการยอมรับว่าเป็นเครื่องมือที่สามารถใช้ประเมินสมรรถภาพของมือและเฝ้าระวังความผิดปกติของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อในผู้ปฏิบัติงานได้ [6] สอดคล้องกับการศึกษาของ Putsa ที่รายงานว่าพนักงานออฟฟิศมีความชุกของความผิดปกติของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อจากการทำงานร้อยละ 27.2 ในช่วง 7 วันที่ผ่านมา และร้อยละ 33.3 ในช่วง 12 เดือนที่ผ่านมา ซึ่งสะท้อนว่าการทำงานหน้าคอมพิวเตอร์เป็นเวลานานส่งผลต่อการเกิดอาการปวดและความผิดปกติของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ รวมถึงบริเวณมือและข้อมือ [7]

จากข้อมูลข้างต้น แม้ว่าจะมีการศึกษาปัจจัยเสี่ยงและแนวทางการรักษาอาการนิ้วล็อกอย่างต่อเนื่อง แต่การศึกษาที่ประเมินความเสี่ยงจากการทำงาน ระดับความรุนแรงของอาการนิ้วล็อก และสมรรถภาพกล้ามเนื้อมือร่วมกันในกลุ่มพนักงานสำนักงานของประเทศไทยยังมีจำกัด โดยเฉพาะบุคลากรสายสนับสนุน ในสถาบันอุดมศึกษาซึ่งมีลักษณะงานที่ต้องใช้คอมพิวเตอร์เป็นระยะเวลานาน ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินภาวะเสี่ยง ระดับความรุนแรงของอาการนิ้วล็อก และกำลังกล้ามเนื้อมือในพนักงานออฟฟิศ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการเฝ้าระวังสุขภาพ การกำหนดมาตรการป้องกัน การปรับปรุงสภาพแวดล้อมการทำงานตามหลักการยศาสตร์ และการส่งเสริมสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานให้มีประสิทธิภาพและยั่งยืนต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาภาวะเสี่ยง ระดับความรุนแรงอาการนิ้วล็อก และกำลังกล้ามเนื้อมือในพนักงานออฟฟิศ

3. วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงวิเคราะห์แบบตัดขวาง (Cross-sectional Study) โดยได้รับการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์สาขาสังคมศาสตร์และพฤติกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี เอกสารรับรองเลขที่ 2569/336(17)

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือพนักงานออฟฟิศทั้งหมดของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย จำนวน 535 คน (รายงานสถิติข้อมูลบุคลากร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย, 2567 ข้อมูล ณ วันที่ 15 ตุลาคม พ.ศ. 2567) กลุ่มตัวอย่างในการศึกษา คำนวณหากลุ่มตัวอย่างจากสูตรของทาโรยามาเน่ (Taro Yamane) ได้จำนวนทั้งหมด 229 คน ใช้วิธีการสุ่ม

กลุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ (Stratified Random Sampling) โดยจำแนกออกเป็น 2 กลุ่มย่อย คือ พนักงานสายสนับสนุนจากหน่วยงานจัดการศึกษาและพนักงานสายสนับสนุนหน่วยงานสนับสนุนการจัดการศึกษา และทำการสุ่มเลือกอย่างง่ายจากกลุ่มย่อย 2 กลุ่มตามสัดส่วนของกลุ่มตัวอย่าง โดยมีเกณฑ์การคัดเข้า คัดออกดังนี้

3.2 เกณฑ์การคัดเข้าและคัดออก

เกณฑ์การคัดเข้า คือ

1. พนักงานออฟฟิศที่มีอายุระหว่าง 20-60 ปี
2. พนักงานออฟฟิศที่ทำงานผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ สมาร์ตโฟน โน๊ตบุ๊ก หรือแท็บเล็ตที่มีอายุงานมากกว่า 6 เดือนขึ้นไป
3. พนักงานออฟฟิศ ที่ทำงานผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ สมาร์ตโฟน โน๊ตบุ๊ก หรือแท็บเล็ตต่อเนื่อง มากกว่า 1 ชั่วโมงต่อวัน
4. ยินยอมในการประเมินภาวะเสี่ยงและความรุนแรงของการเกิดอาการนิ้วล็อก

เกณฑ์การคัดออก คือ

1. พนักงานออฟฟิศที่มีประวัติอุบัติเหตุรุนแรงที่มือหรือข้อมือ
2. พนักงานออฟฟิศที่เคยผ่าตัดรักษานิ้วล็อกมาก่อนหรือผู้ป่วยโรคข้ออักเสบรูมาตอยด์

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ ใช้แบบสอบถามและเครื่องวัดแรงบีบมือ (Hand Grip) มีรายละเอียดดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลส่วนบุคคล

ประกอบด้วย เพศ อายุ น้ำหนัก (กิโลกรัม) ส่วนสูง (เซนติเมตร) หน่วยงานสังกัด ระยะเวลาต่อวันในการใช้คอมพิวเตอร์ทำงาน ระยะเวลาต่อวันในการใช้สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตทำงาน ประสบการณ์การทำงานคอมพิวเตอร์สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ต ลักษณะงานที่เกร็งนิ้วมือ โรคประจำตัว การออกกำลังกาย การดื่มแอลกอฮอล์ การสูบบุหรี่ และประสบการณ์การเกิดอาการนิ้วล็อก

ส่วนที่ 2 ระดับภาวะเสี่ยงของอาการนิ้วล็อก

ระดับภาวะเสี่ยงอาการนิ้วล็อกแบ่งออกเป็น 4 ระดับ คือ

ระดับที่ 1 มีอาการปวดเป็นอาการหลัก โดยจะมีอาการปวดบริเวณโคนนิ้วมือ ข้อต่อ กำมือ เหยียดนิ้ว มีอาการฝืด ขัด ตึง และเจ็บ บริเวณข้อนิ้วมือจะมีอาการปวดมากขึ้น ถ้าเอานิ้วกดบริเวณฐานนิ้วมือด้านหน้า แต่ยังไม่มีอาการติดสะดุด

ระดับที่ 2 มีอาการสะดุดเป็นอาการหลัก แต่อาการปวดมักจะเพิ่มมากขึ้น เวลาขยับนิ้วงอกำมือ เหยียดนิ้วแล้วมีเสียงดัง จะมีการสะดุดจนรู้สึกได้แสดงว่ามีเอ็นยึดติดที่ข้อนิ้ว

ระดับที่ 3 มีอาการติดล็อกเป็นอาการหลัก โดยเมื่องอนิ้วลงไปแล้ว จะติดล็อกจนไม่สามารถเหยียดนิ้วออกเองได้ ต้องเอามืออีกข้างมาช่วยแกะ หรือ อาจมีอาการมากขึ้นจนไม่สามารถงอนิ้วลงได้เอง

ระดับที่ 4 มีการอักเสบบวมมาก จนนิ้วบวมติดอยู่ในท่างอเล็กน้อยไม่สามารถเหยียดให้ตรงได้ นิ้วแข็ง งอไม่เข้า ถ้าใช้มือมาช่วยเหยียดจะปวดมาก

ส่วนที่ 3 ระดับความรุนแรงของอาการนิ้วล็อก

ประเมินระดับความรุนแรงของการปวดด้วย numerical ratting scale 0-10 ซึ่งระดับคะแนน 0 คือไม่มีอาการจนกระทั่งระดับคะแนน 10 คืออาการรุนแรง โดยกำหนดค่าดังนี้ [8]

0	หมายถึง	ไม่มีอาการ
1-3	หมายถึง	อาการเล็กน้อย
4-6	หมายถึง	อาการปานกลาง
7-10	หมายถึง	อาการรุนแรง

ส่วนที่ 4 การวัดกำลังของกล้ามเนื้อมือ

ผู้วิจัยใช้เครื่องวัดแรงบีบมือ (Hand grip dynamometer) เพื่อวัดความแข็งแรงของกลุ่มกล้ามเนื้อมือ โดยอุปกรณ์วัดได้ตั้งแต่ 5-100 กิโลกรัม มีวิธีการปฏิบัติดังนี้

1. ใช้มือจับเครื่องวัดให้เหมาะมือที่สุด โดยให้ข้อนิ้วที่สองรับน้ำหนักของเครื่องวัด จับให้ห่างจากลำตัวประมาณ 1 ฝ่ามือ ห้ามนำมาแนบลำตัว

2. ยืนตรงปล่อยแขนห้อยข้างลำตัว และทำการกำมือบีบเครื่องวัดจนสุดแรง ห้ามไม่ให้มือหรือเครื่องวัดถูกร่างกายและไม่อนุญาตให้เหวี่ยงหรือโถมตัวอัด

3. ทำการทดสอบจำนวน 2 ครั้ง โดยเลือกบันทึกผลครั้งที่ดีที่สุด ผลการวัดหน่วยเป็นกิโลกรัม ค่าที่ได้นำมาหารด้วยน้ำหนักตัวหน่วยเป็นกิโลกรัม แล้วนำมาเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานรายการแรงบีบมือ (กิโลกรัมต่อน้ำหนักตัว) ซึ่งแบ่งออกเป็นเพศหญิงและเพศชาย เทียบกับอายุในแต่ละช่วงและกำหนดเกณฑ์มาตรฐาน ต่ำมาก ต่ำ ปานกลาง ดี และดีมาก ตามเกณฑ์มาตรฐานรายการแรงบีบมือ ของกรมพลศึกษา กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา [9]

3.4 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

การศึกษาวิจัยนี้ ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

1. ผู้วิจัยนำแบบประเมินและแบบสอบถามให้ผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน พิจารณาตรวจสอบความตรงของเนื้อหา (Content validity) ความครอบคลุม ความชัดเจน ความเหมาะสมของภาษาที่ใช้ ความเหมาะสมต่าง ๆ แล้วนำไปหาดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและวัตถุประสงค์ (Item-Objective Congruence Index: IOC) อยู่ในช่วง 0.67 -1

2. ผู้วิจัยนำแบบสอบถามที่ได้รับการปรับแก้ไขจากผู้เชี่ยวชาญไปทดลองใช้กับพนักงานออฟฟิศที่ใช้คอมพิวเตอร์ หน่วยงานจัดการศึกษามหาวิทยาลัยอื่นในพื้นที่จังหวัดเชียงราย จำนวน 30 คน วิเคราะห์หาค่าความเที่ยง (Reliability) คือ 0.98

3. ติดต่อประสานงานและทำหนังสือไปยังหน่วยงานต่าง ๆ ในหน่วยงานของมหาวิทยาลัย

4. รวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามพนักงานที่ใช้คอมพิวเตอร์ทำงานตามเกณฑ์คัดเข้า คัดออก จำนวน 229 คน

5. ใช้เครื่องวัดแรงบีบมือ (Hand Grip) เพื่อวัดความแข็งแรงของกลุ่มกล้ามเนื้อมือและแขน จำนวน 229 คน

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ข้อมูลส่วนบุคคล วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติความถี่ (Frequency) ร้อยละ (Percent) ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

2. การประเมินภาวะเสี่ยงอาการนิ้วล็อกและระดับความรุนแรงของการปวดอาการนิ้วล็อกจากโรคออฟฟิศซินโดรม วิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้สถิติร้อยละ (Percent) ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

3. การประเมินความแข็งแรงของกลุ่มกล้ามเนื้อมือและแขน วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติความถี่ (Frequency) ร้อยละ (Percent) ค่าเฉลี่ย (Mean)

4. ผลการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาภาวะเสี่ยง ระดับความรุนแรงของอาการนิ้วล็อก และกำลังกล้ามเนื้อมือในพนักงานออฟฟิศ ผลการศึกษามีดังนี้

ข้อมูลส่วนบุคคล

พนักงานออฟฟิศส่วนใหญ่เป็นเพศหญิงจำนวน 136 คน (ร้อยละ 59.39) และเพศชาย จำนวน 93 คน (ร้อยละ 40.61) มีอายุระหว่าง 25-59 ปี อายุเฉลี่ย 37.52 ปี ดัชนีมวลกายอยู่ระหว่าง 16.00–38.00 กก./ม² มีค่าเฉลี่ย 23.46 กก./ม² ส่วนใหญ่สังกัดกองคลัง ใช้คอมพิวเตอร์ทำงานเฉลี่ย 5.78 ชั่วโมงต่อวัน และใช้สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตเพื่อการทำงานเฉลี่ย 3.26 ชั่วโมงต่อวัน มีประสบการณ์การใช้คอมพิวเตอร์ สมาร์ตโฟน หรือแท็บเล็ตในการทำงานเฉลี่ย 16 ปี ลักษณะงานส่วนใหญ่ต้องเกร็งนิ้วมือ คิดเป็นร้อยละ 96.72 ส่วนใหญ่ไม่มีโรคประจำตัว จำนวน 164 คน (ร้อยละ 71.61) ออกกำลังกาย จำนวน 172 (ร้อยละ 75.11) ไม่ดื่มแอลกอฮอล์ จำนวน 156 (ร้อยละ 68.12) ไม่สูบบุหรี่ จำนวน 198 (ร้อยละ 86.46) และมีประสบการณ์การเกิดอาการนิ้วล็อกจำนวน 129 คน (ร้อยละ 56.33)

ภาวะเสี่ยงของอาการนิ้วล็อก

ผลการวิเคราะห์ภาวะเสี่ยงของอาการนิ้วล็อกของพนักงานออฟฟิต จำนวน 229 คน ตามตารางที่ 1 พบว่า โดยภาพรวมพบผู้มีภาวะเสี่ยงอาการนิ้วล็อก 1,295 นิ้ว (ร้อยละ 56.55) มากกว่ากลุ่มที่ไม่มีอาการ 995 นิ้ว (ร้อยละ 43.45)

โดยส่วนใหญ่อยู่ในระยะที่ 2 จำนวน 676 นิ้ว (ร้อยละ 29.52) รองลงมาคือระยะที่ 1 จำนวน 542 นิ้ว (ร้อยละ 23.67) และระยะที่ 3 จำนวน 77 นิ้ว (ร้อยละ 3.36) เมื่อพิจารณารายตำแหน่งพบว่า นิ้วกลางมือขวา มีภาวะเสี่ยงสูงที่สุด จำนวน 171 นิ้ว (ร้อยละ 74.67) รองลงมาคือ นิ้วกลางมือซ้าย จำนวน 165 นิ้ว (ร้อยละ 72.05)

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ภาวะเสี่ยงของอาการนิ้วล็อก (n=229)

ตำแหน่งนิ้วมือ	ภาวะเสี่ยงอาการนิ้วล็อก									
	ไม่มีอาการ		ระยะที่ 1		ระยะที่ 2		ระยะที่ 3		รวมระยะที่ 1-3	
	จำนวน (n)	ร้อยละ (%)	จำนวน (n)	ร้อยละ (%)	จำนวน (n)	ร้อยละ (%)	จำนวน (n)	ร้อยละ (%)	จำนวน (n)	ร้อยละ (%)
มือขวา										
นิ้วหัวแม่มือขวา	99	43.23%	66	28.82%	58	25.33%	6	2.62%	130	56.77%
นิ้วชี้ขวา	84	36.68%	57	24.89%	76	33.19%	12	5.24%	145	63.32%
นิ้วกลางขวา	58	25.33%	70	30.57%	87	37.99%	14	6.11%	171	74.67%
นิ้วนางขวา	111	48.47%	45	19.65%	64	27.95%	9	3.93%	118	51.53%
นิ้วก้อยขวา	116	50.66%	49	21.40%	62	27.07%	2	0.87%	113	49.34%
มือซ้าย										
นิ้วหัวแม่มือซ้าย	133	58.08%	43	18.78%	49	21.40%	4	1.75%	96	41.92%
นิ้วชี้ซ้าย	97	42.36%	51	22.27%	71	31.00%	10	4.37%	132	57.64%
นิ้วกลางซ้าย	64	27.95%	68	29.69%	85	37.12%	12	5.24%	165	72.05%
นิ้วนางซ้าย	106	46.29%	51	22.27%	65	28.38%	7	3.06%	123	53.71%
นิ้วก้อยซ้าย	127	55.46%	42	18.34%	59	25.76%	1	0.44%	102	44.54%
รวมทุกตำแหน่ง	995	43.45%	542	23.67%	676	29.52%	77	3.36%	1,295	56.55%

ระดับความรุนแรงอาการนิ้วล็อก

ผลการวิเคราะห์ระดับความรุนแรงอาการนิ้วล็อกของพนักงานออฟฟิศ จำนวน 229 คน ตามตารางที่ 2 พบว่า โดยภาพรวมกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ไม่มีอาการปวดนิ้วล็อก จำนวน 995 นิ้ว (ร้อยละ 43.45) รองลงมาคืออาการเล็กน้อย จำนวน 858 นิ้ว (ร้อยละ 37.47) อาการปานกลาง จำนวน 399 นิ้ว (ร้อยละ 17.42) และอาการค่อนข้างรุนแรงถึงรุนแรง จำนวน 38 นิ้ว (ร้อยละ 1.66) เมื่อพิจารณารายตำแหน่งพบว่า นิ้วกลางของมือขวา มีสัดส่วนของผู้ที่มีอาการปานกลางถึงรุนแรงสูงที่สุด (70 นิ้ว, ร้อยละ 30.57) รองลงมาคือ นิ้วกลางของมือซ้าย (61 นิ้ว, ร้อยละ 26.64) และ นิ้วชี้ของมือขวา (63 นิ้ว, ร้อยละ 27.51)

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ระดับความรุนแรงของการอาการนิ้วล็อก (n=229)

ตำแหน่งนิ้วมือ	ไม่มีอาการ (0) n (%)	เล็กน้อย (1–3) n (%)	ปานกลาง (4-6) n (%)	รุนแรง (7-10) n (%
มือขวา				
นิ้วหัวแม่มือ	99 (43.23)	98 (42.80)	30 (13.11)	2 (0.87)
นิ้วชี้	84 (36.68)	82 (35.81)	58 (25.33)	5 (2.18)
นิ้วกลาง	58 (25.33)	101 (44.10)	63 (27.51)	7 (3.06)
นิ้วนาง	111 (48.47)	68 (29.69)	45 (19.65)	5 (2.18)
นิ้วก้อย	116 (50.66)	88 (38.43)	25 (10.92)	0 (0.00)

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ระดับความรุนแรงของการอาการนิ้วล็อก (n=229)

ตำแหน่งนิ้วมือ	ไม่มีอาการ (0) n (%)	เล็กน้อย (1–3) n (%)	ปานกลาง (4-6) n (%)	รุนแรง (7-10) n (%
มือซ้าย				
นิ้วหัวแม่มือ	133 (58.08)	75 (32.75)	19 (8.30)	2 (0.87)
นิ้วชี้	97 (42.36)	79 (34.50)	50 (21.83)	3 (1.31)
นิ้วกลาง	64 (27.95)	104 (45.41)	55 (24.02)	6 (2.62)
นิ้วนาง	106 (46.29)	82 (35.81)	34 (14.85)	7 (3.06)
นิ้วก้อย	127 (55.46)	81 (35.37)	20 (8.73)	1 (0.44)

กำลังกล้ามเนื้อมือ

ผลการวิเคราะห์กำลังกล้ามเนื้อของพนักงานออฟฟิต จำนวน 229 คน ตามตารางที่ 3 พบว่า เพศชายมีกำลังกล้ามเนื้อมืออยู่ในเกณฑ์ดีและดีมากรวมกันมากกว่ากึ่งหนึ่งของกลุ่มตัวอย่าง ทั้งมือขวา 54 คน (ร้อยละ 58.06) และมือซ้าย 50 คน (ร้อยละ 53.76) ขณะที่เพศหญิงมีผู้ที่อยู่ในเกณฑ์ดีและดีมากของมือขวา 61 คน (ร้อยละ 44.86) และมือซ้าย 47 คน (ร้อยละ 34.56) โดยเพศหญิงมีผู้ที่อยู่ในเกณฑ์ต่ำและต่ำมากของมือซ้ายสูงที่สุด จำนวน 48 คน (ร้อยละ 35.30)

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์กำลังกล้ามเนื้อมือ (n=229)

เกณฑ์มาตรฐาน	เพศชาย (n=93)				เพศหญิง (n=136)			
	มือขวา		มือซ้าย		มือขวา		มือซ้าย	
	จำนวน (n)	ร้อยละ (%)	จำนวน (n)	ร้อยละ (%)	จำนวน (n)	ร้อยละ (%)	จำนวน (n)	ร้อยละ (%)
ดีมาก	16	17.20	14	15.05	18	13.24	8	5.88
ดี	38	40.86	36	38.71	43	31.62	39	28.68
ปานกลาง	24	25.81	22	23.66	32	23.53	41	30.15
ต่ำ	10	10.75	11	11.83	27	19.85	30	22.06
ต่ำมาก	5	5.38	10	10.75	16	11.76	18	13.24
รวม	**93**	**100**	**186**	**100**	**136**	**100**	**272**	**100**

5. บทสรุปและอภิปรายผล

ภาวะเสี่ยงของอาการนิ้วล็อก พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีภาวะเสี่ยงต่อการเกิดอาการนิ้วล็อก โดยพบความเสี่ยงอยู่ในระยะที่ 2 มากที่สุด รองลงมาคือระยะที่ 1 และระยะที่ 3 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาตามตำแหน่งของนิ้วมือ พบว่านิ้วกลางของทั้งสองมือมีสัดส่วนของภาวะเสี่ยงสูงที่สุด โดยเฉพาะนิ้วกลางขวา รองลงมาคือนิ้วกลางซ้าย นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างมือทั้งสองข้าง พบว่ามือขวามีสัดส่วนของผู้ที่มีภาวะเสี่ยงสูงกว่ามือซ้ายในทุกตำแหน่งของนิ้วมือ ซึ่งอาจสัมพันธ์กับลักษณะการทำงานของกลุ่มตัวอย่างที่ส่วนใหญ่มีความถนัดมือขวา และมีการใช้มือขวาเป็นหลักในการควบคุมเมาส์ การคลิก การลากวัตถุบนหน้าจอ รวมถึงการใช้อุปกรณ์สำนักงานต่าง ๆ ร่วมกับการพิมพ์แป้นพิมพ์เป็นระยะเวลานาน ส่งผลให้กล้ามเนื้อเส้นเอ็น และปลอกหุ้มเส้นเอ็นบริเวณนิ้วมือได้รับแรงกดและแรงเสียดทานซ้ำ ๆ จนนำไปสู่การสะสมของความล้าและเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดความผิดปกติของเส้นเอ็นงอนิ้ว [10] การพบภาวะเสี่ยงบริเวณนิ้วกลางสูงกว่านิ้วตำแหน่งอื่น อาจอธิบายได้จากบทบาทของนิ้วกลางที่มีส่วนสำคัญในการทำงานร่วมกับนิ้วชี้และนิ้วหัวแม่มือในกิจกรรมที่ต้องอาศัยความแม่นยำและการควบคุม เช่น การพิมพ์ การกดแป้นพิมพ์ และการควบคุมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ เป็นต้น การใช้งานดังกล่าวอาจทำให้เกิดแรงดึงและแรงเสียดทานบริเวณเส้นเอ็นงอนิ้วและปลอกหุ้มเส้นเอ็นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในลักษณะงานสำนักงานที่มีการเคลื่อนไหวซ้ำเดิมเป็นเวลานาน สอดคล้องกับหลักการยศาสตร์ที่ระบุว่า การทำงานที่มีการเคลื่อนไหวซ้ำ ๆ การออกแรงด้วยมืออย่างต่อเนื่อง และการคงท่าทางเดิมเป็นระยะเวลานาน เป็นปัจจัยสำคัญที่เพิ่มความเสี่ยงต่อความผิดปกติของระบบ

กล้ามเนื้อและเส้นเอ็นบริเวณมือและข้อมือ [11] สำหรับความแตกต่างระหว่างมือขวาและมือซ้าย พบว่ามือขวามีภาวะเสี่ยงสูงกว่าในทุกตำแหน่งของนิ้วมือ ซึ่งอาจเกิดจากอิทธิพลของความถนัดของมือ เนื่องจากบุคคลส่วนใหญ่มักใช้มือข้างถนัดในการทำกิจกรรมที่ต้องการความแม่นยำ การควบคุมแรง และการใช้งานต่อเนื่อง ส่งผลให้มือข้างดังกล่าวได้รับภาระทางกลมากกว่าอีกข้างหนึ่ง ดังนั้น พนักงานออฟฟิศที่มีลักษณะงานใช้คอมพิวเตอร์เป็นเวลานานควรได้รับการประเมินความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ของมือและนิ้วมืออย่างสม่ำเสมอ รวมถึงส่งเสริมมาตรการป้องกัน ได้แก่ การปรับท่าทางการทำงาน การจัดวางอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ให้เหมาะสม การพักใช้งานมือเป็นระยะ และการบริหารยืดเหยียดกล้ามเนื้อและเส้นเอ็นมือ เพื่อช่วยลดการสะสมของความล้าและป้องกันการเกิดอาการนิ้วล็อกในกลุ่มพนักงานออฟฟิศ

ระดับความรุนแรงของอาการนิ้วล็อก พบว่า ระดับความรุนแรงของอาการปวดที่สัมพันธ์กับภาวะนิ้วล็อกของกลุ่มตัวอย่างมีคะแนนสูงสุดเท่ากับ 8 จากคะแนนเต็ม 10 ตามแบบประเมิน Numerical Rating Scale (NRS) โดยพบว่ามือขวามีสัดส่วนของระดับความเจ็บปวดตั้งแต่ปานกลางขึ้นไป (คะแนนตั้งแต่ 4 คะแนนขึ้นไป) สูงกว่ามือซ้ายในทุกตำแหน่งของนิ้วมือ โดยเฉพาะบริเวณนิ้วกลางขวาและนิ้วชี้ขวา ผลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าบริเวณนิ้วกลางและนิ้วชี้ของมือขวาเป็นตำแหน่งที่ควรได้รับการเฝ้าระวัง เนื่องจากเป็นนิ้วที่มีบทบาทสำคัญในการควบคุมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์และกิจกรรมที่ต้องอาศัยความละเอียดของการเคลื่อนไหวมืออย่างต่อเนื่อง ผลการศึกษานี้อาจอธิบายได้จากลักษณะการใช้งานมือข้างถนัดของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผู้ถนัดมือขวา ทำให้มือขวามีโอกาสได้รับภาระงานมากกว่า โดยเฉพาะการใช้งานเมาส์ การคลิก การลาก การเลื่อนหน้าจอ และการควบคุมอุปกรณ์สำนักงานต่าง ๆ การทำงานในลักษณะดังกล่าวเป็นการเคลื่อนไหวซ้ำ ๆ และมีการเกร็งกล้ามเนื้อเฉพาะส่วนอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดแรงกดและแรงเสียดสีสะสมบริเวณเส้นเอ็นงอนิ้วและปลอกหุ้มเส้นเอ็น ซึ่งอาจนำไปสู่กระบวนการอักเสบ การหนาตัวของปลอกหุ้มเส้นเอ็น และทำให้เกิดอาการปวดหรือนิ้วติดล็อกได้ [12] การที่พบระดับความเจ็บปวดสูงบริเวณนิ้วกลางขวาและนิ้วชี้ขวา อาจสัมพันธ์กับรูปแบบการใช้งานคอมพิวเตอร์ โดยนิ้วชี้มีบทบาทหลักในการควบคุมเมาส์และการสั่งงานผ่านการคลิก ขณะที่นิ้วกลางมีส่วนช่วยในการควบคุมตำแหน่งและการทรงตัวของมือขณะใช้งานเมาส์ รวมถึงการหยิบจับอุปกรณ์ต่าง ๆ ส่งผลให้เส้นเอ็นและกล้ามเนื้อบริเวณนิ้วดังกล่าวได้รับภาระซ้ำอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ ภาวะนิ้วล็อกมีสาเหตุสำคัญจากการเปลี่ยนแปลงบริเวณเส้นเอ็นงอนิ้วและปลอกหุ้มเส้นเอ็น ซึ่งสัมพันธ์กับการอักเสบและการเสียดสีจากการใช้งานมือซ้ำ ๆ [13] นอกจากนี้ การพบคะแนนความเจ็บปวดสูงสุดถึงระดับ 8 สะท้อนให้เห็นว่า แม้ว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่จะมีอาการอยู่ในระดับไม่มีอาการถึงเล็กน้อย แต่ยังมีกลุ่มที่มีอาการรุนแรงซึ่งอาจส่งผลต่อความสามารถในการหยิบจับ การกำ และการเคลื่อนไหวของนิ้วมือในการปฏิบัติงาน หากไม่ได้รับการจัดการตั้งแต่ระยะเริ่มต้น อาจส่งผลต่อสมรรถภาพการใช้งานมือและประสิทธิภาพการทำงานในอนาคต สอดคล้องกับการศึกษาที่พบว่าระดับความปวดและข้อจำกัดในการใช้งานมือเป็นปัจจัยสำคัญที่สัมพันธ์กับผลลัพธ์ด้านการทำงานของมือในผู้ที่มีภาวะนิ้วล็อก [14] ผลการศึกษาสะท้อนให้เห็นว่า นิ้วกลางและนิ้วชี้ โดยเฉพาะมือขวาเป็นตำแหน่งที่ควรได้รับการติดตามและป้องกันในกลุ่มพนักงานออฟฟิศที่ใช้คอมพิวเตอร์เป็นเวลานาน โดยควรส่งเสริมมาตรการด้านการยศาสตร์ ได้แก่ การจัดตำแหน่งเมาส์และแป้นพิมพ์ให้เหมาะสม การลดการทำงานซ้ำในลักษณะเดิม การพักมือระหว่างการปฏิบัติงาน และการบริหารยืดเหยียดกล้ามเนื้อและเส้นเอ็นมือ เพื่อช่วยลดภาระทางกลและป้องกันการเพิ่มความรุนแรงของอาการ

กำลังกล้ามเนื้อ พบว่า เพศชายส่วนใหญ่มีกำลังกล้ามเนื้อมือทั้งข้างขวาและข้างซ้ายอยู่ในเกณฑ์ดีและดีมาก ขณะที่เพศหญิงมีสัดส่วนของผู้ที่มีกำลังกล้ามเนื้อมืออยู่ในเกณฑ์ต่ำและต่ำมาก มากกว่าเพศชายทั้งสองข้าง โดยเฉพาะมือซ้ายของเพศหญิงที่พบสัดส่วนของผู้ที่มีกำลังกล้ามเนื้ออยู่ในระดับต่ำและต่ำมาก สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มอื่น ผลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงความแตกต่างของสมรรถภาพกล้ามเนื้อมือระหว่างเพศ ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับปัจจัยทางสรีรวิทยา โดยทั่วไปเพศชายมีมวลกล้ามเนื้อ พื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อ และความสามารถในการสร้างแรงหดตัวของกล้ามเนื้อมากกว่าเพศหญิง ส่งผลให้มีค่ากำลังบีบมือสูงกว่าในหลายช่วงอายุ [15] การวัดแรงบีบมือ (hand grip strength) เป็นตัวชี้วัดที่ได้รับการยอมรับในการประเมินสมรรถภาพของระบบกล้ามเนื้อและกระดูก เนื่องจากสะท้อนความสามารถในการทำงานร่วมกันของกล้ามเนื้อ เส้นเอ็น และข้อต่อบริเวณมือ รวมถึงสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน สำหรับการเฝ้าระวังความผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกในกลุ่มวัยทำงาน นอกจากนี้ ผลการศึกษา พบว่า มือขวามีกำลังกล้ามเนื้อสูงกว่ามือซ้าย ทั้งในเพศชายและเพศหญิง ซึ่งอาจสัมพันธ์กับลักษณะความถนัดของมือ (hand dominance) เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีความถนัดมือขวา และมีการใช้มือขวาในการปฏิบัติกิจกรรมที่ต้องอาศัยความแม่นยำและการควบคุม เช่น การใช้เมาส์ การพิมพ์ การเขียน และการหยิบจับอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นต้น ส่งผลให้มือข้างถนัดอาจมีสมรรถภาพกล้ามเนื้อสูงกว่ามือข้างไม่ถนัด สอดคล้องกับการศึกษาของ [6] Pau et al. (2024) ที่รายงานว่าค่ากำลังบีบมือของมือข้างถนัดมีแนวโน้มสูงกว่ามือข้างไม่ถนัดในประชากรวัยผู้ใหญ่

อย่างไรก็ตาม แม้ว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่จะมีกำลังกล้ามเนื้อมืออยู่ในระดับดี แต่การพบกลุ่มที่มีกำลังกล้ามเนื้อมือต่ำโดยเฉพาะเพศหญิงและมือซ้าย อาจสะท้อนถึงความจำเป็นในการเฝ้าระวังสมรรถภาพของมือในกลุ่มพนักงานออฟฟิศที่ต้องใช้มือทำงานซ้ำเป็นระยะเวลานาน กำลังกล้ามเนื้อมือที่ลดลงอาจส่งผลต่อความสามารถในการรองรับภาระงานของระบบมือและเพิ่มโอกาสเกิดความล้าของกล้ามเนื้อและเส้นเอ็นเมื่อมีการใช้งานต่อเนื่อง แม้ว่ากำลังกล้ามเนื้อมือจะไม่ใช่ปัจจัยโดยตรงที่ทำให้เกิดอาการนิ้วล็อก แต่เป็นตัวชี้วัดหนึ่งที่สะท้อนสภาวะสมรรถภาพของมือ ซึ่งมีความสำคัญต่อการป้องกันความผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกจากการทำงาน [16] ผลการศึกษาสะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของการส่งเสริมสมรรถภาพมือและการจัดการด้านการยศาสตร์ในพนักงานออฟฟิศ โดยเฉพาะกลุ่มที่มีกำลังกล้ามเนื้อมือต่ำ ควรมีมาตรการส่งเสริมสุขภาพมือ ได้แก่ การปรับสถานีงานให้เหมาะสม การจัดช่วงพักระหว่างการใช้งานคอมพิวเตอร์ การบริหารยืดเหยียดกล้ามเนื้อและเส้นเอ็นมือ รวมถึงกิจกรรมเสริมสร้างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมือ เพื่อช่วยลดความเสี่ยงต่อความผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกจากการทำงานในระยะยาว

6. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้บริหารมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย บุคลากรสายสนับสนุนที่ให้ความร่วมมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล และนักศึกษาสาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัยที่ร่วมลงพื้นที่ภายใต้การบูรณาการการเรียนการสอนในรายวิชาการยศาสตร์ จนการวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ถนอมศักดิ์ ปิณิดา, คำเสือ ผกามาศ, ปารีย์ มะลิวัลย์, และ พลนรัตน์ สุวศิน. (2566). การศึกษาองค์ความรู้ในการรักษาโรคนิ้วล็อกที่ปรากฏในตำราการแพทย์แผนไทย. *วารสารการบริหารการปกครองและนวัตกรรมท้องถิ่น*. 7(1),17–34.

[2] คัญฑมารา สิทธิไกรพงษ์ และคณะ. (2564). ประสิทธิผลเบื้องต้นของการนวดไทยแบบราชสำนักในการรักษาโรคนิ้วล็อก: การศึกษานำร่อง. *วารสารการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก.* 19(1) : 189-199

[3] Jeanmonod R, Tiwari V, Waseem M. (2024). Trigger Finger. [Updated 2024 Feb 5]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2026 Jan-. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK459310/

[4] Villarreal Acha D, Zaidi Z, Mohamed A, Peters V, Wahid M, Sajjad SA, Kargel J. (2025). Clinical Review of Trigger Finger in Pediatric and Adult Patients: Evaluation and Management Strategies. *Cureus*. 17(8), 1-9.

[5] Kahan R, Enthoven L, Garoosi K, Higinbotham S, Pflug EM, Lauder A. (2026). Is Obesity a Risk Factor for Developing Trigger Finger? A Case-Control Analysis of 198 804 Patients. *Hand (N Y).* 21(4):587-594.

[6] Pau, M., et al. (2024). Handgrip strength in health applications: A review of the measurement methodologies and influencing factors. *Sensors*. 24(16), 5100. https://doi.org/10.3390/s2416

[7] Putsa, N. (2021). Prevalence of work-related musculoskeletal disorders, pain in different body areas, and stress level in office workers. *Thai Journal of Ergonomics*. 4(2). https://he01.tci-thaijo.org/index.php/TJE/article/view/253117

[8] Ferraz MB, Quaresma MR, Aquino LR, et al. Reliability of pain scales in the assessment of literate and illiterate patients with rheumatoid arthritis. *J Rheumatol*. 1990;17(8):1022–1024.

[9] กรมพลศึกษา กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา. (2563). คู่มือแบบทดสอบและเกณฑ์มาตรฐานสมรรถภาพทางกายของเด็ก เยาวชน และประชาชนไทย. สำนักวิทยาศาสตร์การกีฬา กรมพลศึกษา กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา.

[10] Khalil, A., et al. (2024). Identifying non-genetic factors associated with trigger finger. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*. 90, 15–22

[11] Govaerts, R., Tassignon, B., Ghijsels, G., & Verbeke, S. (2023). The association between computer work-related ergonomic risk factors and musculoskeletal symptoms among office workers: A systematic review. *Applied Ergonomics*. 110, 103999.

[12] Guggenheim, L., Kang, Y., Furniss, D., & Wiberg, A. (2024). Identifying non-genetic factors associated with trigger finger. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*. 94, 91–97

[13] StatPearls Publishing. (2024). Trigger finger. In StatPearls. National Center for Biotechnology Information.

[14] Holm, B., Rönnelid, J., Baecklund, E., & Wiig, M. (2024). Trigger finger – Poor outcome of surgery associated with younger age, pain, psoriatic arthritis and atopic disease. Upsala Journal of Medical Sciences, 129, Article 10361. https://doi.org/10.48101/ujms.v129.10361

[15] Roberts, H. C., Syddall, H. E., Dodds, R. M., & Cooper, C. (2024). Grip strength measurement in clinical and epidemiological studies: Updated review. *Age and Ageing*. 53(1), https://doi.org/10.1093/ageing/afad229

[16] Bohannon, R. W. (2023). Grip strength: An indispensable biomarker for older adults. *Clinical Interventions in Aging*. 18, 1301–1312. https://doi.org/10.2147/CIA.S405937

ระบบบริหารงานศูนย์ศึกษาพระพุทธศาสนาวันอาทิตย์ วัดทางหลวง
Administrative System for the Sunday Buddhist Study Center, Wat Thang Luang

นริศรา นาคเมธี[1]* สุพรรษา วิชาชัย[1] อรจิรา แสงปรีชา[1] และ ปวริศร์ เจริญพัฒนศิริ[1]

[1]สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
*E-mail: narisara.n@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบบริหารงานศูนย์ศึกษาพระพุทธศาสนาวันอาทิตย์ วัดทางหลวง จังหวัดนนทบุรี ในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน ระบบดังกล่าวพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาการจัดเก็บข้อมูลของศูนย์ศึกษาฯ ที่เดิมอยู่ในรูปแบบเอกสาร ไม่เป็นระบบ และเสี่ยงต่อการสูญหาย โดยดำเนินการตามวงจรชีวิตการพัฒนาระบบ (System Development Life Cycle: SDLC) แบบ Waterfall เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา ได้แก่ ภาษาพีเอชพี (PHP) ระบบจัดการฐานข้อมูลมายเอสคิวแอล (MySQL) และจาวาสคริปต์ (JavaScript) ระบบครอบคลุมการจัดการข้อมูลนักเรียนและบุคลากร การเผยแพร่ข่าวสารและกิจกรรม การลงทะเบียนเรียนออนไลน์ การจัดการการบริจาค และระบบถาม–ตอบอัตโนมัติ (Chatbot) รองรับการแสดงผลบนอุปกรณ์พกพา ผลการทดสอบประสิทธิภาพพบว่าฟังก์ชันการทำงานทั้ง 14 รายการสามารถทำงานได้ถูกต้องครบถ้วนตามที่ออกแบบไว้ และผลการประเมินความพึงพอใจจากกลุ่มตัวอย่าง 20 คน พบว่าความพึงพอใจด้านการใช้งานเว็บไซต์อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.64, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.53) และด้านการออกแบบและโครงสร้างเว็บไซต์อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.56, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.58) แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจริงและตอบสนองความต้องการของศูนย์ศึกษาพระพุทธศาสนาวันอาทิตย์ วัดทางหลวง ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ระบบสารสนเทศ ศูนย์ศึกษาพระพุทธศาสนาวันอาทิตย์ เว็บแอปพลิเคชัน

Abstract

This research aims to develop a web application for the administrative management system of the Sunday Buddhist Study Center, Wat Thang Luang, Nonthaburi Province. The system was developed to address the center's data management problems, which were previously recorded in document form, lacked systematic organization, and were at risk of being lost. The system development process followed the System Development Life Cycle (SDLC), specifically the Waterfall model, and was implemented using PHP, MySQL, and JavaScript. The system encompasses student and staff data management, news and activity announcements, online course registration, donation management, and an automated chatbot for question–answering, with support for display on mobile devices. Functional testing results indicated that all 14 functions operated correctly and completely according to the design specifications. Furthermore, a satisfaction assessment conducted with a sample of 20 users revealed that satisfaction with website usability was at a high level (mean = 4.64, SD = 0.53), while satisfaction with website design and structure was also at a high level (mean = 4.56, SD = 0.58). These findings demonstrate that the system can be practically implemented and effectively meets the needs of the Sunday Buddhist Study Center, Wat Thang Luang.

