



ncon sci



PROCEEDINGS BOOK

รายงานสืบเนื่อง

การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี
และนวัตกรรม ครั้งที่ 6
“เศรษฐกิจชีวภาพ-เศรษฐกิจหมุนเวียน-เศรษฐกิจสีเขียว
และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ”

24 สิงหาคม 2566

ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ
(Proceeding Book)

การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 6
“เศรษฐกิจชีวภาพ-เศรษฐกิจหมุนเวียน-เศรษฐกิจสีเขียว และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ”

The 6th National Conference on Science, Technology and Innovation:
Bio-Circular-Green (BCG) Economy and Global Climate Change

ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
วันที่ 24 สิงหาคม 2566
จัดการประชุมแบบ On-site และ Online ผ่าน ZOOM Cloud Meetings

พิมพ์เมื่อ : กันยายน 2566
กองบรรณาธิการ : ฝ่ายวิชาการและวิจัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

© ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

สารจากคณบดี



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เป็นมหาวิทยาลัยด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรม มีบทบาทสำคัญในการสร้างงานวิจัย เทคโนโลยีและนวัตกรรม อันจะนำมาเพื่อพัฒนาคุณภาพการศึกษาและงานวิจัย ให้ได้มาซึ่งองค์ความรู้และนวัตกรรมที่สามารถตอบสนองความต้องการของประชาชนและประเทศชาติ สามารถการพัฒนาต่อยอด นำไปใช้ประโยชน์แก้ไขปัญหาได้อย่างแท้จริง เราตระหนักถึงความสำคัญของงานวิจัย ทั้งการวิจัยเพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ การวิจัยและพัฒนาเพื่อสร้างนวัตกรรม และการวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนการสอน โดยส่งเสริมและสนับสนุนการสร้างงานวิจัยของคณาจารย์ บุคลากร และนักศึกษาของมหาวิทยาลัย ให้ผลิตผลงานวิจัยที่มีคุณภาพ มีประโยชน์ และสามารถพัฒนาผลงานวิจัยให้มีความก้าวหน้า มุ่งสู่ความเป็นเลิศทางวิชาการในศาสตร์แขนงต่าง ๆ การจัดการประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 6 ในครั้งนี้ เรามุ่งเน้นการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศให้มีเสถียรภาพอย่างยั่งยืน รวมถึงไปถึงการแก้ปัญหการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ทั่วโลกกำลังเผชิญ จึงกำหนดโจทย์ของงานวิจัยในการจัดการประชุมวิชาการในครั้งนี่ว่า Bio-Circular-Green Economy and Global Climate Change และหวังเป็นอย่างยิ่งว่า การประชุมวิชาการระดับชาติครั้งนี้ จะเป็นเวทีวิชาการในการนำเสนอผลงานทางวิชาการ แลกเปลี่ยนความรู้ ประสบการณ์ระหว่างนักวิชาการ นักวิจัย สร้างงานวิจัยและนวัตกรรม จนเป็นเครือข่ายงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ สามารถพัฒนาประเทศชาติต่อไป

จิระศักดิ์

(ดร.จิระศักดิ์ ธาระจักษ์)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

คณะกรรมการ

กรรมการบรรณาธิการ

ดร.จิระศักดิ์ ชาระจักร์	บรรณาธิการ
ผศ.ดร.ธนพงศ์ สารอินทร์	กรรมการ
ดร.ไพศาล การถาง	กรรมการ
ผศ.ดร.ชาญวิทย์ ปราบพยัคฆ์	กรรมการและเลขานุการ

กรรมการพิจารณาบทความ

รศ.ดร.ภกญ.วริศรา ปาริชาติกานนท์	มหาวิทยาลัยมหิดล
ดร.สิตานัน ธิติประเสริฐ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร.บำรุงศักดิ์ เพื่อนอารีย์	มหาวิทยาลัยบูรพา
ดร.ลัญจกร อมรกิจบำรุง	บริษัท เวลต์ ม็อกกี้ อินโนเวชั่น จำกัด
ผศ.ดร.ชัยพรรณ ฮ่อบรรทัด	มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์
ผศ.ดร.พนิดา หล่อวงศ์ตระกูล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผศ.ดร.พงษ์ศักดิ์ นพรัตน์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผศ.ดร.วรางคณา เขาคี	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
ดร.ภูตินันท์ เอื้อวงศ์สุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ดร.พันธุ์วดี วัฒนสิน	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ดร.พิพัฒน์ จันทร์ประดิษฐ์	มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ
ผศ.ดร.พงษ์ศักดิ์ นพรัตน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี
ผศ.ดร.ฉานิกา แซ่แง ชุกลิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผศ.ดร.ชาญวิทย์ ปราบพยัคฆ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.วีรวรรณ จันทนะทรัพย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.กฤษฎา เหล็กดี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.สิริรัตน์ พานิช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ดร.ดวงฤทัย นิคมรัฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.นริศรา นาคเมธี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.คณาวุฒิ อินทร์แก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.ภูมิจิรต์ นวรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.เมธิญาณินท์ คำขาว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
รศ.ดร.วิไลวรรณ สีนะกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
รศ.ดร.กรรณิการ์ ม่วงชู	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

กรรมการดำเนินงาน

ผศ.ดร.ชาญวิทย์ ปราบพยัคฆ์	ดร.สุนิสา สายอุปราช	นางศุภานัน ปิ่นเจริญ
นางสาวนิสากร น่วมศรีนวล	นางสาวอัจฉรา เฉลิมเกียรติ	นางสาวชลิตา อินสระโร
นางสาวเยาวภา เทวะผลิน	นางพัทธาณี วรดิษฐ์	นางสาวศิริพร บัวสีตัน
นางสาวดารุณี บุระพิน	นางสาวอรวรรณ มุกนนท์	นางสาวสายรุ้ง แก้วน้อย
นายวรวุฒิ สาสิงห์	นายสมัคร นาคเกษม	

กำหนดการ

การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 6
 “เศรษฐกิจชีวภาพ-เศรษฐกิจหมุนเวียน-เศรษฐกิจสีเขียว และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ”

The 6th National Conference on Science, Technology and Innovation:
 Bio-Circular-Green (BCG) Economy and Global Climate Change

วันพฤหัสบดีที่ 24 สิงหาคม 2566

ณ ชั้น 5 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 6 โดย รศ.ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ รองอธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร		
09.00 – 10.00 น.	บรรยายหัวข้อพิเศษ เรื่อง “Probing neural computations underlying flexible information processing” โดย Robert Kim, MD., Ph.D. และ Nuttida Rungratsameetaweemana, Ph.D.		
10.00 – 11.00 น.	บรรยายหัวข้อพิเศษ เรื่อง “Smart sensors for food, agricultural, and environmental applications” โดย รศ.ดร.ชัชวาล วงศ์ชูสุข		
11.00 – 12.00 น.	นำเสนอผลงานวิจัยภาค บรรยาย (Oral presentation)	นำเสนอผลงานวิจัยภาค โปสเตอร์ (Poster presentation)	การแสดงผลงานวิจัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร และหน่วยงานภายนอก
12.00 – 13.00 น.	พักรับประทานอาหารกลางวัน		
13.00 – 16.00 น.	นำเสนอผลงานวิจัยภาค บรรยาย (Oral presentation)	นำเสนอผลงานวิจัยภาค โปสเตอร์ (Poster presentation)	การแสดงผลงานวิจัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร และหน่วยงานภายนอก
16.00 – 16.30 น.	พิธีมอบรางวัลการนำเสนอผลงานวิจัยยอดเยี่ยม และพิธีปิด โดย ดร.จิระศักดิ์ ธาระจักษ์ คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี		

หมายเหตุ ผลงานวิจัยภาคโปสเตอร์จะถูกนำเสนอที่เว็บไซต์ <https://sci.rmutp.ac.th/nconsci6/>

ตารางการนำเสนอผลงานวิจัย

การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 6
 “เศรษฐกิจชีวภาพ-เศรษฐกิจหมุนเวียน-เศรษฐกิจสีเขียว และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ”

The 6th National Conference on Science, Technology and Innovation:
 Bio-Circular-Green (BCG) Economy and Global Climate Change

วันพฤหัสบดีที่ 24 สิงหาคม 2566

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ภาคบรรยาย (Oral presentation) On-site

Session A

ประธานกลุ่ม : ผศ.ดร.สิริรัตน์ พานิช

รองประธานกลุ่ม : ดร.วราวุฒิ พุทธิให้

Time	ID	Name	Title
11.00 – 11.15	TH20009	วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ	การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ยาสีฟันสมุนไพรต้นแบบจากไฮโดรโซลไบโพลู
11.15 – 11.30	TH20038	วีรนุช สระแก้ว	การปรับปรุงสูตรกาวอินทรีย์ด้วยสมุนไพรให้กับกระดาษเพาะกล้าจากฟางข้าว : ผลิตภัณฑ์ชุมชนบ้านดอนซาก อำเภอหันคา จังหวัดชัยนาท
11.30 – 11.45	TH20041	เพ็ชรรัตน์ เวฬุคามกุล	พืชถิ่นเดียวและสถานะการอนุรักษ์ของพืชวงศ์โปโตสเต็มเอเซียในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย
11.45 – 12.00	TH10053	เดวิดชัยป๋วย ลีลาธนพร	การศึกษาเชิงทดลองเพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อนด้วยอุปกรณ์สร้างการไหลวนชนิด Modified NACA0024 แบบสองแถวในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อหน้าตัดวงกลม

ภาคบรรยาย (Oral presentation) Online

Session B1

ประธานกลุ่ม : ดร.คณาวุฒิ อินทร์แก้ว

รองประธานกลุ่ม : รศ.ดร.วิไลวรรณ ลีนะกุล ดร.ภูมิรัตน์ นวรัตน์

Time	ID	Name	Title
11.00 – 11.15	TH20005	โชติกาญจน์ ราชกรม	ประสิทธิภาพของแผ่นซีเมนต์ผสมเส้นใยผักตบชวา และเส้นใยจากขวด PET ในการดูดซับเสียง
11.15 – 11.30	TH10039	อนุชิตา วงศ์ชื่น	การพัฒนาเครื่องหมายโมเลกุลที่สัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลสในประชากรข้าวที่ BC ₁ F ₂ ของคู่ผสมระหว่างพันธุ์ กข41 กับสายพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ไม่ไวต่อช่วงแสงต้นเดียว
11.30 – 11.45	TH10048	สุรสิทธิ์ สอนสารี	การพัฒนาระบบควบคุมสภาวะแวดล้อมภายในโรงเรือนระบบปิดสำหรับกล้วย
11.45 – 12.00	TH20029	ต่อลาภ การปลื้มจิตร	การศึกษาประสิทธิภาพการปลูกข้าวระดับท้องถิ่นด้วยดัชนีพืชพรรณแบบ VARI ของภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ กรณีศึกษา ตำบลท่าหิน อำเภอสตึงพระ จังหวัดสงขลา

ตารางการนำเสนอผลงานวิจัย

การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 6
 “เศรษฐกิจชีวภาพ-เศรษฐกิจหมุนเวียน-เศรษฐกิจสีเขียว และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ”

The 6th National Conference on Science, Technology and Innovation:
 Bio-Circular-Green (BCG) Economy and Global Climate Change

วันพฤหัสบดีที่ 24 สิงหาคม 2566

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ภาคบรรยาย (Oral presentation) Online

Session B2

ประธานกลุ่ม : ดร.คณาวุฒิ อินทร์แก้ว

รองประธานกลุ่ม : ดร.ภูตินันท์ เอื้อวงศ์สุวรรณ

Time	ID	Name	Title
13.00 – 13.15	TH20054	กนกพร ศรีฐาน	การย่อยสลายสีย้อมที่ปนเปื้อนในน้ำเสียด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงโพลีคติน์มไคซัลไฟด์
13.15 – 13.30	TH20068	ประจักษ์ บุญภักดี	การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบคัดแยกขยะรีไซเคิล 4 ถัง
13.30 – 13.45	TH20071	ธนพร พยอมใหม่	การศึกษาและออกแบบตู้ยาสามัญประจำบ้านอัจฉริยะ
13.45 – 14.00	TH20074	ซูรียา รอแอม	การตรวจสอบกรดซาลิซิลิก (สารกันรา) ในอาหารประเภทผักตองและผลไม้ตองในเขตตลาดสดตำบลมะม่วงสองต้น จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยการใช้ชุดทดสอบเบื้องต้น
14.00 – 14.15	TH20017	วรฤทัย ชูเกียรติ	การเพิ่มผลผลิตของกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมโดยการจัดสมดุลสายการผลิต

ภาคบรรยาย (Oral presentation) Online

Session B3

ประธานกลุ่ม : ผศ.ดร.วีรวรรณ จันทนะทรัพย์

รองประธานกลุ่ม : ดร.นริศรา นาคเมธี ดร.กฤษฎา เหล็กดี

Time	ID	Name	Title
14.15 – 14.30	TH10008	ชนานนท์ จวงจันทิก	การพัฒนาแบบจำลองการตรวจจับอาวุธปืนด้วยเทคนิค YOLO
14.30 – 14.45	TH20036	เขาวลิต ชันคำ	ขั้นตอนวิธีการเปรียบคู่สายอักขระแบบพหุอักขระ
14.45 – 15.00	TH10044	สุเมธ บุญยิต	การพัฒนากระบวนการควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ระยะไกลด้วยสมาร์ทโฟน
15.00 – 15.15	TH20051	กฤษฎา ประทุมรัตน์วัฒนา	ปัจจัยสนับสนุนการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด กรณีศึกษา Baby Boomer Generation
15.15 – 15.30	TH10055	ปภาวรินทร์ สูงยิ่ง	สื่อการเรียนรู้การเขียนภาษาไพธอนแบบจำลอง Arima

ตารางการนำเสนอผลงานวิจัย

การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 6
 “เศรษฐกิจชีวภาพ-เศรษฐกิจหมุนเวียน-เศรษฐกิจสีเขียว และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ”

The 6th National Conference on Science, Technology and Innovation:
 Bio-Circular-Green (BCG) Economy and Global Climate Change

วันพฤหัสบดีที่ 24 สิงหาคม 2566

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ภาคโปสเตอร์ (Poster presentation)

ID	Name	Title
TH20004	วัฒนา วิริวุฒิก	ผลของปริมาณกล้วยหอมต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มนมถั่วเหลืองผสมนมกล้วยหอม
TH20023	ดวงฤทัย นิคมรัฐ	Characteristics of Probiotics Lactic acid Bacteria Isolated from Prebiotic Garlic Fermented in Kombucha
TH20027	เนาวพันธ์ ดลรุ่ง	การคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์และวิธีการเตรียมต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม
TH20033	สุนิสสา สายอุปราช	แนวทางการพัฒนาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เพื่อมุ่งสู่มหาวิทยาลัยด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและส่งเสริมนวัตกรรมสำหรับผู้ประกอบการยุคใหม่
TH20034	กัลทิมา เขาว์ชาญชัยกุล	สมบัติความทนแรงดึงและความว่องไวต่อน้ำของเทอร์โมพลาสติกสไตร์ชที่ผ่านการเติมกรดซิตริก
TH20043	ปรานอม ขาวเมฆ	องค์ประกอบทางเคมีของกิ้งก่ากลางดง
TH20056	วรรณุช ตีละมัน	การพัฒนาและขึ้นรูปปุ๋ยชีวภาพอัดแผ่นจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร
TH20056	วรรณุช ตีละมัน	การศึกษาคุณสมบัติของขยะเกษตรอินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสสำหรับทำวัสดุปลูกพืช
TH20063	อรจิรา อารักษ์สกุลวงศ์	การศึกษาและพัฒนาสูตรน้ำยาเคลือบผิวกระจกที่มีสมบัติเป็นสารสะท้อนน้ำ
TH20064	วิไลวรรณ ลีนะกุล	ผลของการเติมสารให้สีต่อการประติษฐานอัญมณีสังเคราะห์จากซีเมนต์ขาวมวลเหลือใช้และกระดองหมีก
TH20065	ดวงฤทัย ศรีแดง	ผลของพอลิแอลกอฮอล์จากน้ำมันข้าวโพดต่อสมบัติทางกายภาพของโฟมพอลิยูรีเทน
TH20067	รัชกฤษ ปัทมโสภาสกุล	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดจากฝาง
TH10070	นภัสกร เอกปัสชา	การวิเคราะห์เส้นทางเดินเท้าในเอเชียทีค

หมายเหตุ บทความวิจัยภาคโปสเตอร์เผยแพร่บนเว็บไซต์ <https://sci.rmutp.ac.th/nconsci6/>

สารบัญ

	หน้า
สารจากคณบดี	ก
คณะกรรมการ	ข
กำหนดการ	ง
ตารางการนำเสนอผลงาน	จ
สารบัญ	ช
บทความวิจัย (ชื่อเรื่อง/ชื่อผู้วิจัย)	
1. การพัฒนาแบบจำลองการตรวจจับอาวุธปืนด้วยเทคนิค YOLO ชานานนท์ จวงจันทิก, พัฒนชัย ไชคำ, ชัชชล ก่อพิเศษพจน์ และ เอกชัย แซ่จิ่ง	1
2. การพัฒนาเครื่องหมายโมเลกุลที่สัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลส ในประชากรข้าวที่ BC_1F_2 ของคู่ผสมระหว่างพันธุ์ กข41 กับสายพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 ไม่ไวต่อช่วงแสง ต้นเตี้ย อนุชิตา วงศ์ชื่น, วราภรณ์ แสงทอง, ช่อทิพา สกุศลสิงหาโรจน์, แสงทอง พงษ์เจริญกิต, ยุพเยาว์ คบพิมาย และ กฤษณะ ลาน้ำเที่ยง	14
3. การพัฒนาระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ระยะไกลด้วยสมาร์ตโฟน สุเมธ บุญยี่ต, เอกชัย แซ่จิ่ง และ สนั่น การค้า	27
4. การพัฒนาระบบควบคุมสภาวะแวดล้อมภายในโรงเรือนระบบปิดสำหรับกัญชง สุรสิทธิ์ สอนสารี	49
5. การศึกษาเชิงทดลองเพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อนด้วยอุปกรณ์สร้างการไหลวนชนิด Modified NACA0024 แบบสองแถวในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อหน้าตัด วงกลม เทวีชญ์ปัญญ์ ลีลาธนพร และ สืบสกุล คุรุรัตน์	57
6. สื่อการเรียนรู้การเขียนภาษาไพธอนเรื่อง แบบจำลองพยากรณ์ Arima ปัญญา สว่างศรี, ศรัณย์ โสมโยธี, ปภาวรินทร์ สูงยิ่ง และ ดวงกมล อังอำนวยศิริ	68
7. การวิเคราะห์เส้นทางเดินเท้าในเอเชียทีค ภัสกร เอกปชชา, ภัทร โพธิ์ปิ่น, ณศรา สุทธิสังข์, ชาญวิทย์ ปราบพยัคฆ์ และ ธิดาวรร คล้ายศรี	75
8. ผลของปริมาณกล้วยหอมต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแก้วเหลืองผสมนมกล้วย หอม วัฒนา วิริวุฒิก	87

สารบัญ (ต่อ)

บทความวิจัย (ชื่อเรื่อง/ชื่อผู้วิจัย)	หน้า
<p>9. ประสิทธิภาพของแผ่นซีเมนต์ผสมเส้นใยผักตบชวาและเส้นใยจากขวด PET ในการดูดซับ เสียง ตะวัน ไชยวรรณ, ณ์ฐกานต์ ทองพันธุ์พาน, โชติกาญจน์ ราชกรม และ พิสุต รัตวินิจ</p>	97
<p>10. การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ยาสีฟันสมุนไพรต้นแบบจากไฮโดรโซลไบโพลู วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ, ธนัญญา อำนวยวิวัฒนะกุล, จินตพัฒน์ นทีวัฒนา และ สิริรัตน์ พานิช</p>	110
<p>11. การเพิ่มผลผลิตภาพของกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมโดยการจัดสมดุลสายการผลิต วรฤทัย ชูเกียรติ และ ตะวันฉาน พิทักษ์ประเวช</p>	120
<p>12. Characteristics of Probiotics Lactic acid Bacteria Isolated from Prebiotic Garlic Fermented in Kombucha Duongruitai Nicomrat, Patarika Soongsombat and Niphaporn Panya</p>	131
<p>13. การคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์และวิธีการเตรียมต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม เนาวพันธ์ ตลั้ง, ปนิดา บรรจงสินศิริ และ ณ์ฐณิรินทร์ บุรณะสระกะวี</p>	140
<p>14. การศึกษาประสิทธิภาพการปลูกข้าวระดับท้องถิ่นด้วยดัชนีพืชพรรณแบบ VARI ของ ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ กรณีศึกษา ตำบลท่าหิน อำเภอสังขละบุรี จังหวัดสงขลา ต่อลาภ การปลั่งจิตร์, ณ์ฐพล แก้วทอง และ จิรวัดน์ จันทร์ทองพูน</p>	150
<p>15. แนวทางการพัฒนาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล พระนคร เพื่อมุ่งสู่มหาวิทยาลัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและส่งเสริมนวัตกรรม สำหรับ ผู้ประกอบการยุคใหม่ สุนิสา สายอุปราษ, ขวัญ สุภรัตน์ และ ปิยธิดา พันธุณะ</p>	160
<p>16. สมบัติความทนแรงดึงและความว่องไวต่อน้ำของเทอร์โมพลาสติกอสตาร์ทซ์ที่ผ่านการเติม กรดซิติริก กัลทิมา เซา์ชาญชัยกุล, ปิยะพงษ์ ปานแก้ว, ลลิตภัทร สุวรรณรัตน์ และ วรณัฐ ตีละมัน</p>	170
<p>17. ขั้นตอนวิธีการเปรียบเทียบคู่สายอักขระแบบพหุอักขระ เชาวลิต ชันคำ</p>	177
<p>18. การปรับปรุงสูตรกาวอินทรีย์ด้วยสมุนไพรให้กั้กับกระดาษเพาะกล้าจากฟางข้าว: ผลิตภัณฑ์ ชุมชนบ้านดอนซาก อำเภอหันคา จังหวัดชัยนาท วีรณัฐ สระแก้ว และ เกวรินทร์ พันทวี</p>	193
<p>19. พืชถิ่นเดียวและสถานะการอนุรักษ์ของพืชวงศ์โปโดสเต็มเอเซีย ในภาคตะวันออกเฉียง เหนือของประเทศไทย เพ็ชรรัตน์ เวหุคามกุล, อำนาจ ชินพงษ์พานิช และ วราวุฒิ พุทอให้</p>	207

สารบัญ (ต่อ)

บทความวิจัย (ชื่อเรื่อง/ชื่อผู้วิจัย)	หน้า
20. องค์ประกอบทางเคมีของกึ่งกลางดง ปราณอม ขาวเมฆ และ ดวงฤทัย ศรีแดง	215
21. ปัจจัยสนับสนุนการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด กรณีศึกษา Baby Boomer Generation กฤษฎา ประทุมรัตน์วัฒนา, ชนะกัญจน์ ศรีรัตนบัลล์ และ รัชชดา วงศ์เกษม	224
22. การย่อยสลายสีย้อมที่ปนเปื้อนในน้ำเสียด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงโพลิบดินัมไดซัลไฟด์ กนกพร ศรีฐาน, กมลฉัตร ลาภะ และ ชลดา เดชาเกียรติไกร อีกรารุณวงศ์	235
23. การพัฒนาและขึ้นรูปปุ๋ยชีวภาพอัดแผ่นจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร นิตพันธ์ วิทย์ผดุง, สิริมาภรณ์ วัชรกุล, โฉมศรี ชูช่วย, ศรัทธา ศรีวรรเดชไพศาล และ วรณช ตีละมัน	247
24. การศึกษาคุณสมบัติของขยะเกษตรอินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสสำหรับทำวัสดุปลูกพืช วรณช ตีละมัน, กัลทิมา เขาว์ชาญชัยกุล, กิตติศ ตั้งสัจจวงศ์ และ โฉมศรี ชูช่วย	257
25. การศึกษาและพัฒนาสูตรน้ำยาเคลือบผิวกระจกที่มีสมบัติเป็นสารสะท้อนน้ำ อรจิรา อารักษ์สกุลวงศ์ และ รัชกฤษ ปัทมโสภาสกุล	265
26. ผลของการเติมสารให้สีต่อการประดิษฐ์อัญมณีสังเคราะห์จากซีเมนต์ขาวมวลเหลือใช้และกระดองหมี ณัฐกานต์ สุขสมรม, ธนาพร บุญชู, อุดมเดชา พลเยี่ยม และ วิไลวรรณ สีนะกุล	274
27. ผลของพอลิแอลกอฮอล์จากน้ำมันข้าวโพดต่อสมบัติทางกายภาพของโฟมพอลิยูรีเทน ดวงฤทัย ศรีแดง และ ปราณอม ขาวเมฆ	280
28. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดจากฝาง รัชกฤษ ปัทมโสภาสกุล และ บุญยรัศมี สุขเขียว	287
29. การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบคัดแยกขยะรีไซเคิล 4 ถัง ประจักษ์ บุญภักดี, พรชัย พรหฤทัย, พีรวิจน์ มีสุข, นฤกร สิริมงคลกาล, ศิริรัตน์ ศรีอินทร์ และ กวินชัย ต้องตรงทรัพย์	296
30. การศึกษาและออกแบบตู้ยาสามัญประจำบ้านอัจฉริยะ ธนพร พะยอมใหม่, สมสิน วาขุนทด, ทนงศักดิ์ มากทอง, วิญญู ศิลาบุตร และ ไหมตรี ธรรมมา	303
31. การตรวจสอบกรดซาลิซิลิก (สารกันรา) ในอาหารประเภทผักดองและผลไม้ดองในเขตตลาดสดตำบลมะม่วงสองต้น จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยการใช้ชุดทดสอบเบื้องต้น ซูรียา รอแม และ สาสุข นคร	311

การพัฒนาแบบจำลองการตรวจจับอาวุธปืนด้วยเทคนิค YOLO

Development of A Weapon Detection Model Using the YOLO Technique

ชานานนท์ จวงจันทิก^{1,*} พัฒนชัย ไชคำ¹ ชัชชล ก่อพิเศษพจน์¹ และ เอกชัย แซ่จิ่ง¹¹ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

*Email: chananon.ch@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาเนื่องจากเหตุการณ์ความรุนแรงจากอาวุธปืนที่เพิ่มขึ้นในสถานที่สาธารณะ ผู้จัดทำจึงพัฒนาระบบตรวจจับอาวุธปืนด้วยเทคนิค YOLO ซึ่งเป็นโมเดลอัลกอริทึมในการตรวจจับวัตถุที่ถูกสร้างขึ้นโดยนาย Joseph Redmon มาใช้งานโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจจับอาวุธปืนที่เคลื่อนที่ผ่านกล้องประเภท CCTV มีการพัฒนา 6 ขั้นตอนประกอบไปด้วย 1) จัดเก็บข้อมูล 2) การกำกับป้าย 3) การจัดการชุดข้อมูล 4) การประมวลผลข้อมูล 5) การฝึกฝนโมเดลตามข้อมูล 6) การนำโมเดลไปปรับใช้ ผู้จัดทำได้นำข้อมูลประเภทรูปภาพอาวุธปืนจำนวน 3,364 รูป มาทำการกำกับป้ายรูปภาพ (Labeling) ทั้งแบบวิธี Polygon และ Bounding Box และฝึกฝนเทรนโมเดลด้วยจำนวน epochs ที่ 30 รอบ 40 รอบ 52 รอบ 70 รอบ และ 100 รอบ ด้วย YOLOv8L และ YOLOv5L

ซึ่งผลการทดลองพบว่า การกำกับป้ายรูปภาพ Labeling แบบวิธี Polygon ให้ความแม่นยำที่สูงกว่าแบบวิธี bounding box และทดสอบจำนวนรอบ epochs ที่ใช้พบว่าจำนวนรอบ epochs ที่ 52 ของโมเดล ด้วย YOLOv8L ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า โดยแสดงการเปรียบเทียบ ค่าความแม่นยำ (Precision) ค่าความถูกต้อง (Recall) ค่าเฉลี่ย (F1-Score) และค่าความแม่นยำเฉลี่ย (mAP) พบว่า YOLOv8L แบบวิธี Polygon ได้ค่า mAP ที่ 0.987 ค่า Precision ที่ 0.964 ค่า Recall ที่ 0.960 และ ค่า F1-Score ที่ 0.962 ซึ่งดีกว่า YOLOv8L แบบวิธี Bounding Box ที่ได้ค่า mAP ที่ 0.959 ค่า Precision ที่ 0.937 ค่า Recall ที่ 0.914 และ ค่า F1-Score ที่ 0.925 ในรอบการฝึก 52 epochs สามารถนำโมเดลไปใช้งานจริงกับการตรวจจับด้วยวิดีโอที่มีอาวุธปืนนำมาทดลองการตรวจจับ และทำการส่งแจ้งเตือนไปยัง Line Notify ได้

คำสำคัญ: การตรวจจับวัตถุด้วยเทคนิคโยโล, เทคโนโลยีการประมวลผลภาพดิจิทัล, อาวุธปืนพก

Abstract

In the past few years, due to the escalating incidents of firearm violence in public places, the developers have devised a weapon detection system using the YOLO (You Only Look Once) technique. YOLO is an algorithm created by Joseph Redmon for object detection, designed to detect moving objects through CCTV cameras. The development process consists of six steps: 1) Data Collection 2) Annotation 3) Data Management 4) Data Processing 5) Model Training 6) Model Deployment The creators utilized a dataset containing 3,364 firearm images for annotation, using both Polygon and Bounding Box labeling methods. The model was trained with varying numbers of epochs: 30, 40, 52, 70, and 100, using YOLOv8L and YOLOv5L frameworks.

Experimental results revealed that Polygon annotation method provided higher accuracy compared to the Bounding Box method. Testing different epoch counts, the 52-epoch training of YOLOv8L yielded better results. A comparison of Precision, Recall, F1-Score, and mean Average Precision (mAP) was conducted. YOLOv8L using Polygon annotation achieved an mAP of 0.987, Precision of 0.964, Recall of 0.960, and F1-Score of 0.962. This outperformed YOLOv8L using Bounding Box annotation with an mAP of 0.959, Precision of 0.937, Recall of 0.914, and F1-Score of 0.925, all at the 52-epoch mark. The 52-epoch trained model was successfully deployed to detect firearms in real-time videos. Notifications were sent to Line Notify upon detection.

Keywords: Object Detection with YOLO Technique , Digital Image Processing , Pistol Weapon

1. บทนำ

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาเนื่องจากเหตุการณ์ความรุนแรงจากอาวุธ เช่น ปืน ที่เพิ่มขึ้นในสถานที่สาธารณะ เช่น โรงเรียน ห้างสรรพสินค้า และสถานที่จัดคอนเสิร์ต การพัฒนาโครงการนี้ได้รับแรงจูงใจจากความจำเป็นในการปรับปรุงความปลอดภัยของประชาชน และเพื่อป้องกันโศกนาฏกรรมที่เกิดจากการใช้ความรุนแรงจากอาวุธในปัจจุบันยังใช้การตรวจจับผ่านการสแกนหาวัตถุต่างทั้งระบบ X-ray ซึ่งจะอยู่ตามทางเข้าของสถานที่สำคัญ ดังนั้นการสแกนวัตถุด้วย X-ray กำหนดให้บุคคลต้องนำสิ่งของทั้งหมดออก และวางไว้ในถาดแยกต่างหาก สำหรับการสแกนสิ่งนี้อาจใช้เวลาอันไม่สะดวก และอาจนำไปสู่การต่อแถวยาว และเกิดความล่าช้ามักจะใช้ตามสนามบินหรือตามทางเข้าสถานที่ต่างๆ ไม่ได้กระจายตามสถานที่ซึ่งอาจจะทำให้การตรวจไม่ทั่วถึง และไม่มีการแจ้งเตือนทันทีเมื่อพบอาวุธในสถานที่ผ่านการตรวจจากทางเข้ามาแล้ว จึงมีแนวคิดนำโครงการตรวจจับอาวุธของเราอาศัยเทคนิค การประมวลผลภาพ (Image Processing) มาใช้เพื่อตรวจจับการมีอยู่ของอาวุธแบบเรียลไทม์ผ่านกล้อง โดยได้นำเทคนิคการตรวจจับวัตถุแบบ YOLO อัลกอริทึมที่ช่วยในการตรวจจับวัตถุมาใช้งาน ซึ่งสามารถช่วยป้องกันเหตุการณ์ไม่ให้เกิด และลดอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากผู้ก่อการร้าย และแล้วโครงการตรวจจับอาวุธยังสามารถช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพในการตอบสนองต่อเหตุการณ์ได้ทันที และให้ข้อมูลแก่ตำรวจ และเจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัยได้ทันที นอกจากนี้ยังสามารถช่วยยับยั้งผู้ก่อการร้ายไม่ให้สร้างความเสียหายต่อทรัพย์สินหรือต่อบุคคลอื่นที่อาจเกิดขึ้น และมีความคุ้มค่าเมื่อเทียบกับระบบรักษาความปลอดภัยอย่างอื่น เช่นการจ้างเจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัยที่เยอะขึ้นหรือติดตั้งเครื่องสแกนด้วยแม่เหล็กซึ่งกีดขวางทางเดิน และทำให้ไม่สะดวกต่อผู้คน

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

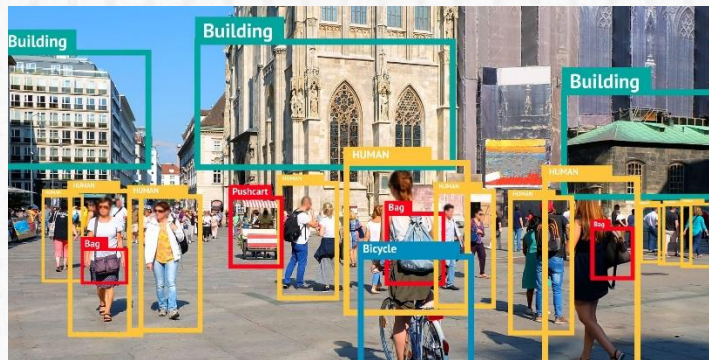
2.1 เทคโนโลยีการประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing)

การประมวลผลภาพ คือ การนำภาพมาประมวลผลหรือคิดคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เราต้องการทั้งในเชิงคุณภาพ และปริมาณโดยมีขั้นตอนที่สำคัญ คือ การทำให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้น การกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพ การแบ่งส่วนของวัตถุที่เราสนใจออกมาจากภาพ เพื่อนำภาพวัตถุที่ได้ไปวิเคราะห์หาข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น ขนาด รูปร่าง และทิศทางการเคลื่อนของวัตถุในภาพ จากนั้นเราสามารถนำข้อมูลเชิงปริมาณเหล่านี้ไปวิเคราะห์ และสร้างเป็นระบบ เช่น ระบบดูแลและตรวจสอบสภาพการจราจรบนท้องถนน โดยการนับจำนวนรถบนท้องถนนในภาพถ่ายด้วยกล้องวงจรปิดในแต่ละช่วงเวลา ระบบตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม ระบบเก็บข้อมูลรถที่เข้าและออกอาคารโดยใช้ภาพถ่ายของป้ายทะเบียนรถ เพื่อประโยชน์ในด้านความปลอดภัย เป็นต้น จะเห็นได้ว่าระบบเหล่านี้จำเป็นต้องมีการประมวลผลภาพจำนวนมาก และเป็นกระบวนการที่ต้องทำซ้ำๆ กันในรูปแบบเดิมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งงานใน

ลักษณะเหล่านี้หากให้มนุษย์วิเคราะห์เองมักต้องใช้เวลามาก และใช้แรงงานสูง อีกทั้งหากจำเป็นต้องวิเคราะห์ภาพเป็นจำนวนมาก ผู้วิเคราะห์ภาพเองอาจเกิดอาการล้า ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้ ดังนั้นคอมพิวเตอร์จึงมีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่เหล่านี้แทนมนุษย์ อีกทั้งคอมพิวเตอร์มีความสามารถในการคำนวณ และประมวลผลข้อมูลจำนวนมากได้ในเวลาอันสั้น จึงมีประโยชน์อย่างมากในการเพิ่มประสิทธิภาพการประมวลผลภาพ และวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากภาพในระบบต่างๆ [1]

2.2 การตรวจจับวัตถุ (Object Detection)

คือ การสอนให้คอมพิวเตอร์ทำหน้าที่เสมือนดวงตาที่สามารถรับรู้ได้ว่าในรูปภาพที่แสดงอยู่มีวัตถุอะไรบ้างที่เราสนใจ และบอกตำแหน่งของวัตถุต่างๆเหล่านั้นว่าตั้งอยู่ตำแหน่งใดของภาพ



ภาพที่ 1 ผลลัพธ์ตัวอย่างการตรวจจับวัตถุต่างๆ

ในภาพที่ 1 เราจะเห็นถึงวัตถุ และตำแหน่งต่างๆ ที่คอมพิวเตอร์ตอบกลับมามีเห็นอะไรบ้างในภาพโดยตีกรอบล้อมรอบเพื่อระบุตำแหน่งของวัตถุโดยก่อนที่จะมาเป็นโมเดลตรวจจับวัตถุที่แสดงผลดังภาพที่ 1 เราต้องให้คอมพิวเตอร์เรียนรู้ภาพจำนวนหนึ่ง (Dataset) ของวัตถุที่เราต้องการจะตรวจจับพร้อมทั้งบอกให้คอมพิวเตอร์รู้ว่าวัตถุที่เราให้มันเรียนรู้อยู่ตอนนี้คือวัตถุอะไร (Class) และตำแหน่งอยู่ตรงไหน ซึ่งจะต่างจากการทำ Image Classification ทั่วไป ที่ต้องการรู้แค่เพียงชนิดของรูปภาพเพียงอย่างเดียว [2]

2.3 โมเดลสำหรับการตรวจจับวัตถุ (YOLO Model)

YOLO (You Only Look Once) model พัฒนาโดย Joseph Redmon, Santosh Divvala, Ross Girshick, และ Ali Farhadi [3] ในบทความที่มีชื่อ "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection" ซึ่งเผยแพร่ครั้งแรกในปี 2015 YOLO เป็นอัลกอริทึมสำหรับการตรวจจับวัตถุแบบสแตติก (Static Object Detection) ที่มีความสามารถในการทำงานแบบ real-time ด้วยความเร็วสูง โดยจะทำการคาดเดาหรือพยากรณ์ออบเจกต์ทั้งหมดในภาพในขั้นตอนเดียว โมเดล YOLO ทำงานโดยแบ่งภาพออกเป็นกริดหลายๆ ช่องและทำการคาดเดา Object ในแต่ละช่องพร้อมกัน โดย Object ที่พบในแต่ละช่องจะถูกกำหนดด้วยค่าความเชื่อมั่น (Confidence) และพิกัด (Bounding Box Coordinates) จากนั้น YOLO จะทำการนำเสนอผลลัพธ์ออกมาในรูปแบบของ Bounding Boxes ที่มีค่าความเชื่อมั่นสูงสุด โมเดล YOLO ได้รับความนิยมมากในวงกว้างในงานวิจัย และประยุกต์ใช้ในการตรวจจับวัตถุในภาพ และวิดีโอ เนื่องจากความเร็ว และประสิทธิภาพที่สูง โมเดลต่างๆ ในชุด YOLO ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เช่น YOLOv2, YOLOv3, YOLOv4, และ YOLOv5 ที่มีการปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับวัตถุในระดับสูงขึ้น โดยเพิ่มความแม่นยำ และการตรวจจับวัตถุที่ทันสมัยมากยิ่งขึ้น

YOLOv5 ได้รับการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และความแม่นยำในการตรวจจับวัตถุ มีการใช้งานง่าย และมีประสิทธิภาพสูงในการทำงานแบบ real-time ในภาพและวิดีโอ โมเดล YOLOv5 ใช้แนวคิดที่เรียกว่า "SPP (Spatial Pyramid Pooling)" ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการระบุวัตถุที่มีขนาดเล็กหรือข้อมูลที่มีความละเอียดสูง Ultralytics YOLOv5

ได้รับความนิยมน้อยกว่าหลายในงานวิจัยและการประยุกต์ใช้ มีการสนับสนุน และเอกลักษณ์ที่ทันสมัย เช่น การตรวจจับวัตถุหลายหมวดหมู่ การตรวจจับใบหน้า การตรวจจับวัตถุในเวลาจริงและอื่นๆ นอกจากนี้ Ultralytics YOLOv5 ยังมีส่วนขยาย (Extensions) และสคริปต์ (Scripts) ที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถปรับแต่ง และประยุกต์ใช้โมเดลได้ตามความต้องการของแต่ละงาน และโครงการ YOLOv8 คือเวอร์ชันล่าสุดของโมเดล YOLO [4]

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 ด้านเครื่องมือ ประกอบด้วย

Processor	11th Gen Intel(R) Core(TM) i5-11320H @ 3.20GHz 3.19 GHz
Graphics Processing	Unit Nvidia geforce rtx 3050 laptop gpu
Installed RAM	16.0 GB
System type	64-bit operating system, x64-based processor

กล้องที่บันทึกวิดีโอ กล้องของโทรศัพท์รุ่น I Phone 13 Pro

3.1.2 ด้านซอฟต์แวร์ ประกอบด้วย

1. Roboflow(www.roboflow.com)

ใช้ในการเตรียมข้อมูลและกำกับป้ายรูปภาพเพื่อนำไปสร้างโมเดล

2. YOLO (<https://docs.ultralytics.com>)

เป็นโมเดลอัลกอริทึมในการตรวจจับวัตถุผู้จัดทำเลือกใช้โมเดล YOLOv8 และ YOLOv5

3. Google Colab(<https://colab.google>)

ใช้เขียนโปรแกรม และนำชุดข้อมูลเข้าสู่กระบวนการการฝึกฝน

4. Line Notify (<https://notify-bot.line.me>)

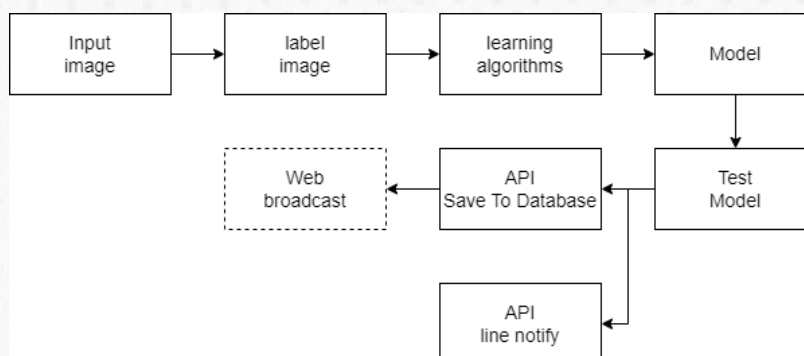
เป็นชุดคำสั่งบริการส่งข้อความแจ้งเตือนของแอปพลิเคชัน Line

5. Pycharm

ใช้สำหรับเขียนชุดคำสั่งภาษา Python สำหรับเรียกใช้โมเดลเชื่อมต่อกับกล้อง เพื่อนำไปใช้งานร่วมกับ Line Notify

6. Python

เป็นภาษาในการเขียนชุดคำสั่งของแบบจำลอง



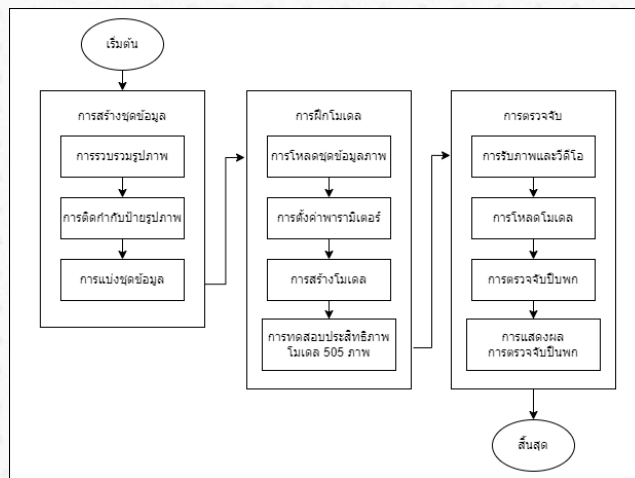
ภาพที่ 2 กรอบแนวคิดของการวิจัย

3.2 กรอบแนวคิดของการวิจัย

ภาพรวมการทำงานของระบบจะเริ่มจากการนำรูปภาพที่ได้จากการรวบรวมนำมาทำเครื่องหมายโดยใช้ Roboflow และทำการกำกับป้ายรูปภาพ (Labeling) แล้วใช้อัลกอริทึม YOLOv8L และ YOLOv5L นำไปฝึกฝนแล้วรับไฟล์โมเดล มาใช้งานในส่วนของการทดสอบ และทดลองวีดีโอจากกล้อง และทำการส่งภาพที่ได้จากการตรวจจับผ่าน API บันทึกภาพ และทำการแจ้งเตือน ดังภาพที่ 2

3.3 ฟังงานแบบจำลองการสร้างชุดข้อมูล การสร้างโมเดล และการตรวจจับ

ผังงานแบบจำลองข้อมูลซึ่งอธิบายถึงกระบวนการในการสร้างชุดข้อมูลการสร้าง และฝึกฝนโมเดล และการตรวจจับวัตถุ แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ฟังงานแสดงการพัฒนาโมเดล

3.3.1 การสร้างชุดข้อมูล

ผู้จัดทำได้ทำการรวบรวมข้อมูลประเภทรูปภาพมาทั้งหมด 3,364 รูป จากนั้นได้ทำการกำกับป้ายภาพด้วยโปรแกรม Roboflow และสร้าง Dataset จำนวน 2 รูปแบบ แบบที่ 1 ใช้การกำกับป้ายภาพแบบ Bounding Box แบบที่ 2 ใช้การกำกับป้ายภาพแบบ Polygon โดยมีการระบุชื่อ และตำแหน่งของวัตถุ แล้วสร้างเป็นไฟล์ข้อความ (Text File) จากตัวอย่างรูปที่ 4 จะทำการระบุตำแหน่งของอาวุธปืน โดยระบุตำแหน่งกรอบสี่เหลี่ยมแบบ (Polygon) ซึ่งข้อมูลในไฟล์ข้อความ (Text File) ออกมาในรูปที่ 5 โดยแต่ละจุดในไฟล์ ระบุตำแหน่งของจุดบนระนาบสองมิติ ซึ่งเราสามารถแบ่งข้อมูลดังกล่าวออกเป็นคู่ลำดับของค่า X และ Y โดยใช้ช่องว่างระหว่างค่า X และ Y ในแต่ละจุด ตัวอย่างเช่น จุดแรกมีตำแหน่งคือ 0 0.2708 ซึ่งแสดงถึงค่า X คือ 0 และค่า Y คือ 0.2708 และรูปที่ 6 ระบุตำแหน่งกรอบสี่เหลี่ยมแบบซึ่งข้อมูลแสดงในไฟล์ข้อความ (Text File) ออกมาในรูปแบบ (Bounding Box) ซึ่งข้อมูลแสดงในไฟล์ข้อความ (Text File) ออกมาในรูปแบบดังนี้ 0 0.5056 0.4700 0.8346 0.8323 ดังภาพที่ 7 โดยแต่ละจุดในไฟล์ระบุตำแหน่งของจุดบนระนาบสองมิติ ซึ่งเราสามารถแบ่งข้อมูลดังกล่าวออกเป็นคู่ลำดับของค่า X และ Y โดยใช้ช่องว่างระหว่างค่า X และ Y ในแต่ละจุด ตัวอย่าง เช่น จุดแรกมีตำแหน่งคือ ดังนี้ 0 0.5056 ซึ่งแสดงถึงค่า X คือ 0 และค่า Y คือ 0.5056



ภาพที่ 4 รูปแบบการกำกับป้ายภาพแบบ Polygon Labeling

```

0 0.270833333333333 0 0.386666666666666 0 0.396666666666667 0.00444444444444444 0.521666666666666
0.09185185185185185 0.534166666666667 0.1037037037037037 0.568333333333334 0.15407407407407409
0.594166666666666 0.16444444444444445 0.631666666666667 0.18962962962962962 0.744166666666666 0.28
0.771666666666666 0.2962962962962963 0.785 0.2962962962962963 0.7975 0.27111111111111114 0.811666666666666
0.26814814814814814 0.838333333333334 0.3037037037037037 0.845833333333333 0.34074074074074073 0.8525
0.3540740740740741 0.879166666666667 0.3762962962962963 0.8875 0.39555555555555555 0.8875 0.43851851851851853
0.86 0.5481481481481482 0.829166666666667 0.5925925925925926 0.796666666666666 0.7125925925925926 0.765 0.76
0.759166666666667 0.7807407407407407 0.749166666666666 0.7896296296296297 0.721666666666667
0.7896296296296297 0.668333333333333 0.7540740740740741 0.645 0.7318518518518519 0.618333333333333
0.6948148148148148 0.585833333333333 0.6696296296296296 0.584166666666666 0.6592592592592592
0.580833333333333 0.657777777777778 0.580833333333333 0.671111111111111 0.559166666666667
0.711111111111111 0.493333333333335 0.7525925925925926 0.463333333333333 0.802962962962963 0.4275
0.797037037037037 0.403333333333333 0.8059259259259259 0.3975 0.7925925925925926 0.355 0.7451851851851852
0.345833333333333 0.6992592592592592 0.331666666666667 0.653333333333333 0.278333333333333
0.5437037037037037 0.275 0.5318518518518518 0.278333333333333 0.4948148148148148 0.29 0.48592592592592593
0.345833333333333 0.482962962962963 0.379166666666666 0.493333333333335 0.429166666666666
0.5214814814814814 0.464166666666667 0.5185185185185185 0.485 0.49037037037037035 0.4975 0.4562962962962963
0.504166666666667 0.42074074074074075 0.5025 0.36888888888888889 0.4875 0.32296296296296295 0.473333333333333
0.2992592592592593 0.4075 0.23407407407407407 0.3275 0.186666666666666 0.2725 0.17629629629629628
0.255833333333333 0.1674074074074074 0.25 0.15407407407407409 0.248333333333333 0.1274074074074074
0.270833333333333 0.025185185185185185
    
```

ภาพที่ 5 ตำแหน่งของจุดบนระนาบสองมิติ ของรูปแบบการกำกับป้ายภาพแบบ Polygon Labeling



ภาพที่ 6 รูปแบบการป้ายชื่อแบบ Bounding Box Labeling

0 0.5056093749999999 0.470078125 0.8346406249999999 0.83234375

ภาพที่ 7 ตำแหน่งของจุดบนระนาบสองมิติ ของรูปแบบการกำกับภาพแบบ Bounding Box Labeling

3.3.2 การแบ่งชุดข้อมูล

แบ่งชุดข้อมูลจากจำนวน 3,364 รูป แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือชุดข้อมูลฝึกฝน (Training Dataset) ชุดข้อมูลทดสอบ (Testing Dataset) และชุดข้อมูลที่ใช้สำหรับประเมินโมเดล (Validation Dataset) โดยขั้นตอนการสร้างโมเดลนั้น จะใช้ชุดข้อมูลฝึกฝน 70% เป็นจำนวน 2,436 รูป ชุดข้อมูลทดสอบ 15% จำนวน 331 รูป และชุดข้อมูลที่ใช้สำหรับประเมินโมเดล 15% จำนวน 488 รูป

3.4 การฝึกโมเดล

3.4.1 การโหลดชุดข้อมูลฝึกฝน

3.4.1.1 การตั้งค่าพารามิเตอร์ เตรียมสภาพแวดล้อมสำหรับการสร้างโมเดล ผู้จัดทำได้กำหนดพารามิเตอร์ทั้งโมเดล YOLOv5 และ YOLOv8 โดยให้ epochs = 52 และ imgsz = 380 เนื่องจาก YOLOv5 เป็นเวอร์ชันที่ได้รับความนิยมมากที่สุด และ YOLOv8 เป็นเวอร์ชันใหม่ล่าสุด และกำหนด epochs = 52 เป็นค่าที่นำมาใช้งานเนื่องจากเป็นจำนวนรอบที่ให้ค่าประสิทธิภาพของโมเดลที่ดีที่สุดรายละเอียดดังตารางที่ 1

3.4.1.2 การสร้างโมเดลนี้ได้เปรียบเทียบโมเดลโดยใช้อัลกอริทึมของ YOLOv5 และ YOLOv8 และโดยผ่านการฝึกฝนโมเดลด้วย Google Colab และใช้ไลบรารี OpenCV เป็นเครื่องมือสำหรับประมวลผลภาพ

3.4.1.3 การทดสอบประสิทธิภาพโมเดล ทำการทดสอบประสิทธิภาพโดยการนำ Validation Dataset จำนวน 488 รูป ไปทดสอบกับโมเดลที่ทำการ Training เสร็จเรียบร้อยแล้วผลการทดสอบ ปรากฏว่าอัลกอริทึม YOLOv5 มีค่า mAP ที่ 0.986 ค่า Precision ที่ 0.978 ค่า Recall ที่ 0.933 และ ค่า F1-Score ที่ 0.955 และ YOLOv8 มีค่า mAP ที่ 0.987 ค่า Precision ที่ 0.964 ค่า Recall ที่ 0.960 และ ค่า F1-Score ที่ 0.962

3.5 การตรวจจับ

3.5.1 การรับภาพ และวิดีโอ

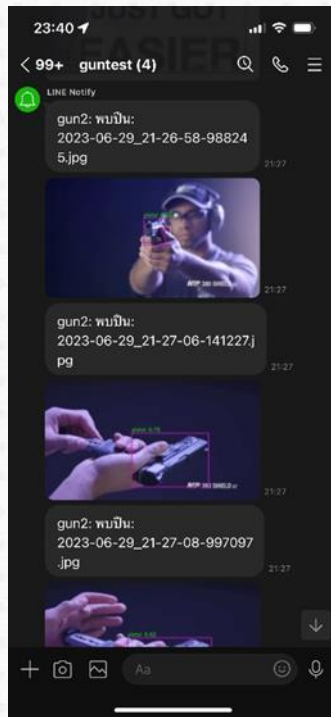
ทำการเปิดการใช้งานโปรแกรม Pycharm แล้วทำการติดตั้งไลบรารี Open CV สำหรับการประมวลผลภาพขั้นพื้นฐาน และทำการเขียนชุดคำสั่งสำหรับรับตัววิดีโอที่ได้ทำการบันทึกผ่านกล้องบันทึกวิดีโอหรือนำวิดีโอจากแหล่งออนไลน์

3.5.2 การโหลดโมเดล

ทำการนำไฟล์ที่ได้จากการฝึกโมเดลชื่อไฟล์ bast.pt นำมาเรียกใช้ในชุดคำสั่ง เพื่อนำตัวโมเดลมาเข้ากระบวนการ Object Detection โดยใช้ไลบรารี Open CV เป็นเครื่องมือสำหรับประมวลผล

3.5.3 การแสดงผล

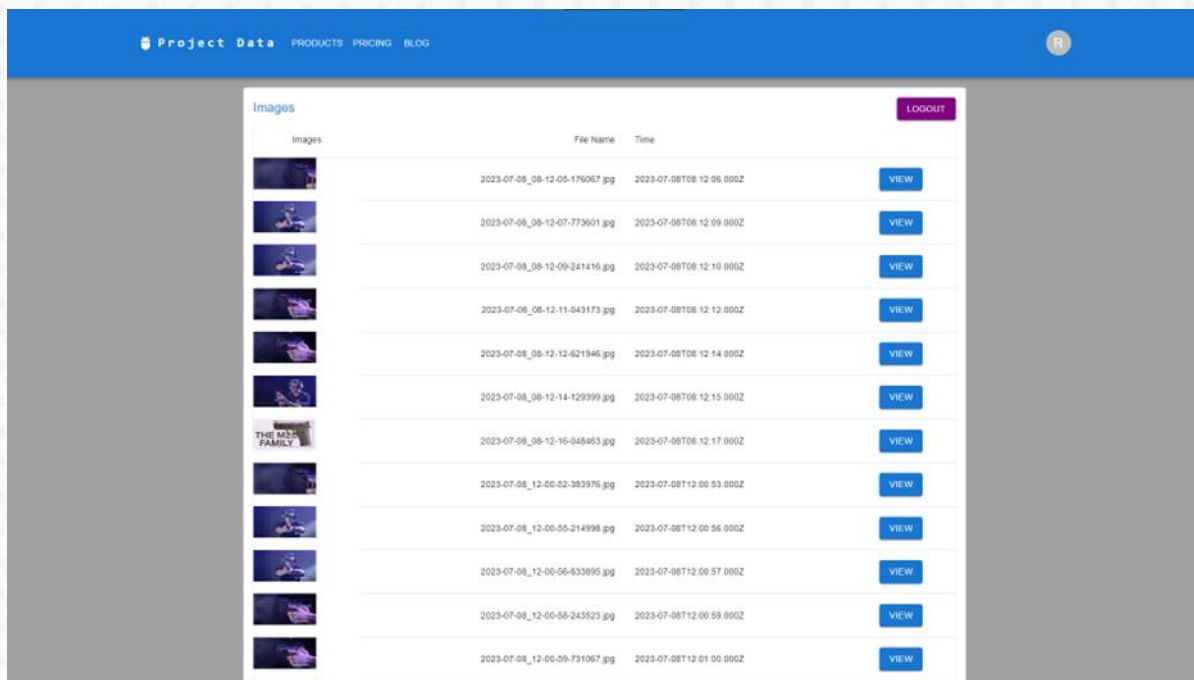
การแสดงผลจะเริ่มต้นเมื่อเกิดกระบวนการ Object Detection เมื่อทำการพบวัตถุชุดคำสั่งจะทำการบันทึกไฟล์รูปภาพไปยังตำแหน่งไฟล์เดอร์ที่ทำการตั้งค่าไว้แล้วใช้ชุดคำสั่งฟังก์ชัน send_notification() เพื่อส่งรูปภาพ และข้อความไปยังแอปพลิเคชัน Line ผ่าน Line Notify API



ภาพที่ 8 ผลลัพธ์ LINE Notify ให้แสดงการตรวจจับอาวุธ

3.5.4 การจัดเก็บข้อมูลบน Web Broadcast

การแสดงผลจะเริ่มขึ้นเมื่อเกิดกระบวนการ Object Detection เมื่อทำการพบวัตถุคำสั่งจะทำการเซฟไฟล์รูปภาพไปยังตำแหน่งโฟลเดอร์ที่ทำการเซตไว้แล้วใช้ชุดคำสั่ง `send_to_api` เพื่อส่งรูปภาพ และข้อความไปยัง API สำหรับแสดงบน Web Broadcast ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ผลลัพธ์ Web Broadcast แสดงการตรวจจับอาวุธ

4.การวัดประสิทธิภาพโมเดล

การวัดประสิทธิภาพของโมเดล ผู้จัดทำได้แบ่งเนื้อหาการวัดออกเป็น 3 ส่วน คือ

- 1) การวัดประสิทธิภาพโมเดล
- 2) การทดลองประสิทธิภาพโมเดลการตรวจจับอาวุธปืนพก
- 3) การทดลองการแจ้งเตือนผลลัพธ์ไปยัง Line Notify

4.1 การวัดประสิทธิภาพโมเดล

ผู้จัดทำได้ทำการนำชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบประสิทธิภาพ (Validation Dataset) ในชุดข้อมูลประกอบไปด้วยรูปภาพจำนวน 488 รูป นำมาวัดโดยการวัดประสิทธิภาพโมเดล ใช้การประเมินผล (Evaluate Model) ที่มีการคำนวณหาค่าความแม่นยำ ความถูกต้อง และหาค่าเฉลี่ย ดังสมการด้านล่างนี้

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (1)$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (2)$$

$$\text{F1-SCORE} = \frac{2 \times \text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (3)$$

$$\text{mAP} = \frac{AP(0)+AP(1)+AP(2)+AP(3)}{\text{Class}} \quad (4)$$

TP (True Positive) คือ สิ่งที่ทำนายตรงกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริง ในกรณี ทำนายว่าจริงและสิ่งที่เกิดขึ้น ก็คือ จริง

FP (False Positive) คือ สิ่งที่ทำนายไม่ตรงกับสิ่งที่เกิดขึ้น คือทำนายว่า จริง แต่สิ่งที่เกิดขึ้นคือ ไม่จริง (ตรงข้ามกับ FN)

FN (False Negative) คือ สิ่งที่ทำนายไม่ตรงกับที่ที่เกิดขึ้นจริง คือทำนายว่า ไม่จริง แต่สิ่งที่เกิดขึ้น คือ จริง

Precision คือ ค่าความแม่นยำจากอัตราการทำนายถูกต้องการทำนายทั้งหมด

Recall คือ ค่าความถูกต้องจากอัตราการทำนายถูกต้องต่อจำนวนค่าความจริงทั้งหมด

F1-Score คือ คือค่าเฉลี่ยแบบ Harmonic Mean ระหว่าง Precision และ Recall

mAP คือ ค่าความแม่นยำเฉลี่ย (Mean Average Percision) ของทุกคลาสที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 1 : แสดงการเปรียบเทียบจำนวนรอบ epochs ที่ใช้ฝึกฝนโมเดลด้วยอัลกอริทึม YOLOv5L และ YOLOv8L

อัลกอริทึม	ประเภท	epochs	ค่าความแม่นยำ (Precision)	ค่าความถูกต้อง (Recall)	ค่าเฉลี่ย (F1-Score)	Mean Average Precision(mAP)
YOLOv5L	อาวุธปืนพก	30	0.948	0.936	0.941	0.982
		40	0.963	0.944	0.953	0.985
		52	0.978	0.933	0.955	0.986
		70	0.943	0.970	0.956	0.986
		100	0.979	0.936	0.957	0.988
YOLOv8L	อาวุธปืนพก	30	0.961	0.930	0.945	0.982
		40	0.960	0.957	0.958	0.987
		52	0.964	0.960	0.962	0.987
		70	0.966	0.951	0.958	0.987
		100	0.955	0.964	0.959	0.986

จากตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนรอบ epochs ที่ใช้ฝึกฝนโมเดลด้วยอัลกอริทึม YOLOv5L และ YOLOv8L โดยแสดงการเปรียบเทียบค่าความแม่นยำ (Precision) ค่าความถูกต้อง (Recall) ค่าเฉลี่ย (F1-Score) และค่าความแม่นยำเฉลี่ย (mAP) พบว่า YOLOv8 ได้ค่า mAP ที่ 0.987 และค่า F1-Score ที่ 0.962 ในรอบการฝึก 52 epochs ซึ่งใช้ epochs น้อยกว่าอัลกอริทึม YOLOv5 ที่ได้ค่า mAP ที่ 0.988 และ F1-Score ที่ 0.957 ในรอบการฝึก 100 epochs สรุป YOLOv8 ให้ ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเมื่อเทียบจากรอบการฝึกที่ 52 epochs ซึ่งจะใช้ค่าพารามิเตอร์ใน epochs จำนวน 52 รอบทดสอบในขั้นตอนถัดไป

จากตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบการกำกับป้ายรูปภาพระหว่างการกำกับป้ายด้วยรูปแบบ Bounding Box และการกำกับป้ายด้วยรูปแบบ Polygon ด้วยการฝึกโมเดลที่ epochs = 52 ด้วยค่าความแม่นยำ (Precision) ค่าความถูกต้อง (Recall) ค่าเฉลี่ย (F1-Score) และค่าความแม่นยำเฉลี่ย (mAP) ด้วยอัลกอริทึม YOLOv5L และ YOLOv8L การกำกับภาพแบบ Polygon ให้ค่า mAP และ F1-Score ดีกว่าแบบ Bounding Box ด้วยค่า mAP = 0.986 (Polygon) F1-Score = 0.955 (Polygon) ต่อ mAP = 0.936 (Bounding Box) F1-Score = 0.911 (Bounding Box) ที่ฝึกฝนด้วยอัลกอริทึม YOLOv5L และค่า mAP = 0.987 (Polygon) F1-Score = 0.962 (Polygon) ต่อ mAP = 0.959 (Bounding Box) F1-Score = 0.925 (Bounding Box) ที่ฝึกฝนด้วยอัลกอริทึม YOLOv8L ในด้านการเลือกใช้การกำกับป้ายรูปภาพการกำกับภาพแบบ Polygon ให้ค่า mAP และ F1-Score ที่ดีกว่าการกำกับป้ายด้วยรูปแบบ Bounding Box โดยอิงข้อมูลจากตารางที่ 2

ตารางที่ 2 : แสดงการเปรียบเทียบการกำกับป้ายรูปภาพระหว่างการกำกับป้ายด้วยรูปแบบ Bounding Box และการกำกับป้ายด้วยรูปแบบ Polygon ด้วยการฝึกโมเดลที่ epochs = 52

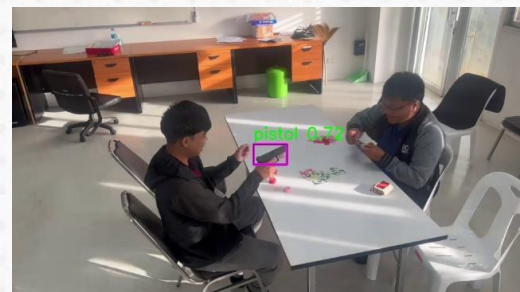
อัลกอริทึม	ประเภท	การกำกับภาพ	ค่าความแม่นยำ (Precision)	ค่าความถูกต้อง (Recall)	ค่าเฉลี่ย (F1-Score)	Mean Average Precision(mAP)
YOLOv5L	อาวุธปืนพก	Bounding Box	0.944	0.881	0.911	0.936
		Polygon	0.978	0.933	0.955	0.986
YOLOv8L	อาวุธปืนพก	Bounding Box	0.937	0.914	0.925	0.959
		Polygon	0.964	0.960	0.962	0.987

4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพโมเดลการตรวจจับอาวุธปืนพก

ตัวอย่างโปรแกรมตรวจจับอาวุธปืนด้วยเทคโนโลยีประมวลผลภาพ แสดงได้ดังภาพที่ 10



(ก)



(ข)



(ค)

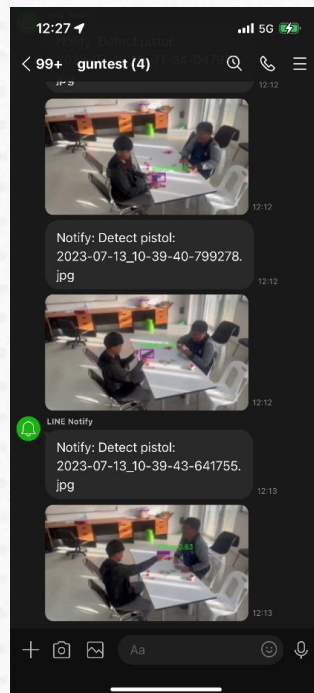
ภาพที่ 10 ผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจจับอาวุธปืน

4.3 ผลการทดลองการแจ้งเตือนผลลัพธ์ไปยัง Line Notify

ตัวอย่างการส่งการแจ้งเตือนไปยัง Line Notify เมื่อโปรแกรมตรวจจับพบอาวุธปืนโปรแกรมจะเรียกใช้งานชุดคำสั่ง และส่งรูปภาพพร้อมรายละเอียดไปยังแอปพลิเคชัน Line Mobile ดังภาพที่ 12

```
def send_notification(self, image_path, image_name, notification_token):
    message = f"New image: {image_name}"
    headers = {"Authorization": f"Bearer {notification_token}"}
    files = {"imageFile": open(image_path, "rb")}
    try:
        response = requests.post(self.line_notify_api, headers=headers, files=files,
            data={"message": message})
        if response.status_code == 200:
            print(f"Notification sent successfully.")
        else:
            print(f"Failed to send notification. Error: {response.text}")
    except requests.exceptions.RequestException as e:
        print(f"An error occurred while sending notification: {e}")
```

ภาพที่ 11 ชุดคำสั่งการส่งแจ้งเตือนไป Line Notify



ภาพที่ 12 ผลลัพธ์การส่งการแจ้งเตือนไปยัง Line Notify

5. บทสรุป

การพัฒนาโปรแกรมตรวจจับการอาชญากรรมสามารถสรุปผลการดำเนินงาน ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงาน ข้อเสนอแนะ และแนวทางในการพัฒนาต่อไป ดังนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ผู้จัดทำได้ทำการทดลองเปรียบเทียบ การกำกับภาพแบบ Bounding Box และ Polygon และทดสอบเปรียบเทียบจำนวนรอบ epochs ที่นำไปฝึกฝนเพื่อนำไปทดลองโดยใช้อัลกอริทึม YOLOv5L และ YOLOv8L โดยการวัดประสิทธิภาพโมเดลใช้การประเมินผลคำนวณหาค่าความแม่นยำ ความถูกต้อง และหาค่าเฉลี่ย F1-Score จากนั้นจึงทำการเลือกอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด ได้แก่ YOLOv8L ที่ทำการฝึกฝน 52 epochs เพื่อนำไปพัฒนาโมเดลสำหรับตรวจจับอาชญากรรม โดยทำการรวบรวมข้อมูลรูปภาพอาชญากรรมจากเว็บไซต์ต่างๆ แล้วทำการสำเนาข้อมูลเป็น 2 ชุด ชุดแรกนำไปกำกับป้ายภาพแบบ Bounding Box ชุดที่ 2 นำไปกำกับป้ายแบบ Polygon โดยแต่ละชุดข้อมูลแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือชุดข้อมูลฝึกฝน (Training Dataset) ชุดข้อมูลทดสอบ (Testing Dataset) และชุดข้อมูลที่ใช้สำหรับประเมินโมเดล (Validation Dataset) หลักจากนั้นนำข้อมูลไปฝึกฝนบนเครื่องมือ Google Colaboratory พบว่า ชุดข้อมูลที่กำกับป้ายแบบ Polygon ที่ฝึกฝนโดย YOLOv8L มีค่าความแม่นยำ 0.964 ค่าความถูกต้อง 0.960 ค่าเฉลี่ย F1-Score 0.962 และ mAP 0.987 ดังนั้น โมเดลนี้จึงถูกเลือกนำมาใช้พัฒนาเป็นโปรแกรมแล้วเตือนตรวจจับอาชญากรรม และเมื่อตรวจจับพบอาชญากรรมก็จะแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน Line Mobile

5.2 อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

จากกระบวนการตรวจจับอาชญากรรมของงานวิจัยครั้งนี้มีขั้นตอนการทำงาน คือ การสร้างชุดข้อมูล ผู้จัดทำซึ่งพบว่า ปัญหาที่สำคัญของการเตรียมข้อมูล และจัดการข้อมูลคือ รูปภาพผิดประเภทผิดชนิดของอาชญากรรมหรือภาพไม่มีความคมชัด สภาพแวดล้อมมีแสงสว่างมากเกินไป อาจจะทำให้โมเดลแสดงค่าที่ผิดเพี้ยนได้ ซึ่งสอดคล้องกับงาน วิจัยเรื่องเครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิลด้วยการประมวลผลภาพ ของธนโชติ และคณะ (2565) [5] ที่ต้องมีการเตรียมชุดข้อมูลและสภาพแวดล้อมของพื้นที่ปฏิบัติการ การทดสอบทำในสภาวะแวดล้อมแบบเปิดซึ่งมีแสงสว่างที่มากหรืออาจน้อยเกินไป ส่งผลกระทบต่อการตรวจจับและคัดแยกวัตถุได้ในบางครั้ง นอกจากนี้การฝึกฝนโมเดลจากชุดข้อมูลฝึกฝนยังพบว่าหากใช้ แล็บท็อปของผู้จัดทำซึ่งหน่วยประมวลผลด้านกราฟิกส์หรือ GPU รุ่น GeForce RTX 3050 ในการฝึกโมเดล จะใช้เวลาในการฝึกฝนนานถึงประมาณ 72 ชั่วโมง ในขณะที่ใช้เครื่องมือ Google Colaboratory Pro จะใช้เวลาเพียง 30 นาที หลังจากผู้จัดทำพบว่า YOLOv8L ทำงานได้ดีกับชุดข้อมูลทดสอบแล้ว ทางทีมผู้จัดทำจึงนำไปใช้กับวิดีโอที่มีอาชญากรรม ผลปรากฏว่า ระยะของอาชญากรรม รวมถึงความชัดมีผลในการตรวจจับ ดังนั้นถ้าต้องการให้โมเดลมีความแม่นยำมากขึ้น การเตรียมชุดข้อมูลสำหรับฝึกฝนต้องมีจำนวนมากขึ้นและทำการคัดกรองรูปภาพที่มีความคมชัดสูงเพื่อให้โมเดลได้ประสิทธิภาพมากขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Muneela. (11 กรกฎาคม 2566). Image Processing คืออะไร. Maindphp สืบค้นจาก www.mindphp.com/คู่มือ/73-คืออะไร/6595-image-processing-คืออะไร.html.
- [2] Jirat Boonphun. (11 กรกฎาคม 2566). Object Detection สำหรับรูปภาพเบื้องต้น. สืบค้นจาก <https://jirat-boonphun.medium.com/object-detection-สำหรับรูปภาพเบื้องต้น>.
- [3] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, "You only look once: Unified, real-time object detection," (2016). in Proc. IEEE Conf. Comput. Vision and Pattern Recognit. (CVPR), Las Vegas, NV, USA, pp. 779–788, doi:10.1109/CVPR.2016.91.

- [4] Ultralytics Company. (2 July 2023). YOLOv5: The friendliest AI architecture you'll ever use. สืบค้นจาก <https://ultralytics.com/yolov5>.
- [5] ธนโชติ ภาชนะนัย, จักรกริช ปานเงิน, กรรณิการ์ คนงาม, วรชัย ศรีสมุดคำ, วาสนา วงศ์ษา. (2565) เครื่องคัดแยกขยะรีไซเคิลด้วยการประมวลผลภาพ วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์, 4(2), 242-253.

การพัฒนาเครื่องหมายโมเลกุลที่สัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลส ในประชากรชั่วที่ BC_1F_2 ของ
คู่ผสมระหว่างพันธุ์ กข41 กับสายพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 ไม่ไวต่อช่วงแสง ต้นเตี้ย
Developing of Molecular Markers linked to genes related to amylose content
in BC_1F_2 progenies of cross between RD41 and KDML 105 Photoperiod
Insensitive and Semi-dwarf rice line.

อนุชิตา วงศ์ชื่น^{1*} วราภรณ์ แสงทอง¹ ช่อทิพา สุกุลสิงหาโรจน์¹ แสงทอง พงษ์เจริญกิต¹
ยุพเยาว์ คบพิมาย¹ และ กฤษณะ ลาน้ำเที่ยง²

¹สาขาวิชาพันธุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

²สาขาวิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

*E-mail: aw.anuchida@gmail.com

บทคัดย่อ

ปริมาณอะไมโลสเป็นตัวกำหนดคุณภาพการหุงต้มและรับประทานของข้าว ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวมีคุณภาพข้าวสุกที่แตกต่างกัน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาเครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่ง หรือยึดติดกับยีนในวิถีสังเคราะห์แป้ง และมีความสัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลส ในประชากรชั่วที่ BC_1F_2 ของคู่ผสมระหว่างพันธุ์รับ กข41 กับพันธุ์ให้ สายพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 ไม่ไวต่อช่วงแสง ต้นเตี้ย โดยใช้เทคโนโลยี Next generation sequencing technology (NGS) นำข้าวพันธุ์รับและพันธุ์ให้ไปอ่านลำดับจีโนม (Whole genome sequencing) เพื่อมาวิเคราะห์หาค่าตำแหน่งสไนป์ (SNP) และ อินเดล (InDel) ที่แตกต่างกันและอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของยีนในวิถีสังเคราะห์แป้ง ซึ่งพบความแตกต่างของยีนในวิถีสังเคราะห์อะไมโลสจำนวนหนึ่งยีน คือ *Wx* และยีนในวิถีสังเคราะห์อะไมโลสเพศตั้นจำนวน 3 ยีน ได้แก่ *SSI*, *SSIIIa* และ *SSIVa* และได้พัฒนาเครื่องหมายโมเลกุลของทั้ง 4 ยีนดังกล่าว ที่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างข้าวพันธุ์รับที่มีอัลลีล Wx^v กับข้าวพันธุ์ให้ที่มีอัลลีล Wx^b และลูกผสมชั่วแรก (F_1) ได้ชัดเจน จึงนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะไมโลส (พีโนไทป์) กับเครื่องหมายโมเลกุล (จีโนไทป์) ในประชากร BC_1F_2 จำนวน 100 ต้น ผลจากการวิเคราะห์หาค่าสมการการถดถอย ด้วยวิธี simple regression และ การถดถอยหลายตำแหน่งด้วยวิธี multiple regression โดยใช้การเลือกตัวแปรโดยวิธีเพิ่มตัวแปรอิสระแบบขั้นตอน (stepwise regression) พบว่า เครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่งของยีน *Wx* สัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลสดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$) และมีค่า R-square เท่ากับ 0.8298 ซึ่งสามารถใช้ปรับปรุงพันธุ์ข้าวประชากรนี้ต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ข้าว เครื่องหมายโมเลกุล ปริมาณอะไมโลส ยีน วิถีสังเคราะห์แป้ง

Abstract

The amylose content determines the cooking and eating qualities that cause each rice variety to possess a different cooked rice quality. This research aimed to develop target or linked molecular markers for genes in the rice starch biosynthesis pathway. Additionally, this molecule is related to amylose content in BC₁F₂ progenies of a cross between RD41 and KDML 105, a photoperiod-insensitive and semi-dwarf rice line. Rice recurrent parent and donor parent were read whole genome DNA sequences by Next generation sequencing technology (NGS) for analyzing differentiation in Snips (SNP) and InDel loci that might influence gene activity in the starch biosynthesis pathway. The Amylose starch biosynthesis pathway was *Wx*, and genes for the amylopectin starch biosynthesis pathway, including *SSI*, *SSI/a* and *SSI/a* were presented differently between recurrent parent and donor parent. Molecular markers of these four genes were developed that clearly distinguished the recurrent parent rice with the *Wx^{lv}* allele from the *Wx^b* allele in the donor parent rice and the first-cross, F₁. Therefore, correlations between amylose content (phenotype) and molecular markers (genotype) were investigated in a population of 100 BC₁F₂ plants. Regression analysis using the simple regression method and multiple regression analysis using the stepwise regression method showed the target molecular markers of the *Wx* gene were significantly related to amylose quantity (P 0.01), and the presented R-square was 0.8298, which can be used to effectively improve the rice population in this population.

Keywords: rice molecular markers amylose content gene starch biosynthesis pathway

1. บทนำ

ข้าวเป็นพืชอาหารหลักของคนทั่วโลก และเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย มีผลผลิตเฉลี่ย 30 ล้านตัน ข้าวเปลือก [1] มีการบริโภคข้าวเพื่อเป็นแหล่งพลังงานมากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ โดยส่วนประกอบหลักของข้าว คือ แป้ง ซึ่งมีองค์ประกอบหลัก 2 แบบ คือ อะไมโลส มีโครงสร้างเป็นแบบเส้น α -polyglucan และอะไมโลเพคติน เป็นแบบกิ่งก้าน α -polyglucan ในเมล็ดข้าวมีส่วนของอะไมโลส 20-30 เปอร์เซ็นต์ และอะไมโลเพคติน 70-80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพันธุ์ข้าวต่าง ๆ สามารถจำแนกตามช่วงของปริมาณอะไมโลสได้ โดยข้าวเหนียว (0-2 เปอร์เซ็นต์), ข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำมาก (3-12 เปอร์เซ็นต์), ข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำ (13-20 เปอร์เซ็นต์), ข้าวเจ้าอะไมโลสปานกลาง (21-25 เปอร์เซ็นต์) และ ข้าวเจ้าอะไมโลสสูง (≥ 26 เปอร์เซ็นต์) เมล็ดข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงกว่า (≥ 26 เปอร์เซ็นต์) จะมีความนุ่มน้อยและแข็งเมื่อเย็นลง และหากมีปริมาณอะไมโลสต่ำ (<20 เปอร์เซ็นต์) จะมีความเหนียวนุ่มมาก [2]

การสังเคราะห์อะไมโลสถูกควบคุมด้วยยีน *waxy* (*Waxy* gene; *Wx*) ตั้งอยู่บนโครโมโซมที่ 6 ประกอบด้วย 14 เอ็กซอน และ 13 อินทรอน โปรตีนแควซีมีกรดอะมิโน 609 ตัว [3] แปลรหัส (translation) ได้เป็นเอนไซม์ Granule bound starch synthase (GBSS) มีหน้าที่ในการสังเคราะห์อะไมโลสในเอนโดสเปิร์มของเมล็ดข้าว [4] [5] โดยยีนเด่น *Wx* เป็นยีนหลักที่ควบคุมการสังเคราะห์อะไมโลส (Itoh et al., 2003) ในการศึกษาลำดับเบสของยีนในตำแหน่ง *Wx* ของข้าวพันธุ์ต่าง ๆ พบว่ามีอัลลีล *Wx* ทั้งหมด 7 ชนิด คือ *Wx^{lv}* *Wx^o* *Wx^b* *Wxⁿ* *Wx^{op}* *Wx^{mp}* และ *wx* [6] ซึ่งอัลลีลเหล่านี้มีส่วนทำให้เกิดความผันแปรของปริมาณอะไมโลสในข้าวได้ โดยที่ตำแหน่ง 5' splice site ในอินทรอนที่ 1 ตำแหน่งเบสที่ 1 (Int1-1) ของยีน *Wx* พบอัลลีล *Wx^{lv}* มีลำดับเบส G จะมีการแสดงออกแบบปกติ ส่งผลให้มีการสังเคราะห์เอนไซม์ GBSS ที่

สมบูรณ์ ทำให้มีปริมาณอะไมโลสสูง [7] ประมาณ 27.81 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอัลลิล Wx^b มีลำดับเบส T เนื่องจากการกลายพันธุ์จากเบส G ไปเป็นเบส T ที่ปลาย 5' splice site ของอินทรอนที่ 1 ตำแหน่งเบสที่ 1 (Int1-1) มีการตัดอินทรอนที่ 1 ผิดปกติ (aberrant splicing) โดยมีการกีดขวางการตัดต่อ (splicing) ของ pre-mRNA ในยีน Wx จึงทำให้ระดับของ GBSS ลดลง และมีปริมาณของอะไมโลสต่ำ [5] [7] ประมาณ 16.06 เปอร์เซ็นต์ ที่ตำแหน่งเบสที่ 112 (Ex2-112) ในเอ็กซอนที่ 2 อัลลิล wx พบการเพิ่มขึ้นของเบสจำนวน 23 คู่ อีก 1 ชุดในเอ็กซอนที่ 2 ส่งผลให้ข้าวเจ้าเปลี่ยนเป็นข้าวเหนียว มีปริมาณอะไมโลส 2.15 เปอร์เซ็นต์ ที่ตำแหน่งเบสที่ 53 (Ex4-53) ในเอ็กซอนที่ 4 อัลลิล Wx^{mp} มีการแทนที่เบส G ไปเป็นเบส A ส่งผลให้ข้าวมีปริมาณอะไมโลสประมาณ 10.57 เปอร์เซ็นต์ ที่ตำแหน่งเบสที่ 77 (Ex4-77) ในเอ็กซอนที่ 4 อัลลิล Wx^{op} มีการแทนที่เบส A ไปเป็นเบส G ส่งผลให้ข้าวมีปริมาณอะไมโลสประมาณ 12.86 เปอร์เซ็นต์ ที่ตำแหน่งเบสที่ 62 (Ex6-62) ในเอ็กซอนที่ 6 อัลลิล Wx^n มีการแทนที่เบส A ไปเป็นเบส C ส่งผลให้ข้าวมีปริมาณอะไมโลสประมาณ 20.25 เปอร์เซ็นต์ และที่ตำแหน่งเบสที่ 115 (Ex10-115) ในเอ็กซอนที่ 10 อัลลิล Wx^o มีการแทนที่เบส C ไปเป็นเบส T ส่งผลให้ข้าวมีปริมาณอะไมโลสประมาณ 26.51 เปอร์เซ็นต์ [6]

นอกจากนี้การสังเคราะห์แป้งในข้าว เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์อะไมโลเพคติน โดยมีเอ็นไซม์ที่ควบคุมเอ็นไซม์ต่าง ๆ ได้แก่ เอ็นไซม์ Starch synthases (SS) ประกอบด้วย SSI, SSII (a,b,c), SSIII (a,b) และ SSIV (a,b) เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ ADPglc เอ็นไซม์ Starch branching enzymes (SBE) มีไอโซฟอร์มสองตัวคือ SBE-I และ SBE-II สร้าง α -(1-6) linkages และตัดพันธะ internal α -(1-4) C6 เพื่อสร้างโครงสร้างแขนงของโมเลกุลอะไมโลเพคติน [8] และเอ็นไซม์ Starch debranching enzymes (DBE) ทำหน้าที่ตัด (ทำลาย) พันธะ α -(1-6) ในอะไมโลเพคตินและการกำจัดกิ่งที่ไม่เหมาะสม โดยมีความจำเพาะต่อเอ็นไซม์ isoamylase (ISA1, ISA2, ISA3) ซึ่งเป็นสารตั้งต้น ทำหน้าที่ในการตัด glycogen, phytoglycogen และ amylopectin แต่ไม่ตัด pullulan และ pullulanase ส่วน pullulanase (*OsPUL*) ทำหน้าที่ตัดหรือทำลาย pullulan และ amylopectin แต่ไม่ตัด glycogen และ phytoglycogen [9]

ปัจจุบันเทคโนโลยีเครื่องหมายโมเลกุลถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือหลักในการวิจัยด้านการปรับปรุงพันธุ์พืชอย่างกว้างขวางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของงานวิจัยให้ถูกต้องและแม่นยำขึ้น โดยเครื่องหมายโมเลกุลที่ยึดติดกับยีนหรือเป็นส่วนหนึ่งของยีนที่ควบคุมลักษณะที่สำคัญ ได้ถูกศึกษาอย่างจริงจังเพื่อช่วยให้นักปรับปรุงพันธุ์ใช้คัดเลือกพืชแต่ละต้นที่มีลักษณะที่ต้องการโดยการคัดเลือกจีโนม [10] [11]

ดังนั้น ในการทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อหาเครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่ง หรือยึดติดกับยีนในวิธีสังเคราะห์แป้ง และสัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลส ในประชากรข้าวที่ BC_1F_2 ของคู่ผสมระหว่างพันธุ์รับ กข41 กับพันธุ์ให้ สายพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ไม่ไวต่อช่วงแสง ต้นเตี้ย ซึ่งจะสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าว กข41 ให้มีปริมาณอะไมโลสต่ำได้

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

2.1 พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการทดลอง

2.1.1 ข้าวพันธุ์รับ กข41 (RD41) เป็นข้าวเจ้า ไม่ไวต่อช่วงแสง ปริมาณอะไมโลสสูง (27.15 เปอร์เซ็นต์) อายุเก็บเกี่ยว 105 วัน และมีผลผลิตประมาณ 722 กิโลกรัมต่อไร่ [12]

2.1.2 ข้าวพันธุ์ให้ สายพันธุ์ ข้าวดอกมะลิ 105 ไม่ไวต่อช่วงแสง ต้นเตี้ย ในโครงการการปรับปรุงพันธุ์ข้าวข้าวดอกมะลิ 105 จากข้าวไวต่อช่วงแสง ต้นสูง ให้เป็นข้าวไม่ไวต่อช่วงแสงสามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี ต้นเตี้ยต้านทานการหักล้ม และมีปริมาณอะไมโลสต่ำ ได้รับทุนวิจัยจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) (สวก.)

2.1.3 ลูกผสมข้าวที่ BC_1F_2 เกิดจากการผสมระหว่าง ข้าวพันธุ์รับ กข41 กับ ข้าวพันธุ์ให้ สายพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ไม่ไวต่อช่วงแสง ต้นเตี้ย

2.2 การคัดเลือกพันธุ์รับและพันธุ์ให้ ที่มีปริมาณอะไมโลส (ฟีโนไทป์) แตกต่างกัน

ปลูกข้าวพันธุ์รับ และข้าวพันธุ์ให้ ในแปลงนาทดลองของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ปกติ 1 ต้นต่อหลุม ระยะ 25x25 ซม. แถวยาว 5 เมตร จำนวน 4 แถว จากนั้นเก็บเมล็ดของพันธุ์รับและพันธุ์ให้อย่างละ 10 ต้น นำไปวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส ตามวิธีของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ปี พ.ศ. 2560 [13] จากนั้นทดสอบค่าเฉลี่ยปริมาณอะไมโลสของพันธุ์รับ เปรียบเทียบกับพันธุ์ให้ ด้วยสถิติทดสอบวิธี t-test ในโปรแกรม R 4.2.1

2.3 การสร้างประชากร BC₁F₂ ของคู่ผสมระหว่างพันธุ์รับ และพันธุ์ให้ ที่มีปริมาณอะไมโลส (ฟีโนไทป์) แตกต่างกัน และวิเคราะห์หาปริมาณอะไมโลส

ในฤดูนาปี พ.ศ. 2562 ผลิตเมล็ดลูกผสมชั่วแรก (F₁) โดยผสมพันธุ์ระหว่างข้าวพันธุ์รับ และข้าวพันธุ์ให้ ฤดูนาปี พ.ศ. 2563 ปลูกลูกผสมชั่วแรก (F₁) และคัดเลือกด้วยเครื่องหมายโมเลกุล 484/485 marker (Ayres et al., 1997) เพื่อให้แน่ใจว่าเป็นต้น F₁ จริง จากนั้นผสมกลับ (backcross) ไปหาพันธุ์รับ กข41 ได้เมล็ด BC₁F₁ ฤดูนาปี พ.ศ. 2564 ผลิตเมล็ดลูกผสมกลับชั่วแรก (BC₁F₁) และคัดเลือกด้วยเครื่องหมายโมเลกุล 484/485 marker (Ayres et al., 1997) เลือกต้นที่มีจีโนไทป์เป็น Wx^wWx^b (heterozygous) แล้วทำการผสมตัวเอง ได้เมล็ด BC₁F₂ ฤดูนาปี พ.ศ. 2565 ปลูกประชากร BC₁F₂ ในแปลงนาทดลองของมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ปกติ 1 ต้นต่อหลุม ระยะ 25x25 ซม. แถวยาว 5 เมตร จำนวน 8 แถว เมื่อต้นข้าวสุกแก่สุ่มเก็บเมล็ด BC₁F₃ บนต้น BC₁F₂ จำนวน 100 ต้น เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส (ฟีโนไทป์) ตามวิธีของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ปี พ.ศ. 2560 [13]

2.4 การวิเคราะห์เครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่ง หรือยึดติดกับยีนในวิถีสังเคราะห์แป้ง (จีโนไทป์) ในประชากร BC₁F₂

2.4.1 ปลูกข้าวพันธุ์รับ กข41 และข้าวพันธุ์ให้ สายพันธุ์ ข้าวดอกมะลิ 105 ไม่ไวต่อช่วงแสง ต้นเตี้ย และเมื่อต้นกล้าอายุ 15-20 วัน ทำการเก็บตัวอย่างใบ 1 ใบ/ต้น จำนวน 50-100 ต้นต่อพันธุ์ มาสกัด DNA ด้วยชุดสกัดสำเร็จรูป genomic DNA purification kit ของ Thermo ScientificTM โดยดัดแปลงจากวิธีของ Fermentas และตรวจคุณภาพของสารละลาย DNA เบื้องต้นด้วย 2 เทคนิคคือ โดยเครื่อง nanodrop ซึ่งค่า OD₂₆₀/280 อยู่ระหว่าง 1.8-2.0 และตรวจด้วย agarose gel พบว่า ไม่มีการปนเปื้อนของโปรตีนและ RNA จากนั้นนำข้าวพันธุ์รับและพันธุ์ให้ ไปอ่านลำดับดีเอ็นเอทั้งจีโนม ด้วยเทคโนโลยี NGS กับบริษัท Novogene Biotech ประเทศจีนผ่านตัวแทนจำหน่ายบริษัท Ward Medic

2.4.2 นำลำดับดีเอ็นเอทั้งจีโนมของข้าวพันธุ์รับและพันธุ์ให้ มาวิเคราะห์หาตำแหน่งสปีส์ (SNP) และอินเดล (InDel) ที่เกิดการกลายพันธุ์แบบ nonsynonymous (ลำดับเบสเปลี่ยนส่งผลให้กรดอะมิโนเปลี่ยนไปจากปกติ) ของยีนในวิถีสังเคราะห์อะไมโลส จำนวนหนึ่งยีน คือ Wx (Os06g0133000) และยีนในวิถีสังเคราะห์อะไมโลเพคติน จำนวน 17 ยีน ได้แก่ ISA1 (Os08g0520900), ISA2 (Os05g0393700), ISA3 (Os09g0469400), OsPUL (Os04g0164900), SBE1 (Os06g0726400), SBE3 (Os02g0528200), SBE4 (Os04g0409200), SBEIII (Os06g0367100), SSI (Os06g0160700), SSIIa (Os06g0229800), SSIIb (Os02g0744700), SSIIc (Os10g0437600), SSIIIa (Os08g0191433), SSIIIb (Os04g0624600), SSIVa (Os01g0720600), SSIVb (Os05g0533600), SSIIc (Os10g0437600), (Pandey et al., 2012 และ <https://rapdb.dna.affrc.go.jp/>) โดยใช้โปรแกรม Integrative Genomics Viewer (IGV) (<https://software.broadinstitute.org/software/igv/>) ในการตรวจสอบลำดับเบสเบื้องต้น

2.4.3 ออกแบบเครื่องหมายโมเลกุลของยีนในวิถีสังเคราะห์อะไมโลส และอะไมโลเพคติน ที่ให้ความแตกต่างทางพันธุกรรม (polymorphism) ระหว่างข้าวพันธุ์รับและข้าวพันธุ์ให้ ในตำแหน่ง SNP ด้วยวิธี tetra-primer

ARMS-PCR การออกแบบไพรเมอร์ใช้โปรแกรมออนไลน์ Primer1 (<http://primer1.soton.ac.uk/primer1.html>) และตำแหน่ง InDel โดยใช้ไพรเมอร์ 1 คู่ คือ forward primer และ reverse primer ด้วยโปรแกรมออนไลน์ Primer3 (<https://bioinfo.ut.ee/primer3-0.4.0/>)

2.4.4 ทดสอบเครื่องหมายโมเลกุลที่ได้จากการออกแบบไว้ ทำโดยการสกัดดีเอ็นเอจากเมล็ดด้วยชุดสกัดสำเร็จรูปของ Thermo ScientificTM โดยดัดแปลงจากวิธีของ Fermentas ของข้าวพันธุรับ ข้าวพันธุให้ และลูกผสมชั่วแรก F₁ เพื่อใช้เป็นดีเอ็นเอแม่พิมพ์ จากนั้นเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอด้วยเทคนิคพีซีอาร์ (polymerase chain reaction; PCR) โดยปฏิกิริยาประกอบด้วย 1x Go Taq[®] Green Master Mix จีโนมิกดีเอ็นเอประมาณ 50 นาโนกรัม ความเข้มข้นของไพรเมอร์ 0.33-0.67 ไมโครโมลาร์ ปริมาตรสุดท้าย เท่ากับ 15 ไมโครลิตร สำหรับขั้นตอนของปฏิกิริยาพีซีอาร์ของเครื่องหมายดีเอ็นเอที่ยึดติดกับยีน เริ่มต้นที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส 3 นาที ปฏิกิริยาทั้งหมด 35 รอบ ดังต่อไปนี้ denaturation 95 องศาเซลเซียส 30 วินาที annealing 52, 59, 62 และ 52.5 องศาเซลเซียส 30 วินาที extension 72 องศาเซลเซียส 30 วินาที และ final extension 72 องศาเซลเซียส 5 นาที จากนั้นตรวจสอบผลผลิตพีซีอาร์ด้วยเทคนิคอะกาโรสเจลอิเล็กโทรโฟรีซิส ใช้ความเข้มข้นเจล 4 เปอร์เซ็นต์ ในสารละลาย 1x TBE buffer (Tris-borate-EDTA) ภายใต้กระแสไฟฟ้า จากนั้นคัดเลือกชุดเครื่องหมายโมเลกุลที่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างพันธุรับ พันธุให้ และลูกผสมชั่วแรก F₁ ไปใช้ในการวิเคราะห์หาจีโนไทป์ในประชากร BC₁F₂ ต่อไป

2.4.5 วิเคราะห์หาจีโนไทป์ในประชากร BC₁F₂ โดยใช้ดีเอ็นเอจากเมล็ดที่ได้จากการสกัดวิธีเช่นเดียวกับข้อ 4 ซึ่งประกอบด้วย ข้าวพันธุรับ ข้าวพันธุให้ และประชากร BC₁F₂ จำนวน 100 ต้น จากนั้นเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอด้วยเทคนิคพีซีอาร์ปฏิกิริยาเช่นเดียวกับข้อ 4 โดยใช้เครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่ง หรือยึดติดกับยีนในวิถีสังเคราะห์อะไมโลส และอะไมโลเพคตินที่ผ่านการทดสอบเครื่องหมายว่าสามารถแยกความแตกต่างระหว่างข้าวพันธุรับ ข้าวพันธุให้ และลูกผสม F₁ แล้ว และตรวจสอบผลผลิตพีซีอาร์ด้วยเทคนิคอะกาโรสเจลอิเล็กโทรโฟรีซิส ใช้ความเข้มข้นเจล 4 เปอร์เซ็นต์ ในสารละลาย 1x TBE buffer (Tris-borate-EDTA) ภายใต้กระแสไฟฟ้า จากนั้นนำข้อมูลบนแผ่นเจล ไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างฟีโนไทป์และจีโนไทป์ ต่อไป

2.5 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะไมโลส (ฟีโนไทป์) และเครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่ง หรือยึดติดกับยีนในวิถีสังเคราะห์อะไมโลส และอะไมโลเพคติน (จีโนไทป์) ในประชากร BC₁F₂

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฟีโนไทป์ คือปริมาณอะไมโลส กับจีโนไทป์ คือเครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่ง หรือยึดติดกับยีนในวิถีสังเคราะห์อะไมโลส และอะไมโลเพคตินของประชากร BC₁F₂ ด้วยโปรแกรม R 4.2.1 โดยทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยฟีโนไทป์กรณีมีจีโนไทป์มากกว่า 2 กลุ่ม ด้วยวิธี ANOVA วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฟีโนไทป์กับจีโนไทป์ของประชากร BC₁F₂ ด้วยการวิเคราะห์ถดถอย (regression analysis) โดยวิธี simple regression และ multiple regression ใช้การเลือกตัวแปรโดยวิธีเพิ่มตัวแปรอิสระแบบขั้นตอน (stepwise regression) เพื่อหาสัมประสิทธิ์การถดถอย (regression coefficient) และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination: R²)

กำหนดให้จีโนไทป์แบบ homozygous ที่แสดงแถบดีเอ็นเอเหมือนพันธุรับ ใช้สัญลักษณ์ คือ RDRD ให้คะแนนเป็น 2 จีโนไทป์แบบ heterozygous ที่แสดงแถบดีเอ็นเอ 2 แถบ เหมือนกับพันธุรับและพันธุให้ ใช้สัญลักษณ์ คือ RDKM ให้คะแนนเป็น 1 และกำหนดให้จีโนไทป์แบบ homozygous ที่แสดงแถบดีเอ็นเอเหมือนพันธุให้ ใช้สัญลักษณ์ คือ KMKM ให้คะแนนเป็น 0

2.6 ตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องหมายโมเลกุล ที่สัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลส

เมื่อได้เครื่องหมายโมเลกุลที่สัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลสแล้ว เพื่อตรวจสอบว่าเครื่องหมายโมเลกุลดังกล่าวสามารถเพิ่มขึ้นส่วนของดีเอ็นเอที่เฉพาะกับยีนได้จริง จึงทำการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ ด้วยเทคนิคพีซีอาร์ วิเคราะห์ด้วยอะกาโรสเจลอิเล็กโทรโฟรีซิส จากนั้นตัดแถบดีเอ็นเอข้าวพันธุรับ และข้าวพันธุให้ จากเจลอะกาโรส แล้วทำให้บริสุทธิ์

จากนั้นนำไปหาลำดับเบส ที่บริษัท เอ ที ซี จี จำกัด (ATCG Co, LTD) และนำลำดับเบสที่ได้มาเปรียบเทียบกับลำดับเบสที่ได้จากการอ่านลำดับดีเอ็นเอทั้งจีโนมของข้าวพันธุ์รับ และพันธุ์ให้ ในยีนที่สัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลส บริเวณที่ออกแบบเครื่องหมายโมเลกุลไว้ และพิสูจน์ลำดับเบสของยีนที่สัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลส ของข้าวพันธุ์รับ และพันธุ์ให้ กับฐานข้อมูลลำดับเบสของข้าว

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 การคัดเลือกพันธุ์รับและพันธุ์ให้ ที่มีปริมาณอะไมโลส (ฟีโนไทป์) แตกต่างกัน

นำปริมาณอะไมโลสของข้าวพันธุ์รับ กข41 (10 ต้น) และข้าวพันธุ์ให้ สายพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 ไม่ไวต่อช่วงแสง ต้นเตี้ย (10 ต้น) มาทดสอบค่าเฉลี่ยทางสถิติด้วยวิธี t- test พบว่า ข้าวพันธุ์รับ มีปริมาณอะไมโลสเฉลี่ย 26.56 เปอร์เซ็นต์ซึ่งแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (p-value < 0.05) กับข้าวพันธุ์ให้ ที่มีปริมาณอะไมโลสเฉลี่ย 13.80 เปอร์เซ็นต์

3.2 การวิเคราะห์เครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่ง หรือยึดติดกับยีนในวิถีสังเคราะห์แป้ง (จีโนไทป์) ในประชากร BC₁F₂

จากการนำลำดับดีเอ็นเอทั้งจีโนมของข้าวพันธุ์รับและพันธุ์ให้ มาวิเคราะห์ตำแหน่งสไนป์ (SNP) และ อินเดล (InDel) ที่เกิดการกลายพันธุ์แบบ nonsynonymous ของยีนในวิถีสังเคราะห์อะไมโลส จำนวนหนึ่งยีน และยีนในวิถีสังเคราะห์อะไมโลสเพคติน จำนวน 17 ยีน พบความแตกต่างของลำดับเบสข้าวพันธุ์รับ และพันธุ์ให้ ของยีนในวิถีสังเคราะห์อะไมโลส จำนวนหนึ่งยีน คือ *Wx* (Os06g0133000) และยีนในวิถีสังเคราะห์อะไมโลสเพคติน จำนวน 3 ยีน ได้แก่ *SSI* (Os06g0160700), *SSIIIa* (Os08g0191433) และ *SSIVa* (Os01g0720600) (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ตำแหน่ง SNP และ InDel ที่แตกต่างกันและเกิดการกลายพันธุ์แบบ nonsynonymous ของข้าวพันธุ์รับ กข41 และข้าวพันธุ์ให้ สายพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 ไม่ไวต่อช่วงแสง ต้นเตี้ย ของยีนในวิถีสังเคราะห์แป้ง

ยีน	ยีน ID	โครโมโซม	Type of mutation	Annotation	Position	กข41	สายพันธุ์ ขาวดอก มะลิ 105 ไม่ไวต่อ ช่วงแสง ต้นเตี้ย
<i>Wx</i>	Os06g0133000	6	nonsynonymous SNV	intron 1	1,765,761	G	T
<i>SSI</i>	Os06g0160700	6	nonsynonymous SNV	exon 8	3,082,490	G	A
			Deletion	intron14	3,080,705	-	7 bp
<i>SSIIIa</i>	Os08g0191433	8	nonsynonymous SNV	exon 3	5,354,337	T	C
			Deletion	upstream	5,350,004	-	10 bp
<i>SSIVa</i>	Os01g0720600	1	nonsynonymous SNV	exon 4	30,039,276	C	T

จากนั้นออกแบบเครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่งของยีน *Wx* ซึ่งเป็นยีนหลักที่ควบคุมการสังเคราะห์อะไมโลส (Itoh et al., 2003) ที่ 5' splice site ของ อินทรอนที่ 1 ตำแหน่งเบสที่ 1 (Int1-1) โดยมีอัลลีล *Wx^{lv}*

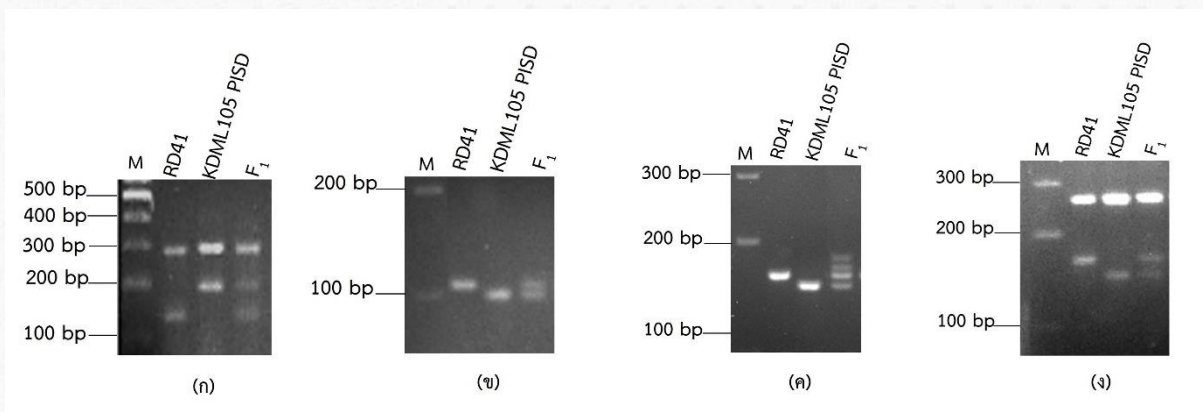
มีลำดับเบส G ต่างจาก Wx^b มีลำดับเบส T เพียงตำแหน่งเดียวเท่านั้น คือ สนิปส์ G/T ที่ตำแหน่ง 1,765,761 จากนั้น ออกแบบเครื่องหมายโมเลกุลด้วยวิธี tetra-primer ARMS-PCR (ตารางที่ 1 และ ภาพที่ 1ก) ส่วนเครื่องหมายโมเลกุลที่เกี่ยวข้องกับยีนในวิถีสังเคราะห์อะไมโลเพคติน ได้แก่ เครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่งของยีน *SSI* มีความต่างที่บริเวณ เอ็กซอนที่ 8 มีตำแหน่งสนิปส์ G/A ตำแหน่งที่ 3,082,490 ได้ออกแบบเครื่องหมายโมเลกุลที่บริเวณ อินทรอนที่ 14 ที่ตำแหน่ง 3,080,705 มีการขาดหายไป 7 คู่เบส ซึ่งห่างจากบริเวณ เอ็กซอนที่ 8 จำนวน 1,785 คู่เบส โดยใช้ไพรเมอร์ 1 คู่ คือ forward primer และ reverse primer และ *SSIva* ได้ออกแบบเครื่องหมายโมเลกุลที่ความต่างบริเวณเอ็กซอน 4 มีตำแหน่งสนิปส์ C/T ตำแหน่งที่ 30,039,276 ด้วยวิธี tetra-primer ARMS-PCR และ เครื่องหมายโมเลกุลที่ยึดติดกับยีน *SSIIIa* มีความต่างที่บริเวณเอ็กซอนที่ 3 มีตำแหน่งสนิปส์ T/C ตำแหน่งที่ 5,354,337 ได้ออกแบบเครื่องหมายโมเลกุลที่บริเวณ upstream ที่ตำแหน่ง 5,350,004 มีการขาดหายไป 10 คู่เบส ซึ่งห่างจากบริเวณเอ็กซอนที่ 3 จำนวน 4,333 คู่เบส โดยใช้ไพรเมอร์ 1 คู่ คือ forward primer และ reverse primer (ตารางที่ 1 และ ภาพที่ 1 ข ค และ ง)

3.3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอะไมโลส (พีโนไทป์) และเครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่ง หรือ ยึดติดกับยีนในวิถีสังเคราะห์อะไมโลส และอะไมโลเพคติน (จีโนไทป์) ในประชากร BC_1F_2

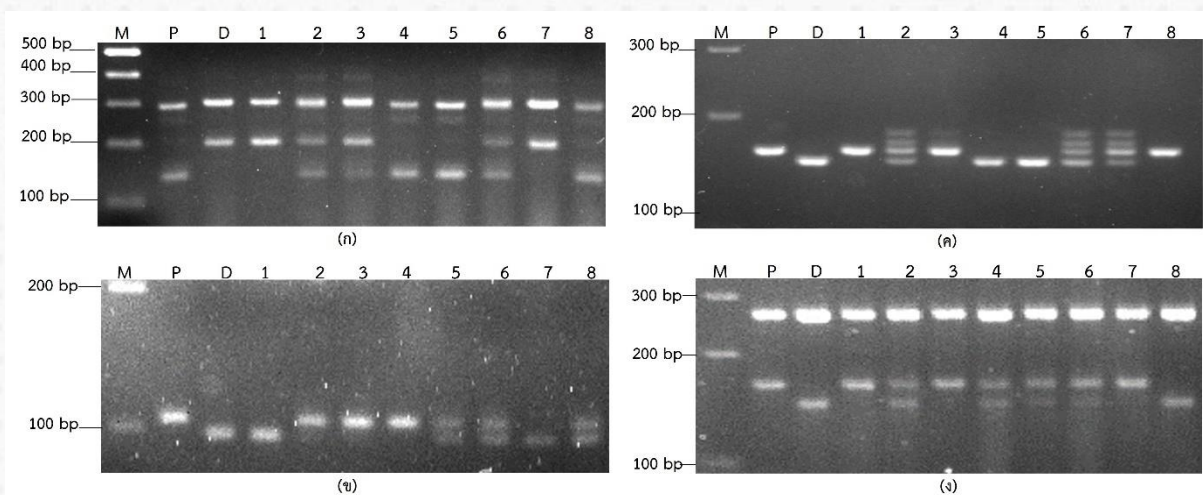
เมื่อนำเครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่งของยีน Wx ในวิถีสังเคราะห์อะไมโลส (ภาพที่ 2 ก) และ เครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่งของยีน *SSI* และ *SSIva* (ภาพที่ 2 ข และ ง) และเครื่องหมายโมเลกุลที่ยึดติดกับยีน *SSIIIa* (ภาพที่ 2 ค) ในวิถีสังเคราะห์อะไมโลเพคติน มาตรวจสอบในประชากร BC_1F_2 จำนวน 100 ต้น พบแถบดีเอ็นเอทั้งหมด 3 แบบ ได้แก่ แบบ RDRD (แถบดีเอ็นเอเหมือนพันธุ์รับ กข41), RDKM (แถบดีเอ็นเอเหมือนพันธุ์รับและพันธุ์ให้) และ KMKM (แถบดีเอ็นเอเหมือนพันธุ์ให้ สายพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ไม่ไวต่อช่วงแสง ต้นเดี่ยว) (ภาพที่ 1) โดยเครื่องหมายโมเลกุล ที่เป็น ส่วนหนึ่งของยีน Wx พบจีโนไทป์ แบบ RDRD จำนวน 25 ต้น, RDKM จำนวน 45 ต้น และ KMKM จำนวน 30 ต้น เครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่งของยีน *SSI* พบจีโนไทป์ แบบ RDRD จำนวน 24 ต้น, RDKM จำนวน 39 ต้น และ KMKM จำนวน 37 ต้น เครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่งของยีน *SSIva* พบจีโนไทป์ แบบ RDRD จำนวน 19 ต้น, RDKM จำนวน 58 ต้น และ KMKM จำนวน 23 ต้น และเครื่องหมายโมเลกุลที่ยึดติดกับยีน *SSIIIa* พบจีโนไทป์ แบบ RDRD จำนวน 36 ต้น, RDKM จำนวน 44 ต้น และ KMKM จำนวน 26 ต้น (ตารางที่ 2)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่งของยีน หรือยึดติดกับยีนใน วิถีสังเคราะห์อะไมโลส และอะไมโลเพคติน กับปริมาณอะไมโลส ด้วยวิธี ANOVA พบว่า เครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่ง ของยีน Wx ในวิถีสังเคราะห์อะไมโลส และ เครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่งของยีน *SSI* ในวิถีสังเคราะห์อะไมโลเพคตินมี ความสัมพันธ์ต่อปริมาณอะไมโลส โดยค่าเฉลี่ยปริมาณอะไมโลสของแต่ละจีโนไทป์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในส่วนของเครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่งของยีน *SSIva* และเครื่องหมายโมเลกุลที่ยึดติดกับยีน *SSIIIa* พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณอะไมโลสของแต่ละจีโนไทป์ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) แสดงว่าเครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่งของ ยีน *SSIva* และเครื่องหมายโมเลกุลที่ยึดติดกับยีน *SSIIIa* ในวิถีสังเคราะห์อะไมโลเพคติน ไม่มีความสัมพันธ์ต่อปริมาณ อะไมโลส (ตารางที่ 2)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างจีโนไทป์กับพีโนไทป์ของประชากร BC_1F_2 ด้วยการวิเคราะห์ถดถอย (regression analysis) โดยวิธี simple regression เพื่อวิเคราะห์ว่าเครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่ง หรือยึดติดกับยีนในวิถี สังเคราะห์อะไมโลส และอะไมโลเพคตินนั้น มีความสัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลสหรือไม่ โดยใช้โปรแกรม R 4.2.1 พบว่า เครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่งของยีน Wx ในวิถีสังเคราะห์อะไมโลส และ เครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วน หนึ่งของยีน *SSI* ในวิถีสังเคราะห์อะไมโลเพคติน มีความสัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลสอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$) โดยมีค่า R-square เท่ากับ 0.8298 และ 0.4644 ตามลำดับ ส่วนเครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่งของยีน *SSIva* และเครื่องหมาย โมเลกุลที่อยู่ยึดติดกับยีน *SSIIIa* ในวิถีสังเคราะห์อะไมโลเพคติน ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลส ($P > 0.01$) (ตารางที่ 3)



ภาพที่ 1 แสดงขนาดแถบดีเอ็นเอภายใต้แสง UV เพื่อเปรียบเทียบแถบดีเอ็นเอจากผลผลิต PCR เมื่อใช้ (ก) เครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่งของยีน *Wx* ในวิถีสังเคราะห์อะไมโลส (ข, ง) เครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่งของยีน *SSI* และ *SSI/a* และ (ค) เครื่องหมายโมเลกุลที่ยึดติดกับยีน *SSI/a* ในวิถีสังเคราะห์อะไมโลเพคติน และมีดีเอ็นเอของข้าวพันธุ์รับ กข41 (RD41) ข้าวพันธุ์ให้ สายพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 ไม้ไผ่ต่อช่วงแสง ต้นเดี่ยว (KDML 105 PISD) และลูกผสมชั่วแรก (F_1) เป็นดีเอ็นเอแม่พิมพ์ โดย M คือ แถบดีเอ็นเอมาตรฐาน 100 bp



ภาพที่ 2 แสดงขนาดแถบดีเอ็นเอภายใต้แสง UV เพื่อเปรียบเทียบแถบดีเอ็นเอจากผลผลิต PCR เมื่อใช้ (ก) เครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่งของยีน *Wx* ในวิถีสังเคราะห์อะไมโลส (ข, ง) เครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่งของยีน *SSI* และ *SSI/a* และ (ค) เครื่องหมายโมเลกุลที่ยึดติดกับยีน *SSI/a* ในวิถีสังเคราะห์อะไมโลเพคติน และมีดีเอ็นเอของข้าวพันธุ์รับ กข41 (P) ข้าวพันธุ์ให้ สายพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 ไม้ไผ่ต่อช่วงแสง ต้นเดี่ยว (D) และประชากร BC_1F_2 (เลนที่ 1-8) เป็นดีเอ็นเอแม่พิมพ์ โดย M คือ แถบดีเอ็นเอมาตรฐาน 100 bp

การวิเคราะห์หาค่าสมการการถดถอยหลายตำแหน่งด้วยวิธี multiple regression ใช้การเลือกตัวแปรโดยวิธีเพิ่มตัวแปรอิสระแบบขั้นตอน (stepwise regression) ของเครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่ง และยึดติดกับยีนในวิถีสังเคราะห์อะไมโลส และอะไมโลเพคติน ทั้งหมดจำนวน 4 ยีน ได้แก่ *Wx*, *SSI*, *SSI/a* และ *SSI/a* ผลการวิเคราะห์ พบว่า เครื่องหมายโมเลกุลที่สัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลสที่ดีที่สุด คือ เครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่งของยีน *Wx* โดยมีความสัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลสมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$) และมีค่า R-square เท่ากับ 0.8298

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของอิทธิพลความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องหมายโมเลกุลและปริมาณอะไมโลสในประชากร BC₁F₂

เครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่งของยีน และยึดติดกับยีน/ยีน	จีโนไทป์	จำนวนของประชากร BC ₁ F ₂	ฟีโนไทป์ ปริมาณอะไมโลส	
			Mean	p-value
Wx	RDRD	25	27.13 ^a	0.0007*
	RDKM	45	24.74 ^b	
	KMKM	30	17.35 ^c	
SSI	RDRD	24	26.37 ^a	0.0001*
	RDKM	39	24.59 ^b	
	KMKM	37	19.48 ^b	
SSIIIa	RDRD	36	22.78	0.512 ^{ns}
	RDKM	44	23.65	
	KMKM	26	22.57	
SSIVa	RDRD	19	21.91	0.262 ^{ns}
	RDKM	58	23.18	
	KMKM	23	23.98	

*แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ, ^{ns}ไม่แตกต่างทางสถิติ, RDRD = homozygous ของข้าวพันธุ์รับ กข41, RDKM = heterozygous ของข้าวพันธุ์รับ กข41 และข้าวพันธุ์ให้ สายพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 ไม่ไวต่อช่วงแสง ต้นเตี้ย, KMKM = homozygous ของข้าวพันธุ์ให้ สายพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 ไม่ไวต่อช่วงแสง ต้นเตี้ย ความหมายที่มีตัวอักษรเดียวกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05 ANOVA followed by Tukey test).

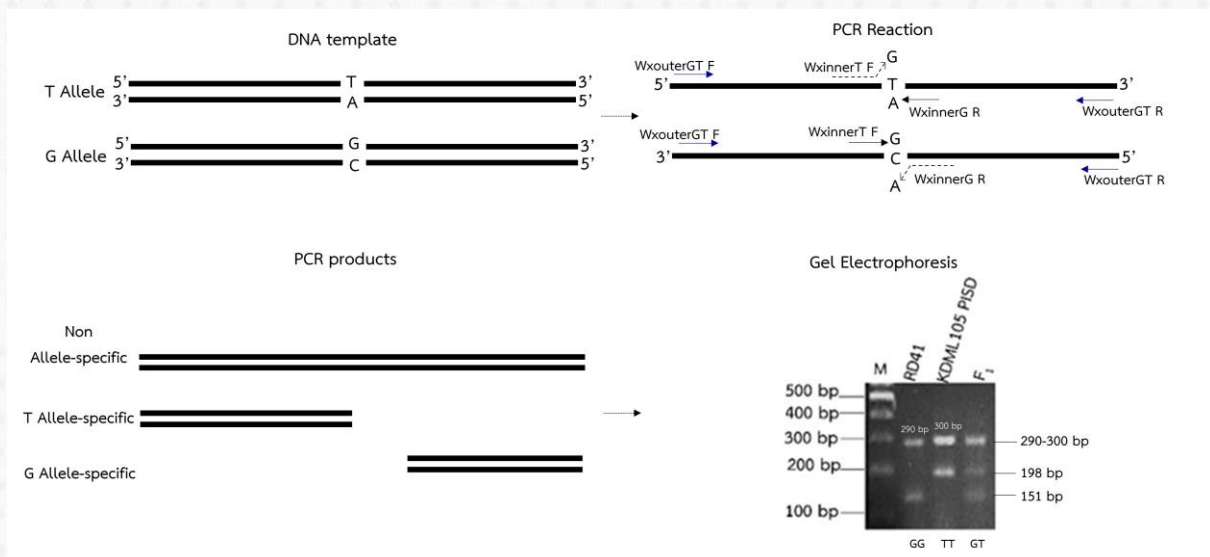
3.4 ตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องหมายโมเลกุล ที่สัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลส

เครื่องหมายโมเลกุลที่สัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลสที่สุด คือเครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่งของยีน Wx โดยได้ทำการออกแบบเครื่องหมายโมเลกุลในตำแหน่ง 5' splice site ของ intron 1 ตำแหน่งที่ 1,765,761 ที่เกิดการกลายพันธุ์แบบ nonsynonymous เป็นสลับ G/T โดยตำแหน่งนี้เมื่อมีเบสเป็น G จะเป็นอัลลีล Wx^{lv} และ Wx^o และมีเบสเป็น T จะเป็นอัลลีล Wx^b ส่วน Wx^{lv} และ Wx^o จะมีความแตกต่างกันของเบสในตำแหน่งเบสที่ 115 (Ex10-115) ใน exon 10 โดยอัลลีล Wx^{lv} จะมีเบสเป็น C ส่วน Wx^o จะมีเบสเป็น T ซึ่งจากการกลายพันธุ์แบบ nonsynonymous เป็นสลับ C/T นี้ทำให้ข้าวมีปริมาณอะไมโลสลดลงจาก 27.81 เป็น 26.51 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำแถบ DNA จากการวิเคราะห์ด้วยเจลอิเล็กโทรโฟรีซิสขนาด 290 bp, 300 bp, 198 bp และ 151 bp ไปตรวจสอบลำดับนิวคลีโอไทด์ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับลำดับเบสที่ได้จากการอ่านลำดับดีเอ็นเอทั้งจีโนมของยีน Wx บริเวณที่ออกแบบเครื่องหมายโมเลกุลไว้ของข้าวพันธุ์รับและข้าวพันธุ์ให้ พบว่า ลำดับนิวคลีโอไทด์ของเครื่องหมายโมเลกุลตรงตามลำดับเบสของยีน Wx บริเวณที่ออกแบบไว้ โดยข้าวพันธุ์รับ กข41 (Wx^{lv}) มีขนาด 290 bp และ 151 bp ข้าวพันธุ์ให้ สายพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 ไม่ไวต่อช่วงแสง ต้นเตี้ย (Wx^b) มีขนาด 300 bp และ 198 bp และในรุ่นลูก F₁ มีขนาด 290-300 bp, 198 bp และ 151 bp (ภาพที่ 3) จึงสามารถจำแนกอัลลีล Wx^{lv} ออกจาก Wx^b ในข้าวประชากรนี้ได้

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่ายของความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องหมายโมเลกุลและปริมาณอะไมโลส ในประชากร BC₁F₂

เครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่งของยีน และยีนติดต่อกับยีน/ยีน	โครโมโซม	R ²	R ² (Percentage)	p-value
<i>Wx</i>	6	0.8298	82.98	<0.0002***
<i>SSI</i>	6	0.4644	46.44	0.0006***
<i>SSIIIa</i>	8	0.00001754	0.001	0.967 ^{ns}
<i>SSIVa</i>	1	0.02638	2.638	0.106 ^{ns}

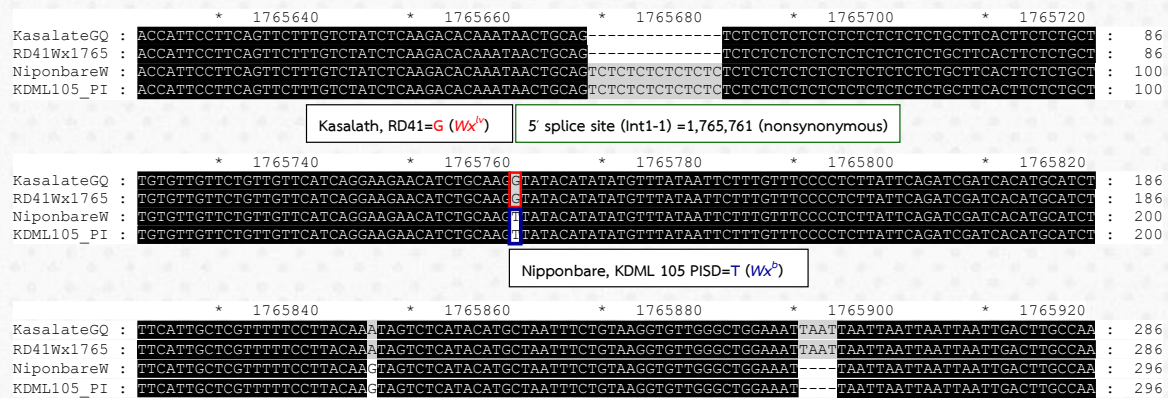
*** แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง, ^{ns}ไม่แตกต่างทางสถิติ, R² = Regression coefficient



ภาพที่ 3 ผลการตรวจสอบสนิปส์ของยีน *Wx* อัลลีล Wx^V/Wx^b โดยใช้วิธี tetra-primer ARMS-PCR โดยไพรเมอร์คู่แรก ได้แก่ WxouterGT F และ WxouterGT R แสดงแถบตีเอ็นเอจากผลผลิต PCR ของข้าวพันธุ์รับ กข41 (290 bp) และ ข้าวพันธุ์ให้ สายพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 ไม่ไวต่อช่วงแสง ต้นเตี้ย (300 bp) ไพรเมอร์ ได้แก่ WxouterGT F และ WxinnerG R แสดงแถบตีเอ็นเอจากผลผลิต PCR ของข้าวพันธุ์รับ กข41 ที่มีอัลลีล GG (151 bp) ไพรเมอร์ ได้แก่ WxinnerT F และ WxouterGT R แสดงแถบตีเอ็นเอจากผลผลิต PCR ของข้าวพันธุ์ให้ สายพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 ไม่ไวต่อช่วงแสง ต้นเตี้ย ที่มีอัลลีล TT (198 bp) และไพรเมอร์คู่แรก ได้แก่ WxouterGT F และ WxouterGT R ไพรเมอร์คู่ใน WxinnerT และ WxinnerG R แสดงแถบตีเอ็นเอจากผลผลิต PCR ของลูกผสมชั่วแรก F₁ (290-300 bp, 151 bp, 198 bp)

นอกจากนี้เมื่อพิสูจน์ลำดับเบสของยีน *Wx* ที่สัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลส ของข้าวพันธุ์รับ และพันธุ์ให้ จากการอ่านลำดับเบสทั้งจีโนมกับฐานข้อมูลลำดับเบสของข้าว พบว่า ลำดับเบสข้าวพันธุ์รับ กข41 เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์ข้าว Kasalath Accession no. GQ151062.1 ฐานข้อมูล GenBank (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov>) มีความเหมือน 99 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากการรายงานของ Pandey และคณะ [9] ข้าวพันธุ์ Kasalath มีอัลลีลเป็น Wx^V ที่ตำแหน่ง 5' splice site ใน intron 1 ตำแหน่งที่ 1,765,761 ของยีน *Wx* เป็นเบส G เช่นเดียวกับ ข้าวพันธุ์รับ กข41 ดังนั้น ข้าวพันธุ์รับ กข41

เป็นอัลลิล Wx^L และลำดับเบสของข้าวพันธุ์ให้ สายพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 ไม่ไวต่อช่วงแสง ต้นเตี้ย เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์ Nipponbare ฐานข้อมูล Gramene (<http://www.gramene.org>) พบว่า มีความเหมือนกับข้าวพันธุ์ Nipponbare 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งข้าวพันธุ์ Nipponbare มีอัลลิลเป็น Wx^b โดยที่ตำแหน่ง 5' splice site ใน intron 1 ตำแหน่งที่ 1,765,761 ของยีน Wx เป็นเบส T เช่นเดียวกับ ข้าวพันธุ์ให้ สายพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 ไม่ไวต่อช่วงแสง ต้นเตี้ย ดังนั้น ข้าวพันธุ์ให้ สายพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 ไม่ไวต่อช่วงแสง ต้นเตี้ย เป็นอัลลิล Wx^b (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 ผลการเปรียบเทียบลำดับเบสของยีน Wx ในข้าวพันธุ์รับ กข41 ที่มีอัลลิล Wx^L และข้าวพันธุ์ให้ สายพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 ไม่ไวต่อช่วงแสง ต้นเตี้ย ที่มีอัลลิล Wx^b ที่ได้จากการอ่านลำดับเบสทั้งจีโนม เทียบกับลำดับเบสในข้าวพันธุ์ Kasalath ที่มีอัลลิล Wx^L ของฐานข้อมูล GenBank และข้าวพันธุ์ Nipponbare ที่มีอัลลิล Wx^b ของฐานข้อมูล Gramene

อภิปรายผลการทดลอง

ในงานทดลองนี้ได้พัฒนาเครื่องหมายโมกุลที่เป็นส่วนหนึ่งของยีน และยึดติดกันยีนในวิถีสังเคราะห์ อะไมโลส และอะไมโลเพคติน ที่สามารถแยกความแตกต่างทางพันธุกรรมระหว่างข้าวพันธุ์รับ กข41 ที่มีอัลลิล Wx^L ออกจากข้าวพันธุ์ให้ สายพันธุ์ ขาวดอกมะลิ 105 ไม่ไวต่อช่วงแสง ต้นเตี้ย ที่มีอัลลิล Wx^b ได้ เมื่อตรวจสอบในประชากร BC_1F_2 และหาความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องหมายโมเลกุล กับปริมาณอะไมโลส พบว่า เครื่องหมายโมเลกุลที่สัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลส ดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$) และมีค่า R-square เท่ากับ 0.8298 คือเครื่องหมายโมกุลที่เป็นส่วนหนึ่งของยีน Wx ในวิถีสังเคราะห์อะไมโลส ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่ายีนหลักที่ควบคุมการสังเคราะห์อะไมโลส คือยีน Wx [14] แพลรหัส (translation) ได้ผลิตเป็นเอนไซม์ Granule bound starch synthase (GBSS) มีหน้าที่ในการสังเคราะห์อะไมโลสในเอนโดสเปิร์มของเมล็ดข้าว [4] [5] ส่วนเครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่งของยีน SSI และ SSI/a และเครื่องหมายโมเลกุลที่ยึดติดกับยีน $SSIIIa$ ในวิถีสังเคราะห์อะไมโลเพคติน เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องหมายโมเลกุล กับปริมาณอะไมโลส ด้วยวิธี multiple regression ใช้การเลือกตัวแปรโดยวิธี stepwise regression พบว่าเครื่องหมายโมเลกุล ทั้ง 3 เครื่องหมาย ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลส ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Pandey และคณะ [9] ที่ศึกษาเกี่ยวกับไอโซฟอร์มต่าง ๆ ของเอนไซม์ สำหรับการสังเคราะห์แป้ง ในการควบคุมปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพคตินในข้าว โดยเอนไซม์ต่าง ๆ ในวิถีสังเคราะห์แป้งทำหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยา 4 ขั้นตอน ได้แก่ ADP-Glc pyrophosphorylase (AGPase), soluble starch synthase (SS), starch branching enzymes (SBE) and starch debranching enzymes (DBE) ควบคุมการสังเคราะห์อะไมโลเพคติน (amylopectin) ในขณะที่เอนไซม์กลุ่ม granule bound starch synthase-I (GBSS-I) เป็นเอนไซม์กลุ่มที่ควบคุมการสังเคราะห์อะไมโลส ในเอนโดสเปิร์มของเมล็ดข้าว

4. บทสรุป

จากการหาความแตกต่างของตำแหน่งสนิปส์ (SNP) และ อินเดล (InDel) ที่เกิดการกลายพันธุ์แบบ nonsynonymous ของลำดับดีเอ็นเอของจีโนมทั้งหมดด้วยเทคโนโลยี NGS ในข้าวพันธุ์รับ กข41 และข้าวพันธุ์ให้ สายพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ไม่ไวต่อช่วงแสง ต้นเตี้ย พบความแตกต่างของยีนในวิถีสังเคราะห์อะไมโลส จำนวนหนึ่งยีน คือ Wx และยีนในวิถีสังเคราะห์อะไมโลสเพคติน จำนวน 3 ยีน ได้แก่ SSI , $SSIIIa$ และ $SSIVa$ เมื่อออกแบบเครื่องหมายโมเลกุลของทั้ง 4 ยีนนี้ สามารถแยกความแตกต่างระหว่างข้าวพันธุ์รับที่มีอัลลีล Wx^V กับข้าวพันธุ์ให้ที่มีอัลลีล Wx^D และลูกผสมชั่วแรก (F_1) ได้ชัดเจน เมื่อวิเคราะห์ด้วยสมการการวิเคราะห์ถดถอย (regression analysis) โดยวิธี simple regression พบว่า เครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่งยีน Wx และเครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่งของยีน SSI มีความสัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลสอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$) ส่วนเครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่งของยีน $SSIVa$ และ เครื่องหมายโมเลกุลที่ยึดติดกับยีน $SSIIIa$ ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลส ($P > 0.01$) จากนั้นวิเคราะห์หาค่าสมการการถดถอยหลายตำแหน่งด้วยวิธี multiple regression ใช้การเลือกตัวแปรโดยวิธี stepwise regression ในเครื่องหมายโมเลกุลของยีน Wx , SSI , $SSIIIa$ และ $SSIVa$ กับปริมาณอะไมโลส พบว่า เครื่องหมายโมเลกุลที่สัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลสที่ดีที่สุด คือ เครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่งของยีน Wx โดยมีความสัมพันธ์กับปริมาณอะไมโลสมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P < 0.01$) และมีค่า R-square เท่ากับ 0.8298

ดังนั้นสามารถใช้เครื่องหมายโมเลกุลที่เป็นส่วนหนึ่งของยีน Wx ในวิถีสังเคราะห์อะไมโลส ในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวประชากรนี้ต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณแหล่งทุน สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) สนับสนุนสายพันธุ์ที่ได้จากโครงการและกรรมกรข้าว อนุเคราะห์พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการศึกษา และ หน่วยความเป็นเลิศด้านการปรับปรุงพันธุ์ข้าว มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ทำให้มีงานวิจัยและพัฒนาปรับปรุงพันธุ์ข้าวที่มีประโยชน์ต่อเกษตรกรไทย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (20 พฤษภาคม 2566). สรุปภาวะการผลิต การตลาด และราคาในประเทศ. สืบค้นจาก <https://www.oae.go.th/view>
- [2] BO Juliano, CM. Perez, AB. Blakeney, DT. Castillo, N. Kongseree and B. Laignelet, International co-operative testing on the amylase content of milled rice. Starch/Starke. 33(1981) 157–62.
- [3] Z. Wang, Z.L. Wu, Y.Y. Xing, F.G. Zheng, X. L. Guo, W.G. Zhang and M.M. Hong, Nucleotide sequence of rice waxy gene. Nucleic Acids Res. 18(19)(1990) 5898.
- [4] Y. Sano, Differential regulation of waxy gene expression in rice endosperm. Theor Appl Genet. 68(5)(1984) 467-473.
- [5] Z.Y. Wang, F.Q. Zheng, G.Z. Shen, J.P. Gao, D.P. Snustad, M.G. Li, J.L. Zhang and M.M. Hong, The amylose content in rice endosperm is related to the post-transcriptional regulation of the waxy gene. Plant J. 7(4)(1995) 613-622.
- [6] C. Zhang, J. Zhu, S. Chen, X. Fan, Q. Li, Y. Lu, M. Wang, H. Yu, C. Yi, S. Tang, M. Gu and Q. Liu, Wx^V , the Ancestral Allele of Rice Waxy Gene. Molecular Plant. 12(2019) 1157–1166.

- [7] N.M. Ayres, A.M. McClung, P.D. Larkin, H.F.J. Bligh, C.A. Jones and W.D. Park, Microsatellites and a single-nucleotide polymorphism differentiate apparent amylose classes in an extended pedigree of US rice germ plasm. *Theor. Appl. Genet.* 94(6)(1997) 773-781.
- [8] MH Chen, LF Huang, HM. Li, YR. Chen and SM. Yu, Signal peptide-dependent targeting of a rice α -amylase and cargo proteins to plastids and extracellular compartments of plant cells. *Plant Physiol.* 135(2004) 1367-77.
- [9] M.K. Pandey, N.S. Rani, M.S. Madhav, R.M. Sundaram, G.S. Varaprasad, A.K.P. Sivaranjani and A. Kumar, Different isoforms of starch-synthesizing enzymes controlling amylose and amylopectin content in rice (*Oryza sativa* L.). *Biotechnology advances.* 30(6)(2012) 1697-1706.
- [10] Y. Xu and J.H. Crouch, Marker-assisted selection in plant breeding: From publications to practice. *Crop Sci.* 48(2)(2008) 391-407.
- [11] สุรียพร เกตุงาม. การปรับปรุงพันธุ์พืชระดับโมเลกุล. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, อุบลราชธานี. 2557.
- [12] กรมการข้าว. (20 พฤษภาคม 2566). องค์ความรู้เรื่องข้าว พันธุ์ข้าว กข41. สืบค้นจาก <http://www.ricethailand.go.th/rkb3/title-index.php-file=content.php&id=121.htm>
- [13] สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (25 พฤศจิกายน 2565). มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 4000-2560 THAI AGRICULTURAL STANDARD TAS 4000-2017: ข้าวหอมมะลิไทย THAI HOM MALI RICE. สืบค้นจาก https://www.acfs.go.th/standard/download/Thai-Hom-Mali_Rice-60.pdf
- [14] K. Itoh, H. Ozaki, K. Okada, H. Hori, Y. Takeda and T. Mitsui, Introduction of *Wx* transgene into rice *wx* mutants leads to both high-and low-amylose rice. *Plant Cell Physiol.* 44(5)(2003) 473-480.

การพัฒนาระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ระยะไกลด้วยสมาร์ทโฟน Development of Remote Computer Control System Using Smartphone

สุเมธ บุญยี่ต^{1*} เอกชัย แซ่จิ่ง¹ และ สนั่น การค้า¹

¹สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

*E-mail: sumet.bo@muti.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ระยะไกลด้วยสมาร์ทโฟน มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนา ประเมินคุณภาพ ประเมินประสิทธิภาพ และประเมินความพึงพอใจที่มีต่อระบบควบคุมการทำงานสำหรับห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ด้วยสมาร์ทโฟน โดยวิธีการวิจัยและพัฒนาซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา การกำหนดปัญหา การออกแบบโครงสร้างการทำงานของระบบ การออกแบบและประยุกต์ใช้อินเตอร์เน็ตออฟติงส์ (IoT) และการทดสอบและประเมินผล ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องมือการวิจัย ได้แก่ ระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ด้วยสมาร์ทโฟน แบบประเมินคุณภาพระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ด้วยสมาร์ทโฟน และแบบประเมินความพึงพอใจที่มีต่อระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ด้วยสมาร์ทโฟน และใช้สถิติในการวิจัย คือ ค่าสถิติร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

ผลการวิจัยพบว่า การพัฒนาระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ระยะไกลด้วยสมาร์ทโฟน ตามแนวความคิดการพัฒนาระบบด้วยเทคโนโลยี Internet of Things (IoT) ด้วยแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนในการควบคุมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต (Internet) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 การประเมินคุณภาพระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ระยะไกลด้วยสมาร์ทโฟน จำแนกเป็นรายด้าน พบว่า ด้านการทำงานของระบบ (Function Test) อยู่ในระดับความเหมาะสมมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.20 ($\bar{X} = 4.20$, S.D. = 0.72) ด้านการตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ระบบ (Function Requirement) อยู่ในระดับความเหมาะสมมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.48 ($\bar{X} = 4.48$, S.D. = 0.55) ด้านความเร็วของระบบการทำงาน (Performance Test) อยู่ในระดับความเหมาะสมมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.46 ($\bar{X} = 4.46$, S.D. = 0.50) และด้านการใช้งานระบบ (Usability Test) อยู่ในระดับความเหมาะสมมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.00 ($\bar{X} = 4.00$, S.D. = 0.77) การทดสอบประสิทธิภาพระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ด้วยสมาร์ทโฟน พบว่า การทดสอบประสิทธิภาพการเปิด-ปิด การทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลการคำนวณค่าไฟ การทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลระยะเวลาการใช้งาน การทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลแรงดันไฟฟ้า (Volts) การทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลกระแสไฟฟ้า (Corrent) และการทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลกำลังไฟฟ้า (Power) มีประสิทธิภาพเป็นไปตามที่กำหนด คือ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 และผลการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ระยะไกลด้วยสมาร์ทโฟนอยู่ในระดับพึงพอใจมาก ($\bar{X} = 4.13$, S.D. = 0.76)

คำสำคัญ: ระบบการควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ IoT แอปพลิเคชัน สมาร์ทโฟน

Abstract

The research entitled “The Development of Computer Operation Remote Control System by Smartphones” had its purposes as: to develop assess the quality assess the efficiency and assess the satisfaction computer operation remote control system by smartphone for computer labs, Research and development methods were consisted of problem analysis, problem definition, designing structure of operating system, designing and applying of internet of things (IoT), testing and evaluation. Research instruments were as follows: computer operation remote control system by smartphone, quality assessment form for computer operation remote control system by smartphone and satisfaction survey for computer operation remote control system by smartphone. Statistics used in this research were percentage, mean (\bar{X}) and standard deviation (S.D.).

The study revealed that: the development of computer operation remote control system by smartphone according to concepts on system develop with technology of Internet of Things (IoT) by smartphone application to control computer equipment via internet to enhance efficiency on controlling of computer labs for having its stipulated criteria not less than 80%; quality assessment of computer operation remote control system by smartphone, classified by aspects, found that: function test aspect was in high level of appropriateness at mean of 4.20 ($\bar{X} = 4.20$, S.D. = 0.72), function requirement aspect was in high level of appropriateness at mean of 4.48 ($\bar{X} = 4.48$, S.D. = 0.55), performance test aspect was in high level of appropriateness at mean of 4.46 ($\bar{X} = 4.46$, S.D. = 0.50) and usability test was in high level of appropriateness at mean of 4.00 ($\bar{X} = 4.00$, S.D. = 0.77); testing efficiency of computer operation remote control system by smartphone found that: on-off testing, testing on displaying of electricity cost, testing on displaying of usage period, testing on displaying of volts, testing on displaying of current and testing on displaying of power: was in stipulated criteria i.e. not less than 80%; and assessment result of the satisfaction on computer operation remote control system by smartphone was in high level ($\bar{X} = 4.13$, S.D. = 0.76).

Keywords: computer operation remote control system by smartphone, IoT, smartphone application.

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้ากลายเป็นสิ่งจำเป็นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ในชีวิตประจำวัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุปกรณ์ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศที่ได้เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งในการสื่อสารและการทำงาน เมื่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจึงจำเป็นต้องมีการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอต่อการใช้งาน จากการตรวจสอบการใช้พลังงาน พบว่า การใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดเป็นอันดับต้น ๆ นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้คอมพิวเตอร์ในห้องปฏิบัติการมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด เนื่องจากเวลาที่มีการจัดการเรียนการสอนจำเป็นต้อง เปิด-ปิด ใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์จำนวนมากในเวลาเดียวกัน ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าปริมาณมากในเวลานั้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

จากปัญหาการใช้งานของเครื่องคอมพิวเตอร์ในห้องปฏิบัติการพบว่า บ่อยครั้งหลังจากเสร็จสิ้นการเรียนการสอนดังกล่าวแล้ว เครื่องคอมพิวเตอร์มักจะถูกเปิดเครื่องทิ้งไว้ ส่งผลให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยเปล่าประโยชน์ เนื่องจากปัจจุบันกระบวนการควบคุมเครื่องคอมพิวเตอร์ภายในห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ ใช้เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการเป็นผู้ดูแลตรวจสอบการใช้งานด้วยวิธีการเดินตรวจสอบทีละเครื่อง และถ้ามีห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์จำนวนมาก ทำให้เกิดความล่าช้าในการตรวจสอบ จึงเป็นแนวคิดที่ต้องมีการจัดหาระบบการตรวจสอบควบคุมการทำงานสำหรับห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์เข้ามาควบคุม

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ศึกษาวิธีการใช้งานระบบควบคุมห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ผ่านสมาร์ตโฟน เพื่อทดสอบการใช้งานโดยไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้งานหลักของระบบเครือข่ายในห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ การประยุกต์ใช้อินเทอร์เน็ตเพื่อสรรพสิ่ง (Internet Of Things) เข้ามาช่วยในการควบคุมห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ โดยผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบได้ว่ามีการแสดงสถานะของเครื่องคอมพิวเตอร์ เปิดหรือปิดอยู่ผ่านสมาร์ตโฟน ผู้ใช้งานสามารถควบคุมการเปิดหรือปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตภายนอกเครือข่ายด้วยสมาร์ตโฟนได้ทุกที่ทุกที โดยสามารถลดขั้นตอนการเดินสำรวจห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ด้วยเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ได้

1.2 วัตถุประสงค์ในการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อพัฒนาระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ระยะไกลสำหรับห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ด้วยสมาร์ตโฟน
- 1.2.2 เพื่อประเมินคุณภาพระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ระยะไกลสำหรับห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ด้วยสมาร์ตโฟน
- 1.2.3 เพื่อประเมินประสิทธิภาพระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ระยะไกลสำหรับห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ด้วยสมาร์ตโฟน
- 1.2.4 เพื่อประเมินความพึงพอใจที่มีต่อระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ระยะไกลสำหรับห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ด้วยสมาร์ตโฟน

1.3 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการดำเนินงานวิจัยให้บรรลุวัตถุประสงค์ในระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ระยะไกลสำหรับห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ด้วยอุปกรณ์สมาร์ตโฟน ผู้วิจัยได้ศึกษาบทความ ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [1-7] โดยประกอบไปด้วย

- 1.3.1 เทคโนโลยี Internet of Things (IoT)
- 1.3.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบโมดูลไวไฟ (NodeMCU ESP32)
- 1.3.3 Application Bylnk
- 1.3.4 โปรแกรม Arduino IDE
- 1.3.5 Relay Module
- 1.3.6 อุปกรณ์วัดค่าพลังงานไฟฟ้า (PZEM-004T) และ CT Sencer
- 1.3.7 การคำนวณพลังงานไฟฟ้า

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาเรื่อง การพัฒนาระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ระยะไกลด้วยสมาร์ตโฟน ผู้วิจัยได้ดำเนินการแบ่งขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย ดังต่อไปนี้

2.1 วิเคราะห์ปัญหา

2.1.1 กำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองหาประสิทธิภาพและเพื่อการควบคุมที่สะดวก จึงได้ออกแบบและพัฒนาขึ้น ประชากรกลุ่มตัวอย่าง คือ เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ผู้วิจัยได้เก็บสถิติประชากรกลุ่มตัวอย่าง เพื่อดูว่าหลังจากนักศึกษาใช้งานในแต่ละวัน มีการใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์แล้วไม่ปิดเครื่องมากน้อยเพียงใดในแต่ละห้อง

2.1.2 การพัฒนาและเครื่องมือในการวิจัย

1) กำหนดปัญหาของระบบงานเดิม และศึกษาความเป็นไปได้ของระบบงานใหม่ 2) การวิเคราะห์ระบบ กำหนดขอบเขตของการพัฒนา แนวทางและเครื่องมือที่ใช้ในการควบคุม 3) ออกแบบการทำงานของระบบ โดยกำหนดการพัฒนาส่วนประกอบตามหน้าที่การทำงาน 4) พัฒนาประยุกต์ใช้อุปกรณ์ IoT พัฒนาชุดคำสั่ง เพื่อควบคุมระบบการทำงานผ่านแอปพลิเคชัน 5) การทดสอบประสิทธิภาพการควบคุมการเปิดและปิดเครื่อง 6) การนำระบบไปใช้งาน 7) การประเมินผลการใช้งาน ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

2.2 การกำหนดปัญหา

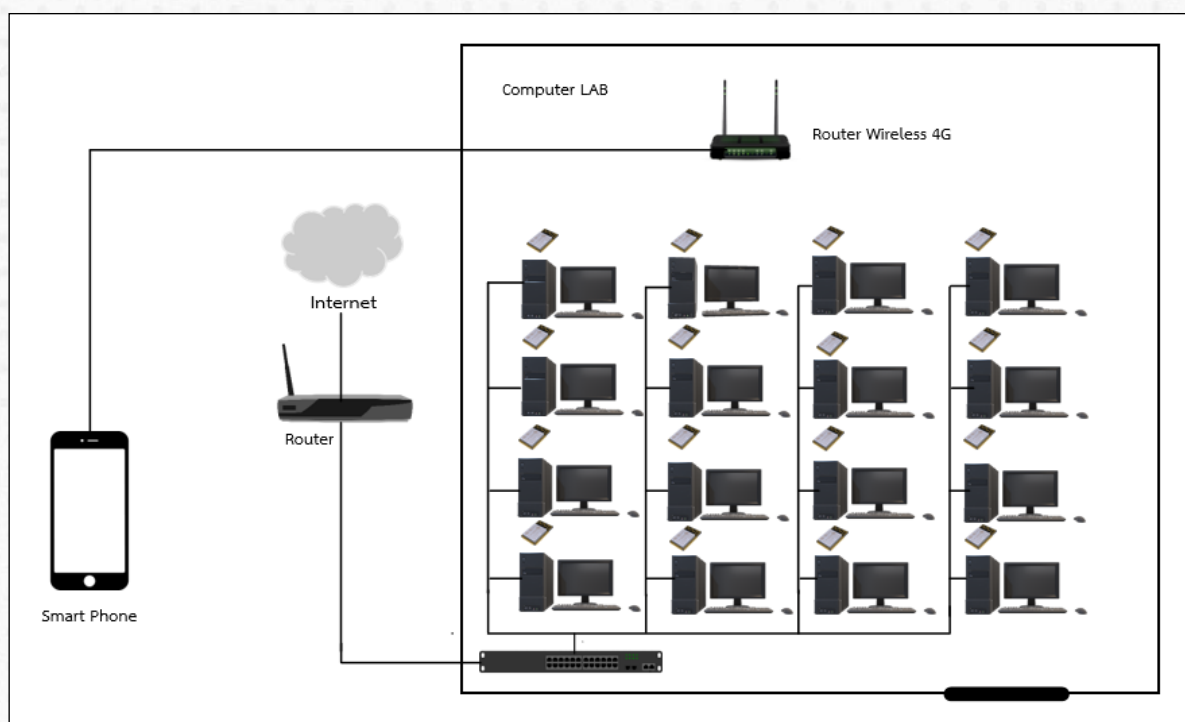
2.2.1 กระบวนการทำงานแบบเดิม

กระบวนการควบคุมห้องปฏิบัติการแบบเดิมคือ การที่ผู้ดูแลระบบเข้าไปเปิดและปิดเครื่องเองตามตารางการเรียนการสอน จากการควบคุมการ เปิด-ปิด เครื่องแบบเดิมของภายในห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์เป็นการควบคุมการเปิดและปิดเครื่องทุกครั้งทั้งก่อนและหลังการใช้งาน โดยเป็นวิธีการที่ไม่สะดวกในเวลาที่กระชั้นชิดและมีการใช้งานพร้อม ๆ กัน ทุกห้องเมื่อมีการใช้งานเสร็จผู้ใช้ห้องไม่ได้ปิดเครื่องหลังการใช้งาน ผู้ดูแลจึงต้องไปตรวจเช็คหลังการใช้งานทุกครั้งและไม่สามารถที่จะทราบได้เลยว่าการเปิดเครื่องมีการใช้งานด้วยหรือไม่ ซึ่งผู้ดูแลต้องเข้าไปปิดเครื่องทุกเครื่องในห้องปฏิบัติการด้วย

ตัวเอง ดังนั้น สิ่งที่เกิดขึ้นก็คือหากมีเครื่องคอมพิวเตอร์เปิดทิ้งไว้โดยไม่มีการใช้งานจำนวนมากจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน หากมีการเรียนการสอนและการใช้งานเครื่องติดต่อกันทั้งวันก็จะทำให้เครื่องเสื่อมสภาพเร็วมากขึ้น

2.2.2 ศึกษาความเป็นไปได้ของการพัฒนาระบบ

จากการศึกษาการควบคุมเปิดและปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ พบว่า การบริหารจัดการยังมีส่วนที่ต้องพัฒนาให้สอดคล้องกับระบบเครือข่ายของหน่วยงานนั้นและจะติดปัญหาการควบคุมการเข้าใช้เครือข่ายจากภายนอกเข้ามาภายใน หรือ แนวคิด Wake-on-LAN เป็นแนวคิดอีกวิธี แต่จะใช้ได้ก็ต่อเมื่อเครื่องคอมพิวเตอร์ต่อสายเข้ากับเราเตอร์หรือสวิตช์ฮับ และอาจจะต้องได้รับการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตด้วย เนื่องจากระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตภายในห้องปฏิบัติการจำเป็นต้องใช้การพิสูจน์ตัวตนการเข้าใช้งานและเครื่องคอมพิวเตอร์ต้องเชื่อมต่อกับการ์ด LAN ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดด้วยการนำวิธีการควบคุมผ่านอุปกรณ์ IoT รวมถึงการตรวจสอบสถานะของเครื่องเปิดหรือปิดอยู่ จึงไม่มีผลกระทบต่อระบบเครือข่าย ดังภาพ



ภาพที่ 2 แนวคิดการพัฒนาระบบควบคุมคอมพิวเตอร์ด้วยสมาร์ทโฟน

2.3 การออกแบบโครงสร้างการทำงานระบบ

แนวคิดการออกแบบและพัฒนาระบบใช้วิธีการออกแบบโครงสร้างการทำงานของการควบคุมคอมพิวเตอร์ โดยการประยุกต์ใช้อินเทอร์เน็ตออฟติงส์สำหรับการควบคุมห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ โดยวิธีการกำหนดให้เครื่องคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องในห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ติดตั้ง NodeMCU ESP32 แบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

2.3.1 พัฒนาชุดคำสั่ง Andruno IDE สำหรับการสั่งควบคุม NodeMCU ESP32 โดยสั่งเปิด-ปิด Relay Module โดยเป็นการเปิด-ปิด จากสาย Power Switch บนเมนบอร์ดคอมพิวเตอร์

2.3.2 พัฒนาคำสั่งเชื่อมต่อการสื่อสาร Application Bynk สำหรับการสั่งควบคุมไปยัง NodeMCU ESP32 ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตของ Router Wireless 4G เพื่อสั่งควบคุม Relay และ Module Pzem004t โดยใช้ CT Sencer

ต่อคล่อมกับสายไฟ AC ในการวัดโวลต์และกระแส เมื่อมีการเปิดเครื่องจะมีค่าโวลต์และกระแสแสดงขึ้นมาผ่าน Application Blynk

2.4 การออกแบบและประยุกต์ใช้อินเทอร์เน็ทออฟติงส์

- 2.4.1 การพัฒนาออกแบบชุดคำสั่งให้ NodeMCU ESP32 (เปิด-ปิด relay)
- 2.4.2 การพัฒนาออกแบบชุดคำสั่งให้ NodeMCU ESP32 (แสดงค่ากระแสและค่านวนค่าไฟ)
- 2.4.3 สร้างการเชื่อมต่อแอปพลิเคชัน Blynk
- 2.4.4 การออกแบบและติดตั้งฮาร์ดแวร์ NodeMCU ESP32 กับ Relay Module และ Pzem 004t
- 2.4.5 การออกแบบโปรแกรมโค้ดคำสั่ง เพื่ออัปเดตลงบนบอร์ด NodeMCU ESP32
- 2.4.6 การตั้งค่าระบบปฏิบัติการให้รองรับการปิดเครื่อง PC แบบถูกวิธี (Shutdown)

2.5 การทดสอบและประเมินผล

2.5.1 ทฤษฎีการของระบบ

การพัฒนาระบบที่น่าเสนอ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ ดังนั้นเครื่องปลายทางทุกเครื่อง มีคุณสมบัติที่ใช้ในการทดสอบระบบเหมือนกันทุกเครื่อง ดังนี้

- 1) หน่วยประมวลผลกลาง Intel Core i5 ความเร็ว 3.0 GHz
- 2) หน่วยความจำหลัก ความจุ 8 GB
- 3) ฮาร์ดดิส ชนิด SSD ความจุ 128 GB
- 4) เมนบอร์ด ATX
- 5) Power Supply 450 Watt
- 6) Windows 10 Pro

2.5.2 ทดสอบการแสดงผลสถานะเครื่อง

ในการทดสอบระบบ จะเป็นการทดสอบการแสดงผลค่ากระแสหลังการใช้คำสั่งเปิด-เครื่อง เมื่อมีกระแสไฟเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์

- 1) ทดสอบสถานะการแสดงผลค่ากระแสที่วัดค่าได้จากเซนเซอร์ Pzem 004t แสดงผลยังสมาร์ทโฟน ครั้งละ 1 เครื่อง
- 2) ทดสอบสถานะการแสดงผลค่าเป็น 0 เมื่อไม่มีค่ากระแสมายังเครื่องคอมพิวเตอร์ เมื่อปิดที่ละ 1 เครื่องจนครบ 10 เครื่อง

2.5.3 การประเมินคุณภาพการทำงานของคอมพิวเตอร์โดยผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ จำนวน 5 คน

2.5.4 ทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพระบบเปิด-ปิดเครื่องคอมพิวเตอร์

ในการทดสอบระบบจะมีการทดสอบเปิดและปิด โดยใช้สมาร์ทโฟน จำนวน 1 เครื่อง ในการวิจัย โดยงานวิจัยนี้ได้ทดลองสั่งเปิด-ปิด โดยการนำระบบควบคุมคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้กับห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ เครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละห้อง จำนวนเครื่องแต่ละห้องไม่เท่ากัน นำมาเปรียบเทียบระยะเวลาการเข้าไปเปิดและปิดแต่ละเครื่อง และแสดงสถานะเครื่องเปิดและปิดเพื่อแสดงประสิทธิภาพของการทำงานของระบบ ซึ่งการทดสอบจะนำผลหรือข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ ดังนี้

- 1) สั่งเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์จำนวน 1 เครื่อง 1 ครั้ง และทำการปิดเครื่องที่ 1 ครั้ง
- 2) วัดการใช้ระบบควบคุมห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์โดยคำนวณการระยะเวลาสั่ง On ที่ละ 1 เครื่องจนถึง 50 เครื่อง และสั่ง Off ที่ละ 1 เครื่อง จนถึง 50 เครื่อง

3) ตรวจสอบสถานะเครื่องเปิดหรือปิด โดยจะมีการแสดงผลจากการวัดกระแสไฟฟ้า (I) แสดงผลขึ้น เมื่อเครื่องเปิดอยู่จะมีกระแสไฟฟ้าไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์และถ้ากระแสไฟฟ้า (I) ไม่แสดงผล คือ เครื่องคอมพิวเตอร์ปิดการทำงานอยู่

2.5.5 สถิติที่ใช้ในการวัดคุณภาพ

1) ค่าสถิติร้อยละ (Percentage) มีสูตรดังนี้ [11]

$$P = \frac{f}{N} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ P แทน ร้อยละ
f แทน ความถี่ที่ต้องการแปลงให้เป็นร้อยละ
N แทน จำนวนความถี่ทั้งหมด

2) ค่าเฉลี่ย มีสูตรดังนี้ [11]

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} \quad (2)$$

เมื่อ \bar{X} แทน คะแนนเฉลี่ย
 $\sum X$ แทน ผลรวมของคะแนนทั้งหมด
n แทน จำนวนนักศึกษาในกลุ่มตัวอย่าง

3) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีสูตรดังนี้ [11]

$$S.D. = \frac{\sqrt{n\sum X^2 - (\sum X)^2}}{n(n-1)} \quad (3)$$

เมื่อ S.D. แทน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
X แทน คะแนนแต่ละตัว
n แทน จำนวนคะแนนในกลุ่ม
 \sum แทน ผลรวม

2.5.6 การประเมินความพึงพอใจระบบโดย อาจารย์ บุคลากร และเจ้าหน้าที่ ที่เกี่ยวข้อง จำนวน 7 คน

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

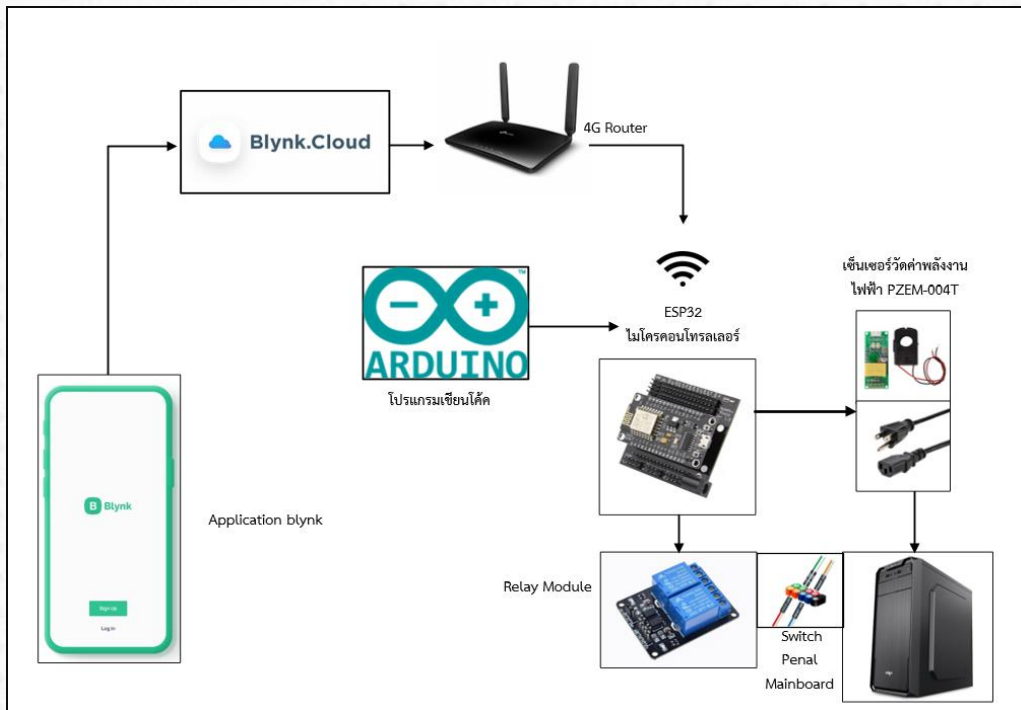
3.1 ผลการพัฒนาระบบควบคุมการทำงานคอมพิวเตอร์ระยะไกลด้วยสมาร์ตโฟน