Keywords: Information System; Sunday Buddhist Study Center; Web Application

1. บทนำ

ศูนย์ศึกษาพระพุทธศาสนาวันอาทิตย์ (ศพอ.) วัดทางหลวง ตำบลบางเขน อำเภอเมืองนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี เป็นศูนย์กลางของชุมชนวัดทางหลวงและชุมชนใกล้เคียงในการเผยแพร่ความรู้ด้านพระพุทธศาสนาให้กับเยาวชน มีการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนหลากหลายด้าน ทั้งด้านพระพุทธศาสนา ด้านวิชาการ และด้านศิลปวัฒนธรรมไทย เพื่อส่งเสริมพัฒนาการและการเรียนรู้ที่เหมาะสมกับวัยของผู้เรียน รวมทั้งสอดแทรกกิจกรรมศิลปะและประเพณีวัฒนธรรมเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์วัฒนธรรมไทย ให้ผู้เรียนมีคุณธรรม จริยธรรม และคุณลักษณะอันพึงประสงค์ตามที่สังคมต้องการ ตลอดจนมีภูมิคุ้มกันในการดำรงชีวิตในสังคมปัจจุบัน

อย่างไรก็ตาม การดำเนินงานของศูนย์ศึกษาฯ ที่ผ่านมามีการจัดเก็บข้อมูลสารสนเทศจำนวนมากในหลายหมวดหมู่ อาทิ ประวัติผู้เรียน บัญชีลงเวลาการมาเรียน สถิติการมาเรียน ข่าวสาร และภาพกิจกรรมที่ศูนย์ศึกษาฯ จัดขึ้นหรือเข้าร่วมกับหน่วยงานภายในและภายนอก โดยข้อมูลเหล่านี้ส่วนใหญ่จัดเก็บในรูปแบบเอกสาร ขาดการจัดหมวดหมู่อย่างเป็นระบบ และข้อมูลบางส่วนสูญหาย ส่งผลให้เกิดความไม่สะดวกและความล่าช้าในการสืบค้นและนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ ทั้งยังเพิ่มภาระงานด้านเอกสารแก่บุคลากรของศูนย์ศึกษาฯ อันประกอบด้วยพระอาจารย์และอาสาสมัคร นอกจากนี้ ช่องทางการติดต่อสอบถามข้อมูลของประชาชนยังต้องอาศัยเจ้าหน้าที่เป็นผู้ตอบโดยตรง ซึ่งในบางช่วงเวลามีปริมาณคำถามจำนวนมากจนเจ้าหน้าที่ไม่สามารถให้คำตอบได้ทันท่วงที

จากปัญหาดังกล่าว คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาระบบบริหารงานศูนย์ศึกษาพระพุทธศาสนาวันอาทิตย์ วัดทางหลวง ในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อจัดเก็บข้อมูลต่าง ๆ ให้เป็นระบบ สามารถเรียกใช้งานได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ อำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งานทุกกลุ่ม ทั้งนักเรียน ผู้ปกครอง บุคคลทั่วไป และผู้ดูแลระบบ พร้อมทั้งนำระบบถาม–ตอบอัตโนมัติ (Chatbot) มาใช้ตอบคำถามที่พบบ่อยแบบอัตโนมัติโดยไม่ต้องรอเจ้าหน้าที่ เพื่อยกระดับการให้บริการข้อมูลของศูนย์ศึกษาฯ ให้มีความทันสมัย รองรับการใช้งานบนอุปกรณ์พกพา และตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานในปัจจุบัน

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาระบบบริหารงานศูนย์ศึกษาพระพุทธศาสนาวันอาทิตย์ วัดทางหลวง ในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน

2.2 เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบบริหารงานศูนย์ศึกษาพระพุทธศาสนาวันอาทิตย์ วัดทางหลวง

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิดการบริหารศูนย์ศึกษาพระพุทธศาสนาวันอาทิตย์

การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการศูนย์ศึกษาพระพุทธศาสนาวันอาทิตย์มีรากฐานจากความต้องการยกระดับประสิทธิภาพการดำเนินงานให้สอดคล้องกับยุคดิจิทัล โดยกรอบแนวคิดสำคัญในการบริหารศูนย์ศึกษาพระพุทธศาสนาวันอาทิตย์ ที่มีประสิทธิภาพขับเคลื่อนด้วยแนวคิดสำคัญ 3 ประการ ได้แก่ (1) ทฤษฎีการเรียนรู้แนวพุทธ (Buddhist Learning Theory) ที่เน้นการพัฒนาผู้เรียนแบบองค์รวมทั้งด้านปัญญา จริยธรรม และการลงมือปฏิบัติตามหลักไตรสิกขา ระบบจึงต้องรองรับการบันทึกและติดตามทั้งผลการเรียนรู้และคุณธรรมจริยธรรมของนักเรียน (2) การจัดการความรู้ (Knowledge Management) โดยระบบทำหน้าที่เป็นคลังความรู้สำหรับรวบรวมสื่อการสอน หลักสูตร และแนวปฏิบัติที่ดีในการสอนและบริหารจัดการ และ (3) การบริหารแบบมีส่วนร่วม (Participatory Management) โดยออกแบบบทบาทผู้ใช้งาน (User Roles) ที่หลากหลายเพื่อให้ทุกฝ่ายสามารถป้อนข้อมูล เข้าถึงข้อมูล และมีส่วนร่วมในการบริหารจัดการตามความรับผิดชอบของตน

3.2 ระบบสารสนเทศและการจัดการฐานข้อมูล

ระบบสารสนเทศ (Information System) ครอบคลุมกระบวนการรวบรวม ประมวลผล จัดเก็บ และเผยแพร่ข้อมูลเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจและการดำเนินงานขององค์กร ตามแนวคิดของ Laudon และ Laudon [1] ระบบสารสนเทศที่สมบูรณ์ประกอบด้วยองค์ประกอบ 5 ส่วนที่ทำงานประสานกัน ได้แก่ บุคลากร (People) ข้อมูล (Data) ซอฟต์แวร์ (Software) ฮาร์ดแวร์ (Hardware) และเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Network) ในด้านการจัดการข้อมูล งานวิจัยนี้เลือกใช้

ฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database) ซึ่งจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบตารางที่เชื่อมโยงกันผ่านคีย์หลัก (Primary Key) และคีย์นอก (Foreign Key) โดยใช้ MySQL ซึ่งเป็นระบบจัดการฐานข้อมูลแบบโอเพนซอร์สที่มีประสิทธิภาพสูงและรองรับคุณสมบัติ ACID ด้านความปลอดภัยของข้อมูล ระบบใช้กลไกการเข้าสู่ระบบ (Login System) ร่วมกับการกำหนดสิทธิ์การเข้าถึงตามบทบาทผู้ใช้ (Role-Based Access Control: RBAC) เพื่อรักษาความลับและความถูกต้องของข้อมูล

3.3 วงจรชีวิตการพัฒนาระบบ (SDLC)

การพัฒนาระบบในงานวิจัยนี้ใช้กระบวนการ SDLC แบบ Waterfall Model ซึ่งเหมาะสมกับโครงการที่มีขอบเขตและความต้องการที่ชัดเจน ประกอบด้วย 6 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ (1) การวางแผนและวิเคราะห์ระบบ (2) การออกแบบระบบ ซึ่งครอบคลุมการออกแบบสถาปัตยกรรม ฐานข้อมูล และแผนภาพความสัมพันธ์เอนทิตี (ER-Diagram) (3) การพัฒนาระบบด้วยภาษา PHP, HTML, CSS, JavaScript เชื่อมต่อกับ MySQL (4) การทดสอบระบบทั้งระดับ Unit Test, Integration Test และ System Test (5) การติดตั้งและนำระบบไปใช้งาน และ (6) การบำรุงรักษาระบบ

3.4 เทคโนโลยีที่ใช้ในการพัฒนาระบบ

เทคโนโลยีหลักที่ใช้ในการพัฒนาแบ่งตามชั้นสถาปัตยกรรม ได้แก่ ชั้นฐานข้อมูล (Database Layer) ใช้ MySQL เป็นศูนย์กลางจัดเก็บข้อมูลนักเรียน ครู ตารางเรียน และผลการเรียน ชั้นประมวลผล (Application Layer) ใช้ภาษา PHP ซึ่งเป็นภาษาสคริปต์ฝั่งเซิร์ฟเวอร์สำหรับประมวลผลตรรกะทางธุรกิจและเป็นตัวกลางรับส่งข้อมูลระหว่างส่วนแสดงผลกับฐานข้อมูล และชั้นแสดงผล (Presentation Layer) ใช้ HTML, CSS และ JavaScript ซึ่งเป็นมาตรฐานเว็บในการสร้างโครงสร้าง รูปแบบ และการโต้ตอบของหน้าเว็บไซต์ นอกจากนี้ยังศึกษาแนวทางการประยุกต์ใช้เฟรมเวิร์กสมัยใหม่ อาทิ Laravel ซึ่งมีโครงสร้างแบบ Model-View-Controller (MVC) และระบบจัดการความปลอดภัยที่แข็งแกร่ง รวมถึง TypeScript และ Next.js สำหรับการพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้ที่รองรับ Server-side Rendering เพื่อรองรับการขยายระบบในอนาคต

3.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิทวัส เพ็ญภู่ และพีรวงศ์ อุปราช [2] พัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารงานบริการวิชาการของสถาบันอุดมศึกษาในลักษณะเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อแก้ปัญหาข้อมูลกระจัดกระจายและยากต่อการสืบค้น ผลการวิจัยพบว่าระบบช่วยลดขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำซ้อน ลดการใช้เอกสารกระดาษ และผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในระดับมาก ซึ่งงานวิจัยนี้ได้นำแนวทางการวิเคราะห์ความต้องการผู้ใช้และการประเมินประสิทธิภาพหลังการพัฒนามาประยุกต์ใช้

ณัฐนันท์ ศูนย์จันดา [3] พัฒนาระบบฐานข้อมูลศิษย์เก่า คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ด้วยภาษา PHP และฐานข้อมูล MySQL ตามแนวคิด SDLC ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานอยู่ในระดับมากถึงมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าการพัฒนาระบบสารสนเทศด้วย PHP และ MySQL มีความเหมาะสมกับหน่วยงานด้านการศึกษาที่ต้องจัดเก็บและบริหารจัดการข้อมูลจำนวนมาก อีกทั้งเป็นเทคโนโลยีที่มีต้นทุนต่ำและพัฒนาต่อยอดได้ งานวิจัยดังกล่าวจึงเป็นฐานเชิงประจักษ์สนับสนุนการเลือกใช้เทคโนโลยีหลักของระบบในงานวิจัยนี้

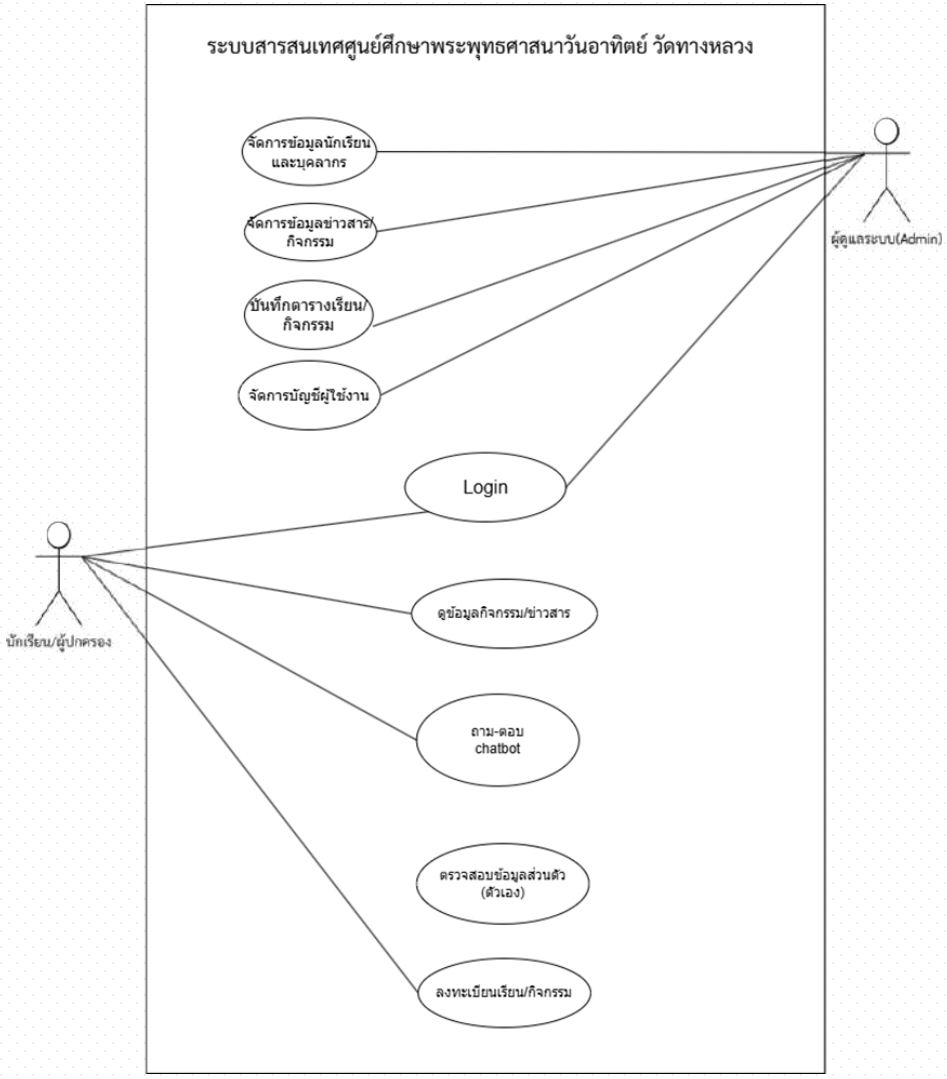
จากแนวคิดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง คณะผู้วิจัยเห็นว่าการออกแบบระบบตามแนวทาง SDLC สามารถช่วยให้พัฒนาระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเพื่อให้การพัฒนาระบบสารสนเทศสอดคล้องกับหลักการบริหารแบบมีส่วนร่วมตามกรอบแนวคิดการบริหารศูนย์ศึกษาพระพุทธศาสนาวันอาทิตย์ คณะผู้วิจัยจึงเลือกการจัดเก็บข้อมูลด้วย MySQL และพัฒนาระบบในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันด้วย PHP เพื่อให้สามารถกำหนดสิทธิ์การใช้งานของกลุ่มผู้ใช้ตามบทบาทหน้าที่ ตลอดจนช่วยลดภาระการจัดการข้อมูลที่เดิมจัดเก็บในรูปแบบเอกสารกระดาษ ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางที่ปรากฏในงานวิจัย [2] และ [3] อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณางานวิจัยที่ผ่านมา คณะผู้วิจัยพบว่ายังไม่ปรากฏการประยุกต์ใช้แนวทางดังกล่าวกับบริบทขององค์กรทางศาสนาในระดับชุมชน อาทิ ศูนย์ศึกษาพระพุทธศาสนาวันอาทิตย์ และยังไม่มีการบูรณาการระบบถาม–ตอบอัตโนมัติเข้ากับระบบบริหารงานในลักษณะดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาระบบเพื่อตอบสนองช่องว่างดังกล่าวข้างต้น

4. วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนหลักตามกระบวนการ SDLC ได้แก่ การศึกษาและวิเคราะห์ความต้องการ การออกแบบระบบ การพัฒนาระบบ การทดสอบระบบ และการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การศึกษาและวิเคราะห์ความต้องการของระบบ

คณะผู้วิจัยศึกษาสภาพปัญหาและกระบวนการทำงานจริงของศูนย์ศึกษาพระพุทธศาสนาวันอาทิตย์ วัดทางหลวง โดยการสัมภาษณ์และเก็บข้อมูลจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ครอบคลุมงานทะเบียนนักเรียน การจัดตารางเรียน การประชาสัมพันธ์กิจกรรม การรับสมัครนักเรียน และการรับบริจาค จากนั้นวิเคราะห์และสรุปเป็นความต้องการเชิงหน้าที่ (Functional Requirements) จำแนกตามกลุ่มผู้ใช้งาน 2 กลุ่มหลัก ได้แก่ (1) ผู้ใช้งานทั่วไป (User) ประกอบด้วยนักเรียน ผู้ปกครอง และบุคคลภายนอก และ (2) ผู้ดูแลระบบ (Admin) ประกอบด้วยพระอาจารย์และทีมงานของวัด แล้วนำมาจัดทำแผนภาพยูสเคส (Use Case Diagram) ซึ่งประกอบด้วยยูสเคสหลัก 9 รายการ ได้แก่ การเข้าสู่ระบบ (Login) การจัดการข้อมูลนักเรียนและบุคลากร การจัดการข้อมูลข่าวสารกิจกรรม การบันทึกตารางเรียน/กิจกรรม การจัดการบัญชีผู้ใช้งาน การดูข้อมูลกิจกรรม/ข่าวสาร การถาม–ตอบผ่าน Chatbot การตรวจสอบข้อมูลส่วนตัว และการลงทะเบียนเรียน/กิจกรรม พร้อมจัดทำคำอธิบายยูสเคส (Use Case Description) ที่ระบุเงื่อนไขเริ่มต้น ขั้นตอนการทำงานหลัก ขั้นตอนกรณีผิดพลาด และประสิทธิภาพที่คาดหมายของแต่ละยูสเคสอย่างละเอียด

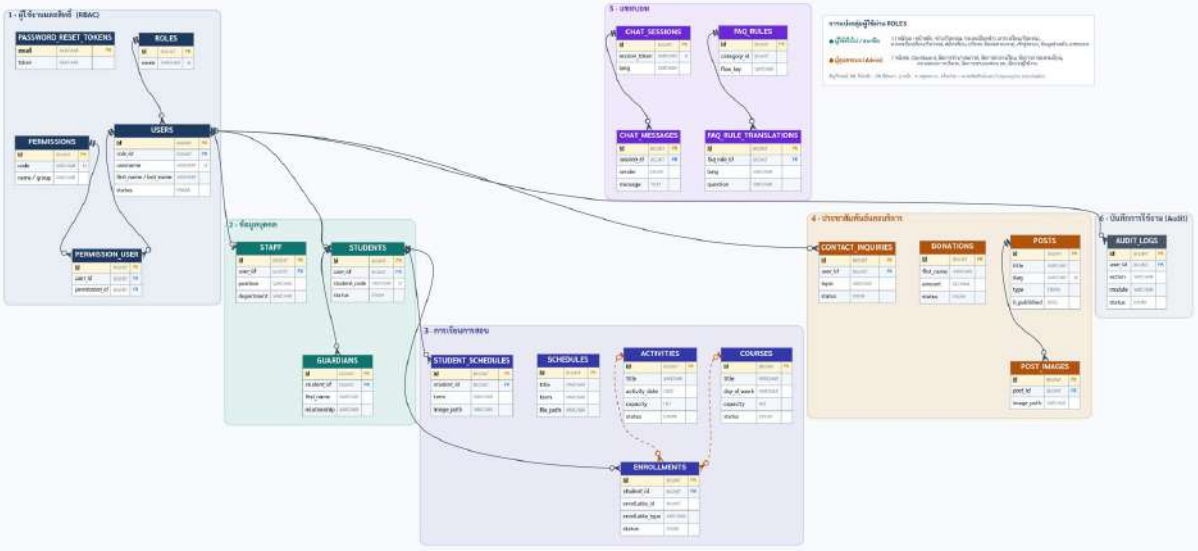


ภาพที่ 1 แผนภาพยูสเคสของระบบบริหารงานศูนย์ศึกษาพระพุทธศาสนาวันอาทิตย์ วัดทางหลวง

4.2 การออกแบบระบบ

การออกแบบกระบวนการทำงานใช้แผนภาพจำลองเชิงกิจกรรม (Activity Diagram) จำนวน 9 แผนภาพ สอดคล้องกับยูสเคสทั้ง 9 รายการ เพื่อแสดงลำดับกิจกรรม ทางเลือก และเงื่อนไขการตัดสินใจระหว่างผู้ใช้งานกับระบบ อาทิ กระบวนการลงทะเบียนที่มีการตรวจสอบจำนวนที่นั่งว่างก่อนบันทึก และกระบวนการจัดการข้อมูลที่มีการตรวจสอบความถูกต้องและความครบถ้วนของข้อมูลก่อนบันทึกลงฐานข้อมูล

การออกแบบฐานข้อมูลใช้แผนภาพความสัมพันธ์เอนทิตี (Entity-Relationship Diagram) และจัดทำพจนานุกรมข้อมูล (Data Dictionary) ครอบคลุมตารางข้อมูลทั้งหมด 22 ตาราง ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 6 กลุ่มตามหน้าที่การทำงาน ดังตารางที่ 1



ภาพที่ 2 แผนภาพความสัมพันธ์เอนทิตีของระบบบริหารงานศูนย์ศึกษาพระพุทธศาสนาวันอาทิตย์ วัดทางหลวง

ตารางที่ 1 การจำแนกกลุ่มตารางฐานข้อมูลของระบบ

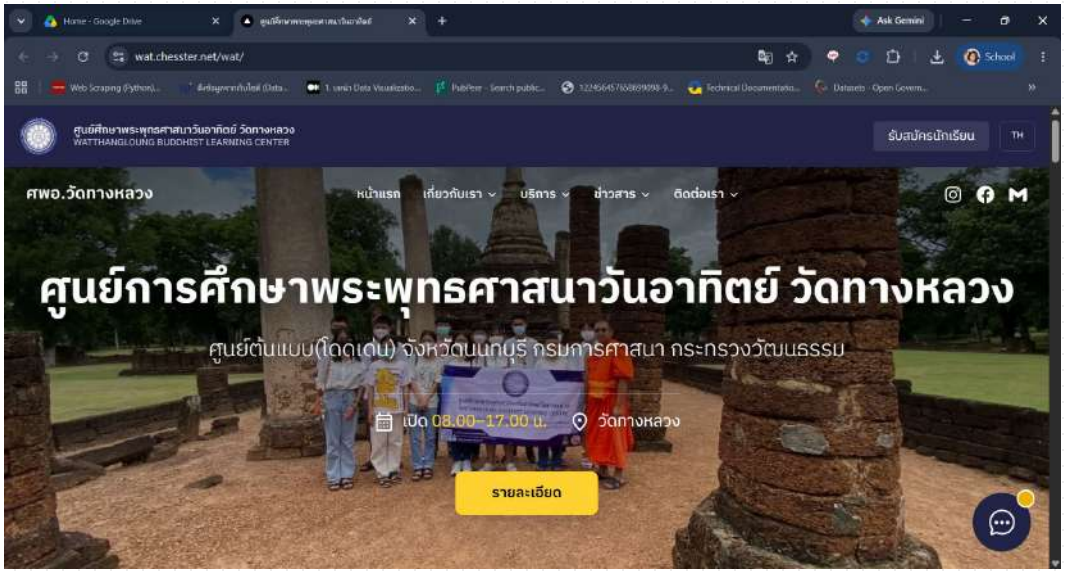
กลุ่มตาราง	ตารางข้อมูลหลัก	หน้าที่การทำงาน
ผู้ใช้งานและสิทธิ์	USERS, ROLES, PERMISSIONS, PERMISSIONS_USER, PASSWORD_RESET_TOKENS	ยืนยันตัวตนและควบคุมสิทธิ์การเข้าถึงแบบ RBAC
ข้อมูลบุคคล	STUDENTS, GUARDIANS, STAFF	จัดเก็บประวัตินักเรียน ผู้ปกครอง และบุคลากร
การเรียนการสอน	COURSES, ACTIVITIES, SCHEDULES, STUDENT_SCHEDULES, ENROLLMENTS	จัดการรายวิชา กิจกรรม ตารางเรียน และการลงทะเบียน
ประชาสัมพันธ์และบริการ	POSTS, POST_IMAGES, DONATIONS, CONTACT_INQUIRIES	เผยแพร่ข่าวสาร จัดการการบริจาค และการติดต่อสอบถาม
แชทบอท	FAQ_RULES, FAQ_RULE_TRANSLATIONS, CHAT_SESSIONS, CHAT_MESSAGES	รองรับการถาม–ตอบอัตโนมัติหลายภาษา
ข้อมูลเข้าใช้ระบบ	AUDIT_LOGS	บันทึกการใช้งานระบบ

จุดเด่นของการออกแบบฐานข้อมูล ได้แก่ การแยกตารางสิทธิ์การใช้งาน (PERMISSIONS) ออกจากบทบาท (ROLES) เพื่อให้กำหนดสิทธิ์ได้ละเอียดในระดับรายฟังก์ชัน การออกแบบตารางการลงทะเบียนแบบ Polymorphic ที่รองรับทั้งการลงทะเบียนรายวิชาและกิจกรรมด้วยโครงสร้างเดียว และการออกแบบตารางคำถามที่พบบ่อยแบบแยกส่วนการแปลภาษา (FAQ_RULE_TRANSLATIONS) เพื่อรองรับแชทบอทหลายภาษา (ไทย/อังกฤษ) นอกจากนี้ยังมีตารางบันทึกการใช้งานระบบ (AUDIT_LOGS) ที่จัดเก็บการกระทำ หมายเลข IP และข้อมูลอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน เพื่อการตรวจสอบย้อนหลังด้านความปลอดภัย

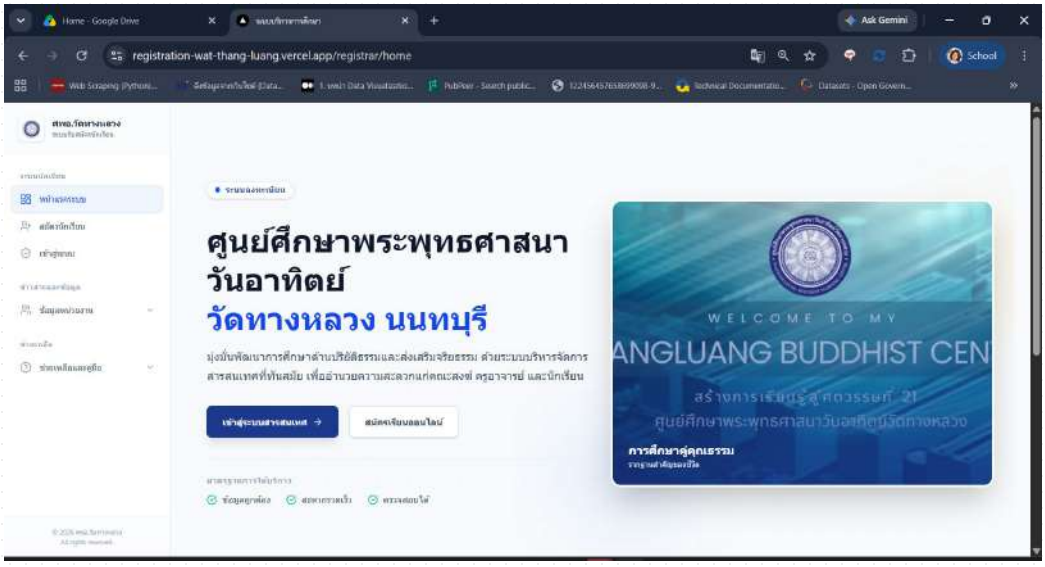
การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (Graphic User Interface) ใช้ซอฟต์แวร์ Figma ในการออกแบบหน้าจอและจัดทำต้นแบบ (Prototype) ในรูปแบบสตอรี่บอร์ด รวมทั้งสิ้น 18 หน้าจอ แบ่งเป็นส่วนผู้ใช้งานทั่วไป/สมาชิก 11 หน้าจอ ได้แก่ หน้าหลัก หน้าข่าว/กิจกรรม หน้ารายละเอียดข่าว หน้าตารางเรียน/กิจกรรม หน้าลงทะเบียนเรียน/กิจกรรม หน้าสมัครเรียน หน้าบริจาค หน้าติดต่อสอบถาม หน้าเข้าสู่ระบบ หน้าข้อมูลส่วนตัว และหน้าแชทบอท และส่วนผู้ดูแลระบบ 7 หน้าจอ ได้แก่ หน้า Dashboard หน้าจัดการข่าว/ประกาศ หน้าจัดการตารางเรียน หน้าจัดการการลงทะเบียน หน้าตรวจสอบการบริจาค หน้าจัดการระบบแชทบอท และหน้าจัดการผู้ใช้งาน โดยแต่ละสตอรี่บอร์ดระบุองค์ประกอบข้อความ ปุ่มคำสั่ง และพฤติกรรมการทำงานของหน้าจออย่างละเอียดก่อนลงมือพัฒนาจริง

4.3 การพัฒนาระบบ

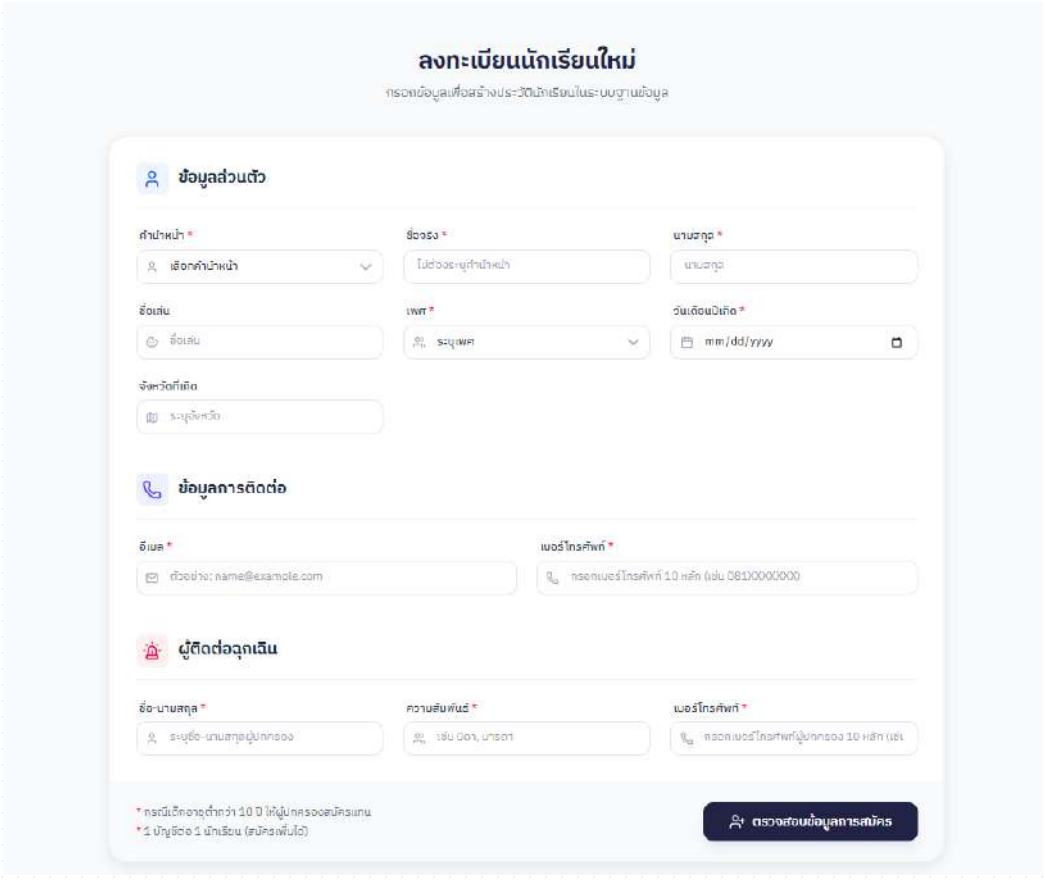
ระบบพัฒนาในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันโดยใช้ภาษา PHP เป็นภาษาหลักฝั่งเซิร์ฟเวอร์ ร่วมกับ HTML, CSS และ JavaScript ในส่วนแสดงผล และใช้ MySQL เป็นระบบจัดการฐานข้อมูล การออกแบบส่วนแสดงผลรองรับการใช้งานหลายขนาดหน้าจอ (Responsive Design) ทั้งคอมพิวเตอร์และโทรศัพท์มือถือ ระบบถาม–ตอบอัตโนมัติพัฒนาในลักษณะ Rule-based Chatbot โดยจับคู่คำถามของผู้ใช้กับคลังกฎคำถามที่พบบ่อย (FAQ Rules) ที่ผู้ดูแลระบบสามารถเพิ่ม แก้ไข และลบได้ผ่านหน้าจัดการ พร้อมรองรับคำถามแนะนำแบบปุ่มเลือก (Quick Reply) เพื่อให้ผู้ใช้เลือกสอบถามข้อมูลที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว อาทิ โครงการที่กำลังจัดขึ้น ช่องทางการสมัครเรียน สถานที่เรียน และช่องทางการติดต่อ ระบบที่พัฒนาเสร็จสมบูรณ์ได้ติดตั้งใช้งานจริงบนเซิร์ฟเวอร์ ดังแสดงภาพตัวอย่างระบบระบบบริหารงานศูนย์ศึกษาพระพุทธศาสนาวันอาทิตย์ วัดทางหลวง



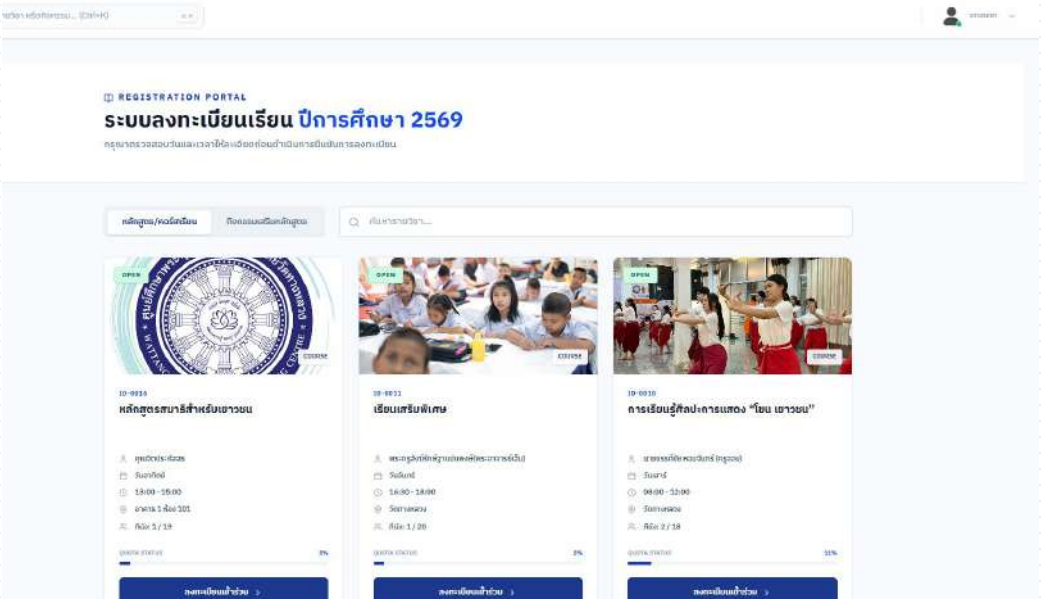
ภาพที่ 3 หน้าหลักของระบบบริหารงานศูนย์ศึกษาพระพุทธศาสนาวันอาทิตย์ วัดทางหลวง



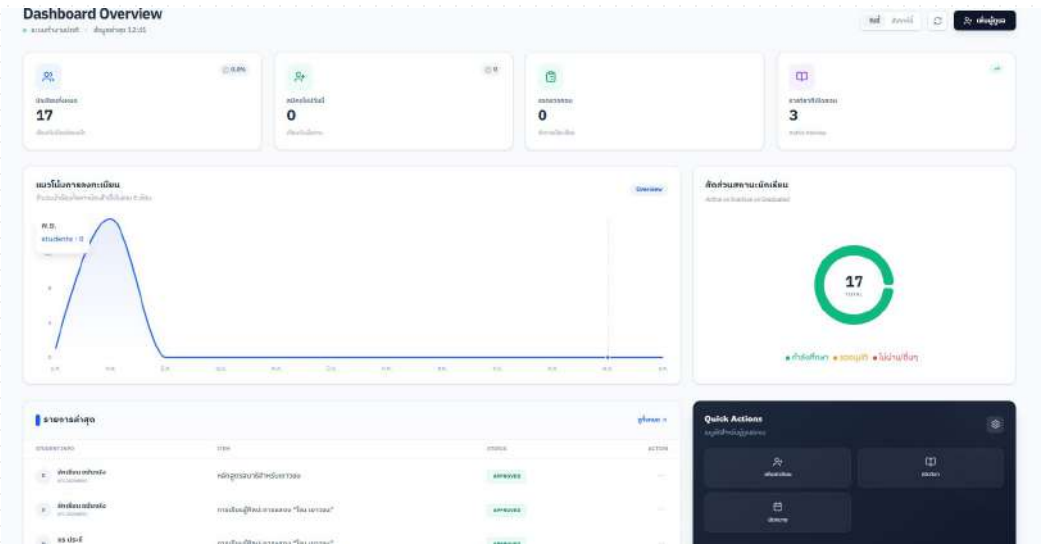
ภาพที่ 4 หน้าระบบลงทะเบียนของระบบบริหารงานศูนย์ศึกษาพระพุทธศาสนาวันอาทิตย์ วัดทางหลวง



ภาพที่ 5 หน้าลงทะเบียนนักเรียนใหม่ของระบบบริหารงานศูนย์ศึกษาพระพุทธศาสนาวันอาทิตย์ วัดทางหลวง



ภาพที่ 6 หน้าลงทะเบียนเรียนและกิจกรรมของระบบบริหารงานศูนย์ศึกษาพระพุทธศาสนาวันอาทิตย์ วัดทางหลวง



ภาพที่ 7 หน้า Dashboard ผู้ดูแลระบบ ของระบบบริหารงานศูนย์ศึกษาพระพุทธศาสนาวันอาทิตย์ วัดทางหลวง

5. ผลการทดลองและอภิปรายผล

5.1 การทดสอบระบบ

การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบดำเนินการโดยผู้พัฒนาระบบในลักษณะการทดสอบเชิงหน้าที่ (Functional Testing) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของฟังก์ชันการทำงานของระบบให้เป็นไปตามขอบเขตและวัตถุประสงค์ที่กำหนดซึ่งประกอบด้วยการจัดการกิจกรรมของศูนย์ ข้อมูลนักเรียน ข้อมูลครูและบุคลากร หลักสูตรธรรมศึกษา กิจกรรม ข่าวสารประชาสัมพันธ์ การลงทะเบียนเรียน การจัดการการบริจาค และการติดต่อสอบถาม จากผลการทดสอบพบว่าฟังก์ชันการทำงานทั้งหมดของระบบสามารถทำงานได้ครบถ้วนและถูกต้องตามที่ออกแบบไว้ แสดงให้เห็นว่าระบบมีความพร้อมสำหรับการนำไปใช้งานจริงภายในศูนย์ศึกษาพระพุทธศาสนาวันอาทิตย์ วัดทางหลวง

5.2 การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

การประเมินความพึงพอใจใช้แบบสอบถามออนไลน์ผ่าน Google Forms เก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานระบบจำนวน 20 แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ (1) ความพึงพอใจในการใช้เว็บไซต์ (2) ความพึงพอใจด้านการออกแบบและโครงสร้างเว็บไซต์ โดยใช้มาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) โดยกำหนดเกณฑ์การแปลผลค่าเฉลี่ย 4.51–5.00 หมายถึงระดับมากที่สุด 3.51–4.50 หมายถึงระดับมาก 2.51–3.50 หมายถึงระดับปานกลาง 1.51–2.50 หมายถึงระดับน้อย และ 1.00–1.50 หมายถึงระดับน้อยที่สุด ผลการประเมินความพึงพอใจดังแสดงในตารางที่ 2 และตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ผลการประเมินระดับความพึงพอใจในการใช้เว็บไซต์ (n = 20)

รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	แปลผล
1. เว็บไซต์มีเนื้อหาที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือ	4.60	0.55	มากที่สุด
2. เนื้อหาเว็บไซต์มีความสอดคล้องกับศูนย์ศึกษาฯ	4.70	0.48	มากที่สุด
3. เนื้อหามีความครบถ้วนและเป็นปัจจุบัน	4.65	0.49	มากที่สุด
4. การใช้ภาษาและการอธิบายเนื้อหาเข้าใจง่าย	4.60	0.60	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรวม	**4.64**	**0.53**	**มากที่สุด**

ตารางที่ 3 ผลการประเมินความพึงพอใจด้านการออกแบบและโครงสร้างเว็บไซต์ (n = 20)

รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	แปลผล
1. รูปแบบและการจัดวางองค์ประกอบของเว็บไซต์มีความเหมาะสม	4.65	0.49	มากที่สุด
2. เมนูและโครงสร้างเว็บไซต์ใช้งานง่าย	4.50	0.67	มาก
3. ผู้ใช้งานสามารถค้นหาข้อมูลที่ต้องการได้สะดวก	4.35	0.71	มาก
4. เว็บไซต์แสดงผลได้เหมาะสมกับอุปกรณ์ต่าง ๆ	4.75	0.44	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรวม	**4.56**	**0.58**	**มากที่สุด**

จากตารางที่ 2 พบว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในการใช้เว็บไซต์โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.64, S.D. = 0.53) โดยรายการที่ได้รับความพึงพอใจสูงสุด คือ ความสอดคล้องของเนื้อหากับศูนย์ศึกษาฯ ($\bar{x}$ = 4.70) และจากตารางที่ 4 พบว่าความพึงพอใจด้านการออกแบบและโครงสร้างเว็บไซต์โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.56, S.D. = 0.58) โดยรายการที่ได้รับความพึงพอใจสูงสุดคือการแสดงผลที่เหมาะสมกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ($\bar{x}$ = 4.75) สะท้อนให้เห็นว่าการออกแบบแบบ Responsive ตอบสนองพฤติกรรมการใช้งานผ่านอุปกรณ์พกพาของกลุ่มเป้าหมายได้ดี ในขณะที่รายการความสะดวกในการค้นหาข้อมูลได้รับค่าเฉลี่ยต่ำสุด ($\bar{x}$ = 4.35) ซึ่งเป็นประเด็นที่ควรปรับปรุงในรุ่นถัดไป อาทิ การเพิ่มฟังก์ชันค้นหาแบบครอบคลุมทั้งเว็บไซต์

6. บทสรุป

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการพัฒนาระบบบริหารงานศูนย์ศึกษาพระพุทธศาสนาวันอาทิตย์ วัดทางหลวง ในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันที่ครอบคลุมการจัดการข้อมูลนักเรียนและบุคลากร การเผยแพร่ข่าวสารและกิจกรรม การลงทะเบียนเรียน การจัดการการบริจาค และระบบถาม–ตอบอัตโนมัติ ผลการทดสอบเชิงหน้าที่พบว่าทุกฟังก์ชันทำงานได้ถูกต้องครบถ้วน และผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานอยู่ในระดับมากที่สุดทั้งสองด้าน ระบบช่วยลดขั้นตอน

การดำเนินงานแบบเดิม ลดภาระงานด้านเอกสารของเจ้าหน้าที่ เพิ่มความถูกต้องของข้อมูล และช่วยให้สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ในการบริหารจัดการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผลการวิจัยสอดคล้องกับวิทวัส เพ็ญภู่ และพีรวงศ์ อุปราช [2] ที่พบว่าระบบสารสนเทศแบบเว็บแอปพลิเคชันช่วยลดขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำซ้อนและลดการใช้เอกสารกระดาษ สอดคล้องกับณัฐนันท์ ศูนย์จันดา [3] ที่ยืนยันความเหมาะสมของการใช้ PHP ร่วมกับ MySQL ในการพัฒนาระบบสำหรับหน่วยงานด้านการศึกษา ส่วนต่อขยายจากงานวิจัยที่ผ่านมาใน 2 ประเด็นสำคัญ ประการแรก เป็นการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศกับบริบทขององค์กรทางศาสนาระดับชุมชน ซึ่งมีลักษณะเฉพาะทั้งด้านกลุ่มผู้ใช้งานที่หลากหลายช่วงวัย ลักษณะกิจกรรมที่ผูกกับปฏิทินทางพระพุทธศาสนา และกระบวนการรับบริจาคที่ต้องการความโปร่งใสตรวจสอบได้ ประการที่สอง มีการบูรณาการระบบถาม–ตอบอัตโนมัติแบบ Rule-based ที่รองรับสองภาษาเข้ากับระบบบริหารงาน ทำให้ศูนย์ศึกษาฯ สามารถให้บริการข้อมูลแก่ประชาชนได้ตลอดเวลาโดยไม่เพิ่มภาระแก่บุคลากร

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ หน่วยงานทางศาสนาหรือองค์กรชุมชนอื่นที่มีลักษณะการดำเนินงานใกล้เคียงกัน อาทิ ศูนย์ศึกษาพระพุทธศาสนาวันอาทิตย์แห่งอื่น โรงเรียนพระปริยัติธรรม หรือศูนย์การเรียนรู้ชุมชน สามารถนำสถาปัตยกรรมระบบ โครงสร้างฐานข้อมูล และแนวทางการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้จากงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้ได้ โดยควรเริ่มจากการวิเคราะห์กระบวนการทำงานจริงของหน่วยงานตนเองก่อนปรับแต่งระบบ

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป ได้แก่ (1) ปรับปรุงส่วนติดต่อผู้ใช้ให้ทันสมัยและสอดคล้องกับกลุ่มเป้าหมายและบริบทของศูนย์พระพุทธศาสนามากยิ่งขึ้น (2) เพิ่มการวิเคราะห์ข้อมูลบน Dashboard อาทิ การวิเคราะห์เนื้อหาที่มีผู้เข้าชมมากที่สุดและช่วงเวลาที่มีผู้ใช้งานสูงสุด เพื่อนำมาปรับปรุงเนื้อหาและการให้บริการ (3) พัฒนาระบบถาม–ตอบอัตโนมัติจากแบบ Rule-based ไปสู่การประยุกต์ใช้เทคนิคการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing) หรือโมเดลภาษาขนาดใหญ่ เพื่อให้เข้าใจคำถามที่หลากหลายและตอบได้ยืดหยุ่นยิ่งขึ้น

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หน่วยงานต้นสังกัดของคณะผู้วิจัย ที่ให้การสนับสนุนในการดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการนำเสนอบทความในการประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 9

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Laudon, K. C., & Laudon, J. P. (2020). Management Information Systems: Managing the Digital Firm (16th ed.). Pearson.

[2] วิทวัส เพ็ญภู่ และพีร วงศ์อุปราช. (2567). การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารงานบริการวิชาการของวิทยาลัยวิทยาการวิจัยและวิทบาการปัญญา มหาวิทยาลัยบูรพา. วารสารมหาจุฬานาครทรรศน์, 11(1), 91–103.

[3] ณัฏฐนันท์ ศูนย์จันดา. (2560). การพัฒนาระบบฐานข้อมูลศิษย์เก่า คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี (วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต), นครปฐม: มหาวิทยาลัยศิลปากร.