ผลการพัฒนาระบบควบคุมการทำงานคอมพิวเตอร์ระยะไกลด้วยสมาร์ตโฟนประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ

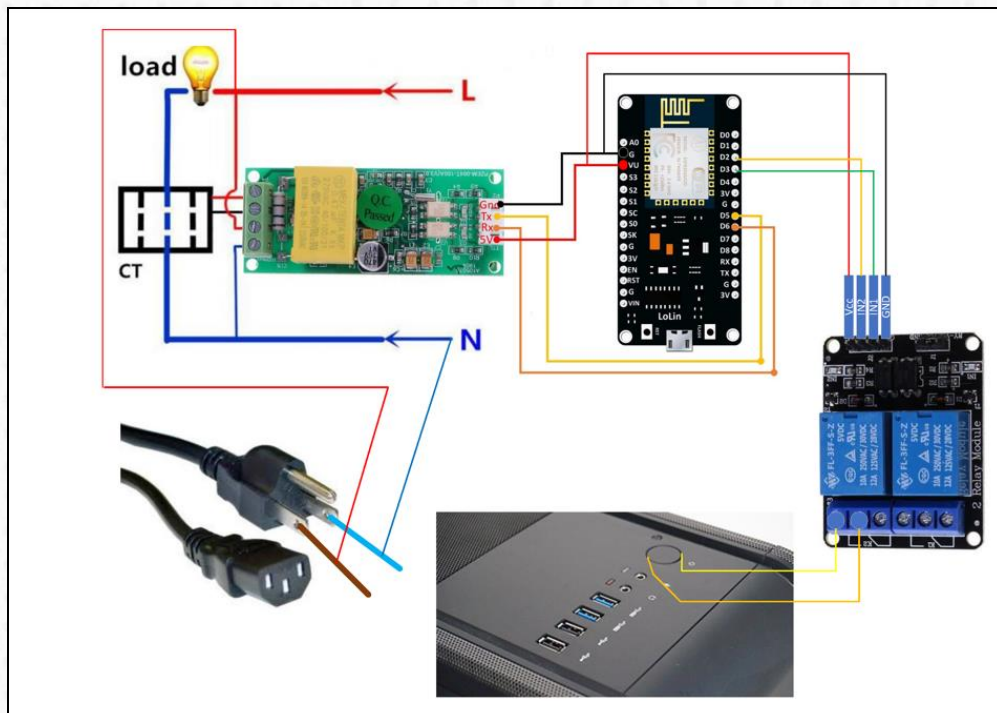
3.1.1 ส่วนของฮาร์ดแวร์

1) ติดตั้ง NodeMCU ESP32 เข้ากับ อุปกรณ์วัดพลังงานไฟฟ้า Pzem 004t และ Module Relay จะถูกติดตั้งภายในในเคสคอมพิวเตอร์ หน้าที่ Pzem 004t และ CT Sencer จะวัดแรงดันไฟฟ้า (Volts) พลังงานไฟฟ้า (Watt)

กระแสไฟฟ้า (Current) แล้วส่งค่าพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้ผ่านทางโมดูลไวไฟ NodeMCU ESP32 เพื่อมาแสดงผล ส่วนของ Module Relay จะทำหน้าที่รับคำสั่งให้เปิดปิด Power Switch เปรียบเสมือนการเอานิ้วไปกดปุ่ม ดังภาพที่ 4

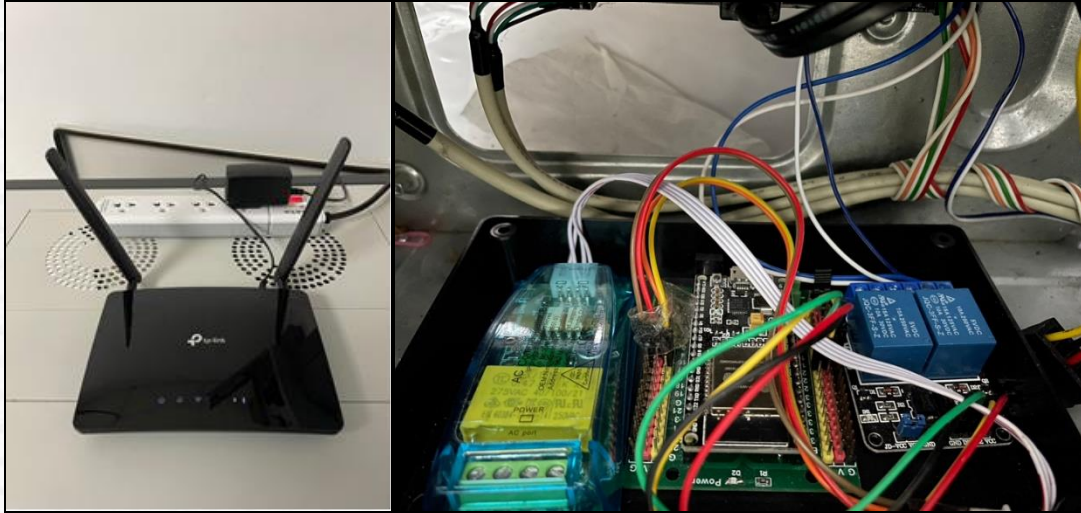


ภาพที่ 3 ภาพรวมระบบควบคุมระบบควบคุมคอมพิวเตอร์ระยะไกล



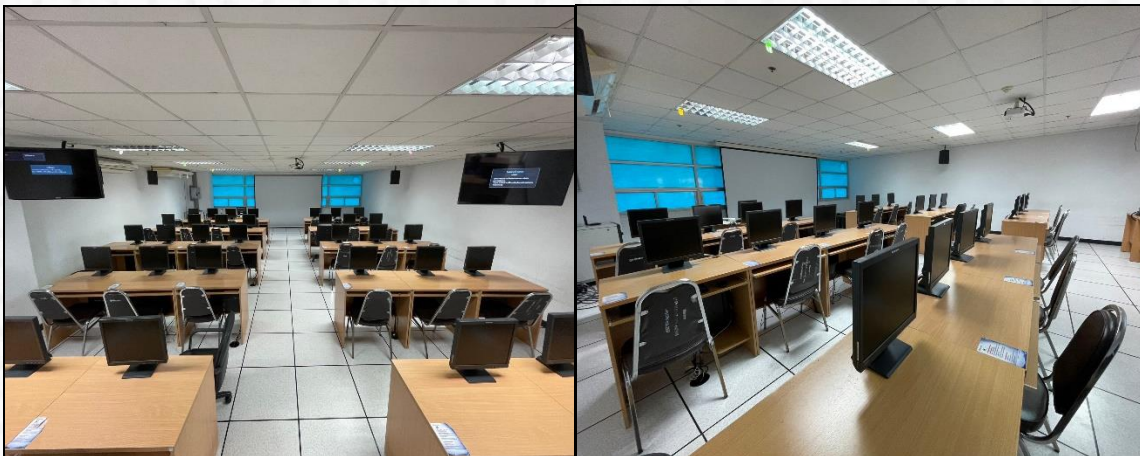
ภาพที่ 4 การแสดงเชื่อมต่อระบบฮาร์ดแวร์

2) การทดสอบระบบ โดยได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ Router Wireless 4G สำหรับกระจายสัญญาณอินเทอร์เน็ตด้วย WiFi และเชื่อมต่อระบบอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ไว้ในเคสเครื่องคอมพิวเตอร์โดยมีการใส่กล่องอุปกรณ์เพื่อรวมอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์เข้าด้วยกัน ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ระบบกับเครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องและการติดตั้ง Router Wireless 4G

3) ติดตั้งระบบและทดสอบประสิทธิภาพระบบภายในห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ทดสอบระบบและทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานภายในห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์

3.1.2 ส่วนของซอฟต์แวร์

1) การแสดงชุดโค้ดคำสั่งที่โปรแกรม Arduino IDE เพื่อความคุม NodeMCU ESP32 ในการแสดงค่าแรงดันไฟฟ้า (Volts) พลังงานไฟฟ้า (Watt) กระแสไฟฟ้า (Current) ดังภาพที่ 7



```

Edgent_ESP32_pzem | Arduino 1.8.16
File Edit Sketch Tools Help

Edgent_ESP32_pzem $ BlynkEdgent.h BlynkState.h ConfigMode.h ConfigStore.h Console.h Indicator.h

void read_pzem ()
{
  voltage = pzem.voltage();
  if (voltage != NAN) {
    Serial.print("Voltage: "); Serial.print(voltage); Serial.println("V");
    if ( voltage >= 0 )
    {
      voltage = voltage;
    }
    else
    {
      voltage = 0.0;
    }
  } else {
    Serial.println("Error reading voltage");
    voltage = 0.0;
  }
}

current = pzem.current();
if (current != NAN) {
  Serial.print("Current: "); Serial.print(current); Serial.println("A");
  if ( current >= 0 )
  {
    current = current;
  }
  else
  {
    current = 0.0;
  }
}
    
```

ภาพที่ 7 โค้ดคำสั่งในการแสดงค่าแรงดันไฟฟ้า (Volts) พลังงานไฟฟ้า (Watt) กระแสไฟฟ้า (Current)

2) การแสดงชุดโค้ดคำสั่งเพื่อควบคุม NodeMCU ESP32 สั่ง เปิดปิด Module Relay ดังภาพที่ 8



```

Edgent_ESP32_pzem | Arduino 1.8.16
File Edit Sketch Tools Help

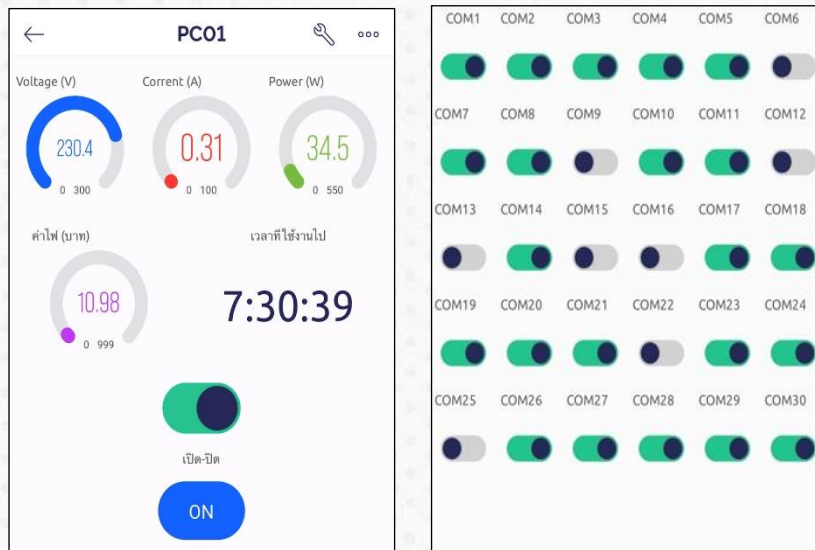
Edgent_ESP32_pzem $ BlynkEdgent.h BlynkState.h ConfigMode.h ConfigStore.h Console.h

if ( current >= 0.2 )
{
  check = 1;
}
else
{
  check = 0;
}
}

BLYNK_WRITE(V0)
{
  int relay = param.asInt();
  Serial.println("          relay = " + String(relay));
  if ( relay == 1 )
  {
    digitalWrite(out1, LOW);
    digitalWrite(out2, LOW);
    delay(2000);
    digitalWrite(out1, HIGH);
    digitalWrite(out2, HIGH);
  }
  if ( relay == 0 )
  {
    digitalWrite(out1, HIGH);
    digitalWrite(out2, HIGH);
  }
}
    
```

ภาพที่ 8 คำสั่งเพื่อควบคุม NodeMCU ESP32 สั่ง เปิดปิด Module Relay

3) การแสดงหน้าจอ Application Blynk บน Smart Phone ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 หน้าจอ Application Blynk ผ่าน Smart Phone แสดง 1 เครื่อง และหน้าจอ 30 เครื่อง

4) การแสดงผลค่าต่าง ๆ พร้อมอธิบายรายละเอียดของระบบบนหน้าจอสมาร์ทโฟนต่อ 1 อุปกรณ์

	Voltage (V) คือ ค่าแรงดันไฟฟ้า (แรงดันไฟ AC 220-230) โวลต์จะค้างเมื่อเสียบสายไฟ AC เข้ากับ Power Supply ของเครื่องคอมพิวเตอร์
	Current (A) คือ การไหลของประจุไฟฟ้า (เมื่อเปิด Switch Computer หรือ กดสั่งเปิดเครื่องผ่าน Relay Switch) จะมีค่าแสดงว่ามีกระแสไฟผ่านแสดงว่าเครื่องคอมพิวเตอร์เปิดอยู่ในสเปกเครื่องคอมพิวเตอร์เดียวกันถ้าเครื่องเปิดทำงานจะได้กระแสที่เท่ากัน
	Power (W) คือ การใช้กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่ต่อพ่วงในเครื่องคอมพิวเตอร์ ที่ได้รับจากแหล่งจ่าย (power supply)
	ค่าไฟฟ้า (บาท) คือ การคำนวณค่าหน่วยไฟฟ้ากับ Power (W) และระยะเวลาที่มีกระแสไหลผ่าน
	เวลาที่ใช้งานไป คือ ระยะเวลาที่มีกระแสไหลผ่านเมื่อเปิดสวิตคอมพิวเตอร์หรือสั่งเปิดผ่าน Module Relay ระบบจะนับเวลาต่อเนื่อง และระยะเวลาจะหยุดเมื่อไม่แสดงกระแสหรือมีการสั่งปิดเครื่อง
	ปุ่ม เปิด-ปิด สีเขียวแสดงการกดเปิด สีเทาแสดงการกดปิด และ แสดง ON กับ OFF

ภาพที่ 10 การแสดงผลสถานะการทำงานของระบบ

3.2 ผลการประเมินคุณภาพระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ระยะไกลด้วยสมาร์ทโฟน

3.2.1 ผลการประเมินคุณภาพด้านการตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ระบบ

ตารางที่ 1 ผลการประเมินคุณภาพด้านการตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ระบบ (N=5 คน)

รายการประเมิน	\bar{X}	S.D.	ระดับคุณภาพ
1. ด้านการตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ระบบ (Function Requirement)	4.48	0.55	มาก
1.1 ความสามารถในการแสดงผลข้อมูล	4.58	0.50	มากที่สุด
1.2 ความสามารถในการควบคุมการทำงาน	4.55	0.50	มากที่สุด
1.3 ความสามารถในการนำเสนอผลเนื้อหา	4.63	0.49	มากที่สุด

ตารางที่ 1 (ต่อ)

รายการประเมิน	\bar{X}	S.D.	ระดับคุณภาพ
1.4 ความสามารถในการเชื่อมโยงข้อมูล	4.50	0.51	มากที่สุด
1.5 ความสามารถในการรองรับการทำงานกับอุปกรณ์ที่หลากหลาย	4.55	0.50	มากที่สุด
1.6 ความสามารถในการนำข้อมูลมาใช้ในการบริหารจัดการ	4.37	0.71	มาก
1.7 ความสามารถในการนำข้อมูลมาใช้ในการตัดสินใจ	4.21	0.66	มาก

จากตารางที่ 1 ด้านการตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ระบบ (Function Requirement) พบว่า อยู่ในระดับความเหมาะสมมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.48 ($\bar{X} = 4.48$, S.D. = 0.55) โดยมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด คือ ความสามารถในการนำเสนอผลเนื้อหา มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 4.63 รองลงมาคือ ความสามารถในการแสดงผลข้อมูล มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.58 ความสามารถในการควบคุมการทำงาน และความสามารถในการรองรับการทำงานกับอุปกรณ์ที่หลากหลาย มีค่าเฉลี่ยเท่ากันเท่ากับ 4.55 และความสามารถในการเชื่อมโยงข้อมูล มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.50 ความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก คือ ความสามารถในการนำข้อมูลมาใช้ในการบริหารจัดการ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.37 และความสามารถในการนำข้อมูลมาใช้ในการตัดสินใจ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.21 ตามลำดับ

3.2.2 ผลการประเมินคุณภาพด้านการทำงานของระบบ

ตารางที่ 2 ผลการประเมินคุณภาพด้านการทำงานของระบบ (N=5 คน)

รายการประเมิน	\bar{X}	S.D.	ระดับคุณภาพ
2. ด้านการทำงานของระบบ (Function Test)	4.20	0.72	มาก
2.1 ความเที่ยงตรงของผลลัพธ์ที่ได้	3.95	0.77	มาก
2.2 ความน่าเชื่อถือของระบบการทำงาน	4.16	0.72	มาก
2.3 ความถูกต้องของการประมวลผลข้อมูล	4.13	0.81	มาก
2.4 ความสอดคล้องกันของระบบการทำงาน	4.18	0.77	มาก
2.5 ความสมบูรณ์ของระบบการทำงาน	4.26	0.72	มาก
2.6 ความเสถียรภาพของระบบการทำงาน	4.50	0.51	มากที่สุด

จากตารางที่ 2 ด้านการทำงานของระบบ (Function Test) พบว่า อยู่ในระดับความเหมาะสมมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.20 ($\bar{X} = 4.20$, S.D. = 0.72) โดยมีค่าความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด คือ ความเสถียรภาพของระบบการทำงาน มีค่าเฉลี่ย 4.50 ความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก คือ ความสมบูรณ์ของระบบการทำงาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.26 ความสอดคล้องกันของระบบการทำงาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.18 ความน่าเชื่อถือของระบบการทำงาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.16 ความถูกต้องของการประมวลผลข้อมูล มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.13 และความเที่ยงตรงของผลลัพธ์ที่ได้ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.95 ตามลำดับ

3.2.3 ผลการประเมินคุณภาพด้านความเร็วของระบบการทำงาน

ตารางที่ 3 ผลการประเมินคุณภาพด้านความเร็วของระบบการทำงาน (N=5 คน)

รายการประเมิน	\bar{X}	S.D.	ระดับคุณภาพ
3. ด้านความเร็วของระบบการทำงาน (Performance Test)	4.46	0.50	มาก
3.1 การเรียกใช้งานระบบมีความรวดเร็ว	4.55	0.50	มากที่สุด
3.2 การแสดงผลการทำงานมีความรวดเร็ว	4.39	0.50	มาก
3.3 การประมวลผลข้อมูลมีความรวดเร็ว	4.50	0.51	มากที่สุด
3.4 ภาพรวมของระบบการทำงานต่างๆ มีความรวดเร็ว	4.39	0.50	มาก

จากตารางที่ 3 ด้านความเร็วของระบบการทำงาน (Performance Test) พบว่า อยู่ในระดับความเหมาะสมมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.46 ($\bar{X} = 4.46$, S.D. = 0.50) โดยมีค่าความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด คือ การเรียกใช้งานระบบมีความรวดเร็ว มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.55 และการประมวลผลข้อมูลมีความรวดเร็ว มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.50 รองลงมาคือ การแสดงผลการทำงานมีความรวดเร็ว และภาพรวมของระบบการทำงานต่าง ๆ มีความรวดเร็ว มีค่าเฉลี่ยเท่ากันเท่ากับ 4.39 ตามลำดับ

3.2.4 ผลการประเมินคุณภาพด้านการใช้งานระบบ

ตารางที่ 4 ผลการประเมินคุณภาพด้านการใช้งานระบบ (N=5 คน)

รายการประเมิน	\bar{X}	S.D.	ระดับคุณภาพ
4. ด้านการใช้งานระบบ (Usability Test)	4.00	0.77	มาก
4.1 การใช้งานที่ง่ายและไม่ซับซ้อนของระบบการทำงาน	4.00	0.84	มาก
4.2 การนำเสนอข้อมูลมีความเหมาะสม	3.87	0.81	มาก
4.3 ข้อความ สัญลักษณ์ หรือไอคอน มีความเหมาะสม	3.97	0.79	มาก
4.4 การจัดวางรูปแบบหน้าจอของระบบการทำงานมีความเหมาะสม	3.89	0.73	มาก
4.5 มาตรฐานการออกแบบระบบมีความสอดคล้องกัน	4.13	0.70	มาก
4.6 การรักษาความปลอดภัยของระบบ	4.11	0.73	มาก
รวม	4.28	0.63	มาก

จากตารางที่ 4 ด้านการใช้งานระบบ (Usability Test) พบว่า อยู่ในระดับความเหมาะสมมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.00 ($\bar{X} = 4.00$, S.D. = 0.77) โดยมีค่าความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก คือ มาตรฐานการออกแบบระบบมีความสอดคล้องกัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.13 การรักษาความปลอดภัยของระบบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.11 การใช้งานที่ง่ายและไม่ซับซ้อนของระบบการทำงาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.00 ข้อความ สัญลักษณ์ หรือไอคอน มีความเหมาะสม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.97 การจัดวาง

รูปแบบหน้าจอของระบบการทำงานมีความเหมาะสม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.89 และการนำเสนอข้อมูลมีความเหมาะสม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.87 ตามลำดับ

ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์การหาประสิทธิภาพของเครื่องมือโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน โดยภาพรวมอยู่ในระดับความเหมาะสมมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.28 (= 4.28, S.D. = 0.63)

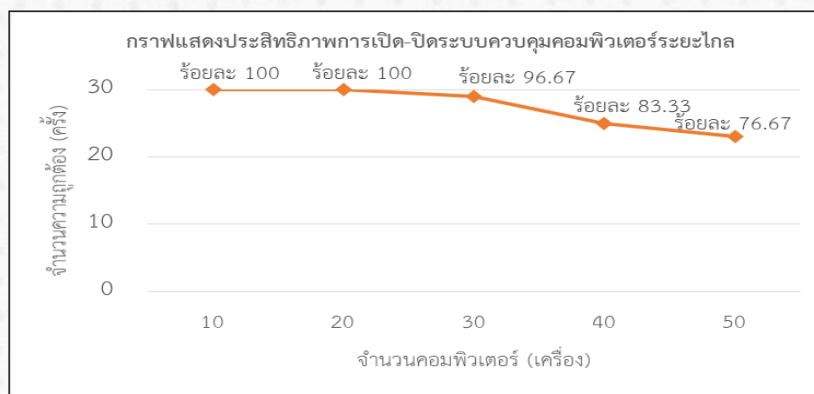
3.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ระยะไกลด้วยสมาร์ตโฟน

3.3.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการเปิด-ปิดด้วยระบบควบคุมคอมพิวเตอร์ระยะไกล

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการเปิด-ปิดด้วยระบบควบคุมคอมพิวเตอร์ระยะไกล

รูปแบบ	จำนวนเครื่อง	จำนวนครั้งที่ทดสอบ			เกณฑ์ประสิทธิภาพ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80
		การทดลอง	ความถูกต้อง	ร้อยละ	
การควบคุม	10	30	30	100	เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
การเปิด-ปิด ระยะไกล	20	30	30	100	เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
	30	30	29	96.67	เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
	40	30	25	83.33	เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
	50	30	23	76.67	ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

การทดสอบประสิทธิภาพระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ระยะไกลด้วยสมาร์ตโฟน สามารถนำเสนอข้อมูลเป็นกราฟได้ดังนี้



ภาพที่ 11 การทดสอบประสิทธิภาพการเปิด-ปิดระบบควบคุมคอมพิวเตอร์ระยะไกล

จากตารางที่ 5 การทดสอบประสิทธิภาพการเปิด-ปิดระบบควบคุมคอมพิวเตอร์ระยะไกล พบว่า การทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ด้วยสมาร์ตโฟนด้วยการทดสอบกับจำนวนคอมพิวเตอร์ 10 เครื่อง ทำการทดลองจำนวน 30 ครั้ง ความถูกต้องในการใช้งานเท่ากับ 30 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 100, จำนวนคอมพิวเตอร์ 20 เครื่อง ทำการทดลองจำนวน 30 ครั้ง ความถูกต้องในการใช้งานเท่ากับ 30 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 100, จำนวนคอมพิวเตอร์ 30 เครื่อง ทำการทดลองจำนวน 30 ครั้ง ความถูกต้องในการใช้งานเท่ากับ 29 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 96.67 และจำนวนคอมพิวเตอร์ 40 เครื่อง ทำการทดลองจำนวน 30 ครั้ง ความถูกต้องในการใช้งานเท่ากับ 25 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 83.33 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ประสิทธิภาพที่กำหนดคือไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ทั้งนี้การทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ด้วย

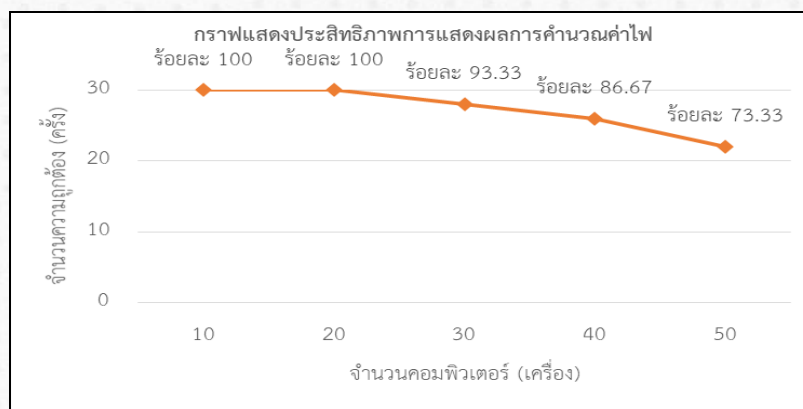
สมาร์ทโฟนด้วยการทดสอบสำหรับคอมพิวเตอร์จำนวน 50 เครื่อง ทำการทดลองจำนวน 30 ครั้ง ความถูกต้องในการใช้งานเท่ากับ 23 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 76.67 ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

3.3.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลการคำนวณค่าไฟ

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลการคำนวณค่าไฟ

รูปแบบ	จำนวนเครื่อง	จำนวนครั้งที่ทดสอบ			เกณฑ์ประสิทธิภาพ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80
		การทดลอง	ความถูกต้อง	ร้อยละ	
การแสดงผล	10	30	30	100	เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
การคำนวณ	20	30	30	100	เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
ค่าไฟ	30	30	28	93.33	เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
	40	30	26	86.67	เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
	50	30	22	73.33	ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

การทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลการคำนวณค่าไฟ สามารถนำเสนอข้อมูลเป็นกราฟได้ดังนี้



ภาพที่ 12 การทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลการคำนวณค่าไฟ

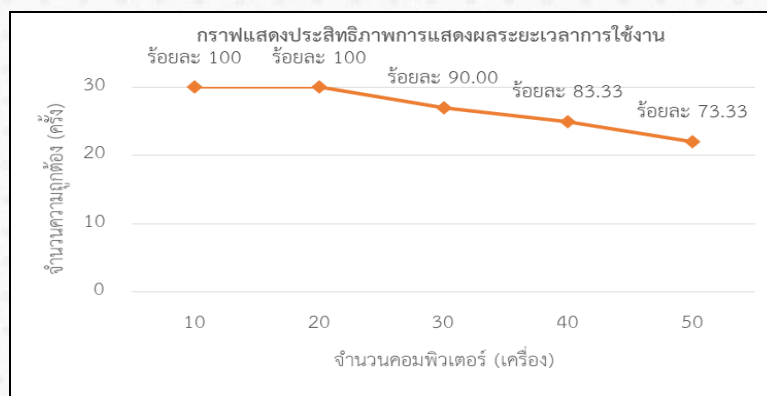
จากตารางที่ 6 การทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลการคำนวณค่าไฟ พบว่า การทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ด้วยสมาร์ทโฟนด้วยการทดสอบกับจำนวนคอมพิวเตอร์ 10 เครื่อง ทำการทดลองจำนวน 30 ครั้ง ความถูกต้องในการใช้งานเท่ากับ 30 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 100, จำนวนคอมพิวเตอร์ 20 เครื่อง ทำการทดลองจำนวน 30 ครั้ง ความถูกต้องในการใช้งานเท่ากับ 30 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 100, จำนวนคอมพิวเตอร์ 30 เครื่อง ทำการทดลองจำนวน 30 ครั้ง ความถูกต้องในการใช้งานเท่ากับ 28 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 93.33 และจำนวนคอมพิวเตอร์ 40 เครื่อง ทำการทดลองจำนวน 30 ครั้ง ความถูกต้องในการใช้งานเท่ากับ 26 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 86.67 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ประสิทธิภาพที่กำหนดคือไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ทั้งนี้การทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ด้วยสมาร์ทโฟนด้วยการทดสอบสำหรับคอมพิวเตอร์จำนวน 50 เครื่อง ทำการทดลองจำนวน 30 ครั้ง ความถูกต้องในการใช้งานเท่ากับ 22 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 73.33 ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

3.3.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลระยะเวลาการใช้งาน

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลระยะเวลาการใช้งาน

รูปแบบ	จำนวนเครื่อง	จำนวนครั้งที่ทดสอบ			เกณฑ์ประสิทธิภาพ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80
		การทดลอง	ความถูกต้อง	ร้อยละ	
การแสดงผล	10	30	30	100	เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
ระยะเวลา	20	30	30	100	เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
การใช้งาน	30	30	27	90.00	เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
	40	30	25	83.33	เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
	50	30	22	73.33	ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

การทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลระยะเวลาการใช้งาน สามารถนำเสนอข้อมูลเป็นกราฟได้ดังนี้



ภาพที่ 13 การทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลระยะเวลาการใช้งาน

จากตารางที่ 7 การทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลระยะเวลาการใช้งาน พบว่า การทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ด้วยสมาร์ทโฟนด้วยการทดสอบกับจำนวนคอมพิวเตอร์ 10 เครื่อง ทำการทดลองจำนวน 30 ครั้ง ความถูกต้องในการใช้งานเท่ากับ 30 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 100, จำนวนคอมพิวเตอร์ 20 เครื่อง ทำการทดลองจำนวน 30 ครั้ง ความถูกต้องในการใช้งานเท่ากับ 30 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 100, จำนวนคอมพิวเตอร์ 30 เครื่อง ทำการทดลองจำนวน 30 ครั้ง ความถูกต้องในการใช้งานเท่ากับ 27 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 90.00 และจำนวนคอมพิวเตอร์ 40 เครื่อง ทำการทดลองจำนวน 30 ครั้ง ความถูกต้องในการใช้งานเท่ากับ 25 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 83.33 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ประสิทธิภาพที่กำหนดคือไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ทั้งนี้การทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ด้วยสมาร์ทโฟนด้วยการทดสอบสำหรับคอมพิวเตอร์จำนวน 50 เครื่อง ทำการทดลองจำนวน 30 ครั้ง ความถูกต้องในการใช้งานเท่ากับ 22 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 73.33 ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

จากตารางที่ 8 การทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลแรงดันไฟฟ้า (Volts) พบว่า การทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ด้วยสมาร์ทโฟนด้วยการทดสอบกับจำนวนคอมพิวเตอร์ 10 เครื่อง ทำการทดลองจำนวน 30 ครั้ง ความถูกต้องในการใช้งานเท่ากับ 30 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 100, จำนวนคอมพิวเตอร์ 20 เครื่อง ทำการทดลองจำนวน 30 ครั้ง ความถูกต้องในการใช้งานเท่ากับ 30 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 100, จำนวนคอมพิวเตอร์ 30 เครื่อง ทำการทดลองจำนวน 30 ครั้ง ความถูกต้องในการใช้งานเท่ากับ 28 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 93.33 และจำนวนคอมพิวเตอร์ 40 เครื่อง ทำการทดลองจำนวน 30 ครั้ง ความถูกต้องในการใช้งานเท่ากับ 26 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 86.67 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ประสิทธิภาพที่

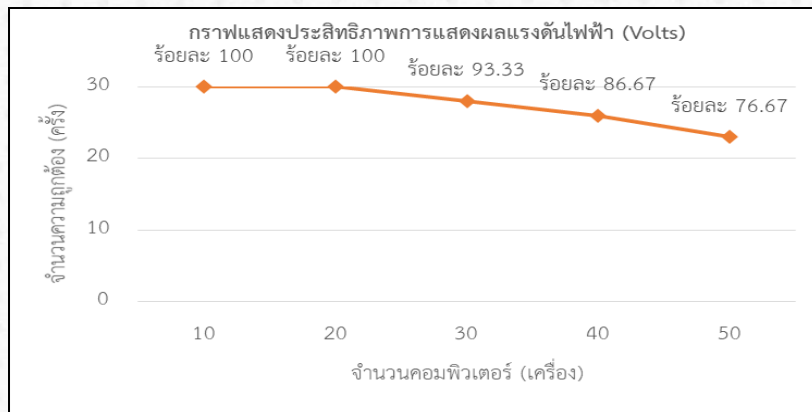
กำหนดคือไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ทั้งนี้การทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมการทำงานคอมพิวเตอร์ด้วยสมาร์ตโฟนด้วยการทดสอบสำหรับคอมพิวเตอร์จำนวน 50 เครื่อง ทำการทดลองจำนวน 30 ครั้งความถูกต้องในการใช้งานเท่ากับ 23 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 76.67 ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

3.3.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลแรงดันไฟฟ้า (Volts)

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลแรงดันไฟฟ้า (Volts)

รูปแบบ	จำนวนเครื่อง	จำนวนครั้งที่ทดสอบ			เกณฑ์ประสิทธิภาพ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80
		การทดลอง	ความถูกต้อง	ร้อยละ	
การแสดงผล	10	30	30	100	เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
แรงดันไฟฟ้า	20	30	30	100	เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
(Volts)	30	30	28	93.33	เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
	40	30	26	86.67	เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
	50	30	23	76.67	ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

การทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลแรงดันไฟฟ้า (Volts) สามารถนำเสนอข้อมูลเป็นกราฟได้ดังนี้



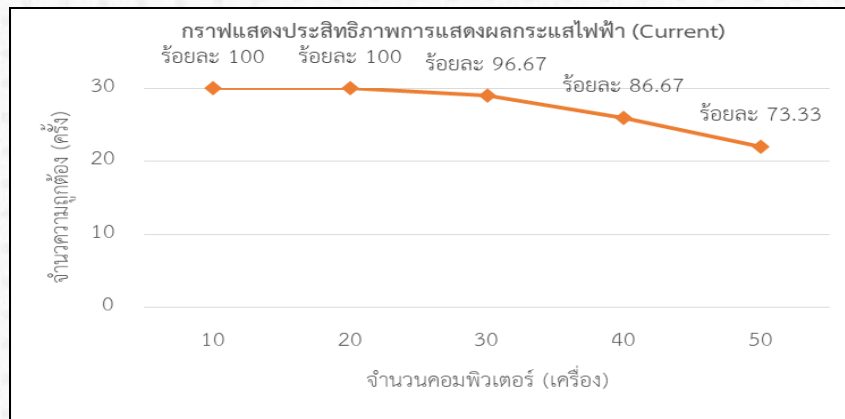
ภาพที่ 14 การทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลแรงดันไฟฟ้า (Volts)

3.3.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลกระแสไฟฟ้า (Current)

ตารางที่ 9 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลกระแสไฟฟ้า (Current)

รูปแบบ	จำนวนเครื่อง	จำนวนครั้งที่ทดสอบ			เกณฑ์ประสิทธิภาพ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80
		การทดลอง	ความถูกต้อง	ร้อยละ	
การแสดงผล	10	30	30	100	เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
กระแสไฟฟ้า	20	30	30	100	เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
(Corrent)	30	30	29	96.67	เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
	40	30	26	86.67	เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
	50	30	22	73.33	ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

การทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลกระแสไฟฟ้า (Current) สามารถนำเสนอข้อมูลเป็นกราฟได้ดังนี้



ภาพที่ 15 การทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลกระแสไฟฟ้า (Corrent)

จากตารางที่ 9 การทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลกระแสไฟฟ้า (Corrent) พบว่า การทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ด้วยสมาร์ตโฟนด้วยการทดสอบกับจำนวนคอมพิวเตอร์ 10 เครื่อง ทำการทดลองจำนวน 30 ครั้ง ความถูกต้องในการใช้งานเท่ากับ 30 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 100, จำนวนคอมพิวเตอร์ 20 เครื่อง ทำการทดลองจำนวน 30 ครั้ง ความถูกต้องในการใช้งานเท่ากับ 30 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 100, จำนวนคอมพิวเตอร์ 30 เครื่อง ทำการทดลองจำนวน 30 ครั้ง ความถูกต้องในการใช้งานเท่ากับ 29 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 96.67 และจำนวนคอมพิวเตอร์ 40 เครื่อง ทำการทดลองจำนวน 30 ครั้ง ความถูกต้องในการใช้งานเท่ากับ 26 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 86.67 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ประสิทธิภาพที่กำหนดคือไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ทั้งนี้การทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ด้วยสมาร์ตโฟนด้วยการทดสอบสำหรับคอมพิวเตอร์จำนวน 50 เครื่อง ทำการทดลองจำนวน 30 ครั้ง ความถูกต้องในการใช้งานเท่ากับ 22 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 73.33 ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

3.3.6 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลกำลังไฟฟ้า (Power)

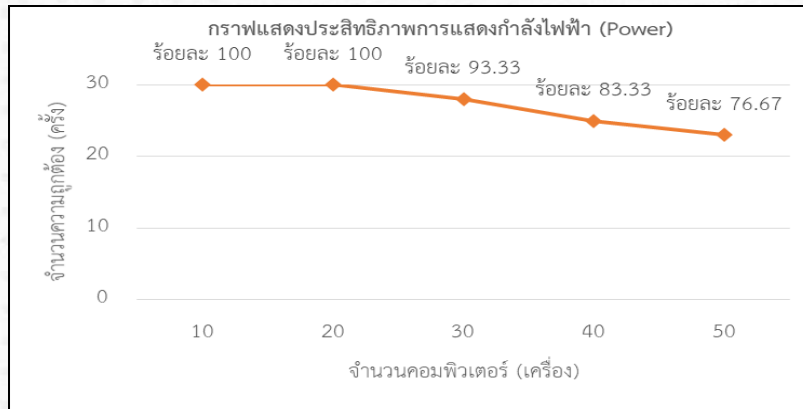
ตารางที่ 10 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลกำลังไฟฟ้า (Power)

รูปแบบ	จำนวนเครื่อง	จำนวนครั้งที่ทดสอบ			เกณฑ์ประสิทธิภาพ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80
		การทดลอง	ความถูกต้อง	ร้อยละ	
การแสดงผล	10	30	30	100	เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
กำลังไฟฟ้า	20	30	30	100	เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
(Power)	30	30	28	93.33	เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
	40	30	25	83.33	เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด
	50	30	23	76.67	ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

การทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลกำลังไฟฟ้า (Power) สามารถนำเสนอข้อมูลเป็นกราฟได้ดังนี้

จากตารางที่ 10 การทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลกำลังไฟฟ้า (Power) พบว่า การทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ด้วยสมาร์ตโฟนด้วยการทดสอบกับจำนวนคอมพิวเตอร์ 10 เครื่อง ทำการทดลองจำนวน 30 ครั้ง ความถูกต้องในการใช้งานเท่ากับ 30 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 100, จำนวนคอมพิวเตอร์ 20 เครื่อง ทำการทดลองจำนวน

30 ครั้ง ความถูกต้องในการใช้งานเท่ากับ 30 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 100, จำนวนคอมพิวเตอร์ 30 เครื่อง ทำการทดลองจำนวน 30 ครั้ง ความถูกต้องในการใช้งานเท่ากับ 28 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 93.33 และจำนวนคอมพิวเตอร์ 40 เครื่อง ทำการทดลองจำนวน 30 ครั้ง ความถูกต้องในการใช้งานเท่ากับ 25 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 83.33 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ประสิทธิภาพที่กำหนดคือไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ทั้งนี้การทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ด้วยสมาร์ทโฟนด้วยการทดสอบสำหรับคอมพิวเตอร์จำนวน 50 เครื่อง ทำการทดลองจำนวน 30 ครั้งความถูกต้องในการใช้งานเท่ากับ 23 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 76.67 ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด



ภาพที่ 16 การทดสอบประสิทธิภาพการแสดงกำลังไฟฟ้า (Power)

3.4 ผลการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ระยะไกลด้วยสมาร์ทโฟน

ตารางที่ 11 ผลการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ระยะไกลด้วยสมาร์ทโฟน (N=7 คน)

รายการประเมิน	\bar{X}	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. ระบบมีลักษณะง่ายต่อการใช้งาน	4.00	0.84	มาก
2. ความรวดเร็วในการทำงานของระบบ	3.87	0.81	มาก
3. ผลลัพธ์มีความถูกต้องและเที่ยงตรง	3.97	0.79	มาก
4. ระบบมีความเสถียร	3.89	0.73	มาก
5. ความเหมาะสมของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง	4.51	0.70	มากที่สุด
6. ความสวยงามของแอปพลิเคชัน	4.11	0.73	มาก
7. ระบบมีความปลอดภัย	4.11	0.83	มาก
8. มีประสิทธิภาพในการควบคุมระยะไกล	3.97	0.72	มาก
9. การแสดงผลของระบบสามารถนำมาใช้ในการบริหารจัดการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง	4.29	0.69	มาก
10. สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จริง	4.56	0.75	มากที่สุด
รวม	4.13	0.76	มาก

จากตารางที่ 11 แสดงผลการวิเคราะห์การหาความพึงพอใจโดยกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 5 คน โดยภาพรวมอยู่ในระดับความพึงพอใจมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.18 ($\bar{X} = 4.18$, S.D. = 0.76) โดยรายการประเมินที่มีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับ

มากที่สุด คือ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จริง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.56 และความเหมาะสมของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.51 รองลงมาระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก คือ การแสดงผลลัพธ์ของระบบสามารถนำมาใช้ในการบริหารจัดการต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.29 ความสวยงามของแอปพลิเคชัน และระบบมีความปลอดภัย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.11 ระบบมีลักษณะง่ายต่อการใช้งาน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.00 มีประสิทธิภาพในการควบคุมระยะไกล และผลลัพธ์มีความถูกต้องและเที่ยงตรง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.97 ระบบมีความเสถียร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.89 และความรวดเร็วในการทำงานของระบบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.87 ตามลำดับ

3.5 อภิปรายผล

จากการพัฒนาระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ระยะไกลสำหรับห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ด้วยอุปกรณ์สมาร์ทโฟน เป็นการพัฒนาเครื่องมือต้นแบบเพื่อการทดลองการเปิดปิดคอมพิวเตอร์โดยใช้สมาร์ทโฟน และพัฒนาโดยใช้โปรแกรม Arduino IDE ในการเขียนชุดคำสั่งด้วยไปยัง NodeMCU ESP32 เชื่อมต่อ Application Blynk สามารถทำได้ง่าย และสะดวก การออกแบบ Application และระบบการใช้งานมีฟังก์ชันที่ตรงกับแนวคิดการออกแบบ ส่วนการใช้งานสามารถสั่งงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ การประเมินคุณภาพระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ระยะไกลสำหรับห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ด้วยอุปกรณ์สมาร์ทโฟนมีความเสถียรภาพของระบบการทำงาน สอดคล้องกับการทำงานได้อย่างดี สามารถรองรับการต่อพ่วงอุปกรณ์ได้จำนวนที่ต้องการ การประเมินเพื่อหาประสิทธิภาพระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ด้วยอุปกรณ์สมาร์ทโฟน สามารถแสดงสถานะ มาแสดงผลได้อย่างรวดเร็ว ตอบสนองกับระบบเป็นไปตามเกณฑ์ จากการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ด้วยอุปกรณ์สมาร์ทโฟน ผู้ใช้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จริง มีความเหมาะสม กับอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

ปัจจัยอื่นที่มีผลทำให้ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด อาจเกิดจากอุปกรณ์ที่ติดตั้งจำนวนมากในห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ ทำให้มีการรบกวนความถี่ของสัญญาณ WiFi เนื่องจากอุปกรณ์ทั้งหมด ใช้คลื่นความถี่ 2.4 Ghz และ อุปกรณ์ Router wireless 4G สามารถรองรับการใช้งานได้สูงสุด 64 อุปกรณ์

การแก้ปัญหาในเรื่องประสิทธิภาพที่ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด อาจจะต้องเปลี่ยนใช้ NodeMCU ESP32 หรือรุ่นที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น Router Wireless 4G ที่สามารถรองรับการใช้งานได้สูงสุด 128 อุปกรณ์ เช่น สามารถรองรับคลื่นความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz รองรับ WiFi 5 หรือ WiFi 6

4. บทสรุป

การพัฒนาระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ระยะไกลด้วยสมาร์ทโฟน มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนา ประเมินคุณภาพ ประเมินประสิทธิภาพ และประเมินความพึงพอใจที่มีต่อระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ระยะไกลสำหรับห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ด้วยสมาร์ทโฟน โดยวิธีการวิจัยและพัฒนาซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา การกำหนดปัญหา การออกแบบโครงสร้างการทำงานของระบบ การออกแบบและประยุกต์ใช้อินเตอร์เน็ตออฟติงส์ (IoT) และการทดสอบและประเมินผล ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องมือการวิจัย ได้แก่ ระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ด้วยสมาร์ทโฟน แบบประเมินคุณภาพระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ด้วยสมาร์ทโฟน และแบบประเมินความพึงพอใจที่มีต่อระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ด้วยสมาร์ทโฟน และใช้สถิติในการวิจัย คือ ค่าสถิติ ร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) โดยผลการวิจัยพบว่า การพัฒนาระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ระยะไกลด้วยสมาร์ทโฟนตามแนวคิดการพัฒนาระบบด้วยเทคโนโลยี Internet of Things (IoT) ด้วยแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนในการควบคุมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต (Internet) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการ

ควบคุมห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นสำหรับห้องปฏิบัติการขนาด 10 ห้อง 20 ห้อง 30 ห้อง หรือ 40 ห้อง ตามเกณฑ์ประสิทธิภาพที่กำหนดไว้ คือมีประสิทธิภาพไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 การประเมินคุณภาพระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ระยะไกลด้วยสมาร์ทโฟน จำแนกเป็นรายด้าน พบว่า ด้านการทำงานของระบบ (Function Test) อยู่ในระดับความเหมาะสมมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.20 ($\bar{X} = 4.20$, S.D. = 0.72) ด้านการตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ระบบ (Function Requirement) อยู่ในระดับความเหมาะสมมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.48 ($\bar{X} = 4.48$, S.D. = 0.55) ด้านความเร็วของระบบการทำงาน (Performance Test) อยู่ในระดับความเหมาะสมมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.46 ($\bar{X} = 4.46$, S.D. = 0.50) และด้านการใช้งานระบบ (Usability Test) อยู่ในระดับความเหมาะสมมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.00 ($\bar{X} = 4.00$, S.D. = 0.77) การทดสอบประสิทธิภาพระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ด้วยสมาร์ทโฟน พบว่า การทดสอบประสิทธิภาพการเปิด-ปิด ด้วยระบบควบคุมคอมพิวเตอร์ระยะไกลด้วยการทำการทดสอบเครื่องคอมพิวเตอร์จำนวน 10, 20, 30 และ 40 มีประสิทธิภาพเป็นไปตามที่กำหนด คือไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 การทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลการคำนวณค่าไฟด้วยการทำการทดสอบเครื่องคอมพิวเตอร์จำนวน 10, 20, 30 และ 40 มีประสิทธิภาพเป็นไปตามที่กำหนด คือไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 การทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลระยะเวลาการใช้งานด้วยการทำการทดสอบเครื่องคอมพิวเตอร์จำนวน 10, 20, 30 และ 40 มีประสิทธิภาพเป็นไปตามที่กำหนด คือไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 การทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลแรงดันไฟฟ้า (Volts) ด้วยการทำการทดสอบเครื่องคอมพิวเตอร์จำนวน 10, 20, 30 และ 40 มีประสิทธิภาพเป็นไปตามที่กำหนด คือไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 การทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลกระแสไฟฟ้า (Current) ด้วยการทำการทดสอบเครื่องคอมพิวเตอร์จำนวน 10, 20, 30 และ 40 มีประสิทธิภาพเป็นไปตามที่กำหนด คือไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 และการทดสอบประสิทธิภาพการแสดงผลกำลังไฟฟ้า (Power) ด้วยการทำการทดสอบเครื่องคอมพิวเตอร์จำนวน 10, 20, 30 และ 40 มีประสิทธิภาพเป็นไปตามที่กำหนด คือไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 และ 4) ผลการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อระบบควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ระยะไกลด้วยสมาร์ทโฟนอยู่ในระดับพึงพอใจมาก ($\bar{X} = 4.13$, S.D. = 0.76)

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก รศ.ดร.สนั่น การค้า อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย และ อ.ดร.เอกชัย แซ่จิ่ง ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษา ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างยิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึง ความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ปรีชา สมหวัง อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล อีสาน และนายชัยวัฒน์ แดงจันทิก นักวิชาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ซึ่งเป็นผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้ความอนุเคราะห์ตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือวิจัย รวมถึงขอขอบพระคุณครูคอมพิวเตอร์ ที่ประเมินความพึงพอใจและเอื้ออำนวยความสะดวกในการใช้สถานที่ทดลองทำงานวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนผู้ใช้งานระบบทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอบคุณ ผศ.ดร.สมชาติ ดีอุดม หัวหน้าสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษา ตลอดจนอำนวยความสะดวกเรื่องต่าง ๆ ในการทำวิจัยในครั้งนี้

ผู้วิจัยหวังว่า งานวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อย จึงขอมอบส่วนดีทั้งหมดนี้ให้แก่เหล่าคณาจารย์ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาจนทำให้ผลงานวิจัยเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้องและขอมอบความกตัญญูทเวทิตาคุณ แต่บิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่าน สำหรับข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น ยินดีที่จะรับฟังแนะนำจากทุกท่าน เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กนกภรณ์ อุดมเดช. เครื่องเขี่ยยาสมุนไพรโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดิวโนในการควบคุม. สารนิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2560.
- [2] ไกรทอง ชาวดร. เครื่องควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าในห้องเรียนระบบอัตโนมัติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2554.
- [3] ไกรวิทย์ ชูชาติ. การพัฒนาระบบตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารบนแพลตฟอร์มอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง กรณีศึกษาอาคารศรีวิศวิทยา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย. สารนิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2565.
- [4] ญาณพล กลับเจริญ. พัฒนาระบบตรวจสอบปริมาณไฟฟ้าสำหรับอพาร์ทเมนท์ขนาดเล็ก. สารนิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการจัดการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยกรุงเทพ. 2560.
- [5] นกอด ภูเข. ระบบควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านด้วยอุปกรณ์มือถือแบบไร้สาย. สารนิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมซอฟต์แวร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2555.
- [6] พิพัฒน์พล มิตะสิทธิ์. ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกนควบคุมผ่านจีพีเอสโมดูล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2560.
- [7] มงคล สีมาวงษ์. ระบบตรวจจับกลืนและแอปพลิเคชันติดตามกลืนบนโทรศัพท์สมาร์ทโฟน. สารนิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2557.
- [8] วีระวัฒน์ วานิช. การออกแบบระบบควบคุมแสงสว่างภายในอาคารสำนักงานแบบชาญฉลาดโดยพิจารณาองค์ประกอบแสงจากธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2558.
- [9] ศิริวรรณ เอี่ยมบัณฑิต. ระบบบ้านอัจฉริยะควบคุมด้วยเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย เซ็นเซอร์ และแอนดรอยด์แอปพลิเคชัน ภายใต้แนวคิดอินเทอร์เน็ตเพื่อทุกสิ่ง. สารนิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสารสนเทศเพื่อการจัดการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2557.
- [10] ศิวกร จินดารัตน์. ระบบจัดการฟาร์มไก่อัจฉริยะด้วยระบบไร้สายและอาร์ดิวโน. สารนิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2557.
- [11] บุญชม ศรีสะอาด. การวิจัยเบื้องต้น (พิมพ์ครั้งที่ 7). สุวีริยาสาส์น, กรุงเทพฯ. 2545.

การพัฒนาระบบควบคุมสภาวะแวดล้อมภายในโรงเรือนระบบปิดสำหรับกัญชง Development of close greenhouse environment control system for hemp

สุรสีห์ สอนสารี

สาขาวิชาวิศวกรรมนวัตกรรมการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

E-mail: surasee_@outlook.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบควบคุมสภาวะแวดล้อมภายในโรงเรือนระบบปิด โดยทำการควบคุมความสว่างแสง อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตกัญชง เนื่องจากปัจจุบันการปลูกกัญชงในโรงเรือนระบบปิด ยังไม่สามารถควบคุมปัจจัยแวดล้อมให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกัญชงได้ ส่งผลทำให้กัญชงออกดอกเร็วกว่าปกติ ทำให้ปริมาณของผลผลิตต่ำกว่าที่ควร ในการพัฒนาระบบควบคุมที่ใช้ในงานวิจัยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุมและเซนเซอร์ต่าง ๆ ซึ่งการควบคุมความสว่างแสงใช้เซนเซอร์วัดความสว่างแสงร่วมกับแผงหลอดไฟสำหรับเพาะปลูก ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ให้เหมาะกับกัญชงในแต่ละช่วงการเจริญเติบโต โดยเมื่อเทียบสภาวะแวดล้อมระหว่างโรงเรือนที่ติดตั้งระบบควบคุมกับโรงเรือนปกติ พบว่าโรงเรือนที่ติดตั้งระบบควบคุมสามารถรักษาความสว่างแสงภายในโรงเรือนได้ตลอดช่วงเวลาที่กำหนด และสามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับแต่ละช่วงการเจริญเติบโตได้ดีกว่าโรงเรือนที่ไม่ได้ติดตั้งระบบควบคุม

คำสำคัญ: กัญชง, กัญชา, โรงเรือน, ระบบควบคุมอัตโนมัติ

Abstract

The objectives of this research were development of close greenhouse environment control system for hemp with control illuminance temperature and humidity to increase production efficiency in hemp production. Because nowadays hemp cultivation in closed greenhouses unable to control environmental factors at the appropriate period for the growth of hemp. As a result, cannabis flowering too early resulting in lower productivity than it should be. In developing a control system used in research apply a microcontroller to connect to various control devices and sensors. The illuminance controlled by using the light sensor in conjunction with LED grow light panel. Control the temperature and relative humidity to suit each growth stage of hemp. Comparison the environmental conditions between the greenhouse that is installed with the control system and that of the normal greenhouse. It was found that controlled greenhouse able to maintain the illuminance inside during the specified time period. Also, controllable relative humidity and temperature to be in the range that is suitable for each growth period better than uncontrolled greenhouse.

Keywords: Cannabis, Hemp, Greenhouse, Automatic control

1. บทนำ

ปัจจุบันกัญชง (*Cannabis sativa L. subsp. Sativa*) ได้รับความสนใจอย่างมาก หลังจากที่คณะรัฐมนตรีมีมติเห็นชอบกฎกระทรวงการขออนุญาตและการอนุญาตผลิต จำหน่าย หรือมีไว้ในครอบครองซึ่งยาเสพติดให้โทษในประเภทที่ 5 เฉพาะกัญชง (hemp) [1] เพื่อใช้ประโยชน์ของสารสกัดในทางการแพทย์ และส่วนอื่น ๆ เพื่อใช้ประโยชน์ในครัวเรือนและอุตสาหกรรม เช่น การใช้เส้นใยกัญชงมาถักทอเป็นเครื่องนุ่งห่ม การใช้ใบและเมล็ดในการประกอบอาหาร[1] ประเทศไทยสามารถเพาะปลูกพืชกัญชงกลางแจ้งได้ตลอดทั้งปี [2] เนื่องจากตั้งอยู่ในเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตร ทำให้ภูมิอากาศมีลักษณะเป็นแบบร้อนชื้นหรือภูมิอากาศแบบทุ่งหญ้าสะวันนา (Aw) ตามการแบ่งเขตภูมิอากาศแบบเคิปปิน (Köppen climate classification) [3] การปลูกกลางแจ้งจำเป็นอาศัยปัจจัยต่าง ๆ จากธรรมชาติเป็นหลัก จึงควบคุมสภาวะแวดล้อมได้ยาก อีกทั้งยังเสี่ยงต่อแมลงศัตรู ส่งผลต่อผลผลิตที่ไม่ได้ตรงตามที่ต้องการ ทั้งในด้านของคุณภาพและปริมาณ [4] นอกจากการปลูกแบบกลางแจ้งแล้ว การปลูกกัญชงในโรงเรือนในร่ม (indoor cultivation) เป็นวิธีการปลูกที่นิยมอย่างมากทั้งในยุโรปและอเมริกา เป็นการปลูกกัญชงในโรงเรือนปิดที่ควบคุมปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและสารสำคัญ [5] โดยใช้การเก็บข้อมูลด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (relative humidity) ความสว่าง (illuminance) เพื่อนำมาวิเคราะห์ และควบคุมการเจริญเติบโต เพื่อให้ผลผลิตมีคุณภาพสูงตรงตามความต้องการ

โดยเฉพาะปริมาณของสารเตตราไฮโดรแคนนาบินอล (Tetrahydrocannabinol, THC) และปริมาณของสารแคนนาบิไดออล (Cannabidiol, CBD) ที่อยู่ในช่อดอกสำหรับสกัดใช้ในทางการแพทย์ [6] อย่างไรก็ตามการเพาะปลูกในโรงเรือนระบบปิดนั้น ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของแสงที่พืชต้องใช้สังเคราะห์เพื่อการเจริญเติบโตซึ่งจำเป็นต้องมีระบบการให้แสงเทียมสำหรับเพาะปลูก และเพื่อรักษาสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกอยู่เสมอ จึงจำเป็นต้องมีระบบหมุนเวียนและปรับอากาศ นำมาซึ่งต้นทุนที่สูงตามมา [7,8]

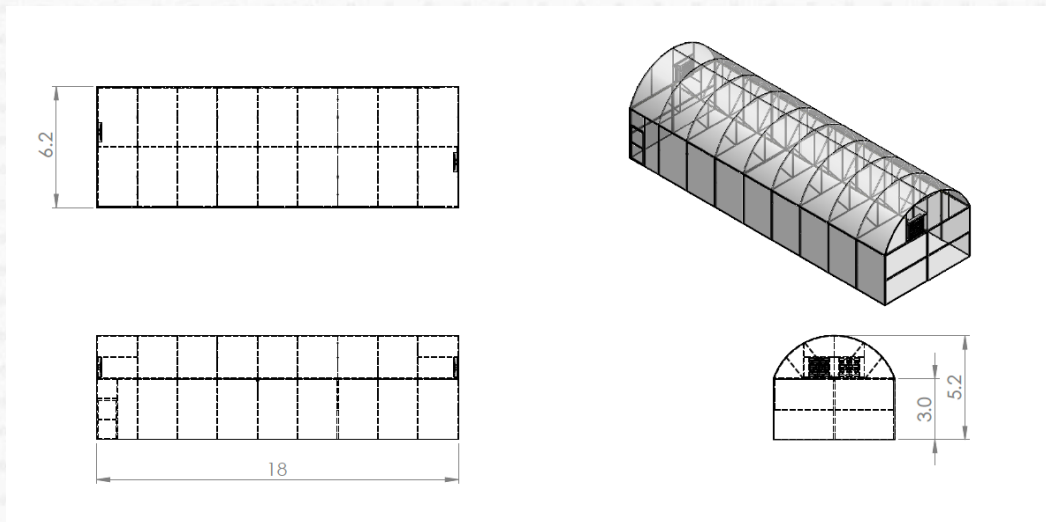
ต้นทุนและค่าใช้จ่ายที่สำคัญของโรงเรือนระบบปิดคือระบบปรับอากาศ ซึ่งนิยมใช้เครื่องปรับอากาศแบบอัดไอ (vapor compression system) ในการปรับเพิ่ม-ลดอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูก อีกทั้งยังมีต้นทุนอื่น ๆ เช่น การสร้างโรงเรือนปิดที่ ระบบการให้แสงเทียม [9] และต้องอาศัยความชำนาญทางด้านเทคโนโลยีในการปรับตั้งค่า ทำให้เกษตรกรและวิสาหกิจชุมชนส่วนใหญ่ เลือกที่จะปลูกกัญชงในโรงเรือนระบบปิดซึ่งสามารถยอมให้แสงแดดและอากาศจากภายนอกโรงเรือนผ่านได้บางส่วนทำให้มีต้นทุนในการเพาะปลูกที่ต่ำกว่ามาก ทำให้การควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ทำได้ยากขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแบบไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear system) และมีปัจจัยรบกวนมากกว่าในโรงเรือนในร่ม [10] จึงต้องศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่ออุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเพื่อหารูปแบบความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ในโรงเรือนระบบเปิด ชนิดของเซนเซอร์ และอุปกรณ์ควบคุมสภาวะแวดล้อมที่สามารถรักษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการปลูกกัญชงได้อย่างทันถ่วงที

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะพัฒนาและออกแบบระบบควบคุมสภาวะแวดล้อมภายในโรงเรือนระบบเปิดสำหรับพืชกัญชงที่มีการติดตั้งเซนเซอร์และอุปกรณ์ควบคุมสภาวะแวดล้อม เพื่อให้เกษตรกรสามารถควบคุมผลผลิตให้มีคุณภาพสูงขึ้นทั้งในด้านของคุณภาพและปริมาณ อีกทั้งยังสามารถลดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นในส่วนที่เกินความต้องการของพืชได้อีกทางหนึ่ง

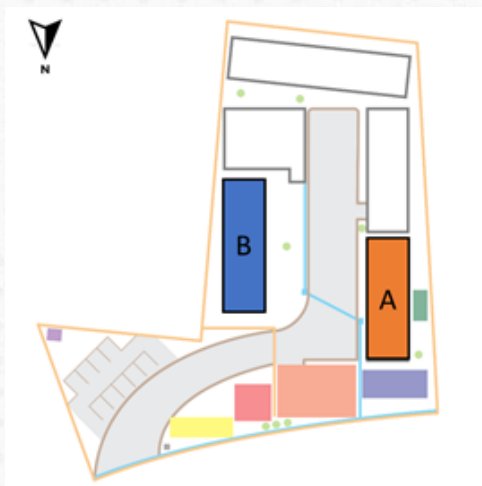
2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

2.1 การออกแบบและสร้างโรงเรือน

ในการวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโต ปริมาณและคุณภาพผลผลิตของกัญชงที่ปลูกในโรงเรือนที่ทำการควบคุมสภาวะแวดล้อม (A) กับโรงเรือนที่ไม่ได้ควบคุมสภาวะแวดล้อม (B) ซึ่งตำแหน่งที่ตั้งของทั้งสองโรงเรือนจะอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกัน และมีทิศทางหันไปทางเดียวกันโรงเรือนทั้งสองมีขนาดเท่ากันคือ 6x18x5.2 เมตร เป็นโรงเรือนระบบปิดลักษณะหลังคาโค้ง โครงสร้างทำจากเหล็กชุบสังกะสี สามารถปลูกกัญชงได้ 90-100 ต้น



รูปที่ 1 แบบโรงเรือนกัญชง



รูปที่ 2 ตำแหน่งโรงเรือนกัญชง



รูปที่ 3 โรงเรือนกัญชง



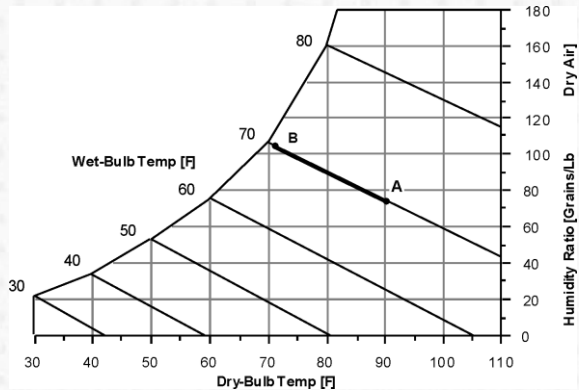
รูปที่ 4 โรงเรือนกัญชง

2.2 การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

การลดอุณหภูมิภายในโรงเรือน เลือกใช้เครื่องทำความชื้นแบบอัลตราโซนิกเป็นเครื่องทำให้ชื้นที่เงียบและมีการบำรุงรักษาน้อยมากเมื่อเทียบแบบอื่น สร้างไอน้ำที่มีอนุภาคเล็กและสามารถเปิด-ปิดการใช้งานได้อย่างรวดเร็ว เป็นการทำความเย็นระเหยโดยตรง (direct evaporative cooling system) เป็นการเพิ่มไอน้ำ เพื่อการดึงความร้อนจากอากาศ (latent heat) ทำให้อากาศมีอุณหภูมิต่ำลง แต่ในขณะที่เดียวกันจะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น ดังที่แสดงในแผนภูมิไซโครเมตริก (psychrometric chart) ในรูปที่ 7 โดยมีการติดตั้งเซนเซอร์ DHT21 เพื่อวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์



รูปที่ 5 เครื่องทำความชื้น



รูปที่ 6 โรงเรือนกัญชง



รูปที่ 7 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ DHT21

ร่วมกับการควบคุมการเปิด-ปิด พัดลมถ่ายเทอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 36 นิ้ว ความเร็ว 650 รอบต่อนาที อัตราการไหล 16,000 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที และพัดลมหมุนเวียนอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 26 นิ้ว ความเร็ว 1,350 รอบต่อนาที อัตราการไหล 7,200 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที เพื่อแลกเปลี่ยนอากาศกับภายนอกโรงเรือน



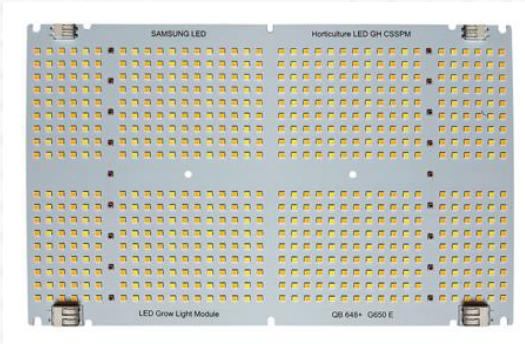
รูปที่ 8 พัดลมถ่ายเทอากาศ



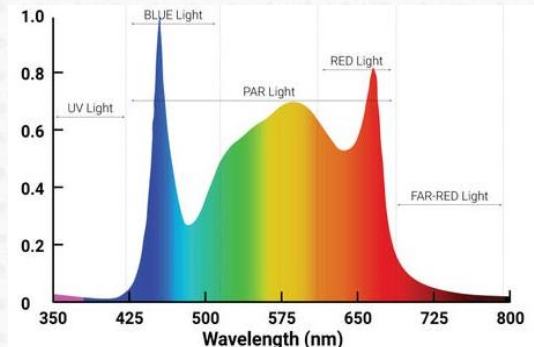
รูปที่ 9 พัดลมหมุนเวียนอากาศ

2.3 การควบคุมความสว่างภายในโรงเรือน

กัญชงที่รัฐวิสาหกิจเกษตรกรรมนิยมปลูกในโรงเรือนส่วนมากเป็นแบบการเจริญเติบโตหรือออก ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการรับแสง (photoperiods) ซึ่งหากมีช่วงเวลาในการรับแสงไม่เพียงพอจะส่งผลให้ออกดอกก่อนกำหนด ซึ่งทำช่อดอกที่ได้มีคุณภาพต่ำทั้งในด้านของคุณภาพและปริมาณ การให้แสงสว่างเสริมจึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยในโรงเรือนที่ควบคุมเลือกใช้แผงหลอดไฟแอลอีดีขนาด 720 วัตต์ ที่ครอบคลุมทุกคลื่นแสง (full spectrum) 8 แฉง ติดตั้งบริเวณเหนือต้นกัญชงที่เพาะปลูก โดยจะทำงานเมื่อความสว่างแสงที่วัดได้จากเซนเซอร์ BH1750FVI ต่ำกว่าที่ตั้งค่าไว้



รูปที่ 10 พัดลมถ่ายเทอากาศ



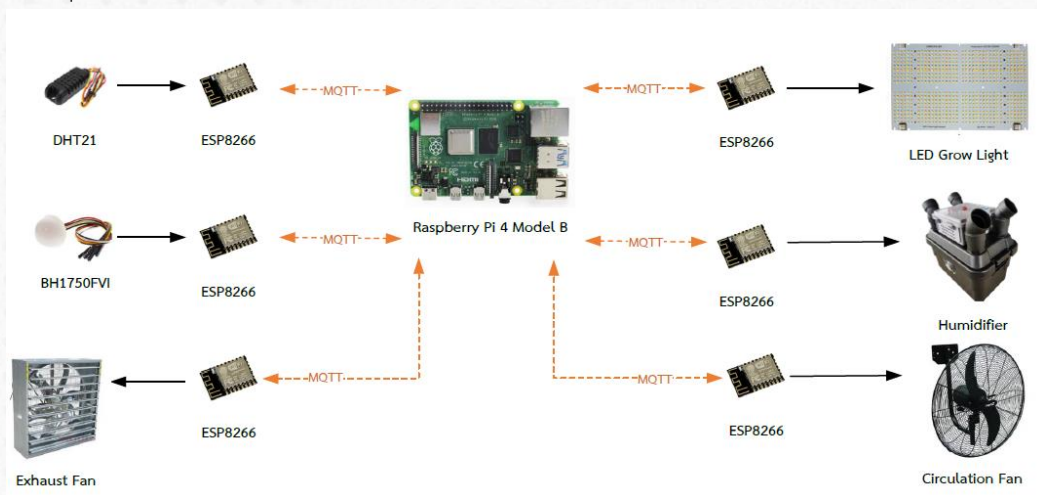
รูปที่ 11 พัดลมหมุนเวียนอากาศ



รูปที่ 12 เซนเซอร์วัดความสว่างแสง BH1750FVI

2.4 การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์

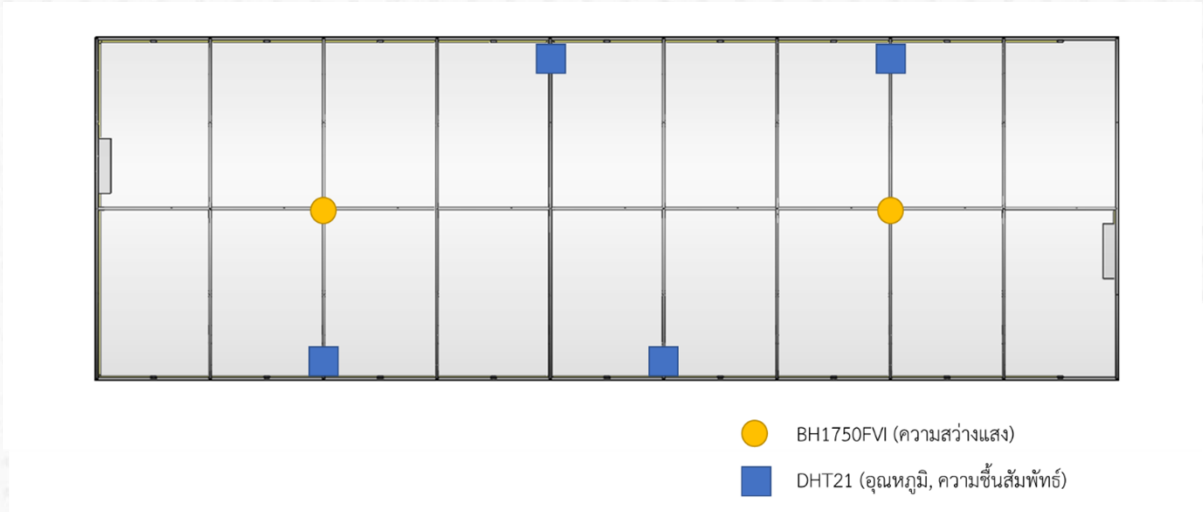
อุปกรณ์ควบคุมและเซนเซอร์ต่าง ๆ เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 ก่อนที่จะรับ-ส่งข้อมูลแบบไร้สายไปยังเครื่องประมวลผลหลัก ในที่นี้คือ Raspberry Pi 4 Model B ผ่านโปรโตคอล MQTT ซึ่งจะมีการกำหนดค่าอุณหภูมิและความชื้นของกัญชงในแต่ละช่วงการเจริญเติบโต รวมถึงความสว่างแสงขั้นต่ำที่กัญชงควรได้รับ เพื่อเปิดการใช้งานอุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ



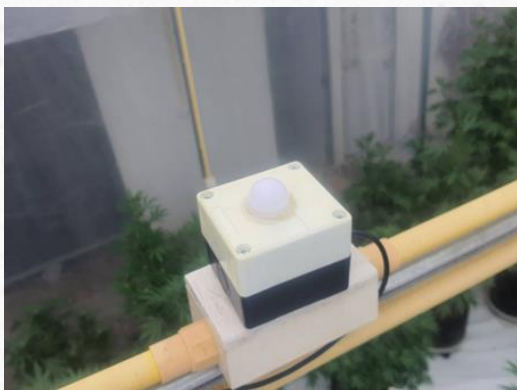
รูปที่ 13 แผนผังการเชื่อมต่อของอุปกรณ์

2.5 ตำแหน่งและการติดตั้งเซนเซอร์

ติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์กระจายทั่วโรงเรือนดังรูปที่ 14 โดยเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ติดตั้งจำนวน 4 ตัวเพื่อมาหาค่าเฉลี่ยที่ใช้ในการควบคุม ติดตั้งสูงจากพื้นประมาณ 2 เมตร และเซนเซอร์วัดความสว่างติดตั้งจำนวน 2 ตัวที่หัวและท้ายของโรงเรือน ที่ความสูงประมาณ 4 เมตร



รูปที่ 14 ตำแหน่งเซนเซอร์



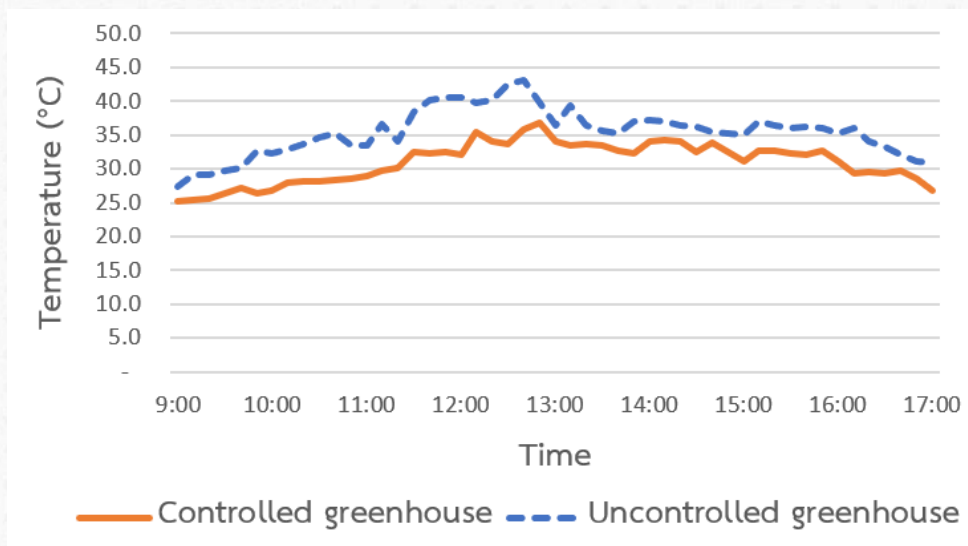
รูปที่ 15 ตำแหน่งเซนเซอร์วัดความสว่างแสง



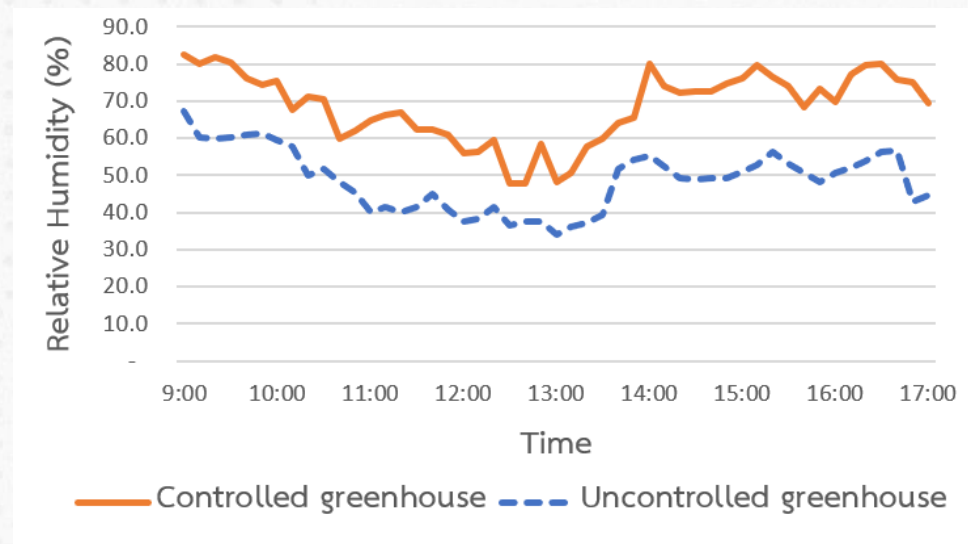
รูปที่ 16 ตำแหน่งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

3. ผลการทดลอง

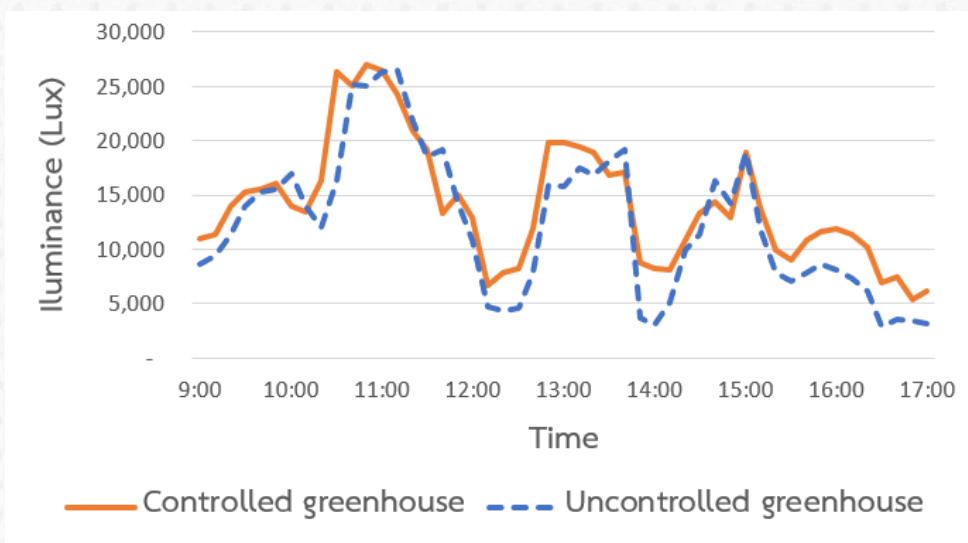
ทดลองเปรียบเทียบสภาวะแวดล้อม ทั้งความสว่างแสง อุณหภูมิและความชื้น ระหว่างโรงเรือนที่ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมกับโรงเรือนที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุม บันทึกค่าเมื่อวันที่ 14 ธันวาคม 2565 ระหว่างเวลา 9.00 น. – 17.00 น. ได้ผลการทดสอบดังนี้



รูปที่ 17 การเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในโรงเรือน



รูปที่ 18 การเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน



รูปที่ 19 การเปรียบเทียบความสว่างภายในโรงเรือน

4. บทสรุป

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลสภาพแวดล้อมของโรงเรือนที่ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมกับโรงเรือนที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุม พบว่าความสว่างภายในโรงเรือนควบคุมมีความสว่างสูงกว่า 5,000 ลักซ์ ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดจากการตอบสนองต่อแสงของกัญชง เนื่องจากมีการให้แสงเสริมจากแผงหลอดไฟแอลอีดี ในช่วงที่มีความสว่างต่ำ ในส่วนความชื้นและอุณหภูมิโรงเรือนที่ติดตั้งอุปกรณ์เมื่อเทียบระหว่างทั้งสองโรงเรือน พบว่าโรงเรือนที่ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมมีอุณหภูมิต่ำกว่า 2-8 องศาเซลเซียส และสามารถทำความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือนในช่วงการช่วงต้นอ่อนถึงช่วงท้ายของการทำไปได้สูงเพียงพอ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการเครือข่ายอุดมศึกษาเพื่ออุตสาหกรรม (Hi-Fi) ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณสำหรับการทำโครงการวิจัย และขอขอบคุณห้างหุ้นส่วนจำกัด โกลด์เด็น ฮอर्सเฮมพ์ที่ถ่ายทอดความรู้ในการเพาะปลูกกัญชง ซึ่งทำให้สามารถดำเนินโครงการให้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ส่วนสำรวจและรายงาน. กัญชา-กัญชง. สำนักงานป้องกันและปราบปรามยาเสพติดภาคเหนือ, เชียงใหม่. 2544.
- [2] ธมลวรรณ เนื่องกันทา. ศักยภาพการผลิตกัญชงบนพื้นที่สูงในเขตภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชไร่. สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 2552.
- [3] M.C. Peel, B.L. Finlayson, T.A. McMahon, Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*. 11(2007) 1633-1644.
- [4] R.C. Clarke, Hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivation in the Tai'an District of Shandong Province, Peoples Republic of China. *Journal of the International Hemp Association*. 4(1995) 57-108.
- [5] T. Spapens, (2011). The cannabis market in the Netherlands. *Social Science Research Network Electronic Journal*. (2011) 1856467.
- [6] บังอร ศรีพานิชกุล. การใช้กัญชาเพื่อประโยชน์ทางการแพทย์. *วารสารเภสัชศาสตร์อีสาน* 51(2562) 1-26.
- [7] J. Dan, J. Shengxi, C. Jie, Cannabis indoor growing conditions, management practices, and post-harvest treatment: A review. *American Journal of Plant Sciences*. 10(2019) 925-946.
- [8] M. Nafeesa, E.Z.F. Hany, M.S. Abdullah, Energy Consumption Model for Indoor Cannabis Cultivation Facility. *IEEE Open Access Journal of Power and Energy*, 7(2020) 222-233.
- [9] E. Mill, The carbon footprint of indoor cannabis production. *Energy Policy*. 46(2012) 58-67.
- [10] K.G. Pasgianos, P. Arvanitis, A. Polycarpou, N. Sigrimis, A nonlinear feedback technique for greenhouse environmental control. *Computers and Electronics in Agriculture*. 40(2003) 153-177.

การศึกษาเชิงทดลองเพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อนด้วยอุปกรณ์สร้างการไหลวนชนิด
Modified NACA0024 แบบสองแถวในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อหน้าตัดวงกลม
Experimental Study of Heat Transfer Enhancement by Double-sided Modified
NACA0024 Vortex Generator in Tubular Heat Exchanger

เตวิชญ์ปภัช ลีลาธนพร^{1*} และ สืบสกุล คุรุรัตน์¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

*E-mail: taewitchphad.l@ku.th

บทคัดย่อ

การศึกษาเชิงทดลองเพื่อเพิ่มการถ่ายเทความร้อนด้วยอุปกรณ์สร้างการไหลวนชนิด Modified NACA0024 แบบสองด้านในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อหน้าตัดวงกลม สำหรับงานวิจัยนี้ทำการศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนดังนี้ ระยะ Pitch, มุม inclination angle และความหนาของอุปกรณ์สร้างการไหลวน ซึ่งอุปกรณ์สร้างการไหลวนถูกติดตั้งกับแผ่นอลูมิเนียมที่มีความหนา 0.5 มิลลิเมตร ที่ด้านบนของแผ่น ผลการทดลองพบว่า ค่ามุม Inclination angle ของอุปกรณ์สร้างการไหลวน Modified NACA00024 เท่ากับ 60 องศา มีค่า Heat Transfer Enhancement Performance ดีที่สุดเท่ากับ 1.35 ถัดมาระยะ Pitch 3 cm สามารถทำให้เกิดค่า HTEP สูงสุดในงานวิจัยนี้เท่ากับ 1.45 สุดท้ายค่าความหนาของอุปกรณ์สร้างการไหลวนเท่ากับ 11 mm ให้ค่า HTEP ดีที่สุดเท่ากับ 1.32

คำสำคัญ: เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน, ท่อหน้าตัดวงกลม, อุปกรณ์สร้างการไหลวน

Abstract

A study is conducted to improve heat transfer in a tubular heat exchanger by utilizing a modified NACA0024 vortex generator. This study focuses on investigating various parameters that could affect heat transfer, such as the pitch and inclination angle of the vortex generator, as well as its thickness. The vortex generator is affixed to a 0.5 mm thick aluminum plate. The final results demonstrate that an inclination angle of 60 degrees yields the Heat Transfer Enhancement Performance, HTEP of 1.35. Then, a pitch of 3 cm presents the highest HTEP in this study, reaching a value of 1.45. Finally, a thickness of 11 mm provides the best HTEP of 1.32.

Keywords: Heat exchanger, Tubular tube, Vortex generator

1. บทนำ

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) ถูกนำมาใช้ในในการแลกเปลี่ยนความร้อนจากของไหลหนึ่งไปยังของไหลหนึ่ง สำหรับของไหลที่นำมาแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหลังจากเกิดการถ่ายเทความร้อน ส่วนของภาคอุตสาหกรรมนั้นมีการนำอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมาใช้กันอย่างแพร่หลายเช่น การนำน้ำมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารผลิตภัณฑ์หรือผลผลิตพลอยได้ เพื่อให้ผลผลิตพลอยได้เกิดการกลั่นตัวจากสถานะแก๊สเป็นสถานะของเหลว นอกจากนี้ยังสามารถนำไอน้ำเข้ามาแลกเปลี่ยนกับสารผลิตภัณฑ์ ก่อนนำสารผลิตภัณฑ์เข้าหอรระเหย (Evaporator) เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารผลิตภัณฑ์ก่อนเข้าหอรระเหย เป็นต้น

ทั้งนี้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มักนิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมมีหลากหลายประเภท เช่น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น (Plate heat exchanger) , เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ (Shell and tube heat exchanger) ซึ่งในกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ไม่ว่าจะเป็นการใช้ของไหลที่มีอุณหภูมิสูง หรือ ของไหลที่มีอุณหภูมิต่ำจะเกิดการสูญเสียความร้อนออกจากระบบ หรือข้อจำกัดในเรื่องสถานที่ที่มีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นในการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพตามต้องการจึงจำเป็นต้องมีพื้นที่การแลกเปลี่ยนความร้อนสูง (High heat transfer area) ซึ่งส่งผลให้ในบางครั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต้องมีขนาดใหญ่ หรือระยะที่ยาว เพื่อให้มีการแลกเปลี่ยนความร้อนตามต้องการ หรือเพิ่มการไหลวนภายในระบบแก่ของไหลในระบบให้มากขึ้น เพื่อให้เกิดความเร็วในระบบที่สูงขึ้น และเกิดการถ่ายเทความร้อนได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นเทคนิคการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (Heat transfer enhancement technique) จึงมีความจำเป็นอย่างมากในการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

อุปกรณ์สร้างการไหลวน หรือ Vortex generator (VG) เริ่มมีความนิยมนำมาประยุกต์ใช้ในการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนแก่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งหน้าที่ของอุปกรณ์สร้างการไหลวนนี้ทำหน้าที่เพิ่มการผสม (Mixing) ให้กับของไหลภายในท่อของไหลใกล้กับบริเวณผนังท่อ ผ่านการสร้างการไหลวนตามยาว (Longitudinal Vortex) ภายในท่อ สำหรับอุปกรณ์สร้างการไหลวนภายในท่อในรูปแบบของ Insert ที่นำประยุกต์ใช้กับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีหลากหลายรูปแบบ เช่น Twisted insert , helical tapes insert , Solid wires และ baffles เป็นต้น

ในการแบ่งรูปแบบในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทได้แก่ 1. Passive techniques 2. Active technique 3. Compound technique โดยวิธีการที่มักนำมาใช้มากที่สุดคือ Passive techniques เป็นเทคนิคการออกแบบอุปกรณ์สร้างการไหลวนตามยาวโดยไม่มีการใส่งานจากภายนอกเข้าไป [1]

จากเทคนิคในการออกแบบดังกล่าวส่งผลให้ในปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมนิยมใช้อุปกรณ์สร้างการไหลวนในเครื่องจักร หรือในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอย่างแพร่หลาย เช่น อุปกรณ์สร้างการไหลวนชนิด Modified NACA0024 ซึ่งถือว่าเป็นอุปกรณ์สร้างการไหลวนที่มีการอ้างอิงในการออกแบบบนพื้นฐานของ Passive techniques โดยในงานวิจัยนี้จะทำการสร้างอุปกรณ์สร้างการไหลวน ซึ่งจะนำรูปทรง Modified airfoil model NACA0024 มาเป็นพื้นฐานในการออกแบบ และทำการปรับในเรื่องของการติดตั้งให้มีการติดตั้งคล้ายลักษณะ อุปกรณ์สร้างการไหลวนรูปทรง Wavy และติดตั้งรูปแบบคู่ (Double-sided) นอกจากนี้ยังทำการเจาะรูในลักษณะวงกลมของอุปกรณ์สร้างการไหลวน Modified NACA0024 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน และลดค่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นกับในระบบท่อ

[1] ทำการศึกษาลักษณะความแตกต่างของรูปทรงของอุปกรณ์สร้างการไหลวนภายในท่อ (Tube insert) ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) โดยการรวบรวมนำผลงานวิจัยมาทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน ในการออกแบบอุปกรณ์สร้างการไหลวนสามารถจัดสรรหมวดหมู่ในการออกแบบเป็น 3 ประเภท 1. Passive techniques 2. Active technique 3. Compound technique โดยวิธีการที่มักนำมาใช้มากที่สุดคือ Passive techniques เป็นเทคนิคการออกแบบอุปกรณ์สร้างการไหลวนเพื่อเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมกรมการ

ไหลของของไหลในท่อจากการไหลแบบราบเรียบเป็นการไหลแบบปั่นป่วน ซึ่งจะทำให้มีการเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer coefficient) โดยปัจจัยที่ต้องคำนึงในการออกแบบตามเทคนิคนี้ คือ ระยะความห่างของตัวก่อวน (ตัวสร้างความปั่นป่วน) , การเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของของไหล และชุดก่อวนการไหล เพื่อสร้างพฤติกรรมการไหล ณ จุดก่อวนให้เป็นการไหลแบบหมุน (Swirl flow device) และ Active technique เป็นเทคนิคที่มีความซับซ้อนมากกว่า Passive technique ซึ่งจะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เสริมสร้างการปั่นป่วนให้กับอุปกรณ์สร้างการไหลวนเพิ่มเติม เช่น Electrostatic field เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนภายในระบบ แต่เมื่อเปรียบเทียบความซับซ้อนในการออกแบบ และประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนภายในระบบ จะพบว่า การนำ Passive techniques มาประยุกต์ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนจะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ และคุ้มค่ามากที่สุด โดยชนิดของอุปกรณ์สร้างการไหลวนภายในท่อที่มักนำมาประยุกต์ใช้ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นมีอยู่หลายรูปทรงลักษณะ เช่น Twisted tape , V-Nozzle insert , Helical tapes , Hi-tran wire matrix , Soldered wire wound inserts เป็นต้น

ต่อมาได้มีการศึกษาผลกระทบของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ในการใช้อุปกรณ์สร้างการไหลวนรูปทรง Airfoil model NACA63421 โดยกำหนดอุณหภูมิของของไหล (อากาศ) ในช่วงตั้งแต่ -30 องศาเซลเซียส ถึง 20 องศาเซลเซียส ซึ่งในการทดลองใช้ค่า Nusselt (Nu) เป็นตัวแสดงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน และใช้ค่า Re ในการกำหนดอัตราการไหลของของไหล จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่า NU กับอุปกรณ์สร้างการไหลวนรูปทรงอื่น คือ รูปทรง circular cylinder และ รูปทรง Flat plate พบว่า ที่ Re เดียวกันไม่ว่าจะเป็น Re สูง หรือต่ำ อุปกรณ์สร้างการไหลวนรูปทรง circular cylinder และ รูปทรง Flat plate จะมีค่า NU สูงกว่าอุปกรณ์สร้างการไหลวนรูปทรง Airfoil model NACA63421 [2]

จากนั้นได้มีการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนโดยใช้อุปกรณ์สร้างการไหลวนรูปทรง Airfoil NACA0024 ภายในท่อ โดยกำหนดค่าตัวแปรตามคือ มุมองศาในการติดตั้งอุปกรณ์สร้างการไหลวน (Inclination angle : IA) : 0 , 30 45 องศา และกำหนดพฤติกรรมการไหลของอากาศอยู่ในช่วง Reynolds number (Re) ระหว่าง 4,196 ถึง 8,125 นอกจากนี้ยังกำหนดระยะห่างของการติดตั้งอุปกรณ์สร้างการไหลวน Airfoil NACA0024 อยู่ที่ 1 (P ระยะความห่างการติดตั้ง / D เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ) โดยจากผลการทดลอง พบว่า มุมองศาในการติดตั้งอุปกรณ์สร้างการไหลวน (Inclination angle : IA) : 45 องศา มีค่า NU/NU_0 มากที่สุด ที่ Re เท่ากับ 4196 เนื่องจาก อุปกรณ์สร้างการไหลวน model NACA0024 IA : 45 องศา สามารถสร้างความปั่นป่วน (swirl) ในระบบท่อได้มากที่สุด ซึ่งทำให้มีค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากตาม (HTEP) และในส่วนของ f/f_0 เมื่อพบว่า ค่า NU/NU_0 มากที่สุดที่ IA : 45 องศา ดังนั้นค่าแรงเสียดทานของอุปกรณ์สร้างการไหลวน model NACA0024 IA : 45 องศา มากที่สุดเช่นกันที่ Re เท่ากับ 4196 เนื่องจากการมีความปั่นป่วนภายในระบบท่อมากที่สุด [3]

จากงานวิจัย [3] ได้มีการศึกษาต่อยอดในการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนโดยการพัฒนาอุปกรณ์สร้างการไหลวนรูปทรง Airfoil model NACA0024 ซึ่งทำการติดอุปกรณ์สร้างการไหลวนด้านบนของแผ่นอลูมิเนียมเพียงด้านเดียว และมีการติดตั้งอุปกรณ์สร้างการไหลวนแบบคู่ โดยวัสดุที่เลือกนำมาใช้ในการทำอุปกรณ์สร้างการไหลวน คือ พลาสติก PLA หรือ Polylactic acid และทำการขึ้นรูปด้วยเทคโนโลยี 3D printing ซึ่งมีการกำหนดตัวแปรตาม คือ มุมองศาในการติดตั้งอุปกรณ์สร้างการไหลวนเข้าหากัน (Angle of vortex generator) โดยทำการศึกษาที่มุมองศา 60 , 90 และ 120 องศา นอกจากนี้ยังทำการศึกษาอิทธิพลของระยะความห่างของการติดตั้งอุปกรณ์สร้างการไหลวนอีกด้วย โดยทำการกำหนดเป็นค่าอัตราส่วนระยะความห่างในการติดตั้ง ต่อความยาวของอุปกรณ์สร้างการไหลวน (P/L) ซึ่งทำการศึกษา 5 อัตราส่วน : 3 , 4 , 5 , 6 และ 7 เพื่อทำการศึกษาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน (Heat transfer enhancement performance : HTEP) โดยจากการศึกษา พบว่า ที่มุมองศา 90 องศาในการติดตั้งอุปกรณ์สร้างการไหลวนนั้นมีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด เท่ากับ 1.62 ที่ Re เท่ากับ 3923 และที่อัตราส่วนระยะความห่างในการติดตั้ง ต่อความยาวของอุปกรณ์สร้างการไหลวน (P/L) เท่ากับ 4 [4]

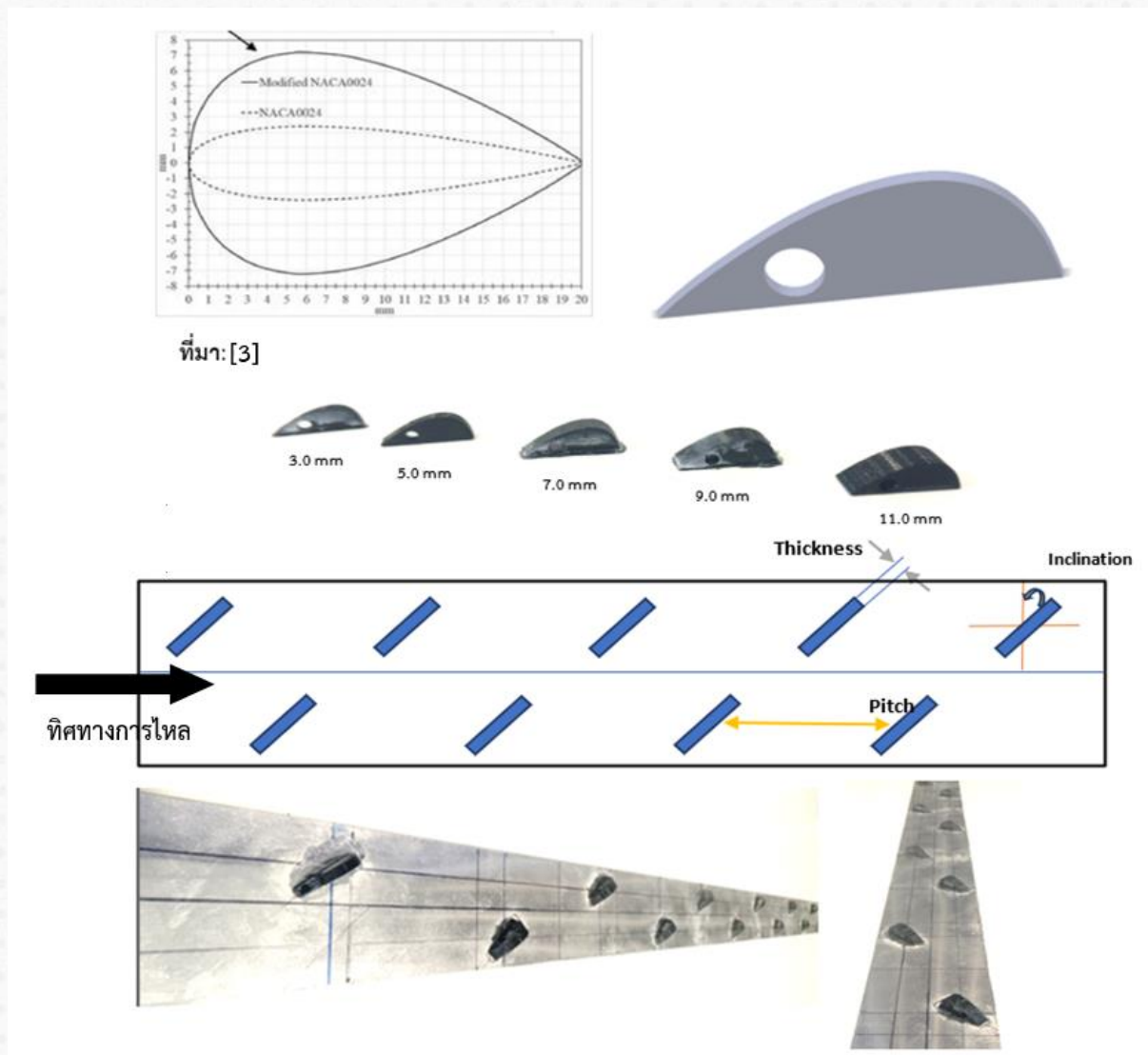
จากการตรวจเอกสาร พบว่างานวิจัยของ [3] และ [4] ยังสามารถนำมาต่อยอดพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน 3 ตัวแปร ประกอบไปด้วย 1. มุมองศาในการติดตั้ง (Inclination angle) 2. ระยะ Pitch และ 3. ความหนาของอุปกรณ์สร้างการไหลวน (Thickness)

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 2.1 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้อุปกรณ์สร้างการไหลวน (VG)
- 2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์สร้างการไหลวน (VG)

3. วิธีดำเนินการวิจัย

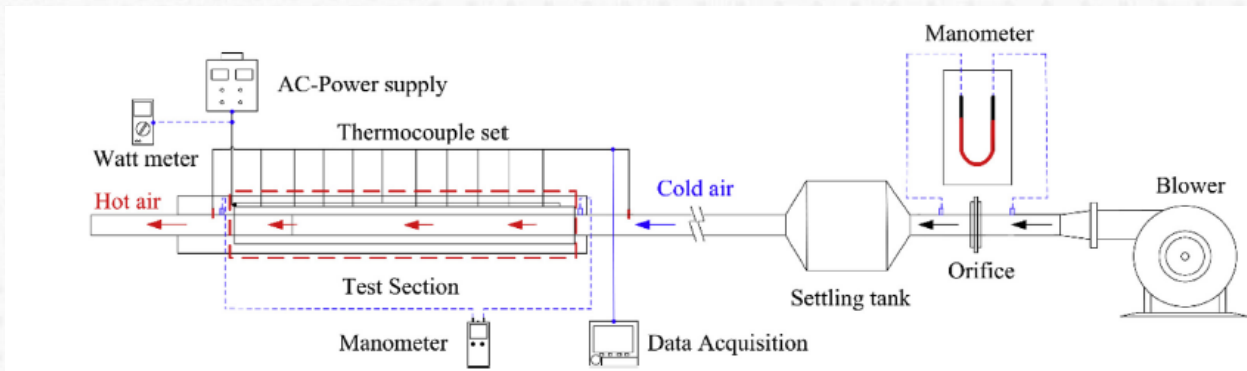
ส่วนแรก คือการสร้างอุปกรณ์สร้างการไหลวน (VG) ซึ่งทำการเขียนแบบโดยใช้โปรแกรม Solid work และพิมพ์โดยเครื่องปริ้น 3D printer ซึ่งใช้วัสดุเป็นพลาสติก PLA : Polylactic acid จากนั้นทำการนำมาติดตั้งบนแผ่นอลูมิเนียมที่มีขนาดความยาว x กว้าง x ความหนา ตามลำดับ ดังนี้ 1000.0 x 40.0 x 0.5 mm. ตาม ภาพที่ 1 รายละเอียดรูปทรง และการติดตั้งอุปกรณ์สร้างการไหลวน Modify Model NACA0024



ภาพที่ 1 รายละเอียดรูปทรง และการติดตั้งอุปกรณ์สร้างการไหลวน Modified Model NACA0024

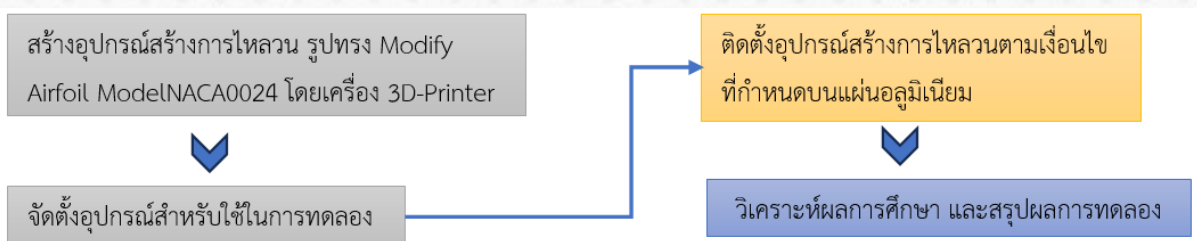
ถัดมาทำส่วนประกอบชุดทดลองมีดังนี้ Ring Blower Norvax model : NVS220 ใช้ในการส่งอากาศเข้าท่อทองแดง ซึ่งเป็น Test section zone โดยท่อทองแดงมีขนาด 2 นิ้ว ความยาว 4.7 เมตร โดยด้านทางส่งอากาศเข้า Test section มีการติดตั้ง Ball valve ท่อทองแดงสำหรับปรับความเร็วขาเข้าของอากาศ, แผ่น Orifice plate จำนวน 1 ชั้น , ซิทเทิลแทงค์ (Settle tank) และมานอมิเตอร์แบบหลอดเอียง (Inclined Manometer) ตามลำดับ

ในส่วน Test section ท่อทองแดงถูกทำการติดตั้ง T-Thermocouple type j ยาว 1.8 เมตร จำนวน 22 ชุด ซึ่งเป็นตัววัดค่าอุณหภูมิที่ผิวท่อทองแดง และต่อเข้ากับเครื่อง Data Acquisition Unit เป็นเครื่องบันทึกข้อมูลหลายช่องสัญญาณสำหรับเก็บข้อมูลของค่าอุณหภูมิในระหว่างการทดลอง จากนั้นใช้ลวดทองแดงนำมาพันรอบส่วนทดสอบนอกผิวท่อทองแดง และต่อกับอุปกรณ์จ่ายไฟกระแสสลับ (AC power supply) เพื่อให้อุปกรณ์จ่ายไฟกระแสสลับ (AC power supply) จ่ายไฟฟ้าผ่านลวดทองแดงสร้างฟลักส์ความร้อนคงที่บนผิวของท่อส่วนทดสอบ และภายนอกท่อทองแดงจะถูกห่อหุ้มด้วยแผ่นฉนวนกันความร้อน ชนิดเซรามิกไฟเบอร์ เพื่อไม่ให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศภายนอก นอกจากนี้ในส่วน Test section มีการติดตั้ง Digital manometer ระหว่างส่วนทดสอบด้วยเพื่อทำการวัดค่าแรงดันตกคล่อมระหว่างอากาศขาเข้าตามภาพที่ 2 ภาพแสดงการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 2 ภาพแสดงการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับใช้ในการทดลอง [3]

และขาออกที่ผ่านอุปกรณ์สร้างการไหลวน (VG) โดยในการเก็บค่าอุณหภูมิทั้ง 22 จุด นั้นจะต้องอยู่ในสภาวะคงตัวแล้ว (Steady flow) ซึ่งตัวแปรทั้งหมดที่เกี่ยวข้องในการทดลองจะแสดงตามตารางที่ 1 ตารางแสดงรายละเอียดตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการทดลอง และภาพที่ 3 ขั้นตอนในการทดลอง



ภาพที่ 3 ขั้นตอนในการทดลอง

ตารางที่ 2 ตารางแสดงรายละเอียดตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการทดลอง

ลำดับ	ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ค่า
1	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อส่วนทดสอบ	50 mm
2	ความยาวส่วนทดสอบ	1,200 mm
3	ความกว้างแผ่นอลูมิเนียม	50 mm
4	ความหนาแผ่นอลูมิเนียม	0.5 mm
5	อุณหภูมิอากาศทางเข้าพัดลม	298 k
6	วัสดุของอุปกรณ์สร้างการไหลวน	Polylactic acid (PLA)
7	Voltage heater	800 W/m ²
8	ทิศทางการไหลของลม	ตามแนวท่อ (X-direction)
9	Reynolds number (Re)	8,000 – 22,000
10	Inclination angle	30, 45 และ 60 องศา
11	ระยะ Pitch	ระยะ Pitch 3 , 5 , 7 , 9 และ 11 cm
12	ความหนา (Thickness)	ความหนา 3 , 5 , 7 , 9 และ 11 mm

4. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สำหรับหลักการที่ใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะเชิงความร้อนของอุปกรณ์สร้างการไหลวน Modify model NACA0024 นั้น ได้จากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิในแต่ละช่วงของ Test section และความดันตกคล่อมในช่วง Test section เพื่อนำมาวิเคราะห์ร่วมกันในการหาค่า HTEP (Heat transfer enhancement performance) จากการวิเคราะห์กลไกในการถ่ายเทความร้อน พบว่าการถ่ายเทความร้อนแบบพาความร้อน เท่ากับความร้อนที่อากาศในท่อได้รับ

$$Q_{air} = Q_{convection} = \dot{m}c_p(T_{out} - T_{in}) \quad (1)$$

$$\dot{m} = \rho A_t U \quad (2)$$

โดย \dot{m} คือ อัตราการไหลของอากาศ , c_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะ , T_{in} และ T_{out} คือ ค่าอุณหภูมิของอากาศขาเข้า และหลังส่วนทดสอบตามลำดับ และ A_t คือพื้นที่หน้าตัดของส่วนทดสอบ จากนั้นตัวแปรอื่นที่เกี่ยวข้องสามารถคำนวณได้จาก

$$\dot{Q}_{conv} = hA(\bar{T}_s - T_b) \quad (3)$$

$$\dot{Q}_{air} = \dot{m}c_p(T_o - T_i) \quad (4)$$

เมื่อ h คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน, A คือ พื้นที่ของส่วนทดสอบ ถัดมา \bar{T}_s และ T_b คือ อุณหภูมิเฉลี่ยที่ผนังส่วนทดสอบ และอุณหภูมิบัลค์ของอากาศตามลำดับ สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และอุณหภูมิบัลค์ของอากาศ สามารถคำนวณได้จาก

$$h = \frac{\dot{m}c_p(T_{out} - T_{in})}{A_c(T_w - T_b)} \quad (5)$$

$$T_b = \frac{(T_{out} - T_{in})}{2} \quad (6)$$

$$T_w = [\sum_{i=1}^{16} T_{w,i}] / 16 \quad (7)$$

โดย A_c คือ พื้นที่ผิวท่อช่วงทดสอบ (m^2) และ $T_{w,i}$ คือ ค่าอุณหภูมิที่วัดโดยเทอร์โมคัปเปิล ต่อมา Nu สามารถหาได้จาก

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (8)$$

ซึ่ง k คือค่าสภาพการนำความร้อน (Thermal conductivity) และ D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางส่วนทดสอบ นอกจากนั้นค่าแรงเสียดทาน (f) สามารถหาได้จาก

$$f = \frac{(\Delta P / L)D}{\frac{1}{2}\rho U^2} \quad (9)$$

โดย ΔP คือค่าแรงดันตกคลองของส่วนทดสอบ ρ คือค่าความหนาแน่นของอากาศ L คือค่าความยาวของส่วนทดสอบ และ U คือค่าความเร็วเฉลี่ยของอากาศขาเข้า ส่วนค่า Nu_0 และ f_0 ของท่อผนังเรียบ จะสามารถหาได้จากสมการสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter correlation และ Blasius's correlation ซึ่งต้องใช้ค่า Reynolds number มาเป็นส่วนประกอบในการคำนวณ Re สามารถเขียนได้ดังนี้

$$Re = \frac{\rho DV}{\mu} \quad (10)$$

เมื่อ D คือเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนทดสอบ, V คือค่าความเร็วของอากาศ และ μ คือค่าความหนืดของอากาศ
Dittus-Boelter correlation:

$$Nu = 0.023Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (11)$$

Blasius's correlation:

$$f = 0.316Re^{-0.25} \quad (12)$$

ในการหาค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน (HTEP : Heat transfer enhancement performance) สามารถหาได้จาก

$$HTEP = \left[\frac{Nu}{Nu_0} \right] / \left[\frac{f}{f_0} \right]^{0.33} \quad (13)$$

โดย Nu คือ ค่า Nu จากการทดลองจริง และ f คือค่าแรงเสียดทานจากการทดลองจริง

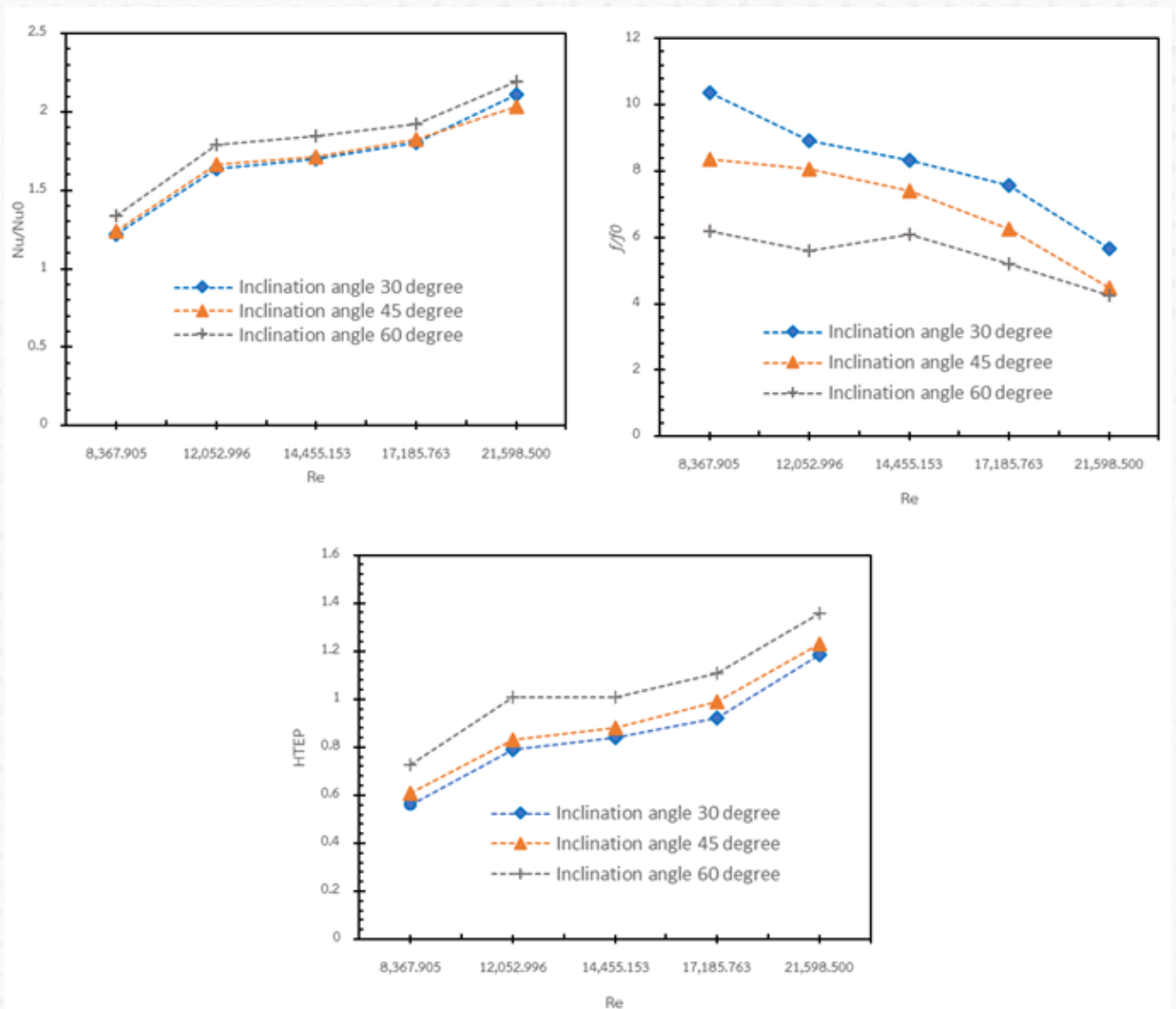
5. ผลการศึกษา

5.1 ผลการศึกษาอิทธิพลของมุม Inclination angle

ผลของการทดลองส่วนนี้เป็นการเปรียบเทียบมุม inclination angle ระหว่าง 30 องศา , 45 องศา และ 60 องศา ในการติดตั้งอุปกรณ์สร้างการไหลวน Modified NACA00024 ถูกแสดงในภาพที่ 4 เพื่อพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพของชิ้นงาน มุม 30 องศา นั้นเป็นมุมที่ค่อนข้างตั้งฉากกับการไหลมากกว่ามุม 60 องศา ด้วยเหตุนี้เองสำหรับมุม 30 องศา ตัว Modified NACA00024 มีการกีดขวางการไหลที่มากกว่ามุมอื่นๆ ส่งผลให้ค่า f/f_0 นั้นจึงสูงกว่า f/f_0 ของมุมอื่นๆ ได้อย่างชัดเจน

ต่อมาสำหรับลักษณะการไหลที่เกิดขึ้น ในทุกๆ inclination angle นั้น Modified NACA00024 สามารถสร้างการไหลวนตามแนวยาวได้ (Longitudinal vortex) ภายในท่อได้ การไหลวนนี้สร้างการผสมขึ้นและช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้นกว่าท่อตรงแบบที่ไม่มี Modified NACA00024 สำหรับค่า Nu/Nu_0 เห็นได้ว่า ที่มุม 60 องศา มีค่า Nu/Nu_0 สูงสุด

จากค่า f/f_0 และ Nu/Nu_0 ที่ได้จากการทดลองเมื่อคำนวณค่า HTEP แล้วพบว่าค่าที่มุม 60 องศา มีค่า HTEP สูงสุดที่ 1.355 ส่วนมุม 30 องศา มีค่า HTEP ต่ำสุดที่ 0.56

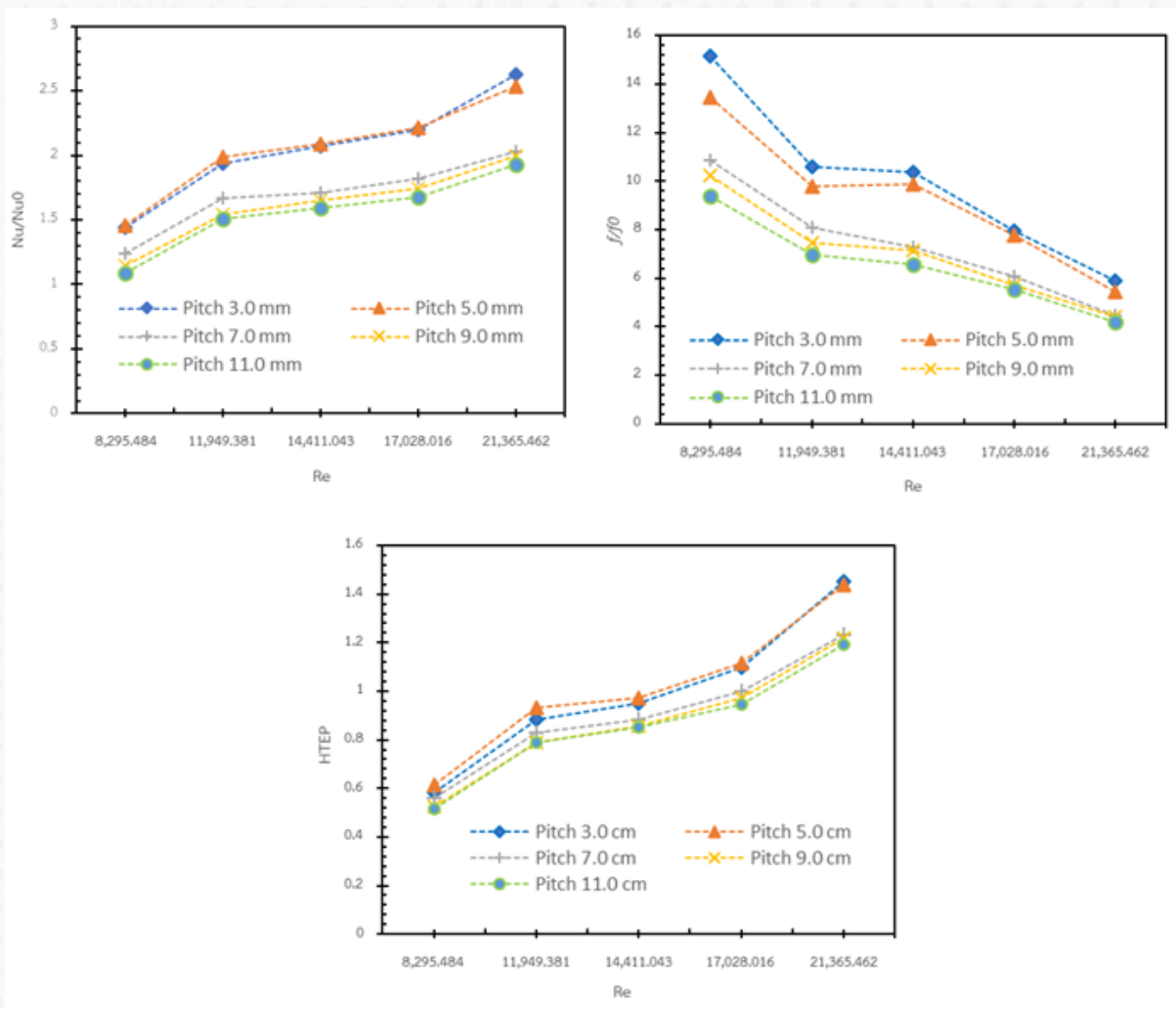


ภาพที่ 4 Nu/Nu_0 , f/f_0 และ HTEP vs Re ที่มุม Inclination angle ของอุปกรณ์สร้างการไหลวน Modified NACA00024 ต่างๆ

5.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของระยะ Pitch

ผลการทดลองส่วนนี้เป็นการเปรียบเทียบระยะ Pitch ระหว่าง 3 cm , 5 cm , 7 cm , 9 cm และ 11 cm ในการติดตั้งอุปกรณ์สร้างการไหลวน Modified NACA00024 ซึ่งกำหนดมุม Inclination angle เท่ากับ 45 องศา และความหนาที่ 7.0 mm ดังภาพที่ 5 พบว่า ในส่วนของการถ่ายเทความร้อนที่ระยะ Pitch 3.0 cm และ 5.0 cm สามารถสร้างการไหลวนของอากาศในท่อได้สูงใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เป็นผลมาจากจำนวน Modified NACA00024 ที่ติดตั้งบนแผ่นลูมิเนียมที่มีจำนวนมากกว่าระยะห่างในการติดตั้งรูปแบบอื่น จึงส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้สูง

ถัดมาเมื่อพิจารณาค่าแรงเสียดทานพบว่าระยะ Pitch จะมีผลของจำนวนของอุปกรณ์สร้างการไหลวนเข้ามาเกี่ยวข้องโดยตรง โดยที่ระยะ Pitch น้อยๆนั้น สามารถติด Modified NACA00024 ได้จำนวนมาก และทำให้เกิดการไหลวนของของไหลในระบบมาก ส่งผลไปยังค่าแรงเสียดทานสูงในระยะห่างในการติดตั้งน้อย ในส่วน HTEP พบว่า ที่ ระยะ Pitch 3.0 cm มีค่า HTEP สูงสุดที่ 1.45 ที่ Re เท่ากับ 21,365 ทั้งนี้เนื่องมาจากค่า Nu/Nu_0 ของระยะ Pitch 3.0 cm มีค่าสูงสุดและค่า f/f_0 ต่ำสุดของทุก Re ดังนั้นจึงส่งผลให้ค่า HTEP ที่ ระยะความห่าง 3.0 cm มีค่าสูงสุดตามภาพที่ 5

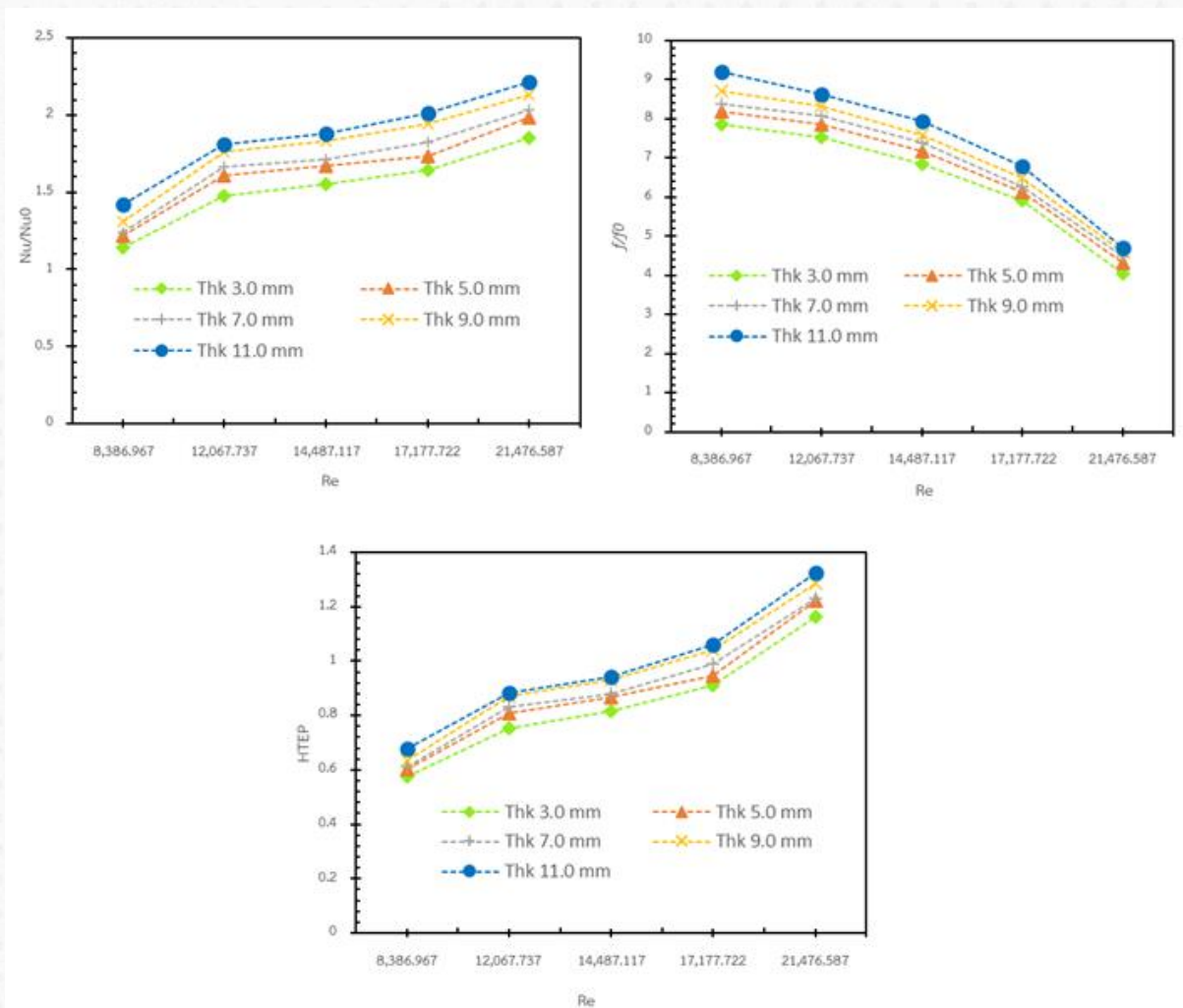


ภาพที่ 5 Nu/Nu_0 , f/f_0 และ HTEP vs Re ที่ระยะ Pitch ของอุปกรณ์สร้างการไหลวน Modified NACA00024 ต่างๆ

5.3 ผลการศึกษาอิทธิพลของความหนา

ผลการทดลองเปรียบเทียบความหนาระหว่าง 3 mm , 5 mm , 7 mm และ 11 mm ของอุปกรณ์สร้างการไหลวน Modified NACA00024 โดยกำหนดมุม Inclination angle เท่ากับ 45 องศา และระยะ Pitch ที่ 7.0 cm ถูกแสดงในภาพที่ 6 พบว่าที่ความหนา 11 mm ให้ค่า Nu/Nu_0 สูงกว่าความหนาอื่นๆในทุกๆ Re ทั้งนี้ค่าจากการทดลองสอดคล้องกับผลการทดลองของ [5] ทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน ในการติดตั้งอุปกรณ์สร้างการไหลวนรูปทรง Airfoil Series NACA 0010 (ความหนา 0.06 mm) , NACA 0020 (ความหนา 0.12 mm) , NACA 0030 (ความหนา 0.18 mm) และ NACA 0040 (ความหนา 0.24 mm) ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิด Printed circuit (PCHE) ก็พบว่าค่าความหนาของอุปกรณ์สร้างการไหลวนเป็นปัจจัยที่ทำให้ Nu เพิ่มสูงขึ้น

เมื่อพิจารณาในด้านแรงเสียดทานพบว่า ที่ความหนา 11 mm มีค่า f/f_0 สูงสุด ซึ่งค่อนข้างสมเหตุสมผล เนื่องจากความหนาของ Modified NACA00024 นั้นทำให้การไหลไม่ราบรื่นเมื่อเทียบกับความหนาที่น้อยกว่าในทุกๆ Re เช่นเดียวกับค่า Nu/Nu_0 สำหรับค่า HTEP นั้นมีค่าสูงสุดที่ 1.32 ที่ความหนา 11 mm ที่ Re เท่ากับ 21,466.587



ภาพที่ 6 Nu/Nu_0 , f/f_0 และ HTEP vs Re ที่ความหนาของอุปกรณ์สร้างการไหลวน Modified NACA00024 ต่างๆ

6. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนด้วย Modified NACA0024 Vortex Generator สามารถสรุปได้ดังนี้

- มุม Inclination angle ในการติดตั้งอุปกรณ์สร้างการไหลวน Modified NACA0024 ที่มีมุม 60 องศา มีค่า HTEP ดีที่สุดเท่ากับ 1.35
- ระยะ Pitch 3 cm สามารถทำให้เกิดค่า HTEP สูงสุดในงานวิจัยนี้เท่ากับ 1.45
- ค่าความหนา พบว่าที่ความหนาของอุปกรณ์สร้างการไหลวนเท่ากับ 11 mm ให้ค่า HTEP ดีที่สุดเท่ากับ 1.32
- ข้อเสนอแนะในการทำการทดลองในครั้งต่อไปควรติดตั้งอุปกรณ์สร้างการไหลวนที่มีมุม Inclination angle, ระยะ Pitch และความหนา เท่ากับ 60 องศา, 3 cm และ 11 mm ตามลำดับ

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ในการสนับสนุนสำหรับการวิจัยนี้

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Kiran, A. Manoj, C. Umesh, A review on effect of various types of tube inserts on performance parameters of heat exchanger. *International Journal of Research in Advent Technology*. 2(2014) 2321-9637.
- [2] X. Wang, E. Bibeau, GF. Naterer, Experimental correlation of forced convection heat transfer from a NACA airfoil. *Experimental thermal and fluid science*. 31(2007) 1073-82.
- [3] S. Gururatana, S. Skullong, Experimental investigation of heat transfer in a tube heat exchanger with airfoil-shaped insert. *Case Studies in Thermal Engineering*, (2019) 1-14.
- [4] S. Gururatana, S. Skullong, Heat transfer augmentation in a pipe with 3D printed wavy insert. *Case Studies in Thermal Engineering*, 21(2020) 1-10.
- [5] F. Chen, L. Zhang, X. Huai, J. Li, H. Zhang, Z. Liu, Comprehensive performance comparison of airfoil fin PCHes with NACA 00XX series airfoil. *Nuclear Engineering and Design*, 315(2017) 42-50.

สื่อการเรียนรู้การเขียนภาษาไพธอนเรื่อง แบบจำลองพยากรณ์ Arima Learning Media Arima Model-based Python

ปัญญากร สว่างศรี¹ ศรัณญ์ โสภณโยธี¹ ปภาวรินทร์ สูงยิ่ง^{1*} และ ดวงกมล อังอำนาจศิริ²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมหุ่นยนต์และอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

²สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศและการสื่อสาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

* E-mail: auriwan.sun@mail.pbru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อพัฒนาสื่อการเรียนรู้การเขียนภาษาไพธอนเรื่อง แบบจำลองพยากรณ์ Arima ที่มีคุณภาพ 2) เพื่อหาความพึงพอใจของอาจารย์ผู้สอนในรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับการเขียนภาษาไพธอน กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม โดยเลือกแบบเจาะจง ได้แก่ ผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านเนื้อหาและการผลิตสื่อ ด้านละ 5 คน และอาจารย์มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีที่สอนวิชาที่เกี่ยวข้องกับการเขียนโปรแกรมจำนวน 5 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย สื่อการเรียนรู้การเขียนภาษาไพธอนเรื่อง แบบจำลองพยากรณ์ Arima แบบประเมินคุณภาพด้านเนื้อหา แบบประเมินคุณภาพด้านเทคนิคการผลิตสื่อ และแบบประเมินความพึงพอใจ โดยมีผลการวิจัยดังนี้

1) สื่อการเรียนรู้การเขียนภาษาไพธอนเรื่อง แบบจำลองพยากรณ์ Arima ประเมินโดย ผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหา อยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.34$, S.D. = 0.48) และด้านเทคนิคการผลิตสื่อ อยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 4.47$, S.D. = 0.50)

2) ความพึงพอใจของอาจารย์ผู้สอนในรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับการเขียนภาษาไพธอนต่อสื่อการเรียนรู้การเขียนภาษาไพธอนเรื่อง แบบจำลองพยากรณ์ Arima อยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.48 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.50 อยู่ในระดับพึงพอใจมาก

คำสำคัญ: สื่อการเรียนรู้, คุณภาพของสื่อการเรียนรู้, ความพึงพอใจของสื่อการเรียนรู้

Abstract

The objective of this research is to 1) develop high-quality Learning Media Arima Model-based Python. 2) To assess the satisfaction level of instructors teaching courses related to Python programming. The research utilized two sample groups: content experts and media production experts, consisting of 5 individuals and 5 instructors from Phetchaburi Rajabhat University teaching relevant programming courses. The research tools used included learning materials for Python programming using the Arima modeling approach, content quality assessment forms, technical quality assessment forms, media production assessment forms, and satisfaction assessment forms. The research findings are as follows:

1) The learning media arima model-based python were assessed by content experts and found to be of good quality (Mean = 4.34, S.D. = 0.48) in terms of content, as well as in terms of technical aspects of media production, which were also rated as good ($\bar{x} = 4.47$, S.D. = 0.50).

2) The satisfaction level of instructors teaching courses related to Python programming towards the learning media arima model-based python is at a high level. The average satisfaction rating is 4.48, with a standard deviation of 0.50, indicating a high level of satisfaction.

Keywords: Learning materials, Quality of learning materials, Satisfaction level of learning materials

1. บทนำ

ภาษาไพธอน (Python Programming Language) เป็นภาษาโปรแกรมระดับสูง โดยถูกออกแบบมาให้เป็นภาษาสคริปต์ที่อ่านง่าย โดยตัดความซับซ้อนของโครงสร้างและไวยากรณ์ของภาษาออกไป ตลอดจนยังมีชุดคำสั่งเสริม (library) ซึ่งมีการทำงานเป็นแบบการแปลชุดคำสั่งทีละบรรทัด เพื่อป้องกันข้อผิดพลาดให้คอมพิวเตอร์ทำงานตามที่ต้องการ ทั้งนี้ภาษาไพธอนถูกนำไปใช้ในการเขียนโปรแกรมได้หลากหลายประเภทและเป็นที่ยอมรับอย่างแพร่หลาย อาทิเช่น วิทยาศาสตร์ข้อมูล เทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ปัญญาประดิษฐ์ (AI) เพื่อช่วยจัดการการทำงาน และแก้ปัญหาที่ซับซ้อนโดยการเรียนรู้จากข้อผิดพลาดต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งข้อมูลขาเข้าและข้อมูลขาออก อีกทั้งทำให้สามารถปรับปรุงการทำงานให้มีประสิทธิภาพ เหมาะสม และยังช่วยเพิ่ม ความรวดเร็วในการทำงาน ลดภาระการใช้งานหรืออาจช่วยให้สามารถปรับปรุงการคุณภาพให้ดียิ่งกว่าเดิม [1] ดังนั้นสถานศึกษาจึงเล็งเห็นความสำคัญของการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาไพธอนและทำการบรรจุรายวิชาเพื่อทำการจัดการเรียนการสอน โดยให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ทักษะแบบจำลองพยากรณ์ต่าง ๆ ของข้อมูล ซึ่งการจัดการเรียนการสอนเกิดประสิทธิภาพสูงสุดนั้น นักศึกษาจำเป็นต้องมีทักษะในโดยการคิด การปฏิบัติรวมถึงความสามารถในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ และเหมาะสม ที่ถือเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการ ซึ่งมีการจัดการเรียนการสอนที่เน้นนักเรียนเป็นสำคัญ ตามที่ทัศนยา แซมณี [2] ระบุว่า “นักเรียนทุกคนมีความสามารถที่จะเรียนรู้และพัฒนาตนเองได้ทำให้นักเรียนมีฐานความสามารถที่เพียงพอในการพัฒนา ต่อยอดหรือสร้างองค์ความรู้ต่อไปอย่างไม่มีที่สิ้นสุด” ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยมากมายที่เกี่ยวข้องกับสร้างนวัตกรรมที่ส่งเสริมทักษะด้านการปฏิบัติผ่านกระบวนการเรียนรู้ด้วยตนเอง [3]

สื่อการเรียนรู้ด้วยเทคโนโลยีโลกเสมือนผสมผสานโลกแห่งความจริง Augmented Reality (AR) ได้รับความนิยมมากขึ้นในวงการการศึกษาประเทศไทย เป็นสื่อการสอนที่ช่วยให้นักศึกษาได้เห็น และเรียนรู้สิ่งต่าง ๆ ได้อย่างเสมือนจริงมากกว่า โดยผู้ใช้รับชมผ่านอุปกรณ์ดิจิทัล ได้แก่ แว่นตาดิจิทัล แท็บเล็ต สมาร์ทโฟน หรืออุปกรณ์แสดงผลภาพอื่น ๆ สามารถทำให้เห็นภาพเสมือนจริงได้รอบด้าน 360 องศา โดยที่ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องไปยังสถานที่จริง ซึ่งในปัจจุบันแอปพลิเคชัน Zappar เป็นที่ยอมรับในการสร้างเทคโนโลยีโลกเสมือนผสมผสานโลกแห่งความจริงเป็นแอปพลิเคชันที่สามารถนำข้อความ รูปภาพ หรือภาพเคลื่อนไหว ตลอดจนดิจิทัลในรูปแบบสามมิติ มาแสดงผลซ้อนทับลงบนวิวทิวทัศน์ หรือวัตถุต่าง ๆ บนโลกแห่งความจริง ซึ่งแอปพลิเคชัน Zappar จะสร้างสัญลักษณ์ Zapcode ออกมาเพื่อให้ผู้ใช้สามารถสแกนและรับรู้เนื้อหานอกเหนือจากหนังสือ ตำราเรียน หรือภาพนิ่งนั่นเอง

คณะผู้วิจัยได้เห็นความสำคัญที่เทคโนโลยีโลกเสมือนผสมผสานโลกแห่งความจริงเข้ามาช่วยในการเรียนการสอน และมีแนวคิดที่จะแก้ปัญหาดังกล่าว โดยการใช้สื่อการเรียนรู้ด้วยเทคโนโลยีภาพเสมือนจริง เพื่อใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนรายวิชาที่มีเนื้อหาเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาไพธอน ทั้งนี้สื่อการเรียนการสอนประกอบด้วยวิดีโอภาพสามมิติ ทำให้นักศึกษาเกิดความเข้าใจง่าย รวดเร็ว ถูกต้องและมีมุมมองต่อการเรียนรู้ในรูปแบบใหม่เพิ่มขึ้น สามารถเรียนรู้ด้วยตนเองได้ตลอดเวลา และ

บททวนบทเรียนได้ด้วยตนเองตามความต้องการ และเป็นสื่อที่ทำให้เกิดแรงจูงใจในการเรียนรู้ จึงทำให้การเรียนการสอนมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย

- 2.1 เพื่อพัฒนาสื่อการเรียนรู้การเขียนภาษาไพธอนเรื่อง แบบจำลองพยากรณ์ Arima ที่มีคุณภาพ
- 2.2 เพื่อหาความพึงพอใจของอาจารย์ผู้สอนในรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับการเขียนภาษาไพธอน

3. สมมุติฐานการวิจัย

- 3.1 สื่อการเรียนรู้การเขียนภาษาไพธอนเรื่อง แบบจำลองพยากรณ์ Arima ที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพอยู่ในระดับตั้งแต่ดีขึ้นไป ($\bar{X} > 3.50$)
- 3.2 ความพึงพอใจของอาจารย์ผู้สอนในรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับการเขียนภาษาไพธอนต่อสื่อการเรียนรู้การเขียนภาษาไพธอนเรื่อง แบบจำลองพยากรณ์ Arima อยู่ในระดับพึงพอใจมากขึ้นไป ($\bar{X} > 3.50$)

4. กรอบแนวคิด

แนวคิดในการพัฒนาสื่อการเรียนรู้การเขียนภาษาไพธอนเรื่อง แบบจำลองพยากรณ์ Arima ประยุกต์ใช้รูปแบบตามวงจรการพัฒนา ADDIE MODEL [4] ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ การวิเคราะห์ (Analysis) การออกแบบ (Design) การพัฒนา (Development) การทดลองใช้ (Implementation) และการประเมินผล (Evaluation)

สื่อการเรียนรู้การเขียนภาษาไพธอนเรื่อง แบบจำลองพยากรณ์ Arima ประยุกต์ใช้การหาคุณภาพของบทเรียน 2 ด้าน ของไพโรจน์ ตีรณธนากุล [5] ได้แก่ ด้านเนื้อหา และด้านการผลิตสื่อ

5. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม โดยเลือกแบบเจาะจง ได้แก่

- 5.1 ผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านเนื้อหาและการผลิตสื่อด้านละ 5 คน
- 5.2 อาจารย์มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีที่สอนวิชาที่เกี่ยวข้องกับการเขียนโปรแกรมจำนวน 5 คน

6. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- 6.2 สื่อการเรียนรู้การเขียนภาษาไพธอนเรื่อง แบบจำลองพยากรณ์ Arima
- 6.2 แบบประเมินคุณภาพ ประกอบด้วย แบบประเมินคุณภาพด้านเนื้อหา และแบบประเมินคุณภาพด้านเทคนิคการผลิตสื่อ
- 6.3 แบบประเมินความพึงพอใจของอาจารย์ที่ใช้งานสื่อการเรียนรู้การเขียนภาษาไพธอนเรื่อง แบบจำลองพยากรณ์ Arima

7. วิธีการดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาสื่อการเรียนรู้การเขียนภาษาไพธอนเรื่อง แบบจำลองพยากรณ์ Arima ตามหลักวงจรการพัฒนา ADDIE MODEL ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

7.1 การวิเคราะห์ (Analysis)

- 7.1.1 วิเคราะห์หลักสูตร จุดประสงค์ เนื้อหาสาระ และการวัดประเมินผล เกี่ยวข้องกับการเขียนภาษาไพธอน

7.1.2 ศึกษาเอกสาร ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างและพัฒนาสื่อการเรียนรู้การเขียนภาษาไพธอน เรื่องแบบจำลองพยากรณ์ Arima

7.1.3 วิเคราะห์เนื้อหาที่ใช้ในสื่อการเรียนรู้การเขียนภาษาไพธอนแบบจำลอง Arima ซึ่งประกอบด้วยเนื้อหาดังนี้

- ส่วนที่ 1 การเรียกใช้ฟังก์ชัน และ โลบรารี (Library)
- ส่วนที่ 2 การนำเสนอหรือเรียกข้อมูลเข้ามาสู่โปรแกรม
- ส่วนที่ 3 การนำข้อมูลมาแสดงผลออกเป็นข้อความ
- ส่วนที่ 4 การนำข้อมูลมาแสดงผลออกเป็นกราฟรูปภาพ
- ส่วนที่ 5 การพยากรณ์อนุกรมเวลาด้วย ARIMA

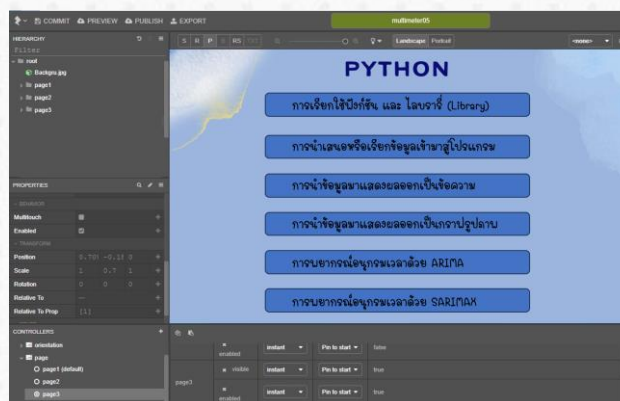
7.2 การออกแบบ (Design)

7.2.1 ออกแบบรูปเล่มหนังสือการเรียนรู้การเขียนภาษาไพธอน ทั้งนี้จะนำ zapcode ที่ได้รับการทำเทคโนโลยีโลกเสมือนผสานโลกแห่งความจริงในแอปพลิเคชัน zappar ใส่ในรูปเล่มหนังสือ ให้ผู้เรียนสามารถนำโทรศัพท์ แท็บเล็ตสแกน zapcode ดังกล่าว เพื่อเรียนรู้เนื้อหานอกเหนือจากตัวอักษรในรูปเล่ม โดยเมื่อสแกนแล้วจะออกมาในรูปแบบวิดีโอ เสียงบรรยาย หรือภาพนิ่ง โดยการนำเสนอจะจัดแบ่งเนื้อหาออกเป็นหน่วยโดยมีการเรียงเนื้อหาจากระดับง่ายไประดับยากและเหมาะสมกับระดับของผู้เรียน

7.2.2 ออกแบบการสร้างสื่อการเรียนรู้การเขียนภาษาไพธอนเรื่อง แบบจำลองพยากรณ์ Arima ทำการออกแบบรูปแบบของหน้าต่างโปรแกรมตามกรอบแนวคิดและองค์ประกอบด้วยแอปพลิเคชัน zappar

7.3 การพัฒนา (Development)

7.3.1 ดำเนินการสร้างสื่อการเรียนรู้การเขียนภาษาไพธอนเรื่อง แบบจำลองพยากรณ์ Arima จากแบบร่างตามแนวทาง ที่ได้ออกแบบไว้ โดยได้คำนึงถึงหลักการออกแบบ ทั้งในด้านเนื้อหาและด้านการผลิตสื่อ



ภาพที่ 1 การสร้างสื่อการเรียนรู้การเขียนภาษาไพธอนเรื่อง แบบจำลองพยากรณ์ Arima ด้วย zappar

7.3.2 สื่อการเรียนรู้การเขียนภาษาไพธอนเรื่อง แบบจำลองพยากรณ์ Arima เสนอต่อผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหา และด้านการผลิตสื่อจำนวนด้านละ 5 ท่าน เพื่อตรวจพิจารณาเพื่อนำข้อเสนอแนะมาปรับปรุงแก้ไขให้ถูกต้องเหมาะสม โดยนำผลของผู้ทรงคุณวุฒิมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยมีแบบประเมินคุณภาพเป็นแบบมาตราส่วน

ประเมินค่า (Rating Scale) 5 ระดับ [6] การกำหนดเกณฑ์ของการประเมินคุณภาพของสื่อการเรียนรู้การเขียนภาษาไพธอน เรื่อง แบบจำลองพยากรณ์ Arima ดังนี้

- ค่าเฉลี่ย 4.50 - 5.00 หมายถึง คุณภาพอยู่ในระดับ ดีมาก
- ค่าเฉลี่ย 3.50 - 4.49 หมายถึง คุณภาพอยู่ในระดับ ดี
- ค่าเฉลี่ย 2.50 - 3.49 หมายถึง คุณภาพอยู่ในระดับ ปานกลาง
- ค่าเฉลี่ย 1.50 - 2.49 หมายถึง คุณภาพอยู่ในระดับ พอใช้
- ค่าเฉลี่ย 1.00 - 1.49 หมายถึง คุณภาพอยู่ในระดับ ควรปรับปรุง

เกณฑ์ที่กำหนดของคุณภาพสื่อการเรียนรู้การเขียนภาษาไพธอนเรื่อง แบบจำลองพยากรณ์ Arima ที่ใช้ได้ อยู่ในระดับค่าเฉลี่ยไม่ต่ำกว่า 3.50

7.4 การทดลองใช้

นำสื่อการเรียนรู้การเขียนภาษาไพธอนเรื่อง แบบจำลองพยากรณ์ Arima ที่ผ่านการแก้ไขและปรับปรุงแล้วให้ผู้สอนที่เกี่ยวข้องกับการเขียนโปรแกรมทดลองใช้และสอบถามความคิดเห็นและทำแบบประเมินความพึงพอใจ ซึ่งผู้วิจัยนำข้อเสนอแนะเพื่อแก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่องและพัฒนาให้สมบูรณ์ขึ้นในการใช้งานต่อไป โดยเกณฑ์การประเมินความพึงพอใจเป็นดังนี้

เกณฑ์ตัดสินค่าระดับความพึงพอใจ ได้ใช้เกณฑ์พิจารณาจากค่าคะแนน ซึ่งมีแบ่งผลต่างของคะแนนนี้ออกเป็น 5 ช่วงเท่า ๆ กัน [7] แต่ละช่วงมีความกว้างเท่ากับ 0.8 กำหนดไว้ดังนี้

- คะแนนเฉลี่ย 4.50 - 5.00 หมายถึง ระดับความพึงพอใจมากที่สุด
- คะแนนเฉลี่ย 3.50 - 4.49 หมายถึง ระดับความพึงพอใจมาก
- คะแนนเฉลี่ย 2.50 - 3.49 หมายถึง ระดับความพึงพอใจปานกลาง
- คะแนนเฉลี่ย 1.50 - 2.49 หมายถึง ระดับความพึงพอใจน้อย
- คะแนนเฉลี่ย 1.00 - 1.49 หมายถึง ระดับความพึงพอใจน้อยที่สุด

8. ผลการวิจัย

การพัฒนาสื่อการเรียนรู้การเขียนภาษาไพธอนเรื่อง แบบจำลองพยากรณ์ Arima สามารถแบ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูล โดยผู้วิจัยขอเสนอตามลำดับ ดังนี้

8.1 ผลการประเมินคุณภาพของสื่อการเรียนรู้จากผู้ทรงคุณวุฒิ

การวิเคราะห์ผลการประเมินคุณภาพสื่อการเรียนรู้การเขียนภาษาไพธอนเรื่อง แบบจำลองพยากรณ์ Arima จากผู้ทรงคุณวุฒิด้านละ 5 คน โดยด้านเนื้อหาจะมีรายการย่อยในประเมินจำนวน 7 ข้อ และเทคนิคการผลิตสื่อมีหัวข้อใหญ่จำนวน 4 ข้อ ซึ่งภายในจะประเมินรายการย่อยจำนวน 12 ข้อ ผลการประเมินปรากฏดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินคุณภาพสื่อการเรียนรู้จากผู้ทรงคุณวุฒิ

รายการที่ประเมิน		ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับคุณภาพ
ด้านเนื้อหา				
1	ด้านความถูกต้องและการจัดลำดับเนื้อหา	4.35	0.49	ดี
2	ด้านการใช้ภาษาและความทันสมัย	4.33	0.49	ดี
เฉลี่ยรวมทั้งหมด (ด้านเนื้อหา)		4.34	0.48	ดี

รายการที่ประเมิน		ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับคุณภาพ
ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ				
1	รูปแบบสื่อและการนำเสนอ	4.35	4.35	ดี
2	ด้านรูปภาพประกอบสื่อ	4.50	0.51	ดี
3	ด้านตัวอักษรประกอบสื่อ	4.60	0.52	ดีมาก
4	ด้านวิดีโอประกอบสื่อ	4.50	0.53	ดี
เฉลี่ยรวมทั้งหมด (ด้านเทคนิคการผลิตสื่อ)		4.47	0.50	ดี

จากตารางที่ 1 พบว่า ผลการวิเคราะห์หาคุณภาพสื่อการเรียนรู้การเขียนภาษาไพธอนเรื่อง แบบจำลองพยากรณ์ Arima ด้านเนื้อหาอยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ย (\bar{X}) เท่ากับ 4.34 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.48 และด้านเทคนิคการผลิตสื่ออยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ย (\bar{X}) เท่ากับ 4.47 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.50

8.2 ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของอาจารย์ผู้สอนที่มีต่อสื่อการเรียนรู้

ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของความพึงพอใจของอาจารย์ผู้สอนในรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับการเขียนภาษาไพธอน ปรากฏดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของอาจารย์ผู้สอน

รายการประเมิน		\bar{X}	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1	ด้านการออกแบบ	4.47	4.47	พึงพอใจมาก
2	ด้านการตกแต่ง	4.60	0.51	พึงพอใจมากที่สุด
3	ด้านการใช้งาน	4.40	0.50	พึงพอใจมาก
ค่าเฉลี่ยรวม		4.48	0.50	พึงพอใจมาก

จากตารางที่ 3 พบว่า ความพึงพอใจของอาจารย์ผู้สอนที่มีต่อการใช้งานสื่อการเรียนรู้การเขียนภาษาไพธอนเรื่อง แบบจำลองพยากรณ์ Arima มีค่าเฉลี่ย (\bar{X}) เท่ากับ 4.48 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.50 อยู่ในระดับพึงพอใจมาก เป็นไปตามสมมติฐานการวิจัย

9. อภิปรายผลการวิจัย

จากการวิจัยสื่อการเรียนรู้การเขียนภาษาไพธอนเรื่อง แบบจำลองพยากรณ์ Arima สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้ สื่อการเรียนรู้การเขียนภาษาไพธอนแบบจำลอง Arima ของผู้ทรงคุณวุฒิด้านเนื้อหาและด้านเทคนิคการผลิตสื่อ ได้ผลการคุณภาพของชุดการเรียนรู้ด้านเนื้อหาที่มีคุณภาพในระดับดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.34 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.48 และคุณภาพของชุดการเรียนรู้ด้านเทคนิคการผลิตสื่อมีคุณภาพในระดับดีมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.47 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.50 เนื่องจากเนื้อหาที่เข้มข้นสอดคล้องกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม เนื้อหาที่มีความถูกต้อง มีความเหมาะสมกับระดับของผู้เรียน และมีการเรียงลำดับของเนื้อหาที่จากเนื้อหาไปยังเนื้อหาที่ยากตามลำดับขั้นตอน

ความพึงพอใจของอาจารย์ผู้สอนที่มีต่อสื่อการเรียนรู้การเขียนภาษาไพธอนเรื่อง แบบจำลองพยากรณ์ Arima จากผลการวิจัยพบว่า ความพึงพอใจของอาจารย์ผู้สอนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.48 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนเท่ากับ 0.50 เนื่องจากที่

ผ่านมาในการศึกษาจะเป็นการศึกษาในเชิงทฤษฎีดูจากรูปภาพในหนังสือ รวมกับการบรรยาย สื่อการสอนดังกล่าวจะช่วยกระตุ้นให้นักศึกษาเกิดความอยากเรียนรู้ มีความสนุกสนาน สามารถทำให้เข้าใจเนื้อหาได้ง่าย อีกทั้งนักศึกษายังสามารถที่จะค้นหาความรู้ได้ด้วยตนเองได้ตามความต้องการ สามารถเรียนรู้นอกห้องเรียนได้เมื่อต้องการ

10. เอกสารอ้างอิง

- [1] ศุภฤกษ์ ศิลปรัตนภรณ์. (2554). การพัฒนาการจัดระบบคลังอาหารสำเร็จรูปด้วยบาร์โค้ด.ปริญญาานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- [2] ทศนา แคมมณี. 2556. ศาสตร์การสอน : องค์ความรู้เพื่อจัดกระบวนการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ. พิมพ์ครั้งที่17. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [3] ชิตีพัทธ์ สวนทอง และคณะ. 2565. การพัฒนาชุดปฏิบัติการการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ในรายวิชาวิทยาการคำนวณ. การประชุมวิชาการระดับชาติทางการศึกษา ครั้งที่ 12 แบบออนไลน์ “การพัฒนาประสบการณ์การเรียนรู้ในชีวิตจริง: การศึกษายุคดิจิทัลสู่การเรียนรู้วิถีใหม่”. วันที่ 10 มิถุนายน 2565. คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [4] วิชพร วิบูลยศรีน. (2557). หลักการออกแบบการสอนบนเว็บไซต์ตามแบบจำลอง ADDIE เพื่อการสอนสนทนาภาษาไทยเบื้องต้น สำหรับชาวต่างประเทศ. วารสารศรีนครินทรวิโรฒวิจัยและพัฒนา (สาขามนุษยศาสตร์และ
- [5] ไพโรจน์ ติรัตนากุล, ไพบูล เกียรติโกมล และเสกสรร แยมพินิจ. (2546). การออกแบบและการผลิตบทเรียนคอมพิวเตอร์การสอน สำหรับ e-Learning. ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ.
- [6] พรณี ลีกิจวัฒน์. (2559). วิธีการวิจัยทางการศึกษา. กรุงเทพฯ: มิน เซอร์วิส ซัพพลาย, 6(12), 192- 192.
- [7] ศิริชัย กาญจนวาสี. (2544). ทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิม. พิมพ์ครั้งที่ 4. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

การวิเคราะห์เส้นทางเดินเท้าในเอเชียทีค

Analysis of Pedestrian Routes in Asiatique

ภัสกร เอกปัสชา¹ ภัทร โพธิ์ปิ่น¹ ณิชรา สุทธิสังข์² ชาญวิทย์ ปราบพยัคฆ์² และ จิดาวรร คคล้ายศรี^{3*}

¹สาขาวิชาวิทยาการข้อมูลและเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

²สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

³สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

*E-mail: thidawan.k@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อวิเคราะห์และนำเสนอเส้นทางเดินเท้าท่องเที่ยวที่สั้นที่สุดและใช้เวลาเดินน้อยที่สุด ให้สามารถเที่ยวได้ครบ 7 สถานที่ อันย้อนรอยประวัติศาสตร์ของรัชสมัยของรัชกาลที่ 5 ในเอเชียทีค โดยแนะนำการเดินทางไป-กลับทางยานยนต์ และ/หรือทางเรือ โดยมี 3 ทางเลือก ได้แก่ ไป-กลับทางรถ ไปทางเรือ-กลับทางรถ และไป-กลับทางเรือ เงื่อนไขในการทดลอง คือ ไม่เดินเข้าสถานที่เดิม และอนุญาตให้ใช้การคมนาคมไป-กลับแบบเดียวกันได้ (วงจรเชิงเดียว) เช่น ไป-กลับทางรถ หรือ ไป-กลับทางเรือ เราใช้ Google map application ในการวิเคราะห์สำรวจระยะทางเดินเท้าระหว่างสถานที่ทั้ง 7 ได้นำสูตรอัตราเร็วมาคำนวณระยะเวลาเดินเท้า และนำทฤษฎีกราฟมานิยามกราฟเดินเท้าท่องเที่ยวในเอเชียทีค ซึ่งเป็นกราฟถ่วงน้ำหนักแบบไม่มีทิศทาง และหาเส้นทางสั้นที่สุด อีกทั้งนำโปรแกรม Gephi มาช่วยสร้าง จัดการ แสดงผล กราฟท่องเที่ยวในเอเชียทีค และยังใช้ทวนสอบผลลัพธ์เส้นทางที่สั้นที่สุด ผลการทดลองพบว่า มีเส้นทางเดินหลายเส้นทางตามเงื่อนไขที่กำหนด และเที่ยวได้ครบทั้ง 7 แห่ง ในที่นี้เรานำเสนอเส้นทางสั้นที่สุดเพียง 5 ลำดับแรกของแต่ละทางเลือก รวม 15 วิธี วิเคราะห์พบว่าทางเลือก ไปทางเรือ-กลับทางรถ มีระยะสั้นที่สุดประมาณ 750 เมตร ซึ่งใช้เวลาประมาณ 8.93 นาที โดยเริ่มเดินจากท่าเรือ ไปเขื่อนยกของริมน้ำ ผ่านซุ้มโกดังสินค้าร้อยปี ไปท่าเรือประวัติศาสตร์ ผ่านเขื่อนโรงเลื่อย ไปยังรางรถไฟโบราณ ผ่านโรงเลื่อยเก่า ไปหลุมหลบภัยประวัติศาสตร์ และสุดท้ายทาง ณ ป้ายรถเมย์ นอกจากนี้ผลวิเคราะห์จาก Gephi ยืนยันว่าเส้นทางนี้เป็นเส้นทางที่สั้นที่สุด

คำสำคัญ: เอเชียทีค ทฤษฎีกราฟ วงจรเชิงเดียว วิธีสั้นสุด

Abstract

The objective of this project is to research and present the quickest and shortest approach for seeing each of Asiatique's seven attractions while adhering to the historical concept of King Rama V's reign. Recommended travelling choices are: by vehicles and/or by waterway. There are three types: round trip by bus, go by boat- return by bus, and round trip by boat. The constraints in our experiment are not to revisit any attractions, and to allow the same arrival and departure transportation (simple circuit). The

Google map application was used for discovering the pedestrian distances and time spent among the attractions. We used the speed rate formula for calculating the walking distances. Graph theory was applied to define a pedestrian route Asiatique graph, an undirected graph with weight (distance) and to find a shortest path. Program Gephi was used for generating, managing, and presenting the graph, and for validating the shortest path results. There were many walking routes which can visit all attractions, and follow the defined graph conditions. However, only the first five shortest paths for each type of the three traveling choices, totally 15 routes, were presented. It was found that traveling by boat-bus had the shortest walking distance, about 750 meters, which took around 8.93 minutes. It departed from the Asiatique pier, to Port, passing Riverside crane, going to Warehouse 100 years, walking to Historic port, continuing to Sawmill crane, passing Tram, heading to Sawmil, walking to Air raid shelter, and ended at the bus stop. Furthermore, the result achieved from Gephi confirmed that is the shortest pedestrian path.