การประเมินความผ่อนคลายของลวดชุบแข็งอบคืนตัวสำหรับคอนกรีตอัดแรง
Relaxation Assessment of Quenched and Tempered Wire for Prestressed Concrete

บุณยาพร ศรีภูธร[1*] ณัฐพงศ์ นิลจรัสวณิช[1] ศิวะ สิทธิพงศ์[1] ณัฐพล พรนำพา[1] สุรเดช เตชวาทกุล[1]
บุญญฤทธิ์ อุ่นจันทร์[1] และ กรรณิการ์ จิตตารัตนถาวร[1]

[1]ห้องปฏิบัติการทดสอบทางฟิสิกส์ ศูนย์ทดสอบและมาตรวิทยา สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
*E-mail: Bunyaporn@tistr.or.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสมรรถนะของลวดชุบแข็งและอบคืนตัวสำหรับคอนกรีตอัดแรง ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 3286-2564 โดยศึกษาลวดชนิด Duct 35 ประเภทความผ่อนคลายต่ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.1 มิลลิเมตร เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ยังมีข้อมูลผลการทดสอบสมบัติของผลิตภัณฑ์เผยแพร่ค่อนข้างจำกัด ผลการทดสอบพบว่า ลวดมีค่าความต้านแรงดึงเฉลี่ยต่ำสุด 1,570 เมกะพาสคัล ความเค้นพิสูจน์สำหรับการยืดช่วงพลาสติก 0.2% เฉลี่ยต่ำสุด 1,300 เมกะพาสคัล ความยืดรวมที่แรงดึงสูงสุดเฉลี่ยร้อยละ 4.5 ความยืดหลังขาดเฉลี่ยร้อยละ 8.5 และค่าความผ่อนคลายเฉลี่ยร้อยละ 1.5 ซึ่งผลการทดสอบเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แสดงให้เห็นว่าลวดที่นำมาทดสอบมีสมบัติเชิงกลและค่าความผ่อนคลายที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานในโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง ทั้งนี้ วิธีการทดสอบและผลการศึกษาที่ได้สามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการเสนอข้อคิดเห็นสำหรับ มอก. ในโอกาสต่อไป

คำสำคัญ ลวดชุบแข็งอบคืนตัว ความต้านแรงดึง ความเค้นพิสูจน์ ความยืด ความผ่อนคลาย

Abstract

This research aims to evaluate the performance of quenched and tempered wire for prestressed concrete in accordance with Thai Industrial Standard (TIS) 3286-2564. The study focuses on Duct 35 low-relaxation wire with a nominal diameter of 7.1 mm. The study was conducted because published information on the performance of this product remains limited. The test results showed that the minimum average tensile strength of the wire was 1560 MPa, the minimum average proof stress for 0.2% plastic elongation was 1300 MPa, the average total elongation at maximum tensile force was 4.5%, the average elongation after break was 8.5%, and the average relaxation was 1.5%, All test results complied with the requirements of the standard, indicating that the tested wire possesses suitable mechanical properties and low-relaxation characteristics for application in prestressed concrete structures. The testing methodology and the results obtained from this study can serve as supporting technical information for future review and revision of the TIS

Keywords: Quenched and Tempered Wire, Tensile strength, Proof stress, Elongation, Relaxation

1. บทนำ

ลวดเหล็กกล้าและลวดเหล็กกล้าตีเกลียวเป็นผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่มีมาตรฐานบังคับ และถูกใช้ในงานคอนกรีตอัดแรงอย่างแพร่หลาย มีการศึกษาวิจัยสมรรถนะของลวดเหล่านี้มาอย่างต่อเนื่อง [1, 2] กระทั่งปัจจุบันมีการกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมลวดชุบแข็งอบคืนตัวสำหรับคอนกรีตอัดแรงเพิ่มขึ้นมา ซึ่งหมายถึง ผลิตภัณฑ์ลวดเหล็กกล้าภาคตัดขวางกลมที่ผ่านกระบวนการชุบแข็ง (quenching process) และกระบวนการอบคืนตัว (tempering process) เพื่อให้มีสมบัติทางกลตามที่ต้องการ วัตถุประสงค์หลักคือต้องการทำให้เหล็กแข็งแรงและเหนียวขึ้น ลวดชุบแข็งอบคืนตัวสำหรับคอนกรีตอัดแรง มีแบบผิวเรียบเกลี้ยง แบบเป็นสันนูน และแบบเป็นร่อง โดยถูกผลิตเป็นรูปแบบสม่ำเสมอรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งตลอดความยาว ถูกนำมาใช้ในในอุตสาหกรรมก่อสร้างเป็นจำนวนมาก เช่น เสาสปัน เสาเข็มคอนกรีต เสาไฟฟ้าคอนกรีต และหมอนคอนกรีตรถไฟความเร็วสูง ซึ่งสมบัติทางกล ได้แก่ ค่าความต้านแรงดึง ค่าความเค้นพิสูจน์ ค่าความยืดรวมที่แรงดึงสูงสุด ค่าความยืดหลังขาด และค่าร้อยละความผ่อนคลาย ล้วนส่งผลโดยตรงต่อความสามารถในการรับแรงของคอนกรีตอัดแรง [3-7]

ลวดชุบแข็งและอบคืนตัวสำหรับคอนกรีตอัดแรงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 3286-2564 เป็นผลิตภัณฑ์ที่เพิ่งเริ่มมีการผลิตในประเทศไทย จึงยังมีข้อมูลผลการประเมินสมรรถนะของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในประเทศเผยแพร่ค่อนข้างจำกัด ประกอบกับลวดชนิดนี้ผ่านกระบวนการชุบแข็งและอบคืนตัวเพื่อให้ได้สมบัติทางกลในระดับสูง ซึ่งความแปรปรวนของกระบวนการผลิต วัตถุดิบ และการควบคุมคุณภาพในแต่ละล็อตการผลิต อาจส่งผลต่อสมบัติทางกลและค่าความผ่อนคลายของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องประเมินสมรรถนะของลวดตามข้อกำหนดของมาตรฐานเพื่อยืนยันความสอดคล้องกับเกณฑ์ที่กำหนดและความเหมาะสมสำหรับการใช้งานในโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง

ดังนั้น ขอบเขตของงานวิจัยนี้คือการประเมินสมรรถนะของลวดชุบแข็งอบคืนตัวชนิด Duct 35 แบบร่องเกลียวที่มี 3 เกลียวต่อ 1 ระยะพิตช์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระบุ 7.1 มิลลิเมตร ประเภทความผ่อนคลายต่ำ โดยดำเนินการทดสอบตามวิธีการที่กำหนดในมาตรฐาน มอก. 3286-2564 และเปรียบเทียบผลการทดสอบกับเกณฑ์ข้อกำหนดของมาตรฐานเพื่อประเมินว่าสมรรถนะทางกลของลวดชุบแข็งอบคืนตัวล็อตที่ศึกษามีความสอดคล้องกับข้อกำหนดของมาตรฐานและมีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานในคอนกรีตอัดแรง

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

2.1. วัสดุ

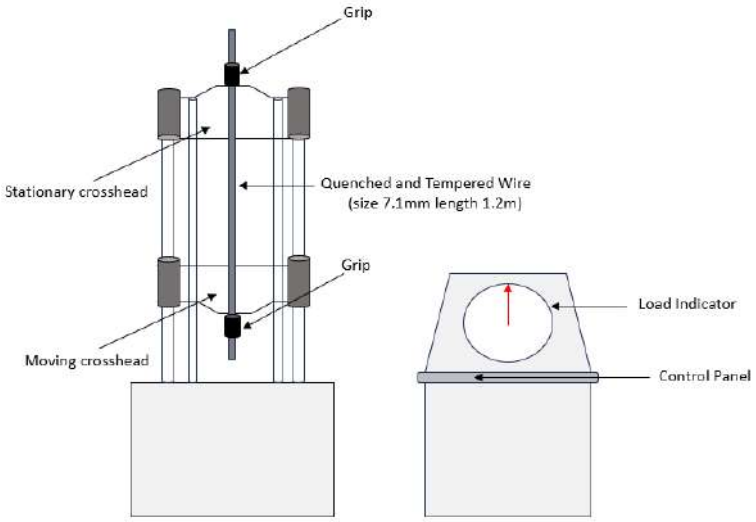
วัสดุที่ใช้ศึกษาคือ ลวดชุบแข็งอบคืนตัวสำหรับคอนกรีตอัดแรง ชนิด Duct 35 ประเภทความผ่อนคลายต่ำ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระบุ 7.1 มิลลิเมตร แบบร่องเกลียวที่มี 3 เกลียวต่อ 1 ระยะพิตช์ ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยธาตุที่เป็นส่วนประกอบทางเคมีของลวด ได้แก่ ทองแดง ซัลเฟอร์ และฟอสฟอรัส ถูกควบคุมให้มีปริมาณไม่เกินร้อยละ 0.2, 0.025 และ 0.025 ตามลำดับ

การเตรียมตัวอย่างทดสอบจากม้วนเริ่มจากการคัดเลือกขดลวดที่มีสภาพสมบูรณ์ โดยผิวลวดมีลักษณะเรียบเกลี้ยง ยกเว้นบริเวณร่องและสันนูน ไม่ปรากฏรอยปริ รอยแตกร้าว สนิมขุม หรือข้อบกพร่องอื่นที่อาจส่งผลกระทบต่อการใช้งาน ทั้งนี้อาจพบสนิมผิวบางได้ ร่องและสันนูนของลวดมีขนาดเท่ากันและมีระยะห่างสม่ำเสมอตลอดความยาวของเส้นลวด โดยไม่มีรอยต่อเชื่อมตลอดทั้งเส้น และมีค่าความโก่งไม่เกิน 5 มิลลิเมตรต่อความยาว 1 เมตร การคัดเลือกตัวอย่างดำเนินการโดยใช้เครื่องมือวัดมิติร่วมกับการตรวจพินิจ

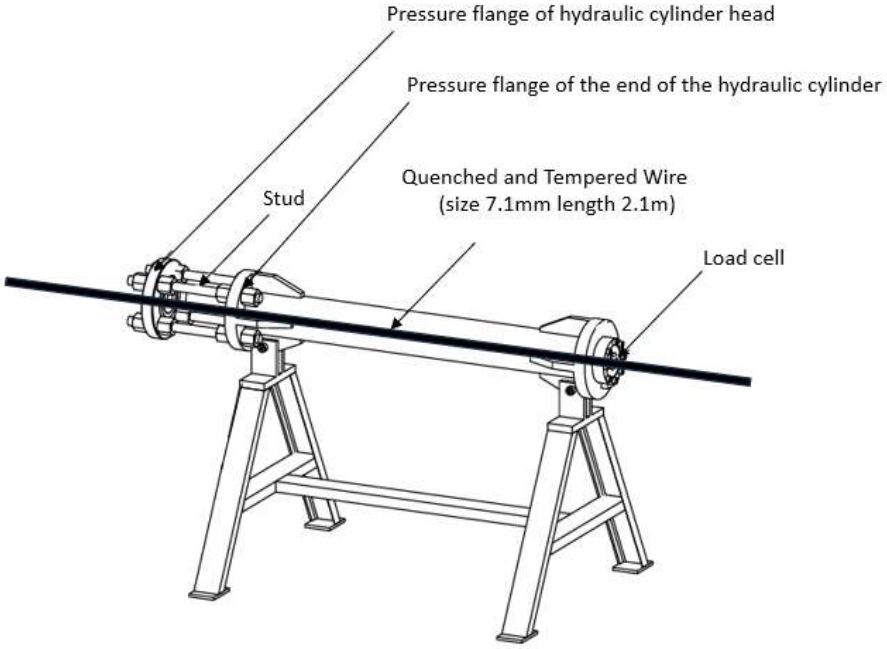
รูปที่ 1 ลวดชุบแข็งอบคืนตัวสำหรับคอนกรีตอัดแรง

2.2. วิธีการศึกษา

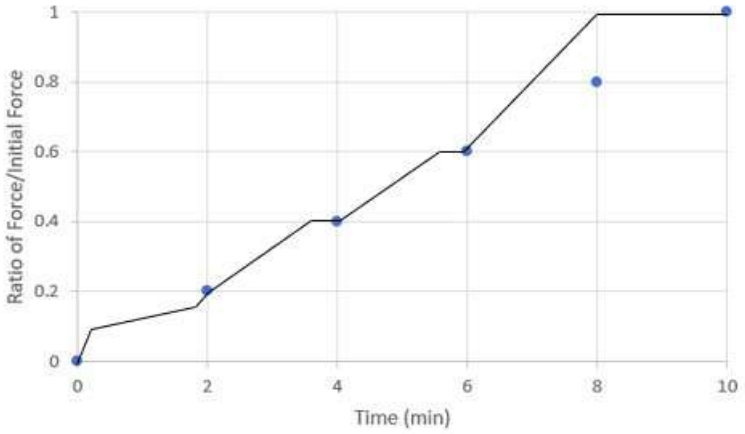
เมื่อได้ลวดคุณลักษณะตามที่ต้องการแล้ว ให้นำมาตัดเป็นชิ้นงานทดสอบความยาว 1.2 เมตร จำนวน 3 เส้น สำหรับนำไปทดสอบความแข็งแรงดึงกับเครื่องทดสอบสากล (Universal Testing Machine) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น UH-100A โดยวิธีการทดสอบความแข็งแรงดึงปฏิบัติตาม มอก.2172 ลักษณะการจับยึดดังแสดงในรูปที่ 2 และตัดชิ้นงานทดสอบความยาว 2.1 เมตร จำนวน 3 เส้น สำหรับนำไปทดสอบกับเครื่องทดสอบความผ่อนคลาย (Relaxation Tester) ชุดรับแรงยี่ห้อ TTR/THAI รุ่น R-300 มีลักษณะการจับยึดชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 3 ระยะระหว่างปลายหัวจับลวดทดสอบจะต้องมากกว่า 60 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางของลวด โดยห้องทดสอบความผ่อนคลายต้องมีอุณหภูมิ 20 ± 2 °C ตลอดเวลาที่เก็บรักษาชิ้นทดสอบ เพราะอุณหภูมิส่งผลโดยตรงต่อสมบัติเชิงกลของลวด [9,10] และขณะทำการทดสอบต้องมี data logger สำหรับบันทึกค่าแรงดึงและเวลาตลอดระยะเวลาการทดสอบ วิธีการทดสอบให้ขึงชิ้นงานทดสอบด้วยแรงดึงทดสอบเท่ากับ 20% ของแรงดึงเริ่มต้น ซึ่งแรงดึงเริ่มต้นมีค่า 70% ของค่าลักษณะเฉพาะแรงดึงสูงสุดตามที่กำหนดในตารางที่ 1 เพิ่มแรงดึงอย่างสม่ำเสมอด้วยอัตรา 200±50 เมกะพาสคัลต่อนาที กระทั่งได้ขนาดแรงเท่ากับ 80% ของแรงดึงเริ่มต้นภายใน 6 นาที จากนั้นเพิ่มขนาดแรงจนถึงค่าแรงดึงทดสอบ ภายในระยะเวลา 2 นาที แล้วอ่านค่าแรงดึงเริ่มแรก รายละเอียดความสัมพันธ์ของอัตราส่วนแรงดึงและเวลา แสดงในรูปที่ 4 และเมื่อครบ 1,000 ชั่วโมง อ่านค่าแรงดึงอีกครั้งหนึ่ง การดำเนินการทดสอบขอบข่ายความแข็งแรงดึงและร้อยละความผ่อนคลายได้ดำเนินการตามระบบคุณภาพห้องปฏิบัติการ 17025 ที่ห้องปฏิบัติการได้รับการรับรองในรายการทดสอบเหล่านี้



รูปที่ 2 ลักษณะการจับยึดชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึง



รูปที่ 3 ลักษณะการจับยึดชิ้นงานทดสอบความผ่อนคลาย



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนแรงดึงและเวลา

2.2.1 การหาค่าความแข็งแรงดึง

หาค่าความแข็งแรงดึงจากการวัดมิติร่วมกับซอฟต์แวร์ของเครื่องทดสอบสากลได้ค่าต่าง ๆ ดังนี้ คือ ค่าความต้าน แรงดึงต่ำสุด ค่าความเค้นพิสูจน์ต่ำสุด ค่าความยืดรวมที่แรงดึงสูงสุดและหลังขาด จากนั้นนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ในตารางที่ 1 ค่าความต้านแรงดึงเฉลี่ยต่ำสุดของลวดต้องไม่ต่ำกว่า 1,420 เมกะพาสคัล ความเค้นพิสูจน์สำหรับการยืดช่วงพลาสติก 0.2% เฉลี่ยต่ำสุดต้องไม่ต่ำกว่า 1,280 เมกะพาสคัล ความยืดรวมที่แรงดึงสูงสุดต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 3.5 ความยืดหลังขาดต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 7.0

ตารางที่ 1 เกณฑ์ค่ามาตรฐานสมบัติเชิงกลของลวดชุบแข็งอบคืนตัวสำหรับคอนกรีตอัดแรงชนิด Duct 35

Diameter (mm)	Maximum Strength (MPa)	Minimum Proof Stress (MPa)	Area (mm^2)	Mass per Meter		Elongation	
				Maximum Mass (g/m)	Minimum Mass (g/m)	Total Elongation at Ultimate Tensile Strength (%)	Total Elongation after break (%)
7.1	1,420	1,280	40	327	306	3.5	7.0

2.2.2 การหาค่าความผ่อนคลาย

หาค่าร้อยละความผ่อนคลายได้จากสมการที่ 1 โดยใช้หน่วยแรงดึงในสมการเป็นกิโลนิวตัน นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ในตารางที่ 2

$$R = \frac{(A-B)\times 100}{A} \quad (1)$$

R คือ ร้อยละความผ่อนคลาย (%)
A คือ แรงดึงเริ่มแรก (kN)
B คือ แรงดึงที่อ่านได้เมื่อครบ 1000 ชั่วโมง (kN)

ตารางที่ 2 เกณฑ์ค่ามาตรฐานความผ่อนคลายของลวดชุบแข็งอบคืนตัวสำหรับคอนกรีตอัดแรง

Initial Force (% of Maximum Force)	Types	
	Maximum Value of Normal Relaxation (%)	Maximum Value of Low Relaxation (%)
60	2.0	1.0
70	4.0	2.0
80	9.0	4.5

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผลการทดสอบความแข็งแรงดึงของลวดชุบแข็งอบคืนตัว แบบร่องเกลียว ประเภทความผ่อนคลายต่ำ ชนิด Duct 35 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.1 มิลลิเมตร แสดงในตารางที่ 3 จากผลการทดสอบพบว่า ค่าความต้านแรงดึงเฉลี่ยต่ำสุดของลวดอยู่ที่ 1,570 เมกะพาสคัล ความเค้นพิสูจน์สำหรับการยืด ช่วงพลาสติก 0.2% เฉลี่ยต่ำสุดอยู่ที่ 1,300 เมกะพาสคัล ความยืดรวมที่แรงดึงสูงสุดมีค่าเฉลี่ยที่ร้อยละ 4.5 และความยืดหลังจากขาด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 8.5 เมื่อนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกับข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.3286-2564 .ในตารางที่ 1 พบว่าเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด

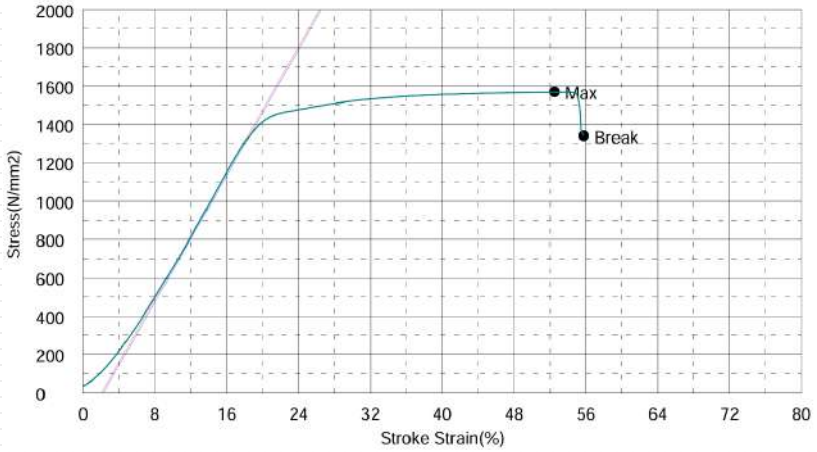
จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแสดงในรูปที่ 5 พบว่าลวดทุกตัวอย่างมีพฤติกรรมเริ่มต้นเป็นช่วงยืดหยุ่น (Elastic region) ซึ่งมีความสัมพันธ์เกือบเป็นเส้นตรง ก่อนเข้าสู่ช่วงการเสียรูปแบบพลาสติก และเกิดการเพิ่มขึ้นของความเค้นจนถึงค่าความต้านแรงดึงสูงสุด จากนั้นจึงเกิดการลดลงของแรงเนื่องจากการเกิดคอคอด (Necking) และการขาดของชิ้นทดสอบ พฤติกรรมดังกล่าวสอดคล้องกับลักษณะการรับแรงของเหล็กกล้าที่มีโครงสร้างมาร์เทนไซต์ผ่านการอบคืนตัว (Tempered Martensite) ซึ่งเกิดจากกระบวนการชุบแข็งและอบคืนตัว ทำให้โครงสร้างมีความแข็งแรงสูง ขณะที่ยังคงความเหนียวเพียงพอสำหรับการเสียรูปแบบพลาสติกก่อนการแตกหัก การอบคืนตัวยังช่วยลดความเค้นตกค้างและเพิ่ม

เสถียรภาพของโครงสร้างจุลภาค ส่งผลให้ลวดสามารถรับแรงดึงได้สูงและมีการแตกหักแบบเหนียว (Ductile Fracture) หลังการเกิดคอคอด [3, 5]

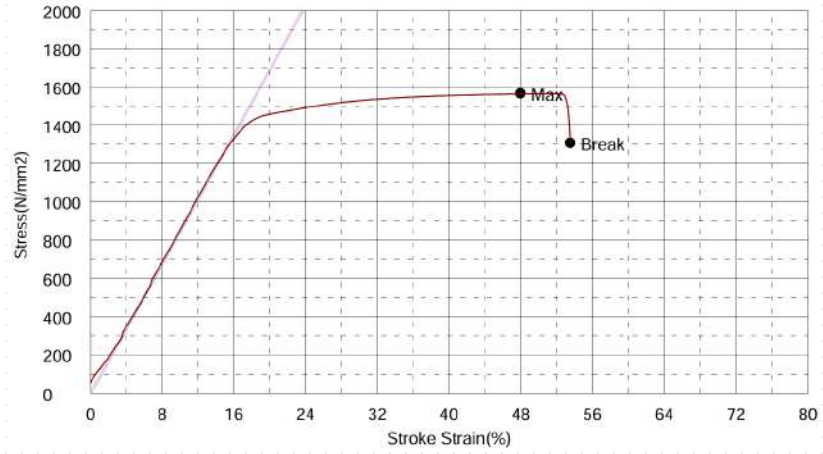
เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาลวดเหล็กสำหรับคอนกรีตอัดแรงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใกล้เคียงกัน [1, 2] พบว่าลวดชุบแข็งและอบคืนตัวที่ศึกษาในงานวิจัยนี้มีค่าความต้านแรงดึงเฉลี่ยต่ำกว่า แต่มีพฤติกรรมการรับแรงจากกราฟความเค้น–ความเครียดสอดคล้องกัน โดยมีช่วงยืดหยุ่น ช่วงเสียรูปแบบพลาสติก และการเกิดคอคอดก่อนแตกหัก ทั้งนี้ความแตกต่างของค่าความต้านแรงดึงอาจเกิดจากความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมี กระบวนการชุบแข็งและอบคืนตัว รวมถึงระดับความแข็งแรงที่กำหนดในการออกแบบผลิตภัณฑ์ของผู้ผลิตแต่ละราย ซึ่งลวดชุบแข็งและอบคืนตัวได้รับการออกแบบให้มีสมดุลระหว่างกำลังสูง ความเหนียวที่ดี และค่าความผ่อนคลายต่ำ เพื่อให้สามารถรักษาแรงอัดแรงได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความแข็งแรงดึงของลวดชุบแข็งอบคืนตัวสำหรับคอนกรีตอัดแรงชนิด Duct 35

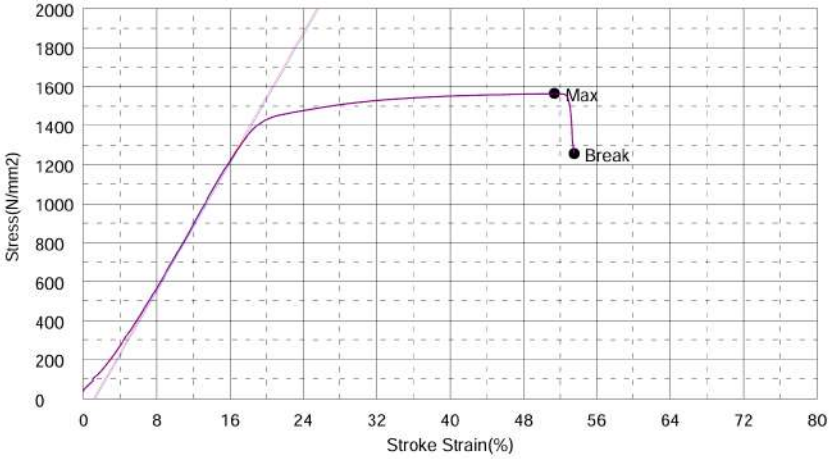
Specimen No.	Diameter (mm)	Maximum Strength (MPa)	Proof Stress (MPa)	Area (mm^2)	Mass per Meter (g/m)	Elongation	
						Total Elongation at Ultimate Tensile Strength (%)	Total Elongation after break (%)
1	7.1	1,570	1,300	40	310.2	4.5	8.5
2	7.1	1,572	1,307	40	310.2	4.3	8.2
3	7.1	1,568	1,293	40	310.1	4.7	8.8
Average	7.1	1,570	1,300	40	310.16	4.5	8.5



(ก)



(ข)



(ค)

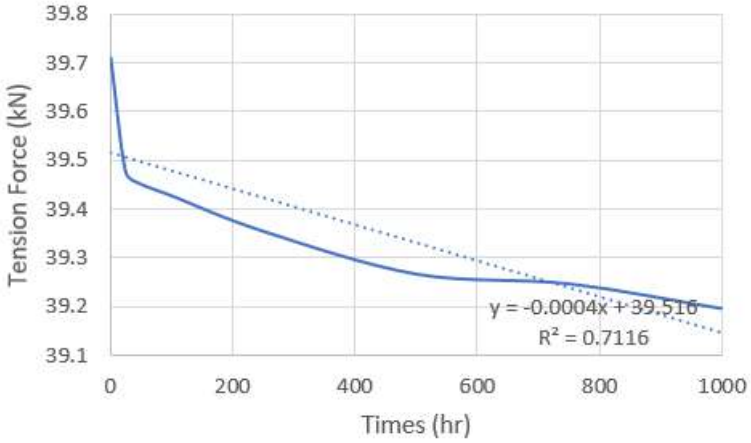
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างเค้นและความเครียดของ (ก) Specimen No.1, (ข) Specimen No.2 และ (ค) Specimen No.3

ผลการทดสอบความคลายของลวดชุบแข็งอบคืนตัว แบบร่องเกลียว ประเภทความผ่อนคลายต่ำ ชนิด Duct 35 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.1 มิลลิเมตร แสดงในตารางที่ 4 พบว่าแรงดึงเริ่มต้นมีค่าเฉลี่ย 39.690 kN และหลังจากทดสอบเป็นเวลา 1,000 ชั่วโมง มีแรงคงเหลือเฉลี่ย 39.094 kN ส่งผลให้ค่าความผ่อนคลายเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.50 เมื่อเปรียบเทียบกับข้อกำหนดของมาตรฐาน มอก.3286-2564 สำหรับลวดประเภทความผ่อนคลายต่ำ โดยที่ใช้ค่าความเค้นเริ่มต้น 70 % ของความความต้านแรงดึงระบุ แสดงในตารางที่ 2 พบว่าค่าความผ่อนคลายต่ำกว่าค่าสูงสุดที่มาตรฐานกำหนดไว้ เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาลวดเหล็กสำหรับคอนกรีตอัดแรงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใกล้เคียงกัน [1, 2] พบว่าลวดชุบแข็งและอบคืนตัวที่ศึกษาในงานวิจัยนี้มีค่าความผ่อนคลายเฉลี่ยต่ำกว่า แสดงให้เห็นว่าสามารถรักษาแรงอัดแรงเริ่มต้นได้ดีกว่า และมีการสูญเสียแรงจากการคลายตัวในระดับต่ำ ซึ่งช่วยให้แรงอัดที่ถ่ายเข้าสู่คอนกรีตคงอยู่ใกล้เคียงกับค่าที่ออกแบบไว้ ส่งผลให้โครงสร้างสามารถรักษาสมรรถนะในการรับแรง ลดความเสี่ยงต่อการแตกร้าวและการโก่งตัวในระยะยาว [7, 10]

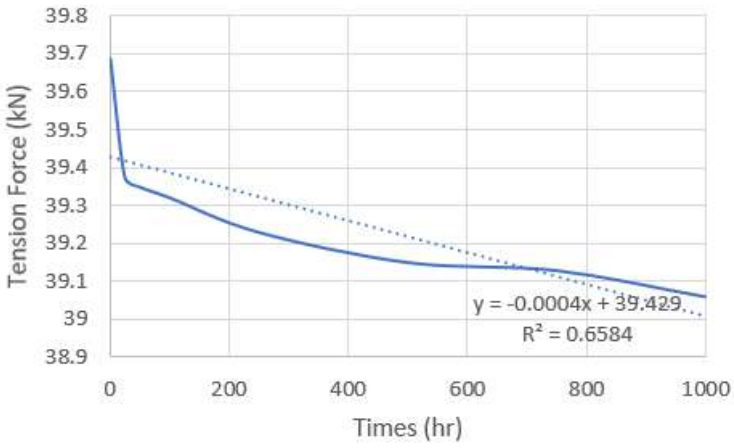
จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับเวลาแสดงในรูปที่ 6 พบว่าแรงดึงลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้นของการทดสอบ ก่อนที่อัตราการลดลงจะค่อย ๆ ชะลอตัวเมื่อเวลาผ่านไป จนมีแนวโน้มคงที่เมื่อสิ้นสุดการทดสอบที่ 1,000 ชั่วโมง พฤติกรรมดังกล่าวเป็นลักษณะทั่วไปของการคลายตัวของลวดเหล็กอัดแรง (Stress Relaxation) ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่และการจัดเรียงตัวใหม่ของตำหนิผลึก (Dislocations) ภายใต้สภาวะความเค้นคงที่ ส่งผลให้ความเค้นตกค้างภายในวัสดุค่อย ๆ ลดลงตามเวลา [10]

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบความคลายของลวดชุบแข็งอบคืนตัวสำหรับคอนกรีตอัดแรงชนิด Duct 35

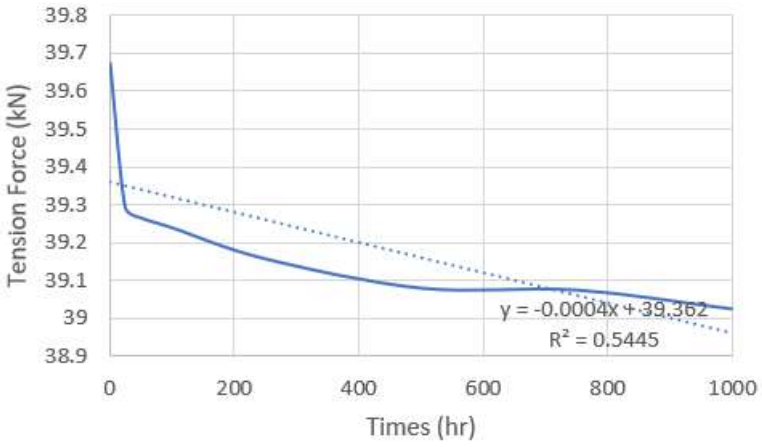
Specimen No.	Initial Force (kN)	Force at 1000 hr. (kN)	Relaxation Value (%)
1	39.712	39.196	1.30
2	39.686	39.061	1.57
3	39.674	39.026	1.63
average	39.690	39.094	1.50



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 6. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับเวลาของ (ก) Specimen No.1, (ข) Specimen No.2 และ (ค) Specimen No.3

3.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดสอบ

เพื่อประเมินความสม่ำเสมอของสมบัติทางกลและพฤติกรรมการคลายของลวดชุบแข็งอบคืนตัวระหว่างตัวอย่างทดสอบ จึงทำการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD) และสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variation, COV) ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลการทดสอบลวดชุบแข็งอบคืนตัวสำหรับคอนกรีตอัดแรงชนิด Duct 35

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ			ค่าเฉลี่ย (MPa)	Standard Deviation, SD (MPa)	Coefficient of Variation, COV (%)
	Specimen No. 1	Specimen No. 2	Specimen No. 3			
Maximum Strength (MPa)	1570	1572	1568	1570	2	0.13
Proof Stress (MPa)	1300	1307	1293	1300	7	0.54
Total Elongation at Ultimate Tensile Strength (%)	4.5	4.3	4.7	4.5	0.2	4.44
Total Elongation after break (%)	8.5	8.2	8.8	8.5	0.3	3.53
Relaxation Value (%)	1.3	1.57	1.63	1.50	0.18	11.72

จากผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าความต้านแรงดึงสูงสุด (Maximum Strength) มีค่า COV เท่ากับ 0.13% และค่าความเค้นพิสูจน์สำหรับการยืดตัวช่วงพลาสติก 0.2% มีค่า COV เท่ากับ 0.54% ซึ่งมีค่าความแปรปรวนต่ำ แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างทดสอบมีสมบัติด้านความแข็งแรงใกล้เคียงกัน สะท้อนถึงความสม่ำเสมอของกระบวนการผลิต โดยเฉพาะขั้นตอนการชุบแข็งและอบคืนตัวที่สามารถควบคุมโครงสร้างจุลภาคของวัสดุได้อย่างมีประสิทธิภาพ [3] สำหรับค่าการยืดตัวรวมที่แรงดึงสูงสุดและค่าการยืดตัวหลังขาด พบว่ามีค่า COV เท่ากับ 4.44% และ 3.53% ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าค่าความแข็งแรงเล็กน้อย เนื่องจากค่าการยืดตัวมีความไวต่อความแตกต่างของโครงสร้างภายใน ตำหนิขนาดเล็ก และตำแหน่งการเกิดคอคอดระหว่างการทดสอบ อย่างไรก็ตาม ค่าความแปรปรวนยังอยู่ในระดับต่ำ แสดงว่าลวดยังคงมีความเหนียวสม่ำเสมอระหว่างตัวอย่าง [5] ส่วนค่าความคลาย (Relaxation Value) มีค่า COV เท่ากับ 11.72% ซึ่งสูงกว่าสมบัติอื่น เนื่องจากเป็นการทดสอบระยะยาว

ที่ได้รับอิทธิพลจากความเค้นตกค้างภายในวัสดุและความแตกต่างของโครงสร้างจุลภาค อย่างไรก็ตาม ค่าความคลายของตัวอย่างอยู่ในช่วง 1.30–1.63% ซึ่งมีความแตกต่างไม่มาก และยังแสดงถึงความสามารถในการรักษาแรงดึงเริ่มต้นของลวดได้ดี

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่าลวดชุบแข็งอบคืนตัว แบบร่องเกลียว ประเภทความผ่อนคลายต่ำ ชนิด Duct 35 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.1 มิลลิเมตร ล็อตนี้มีความสม่ำเสมอของสมบัติทางกลและค่าความผ่อนคลายระหว่างตัวอย่างในระดับดี ซึ่งบ่งชี้ว่ากระบวนการผลิตสามารถควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้อย่างเหมาะสม และช่วยเพิ่มความมั่นใจในการนำไปใช้งานเป็นวัสดุรับแรงดึงสำหรับคอนกรีตอัดแรง

4. บทสรุป

จากผลการทดสอบลวดชุบแข็งอบคืนตัวรุ่นหนึ่ง ตามวิธีการใน มอก. 3286-2564 พบว่า ลวดชุบแข็งอบคืนตัวรุ่นที่นำมาทดสอบนี้มีสมรรถนะสอดคล้องกับเกณฑ์กำหนดของมาตรฐาน โดยมีค่าความต้านแรงดึงเฉลี่ยต่ำสุด 1,570 ± 2.0 เมกะพาสคัล คิดเป็น ร้อยละ 110.6 ของค่าขั้นต่ำที่มาตรฐานกำหนด ค่าความเค้นพิสูจน์เฉลี่ยต่ำสุดสำหรับการยืดช่วงพลาสติก 0.2% 1,300 ± 7.0 เมกะพาสคัล คิดเป็น ร้อยละ 101.6 ของค่าขั้นต่ำที่มาตรฐานกำหนด ความยืดรวมเฉลี่ยที่แรงดึงสูงสุด 4.5 ± 0.2% คิดเป็น ร้อยละ 128.6 ของเกณฑ์ขั้นต่ำ และความยืดเฉลี่ยหลังขาด 8.5 ± 0.3% คิดเป็น ร้อยละ 121.4 ของเกณฑ์ขั้นต่ำ ส่วนค่าความผ่อนคลายที่ 1,000 ชั่วโมงมีค่าเฉลี่ย 1.50 ± 0.18% คิดเป็น ร้อยละ 75 ของค่าสูงสุดที่มาตรฐานกำหนด แสดงให้เห็นว่าลวดสามารถรักษาแรงอัดแรงได้ดีและมีการสูญเสียแรงอัดแรงในระดับต่ำ สอดคล้องตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาลวดเหล็กกล้าคอนกรีตอัดแรงที่ผ่านมาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใกล้เคียงกัน พบว่าลวดชุบแข็งและอบคืนตัวรุ่นนี้มีค่าความต้านแรงดึงต่ำกว่าลวดเหล็กกล้า อาจเหมาะสมกับการนำไปเข้ากระบวนการต่อเนื่องเฉพาะผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตาม หากมีการตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ทำเป็นอย่างอื่น เสนอแนะแนวทางการประมาณค่าความผ่อนคลายจากผลการทดสอบช่วงต้น เพื่อให้ระยะเวลาทดสอบความผ่อนคลายสั้นลง ซึ่งอาจใช้ผลการทดสอบเมื่อครบระยะเวลา 120 ชั่วโมง โดยระหว่างการทดสอบให้อ่านค่าแรงดึงที่เวลา 1, 2, 4, 6, 8, 10, 15, 30 และ 45 นาที และที่เวลา 1, 2, 4, 6, 8, 10, 24, 30, 48, 72, 96 และ 120 ชั่วโมง ตามลำดับ จากนั้นสร้างสมการสหสัมพันธ์เพื่อนำไปใช้ทำนายความผ่อนคลายได้ ทั้งนี้ งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดคือศึกษาลวดชุบแข็งอบคืนตัวเพียงชนิด Duct 35 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.1 มิลลิเมตร จากล็อตการผลิตเดียว และประเมินเฉพาะสมบัติทางกลและค่าความผ่อนคลายตาม มอก. 3286-2564 จึงควรมีการศึกษาลวดต่างขนาด ผู้ผลิตหลายราย รวมถึงสมบัติด้านความล้าและความทนทานต่อการกัดกร่อนเพิ่มเติมในอนาคต รายละเอียดวิธีการและผลการทดสอบสามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบในการเสนอข้อคิดเห็นเพื่อการปรับปรุงมาตรฐาน มอก. 3286-2564 ในโอกาสต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้บริหารของหน่วยงาน ที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนในกิจกรรมการทดสอบของคณะผู้วิจัยด้วยดี และขอขอบคุณ บจ.เมคแมท เอ็นจิเนียริ่ง ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลติดต่อช่องทางทั้งในและต่างประเทศสำหรับการจัดหาวัสดุสำหรับใช้ทดสอบ

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Sitthipong, S., et al. (2021). Relaxation analysis of steel wire for prestressed concrete. Engineering Journal of Research and Development, 32(1), 37–46.

[2] Sitthipong, S., et al. (2020). Relaxation assessment of steel wire strand for prestressed concrete. Rajamangala University Tawan-ok Research Journal, 13(1), 71–81.

[3] Nair, S., et al. (2023). Mechanical characteristics of quenched and self-tempered (QST or TMT) steel reinforcing bars used in concrete structures. Construction and Building Materials, 363. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129761

[4] Kumar, A., & Iqbal, M. A. (2024). Dynamic tensile and compressive behavior of prestressing steel wire at the high strain rate. Journal of Dynamic Behavior of Materials, 11, 297–315.

[5] Ezio, C., et al. (2013). Mechanical behavior of quenched and self-tempered reinforcing steel in tension under high strain rate. Materials & Design, 49, 657–666.

[6] Zdenek, P., et al. (2000). Investigations on hydrogen-induced embrittlement of quenched and tempered prestressing steels. Materials and Corrosion, 51(2), 80–90.

[7] Suarez, F. N., et al. (2012). Influence of the storage conditions on prestressing steel relaxation losses. Materiales de Construcción, 62(308), 531–546.

[8] Thailand Industrial Standards Institute. (2021). TIS 3286:2564 Quenched and Tempered Wire for Prestressed Concrete. Bangkok: Thailand Industrial Standards Institute.

[9] Hou, X., et al. (2014). Effect of temperature on mechanical properties of prestressing bars. Construction and Building Materials, 61, 24–32.

[10] Zeren, A., & Zeren, M. (2003). Stress relaxation properties of prestressed steel wires. Journal of Materials Processing Technology, 141(1), 86–92.

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของไม้ดอกที่ปลูกในมหาวิทยาลัยรังสิต
Antioxidant activity of Flowering Plants Grown at the Rangsit University

ปรานอม ขาวเมฆ[1*] และ หฤทัย ฐานนันท์[1]

[1]ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ปทุมธานี 12000
* E-mail: pranorm.k@rsu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของไม้ดอกที่มีสีคือ สีเหลือง ส้ม ม่วง และ สีแดง ที่ปลูกในบริเวณมหาวิทยาลัยรังสิตจำนวน 9 ชนิดที่ผึ่งแห้งและสกัดด้วยเอทานอลคือ สารสกัดจากดอกของสุพรรณิการ์ คูน ชมพูพันธุ์ทิพย์ กระเจี๊ยบแดง ทองอุไร ทองกวาว ปรีดียาธร สาวสันทราย และ ลั่นทม เมื่อนำสารสกัดที่ได้ไปทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ซึ่งใช้วิตามินซี วิตามินอี และ BHT เป็นสารเปรียบเทียบ พบว่าสารสกัดจากดอกสุพรรณิการ์ มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด มีค่า IC_{50} เท่ากับ 2.80 ppm รองลงมาคือ คูน ชมพูพันธุ์ทิพย์ กระเจี๊ยบแดง ทองอุไร ทองกวาว ปรีดียาธร และ สาวสันทราย มีค่า IC_{50} เท่ากับ 7.46 10.23, 10.55, 15.10, 15.41, 15.75 และ 25.29 ppm ตามลำดับ ส่วนสารสกัดจากดอกลั่นทม มีค่า IC_{50} เท่ากับ 145.18 ppm ในขณะที่วิตามินซี วิตามินอี และ บิวทิเลตไฮดรอกซีโทลูอีน (BHT) มีค่า IC_{50} เท่ากับ 1.03 , 2.08 และ 1.55 ppm ตามลำดับ ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์อาหาร ยา เครื่องสำอาง การเกษตรต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: สารต้านอนุมูลอิสระ ไม้ดอก วิธี DPPH

Abstract

In this study, the antioxidant activity of ethanolic extracts from nine species of air-dried, yellow, orange, purple and red flowering plants cultivated at the Rangsit University was evaluated. All of the flower extracts are *Cochlospermum religiosum*, *Cassia fistula*, *Tabebuia rosea*, *Hibiscus sabdariffa*, *Tecoma stans*, *Butea monosperma*, *Tabebuia arentea*, *Clerodendrum quadriloculare* and *Plumeria obtusa*. The antioxidant activity from all of the flower extracts were determined by free radical scavenging method (DPPH method) which using Vitamin C, Vitamin E, and BHT as a control. It was found that *Cochlospermum religiosum* had the highest antioxidant activity, with IC_{50} content at 2.80 ppm followed by *Cassia fistula, Hibiscus sabdariffa*, *Tecoma stans*, *Butea monosperma*, *Tabebuia arentea*, *Clerodendrum quadriloculare* had IC_{50} value of 7.46, 10.23, 10.55, 15.10, 15.41, 15.75 and 25.29 ppm, respectively. Ethanol extract of *Plumeria obtusa* had the lowest antioxidant activity, with an IC_{50} value of 145.18 ppm. The IC_{50} values for vitamin C, vitamin E and butylated hydroxytoluene (BHT) were 1.03, 2.08, and 1.55 ppm, respectively. The results of this study provide valuable information that can be further utilized in the development of food products, drugs, cosmetics and agricultural applications.