Keywords: Asiatique, graph theory, simple circuit, shortest path

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

เอเชียทีค เดอะ ริเวอร์ฟรอนท์ (Asiatique The Riverfront) เป็นมหรหรรตลลาดและพิพิธภัณฑ์กลางแจ้ง ภายใต้คอนเซ็ปต์ (Festival Market and living Museum) เป็นที่ที่ใหญ่ที่สุดในเอเชีย พัฒนabนที่ดินติดริมแม่น้ำเจ้าพระยา ตั้งอยู่ระหว่างซอยเจริญกรุง 72-76 ภายในงานประกอบไปด้วย 4 ย่านหลัก ได้แก่ ย่านเจริญกรุง ย่านกลางเมือง ย่านโรงงาน จุดชมวิว ที่สะท้อนความรุ่งโรจน์ของธุรกิจน้ย่านถนนเจริญกรุง ของยุครัชกาลที่ 5 มีความสำคัญในด้านการอนุรักษ์ ศิลปะวัฒนธรรม อีกทั้งบรรยากาศ และทัศนียภาพที่แปลกใหม่ สวยงาม รวมถึงตกแต่งด้วยสไตส์สถาปัตยกรรมในช่วงปี พ.ศ. 2450 ถึง พ.ศ. 2490 ทำให้เอเชียทีคเป็นจุด แลนด์มาร์ค สำคัญของการท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย [5]

สถานที่ที่น่าเที่ยวชมในการเดินท่องเที่ยวชมมี 7 สถานที่ ได้แก่ หลุมหลบภัยสมัยสงครามโลก รางรถโบราณ โรงเรือเก่า เครื่องเรือเก่า ชุมโกดังสินค้า 100 ปี ท่าเรือประวัติศาสตร์ และเขื่อนยกของริมน้ำ ดังภาพที่ 1 และมีแผนที่ตั้งของสถานที่ ดังภาพที่ 2 แต่เนื่องจากพื้นที่งานเอเชียทีคมีรวมเนื้อที่มากกว่า 72 ไร่ มีเส้นทางเดินเที่ยวชมสถานที่ทั้ง 7 ได้หลายเส้นทางมักพบปัญหาในการเลือกเส้นทางในการเดินเที่ยวชมสถานที่ทั้ง 7 ว่าควรเดินทางมารูปแบบใดหรือเดินเลือกเส้นทางใดจะสามารถเดินท่องเที่ยวได้ครบทั้ง 7 สถานที่ใช้ระยะเวลาที่น้อยที่สุดโดยระยะทางที่สั้นที่สุด [5]



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)



(ช)

ภาพที่ 1 สถานที่น่าเที่ยวชมในเอเชียทีคทั้งเจ็ด: (ก) หลุมหลบภัยสมัยสงครามโลก (ข) รางรถโบราณ (ค) โรงเลื่อยเก่า (ง) เครื่องโรงเรือ (จ) ซุ้มโค้งโกดังสินค้า 100 ปี (ฉ) เครื่องยกของริมน้ำ (ช) ท่าเรือประวัติศาสตร์



ภาพที่ 2 แผนที่สถานที่น่าท่องเที่ยวทั้ง 7 ในเอเชียทีค [5]

ด้วยเหตุนี้ทางคณะผู้จัดทำโครงการจึงสนใจทำการวิเคราะห์เส้นทางเดินเท้าในเอเชียทีก เพื่อหาระยะทางที่สั้นที่สุด จากจุดเริ่มต้นที่กำหนดโดยเดินไม่ซ้ำจุดเดิมและไม่นับเวลาที่ยาวม เพื่อที่จะทำการให้เดินให้ครบ 7 สถานที่ที่น่าเที่ยวชมในเวลา ที่สั้นที่สุดและระยะทางที่สั้นที่สุด เพื่อผลิตเพลินไปกับ 7 สถานที่ที่น่าเที่ยวชมที่ไม่ควรพลาดในการเดินเที่ยวชมเอเชียทีก [3]

1.2 วัตถุประสงค์หลักของการวิจัย

1.2.1 เพื่อหาเส้นทางเดินเท้าสำหรับการเดินท่องเที่ยวสถานที่ทั้ง 7 ในเอเชียทีก

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์หาเส้นทางเดินเท้าที่สั้นที่สุด และใช้ระยะเวลาเดินน้อยที่สุด สำหรับการเดินท่องเที่ยว ที่ต้องการเที่ยวชม 7 สถานที่สำคัญในเอเชียทีก

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 การวิเคราะห์เส้นทางเดินเท้าที่สั้นที่สุดในการเดินเที่ยว 7 สถานที่ที่น่าเที่ยวชมในเอเชียทีก โดยมีจุดเริ่มต้น และจุดจบที่แตกต่างกัน 3 แบบในหัวข้อ โดยไม่รวมเวลาที่ยาวม และเดินไม่ซ้ำจุดเดิม

1.3.2 การวิเคราะห์เส้นทางเท้าที่สั้นที่สุดโดยใช้ google map ในการช่วยคำนวณ เปรียบเทียบระยะทางแต่ละ รูปแบบทั้ง 3 รูปแบบในการเดินเที่ยวชม 7 สถานที่ที่น่าเที่ยวชมในเอเชียทีก

1.3.2.1 การเดินเริ่มต้น (ป้ายรถเมย์-ป้ายรถเมย์) ไม่รวมเวลาที่ยาวม และไม่ได้เดินซ้ำจุดเดิม

1.3.2.2 การเดินเริ่มต้น (ป้ายรถเมย์-ท่าเรือ) ไม่รวมเวลาที่ยาวม และไม่ได้เดินซ้ำจุดเดิม

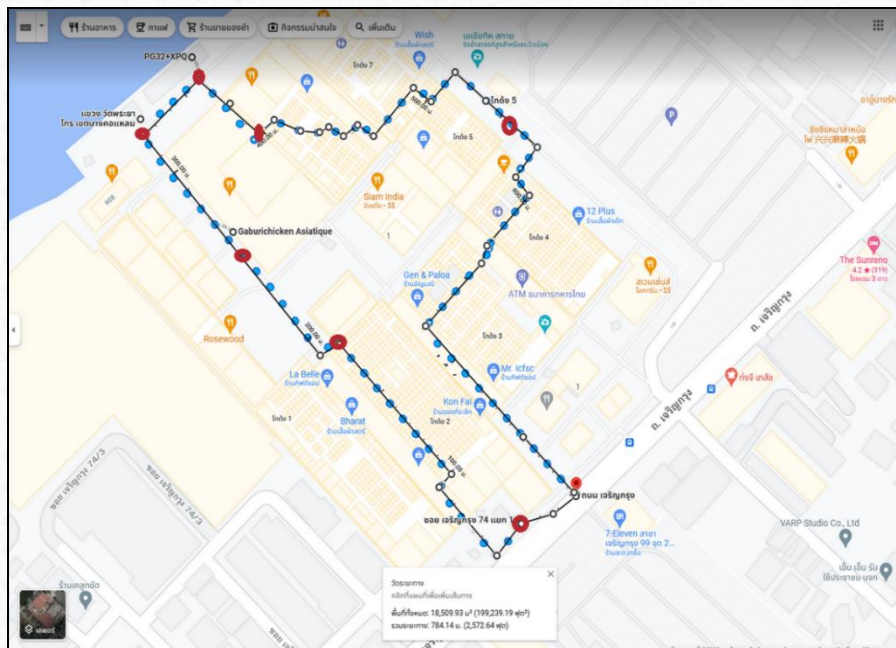
1.3.2.3 การเดินเริ่มต้น (ท่าเรือ-ท่าเรือ) ไม่รวมเวลาที่ยาวม และไม่ได้เดินซ้ำจุดเดิม

2. วิธีการทดลอง

2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่

2.1.1 แผนที่ดาวเทียม Google.co.th/maps เพื่อนำมาแสดงในรูปแบบกราฟ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แผนที่ดาวเทียมสถานที่ท่องเที่ยวในเอเชียทีก [4]

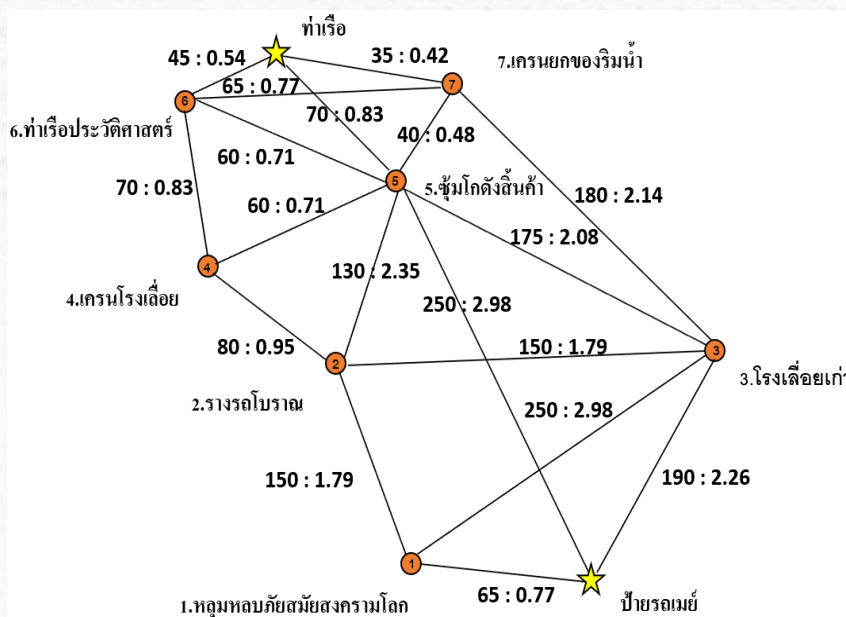
2.1.2 แนวคิดทฤษฎีกราฟกำหนดนิยามกราฟเอเซียติก ในโครงงานวิจัยนี้ ลักษณะของกราฟที่เราจะนำมาประยุกต์ใช้เป็นกราฟแบบไม่มีทิศทาง (Undirected Graph) กล่าวคือ กราฟที่ไม่ระบุทิศทางของความสัมพันธ์ ระหว่างสองจุดยอดใด ๆ และสามารถกำหนด ค่าน้ำหนัก (weight) โดยกำหนดตามความยาวของเส้นเชื่อม ค่าน้ำหนักจะถูกกำหนดเป็นระยะทาง (เมตร) : เวลา (นาที) ของการเดินทางจุดยอดไปยังจุดปลายของเส้นเชื่อม [1, 2]

2.1.3 แนวคิดเรื่องอัตราเร็ว และความเร็วในการเดินทาง สำหรับมนุษย์ อัตราเร็วของการเดินทางของมนุษย์อยู่ที่ประมาณ 1.4 เมตรต่อวินาที [6] ในการทำโครงงานนี้ เราเก็บข้อมูลเป็นระยะทางมีหน่วยเป็นเมตร และเวลาเป็นนาที ดังนั้นจะใช้อัตราเร็วของการเดินทางเป็น 84 เมตรต่อนาที ถึงแม้ว่าจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความสูง น้ำหนัก และอายุ

ประกอบไปด้วยองค์ประกอบต่าง ๆ ของกราฟดังอธิบายในหัวข้อ 2.4 ใช้แนวคิดเรื่องอัตราเร็ว และความเร็วในการเดินทางคำนวณระยะทางในการเดินทางระหว่าง 7 จุดท่องเที่ยว

2.1.4 โปรแกรม Gephi ใช้ในการสร้างจุดกราฟแสดงผลกราฟเอเซียติก และใช้ตรวจสอบเส้นทางที่สั้นที่สุด ดังภาพที่ 4 ซึ่งกราฟแบบไม่มีทิศทางที่ต้องการนำมาหาระยะทาง และเวลาที่น้อยที่สุดในการเดินทางสถานที่นำชมทั้ง 7 ในเอเซียติก

สำหรับการคำนวณหาเส้นทางที่สั้นที่สุดนั้น มีข้อกำหนดคือไม่เดินซ้ำที่เดิม และไม่เดินซ้ำเส้นทางเดิม นั่นคือเราจะพิจารณาเส้นทางในรูปแบบวิถี (path) หรือวงจรเชิงเดี่ยว (simple circuit) เท่านั้น



ภาพที่ 4 กราฟแสดง 7 สถานที่แนะนำในเอเซียติก

2.2 ข้อมูลสำหรับสร้างกราฟเดินทางท่องเที่ยวในเอเซียติก

ข้อมูลที่ใช้สำหรับสร้างกราฟเดินทางท่องเที่ยวทั้งเจ็ดสถานที่ในเอเซียติก ประกอบไปด้วย 2 ส่วน ได้แก่

2.2.1 ชุดข้อมูลสถานที่ (Nodes List)

ชื่อสถานที่ทั้งเจ็ด และจุดอ้างอิงที่ใช้เริ่มต้นเดินทาง ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยสถานที่ต่าง ๆ แทนด้วยเลขตั้งแต่ 0 ถึง 8 สำหรับ 9 แห่ง

2.2.2 ชุดข้อมูลการเดินทางเท้า (Edges List)

ตารางที่ 2 นำเสนอข้อมูลเส้นเชื่อม (edges) ที่ในแต่ละบรรทัดบอกถึงการเดินทางจากจุดที่ 1 ไปยังจุดที่ 2 ด้วยระยะทางหน่วยวัดเป็นเมตร และคำนวณระยะเวลาในการเดินทางมีหน่วยเป็นนาที เช่น ป้ายรถเมย์เอเซียติก → หลุมหลบลภัยสมัย

สงครามโลก → รางรถไฟโบราณ → เคนโรงเลื่อย → ท่าเรือประวัติศาสตร์ → ชุมโกดังสินค้า 100 ปี → เคนยกของ
ริมน้ำ → โรงเลื่อยเก่า → ป้ายรถเมย์เอเชียทีค

ตารางที่ 1 ชุดข้อมูลสถานที่ในเอเชียทีค

สถานที่ในเอเชียทีค	แทนจุดยอด
ป้ายรถเมย์	0
1. หลุมหลบภัยสมัยสงครามโลก	1
2. รางรถไฟโบราณ	2
3. โรงเลื่อยเก่า	3
4. เคนโรงเลื่อย	4
5. ชุมโกดังสินค้า 100 ปี	5
6. ท่าเรือประวัติศาสตร์	6
7. เคนยกของริมน้ำ	7
ท่าเรือ	8

ตารางที่ 2 ชุดข้อมูลเส้นทางการเดินทางของแต่ละคู่สถานที่ในเอเชียทีค

จุดเชื่อม V1	จุดเชื่อม V2	ระยะทาง (เมตร)	ระยะเวลา (นาที)
ป้ายรถเมย์	1. หลุมหลบภัย	65	0.77
ป้ายรถเมย์	3. โรงเลื่อยเก่า	190	2.26
ป้ายรถเมย์	5. ชุมโกดังสินค้า	250	2.98
1. หลุมหลบภัย	3. โรงเลื่อยเก่า	250	2.98
1. หลุมหลบภัย	2. รางรถไฟโบราณ	150	1.79
2. รางรถไฟโบราณ	3. โรงเลื่อยเก่า	150	1.79
2. รางรถไฟโบราณ	4. เคนโรงเลื่อย	80	0.95
2. รางรถไฟโบราณ	5. ชุมโกดังสินค้า	130	1.55
3. โรงเลื่อยเก่า	5. ชุมโกดังสินค้า	175	2.08
3. โรงเลื่อยเก่า	7. เคนยกของริมน้ำ	180	2.14
4. เคนโรงเลื่อย	5. ชุมโกดังสินค้า	60	0.71
4. เคนโรงเลื่อย	6. ท่าเรือประวัติศาสตร์	70	0.83
5. ชุมโกดังสินค้า	6. ท่าเรือประวัติศาสตร์	60	0.71
5. ชุมโกดังสินค้า	7. เคนยกของริมน้ำ	40	0.48
5. ชุมโกดังสินค้า	ท่าเรือ	70	0.83
6. ท่าเรือประวัติศาสตร์	7. เคนยกของริมน้ำ	65	0.77
6. ท่าเรือประวัติศาสตร์	ท่าเรือ	45	0.54
7. เคนยกของริมน้ำ	ท่าเรือ	35	0.42

หมายเหตุ คำนวณระยะเวลาในการเดินทางจาก อัตราเร็วของการเดินเฉลี่ยของคน เท่ากับ 84 เมตร/นาที

2.3 การวิเคราะห์กราฟด้วยโปรแกรม Gephi

โปรแกรม Gephi เป็นซอฟต์แวร์เสรีใช้สำหรับแสดงความเชื่อมโยงโดยจัดการประมวลผลและแสดงผลกราฟ รองรับข้อมูลตามเวลาจริง

2.3.1 การสร้างกราฟเดินเท้าในเอเชียที่คด้วยโปรแกรม Gephi

Shortest Path เป็นการหาวิถีที่สั้นที่สุดระหว่างจุด (nodes) 2 จุด ภายใต้กราฟ ซึ่งก็คือในวิถีที่สั้นที่สุดผลรวมของน้ำหนักในเส้นเชื่อม (edges) แต่ละเส้นรวมกันแล้วสั้นที่สุดในบรรดาวิถีทั้งหมด ในการวิจัยครั้งนี้ คณะผู้จัดทำได้ใช้ Centrality เป็นการหาความเป็นจุดศูนย์กลางมากที่สุดในเครือข่ายทางสังคม และใช้ Shortest Path เป็นการหาวิถีที่สั้นที่สุดระหว่างจุด 2 จุด ภายใต้กราฟ ซึ่งก็คือในวิถีที่สั้นที่สุดผลรวมของน้ำหนักในเส้นเชื่อม

2.3.2 การทวนสอบเส้นทางเดินเท้าที่สั้นที่สุดในกราฟเอเชียที่ค

Id	Label
0	ป้ายรถเมย์
1	หลุมหลบภัยสมัยสงครามโลก
2	รางรถโบราณ
3	โรงเรือเก่า
4	เครนโรงเรือ
5	มุมโกดังสินค้า
6	ท่าเรือประวัติศาสตร์
7	เครนยกของริมน้ำ
8	ท่าเรือ

ภาพที่ 5 การนำเข้าชุดข้อมูล Nodes

Source	Target	Type	Weight	distance	Id	Label	Interval
0	1	Undirected	1.0	65	0		
0	3	Undirected	1.0	190	1		
0	5	Undirected	1.0	250	2		
1	3	Undirected	1.0	250	3		
1	2	Undirected	1.0	150	4		
2	3	Undirected	1.0	150	5		
2	4	Undirected	1.0	80	6		
2	5	Undirected	1.0	130	7		
3	5	Undirected	1.0	175	8		
3	7	Undirected	1.0	180	9		
4	5	Undirected	1.0	60	10		
4	6	Undirected	1.0	70	11		
5	6	Undirected	1.0	60	12		
5	7	Undirected	1.0	40	13		
5	8	Undirected	1.0	70	14		
6	7	Undirected	1.0	65	15		
6	8	Undirected	1.0	45	16		
7	8	Undirected	1.0	35	17		

ภาพที่ 6 การนำเข้าชุดข้อมูล Edges

เราทำการนำเสนอข้อมูลที่นำมาจากตาราง 2 มาบรรจุลงในข้อมูลของจุดยอด ดังภาพที่ 5 และนำข้อมูลเส้นเชื่อมของตารางที่ 3 มาบรรจุลงในข้อมูลของจุดเชื่อมแสดงดังภาพที่ 6

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

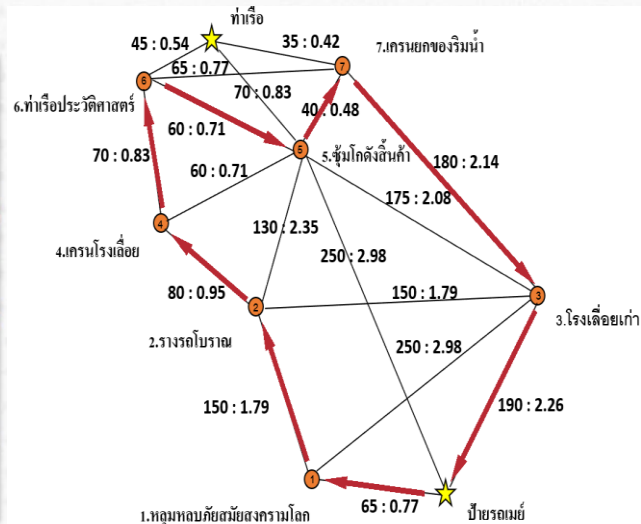
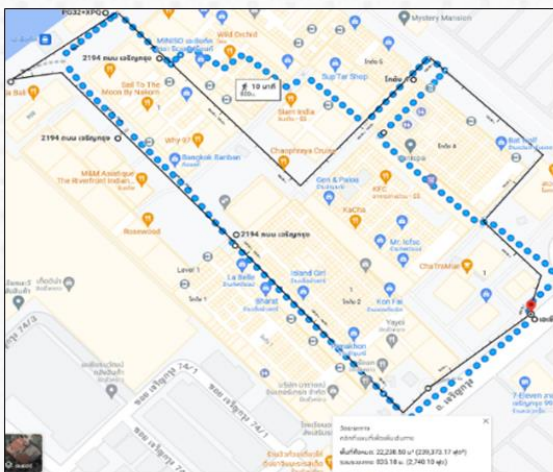
การศึกษาเส้นทางเดินเท้าที่สั้นที่สุดสำหรับการเดินทางท่องเที่ยว 7 สถานที่น่าเที่ยวชมในเอเชียทีค ตามแนวคิดของทฤษฎีกราฟ มีทั้งหมด 3 รูปแบบ ได้แก่ (ป้ายรถเมย์-ป้ายรถเมย์), (ป้ายรถเมย์-ท่าเรือ), (ท่าเรือ-ท่าเรือ) ซึ่งจะนำเสนอทางเลือกเพียง 5 ทางเลือกในแต่ละรูปแบบการเดินทางที่สั้นที่สุด และใช้เวลาน้อยที่สุด โดยมีหน่วยของระยะทางเป็นเมตร หน่วยของเวลาเป็นนาที และกำหนดให้เดินไม่เข้าจุดเดิมและไม่นับเวลาเที่ยวชมแต่ละสถานที่ สำหรับกรณีจุดเริ่มต้น ป้ายรถเมย์-ท่าเรือ และ ท่าเรือ-ป้ายรถเมย์ จะมีผลลัพธ์เท่ากัน

3.1 แบบที่ 1 จากป้ายรถเมย์-ปลายทางป้ายรถเมย์

แบบที่ 1 จากป้ายรถเมย์-ปลายทางป้ายรถเมย์ มีทั้งหมด 21 ทางเลือก

3.1.1 รูปแบบที่ 1 ทางเลือกที่ 1

ป้ายรถเมย์เอเชียทีค → หลุมหลบภัยสมัยสงครามโลก → รางรถไฟโบราณ → เคนโรงเลื่อย → ท่าเรือประวัติศาสตร์ → ซุ้มโกดังสินค้า 100 ปี → เคนยกของริมน้ำ → โรงเลื่อยเก่า → ป้ายรถเมย์เอเชียทีค
เป็นระยะทางที่สั้นที่สุด $65+150+80+70+60+40+180+190 = 835$ เมตร ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 เส้นทางเดินเท้าแบบที่ 1 จากป้ายรถเมย์-ปลายทางป้ายรถเมย์ ทางเลือกที่ 1

3.1.2 รูปแบบที่ 1 ทางเลือกที่ 2

ป้ายรถเมย์เอเชียทีค → หลุมหลบภัยสมัยสงครามโลก → รางรถไฟโบราณ → เคนโรงเลื่อย → ท่าเรือประวัติศาสตร์ → เคนยกของริมน้ำ → ซุ้มโกดังสินค้า 100 ปี → โรงเลื่อยเก่า → ป้ายรถเมย์เอเชียทีค
เป็นระยะทางรวมทั้งหมด $65+150+80+70+65+40+175+190 = 835$ เมตร

3.1.3 รูปแบบที่ 1 ทางเลือกที่ 3

ป้ายรถเมย์เอเชียทีค → โรงเลื่อยเก่า → ซุ้มโกดังสินค้า 100 ปี → เคนยกของริมน้ำ → ท่าเรือประวัติศาสตร์ → เคนโรงเลื่อย → รางรถไฟโบราณ → หลุมหลบภัยสมัยสงครามโลก → ป้ายรถเมย์เอเชียทีค
เป็นระยะทางรวมทั้งหมด $190+175+40+70+70+80+150+65 = 835$ เมตร

3.1.4 รูปแบบที่ 1 ทางเลือกที่ 4

ป้ายรถเมย์เอเชียทีค → โรงเลื่อยเก่า → เคนยกของริมน้ำ → ซุ้มโกดังสินค้า 100 ปี → ท่าเรือประวัติศาสตร์ → เคนโรงเลื่อย → รางรถไฟโบราณ → หลุมหลบภัยสมัยสงครามโลก → ป้ายรถเมย์เอเชียทีค
เป็นระยะทางรวมทั้งหมด $190+180+40+60+70+80+150+65 = 835$ เมตร

3.1.5 รูปแบบที่ 1 ทางเลือกที่ 5

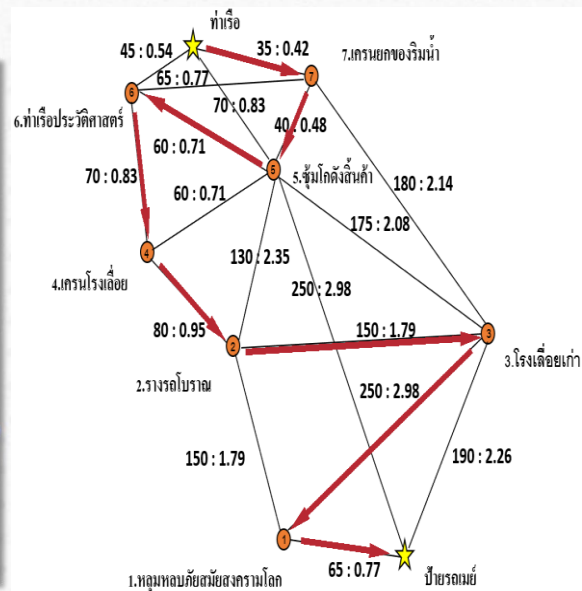
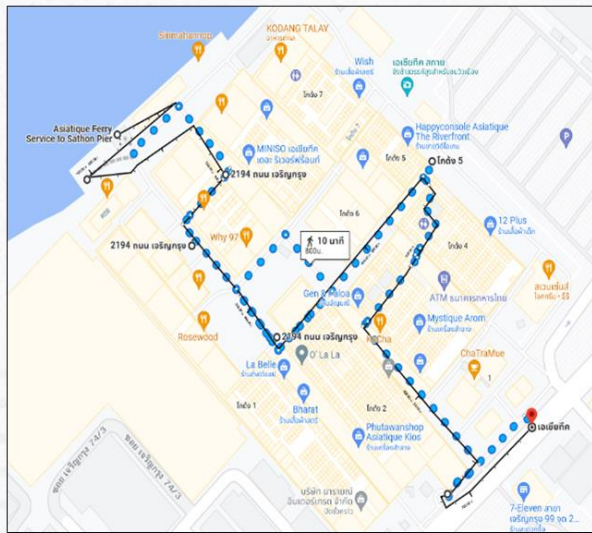
ป้ายรถเมล์เอเชียทีค → โรงเลื่อยเก่า → เคนยกของริมน้ำ → ท่าเรือประวัติศาสตร์ → ชุมโกดัง
สินค้า 100 ปี → เคนโรงเลื่อย → รางรถโบราณ → หลุมหลบภัยสมัยสงครามโลก → ป้ายรถเมล์เอเชียทีค
เป็นระยะทางรวมทั้งหมด $190+180+65+60+60+80+150+65 = 850$ เมตร

3.2 แบบที่ 2 จากป้ายรถเมล์-ปลายทางท่าเรือ

แบบที่ 2 จากป้ายรถเมล์-ปลายทางท่าเรือ มีทั้งหมด 10 ทางเลือก

3.2.1 แบบที่ 2 ทางเลือกที่ 1

ท่าเรือเอเชียทีค → เคนยกของริมน้ำ → ชุมโกดังสินค้า 100 ปี → ท่าเรือประวัติศาสตร์ → เคน
โรงเลื่อย → รางรถโบราณ → โรงเลื่อยเก่า → หลุมหลบภัยสมัยสงครามโลก → ป้ายรถเมล์เอเชียทีค
เป็นระยะทางที่สั้นที่สุด $35+40+60+70+80+150+250+65 = 750$ เมตร ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 เส้นทางเดินเท้าแบบที่ 2 จากป้ายรถเมล์-ปลายทางท่าเรือ ทางเลือกที่ 1

3.2.2 แบบที่ 2 ทางเลือกที่ 2

ท่าเรือเอเชียทีค → ท่าเรือประวัติศาสตร์ → เคนยกของริมน้ำ → ชุมโกดังสินค้า 100 ปี → เคน
โรงเลื่อย → รางรถโบราณ → โรงเลื่อยเก่า → หลุมหลบภัยสมัยสงครามโลก → ป้ายรถเมล์เอเชียทีค
เป็นระยะทางรวมทั้งหมด $45+65+40+60+80+150+250+65 = 755$ เมตร

3.2.3 แบบที่ 2 ทางเลือกที่ 3

ท่าเรือเอเชียทีค → ท่าเรือประวัติศาสตร์ → เคนโรงเลื่อย → ชุมโกดังสินค้า 100 ปี → เคนยก
ของริมน้ำ → โรงเลื่อยเก่า → รางรถโบราณ → หลุมหลบภัยสมัยสงครามโลก → ป้ายรถเมล์เอเชียทีค
เป็นระยะทางรวมทั้งหมด $45+70+60+40+180+150+150+65 = 760$ เมตร

3.2.4 แบบที่ 2 ทางเลือกที่ 4

ท่าเรือเอเชียทีค → เคนยกของริมน้ำ → ท่าเรือประวัติศาสตร์ → เคนโรงเลื่อย → ชุมโกดังสินค้า
100 ปี → โรงเลื่อยเก่า → รางรถโบราณ → หลุมหลบภัยสมัยสงครามโลก → ป้ายรถเมล์เอเชียทีค
เป็นระยะทางรวมทั้งหมด $35+65+70+60+175+150+150+65 = 770$ เมตร

3.2.5 แบบที่ 2 ทางเลือกที่ 5

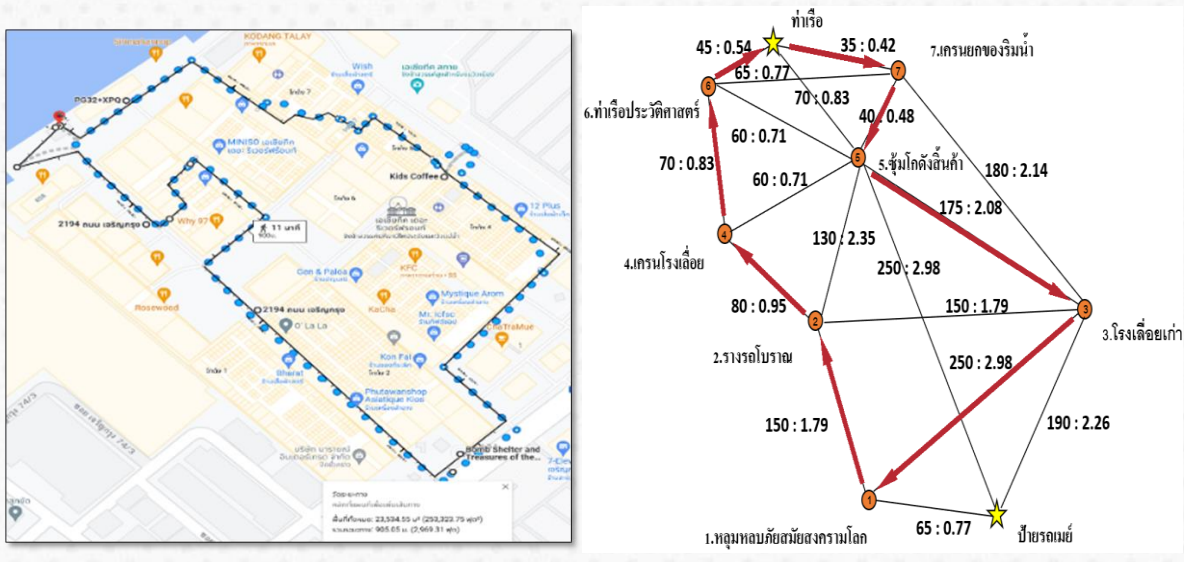
ท่าเรือเอเชียทีค → ซุ้มโกดังสินค้า 100 ปี → เคนยกของริมน้ำ → ท่าเรือประวัติศาสตร์ → เคนโรงเลื่อย → รางรถไฟโบราณ → โรงเลื่อยเก่า → หลุมหลบภัยสมัยสงครามโลก → ป้ายรถเมล์เอเชียทีค
เป็นระยะทางรวมทั้งหมด 70+40+65+70+80+150+250+65 = 790 เมตร

3.3 แบบที่ 3 จากท่าเรือ-ปลายทางท่าเรือ

แบบที่ 3 จากท่าเรือ-ปลายทางท่าเรือ มีทั้งหมด 16 ทางเลือก

3.3.1 แบบที่ 3 ทางเลือกที่ 1

ท่าเรือเอเชียทีค → เคนยกของริมน้ำ → ซุ้มโกดังสินค้า 100 ปี → โรงเลื่อยเก่า → หลุมหลบภัยสมัยสงครามโลก → รางรถไฟโบราณ → เคนโรงเลื่อย → ท่าเรือประวัติศาสตร์ → ท่าเรือเอเชียทีค
เป็นระยะทางที่สั้นที่สุด 35+40+175+250+150+80+70+45 = 845 เมตร ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 เส้นทางเดินเท้าแบบที่ 3 จากท่าเรือ-ปลายทางท่าเรือทางเลือกที่ 1

3.3.2 แบบที่ 3 ทางเลือกที่ 2

ท่าเรือเอเชียทีค → ท่าเรือประวัติศาสตร์ → เคนโรงเลื่อย → รางรถไฟโบราณ → หลุมหลบภัยสมัยสงครามโลก → โรงเลื่อยเก่า → ซุ้มโกดังสินค้า 100 ปี → เคนยกของริมน้ำ → ท่าเรือเอเชียทีค
เป็นระยะทางรวมทั้งหมด 45+70+80+150+250+175+40+35 = 845 เมตร

3.3.3 แบบที่ 3 ทางเลือกที่ 3

ท่าเรือเอเชียทีค → ท่าเรือประวัติศาสตร์ → ซุ้มโกดังสินค้า 100 ปี → เคนโรงเลื่อยเก่า → รางรถไฟโบราณ → หลุมหลบภัยสมัยสงครามโลก → โรงเลื่อยเก่า → เคนยกของริมน้ำ → ท่าเรือเอเชียทีค
เป็นระยะทางรวมทั้งหมด 45+60+60+80+150+250+180+35 = 860 เมตร

3.3.4 แบบที่ 3 ทางเลือกที่ 4

ท่าเรือเอเชียทีค → เคนยกของริมน้ำ → โรงเลื่อยเก่า → หลุมหลบภัยสมัยสงครามโลก → รางรถไฟโบราณ → เคนโรงเลื่อย → ซุ้มโกดังสินค้า 100 ปี → ท่าเรือประวัติศาสตร์ → ท่าเรือเอเชียทีค
เป็นระยะทางรวมทั้งหมด 35+180+250+150+80+60+60+45 = 860 เมตร

3.3.5 แบบที่ 3 ทางเลือกที่ 5

ท่าเรือเอเชียทีค → ชุมโกดังสินค้า 100 ปี → เคนยกของริมน้ำ → โรงเลื่อยเก่า → หลุมหลบภัย
สมัยสงครามโลก → รางรถไฟโบราณ → เคนโรงเลื่อย → ท่าเรือประวัติศาสตร์ → ท่าเรือเอเชียทีค
เป็นระยะทางรวมทั้งหมด $70+40+180+250+150+80+70+45 = 885$ เมตร

ตารางที่ 3 ตารางสรุปผลการเดินทางเข้าห้องเที่ยวทั้ง 15 เส้นทาง

เส้นทางที่	รูปแบบการเดินทาง	ทางเลือก	ระยะทาง (เมตร)	ระยะเวลา (นาที)
1	ป้ายรถเมย์-ป้ายรถเมย์	ทางเลือกที่ 1	835	9.93
2	ป้ายรถเมย์-ป้ายรถเมย์	ทางเลือกที่ 2	835	9.93
3	ป้ายรถเมย์-ป้ายรถเมย์	ทางเลือกที่ 3	835	9.93
4	ป้ายรถเมย์-ป้ายรถเมย์	ทางเลือกที่ 4	835	9.93
5	ป้ายรถเมย์-ป้ายรถเมย์	ทางเลือกที่ 5	850	10.16
6	ท่าเรือ-ป้ายรถเมย์	ทางเลือกที่ 1	750	8.93
7	ท่าเรือ-ป้ายรถเมย์	ทางเลือกที่ 2	755	9.82
8	ท่าเรือ-ป้ายรถเมย์	ทางเลือกที่ 3	760	9.05
9	ท่าเรือ-ป้ายรถเมย์	ทางเลือกที่ 4	770	9.16
10	ท่าเรือ-ป้ายรถเมย์	ทางเลือกที่ 5	790	9.40
11	ท่าเรือ-ท่าเรือ	ทางเลือกที่ 1	845	10.07
12	ท่าเรือ-ท่าเรือ	ทางเลือกที่ 2	845	10.07
13	ท่าเรือ-ท่าเรือ	ทางเลือกที่ 3	860	10.24
14	ท่าเรือ-ท่าเรือ	ทางเลือกที่ 4	860	10.24
15	ท่าเรือ-ท่าเรือ	ทางเลือกที่ 5	885	10.54

จากตารางที่ 3 จะสังเกต รูปแบบที่ 1 ทางเดินที่สั้นที่สุดจากป้ายรถเมย์-ป้ายรถเมย์ คือ เส้นทางนี้ 1, 2, 3, 4 ซึ่งได้ระยะทาง 835 เมตร และใช้เวลา 9.93 นาที รูปแบบที่ 2 ทางเดินที่สั้นที่สุดจากท่าเรือ-ป้ายรถเมย์ คือ เส้นทางนี้ 6 ซึ่งได้ระยะทาง 750 เมตร และใช้เวลา 8.93 นาที รูปแบบที่ 3 ทางเดินที่สั้นที่สุดจากท่าเรือ-ท่าเรือ คือ เส้นทางนี้ 11, 12 ซึ่งได้ระยะทาง 845 เมตร และใช้เวลา 10.07 นาที นั่นคือ เราสามารถแนะนำเส้นทางการเดินเที่ยวชม 7 สถานที่ในเอเชียทีคให้กับนักท่องเที่ยวได้ทั้งหมด 3 รูปแบบ 7 เส้นทางเลือก

4. บทสรุป

การวิจัยศึกษาเส้นทางเดินเข้าห้องเที่ยวที่สั้นที่สุดสำหรับเที่ยวชม 7 สถานที่ในเอเชียทีค ได้แก่ หลุมหลบภัยสมัยสงครามโลก รางรถไฟโบราณ โรงเลื่อยเก่า เคนโรงเลื่อย ชุมโกดังสินค้า 100 ปี ท่าเรือประวัติศาสตร์ และเคนยกของริมน้ำ โดยใช้แผนที่ดาวเทียมจาก Google maps โปรแกรม Gephi สูตรอัตราเร็วสำหรับคำนวณระยะเวลาเดินเท้า และแนวคิดทฤษฎีกราฟ เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ เพื่อแนะนำเส้นทางการเดินให้กับนักท่องเที่ยว ซึ่งได้กำหนดเส้นทางเดินเป็น 3 รูปแบบตามจุดเริ่มต้นและปลายทาง คือ จากป้ายรถเมย์-ป้ายรถเมย์ ท่าเรือ-ป้ายรถเมย์ และจากท่าเรือ-ท่าเรือ โดยกำหนดให้เดินไม่

ข้าจุดเดิม และไม่นับเวลาที่ยาวชมแต่ละสถานที่ จากผลการวิจัยเราได้เส้นทางที่สั้นที่สุด และใช้เวลาที่น้อยที่สุดสำหรับการเดินเที่ยวชม 7 สถานที่ในเอเชียทีค ได้ทั้งหมด 3 รูปแบบ 7 เส้นทางเลือก ซึ่งแบบที่ 1 เริ่มต้นเดินทางจากป้ายรถเมย์ ปลายทางป้ายรถเมย์ มี 4 ทางเดินให้เลือก ได้แก่ ทางเลือกที่ 1 ทางเลือกที่ 2 ทางเลือกที่ 3 และทางเลือกที่ 4 ซึ่งมีระยะทาง 835 เมตร ใช้เวลา 9.93 นาที แบบที่ 2 เริ่มต้นเดินทางจากท่าเรือ ปลายทางป้ายรถเมย์ มี 1 ทางเดินให้เลือก ได้แก่ ทางเลือกที่ 1 ซึ่งมีระยะทาง 750 เมตร ใช้เวลา 8.93 นาที แบบที่ 3 เริ่มต้นเดินทางจากท่าเรือ ปลายทางท่าเรือ มี 2 ทางเดินให้เลือก ได้แก่ ทางเลือกที่ 1 และทางเลือกที่ 2 ซึ่งมีระยะทาง 845 เมตร ใช้เวลา 10.07 นาที

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สืบเนื่องมาจากการทำวิจัยในรายวิชาโครงการงานวิทยาการข้อมูลและเทคโนโลยีสารสนเทศ หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการข้อมูลและเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ปีการศึกษา 2565 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการนำเสนอบทความในการประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 6 ในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ดร.ณิศรา สุทธิสังข์. การวิเคราะห์เส้นทางท่องเที่ยวในตัวเมืองลพบุรี. งานวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. 2558.
- [2] นายฉัตรดนัย เลือดสกุล. บทความวิจัยค่าดัชนีการเดินเท้าภายในเขตเทศบาลนครราชสีมา. ผลงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สาขาวิศวกรรมขนส่ง. 2555.
- [3] วิกิพีเดีย. (6 ธันวาคม 2565). ข้อมูลของเอเชียทีค เดอะรีเวอร์ฟรอนต์. สืบค้นจาก https://th.wikipedia.org/wiki/เอเชียทีค_เดอะรีเวอร์ฟรอนต์.
- [4] Google map (6 กุมภาพันธ์ 2566). ข้อมูลระยะทาง 7 สถานที่ที่น่าเที่ยวชมในเอเชียทีคจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง. สืบค้นจาก <https://www.google.com/maps/@13.7040623,100.5007374,17>.
- [5] Asiatiquethailand (6 ธันวาคม 2565). ข้อมูลแผนที่ของเอเชียทีคและภาพประกอบของ สถานที่ที่น่าเที่ยวชมในเอเชียทีค. สืบค้นจาก <https://www.Asitiquethailand.com/en/home>.
- [6] กระทรวงศึกษาธิการ. การเคลื่อนที่และแรงในธรรมชาติ ชั้นมัธยมศึกษาชั้นปี ที่ 4-6. โรงพิมพ์สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, กรุงเทพฯ. 2551.

ผลของปริมาณกล้วยหอมต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มนมกล้วยผสมนมกล้วยหอม

Effect of Amounts of Banana on Product Development of Soy Milk Incorporated with Banana Milk Beverage

วัฒนา วิริวุฒิกกร

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

E-mail: wattana@rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาปริมาณนมกล้วยและ นมกล้วยหอมที่เหมาะสมต่อคุณภาพการผลิตผลิตภัณฑ์นมกล้วยผสมนมกล้วยหอม การศึกษาครั้งนี้แบ่งการทดลองเป็น 4 การทดลอง คือ นำนมกล้วย (สูตรควบคุม): 1.0:0.0 นมกล้วยผสมนมกล้วยหอมอัตราส่วน 1.0:0.1, 1.0:0.2 และ 1.0:0.4 ตามลำดับ ศึกษาสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ สี ความสว่าง ความหนืด และลักษณะปรากฏ ศึกษาสมบัติทางเคมี ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ร้อยละความเป็นกรดทั้งหมด ของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และวิตามินซี ศึกษาสมบัติทางจุลชีววิทยาด้านจุลินทรีย์ทั้งหมด และศึกษาการยอมรับประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมโดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน แบบ 9-point hedonic scale ผลการวิเคราะห์ทางกายภาพ และทางเคมีพบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ผลการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาพบว่า จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานนมกล้วย (มผช. 529/2558) คือ จุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^4 ซีเอฟยู/มล. ส่วนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า ทุกค่าที่วัดได้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับเกณฑ์ข้อกำหนดคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ต้องมากกว่า 5 อัตราส่วนนมกล้วย : นมกล้วยหอม 1.0 : 0.1 ได้รับคะแนนการยอมรับด้านสีมีค่าสูงสุด คือ 6.8 แต่คะแนนด้านกลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมมีค่าสูงสุดเท่ากันเท่ากับ 7.5

คำสำคัญ: กล้วยหอม นมกล้วย เครื่องดื่ม ผลิตภัณฑ์

Abstract

The purpose of this research was to study the optimum banana milk and soy milk quantities on the qualities of soy milk incorporated with banana milk product production. This research consisted of four experiments. Soy milk (as a control sample) 1:0:0.0 and blended soy milk and banana milk in the ratios of 1.0:0.1, 1.0:0.2 and 1.0:0.4 were performed, respectively. The physical properties as appearance and color, brightness and viscosity, chemical properties and microbiological properties as pH, percent of total acidity, total soluble solid, vitamin C as well as total plate count were also analyzed. In addition, a type of sensory evaluation of each product's colour, odour, taste and overall acceptability using 30 of untrained panelists were 9-point hedonic scale. The physical and chemical properties results were found

that there were significantly different. ($p \leq 0.05$) The microbiological results demonstrated that total plate count was in accordance with the standard criteria for soy milk CPS.529/2015, i.e. total microorganism must not exceed 1×10^4 CFU/ml. The sensory evaluation revealed that all values were significantly different. For the product liking value criteria must be greater than 5. The soy milk: banana ratio of 1.0 : 0.1 received the highest colour values of 6.8, but odour, taste and overall acceptability had the highest values equally of 7.5.

Keywords: banana, soy milk, beverage, product

1. บทนำ

ในปัจจุบันเครื่องดื่มจากธัญพืชมีบทบาทในตลาดอุตสาหกรรมอาหารมากขึ้น และได้รับความนิยมจากผู้บริโภคมากขึ้นตามกระแสการตื่นตัวของการรักษาสุขภาพ เครื่องดื่มผลไม้ และธัญพืชจัดว่าเป็นเครื่องดื่มเลียนแบบนมประเภทหนึ่งที่น่าสนใจ ซึ่งเครื่องดื่มเลียนแบบนม คือ การใช้วัตถุดิบจากพืช อาจใช้ในรูปของการใช้เมล็ดพืชมาผลิตโดยตรง หรืออาจใช้ในรูปของโปรตีนสกัดจากเมล็ดพืช และใบพืช เครื่องดื่มผลไม้ผสมธัญพืชเป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมบริโภคกันมากมีแนวโน้มการบริโภคมากขึ้น แต่ยังมีปัญหาที่สำคัญคือ ด้านกลิ่น รสชาติ และผู้บริโภคบางกลุ่มแพ้โปรตีนจากวัว หรือมีข้อจำกัดในการบริโภคนมวัวทำให้ผู้บริโภคบางกลุ่มไม่ยอมรับ ดังนั้นเพื่อเพิ่มความหลากหลายในการบริโภคเครื่องดื่มจากผลไม้ เช่น กล้วยผสมธัญพืชตระกูลถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบ และพัฒนาด้านกลิ่นรสเพื่อให้ผู้บริโภคยอมรับมากขึ้น [1] รูปแบบการผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพออกมาหลายชนิดและวางจำหน่ายอยู่ทั่วไปเป็นจำนวนมาก และเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมในการบริโภคจากผู้บริโภคเป็นอย่างมากเพราะ ให้รสชาติดี ราคาไม่แพง รับประทานง่าย และมีความสะดวกสบายในการบริโภคโดยรูปแบบของผลิตภัณฑ์มีทั้งแบบสำเร็จรูปพร้อมดื่ม และแบบผงสำหรับชงดื่ม [2] และมีตัวอย่างงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการผลิตเครื่องดื่มจากธัญพืช เช่น เครื่องดื่มน้ำนมข้าวโพดผสมข้าวกล้องหอมมะลิ [3] นมถั่วเหลืองผสมถั่วลูกไก่ [4] ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มกล้วยหอมผสมนมข้าวโพดและนมถั่วเหลือง [5] น้ำเต้าหู้จากถั่วแดงผสมถั่วเหลืองโดยใช้สารสกัดหญ้าหวาน [6] และผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวโพดผสมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว [7]

ถั่วเหลืองเป็นพืชล้มลุกมีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Glycine max* (L.) Merrill เป็นพืชตระกูลถั่ว ถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนที่สำคัญ นอกจากนี้ในถั่วเหลืองยังพบสารกลุ่มไอโซฟลาโวน เช่น เจนิสทิน เดดซิน และไกลซิทิน ซึ่งจัดเป็นสารจากพืชที่มีฤทธิ์คล้ายกับฮอร์โมนเอสโตรเจน และยังมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระมีผลช่วยป้องกันการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจมีผลต่อการเรียนรู้และจดจำ และช่วยลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคอัลไซเมอร์ [8]

กล้วยหอมเป็นไม้ล้มลุกมีชื่อวิทยาศาสตร์ *Musa Sapientum* Linn. อยู่หลากหลายสายพันธุ์ เช่น กล้วยหอมจันทร์ กล้วยหอมทอง และกล้วยหอมเขียว โดยกล้วยหอมเขียว หรือกล้วยหอมคาเวนดิชเป็นกล้วยหอมที่นิยมปลูกกันโดยทั่วไป จัดเป็นผลไม้ที่อุดมไปด้วยคุณค่าสารอาหารครบถ้วนตามหลักทางโภชนาการ ได้แก่ ซูโครส ฟรักโทส และกลูโคสให้พลังงานแก่ร่างกายพร้อมนำไปใช้ทันที การรับประทานกล้วยหอมสุกเป็นประจำทำให้ร่างกายได้รับเพ็คติน โปรตีน วิตามินเอ วิตามินซี รวมถึงธาตุโพสฟอรัส และแคลเซียม บำรุงสายตาให้มองเห็นได้ชัดเจนขึ้น มีวิตามิน โยอาอาหารที่ช่วยในการขับถ่าย และสารแทนนินซึ่งช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ *Escherichia coli* เป็นต้น [9]

ดังนั้นผู้วิจัยเล็งเห็นประโยชน์ที่สำคัญจากถั่วเหลืองเป็นพืชตระกูลถั่ว และกล้วยหอมซึ่งเป็นผลไม้ที่มีประโยชน์ในด้านสารอาหาร และคุณค่าทางโภชนาการในวัตถุดิบหลักดังกล่าว จึงเกิดแนวความคิดที่จะนำประโยชน์พืชผักทั้ง 2 ชนิดมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มนมถั่วเหลืองผสมนมกล้วยหอมในรูปแบบชนิดใหม่เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคซึ่งเป็นผลดีต่อร่างกายถือเป็นการเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่รัก และมีความห่วงใยในเรื่องสุขภาพ กระบวนการ

ผลิต รวมถึงขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเพื่อการผลิตที่ไม่ยุ่งยาก เป็นการพัฒนามลิตภัณฑ์ที่ทำให้เกิดความหลากหลายในการเลือกบริโภค และเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้ทั้งถั่วเหลือง และกล้วยหอม วัตถุประสงค์งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาปริมาณกล้วยหอมที่เหมาะสมต่อกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเหลืองผสมนมกล้วยหอม และประเมินคุณภาพผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเหลืองผสมนมกล้วยหอมด้านกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และประสาทสัมผัส

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

2.1 การเตรียมนมถั่วเหลือง ล้างเมล็ดถั่วเหลืองให้สะอาดแช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 5 ชั่วโมง กรองออก พักให้สะเด็ดน้ำซึ่งถั่วเหลืองในแต่ละการทดลองตั้ง (ตารางที่ 1) ปั่นถั่วเหลืองผสมกับน้ำอุ่น กรองกากถั่วเหลืองออกจากร้านนมด้วยผ้าขาวบาง ต้มนมถั่วเหลืองดิบ (สูตรควบคุม) ผสมให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน โดยการให้ความร้อนทำการปรับอุณหภูมิในช่วง 40-50°C. จนถึงอุณหภูมิ 80-90°C. ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที ตั้งทิ้งให้เย็น บรรจุขวดพลาสติกขนาด 400 มิลลิลิตร ส่วนการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ประกอบด้วยเติมถั่วเหลือง:กล้วยหอมในอัตราส่วน 200:20, 200:40 และ 200:80 ตามลำดับ โดยการให้ความร้อนทำการปรับอุณหภูมิในช่วง 40-50°C. จนถึงอุณหภูมิ 80-90°C. ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที เช่นเดียวกับสูตรควบคุม ตั้งทิ้งให้เย็น บรรจุขวดพลาสติกขนาด 400 มิลลิลิตร จะได้ผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลืองนมผสมกล้วยหอม ทำดำเนินการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C. เพื่อรอการวิเคราะห์คุณภาพต่อไป ดัดแปลงจาก [3-5]

2.2 การเตรียมนมกล้วยหอม ล้างทำความสะอาด ปอกเปลือกกล้วยหอมออก ซึ่งกล้วยหอมในแต่ละการทดลอง (ตารางที่ 1) และหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ขนาด 3 มิลลิเมตร เทส่วนที่เป็นเนื้อกล้วยหอมลงผสมในนมถั่วเหลืองที่เตรียมไว้ในขั้นตอนการเตรียมนมถั่วเหลือง (หัวข้อ 2.1) ต่อไป ดัดแปลงจาก [5,10]

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณในการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเหลืองผสมนมกล้วยหอมผสม

ส่วนประกอบ	อัตราส่วนถั่วเหลือง:กล้วยหอม			
	1.0:0.0	1.0:0.1	1.0:0.2	1.0:0.4
ถั่วเหลือง (กรัม)	200	200	200	200
กล้วยหอม (กรัม)	0	20	40	80
เกลือ (กรัม)	0.25	0.25	0.25	0.25
น้ำใบเตย (มิลลิลิตร)	8	8	8	8
น้ำ (มิลลิลิตร)	1,500	1,500	1,500	1,500
น้ำตาลทราย (กรัม)	15	15	15	15

2.3. การวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์

2.3.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

วิเคราะห์ค่าความสว่าง และค่าสี (L^* , a^* และ b^*) ตามวิธีการของ [11] ลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ภายนอก และความหนืด ดัดแปลงตามวิธีการของ [3-6]

2.3.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ตามวิธีการของ [11] ร้อยละกรดทั้งหมด (คำนวณในรูปกรดซิตริก) ตามวิธีการของ [11] ของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (TSS) ตามวิธีการของ [11] และวิตามินซี ดัดแปลงตามวิธีการของ [11]

2.3.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (TPC) โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อวิเคราะห์แบคทีเรีย ตามวิธีการของ [12]

2.3.4 การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทำการประเมินผลลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยใช้แบบทดสอบ 9-point hedonic scale test โดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ตัวแปรที่ต้องการทดสอบคือ สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม ตามวิธีการของ [13]

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Microsoft excel 2016 (เป็นโปรแกรมการวิเคราะห์ค่าสถิติในชุดโปรแกรม Microsoft) การทดลองใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design; CRD) สำหรับการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และทางเคมี สำหรับการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสโดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design; RCBD) นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance ; ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) [13]

ตารางที่ 2 คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแก้วเหลืองผสมนมกล้วยหอม

อัตราส่วน กล้วยหอม:	ลักษณะปรากฏ	ความหนืด (cps)*	ค่าที่วัดได้*		
			ความสว่าง*	สีแดง*	สีเหลือง*
1.0:0.0	สีน้ำตาลอ่อนกลิ่นหอมกล้วยหอมและกลิ่น กล้วยหอมเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน	72.56 ^a ±0.87	81.46 ^a ±0.14	-0.16 ^b ±0.38	14.37 ^b ±0.25
1.0:0.1	สีน้ำตาลอ่อนกลิ่นหอมกล้วยหอมและกลิ่น กล้วยหอมเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน	75.11 ^b ±0.56	58.98 ^b ±0.48	6.52 ^a ±0.92	14.94 ^b ±1.42
1.0:0.2	สีเหลืองน้ำตาลปานกลางกลิ่นหอมกล้วย หอมและกลิ่นกล้วยหอมเนียนเป็นเนื้อ เดียวกัน	78.14 ^c ±0.44	51.97 ^d ±0.26	7.17 ^a ±0.15	17.39 ^a ±0.30
1.0:0.4	สีเหลืองน้ำตาลเข้มกลิ่นหอมกล้วยหอมและ กลิ่นกล้วยหอมเนียนเป็นเนื้อเดียวกัน	81.24 ^d ±0.97	53.68 ^c ±0.22	7.09 ^a ±0.31	17.60 ^a ±0.65

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 3 คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มแก้วเหลืองผสมนมกล้วยหอม

อัตราส่วนกล้วยหอม:	ค่าที่วัดได้			
	ความเป็นกรด- ด่าง*	ร้อยละกรดทั้งหมด*	ของแข็งที่ละลายน้ำได้ ทั้งหมด (°บริกซ์)*	วิตามินซี* (mg/l)
1.0:0.0	6.87 ^a ±0.06	0.006 ^b ±0.001	9.07 ^c ±0.58	6.55 ^a ±0.78
1.0:0.1	6.03 ^b ±0.01	0.011 ^a ±0.003	9.03 ^c ±0.57	7.34 ^{ab} ±0.54
1.0:0.2	5.76 ^c ±0.01	0.009 ^{ab} ±0.001	9.53 ^b ±0.58	7.66 ^{ab} ±0.27
1.0:0.4	5.43 ^d ±0.01	0.006 ^b ±0.002	11.33 ^a ±0.59	8.05 ^b ±0.66

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

จากการศึกษาคุณภาพด้านลักษณะปรากฏภายนอก และสมบัติกายภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มนมถั่วเหลืองผสมนมกล้วยหอมโดยการสังเกตลักษณะปรากฏภายนอก ความหนืด และสี ผลการศึกษา ดังตารางที่ 2 ผลการศึกษาคุณภาพด้านเคมีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มนมถั่วเหลืองผสมนมกล้วยหอม ดังตารางที่ 3 จากการศึกษาคุณภาพด้านจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มนมถั่วเหลืองผสมนมกล้วยหอมโดยการวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ผลการศึกษาพบว่า ไม่พบการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในทุกการทดลอง และผลการศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเครื่องดื่มนมถั่วเหลืองผสมนมกล้วยหอม ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มนมถั่วเหลืองผสมนมกล้วยหอม

อัตราส่วนถั่วเหลือง: กล้วยหอม	ค่าความชอบ			
	สี [*]	กลิ่น [*]	รสชาติ [*]	ความชอบโดยรวม [*]
1.0:0.0	6.83 ^a ±0.84	7.53 ^a ±0.68	6.57 ^b ±0.90	6.97 ^b ±0.76
1.0:0.1	6.93 ^a ±0.65	7.57 ^a ±0.63	7.50 ^a ±0.73	7.51 ^a ±0.51
1.0:0.2	5.17 ^b ±0.75	6.17 ^b ±0.65	5.40 ^c ±0.93	5.70 ^c ±0.70
1.0:0.4	4.30 ^c ±0.84	5.57 ^c ±1.04	5.17 ^d ±0.91	4.77 ^d ±0.86

หมายเหตุ: ^{*} หมายถึง มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดลองจากการวิเคราะห์สมบัติกายภาพ (ตารางที่ 2) พบว่า ทุกค่าที่วัดได้ คือ ความสว่าง สีแดง สีเหลือง และความหนืดมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจาก การใช้สัดส่วนถั่วเหลือง และกล้วยหอม ปริมาณที่ต่างกันมีผลทำให้ค่าสี ความสว่าง และความหนืดของผลิตภัณฑ์ในแต่ละการทดลองที่วัดได้มีความแตกต่างกัน อัตราส่วนนมถั่วเหลือง:นมกล้วยหอม 1.0:0.4 มีการใช้กล้วยหอมมากที่สุดทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความหนืดมากที่สุด การเติมนมกล้วยหอมปริมาณมากขึ้นส่งผลทำให้เพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้มากขึ้น และส่งผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าสีเหลืองมากที่สุด จากผลที่ได้นี้อธิบายการเปลี่ยนแปลงได้สีเหลืองของนมถั่วเหลืองขึ้นอยู่กับปริมาณกล้วยหอมที่ใช้ในการผลิตซึ่งโดยปกติถั่วเหลืองประกอบด้วยรงควัตถุเจนิสทิน (genistein) อยู่ในกลุ่มแอนโทแซนทิน (anthoxanthin) เป็นกลุ่มสารสีที่ไม่มีสีไปจนถึงมีสีเหลือง [3-7] และสีเขียวเล็กน้อยซึ่งเป็นสีเขียวของไบโแตมิลคลอโรฟิลล์เป็นรงควัตถุที่สำคัญ การเติมนมกล้วยหอมทำให้สีของผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลืองผสมนมกล้วยหอมมีสีเข้มไปทางสีเหลืองเข้มมากขึ้นที่อัตราส่วนนมถั่วเหลือง:นมกล้วยหอม 1.0:0.4 การเปลี่ยนสีเหลืองที่เกิดขึ้นกับปริมาณนมกล้วยหอมที่เติมลงไปเนื่องจาก กล้วยหอมมีรงควัตถุที่ให้สีเหลืองชนิดเบต้าแคโรทีน (β -carotene) ที่เป็นสารในกลุ่มแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ซึ่งเมื่อผสมกับนมถั่วเหลืองจะเกิดการสลายตัวของแคโรทีนอยด์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจาก มีพันธะคู่อยู่จำนวนมากโดยเป็นผลจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ทำให้สีจางลงซึ่งสาเหตุสำคัญเกิดจากเอนไซม์ไลพอกซีจีเนสซึ่งมีอยู่ในเมล็ดถั่วเหลืองตามธรรมชาติออกซิไดซ์สร้างควัตถุเบต้า-แคโรทีนเป็นอ็อกโซคาร์บอนิล และแอลกอฮอล์มีผลต่อสี และกลิ่นรสของอาหาร [3-7] และเมื่อนำผลิตภัณฑ์ผ่านความร้อนที่ใช้ในการผลิตจะแยกสารแคโรทีนอยด์ออกจากโปรตีนทำให้เปลี่ยนเป็นสีแดงที่วัดได้ในอัตราส่วนนมถั่วเหลือง:นมกล้วยหอม 1.0:0.2 และ 1.0:0.4 มีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ได้อธิบายผลจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลชนิดไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (caramelization) ที่อุณหภูมิในการฆ่าเชื้อในผลิตภัณฑ์เป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากการสลายตัวของโมเลกุลน้ำตาลด้วยความร้อนสูง และมีการเกิดโพลีเมอร์ของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสารสีน้ำตาล และจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard) ที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์ในนมถั่วเหลืองผสมนมกล้วยหอมกับโปรตีนที่มีอยู่ในนมถั่วเหลืองในสถานะที่ให้ความร้อนสูงในระหว่างการฆ่าเชื้อ [3-8] และผลการวิจัยสอดคล้องกับ [3-4], [6]

จากการศึกษาลักษณะภายนอกที่ปรากฏในทุกผลิตภัณฑ์ทุกการทดลอง พบว่า ผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลืองผสมนมกล้วยหอมมีกลิ่นหอมของกล้วยหอมชัดเจนซึ่งกลิ่นหอมเกิดจากสารเอสเทอร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันระหว่างบิวทิล แอลกอฮอล์กับกรดเอทานอลได้ผลิตภัณฑ์เป็นบิวทิลเอทานอลที่เป็นกลิ่นกล้วยหอม [14] ร่วมกับกลิ่นหอมอ่อนๆ ของนมกล้วยหอมที่สามารถละลายน้ำได้ดี แต่กลิ่นของถั่วเหลืองมีกลิ่นที่อ่อนไม่ชัดเจน เนื่องจากความร้อนในการต้มไปยับยั้ง เอนไซม์ไลพอกซิจีเนส (lipoxygenase) ที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวในถั่วเหลือง คือ กรดไลโนเลอิกทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเกิดเป็นสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ซึ่งจะสลายตัวเป็นสารประกอบที่ระเหยได้เป็นอัลดีไฮด์ คีโตน และแอลกอฮอล์ทำให้เกิดกลิ่นถั่วเหลืองขึ้น [15] รวมถึงการเติมน้ำไปเตยลงไปในนมถั่วเหลืองขณะต้มก็ทำให้นมถั่วเหลืองมีกลิ่นหอมหวานมากขึ้นเกิดจาก 2-acetyl-1-pyrroline ซึ่งก่อนที่จะใส่ไปเตยลงไปต้มนั้นต้องย่างไปเตยให้เล็กน้อยก่อนที่จะมัดไปเตยเป็นชิ้นใส่ลงไปในนมถั่วเหลืองต้มเพื่อลดกลิ่นเหม็นเขียวของไปเตยที่ไม่พึงประสงค์ [14-15] เนื่องจากกล้วยหอมที่เติมลงไปประกอบด้วยรงควัตถุประเภทแคโรทีนอยด์ คือเบต้าแคโรทีน และถั่วเหลืองประกอบด้วยรงควัตถุเจนิสทิน (genistein) อยู่ในกลุ่มแอนโทแซนทิน (anthoxanthin) เป็นกลุ่มสารสีที่ไม่มีสีไปจนถึงมีสีเหลือง เมื่อถูกความร้อนเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ใช้ในการผลิตจะแยกสารแคโรทีนอยด์ออกจากโปรตีนทำให้เปลี่ยนเป็นสีแดงที่ปรากฏออกมาเด่นชัดเมื่อรงควัตถุสีเหลืองและสีเขียวสลายตัว ในด้านรสชาติผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลืองผสมนมกล้วยหอมผสมมีรสชาติด้านหวานมันจากกล้วยหอมที่มีปริมาณน้ำตาล และปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง และได้รสหวานอมเปรี้ยวฝาดเล็กน้อยจากกล้วยหอมสุก ซึ่งการสุกของกล้วยหอมจะทำให้แปงเปลี่ยนเป็นน้ำตาล และทำให้สารแทนนินที่เป็นกรดอ่อนรสฝาดในกล้วยหอมเกิดการสลายตัว รวมถึงการปรุงแต่งรสด้วยน้ำตาลทรายจนมีรสหวานละมุน และเติมเกลือป่นลงไปเล็กน้อยให้รสเค็มเล็กน้อยของเกลือยังช่วยเสริมความหวานมันของนมถั่วเหลืองได้ ในด้านเนื้อสัมผัสภายหลังทำเสร็จใหม่ๆ จะมีเนื้อสัมผัสที่เหลวขึ้น และมีกากใยจากถั่วเหลืองและกล้วยหอมอยู่ในรูปคอลลอยด์ในนมถั่วเหลือง อีกทั้งมีเนื้อเจลจากเนื้อกล้วยหอม ซึ่งโดยปกตินมถั่วเหลืองนั้นจัดว่าเป็นเครื่องดื่มที่เป็นอิมัลชัน (emulsion) เกิดจากหยดของไขมันที่รวมตัวกับโปรตีนบางส่วนที่ถูกห่อหุ้มล้อมด้วยสารลดแรงตึงผิวธรรมชาติอย่างกลุ่มฟอสโฟลิปิด (phospholipid) เลซิธิน (lecithin) เป็นองค์ประกอบและมีสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ดีทำให้ผลิตภัณฑ์เป็นเนื้อเดียวกัน [15] โดยเฉพาะในกล้วยหอมสุกจะมีเปลือกที่บางลงจากการที่น้ำในเปลือกเข้าไปอยู่ในเนื้อแทนทำให้กล้วยหอมสุกมีปริมาณน้ำมากกว่าปกติจึงไม่สามารถระเหยออกไปได้หมด อีกทั้งการต้มให้ความร้อนเดือดที่ระยะเวลาอันยาวนานเกินไปจะทำให้เสียสภาพอิมัลชันเกิดน้ำใสสีเหลืองอ่อนแยกออกจากเนื้อในขณะเดียวกันผลิตภัณฑ์ทุกการทดลองเกิดการตกตะกอนของเส้นใยอาหารในถั่วเหลือง และกล้วยหอมที่มากขึ้น จึงทำให้เกิดความขุ่น และมีการเติมเกลือป่นลงไปเล็กน้อยในรูปโซเดียมคลอไรด์ ซึ่งเป็นสารอิเล็กโทรไลต์จะไปปรับเลื่อน isoelectric point ของโปรตีนในนมถั่วเหลืองได้ส่งผลให้เกิดลิ่มตะกอนของนมถั่วเหลือง เนื่องจากผลิตภัณฑ์ดังกล่าวไม่มีการใช้สารที่ทำให้เกิดอิมัลชันใดๆ ดังนั้น ก่อนการบริโภคควรเขย่าก่อนดื่มเพื่อให้ชั้นตะกอนที่เกิดจากธรรมชาติมีความคงตัว และกระจายตัวในผลิตภัณฑ์ [3-7], [15]

จากผลการวิเคราะห์ค่าความหนืดในผลิตภัณฑ์ทุกผลิตภัณฑ์พบว่า ค่าความหนืดที่วัดได้มีค่าแตกต่างกัน ผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยนมถั่วเหลือง:นมกล้วยหอม 1.0:0.4 มีค่าความหนืดสูงที่สุด เนื่องจากมีการเติมนมกล้วยหอมในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ปริมาณของแข็งเพิ่มมากขึ้นรวมถึงอุณหภูมิการให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อมีผลทำให้โปรตีนเกิดการเสียสภาพ และการใช้กล้วยหอมสุกทำให้มีปริมาณแป้งต่ำ เนื่องจากแป้งถูกความร้อนเปลี่ยนเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ซึ่งแป้งเป็นตัวเพิ่มความเข้มข้นให้กับผลิตภัณฑ์ แต่มีปริมาณน้ำตาลสูง และเส้นใยอยู่ในรูปแบบที่ละลายน้ำ ทำให้มีความสามารถในการพองตัวได้คล้ายกับพองน้ำ แต่ไม่มีความหนืดทำหน้าที่เหมือนตัวช่วยทำความสะอาดระบบทางเดินอาหาร และทำให้อิ่มเร็วขึ้น [3-7], [15]

จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีพบว่า ทุกค่าที่วัดได้ คือ ความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 5.43-6.87 ร้อยละกรดทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 0.006-0.011 ของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 9.03-11.33° บริกซ์ และวิตามินซีมีค่าอยู่ในช่วง 6.55-8.05 มิลลิกรัม/ลิตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม

นมถั่วเหลืองผสมนมกล้วยหอมมีค่าความเป็นกรดอ่อน (low acid food) ดังนั้นค่าความเป็นกรด-ด่างขึ้นอยู่กับปริมาณกล้วยหอมที่เติมลงไป ผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลือง:นมกล้วยหอมอัตราส่วน 1.0:0.4 มีสัดส่วนกล้วยหอมสูงสุดมีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำ เนื่องจากการเสียดสภาพของโปรตีนในถั่วเหลืองมีผลทำให้ค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ความเป็นกรด-ด่างลดลง และนมกล้วยหอมมีค่าความเป็นกรดอ่อนรวมถึงกล้วยหอมที่สุกความเป็นกรดมีค่าลดลง อีกทั้งโปรตีนถั่วเหลืองส่วนใหญ่เป็นโปรตีนประเภทโกลบูลิน (globulin) ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำในช่วงที่เรียกว่า จุดไอโซอิเล็กทริก (isoelectric point) เป็นจุดที่มีความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 4.2 -4.6 [16] ซึ่งกรดในอาหารมีความสัมพันธ์กับรสเปรี้ยว (sour) ของอาหาร การคำนวณร้อยละกรดทั้งหมดอยู่ในรูปของกรดซิตริกซึ่งกรดซิตริก (citric acid) เป็นกรดอินทรีย์ (organic acid) ที่พบในผลไม้อย่างกล้วยหอมเป็นกรดอ่อน (weak acid) ผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลือง:นมกล้วยหอมอัตราส่วน 1.0:0.1 มีปริมาณร้อยละกรดทั้งหมดมากที่สุดซึ่งไม่สอดคล้องกับค่าความเป็นกรด-ด่างที่วิเคราะห์ได้ [3-7] นอกจากนี้ในช่วงความเป็นกรด-ด่างในช่วงที่วัดได้เป็นช่วงที่เหมาะสมป้องกันมิให้โปรตีนนมถั่วเหลืองเกิดการตกตะกอนเป็นลิ่มที่จุดไอโซอิเล็กทริก (isoelectric point) ในระหว่างการให้ความร้อนในการฆ่าเชื้อ [3-7], [16] ส่วนการวัดของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มนมถั่วเหลืองผสมนมกล้วยหอมซึ่งของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเป็นค่าที่ใช้บ่งชี้ของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม ค่านี้เป็นผลรวมของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ได้แก่ ซูโครส กลูโคส ฟรักโทส กรดซิตริก และแร่ธาตุต่างๆ จากผลการวิจัยจะเห็นได้ว่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดในทุกการทดลองมีความแตกต่างกัน ผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลือง: นมกล้วยหอมอัตราส่วน 1.0:0.4 มีค่าของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมีค่าสูงสุด เนื่องจากมีสัดส่วนปริมาณกล้วยหอมที่เติมลงไปมากที่สุด [5] ผลการวิจัยสอดคล้องกับ [5] ส่วนค่าวิตามินซีที่วัดได้ในแต่ละผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนกัน ผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลือง: นมกล้วยหอมอัตราส่วน 1.0:0.4 มีวิตามินซีสูงสุด ทั้งนี้มีรายงานวิจัยกล่าวว่า เมื่อนำกล้วยหอมที่ผ่านการบ่มเป็นระยะเวลา 4 วัน ประกอบด้วยวิตามินซีสูงสุด 10.19 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักสด 100 กรัม [17] ซึ่งการเติมกล้วยหอมลงในปริมาณที่สูงย่อมส่งผลทำให้ค่าวิตามินซีที่วิเคราะห์ได้มีค่าสูงด้วย

จากผลการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ทุกผลิตภัณฑ์พบว่า ไม่พบการเจริญเติบโตในทุกการทดลองซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนมถั่วเหลืองกำหนดไว้ว่า จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนมถั่วเหลือง คือ จุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน 1×10^4 ซีเอฟยู/มล (มพช. 529/2558) สำหรับอาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในการวิจัยนี้ใช้วิธีการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มไม่ได้วิเคราะห์กลุ่มยีสต์ และรา เนื่องด้วยข้อจำกัดด้านเวลาและงบประมาณ [18] แสดงว่าผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มทุกการทดลองผ่านการฆ่าเชื้อ กระบวนการเทคนิคขั้นต้นในการผลิตมีความสะอาด และมีความปลอดภัยต่อการบริโภค สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดจากปฏิกิริยาทางเคมี และกระบวนการทางชีวภาพ [3- 7]

จากผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มนมถั่วเหลืองผสมนมกล้วยหอมทุกการทดลองโดยใช้แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส 9-point hedonic scale โดยผู้ทดสอบชิมไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ด้าน สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าปริมาณนมถั่วเหลืองนมกล้วยหอมที่เติมลงไป และกระบวนการให้ความร้อนทุกการทดลอง และเวลาที่มีผลต่อคะแนนการยอมรับของผลิตภัณฑ์ โดยปกติพืชตระกูลถั่ว เช่น ถั่วเหลืองมีกลิ่นเหม็นเขียว กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์ถั่วเกี่ยวข้องกับสารประกอบที่ระเหยได้ สารที่สำคัญคือ เอนไซม์ไลโปออกซิจีเนสตามธรรมชาติที่พบในถั่วเหลืองกรดไขมันไม่อิ่มตัว คือ กรดไลโนเลอิกทำปฏิกิริยากับออกซิเจนหรือถูกแสงแดดมีเอนไซม์ และโลหะ เช่น เหล็ก ทองแดงเป็นตัวเร่งเกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเจนเพอรอกไซด์เมื่อเกิดการสลายตัวเป็นสารประกอบที่ระเหยได้ เช่น อัลดีไฮด์ คีโตน และแอลกอฮอล์ทำให้เกิดกลิ่นถั่ว [8], [19-20] กลิ่นหอมของนมกล้วยหอมชัดเจนซึ่งเกิดจากสารเอสเทอร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างบิวทิลแอลกอฮอล์กับกรดเอทานอิกได้ผลิตภัณฑ์เป็นบิวทิลเอทานอิกที่เป็นกลิ่นกล้วยหอม [14] การเติมน้ำใบเตยในปริมาณที่เหมาะสมทำให้ช่วยลดการเกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ในนมถั่วเหลืองได้ [8], [21] จากตารางที่ 4 พบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับด้านสี กลิ่น รสชาติ และ

ความชอบโดยรวมอัตราส่วนถั่วเหลือง:กล้วยหอม 1.0:0.1 มากที่สุดเท่ากับ 6.93, 7.57, 7.50 และ 7.51 ตามลำดับ การเติมกล้วยหอมในอัตราส่วนที่สูงกว่า 0.1 แนวโน้มการยอมรับของผู้ทดสอบชิมเริ่มลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่ได้มีความหนืดเพิ่มมากขึ้นเกิดตะกอนแขวนลอย กลิ่น รสชาติ และความเปรี้ยวในผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น มีกลิ่นของกล้วยหอมเป็นกลิ่นที่โดดเด่นมากขึ้นทำให้ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับผลิตภัณฑ์ลดลง และผลการวิจัยสอดคล้องกับ [3]

4. บทสรุป

เมื่อพิจารณาปริมาณนมถั่วเหลือง และนมกล้วยหอมที่เหมาะสมที่เติมลงในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเหลืองผสมนมกล้วยหอม ผลการวิเคราะห์ด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัส พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยนมถั่วเหลือง และนมกล้วยหอมในอัตราส่วนถั่วเหลือง:กล้วยหอม 1.0:0.1 มีคะแนนเฉลี่ยการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านสี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมมากที่สุด คือ 6.93, 7.57, 7.50 และ 7.51 ตามลำดับ และเนื่องด้วยข้อเสียของพืชตระกูลถั่ว คือ การเกิดกลิ่นเหม็นเขียวซึ่งเป็นกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ จากข้อสรุปที่ได้นี้สามารถนำมาปรับใช้ในการผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพได้เหมาะสมสำหรับผู้ที่มีความเป็นห่วงใยในเรื่องสุขภาพ ดังนั้น จึงควรศึกษาการศึกษาวัตถุดิบทางการเกษตรอื่นที่มีศักยภาพความเป็นไปได้ เช่น ถั่วแดง ถั่วเขียว ถั่วขาว และสมุนไพร เช่น ชิง โดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมรวมถึงสารให้ความหวานชนิดอื่นที่ให้พลังงานต่ำ เช่น ซูคราโลส เพื่อปรับปรุงกลิ่น รสชาติ และวิธีการกำจัดกลิ่นถั่วซึ่งเป็นกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ซึ่งมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคซึ่งในการวิจัยนี้กำหนดถั่วเหลืองคงที่ แต่แปรปริมาณกล้วยหอมในสัดส่วนที่ต่างกันจึงไม่สามารถบอกได้ว่าปริมาณถั่วเหลืองปริมาณช่วงใดจึงทำให้ผู้ทดสอบชิมไม่ชอบ แต่เมื่อดูแนวโน้มจากคะแนนความชอบจะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนกล้วยหอมมากขึ้นการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมลดลงทุกด้าน การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มชนิดผงโดยวิธีการทำแห้งแบบโฟมแมทซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยในเรื่องการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้นานสามารถบริโภคได้ตลอดทั้งปีโดยการศึกษาสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสม รวมถึงอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง ผลของปริมาณกล้วยหอมต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มถั่วเหลืองผสมนมกล้วยหอม สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณนักศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารชั้นปีที่ 4 เจ้าหน้าที่สาขาฯ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ช่วยเหลือด้านการเตรียมตัวอย่าง การเก็บ และวิเคราะห์ข้อมูล และอำนวยความสะดวกด้านสถานที่ในการปฏิบัติการทดลองจนการสนับสนุนทุนวิจัยด้วยงบประมาณคณะฯ จนแล้วเสร็จลุล่วงด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] อภिरดา รินพล, เนตรชนก หลวงแสน และพิมพ์พร ดอนมูล. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากธัญพืช. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมทางวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ครั้งที่ 49, กรุงเทพฯ, 2554. 141-147.
- [2] ราณี สุรกาญจน์กุล. การผลิตน้ำใบบัวบกเพื่อสุขภาพ. วารสารอาหาร. 40(2553) 327-333.
- [3] วัฒนา วิริวุฒิก. การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวโพดผสมข้าวกล้องหอมมะลิ. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระหว่างสถาบัน มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย ครั้งที่ 9 (ออนไลน์) กรุงเทพฯ, 2566. 316-325.
- [4] วัฒนา วิริวุฒิก. การพัฒนาผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลืองผสมถั่วลูกไก่. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนครครั้งที่ 2 (ออนไลน์) สกลนคร, 2566. 641-649.