Keywords: Antioxidant, Flowering plants, DPPH method

1. บทนำ

ปัจจุบันมนุษย์ต้องเผชิญกับมลภาวะต่าง ๆ รวมทั้งรังสีและความร้อนจากแสงแดดมากขึ้น ซึ่งเป็นตัวเร่งให้เกิดสภาวะเครียดจากออกซิเดชัน (oxidative stress) เป็นการเสียสมดุลระหว่างการสร้างและการทำลายอนุมูลอิสระ (free radical) ดังนั้นการได้รับสารต้านอนุมูลอิสระจากภายนอกร่างกายจึงเป็นอีกหนทางหนึ่ง ที่ช่วยเสริมการควบคุมและป้องกันอันตรายจากอนุมูลอิสระเหล่านี้ได้ อนุมูลอิสระเป็นโมเลกุลที่มีอะตอมหรือโมเลกุลที่มีอิเล็คตรอนเดี่ยว (single หรือ unpaired electron) อยู่รอบนอกและมีอายุสั้นมาก จัดเป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียรและว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี อนุมูลอิสระที่พบบ่อย เช่น superoxide radical ($O_2^{\bullet}$), hydroxyl radical ($OH^{\bullet}$) และ peroxyl radical ($ROO^{\bullet}$) เป็นต้น อนุมูลอิสระเหล่านี้สามารถผลิตได้เองภายในร่างกาย ที่ได้จากกระบวนการหายใจระดับเซลล์ ระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายในการฆ่าเชื้อโรคของเม็ดเลือดขาว และระบบส่งสัญญาณระหว่างเซลล์ (signal transduction) นอกจากนี้อนุมูลอิสระยังเกิดขึ้นได้จากการได้รับสารเคมี สารพิษจากสิ่งแวดล้อม รังสี และยาบางชนิด [1, 2]

ด้วยปัจจัยเสี่ยงจากโรคภัยต่าง ๆ ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา มนุษย์จึงให้ความสนใจเรื่องสุขภาพมากขึ้น โดยเฉพาะเรื่องการรับประทานผักและผลไม้ ที่เป็นแหล่งสำคัญของวิตามิน ใยอาหาร และสารประกอบโพลีฟีนอล ที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งมีรายงานการงานวิจัยว่าช่วยชะลอหรือป้องกันการเกิดโรคต่าง ๆ ได้ เช่น โรคมะเร็ง โรคหลอดเลือดหัวใจตีบ หัวใจวาย ไตวาย เบาหวาน ความชรา และต้อกระจก [3, 4] นอกจากการบริโภคผักและผลไม้แล้ว ยังพบว่าการบริโภคดอกไม้ ได้รับการยอมรับมาอย่างยาวนานในด้านความสวยงาม และการนำมาใช้ประโยชน์ทางยาตามภูมิปัญญาท้องถิ่น ในระยะหลังมานี้ ดอกไม้ยังได้รับการศึกษาในฐานะแหล่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ [5] ในประเทศไทยได้นำดอกไม้หลายชนิดมาบริโภค เช่น ดอกสะเดา ดอกโสน ดอกขี้เหล็ก ดอกกุหลาบ ดอกดาวเรือง และดอกเข็ม เป็นต้น [6-8] ดอกไม้เหล่านี้ ตามหลักฐานทางพฤกษศาสตร์ท้องถิ่นเชื่อว่าสามารถรักษาโรคและอาการ เจ็บป่วยได้ เช่น ท้องเสีย ปวดท้อง คลื่นไส้ [9]

จากรายงานงานวิจัยที่ทำการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของดอกไม้ที่นิยมรับประทานที่ดีที่สุด เช่น ดอกเข็ม กุหลาบ ชบา ขจร แค และ ปลัง โดยมีค่า 0.28, 0.22, 0.21, 0.11, 0.10 และ 0.09 mM Trolox equivalent/กรัมของน้ำหนักสด ตามลำดับ [10] ยังมีงานวิจัยการวิจัยของกลีบดอกไม้หอมที่สกัดด้วยเมทานอล 5 ชนิด คือ ดาหลา พิกุล แก้ว บัวหลวง และกุหลาบ มาศึกษาปริมาณสารประกอบฟีโนลิกด้วยวิธี Folin Ciocalteu และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS พบว่า กุหลาบมีปริมาณฟีโนลิกสูงสุด แตกต่างจากสารสกัดจากดอกไม้ชนิดอื่น ($p < 0.05$) และให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด ด้วยโดยมีค่า EC_{50} ที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH เท่ากับ 12.26 ± 0.80 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และวิธี ABTS เท่ากับ 8.93 ± 1.10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และแตกต่างกับดอกไม้ชนิดอื่น ($p < 0.05$) [11] ในดอกไม้มีรงควัตถุชนิดต่าง ๆ ที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระแตกต่างกันไป [12] ยังมีธาตุอาหารและสารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย จากงานวิจัยพบว่าดอกไม้ที่มีสีต่าง ๆ จะมีสารที่เป็นองค์ประกอบหลักแตกต่างกันดังนี้ ดอกไม้สีเหลืองมี Carotenoids เป็นองค์ประกอบหลัก บางชนิดมี Chalcones หรือ Aurones ซึ่งเป็นสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ ดอกไม้สีแดงส่วนใหญ่เกิดจาก Anthocyanins โดยเฉพาะ Cyanidin และ Pelargonidin ดอกไม้สีส้มมักเกิดจาก Carotenoids เช่น β-Carotene [14, 15] ทำให้ดอกไม้แต่ละชนิด มีคุณค่าทางอาหารและสารต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกันไป

ไม้ดอกที่นำมาศึกษาเป็นดอกไม้ที่มีสีเหลือง เหลืองปนส้ม ม่วง และสีแดง คือ สุพรรณิการ์ (*Cochlospermum religiosum*), คูน (*Cassia fistula*), ชมพูพันธุ์ทิพย์ (*Tabebuia rosea*), กระเจี๊ยบแดง (*Hibiscus sabdariffa*), ทองอุไร (*Tecoma stans*), ทองกวาว (*Butea monosperma*), ปรีดียาธร (*Tabebuia arentea*), สาวสันทราย (*Clerodendrum quadriloculare*) และ ลั่นทม (*Plumeria obtuse*) พบว่ามีรายงานงานวิจัยที่เกี่ยวกับฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระจากดอกไม้เหล่านี้น้อยมาก แต่มีรายงานวิจัยในการศึกษาส่วนมากทำการศึกษาสารสกัดจากใบ กิ่ง หรือลำต้น ในปี 2017 นิรามัย ฝางกระโทก และคณะ [16] ได้ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนส ของสารสกัดจากใบของสุพรรณิการ์พบว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสารสกัดจากกิ่งและกลีบดอกอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 11.34 ± 4.52 μg/ml ในขณะที่สารมาตรฐานกรดแกลลิก ค่า IC_{50} เท่ากับ 2.70 ± 0.15 μg/ml และพบว่าสารสกัดจากใบยังมีปริมาณสารประกอบฟีโนลิกทั้งหมดเท่ากับ 253.26 ± 10.68 mg GAE/g extract) และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดเท่ากับ 97.37 ± 27.29 mg QCE/g extract ซึ่งมีค่าสูงกว่าสารสกัดจากกิ่งและกลีบดอก และยังพบว่าสารสกัดจากใบมีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไทโรซิเนสได้ดีกว่า โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 0.42 ± 0.07 mg/ml เมื่อเทียบกับสารสกัดจากกลีบดอกและกิ่งตามลำดับ โดยกรดโคจิก (kojic acid) มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสสูงกว่าสารสกัดจากใบประมาณ 8.4 เท่า

ในปี 2025 Xavier และคณะ [17] ได้ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ α-glucosidase ของสารสกัดและส่วนสกัดย่อยจากใบและเปลือกต้นของดอกคูนสกัดด้วยเมทานอล จากนั้นนำสารสกัดจากเปลือกต้น (BME) มาแยกส่วนต่อด้วยเฮกเซน (BHF) เอทิลอะซิเตต (BEAF) และเมทานอล (BMF) พบว่ามีฤทธิ์ยับยั้ง α-glucosidase สูงกว่าสารสกัดจากใบ (LME) เมื่อนำสารสกัดทั้งหมดไปวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์รวม (TPC และ TFC) ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (วิธี DPPH, FRAP และ ABTS) ฤทธิ์ยับยั้ง α-glucosidase รวมถึงการวิเคราะห์ด้วย LC-HRMS และการจำลองการจับกันของโมเลกุล (molecular docking) ของสารที่ระบุได้ ผลการศึกษาพบว่า BME มีค่า TPC และ TFC สูงกว่า LME โดยมีค่าเท่ากับ 38.23 mg GAE/g และ 98.41 mg QE/g ตามลำดับ (เทียบกับ LME ที่มีค่า 3.12 mg GAE/g และ 4.46 mg QE/g) ในขณะที่ส่วนสกัดย่อยจากเปลือกต้นมีค่า TPC อยู่ในช่วง 8.44 ถึง 39.44 mg GAE/g และค่า TFC อยู่ในช่วง 33.62 ถึง 121.86 mg QE/g ทั้งนี้ BME มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า LME เมื่อเปรียบเทียบระหว่างส่วนสกัดย่อย พบว่า BEAF มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด ในทำนองเดียวกัน BME ยังแสดงฤทธิ์ยับยั้ง α-glucosidase ได้ดีกว่า LME โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 2.81 μg/mL และ 60.48 μg/mL ตามลำดับ ส่วนค่า IC_{50} ของส่วนสกัดย่อยจาก BME อยู่ในช่วง 5.86 ถึง 12.15 μg/mL การวิเคราะห์ด้วย LC-HRMS สามารถระบุสารประกอบได้ 32 ชนิด ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มฟีโนลิก ฟลาโวนอยด์ สเตียรอยด์ เทอร์พีนอยด์ แอนทราควิโนน และคูมาริน โดยในบรรดาสารที่ระบุได้นั้น พบว่า quercetin 3-O-rhamnoside-7-O-glucoside มีความสามารถในการจับกับเอนไซม์ α-glucosidase (PDB ID: 3A4A) ได้ดีที่สุดจากการวิเคราะห์ด้วย molecular docking ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า BME มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ยับยั้ง α-glucosidase สูงกว่า LME โดยที่ BEAF เป็นส่วนสกัดย่อยที่มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนสกัดย่อยอื่น ๆ

จากงานวิจัยต่าง ๆ [16-19] จะพบว่า ไม้ดอกที่เลือกมาศึกษานั้นมีรายงานวิจัยฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากใบ กิ่ง หรือเปลือกไม้ ค่อนข้างดี และมีสรรพคุณต่าง ๆ เช่น ยับยั้งเชื้อรา และแบคทีเรีย ลดความดัน ลดน้ำตาลในเลือด แต่ไม่พบรายงานการวิจัยที่ทำจากดอก ผู้วิจัยคิดว่าเมื่อใบ กิ่ง ลำต้น หรือ เปลือกไม้ มีสรรพคุณที่ดี ในส่วนของดอกก็น่าจะมีสารที่มีสรรพคุณที่ดีเช่นกัน ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในดอก ของไม้ดอกที่ปลูกภายในมหาวิทยาลัยรังสิต เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับงานวิจัยเกี่ยวกับอาหารสุขภาพ (functional food) เพื่อให้ผู้บริโภคที่จะรับประทานดอกไม้กินได้ นำสิ่งที่มีในท้องถิ่นมาพัฒนาให้ได้คุณประโยชน์ด้านโภชนาการ อาหารเสริมที่มีคุณค่าต่อสุขภาพ เป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าของไม้ดอกที่มีทั่วไปในประเทศไทย เพื่อนำมาเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร ยา เครื่องสำอาง การเกษตร และประโยชน์ในด้านอื่น ๆ ต่อไปในอนาคต

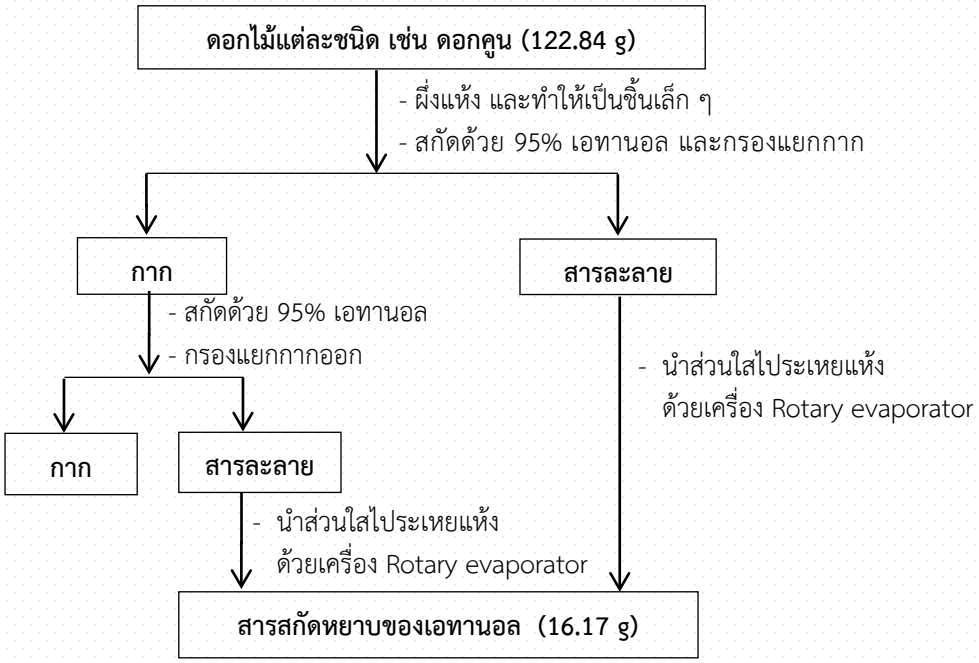
2. วิธีการทดลอง

2.1 ตัวอย่างไม้ดอก

ตัวอย่างไม้ดอกที่ปลูกภายในมหาวิทยาลัยรังสิต อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี โดยเก็บจากบริเวณอาคารต่าง ๆ ในเดือนกุมภาพันธ์ 2569 จำนวน 9 ชนิด ดังต่อไปนี้ ดอกชมพูพันธุ์ทิพย์ ดอกปรีดียาธร ดอกลั่นทม เก็บจากอาคารประสิทธิรัตน์ ดอกทองอุไร ดอกสุพรรณิการ์ ดอกทองกวาว และ ดอกสาวสันทราย เก็บจากอาคารวิษณุรัตน์ต่อเนื่องถึงอาคารประสิทธิ์พัฒนา ส่วนดอกกระเจี๊ยบแดง และดอกคูน เก็บจากอาคารบริการ (โรงงานต้นแบบ)

2.2 การสกัดสารจากตัวอย่างไม้ดอก

นำดอกไม้ที่เก็บมาทั้ง 9 ชนิด ผึ่งให้แห้ง และทำให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ได้น้ำหนักแห้งอยู่ในช่วง 37.04 ถึง 594.73 กรัม (น้ำหนักของสารสกัดค่อนข้างต่างกันมาก เนื่องจากไม้ดอกบางชนิดที่เก็บได้มีน้ำหนักเบามาก เช่น ชมพูพันธุ์ทิพย์ ทองอุไร ลั่นทม ปรีดียาธร คูน และ สาวสันทราย เป็นต้น แต่ในขณะที่ไม้ดอกบางชนิด เช่น ดอกสุพรรณิการ์ซึ่งเป็นดอกไม้ที่มีขนาดใหญ่ เมื่อเก็บมาสกัดเพียง 25-30 ดอก จะได้น้ำหนักค่อนข้างมาก งานวิจัยนี้ใช้ดอกไม้ที่เก็บได้ทั้งหมดมาทำการสกัด เนื่องจากต้องการนำสารสกัดไปทำวิจัยต่อยอดในอนาคต) เมื่อนำดอกไม้แห้งแต่ละชนิดมาแช่ด้วย 95% เอทานอล ในอัตราส่วนของพืชต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1:2 แช่ไว้ 2-3 วัน กรองและนำส่วนของสารละลายที่สกัดได้ไประเหยแห้ง ทำซ้ำแบบนี้จนสารสกัดสีซีดลงหรือไม่มีสี เมื่อนำสารสกัดดอกไม้แห้งชนิดเดียวกันมารวมกันจะได้สารสกัดหยาบ (Crude Extraction) ของเอทานอลที่มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 3.42 ถึง 22.42 กรัม คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักสารสกัดต่อน้ำหนักของดอกไม้แห้งอยู่ในช่วง 2.03 ถึง 28.34 %w/w วิธีสกัดสารจากดอกไม้ทั้ง 9 ชนิดมีขั้นตอนเหมือนกันดังแสดงในรูปที่ 1 ในที่นี้ยกตัวอย่างดอกไม้เพียง 1 ชนิด คือ ดอกคูน



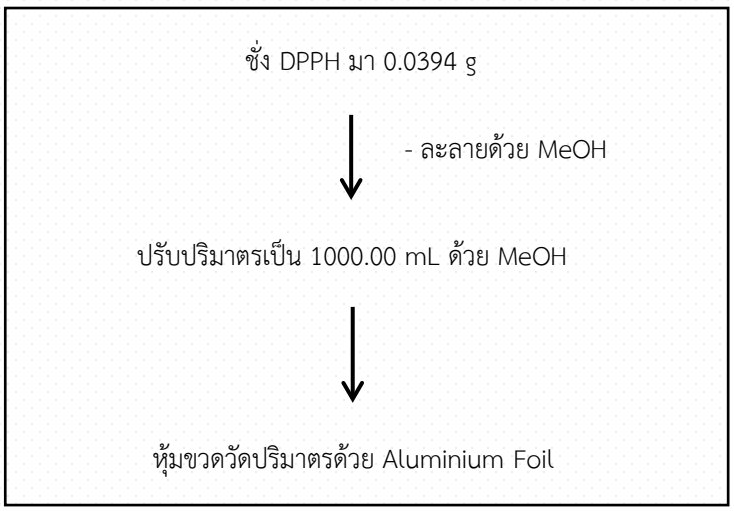
รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างขั้นตอนการสกัดสารจากดอกไม้

2.3 ศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

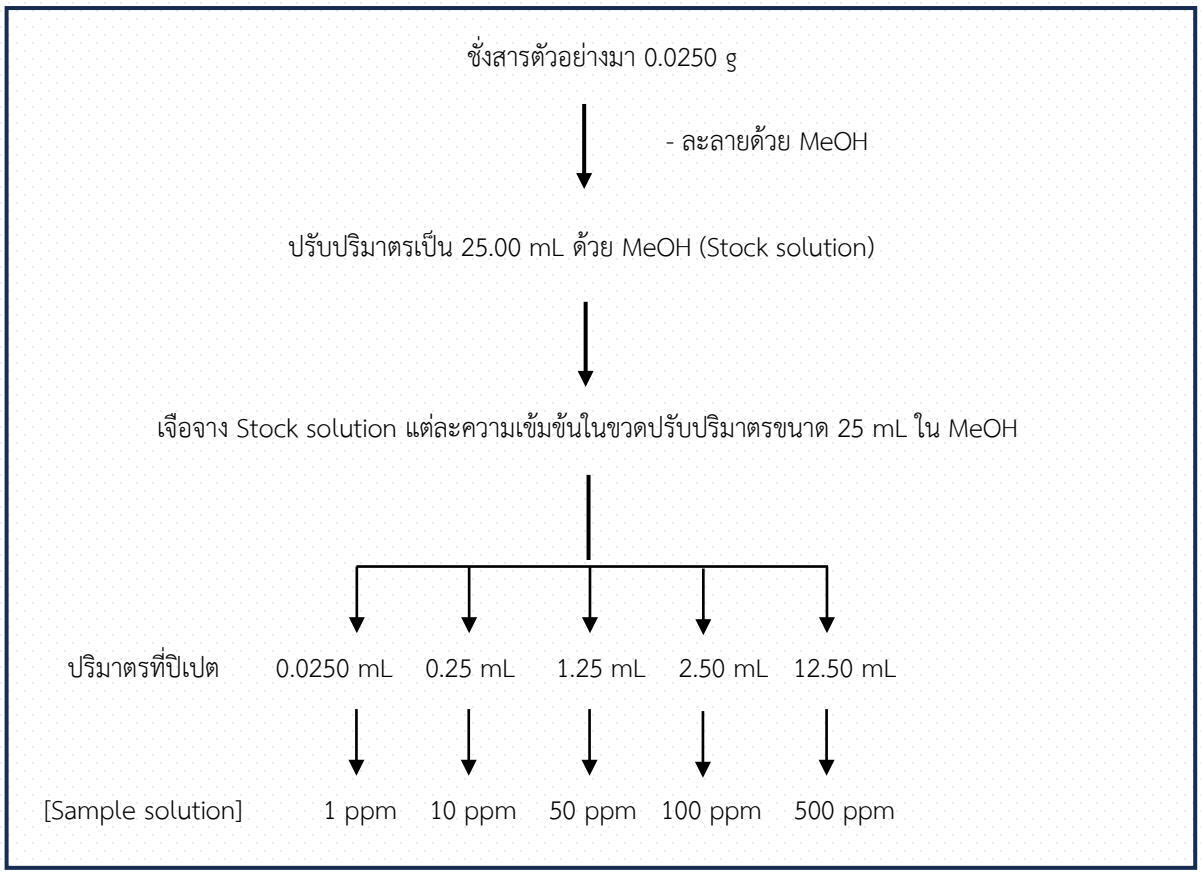
1. เตรียมสารละลาย DPPH ที่ความเข้มข้น 0.10 mM ใน methanol
2. เตรียมสารละลายตัวอย่าง วิตามินซี วิตามินอี และ BHT ที่ความเข้มข้น 1000 ppm (stock solution)
3. เจือจางสารละลายตัวอย่าง วิตามินซี วิตามินอี และ BHT จาก stock solution ข้อ 2 ความเข้มข้นเท่ากับ 1, 10, 50, 100 และ 500 ppm ใน methanol
4. ปิเปตสารละลายตัวอย่าง วิตามินซี วิตามินอี และ BHT แต่ละความเข้มข้นจากข้อ 3 ใส่หลอดทดลองหลอดละ 1.60 mL โดยใช้ความเข้มข้นละ 3 หลอด (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ)
5. ปิเปตสารละลาย DPPH เติมลงในหลอดทดลองข้อ 4 หลอดละ 2.40 mL เขย่าให้เข้ากัน เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที
6. นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 nm ด้วยเครื่อง spectrophotometer นำไปคำนวณเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระ (% Inhibition) ดังสมการต่อไปนี้

$$\% \text{ Inhibition} = \frac{A_{control} - A_{sample}}{A_{control}} \times 100$$

7. สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัดกับเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระ เพื่อนำไปคำนวณค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารสกัดที่สามารถยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระได้ 50 เปอร์เซ็นต์ (IC_{50})



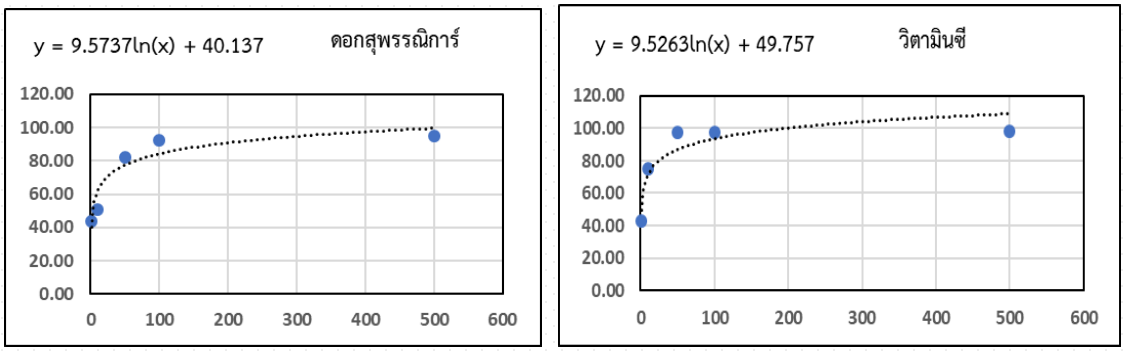
รูปที่ 2 การเตรียมสารละลาย DPPH ที่ความเข้มข้น 0.10 mM



รูปที่ 3 การเตรียมสารละลายตัวอย่าง วิตามินซี วิตามินอี และ BHT

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

จากการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากดอกไม้แห้งที่นำมาศึกษา สกัดด้วย 95% เอทานอล และเปรียบเทียบกับวิตามินซี วิตามินอี และ BHT ทำการทดสอบด้วยวิธี DPPH มีค่าการดูดกลืนแสงที่ดีที่สุดที่ความยาวคลื่น 517 nm เมื่อได้ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่าง และสารเปรียบเทียบ นำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น (ppm) กับ %Inhibition ซึ่งใช้กราฟในรูปของ logarithm ดังแสดงในรูปที่ 4 (แสดงตัวอย่างกราฟของสารสกัดจากดอกสุพรรณิการ์ และ วิตามินซี) เมื่อแทนค่า y เท่ากับ 50 แก้สมการ เพื่อหาค่าความเข้มข้นที่แทนด้วย x จะได้ค่าของ IC_{50} ดังตารางที่ 1 ซึ่งแสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆ %Inhibition และค่า IC_{50} ของสารสกัดตัวอย่าง และสารเปรียบเทียบทั้งหมด โดยค่า IC_{50} คำนวณจากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น (ppm) กับ %Inhibition ในรูปของ logarithm แสดงดังตัวอย่างในรูปที่ 4 ของสารสกัดจากดอกสุพรรณิการ์ และ วิตามินซี



(ก) (ข)

รูปที่ 4 ตัวอย่างกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น (ppm) กับ %Inhibition ของสารสกัดจาก (ก) ดอกสุพรรณิการ์ และ (ข) วิตามินซี ที่ใช้คำนวณหาค่า IC_{50}

ตารางที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสง **%Inhibition** และ ค่า **IC_{50}** ของสารสกัดตัวอย่าง วิตามินซี วิตามินอี และ BHT

สารสกัด (% w/w)	ความเข้มข้น (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย (Mean ± SD)	%Inhibition	IC_{50} (ppm)
		I	II	III			
ดอกสุพรรณิการ์ (11.43 %)	1	0.637	0.622	0.631	0.630 ± 0.008	43.50	2.80
	10	0.542	0.546	0.550	0.546 ± 0.004	51.03	
	50	0.201	0.201	0.201	0.201 ± 0.000	81.97	
	100	0.086	0.089	0.090	0.088 ± 0.002	92.08	
	500	0.053	0.055	0.053	0.054 ± 0.001	95.19	
ดอกคูน (13.16 %)	1	0.640	0.640	0.650	0.643 ± 0.006	42.30	7.46
	10	0.554	0.553	0.554	0.554 ± 0.001	50.34	
	50	0.520	0.521	0.528	0.523 ± 0.004	53.09	
	100	0.422	0.420	0.430	0.424 ± 0.005	61.97	
	500	0.082	0.077	0.084	0.081 ± 0.004	92.74	

ตารางที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสง **%Inhibition** และ ค่า **IC_{50}** ของสารสกัดตัวอย่าง วิตามินซี วิตามินอี และ BHT

สารสกัด (% w/w)	ความเข้มข้น (ppm)	ค่าการดูดกลืนแสง			ค่าเฉลี่ย (Mean ± SD)	%Inhibition	IC_{50} (ppm)
		I	II	III			
ชมพูพันธุ์ทิพย์ (9.50 %)	1	0.658	0.659	0.672	0.663 ± 0.008	40.54	10.23
	10	0.644	0.645	0.638	0.642 ± 0.004	42.39	
	50	0.527	0.522	0.520	0.523 ± 0.004	53.09	
	100	0.412	0.411	0.401	0.408 ± 0.006	63.41	
	500	0.049	0.051	0.052	0.051 ± 0.002	95.46	
ดอกกระเจี๊ยบแดง (13.08 %)	1	0.641	0.642	0.644	0.642 ± 0.002	42.39	10.55
	10	0.619	0.616	0.618	0.618 ± 0.002	44.60	
	50	0.541	0.538	0.539	0.539 ± 0.002	51.63	
	100	0.469	0.474	0.472	0.472 ± 0.003	57.70	
	500	0.116	0.117	0.115	0.116 ± 0.001	89.60	
ดอกทองอุไร 28.34 %)	1	0.652	0.658	0.669	0.660 ± 0.009	40.84	15.10
	10	0.649	0.648	0.648	0.648 ± 0.001	41.85	
	50	0.556	0.557	0.553	0.555 ± 0.002	50.19	
	100	0.501	0.500	0.502	0.501 ± 0.001	55.07	
	500	0.187	0.172	0.178	0.179 ± 0.008	83.95	
ดอกทองกวาว (2.03 %)	1	0.652	0.647	0.656	0.652 ± 0.005	41.55	15.41
	10	0.643	0.643	0.645	0.644 ± 0.001	42.27	
	50	0.554	0.556	0.551	0.554 ± 0.003	50.34	
	100	0.510	0.513	0.512	0.512 ± 0.002	54.11	
	500	0.178	0.179	0.179	0.179 ± 0.001	83.98	
ดอกปรีดียาธร (18.78 %)	1	0.648	0.643	0.652	0648 ± 0.005	41.91	15.75
	10	0.638	0.638	0.631	0.636 ± 0.004	42.99	
	50	0.535	0.536	0.537	0.536 ± 0.001	51.93	
	100	0.505	0.506	0.504	0.505 ± 0.001	54.71	
	500	0.283	0.286	0.283	0.284 ± 0.002	74.53	

ตารางที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสง **%Inhibition** และ ค่า **IC_{50}** ของสารสกัดตัวอย่าง วิตามินซี วิตามินอี และ BHT

สารสกัด (% w/w)	**ความเข้มข้น (ppm)**	**ค่าการดูดกลืนแสง**			**ค่าเฉลี่ย (Mean ± SD)**	**%Inhibition**	**IC_{50} (ppm)**
		I	II	III			
ดอกสาวสันทราย (9.23 %)	1	0.673	0.693	0.684	0.683 ± 0.010	38.71	25.29
	10	0.657	0.656	0.655	0.656 ± 0.001	41.17	
	50	0.608	0.615	0.610	0.611 ± 0.004	50.40	
	100	0.537	0.541	0.547	0.542 ± 0.005	51.42	
	500	0.307	0.294	0.309	0.303 ± 0.008	72.80	
ดอกลั่นทม (21.13 %)	1	0.695	0.697	0.697	0.696 ± 0.001	37.55	145.18
	10	0.666	0.665	0.671	0.667 ± 0.003	40.15	
	50	0.633	0.638	0.632	0.634 ± 0.003	43.11	
	100	0.612	0.615	0.620	0.616 ± 0.004	44.78	
	500	0.448	0.450	0.452	0.459 ± 0.002	59.64	
วิตามินซี (สารเปรียบเทียบ)	1	0.637	0.636	0.647	0.620 ± 0.003	42.60	1.03
	10	0.287	0.286	0.288	0.287 ± 0.001	74.26	
	50	0.029	0.028	0.025	0.027 ± 0.002	97.55	
	100	0.023	0.028	0.028	0.026 ± 0.003	97.64	
	500	0.021	0.021	0.023	0.022 ± 0.001	98.06	
วิตามินอี (สารเปรียบเทียบ)	1	0.628	0.635	0.649	0.637 ± 0.011	42.84	2.08
	10	0.516	0.493	0.498	0.502 ± 0.012	54.95	
	50	0.046	0.047	0.043	0.045 ± 0.002	95.93	
	100	0.039	0.035	0.038	0.037 ± 0.002	96.65	
	500	0.029	0.035	0.031	0.032 ± 0.003	97.16	
บิวทิเลตไฮดรอกซีโทลูอีน (BHT) (สารเปรียบเทียบ)	1	0.617	0.623	0.64	0.627 ± 0.012	43.80	1.55
	10	0.412	0.415	0.42	0.416 ± 0.004	62.72	
	50	0.093	0.092	0.092	0.092 ± 0.001	91.72	
	100	0.063	0.06	0.06	0.061 ± 0.002	94.53	
	500	0.055	0.055	0.055	0.055± 0.000	95.07	

การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) ซึ่งเป็นอนุมูลอิสระที่เสถียรมีสีม่วง เมื่อทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระ ที่ให้ไฮโดรเจนเรดิคัลแก่ DPPH ทำให้ DPPH ไม่มีอนุมูลอิสระสารละลายจึงเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ในการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH จึงต้องใช้สารเปรียบเทียบกับสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน ในงานวิจัยนี้ใช้สารเปรียบเทียบ 3 ชนิดคือ วิตามินซี วิตามินอี และ บิวทิเลตไฮดรอกซีโทลูอีน (BHT) โดยผลการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจะรายงานเป็นค่า IC_{50} ซึ่งเป็นค่าของความเข้มข้นที่ทำให้ความเข้มข้นของ DPPH ลดลง 50% ถ้าสารใดมีค่า IC_{50} ต่ำ แสดงว่ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ดีกว่าสารที่มีค่า IC_{50} ที่สูง [20-21]

จากการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระพบว่า สารสกัดจากดอกของสุพรรณิการ์ มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด มีค่า IC_{50} เท่ากับ 2.80 ppm รองลงมาคือ คูน มีค่า IC_{50} เท่ากับ 7.46 ppm โดยชมพูพันธุ์ทิพย์ กระเจี๊ยบแดง ทองอุไร ทองกวาว ปรีดียาธร และ สาวสันทราย มีค่า IC_{50} เท่ากับ 10.23, 10.55, 15.10, 15.41, 15.75 และ 25.29 ppm ตามลำดับ ส่วนสารสกัดจากดอกลั่นทม มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุดคือ มีค่า IC_{50} เท่ากับ 145.18 ppm ในขณะที่วิตามินซี วิตามินอี และบิวทิเลตไฮดรอกซีโทลูอีน (BHT) มีค่า IC_{50} เท่ากับ 1.03 , 2.08 และ 1.55 ppm ตามลำดับ จากผลการทดลองนี้จะพบว่าสารสกัดจากดอกของ ไม้ดอกเกือบทุกชนิดสามารถต้านอนุมูลอิสระได้ค่อนข้างดี แสดงว่าอาจจะมีสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น วิตามิน สารประกอบฟีโนลิก (phenolic compounds) หรือ สารกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ในดอกของสารสกัดค่อนข้างมาก ซึ่งเป็นแนวทางที่ดีในการทำงานวิจัยเพิ่มเติม ในการสกัดแยกสารบริสุทธิ์ต่อไปในอนาคต หรือทำวิจัยเกี่ยวกับอาหารสุขภาพ (functional food) เพื่อให้ผู้บริโภคที่จะรับประทานดอกไม้กินได้ นำสิ่งที่มีในท้องถิ่นมาพัฒนาให้ได้คุณประโยชน์ด้านโภชนาการ ทำเป็นอาหารเสริมที่มีคุณค่าต่อสุขภาพ เป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าของไม้ดอกที่มีทั่วไปในประเทศไทย หรือเพื่อนำมาเป็นอาหาร ยา และประโยชน์ในด้านอื่นๆ ต่อไปในอนาคต

4. บทสรุป

จากการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากดอกของ สุพรรณิการ์ คูน ชมพูพันธุ์ทิพย์ กระเจี๊ยบแดง ทองอุไร ทองกวาว ปรีดียาธร สาวสันทราย และ ลั่นทม รวมทั้งหมด 9 ชนิด ด้วยวิธี DPPH ซึ่งใช้วิตามินซี วิตามินอี และ BHT เป็นสารเปรียบเทียบ พบว่าสารสกัดจากดอกสุพรรณิการ์ มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด มีค่า IC_{50} เท่ากับ 2.80 ppm รองลงมาคือ คูน มีค่า IC_{50} เท่ากับ 7.46 ppm, ชมพูพันธุ์ทิพย์ มีค่า IC_{50} เท่ากับ 10.23 ppm, กระเจี๊ยบแดง มีค่า IC_{50} เท่ากับ 10.55 ppm, ทองอุไร มีค่า IC_{50} เท่ากับ 15.10 ppm, ทองกวาวมีค่า IC_{50} เท่ากับ 15.41 ppm, ปรีดียาธรมีค่า IC_{50} เท่ากับ 15.75 ppm, สาวสันทราย มีค่า IC_{50} เท่ากับ 25.29 ppm, และ ดอกลั่นทม มีค่า IC_{50} เท่ากับ 145.18 ppm ในขณะที่วิตามินซี วิตามินอี และ บิวทิเลตไฮดรอกซีโทลูอีน (BHT) มีค่า IC_{50} เท่ากับ 1.03 , 2.08 และ 1.55 ppm ตามลำดับ โดยสารสารสกัดจากดอกสุพรรณิการ์ มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด ซึ่งอาจเป็นผลมาจากปริมาณสารประกอบฟีโนลิก และฟลาโวนอยด์ที่มีอยู่มาก ส่วนสารสกัดจากดอกลั่นทมมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระน้อยที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์สารเคมี และเครื่องมือจาก ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Akti, N., and Yildiz, S. (2025) Exploring ultrasound-induced free radical formation: A comparative study in water and sour cherry juice using glutathione and terephthalic acid indicators. *Ultrasonics Sonochemistry*,112 . Article 107193. https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.107193

[2] Trinh, Q. T., Golio, N., Cheng, Y. R., Cha, H. T., Tai, K. U., Ouyang, L. X., Zhao, J., Tran, T. S., Nguyen, T. K., Zhang, J., An, H. J., Wei, Z. J., Jerome, F., Amaniampong, P. N., and Nguyen, N. T. (2025). Sonochemistry and sonocatalysis: Current progress, existing limitations, and future opportunities in green and sustainable chemistry. *Green Chemistry*, 27 (18), 4926–4958. https://doi.org/10.1039/d5gc01098e

[3] Guo, Z., Wu, X., Jayan, H., Yin, L., Xue, S., El-Seedi, H. R., and Zou, X. (2024). Recent developments and applications of surface enhanced Raman scattering spectroscopy in safety detection of fruits and vegetables. *Food Chemistry.* 434, Article 137469. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137469

[4] Rana, A., Dhiman, A., Kumar, S., Suhag, R., and Saini, R. (2024). Osmosonication for dehydration of fruits and vegetables: Mechanistic understanding, mathematical models and comprehensive applications in processing. *Trends in Food Science & Technology*. 152. Article 104688. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104688

[5] Zhang, J., Zhang, Q., Wang, M., Liu, L., Xu, C., Sommano, S., and Long, C. (2025). More than food: Study on the metabolites and bioactivity of edible flowers of *Campylotropis polyantha* (Leguminosae). *Journal of Functional Foods*. 128, Article 106801. https://doi.org/10.1016/j.jff.2025.106801

[6] Kaisoon, O., S. Siriamornpun, N. Weerapreeyakul and N., Meeso. (2011). Phenolic compounds and antioxidant activities of edible flowers from Thailand. *Food Research International*. 3, 88-99.

[7] Kaur, G., Alamb, M.S. Jabbar, Z. Javed, K. and Athar, M. (2006). Evaluation of antioxidant activity of Cassia siamea flowers. *Jounal Ethnopharmacology*. 108, 340-348.

[8] Krasaekoopt, W. and Kongkarnchanatip, A. (2005). Anti-microbial properties of Thai traditional flower vegetable extracts. *Assumption University Journal of Technology*. 9, 71-74.

[9] Boonyaprapatsara, N. (2000). Thai traditional herbal medicine plant. *Prachachon Publishers*, *Bangkok*. Vols. 1 and 4.

[10] อรสุรินทร์ ฮวบบางยางมัณ์นา บัวหนอง เฉลิมชัย วงษ์อารีชัยรัตน์ เตชวุฒิพร และ วาริช ศรีละออง. (2553). การศึกษาคุณค่าทางอาหารและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในดอกไม้ที่รับประทานได้ *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตรศาสตร์* 41(3/1)(พิเศษ), หน้า 381-384.

[11] Rattana, S. and Sungthong, B. (2016). Antioxidant activities and total phenolic contents of methanolic extract from five fragrant flowers. *The 12th Mahasarakham University Research Conference*, 8-9 September, 2016. Mahasarakham: Mahasarakham University.

[12] สุพัตรา แซ่ลิ่ม. (2548). อาหารจานดอกไม้. สำนักพิมพ์คุณพ่อ. กรุงเทพฯ. 176 หน้า.

[13] Kaisoon, O., Konczak, I. and Siriamornpun, S. (2012). Potential health enhancing properties of edible flowers from Thailand. *Food Research International*. 46, 563-565.

[14] Grotewold, E. (2006). The genetics and biochemistry of floral pigments. *Annual Review of Plant Biology*. 57, pp. 761-780. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105248

[15] Iwashina, T. (2015). Contribution to flower colors of flavonoids including anthocyanins: A review. *Natural Product Communications*. 10 (3), pp. 529-544. https://doi.org/10.1177/1934578X1501000335

[16] Fangkrathok, N., Deeharing, S., Petshri, W., Yahauyai, J., Nontakham, J., Siripong, P., Junlatat, J. and Sripanidkulchai, B. (2017) Antioxidant and Antityrosinase Activities of Cochlospermum regium Twig, Petal and Leaf Extracts. *Thai Journal of Pharmaceutical Sciences (TJPS).* 41 (5th IPNaCS Conference Issue), 13-16.

[17] Xavier, F., Hanafi, M., Desmiaty, Y., Lotulung, P. DN., Minarti, M., Meilawati, L. and Artanti, N. (2025) Phytoconstituents and bioactivities of Cassia fistula leaf and stem bark: Antioxidant capacity and α-glucosidase inhibition via molecular docking and in vitro approaches. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 66. Article: 103589 https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1878818125001021.

[18] กฤติยา ไชยนอก. (2517) ลีลาวดีต้นไม้คู่สปา. จุลสารข้อมูลสมุนไพร ปีที่ 25. ฉบับที่ 4. กรกฎาคม 2557. หน้า 13-19.

[19] Kaisoon, O., Siriamornpun, S., Weerapreeyakul, N. and Meeso, N. (2011) Phenolic compounds and antioxidant activities of edible flowers from Thailand. *Journal of Functional Foods*. 3 (2), 88-99.

[20] Iconaru, S. Prodan, A. Buton, N. and Predoi, D. (2017) Structural characterization and antifungal studies of zinc-doped hydroxyapatite coatings. *Molecules.* 22 (4), 604. https://doi.org/10.3390/molecules22040604.

[21] Machado, R.M.D., Haneda, R.N. Trevisan, B.P. and Fontes, S.R. (2012). Effect of enzymatic treatment on the cross-flow microfiltration of acai pulp: analysis of the fouling and recovery of phytochemicals. *J. Food Eng.* 113 (3), 442–452. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.06.022.

การศึกษาความสามารถในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *S. aureus* ของแผ่น Bacterial Cellulose ที่ผสมนาโนซิงค์ออกไซด์จากเปลือกมังคุดเพื่อพัฒนาเป็นแผ่นปิดแผล

Study of the Anti-*S. aureus* Activity of Bacterial Cellulose Incorporated with Mangosteen Peel-Derived ZnO Nanoparticles for Wound Dressing Applications

นางสาวพรเมษา ทาทิตย์[1*] และ นางสาวนัจภัค ใจเพียร[1]

[1]โรงเรียนเซนต์หลุยส์ ฉะเชิงเทรา
*E-mail: fahsaika173@gmail.com

บทคัดย่อ

เซลลูโลสจากแบคทีเรียเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีโครงสร้างนาโนไฟเบอร์เรียงตัวแน่น ดูดซึมน้ำได้ดี ไม่เป็นพิษ และเข้ากันได้ทางชีวภาพ จึงเหมาะสำหรับพัฒนาเป็นแผ่นปิดแผล การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแผ่นปิดแผลเซลลูโลสจากแบคทีเรียร่วมกับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีชีวภาพจากสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด (ZnO-GM) โดยใช้สารสกัดเปลือกมังคุดความเข้มข้น 8%, 16% และ 32% (w/v) ร่วมกับ Zinc acetate 2 M ปรับ pH เป็น 12 และบ่มที่ 90°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นตรวจสอบการเกิดอนุภาคด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer พบค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 366 nm สำหรับความเข้มข้น 32% ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อ *Staphylococcus aureus* พบว่า ZnO-GM จากสารสกัดเปลือกมังคุดความเข้มข้น 32% ให้ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อสูงสุดและเมื่อผสมลงในแผ่นเซลลูโลสจากแบคทีเรีย พบว่ามีบริเวณยับยั้งเชื้อกว้างกว่าแผ่นปกติ แสดงถึงศักยภาพในการพัฒนาเป็นแผ่นปิดแผลสำหรับควบคุมการติดเชื้อ

คำสำคัญ: เซลลูโลสจากแบคทีเรีย อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ เปลือกมังคุด การยับยั้งเชื้อ แผ่นปิดแผล

Abstract

Bacterial cellulose is a natural polymer with a dense nanofiber structure, high water absorption capacity, non-toxicity, and excellent biocompatibility, making it suitable for wound dressing applications. This study aimed to develop a bacterial cellulose wound dressing incorporated with zinc oxide nanoparticles through a green synthesis using crude mangosteen peel extract (ZnO-GM). Zinc acetate (2 M) was mixed with crude mangosteen peel extract at concentrations of 8%, 16%, and 32% (w/v), improved the pH value 12, and incubated at 90°C for 2 hours. Nanoparticle formation was confirmed using a UV–Visible spectrophotometer. The maximum absorption peaks were observed at 366 nm for the 32% extract. Antibacterial testing against *Staphylococcus aureus* showed that ZnO-GM synthesized from the 32% extract exhibited the highest antibacterial activity. When incorporated into bacterial cellulose sheets, the composite produced a larger inhibition zone than untreated bacterial cellulose, demonstrating its potential as a wound dressing material for controlling bacterial infections.

Keywords: Bacterial cellulose, zinc oxide nanoparticles, mangosteen peel, antibacterial activity, wound dressing

1. บทนำ

การติดเชื้อแบคทีเรียในบาดแผล โดยเฉพาะเชื้อ *Staphylococcus aureus* เป็นภาวะแทรกซ้อนที่พบได้บ่อยและมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเกิดบาดแผลที่ผิวหนัง ซึ่งอาจทำให้การรักษาล่าช้าและนำไปสู่กระบวนการอักเสบที่ยืดเยื้อ ส่งผลให้การซ่อมแซมบาดแผลมีประสิทธิภาพลดลง อาจลุกลามเป็นภาวะแผลเรื้อรัง เพิ่มโอกาสการดื้อยาและในกรณีรุนแรงอาจก่อให้เกิดภาวะติดเชื้อในกระแสเลือดและเสียชีวิตได้ [1,2] แม้ในปัจจุบันจะมีการพัฒนาอุปกรณ์หรือวัสดุสำหรับใช้ดูแลบาดแผลที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อ เช่น Polyhexamethylene biguanide (PHMB), Chlorhexidine และ Triclosan ซึ่งมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อ แต่สารเหล่านี้มักมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะการปนเปื้อนในแหล่งน้ำและเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ เช่น สาหร่าย แพลงก์ตอน และสัตว์น้ำขนาดเล็ก ทำให้อาจส่งผลกระทบทางนิเวศวิทยาในระยะยาว [3] ทำให้มีการศึกษาเพื่อพัฒนาวัสดุชีวภาพจากธรรมชาติที่เพิ่มสมบัติต้านเชื้อที่มีความปลอดภัยต่อเซลล์ของมนุษย์ ย่อยสลายได้ และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม เซลลูโลสจากแบคทีเรีย (Bacterial Cellulose: BC) เป็นวัสดุชีวภาพที่สังเคราะห์โดยจุลินทรีย์จากการหมักน้ำชาคอมบูชา (Kombucha) ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นใยนาโนบริสุทธิ์ ปราศจากลิกนินและเฮมิเซลลูโลส มีคุณสมบัติโดดเด่น เช่น ความแข็งแรงเชิงกลสูง การอุ้มน้ำดีมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ และไม่ก่อให้เกิดการระคายเคือง [4] จากการศึกษาก่อนหน้าผู้จัดทำได้พัฒนาแผ่นวัสดุชีวภาพโดยใช้เซลลูโลสจากแบคทีเรียร่วมกับขมิ้นและว่านหางจระเข้ พบว่ามีข้อจำกัดสำคัญ เช่น ขมิ้นมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำส่งผลให้สารสำคัญไม่สามารถออกฤทธิ์ได้อย่างเต็มที่ในสภาพบาดแผลที่มีของเหลวจากร่างกาย อีกทั้งยังมีความไม่คงตัวเมื่อสัมผัสแสง ทำให้ประสิทธิภาพลดลงในการใช้งานจริงจึงต้องพัฒนาให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น

จากงานวิจัยในการพัฒนาวัสดุที่มีสมบัติการต้านเชื้อมีการวิจัยที่ใช้เทคนิค Green synthesis โดยนำสารสกัดพฤกษ-เคมีจากเปลือกผลไม้ไทย อาทิ มังคุด ลำไย มะม่วง กล้วย และลิ้นจี่ อุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มฟลาโวนอยด์ แทนนิน และฟีนอล มาทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซ์และสารช่วยคงสภาพเพื่อสังเคราะห์อนุภาคนาโน ZnO แทนการใช้สารเคมีอันตราย [5] โดยสารเหล่านี้สามารถช่วยในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนได้ผ่านปฏิกิริยารีดักชันและการควบแน่นที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 °C ซึ่งวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ในช่วง 350–365 nm สอดคล้องกับงานวิจัยที่พัฒนาแผ่นปิดแผลคอมโพสิตเซลลูโลสจากแบคทีเรีย (Bacterial Cellulose: BC) หนา 3 มิลลิเมตร นำมาทำความสะอาดด้วย H_2O_2 แล้วปรับปรุงประสิทธิภาพด้วยการแช่ในสารละลายกรดแทนนิก ร่วมกับแมกนีเซียมคลอไรด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากการทดสอบพบว่า เซลลูโลสจากแบคทีเรียมีโครงสร้างภายในเป็นช่องว่างและมีความชอบน้ำสูงมาก โดยค่ามุมสัมผัส (Contact angle) ต่ำเพียง 24.0 ± 3.4° สามารถสร้างแรงยึดเหนี่ยวและดูดซับโมเลกุลที่มีหมู่ไฮดรอกซิล เช่น กรดแทนนิกและฟลาโวนอยด์จากสารสกัดธรรมชาติได้ดีเยี่ยม ส่งผลให้แผ่นวัสดุมีคุณสมบัติทางกล เสถียรภาพทางความร้อน และการอุ้มน้ำที่โดดเด่น อีกทั้งการรวมระหว่างโครงสร้าง เซลลูโลสจากแบคทีเรีย กรดแทนนิก และสารสกัดธรรมชาติ [6] ส่งผลให้แผ่นคอมโพสิตแสดงการปลดปล่อยสารที่มีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้งการสร้างไบโอฟิล์มของเชื้อ *S. aureus* ได้อย่างมีนัยสำคัญจึงนับเป็นแนวทางที่มีศักยภาพสูงในการพัฒนาเป็นแผ่นปิดแผลชีวภาพที่ปลอดภัยและเป็นมิตรต่อระบบนิเวศ ผู้จัดทำได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่พบว่าเปลือกมังคุด (*Garcinia mangostana*) ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยเฉพาะในภาคตะวันออกของประเทศไทยมีปริมาณมากถึง 20 ตันต่อปี [9] มีองค์ประกอบของสารพฤกษเคมีที่ออกฤทธิ์ในการต้านเชื้อแบคทีเรียได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น α-mangostin และ γ-mangostin นอกจากนี้มีรายงานนำสารสกัดจากเปลือกมังคุดมาใช้ในกระบวนการ Green synthesis สามารถสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO-GM) ที่มีความเสถียรและปลอดภัยต่อเซลล์มนุษย์ โดยเฉพาะบริเวณเซลล์ผิวหนังชั้นเคราติโนไซต์และไฟโบรบลาสต์ ในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในวัสดุต้านเชื้อแบคทีเรีย [7,10] ด้วยเหตุนี้ผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาความสามารถในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *S. aureus* ของแผ่นเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ผสมด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จากเปลือกมังคุดเพื่อพัฒนาเป็นแผ่นปิดแผลและลดข้อจำกัดของการใช้สารธรรมชาติในรูปแบบเดิม ทั้งยังเป็นแนวทางการเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและส่งเสริมการใช้วัสดุชีวภาพที่ยั่งยืนในการดูแลบาดแผลอย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย

2. วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยกระบวนการแบบชีวภาพ (Green synthesis) โดยใช้สารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุด

2. เพื่อศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากกระบวนการแบบชีวภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*)

3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *S. aureus* ของแผ่นเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ผสมด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จากเปลือกมังคุด

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุด

นำเปลือกมังคุดมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ จากนั้นล้างซ้ำด้วยน้ำกลั่นเพื่อขจัดสิ่งปนเปื้อน นำเปลือกมังคุดมาหั่นเป็นชิ้นบาง นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C จนแห้งสนิท จากนั้นนำเปลือกมังคุดแห้งมาบดให้เป็นผงละเอียด ชั่งผงเปลือกมังคุด 8, 16 และ 32 กรัม นำไปสกัดด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร โดยเก็บรักษาไว้ในที่มืดอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดทำการกรองแยกกากออกด้วยกระดาษกรอง และนำสารละลายที่ได้ไปดำเนินการขั้นถัดไป [3,7]

3.2 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จากสารสกัดเปลือกมังคุด (ZnO-GM)

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จากการเตรียมสารละลาย Zinc acetate ความเข้มข้น 2 โมลาร์ โดยการละลายผง Zinc acetate จำนวน 18.3 กรัมลงในน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ในสารละลายที่สกัดแล้วความเข้มข้นร้อยละ 8, 16 และ 32 (w/v) ทำการปรับ pH ของสารละลายผสมให้มีค่าประมาณ 12 ด้วยการหยดสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 2 โมลาร์ จากนั้นนำสารละลายทั้งหมดไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วจึงตั้งทิ้งไว้ให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง นำสารละลายที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15–20 นาทีเพื่อแยกตะกอน และทำการตรวจสอบคุณลักษณะการเกิดอนุภาคนาโนด้วย UV-Visible spectrophotometer ช่วงความยาวคลื่น 200–800 nm โดยพิจารณาจากลักษณะเฉพาะของค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดในช่วง 350–365 nm สุดท้ายนำตะกอนอนุภาคนาโนที่ได้มาล้างด้วยน้ำกลั่นและเอทานอลจำนวน 3 ครั้งเพื่อขจัดสารเจือปนที่ตกค้าง ก่อนนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C จนแห้งสนิท จะได้ผงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์จากเปลือกมังคุด [7,8]

3.3 การผลิตแผ่นเซลลูโลสจากแบคทีเรียและการเตรียมแผ่น BC-ZnO-GM

กระบวนการผลิตเซลลูโลสจากแบคทีเรียปรับจากงานวิจัยที่สืบค้น [6,7] โดยเริ่มจากการเตรียมน้ำต้มชาอู่หลง ปริมาตร 1 ลิตร จากใบชาแห้ง 10 กรัม ทำการกรองกากชาออกแล้วเติมน้ำตาลทราย 100 กรัม คนจนละลายสนิทและพักไว้จนเย็นลงเท่าอุณหภูมิห้อง จากนั้นเติมหัวเชื้อคอมบูชาและน้ำชาหมักส่วนตั้งต้นลงไป ทำการคลุมปิดภาชนะด้วยผ้าขาวบางและรัดด้วยยางให้แน่น บ่มทิ้งไว้ ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10–14 วัน จนเกิดแผ่นเซลลูโลสจากแบคทีเรียบริเวณผิวหน้าของเหลว จากนั้นนำแผ่นเซลลูโลสมาล้างซ้ำด้วยน้ำกลั่นจนปราศจากสิ่งปนเปื้อน แล้วนำไปฆ่าเชื้อด้วยสารละลาย H_2O_2 ความเข้มข้นร้อยละ 3 ก่อนนำไปต้มด้วยน้ำกลั่นเพื่อกำจัดเศษเซลล์และสารเคมีส่วนเกิน แล้วจึงนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C สำหรับการเตรียม BC-ZnO-GM ทำได้โดยการนำแผ่นเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ผ่านการทำความสะอาดแล้ว ไปแช่ในสารละลาย ZnO-GM เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้อนุภาคนาโนแทรกซึมเข้าสู่โครงสร้างอย่างทั่วถึง จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จนได้แผ่นปิดแผลเซลลูโลสจากแบคทีเรียผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์สำเร็จรูปเพื่อนำไปทดสอบฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียต่อไป [6]

3.4 การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

การทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย เริ่มต้นด้วยการเพาะเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ในอาหารเลี้ยงเชื้อภายใต้สภาวะปลอดเชื้อ โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อชนิด Luria Broth medium และ Tryptic Soy medium เพื่อเลี้ยงจนได้เชื้อที่บริสุทธิ์ ในส่วนของการทดสอบขั้นแรก นำสารสกัด ZnO-GM ที่สังเคราะห์ได้มาทดสอบด้วยวิธี Agar well diffusion เปรียบเทียบกับสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดปกติและยาปฏิชีวนะมาตรฐาน โดยทำการสังเกต วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

ของบริเวณการยับยั้งเชื้อ (Clear zone) และบันทึกผล ในขั้นต่อมาทำการทดสอบประสิทธิภาพของแผ่นปิดแผลด้วยวิธี Disc diffusion โดยนำแผ่น BC-ZnO-GM จากแต่ละความเข้มข้นมาตัดเป็นแผ่นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร แล้วนำไปทดสอบเปรียบเทียบกับแผ่นวัสดุเซลลูโลสปกติและแผ่นวัสดุที่ผสมยาปฏิชีวนะ ทำการบ่มเชื้อ สังเกตบริเวณการยับยั้งเชื้อ (Clear zone) พร้อมทั้งวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณการยับยั้งเชื้อและบันทึกผลการทดลอง ทั้งนี้ข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณยับยั้งเชื้อทั้งหมด [6,7] นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบรายคู่ (Post Hoc Analysis) ด้วยวิธี Tukey's HSD เพื่อจับคู่เปรียบเทียบและระบุว่าคู่การทดลองใดบ้างที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ระดับนัยสำคัญ 0.05) จากนั้นนำไปทดสอบกับสภาพบาดแผลจำลองที่เกิดไบโอฟิล์มและวิเคราะห์ความหนาแน่นของแบคทีเรียด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ ImageJ

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการสังเคราะห์และลักษณะของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จากสารสกัดเปลือกมังคุด (ZnO-GM)

จากการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีชีวภาพ (Green synthesis) โดยใช้สารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดร่วมกับสารละลาย Zinc acetate พบว่าปฏิกิริยาสามารถก่อให้เกิดตะกอนสีม่วงขุ่นขึ้นในทุกระดับความเข้มข้นของสารสกัดที่ใช้ทดลอง (ร้อยละ 8, 16 และ 32 w/v) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของการเกิดอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างซิงค์ไอออน (Zn^{2+}) กับหมู่ฟังก์ชันในสารพฤกษเคมี เช่น หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) และหมู่คาร์บอนิล (C=O) ซึ่งพบได้มากในสารกลุ่ม Xanthones สารสำคัญหลักในเปลือกมังคุด ได้แก่ α-mangostin และ γ-mangostin [7,8,10] โดยสารเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นทั้งตัวรีดิวซ์และตัวคงรูปในกระบวนการเกิดอนุภาคนาโน เมื่อนำ ZnO-GM ไปตรวจสอบค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer พบว่าแถบสเปกตรัมของทั้งสามความเข้มข้น โดยมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด (Absorption peak) อยู่ที่ความยาวคลื่น 362-366 nm ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นที่เป็นลักษณะจำเพาะของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานการวิจัย ซึ่งระบุว่าค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของ ZnO-GM ที่สังเคราะห์ด้วยสารสกัดเปลือกมังคุดจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 350–365 nm การที่พีคการดูดกลืนแสงของทุกชุดความเข้มข้นอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าสารพฤกษเคมีในสารสกัดเปลือกมังคุดมีความสามารถในการควบคุมขนาดและโครงสร้างของอนุภาคนาโนได้อย่างมีเสถียรภาพ [7,8] สำหรับลักษณะทางกายภาพของ ZnO-GM หลังผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยงล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นสลับกับเอทานอลและอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มามีลักษณะเป็นผงละเอียด สีม่วงขุ่น สม่ำเสมอและไม่เกาะกลุ่มกันเป็นก้อนแข็ง ที่สอดคล้องกับสมมติฐานของงานวิจัยระบุว่าสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ และแทนนิน ในเปลือกมังคุดทำหน้าที่เป็นสารคงรูปที่มีประสิทธิภาพ ช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการรวมตัวกันของอนุภาค นอกจากนี้ ZnO-GM ที่สังเคราะห์ได้ยังสามารถกระจายตัวในน้ำกลั่นได้ดีโดยไม่เกิดการตกตะกอนภายในระยะเวลา 1–2 ชั่วโมง และมีความคงตัวทางกายภาพและเคมีสูง สามารถเก็บรักษาได้นานอย่างน้อย 1 สัปดาห์โดยไม่มีการเปลี่ยนสี ซึ่งแสดงถึงความเสถียรที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในวัสดุชีวภาพ [8]

4.2 ลักษณะทางกายภาพของแผ่นเซลลูโลสจากแบคทีเรียก่อนและหลังการดูดซับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

แผ่นเซลลูโลสจากแบคทีเรีย (Bacterial Cellulose: BC) ที่ผลิตจากการหมักน้ำชาอู่หลงร่วมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ของคอมบูชา มีลักษณะทางกายภาพคือ มีผิวเรียบ โปร่งแสง มีความยืดหยุ่นสูง และมีความเหนียวที่เหมาะสม [4] โดยภายหลังการนำแผ่นเซลลูโลสจากแบคทีเรียไปแช่ในสารละลาย ZnO-GM ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 8, 16 และ 32 (w/v) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าแผ่นวัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพอย่างชัดเจน โดยผิวของแผ่นเปลี่ยนจากลักษณะโปร่งแสงเป็นสีม่วงขุ่นอย่างสม่ำเสมอ มีการแพร่และการดูดซับ ZnO-GM เข้าสู่โครงข่ายเส้นใยเซลลูโลส [6,7] จากนั้นนำแผ่นวัสดุคอมโพสิตไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 ℃ พบว่าแผ่นวัสดุมีความแข็งแรงเชิงกลเพิ่มมากขึ้น คงรูปได้ดี ยืดหยุ่นและฉีกขาดได้ยาก แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างสามมิติของเซลลูโลสจากแบคทีเรียมีประสิทธิภาพสูงในการดูดซับและยึดจับกับอนุภาคนาโน สอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาโครงสร้างภายในของแผ่นเซลลูโลสจากแบคทีเรียมีลักษณะเป็นรูพรุนและมีช่องว่างขนาดเล็กจำนวนมาก ส่งผลให้มีความสามารถในการดูดซับของเหลวสูง ประกอบกับโครงสร้างของเซลลูโลสมีคุณสมบัติชอบน้ำเด่นชัด จึงสามารถสร้างแรงยึดเหนี่ยวทางเคมี เช่น พันธะไฮโดรเจนที่เชื่อมกับโมเลกุลของสารพฤกษเคมีที่มีหมู่ไฮดรอกซิล เช่น กรดแทนนิกและฟลาโวนอยด์จากเปลือกมังคุดที่ล้อมรอบอนุภาคนาโนได้ดี ทำให้อนุภาคนาโนสามารถแทรกซึมและยึดเกาะภายในโครงสร้างเส้นใยได้อย่างมีเสถียรภาพ เหมาะสำหรับพัฒนาเป็นวัสดุนำส่งสารต้านจุลชีพ [6]

4.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus*

จากการประเมินประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ของอนุภาคนาโน ZnO-GM ด้วยวิธี Agar well diffusion พบว่าอนุภาคนาโน ZnO-GM มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยขนาดของบริเวณยับยั้ง (Clear zone) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดที่ใช้ในการสังเคราะห์ แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ของอนุภาคนาโน ZnO-GM ที่สังเคราะห์จากสารสกัดมังคุดความเข้มข้นต่าง ๆ ด้วยวิธี Agar well diffusion

ชุดการทดสอบ		ขนาด Clear zone เฉลี่ย (mm)	F-value	p-value
ชุดทดลอง	ZnO-GM 8%	11.59 ± 1.34	80.64	0.00*
	ZnO-GM 16%	14.04 ± 1.41		
	ZnO-GM 32%	20.90 ± 0.62		
ชุดควบคุม	GM 8%	8.62 ± 0.89		
	GM 16%	10.59 ± 2.75		
	GM 32%	14.94 ± 1.44		
	ยาปฏิชีวนะ Clindamycin	37.4 ± 1.96		

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 1 ผลสถิติชี้ให้เห็นว่า อนุภาคนาโน ZnO-GM ที่ความเข้มข้นร้อยละ 32 มีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อได้ดีที่สุดในกลุ่มทดลอง โดยมีขนาด Clear zone เฉลี่ยเท่ากับ 20.90 ± 0.62 มิลลิเมตร ซึ่งสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่เป็นสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดที่ความเข้มข้น 32% ที่มีขนาด Clear zone เท่ากับ 14.94 ± 1.44 มิลลิเมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ยิ่งไปกว่านั้น จากการทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่พบว่า อนุภาคนาโน ZnO-GM มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อแบคทีเรียสูงกว่าสารสกัดมังคุดปกติในทุกระดับความเข้มข้นอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าทางสถิติของแต่ละกลุ่มด้วยวิธี Tukey's HSD

Group 1	Group 2	p-value
Clindamycin	GM 16%	0.001*
	GM 32%	0.001*
	GM 8%	0.001*
	ZnO-GM 16%	0.001*
	ZnO-GM 32%	0.012*
	ZnO-GM 8%	0.001*
GM 16%	GM 32%	0.057
	GM 8%	0.015*
	ZnO-GM 16%	0.001*
	ZnO-GM 32%	0.001*
	ZnO-GM 8%	0.001*
GM 32%	GM 8%	0.001*
	ZnO-GM 16%	0.001*
	ZnO-GM 32%	0.001*
	ZnO-GM 8%	0.001*
GM 8%	ZnO-GM 16%	0.001*
	ZnO-GM 8%	0.909
ZnO-GM 32%	ZnO-GM 8%	0.001*

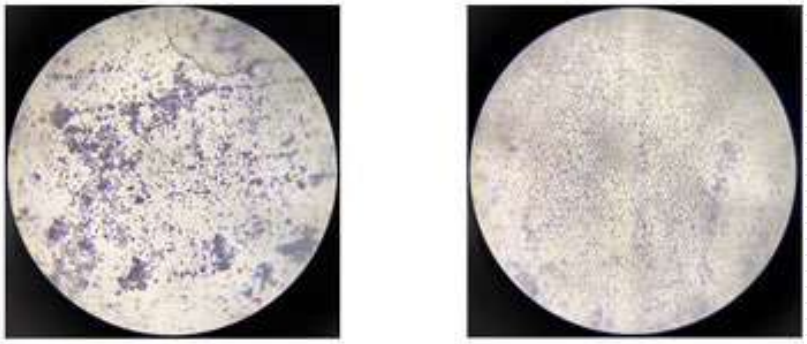
*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p<0.05$)

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี Tukey's HSD พบว่าประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในหลายคู่การทดลอง โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่สังเคราะห์เป็น ZnO-GM กับกลุ่มสารสกัดมังคุดปกติ (GM) พบว่าการสังเคราะห์เป็นอนุภาคนาโนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อได้อย่างเด่นชัดในทุกระดับความเข้มข้น ไม่ว่าจะเป็นที่ความเข้มข้น 8%, 16% หรือ 32% เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดมังคุดปกติ ซึ่งยืนยันว่าอนุภาคนาโนสามารถออกฤทธิ์ทำลายและยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่าสารสกัดธรรมชาติในรูปแบบเดิมอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบภายในกลุ่ม ZnO-GM พบว่าอนุภาคนาโนที่ความเข้มข้นสูงสุด คือ ZnO-GM 32% มีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อสูงกว่ากลุ่ม ZnO-GM 16% และ ZnO-GM 8% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อนำชุดการทดลองทั้งหมดไปเปรียบเทียบกับยาปฏิชีวนะควบคุมอย่าง Clindamycin พบว่ายาปฏิชีวนะมาตรฐานยังมีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อได้สูงที่สุดเหนือกว่าสารสกัดและอนุภาคนาโนทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สรุปได้ว่าอนุภาคนาโน ZnO-GM ที่ความเข้มข้น 32% เป็นวัสดุจากธรรมชาติที่มีศักยภาพสูงที่สุด

เมื่อนำแผ่น BC-ZnO-GM 32% มาทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียด้วยวิธี Disc diffusion เพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการนำไปใช้เป็นแผ่นปิดแผล พบว่าวัสดุคอมโพสิตสามารถยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ได้เป็นอย่างดี โดยผลการทดลองแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ของแผ่นวัสดุชีวภาพคอมโพสิตด้วยวิธี Disc diffusion

กลุ่มทดสอบ	การทดสอบขนาด Clear zone เฉลี่ย (mm)
BC-ZnO-GM 32%	22.13 ± 1.68
BC-GM 32%	14.77 ± 2.59
ควบคุม (ยาปฏิชีวนะ)	24.95 ± 0.58



ก่อน หลัง

รูปที่ 1 ผลการยับยั้งแบคทีเรียที่นำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ภาพ ImageJ

เมื่อนำไบโอฟิล์มแบคทีเรียจากแผลมาวิเคราะห์ความหนาแน่นของแบคทีเรียพบว่าบริเวณที่มีค่าเฉลี่ยขนาดก่อนทดสอบ BC-ZnO-GM 93.18 ± 14.51 px/μm และหลัง 52.30 ± 15.60 px/μm แสดงให้เห็นว่า แผ่น BC-ZnO-GM มีความสามารถในการทำลายและลดการเกาะกลุ่มกันของเชื้อ *S. aureus* ที่เคยเกาะกันอย่างหนาแน่นและมีขนาดใหญ่ เกิดการยับยั้งการเจริญของเชื้อ และมีขนาดเฉลี่ยของกลุ่มเซลล์ลดลงในสภาวะบาดแผลจำลอง

จากการศึกษาพบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีชีวภาพจากสารสกัดหยาบเปลือกมังคุด (ZnO-GM) มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *S. aureus* สูงกว่าสารสกัดหยาบเปลือกมังคุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเป็นผลมาจากการออกฤทธิ์ส่งเสริมกันระหว่างสารพฤกษเคมีจากธรรมชาติและสมบัติจำเพาะของวัสดุโครงสร้างนาโน ในกระบวนการ Green synthesis สารพฤกษเคมีหลักในเปลือกมังคุด ทำหน้าที่เป็นทั้งสารรีดิวซ์ และสารควบคุมขนาดและคงสภาพผิวอนุภาค ส่งผลให้โมเลกุลของสารสกัดเหล่านี้เข้าสร้างพันธะและเคลือบอยู่บนพื้นผิวของ ZnO อย่างเสถียร ทำให้กลไกการเข้าทำลายเซลล์แบคทีเรียมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยกระบวนการแบบชีวภาพ (Green synthesis) โดยใช้สารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุด จากการทดลอง เมื่อตรวจสอบค่าการดูดกลืนแสงพบว่ามีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 366 nm ซึ่งเป็นช่วงของอนุภาคนาโน ZnO แสดงว่าสามารถใช้สารสกัดมังคุดในการเตรียมอนุภาคนาโนได้ โดยในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *S. aureus* จากผลการทดสอบพบว่า ZnO-GM ที่เตรียมจากสารสกัดมังคุดที่ 32% สามารถเกิดบริเวณยับยั้งได้มากกว่าสารสกัดหยาบจากเปลือกมังคุดที่เป็นกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *S. aureus* ของแผ่นปิดแผลเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ผสมด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จากเปลือกมังคุด จากผลการทดลองแผ่นปิดแผลที่ผสมด้วยสารละลาย ZnO-GM สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อ *S. aureus* ได้มากกว่าแผ่นเซลลูโลสจากแบคทีเรียที่ไม่ได้ผสม ZnO-GM

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาการปล่อยไอออน Zn^{2+} จาก ZnO-GM บนแผ่นเซลลูโลสจากแบคทีเรียในสภาพแวดล้อมจริง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการต้านเชื้อและควบคุมการปล่อยสารออกฤทธิ์
2. พัฒนาวิธีผสม ZnO-GM กับแผ่นเซลลูโลสให้มีความเสถียรและกระจายตัวดี เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวและประสิทธิภาพการต้านเชื้อ
3. ทดสอบประสิทธิภาพและความปลอดภัยของแผ่น BC-ZnO-GM ในการใช้งานจริงและกับเซลล์มนุษย์ เพื่อยืนยันความปลอดภัยและประสิทธิผล

6. **กิตติกรรมประกาศ**

โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณภราดากุลชาติ จันทะโชโต ผู้อำนวยการและคณะผู้บริหารโรงเรียนเซนต์หลุยส์ ฉะเชิงเทรา ที่ได้อนุเคราะห์สถานที่และสนับสนุนการดำเนินโครงงาน ขอกราบขอบพระคุณผู้อำนวยการสถาบันสุขภาพเด็กแห่งชาติมหาราชินี และเจ้าหน้าที่งานจุลชีววิทยา ที่ให้ความอนุเคราะห์ทางด้านเชื้อแบคทีเรียและการดำเนินการตรวจสอบทางเทคนิค ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์พงศ์พรหม พรเพิ่มพูน ที่คอยให้คำแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องมาโดยตลอด และสุดท้ายนี้ขอมอบแด่บิดา มารดา ที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนตลอดมา

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Dabiri,G., et al. (2014). The role of microbial biofilm in chronic wounds and strategies for management. Journal of Wound Care, 23(8), 385-394.

[2] Swanson, T., et al. (2016). Wound infection in clinical practice: An international consensus update. International Wound Journal, 13(S2), 5-11.

[3] Orvos, D. R., et al. (2002). Environmental risk assessment of triclosan and its potential ecological impacts. Environmental Toxicology and Chemistry, 21(7), 1338-1349.

[4] ไพรินทร์ ตันติวิชยานนท์. (2562). การพัฒนาและประยุกต์ใช้เซลลูโลสจากแบคทีเรียในงานวิศวกรรมเนื้อเยื่อและวัสดุการแพทย์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 27(3), 415-428.

[5] สุริสา สากยโรจน์, และคณะ. (2563). ศักยภาพของสารสกัดเปลือกผลไม้ไทยเพื่อการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยเทคโนโลยีสีเขียว. วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์, 14(2), 85-98.

[6] He W, Zhang Z, Chen J, Zheng Y, Xie Y, Liu W, Wu J, and Mosselhy D.A. (2021). Evaluation of the anti-biofilm activities of bacterial cellulose-tannic acid-magnesium chloride composites using an in vitro multispecies biofilm model. Regen Biomater, 8(6). https://doi.org/10.1093/rb/rbab054

[7] Jaithon, T., & T-Thienprasert, N. P., et al. (2022). Biosynthesis of zinc oxide nanoparticles utilizing mangosteen peel extract for biomedical application. Nanomaterials, 12(4), 654.

[8] Maheswaran, G., et al. (2024). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles: A review on fruit peel extracts, characterization, and antibacterial properties. Journal of Cluster Science, 35(1), 12-28.

[9] พนม จงกล, และคณะ. (2562). รายงานสถานการณ์และปริมาณวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในเขตภาคตะวันออกของประเทศไทย. สำนักงานวิจัยและพัฒนาการเกษตร.

[10] Aminuzzaman, M., et al. (2022). Green synthesis of ZnO nanoparticles using Garcinia mangostana peel extract and their photocatalytic and antibacterial activities. Journal of Environmental Chemical Engineering, 10(2), 107-120.

[11] Babayevska, N., et al. (2022). Mechanisms of antimicrobial action of zinc oxide nanoparticles against Gram-positive pathogens. Materials Science and Engineering: C, 134, 112-125.

การพัฒนารูปแบบการจัดการขยะหลังภาวะน้ำท่วมแบบมีส่วนร่วมของชุมชน กรณีศึกษาพื้นที่ตามแนวลำน้ำกกในจังหวัดเชียงราย

Developing a Community-Based Participatory Flood Waste Management Model : A Case Study of the Kok River Basin Area in Chiang Rai Province

พิณัฏฐิณีย์ จิตคำ[1*] พัชรินทร์ วินยางค์กูล[1] เนตรา สมกำลัง[1] และ นุชกานต์ สว่าง[1]

[1] คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
*E-mail: Pinutthinee.jit@crru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารูปแบบการจัดการขยะหลังภาวะน้ำท่วมแบบมีส่วนร่วมของชุมชน กรณีศึกษาพื้นที่ตามแนวลำน้ำกกในจังหวัดเชียงราย เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (Participatory Action Research: PAR) ตามวงจร PAOR (Plan, Act, Observe, Reflect) ดำเนินการในพื้นที่ลุ่มน้ำกก ตำบลแม่ยาว อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย จำนวน 3 หมู่บ้านที่ประสบปัญหาน้ำท่วมในปี 2567 จำนวน 45 คน โดยใช้กระบวนการสนทนากลุ่ม วิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพด้วยการวิเคราะห์เชิงเนื้อหา (Content Analysis) ร่วมกับการวิเคราะห์เชิงธีม (Thematic Analysis) และตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลด้วยการ วิเคราะห์ 3 เส้า (Triangulation) และประเมินความเหมาะสมของรูปแบบโดยผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 3 ท่าน ผลการวิจัยพบว่า หลังเหตุการณ์น้ำท่วมพื้นที่ศึกษาประสบปัญหาปริมาณขยะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ระบบจัดการขยะขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นไม่สามารถรองรับได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากขาดแผนรองรับ บุคลากร เครื่องมือ งบประมาณ และการบูรณาการความร่วมมือระหว่างหน่วยงาน ขณะที่ประชาชนมีส่วนร่วมเพียงในระดับการปฏิบัติ แต่ยังมีศักยภาพและความพร้อมในการร่วมวางแผนและตัดสินใจ ผลการพัฒนารูปแบบนำไปสู่รูปแบบการจัดการขยะหลังภาวะน้ำท่วมแบบมีส่วนร่วมของชุมชนที่ประกอบด้วย 6 องค์ประกอบ ได้แก่ (1) การเตรียมความพร้อมก่อนเกิดน้ำท่วม (2) การเฝ้าระวัง ระบบบัญชาการ และการสื่อสาร (3) การมีส่วนร่วมของภาคีเครือข่ายในการจัดการขยะทันทีหลังน้ำลด (4) การจัดการขยะตามประเภทและลำดับความสำคัญ (5) การฟื้นฟูและเฝ้าระวังด้านสุขภาพสิ่งแวดล้อม และ (6) การติดตาม ประเมินผล และปรับปรุงรูปแบบอย่างต่อเนื่อง ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินความเหมาะสมของรูปแบบโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.44, S.D. = 0.78)

คำสำคัญ : การจัดการขยะหลังภาวะน้ำท่วม การมีส่วนร่วมของชุมชน อุทกภัย

Abstract

This study aimed to develop a community-based participatory flood waste management model through a case study of communities located along the Kok River in Chiang Rai Province, Thailand. The study employed Participatory Action Research (PAR) based on the PAOR cycle (Plan, Act, Observe, Reflect). The research was conducted in three villages in Mae Yao Subdistrict, Mueang Chiang Rai District, Chiang Rai Province, which were affected by flooding in 2024. A total of 45 participants were selected. Data was collected through focus group discussions. Qualitative data were analyzed using Content Analysis and Thematic Analysis, while the trustworthiness of the findings was established through data triangulation. The appropriateness of the developed model was evaluated by three experts. The findings revealed that the study communities experienced a substantial increase in waste generation following the flood. Existing waste management systems operated by local administrative organizations were unable to effectively cope

with the increased waste volume due to the absence of emergency preparedness plans, insufficient personnel, inadequate equipment, limited budgets, and weak inter-agency collaboration. Although community participation was primarily limited to the implementation stage, local residents demonstrated considerable potential and willingness to participate in planning and decision-making processes. The developed community-based participatory post-flood waste management model comprised six key components: (1) pre-flood preparedness; (2) surveillance, incident command, and risk communication; (3) participation of community networks in immediate post-flood waste management; (4) waste management based on waste classification and priority setting; (5) environmental health recovery and surveillance; and (6) continuous monitoring, evaluation, and model improvement. The overall appropriateness of the model was evaluated by experts at the highest level ($\bar{x}$ = 4.44, S.D. = 0.78).

Keywords: Flood Waste Management, Community-Based Participatory, Flood

1. บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate change) ส่งผลให้วิกฤตภัยธรรมชาติมีความรุนแรงและเกิดถี่ขึ้น โดยเฉพาะปัญหาอุทกภัยในประเทศไทย [1] ดังเหตุการณ์สำคัญคือเหตุการณ์อุทกภัยครั้งใหญ่ ในจังหวัดเชียงรายเมื่อเดือนกันยายน พ.ศ. 2567 ซึ่งสร้างความเสียหายอย่างหนักต่อชุมชนพื้นที่ตามแนวลำน้ำกก ปัญหาสำคัญและเร่งด่วนที่ตามมาหลังน้ำลดคือ "วิกฤตขยะหลังภัยพิบัติ" ปริมาณมหาศาล ทั้งขยะพลาสติก ซากอิเล็กทรอนิกส์ วัสดุก่อสร้าง และเศษตะกอนดินโคลน ขยะเหล่านี้หากไม่ได้รับการจัดการอย่างทันท่วงที จะเกิดการหมักหมม กลายเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของเชื้อโรค เกิดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำและสิ่งแวดล้อม ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาวะและคุณภาพชีวิตของประชาชนในมิติของสาธารณสุขชุมชน [2]

ในภาวะวิกฤตดังกล่าว ปริมาณขยะที่เพิ่มขึ้นอย่างฉับพลันเกินขีดความสามารถของระบบการจัดการขยะแบบดั้งเดิมที่พึ่งพาหน่วยงานท้องถิ่นเพียงฝ่ายเดียว การแก้ปัญหาให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดจึงจำเป็นต้องอาศัย "การมีส่วนร่วมของชุมชน" ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของการจัดการสิ่งแวดล้อมและขยะอย่างยั่งยืน การเปิดโอกาสให้ชุมชนมีบทบาทในการคัดแยก จัดการและฟื้นฟูพื้นที่ของตนเอง ไม่เพียงช่วยลดภาระของภาครัฐ แต่ยังเป็นการสร้างความตระหนักรู้และเสริมสร้างความเข้มแข็ง (empowerment) ให้ชุมชนสามารถจัดการความเสี่ยงด้านสุขภาพด้วยตนเองได้อย่างยั่งยืน [3]

ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาวิเคราะห์ปัจจัยและข้อจำกัดของระบบเดิม เพื่อ "พัฒนารูปแบบการจัดการขยะหลังภาวะน้ำท่วมแบบมีส่วนร่วมของชุมชน" ในพื้นที่ตามแนวลำน้ำกก จังหวัดเชียงราย โดยบูรณาการองค์ความรู้ด้านสาธารณสุขศาสตร์และการพัฒนาชุมชนเข้าด้วยกัน ผลลัพธ์จากการศึกษานี้ไม่เพียงแต่จะช่วยลดความเสี่ยงด้านโรคติดต่อและปัญหาสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ แต่ยังมุ่งหวังให้เป็น “ต้นแบบ (model)” ในการบริหารจัดการขยะหลังภัยพิบัติที่สอดคล้องกับบริบทของท้องถิ่น ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่เสี่ยงภัยริมน้ำอื่น ๆ เพื่อรับมือกับความท้าทายด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อพัฒนารูปแบบการจัดการขยะหลังภาวะน้ำท่วมแบบมีส่วนร่วมของชุมชน ในจังหวัดเชียงราย

3. ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยศึกษาการพัฒนารูปแบบการจัดการขยะหลังภาวะน้ำท่วมแบบมีส่วนร่วมของชุมชน กรณีศึกษาพื้นที่ตามแนวลำน้ำกกในจังหวัดเชียงราย เป็นการศึกษาเชิงคุณภาพเพื่อพัฒนารูปแบบที่เหมาะสมในการจัดการขยะหลังภาวะน้ำท่วมของชุมชน มีขอบเขตในการศึกษาดังต่อไปนี้

ขอบเขตด้านเนื้อหา

1. สถานการณ์ปัญหาขยะมูลฝอยหลังภาวะน้ำท่วมใหญ่ในปี 2567
2. รูปแบบการจัดการขยะหลังภาวะน้ำท่วมแบบมีส่วนร่วมของชุมชน

ขอบเขตด้านพื้นที่

ศึกษาในพื้นที่ชุมชนลุ่มน้ำกก ที่มีผลกระทบอุทกภัยน้ำท่วมในปี พ.ศ.2567 เขตตำบลแม่ยาว อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

ขอบเขตด้านประชากร

การศึกษาครั้งนี้เป็นงานวิจัยเชิงคุณภาพ ทำการศึกษาในกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง จำนวน 45 คน ประกอบด้วย 5 กลุ่ม

1. กลุ่มประชาชน โดยผู้แทนประชาชนในพื้นที่ ที่มีความหลากหลายด้านอายุ เพศ และประสบการณ์ด้านการจัดการขยะในครัวเรือนและชุมชน จำนวน 15 คน
2. กลุ่มผู้นำชุมชนและคณะกรรมการชุมชน จำนวน 9 คน
3. กลุ่มเครือข่ายชุมชน จำนวน 9 คน
4. กลุ่มอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน จำนวน 9 คน
5. กลุ่มเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการบริหารจัดการขยะมูลฝอยในเทศบาลตำบลแม่ยาว จำนวน 3 คน

ขอบเขตด้านระยะเวลา

ในการวิจัยครั้งนี้ทำการวิจัยและเก็บข้อมูลในช่วงเดือนมิถุนายน - กันยายน พ.ศ. 2568

4. วิธีดำเนินการวิจัย

รูปแบบการวิจัย

การศึกษางานวิจัย เรื่องการพัฒนารูปแบบการจัดการขยะหลังภาวะน้ำท่วมแบบมีส่วนร่วมของชุมชน กรณีศึกษาพื้นที่ตามแนวลำน้ำกกในจังหวัดเชียงราย เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (participatory action research: PAR) ตำมวงจร PAOR (Plan, Act, Observe, Reflect) มีวิธีการศึกษาดังนี้

1. การเก็บข้อมูล ดำเนินการตามวงจร PAOR (Plan, Act, Observe, Reflect)

Plan วางแผนการดำเนินการ

1. ทบทวนเอกสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลพื้นฐานสถานการณ์น้ำท่วมปี พ.ศ.2567
2. วิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น ระบุประเด็นปัญหาหลักที่ต้องศึกษา
3. เตรียมข้อมูล จัดทำคู่มือการดาเนิน Focus Group แต่ละกลุ่ม
4. เตรียมเครื่องมือ : แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง, วัสดุอุปกรณ์
5. ประสานงาน กับผู้เข้าร่วม 5 กลุ่ม
6. กำหนดตารางการดำเนินงาน

Act การดำเนิน Focus Group และเก็บรวบรวมข้อมูล

เพื่อวิเคราะห์สถานการณ์และกำหนดแนวทางร่วมกัน โดยผ่าน focus group ทั้ง 5 กลุ่ม มีวิธีดำเนินการแบ่งเป็น 3 ช่วง ดังนี้

1. ช่วงเตรียมการ
   - ผู้วิจัยแนะนำตัวผู้ดำเนินการและทีมวิจัย
   - ชี้แจงวัตถุประสงค์ของการสนทนากลุ่ม
   - ขออนุญาตบันทึกเสียงการสนทนา
   - แจ้งระยะเวลาการสนทนาประมาณ 2 ชั่วโมง (แบ่ง 2 ช่วง ช่วงละ 1 ชั่วโมง)
   - เน้นย้ำว่าไม่มีคำตอบที่ถูกหรือผิด ต้องการความคิดเห็นที่หลากหลายจากทุกคน โดยรับรองการเก็บข้อมูลเป็นความลับ
2. ช่วงการดำเนินการสนทนา
   - เริ่มจากคำถามทั่วไปก่อน แล้วจึงเข้าสู่ประเด็นเฉพาะ
   - กระตุ้นให้ผู้เข้าร่วมทุกคนมีส่วนร่วมในการแสดงความคิดเห็น
   - สรุปประเด็นสาคัญเป็นระยะ เพื่อความเข้าใจที่ตรงกัน
   - ควบคุมเวลาในแต่ละประเด็นให้เหมาะสม

3. ช่วงการสรุปปิดการสนทนา
   - สรุปประเด็นสำคัญทั้งหมดที่ได้จากการสนทนา
   - สอบถามว่ามีประเด็นอื่นที่ผู้เข้าร่วมต้องการเพิ่มเติมหรือไม่