- [5] วัฒนา วิริวุฒิกกร. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มกล้วยหอมผสมนมข้าวโพดและนมถั่วเหลือง. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ เครือข่ายวิจัยสถาบันอุดมศึกษาทั่วประเทศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ครั้งที่ 15, กรุงเทพฯ, 2565. 403-414.
- [6] วัฒนา วิริวุฒิกกร. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มธัญพืชจากถั่วแดงผสมถั่วเหลืองโดยใช้สารสกัดหญ้าหวาน. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ เครือข่ายวิจัยสถาบันอุดมศึกษาทั่วประเทศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ครั้งที่ 15, กรุงเทพฯ, 2565. 48-60.
- [7] วัฒนา วิริวุฒิกกร. ผลของปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวที่มีต่อคุณภาพน้ำนมข้าวโพด. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 28(2566) 517-533.
- [8] M. Borowska and J. Prusiński. Effect of soybean cultivars sowing dates on seed yield and its correlation with yield parameters. *Journal of Plant, Soil and Environment*. 67(2021) 360–366.
- [9] จุฑา พีรพัชระ. ผลิตภัณฑ์ขนมอบจากแป้งกล้วย. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 2547.
- [10] สุภามาศ หาญเพิ่มชัย. สมบัติทางกายภาพและเคมีของแป้งกล้วยและการนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์เค้กปราศจากกลูเตน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตรบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2563.
- [11] AOAC. Official of Association of Analytical Chemists. 17th edition. Washington D.C.: Association of Analytical Chemists, 2000.
- [12] FDA Bacteriological Analytical Manual (BAM) (13 October 2008). Chapter 3 and 18. Available: <http://www.fda.gov/Food/ScienceResearch/LaboratoryMethods/BacteriologicalAnalyticalManualBAM/default.htm>.
- [13] ไพโรจน์ วิริยจารี. การประเมินทางประสาทสัมผัส. ภาควิชาเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 2561.
- [14] S. Rattanatavon, P. Siriphunt. and S. Vatthanakul. Development of banana flavor carrageenan jelly drink fortified with banana peel extracts. *International Journal of Agricultural Technology*. 16(2020) 685-694.
- [15] M. N. Riaz. Soybeans as functional foods. *Cereal Foods World*. 44(1999) 88-92.
- [16] มณฑนา ร่วมรักษ์, วิชา คำดา และทัศนีย์ ลิ้มสุวรรณ. ผลของวิธีการผลิตต่อสุขภาพนมถั่วเหลือง. วารสารอาหาร. 16(2529) 59-71.
- [17] โชคชัย คำทรัพย์ และราตรี บุญ. การหาปริมาณวิตามินซีในกล้วยบางชนิดโดยเทคนิค HPLC และ UV-Visible. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ สถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ครั้งที่ 4, กำแพงเพชร, 2560. 980-985.
- [18] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนน้ำนมถั่วเหลือง (มผช.529/2558). กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ. 2558.
- [19] A. S. Alhendi, “Inactivation of lipoxygenase in soymilk and soybean by pulsed light”, Doctoral Dissertation, Florida University, USA. 2016.
- [20] L. Yan-Chun, S. Huan-Lu, L. Xin, W. Liang and G. Shun-Tang. Influence of blanching and grinding process with hot water on beany and non-beany flavor in Soymilk. *Journal of Food Science*, 76(2011) S20-5.

- [21] ศิริญา วันตะ, อรุษา จันทร์กลีน และปราณี เลิศแก้ว. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มนมถั่วมะแฮะผสมน้ำใบเตย. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ 2558 สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ครั้งที่ 2, กำแพงเพชร, 2558. 548-555.

ประสิทธิภาพของแผ่นซีเมนต์ผสมเส้นใยผักตบชวาและเส้นใยจากขวด PET ในการดูดซับเสียง Efficiency of cement board mixed with water hyacinth fiber and PET bottle fiber for sound absorption

ตะวัน ไชยวรรณ¹ ณัฐกานต์ ทองพันธุ์พาน¹ โชติกาญจน์ ราชกรม^{2*} และ พิสุต รอดวินิจ²

¹มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์ ปทุมธานี

²มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่

*E-mail: Chotikan@rmutl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาวัสดุดูดซับเสียงจากเส้นใยผักตบชวาและเส้นใยจากขวด PET เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเส้นใยผักตบชวาที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพของเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 5% w/v โดยศึกษาปริมาณที่เหมาะสมในการใช้เส้นใยผักตบชวา และเส้นใยจากขวด PET เพื่อใช้เป็นแผ่นซีเมนต์ที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับเสียง โดยทำการเตรียมส่วนผสมเส้นใยผักตบชวา และเส้นใยขวด PET ในปริมาณร้อยละ 2 และร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C ratio) เท่ากับ 0.5 จากผลการวิจัยพบว่า การปรับปรุงคุณภาพเส้นใยผักตบชวาสามารถสลายลิกนินได้มากขึ้น และสามารถช่วยปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยให้มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยที่ดีขึ้น เมื่อทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงวิศวกรรมของแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยผักตบชวาและเส้นใยขวด PET พบว่าแผ่นซีเมนต์จะมีค่าความหนาแน่นลดลงตามปริมาณการเพิ่มของเส้นใยผักตบชวา จากการทดสอบพบว่า แผ่นผนังดูดซับเสียง OW.1PF.2 สามารถดูดซับเสียงที่มีความถี่ในช่วงความถี่ 1000-2000 Hz ได้ดีที่สุดใน การเพิ่มเส้นใยส่งผลให้เกิดรูพรุนมากขึ้น และส่งผลให้ความหนาแน่นและสมบัติทางกลต่ำลง

คำสำคัญ: วัสดุดูดซับเสียง, เส้นใยผักตบชวา, เส้นใยขวด PET, ซีเมนต์บอร์ด

Abstract

This paper focused on the development of sound absorbing material by water hyacinth fiber and PET fiber. In order to investigate the efficiency of water hyacinth fiber and PET fiber improved by sodium hydroxide at a concentration of 5% w/v. This study has investigated the optimum quantity of water hyacinth fiber and PET fiber in the cement board for sound absorbing. Water hyacinth fiber and PET fiber were prepared in the mixture at 2% and 4% by weight. Water to cement ratio (W/C ratio) was controlled at 0.5 of the cement board. The results demonstrated that an improvement of water hyacinth fiber can break down lignin and the alignment of fiber surface has improved. The results of engineering properties of cement board mixed with water hyacinth fiber and PET fiber demonstrated that the density tended to decrease with the increase of fiber. Moreover, cement board OW.1PF.2 can absorb sound at the

frequency of 1000-2000 Hz. Therefore, the results demonstrated cement board mixed with water hyacinth fiber and PET fiber can absorb sound. However, the increase of fiber in the mixture caused of the cement board more porous and the density of cement board decreases.

Keywords: Sound absorbing material, Water hyacinth fiber, PET bottle fiber, Cement board

1. บทนำ

ปัจจุบันมีขยะขวดพลาสติกเป็นจำนวนมากประมาณ 27.93 ล้านตัน ทำให้ยากต่อการย่อยสลาย และต้องใช้เวลาในการย่อยสลายมากกว่าขยะชนิดอื่น เนื่องจากขยะมูลฝอยจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนของประชากร ทำให้เกิดปัญหาที่เกิดจากขยะมูลฝอยที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และก่อให้เกิดปัญหาต่อสภาพแวดล้อม โดยปริมาณขยะพลาสติกมีปริมาณร้อยละ 20.60 ซึ่งมีปริมาณเป็นอันดับที่ 2 รองจากปริมาณเศษอาหาร แสดงให้เห็นถึงปริมาณขยะพลาสติกที่มีปริมาณมากและยากต่อการย่อยสลาย เมื่อเปรียบเทียบกับขยะชนิดอื่น อีกทั้งการแก้ปัญหาขยะขวดพลาสติก เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างกรรมวิธีหรือฝักรวมการเผาเพื่อนำเอาพลังงานกลับมาใช้ใหม่ และการนำกลับมาใช้ใหม่ ทั้ง 3 กระบวนการนี้ การนำกลับมาใช้ใหม่เป็นวิธีการจัดการที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยการนำกลับมาใช้ใหม่สามารถแยกได้เป็น 2 กรณีคือ การแปรรูปเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ และการนำมาใช้ซ้ำ

จากงานวิจัยด้านคุณลักษณะการซับเสียงของวัสดุธรรมชาติและโครงสร้างสังเคราะห์แบบ Sandwich เส้นใยธรรมชาติและไม้เป็นวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมพร้อมด้วยมีโครงสร้างจุลภาคหลายชั้น ในการประเมินประสิทธิภาพการดูดซับเสียงของเส้นใยผ้าลินินและไม้บัลซ่านั้นโครงสร้างจุลภาคของวัสดุธรรมชาติ ได้ทำการศึกษาผ่านกล้องจุลทรรศน์เพื่อทำการทดสอบกลไกการกระจายเสียงที่ซับซ้อน โดยค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของผ้าใยปอถูกทดสอบโดยใช้แบบจำลองความพรุนสองชั้นซึ่งแสดงผลลัพธ์ที่ค่อนข้างละเอียดและแม่นยำ โดยพบว่าโครงสร้างแบบ Sandwich เมื่อนำมาใช้ผสมผสานกับวัสดุธรรมชาตินั้นได้ให้ประสิทธิภาพการดูดซับเสียงที่เหนือกว่าเมื่อเทียบกับโครงสร้าง Sandwich ที่ทำจากวัสดุสังเคราะห์เนื่องจากมีโครงสร้างหลายชั้นและหลากหลายในการซับคลื่นเสียงและการกระจายพลังงาน สรุปได้ว่าโครงสร้าง Sandwich ที่ทำจากวัสดุธรรมชาติมีศักยภาพในการดูดซับเสียงโดยมีความสามารถอย่างโดดเด่นและเห็นได้ชัดในการทดสอบกับคลื่นความถี่สูง [1]

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแผ่นป้องกันเสียงจากเส้นใยผักตบชวา และเส้นใยขวด PET ทั้งนี้ เพื่อพัฒนานวัตกรรมวัสดุป้องกันเสียงจากเศษขยะในประเทศ ซึ่งจะช่วยลดมลภาวะทางเสียง และส่งเสริมเศรษฐกิจของไทยอย่างยั่งยืนต่อไป

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

การวิจัยทำการศึกษาคูณสมบัติการกันเสียงของแผ่นซีเมนต์ผสมเส้นใยผักตบชวาและเส้นใยขวด PET ประกอบด้วยการศึกษาลักษณะทางกายภาพของเส้นใยผักตบชวา ประกอบด้วยการศึกษาคุณสมบัติทางเคมี กระบวนการเตรียมเส้นใยด้วยวิธีทางเคมีสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติในการกันเสียง ดังต่อไปนี้

2.1 การศึกษาคูณสมบัติทางเคมี และแนวทางการปรับปรุงเส้นใยผักตบชวา

จากการศึกษาองค์ประกอบผักตบชวา พบว่า ผักตบชวาประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน และธาตุอื่น ๆ [2] ดังแสดงในตารางที่ 1

เมื่อศึกษาองค์ประกอบสำคัญในเซลล์พืชแบ่งได้เป็น 2 ส่วนที่สำคัญ คือ ลิกนิน และไฮโดรเซลลูโลส โดยไฮโดรเซลลูโลสสามารถแบ่งได้เป็น เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส โดยที่ปริมาณสารประกอบเหล่านี้จะมีความแตกต่างกัน ขึ้นกับชนิด อายุ และเป็นส่วนไหนของพืช เช่น ใบ ลำต้น ผล เป็นต้น ดังรายละเอียดต่อไปนี้การศึกษาเบื้องต้นได้ทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของ

ตารางที่ 3 ธาตุองค์ประกอบทางเคมีผักตบชวาแห้ง [2]

องค์ประกอบ	สัดส่วน (ร้อยละ)
ลิกนิน	12-13
เซลลูโลส	43-44
เพนแซน	14-15
เถ้า	20-21
คาร์บอน	32-35
ไฮโดรเจน	5.4-5.8
ไนโตรเจน	2.8-3.5
โซเดียม	1.5-2.5
โปแตสเซียม	2.0-3.5
แคลเซียม	0.6-1.3

เส้นใยธรรมชาติ ทั้งก่อนการปรับสภาพ และหลังจากการปรับสภาพเส้นใย (ด้วยการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 5% w/v เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ล้างด้วยน้ำสะอาด อบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และตัดย่อยเส้นใยให้มีความยาวไม่เกิน 1 เซนติเมตร และนำมาวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยวิธีส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง (SEM) และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ตามมาตรฐาน Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI) ได้แก่ ปริมาณเถ้า การละลายในน้ำร้อน ปริมาณลิกนินและปริมาณเซลลูโลส เป็นต้น

จากการศึกษาการใช้เส้นใยธรรมชาติ ซึ่งได้มาจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่มีสมบัติในการกันเสียงที่ดีขึ้น [3] โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหนาแน่น กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัด และความสามารถในการกันเสียงของวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ โดยส่วนผสมของวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ผงหินปูน น้ำ ทราย เส้นใยธรรมชาติได้แก่ เส้นใยกาบมะพร้าวและกากเยื่อใยปาล์ม ที่อัตราส่วนร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน และสารลดปริมาณน้ำ เพื่อให้เส้นใยกระจายตัวได้อย่างสม่ำเสมอ แล้วทำการผลิตตัวอย่างแผ่น ไฟเบอร์ซีเมนต์ซึ่งมีความหนา 8, 12 และ 16 มม. ผลการศึกษาพบว่า การแทนที่ของเส้นใยธรรมชาติในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้วัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์มีความหนาแน่นกำลังรับแรงอัด และกำลังรับแรงดัดลดลง โดยที่วัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยมะพร้าวมีสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลดีกว่าแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยปาล์ม นอกจากนี้สำหรับสมบัติในการกันเสียง เมื่อเพิ่มความหนาของแผ่นทดสอบและร้อยละในการแทนที่ของเส้นใยธรรมชาติ ส่งผลให้แผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์มีประสิทธิภาพในการกันเสียงดีขึ้นผลที่ได้จากการวิจัยนี้ สามารถใช้เป็นแนวทางผลิตแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ที่ผสมเส้นใยจากการเกษตรให้มีสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน และมีสมบัติในการกันเสียงที่ดี

จากการศึกษาสมบัติการสะท้อนกลับของเสียงและความสามารถในการรับแรงดึงของผนังดูดซับเสียงจากชีวะวัสดุโดยชีวะวัสดุ [4] ที่เลือกใช้คือ ผักตบชวา ผักตบชวาที่ใช้ถูกทำให้เส้นใยอ่อนนุ่มลงจากกระบวนการผ่านความร้อนโดยการต้มในสารละลายด่างที่มีอุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นบางที่มีความหนาต่างกันโดยใช้ปูนซีเมนต์เป็นตัวเชื่อมประสานเพื่อให้เกิดการเกาะตัวกันของวัสดุทดสอบแผ่นดูดซับเสียงแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ สมบัติการสะท้อนของเสียงและความสามารถในการรับแรงดึง จากการศึกษาพบว่าแผ่นดูดซับเสียงที่ระดับความหนา 1.0 ซม. มีสมบัติการ

สะท้อนของเสียงใกล้เคียงกับโพลีที่ผลิตเพื่อลดการสะท้อนเสียงของห้องอัดเสียง โดยมีความสามารถในการรับแรงดึงแผ่นดูดซับเสียงที่ระดับความหนาแน่นค่าเท่ากับ 58.21 นิวตัน

ในด้านการใช้เส้นใยต้นผักตบชวา เป็นแผ่นใยไม้อัดซีเมนต์ความหนาแน่นสูง[5] โดยใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ : ทรายละเอียด : เส้นใยต้น ผักตบชวา : น้ำ: สารเร่งการก่อตัวของปูนซีเมนต์ อลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3$), แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$), โซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) เท่ากับ 1 : 0.2 : 0.075 : 0.3 : 0.03 โดยน้ำหนักเส้นใยผักตบชวา ทั้งหมด 5 อัตราส่วน คือ 0.0 (A1, D1), 0.025 (A2, B2, C2, D2), 0.050 (A3, B3, C3, D3), 0.075 (A4, B4, C4, D4), และ 0.1 (A5, B5, C5, D5) โดยน้ำหนัก ทำการปรับปรุงเส้นใยทั้งหมดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นร้อยละ 12 โดยอัตราส่วนเส้นใยต่อสารละลาย เท่ากับ 1 : 10 ต้มในระบบเปิดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-3 ชั่วโมง ขึ้นรูปโดยการอัด ส่วนผสมลงในแบบหล่อที่อุณหภูมิปกติ (30-35 องศาเซลเซียส) ใช้ความหนาแน่น 0.75 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร จากผลการทดสอบ พบว่า อัตราส่วน B4 เป็นอัตราส่วนเหมาะสม สามารถผ่านมาตรฐานมอก.878-2537 เรื่องแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ : ความหนาแน่นสูง และมีสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และความฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี โดยสารเร่งการก่อตัวของปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมที่สุด คือ แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$)

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แสดงให้เห็นความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยผักตบชวาและเส้นใยจากขวด PET มาใช้เป็นวัสดุดูดซับเสียง อย่างไรก็ตามการนำเส้นใยผักตบชวามาใช้เป็นวัสดุเชิงวิศวกรรมจะต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของเส้นใยก่อนนำมาใช้ ด้วยการสลายลิกนิน เพื่อให้เส้นใยมีความทนทานเพิ่มมากขึ้น และต้องนำไปพิจารณาประกอบกับคุณสมบัติเชิงวิศวกรรม ทั้งในส่วนของค่าความหนาแน่น ค่าการดูดซึมน้ำ ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด และผลการทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันเสียง

2.2 การออกแบบส่วนผสม

ทำการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของส่วนผสมและเส้นใยในการผลิตแผ่นผนังดูดซับเสียง โดยทำการเพิ่มส่วนผสมเส้นใยผักตบชวา และเส้นใยขวด PET โดยกำหนดอัตราส่วน ปูนซีเมนต์ ผงหินปูน ทราย และน้ำคงที่ ที่สัดส่วน 0.5 : 0.5 : 1 : 0.5 โดยน้ำหนัก และมีการเพิ่มอัตราส่วนของเส้นใยผักตบชวา เส้นใยขวด PET และเส้นใยผักตบชวาและเส้นใยขวด PET โดยกำหนดปริมาณของเส้นใยผักตบชวา 2 ค่า คือ 0.020 และ 0.040 โดยน้ำหนัก ปริมาณของเส้นใยขวด PET 2 ค่า คือ 0.020 และ 0.040 โดยน้ำหนัก และปริมาณเส้นใยผักตบชวาและเส้นใยขวด PET 2 ค่า คือ 0.020 และ 0.040 โดยน้ำหนัก โดยเพิ่มส่วนผสมต่าง ๆ ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพเส้นใยในการดูดซับเสียง

ตารางที่ 4 อัตราส่วนผสมแผ่นผนัง

สูตร	ปูนซีเมนต์ O	ผงหินปูน P	ทราย	น้ำ	เส้นใยผักตบชวา W	เส้นใย PET PF
O	0.5	0.5	1	0.5	0	0
OW.1	0.5	0.5	1	0.5	0.020	0
OW.2	0.5	0.5	1	0.5	0.040	0
OPF.1	0.5	0.5	1	0.5	0	0.020
OPF.2	0.5	0.5	1	0.5	0	0.040
OW.1PF.1	0.5	0.5	1	0.5	0.020	0.020
OW.1PF.2	0.5	0.5	1	0.5	0.020	0.040
OW.2PF.1	0.5	0.5	1	0.5	0.040	0.020

2.2.1 การเตรียมเส้นใย

เตรียมเส้นใยขวดพลาสติกหรือขวด PET มาล้างทำความสะอาด และทำการมาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ประมาณ 2 เซนติเมตร เพื่อนำเป็นวัสดุผสมในแผ่นผนัง ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยขวด PET

สำหรับการเตรียมเส้นใยผักตบชวา เลือกผักตบชวาในส่วนของลำต้นตัดใบและรากทิ้ง เพราะส่วนของลำต้นจะมีปริมาณเส้นใยอยู่มากที่สุด ทำความสะอาดแล้วนำมาผ่าครึ่งตามแนวแกนนำไปตากแดดให้แห้ง ดังแสดงในภาพที่ 2



(ก) การเลือกส่วนลำต้นของผักตบชวา



(ข) การนำผักตบชวาทากแห้ง

ภาพที่ 2 ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยผักตบชวา

ในการปรับปรุงเส้นใยผักตบชวา ใช้กระบวนการทางเคมี โดยเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 5% w/v ดังแสดงในภาพที่3 (ข) มาทำการแช่ผักตบชวาเพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพของเส้นใย เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการล้างสารละลายให้สะอาดดังแสดงในภาพที่3 (ค) และทำการอบผักตบชวา ที่อุณหภูมิ 60 องศา เป็นเวลา 24 ชั่วโมงดังแสดงในภาพที่3 (ง) ทำการปั่นเตรียมเส้นใย เพื่อเตรียมใช้เป็นส่วนผสมในลำดับต่อไป ดังแสดงในภาพที่3 (ฉ)



(ก) ตัดผักตบชวาทากแห้งให้มีความยาว 1-2 ซม.



(ข) นำผักตบชวาแช่สารละลาย (NaOH) 5% w/v



(ค) ล้างผักตบชวาด้วยน้ำให้สะอาด



(ง) อบผักตบชวาที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



(จ) ชั่งน้ำหนักผักตบชวาที่ผ่านการปรับปรุง



(ฉ) ปั่นเส้นใยผักตบเตรียมผสม

ภาพที่ 3 ขั้นตอนการปรับปรุงเส้นใยผักตบชวา

2.2.2 การขึ้นรูปแผ่นป้องกันเสียง

ในส่วนของแผ่นผนัง เตรียมแบบหล่อแผ่นผนัง ขนาดความยาว 30 เซนติเมตร กว้าง 30 เซนติเมตร ลึก 1 เซนติเมตร ทำการชั่งส่วนผสม และผสมส่วนให้เข้ากัน ก่อนนำแผ่นตัวอย่างที่ได้มาบ่มในน้ำ และนำมาทดสอบความหนาแน่น และทดสอบการดูดซับเสียง หลังจากอายุตัวอย่างครบ 28 วัน ในลำดับต่อไป ทั้งนี้แผ่นผนังที่เสร็จเรียบร้อยแล้วไปทดสอบมาตรฐาน ASTM C20 มาตรฐาน ASTM C109 และ มาตรฐาน ASTM C642 เพื่อนำไปศึกษาสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่นของวัสดุ ความสามารถในการดูดซึมน้ำ และการรับกำลังแรงอัด ดังแสดงในภาพที่ 4



(ก) เตรียมแบบหล่อขนาด 30x30x1.0 ซม.



(ข) การเตรียมส่วนผสมแผ่นผนัง



(ค) การเตรียมส่วนผสมแผ่นผนัง



(ง) ขั้นตอนบ่มตัวอย่างแผ่นผนัง

ภาพที่ 4 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างแผ่นผนัง

2.2.2 การขึ้นรูปตัวอย่างทดสอบกำลังอัด

เตรียมแบบหล่อลูกบาศก์ ขนาดความยาว 5 เซนติเมตร กว้าง 5 เซนติเมตร ลึก 5 เซนติเมตร สำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัด ตามมาตรฐาน ASTM C109 ดังแสดงในภาพที่ 5



(ก) เตรียมแบบหล่อขนาด 5x5x5 ซม.



(ข) การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบกำลังอัด

ภาพที่ 5 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างทดสอบกำลังอัด

2.3 การทดสอบคุณสมบัติแผ่นป้องกันเสียง

2.3.1 การทดสอบความหนาแน่น

การหาความหนาแน่นของแผ่นผนังดูดซับเสียงจากเส้นใยขวด PET และเส้นใยผักตบชวาตามมาตรฐาน ASTM C20 โดยการนำแผ่นผนังมาชั่งน้ำหนัก และทำการวัดขนาดของแผ่นผนังจากนั้นคำนวณหาค่าความหนาแน่น ดังนี้

$$p = m/v$$

โดยที่ p คือ ความหนาแน่นของชิ้นงานทดสอบ หน่วยเป็น g/cm^3

m คือ น้ำหนักของชิ้นงาน หน่วยเป็น g

v คือ ปริมาตรของชิ้นงาน หน่วยเป็น cm^3

2.3.2 การทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ

การทดสอบการดูดซึมน้ำแผ่นผนังดูดซับเสียงจากเส้นใยขวด PET และเส้นใยผักตบชวาตามมาตรฐาน ASTM C642 โดยมีวิธีการทดสอบ ดังนี้

1. เตรียมแผ่นทดสอบ ขนาด 30x30x1 เซนติเมตร ในการทดสอบ



ภาพที่ 6 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างทดสอบการดูดซึมน้ำ

2. นำแผ่นทดสอบมาแช่น้ำเป็นเวลา 1 3 5 10 15 20 25 30 35 40 และ 45 นาทีหรือจนกว่าน้ำหนักของแผ่นทดสอบจะคงที่ โดยครั้งแรกจะแช่น้ำที่ระยะเวลา 1 นาที จากนั้นนำแผ่นทดสอบขึ้นมาแล้วซับน้ำบริเวณผิวรอบนอกให้แห้งหมด แล้วนำไปชั่งน้ำหนักและจดบันทึกค่าที่ได้ จากนั้นนำแผ่นทดสอบไปแช่น้ำต่อ เป็นระยะเวลาที่ 2 นาที แล้วนำขึ้นมาซับน้ำหมาด ๆ แล้วนำไปชั่งน้ำหนักและจดบันทึกค่าที่ได้ทำแบบนี้ไปเรื่อย ๆ จนครบ 45 นาที หรือจนกว่าน้ำหนักของผักตบชวาจะคงที่ (ทำซ้ำทั้งหมด 2 รอบ) ดังแสดงในภาพที่ 6

2.3.3 การทดสอบกำลังรับแรงอัด

การทดสอบการรับกำลังแรงอัดแผ่นผนังดูดซับเสียงจากเส้นใยขวด PET และเส้นใยผักตบชวาตามมาตรฐาน ASTM C109 โดยมีวิธีการทดสอบ ดังนี้

1. เตรียมตัวอย่างทดสอบลูกบาศก์ แบบลูกบาศก์ขนาด 5x5x5 เซนติเมตร ที่มีอายุการบ่มในอากาศ 14 และ 28 วัน
2. นำชิ้นทดสอบลูกบาศก์ไปชั่งน้ำหนัก และวัดความกว้าง ความยาว ความสูง และจดบันทึก ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างทดสอบกำลังอัด

2.3.4 การทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันเสียง

ทำการทดสอบการดูดซับเสียงแผ่นผนังดูดซับเสียงจากเส้นใยขวด PET และเส้นใยผักตบชวา โดยสร้างกล่องจำลองสำหรับทดสอบเสียง และวิธีการทดสอบ [6] ซึ่งมีวิธีการทดสอบ ดังนี้

1. นำแผ่นผนังที่ใช้ทดสอบขนาด 30x30x1 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่นมาวางไว้ข้างในกล่องจำลองทดสอบเสียง จากนั้นนำดินน้ำมันมาปิดรูด้านข้างทั้งหมด เพื่อไม่ให้เสียงสามารถผ่านช่องว่างได้ดังแสดงในภาพที่ 8 (ก)
2. นำเครื่องวัดค่าดูดซับเสียง (Sound level meter) ติดตั้งติดตั้งด้านหลังกล่องจำลองทดสอบเสียงให้เรียบร้อย
3. ติดตั้งแหล่งกำเนิดเสียงด้านหน้าของกล่องทดสอบการดูดซับเสียง สำหรับปล่อยความถี่เสียงในระดับต่าง ๆ โดยใช้แอปพลิเคชัน Frequency Generator
4. เปิดเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่และเครื่องวัดค่าการดูดซับเสียงพร้อมกัน พร้อมทั้งปรับค่าความถี่ 150 250 500 1000 และ 2000 Hz ตามลำดับ โดยใช้เวลาในการปล่อยความเป็นเวลา 30 วินาที (ทำซ้ำในการปล่อยแต่ละความถี่ทั้งหมด 3 ครั้ง)
5. นำค่าการดูดซับเสียงของแผ่นผนังที่ได้มาเปรียบเทียบกับแผ่นผนังที่ผ่านการปล่อยความถี่ ต่าง ๆ เสียงที่แผ่นผนังสามารถดูดซับเสียงไว้ได้ และเสียงที่ผ่านแผ่นผนังที่เครื่องวัดค่าการดูดซับเสียงวัดได้มาเปรียบเทียบกับค่าเพื่อวิเคราะห์ค่าการดูดซับเสียงของแผ่นผนังในแต่ละอัตราส่วน ดังแสดงในภาพที่ 8 (ข)



(ก) ปิดรูด้านข้างกล่องจำลองทดสอบเสียงด้วยดินน้ำมัน



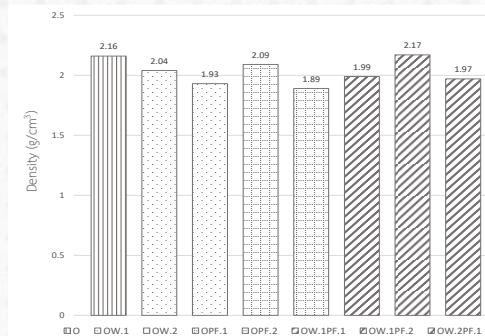
(ข) ติดตั้งเครื่องวัดค่าดูดซับเสียง (Sound level meter)

ภาพที่ 8 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างทดสอบการดูดซับเสียง

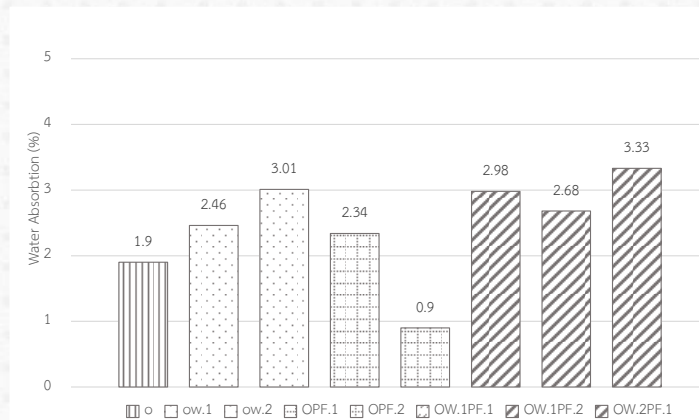
3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ผลการทดสอบความหนาแน่น

ความหนาแน่นของแผ่นผนังดูดซับเสียงจากเส้นใยขวด PET และเส้นใยผักตบชวา ทั้ง 8 สูตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังภาพที่ 9 จากผลการทดสอบความหนาแน่นของแผ่นผนังดูดซับเสียงจากเส้นใยขวด PET และเส้นใยผักตบชวา แผ่นผนังดูดซับเสียง ที่อัตราส่วน OPF.2 มีค่าความหนาแน่นต่ำที่สุด เท่ากับ 1.89 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของแผ่นผนังดูดซับเสียง ปริมาณเส้นใยขวด PET และเส้นใยผักตบชวา ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยขวด PET และเส้นใยผักตบชวามากขึ้น ส่งผลให้แผ่นผนังดูดซับเสียงมีแนวโน้มค่าความหนาแน่นลดลง [7]



ภาพที่ 9 ผลการหาความหนาแน่นของแผ่นผนังดูดซับเสียงจากเส้นใยขวด PET และเส้นใยผักตบชวาที่อายุการบ่ม 28 วัน



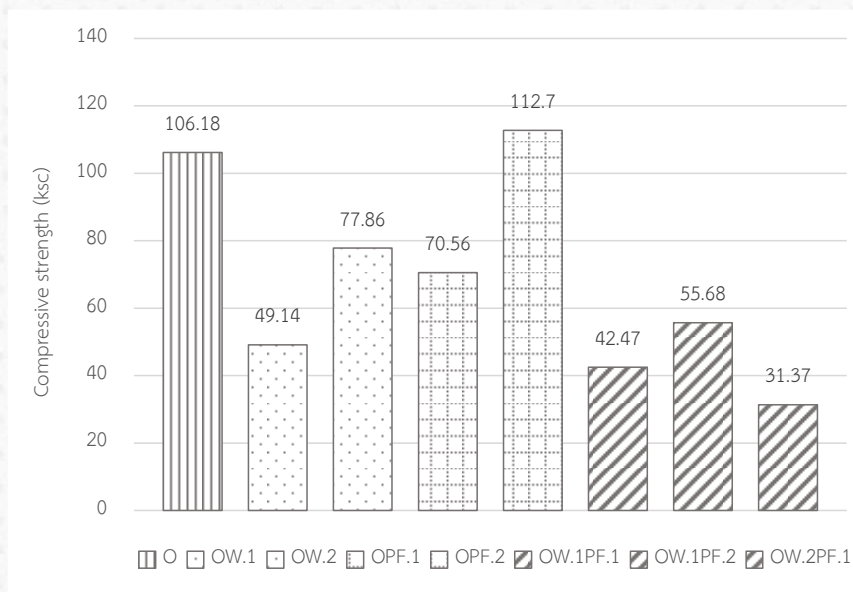
ภาพที่ 10 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของแผ่นผนังดูดซับเสียงจากเส้นใยขวด PET และเส้นใยผักตบชวาที่อายุการบ่ม 28 วัน

3.2 ผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ

จากการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นผนังดูดซับเสียงจากเส้นใยขวด PET และเส้นใยผักตบชวา ทั้ง 8 สูตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังภาพที่ 10 ซึ่งจากผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของแผ่นผนังดูดซับเสียง พบว่าที่อัตราส่วน OW.2PF.1 มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำสูงที่สุด ที่ร้อยละ 3.33 เนื่องจากการใช้ปริมาณของเส้นใยผักตบชวาที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้เมื่อผสมลงในแผ่นผนังดูดซับเสียงและนำมาแช่น้ำ เส้นใยผักตบชวาที่แทรกอยู่ในเนื้อของแผ่นผนังดูดซับเสียงจึงทำให้น้ำสามารถซึมเข้าภายในแผ่นผนังดูดซับเสียงได้มากขึ้น [7]

3.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด

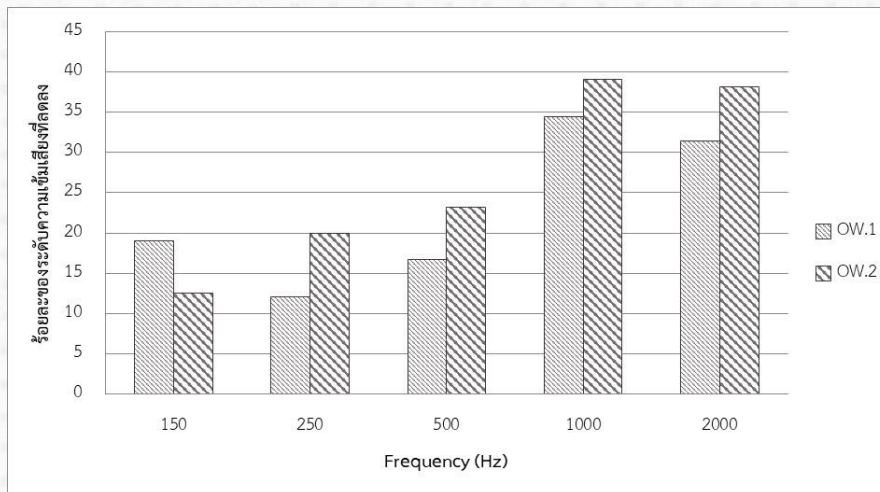
การรับกำลังแรงอัดของแผ่นผนังดูดซับเสียงจากเส้นใยขวด PET และเส้นใยผักตบชวา ทั้ง 8 สูตร ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังภาพที่ 11 จากผลการทดสอบการรับกำลังแรงอัดของแผ่นผนังดูดซับเสียง พบว่าที่อัตราส่วน OPF.2 มีค่าเฉลี่ยการรับกำลังแรงอัดสูงที่สุด เท่ากับ 112.7 กก/ซม² จากผลการทดสอบสรุปได้ว่า ปริมาณของเส้นใยผักตบชวาที่มากขึ้น มีผลทำให้ความต้านทานการรับกำลังแรงอัดลดลง ทั้งนี้ เป็นผลมาจากลักษณะของเส้นใยผักตบชวามีความเป็นรูพรุนของเส้นใยค่อนข้างมาก เมื่อผสมลงในแผ่นผนังดูดซับเสียงจึงทำให้พื้นที่การรับกำลังแรงอัดของแผ่นผนังดูดซับเสียงลดลง [3]



ภาพที่ 11 ผลการทดสอบการรับกำลังแรงอัดของแผ่นผนังดูดซับเสียงจากเส้นใยขวด PET และเส้นใยผักตบชวาที่อายุการบ่ม 28 วัน

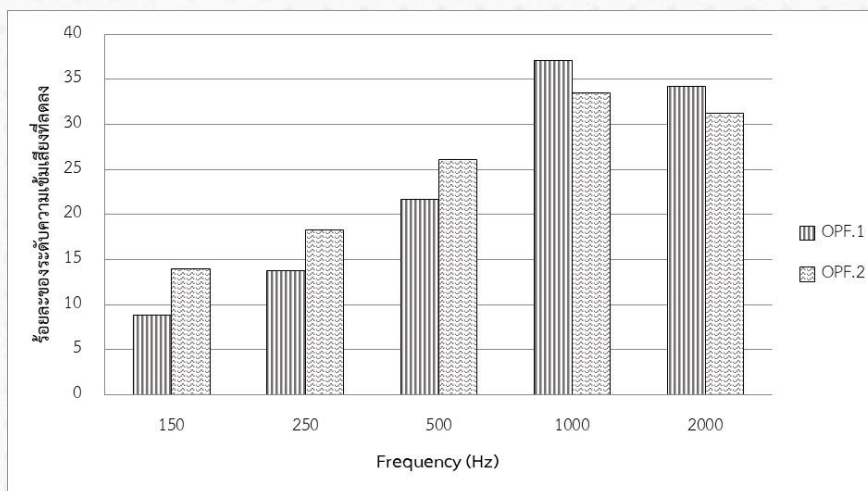
3.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันเสียง

จากการศึกษาประสิทธิภาพเส้นใยผักตบชวาต่อการใช้เป็นวัสดุดูดซับเสียง ผลจากการศึกษาพบว่า การเพิ่มปริมาณของเส้นใยผักตบชวาในส่วนผสม ส่งผลให้ความดังของเสียงที่ผ่านแผ่นผนังมีค่าลดลง จากกราฟความสัมพันธ์ค่าความถี่เสียงระดับต่าง ๆ และค่าความเข้มเสียง dBA ของการทดสอบแผ่นผนังผสมเส้นใยผักตบชวาที่สัดส่วนต่าง ๆ ที่อายุการบ่ม 28 วัน ในภาพที่ 12 พบว่าแผ่นผนังที่ผสมเส้นใยผักตบชวาในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความดังของเสียงที่ผ่านแผ่นผนัง (transmission loss ; TL) มีค่าลดลง ดังนั้น แผ่นผนังผสมเส้นใยผักตบชวาที่มีความเหมาะสมในการดูดซับเสียง คือ OW.2 ที่ช่วงระดับความถี่ของเสียงที่ 1000-2000 Hz โดยมีค่าระดับความเข้มของเสียงที่ลดลงที่ร้อยละ 38 เมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งต้นกำเนิดเสียง



ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ค่าความถี่เสียงระดับต่าง ๆ และค่าร้อยละความเข้มเสียง dBA ที่ลดลงของการทดสอบแผ่นผนังผสมเส้นใยผักตบชวาที่สัดส่วนต่าง ๆ ที่อายุการบ่ม 28 วัน

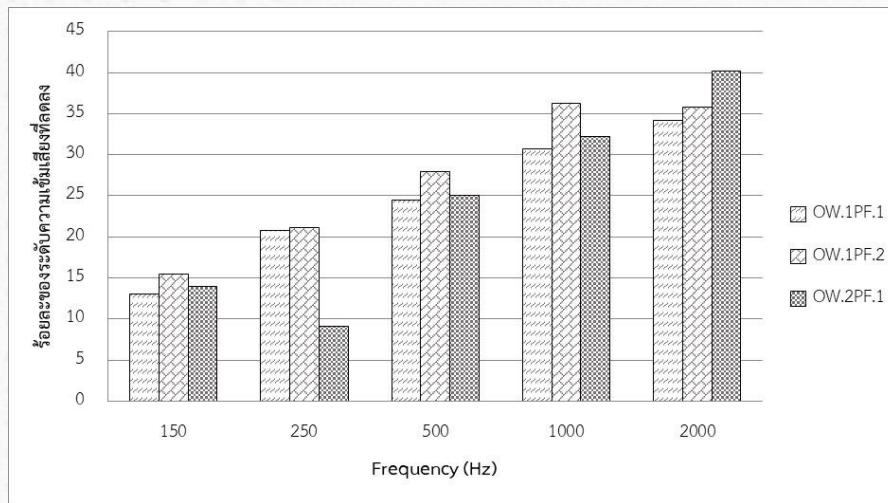
ในขณะที่เมื่อศึกษาประสิทธิภาพของเส้นใยชวด PET ในด้านประสิทธิภาพการซับเสียง พบว่าเส้นใยชวด PET สามารถช่วยให้ความดังของเสียงที่ผ่านแผ่นผนังมีค่าลดลงเช่นกัน ตามปริมาณการเพิ่มของปริมาณของเส้นใย โดยที่ช่วงระดับความถี่ของเสียงที่ 1000-2000 Hz โดยมีค่าระดับความเข้มของเสียงที่ลดลงที่ร้อยละ 37 เมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งต้นกำเนิดเสียง ดังแสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 กราฟความสัมพันธ์ค่าความถี่เสียงระดับต่าง ๆ และค่าร้อยละความเข้มเสียง dBA ที่ลดลงของการทดสอบแผ่นผนังผสมเส้นใยชวด PET ที่สัดส่วนต่าง ๆ ที่อายุการบ่ม 28 วัน

จากกราฟความสัมพันธ์ค่าความถี่เสียงระดับต่าง ๆ และค่าความเข้มเสียง dBA ของการทดสอบแผ่นผนังผสมเส้นใยผักตบชวาและเส้นใย PET ที่สัดส่วนต่าง ๆ ที่อายุการบ่ม 28 วัน ในภาพที่ 14 พบว่า ระดับเสียงที่ผ่านจากกล่องจำลอง ซึ่งภายในมีการติดตั้งแหล่งกำเนิดเสียงที่ความถี่ต่าง ๆ ไว้ โดยมีแผ่นผนังทั่วไป แผ่นผนังผสมเส้นใยชวด PET ทำหน้าที่เป็นฉนวนในการดูดซับเสียงได้ดี โดยที่สัดส่วน OW.1PF.2 เป็นสัดส่วนระหว่างเส้นใยผักตบชวาและชวดพลาสติก PET ที่ให้ประสิทธิภาพการดูดซับเสียงที่ดีที่สุด โดยที่ช่วงระดับความถี่ของเสียงที่ 1000-2000 Hz โดยมีค่าระดับความเข้มของเสียงที่ลดลงที่ร้อยละ 35 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย [3] พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยธรรมชาติมากขึ้น ส่งผลให้แผ่นชิ้นงานมีประสิทธิภาพการลด

ระดับความดังเสียงของวัสดุได้ดี แต่อย่างไรก็ตาม การเพิ่มปริมาณเส้นใยขวด PET ในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซับเสียงและความแข็งแรงของวัสดุลดลง



ภาพที่ 14 กราฟความสัมพันธ์ค่าความถี่เสียงระดับต่าง ๆ และค่าร้อยละความเข้มเสียง dBA ที่ลดลงของการทดสอบแผ่นผนังผสมเส้นใยขวด PET ที่สัดส่วนต่าง ๆ ที่อายุการบ่ม 28 วัน

4. บทสรุป

จากการพัฒนาแผ่นผนังดูดซับเสียงจากเส้นใยขวด PET และเส้นใยผักตบชวา สามารถสรุปผลได้ ดังนี้

1. ประสิทธิภาพการดูดซับเสียงของแผ่นผนังดูดซับเสียงจากเส้นใยขวด PET และเส้นใยผักตบชวา จากการทดสอบพบว่า เส้นใยผักตบชวาและเส้นใยขวด PET ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพการดูดซับเสียงได้ดีที่สุดในช่วงความถี่ 1,000-2,000 Hz. ซึ่งจากการทดสอบพบว่า แผ่นผนังดูดซับเสียงที่ผสมเส้นใยขวด PET และเส้นใยผักตบชวา ที่อัตราส่วน OW.1PF.2 สามารถดูดซับเสียงได้ดีที่สุดใน 5 อันดับต้นๆ ของช่วงความถี่เสียง 1,000 2,000 500 และ 250 Hz. ตามลำดับ

2. ด้านคุณสมบัติทางวิศวกรรม พบว่าความหนาแน่นของแผ่นผนังดูดซับเสียงจากเส้นใยขวด PET และเส้นใยผักตบชวา พบว่า แผ่นผนังดูดซับเสียงที่ผสมเส้นใยขวด PET และเส้นใยผักตบชวา อัตราส่วน OW.1PF.2 มีค่าความหนาแน่นสูงสุด เท่ากับ 2.17 กรัม/ซม³ แผ่นผนังดูดซับเสียงที่ผสมเส้นใยขวด PET อัตราส่วน OPF.2 มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด ที่ร้อยละ 0.90 และแผ่นผนังดูดซับเสียงที่ผสมเส้นใยขวด PET อัตราส่วน OPF.2 มีค่าการรับกำลังแรงอัดได้ดีที่สุด เท่ากับ 112.7 กิโลกรัม/ซม² แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเส้นใยขวด PET ที่ช่วยเสริมประสิทธิภาพในการรับแรงและลดค่าการดูดซึมน้ำ การเพิ่มปริมาณเส้นใยผักตบชวามีผลต่อความหนาแน่นและค่ากำลังอัดของแผ่นผนังดูดซับเสียง

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณการสนับสนุนงบประมาณการทำวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ขอขอบคุณศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ รวมถึงคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ในการอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ และขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาสำหรับความร่วมมือในการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลทางเทคนิค

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Zhang J, Shen Y, Jiang B, Li Y. (2018). Sound Absorption Characterization of Natural Materials and Sandwich Structure Composites. Aerospace. 5(3): 75. <https://doi.org/10.3390/aerospace5030075>.

- [2] อมรรัตน์ สีสุกอง และคณะ. (2551). การสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากวัชพืชท้องถิ่น ในจังหวัดนนทบุรี. กรุงเทพมหานคร : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต.
- [3] ภูษิต เลิศวัฒน์รักษ์ และกนกวรรณ มะสุวรรณ. (2558). การศึกษาสมบัติในการกันเสียงของแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติ. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร., 38(1), 71-86.
- [4] ประสงค์ ชุ่มใจหาญ และคณะ. (2561). การศึกษาสมบัติในการสะท้อนกลับและความแข็งแรงของผนังดูดซับเสียงจากชีววัสดุ. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 19, 449-454.
- [5] ตฤณ ดิษฐล้ำภู และกิตติพงษ์ สุวีโร. (2560). การใช้เส้นใยผักตบชวาในแผ่นใยไม้อัดซีเมนต์ภายนอกอาคาร สำหรับวิสาหกิจชุมชน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- [6] กิตติพงษ์ สุวีโร และประชุม คำพุ่ม. (2562). การพัฒนาผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นผสมเศษขวดพลาสติกสีประเภทพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตที่เหลือทิ้งจากการบริโภค. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี 18, 81-89.
- [7] Abdullah Keyvan and Sasan Somi. (2014). Humidity Intrusion Effects on the Properties of Sound Acoustic of Autoclaved Aerated Concrete. International Journal of Research in Engineering and Technology. 3(2), 6-11.

การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ยาสีฟันสมุนไพรต้นแบบจากไฮโดรโซลไพลู Formulation of Herbal Toothpaste Prototype from Piper Betle Hydrosol

วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ^{1*} ธัญญา อำนวนวัฒน์กุล¹ จินตพัฒน์ นทีวัฒนา¹ และ สิริรัตน์ พานิช¹

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีสุขภาพ เครื่องสำอางและการชะลอวัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

*E-mail: woravith.c@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางเภสัชวิทยาและชีวภาพของไฮโดรโซลไพลูเพื่อนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ยาสีฟันสำหรับลดการอักเสบเหงือก สารละลายไฮโดรโซลไพลูเตรียมโดยกระบวนการกลั่นด้วยระบบไอน้ำด้วยเครื่องอะลิบิก การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบกลุ่มฟีนอลิกด้วยเทคนิค LC-MS โดยพบสารประกอบกลุ่มฟีนอลิกยูจโนลและเอสตราโกล เท่ากับ 0.74 ± 0.01 และ 16.53 ± 0.37 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในยาสีฟันไฮโดรโซลไพลูเท่ากับ 21.77 ± 0.34 มิลลิกรัมแอสคอร์บิก/กรัมน้ำหนัก สารประกอบฟีนอลิกรวมและฟลาโวนอยด์รวมทดสอบด้วยวิธี Folin-Ciocaltue assay เท่ากับ 45.91 ± 0.51 มิลลิกรัมแกลลิก/กรัมน้ำหนัก การวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุในสารละลายไฮโดรโซลไพลูโดยเทคนิค ICP-OES พบว่าปริมาณแร่ธาตุแคลเซียม 0.170 ± 0.01 mg/L แมกนีเซียม 0.198 ± 0.01 mg/L โพแทสเซียม 0.043 ± 0.00 mg/L และโซเดียม 0.200 ± 0.00 mg/L การทดสอบฤทธิ์การต้านการอักเสบด้วยวิธี BSA denaturation assay โดยการใส่สารละลายโบวีนซีรัมอัลบูมิน (BSA) พบว่ายาสีฟันเข้มข้น 1.0 g/10 mL มี %anti-denature activity เท่ากับ 36.94 ± 9.18 และการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point hedonic scale มีผู้ทดสอบจำนวน 15 คน โดยคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ยาสีฟันไฮโดรโซลไพลูใช้เกณฑ์การประเมินการยอมรับและความชอบโดยรวม พบว่าความชอบโดยรวมมีระดับไม่ชอบเล็กน้อยถึงไม่ชอบปานกลาง

คำสำคัญ: ยาสีฟันสมุนไพร, พลู, ไฮโดรโซลไพลู, ฤทธิ์ต้านอักเสบ

Abstract

This study was aimed to evaluate the pharmacology and bioactive potential of hydrosol water from piper betle (Plu) for applying as raw material for the toothpaste product for anti-inflammatory of gum. Betle hydrosol was produced by the steam distillation method using alimbic equipment. Phenolic compounds investigated by using LC-MS were found to only contain eugenol and estragole to be 0.74 ± 0.01 and 16.53 ± 0.37 mg/g, respectively. The DPPH assay was applied to evaluating antioxidant of the toothpaste. The %DPPH scavenging was found at 21.77 ± 0.34 mg ascorbic acid/gram. Total phenolic content tested by Folin-Ciocalteu's reagent method using gallic acid as standard was found at 45.91 ± 0.51

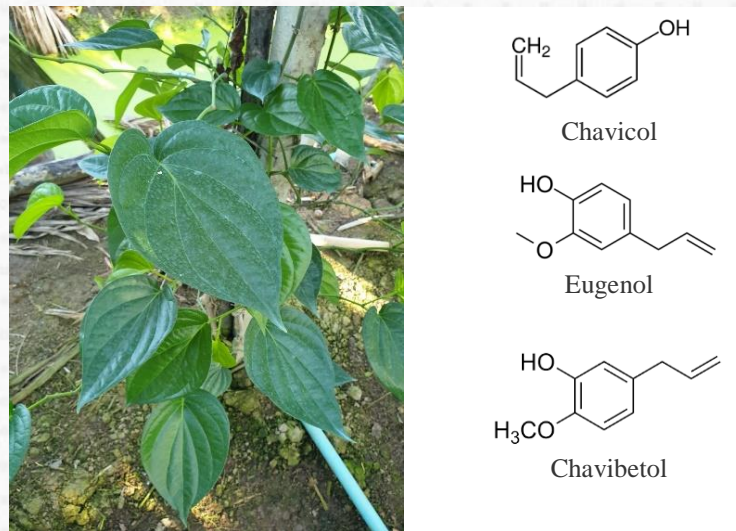
mg GAE/gram. To determine mineral elements using ICP-OES, the content of Ca, Mg, K, and Na was 0.170 ± 0.01 mg/L, 0.198 ± 0.01 mg/L, 0.043 ± 0.00 mg/L and 0.200 ± 0.00 mg/L, respectively. Based on BSA denaturation assay, anti-inflammatory of betle hydrosol toothpaste was also evaluated using bovine serum albumin method. Anti-denature activity was 36.94% at 1.0 g/10 mL of toothpaste. A sensory quality evaluation was performed by 15 samples using a 9-point hedonic scale for the acceptance and preference tests of the characteristics of betle hydrosol toothpaste. The preference test showed the level of dislike slightly to dislike moderately.

Keywords: Herbal Toothpaste, Piper Betle Hydrosol, Anti-Inflammatory

บทนำ

ไฮโดรโซล (hydrosol) หรือ น้ำสกัดน้ำมันหอมระเหย คือน้ำหอมหรือน้ำดอกไม้ที่เกิดจากกระบวนการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสกัดดอกไม้ ในกระบวนการสกัดน้ำมันหอมระเหยจะใช้วิธีการสกัดหรือการกลั่นด้วยไอน้ำ (steam distillation) โดยปกติการสกัดจะได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นสองส่วน คือส่วนที่ไม่ละลายน้ำ (น้ำมันหอมระเหย) จะลอยอยู่ชั้นบนสุด (ในกรณีที่มีน้ำมันเบาหรือน้ำ) และสารสกัดชั้นน้ำ (ไฮโดรโซล) จะอยู่ชั้นล่าง โดยชั้นน้ำนี้จะเรียกว่า น้ำสกัดกลั่นดอกไม้ (floral water) เนื่องจากเป็นวิธีที่นิยมนำมาสกัดดอกไม้เพื่อนำสารสกัดดังกล่าวไปใช้เป็นส่วนผสมของเครื่องสำอาง [1] กระบวนการสกัดโดยการกลั่นด้วยไอน้ำเป็นวิธีการสกัดสารออกจากของผสมโดยใช้ไอน้ำเป็นตัวทำละลายสำหรับแยกสารที่ระเหยง่าย ไม่ละลายน้ำ และไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำ ออกจากสารที่ระเหยยาก การสกัดโดยการกลั่นด้วยไอน้ำนอกจากใช้สกัดสารระเหยง่ายออกจากสารระเหยยากแล้วยังสามารถใช้แยกสารที่มีจุดเดือดสูงและสลายตัวที่จุดเดือดของมันได้อีก เนื่องจากการกลั่นโดยวิธีนี้ความดันไอเป็นความดันไอของไอน้ำรวมกับความดันไอของของเหลวที่ต้องการแยก จึงทำให้ความดันไอน้ำต่ำกว่าความดันของบรรยากาศก่อนที่อุณหภูมิจะถึงจุดเดือดของของเหลวที่ต้องการแยกของผสมจึงกลั่นออกมาที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของของเหลวที่ต้องการแยก [2] ตัวอย่างการแยกน้ำมันหอมระเหยออกจากส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น การแยกน้ำมันยูคาลิปตัสจากใบยูคาลิปตัส การแยกน้ำมันมะกรูดออกจากผิวมะกรูด การแยกน้ำมันพลูจากใบพลู เป็นต้น ในการกลั่นไอน้ำจะไปทำให้น้ำมันหอมระเหยกลายเป็นไอแยกออกมาพร้อมกับไอน้ำ เมื่อทำให้ไอของของผสมควบแน่นโดยผ่านเครื่องควบแน่นจะได้น้ำและน้ำมันหอมระเหยปนกัน แต่แยกชั้นกันอยู่ ทำให้สามารถแยกเอาน้ำมันหอมระเหยออกจากน้ำได้ง่าย ส่วนชั้นน้ำที่ได้เรียกว่า ไฮโดรโซล

พลู (Betle Piper) เป็นพืชสมุนไพรที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Piper betle Linn. อยู่ในวงศ์เดียวกับพริกไทย Piperaceae มีถิ่นกำเนิดและแหล่งที่ปลูกในเขตร้อนชื้น ปัจจุบันมีการค้นพบสายพันธุ์ของพลูทั่วโลกหลายสายพันธุ์ โดยในประเทศไทยสามารถพบการปลูกพลูได้ทั่วประเทศ พลูเป็นไม้เลื้อย ที่ข้อมีรากสั้น ๆ ออกรอบข้อใช้เกาะติดไม้ใหญ่ มีเนื้อไม้ขนาดเล็กจึงไม่จัดเป็นไม้ยืนต้น มีชื่อและปล้องชัดเจน ใบเดี่ยวติดกับลำต้น ใบเรียงตัวแบบสลับ ลักษณะของใบแหลมคล้ายใบโพ ผิวใบมัน (ภาพที่ 1) ดอกออกรวมกันเป็นช่อแน่น ปลูกโดยใช้ลำต้นปักชำ ขึ้นง่าย เป็นพืชพื้นเมืองของภูมิภาคเอเชียใต้จนถึงเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ [3] น้ำมันหอมระเหยใบพลูประกอบด้วยสารสำคัญหลายชนิด เช่น ชาวิคอล (Chavicol) ชาวิบีทอล (Chavibetol) ยูจีนอล (Eugenol) เอสตราโกลเมทิลยูจีนอล (Estragole methyleuganol) และไฮดรอกซีแคททิคอล (Hydroxycatechol) สารกลุ่มโมโนเทอร์ปีนส์ (Monoterpenes) คือสารเป็นพวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (C-10) และเซสควิเทอร์ปีนส์ (Sesquiterpenes, C-15) นอกจากนี้ยังมีสารอื่นๆ อีก เช่น เบตาแคโรทีน (β -Carotene) เบตาซิโตสเตอรอล (β -Sitosterol) สติกมาสเตอร์อล Stigmasterol และในส่วนต่าง ๆ ของพลูสตัยพบสารฟลูออไรด์ และสารอื่นๆ [4-5]



ภาพที่ 1 ลักษณะลำต้นเถาพลู และโครงสร้างเคมีของสารสำคัญในใบพลู (ภาพโดย วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ, 2563)

ไฮโดรโซลจากใบพลู เป็นผลิตภัณฑ์พลายทาง (by-product) ของการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากใบพลูที่เกิดจากกระบวนการกลั่นโดยใช้น้ำของการสกัดน้ำมันหอมระเหย ไฮโดรโซลใบพลูจะมีปริมาณมากกว่าผลผลิตหลักหลาย ๆ เท่า และไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์มากนักและส่วนใหญ่ถูกทิ้งกลายเป็นของเสีย ที่อาจเกิดผลกระทบต่อมลพิษทางสิ่งแวดล้อมได้ จากการทดลองเบื้องต้นระดับห้องปฏิบัติการพบว่าในไฮโดรโซลจากใบพลูมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และมีฤทธิ์ต้านอักเสบได้และที่สำคัญคือความต้องการของผู้ประกอบการมีจุดประสงค์เพื่อต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์ประเภทยาสมุนไพรโดยใช้ไฮโดรโซลใบพลูและวัตถุดิบที่เป็นสมุนไพรในท้องถิ่น งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดการวิจัยเพื่อศึกษาสมบัติทางเคมี และชีวภาพของไฮโดรโซลใบพลูเพื่อเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพและปริมาณ สำหรับการประยุกต์ใช้ไฮโดรโซลใบพลูเป็นวัตถุดิบในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ยาสมุนไพร และผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เพื่อยกระดับความสามารถในการแข่งขันของเครื่องสำอางสมุนไพรพื้นบ้านของประเทศไทย โดยนำองค์ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม มาต่อยอดจากฐานความรู้เพื่อลดปัญหาของเสียจากกระบวนการผลิต (zero waste) เพื่อรักษาความมั่นคงทางวัตถุดิบและสมดุลของสิ่งแวดล้อม และนำไปสู่พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร

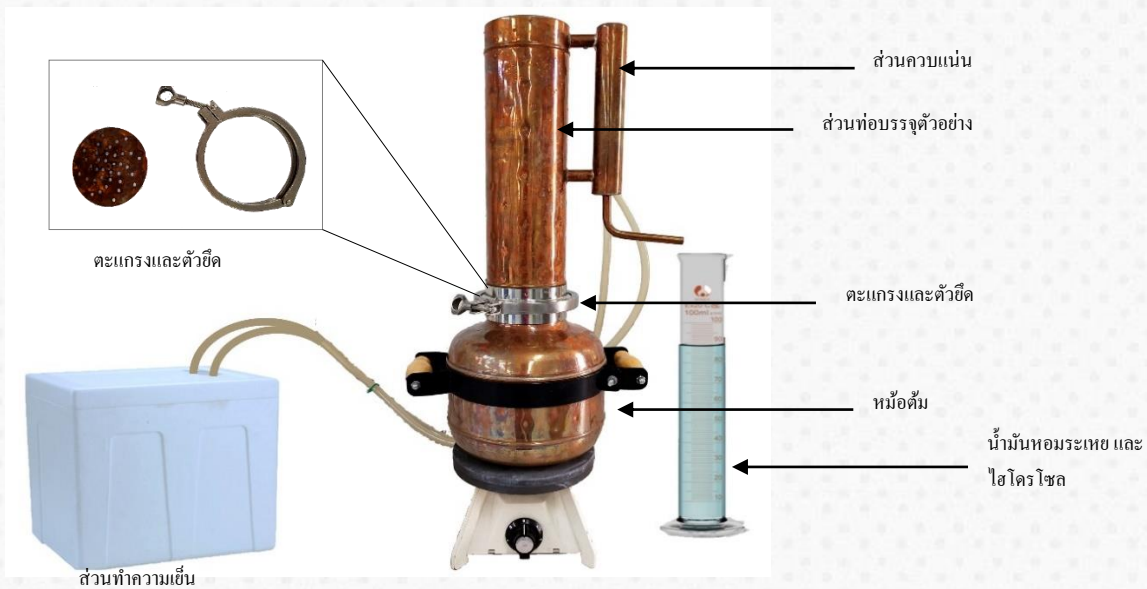
2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

2.1 การเตรียมวัตถุดิบและไฮโดรโซล

ใบพลูสดได้ทำการเก็บในพื้นที่ ต.ท่าไม้ อ.กระทุ่มแบน จ.สมุทรสาคร โดยได้รับตัวอย่างจากบริษัทผลิตภัณฑ์ใบพลูไทย จำกัด ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปาเพื่อกำจัดสิ่งเจือปน จากนั้นผึ่งให้แห้งในสภาวะอุณหภูมิห้อง (ภาพที่ 2) การเตรียมไฮโดรโซล โดยชั่งน้ำหนักใบพลู ประมาณ 500 g บรรจุใส่ในส่วนต่อบรรจุวัตถุดิบ เติมน้ำกลั่นในหม้อต้ม ประมาณ 3 ลิตร ประกอบเครื่องอะลิบิกเข้าด้วยกันและต่อกับถังโฟมความเย็นสำหรับหล่อเย็นในส่วนต่อควบแน่น (ภาพที่ 3) จากนั้นให้ความร้อนหม้อต้มโดยระดับความร้อนระดับกลาง ถ้าให้ความร้อนมากเกินไปจะทำให้ไอน้ำระเหยเร็วเกินไป ทำการเก็บสารละลายที่ได้จากการควบแน่นทั้งหมด โดยทำการแบ่งเก็บทุก ๆ 10 นาที เพื่อจะเป็นแนวทางในการศึกษาปัจจัยระยะเวลา กับพารามิเตอร์อื่น ๆ



ภาพที่ 2 ใบพลู (ภาพโดย สิริรัตน์ พานิช, 2564)



ภาพที่ 3 ส่วนประกอบเครื่องอะลิบิก (ภาพโดย วรวิทย์ จันทรสวรรณ, 2564)

2.2 การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu reagent (FCR method) อ้างอิงจากวิธีมาตรฐานของ ISO14502-1 (Determination of substances characteristic of green and black tea part 1: content of total polyphenols in tea-colorimetric method using Folin-Ciocalteu reagent) และดัดแปลงวิธีการสกัดจาก Singleton และคณะ [6] โดยปีเปตสารมาตรฐานกรดแกลลิก (ความเข้มข้น 100-700 $\mu\text{g/mL}$) ปริมาตร 1 mL ลงในขวดกำหนดปริมาตร 50 mL เติมน้ำกลั่น 35 mL เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu's phenol reagent ปริมาตร 2.5 mL ผสมและเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 8 นาทีที่อุณหภูมิห้อง เติมสารละลาย Na_2CO_3 20% ปริมาตร 7.5 mL ปรับปริมาตรสารละลายทั้งหมดเป็น 50 mL ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm ในการทดสอบสารสกัดเมล็ดลิ้นจี่พันธุ์คอมพิวเตอร์สงคราม ใช้สารตัวอย่างปริมาตร 1 mL ทำการทดลองเช่นกับขั้นตอนข้างต้น ซึ่งปริมาณ

สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดรายงานเป็น มิลลิกรัมเทียบเท่ากรดแกลลิกต่อน้ำหนัก 100 กรัมของตัวอย่างแห้ง (milligrams of gallic acid equivalents (GAE) per 100 grams ; mg GAE/100 g).

2.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay เป็นวิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งใช้ reagent คือ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) โดยอาศัยวิธีวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องเครื่องมือวิเคราะห์สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-1800U, Shimadzu, Japan) โดยดัดแปลงวิธีของ Brand-Williams และคณะ [7] ทำการเตรียมสารละลาย DPPH 0.004% ใหม่ทุกวัน โดยละลาย DPPH 10 mg ในเมทานอล 250 mL เติมสารละลายมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ (1-500 µg/mL) ปริมาตร 1 mL ลงในสารละลาย DPPH 3 mL เขย่าสารละลาย 15 วินาที ตั้งทิ้งไว้ 30 นาทีในที่มีมืดแล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 nm โดยใช้สารละลายผสมเมทานอล 1 mL กับ DPPH 3 mL เป็นสารละลายแบลนด์ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH รายงานเป็น % radical scavenging activity หรือ %inhibition และค่าความเข้มข้นของสารที่สามารถยับยั้งปฏิกิริยาไปครึ่งหนึ่ง (inhibitory concentration ; IC50) ของสารสกัดและสารมาตรฐานแอสคอร์บิกสามารถคำนวณได้กราฟที่เขียนระหว่าง %inhibition กับความเข้มข้น

2.4 ปริมาณแร่ธาตุ

การวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุในตัวอย่งสารละลายไฮโดรโซลไบพลูโดยวิธีอินดักทีฟพลาสมา อิมิสชันสเปกโทรโฟโตเมตรี (ICP-OES, iCAP7400 series, Thermo, USA) โดยใช้ตัวทำละลายเป็นสารละลาย HNO₃ 1% w/v โดยนำสารละลายไฮโดรโซลไบพลูวัดการเปล่งแสงเทียบกับสารละลายมาตรฐานภายใต้สภาวะที่เหมาะสมของการทำงานของเครื่องมือ

2.5 วิธีทดสอบฤทธิ์ต้านการอักเสบด้วยวิธี BSA denaturation assay

วิธีทดสอบฤทธิ์ต้านการอักเสบ (anti-inflammatory) ดัดแปลงจาก Bailey-Shaw และคณะ โดยเตรียมสารละลายโบวีนซีรัมอัลบูมิน (bovine serum albumin) เข้มข้น 0.4%, w/v ในสารละลายบัฟเฟอร์ (Tris buffered saline) ปรับ pH เป็น 6.4 ด้วยกรดแอสติกเข้มข้น เตรียมสารละลายของสารสกัดไบพลูและยาสีฟันในเมทานอล 0.005% w/v จากนั้นเปิดสารละลายมาตรฐานปริมาตร 5.0 µL, 10 µL และ 20 µL (มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.25 µg/mL, 0.50 µg/mL และ 1.00 µg/mL) ลงในหลอดทดลองที่มีสารละลาย bovine serum albumin ให้ความร้อนในอ่างความควบคุมอุณหภูมิที่ 72°C เป็นเวลา 10 นาที และทำให้เย็นเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นทำการวัดความขุ่นของโปรตีนที่ตกตะกอนที่ความยาวคลื่น 660 nm [8]

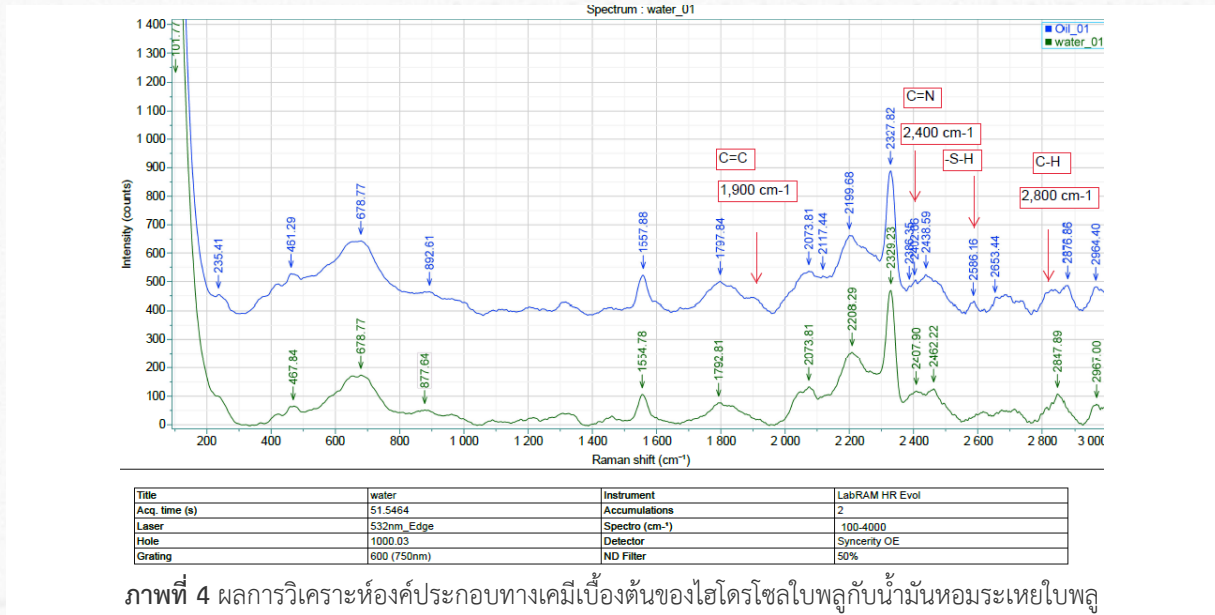
3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 การวิเคราะห์สารสำคัญในไฮโดรโซลไบพลู

ไฮโดรโซลไบพลูที่ได้จากการควบแน่น ทำการแบ่งเก็บตามช่วงเวลา พบว่าไบพลูที่มีกลิ่นเฉพาะตัว เมื่อผ่านกระบวนการสกัดแล้วพบว่าจะได้ไฮโดรโซลไบพลูที่มีกลิ่นคล้ายกับไบพลูสด โดยมีปริมาณน้ำมันหอมระเหยเพียงเล็กน้อยจนไม่สามารถแยกออกมาได้ในปริมาณการสกัดที่น้อยกว่า 1000 มิลลิลิตร ไฮโดรโซลไบพลูจะมีสีเหลืองถึงน้ำตาลอ่อน แต่น้ำที่เหลือจากการสกัดจะมีสีน้ำตาลเข้ม

การวิเคราะห์องค์ประกอบสารสำคัญเบื้องต้นของไฮโดรโซลไบพลูเปรียบเทียบกับน้ำมันหอมระเหยไบพลูโดยวิธีรามานสเปกโทรสโกปี (High Resolution Raman spectroscopy, HORIBA/LabRAM HR Evolution, Japan) โดยศูนย์

บริการวิเคราะห์ทดสอบ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) เป็นการประเมินทางคุณภาพเพื่อพิจารณาลักษณะบ่งชี้สำคัญเกี่ยวกับไฮโดรโซลไบโพลูเทียบกับน้ำมันหอมระเหยไบโพลู พบว่าลักษณะสเปกตรัมของทั้งสองใกล้เคียงกัน แต่จะพบ Raman shift ที่แตกต่างกันบ้าง เช่น ตำแหน่งที่ 1900, 2586 และ 2800 cm^{-1} จะพบในน้ำมันหอมระเหยไบโพลูแต่ไม่ปรากฏในไฮโดรโซลไบโพลู (ภาพที่ 4) จากข้อมูลเบื้องต้นดังกล่าว ใช้เป็นเพียงการสันนิษฐานได้ว่าทั้งไฮโดรโซลไบโพลูกับน้ำมันหอมระเหยไบโพลูมีสารสำคัญเหมือนกัน ซึ่งอาจเป็น เช่น ซาวิคอล และยูจินอล ซึ่งสามารถพัฒนาให้เป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้

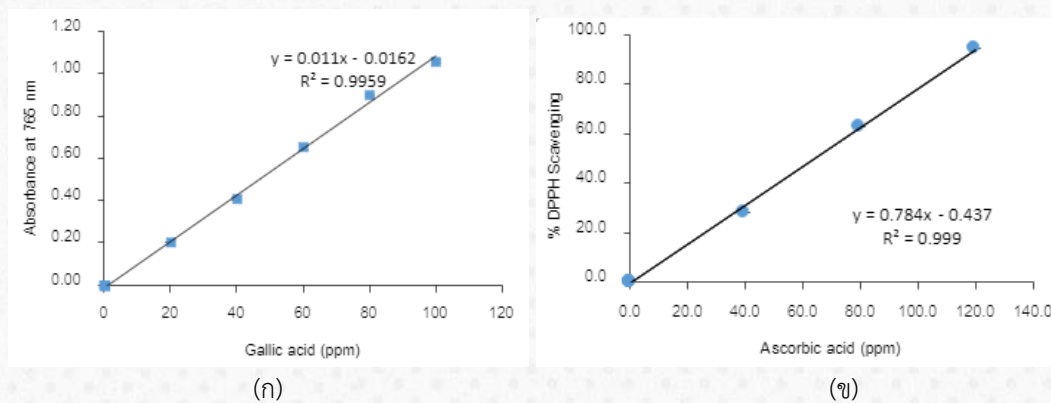


ภาพที่ 4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของไฮโดรโซลไบโพลูกับน้ำมันหอมระเหยไบโพลู

ผลการวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณสารประกอบกลุ่มฟีนอลิกด้วยวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวชนิดสมรรถนะสูง - แมสสเปกโตรเมตรี (Liquid Chromatography - Mass Spectrometry; LC-MS) โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน เช่น L ascorbic, Gallic acid, Rutintrihydratate, Hesperidin, Gallo tannin, Cinramic, Quercetin, Eugenol, Estragole พบว่าสารละลายไฮโดรโซลไบโพลู ตรวจพบ สารประกอบกลุ่มฟีนอลิกที่เป็น Eugenol และ Estragole โดยมีปริมาณเท่ากับ 0.74 ± 0.01 และ 16.53 ± 0.37 มิลลิกรัมต่อกรัม

3.2 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

ผลของความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของไฮโดรโซลไบโพลูโดยวิธี FCR และวิธี DPPH โดยการวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระทำได้โดยการเทียบกับกราฟมาตรฐานความเข้มข้นของสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก และกรดแอสคอร์บิก (ภาพที่ 5) ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ แสดงดังตารางที่ 1 สารประกอบฟีนอลิกรวมและฟลาโวนอยด์รวมทดสอบด้วยวิธี FCR เท่ากับ 45.91 ± 0.51 มิลลิกรัมแอสคอร์บิก/กรัม น้ำหนัก และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระไฮโดรโซลไบโพลูโดยวิธี DPPH จากการทดสอบพบว่าไฮโดรโซลไบโพลูมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 21.77 ± 0.34 Ascorbic eq/g sample จากรายงานวิจัยสารสกัดไบโพลูด้วยเมทานอลมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH, peroxy nitrate (ONOO) และ inhibition of total ROS generation มีค่า IC₅₀ เท่ากับ 16.33 ± 1.02 , 25.16 ± 0.61 และ 41.72 ± 0.48 $\mu\text{g/mL}$ ตามลำดับ [9] ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเอทานอลต่อไนตริกออกไซด์ และอนุมูลไฮดรอกซิล (hydroxyl radical) มีค่ามากกว่า 1000 ในขณะที่ยูจินอลมีค่า IC₅₀ ต่อไนตริกออกไซด์ และอนุมูลไฮดรอกซิล เท่ากับ 114.34 ± 0.46 และ 306.44 ± 5.28 ตามลำดับ [10]



ภาพที่ 5 กราฟมาตรฐานของการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของไฮโดรโซลไบพลู (ก) วิธี FCR และ (ข) วิธี DPPH

ตารางที่ 1 ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของไฮโดรโซลไบพลู

วิธี	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ
FCR	45.91±0.51 GAE mg/L
DPPH	21.77±0.34 equivalent vitamin C/mL

3.3 ปริมาณแร่ธาตุในไฮโดรโซลไบพลู

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุในตัวอย่งสารละลายไฮโดรโซลไบพลูโดยวิธีอินดักทีฟพลาสมา อิมิซชันสเปกโทรโฟโตเมทรี (ICP-OES) แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณแร่ธาตุในไฮโดรโซลไบพลู

ชนิด	ปริมาณ (mg/L)				
	Ca (422.6 nm)	Mg (285.21 nm)	K (766.49 nm)	Na (589.59 nm)	P (263.12 nm)
ไฮโดรโซลไบพลู	0.170±0.01	0.198±0.01	0.043±0.01	0.200±0.01	ND

หมายเหตุ. ค่าที่แสดงเป็นผลการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง (ค่าเฉลี่ย±SD), ND=non-detectable

จากผลการทดสอบปริมาณแร่ธาตุในสารละลายไฮโดรโซลไบพลู พบว่าปริมาณแร่ธาตุ ดังนี้ Ca 0.170±0.01 mg/L, Mg 0.198±0.01 mg/L, K 0.043±0.00 mg/L และ Na 0.200±0.00 mg/L

3.4 การทดสอบฤทธิ์การต้านการอักเสบ

ผลการทดสอบฤทธิ์การต้านการอักเสบโดยการใช้สารละลายโบรินซีรัมอัลบูมิน (BSA) พบว่ายาสีฟันเข้มข้น 1.0 g/10 ml มี %anti-denature activity เท่ากับ 36.94±9.18 จากรายงานวิจัยสารสกัดไบพลูในเมทานอล ความเข้มข้น 100 และ 200 mg/kg มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ [9]

3.5 การพัฒนาสูตรยาสีฟัน

สูตรยาสีฟันที่พัฒนาขึ้นมีส่วนผสม และปริมาณที่ใช้เตรียมในสูตร ปริมาณยาสีฟันที่ได้น้ำหนัก 150 กรัม โดยมีส่วนผสมสูตรยาสีฟันสมุนไพรจากไฮโดรโซลไบพลู ดังนี้ กานพลู ขมิ้นเทศ กระชายดำ พิมเสน ไบฝรั่ง ผักคราดหัวแหวน ลิ้น

ทะเล คนที่สอ ว่านางคำไฮโดรโซลไบพลู ไฮโดรโซลเอาระไคลิง ไฮโดรโซลว่านน้ำ แป้งรำ ดอกเกลือ สารเพิ่มฟอง sodium cocoyl glutamate น้ำมันมะพร้าว โดยกระบวนการผลิตยาสีฟันโดยผสมวัตถุดิบทั้งหมดเข้าด้วยกันด้วยเครื่องกวนตามอัตราส่วนของวัตถุดิบตามสูตรที่ได้รับการพัฒนา ลักษณะเนื้อยาสีฟันสมุนไพรดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ลักษณะเนื้อยาสีฟันสมุนไพร (ภาพโดย วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ, 2565)

3.6 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

การศึกษาแนวทางการเป็นไปได้ในการนำไฮโดรโซลไบพลูไปทำเป็นยาสีฟัน โดยนำยาสีฟันที่พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ ทำการทดสอบประสาทสัมผัสจากกลุ่มทดลองจำนวน 15 คน แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยความชอบของผู้ประเมินผลิตภัณฑ์ยาสีฟันไฮโดรโซลไบพลู (n=15)

สูตร	ระดับค่าเฉลี่ยของคุณลักษณะ					
	ความชอบโดยรวม	สี	กลิ่น	เนื้อสัมผัส	ปริมาณฟอง	ประสิทธิภาพในการทำความสะอาด
1	3.73±1.03	4.00±1.81	4.60±1.80	2.47±1.13	3.93±0.70	4.07±0.80

การประเมินการยอมรับและความพอดีคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ยาสีฟันไฮโดรโซลไบพลูโดยใช้เกณฑ์การประเมินการยอมรับ ด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส ปริมาณฟอง ประสิทธิภาพการทำความสะอาด และความชอบโดยรวม แบบวิธี 9-point hedonic scale พบว่าความชอบโดยรวมมีระดับไม่ชอบเล็กน้อยถึงไม่ชอบปานกลาง ซึ่งน่าเป็นเหตุผลต่อคุณลักษณะยาสีฟันไฮโดรโซลไบพลู เช่นสีและกลิ่นยาสีฟันไฮโดรโซลไบพลู ผู้ประเมินส่วนใหญ่ไม่เคยใช้ยาสีฟันสมุนไพรที่สีและกลิ่นที่มีลักษณะเฉพาะ ซึ่งแตกต่างจากกับลักษณะสีและกลิ่นของยาสีฟันที่เคยใช้หรือที่มีจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไปที่มีสีขาว จึงเป็นเหตุให้ระดับความชอบมีค่าน้อย คุณลักษณะเนื้อสัมผัสยาสีฟันไฮโดรโซลไบพลูเป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลต่อระดับการประเมินเนื่องจากจากผู้ประเมินมีระดับความพึงพอใจต่ำที่สุด เนื่องจากเนื้อยาสีฟันไม่ละเอียด ทำให้แปรงแล้วไม่ละลาย เหลือตกค้างเป็นก้อน เนื้อยาสีฟันไม่ละเอียด เนื้อค่อนข้างหยาบ ซึ่งเป็นลักษณะทางกายภาพที่เกิดจากกระบวนการเตรียมยาสีฟันแบบใช้การปั่นด้วยเครื่องปั่น ซึ่งในการพัฒนาสูตรควรทำการบดด้วยเครื่องบด ซึ่งจะทำให้ได้เนื้อสัมผัสที่ละเอียด ปริมาณฟองยาสีฟันไฮโดรโซลไบพลู ความพึงพอใจระดับไม่ชอบเล็กน้อยถึงไม่ชอบปานกลาง เนื่องจากส่วนใหญ่ระบุเป็นข้อเสนอแนะว่า ปริมาณฟองน้อย และประเด็นประสิทธิภาพในการทำความสะอาด มีความพึงพอใจระดับไม่ชอบเล็กน้อยถึงเฉยๆ ซึ่งเหตุผลของการประเมินสอดคล้องกับคุณลักษณะเนื้อสัมผัสและปริมาณฟอง

4. บทสรุป

ไฮโดรโซลไบพลู เป็นผลิตภัณฑ์ปลายทางที่ได้จากการสกัดด้วยการกั้นด้วยไอน้ำ โดยทั่วไปแล้วไฮโดรโซลไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ หรือเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นผลิตภัณฑ์ดูแลทำความสะอาดหรือผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ในงานวิจัยนี้ จึงได้นำประโยชน์ไฮโดรโซลไบพลูมาเป็นส่วนผสมในการพัฒนาสูตรยาสีฟันสมุนไพรที่มีส่วนผสมของสมุนไพรอื่น ๆ จากการทดสอบสมบัติเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณของไฮโดรโซลไบพลู เช่น ปริมาณสารยูจินอลและเอสทราไกล พบเท่ากับ 0.74 ± 0.01 และ 16.53 ± 0.37 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในยาสีฟันไฮโดรโซลไบพลูเท่ากับ 21.77 ± 0.34 มิลลิกรัมแอสคอร์บิก/กรัมน้ำหนัก สารประกอบฟีนอลิกรวมและฟลาโวนอยด์รวม เท่ากับ 45.91 ± 0.51 มิลลิกรัมแกลลิก/กรัมน้ำหนัก ปริมาณแร่ธาตุในสารละลายไฮโดรโซลไบพลู เช่น Ca 0.170 ± 0.01 mg/L, Mg 0.198 ± 0.01 mg/L, K 0.043 ± 0.00 mg/L และ Na 0.200 ± 0.00 mg/L ฤทธิ์การต้านการอักเสบโดยการใช้สารละลายไบวีนซีรัมอัลบูมิน (BSA) ในยาสีฟันเข้มข้น 1.0 g/10 mL มี %anti-denature activity เท่ากับ 36.94 ± 9.18 การพัฒนาสูตรยาสีฟันสมุนไพรโดยกระบวนการกวนด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมตามสูตรโดยมีส่วนผสมของสมุนไพรหลายชนิด พบว่าการยอมรับและความพอดีคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ยาสีฟันไฮโดรโซลไบพลูโดยใช้เกณฑ์การประเมินการยอมรับ ด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส ปริมาณฟอง ประสิทธิภาพการทำความสะอาด และความชอบโดยรวม แบบวิธี 9-point hedonic scale พบว่าความชอบโดยรวมมีระดับไม่ชอบเล็กน้อยถึงไม่ชอบปานกลาง แนวทางการศึกษาและพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมไฮโดรโซลจะนำมาใช้ในงานสปาและการดูแลสุขภาพ โดยเฉพาะในการผลิตผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่ใช้เพื่อความผิวพรรณ ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดหรือพ่นฉีดเพื่อเพิ่มกลิ่นหอมในสถานที่ต่าง ๆ และในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางเพื่อเพิ่มคุณค่าทางสุขภาพให้กับผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ อย่างเช่น โลชั่นบำรุงผิวหน้า โคลนสำหรับผิวหน้า เป็นต้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2565 ภายใต้การดำเนินการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] วรวิทย์ จันทรสุวรรณ. (1 เมษายน 2565). ไฮโดรโซล (Hydrosol) คืออะไร. Retrieved from https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=1619
- [2] วิภาวรรณ นิละพงษ์, บุชบา ผลโยธิน, วันแข็ง สิทธิกิจโยธิน. การสกัดสารสำคัญจากสมุนไพรไทย: การสกัดด้วยไอน้ำและการสกัดด้วยตัวทำละลาย. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 28(2561)901-910.
- [3] คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. (ม.ป.ป.). พลู. Retrieved from ข้อมูลพืชสมุนไพร: https://pharmacy.su.ac.th/herbmed/herb/text/herb_detail.php?herbID=155
- [4] V. Dwivedi, S. Tripathi. Review study on potential activity of Piper betle. J. Pharmacogn. and Phytochem. 3(2014)93-98.
- [5] S. Das, R. Parida, S. Nayak, S. Mohanty. A review on recent advances and future prospects. Asian Pac. J. Trop. Med. 9(2016)938-946.
- [6] V.L. Singleton, R. Orthofer, R.M. Lamuela-Raventós. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. Meth. Enzymol. 299(1999)152-178.

- [7] W. Brand-Williams, M.E. Cuvelier, C. Berset. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity, *LWT-Food Sci. Technol.* 28(1995)25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5).
- [8] Y. Bailey-Shaw, L. Williams, C. Green, S. Rodney, A. Smith. In-vitro evaluation of the anti-inflammatory potential of selected Jamaican plant extracts using the bovine serum albumin protein denaturation assay. *Inter. J. Pharm. Sci. Rev. Res.* 47(2017)145-153.
- [9] B. Alam, F. Akter, N. Parvin, R. Sharmin Pia, S. Akter, J. Chowdhury, E. Haque. Antioxidant, analgesic and anti-inflammatory activities of the methanolic extract of piper betle leaves. *Avicenna J. Phytomed.* 3(2013)112-115.
- [10] A. Aara, V. Chappidi, M.N. Ramadas. Antioxidant activity of eugenol in Piper betel leaf extract. *J. Family Med. Prim. Care*, 9(2020)327–331. doi:doi.org/10.4103/jfmprc.jfmprc_809_19

การเพิ่มผลิตภาพของกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมโดยการจัดสมดุลสายการผลิต Increasing Productivity of an Aluminum Wheel-rim Process by Line Balancing

วรฤทัย ชูเทียน^{1*} และ ตะวันฉาน พิทักษ์ประเวช¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยศิลปากร

*E-mail: choothian_w@su.ac.th

บทคัดย่อ

ผู้ผลิตรถจักรยานยนต์และชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ต้องเตรียมความพร้อมเพื่อรองรับการขยายตัวของตลาดรถจักรยานยนต์ที่จะเกิดขึ้นหลังผ่านวิกฤตการณ์การแพร่ระบาดของโควิด-19 การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมของโรงงานผู้ผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ แต่กระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมไม่สามารถผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า วัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือ การลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมโดยการจัดสมดุลสายการผลิต เพื่อให้สามารถผลิตวงล้ออลูมิเนียมได้ 500 วงต่อวัน การดำเนินงานวิจัยนี้ประกอบด้วย การระบุปัญหาโดยใช้ความสูญเปล่า 7 ประการของโตโยต้า และพบความสูญเปล่าได้แก่ คงคลังที่มากเกิดความจำเป็น การรอ และการผลิตที่เกินความจำเป็น และการนำเสนอแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยใช้เทคนิคการจัดสายสมดุลการผลิต ผลจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตพบว่า การจัดสมดุลสายการผลิตตามแนวทางที่ 2 ที่มีการสลับขั้นตอนการทำงานตามความเหมาะสม และลำดับการผลิตต้องสามารถรองรับการผลิตได้ทั้ง 3 รุ่นได้ มีความเหมาะสมกับกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมมากกว่าแนวทางที่ 1 เมื่อพิจารณาต้นทุนแรงงาน โดยแนวทางที่ 2 สามารถผลิตได้ตามความต้องการของลูกค้า และสามารถลดจำนวนพนักงานลงได้จาก 21 คน เหลือ 16 คน และมีต้นทุนแรงงานลดลงเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด 60.50% เมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนแรงงานก่อนการปรับปรุง

คำสำคัญ: การจัดสมดุลสายการผลิต, ความสูญเปล่า 7 ประการของโตโยต้า

Abstract

Motorcycle and motorcycle parts manufacturers should prepare to manage increased demands after the COVID-19 epidemic crisis. This research was conducted to study an aluminum rim-wheel process of a motorcycle parts manufacturer which was unable to produce rim wheels to meet customers' demands. Thus, the objective of this research was to eliminate wastes in the aluminum rim-wheel process by using line balancing to be able to produce 500 aluminum rim-wheels per day. This research used Toyota's 7 Wastes to identify problems in the aluminum rim-wheel process and found wastes, including excessive inventories, waiting, and excessive production. Then, line balancing was used to eliminate wastes and increase productivity in the aluminum rim-wheel process. The 2nd approach,

proposed to be used in improving aluminum rim-wheel process, was found that more suitable for the aluminum wheel production process than 1st approach. The 2nd approach was to switch some workstations and could produce all 3 rim-wheel models. Utilizing the 2nd approach resulted in decreasing the number of employees from 21 people to 16 people and reducing an average labor cost of 60.50% when compared to the labor cost before the improvement.

Keywords: Line Balancing, Toyota's Seven Wastes

1. บทนำ

ในปี 2562 – 2563 อุตสาหกรรมรถจักรยานยนต์หดตัวทั้งตลาดภายในประเทศและภายนอกประเทศ เนื่องจากความไม่แน่นอนของสถานการณ์การแพร่ระบาดของไวรัส COVID-19 แต่หลังจากการที่สถานการณ์การแพร่ระบาดของไวรัส COVID-19 เริ่มคลี่คลาย ทำให้การพยากรณ์ยอดขายรถจักรยานยนต์ทั้งในประเทศและต่างประเทศมีแนวโน้มเติบโตเฉลี่ย 3.0-4.0% ต่อปี และมีแนวโน้มที่จะเติบโตอย่างต่อเนื่อง[1] ดังนั้นบริษัทผู้ผลิตรถจักรยานยนต์และบริษัทผู้ผลิตชิ้นรถจักรยานยนต์จำเป็นต้องเตรียมความพร้อมเพื่อรองรับการขยายตัวของตลาดรถจักรยานยนต์ในอนาคต

โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์โดยมีผลิตภัณฑ์หลัก คือ จานโซ่, วงล้ออลูมิเนียม และชิ้นส่วนจักรยานยนต์อื่นๆ กระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ กระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ และกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียม สำหรับงานวิจัยนี้จะศึกษาเฉพาะกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมที่มีแนวโน้มความต้องการจากลูกค้าในปริมาณที่เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก ในปี 2564 ที่มียอดการขยายเติบโตแบบก้าวกระโดดและเพิ่มขึ้นจากปี 2563 ถึง 2.5 เท่า งานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษาผลิตกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมสำหรับ 3 รุ่น ที่เป็นที่ต้องการของตลาดในอันดับต้นๆ ได้แก่ รุ่น A, รุ่น B, และรุ่น C กระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมประกอบไปด้วย 13 สถานีงาน และมีพนักงานจำนวน 21 คน จากการศึกษาและเก็บข้อมูลของกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมของโรงงานกรณีศึกษาพบว่า ในปี 2564 กำลังการผลิตของกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมสูงสุดในช่วงเวลาการทำงานปกติเท่ากับ 241 วงต่อวัน ซึ่งทำให้โรงงานกรณีศึกษาไม่สามารถผลิตสินค้าได้จำนวนตามความต้องการของลูกค้า คือ 500 วงต่อวัน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียม ระบุปัญหาในกระบวนการผลิตโดยใช้ความสูญเสียเปล่า 7 ประการของโตโยต้า และใช้เทคนิคการจัดสมดุลสายการผลิตเพื่อผลิตวงล้ออลูมิเนียมสามารถผลิตสินค้าได้เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา มีงานวิจัยที่ใช้ความสูญเสียเปล่า 7 ประการของโตโยต้ามาใช้ระบุปัญหาในกระบวนการผลิต เช่น ปฐมชัย (2561) ได้ใช้ความสูญเสียเปล่า 7 ประการของโตโยต้าในการระบุปัญหาของกระบวนการผลิตแชสซีส์เพื่อนำไปปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการ และมีงานวิจัยก่อนหน้าจำนวนหนึ่งที่ใช้การจัดสมดุลสายการผลิตเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต[2] เช่น ยุทธณรงค์ (2555) ใช้หลักสมดุลการผลิตปรับปรุงกระบวนการผลิตรองเท้าและผลที่ได้การเพิ่มผลิตรถจักรยานยนต์รองเท้าให้เป็นไปตามเป้าหมาย[3] , ยุทธณรงค์และคณะ (2560) ใช้หลักสมดุลสายการผลิตปรับปรุงกระบวนการประกอบชุดจับยึดที่นั่งของรถยนต์ และผลที่ได้คือ อัตราผลิตภาพของกระบวนการผลิตสายการผลิตเพิ่มขึ้น 11.91% [4] , ธนพรและ นันทกฤษณ์ (2559) ได้ทำปรับปรุงวิธีการทำงานหลักการจัดสมดุลสายการผลิต เพื่อเพิ่มยอดการผลิตไซลิ่งเตอร์โดยการประยุกต์ใช้หลักการการจัดสมดุลสายการผลิต ผลที่ได้จากการดำเนินการพบว่า สามารถเพิ่มยอดการผลิตจาก 59,591 ชิ้นเป็น 63,366 ชิ้นต่อเดือน[5] , Nguyen Thi Lam และคณะ (2016) จัดสมดุลในสายการประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของสายการประกอบ ในแง่ของการกำจัดเวลาสูญเสียเปล่า, การเพิ่มดัชนีสมดุลสายการประกอบ, การเพิ่มประสิทธิภาพของแรงงานโดยรวม และ ลดจำนวนแรงงานลงได้ 25% [6]

2. วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยบางออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกจะเป็นการระบุปัญหาในกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียม และ ส่วนที่สองจะเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียม โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 การระบุปัญหาในกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียม

งานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษากระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมสำหรับ 3 รุ่น ที่เป็นที่ต้องการของตลาดในอันดับต้นๆ ได้แก่ รุ่น A, รุ่น B, และรุ่น C กระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมประกอบไปด้วย 13 สถานีงาน รายละเอียดของขั้นตอนและ จำนวนของพนักงานในแต่ละสถานีงานของกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมสำหรับรุ่น A, รุ่น B, และรุ่น C สรุปได้ดังตารางที่ 1 ในการผลิตวงล้ออลูมิเนียมแต่ละรุ่นจะมีบางสถานีงานที่มีขั้นตอนที่แตกต่างกัน และมีบางสถานีงานที่ใช้พนักงานคน เดียวกัน เช่น รุ่น C มีสถานีงานที่ 10 และ 11 ที่ใช้พนักงานคนเดียวกัน จากการเก็บข้อมูลและการศึกษาในกระบวนการ การผลิตสามารถระบุความสูญเสียที่พบในกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมได้ดังนี้

- 1) “คงคลังที่มากเกิดความจำเป็น” หากสถานีงานก่อนหน้ามีรอบเวลาการผลิตน้อยกว่าสถานีงานถัดไปส่งผลให้ เกิดงานระหว่างผลิต (Work-in-Process) เป็นจำนวนมาก เช่น สถานีงานที่ 3 และ 4
- 2) “การรอ” หากสถานีงานก่อนหน้ามีรอบเวลาการผลิตน้อยกว่าสถานีงานถัดไป ส่งผลให้สถานีงานถัดไปต้องรอ วงล้ออลูมิเนียมจากสถานีงานก่อนหน้าที่ใช้เวลาการผลิตมากกว่า เช่น สถานีงานที่ 4 และ 5 มีการว่างงานใน ระหว่างวันเป็นระยะเวลาโดยเฉลี่ย 1-2 ชั่วโมงต่อวัน
- 3) “การผลิตที่เกินความจำเป็น” เกิดการว่างงานบ่อยครั้งเนื่องจากไม่มีงานที่ต้องผลิต จนในบางครั้งโรงงาน จำเป็นต้องให้สถานีงาน 1, 2, 3 ผลิตวงล้ออลูมิเนียมมากเกินไปกว่าความต้องการของลูกค้าเพื่อเป็นการรักษาการ ใช้ประโยชน์ของคนและเครื่องจักร และเก็บชิ้นงานเหล่านั้นไม่เป็นคงคลังจำนวนมากและส่งผลทำให้เกิด “คงคลังที่มากเกินไป” ตามมา

จากการศึกษาเวลาและนำรอบเวลาการผลิตของแต่ละสถานีงานไปสร้างกราฟเปรียบเทียบกับ Takt Time ดังแสดง ในรูปที่ 1 พบว่า รอบเวลาในแต่ละสถานีงานของกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมของแตกต่างกัน ถ้าใช้ Takt time มา พิจารณา พบว่า มี 6 สถานีงานที่มีรอบเวลาการผลิตมากกว่า Takt Time แสดงให้เห็นว่า ความสถานีงานเหล่านี้ไม่สามารถ ผลิตวงล้อได้เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า และทำให้สถานีงานเหล่านี้ต้องมีการทำงานล่วงเวลาอย่างสม่ำเสมอเพียงให้ สามารถผลิตวงล้อได้เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า ในขณะที่อีก 6 สถานีงานมีรอบเวลาที่น้อยกว่า Takt Time หรือ สามารถผลิตตามความต้องการของลูกค้าได้ เมื่อพิจารณารอบเวลาการผลิตของกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมพบว่า รอบ เวลาการผลิตของแต่ละสถานีงานมีความแตกต่างกันมาก และความแตกต่างของรอบเวลาการผลิตส่งผลให้เกิดความสูญเสียล่า ช่างต้น

นอกจากนี้จากการเก็บข้อมูลทำให้ทราบว่า มี 4 สถานีงานที่มีการใช้พนักงานร่วมกัน เช่น สถานีงาน 8 ใช้พนักงาน ชุดเดียวกับสถานีงาน 13 และ สถานีงาน 10 ใช้พนักงานชุดเดียวกับสถานีงาน 11 และทั้ง 4 สถานีงานนี้มีรอบเวลาการผลิตที่ สูงกว่า Takt Time มาก เพราะต้องรับผิดชอบมากกว่า 1 สถานีงาน ดังนั้น ถ้ามีการปรับสถานีงานให้มีรอบเวลาการผลิตที่ ใกล้เคียงกันหรือเท่ากัน การปรับปรุงการทำงานและการจัดจำนวนพนักงานแต่ละสถานีให้เหมาะสม จะทำให้กระบวนการผลิต วงล้ออลูมิเนียมมีโอกาสที่จะผลิตวงล้อได้ตามความต้องการของลูกค้า

2. แนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียม

งานวิจัยนี้เพิ่มปริมาณการผลิตวงล้ออลูมิเนียมโดยใช้เทคนิคการจัดสมดุลสายการผลิต เพื่อลดการรอคอยงานและงานระหว่าง ผลิต โรงงานกรณีศึกษามีข้อกำหนดในการจัดสมดุลสายการผลิต คือ จำนวนพนักงานของกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมไม่ เกิน 21 คน เท่ากับจำนวนพนักงานก่อนการปรับปรุง และจะต้องไม่มีการซื้อเครื่องจักรเพิ่ม แนวทางที่กระบวนการผลิตวง ล้ออลูมิเนียมสามารถดำเนินการปรับปรุงและเป็นไปตามเป้าหมายของโรงงานกรณีศึกษาสามารถสรุปได้ 2 แนวทาง ได้แก่

ตารางที่ 1 จำนวนพนักงานและสถานีนงานสำหรับการผลิตล่องอูมิเนียมแต่ละรุ่นก่อนการปรับปรุง

สถานีงาน	ขั้นตอนย่อย	พนักงาน (คน)	เวลามาตรฐาน (วินาที/ชิ้น)		
			รุ่น A	รุ่น B	รุ่น C
1	รีดวงล้อ	1	20.14	20.44	19.67
2	ตัดวงล้อ	2	27.15	26.07	24.07
3	อาร์ควงล้อ	2	22.13	24.75	20.91
4	เจียร์วงล้อ	2	48.14	41.88	42.19
	เจียร์ขอบวงล้อ		-	12.52	13.29
	ตีผ้าทราย	1	68.03	30.66	32.43
5	รีฟอร์มและตรวจสอบความกลม	2	48.68	48.00	42.73
6	เก็บข้อต่อลูกทราย	4	13.24	19.34	19.63
	ขัดลอกผิวลูกทราย		29.58	26.27	22.72
	เก็บข้อต่อลูกสก็อตไบรท์		49.55	18.79	20.83
	เก็บข้างข้อต่อลูกสก็อตไบรท์		30.53	12.61	11.53
	ขัดลอกผิวลูกสก็อตไบรท์		22.66	23.63	19.99
7	ตรวจสอบผิว 1	3	47.51	54.91	56.36
8	ตรวจสอบขนาดวงล้อ 1	2*	10.96	12.54	9.99
	ตรวจสอบความกลมวงล้อ 1		10.47	14.72	10.15
9	ปั๊มหนู	1	31.84	31.95	33.60
	ปั๊มซีลวด		80.32	71.88	63.70
10	ปั๊มจีบลม	1**	33.49	37.34	25.68
	ปั๊มโลโก้		28.72	22.41	13.05
	ปั๊ม H		-	-	18.08
11	อบแข็ง	1**	-	-	102.25
12	ขัดละเอียด	2	-	21.83	-
13	ตรวจสอบความกลมวงล้อ 2	2*	9.86	13.29	7.82
	ตรวจสอบผิว 2		43.88	45.67	69.68
	บรรจุภัณฑ์		26.47	23.61	22.44

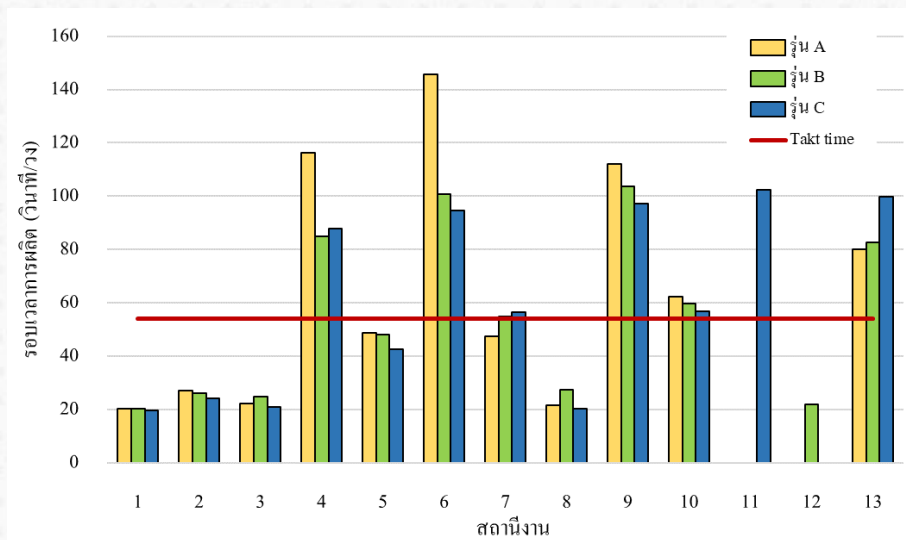
หมายเหตุ *สถานีงาน 8 ใช้พนักงานชุดเดียวกับสถานีงาน 13, **สถานีงาน 10 ใช้พนักงานชุดเดียวกับสถานีงาน 11

แนวทางที่ 1 จัดกระบวนการผลิตวงล้ออูมิเนียมโดยไม่เปลี่ยนแปลงขั้นตอนการทำงานในปัจจุบัน

- 1) รวมหรือแยกขั้นตอนย่อยและจัดสถานีการทำงานใหม่เพื่อลดสถานีงานที่เป็นคอขวด โดยในการรวบรวมหรือแยกขั้นตอนย่อยจะต้องไม่มีการสลับลำดับการผลิต
- 2) เน้นให้พนักงานสามารถทำงานแบบ Multitasking ได้ พนักงาน 1 คนสามารถทำงานได้ในขั้นตอนย่อยหรือสถานีงานมากกว่า 1 สถานีงาน

แนวทางที่ 2 จัดกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมโดยอาจจะมีการสลับขั้นตอนเพื่อความเหมาะสม และลำดับการผลิตต้องสามารถรองรับการผลิตได้ทั้ง 3 รุ่น

- 1) รวมหรือแยกขั้นตอนย่อยและจัดสถานีการทำงานใหม่เพื่อลดสถานีงานที่เป็นคอขวด โดยในการรวมหรือแยกขั้นตอนย่อย อาจจะมีการสลับขั้นตอนเพื่อความเหมาะสม
- 2) จัดลำดับการผลิตให้เหมาะสมสำหรับแต่ละรุ่น



ภาพที่ 1 รอบเวลาการผลิตของแต่ละสถานีงานของกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียม รุ่น A, รุ่น B, และรุ่น C

3. ผลการวิจัย

3.1 การจัดสมดุลกระบวนการการผลิตวงล้ออลูมิเนียมตามแนวทางที่ 1

จากการรวมหรือแยกขั้นตอนย่อยและจัดสถานีการทำงานใหม่เพื่อลดสถานีงานที่เป็นคอขวด แต่ยังคงรักษาลำดับการผลิตตามเดิม เช่น การแยกขั้นตอนย่อยตีผ้าทรายออกจากสถานีงานที่ 4, การแยกขั้นตอนย่อยของสถานีงานที่ 6 เป็น 3 สถานีงาน ประกอบด้วย สถานีงานเก็บข้อต่อลูกทรายและขัดลอกผิวลูกทราย สถานีงานเก็บข้อต่อลูกสก็อตไบร์ทและเก็บข้าง ข้อต่อลูกสก็อตไบร์ท และสถานีงานขัดลอกผิวลูกสก็อตไบร์ท ผลจากการรวมหรือแยกขั้นตอนย่อยและกำหนดสถานีงานใหม่ทำให้จำนวนสถานีงานเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยจำนวนสถานีงานของกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมตามแนวทางที่ 1 ของรุ่น A, รุ่น B, และรุ่น C เท่ากับ 14 สถานีงาน, 15 สถานีงาน , และ 15 สถานีงานตามลำดับ จากการกำหนดสถานีงานใหม่ทำให้ต้องปรับจำนวนพนักงานให้เหมาะสมกับแต่ละสถานีงาน เช่น การเพิ่มจำนวนพนักงานในสถานีที่ 12 การลดจำนวนพนักงานในสถานีที่ 6 และในการจัดพนักงานในแต่ละสถานีงานยังได้คำนึงถึงการทำงานแบบ Multitasking โดยได้จัดให้พนักงานพนักงาน A, B, C, D, L, และ M มีการทำงานมากกว่า 1 สถานีงานต่อวัน หลังจัดสมดุลผลิตวงล้ออลูมิเนียมตามแนวทางที่ 1 มีจำนวนพนักงานที่ต้องการ 16 คน รายละเอียดของการจัดสายการผลิตของกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมรุ่น A, B, และ C สรุปได้ในตารางที่ 2, 3, และ 4 เรียงตามลำดับ

3.2 การจัดสมดุลกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมตามแนวทางที่ 2

การรวมสถานีงานและจัดสถานีการทำงานใหม่เพื่อลดสถานีงานที่เป็นคอขวด เช่น การรวมสถานีงานตัดวงล้อและอาร์ควงล้อ การรวมสถานีงานตรวจสอบผิว 1, ตรวจสอบขนาดวงล้อ 1, และตรวจสอบความกลมวงล้อ 1 เพื่อให้รอบเวลาการผลิตใกล้เคียง 54 วินาทีต่อชิ้น ผลจากการรวมสถานีงานทำให้กระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมมีสถานีงานของรุ่น A, รุ่น B, และรุ่น C เท่ากับ 12 สถานีงาน, 13 สถานีงาน , และ 13 สถานีงานตามลำดับ และมีการปรับจำนวนพนักงานในแต่ละสถานีงาน

ตารางที่ 2 การจัดสมดุลสายการผลิตของกระบวนการผลิตวงล้อลูมิเนียมตามแนวทางที่ 1 รุ่น A

สถานีงาน	ขั้นตอนย่อย	รอบเวลาการผลิต (วินาที)	พนักงาน (คน)	เข้า (ชม.)	บ้าย (ชม.)	รวม (ชม.)	ปริมาณการผลิตสูงสุด (วง)
1	รีดวงล้อ	20.14	A	3.75	0.00	3.75	670
2	ตัดวงล้อ	27.15	B,C	3.75	0.00	3.75	497
3	อาร์ควงล้อ	22.13	D,E	3.75	0.00	3.75	610
4	เจียรวงล้อ	48.14	F	3.75	3.75	7.50	560
5	ตีผ้าทราย	68.03	G	3.75	3.75	7.50	396
6	รีฟอร์มและตรวจสอบความกลม	48.68	H	3.75	3.75	7.50	554
7	เก็บข้อต่อลูกทราย + ขัดลอกผิวลูกทราย	42.82	I	3.75	3.75	7.50	630
8	เก็บข้อต่อลูกสก็อตไบรท์	49.55	J	3.75	3.75	7.50	544
9	เก็บข้างข้อต่อลูกสก็อตไบรท์ + ขัดลอกผิวลูกสก็อตไบรท์	53.19	K	3.75	3.75	7.50	507
10	ตรวจสอบผิว 1	35.63	A,B,C,D	0.00	3.75	3.75	378
11	ตรวจสอบขนาดวงล้อ 1 + ตรวจสอบความกลมวงล้อ 1	10.96	L,M	0.00	1.75	1.75	574
12	บีมูน + บีมูซีลวด	80.32	N,O,P,E	3.75	3.75	7.50	492
13	บีมูจึบลม + บีมูโลโก้	28.72	P,E	3.75	0.00	3.75	470
14	ตรวจสอบความกลมวงล้อ 2 + ตรวจสอบผิว 2 + บรรจุภัณฑ์	80.21	L,M	3.75	2.00	5.75	258

ตารางที่ 3 การจัดสมดุลสายการผลิตของกระบวนการผลิตวงล้อลูมิเนียมตามแนวทางที่ 1 รุ่น B

สถานีงาน	ขั้นตอนย่อย	รอบเวลาการผลิต (วินาที)	พนักงาน (คน)	เข้า (ชม.)	บ้าย (ชม.)	รวม (ชม.)	ปริมาณการผลิตสูงสุด (วง)
1	รีดวงล้อ	20.44	A	3.75	0.00	3.75	660
2	ตัดวงล้อ	26.07	B, C	3.75	0.00	3.75	517
3	อาร์ควงล้อ	24.75	D, E	3.75	0.00	3.75	545
4	เจียรวงล้อ + เจียรขอบวงล้อ	54.40	F	3.75	3.75	7.50	496
5	ตีผ้าทราย	30.66	G	3.75	3.75	7.50	880
6	รีฟอร์มและตรวจสอบความกลม	48.00	H	3.75	3.75	7.50	562
7	เก็บข้อต่อลูกทราย + ขัดลอกผิวลูกทราย	45.61	I	3.75	3.75	7.50	591
8	เก็บข้อต่อลูกสก็อตไบรท์ + เก็บข้างข้อต่อลูกสก็อตไบรท์	31.40	J	3.75	3.75	7.50	859
9	ขัดลอกผิวลูกสก็อตไบรท์	23.63	K	0.00	3.75	3.75	571
10	ตรวจสอบผิว 1	54.91	A, B, C	0.00	3.75	3.75	245
11	**ตรวจสอบขนาดวงล้อ 1 + ตรวจสอบความกลมวงล้อ 1	14.72	L, M	0.00	2.00	2.00	489
12	บีมูน + บีมูซีลวด	71.88	N,O,K,D	3.75	3.75	7.50	475
13	บีมูจึบลม + บีมูโลโก้	31.24	K, D	3.75	1.75	5.50	633
14	ขัดละเอียด	21.83	E	0.00	3.75	3.75	618
15	ตรวจสอบความกลมวงล้อ 2 + ตรวจสอบผิว 2 + บรรจุภัณฑ์	82.57	L, M*	3.75	1.75	5.50	239

ให้เหมาะสมกับขั้นตอนในการทำงานและเป้าหมายของรอบเวลาการผลิตที่ต้องการ จากการเพิ่มหรือลดจำนวนพนักงานในบางสถานีงานเพื่อให้มีจำนวนพนักงานเพียงพอในแต่ละสถานี แต่ยังคงมีพนักงานบางคนที่ต้องรับผิดชอบมากกว่า 1 สถานีงาน เช่น A ที่รับผิดชอบสถานีงานที่ 1 และ 11 เพราะสถานีงานที่ 1 ใช้เวลาการผลิตเพียงครั้งวันก็ได้จำนวนวงล้อมากกว่าเป้าหมายที่ต้องการ จำนวนพนักงานที่ต้องการสำหรับการจัดสมดุลสายการผลิตของกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมตามแนวทางที่ 2 เท่ากับ 16 คน รายละเอียดของการจัดสายการผลิตล้ออลูมิเนียม รุ่น A, B, และ C สรุปได้ในตารางที่ 5, 6, และ 7 เรียงตามลำดับ

ตารางที่ 4 การจัดสมดุลสายการผลิตของกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมตามแนวทางที่ 1 รุ่น C

สถานีงาน	ขั้นตอนย่อย	รอบเวลาการผลิต (วินาที)	พนักงาน (คน)	เข้า (ชม.)	บ่าย (ชม.)	รวม (ชม.)	ปริมาณการผลิตสูงสุด (วง)
1	รีดวงล้อ	19.67	A	3.75	0.00	3.75	686
2	ตัดวงล้อ	24.07	B, C	3.75	0.00	3.75	560
3	อาร์ควงล้อ	20.91	D, E	3.75	0.00	3.75	645
4	เจียรรังล้อ + เจียรขอบวงล้อ (ไม่มี ในรุ่น A)	55.48	F	3.75	3.75	7.50	486
5	ตีผ้าทราย	32.43	G	3.75	3.75	7.50	832
6	รีฟอร์มและตรวจสอบความกลม	42.73	H	3.75	3.75	7.50	631
7	เก็บข้อต่อลูกทราย + ขัดลอกผิวลูกทราย	42.35	I	3.75	3.75	7.50	637
8	เก็บข้อต่อลูกสก็อตไบรท์ + เก็บข้างข้อต่อลูกสก็อตไบรท์	32.36	J	3.75	3.75	7.50	834
9	ขัดลอกผิวลูกสก็อตไบรท์	19.99	E	0.00	3.75	3.75	675
10	ตรวจสอบผิว 1	56.36	A, B, C	0.00	3.75	3.75	239
11	ตรวจสอบขนาดวงล้อ 1 + ตรวจสอบความกลมวงล้อ 1	20.14	L, M	2.00	0.00	2.00	357
12	ปั้มนูน + ปั้มนูซิลวด	63.70	N, O	3.75	3.75	7.50	423
13	ปั้มจับลม + ปั้ม H + ปั้มโลโก้	31.13	D	0.00	3.75	3.75	433
14	อบแข็ง	102.25	K	3.75	3.75	7.50	264
15	ตรวจสอบความกลมวงล้อ 2 + ตรวจสอบผิว 2 + บรรจุภัณฑ์	99.94	L, M*	1.75	3.75	5.50	198

ตารางที่ 5 การจัดสมดุลสายการผลิตของกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมตามแนวทางที่ 1 รุ่น A

สถานีงาน	ขั้นตอนย่อย	รอบเวลาการผลิต (วินาที)	พนักงาน (คน)	เข้า (ชม.)	บ่าย (ชม.)	รวม (ชม.)	ปริมาณการผลิตสูงสุด (วง)
1	รีดวงล้อ	20.14	A	3.75	0.00	3.75	670
2	ตัดวงล้อ อาร์ควงล้อ	49.28	B, C	3.75	3.75	7.50	547
3	เจียรรังล้อ	48.14	D	3.75	3.75	7.50	560
4	ตีผ้าทราย	68.03	E	3.75	3.75	7.50	396
5	รีฟอร์มและตรวจสอบความกลม	48.68	F	3.75	3.75	7.50	554
6	เก็บข้อต่อลูกทราย + ขัดลอกผิวลูกทราย	42.82	G	3.75	3.75	7.50	630
7	เก็บข้อต่อลูกสก็อตไบรท์	49.55	H	3.75	3.75	7.50	544
8	เก็บข้างข้อต่อลูกสก็อตไบรท์+ขัดลอกผิวลูกสก็อตไบรท์	53.19	I	3.75	3.75	7.50	507

สถานีงาน	ขั้นตอนย่อย	รอบเวลาการผลิต (วินาที)	พนักงาน (คน)	เข้า (ชม.)	บ่าย (ชม.)	รวม (ชม.)	ปริมาณการผลิตสูงสุด (วง)
9	ตรวจสอบผิว 1+ตรวจสอบขนาดวงล้อ 1+ตรวจสอบความกลมวงล้อ 1	34.47	J, K	3.75	3.75	7.50	783
10	ปั้มนูน + ปั้มนูชีลวด	56.08	L, M	3.75	3.75	7.50	481
11	ปั้มน้ำมัน + ปั้มโลโก้	62.21	N, A	3.75	3.75	7.50	651
12	ตรวจสอบความกลมวงล้อ 2 + ตรวจสอบผิว 2 + บรรจุภัณฑ์	40.11	O, P	3.75	3.75	7.50	673

ตารางที่ 6 การจัดสมดุลสายการผลิตของกระบวนการผลิตวงล้อลูมิเนียมตามแนวทางที่ 2 รุ่น B

สถานีงาน	ขั้นตอนย่อย	รอบเวลาการผลิต (วินาที)	พนักงาน (คน)	เข้า (ชม.)	บ่าย (ชม.)	รวม (ชม.)	ปริมาณการผลิตสูงสุด (วง)
1	รีดวงล้อ	20.44	A	3.75	0	3.75	660
2	ตัดวงล้อ + อาร์ควงล้อ	50.82	B,C	3.75	3.75	7.50	531
3	เจียรวงล้อ	41.88	D	3.75	3.75	7.50	644
4	เจียรขอบวงล้อ + ตีผ้าทราย	43.18	E	3.75	3.75	7.50	625
5	รีฟอร์มและตรวจสอบความกลม	48.00	F	3.75	3.75	7.50	562
6	เก็บข้อต่อลูกทราย + ขัดลอกผิวลูกทราย	45.61	G	3.75	3.75	7.50	591
7	เก็บข้อต่อ + เก็บข้างข้อต่อลูกสก็อตไบรท์	31.40	H	3.75	3.75	7.50	859
8	ขัดลอกผิวลูกสก็อตไบรท์	23.63	I	0	3.75	3.75	571
9	ตรวจสอบผิว 1 + ตรวจสอบขนาดวงล้อ 1 + ตรวจสอบความกลมวงล้อ 1	41.09	J, K	3.75	3.75	7.50	657
10	ปั้มนูน + ปั้มนูชีลวด	51.91	L, M	3.75	3.75	7.50	520
11	ปั้มน้ำมัน + ปั้มโลโก้	59.75	N, I	3.75	3.75	7.50	661
12	ขัดละเอียด	21.83	A	0	3.75	3.75	618
13	ตรวจสอบความกลมวงล้อ 2 ตรวจสอบผิว 2 บรรจุภัณฑ์	41.29	O, P	3.75	3.75	7.50	653

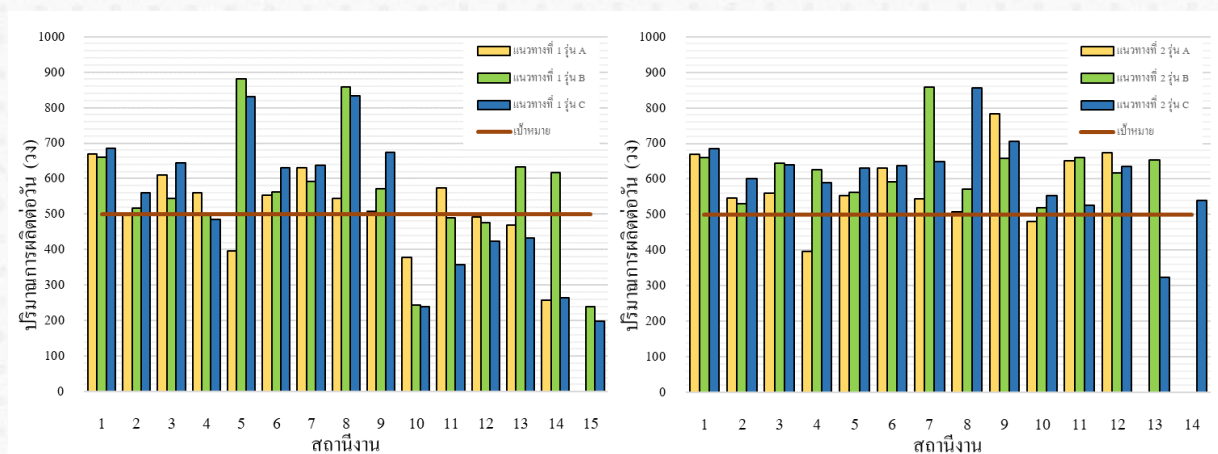
ตารางที่ 7 การจัดสมดุลสายการผลิตของกระบวนการผลิตวงล้อลูมิเนียมตามแนวทางที่ 2 รุ่น C

สถานีงาน	ขั้นตอนย่อย	รอบเวลาการผลิต (วินาที)	พนักงาน (คน)	เข้า (ชม.)	บ่าย (ชม.)	รวม (ชม.)	ปริมาณการผลิตสูงสุด (วง)
1	รีดวงล้อ	19.67	A	3.75	0.00	3.75	686
2	ตัดวงล้อ + อาร์ควงล้อ	44.98	B,C	3.75	3.75	7.50	600
3	เจียรวงล้อ	42.19	D	3.75	3.75	7.50	639
4	เจียรขอบวงล้อ + ตีผ้าทราย	45.72	E	3.75	3.75	7.50	590
5	รีฟอร์มและตรวจสอบความกลม	42.73	F	3.75	3.75	7.50	631
6	เก็บข้อต่อลูกทราย + ขัดลอกผิวลูกทราย	42.35	G	3.75	3.75	7.50	637
7	เก็บข้อต่อลูกสก็อตไบรท์ + เก็บข้างข้อต่อลูกสก็อตไบรท์	20.83	H	3.75	0.00	3.75	648
8	ขัดลอกผิวลูกสก็อตไบรท์	31.52	I	3.75	3.75	7.50	856

สถานีงาน	ขั้นตอนย่อย	รอบเวลาการผลิต (วินาที)	พนักงาน (คน)	เข้า (ชม.)	บ่าย (ชม.)	รวม (ชม.)	ปริมาณการผลิตสูงสุด (วง)
9	ตรวจสอบผิว 1 + ตรวจสอบขนาดวงล้อ 1 + ตรวจสอบความกลมวงล้อ 1	38.25	J, K	3.75	3.75	7.50	705
10	ปั๊มหนู + ปั๊มซีลลาด	48.65	L, M	3.75	3.75	7.50	554
11	ปั๊มจีบลม	25.68	H	0.00	3.75	3.75	525
12	ปั๊ม H + ปั๊มโลโก้	31.13	N	3.75	1.75	5.50	636
13	อบแห้ง	22.26	N	0.00	2.00	2.00	323

4. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การจัดสมดุลสายการผลิตของกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมตามแนวทางที่ 1 รุ่น A มีกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 185 วง เป็น 258 วง หรือคิดเป็น 39.46% แต่มีรุ่น B และรุ่น C กำลังการผลิตลดลง 8.08% และ 25.00% ตามลำดับ การจัดสมดุลสายการผลิตผลิตวงล้ออลูมิเนียมตามแนวทางที่ 2 ทุกรุ่นมีกำลังการผลิตเพิ่มขึ้น รุ่น A มีกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 185 วง เป็น 396 วง หรือคิดเป็น 39.46% รุ่น B มีกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 260 วง เป็น 520 วง หรือคิดเป็น 39.46% และ รุ่น C มีกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 323 วง เป็น 258 วง หรือคิดเป็น 39.46% ปริมาณการผลิตหรือกำลังการผลิตต่อวันของวงล้ออลูมิเนียมแต่ละรุ่นหลังจากจัดสมดุลสายการผลิตของกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมสามารถสรุปได้ดังภาพที่ 2 และ 3 โดยภาพที่ 2 แสดงปริมาณการผลิตวงล้ออลูมิเนียมต่อวันที่มีการจัดสมดุลสายการผลิตตามแนวทางที่ 1 และภาพที่ 3 ปริมาณการผลิตวงล้ออลูมิเนียมต่อวันที่มีการจัดสมดุลสายการผลิตตามแนวทางที่ 2 จะเห็นว่า มีปริมาณการผลิตต่อวันของแต่ละสถานีงานของกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมตามแนวทางที่ 2 มีความใกล้เคียงมากกว่าแนวทางที่ 1 ซึ่งทำให้ความสูญเสียที่เกิดขึ้นทั้งการรอและคงคลังที่มากเกินไปลดลง เมื่อพิจารณาภาพที่ 2 และ 3 พบว่ามีบางสถานีงานของกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมทั้งในการจัดสมดุลสายการผลิตตามแนวทางที่ 1 และ 2 ไม่สามารถผลิตได้เพียงพอต่อความต้องการ ดังนั้นโรงงานต้องมีการเตรียมแผนการทำงานนอกเวลา (Overtime) เพื่อให้สามารถผลิตวงล้อได้ปริมาณตามเป้าหมายที่ต้องการ แต่การทำให้เกิดการทำงานนอกเวลาอาจส่งผลให้เกิดต้นทุนแรงงานที่สูงขึ้น แม้ว่าจำนวนพนักงานของกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมลดลงหลังจากจัดสมดุลการผลิตแล้ว



ภาพที่ 2 ปริมาณการผลิตวงล้ออลูมิเนียมต่อวันที่มีการจัดสมดุลสายการผลิตของกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมตามแนวทางที่ 1

ภาพที่ 3 ปริมาณการผลิตวงล้ออลูมิเนียมต่อวันที่มีการจัดสมดุลสายการผลิตของกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมตามแนวทางที่ 2

จากจำนวนชั่วโมงการทำงานนอกเวลาที่ต้องการและค่าแรงงานสามารถคำนวณต้นทุนแรงงานของกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมต่อเดือนเพื่อให้สามารถผลิตได้ปริมาณตามเป้าหมายแสดงในตารางที่ 8 โรงงานกรณีศึกษากำหนดค่าแรงงานปกติเท่ากับ 310 บาทต่อวัน และค่าแรงงานนอกเวลาเท่ากับ 60 บาทต่อชั่วโมง และอนุญาตให้พนักงานแต่ละคนทำงานนอกเวลาของแต่ละวันไม่เกิน 4 ชั่วโมง จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าการจัดสมดุลสายการผลิตของกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมตามแนวทางที่ 1 และแนวทางที่ 2 มีต้นทุนแรงงานที่ต่ำกว่าก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิต และเมื่อพิจารณาสัดส่วนการลดต้นทุนพบว่า การจัดสมดุลสายการผลิตของกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมตามแนวทางที่ 2 ช่วยลดต้นทุนแรงงานได้มากกว่าแนวทางที่ 1 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า การจัดสมดุลสายการผลิตของกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมตามแนวทางที่ 2 เหมาะสมสำหรับโรงงานกรณีศึกษามากกว่าแนวทางที่ 1

ตารางที่ 8 ต้นทุนแรงงานของกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมต่อเดือนสำหรับการผลิต 500 วงต่อวัน

หัวข้อ	ก่อนปรับปรุง				แนวทางที่ 1				แนวทางที่ 2			
	รุ่น A	รุ่น B	รุ่น C	เฉลี่ย	รุ่น A	รุ่น B	รุ่น C	เฉลี่ย	รุ่น A	รุ่น B	รุ่น C	เฉลี่ย
พนักงานปกติ (คน)	21	21	21	21	16	16	16	16	16	16	16	16
ค่าแรงงานปกติ (แสนบาท/เดือน)	1.56	1.56	1.56	1.56	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19
จำนวน Overtime (ชม./เดือน)	5,280	6,720	7,200	6,400	1,320	1,500	2,820	1,880	300	0	120	140
ค่าแรงงาน Overtime (แสนบาท/เดือน)	1.26	1.61	1.72	1.53	0.31	0.36	0.67	0.45	0.07	0	0.03	0.03
ค่าแรงงานรวม (แสนบาท/เดือน)	2.83	3.18	3.29	3.10	1.51	1.55	1.86	1.64	1.26	1.19	1.21	1.22
ต้นทุนแรงงานลดลง (%)	-	-	-	-	46.73	51.17	43.25	47.02	55.39	62.51	62.95	60.50

การปรับปรุงกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมของโรงงานกรณีศึกษาโดยการจัดสมดุลสายการผลิตสามารถลดความสูญเสียที่พบในกระบวนการ ได้แก่ คงคลังที่มากเกิดความจำเป็น การรอ การผลิตที่เกินความจำเป็น และเพิ่มปริมาณการผลิตต่อวันให้ได้ 500 วง มีบางสถานียานที่ยังไม่สามารถทำให้ผลิตได้ตามเป้าหมายเนื่องจากข้อจำกัดของทรัพยากรของโรงงานกรณีศึกษา จากที่บางสถานียานในกระบวนการผลิตอลูมิเนียมไม่สามารถผลิตวงล้อได้ตามเป้าหมายทำให้ต้องมีการทำงานนอกเวลา แม้ว่าจะมีการทำงานนอกเวลาแต่ต้นทุนแรงงานยังลดลงมากกว่า 40% ในทุกรุ่นและทุกแนวทางกันจัดสมดุลการผลิต อาจสรุปได้ว่าการจัดสมดุลการผลิตนอกจากช่วยลดความสูญเสียแล้วยังช่วยลดต้นทุนแรงงานอีกด้วย

4. ข้อเสนอแนะ

- งานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมโดยการจัดสมดุลการผลิตเพียงอย่างเดียว ถ้ามีการดำเนินการศึกษาวิธีการทำงานและมีการออกแบบวิธีการทำงานอาจจะช่วยลดรอบเวลาการผลิตของกระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียม และโรงงานอาจไม่จำเป็นต้องมีการทำงานนอกเวลา
- กระบวนการผลิตวงล้ออลูมิเนียมมีการใช้เครื่องจักรในการผลิตเป็นส่วนใหญ่ หากมีการนำวิธีการจัดกลุ่มการผลิตแบบเซลล์ (Cellular Manufacturing) เพื่อจัดกลุ่มเครื่องจักรเป็นเซลล์อาจจะช่วยลดจำนวนคนงาน รวมไปถึงช่วยให้สมดุลการผลิตมีประสิทธิภาพ และช่วยให้มีกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้น เพราะมีการลดการขนถ่ายและการรวมงานของเครื่องจักรได้

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Industry Team. (2564). แนวโน้มธุรกิจและอุตสาหกรรมไทย ปี 2564-2566. สืบค้นเมื่อ 4 มกราคม 2565, จาก <https://www.krungsri.com/th/research/industry/summary-outlook/industry-summary-outlook-2021-2023>
- [2] ปฐมชัย พิเชิตผจญกิต. (2561). การปรับปรุงกระบวนการผลิตแชสซีส์ของโรงงานประกอบรถบรรทุก. วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 25(2), 55-66.
- [3] ยุทธณรงค์ จงจันทร์. (2555). การจัดสมดุลสายการผลิตเพื่อลดความสูญเสียเปล่าในกระบวนการผลิตรองเท้า. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปี พ.ศ. 2555, 289-296. ชะอำ เพชรบุรี, วันที่ 17-19 ตุลาคม 2555.
- [4] ยุทธณรงค์ จงจันทร์ และคณะ. (2560). การปรับปรุงกระบวนการประกอบชุดจับยึดที่นั่งของรถยนต์ โดยใช้หลักการสมดุลสายการผลิต. วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมไทย 3(2), (กรกฎาคม-ธันวาคม), 37-46.
- [5] ธนพร ศรีสว่างวงศ์, และนันทกฤษณ์ ยอดพิจิตร. (2559). การปรับปรุงงานในโรงงานผลิตรถยนต์. วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมไทย 2(3), (กรกฎาคม-ธันวาคม), 33-40.
- [6] Nguyen Thi Lam และคณะ. (2016). Lean Line Balancing for an Electronics Assembly Line. Procedia CIRP, 40, 437-442.

Characteristics of Probiotics Lactic acid Bacteria Isolated from Prebiotic Garlic Fermented in Kombucha

Duongruitai Nicomrat^{1*} Patarika Soongsombat¹ and Niphaporn Panya¹

¹Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

*E-mail: Duongruitai.n@rmutp.ac.th

Abstract

Probiotics are living microorganisms that provide health benefits when consumed in appropriate amounts. They are widely used in the food industry to create fruit and vegetable juice products that are not only flavorful, but also offer functional benefits. Recently, there has been a growing interest among health-conscious consumers in products resulting from the fermentation of pro-prebiotics. In this study, the researchers aimed to investigate the characteristics of lactic acid bacteria isolated from garlic fermentation using kombucha. Garlic peels and cloves are utilized as the main sources of garlic for fermentation. The physicochemical properties and antimicrobial activities of these bacterial isolates were assessed to better understand their functional components. Factors such as pH, total acidity, polyphenol content, and cell numbers were examined. Interestingly, the variations observed in reducing sugar activity production, pH, and total acidity did not correlate with the potential immunogenic properties and benefits associated with the use of prebiotics and probiotics in fermented kombucha products containing garlic. These findings provide valuable insights for the future application of fermentation broth in various contexts.

Keywords: Probiotics, Prebiotics, Garlic kombucha, Antimicrobial activity

1. Introduction

The use of microbes or their byproducts in numerous industries, food safety, and the treatment of specific diseases have all received attentions recently (Bogdan et al., 2018). The most common type of microorganism used in these applications is now recognized as bacteria (Martyniak et al., 2021). *Lactobacillus* spp., a family of bacteria, are essential probiotics. These bacteria serve as the typical microflora in the mucous membranes of the gastrointestinal and the digestive tract. The ability of *Lactobacillus* spp. to create a variety of advantageous compounds, including organic acids, carbon dioxide, hydrogen peroxide, amino acids, diacetyl, acetaldehyde, and bacteriocins, makes it known for use in the food sector and is safe for usage (Quigley, 2010). By giving a prebiotic alongside other nutrients such as

probiotics, the favorable effects of supplementing with them can be experienced and strengthened. Prebiotics are non-digestible dietary components that support better human health (Quigley, 2010).

Prebiotics are compounds derived from food that are selectively fermented by beneficial bacteria in the gut, promoting health. They have specific criteria to meet, including resistance to digestion in the upper gastrointestinal tract and fermentation by beneficial bacteria in the colon (Delzenne et al., 2011). Garlic (*Allium sativum*), known for its health benefits, contains allicin, an antibiotic compound with antibacterial effects against different types of bacteria. Garlic can be used as a natural prebiotic, enhancing growth performance when included in feed. Fermenting garlic with lactic acid bacteria provides advantages such as increased bioavailability of bioactive sulfur compounds. Naturally occurring prebiotic carbohydrates found in various foods such as kombucha (Kozyrovska et al., 2012) effectively stimulate probiotic growth and contribute to overall health. Lactose, found in mammalian milk, is an example of a prebiotic that, when undigested in the colon, promotes fermentation by bacteria and the production of short-chain fatty acids, balancing the microbial environment. Dairy by-products, like lactose from the cheese industry, contain biologically active components that offer health benefits (Krasaekoopt et al., 2021; Moradi et al., 2021).

Probiotics are live microorganisms that provide health benefits when consumed in sufficient quantities. Although probiotic-rich foods have been part of human diets for centuries, scientific research on their impact on human health and disease treatment has primarily emerged in the last two decades (Martyniak et al., 2021). Numerous *in vivo* and *in vitro* studies have demonstrated that probiotics contribute to lactose digestion, enhance the integrity of the epithelial barrier, prevent or reduce the duration of diarrhea caused by various factors, prevent constipation and allergic reactions, and offer potential therapeutic effects for heart and vascular diseases, upper respiratory tract conditions, and gingival diseases (Drywien et al., 2015). Despite the widespread interest and use of probiotics, comprehensive growth curve data for certain strains are often lacking. Understanding the growth curves of bacteria used in fermented food production is crucial for assessing product quality and designing appropriate processing methods. This knowledge is valuable not only for beneficial and fermentative bacteria but also for pathogenic or spoilage microorganisms. It enables the optimization of production parameters by identifying conditions that either support or inhibit bacterial growth.

In summary, the main objectives of this study were: 1) To isolate and identify lactic acid bacteria from kombucha fermented with garlic cloves and their peels 2) To assess the factors involving the whole garlic fermentations, acting as fermented procedures developed for supporting the condition of prebiotic isolated lactic acid producing bacteria and promoting the growth and activity of probiotic bacteria. 3) To determine the inhibitory effects from isolated *Lactobacillus* bacteria with prebiotics, such as garlic fermentation broth, for their potent against pathogens as well as beneficial bacteria.

2. Materials and Methods

Isolation and identification of *Lactobacillus* isolates

In our lab, kombucha was prepared by fermenting commercial dried black tea (Assam black tea, Chatramue brand) for 20 days. The filtrate was taken and inoculated with garlic from a local market. After 25 days, cultured *Lactobacillus* spp. were isolated by incubating a 1 ml sample in 10 ml of MRS broth at 37°C for 24 hours. Serial dilutions were prepared and streaked onto MRS agar with 1% calcium carbonate, followed by incubation at 37°C for 24 hours. Suspected LAB isolates were identified through microscopic examination and biochemical tests. A carbohydrate fermentation test was performed to confirm *Lactobacillus* species using sterilized MRS broth with different sugars and 0.004% chlorophenol red reagent. Gelatin medium agar detected gelatin liquefaction in tubes, where 1% of LAB isolates were incubated at 37°C for 48 hours, followed by refrigeration at 4°C for 30 minutes to assess gelatin hydrolysis (Păcularu-Burada & Bahrim, 2021).

Acid production test

In the procedure, tubes containing 10 ml of litmus milk medium were inoculated with 1% of the suspected bacterial culture and incubated at 37°C for 48 hours. The purpose was to detect color change, crude production, and pH decrease as positive results. Additionally, tubes containing 10 ml of MRS broth were inoculated with 1% of the isolated lactic acid bacterial culture and incubated at 15°C and 45°C for 24 hours. After incubation, the growth in the tubes was observed and compared to the control (Bogdan et al., 2018).

Growth Curve Measurement of *L. acidophilus* isolate grow in MRS

The impact of garlic kombucha broth as a prebiotic on the growth of isolated lactobacilli were determined by measurement of the isolated *L. acidophilus* growth curve. Initially, 200 ml of MRS broth was inoculated with a 2 ml culture of lactobacilli. The culture was then incubated in a shaker incubator under anaerobic conditions at 180 rpm and 37°C. Optical density readings were taken using a spectrophotometer at a wavelength of 600 nm at the time of inoculation and every 2 hours for a duration of 24 hours. The experiment was repeated using MRS broth supplemented with garlic fermentation broth as a prebiotic substance at three different concentrations (10%, 20%, and 30% v/v). The probiotic *Lactobacillus* isolates were inoculated into the different concentrations of prebiotic broth to determine the most effective concentration for enhancing the activity of the probiotic bacteria *Lactobacillus* spp. (Bogdan et al., 2018).

Inhibitory Activity of lactic acid producing bacterial isolates against pathogenic test bacteria

To evaluate inhibitory effects, randomly chosen *Lactobacillus* isolates were tested against *Salmonella typhimurium*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *L. acidophilus*, and *L. bulgaris* using the well diffusion method. First, *L. acidophilus* was cultured in MRS broth at 37°C for 24-48 hours. The culture was then centrifuged (6,000 rpm, 10 minutes) to collect the supernatant containing bacterial

filtrate, which was further filtered through a 0.22 μ m Millipore filter. Wells were made on nutrient agar, *Lactobacillus* filtrates were added, and after incubation, inhibition zone diameters were measured and compared to the control (Drywien et al., 2015; Krasaekoopt et al., 2003).

Next, the inhibitory effect of *Lactobacillus* isolates cultured in MRS broth mixed with garlic fermentation broth as a prebiotic was investigated. After activating *Lactobacillus* isolates, they were introduced into MRS broth supplemented with varying concentrations of garlic fermentation broth (10%, 20%, and 30% v/v) and incubated at pH 6 and 37°C for 24-48 hours. Following centrifugation at 6,000 rpm for 10 minutes, the cell-free supernatant was obtained, filtered, and used in the well diffusion method (Krasaekoopt et al., 2003). Here, pathogenic bacteria were streaked on nutrient agar plates, wells were created, and the wells were filled with *Lactobacillus* filtrate treated with garlic fermentation broth. Incubation at 37°C for 48 hours was followed by measuring the diameter of inhibition zones to evaluate the inhibitory effect (Drywien et al., 2015).

Measurement of pH and Viable Bacterial Counts in Garlic Fermentation Broth

The garlic fermentation kombucha broth's pH was measured at 25°C, and viable bacterial counts were determined by modifying a previous method (23). After fermenting *Lactobacillus* for a day, 10 ml of broth underwent centrifugation (5,000 g, 10 minutes, 49°C), followed by discarding the supernatant and adding 10 ml of sterile pH 7.2 PBS. Serial 10-fold dilutions were plated on MRS agar, incubated upside down at 37°C for 24 hours, and counted for colony-forming units (CFUs) when ranging between 30 and 100 (Drywien et al., 2015).

Measurement of the Total Polyphenol

Total polyphenols were quantified with slight modifications from earlier work (18, 24). A 0.50 ml dilution (1:50) of garlic fermentation broth received 1.25 ml 10% Folin-Ciocalteu reagent (v/v) and 1 ml 7.50% sodium carbonate solution (w/v), incubated at 45°C for 40 minutes. Absorbance at 765 nm was measured, and total polyphenol content was quantified using gallic acid equivalents as the standard (Bogdan et al., 2018).

Measurement of the Reducing Sugar

The DNS method was used for determining reducing sugar content (Moradi et al., 2021). Initially, 1.00 ml of garlic fermentation broth (diluted 1:400) was mixed with 750 μ l DNS reagent and 100.00 μ l 10% sodium hydroxide solution (w/v), incubated at 100°C for 15 minutes, cooled, and absorbance measured at 540 nm. Reducing sugar content was compared to a glucose standard curve.

Statistical data analysis

Each experiment underwent three repetitions, and the gathered data was digitized. Calculations were executed in Microsoft Excel 2010. Data analysis employed SPSS 25.0 (SPSS Inc., USA) and results were presented as mean \pm standard error.

3. Results and Discussions

Isolation and identification of *Lactobacillus* isolates

Out of the 15 garlic kombucha samples, ten isolates of lactobacilli were obtained on MRS agar. These suspected *Lactobacillus* isolates exhibited colonies surrounded by clear zones, appearing as white to pale in color. The colonies were round, soft, mucoid, convex, and had smooth edges. Gram staining confirmed that the suspected isolates were Gram-positive, appearing as short or long bacilli, grouped in chains containing 3-8 cells, although sometimes they were single. They were non-spore forming and non-motile. Biochemical tests revealed that the suspected *Lactobacillus* isolates caused clot formation and a reduction in pH from 6.5 to 4.5 when grown in litmus milk medium. Additionally, these isolates showed negative results for the catalase, oxidase, and gelatinase tests. They were also unable to produce ammonia from arginine-supplemented medium, as indicated by no color change after the addition of Nessler reagent, although not all species exhibited this trait.

Moreover, all isolates did not grow on nutrient agar. Some isolates showed growth at 4.5 °C, while others grew at 15°C. The ten *Lactobacillus* species isolates (GK11, GK20, GK25, GK26, GK32, GK41, GK46, GK67, GK69, and GK81) demonstrated varying capabilities to ferment different carbohydrate sources. Based on their fermentation patterns, isolates that fermented all sugars except mannitol were identified as *L. fermentum*. Isolates that fermented all sugars except maltose, mannitol, and lactose were classified as *L. brevis*. Isolates unable to ferment xylose and mannitol but fermenting other sugars were identified as *L. acidophilus*. Consequently, three isolates were identified as *L. acidophilus*, four isolates as *L. fermentum*, and three isolates as *L. brevis*. *L. acidophilus* isolates were selected to investigate their effects on pathogenic bacteria, both before and after the addition of a prebiotic material (data not shown, personal communication).

Growth of *Lactobacillus* isolates of garlic fermentation broth

To determine the growth characteristics of the selected *L. acidophilus* isolates, their growth patterns were examined in MRS broth alone and in MRS broth supplemented with garlic fermentation broth as a prebiotic. When the bacterium was inoculated into fresh MRS broth, it exhibited a typical growth curve. The lag phase was observed to last approximately 2.5 hours, during which there was no significant increase in cell number. This phase is associated with cellular preparations for DNA synthesis and the production of enzymes required for cell division and reproduction. Following the lag phase, the log phase occurred, characterized by a rapid increase in cell number. Logarithmic growth was evident for the first 9 hours, after which the growth rate slowed down, eventually reaching a stationary stage after 24 hours (Bogdan et al., 2018).

The effect of garlic fermentation broth as a prebiotic substance on the growth of *Lactobacillus* isolates was examined by analyzing the growth curve of the isolate in MRS broth supplemented with 10% garlic fermentation broth. Most bacterial isolates showed enhanced growth when propagated in MRS broth containing 10% and 30% garlic fermentation broth, with a lag phase lasting approximately 2 hours. The results, illustrated in Figures 1, indicated an increase in the growth of *Lactobacillus* isolates with the

addition of garlic fermentation broth as a prebiotic substance. Notably, there was no significant difference in the growth curve between 20% and 30% garlic fermentation broth concentrations.

Overall, when comparing the growth of *Lactobacillus* isolates before and after the addition of garlic fermentation broth, it was observed that the growth curve was enhanced with 20% and 30% garlic fermentation broth concentrations. This enhancement in growth may be attributed to the composition of garlic and its active compounds, such as fructooligosaccharides (FOS) (Martyniak et al., 2021). These components, when added to the medium, can influence the growth behavior of lactic acid bacteria (Bogdan et al., 2018; Drywien et al., 2015).

Inhibitory Activity of *Lactobacillus* isolates against pathogenic test bacteria

The inhibitory activity of selected *Lactobacillus acidophilus* was evaluated using the well diffusion method. The bacterial filtrates obtained after propagation in MRS broth for incubation periods of 24-48 hours were used against the tested pathogenic bacteria. Wells were created on nutrient agar plates that were previously cultured with the pathogenic bacteria, and the wells were filled with the lactic acid bacterial filtrate. It was observed that the *L. acidophilus* isolate exhibited the highest inhibitory activity when grown in liquid medium for all incubation periods. The maximum inhibition zone diameter reached 14mm, which can be attributed to the broad-spectrum inhibitory effect of MRS broth against both Gram-positive and Gram-negative bacteria, including *Lactobacillus* spp. (14). **Table 1 and Figure 1** present the inhibitory effect of the isolated lactic acid bacterial filtrate. It was also noted that a prolonged incubation period of 48 hours resulted in the best inhibitory effect against the tested bacteria, with an inhibition zone diameter of 13.5mm for *S. typhimurium* and 10.2 mm for *P. aeruginosa*, respectively. However, the inhibition zones for *B. subtilis* and *E. coli* showed a decrease in inhibitory effect, with inhibition zone diameters ranging from 4-5mm. Based on the positive results of the inhibition effects, the effective isolates of lactic acid bacteria were selected and are represented in **Table 1** as GK11, GK20, GK25, GK26, GK32, GK41, GK46, GK67, GK69, and GK81.

Table 1. Inhibitory Activity of Unconcentrated Filtrate of isolated GK 1-10 against tested bacteria after culturing in MRS broth for 48 hr.

Inhibition Zone Diameter (mm)										
Pathogenic/ Beneficial species	Isolates of lactic acid bacteria from garlic kombucha									
	GK11	GK20	GK25	GK26	GK32	GK41	GK46	GK67	GK69	GK81
<i>S. typhimurium</i>	13.5±0.72	5.0±0.13	7.5±1.0	12.0±0.45	11.0±0.64	2.3±0.03	1.0±0.07	0±0	2.8±0.04	1.2±0.06
<i>P. aeruginosa</i>	6.5±0.32	2.0±0.09	3.5±0.91	8.5±0.88	10.2±1.0	1.5±0.17	0±0	1.5±0.45	4.3±0.12	0±0
<i>B. subtilis</i>	4.2±0.09	1.6±0.03	4.0±0.38	4.0±0.71	3.9±0.82	1.0±0.04	2.5±0.12	3.7±0.23	3.0±0.17	0±0
<i>E. coli</i>	3.9±0.99	1.8±0.28	2.0±0.30	6.7±1.1	7.0±0.35	1.5±0.71	3.1±0.44	2.8±0.02	2.0±0.33	2.4±0.29
<i>L. acidophilus</i>	0±0.3	1±0.05	0±0	0±0	0±0	0±0	1±0.45	1±0	1±0.04	1±0.05
<i>L bulgaricus</i>	0±0	1±0	0±0	1±0.01	0±0	0±0	1±0	0±0	1±0	1±0.02

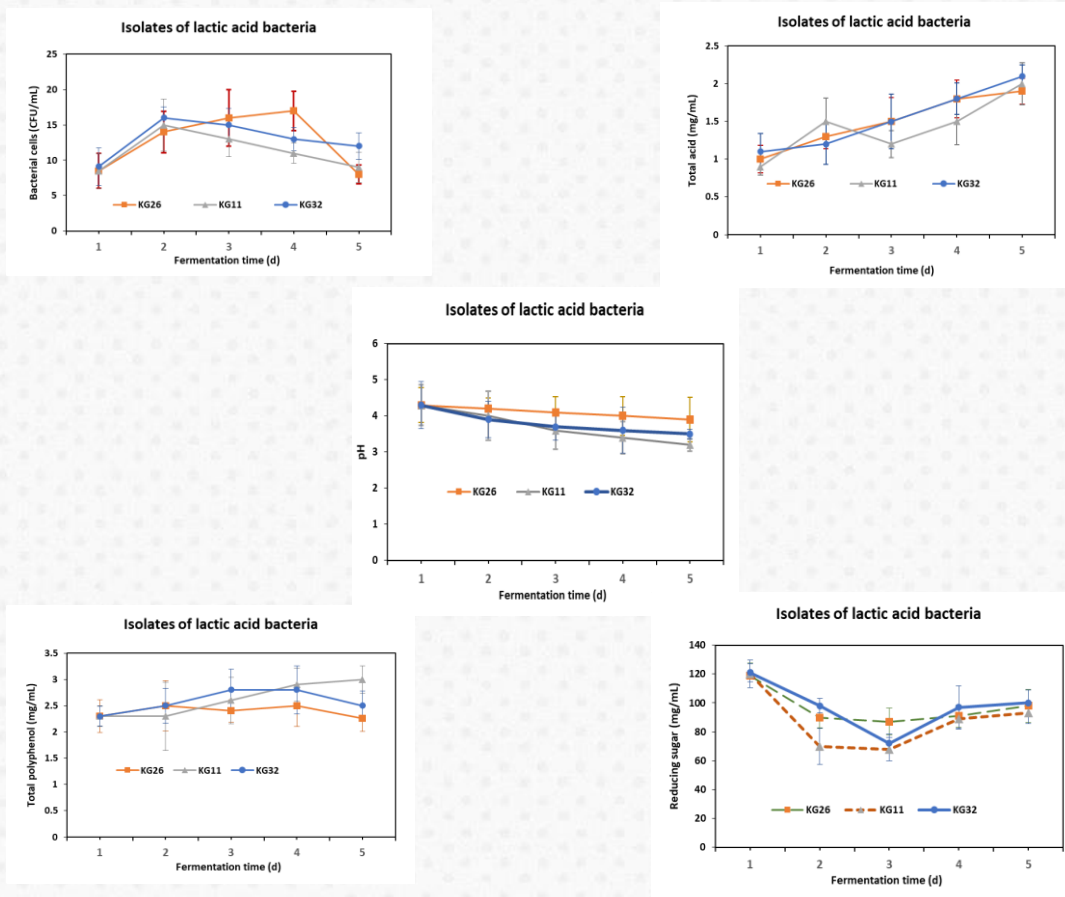


Figure 1. Physio-characteristics of lactic acid bacteria isolated from garlic fermented in kombucha. Their pH, total reducing sugar, total phenolic contents, and bacterial cell counts were represented.

These findings revealed that extending the incubation period to 48 hours did not result in an increase in inhibitory activity; instead, a decrease in activity was observed. This could be attributed to the release of inhibitory substances by the bacterial cells during the prolonged incubation, which led to a decrease in the inhibitory activity of *Lactobacillus* against the pathogenic isolate.

The inhibitory activity of lactic acid bacterial isolates against pathogenic bacteria (*S. typhimurium*, *P. aeruginosa*, *B. subtilis*, and *E. coli*) was assessed using three concentrations of garlic fermentation broth (10-30% v/v) and two incubation periods (24-48 hours). The results depicted in Figure 1 demonstrated that increasing the percentage of garlic fermentation broth from 10% to 30% enhanced the bioactive activity of *Lactobacillus* isolates against the pathogenic bacteria. The inhibition zone diameter ranged between 14-15.5 mm for all incubation periods. Notably, a significant increase in the inhibition zone diameter was observed at 20% and 30% garlic fermentation broth concentration, indicating an increase in inhibitory activity. At a 24-hour incubation period, the inhibition zone diameter reached a range of 18-19 mm against the pathogenic bacteria, and this range remained consistent at the 48-hour incubation period. Similar increases were observed at 30% garlic fermentation broth concentration for both 24 and 48-hour incubation periods, with inhibition zone diameters ranging between 18-19 mm against the pathogenic

bacteria. Furthermore, the pH, reducing sugar contents, and polyphenols of the bacterial isolates corroborated the effectiveness of both prebiotics and probiotics.

In summary, the findings demonstrated that isolates cultured in MRS broth enriched with 20% garlic fermentation broth for 48 hours displayed enhanced antibacterial effects compared to those cultivated in 10% garlic fermentation broth. Similar effects were observed as with 30% garlic fermentation broth against the pathogenic bacteria. Moreover, the growth of these isolates as probiotic bacteria, along with the presence of garlic kombucha as a prebiotic material, resulted in increased antimicrobial activities against the pathogenic bacteria. These findings align with previous studies highlighting the preference and fermentation of garlic kombucha by *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* (Bogdan et al., 2018; Kozyrovskaya et al., 2012; Nataraj, et al., 2020; Păcularu-Burada and Bahrim, 2021; Thorakkattuet al., 2022). The prebiotic properties of FOS and galactooligosaccharides, which are present in garlic, contribute to the increased composition of *Lactobacillus* spp. It has been reported that supplementation with prebiotics at 0.1-0.2% can enhance the growth and activity of beneficial bacteria (Quigley, 2012). Based on these results, it can be concluded that prebiotic treatment promotes the growth of *Lactobacillus acidophilus*, especially at the 24-hour incubation period, possibly due to the fructooligosaccharide (FOS) content in garlic, which has a positive effect on the growth of *Lactobacillus acidophilus* bacteria. However, a lesser effect was observed after the 48-hour incubation period and when propagated in MRS without prebiotic treatment, which may be attributed to a significant decrease in pH (less than 3), leading to inhibition of *Lactobacillus* growth and cell hydrolysis (Maguire and Maguire, 2019). Despite the presence of several important components in garlic fermentation broth, its utilization as a prebiotic material in various foods has been limited. The use of condensed (dried) garlic fermentation broth as a prebiotic in different food applications warrants further attention.

4. Conclusions

In conclusion, these lactic acid bacterial isolates exhibited robust growth and demonstrated effective antibacterial activity against Gram-negative bacteria when cultured in a medium containing garlic fermentation broth, which serves as a substrate for supporting probiotic growth and activity. This study also suggests that the growth-promoting effect observed in garlic fermentation with kombucha can be attributed to its probiotic characteristics. The presence of bioactive compounds, particularly allicin, which is a major component of garlic, along with other essential nutrients, can stimulate the growth of probiotic lactic acid bacteria. This, in turn, leads to higher growth rates and enhanced antimicrobial activity, which can help reduce the presence of harmful pathogens. Given the accessibility of garlic and the effectiveness of probiotic lactic acid bacteria, these findings have implications for potential applications in various industrial settings.

5. Acknowledgements

The research team would like to express gratitude for the research funding support from the Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon.

6. References

- [1] Bogdan, M., Justine, S., Filofteia, D. C., Petruta, C. C., Gabriela, L. U. Ț. Ȃ., Roxana, U. E. & Gabriela, L. (2018). Lactic acid bacteria strains isolated from Kombucha with potential probiotic effect. *Romanian Biotechnological Letters*, 23(3), 13592-13598.
- [2] Drywien, M., Frackiewicz, J., Górnicka, M., Gadek, J., & Jalosinska, M. (2015). Effect of probiotic and storage time of thiamine and riboflavin content in the milk drinks fermented by *Lactobacillus casei* KNE-1. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 66(4), 373-377.
- [3] Delzenne, N. M., Neyrinck, A. M., Bäckhed, F., & Cani, P. D. (2011). Targeting gut microbiota in obesity: effects of prebiotics and probiotics. *Nature Reviews Endocrinology*, 7(11), 639-646.
- [4] Krasaekoopt, W., Bhandari, B., & Deeth, H. (2003). Evaluation of encapsulation techniques of probiotics for yoghurt. *International dairy journal*, 13(1), 3-13.
- [5] Kozyrovska, N. O., Reva, O. M., Goginyan, V. B., & De Vera, J. P. (2012). Kombucha microbiome as a probiotic: a view from the perspective of post-genomics and synthetic ecology. *Biopolymers and Cell*, 28(2), 103-112.
- [6] Maguire, M., & Maguire, G. (2019). Gut dysbiosis, leaky gut, and intestinal epithelial proliferation in neurological disorders: towards the development of a new therapeutic using amino acids, prebiotics, probiotics, and postbiotics. *Reviews in the Neurosciences*, 30(2), 179-201.
- [7] Martyniak, A., Medyńska-Przęczek, A., Wędrychowicz, A., Skoczeń, S., & Tomasik, P. J. (2021). Prebiotics, probiotics, synbiotics, paraprobiotics and postbiotic compounds in IBD. *Biomolecules*, 11(12), 1903.
- [8] Moradi, M., Molaei, R., & Guimarães, J. T. (2021). A review on preparation and chemical analysis of postbiotics from lactic acid bacteria. *Enzyme and Microbial Technology*, 143, 109722.
- [9] Nataraj, B. H., Ali, S. A., Behare, P. V., & Yadav, H. (2020). Postbiotics-parabiotics: The new horizons in microbial biotherapy and functional foods. *Microbial cell factories*, 19(1), 1-22.
- [10] Păcularu-Burada, B., & Bahrim, G. E. (2021). Extraction and antioxidant activity assessment of postbiotic exopolysaccharides produced by selected lactic acid bacteria. *Innovative Romanian Food Biotechnology*, 20, 1-16.
- [11] Thorakkattu, P., Khanashyam, A. C., Shah, K., Babu, K. S., Mundanat, A. S., Deliephan, A., & Nirmal, N. P. (2022). Postbiotics: Current trends in food and Pharmaceutical industry. *Foods*, 11(19), 3094.
- [12] Quigley, E. M. (2010). Prebiotics and probiotics; modifying and mining the microbiota. *Pharmacological research*, 61(3), 213-218.