Observe การวิเคราะห์ข้อมูลและสร้างรูปแบบการป้องกัน

ดำเนินการสังเกตุและรวบรวมข้อมูลจากกระบวนการสนทนากลุ่ม โดยนาข้อมูลที่ได้รับการบันทึกเสียงมาถอดเทปคำสนทนาอย่างละเอียด ควบคู่กับการใช้บันทึกภาคสนาม (field notes) และผังความคิดที่ผู้เข้าร่วมร่วมกันจัดทำระหว่างการประชุม เพื่อสะท้อนบริบทของการสนทนาอย่างครบถ้วน จากนั้นผู้วิจัยนาข้อมูลมาวิเคราะห์โดยใช้การวิเคราะห์เชิงเนื้อหา (content analysis) ร่วมกับการวิเคราะห์เชิงธีม (thematic analysis) ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลด้วยการวิเคราะห์สามเส้า (data triangulation) โดยเปรียบเทียบข้อมูลจาก 3 แหล่ง ได้แก่ คำอภิปรายของผู้เข้าร่วมสนทนากลุ่ม บันทึกภาคสนาม และข้อเสนอจากการระดมความคิดเห็นในที่ประชุม ผลจากกระบวนการวิเคราะห์ดังกล่าว นำไปสู่การพัฒนา “รูปแบบการจัดการขยะหลังภาวะน้ำท่วมแบบมีส่วนร่วมของชุมชน” ในลักษณะรูปแบบเชิงแนวคิด (conceptual model) ซึ่งมุ่งเสนอกลไกและแนวทางที่เหมาะสมกับบริบทพื้นชุมชนลุ่มแม่น้ำกก

Reflect ประเมินรูปแบบโดยผู้ทรงคุณวุฒิที่เชี่ยวชาญด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม ด้านการมีส่วนร่วม และด้านนโยบายสาธารณะ จำนวน 3 ท่าน

โดยเครื่องมือประเมินเป็นแบบประเมินความเหมาะสมของรูปแบบใน 5 ด้าน ได้แก่ ความถูกต้องของเนื้อหา ความเป็นไปได้ในการนาไปปฏิบัติ ความครอบคลุมปัจจัย ที่เกี่ยวข้อง ความเหมาะสมกับบริบทพื้นที่ชุมชนลุ่มน้ำกก และความชัดเจนของกลไกการขับเคลื่อน วิเคราะห์ผลการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิ ปรับปรุงรูปแบบตามข้อเสนอแนะ

การจัดการข้อมูล

1. การตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูล

   ตรวจสอบความครบถ้วนสมบูรณ์ของบันทึกเสียง บันทึกภาคสนาม และเอกสารที่เกี่ยวข้องภายหลังการเก็บข้อมูลแต่ละครั้ง เพื่อให้มั่นใจว่าข้อมูลที่ได้รับมีคุณภาพเพียงพอต่อการวิเคราะห์

2. การถอดเทปและเตรียมข้อมูล

   แปลงบันทึกเสียงการสนทนาเป็นข้อความลายลักษณ์อักษร และอ่านทบทวนข้อมูลหลายรอบเพื่อทำความคุ้นเคยกับเนื้อหาก่อนเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์

3. การเข้ารหัสข้อมูล

   ดำเนินการเข้ารหัสข้อมูล จากข้อมูลดิบ จากนั้นจัดกลุ่มรหัสที่มีความสัมพันธ์กันเพื่อสร้างหมวดหมู่ และพัฒนาเป็นธีมหลัก (themes) ที่สะท้อนประเด็นสาคัญของข้อมูล

4. การวิเคราะห์เชิงเนื้อหาและเชิงธีม

   ใช้การวิเคราะห์เชิงเนื้อหา (content analysis) ร่วมกับการวิเคราะห์เชิงธีม (thematic analysis)

5. การสังเคราะห์ข้อมูลข้ามกลุ่ม

   นำผลการวิเคราะห์จากทั้ง 5 กลุ่มมาสังเคราะห์เปรียบเทียบ เพื่อค้นหาประเด็นร่วมและความแตกต่างเชิงมุมมองระหว่างกลุ่ม อันนำไปสู่การพัฒนารูปแบบที่สะท้อนมุมมองของทุกภาคส่วน

6. การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูล

   ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของผลการวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์สามเส้า (data triangulation) โดยเปรียบเทียบข้อมูลจาก 3 แหล่ง ได้แก่ คำอภิปรายจากการสนทนากลุ่ม บันทึกภาคสนาม และเอกสารหรือผังความคิดที่ผู้เข้าร่วมจัดทำระหว่างการประชุม เพื่อยืนยันความสอดคล้องและความน่าเชื่อถือของผลการวิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ ใช้การวิเคราะห์เชิงเนื้อหา (content analysis) ร่วมกับการวิเคราะห์เชิงธีม (thematic analysis) และตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลด้วยการ วิเคราะห์ 3 เส้า (triangulation)

5. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ข้อมูลจากการสนทนากลุ่ม (focus group discussion) ได้รับการบันทึกเสียง และถอดเทปคำสนทนาเพื่อสรุปสาระสำคัญของการอภิปราย ควบคู่กับการใช้บันทึกภาคสนาม (field notes) และเอกสารหรือผังความคิดที่ผู้เข้าร่วมร่วมกันจัดทำระหว่างการประชุม ผู้วิจัยใช้การวิเคราะห์ข้อมูล เชิงเนื้อหา (content analysis) ร่วมกับการวิเคราะห์เชิงธีม (thematic analysis) โดยดำเนินการถอดเทปคำสนทนาอย่างละเอียด และอ่านทบทวนข้อมูลหลายรอบเพื่อทำความเข้าใจบริบทของข้อมูล จากนั้นทำการเข้ารหัสข้อมูล (coding) จัดกลุ่มรหัสตามความสัมพันธ์ของเนื้อหา และสังเคราะห์เป็นประเด็นหลัก (themes) ตามกรอบแนวคิดการวิจัย ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้ตรวจสอบความสอดคล้องของข้อมูลจากหลายแหล่ง ได้แก่ คำอภิปรายของผู้เข้าร่วม บันทึกภาคสนาม และข้อเสนอจากการระดมความคิดเห็นในที่ประชุม (data triangulation) เพื่อยืนยันความน่าเชื่อถือของผลการวิจัย สำหรับการนำเสนอผลการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อ ดังนี้

1. สถานการณ์ปัญหาขยะหลังน้ำท่วม

หลังเหตุการณ์น้ำท่วม พื้นที่ริมลำน้ำกกประสบปัญหาปริมาณขยะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะฟอร์นิเจอร์ในบ้านที่เสียหายจากน้ำท่วม เศษไม้และซากพืช เครื่องเรือนและเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เสียหาย ขยะพลาสติกและโฟม รวมไปจนถึงซากสัตว์ และนอกจากน้ยังพบว่าจุดรวบรวมขยะไม่เพียงพอมีการขนย้ายล่าช้า จนทำให้เกิดการเน่าเหม็นมีแมลงและสัตว์พาหะเพิ่มขึ้น ส่งผลกระทบต่อผู้อยู่อาศัย ประเด็นที่ค้นพบในชุมชนส่วนใหญ่ไม่มีแผนจัดการขยะหลังน้ำท่วมที่ชัดเจนและดำเนินการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าเป็นหลัก ผลการศึกษาสะท้อนว่าภัยน้ำท่วมส่งผลให้ระบบจัดการขยะขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเกิดภาวะเกินขีดความสามารถ เนื่องจากปริมาณขยะเพิ่มขึ้นหลายเท่าตัวภายในระยะเวลาอันสั้น การขาดแผนรองรับและระบบบริหารจัดการในภาวะฉุกเฉินจึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการสะสมของขยะและความเสี่ยงด้านสุขภาพสิ่งแวดล้อม

การจัดการขยะหลังสถานการณ์น้ำท่วม พบว่าการจัดการขยะภายหลังน้ำท่วมดำเนินการโดย องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น อาสาสมัคร ผู้นำชุมชน และประชาชน อย่างไรก็ตามการดำเนินงานไม่มีมาตรฐานเดียวกัน ไม่มีการคัดแยกขยะ การกำจัดขยะอันตรายยังไม่มีระบบที่ชัดเจนและไม่มีคู่มือปฏิบัติ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการจัดการขยะยังเป็นรูปแบบการตอบสนองหลังเกิดเหตุ มากกว่าการเตรียมความพร้อมล่วงหน้า ส่งผลให้ประสิทธิภาพการจัดการลดลง และก่อให้เกิดภาระต่อหน่วยงานท้องถิ่น

ปัญหาอุปสรรคการจัดการขยะหลังน้ำท่วม ผู้ให้ข้อมูลเสนอปัญหาหลัก 6 ด้าน 1) บุคลากรไม่เพียงพอขาดเจ้าหน้าที่เก็บขยะ 2) งบประมาณจำกัด ไม่มีงบฉุกเฉินเฉพาะด้านขยะ 3) เครื่องมือในการจัดการขยะหลังน้ำท่วมไม่เพียงพอ 4) การประสานงานแต่ละหน่วยงานทำงานแยกกัน ไม่มีศูนย์บัญชาการร่วม 5) ประชาชนขาดความรู้ ไม่ทราบวิธีคัดแยกและทิ้งรวมกัน 6) การสื่อสารไม่ทั่วถึง ปัญหาที่พบสะท้อนว่าการจัดการขยะหลังน้ำท่วมเป็นประเด็นที่ต้องอาศัยการบูรณาการหลายภาคส่วน ทั้งด้านทรัพยากร บุคลากร การสื่อสาร และการบริหารจัดการ การดำเนินงานแบบต่างคนต่างทำทำให้ประสิทธิภาพลดลงและเกิดความซ้ำซ้อนในการใช้ทรัพยากร

การมีส่วนร่วมของชุมชน ผลการศึกษาผู้เข้าร่วมสนทนาเห็นตรงกันว่าชุมชนมีความพร้อมในการมีส่วนร่วมแต่ส่วนใหญ่ถูกเชิญเข้าร่วมเฉพาะช่วงเก็บขยะยังไม่มีส่วนร่วมในการ วางแผน ตัดสินใจ ติดตามผล ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าระดับการมีส่วนร่วมยังอยู่ในระดับการร่วมปฏิบัติ มากกว่าการมีส่วนร่วมเชิงนโยบายและการตัดสินใจ ซึ่งไม่สอดคล้องกับหลักการมีส่วนร่วมที่เน้นการร่วมคิด ร่วมตัดสินใจ ร่วมดำเนินการ และร่วมประเมินผล การเปิดโอกาสให้ชุมชนมีบทบาทตั้งแต่การวิเคราะห์ปัญหาจะช่วยให้รูปแบบการจัดการสอดคล้องกับบริบทพื้นที่และมีความยั่งยืนมากขึ้น

ปัจจัยแห่งความสำเร็จ ผลการศึกษาพบปัจจัยสนันสนุน 7 ด้าน 1) ผู้นำชุมชนเข้มแข็ง 2) อสม.มีศักยภาพ 3) องค์การปกครองส่วนท้องถิ่นสนับสนุน 4) มีเครือข่ายอาสาสมัคร 5) ประชาชนให้ความร่วมมือ 6) มีระบบสื่อสารออนไลน์ 7) มีการเตรียมแผนล่วงหน้า ผลการศึกษาสะท้อนว่าความสำเร็จของการจัดการขยะหลังน้ำท่วมไม่ได้ขึ้นกับทรัพยากรเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับทุนทางสังคม และธรรมาภิบาลของชุมชน ซึ่งเอื้อต่อการสร้างการมีส่วนร่วมและการประสานงานระหว่างภาคส่วน

2. การพัฒนารูปแบบการจัดการขยะหลังภาวะน้ำท่วมแบบมีส่วนร่วมของชุมชน

การวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (participatory action research: PAR) ตามวงจร PAOR ของ Kemmis และคณะ [4] ผ่านกระบวนการสนทนากลุ่ม (focus group discussion) กับ 5 กลุ่มหลัก ได้แก่ กลุ่มประชาชน กลุ่มผู้นำชุมชนและคณะกรรมการชุมชน กลุ่มเครือข่ายชุมชน กลุ่มอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) และกลุ่มเจ้าหน้าที่ที่

เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการบริหารจัดการขยะมูลฝอยในเทศบาลตำบลแม่ยาว ได้ร่วมกันวิเคราะห์สถานการณ์ สถานการณ์ปัญหาขยะหลังน้ำท่วม และกำหนดแนวทางป้องกันร่วมกัน ผลกระบวนการดังกล่าวนำไปสู่การพัฒนา “รูปแบบการจัดการขยะหลังภาวะน้ำท่วมแบบมีส่วนร่วมของชุมชน” ในลักษณะการจัดการขยะก่อนน้ำท่วม – ระหว่างน้ำท่วม – หลังน้ำลด ซึ่งเป็นรูปแบบเชิงแนวคิด (conceptual model) โดยอาศัยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชนตาม วงจร PAOR เป็นกลไกขับเคลื่อน สอดคล้องกับบริบทของพื้นที่ตามแนวลำน้ำกกในจังหวัดเชียงราย และสะท้อนบทบาทของภาคส่วนต่างๆ ในชุมชนอย่างเป็นระบบ

แนวทางพัฒนารูปแบบ ผลการศึกษา ผู้เข้าร่วมเสนอว่า รูปแบบควรประกอบด้วย ก่อนน้ำท่วม ควรมีการจัดทำแผนการจัดการขยะน้ำท่วม สำรวจพื้นที่เสี่ยง จัดเตรียมอุปกรณ์การจัดการ และฝึกอบรม ระหว่างน้ำท่วม ควรจัดตั้งศูนย์บัญชาการ เพื่อควบคุมการบัญชาการที่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ดำเนินการให้คัดแยกขยะน้ำท่วมตั้งแต่ต้นทาง มีการสื่อสารให้หลากหลายช่องทาง หลังน้ำลด ให้มีการสำรวจปริมาณขยะน้ำท่วม จัดลำดับพื้นที่ดำเนินการจัดการ คัดแยกขยะแต่ละประเภท ขนส่ง กำจัด และฟื้นฟูพื้นที่ ผลการศึกษาชี้ว่าการจัดการขยะหลังน้ำท่วมควรดำเนินการอย่างเป็นวงจร (cycle-based management) ตั้งแต่ระยะเตรียมความพร้อม ระยะเผชิญเหตุ และระยะฟื้นฟู ซึ่งจะช่วยลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพได้อย่างเป็นระบบ

จากการสังเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพและการประชุมเชิงปฏิบัติการ สามารถเสนอรูปแบบการจัดการขยะหลังน้ำท่วมแบบมีส่วนร่วมของชุมชน ประกอบด้วย 6 องค์ประกอบหลัก ได้แก่

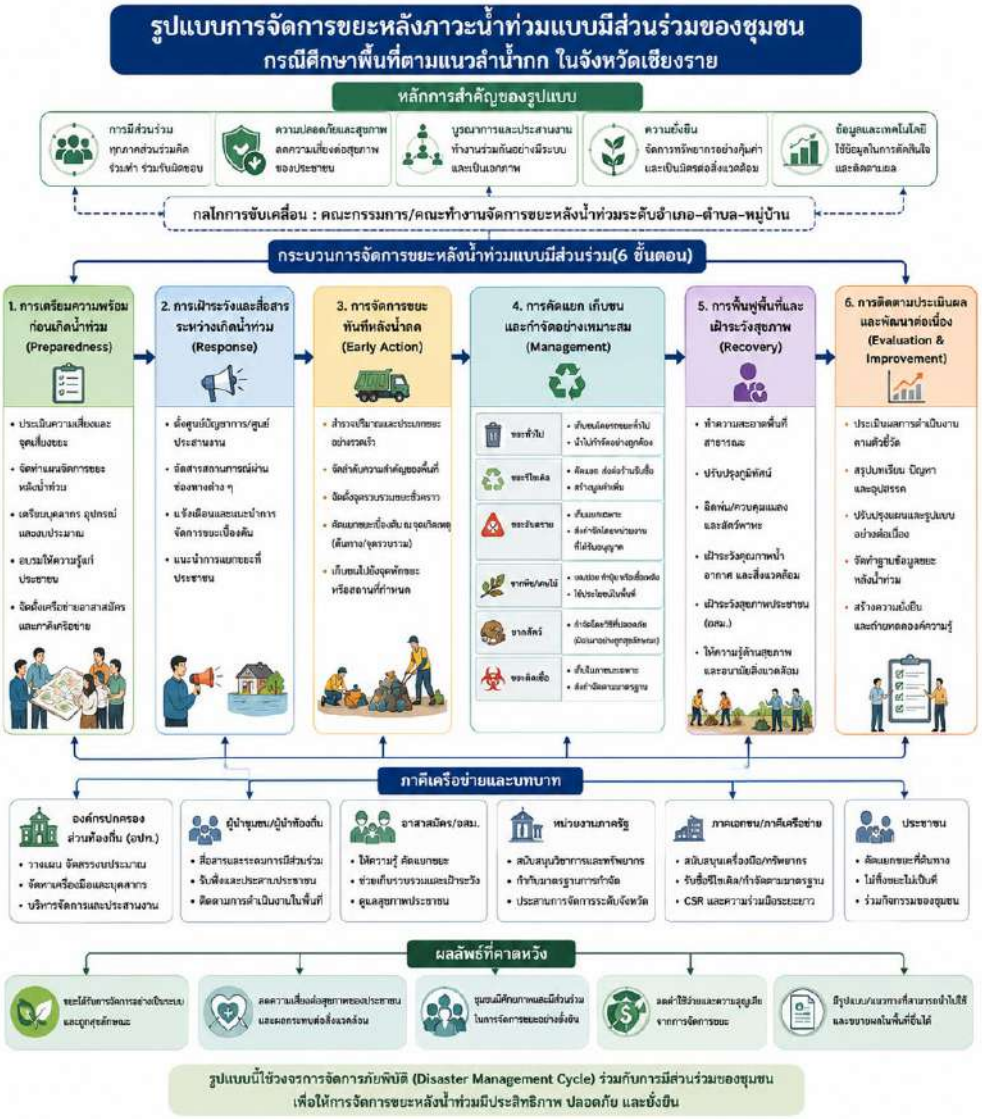
1. การเตรียมความพร้อมก่อนเกิดน้ำท่วม
2. การเฝ้าระวัง ระบบบัญชาการและการสื่อสาร
3. การมีส่วนร่วมของภาคีเครือข่าย การจัดการขยะทันทีหลังน้ำลด
4. การจัดการขยะตามประเภทและลำดับความสำคัญ เก็บขนและกำจัดอย่างเหมาะสม
5. การฟื้นฟูและเฝ้าระวังด้านสุขภาพสิ่งแวดล้อม
6. การติดตามประเมินผลและปรับปรุงรูปแบบอย่างต่อเนื่อง

ผลการศึกษาสะท้อนว่า การจัดการขยะหลังภาวะน้ำท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำกกยังมีข้อจำกัดด้านการวางแผน การบูรณาการระหว่างหน่วยงาน และการมีส่วนร่วมของประชาชน ส่งผลให้การดำเนินงานส่วนใหญ่เป็นการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า อย่างไรก็ตาม ชุมชนมีทุนทางสังคมและเครือข่ายที่เข้มแข็ง ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนารูปแบบการจัดการขยะแบบมีส่วนร่วม รูปแบบที่พัฒนาขึ้นจึงควรยึดหลักการจัดการภัยพิบัติแบบครบวงจร (disaster management cycle) ผสานกับแนวคิดการมีส่วนร่วมของชุมชนและการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ทุกภาคส่วนมีบทบาทตั้งแต่การเตรียมความพร้อมการตอบสนอง การฟื้นฟู และการติดตามประเมินผลอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ รูปแบบดังกล่าวควรมีการกำหนดบทบาทหน้าที่ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องอย่างชัดเจน มีระบบสื่อสารและฐานข้อมูลร่วม รวมถึงตัวชี้วัดด้านประสิทธิภาพการจัดการขยะและผลลัพธ์ด้านสุขภาพสิ่งแวดล้อม เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้ได้จริงในพื้นที่ตามแนวลำน้ำกก และขยายผลไปยังพื้นที่เสี่ยงอุทกภัยอื่นที่มีบริบทใกล้เคียงได้อย่างยั่งยืน.

6. บทสรุป

รูปแบบการจัดการขยะหลังภาวะน้ำท่วมแบบมีส่วนร่วมของชุมชน กรณีศึกษาพื้นที่ตามแนวลำน้ำกกในจังหวัดเชียงราย มีกระบวนการจัดการขยะหลังน้ำท่วมแบบมีส่วนร่วม 6 ขั้นตอน คือ

1. การเตรียมความพร้อมก่อนเกิดน้ำท่วม
2. การเฝ้าระวัง ระบบบัญชาการและการสื่อสาร
3. การมีส่วนร่วมของภาคีเครือข่าย การจัดการขยะทันทีหลังน้ำลด
4. การจัดการขยะตามประเภทและลำดับความสำคัญ เก็บขนและกำจัดอย่างเหมาะสม
5. การฟื้นฟูและเฝ้าระวังด้านสุขภาพสิ่งแวดล้อม
6. การติดตามประเมินผลและปรับปรุงรูปแบบอย่างต่อเนื่อง



ภาพที่ 1 รูปแบบการจัดการขยะหลังภาวะน้ำท่วมแบบมีส่วนร่วมของชุมชน กรณีศึกษาพื้นที่ตามแนวลำน้ำกก จังหวัดเชียงราย.ภาพที่สร้างด้วย AI

5. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่อง การพัฒนารูปแบบการจัดการขยะหลังภาวะน้ำท่วมแบบมีส่วนร่วมของชุมชน กรณีศึกษาพื้นที่ตามแนวลำน้ำกกในจังหวัดเชียงราย ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายที่พิจารณาให้ทุนสนับสนุนการวิจัย จากงบประมาณกองทุนสนับสนุนงานวิจัยเพื่อการพัฒนา ประจำปี 2568 นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ให้ข้อมูลทุกท่าน เทศบาลตำบลแม่ยาว และผู้ร่วมวิจัยทุกท่าน จนก่อให้เกิดเป็นงานวิจัยที่เป็นรูปธรรมชัดเจน และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการพัฒนาต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

[1] กรมอุตุนิยมวิทยา. (2565). ภัยธรรมชาติในประเทศไทย. กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม.

[2] กองอำนวยการป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดเชียงราย. (2567). รายงานสถานการณ์อุทกภัยและดินถล่ม จังหวัดเชียงราย ประจำปี 2567. กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย.

[3] กรมควบคุมมลพิษ. (2567). คู่มือแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยในสถานการณ์เหตุเพลิงไหม้ ภาวะอุทกภัยและพิบัติภัยธรรมชาติ.

[4] Kemmis, S., McTaggart, R., & Nixon, R. (2014). The action research planner: Doing critical participatory action research. Singapore: Springer.

การพัฒนาเว็บแชทบอทสำหรับการจัดการกิจกรรมนักศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

Development of a Web-Based Chatbot for Student Activity Management at the Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

อติเมธ นาทอง[1] พชระ ป้อมป้องภัย[1] ก้องภพ นิลทับโพธิ์[1] นิภาพร ปัญญา[1*] ภภัสสร สิงหธรรม[1]
ธิดาวรรร คล้ายศรี[1] อุดมเดชา พลเยี่ยม[2] ธนาพร บุญชู[2] อัญชนา ขัตติยะวงศ์[2] และ ดวงฤทัย นิคมรัฐ[3]

[1] สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
[2] หมวดวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
[3] สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
[*] E-mail: nipaporn.p@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการประชาสัมพันธ์กิจกรรมนักศึกษาของสถาบันอุดมศึกษาส่วนใหญ่ยังอาศัยการเผยแพร่ข้อมูลผ่านหลายช่องทาง เช่น เว็บไซต์ เครือข่ายสังคมออนไลน์ และป้ายประชาสัมพันธ์ ส่งผลให้ข้อมูลมีความกระจัดกระจาย ผู้ใช้งานต้องใช้เวลาค้นหาข้อมูล และอาจพลาดกิจกรรมที่สำคัญ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเว็บแชทบอทสำหรับสนับสนุนการให้ข้อมูลกิจกรรมนักศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเว็บร่วมกับระบบแชทบอทเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเข้าถึงข้อมูลและลดภาระการตอบคำถามของเจ้าหน้าที่ การพัฒนาระบบดำเนินการตามกระบวนการวิเคราะห์และออกแบบระบบ ประกอบด้วยการศึกษาความต้องการของผู้ใช้งาน การออกแบบฐานข้อมูล การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน และการเชื่อมโยงระบบแชทบอทเข้ากับฐานข้อมูลกิจกรรม โดยใช้ภาษา HTML5, CSS3, JavaScript, PHP และระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL ระบบสามารถให้บริการแก่ผู้ใช้งาน 3 ระดับ ได้แก่ นักศึกษา เจ้าหน้าที่ และผู้ดูแลระบบ พร้อมทั้งรองรับการจัดการข้อมูลกิจกรรม การตอบคำถามอัตโนมัติ และการปรับปรุงฐานความรู้ของแชทบอท ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานจากกลุ่มตัวอย่างนักศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จำนวน 50 คน พบว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบในภาพรวมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.10 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.64) โดยด้านการออกแบบเว็บไซต์ได้รับคะแนนความพึงพอใจสูงที่สุด เนื่องจากระบบมีรูปแบบการใช้งานที่เรียบง่าย สวยงาม และสามารถสืบค้นข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ ระบบที่พัฒนาขึ้นยังมีศักยภาพในการช่วยลดระยะเวลาในการค้นหาข้อมูลกิจกรรม และสนับสนุนการสื่อสารระหว่างหน่วยงานกับนักศึกษาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าเว็บแชทบอทที่พัฒนาขึ้นมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้เพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการกิจกรรมนักศึกษา ช่วยสนับสนุนการให้บริการข้อมูล และสามารถต่อยอดไปสู่การเชื่อมโยงกับระบบสารสนเทศของมหาวิทยาลัยในอนาคต ทั้งนี้ ผลการวิจัยที่รายงานครอบคลุมเฉพาะการพัฒนาระบบ การทดสอบการทำงานเชิงหน้าที่ และการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานเป็นสำคัญ

คำสำคัญ: เว็บแชทบอท กิจกรรมนักศึกษา เว็บแอปพลิเคชัน ระบบสารสนเทศ

Abstract

Currently, student activity announcements in higher education institutions are disseminated through multiple communication channels, including university websites, social media platforms, and public notice boards. As a result, information is often fragmented, requiring students to spend considerable time

searching for relevant activities and increasing the likelihood of missing important events. This research aimed to develop a web-based chatbot for student activity management at the Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. The proposed system integrates web technologies with a web-based chatbot to improve information accessibility and reduce the workload of staff. The system was developed following the System Analysis and Design methodology, which included requirement analysis, database design, web application development, and chatbot integration with the student activity database. The application was implemented using HTML5, CSS3, JavaScript, PHP, and MySQL. The developed system supports three categories of users: students, staff members, and system administrators. Its main functionalities include activity management, automated responses to user inquiries, and knowledge base administration. User satisfaction with the developed system was evaluated by a sample of 50 undergraduate students of the Faculty of Science and Technology. Overall user satisfaction with the developed system was at a high level, with a mean score of 4.10 and a standard deviation of 0.64. The highest satisfaction score was obtained for the website design, reflecting its user-friendly interface, visual attractiveness, and efficient information retrieval. Furthermore, the developed system has the potential to reduce the time required to search for activity information and to enhance communication between the faculty and students. The findings demonstrate that the developed web-based chatbot is a practical tool for supporting student activity management and information services. Moreover, the proposed system has the potential to be integrated with the university's information systems and further enhanced with future intelligent information services technologies to improve future educational services. The reported findings are limited to system development, functional verification, and user satisfaction evaluation.

Keywords: Web-based Chatbot, Student Activity Management, Web Application, Information System

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารมีบทบาทสำคัญต่อการบริหารจัดการภายในสถาบันอุดมศึกษา โดยเฉพาะการให้บริการข้อมูลข่าวสารและการสื่อสารกับนักศึกษา ซึ่งมหาวิทยาลัยมีการจัดกิจกรรมด้านวิชาการ วิชาชีพ กีฬา ศิลปวัฒนธรรม และกิจกรรมพัฒนาศักยภาพผู้เรียนอย่างต่อเนื่อง เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้และพัฒนาทักษะที่จำเป็นในศตวรรษที่ 21 การเผยแพร่ข้อมูลกิจกรรมที่มีประสิทธิภาพจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้นักศึกษาสามารถเข้าถึงข้อมูลได้อย่างทั่วถึงและทันเวลา [1, 2]

อย่างไรก็ตาม การประชาสัมพันธ์กิจกรรมของมหาวิทยาลัยส่วนใหญ่ยังคงอาศัยหลายช่องทาง เช่น เว็บไซต์ เครือข่ายสังคมออนไลน์ และป้ายประชาสัมพันธ์ ส่งผลให้ข้อมูลมีความกระจัดกระจาย ผู้ใช้งานต้องใช้เวลาในการค้นหาข้อมูลจากหลายแหล่ง และอาจพลาดข่าวสารหรือกิจกรรมที่สำคัญ ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพในการสื่อสารระหว่างหน่วยงานกับนักศึกษา

การนำเทคโนโลยีแชทบอท (Chatbot) มาประยุกต์ใช้ในการให้บริการสารสนเทศได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากสามารถให้บริการข้อมูลและตอบคำถามของผู้ใช้งานได้โดยอัตโนมัติตลอด 24 ชั่วโมง ช่วยอำนวยความสะดวกในการเข้าถึงข้อมูล ลดระยะเวลาในการค้นหาข้อมูล และลดภาระการตอบคำถามของเจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบ [3, 4] นอกจากนี้ ระบบแชทบอทยังสามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบฐานข้อมูลเพื่อสืบค้นและแสดงผลข้อมูลที่มีการปรับปรุงให้เป็นปัจจุบันได้อย่างรวดเร็ว

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเว็บร่วมกับระบบแชทบอทถือเป็นแนวทางที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาระบบสารสนเทศในสถาบันการศึกษา เนื่องจากสามารถให้บริการผ่านเว็บเบราว์เซอร์โดยไม่จำเป็นต้องติดตั้งโปรแกรมเพิ่มเติม รองรับการใช้งานผ่านคอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต และสมาร์ตโฟน อีกทั้งยังสามารถเชื่อมโยงกับระบบฐานข้อมูลเพื่อจัดเก็บและบริหารจัดการ

ข้อมูลได้อย่างเป็นระบบ [5, 6] นอกจากนี้ การออกแบบระบบโดยคำนึงถึงประสบการณ์ของผู้ใช้งาน (User Experience: UX) และส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (User Interface: UI) ยังมีส่วนสำคัญในการส่งเสริมความสะดวกในการใช้งาน ลดความซับซ้อนของระบบ และสร้างความพึงพอใจให้แก่ผู้ใช้งาน [7, 8]

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าแชทบอทถูกนำไปประยุกต์ใช้ในหลายด้าน เช่น การให้บริการข้อมูล การตอบคำถามอัตโนมัติ การสนับสนุนการเรียนการสอน และการให้บริการแก่ผู้ใช้งานในองค์กร [1, 3] อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่มุ่งเน้นการพัฒนาเว็บแชทบอทเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการกิจกรรมนักศึกษาในระดับคณะยังมีจำนวนไม่มาก โดยเฉพาะระบบที่สามารถบริหารจัดการข้อมูลกิจกรรมและให้บริการข้อมูลผ่านเว็บแอปพลิเคชันภายในระบบเดียว ซึ่งยังเป็นช่องว่างที่สามารถพัฒนาต่อยอดได้ ตัวอย่างเช่น งานของ Adamopoulou และ Moussiades [1] ที่ทบทวนพัฒนาการ เทคโนโลยี และการประยุกต์ใช้แชทบอทในหลากหลายบริบท และงานของ Shawar และ Atwell [3, 4] ที่ศึกษาการนำแชทบอทมาใช้ในการให้บริการตอบคำถามพร้อมทั้งเสนอแนวทางการประเมินระบบแชทบอท ขณะที่งานของ Følstad และ Brandtzæg [2] ชี้ให้เห็นความสำคัญของการออกแบบบทสนทนาและประสบการณ์ของผู้ใช้ในการปฏิสัมพันธ์กับแชทบอท ซึ่งงานวิจัยเหล่านี้ส่วนใหญ่มุ่งเน้นการตอบคำถามทั่วไป มิได้ครอบคลุมการบริหารจัดการข้อมูลกิจกรรมนักศึกษาโดยตรง งานวิจัยนี้จึงมีจุดเด่นที่การผสานระบบบริหารจัดการข้อมูลกิจกรรม ระบบตอบคำถามอัตโนมัติด้วยการจับคู่คำสำคัญ และส่วนบริหารจัดการฐานความรู้ของแชทบอทไว้ภายในเว็บแอปพลิเคชันเดียวสำหรับงานบริการนักศึกษาในระดับคณะ

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเว็บแชทบอทสำหรับการจัดการกิจกรรมนักศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเว็บร่วมกับระบบเว็บแชทบอทเพื่อสนับสนุนการเข้าถึงข้อมูลกิจกรรม โดยมุ่งหวังให้ช่วยลดระยะเวลาในการค้นหาข้อมูลและลดภาระการตอบคำถามของเจ้าหน้าที่ รวมทั้งอำนวยความสะดวกในการให้บริการสารสนเทศแก่นักศึกษา ทั้งนี้ ระบบที่พัฒนาขึ้นยังสามารถต่อยอดเพื่อเชื่อมโยงกับระบบสารสนเทศอื่นของมหาวิทยาลัย และรองรับการพัฒนาฟังก์ชันเพิ่มเติมในอนาคต เพื่อยกระดับประสิทธิภาพการให้บริการข้อมูลภายในสถาบันการศึกษา

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาเว็บแชทบอทสำหรับการจัดการกิจกรรมนักศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
2. เพื่อทดสอบการทำงานเชิงหน้าที่ (Functional Testing) ของระบบเว็บแชทบอทที่พัฒนาขึ้น
3. เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบเว็บแชทบอท

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันแชทบอทสำหรับให้ข้อมูลกิจกรรมนักศึกษา โดยระบบรองรับผู้ใช้งาน 3 ระดับ ได้แก่ นักศึกษา เจ้าหน้าที่ และผู้ดูแลระบบ ใช้ภาษา HTML5, CSS3, JavaScript [10] และ PHP ในการพัฒนา เชื่อมต่อระบบฐานข้อมูล MySQL [9] และรองรับการตอบคำถามอัตโนมัติผ่านระบบเว็บแชทบอท โดยใช้การจับคู่คำสำคัญ (Keyword Matching) ทั้งนี้ การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานดำเนินการโดยกลุ่มตัวอย่างนักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 1–4 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จำนวน 50 คน และใช้แบบสอบถามมาตรประมาณค่า 5 ระดับในการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development: R&D) มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเว็บแชทบอทสำหรับสนับสนุนการจัดการข้อมูลกิจกรรมนักศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร โดยดำเนินการตั้งแต่การศึกษาปัญหา วิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้งาน ออกแบบระบบ พัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน ทดสอบการทำงาน และประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 การวิเคราะห์ความต้องการของระบบ

ผู้วิจัยได้ศึกษารูปแบบการประชาสัมพันธ์กิจกรรมนักศึกษาของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รวมทั้งวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการใช้งานระบบเดิม โดยเก็บรวบรวมข้อมูลความต้องการของผู้ใช้งานจากการสอบถามและสัมภาษณ์

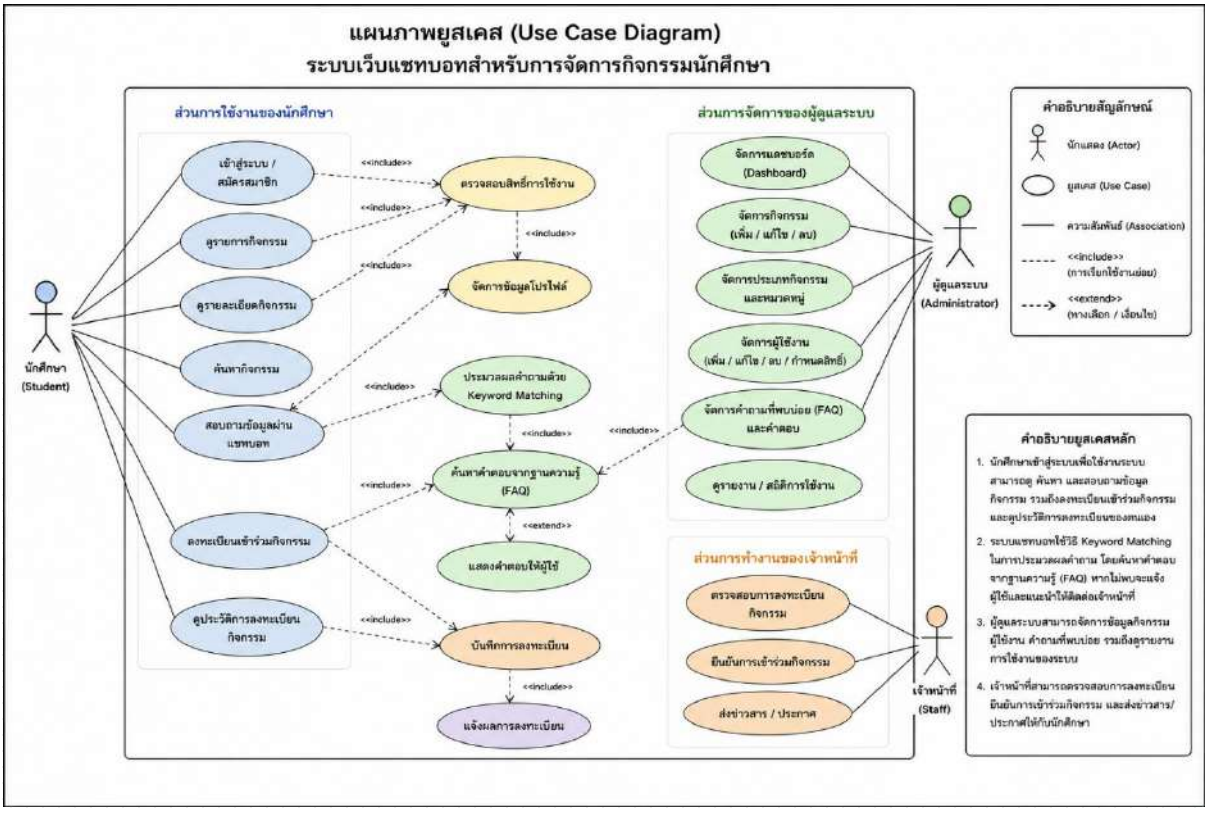
นักศึกษาและเจ้าหน้าที่ผู้เกี่ยวข้องกับงานกิจกรรมนักศึกษา ร่วมกับการศึกษาช่องทางการประชาสัมพันธ์กิจกรรมที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน พบว่าข้อมูลกิจกรรมมีการเผยแพร่ผ่านหลายช่องทาง เช่น เว็บไซต์ เฟซบุ๊ก กลุ่มสื่อสารออนไลน์ และป้ายประชาสัมพันธ์ ส่งผลให้ผู้ใช้งานต้องค้นหาข้อมูลจากหลายแหล่ง และบางครั้งอาจได้รับข้อมูลไม่ครบถ้วนหรือไม่เป็นปัจจุบัน จากการวิเคราะห์ดังกล่าว จึงกำหนดความต้องการของระบบออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1. นักศึกษา สามารถสอบถามข้อมูลกิจกรรม ตรวจสอบรายละเอียดกิจกรรม และค้นหากิจกรรมที่สนใจผ่านระบบแชทบอท
2. เจ้าหน้าที่ สามารถเพิ่ม แก้ไข และลบข้อมูลกิจกรรม รวมถึงจัดการข้อมูลที่ใช้ในการตอบคำถามของแชทบอท
3. ผู้ดูแลระบบ สามารถบริหารจัดการฐานข้อมูล สิทธิ์การใช้งาน และตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบทั้งหมด

ระบบถูกออกแบบให้สามารถรองรับการใช้งานผ่านเว็บเบราว์เซอร์ทั้งบนคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์เคลื่อนที่ เพื่อเพิ่มความสะดวกในการเข้าถึงข้อมูลของผู้ใช้งาน

2.2 การออกแบบและพัฒนาระบบ

การพัฒนาระบบดำเนินการตามหลักการวิเคราะห์และออกแบบระบบสารสนเทศ โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (User Interface Design) การออกแบบฐานข้อมูล (Database Design) การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน และการเชื่อมโยงระบบแชทบอทเข้ากับฐานข้อมูลกิจกรรม



ภาพที่ 1 แผนภาพยูสเคส (Use Case Diagram) ของระบบเว็บแชทบอทสำหรับการจัดการกิจกรรมนักศึกษา

ส่วนติดต่อผู้ใช้งานได้รับการออกแบบโดยคำนึงถึงหลัก User Experience (UX) และ User Interface (UI) เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลได้อย่างสะดวก มีการจัดวางเมนูอย่างเป็นลำดับ ใช้งานง่าย และรองรับการแสดงผลบนอุปกรณ์หลากหลายประเภท

ระบบเว็บแอปพลิเคชันถูกพัฒนาด้วยภาษา HTML5, CSS3 และ JavaScript สำหรับการแสดงผลฝั่งผู้ใช้งาน ส่วนการประมวลผลฝั่งเซิร์ฟเวอร์ใช้ภาษา PHP และจัดเก็บข้อมูลด้วยระบบฐานข้อมูล MySQL โดยมีการเชื่อมโยงข้อมูลกิจกรรมเข้ากับระบบแชทบอท เพื่อให้สามารถดึงข้อมูลมาตอบคำถามของผู้ใช้งานได้แบบอัตโนมัติ

นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบระบบโดยยึดหลักสถาปัตยกรรมแบบหลายชั้น (Layered Architecture) ซึ่งแบ่งการทำงานออกเป็นส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (Presentation Layer) ส่วนประมวลผลของระบบ (Application Layer) และส่วนจัดเก็บข้อมูล (Data Layer) เพื่อให้แต่ละส่วนสามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดความซับซ้อนในการพัฒนาและบำรุงรักษาระบบ รวมทั้งรองรับการปรับปรุงหรือเพิ่มฟังก์ชันการทำงานในอนาคตได้สะดวกยิ่งขึ้น โดยแผนภาพยูสเคสของระบบแสดงดังภาพที่ 1

2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา

เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาระบบแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาระบบ

เครื่องมือ	รายละเอียด
HTML5	พัฒนาโครงสร้างเว็บไซต์
CSS3	ออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน
JavaScript	เพิ่มความสามารถในการโต้ตอบกับผู้ใช้งาน
PHP	พัฒนาระบบฝั่งเซิร์ฟเวอร์
MySQL	จัดเก็บข้อมูลกิจกรรมและข้อมูลผู้ใช้งาน
phpMyAdmin	บริหารจัดการฐานข้อมูล
Visual Studio Code	เขียนโปรแกรม
GitHub	จัดเก็บและควบคุมเวอร์ชันของซอร์สโค้ด

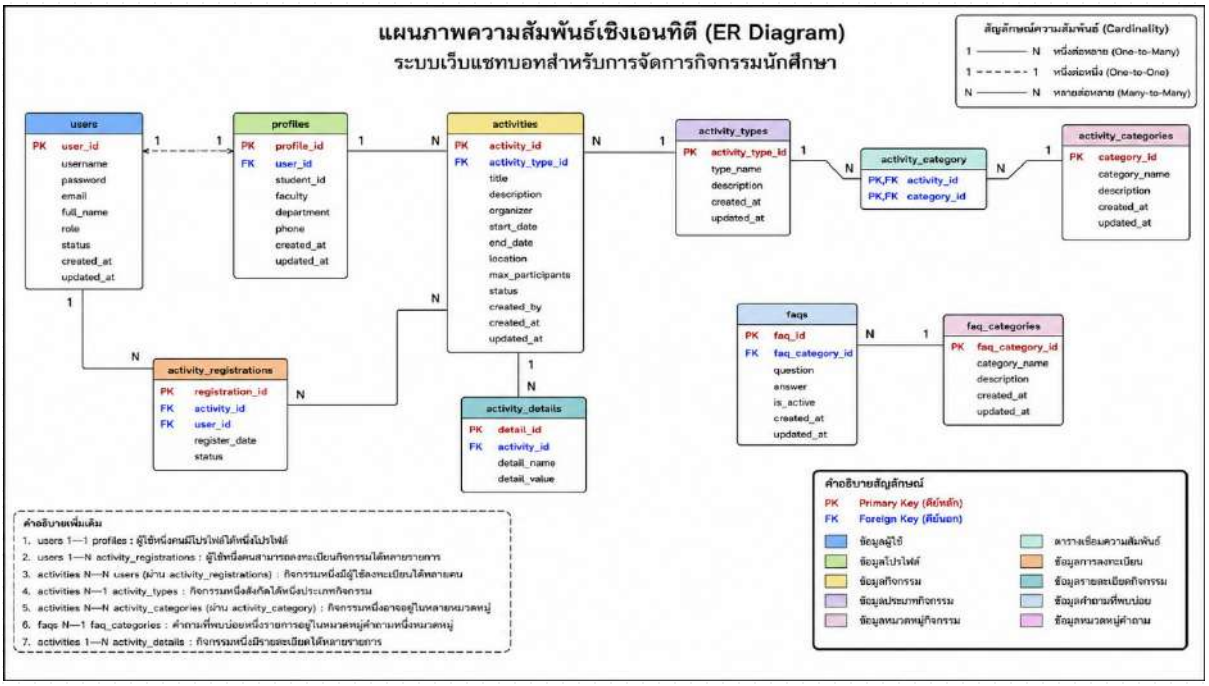
2.4 การออกแบบฐานข้อมูล

ฐานข้อมูลของระบบถูกออกแบบในลักษณะฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database) เพื่อให้สามารถจัดเก็บข้อมูลได้อย่างเป็นระบบและลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล โดยโครงสร้างฐานข้อมูลประกอบด้วย 9 ตารางหลัก ได้แก่ ตารางผู้ใช้งาน (Users) ตารางข้อมูลส่วนบุคคล (Profiles) ตารางกิจกรรม (Activities) ตารางประเภทกิจกรรม (Activity Types) ตารางหมวดหมู่กิจกรรม (Activity Categories) ตารางความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมและหมวดหมู่ (Activity_Category) ตารางรายละเอียดกิจกรรม (Activity Details) ตารางคำถามที่พบบ่อย (FAQs) และตารางประเภทคำถาม (FAQ Categories) ซึ่งแต่ละตารางมีความสัมพันธ์กันผ่าน Primary Key และ Foreign Key เพื่อให้สามารถเชื่อมโยงข้อมูลและเรียกใช้งานได้อย่างถูกต้อง

การออกแบบฐานข้อมูลดังกล่าวช่วยให้ระบบสามารถค้นหาข้อมูลกิจกรรมได้อย่างรวดเร็ว รองรับการเพิ่มและปรับปรุงข้อมูลในอนาคต รวมถึงลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการจัดเก็บข้อมูลแบบเดิม นอกจากนี้ โครงสร้างฐานข้อมูลได้รับการออกแบบให้สอดคล้องกับการทำงานของระบบเว็บแอปพลิเคชันและแชทบอท โดยคำนึงถึงความถูกต้อง ความครบถ้วน และความรวดเร็วในการเข้าถึงข้อมูล การกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างตารางด้วย Primary Key และ Foreign Key ช่วยรักษาความถูกต้องของข้อมูล (Data Integrity) และลดความซ้ำซ้อนในการจัดเก็บข้อมูล ขณะเดียวกันยังรองรับการสืบค้นข้อมูลกิจกรรม การจัดการข้อมูลผู้ใช้งาน และการเชื่อมโยงฐานความรู้ของแชทบอทได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ระบบสามารถรองรับการขยายฟังก์ชันการทำงานและการพัฒนาต่อยอดในอนาคตได้อย่างยืดหยุ่น โดยแผนภาพความสัมพันธ์เชิงเอนทิตีของระบบแสดงดังภาพที่ 2

2.5 ขั้นตอนการทำงานของระบบ

เมื่อผู้ใช้งานเข้าสู่ระบบ เว็บแชทบอทจะรับข้อความคำถามจากผู้ใช้งานและส่งไปยังระบบทำการเปรียบเทียบข้อความกับชุดคำสำคัญ (Keyword Matching) จากนั้นระบบจะตรวจสอบคำสำคัญของข้อความที่ผู้ใช้งานป้อน (Keyword Matching) และตรวจสอบข้อมูลในฐานข้อมูลกิจกรรม หากพบข้อมูลที่ตรงกับคำถาม ระบบจะแสดงรายละเอียดของกิจกรรม เช่น ชื่อกิจกรรม วัน เวลา สถานที่ และรายละเอียดเพิ่มเติม แต่หากไม่พบข้อมูล ระบบจะแจ้งข้อความตอบกลับที่เหมาะสม และสามารถส่งต่อคำถามให้เจ้าหน้าที่ตรวจสอบเพิ่มเติมได้ การทำงานดังกล่าวได้รับการออกแบบเพื่อช่วยลดภาระของเจ้าหน้าที่ในการตอบคำถามซ้ำ ๆ และเพิ่มความรวดเร็วในการให้บริการข้อมูลแก่ผู้ใช้งาน



ภาพที่ 2 แผนภาพความสัมพันธ์เชิงเอนทิตี (Entity Relationship Diagram: ER Diagram)

2.6 การทดสอบระบบและการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

ภายหลังการพัฒนาระบบเสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการทำงานของระบบ (Functional Testing) ด้วยวิธีการทดสอบแบบแบล็กบ็อกซ์ (Black-box Testing) ครอบคลุมความถูกต้องของคำตอบที่ระบบดึงมาจากฐานข้อมูล ความสำเร็จในการตอบกลับข้อความของแชทบอท และความครบถ้วนของการทำงานของฟังก์ชันหลักทุกฟังก์ชัน จากนั้นจึงทำการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบ โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 1–4 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ซึ่งเป็นผู้ที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมนักศึกษาและได้ทดลองใช้งานระบบจริง จำนวน 50 คน ได้มาโดยการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) ตามความสมัครใจ ทั้งนี้ผู้เข้าร่วมการวิจัยทุกคนได้รับการชี้แจงวัตถุประสงค์ของการวิจัยและให้ความยินยอมก่อนการตอบแบบสอบถาม โดยข้อมูลที่เก็บรวบรวมไม่มีการระบุตัวตนของผู้ตอบ และนำมาใช้เพื่อประโยชน์ทางการวิจัยเท่านั้น

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นแบบสอบถามมาตรประมาณค่า 5 ระดับ (Likert Scale) ครอบคลุมด้านประสิทธิภาพการใช้งาน ความสะดวกในการใช้งาน ความถูกต้องของข้อมูล และความสวยงามของส่วนติดต่อผู้ใช้งาน จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: S.D.) เพื่อสรุประดับความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อระบบที่พัฒนาขึ้น

เกณฑ์การแปลผลคะแนนความพึงพอใจอ้างอิงจากมาตรประมาณค่าแบบ 5 ระดับ (Likert Scale) โดยแบ่งระดับคะแนนออกเป็น 5 ช่วง ได้แก่ ระดับมากที่สุด ระดับมาก ระดับปานกลาง ระดับน้อย และระดับน้อยที่สุด โดยกำหนดเกณฑ์การแปลผลค่าเฉลี่ย ดังนี้ ค่าเฉลี่ย 4.51–5.00 หมายถึง พึงพอใจมากที่สุด 3.51–4.50 หมายถึง พึงพอใจมาก 2.51–3.50

หมายถึง พึงพอใจปานกลาง 1.51–2.50 หมายถึง พึงพอใจน้อย และ 1.00–1.50 หมายถึง พึงพอใจน้อยที่สุด ทั้งนี้ ผลการวิเคราะห์ถูกนำเสนอในรูปของค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่ออธิบายแนวโน้มความคิดเห็นของผู้ใช้งานและใช้ประกอบการอภิปรายผลในบทถัดไป ทั้งนี้ คะแนนความพึงพอใจมิได้ถูกนำมาใช้แทนผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเทคนิคของระบบ

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

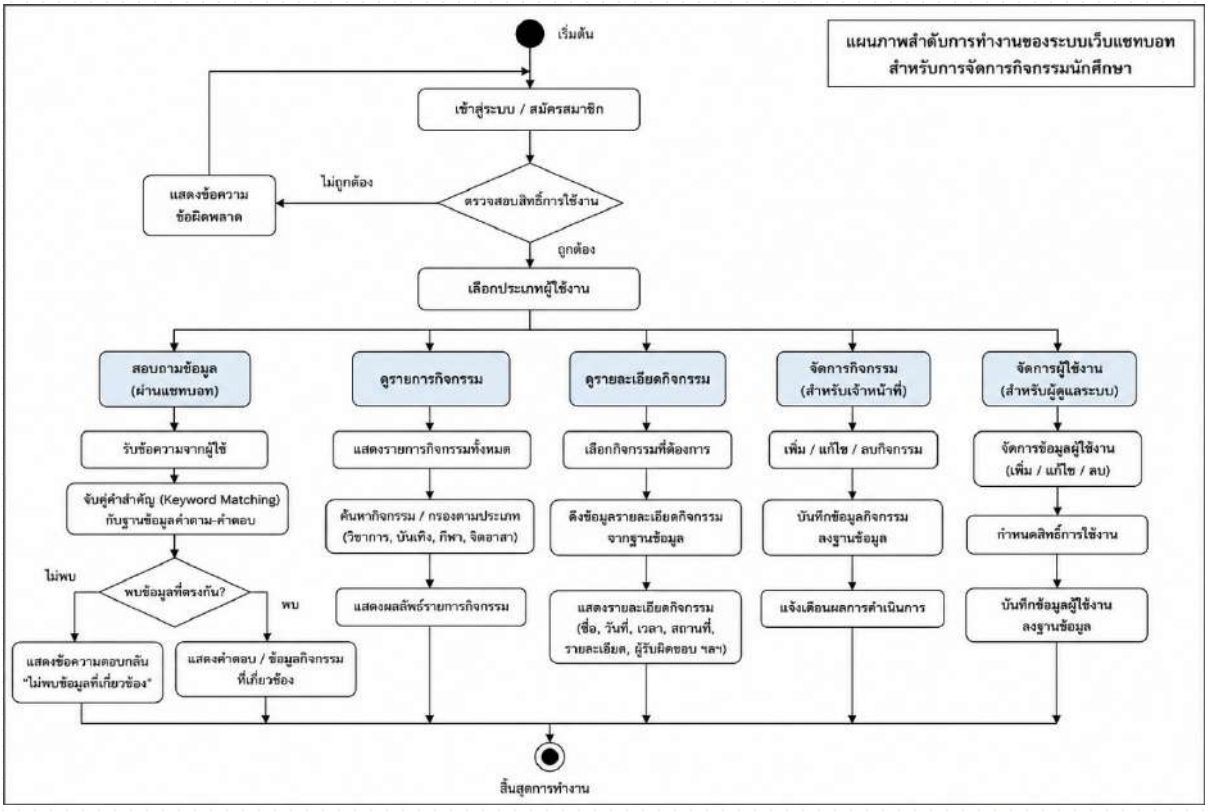
3.1 ผลการพัฒนาระบบเว็บแชทบอท

ผลการดำเนินงานวิจัยพบว่าสามารถพัฒนาเว็บแชทบอทสำหรับการจัดการกิจกรรมนักศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ได้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ ระบบถูกพัฒนาในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันที่สามารถใช้งานผ่านเว็บเบราว์เซอร์ทั้งบนคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์เคลื่อนที่ โดยรองรับผู้ใช้งาน 3 ระดับ ได้แก่ นักศึกษา เจ้าหน้าที่ และผู้ดูแลระบบ

ระบบสามารถให้บริการข้อมูลกิจกรรมนักศึกษาแบบอัตโนมัติผ่านแชทบอท โดยผู้ใช้งานสามารถสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับชื่อกิจกรรม วัน เวลา สถานที่ รายละเอียดกิจกรรม และข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องได้ผ่านการสนทนา นอกจากนี้ ระบบยังรองรับการจัดการข้อมูลกิจกรรม การเพิ่ม แก้ไข และลบข้อมูล รวมถึงการปรับปรุงฐานความรู้ของแชทบอทผ่านหน้าผู้ดูแลระบบ ส่งผลให้การบริหารจัดการข้อมูลมีความสะดวกและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

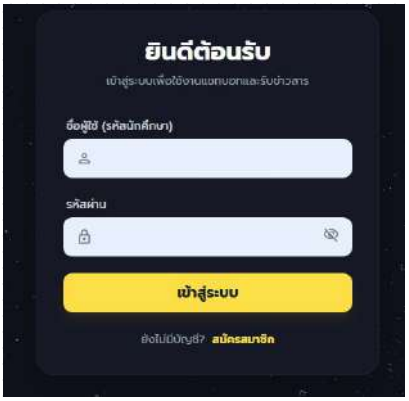
3.1.1 ส่วนติดต่อผู้ใช้งานของระบบ (User Interface)

เพื่ออธิบายลำดับการทำงานของระบบเว็บแชทบอทสำหรับการจัดการกิจกรรมนักศึกษา ผู้วิจัยได้จัดทำแผนภาพลำดับการทำงาน (Activity Diagram) เพื่อแสดงขั้นตอนการทำงานของระบบตั้งแต่ผู้ใช้งานเข้าสู่ระบบ การเลือกเมนู การเข้าถึงข้อมูลกิจกรรม ตลอดจนการตอบสนองของระบบในแต่ละกระบวนการ ดังแสดงในภาพที่ 3



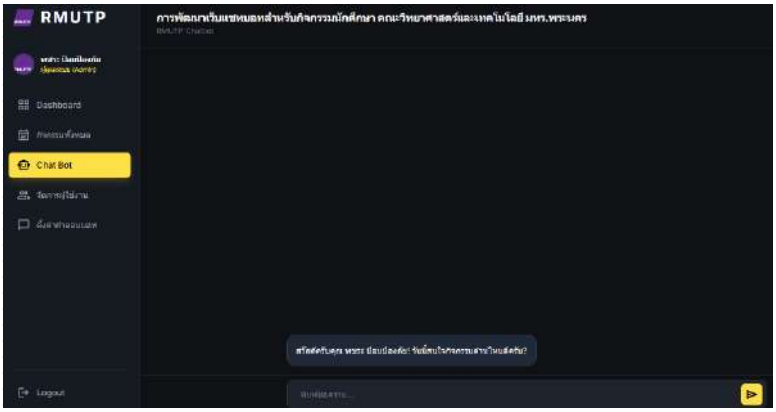
ภาพที่ 3 แผนภาพลำดับการทำงาน (Activity Diagram) ของระบบเว็บแชทบอทสำหรับการจัดการกิจกรรมนักศึกษา

เพื่ออำนวยความสะดวกในการเข้าถึงข้อมูลกิจกรรมนักศึกษา ผู้วิจัยได้ออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งานให้มีรูปแบบการใช้งานที่เรียบง่าย สามารถใช้งานผ่านเว็บเบราว์เซอร์ได้ทั้งบนระบบคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์เคลื่อนที่ โดยประกอบด้วยหน้าจอการเข้าสู่ระบบ หน้ารายการกิจกรรม และหน้าสนทนากับเว็บแชทบอท ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 หน้าจอเข้าสู่ระบบของระบบเว็บแชทบอทสำหรับการจัดการกิจกรรมนักศึกษา

ภาพที่ 4 แสดงหน้าจอเข้าสู่ระบบของเว็บแชทบอทสำหรับการจัดการกิจกรรมนักศึกษา ซึ่งผู้ใช้งานสามารถกรอกรหัสนักศึกษาและรหัสผ่านเพื่อยืนยันตัวตนก่อนเข้าใช้งานระบบ นอกจากนี้ ระบบยังรองรับการสมัครสมาชิกสำหรับผู้ใช้งานใหม่ เพื่อให้สามารถเข้าถึงบริการและฟังก์ชันต่าง ๆ ของระบบได้อย่างปลอดภัยและเป็นระบบ



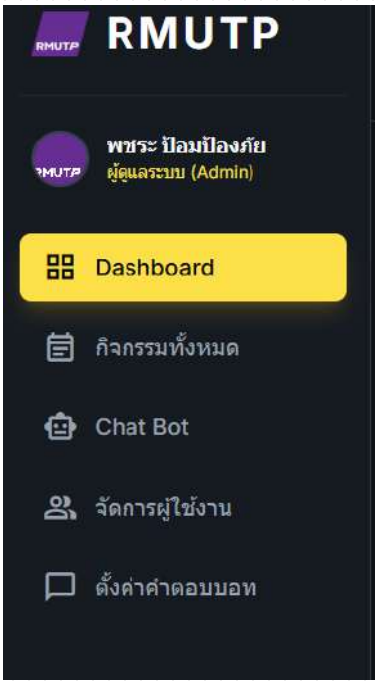
ภาพที่ 5 หน้าจอสนทนากับเว็บแชทบอทสำหรับการจัดการกิจกรรมนักศึกษา

ภาพที่ 5 แสดงหน้าจอสนทนากับเว็บแชทบอท ซึ่งเป็นส่วนหลักของระบบสำหรับให้บริการข้อมูลกิจกรรมนักศึกษา ผู้ใช้งานสามารถพิมพ์ข้อความหรือคำสำคัญเพื่อสอบถามข้อมูลกิจกรรม หากพบข้อมูลที่ตรงกับคำค้น ระบบจะแสดงรายละเอียดกิจกรรมโดยอัตโนมัติ แต่หากไม่พบข้อมูล ระบบจะแสดงข้อความตอบกลับที่กำหนดไว้และแสดงข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากฐานข้อมูลโดยอัตโนมัติ ซึ่งออกแบบมาเพื่อช่วยให้ผู้ใช้งานเข้าถึงข้อมูลได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว

จากผลการพัฒนาระบบพบว่า ระบบสามารถทำงานได้ครบถ้วนตามขอบเขตที่กำหนดไว้ โดยรองรับการให้บริการข้อมูลกิจกรรมนักศึกษาผ่านระบบเว็บแชทบอท การจัดการข้อมูลกิจกรรม และการบริหารจัดการข้อมูลโดยผู้ดูแลระบบ ผลการทดสอบเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่าฟังก์ชันต่าง ๆ ของระบบสามารถทำงานร่วมกันได้อย่างถูกต้องและต่อเนื่อง ส่งผลให้ผู้ใช้งานสามารถสืบค้นข้อมูลกิจกรรมได้อย่างสะดวก ขณะที่ผู้ดูแลระบบสามารถบริหารจัดการข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ ผลการทดสอบการทำงานของระบบแบบแบล็กบ็อกซ์พบว่าระบบสามารถตอบคำถามได้ถูกต้องตรงตามข้อมูลที่จัดเก็บในฐานข้อมูล และฟังก์ชันหลักทุกฟังก์ชันสามารถทำงานได้ครบถ้วนตามที่ออกแบบไว้ แสดงให้เห็นว่าระบบมีศักยภาพสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานภายในหน่วยงาน และสามารถพัฒนาต่อยอดเพื่อรองรับการเชื่อมโยงกับระบบสารสนเทศของมหาวิทยาลัยในอนาคต

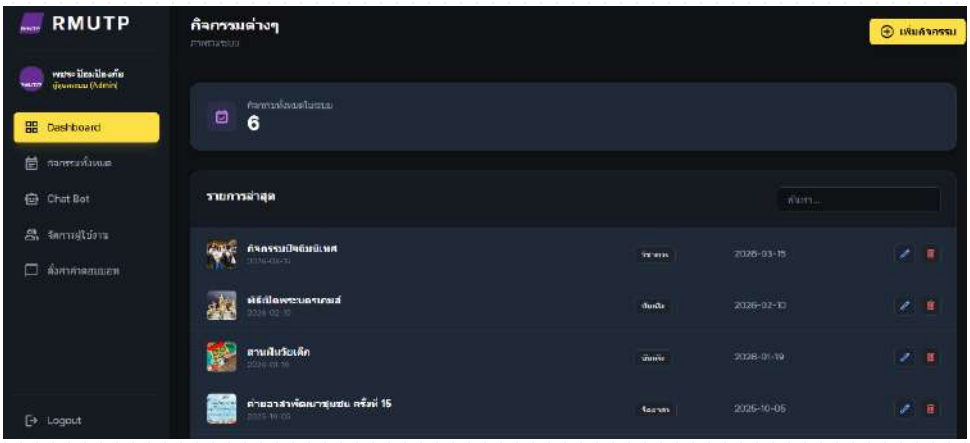
3.1.2 ส่วนการบริหารจัดการของผู้ดูแลระบบ (Administrator)

เพื่อให้การบริหารจัดการข้อมูลภายในระบบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยได้ออกแบบส่วนการทำงานสำหรับผู้ดูแลระบบ (Administrator) โดยรวบรวมเมนูหลักที่จำเป็นไว้ในแถบนำทางด้านซ้ายของหน้าจอ เพื่อให้สามารถเข้าถึงฟังก์ชันต่าง ๆ ได้อย่างสะดวกและเป็นลำดับ ได้แก่ Dashboard, กิจกรรมทั้งหมด, Chatbot, จัดการผู้ใช้งาน และตั้งค่าคำตอบบอท ดังแสดงในภาพที่ 6



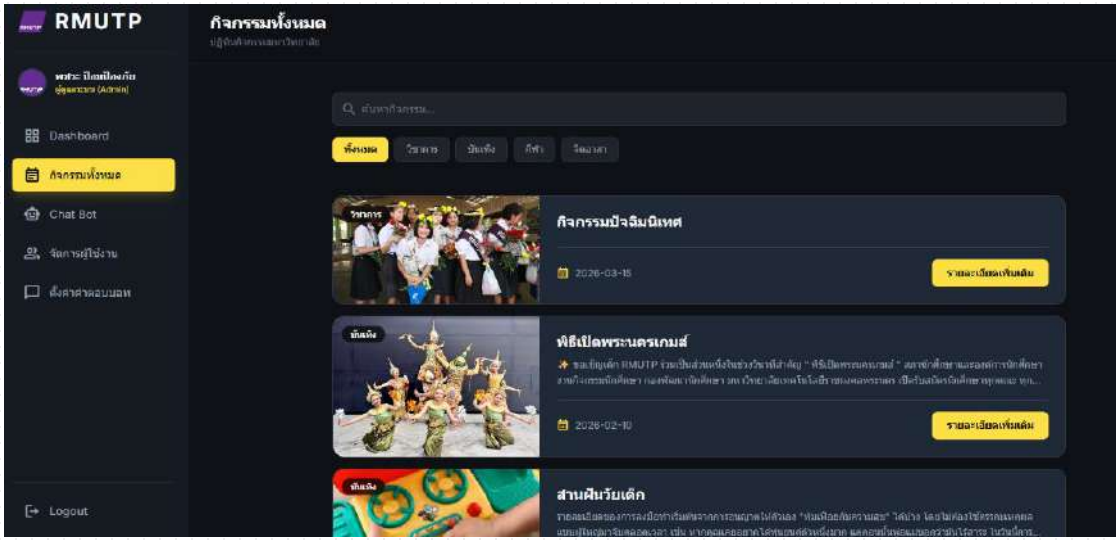
ภาพที่ 6 เมนูหลักของระบบผู้ดูแล (Administrator Menu)

ภาพที่ 6 แสดงเมนูหลักของระบบผู้ดูแล ซึ่งประกอบด้วยเมนู Dashboard สำหรับแสดงภาพรวมของระบบ เมนูกิจกรรมทั้งหมดสำหรับจัดการข้อมูลกิจกรรม เมนู Chatbot สำหรับใช้งานระบบสนทนา เมนูจัดการผู้ใช้งานสำหรับบริหารสิทธิ์สมาชิก และเมนูตั้งค่าคำตอบบอทสำหรับกำหนดชุดคำสำคัญและข้อความตอบกลับของระบบ ทั้งนี้ การจัดวางเมนูในรูปแบบแถบด้านข้าง (Sidebar) ช่วยให้ผู้ดูแลระบบสามารถเข้าถึงแต่ละฟังก์ชันได้อย่างรวดเร็ว ลดความซับซ้อนในการใช้งาน และเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการข้อมูล



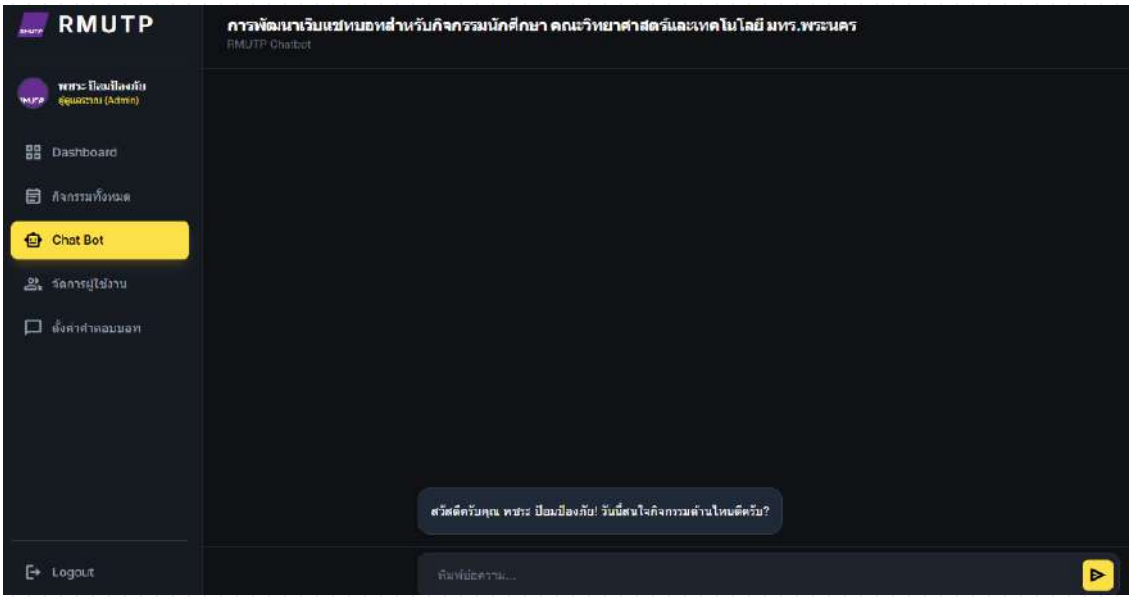
ภาพที่ 7 หน้าจอ Dashboard ของผู้ดูแลระบบ

ภาพที่ 7 แสดงหน้าจอ Dashboard ของผู้ดูแลระบบ ซึ่งใช้สำหรับบริหารจัดการข้อมูลกิจกรรมทั้งหมดภายในระบบ ผู้ดูแลระบบสามารถเพิ่ม แก้ไข ลบ และค้นหาข้อมูลกิจกรรม รวมทั้งตรวจสอบรายละเอียดของกิจกรรมแต่ละรายการได้ผ่านหน้าจอเดียว ส่งผลให้การจัดการข้อมูลเป็นไปอย่างสะดวก รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ



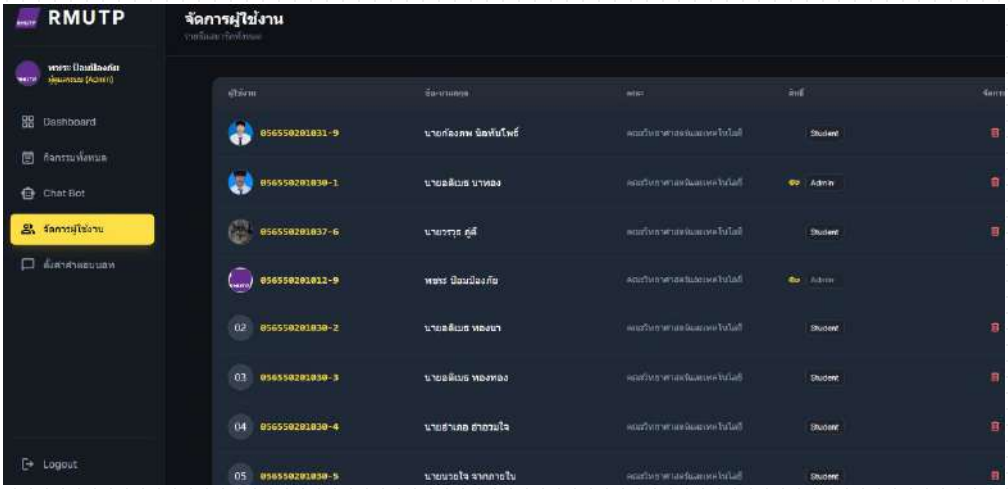
ภาพที่ 8 หน้าจอแสดงรายการกิจกรรมทั้งหมดของระบบเว็บแชทบอทสำหรับการจัดการกิจกรรมนักศึกษา

ภาพที่ 8 แสดงหน้าจอรายการกิจกรรมทั้งหมดของระบบเว็บแชทบอทสำหรับการจัดการกิจกรรมนักศึกษา ซึ่งออกแบบให้ผู้ใช้งานสามารถค้นหากิจกรรมผ่านช่องค้นหา และคัดกรองข้อมูลตามประเภทของกิจกรรม เช่น วิชาการ บันเทิง กีฬา และจิตอาสา นอกจากนี้ ระบบยังแสดงรายละเอียดเบื้องต้นของกิจกรรม ได้แก่ ชื่อกิจกรรม วันที่จัดกิจกรรม และปุ่มสำหรับดูรายละเอียดเพิ่มเติม เพื่ออำนวยความสะดวกในการค้นหาและเข้าถึงข้อมูลกิจกรรมได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ



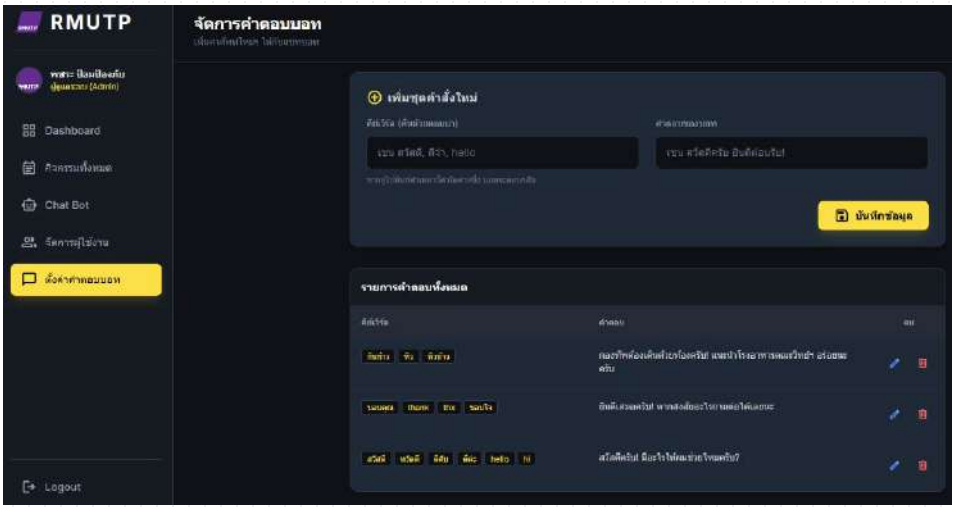
ภาพที่ 9 หน้าจอสนทนากับเว็บแชทบอทสำหรับการจัดการกิจกรรมนักศึกษา

ภาพที่ 9 แสดงหน้าจอสนทนากับเว็บแชทบอท ซึ่งเป็นส่วนหลักของระบบสำหรับให้บริการข้อมูลกิจกรรมนักศึกษา ผู้ใช้งานสามารถพิมพ์ข้อความหรือคำสำคัญเพื่อสอบถามข้อมูลกิจกรรม ระบบจะประมวลผลคำค้นด้วยวิธีการจับคู่คำสำคัญ (Keyword Matching) และแสดงข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากฐานข้อมูลโดยอัตโนมัติ ซึ่งออกแบบมาเพื่อช่วยให้ผู้ใช้งานเข้าถึงข้อมูลได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว



ภาพที่ 10 หน้าจอการจัดการผู้ใช้งานของระบบเว็บแชทบอทสำหรับการจัดการกิจกรรมนักศึกษา

ภาพที่ 10 แสดงหน้าจอการจัดการผู้ใช้งานของระบบ ซึ่งใช้สำหรับบริหารจัดการข้อมูลสมาชิกที่ลงทะเบียนใช้งาน ผู้ดูแลระบบสามารถตรวจสอบข้อมูลผู้ใช้งาน เช่น รหัสนักศึกษา ชื่อ–นามสกุล คณะ และสิทธิ์การใช้งาน รวมถึงสามารถจัดการบัญชีผู้ใช้งานได้อย่างเป็นระบบ เพื่อควบคุมสิทธิ์การเข้าถึงและเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานระบบ



ภาพที่ 11 หน้าจอการตั้งค่าคำตอบของเว็บแชทบอทสำหรับการจัดการกิจกรรมนักศึกษา

ภาพที่ 11 แสดงหน้าจอการตั้งค่าคำตอบของเว็บแชทบอท ซึ่งเป็นส่วนสำหรับบริหารจัดการชุดคำสำคัญ (Keyword) และข้อความตอบกลับของระบบ ผู้ดูแลระบบสามารถเพิ่ม แก้ไข และลบข้อมูลได้ตามต้องการ เพื่อให้เว็บแชทบอทสามารถค้นหาและตอบกลับข้อมูลจากฐานข้อมูลด้วยวิธีการจับคู่คำสำคัญ (Keyword Matching) ได้อย่างถูกต้อง ทั้งยังช่วยให้การปรับปรุงฐานความรู้ของระบบทำได้อย่างสะดวกโดยไม่ต้องแก้ไขโปรแกรมหลัก

3.2 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

ภายหลังการพัฒนาระบบ ผู้วิจัยได้ทำการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 50 คน ซึ่งเป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 1–4 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ทดลองใช้งานระบบจริง โดยใช้แบบสอบถามมาตรประมาณค่า 5 ระดับ (Likert Scale) เพื่อประเมินความคิดเห็นของผู้ใช้งานในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ประสิทธิภาพการใช้งาน การออกแบบเว็บไซต์ ความสะดวกในการใช้งาน และความพึงพอใจโดยรวม

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จำนวน 50 คน พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีอายุ 20 ปีขึ้นไป จำนวน 39 คน คิดเป็นร้อยละ 78 รองลงมาคือช่วงอายุ 16–19 ปี จำนวน 11 คน คิดเป็นร้อยละ 22 ขณะที่ไม่มีผู้ตอบแบบสอบถามที่มีอายุต่ำกว่า 16 ปี ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่อยู่ในช่วงอายุของนักศึกษาระดับอุดมศึกษา ซึ่งสอดคล้องกับกลุ่มเป้าหมายของระบบเว็บแชทบอทสำหรับการจัดการกิจกรรมนักศึกษาที่พัฒนาขึ้น

ตารางที่ 2 จำนวนและร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามช่วงอายุ

อายุ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ต่ำกว่า 16 ปี	0	0
16 – 19 ปี	11	22
20 ปี ขึ้นไป	39	78
รวม	**50**	**100**

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลประชากรศาสตร์แสดงให้เห็นว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีอายุ 20 ปีขึ้นไป คิดเป็นร้อยละ 78 ซึ่งสอดคล้องกับกลุ่มผู้ใช้งานของระบบที่เป็นนักศึกษาระดับอุดมศึกษา ส่งผลให้ผลการประเมินสามารถสะท้อนความคิดเห็นของผู้ใช้งานจริงได้อย่างเหมาะสม และเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการประเมินความพึงพอใจต่อระบบที่พัฒนาขึ้น

3.3 ผลการประเมินด้านประสิทธิภาพการใช้งาน

ผลการประเมินด้านประสิทธิภาพการใช้งานของระบบแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความพึงพอใจด้านประสิทธิภาพการใช้งาน

ด้านประสิทธิภาพการใช้งาน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. เมนูต่าง ๆ และตัวเว็บใช้งานง่าย	4.16	0.55	มาก
2. ระบบของเว็บสามารถใช้งานได้ง่าย	4.14	0.78	มาก
3. เว็บสามารถใช้งานได้ราบรื่นต่อเนื่อง	4.04	0.75	มาก
4. สามารถใช้งานเว็บนี้ได้ด้วยตนเอง ไม่ต้องขอความช่วยเหลือจากผู้อื่น	4.06	0.47	มาก
รวม	**4.10**	**0.64**	**มาก**

จากผลการประเมิน พบว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อประสิทธิภาพของระบบในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.10, S.D. = 0.64) โดยคะแนนดังกล่าวสะท้อนความคิดเห็นของผู้ใช้งานต่อความง่ายและความสะดวกในการใช้งาน มิได้เป็นผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงเทคนิคของระบบ

เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่าเมนูของระบบมีรูปแบบที่เข้าใจง่าย สามารถใช้งานได้สะดวก และผู้ใช้งานสามารถเรียนรู้การใช้งานได้ด้วยตนเองโดยไม่จำเป็นต้องได้รับคำแนะนำเพิ่มเติม สะท้อนให้เห็นว่าการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งานตามหลัก User Experience (UX) มีส่วนช่วยให้ผู้ใช้งานเรียนรู้และใช้งานระบบได้อย่างสะดวก ทั้งนี้ ข้อสรุปด้านการลดระยะเวลาในการค้นหาข้อมูลจำเป็นต้องอาศัยการวัดเวลาเปรียบเทียบโดยตรงในการศึกษาต่อไป

3.4 ผลการประเมินด้านการออกแบบเว็บไซต์

ผลการประเมินด้านการออกแบบเว็บไซต์แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความพึงพอใจด้านการออกแบบเว็บไซต์

ด้านการออกแบบและการจัดรูปแบบของเว็บไซต์	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. ความสวยงามของเว็บไซต์	4.22	0.82	มาก
2. การจัดรูปแบบในเว็บไซต์ง่ายต่อการอ่านและการใช้งาน	4.14	0.76	มาก
3. สีสันในการออกแบบเว็บไซต์	4.10	0.86	มาก
4. เมนูง่ายต่อการใช้งาน	4.16	0.79	มาก
5. ขนาดตัวอักษร และรูปแบบตัวอักษร อ่านได้ง่ายและสวยงาม	4.54	0.58	มากที่สุด
รวม	**4.23**	**0.76**	**มาก**

ผลการประเมินพบว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจด้านการออกแบบเว็บไซต์โดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.23, S.D. = 0.76) เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่า ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในทุกด้านอยู่ในระดับมากถึงมากที่สุด โดยเฉพาะด้านความสวยงามของเว็บไซต์ การจัดวางองค์ประกอบของหน้าจอ และการอ่านข้อมูลที่มีความชัดเจน

ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (User Interface: UI) และการคำนึงถึงประสบการณ์ของผู้ใช้งาน (User Experience: UX) ที่เน้นความเรียบง่าย การจัดลำดับข้อมูลอย่างเป็นระบบ และการเข้าถึงข้อมูลได้อย่างสะดวก มีส่วนช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถเรียนรู้การใช้งานระบบได้อย่างรวดเร็ว ลดความสับสนในการใช้งาน และเพิ่มประสบการณ์ที่ดีในการใช้งานระบบ

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า ด้านขนาดตัวอักษรและรูปแบบตัวอักษรที่อ่านง่ายและสวยงามได้รับคะแนนเฉลี่ยสูงที่สุด ($\bar{X}$ = 4.54, S.D. = 0.58) ซึ่งอยู่ในระดับมากที่สุด สะท้อนให้เห็นว่าการเลือกใช้รูปแบบตัวอักษร ขนาดตัวอักษร และการจัดวางข้อความมีความเหมาะสม ส่งผลให้ผู้ใช้งานสามารถอ่านและทำความเข้าใจข้อมูลได้อย่างชัดเจน ขณะที่ด้านความสวยงามของเว็บไซต์ การจัดรูปแบบหน้าเว็บ และการจัดวางเมนูต่าง ๆ ก็ได้รับคะแนนในระดับมาก สะท้อนว่าผู้ใช้งานมีความคิดเห็นเชิงบวกต่อการออกแบบหน้าจอของระบบ

ผลการประเมินดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งานที่มุ่งเน้นการเพิ่มความสามารถในการใช้งาน (Usability) และการยกระดับประสบการณ์ของผู้ใช้งาน (User Experience: UX) ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูล กิจกรรม ค้นหารายละเอียด และใช้งานระบบได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ โดยไม่จำเป็นต้องใช้เวลาในการเรียนรู้ระบบมากนัก นอกจากนี้ การออกแบบเว็บไซต์ที่ดีไม่เพียงช่วยเพิ่มความพึงพอใจของผู้ใช้งานเท่านั้น แต่ยังส่งผลต่อประสิทธิภาพในการเข้าถึงข้อมูลและส่งเสริมให้ผู้ใช้งานมีแนวโน้มกลับมาใช้งานระบบอย่างต่อเนื่องในอนาคต

แม้ว่าด้านการจัดรูปแบบเว็บไซต์ให้อ่านง่ายและใช้งานสะดวกจะได้รับคะแนนเฉลี่ยต่ำที่สุด ($\bar{X}$ = 4.14, S.D. = 0.76) แต่ยังคงอยู่ในระดับมาก แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้งานส่วนใหญ่มีความคิดเห็นเชิงบวกต่อการออกแบบเว็บไซต์ ทั้งนี้ ค่าเฉลี่ยที่ต่ำกว่าด้านอื่นอาจสะท้อนให้เห็นว่ายังมีโอกาสในการพัฒนาการจัดวางองค์ประกอบของหน้าเว็บและการนำเสนอข้อมูลให้เหมาะสมยิ่งขึ้น เพื่อเพิ่มความสะดวกในการเข้าถึงข้อมูลและยกระดับประสบการณ์การใช้งานของผู้ใช้ในอนาคต อย่างไรก็ตาม จากผลการประเมินโดยรวมที่อยู่ในระดับมาก แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อระบบที่พัฒนาขึ้นในระดับสูง และระบบมีความเหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้เป็นระบบสนับสนุนการจัดการกิจกรรมนักศึกษาภายในมหาวิทยาลัย

3.5 อภิปรายผล

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าระบบเว็บแชทบอทที่พัฒนาขึ้นสามารถสนับสนุนการให้บริการข้อมูลกิจกรรมนักศึกษาได้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด โดยผู้ใช้งานสามารถค้นหาข้อมูลผ่านการสนทนาได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และลดขั้นตอนในการค้นหาข้อมูลจากหลายช่องทาง ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการพัฒนาระบบสารสนเทศที่มุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพในการเข้าถึงข้อมูลและการให้บริการผ่านระบบเว็บแอปพลิเคชัน [7], [8] และสอดคล้องกับทิศทางการประยุกต์ใช้แชทบอทในงานบริการสารสนเทศตามที่ Adamopoulou และ Moussiades [1] ได้รวบรวมไว้ ตลอดจนแนวคิดการออกแบบปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้กับแชทบอทของ Følstad และ Brandtzæg [2]

ผลการประเมินความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.10, S.D. = 0.64) แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานได้ทั้งด้านการใช้งานและการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ โดยเฉพาะการจัดวางเมนูและการนำเสนอข้อมูลที่เข้าใจง่าย ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Norman [5] ที่อธิบายว่าการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งานที่เรียบง่าย ชัดเจน และลดความซับซ้อนของการใช้งาน จะช่วยให้ผู้ใช้สามารถเรียนรู้ระบบได้รวดเร็วและเกิดประสบการณ์การใช้งานที่ดี และสอดคล้องกับหลักการออกแบบที่ยึดผู้ใช้เป็นศูนย์กลางตามมาตรฐาน ISO 9241-210 [6] ผลการประเมินดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าระบบมีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อสนับสนุนการจัดการกิจกรรมนักศึกษา อย่างไรก็ตาม ข้อสรุปด้านการลดระยะเวลาในการค้นหาข้อมูลและการลดภาระงานของเจ้าหน้าที่ยังต้องได้รับการยืนยันด้วยการวัดผลเปรียบเทียบก่อน–หลังการใช้งานจริงต่อไป

นอกจากนี้ การนำระบบเว็บแชทบอทมาใช้ร่วมกับฐานข้อมูลกิจกรรมยังช่วยให้การตอบคำถามเป็นไปอย่างรวดเร็วและถูกต้องตามข้อมูลที่จัดเก็บไว้ ส่งผลให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลได้สะดวกมากขึ้น และมีแนวโน้มที่จะช่วยลดภาระของเจ้าหน้าที่ในการตอบคำถามที่เกิดขึ้นซ้ำ ๆ ซึ่งสอดคล้องกับงานศึกษาของ Shawar และ Atwell [3], [4] ที่รายงานว่าการประยุกต์ใช้แชทบอทสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการข้อมูลและลดภาระงานของผู้ให้บริการได้อย่างมีประสิทธิผล ทั้งนี้ การเปรียบเทียบดังกล่าวเป็นการอภิปรายเชิงแนวทางและหลักการ เนื่องจากบริบทและวิธีการประเมินของแต่ละงานวิจัยมีความแตกต่างกัน

อย่างไรก็ตาม การศึกษาครั้งนี้ยังมีข้อจำกัดหลายประการ ได้แก่ จำนวนกลุ่มตัวอย่างเพียง 50 คนจากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพียงแห่งเดียว การประเมินที่มุ่งเน้นความพึงพอใจของผู้ใช้งานมากกว่าตัวชี้วัดเชิงเทคนิค และกลไกการจับคู่คำสำคัญ (Keyword Matching) ซึ่งเหมาะสมกับคำถามที่มีคำสำคัญตรงกับฐานความรู้ แต่มีข้อจำกัดเมื่อผู้ใช้งานใช้ถ้อยคำที่หลากหลายหรือมีคำถามที่ซับซ้อน ดังนั้น ในอนาคตควรเพิ่มการวัดเชิงปริมาณด้านความถูกต้องของคำตอบ อัตราการตอบสำเร็จ เวลาในการตอบสนอง และการเปรียบเทียบระยะเวลาการค้นหาข้อมูลหรือภาระงานของเจ้าหน้าที่ก่อน–หลังการใช้งาน ดังนั้น ในอนาคตควรขยายการทดลองไปยังคณะหรือมหาวิทยาลัยอื่น รวมทั้งพัฒนาระบบให้รองรับเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์สมัยใหม่ เช่น Large Language Models (LLMs) หรือ Generative AI เพื่อเพิ่มความสามารถในการทำความเข้าใจคำถามที่มีความซับซ้อน และยกระดับคุณภาพการให้บริการข้อมูลแก่ผู้ใช้งาน

4. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเว็บแชทบอทสำหรับสนับสนุนการให้ข้อมูลกิจกรรมนักศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร โดยใช้เทคโนโลยีเว็บร่วมกับระบบฐานข้อมูลเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถสืบค้นข้อมูลกิจกรรมได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และลดภาระการตอบคำถามของเจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบ ระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยฟังก์ชันหลัก ได้แก่ การจัดการข้อมูลกิจกรรม การให้ข้อมูลผ่านระบบแชทบอท และการบริหารจัดการข้อมูลโดยผู้ดูแลระบบ

ผลการประเมินความพึงพอใจจากกลุ่มตัวอย่างนักศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จำนวน 50 คน พบว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อระบบโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.10, S.D. = 0.64) โดยเฉพาะด้านการออกแบบเว็บไซต์ที่ได้รับคะแนนเฉลี่ยสูงที่สุด สะท้อนให้เห็นว่าระบบมีส่วนติดต่อผู้ใช้งานที่เหมาะสม ใช้งานง่าย และเอื้อต่อการเข้าถึงข้อมูลของผู้ใช้งาน นอกจากนี้ ระบบยังสามารถสนับสนุนการเผยแพร่ข้อมูลกิจกรรมนักศึกษาได้อย่างเป็นระบบ และคาดว่าจะช่วยลดระยะเวลาในการค้นหาข้อมูลและอำนวยความสะดวกในการสื่อสารระหว่างหน่วยงานกับนักศึกษาได้ในอนาคต ทั้งนี้ข้อสรุปดังกล่าวอยู่ภายใต้ขอบเขตของผลการประเมินความพึงพอใจจากกลุ่มตัวอย่างที่ศึกษา และยังไม่สามารถยืนยันผลด้านการลดระยะเวลาการค้นหาข้อมูลหรือการลดภาระงานของเจ้าหน้าที่ได้ เนื่องจากยังไม่ได้มีการวัดตัวชี้วัดดังกล่าวโดยตรง

จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า เว็บแชทบอทที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการข้อมูลกิจกรรมนักศึกษาภายในมหาวิทยาลัย และสามารถต่อยอดการพัฒนาระบบในอนาคตได้ เช่น การเชื่อมโยงกับระบบสารสนเทศอื่นของมหาวิทยาลัย การรองรับการแจ้งเตือนกิจกรรมแบบอัตโนมัติ และการพัฒนาความสามารถของแชทบอทให้รองรับการโต้ตอบที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น เพื่อยกระดับคุณภาพการให้บริการข้อมูลแก่ผู้ใช้งานในอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ และสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยตลอดระยะเวลาการศึกษา ผู้วิจัยขอขอบพระคุณนักศึกษาที่ให้ความร่วมมือในการทดลองใช้งานระบบและตอบแบบสอบถาม รวมทั้งผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนช่วยให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

[1] E. Adamopoulou and L. Moussiades, “Chatbots: History, technology, and applications,” *Machine Learning with Applications*, vol. 2, p. 100006, 2020. doi: 10.1016/j.mlwa.2020.100006

[2] A. Følstad and P. B. Brandtzæg, “Chatbots and the New World of HCI,” *interactions*, vol. 24, no. 4, pp. 38–42, Jul.–Aug. 2017. doi: 10.1145/3085558.

[3] B. A. Shawar and E. Atwell, “Chatbots: Are They Really Useful?,” *LDV Forum*, vol. 22, no. 1, pp. 29–49, 2007.

[4] B. A. Shawar and E. Atwell, “Different Measurements Metrics to Evaluate a Chatbot System,” in *Proceedings of the Workshop on Bridging the Gap: Academic and Industrial Research in Dialog Technologies*, Rochester, NY, USA, 2007, pp. 89–96.

[5] World Wide Web Consortium (W3C), “HTML Living Standard.” Available: https://html.spec.whatwg.org/ (accessed Jul. 9, 2026).

[6] PHP Documentation Group, “PHP Manual.” Available: https://www.php.net/manual/en/ (accessed Jul. 9, 2026).

[7] D. A. Norman, *The Design of Everyday Things*, Revised and Expanded Edition. New York, NY, USA: Basic Books, 2013.

[8] International Organization for Standardization, *ISO 9241-210:2019 Ergonomics of Human-System Interaction—Part 210: Human-centred Design for Interactive Systems*. Geneva, Switzerland: ISO, 2019.

[9] Oracle Corporation, “MySQL 8.4 Reference Manual.” Available: https://dev.mysql.com/doc/ (accessed Jul. 9, 2026).

[10] Mozilla Foundation, “JavaScript Guide.” Available: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript (accessed Jul. 9, 2026).

การพัฒนาระบบคลังคำถาม-ตอบที่พบบ่อย กรณีศึกษา เว็บแอปพลิเคชันโรงเรียนสอนภาษาไทยสำหรับชาวต่างชาติ

Development of A FAQs-Q&As Knowledge-based System A Case Study: Web Application of Thai Language School for Foreigner

กฤษ์ชัย มิตรชู[1] จิระฏฐ์กร เบญจปัญญาวรกุล[1] ลัลลดา กาญจนเสมา[1] นิภาพร ปัญญา[1]
ภภัสสร สิงหธรรม[1] และ ธิดาวรร คล้ายศรี[1*]

[1]สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
[*]E-mail: thidawan.k@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

กรณีศึกษาการพัฒนาระบบคลังคำถาม-ตอบที่พบบ่อย ให้กับโรงเรียนสอนภาษาไทยสำหรับชาวต่างชาติ ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเว็บแอปพลิเคชันสนับสนุนงานบริการลูกค้าสัมพันธ์ด้วยระบบคลังคำถาม-ตอบที่พบบ่อย และเพื่อประเมินความพึงพอใจในการใช้งานเว็บแอปพลิเคชันของลูกค้าและพนักงานดูแลระบบ เว็บแอปพลิเคชันนี้เขียนด้วยภาษา PHP และพัฒนาบนเฟรมเวิร์ก Laravel ที่มีโครงสร้างการทำงาน ตัวแบบ-มุมมอง-ตัวควบคุม ให้สามารถปฏิบัติงานสอบถามรายละเอียดของคอร์ส สมัครและลงทะเบียนเรียน และสามารถค้นหาคำตอบจากคำถาม-ตอบที่พบบ่อย ซึ่งจัดเรียงลำดับด้วยน้ำหนักคะแนนตามความถี่ของการถามถึง จากฐานข้อมูล MySQL Server ผลประเมินความพึงพอใจในการใช้งานเว็บแอปพลิเคชันของลูกค้ามีค่าเฉลี่ยประมาณ 4.14 และผู้ดูแลระบบมีค่าเฉลี่ยประมาณ 4.27 จากระดับคะแนน 5.00

คำสำคัญ: คลังคำถาม-ตอบที่พบบ่อย งานบริการลูกค้าสัมพันธ์ เว็บแอปพลิเคชันโรงเรียนสอนภาษา เฟรมเวิร์ก Laravel

Abstract

The development of a FAQs (Frequently Asked Questions) - Q&As (Question and Answers) Knowledge-based System of a Thai language school for foreigner is a case study in this research. The objectives of our study are to implement the web application for supporting customer service via the FAQs-Q&As system and to evaluate satisfaction of using the web application from customers and administrators. The web application was coded by PHP language, and implemented on Laravel framework, which has the Model-View-Control structure. It can operate for querying courses information, applying and registering the courses, and searching for answers from the system. The FAQs-Q&As are ranked by weighted score of the frequently asked questions from the database via MySQL Server. The evaluation results of customer' satisfaction shows the average values approximately 4.14 and 4.27 for admins satisfaction from the score level 5.00.

Keywords: FAQs-Q&As Knowledge-based, customer service, language school website, Laravel Framework

1. บทนำ

ธุรกิจออนไลน์มักให้บริการสารสนเทศแก่ลูกค้าผ่านทาง *ระบบลูกค้าสัมพันธ์* (customer service system) ซึ่งช่วยอำนวยความสะดวกลูกค้าในการทำธุรกรรม สามารถสอบถามข้อมูลจากระบบ *"คำถามและคำตอบ"* (Question and Answer: Q&A) ร่วมกับการสื่อสารผ่านทางอีเมล โทรศัพท์ สื่อสังคมออนไลน์ และ Chatbot นอกจากนี้งานลูกค้าสัมพันธ์ยังให้บริการตอบ *"คำถามที่พบบ่อย"* (Frequently Asked Question: FAQ) อันได้มาจากการรวบรวมข้อสงสัยที่เกิดขึ้นซ้ำบ่อยๆ ของลูกค้าคนอื่น มาเสริมการตอบข้อสงสัยของลูกค้าได้อีกด้วย [1, 2]

ธุรกิจโรงเรียนสอนภาษาออนไลน์ใช้ระบบ FAQs ร่วมกับการติดต่อสื่อสารโดยตรงระหว่างพนักงานและลูกค้าด้วยอีเมล และโทรศัพท์ [3] อาทิ โรงเรียนที่สอนภาษาอังกฤษอย่าง Globish [4] และ Recovery Language School [5] ส่วนสถาบันที่เปิดสอนหลายภาษา เช่น Parsorn [6] สอนภาษาอังกฤษและภาษาไทย ได้ใช้ระบบ FAQs รวบรวมปัญหาการใช้งานระบบ และแสดงคำถามที่พบบ่อย โดยจัดแสดงแยกไว้เป็นหมวดหมู่ในเว็บเพจ สถาบันส่วนใหญ่ประชาสัมพันธ์ข่าวสารธุรกิจไว้บนเว็บเพจของตน เช่น การสมัครเรียน และการชำระค่าลงทะเบียน ฯลฯ ส่วนข้อมูลรายละเอียดอื่นๆ แต่ลูกค้าต้องติดต่อโดยตรงกับพนักงาน [3] อาทิ Language Express [7] นอกจากนี้ Duke Language School [8] ได้ใช้ Chatbot แบบ Retrieval-based Models มาให้บริการลูกค้าด้วยการตอบคำถาม โดยเลือกบทสนทนาที่เหมาะสมกับบริบทจากรูปแบบที่มีอยู่แล้วไว้ล่วงหน้า และระบุให้ลูกค้ากรอกอีเมลส่วนตัว หรือสื่อสารผ่านช่องทางเฟซบุ๊ก ซึ่งบางครั้งพนักงานอาจตอบคำถามได้ไม่ตรงประเด็น บ้างส่งลิงค์บทความมาให้ลูกค้าศึกษาด้วยตนเอง

จากประเด็นปัญหาการให้บริการสารสนเทศของโรงเรียนสอนภาษา ที่มักพึ่งพาการถามตอบโดยตรงระหว่างลูกค้าและพนักงาน ดังกล่าวข้างต้น คณะวิจัยจึงได้ออกแบบและพัฒนาระบบ FAQs โดยให้บริการผ่านทางเว็บแอปพลิเคชัน Speak-Thai ของโรงเรียนสอนภาษาไทยสำหรับชาวต่างชาติ ซึ่งมีระบบสนับสนุนงานลูกค้าสัมพันธ์ อาศัยข้อมูลการถามคำถามจากผู้ใช้งานและการตอบคำถามจากผู้ดูแลระบบมาจัดเก็บลง *"ระบบคลังคำถาม-ตอบ"* (FAQs-Q&As Knowledge-Based System) ซึ่งนำ Q&As ที่มักถูกถามบ่อยมาแสดงผลให้ลูกค้าได้ค้นหาคำตอบด้วยตนเอง ไม่ต้องรอคำตอบจากพนักงานผู้ดูแลระบบ ระบบนี้อำนวยความสะดวกให้ลูกค้าสามารถค้นหาข้อมูลคอร์สที่เปิดสอน และค้นหารายละเอียดที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ ได้ง่ายขึ้น และยังสามารถจัดแสดงลำดับของ Q&As ตามความถี่ของคำถามที่มักถูกสอบถามซ้ำ ทำให้ลูกค้าได้คำตอบรวดเร็วขึ้น อีกทั้งโรงเรียนยังสามารถเก็บรวบรวมคำถามและข้อปัญหาเพิ่มเติมจากระบบเพื่อนำไปปรับปรุงการให้บริการของตนต่อได้

บทความวิจัยนี้ได้อภิปราย การพัฒนาระบบคลังคำถาม-ตอบที่พบบ่อย กรณีศึกษา เว็บแอปพลิเคชันโรงเรียนสอนภาษาไทยสำหรับชาวต่างชาติ เพื่อให้สามารถสนับสนุนงานบริการลูกค้าสัมพันธ์ โดยอธิบายวิธีการทดลอง ผลลัพธ์การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน ผลการประเมินเว็บแอปพลิเคชัน และสรุปผลการวิจัยและแนวทางการวิจัยต่อ ในหัวข้อที่ 2 ถึง 5 ตามลำดับ

2. วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ดำเนินการทดลองดังอธิบายในหัวข้อ 2.1 ถึง 2.4 ต่อไปนี้

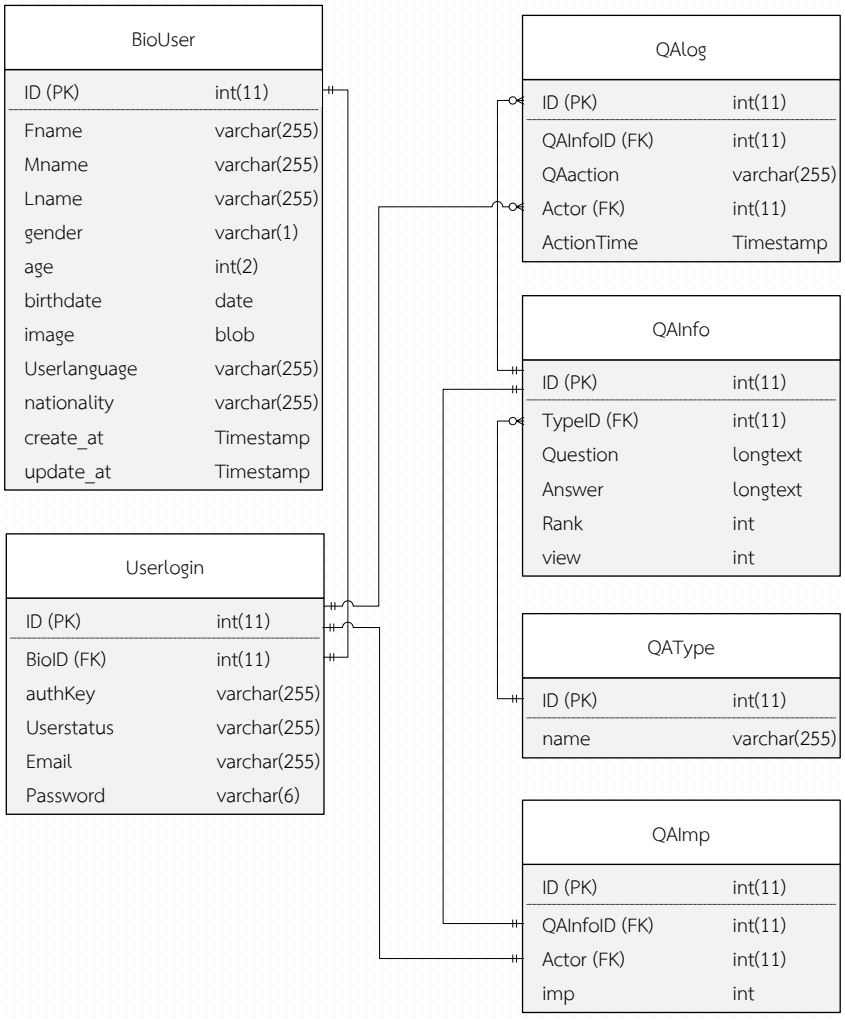
2.1 ศึกษาและวิเคราะห์ระบบคลังคำถาม-ตอบที่พบบ่อย

คณะวิจัยได้ศึกษาระบบงานจากเว็บแอปพลิเคชันจากสถาบันสอนภาษาไทยสำหรับชาวต่างชาติ [4-8] ทราบว่าหลายสถาบันนี้ใช้ FAQs เข้ามาช่วยงานลูกค้าสัมพันธ์ และยังศึกษาแนวคิดเรื่องการใช้งานอินเทอร์เน็ตยุคต้นของ Brendan P. Kehoe ที่เน้นว่าเว็บควรเผยแพร่แบ่งปันความรู้ให้แก่ผู้ใช้งานทุกคนอย่างเสรี ให้สามารถเข้าถึงได้ในวงกว้าง [9] มีความสอดคล้องกับการพัฒนาคลังข้อมูลเพื่อแบ่งปันข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับคอร์สที่เปิดสอน การสมัคร และลงทะเบียนเรียนของโรงเรียนสอนภาษาไทย ที่คณะวิจัยนำเสนอในบทความวิจัยนี้ ซึ่งมุ่งเน้นให้ลูกค้าผู้ใช้งานเว็บโรงเรียนสามารถค้นข้อมูลได้ด้วยตนเองก่อน และแสดงผลลัพธ์จากระบบคลังคำถาม-ตอบที่พบบ่อยแบบกระชับ

คณะวิจัยได้สอบถามและวิเคราะห์ความต้องการจากโรงเรียน Speak-Thai เป็นกรณีศึกษา ทราบว่าลูกค้ากลุ่มเป้าหมายของโรงเรียนได้แก่ชาวต่างชาติที่อยู่ในประเทศไทย ส่วนขอบเขตงานของระบบคลังคำถาม-ตอบนี้ มีผู้ใช้งานที่เกี่ยวข้อง 2 กลุ่ม ได้แก่ ลูกค้าผู้ใช้งานที่ค้นคำตอบจากระบบคำถาม-ตอบที่พบบ่อย และพนักงานดูแลระบบที่จัดการคลังคำถาม-ตอบที่พบบ่อย นอกจากนี้ได้ศึกษาความเป็นไปได้และวิเคราะห์ระบบคลัง FAQs-Q&As ให้สามารถเพิ่มสารสนเทศได้โดยอาศัยการถามคำถามของลูกค้า และให้พนักงานเป็นผู้ตอบคำถามในรูปแบบกระทู้ โดยจัดเก็บปัญหาต่างๆ ที่ได้ตอบแล้วไปยังระบบคลัง FAQs-Q&As จึงนำความต้องการที่วิเคราะห์นี้ไปออกแบบระบบต่อไป

2.2 ออกแบบฐานข้อมูล

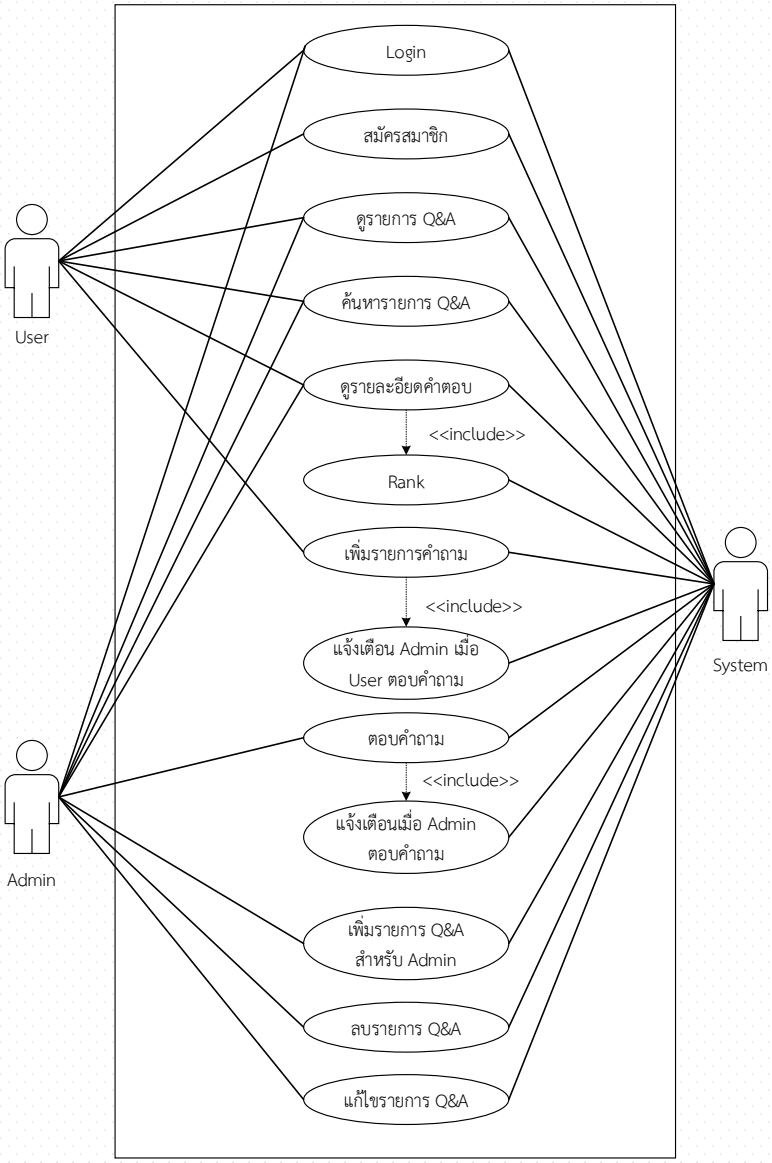
ฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ที่ออกแบบไว้ ดังแสดงในภาพที่ 1 ประกอบด้วย (1) ตาราง BioUser จัดเก็บข้อมูลของผู้ใช้งานเมื่อกรอกข้อมูลเพื่อสมัครสมาชิก (2) ตาราง Userlogin จัดเก็บข้อมูลผู้ใช้งานเมื่อเข้าสู่ระบบ (3) ตาราง Q&AType จัดเก็บข้อมูลคำถามต่างๆ (4) ตาราง Q&AInfo จัดเก็บข้อมูล Q&A (5) ตาราง Q&Alog จัดเก็บสถานะของผู้ใช้งานที่เข้าถึงข้อมูล (6) ตาราง Q&Almp จัดเก็บค่าน้ำหนักและสถานะของ FAQs



ภาพที่ 1 แผนภาพจำลองฐานข้อมูล

2.3 ออกแบบฟังก์ชันของระบบคลังคำถาม-ตอบที่พบบ่อยผ่านเว็บแอปพลิเคชัน

ออกแบบฟังก์ชันการทำงานของระบบคลังคำถาม-ตอบที่พบบ่อย ให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งานทั้ง 2 กลุ่มที่ปฏิสัมพันธ์กับระบบผ่านเว็บแอปพลิเคชัน ดังแสดงด้วยแผนภาพ Use Case ในภาพที่ 2



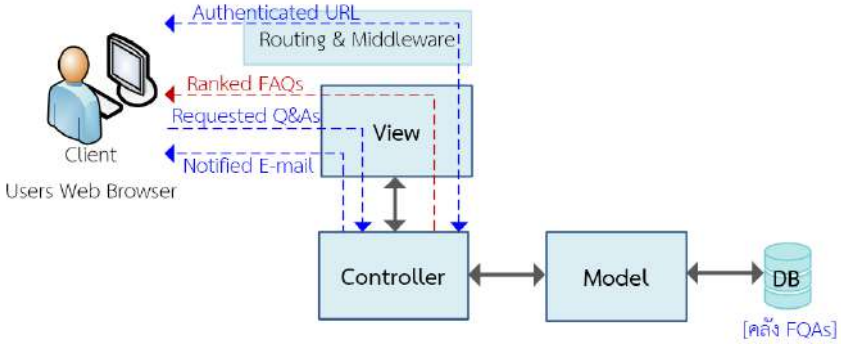
ภาพที่ 2 แผนภาพ Use Case

2.4 ออกแบบระบบคลังคำถาม-ตอบที่พบบ่อยผ่านเว็บแอปพลิเคชัน

เนื่องด้วยลูกค้าอาจถามคำถามซ้ำกัน ทำให้คำถามซ้ำเหล่านี้มีความถี่ที่ถูกสอบถามถึง มากกว่าคำถามอื่นๆ ดังนั้น FAQs เหล่านี้สามารถนำมาจัดเรียงลำดับตามความถี่สูง (กว่า) ที่ถูกถาม เพื่อนำไปแสดงผลบนหน้าเว็บเพจของโรงเรียน ด้วยการให้ *คะแนนแบบเพิ่มน้ำหนัก* (Weighted Scoring) โดยกำหนดค่าน้ำหนักในการให้คะแนนความสำคัญของคำถามแต่ละข้อด้วยค่าน้ำหนักที่ต่างกัน กำหนดให้ W เป็นค่าน้ำหนักของคำถาม-ตอบ และ F เป็นค่าความถี่ที่ถูกถาม แล้วคำนวนน้ำหนักคะแนน (Score) ได้โดย Score += W **x** F

งานวิจัย [10] ได้พัฒนาแอปพลิเคชันภายใต้สถาปัตยกรรม *ตัวแบบ-มุมมอง-ตัวควบคุม* (Model-View-Controller: MVC) ประกอบด้วย หน่วย Controller ควบคุมสั่งการให้หน่วย Model จัดการข้อมูลซึ่งติดต่อกับฐานข้อมูล และยังควบคุมการส่งผลลัพธ์ไปแสดงผลยังหน่วย View ส่งตอบกลับไปยัง Client งานวิจัย [11] ใช้ MVC ออกแบบพัฒนา User interface ปฏิบัติการกับฐานข้อมูล และส่งกลับสารสนเทศไปยังผู้ใช้งาน นอกจากนี้บทความวิจัย [12] อธิบายถึงการพัฒนาเว็บด้วยเฟรมเวิร์ก Laravel ที่ทำงานด้วยสถาปัตยกรรม MVC โดยรับคำร้องขอจากผู้ใช้งานผ่าน Routing แล้วตรวจสอบสิทธิ์ด้วย Middleware ส่งไป Controller ที่ควบคุมตรรกะการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลผ่านไปยัง Model แล้วแสดงผลออกทาง View

คณะวิจัยได้พัฒนาระบบคลังคำถาม-ตอบที่พบบ่อยผ่านเว็บแอปพลิเคชันโดยใช้เฟรมเวิร์ก Laravel ดังแสดงโครงสร้างในภาพที่ 3 เมื่อหน่วย Routing/Middleware ตรวจสอบคำร้องขอด้วยที่อยู่ URL/HTTP(S) จากผู้ใช้งานทางเว็บบราวเซอร์ หากผ่านให้สามารถเริ่มใช้งานเว็บได้ โดยลูกค้าสามารถขอดู Q&As และ FAQs ที่จัดเรียงลำดับตามคำถาม-ตอบที่มักถูกสอบถามถึง แต่หากมีลูกค้าป้อนคำถามใหม่ที่ยังมีในระบบ หน่วย Controller ซึ่งควบคุมตรรกะในโปรแกรมทำหน้าที่แจ้งเตือนด้วยอีเมลไปยังผู้ดูแลระบบ ส่วนผลคำถาม-ตอบนำแสดงบนเว็บเพจของโรงเรียน ผ่านทางหน่วย view

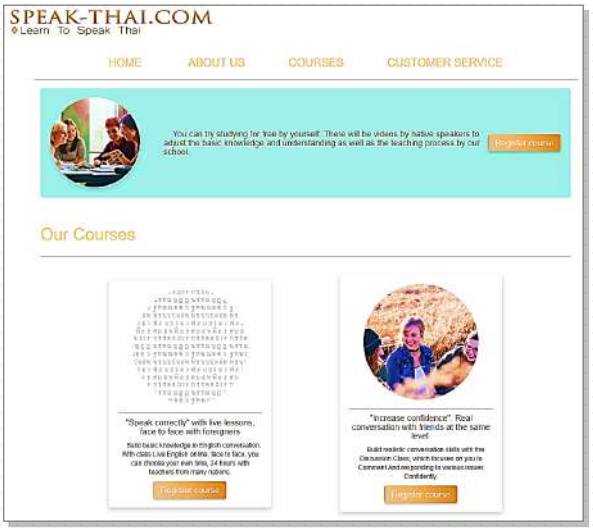


ภาพที่ 3 โครงสร้างระบบคลังคำถาม-ตอบผ่านเว็บแอปพลิเคชันด้วยเฟรมเวิร์ก Laravel

3. ผลลัพธ์การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน

เว็บเพจผลลัพธ์การทำงานของเว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นได้นำเสนอในภาพที่ 4-9 โดยภาพที่ 4 แสดงเพจหลักของเว็บแอปพลิเคชันฯ ประกอบด้วยระบบจัดการลูกค้าสัมพันธ์ ลูกค้าสามารถทราบรายละเอียดของคอร์สที่เปิดสอน ดังภาพที่ 5

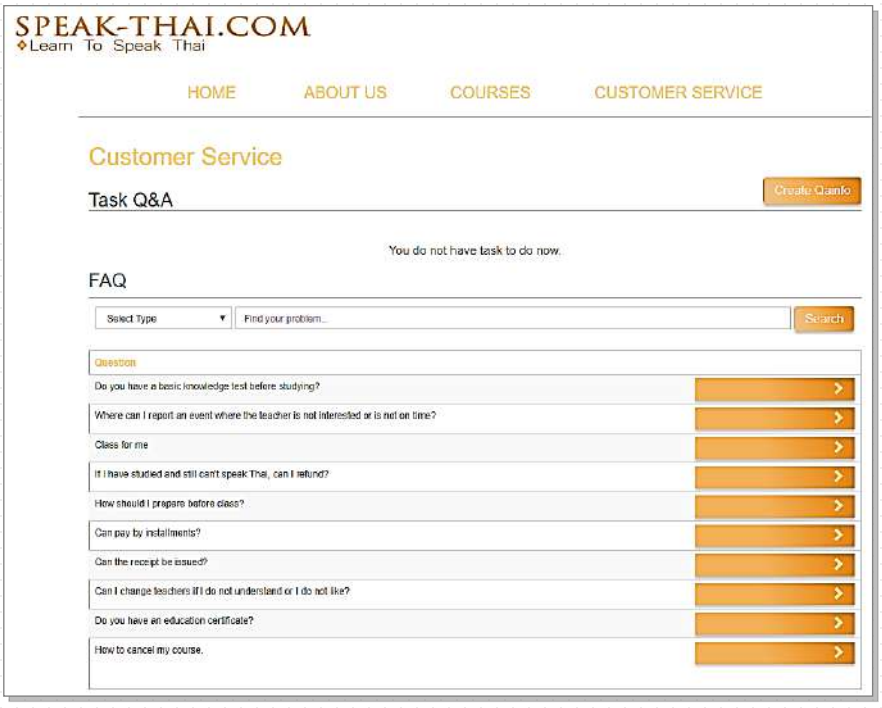
ภาพที่ 4 เว็บเพจหลัก



ภาพที่ 5 เว็บเพจคอร์สภาษาไทยที่เปิดสอน

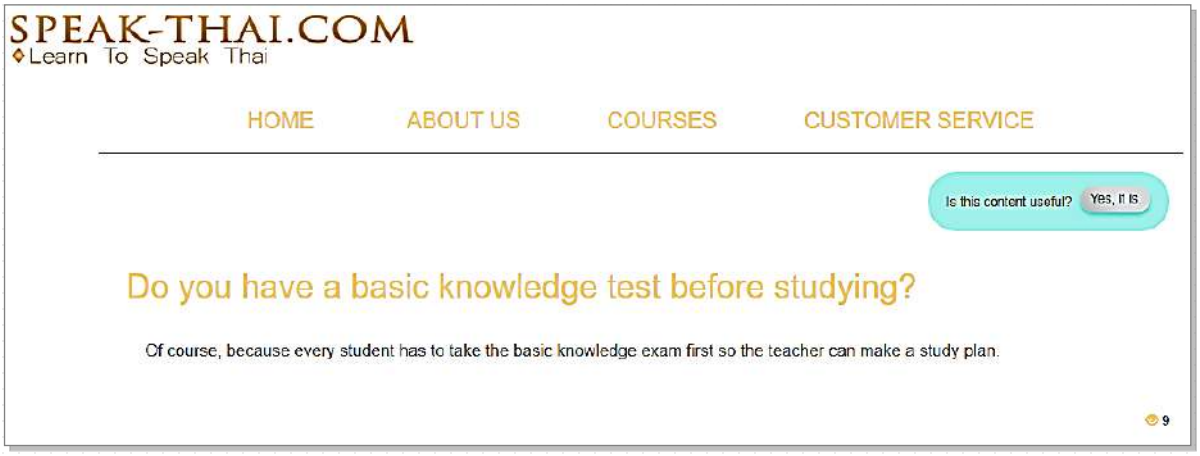
รายการบริการลูกค้าสัมพันธ์ดังแสดงในภาพที่ 6 แจ้งถึงวิธีการลงทะเบียนและวิธีการชำระเงิน ส่วนภาพที่ 7 แสดงเว็บเพจของระบบ Back-office ที่จัดการงานคลังคำถาม-ตอบที่พบบ่อย

ภาพที่ 6 เว็บเพจการลงทะเบียนและชำระเงินคอร์สเรียนภาษาไทย



ภาพที่ 7 เว็บเพจจัดการระบบคลังคำถาม-ตอบที่พบบ่อย

เว็บเพจแสดงคำถาม-ตอบที่พบบ่อยอันค้นคืนจากระบบคลังคำถาม-ตอบ ดังแสดงในภาพที่ 8 และเว็บเพจแสดงการสร้างคำถาม-ตอบสำหรับระบบคลังคำถาม-ตอบที่พบบ่อย ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 8 เว็บเพจแสดงคำถาม-ตอบที่พบบ่อยโดยค้นคืนจากระบบคลังคำถาม-ตอบที่พบบ่อย

ภาพที่ 9 เว็บเพจแสดงการสร้างคำถาม-ตอบสำหรับระบบคลังคำถาม-ตอบที่พบบ่อย

4. ผลการประเมินเว็บแอปพลิเคชัน

ผลการประเมินระบบการทำงานทั้งส่วนลูกค้าผู้ใช้งาน พนักงานผู้ดูแลระบบ และระบบที่นำเสนอในตารางที่ 1 แสดงให้ทราบว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตามขอบเขตงานทั้งหมดของระบบงานลูกค้าสัมพันธ์ด้วยระบบคลังคำถาม-ตอบที่พบบ่อย

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการทำงานของระบบ

การทำงานของระบบ	ผลการทดสอบ	
	สามารถทำได้	ไม่สามารถทำได้
ส่วนของลูกค้าผู้ใช้งานระบบ		
1. สามารถค้นหารายการ Q&As ได้จากรายการ FAQs ที่หน้าเว็บเพจได้	✓	
2. สามารถเพิ่มคำถามที่ต้องการทราบได้	✓	
3. สามารถรับการแจ้งเตือนทางอีเมลเมื่อมีการตอบคำถาม	✓	
ส่วนของพนักงานผู้ดูแลระบบ		
1. สามารถตรวจสอบ เพิ่ม แก้ไข และลบ รายการ FAQs ได้	✓	
2. สามารถรับการแจ้งเตือนทางอีเมลเมื่อมีการตอบคำถาม	✓	
3. สามารถกำหนดประเภทและคำสำคัญของคำถามได้	✓	
4. สามารถรับการแจ้งเตือนทางอีเมลเมื่อมีการเพิ่มคำถาม	✓	
ส่วนของระบบ		
1. สามารถจัดลำดับคำถามได้	✓	
2. สามารถส่งแจ้งเตือนอัตโนมัติเมื่อมีการถามหรือตอบคำถามให้กับผู้ใช้บริการและผู้ดูแลระบบได้	✓	

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของลูกค้าผู้ใช้งานระบบ

รายการประเมิน	($\bar{x}$)	S.D.	ความพึงพอใจ
1. การทำงานของระบบ			
1.1 Able to search FAQs system.	4.00	0.98	ดี
1.2 Able to search Q&As system.	4.10	0.88	ดี
ผลเฉลี่ยด้านการทำงานของระบบ	4.05	0.93	ดี
2. ความพึงพอใจ			
2.1 The speed in answering the questions of administrators.	3.93	0.98	ดี
2.2 The FAQs and Q&As systems are easy to use and convenient.	4.27	0.78	ดี
2.3 The beauty of the website.	4.50	0.82	ดีมาก
ผลเฉลี่ยด้านความพึงพอใจ	4.23	0.86	ดี
ผลเฉลี่ยรวม	**4.14**	**0.90**	**ดี**

ตารางที่ 2 นำเสนอผลการประเมินจากลูกค้าผู้ใช้งานระบบจำนวน 30 คน พบว่ามีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับดี ด้วยค่าเฉลี่ยเลขคณิตประมาณ 4.14 ที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานประมาณ 0.90 ทั้งนี้พบว่าค่าเฉลี่ยในข้อ 2.1 นั้นต่ำกว่าข้ออื่นๆ เนื่องจากกรณีที่ลูกค้าสอบถามคำถามใหม่ที่ยังไม่มีในคลัง FAQs ซึ่งต้องรอการปรับปรุง Q&As จากพนักงานที่ระบบได้แจ้งเตือนไปทางอีเมล

ตารางที่ 3 ผลค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานการประเมินความพึงพอใจของพนักงานผู้ดูแลระบบ

รายการประเมิน	($\bar{x}$)	S.D.	ความพึงพอใจ
1. การทำงานของระบบ			
1.1 Able to check, add, edit and delete FAQs list conveniently and quickly.	4.20	0.84	ดี
1.2 Able to answer users questions in the Q&As system conveniently and quickly.	4.40	0.55	ดี
1.3 Able to specify the type of questions quickly and Conveniently.	3.80	0.84	ดี
ผลเฉลี่ยด้านการทำงานของระบบ	4.13	0.74	ดี
2. ความพึงพอใจ			
2.1 The Q&As management system is easy to use and convenient.	4.20	0.84	ดี
2.2 Ease of use of the system.	4.60	0.55	ดีมาก
ผลเฉลี่ยด้านความพึงพอใจ	4.40	0.69	ดีมาก
ผลเฉลี่ยรวม	**4.27**	**0.72**	**ดี**

ตารางที่ 3 นำเสนอผลการประเมินจากพนักงานผู้ดูแลระบบจำนวน 5 คน พบว่า มีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับดี ด้วยค่าเฉลี่ยเลขคณิตประมาณ 4.27 ที่ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานประมาณ 0.72 ทั้งนี้พบค่าเฉลี่ยนในข้อ 1.3 นั้นต่ำกว่าข้ออื่นๆ เนื่องจากยังไม่มีระบบที่ช่วยแนะนำคำสำคัญสำหรับประเภทคำถามให้กับผู้ดูแลระบบ

5. สรุปผลการวิจัยและแนวทางการวิจัยต่อ

ระบบคลังคำถาม-ตอบที่พบย่อยซึ่งพัฒนาขึ้นนี้ บรรลุตามหน้าที่การใช้งานทั้ง 3 ด้าน กล่าวคือ (1) ลูกค้าผู้ใช้งานสามารถค้นหารายการ Q&As ได้จากรายการ FAQs ที่หน้าเว็บเพจงานลูกค้าสัมพันธ์ สามารถเพิ่มคำถามที่ต้องการทราบและได้รับอีเมลแจ้งเตือนการตอบคำถามจากระบบ (2) พนักงานผู้ดูแลระบบสามารถตรวจสอบ เพิ่ม แก้ไข และลบ รายการ FAQs สามารถตอบคำถามลูกค้าผ่านระบบ และได้รับอีเมลแจ้งเตือนเมื่อมีคำถามใหม่เพิ่มลงสู่ระบบ และ (3) ระบบสามารถจัดลำดับคำถาม และสามารถส่งแจ้งเตือนอีเมลการถาม-ตอบดังกล่าวให้กับลูกค้าและพนักงานดูแลระบบได้

ควรพัฒนาระบบนี้ต่อ ให้ปฏิบัติงานประสานระหว่างพนักงาน ระบบ และลูกค้าได้เร็วขึ้น ให้มีฟังก์ชันช่วยแนะนำคำสำคัญของประเภทคำถามให้กับผู้ดูแลระบบ เพื่อลดเวลารอคอยที่ปฏิบัติการต่อคำถามใหม่ และให้การสืบค้นสามารถปฏิบัติการได้ใกล้เคียงกับภาษาที่มนุษย์ใช้สื่อสาร โดยอาจนำเทคโนโลยี Generative AI/NLP มาประยุกต์ใช้วิจัยในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

เนื้อหาของบทความวิจัยนี้ คณะวิจัยได้เขียนสรุปมาจากโครงงานวิทยาการคอมพิวเตอร์ ในหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ขอขอบคุณบุคลากรและนักศึกษาสาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. พระนคร ทุกท่านที่ให้ความร่วมมือทดสอบและประเมินผลเว็บแอปพลิเคชันในงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] โกศล พรประสิทธิ์เวช. การบริหารลูกค้าสัมพันธ์. บริษัท ไพแล็บ สตูดิโอ จำกัด 2552. (23 กุมภาพันธ์ 2563). สืบค้นจาก https://www.pilabstudio.com/blog/crm/.

[2] ปิยบุตร ติยานนท์. ระบบช่วยตอบคำถามที่ถูกถามบ่อย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2547.

[3] น้องรัก แซ่แต้. การจัดการการสอนภาษาไทยของโรงเรียนสอนภาษาไทยสำหรับชาวต่างชาติในกรุงเทพมหานคร. มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์. 2555.

[4] เว็บไซต์ Globish. โรงเรียนสอนภาษาอังกฤษ. (20 กันยายน 2568). สืบค้นจาก https://www.globish.co.th/.

[5] เว็บไซต์ Recovory Language School. โรงเรียนสอนภาษาอังกฤษ. (20 กันยายน 2568). สืบค้นจาก https://www.recovery.in.th/.

[6] เว็บไซต์ Phasorn. โรงเรียนสอนภาษาอังกฤษและไทย. (20 กันยายน 2568). สืบค้นจาก https://phasorn-thai.com/.

[7] เว็บไซต์ Lange Express. โรงเรียนสอนหลายภาษา. (20 กันยายน 2568). สืบค้นจาก http://langexpress.com/.

[8] เว็บไซต์ Duke Language School. โรงเรียนสอนหลายภาษา. (20 กันยายน 2568). สืบค้นจาก https://dukelanguage.com/.

[9] Brendan P. Kehoe. (1995). Zen and the Art of the Internet: A Beginner's Guide (Prentice Hall Series in Innovative Technology). Prentice Hall Ptr.

[10] Burbeck S. (1992). Applications programming in smalltalk-80 (tm): How to use model-view-controller (MVC). *Smalltalk-80*, v2, 5(1), 1-1.

[11] ธนทรรศ บรมปัญญา และธิดาวรร คล้ายศรี. (2563). ระบบประชาสัมพันธ์งานมหกรรมไทยออนไลน์ด้วยภูมิสารสนเทศเชิงพื้นที่. ใน *รายงานสืบเนื่องการประชุมทางวิชาการระดับชาติด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 16* (หน้า 137-143). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[12] Subecz, Z. (2021). Web-development with Laravel framework. *Gradus*, 8(1), 211-218.

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

https://sci.rmutp.ac.th/nconsci9