การคัดเลือกสายพันธุ์จิ้งหรีดและวิธีการเตรียมต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม

The selection of cricket varieties and its preparation method on the meat analog product development

เนาวพันธ์ ตลิ่ง^{1*} ปนิตา บรรจงสินศิริ¹ และ ญัฐณิรินทร์ บุรณะสระแก้ว¹

¹ศูนย์เชี่ยวชาญนวัตกรรมอาหารสุขภาพ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ปทุมธานี

*E-mail: nowwapan@tistr.or.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผงจิ้งหรีด 3 สายพันธุ์ ได้แก่ จิ้งหรีดทองลาย (*Acheta domestica*) จิ้งหรีดทองคำ (*Gryllus bimaculatus*) และจิ้งหรีดยักษ์ (*Brachytrypesportentosa*) ที่ผ่านสภาวะการอบแห้งที่แตกต่างกัน แล้วคัดเลือกสายพันธุ์ที่เหมาะสมต่อการนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม โดยศึกษาสภาวะการอบแห้งที่แตกต่างกัน แล้วนำมาทำเป็นผง เลือกผงจิ้งหรีดที่มีคุณสมบัติทางด้านโปรตีนสูงสุดและไขมันต่ำสุดนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากผงจิ้งหรีด โดยการแปรผันระดับผงจิ้งหรีดที่ร้อยละ 6 10 และ 15 โดยน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด คัดเลือกสูตรที่ได้รับคะแนนความชอบจากการประเมินทางประสาทสัมผัสสูงสุดเพื่อวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ผลการทดลองพบว่ากระบวนการอบแห้งจิ้งหรีดโดยต้มน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที บีบเย็นอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 18 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง ส่งผลให้ผงจิ้งหรีดมีปริมาณโปรตีนสูงและปริมาณไขมันต่ำ โดยเฉพาะจิ้งหรีดทองลายมีปริมาณโปรตีนสูงร้อยละ 76.22 และปริมาณไขมันที่ต่ำที่สุดร้อยละ 10.05 จึงนำผงจิ้งหรีดทองลายมาพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมผลการประเมินทางประสาทสัมผัสพบว่าปริมาณผงจิ้งหรีดทองลายที่ร้อยละ 10 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดที่ 5.18 ± 0.75 คะแนน (ระดับความชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง) คุณค่าทางโภชนาการ (100 กรัม) ของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากผงจิ้งหรีด ให้พลังงานทั้งหมด 126.32 แคลอรีปริมาณโปรตีน 18.17 กรัม ไขมัน 4 กรัม แคลเซียม 7290 มิลลิกรัมและเหล็ก 3.51 มิลลิกรัม ดังนั้นมีความเป็นไปได้ที่ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากผงจิ้งหรีดสามารถนำไปต่อยอดเพื่อผลิตจำหน่ายเชิงพาณิชย์ได้

คำสำคัญ: จิ้งหรีด เนื้อเทียมจากผงจิ้งหรีด โปรตีน

Abstract

The objective of this research was to evaluate the chemical composition of crickets powder from 3 cricket types: house cricket (*Acheta domestica*) common black cricket (*Gryllus bimaculatus*) and giant cricket (*Brachytrypesportentosa*). The different drying processes condition of crickets was investigated and made into a powder. The cricket powder, which contains the highest protein and lowest fat content was selected for the development of meat analog product. The different levels of house cricket powder were varied at 6%, 10% and 15% by weight of total ingredient. The formulas that received the highest liking score on sensory evaluation was selected for nutritional analysis. The experimental results showed that of dried crickets were boiled in hot water at 98 °C for 10min, cold pressed, dried at 60°C for 18 hours and 80 °C for 5 hours resulting in having high in protein and low fat of

cricket powder. Particularly, House cricket (*A. domesticus*) had the highest protein content of 76.22% and lowest fat content of 10.05%. House cricket (*A. domesticus*) powder was selected to develop for meat analog product. The sensorial properties revealed that the 10% of house cricket powder gave the highest overall liking score of 5.18 ± 0.75 points (like slightly to like moderately). The nutrition values (100 g) of meat analog-based cricket powder provide total energy 126.32 cal, 18.17 g protein, 4 g fat, 72.90 mg calcium and 3.51 mg iron. Therefore, it is possible the meat analog from cricket powder can be further developed for commercialization.

Keywords: Cricket, Meat analog from cricket powder, Protein

1. บทนำ

จากข้อมูลขององค์การอาหารและการเกษตรของสหประชาชาติ (Food and Agriculture Organization : FAO) ระบุว่าในปี 2050 ประชากรโลกเพิ่มขึ้นมากถึง 9000 พันล้านคนแต่แหล่งของอาหารสำหรับประชากรไม่เพียงพอกับความ ต้องการโดยเฉพาะในกลุ่มของโปรตีนเนื่องจากต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้นของโปรตีนจากสัตว์ความไม่มั่นคงด้านอาหารและอาหาร สัตว์ที่ไม่มีเพียงพอต่อการบริโภค ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการผลิตสัตว์ส่งผลให้เกิดภาวะเรือนกระจกดังนั้นการบริโภค แมลงจึงเป็นทางเลือกของแหล่งอาหารโดยเฉพาะกลุ่มโปรตีนที่ดีต่อสุขภาพ และยังส่งผลดีต่อสิ่งแวดล้อมและการดำรงชีวิต เนื่องจากแมลงมีวงจรชีวิตสั้นกว่าสัตว์อื่นๆ [1] ปี 2018-2023 พบว่าการบริโภคแมลงจากทั่วโลกมีอัตราการขยายตัวร้อยละ 23.8 แมลงที่ได้รับการนิยมนำมาบริโภคมากที่สุดเป็นกลุ่มด้วงและแมลงปีกแข็งร้อยละ 31 ส่วนกลุ่มจิ้งหรีดและตั๊กแตนร้อยละ 13 [2] โดยเฉพาะแมลงจิ้งหรีดมีคุณค่าทางโภชนาการสูงมีปริมาณโปรตีนเฉลี่ยร้อยละ 56.76-68.97 ซึ่งมีโปรตีนที่มากกว่าเนื้อ สุกและไข่ร้อยละ 14.6 และ 13 ตามลำดับ [3,4] อย่างไรก็ตามปัจจุบันลักษณะของการแปรรูปแมลงในประเทศไทยเป็น ลักษณะทอดซึ่งมีการปรุงรสของแมลงไว้ทำให้เกิดความกังวลและไม่มั่นใจที่จะรับประทานการแปรรูปจิ้งหรีด เช่น เป็นผง สกัด เพื่อนำไปใช้ในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น ขนมขบเคี้ยว เลียนแบบเนื้อสัตว์ ซึ่งอาจจะทำให้ผู้บริโภคเกิดการ ยอมรับในการบริโภคแมลงเพิ่มขึ้น โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของจิ้งหรีด 3 สายพันธุ์จาก กระบวนการเตรียมแมลงจิ้งหรีดที่แตกต่างกัน แล้วคัดเลือกสายพันธุ์ที่เหมาะสมต่อการนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมรวมทั้ง วิเคราะห์ข้อมูลโภชนาการของผลิตภัณฑ์เพื่อต่อยอดเชิงอุตสาหกรรมในอนาคต

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การศึกษาการทำแห้งของสายพันธุ์ของจิ้งหรีดที่เหมาะสมต่อการแปรรูปเนื้อเทียม

2.1.1 การเตรียมตัวอย่างแมลงจิ้งหรีด

นำจิ้งหรีด 3 ชนิด ได้แก่ จิ้งหรีดทองลาย (*Acheta domesticus*, A) จิ้งหรีดทองดำ (*Gryllus bimaculatus*, B) และจิ้งโกร่ง (*Brachytrypesportentosus*, C) จากฟาร์มอำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา มา ล้างทำความสะอาด และทำแห้งด้วย 4 กระบวนการ ได้แก่ (วิธีที่ 1) อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง (วิธีที่ 2) อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมงและอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที (วิธีที่ 3) ต้ม ในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 98 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที บีบเย็นด้วยเครื่องบีบอัดชนิดสกรู (รุ่น BUO-143536, วีรส) อบแห้ง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 18 ชั่วโมงและที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง และ (วิธีที่ 4) ต้มในน้ำร้อนที่ อุณหภูมิ 98 ± 2 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที บีบเย็น อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมงและอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดผสม และร่อนผ่านตะแกรงละเอียดขนาด 80 เมช ได้แมลงจิ้งหรีด มี ความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 8 โดยน้ำหนักของแห้งและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการวิจัยต่อไป

2.1.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผงจิ้งหรีด

วิเคราะห์องค์ประกอบเคมี ได้แก่ ปริมาณโปรตีนไขมัน ความชื้น เถ้า และใยอาหาร [5]

2.2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากผงจิ้งหรีด

2.2.1 การพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากผงจิ้งหรีดการทดลองงานวิจัยเบื้องต้น (Preliminary test)

พบว่า ขั้นตอนแรกเตรียมส่วนผสมประกอบเจลรวม (บริษัทเมอร์เดียนท์ จำกัด) กับผงจิ้งหรีดทองลาย แปรระดับผงจิ้งหรีด ร้อยละ 6 (A6) 10 (A10) และ 15 (A15) พักไว้ 4 ชั่วโมง ต่อมาชั่งน้ำหนักส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากผงจิ้งหรีด ประกอบด้วย M100 กับผงจิ้งหรีดทองลาย ร้อยละ 55.71 ไฟเบอร์จากพืชตระกูลส้ม (ซิตรีไฟล์ :Citri-Fi, บริษัท ไฟเบอร์สตาร์ จำกัด) ร้อยละ 13.95 เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (บริษัท 3 เอส ฟู้ด ซัพพลาย จำกัด) ร้อยละ 14.13 พีโปรตีน (บริษัท กรุงเทพเคมี จำกัด) ร้อยละ 7.22 เครื่องปรุงรส (หอมใหญ่, ผงกลี้นรสเนื้อ (บริษัท เดอะไมท์ดี จำกัด) และ พริกไทยดำ (ตรามือที่ 1) ร้อยละ 4.55 โกล์บัตเตอร์ (บริษัท พีโอโก้ โลฟ จำกัด) ร้อยละ 2.78 ผงปีทูล (บริษัท พีโอโก้ โลฟ จำกัด) ร้อยละ 0.28 และน้ำเย็น นำมาผสมด้วยเครื่องผสมอาหารรุ่น HOM-156818 นาน 3 – 4 นาที พักไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที และนำมาขึ้นรูปเป็นรูปทรงกลมแบน น้ำหนักชิ้นละ 50 กรัม หนาประมาณ 1.5 เซนติเมตร เก็บรักษาแช่แข็งที่อุณหภูมิ (-18)-(-20) องศาเซลเซียส ก่อนการวิเคราะห์นำมาละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ (4-10 องศาเซลเซียส) ส่วนการประเมินทางประสาทสัมผัส นำมาอย่างที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที

2.2.2 การวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากผงจิ้งหรีดก่อนย่าง

วิเคราะห์ปริมาณความชื้น โปรตีนไขมันตามวิธี AOAC (2000) และวิเคราะห์ค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี (color reader) ยี่ห้อ Minolta chroma meter รุ่น CR-310 ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งวัดในระบบ CIE Lab (L*, a*, b*) โดยค่า L* แสดงถึงความสว่าง a* แสดงถึงสีแดง (+a*) หรือสีเขียว (-a*) และ b* แสดงถึงสีเหลือง (+b*) หรือสีน้ำเงิน (-b*) วัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

2.2.3 การประเมินทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากผงจิ้งหรีด

ให้ผู้ทดสอบ จำนวน 25 คน ทำการประเมินความชอบของผลิตภัณฑ์ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 7 ระดับ (7-Point hedonic scale) โดยคะแนน 7 หมายถึงชอบมากที่สุดและคะแนน 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุดพร้อมทั้งการประเมินการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากผงจิ้งหรีดหลังย่าง

1. การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์สุดท้ายพร้อมทั้งการประเมินการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ พลังงานทั้งหมด, พลังงานจากไขมัน, ไขมันทั้งหมด, ไขมันอิ่มตัว, โคลเลสเตอรอล, โปรตีน, คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด, ใยอาหาร, น้ำตาล, โซเดียม, วิตามินเอ, วิตามินบี 1, วิตามิน บี 2 , แคลเซียม, เหล็ก, เถ้า และความชื้น(AOAC, 2000) โดย บริษัท อินเทอร์เน็ต เทคโนโลยี เซอร์วิส (ประเทศไทย) จำกัด

2. การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ผลทางสถิติ วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) ยกเว้นการประเมินทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) วิเคราะห์ผลการทดลองโดยหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลและค่าความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปSPSS

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ผลของการศึกษาการทำแห้งของสายพันธุ์ของจิ้งหรีดที่เหมาะสมต่อการแปรรูปเนื้อเทียม

องค์ประกอบทางเคมีของผงจิ้งหรีดแต่ละสายพันธุ์ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ จิ้งหรีดทองลาย *Acheta domesticus* จิ้งหรีดทองดำ *Gryllus bimaculatus* และจิ้งโกร่ง *Brachytrypesportentosus* ที่ผ่านกระบวนการทำแห้ง 4 กระบวนการ ผล

การทดลอง พบว่า (ตารางที่ 1) วิธีที่ 1 ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรตของผงจิ้งหรีดสายพันธุ์ต่างๆ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณโปรตีนของจิ้งหรีดทองลายมีปริมาณสูงที่สุดร้อยละ 71.00 จิ้งหรีดทองคำมีปริมาณโปรตีนน้อยที่สุด ร้อยละ 59.90 ซึ่งปริมาณโปรตีนของจิ้งหรีดทองลายสูงกว่างานวิจัยของ [4] ซึ่งพบปริมาณโปรตีนของจิ้งหรีดทองลาย ร้อยละ 66.83 อาจเนื่องจากอุณหภูมิการอบแห้งที่ต่ำกว่าส่วนวิธีที่ 2 (ตารางที่ 2) พบว่ามีปริมาณองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรตของผงจิ้งหรีดสายพันธุ์ต่างๆ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณโปรตีนของจิ้งหรีดทองลายมีปริมาณสูงที่สุดร้อยละ 64.51 ส่วนวิธีที่ 3 (ตารางที่ 3) มีปริมาณองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า และคาร์โบไฮเดรตของผงจิ้งหรีดสายพันธุ์ต่างๆ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณโปรตีนของจิ้งหรีดทองลายมีปริมาณสูงที่สุดร้อยละ 76.22 ส่วนวิธีที่ 4 (ตารางที่ 4) มีปริมาณองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า ความชื้น และคาร์โบไฮเดรตของผงจิ้งหรีดสายพันธุ์ต่างๆ มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณโปรตีนของจิ้งหรีดทองลายมีปริมาณสูงที่สุดร้อยละ 75.57 จากรูปที่ 1 พบว่า วิธีการทำแห้งที่ 3 ต้มน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ปีบเย็นอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 18 ชั่วโมงและที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง มีปริมาณโปรตีนสูงสุด ร้อยละ 76.22 รองลงมาเป็นผงจิ้งหรีดทองคำที่มีปริมาณโปรตีน ร้อยละ 68.74 และปริมาณไขมันที่ต่ำที่สุด ร้อยละ 10.05 ดังนั้นจึงนำผงจิ้งหรีดทองลายที่ได้จากการเตรียมวิธีที่ 3 ที่ให้ปริมาณโปรตีนสูงและไขมันต่ำมาเป็นวัตถุดิบตั้งต้น สำหรับพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เนื้อเยื่อมต่อไป

ตารางที่ 1 ผลคุณภาพทางเคมีของผงจิ้งหรีดอบแห้งด้วยวิธีที่ 1*

องค์ประกอบทางเคมี (กรัม/100 กรัม ตัวอย่าง)	ผงจิ้งหรีด (สายพันธุ์)		
	ทองลาย	ทองคำ	จิ้งโกร่ง
ปริมาณโปรตีน	71.00±0.22 ^a	59.90±0.28 ^c	60.87±0.37 ^b
ปริมาณไขมัน	14.38±0.01 ^c	21.27±0.01 ^a	16.18±0.01 ^b
เถ้า	4.31±0.22 ^{ab}	4.06±0.08 ^b	4.52±0.03 ^a
ความชื้น ^{ns}	3.48±0.24	3.09±0.14	4.00±1.51
คาร์โบไฮเดรต	6.83±0.42 ^c	11.68±0.24 ^b	14.43±1.11 ^a

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย± SD

^{a-c} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแนวนอน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

* วิธีที่ 1 อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 2 ผลคุณภาพทางเคมีของผงจิ้งหรีดอบแห้งด้วยวิธีที่ 2*

องค์ประกอบทางเคมี (กรัม/100 กรัม ตัวอย่าง)	ผงจิ้งหรีด (สายพันธุ์)		
	ทองลาย	ทองคำ	จิ้งโกร่ง
ปริมาณโปรตีน	64.51±0.17 ^a	61.28±0.08 ^b	60.94±0.29 ^b
ปริมาณไขมัน	20.16±0.01 ^b	20.72±0.01 ^a	16.15±0.01 ^c
เถ้า	4.20±0.04 ^b	4.54±0.15 ^a	4.52±0.06 ^a
ความชื้น ^{ns}	1.60±0.13	5.53±3.36	2.78±0.34
คาร์โบไฮเดรต	9.53±0.09 ^b	7.93±3.28 ^b	15.62±0.72 ^a

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย \pm SD

^{a-c} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแนวนอน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

* วิธีที่ 2 อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง และอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที

ตารางที่ 3 ผลคุณภาพทางเคมีผงจิ้งหรีดอบแห้งด้วยวิธีที่ 3*

องค์ประกอบทางเคมี (กรัม/100 กรัม ตัวอย่าง)	ผงจิ้งหรีด (สายพันธุ์)		
	ทองลาย	ทองคำ	จิ้งโกร่ง
ปริมาณโปรตีน	76.22 \pm 0.25 ^a	68.74 \pm 0.45 ^b	63.97 \pm 0.38 ^c
ปริมาณไขมัน	10.05 \pm 0.01 ^c	12.52 \pm 0.01 ^b	14.15 \pm 0.01 ^a
เถ้า	3.05 \pm 0.13 ^c	3.42 \pm 0.03 ^b	4.34 \pm 0.06 ^a
ความชื้น ^{ns}	2.49 \pm 0.24	2.89 \pm 0.33	2.41 \pm 0.26
คาร์โบไฮเดรต	8.19 \pm 0.37 ^c	12.43 \pm 0.66 ^b	15.14 \pm 0.33 ^a

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย \pm SD

^{a-c} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแนวนอน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

* วิธีที่ 3 ต้มน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที บีบเย็น อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 18 ชั่วโมง และอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง

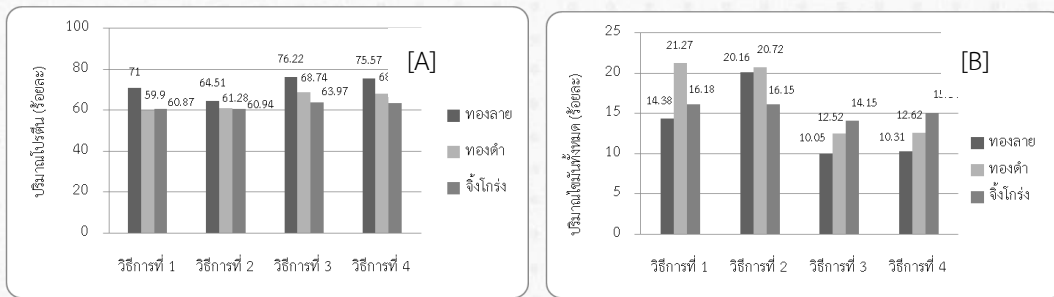
ตารางที่ 4 ผลคุณภาพทางเคมีผงจิ้งหรีดอบแห้งด้วยวิธีที่ 4*

องค์ประกอบทางเคมี (กรัม/100 กรัม ตัวอย่าง)	ผงจิ้งหรีด (สายพันธุ์)		
	ทองลาย	ทองคำ	จิ้งโกร่ง
ปริมาณโปรตีน	75.57 \pm 0.18 ^a	68.16 \pm 0.15 ^b	63.58 \pm 0.60 ^c
ปริมาณไขมัน	10.31 \pm 0.01 ^c	12.62 \pm 0.01 ^b	15.14 \pm 0.01 ^a
เถ้า	3.09 \pm 0.11 ^c	3.45 \pm 0.05 ^b	3.93 \pm 0.17 ^a
ความชื้น	1.95 \pm 0.21 ^b	3.22 \pm 0.24 ^a	1.95 \pm 0.10 ^b
คาร์โบไฮเดรต	9.09 \pm 0.36 ^c	12.55 \pm 0.30 ^b	15.40 \pm 0.35 ^a

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย \pm SD

^{a-c} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแนวนอน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* วิธีที่ 4 ต้มน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที บีบเย็น อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง และอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที

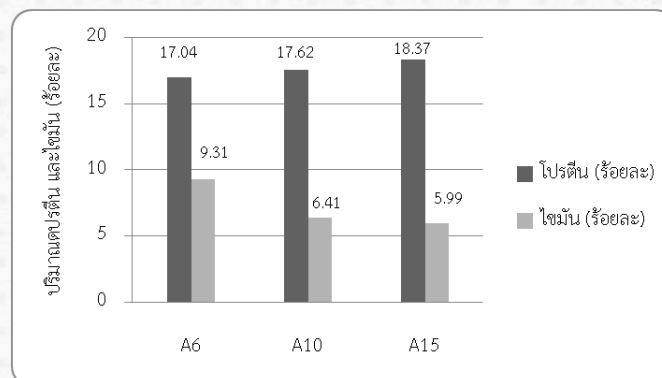


รูปที่ 1 ปริมาณโปรตีน (A) และปริมาณไขมันทั้งหมด (B) ของผงจิ้งหรีด 3 สายพันธุ์จากกระบวนการทำแห้ง 4 วิธี ได้แก่ วิธีที่ 1 อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง วิธีที่ 2 อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง และอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที วิธีที่ 3 ต้มน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที บีบเย็นอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 18 ชั่วโมง และอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง และ วิธีที่ 4 ต้มน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส บีบเย็น นาน 10 นาที อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง และอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที

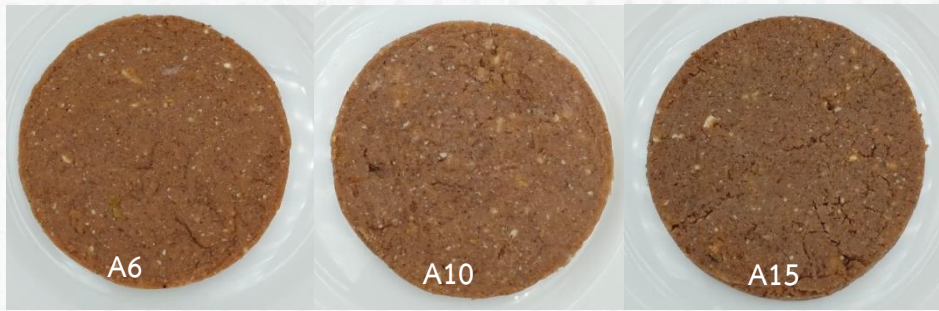
3.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากผงจิ้งหรีด

จากการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนโดยรวมของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากผงจิ้งหรีดทองลาย (A) นั้น พบว่า ปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้นตามร้อยละของผงจิ้งหรีดที่เพิ่มขึ้น โดยผงจิ้งหรีดที่ ร้อยละ 15 (A15) มีค่าโปรตีนมากที่สุดเท่ากับ ร้อยละ 18.37 รองลงมาเป็นผงจิ้งหรีดที่ร้อยละ 10 (A10) เป็นร้อยละ 17.62 และผงจิ้งหรีดที่ร้อยละ 6 (A6) เท่ากับ ร้อยละ 17.04 ตามลำดับ โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ดัง รูปที่ 2 พบว่าปริมาณไขมันลดลงจากร้อยละ 9.31 เป็นร้อยละ 6.41 และ 5.99 ตามลำดับถึงแม้ว่าเพิ่มปริมาณผงจิ้งหรีดมากขึ้น เนื่องจากวัตถุดิบเริ่มต้นของผงจิ้งหรีดทองลายมีปริมาณโปรตีนที่สูง (ร้อยละ 76.22) และไขมันต่ำ(ร้อยละ 10.05)

สีเป็นหนึ่งในคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญในการพิจารณาการยอมรับผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากผงจิ้งหรีดทองลายของผู้บริโภค ซึ่งเมื่อระดับของผงจิ้งหรีดที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อสีของผลิตภัณฑ์ จากผลการทดลองใน ตารางที่ 5 พบว่า ค่า L^* (ความสว่าง) ของ A6 มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จาก A10 และ A15 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนค่า a^* และค่า b^* ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เนื่องจากปริมาณปืทรูทที่ใช้ในการปรับให้มีความเป็นสีแดงคล้ายเนื้อสัตว์เท่ากัน ดังนั้นค่าสีของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากปริมาณผงจิ้งหรีดที่แตกต่างกัน อาจมาจากสีตั้งต้นของผงจิ้งหรีดที่ใส่ในปริมาณที่ต่างกันแสดงดัง รูปที่ 3 ในส่วนของค่าปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากผงจิ้งหรีด พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 69.27-70.60



รูปที่ 2 ปริมาณโปรตีน และปริมาณไขมันทั้งหมด ของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากผงจิ้งหรีด ที่แปรผันปริมาณผงจิ้งหรีดสายพันธุ์ทองลายที่ ร้อยละ 6 (A6) 10(A10) และ15 (A15)



รูปที่ 3 ผลผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากผงจิ้งหรีด ที่แปรผันปริมาณผงจิ้งหรีดสายพันธุ์ทองลายที่ ร้อยละ 6 (A6) 10(A10) และ 15 (A15)

ตารางที่ 5 ผลวิเคราะห์ค่าสี และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมที่แปรผันปริมาณผงจิ้งหรีดทองลาย

ปริมาณผงจิ้งหรีดทองลายในผลิตภัณฑ์ ร้อยละ	ค่าสี			ปริมาณความชื้น ^{ns} (ร้อยละ)
	L*	a* ^{ns}	b* ^{ns}	
6 (A6)	48.78 ± 1.33 ^a	6.74 ± 0.85	11.33 ± 1.94	70.60 ± 1.43
10 (A10)	45.32 ± 0.40 ^b	7.07 ± 0.53	11.91 ± 0.93	70.12 ± 0.15
15 (A15)	44.47 ± 1.52 ^b	5.99 ± 0.38	10.54 ± 0.70	69.27 ± 0.42

หมายเหตุ ^{a-c} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

3.2.1 ผลการประเมินทางประสาทสัมผัส

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากผงจิ้งหรีด (สายพันธุ์ทองลาย) ซึ่งผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้มีลักษณะ แสดงตามรูปที่ 3 ผู้ทดสอบพิจารณาคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส รสชาติและความชอบโดยรวมพบว่า ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมที่เติมปริมาณผงจิ้งหรีดร้อยละ 6 10 และ 15 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในทุกด้าน แต่ผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจากผงจิ้งหรีดร้อยละ 10 (A10) ได้รับการยอมรับสูงสุด (ร้อยละ 80) โดยได้รับคะแนนการยอมรับ 5.18 ± 0.75 คะแนน (ระดับความชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง) ซึ่งเนื่องจากค่าสีความสว่าง (L*) ที่แตกต่างกันด้วยพื้นฐานสีของผงจิ้งหรีดที่มีสีเข้มถึงแม้จะมีการเติมผงบิทรูทในปริมาณที่เท่ากัน (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ผลประเมินคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของเนื้อเทียมจากการแปรผันปริมาณผงจิ้งหรีด (สายพันธุ์ทองลาย)

คุณลักษณะ	ผงจิ้งหรีดสายพันธุ์ทองลาย (ร้อยละ)		
	ร้อยละ 6 (A6)	ร้อยละ 10 (A10)	ร้อยละ 15 (A15)
ลักษณะปรากฏ ^{ns} (คะแนน)	5.50 ± 0.83	5.50 ± 0.76	5.20 ± 0.80
สี ^{ns} (คะแนน)	5.40 ± 0.82	5.58 ± 0.71	5.18 ± 0.96
กลิ่นรส ^{ns} (คะแนน)	4.90 ± 0.80	5.08 ± 0.77	4.78 ± 1.08
เนื้อสัมผัส ^{ns} (คะแนน)	4.68 ± 0.98	4.88 ± 0.89	4.65 ± 1.14
รสชาติโดยรวม ^{ns} (คะแนน)	4.88 ± 0.83	5.10 ± 0.72	4.73 ± 1.02
ความชอบโดยรวม ^{ns} (คะแนน)	4.95 ± 1.05	5.18 ± 0.75	4.85 ± 1.04
การยอมรับ (ร้อยละ)	75	80	65

หมายเหตุ ^{a-c} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแต่ละแถวแนวนอน แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

3.2.2 ผลของคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์สุดท้าย

ผลวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากการเติมจิ้งหรีดผง (สายพันธุ์ทองลาย) ร้อยละ 10 (A10) (ตารางที่ 7) พบว่าผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม (100 กรัม) จากผงจิ้งหรีด ให้พลังงานทั้งหมด 126.32 กิโลแคลอรีมีโปรตีนสูงถึง 18.17 กรัม และมีไขมันทั้งหมดค่อนข้างต่ำที่ 4.00 กรัม

ตารางที่ 7 คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากผงจิ้งหรีดต่อ 100 กรัม

คุณค่าทางอาหารต่อ 100 กรัม	ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากผงโปรตีนจิ้งหรีด
พลังงานทั้งหมด (กิโลแคลอรี)	126.32
พลังงานจากไขมัน (กิโลแคลอรี)	36.00
ความชื้น (กรัม)	70.98
โปรตีน (กรัม)	18.17
เถ้า (กรัม)	2.44
ไขมันทั้งหมด (กรัม)	4.00
ไขมันอิ่มตัว (กรัม)	1.66
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (กรัม)	4.41
น้ำตาลทั้งหมด	ตรวจไม่พบ
ใยอาหาร (กรัม)	4.39
วิตามินเอ (ไมโครกรัม)	ตรวจไม่พบ
วิตามินบี 1 (มิลลิกรัม)	ตรวจไม่พบ
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	0.16
โซเดียม (มิลลิกรัม)	881.60
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	72.90
เหล็ก (มิลลิกรัม)	3.51

3.3 อภิปรายผลการศึกษา

จากผลการทดลองกระบวนการเตรียมผงจิ้งหรีดอบแห้งที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ได้ปริมาณโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตที่ต่างกัน และสายพันธุ์ต่างก็ส่งผลเช่นเดียวกัน โดยพบว่าปริมาณโปรตีนของจิ้งหรีดทองลายมีปริมาณสูงที่สุดร้อยละ 75.57 จากวิธีการทำแห้งที่ 3 ต้มน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที บีบเย็น อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 18 ชั่วโมงและที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมงผงจิ้งหรีดทองลาย มีปริมาณโปรตีนสูงที่สุดร้อยละ 76.22 ซึ่งมีค่าโปรตีนสูงกว่างานวิจัยของ [6] ร้อยละ 14.65 และสูงกว่างานวิจัยของ [7] ร้อยละ 31.45 จึงเลือกผงจิ้งหรีดทองลายที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยวิธีการที่ 3 เพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากจิ้งหรีด

จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากผงจิ้งหรีด พบว่าผลิตภัณฑ์ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสที่ระดับผงจิ้งหรีดร้อยละ 10 สูงสุด (ร้อยละ 80) และเมื่อปริมาณผงจิ้งหรีดเพิ่มขึ้นไม่ได้ส่งผลให้ความชอบโดยรวมเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากกลิ่นรสเฉพาะของจิ้งหรีด สีของผงจิ้งหรีดซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สีเข้มขึ้น และความรู้สึกคายคอรระหว่างกลืน

ผลิตภัณฑ์สอด้ดคล้องกับงานวิจัยของ [8] ที่ศึกษาถึงการเพิ่มปริมาณผงจิ้งหรีดในขนมปังส่งผลให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ลดลง เช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ [9] ที่ศึกษาการทดแทนผงจิ้งหรีดเพิ่มขึ้นในคุกกี้ ส่งผลให้ผู้ทดสอบยอมรับลดลง

จากผลของคุณค่าทางโภชนาการ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าหรือใกล้เคียงกับไข่ไก่ทั้งฟอง และเนื้อสัตว์อื่น ๆ (100 กรัม) เช่น ไข่ เนื้อหมู และเนื้อวัว มีปริมาณโปรตีน 12.9, 18.64, 19.6 และ 20.30 กรัม ตามลำดับ แต่มีปริมาณไขมันต่ำกว่าเนื้อไก่ และเนื้อวัว (100 กรัม) มีค่า 9.7 และ 4.8 กรัม ตามลำดับ [10] กลุ่มเนื้อเทียมจากพืชทางการค้า (100 กรัม) โปรตีนอยู่ระหว่าง 11-20 กรัม [11] ซึ่งสามารถเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกสำหรับผู้บริโภคที่ใส่ใจต่อสุขภาพ

4. บทสรุป

จากการศึกษาวิธีการทำแห้งของสายพันธุ์ของจิ้งหรีดที่เหมาะสมต่อการแปรรูปเนื้อเทียม พบว่า การเตรียมผงจิ้งหรีดด้วยการนำจิ้งหรีดต้มน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที บีบเย็น อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 18 ชั่วโมงและอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง ส่งผลให้ได้ผงจิ้งหรีดทองลาย มีปริมาณโปรตีนสูงสุด ร้อยละ 76.22 และปริมาณไขมันต่ำที่สุด ร้อยละ 10.05 ดังนั้น จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากผงจิ้งหรีด สามารถใช้จิ้งหรีดสายพันธุ์ทองลาย ซึ่งจะให้โปรตีนที่สูงกว่าการใช้จิ้งหรีดสายพันธุ์ทองคำ และสายพันธุ์จิ้งโกร่ง ซึ่งสามารถเติมได้ถึงร้อยละ 10 ทั้งนี้ปริมาณผงจิ้งหรีดที่เพิ่มขึ้น มีผลต่อคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสที่ผู้บริโภคมีต่อผลิตภัณฑ์ลดลง ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าโปรตีนเท่ากับเนื้อหมู และสูงกว่าไข่ไก่และเนื้อไก่สามารถใช้ผงจิ้งหรีดเป็นแหล่งโปรตีนทดแทนได้และพัฒนาต่อยอดแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์จากเนื้อประเภทอื่นๆ ได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยในการสนับสนุนเครื่องมือต่างๆในการวิจัย ภายใต้ทุนสนับสนุนการวิจัยจากกองทุน ววน. สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม (สกว.)

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Huis, V. A., van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G. and Vantomme, P. (2013). Edible Insects: Future Prospects for Food and Feed Security. Ebook. <https://reliefweb.int/report/world/edible-insects-future-prospects-food-and-feed-security>.
- [2] สำนักงานส่งเสริมการค้าในต่างประเทศ. (2563). รายงานตลาดสินค้าอาหารจากแมลง (Edible Insects). ใน สหรัฐอเมริกา. https://oldweb.ditp.go.th/contents_attach/644352/644352.pdf.
- [3] Supakarn, P., Sukanya, S. and Chanidda, W. (2020). Effect of drying conditions and shelf life of crispy cricket product. J. KhonKaen AGR. 48(1) 2020: 1-12. <https://doi.org.10.14456/kaj.2020.1>.
- [4] Thanawut, J. Surawang, S. and Wachirasiri, K. (2021). Chemical composition and optimum condition of protein concentrate extraction from commercial crickets. Thai Journal of Science and Technology. 10(1): 64-73.
- [5] AOAC. (2000). Official Method of Analysis of AOAC International. 17th edition. The Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia.
- [6] Gresiana, F., Marpaung, A. and Sutanto, H. (2015, 25-26 November). Protein Isolation from Cricket (*Gryllus mitratus*). [InProceedings] The International Conference on Innovation, Entrepreneurship and Technology 2015. BSD City, Indonesia.

- [7] Paiko, Y.B., B.E.N. Dauda., M.A.T. Suleiman., H.O. Akanya., and J.O. Jacob. (2013). Physico-chemical properties and metalions content of oil extracted from cricket (*Brachytru pesmembranaceus*) inboscolocal government area of niger state, Nigeria. *J. Asian Journal of Science and Technology* 4(5), 008-012.
- [8] Osimani, A., Milanovic, V., Cardinali, F., Roncolini, A., Garofalo, C., Clementi, F., Pasquini, M., Mozzon, M., Foligni, R., Raffaelli, N., Zamporlini, F., Aquilanti, L. (2018). Bread enriched with cricket powder (*Acheta domesticus*): A technological, microbiological and nutritional evaluation. *Innovative food science & emerging technologies*. 48, 150-163
- [9] พงศ์พิพัฒน์ สนม และ กมลวรรณ แจ่มชัด. (2563). ผลของจิ้งหรีดผง โปรตีนถั่วเหลืองสกัด และแซนแทนกัมที่มีต่อคุณภาพคุกกี้แป้งของข้าว. *วารสารวิชาการและวิจัย มทร. พระนคร*, 14(2), 72-84.
- [10] นันทยา จงใจเทศ (บ.ก.), (2561). ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย. สำนักงานกิจการโรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก.
- [11] Fever.th. (23 สิงหาคม, 2564). 5 แบรินด์ เนื้อหมูจากพืช (plant base) เอาใจสายVegan(วีแกน) เพื่อสุขภาพที่ดี!. <https://food.trueid.net/detail/eq84xlbeK9eq>.

การศึกษาประสิทธิภาพการปลูกข้าวระดับท้องถิ่นด้วยดัชนีพืชพรรณแบบ VARI ของภาพถ่าย จากอากาศยานไร้คนขับ กรณีศึกษา ตำบลท่าหิน อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา

The study of rice planting efficiency by VARI form UAV imagery Case study Thahin subdistrict Songkhla province

ต่อลาภ การปลื้มจิตร์^{1*} ณัฐพล แก้วทอง¹ และ จิรวัดน์ จันทองพูน¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

*E-mail: torlap.k@rmutsv.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นกรนำเสนอวิธีการหนึ่งศึกษาประสิทธิภาพการปลูกข้าวระดับท้องถิ่น ด้วยดัชนีพืชพรรณแบบ VARI โดยพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่นาข้าวแปลงตัวอย่าง 2 แปลง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสมบูรณ์ของพื้นที่ปลูกข้าวในระดับท้องถิ่น ด้วยดัชนีพืชพรรณแบบ Visible Atmospherically Resistant Index หรือ VARI จากภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ และเพื่อประยุกต์เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเพิ่มประสิทธิภาพในการปลูกข้าว ให้สอดคล้องกับแนวคิดเกษตรแม่นยำ โดยประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับร่วมกับการวางจุดควบคุมภาคพื้นดิน 10 จุด ความสูงบิน 150 เมตร ขนาดจุดภาพ 4.09 เซนติเมตร และทำการสร้างแบบจำลองระดับพื้นผิวเชิงเลข และการสร้างภาพตัดแก้เชิงเลข เพื่อวิเคราะห์ด้วยดัชนีพืชพรรณแบบ VARI เพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ของนาข้าว ผลการวิจัยได้ภาพตัดแก้ที่มีค่าความคาดเคลื่อน RMSE ทางทิศตะวันออก 0.393 เมตร ทิศเหนือ 0.223 เมตร และ ค่าระดับความสูง 0.127 เมตร ซึ่งเพียงพอต่อการวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของนาข้าว โดยการคำนวณค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณ VARI โดยจะใช้ช่วงคลื่นสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน เพื่อสร้างภาพผสมสีธรรมชาติที่ใช้ในการคำนวณคะแนนในดัชนีพืชพรรณแบบ VARI โดยค่าจะอยู่ระหว่าง -1 และ +1 และวิเคราะห์ข้อมูลราสเตอร์ด้วยวิธี Zonal statistics แล้วสอบถามข้อมูลจากเกษตรกรที่วัดเป็นร้อยละ ประเมินจากผลผลิตทั้งหมดกับความสมบูรณ์จากดัชนีพืชพรรณ VARI นาข้าวแปลงที่ 1 ค่าดัชนีพืชพรรณ VARI ได้ 0.396 หรือสมบูรณ์ร้อยละ 62 และนาข้าวแปลงที่ 2 ค่าดัชนีพืชพรรณ VARI เฉลี่ยได้ 0.433 หรือสมบูรณ์ร้อยละ 75 และข้อมูลจากเกษตรกรคือค่าความสมบูรณ์ โดยแปลงที่ 1 ได้ 340 กิโลกรัม/ไร่ หรือร้อยละ 68 และแปลงที่ 2 ได้ 355 กิโลกรัม/ไร่ หรือร้อยละ 71 ของการเก็บเกี่ยวซึ่งให้ค่าคะแนนเต็มคือ 500 กิโลกรัม/ไร่ สำหรับพื้นที่ปลูกข้าวในภาคใต้ ซึ่งการมีดัชนีพืชพรรณ VARI ช่วยทำให้กับเกษตรกรจัดการกับพื้นที่ได้โดยเพิ่มปุ๋ยและยา

คำสำคัญ: ดัชนีพืชพรรณแบบ VARI อากาศยานไร้คนขับ พื้นที่ปลูกข้าว

Abstract

This paper presents a study of rice planting efficiency at the local level with VARI Vegetation Index. The study area is 2 sample plots of paddy fields. The purpose is to assess the fertility of rice growing areas at the local level with Visible Atmospherically Resistant Index from UAV imagery and to

apply geoinformatics technology increase the efficiency of rice cultivation with the precision agriculture concept. By processing images from UAV with placing 10 GCPs, flying height of 150 m, GSD of 4.09 cm, and DSM and Ortho imagery to be analyzed with the Vegetation Index VARI to assess the abundance of rice fields. The results of the research were corrected with RMSE X of 0.393 m. Y of 0.223 m. and Z of 0.127 m. which are sufficient to analyze the fertility of rice fields by calculating mean vegetation index VARI, using the red, green, and blue wavelengths to create a natural composite image used to calculate the score in the VARI Vegetation Index, with values between -1 and +1, and raster data were analyzed by Zonal method. statistics and asked for information from farmers who measured the percentage of total yield and the abundance of vegetation index VARI. The 1st rice field had a vegetation index VARI of 0.396 or 62% complete and the 2nd rice field had a vegetation index. The average VARI was 0.433 or 75% complete and the data from farmers was the completeness value with plot 1 getting 340 kg./rai or 68% and plot 2 getting 355 kg./rai or 71% of the harvest which gave The full score is 500 kg/rai for the rice plantations in the southern region. Having the VARI Vegetation Index allows farmers to manage their land by adding fertilizers and medicines to their agricultural plots.

Keywords: Vegetation Index VARI, UAV, Rice fields

1. บทนำ

การจัดการพื้นที่นั้นจำเป็นต้องมีข้อมูลเชิงพื้นที่เช่น ข้อมูลภูมิสารสนเทศ ที่มาพร้อมกับข้อมูลอรรถาธิบาย ข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล ภาพถ่ายทางอากาศรายละเอียดสูง แบบจำลองสามมิติ ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญและมีความต้องการพัฒนาพื้นที่ในด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะการพัฒนาด้านเกษตรกรรม ซึ่งในประเทศไทยมีพื้นที่ทำการเกษตรมากกว่าร้อยละ 70 ของพื้นที่ทั้งหมดโดยมีการทำเกษตรกรรมหลากหลายประเภท พื้นที่การเกษตรส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ปลูกข้าว ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจหลักและเป็นสินค้าพื้นฐานที่สำคัญของประเทศ จากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลการเพาะปลูกข้าวของประเทศไทยจากปี พ.ศ. 2547-2561 มีเนื้อที่เพาะปลูกข้าวอยู่ระหว่าง 57-65 ล้านไร่ ผลผลิตข้าวอยู่ระหว่าง 22-25 ล้านตันข้าวเปลือก และผลผลิตต่อไร่ของข้าวไทยอยู่ระหว่าง 427- 440 กิโลกรัม โดยในปี 2555 มีการส่งออกข้าวได้น้อยที่สุด 6.72 ล้านตัน [1] และสถานการณ์การปริมาณผลผลิตข้าวในปีในประเทศไทยมีแนวโน้มผลผลิตเริ่มฟื้นตัวขึ้นหลังจากมีการชะลอตัวลงในตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555 ในขณะที่ประเทศไทยมีผลผลิตข้าวมากเป็นอันดับที่ 6 รองจาก จีน อินเดีย อินโดนีเซีย บังกลาเทศ และเวียดนาม แต่เกษตรกรส่วนใหญ่ก็ยังเป็นแบบรายย่อยมีที่ดินทำนายน้อย รวมถึงระบบการจัดการปัจจัยที่สำคัญต่อการการผลิต ความสมบูรณ์ของแปลงเกษตรยังไม่เอื้ออำนวยทำให้ผลตอบแทนไม่เพียงพอต่อการพัฒนาคุณภาพชีวิตให้ดีขึ้น และยังส่งผลให้เกษตรกรบางรายเปลี่ยนแปลงพื้นที่จากนาข้าวเป็นสวนยางพารา สวนปาล์ม น้ำมัน เพื่อเพิ่มรายได้ให้ครัวเรือนจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจากนาข้าวเป็นเกษตรกรรมรูปแบบอื่นๆ ไปจนถึงการขายที่ดินส่งผลให้เป็นที่ดินรกร้าง

การนำศักยภาพของระบบภูมิสารสนเทศมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาพื้นที่ทางการเกษตรนั้นมากขึ้น การทำงานของระบบแปลงเกษตรอัจฉริยะหรือ Smart Farm ร่วมกับระบบอินเทอร์เน็ตหรือ IOT เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) ตั้งแต่การใช้ภาพถ่ายดาวเทียม การบินถ่ายภาพทางอากาศด้วยเซ็นเซอร์ต่าง ๆ จนถึงปัจจุบันที่มีการนำอากาศยานไร้คนขับหรือ UAV มาใช้ในการเกษตรโดยส่วนใหญ่สำหรับการให้ปุ๋ยและยา โดยทั้งหมดนี้นั้นถูกออกแบบมาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการทำเกษตร การวิเคราะห์จะแบ่งแปลงเกษตรออกเป็นสวน โดยการใช้ปุ๋ย เพื่อให้ได้ผลผลิตที่ดีที่สุดในการราคาที่ถูกที่สุด โดยความสามารถของอากาศยานไร้คนขับจะมีการติดตั้งกล้องแบบสีธรรมชาติหรือ RGB ไปจนถึงอินฟราเรดใกล้

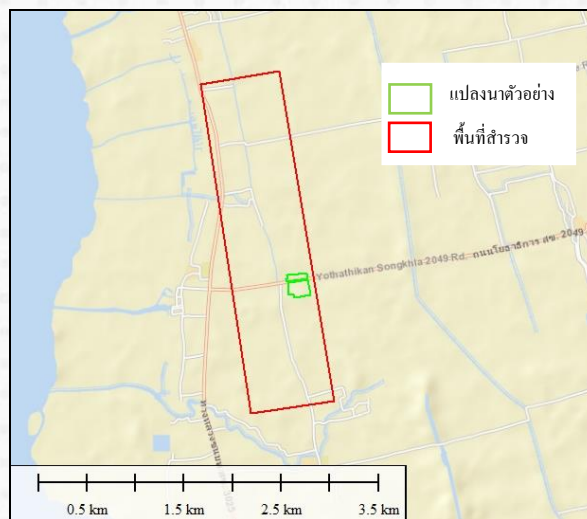
หรือ NIR เพื่อบันทึกภาพได้อย่างรวดเร็วและทันที โดยสามารถนำข้อมูลภาพที่ได้ไปวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของพืชพรรณด้วยดัชนีพืชพรรณ [2]

การประยุกต์ใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลเพื่อประเมินความสมบูรณ์ของพื้นที่เกษตรกรรมนั้นส่วนใหญ่นิยมใช้ดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Index) ที่ผ่านการวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียม ซึ่งในโครงการวิจัยนี้จะใช้ภาพจากอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก โดยมักจะติดตั้งเพียงกล้องสีธรรมชาติ หรือ RGB ไม่มีการติดตั้งเซ็นเซอร์ อินฟราเรด หรือ NIR เข้าไป แต่ข้อมูลภาพแบบ RGB ก็สามารถนำมาวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณได้รูปแบบหนึ่งก็คือ ดัชนีพืชพรรณแบบ VARI หรือ Visible Atmospherically Resistant Index ที่ได้รับการออกแบบและทดสอบเพื่อทำงานร่วมกับเซ็นเซอร์ RGB จาก UAV เป็นการวัดค่าความเขียวของภาพ VARI [3] ไม่ได้มีไว้เพื่อใช้แทนกล้อง NIR แต่เมื่อทำงานกับภาพที่ไม่ใช่ NIR การใช้อัลกอริทึม VARI ทำให้สามารถตรวจวัดความสมบูรณ์ของพื้นที่เพาะปลูก ได้แม่นยำและรวดเร็วทันที เนื่องจากภาพจาก UAV จัดได้ว่าเป็นข้อมูลภาพที่มีความทันสมัยที่สุดในการสำรวจ ข้อมูลภาพที่ผ่านการวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณแบบ VARI สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการจัดการปลูกข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อเพิ่มผลผลิตให้เกษตรกรต่อไป

2. วิธีการวิจัย

2.1 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดพื้นที่ทำการวิจัยคือ พื้นที่นาข้าวแปลงตัวอย่าง 2 แปลง แปลงที่ 1 ขนาด 25 ไร่ และ แปลงที่ 2 ขนาด 14 ไร่ ที่ละติจูด 7 องศา 23 ลิปดา 47 พิลิปดา ลองจิจูด 100 องศา 25 ลิปดา 49 พิลิปดา ศึกษาเรื่องการใช้ ดัชนีพืชพรรณแบบ VARI และพื้นที่นาข้าวทั้งหมดที่มีการใช้น้ำจากคลองอหิตย์ ซึ่งมีความยาวประมาณ 4 กิโลเมตร ในเขตตำบลท่าหิน อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา ซึ่งมีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 4 ตารางกิโลเมตร ซึ่งจะศึกษาการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ทำกินในฤดูเพาะปลูกโดยใช้อากาศยานไร้คนขับและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 พื้นที่ทำการวิจัย ตำบลท่าหิน อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา

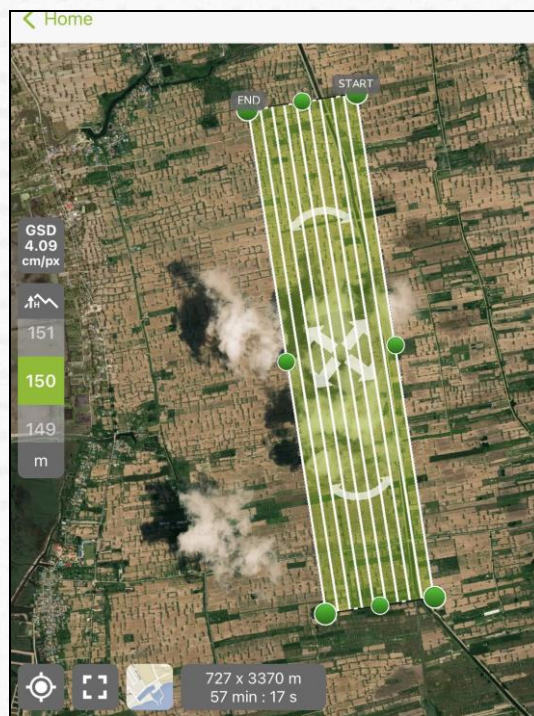
2.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์คือ เพื่อประเมินความสมบูรณ์ของพื้นที่ปลูกข้าวในระดับท้องถิ่นด้วยดัชนีพืชพรรณแบบ VARI จากภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ และเพื่อประยุกต์เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเพิ่มประสิทธิภาพในการปลูกข้าวให้สอดคล้องกับแนวคิดเกษตรแม่นยำ

2.3 การสำรวจและรังวัดภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ

2.3.1 การวางแผนการสำรวจ

กำหนดพื้นที่แปลงนาตัวอย่างที่ประสบปัญหาเรื่องผลผลิต และช่วงเวลาเช้าตั้งท้อง ในพื้นที่ทำการวิจัย เพื่อวางแผนการบินถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับ โดยใช้อากาศยานไร้คนขับยี่ห้อ DJI รุ่น Phantom 4 Pro อัปเดตแผนการบินเข้าสู่แอปพลิเคชัน Pix4D capture โดยกำหนดให้การบิน ที่ความสูง 150 เมตร ส่วนซ้อนด้านหน้าร้อยละ 80 ส่วนซ้อนด้านข้างร้อยละ 70 โดยมีแผนการบินที่ได้โดยบินได้จำนวน 1,244 ภาพ ค่าจุดภาพที่ภาคพื้นดิน (Ground Sampling Distance หรือ GSD) มีค่าเท่ากับ 4.09 เซนติเมตรต่อจุดภาพ ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การวางแผนการบินจากแอปพลิเคชัน Pix4D Capture

2.3.2 การรังวัดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดิน

สร้างจุดควบคุมภาพถ่ายจาก UAV ภาคพื้นดิน โดยเป็นแบบเป่าลวงหน้า เป็นจุดที่ทราบค่าพิกัดในระบบพิกัดของโลกทำให้ภาพมีความถูกต้องเชิงเรขาคณิต โดยเป็นการทำเครื่องหมายในภูมิประเทศก่อนการบินถ่าย (pre -marking) มีความละเอียดถูกต้องสูงสามารถชี้ตำแหน่งชัดได้ง่าย จุดควบคุมแต่ละจุดต้องอยู่ห่างกันไม่เกิน 500 เมตร โดยรังวัดจำนวนจำนวน 5 หมุดต่อ 1 บล็อก ทั้งหมด 10 จุด ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยโครงการนี้จะเลือกใช้วิธีการสำรวจด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ยี่ห้อ Esurvey ด้วยวิธีการ Network RTK เป็นการนำเอาเทคนิคแบบจลน์แบบทันทีหรือ RTK มาคำนวณเป็นโครงข่ายสถานีรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ถาวร โดยรับสัญญาณตลอดเวลาหรือ CORS หลายๆ สถานี เข้าด้วยกัน แบบสถานีอ้างอิงเสมือน (VIRTUAL REFERENCE STATION : VRS) โดยการประมวลผลผ่านศูนย์คอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลค่าปรับแก้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคำนวณค่าพิกัดตำแหน่งที่ถูกต้องและมีความแม่นยำสูงจาก NCDC [4] ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถให้ความถูกต้องเชิงตำแหน่งเพียงพอสำหรับการทำแผนที่ด้วยภาพถ่ายทางอากาศ

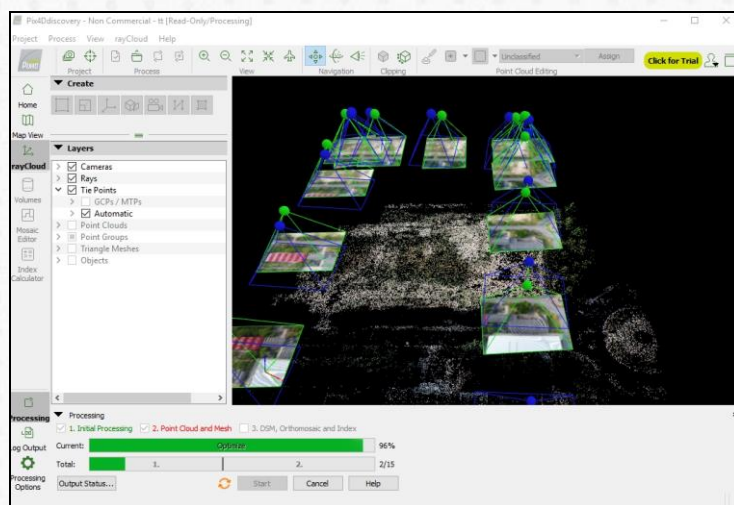


ภาพที่ 3 การรังวัดด้วยดาวเทียม GNSS

2.3.3 การประมวลผลภาพจากอากาศยานไร้คนขับ

โดยหลังจากบินเสร็จนำภาพถ่ายมาเข้าสู่โปรแกรมประมวลผลโดยเริ่มจากการสร้างจุดโยงยึดระหว่างภาพที่ซ้อนกัน การวางตำแหน่งจุดควบคุมภาคพื้นดินบนภาพ การคำนวณปรับแก้ภาพเพื่อค่าความสัมพันธ์ในสมการเส้นตรง โดยนำมาประมวลผลด้วยโปรแกรม Pix4d Mapper โดยข้อมูลภาพถ่ายในโครงการนี้มีทั้งหมด 1,244 ภาพแบ่งเป็น 2 บล็อก นำเข้าสู่กระบวนการรังวัดภาพเชิงเลขโดยเริ่มจากการเชื่อมต่อภาพด้วยจุดโยงยึดหรือ key points ในโปรแกรมระหว่างภาพที่ซ้อนกัน

จากนั้นทำการรังวัดจุดควบคุมภาคพื้นดินหรือ GCPs ไปยังภาพทุกภาพที่จุด GCP นั้นๆปรากฏอยู่ เพื่อจะนำภาพในโครงการไปปรับแก้โครงข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศโดยอาศัย การปรับแก้บล็อกลำแสง (bundle block adjustment) ซึ่งจะทำให้ข้อมูลจากการประมวลผลออกมามีระบบพิกัดเดียวกับจุดควบคุมภาคพื้นดินคือ WGS 84 / UTM zone 47N โดยค่าพิกัดของจุดควบคุมภาคพื้นดินซึ่งหลังจากทำการรังวัดจุดควบคุมภาพถ่ายและทำการปรับแก้แล้วจะได้ความเคลื่อนไหวในการรังวัดจุดควบคุมซึ่งความคลาดเคลื่อนที่ได้เป็นไปตามมาตรฐานการทำแผนที่ด้วยอากาศยานไร้คนขับ หลังจากปรับแก้โครงข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศเรียบร้อยแล้วจะนำภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ มาสร้างจุดพิกัดสามมิติและ Mesh โดยการใช้เครื่องมือ “point cloud and mesh” ซึ่งจุดเหล่านี้จะเป็นตัวแทนของพิกัดในภูมิประเทศมีการสร้างโครงข่ายเชื่อมโยงกันแต่ละจุดทำให้สามารถสร้าง Mesh [5] ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การประมวลผลภาพ

เสร็จแล้วสร้างข้อมูลแบบจำลองระดับพื้นผิวเชิงเลขหรือ DSM ข้อมูลที่ได้จะนำไปวิเคราะห์พื้นผิวและใช้ในกระบวนการสร้างภาพตัดแก้เชิงเลขหรือ Ortho imagery ซึ่งภาพจะถูกปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความสูงของพื้นที่และความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิตทำให้ค่าพิกัดอ้างอิงพื้นผิวโลกซึ่งอ้างอิงกับจุดควบคุมภาคพื้นดินจากการรังวัด เพื่อนำภาพตัดแก้เชิงเลขไปการวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณแบบ VARI เพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ของนาข้าวต่อไป

2.3.4 การวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณแบบ VARI

เพื่อประเมินความอุดมสมบูรณ์ของนาข้าว โดยใช้ช่วงคลื่นที่ตามองเห็นในการวิเคราะห์ โดยการกำหนดพื้นที่ตัวอย่างสำหรับบริเวณที่นาข้าวที่มีความอุดมสมบูรณ์ ภาพตัดแก้ที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ จะใช้ช่วงคลื่นสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงินเพื่อสร้างภาพผสมสีธรรมชาติที่ใช้ในการคำนวณคะแนนในดัชนีพืชพรรณแบบ VARI ซึ่งเป็นค่าที่แสดงค่าความเขียวของพืชจากผิวใบ และพยากรณ์สุขภาพของพืชในบางกรณี มาจากการคำนวณค่าสี RGB (Red Green Blue) ของภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ จากการคำนวณด้วยดัชนี VARI จะมีค่าระหว่าง -1 ถึง 1 ค่าที่เข้าใกล้ -1 แสดงถึงพืชพรรณมีความเขียวน้อยหรือเป็นที่โล่งหรือไม่มีการเจริญเติบโต โดยประเมินความถูกต้องของการวิเคราะห์ด้วยดัชนีพืชพรรณแบบ VARI ในแปลงนาตัวอย่างโดยเทียบการสำรวจตรวจสอบพื้นที่จริงจากผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ในภาคสนาม โดยให้ผลผลิต 500 กิโลกรัม./ไร่ คือค่าสมบูรณ์ที่สุด ก่อนจะทำแผนที่และระบบ GIS ที่แสดงความสมบูรณ์ของนาข้าวและแนวโน้มการเพาะปลูกข้าวในฤดูเพาะปลูกกับการปล่อนนาข้าวที่สร้าง

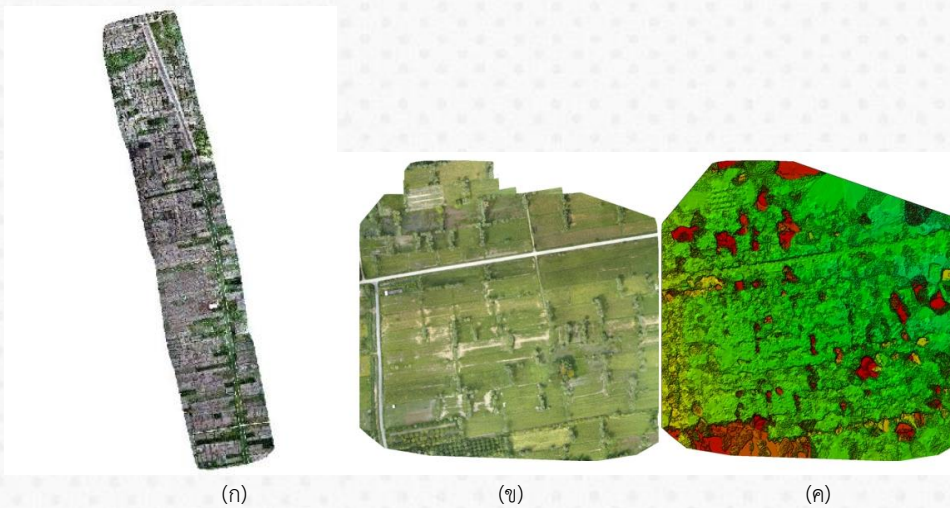
3. ผลการวิจัย

3.1 ผลปรับแก้ภาพและสร้างภาพตัดแก้เชิงเลข

ภาพรวมค่าความคลาดเคลื่อนของจุดควบคุมภาคพื้นดินที่ได้จากค่ากำลังสองน้อยที่สุดของค่า Error ของการวางจุดควบคุมภาคพื้นดิน ซึ่งได้ผลออกมาว่าความคลาดเคลื่อนทางแกน x หรือในแนวทิศตะวันออกมีค่าเฉลี่ยรวม 2.309 เมตร ความคลาดเคลื่อนทางแนวแกน y หรือทางทิศเหนือมีค่าเฉลี่ย 0.523 เมตร และความคลาดเคลื่อนทางแนวแกน z หรือค่าระดับความสูงมีค่าเฉลี่ย 0.227 เมตร ดังตารางที่ 1 ซึ่งสามารถสร้างภาพตัดแก้เชิงเลข โดยการสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่จากการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับโดยได้ข้อมูลภาพตัดแก้เชิงเลข (Ortho imagery) และแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข (DSM) มีความละเอียดจุดภาพเท่ากับ 4.06 เซนติเมตร ซึ่งสามารถนำภาพตัดแก้ไปทำดัชนีพืชพรรณแบบ VARI ได้ ดังแสดงในภาพที่ 5

ตารางที่ 1 ค่าความคลาดเคลื่อนของจุดควบคุมภาพถ่าย

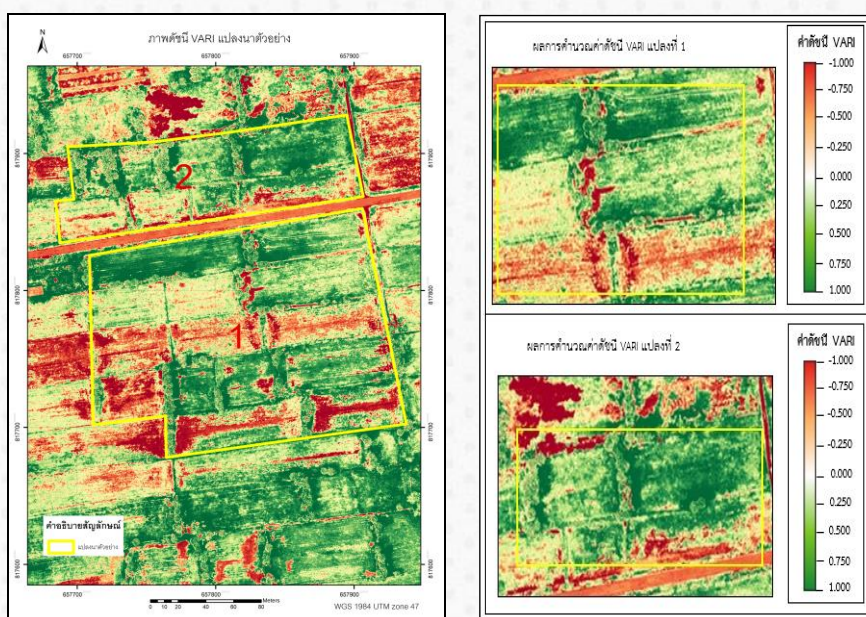
จุดควบคุม	RMSE X (m)	RMSE Y (m)	RMSE Z (m)	Image (pix)
GCP1	-0.4115	0.2086	-0.0675	0.396
GCP2	0.3803	-0.2124	0.0907	0.383
GCP3	0.1993	0.2758	-0.0276	0.942
GCP4	-1.0555	0.2043	-0.0754	0.937
GCP5	1.0591	-0.2148	-0.2059	3.530
GCP6	-0.2126	0.0825	-0.3546	4.049
GCP7	0.6184	-0.1479	0.1401	3.734
GCP8	-0.7158	0.1293	0.4540	2.925
GCP9	0.2063	-0.0276	0.2658	0.542
GCP10	-0.2124	0.4450	0.4825	1.044
เฉลี่ย	0.3930	0.2272	0.1272	2.357



ภาพที่ 5 ข้อมูลเชิงพื้นที่ (ก) ภาพตัดแก้ทั้งโครงการ (ข) ภาพตัดแก้แปลงตัวอย่าง (ค) DSM แปลงตัวอย่าง

3.2 ผลการประเมินความสมบูรณ์ของพื้นที่ปลูกข้าวด้วยดัชนีพืชพรรณแบบ VARI

การสร้างภาพแบบดัชนีพืชพรรณ VARI โดยค่าที่แสดงค่าความเขียวของพืชจากผิวใบ และพยากรณ์สุขภาพของพืช โดยพื้นที่ตัวอย่างแบ่งออกเป็น 2 แปลง ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากการคำนวณค่าดัชนี VARI ผลที่ได้จากการคำนวณจะเป็นภาพโทนสีที่แสดงค่าของดัชนี VARI ซึ่งแต่ละสีจะแสดงค่าตั้งแต่ -1 ไปจนถึง 1 โดยดัชนีเข้าใกล้ -1 แสดงให้เห็นว่าบริเวณนั้นไม่มีการปลูกข้าวและพืชพรรณปกคลุมในพื้นที่สำรวจหรือนาข้าวที่ปกคลุมไม่มีความสมบูรณ์ และสีเขียวจนถึงสีเขียว ค่าดัชนีเข้าใกล้ 1 แสดงให้เห็นว่า บริเวณพื้นที่สำรวจมีนาข้าวมีความสมบูรณ์ ค่าดัชนีพืชพรรณ VARI สามารถบอกถึงความสมบูรณ์ของแปลงนาข้าวได้ โดยนำค่าที่ได้มาเฉลี่ยค่า แปลงนาข้าวที่ 1 ค่าดัชนีพืชพรรณ VARI เฉลี่ยได้ 0.396 คิดเป็นความสมบูรณ์ร้อยละ 62 และแปลงนาข้าวที่ 2 ค่าดัชนีพืชพรรณ VARI เฉลี่ยได้ 0.433 คิดเป็นความสมบูรณ์ร้อยละ 75 ดังแสดงในภาพที่ 6 และข้อมูลจากการลงสนามสอบถามจากเจ้าของนาข้าวพบว่าค่าความสมบูรณ์จากเกษตรกรเก็บเกี่ยวประเมินจากผลผลิตทั้งหมดวัดได้จาก 500 กิโลกรัมต่อไร่ โดยแปลงที่ 1 ได้ 340 กิโลกรัมต่อไร่ คิดเป็นร้อยละ 68 และแปลงที่ 2 ได้ 355 กิโลกรัมต่อไร่ คิดเป็นร้อยละ 71 ซึ่งมีความสอดคล้องกันแสดงให้เห็นว่าดัชนี VARI นั้นสามารถพยากรณ์ความสมบูรณ์ได้



ภาพที่ 6 ดัชนีพืชพรรณแบบ VARI ในแปลงนาข้าวตัวอย่าง

3.3 ผลการติดตามการเปลี่ยนแปลงพื้นที่นาข้าวในช่วงฤดูเพาะปลูก

ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ เมื่อวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่ดินจะแสดงเนื้อที่ของการใช้ประโยชน์ที่ดินในแต่ละประเภท สามารถวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นหรือลดลงในพื้นที่ลักษณะต่างได้ว่าการทำนาในพื้นที่ศึกษามีแนวโน้มอย่างไรในช่วงฤดูเพาะปลูกในปี พ.ศ. 2565 จะเห็นได้ว่านาข้าวที่เป็นพื้นที่หลักบริเวณพื้นที่ศึกษาในเดือนกันยายนหลังฤดูเพาะปลูก พื้นที่นาที่มีการเพาะปลูกมีพื้นที่ร้อยละ 41.3 และนาที่ไม่ทำการเพาะปลูกซึ่งมีลักษณะที่ร้างมีพื้นที่ร้อยละ 9.2 ซึ่งเมื่อเทียบกับก่อนฤดูเพาะปลูกพบว่าพื้นที่นาถูกเปลี่ยนไปทำประโยชน์ที่ดินแบบอื่นร้อยละ 15.6 โดยมีการเพิ่มขึ้นของต้นไม้อื่นๆ ถึงร้อยละ 15 ดังแสดงได้ในแผนที่การเปลี่ยนแปลงพื้นที่นาข้าวในช่วงฤดูเพาะปลูกดังแสดงในภาพที่ 7 แสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มที่เปลี่ยนที่นาไปทำประโยชน์อย่างอื่นมากขึ้น



ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่นาข้าวในช่วงฤดูเพาะปลูก

3.4 อภิปรายผลการศึกษา

ค่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งสามารถนำไปวิเคราะห์ค่าดัชนีพืชพรรณ VARI ต่อไปได้ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ VARI กับการเก็บเกี่ยวของนาข้าวในแปลงตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่าค่าดัชนีพืชพรรณ VARI สามารถบอกถึงความสมบูรณ์ของแปลงนาข้าวได้ดีที่สามารถที่จะบอกความสมบูรณ์ของข้าวได้ การมีดัชนีพืชพรรณ VARI ช่วยเพิ่มผลผลิตให้กับเกษตรกรได้ในระดับหนึ่งโดยเฉพาะการวิเคราะห์ความเขียวของแปลงเกษตรหรือแปลงนาข้าวร่วมกับการให้ปุ๋ย ยา บริเวณที่ถูกต้องยิ่งขึ้น ศักยภาพของภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับโดยการวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่ดิน สามารถวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นหรือลดลงในพื้นที่ลักษณะต่างได้ว่าการทำนาในพื้นที่ศึกษามีแนวโน้มอย่างไร ทำให้ได้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เกษตรกรรมอย่างรวดเร็ว ซึ่งตอบสนองการแก้ปัญหาให้กับเกษตรกรอำเภอหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้ทันที

4. บทสรุป

ภาพจากอากาศยานไร้คนขับจากที่บินด้วยความสูง 150 เมตร ได้ภาพจำนวน 1,244 ภาพ ค่าจุดภาพบนพื้นดิน 4.06 เซนติเมตร มีความคลาดเคลื่อนของจุดควบคุมภาคพื้นดิน 10 จุด ความคลาดเคลื่อน RMSE แนวทิศตะวันออกมีค่าเฉลี่ยรวม 0.393 เมตร แนวทิศเหนือมีค่าเฉลี่ย 0.223 เมตร และทางระดับความสูงมีค่าเฉลี่ย 0.127 เมตร สามารถสร้างข้อมูลภาพถ่าย

แก่เชิงเลข ซึ่งสามารถนำไปดูพื้นที่ของแปลงนาที่เปลี่ยนแปลงในฤดูเพาะปลูกได้ และนำไปวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณ VARI ยังแปลงนาตัวอย่างทั้ง 2 แปลง ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพืชพรรณ VARI กับการเก็บเกี่ยวของนาข้าวในแปลงตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่าค่าดัชนีพืชพรรณ VARI สามารถบอกถึงความสมบูรณ์ของแปลงนาข้าวได้ โดยแปลงนาข้าวที่ 1 ค่าดัชนีพืชพรรณ VARI เฉลี่ยได้ 0.396 คิดเป็นความสมบูรณ์ร้อยละ 62 และแปลงนาข้าวที่ 2 ค่าดัชนีพืชพรรณ VARI เฉลี่ยได้ 0.433 คิดเป็นความสมบูรณ์ร้อยละ 75 ซึ่งข้อมูลจากการลงสนามสอบถามเกษตรกรพบว่าค่าความสมบูรณ์จากเกษตรกรเก็บเกี่ยวประเมินจากผลผลิตทั้งหมดวัดได้จาก 500 กิโลกรัมต่อไร่ โดยแปลงที่ 1 ได้ 340 กิโลกรัมต่อไร่ คิดเป็นร้อยละ 68 และแปลงที่ 2 ได้ 355 กิโลกรัมต่อไร่ คิดเป็นร้อยละ 71 จะเห็นว่าความสมบูรณ์ของแปลงนาแบบดัชนีพืชพรรณ VARI ในช่วงที่ข้าวตั้งท้องนั้น มีความคาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับความสมบูรณ์จากการเก็บเกี่ยว ซึ่งในผลการวิจัยนี้อาจมีปัจจัยอื่นมาเกี่ยวข้องเช่น ปริมาณการเก็บเกี่ยวของเกษตรกรซึ่งค่าผู้วิจัยไม่ได้วัดเอง เป็นต้น ดังนั้นการมีดัชนีพืชพรรณ VARI ช่วยเพิ่มผลผลิตให้กับเกษตรกรได้ในระดับหนึ่งโดยเฉพาะการวิเคราะห์ความเสียหายของแปลงเกษตรหรือแปลงนาข้าวร่วมกับการให้ปุ๋ย ยา บริเวณที่ถูกต้องยิ่งขึ้น

การเปลี่ยนแปลงพื้นที่นาข้าวในช่วงฤดูเพาะปลูก มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมากจากเดิมเป็นนาที่ยังไม่มีการเพาะปลูก เนื้อที่ทั้งสิ้น 1.98 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 66.10 ของพื้นที่ทั้งหมด มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะของการทำนาตามฤดูเพาะปลูกเป็นเนื้อที่ทั้งหมด 1.24 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 41.43 ของพื้นที่ทั้งหมด ขณะเดียวกันพื้นที่นามีการทิ้งที่ดินทำกิน ไม่ได้เริ่มทำการเพาะปลูก เป็นเนื้อที่ทั้งสิ้น 0.28 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 9.2 ของพื้นที่ทั้งหมดและมีการปรับพื้นที่นาไปปลูกไม้ประเภทอื่นประมาณร้อยละ 15 ของพื้นที่ทั้งหมด จากเดิมในช่วงก่อนฤดูเพาะปลูกในปีที่ยังมีนาข้าวที่เนื้อที่ถึงร้อยละ 66.10 ของพื้นที่ ศักยภาพของภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับโดยการวิเคราะห์ภาพถ่าย ทำให้ได้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เกษตรกรรมอย่างรวดเร็ว ซึ่งตอบสนองการแก้ปัญหาให้กับเกษตรกรอำเภอหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้ทันที ซึ่งแนวทางแก้ปัญหาจะเป็นการวิจัยในเรื่องข้าวทนเค็มหรือการวางแผนการจัดเก็บน้ำฝนต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิจัยศึกษาเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพการปลูกข้าวระดับท้องถิ่นด้วยดัชนีพืชพรรณแบบ VARI ของภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ภูมิศึกษา ตำบลท่าหิน อำเภอสังขละ จังหวัดสงขลา คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ นายนราศักดิ์ ชุมแก้ว เกษตรอำเภอสังขละ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการสนับสนุนข้อมูลด้านการเกษตรในพื้นที่คุณนิรัตน์ เสียงอ่อน เกษตรกรแปลงนาตัวอย่างที่ให้ข้อมูลการเก็บเกี่ยวผลผลิต หน่วยวิจัยหน่วยวิจัยการบริหารจัดการน้ำและภูมิสารสนเทศ มทร.ศรีวิชัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการสนับสนุนและจัดทำข้อมูลเชิงพื้นที่ สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ในการใช้เครื่องมือสำรวจ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] วีระศักดิ์ คงฤทธิ์ และ สุวัจน์ เพชรรัตน์. พลวัตเศรษฐกิจข้าวในภาคใต้ของประเทศไทย. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม. 2556.
- [2] ภาณุพันธุ์ โมตรี. การประยุกต์ใช้ดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ในการศึกษาศักยภาพการเพาะปลูกข้าว ในพื้นที่อำเภอเชียงของ จังหวัด เชียงราย. สาขาภูมิศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. 2561.
- [3] Chayhard S., Manthachitra V. and Buranapratheprat A., Application of aerial photography with visible atmospherically resistant index by using unmanned aerial vehicles for seagrass bed classification in Kung Krabaen Bay, Environmental Science, Faculty of Science, Burapha University, Thailand, 2019

- [4] Torlap K., Rodjana K. and Somjai M., Application of Thailand Realtime CORS GNSS Network for UAVs Photogrammetry, INTERNATIONAL SCIENCES, TECHNOLOGY & ENGINEERING CONFERENCE (ISTEC), ADVANCED GEOSPATIAL AND SURVEYING, Malaysia, 2020.
- [5] รัฐพงษ์ ม่วงประโคน. การประเมินภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับสำหรับการประมาณผลผลิตข้าว. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 2562.

แนวทางการพัฒนาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
เพื่อมุ่งสู่มหาวิทยาลัยด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและส่งเสริมนวัตกรรม
สำหรับผู้ประกอบการยุคใหม่

Developed Guidelines of the Faculty of Science and Technology in
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon to Become a University
of Science and Technology and Promote Innovation
for New Entrepreneurs

สุนิสา สายอุปราช^{1*} ขวณิ สุภรัตน์¹ และ ปิยธิดา พันธนะ¹

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

*E-mail: sunisa.sa@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการหาแนวทางสำหรับการพัฒนาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ให้ก้าวเข้าสู่การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อส่งเสริมการสร้างนวัตกรรมเพื่อสร้างผู้ประกอบการรุ่นใหม่ ที่มีความสามารถในการประกอบธุรกิจโดยใช้ระบบเทคโนโลยีสารสนเทศในการผลักดันธุรกิจให้เจริญก้าวหน้า โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลได้แก่ บุคลากร ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จำนวน 30 คนและสถานประกอบการที่เกี่ยวข้องกับการประกอบอาชีพของนักศึกษาทั้งภาครัฐบาลและเอกชนจำนวน 10 แห่ง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือแบบสอบถามจำนวน 2 ชุด ได้แก่ ชุดที่ 1 แบบสอบถามเพื่อใช้สำรวจระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับแนวทางในการพัฒนาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และ ชุดที่ 2 แบบสอบถามสำหรับสถานประกอบการ เพื่อสำรวจความต้องการในการสร้าง และพัฒนาผู้ประกอบการยุคใหม่ที่มีลักษณะตรงตามความต้องการของสถานประกอบการ ผลการวิจัยพบว่าแนวทางการพัฒนาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อก้าวเข้าสู่การเป็นมหาวิทยาลัยด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและนวัตกรรมด้านยุทธศาสตร์ เป้าหมายและนโยบาย พบว่าองค์กรต้องมีเป้าหมายที่ชัดเจน มีวิสัยทัศน์และยุทธศาสตร์ที่กว้างไกลที่จะนำไปสู่องค์กรนวัตกรรม การดำเนินการวิเคราะห์จุดอ่อน และหาจุดแข็งเพื่อการพัฒนาวัตกรรม ดำเนินการจัดการความรู้ด้านการพัฒนาวัตกรรม พัฒนาบุคลากรที่มีความคิดสร้างสรรค์ และสามารถแปลงความคิดสร้างสรรค์นั้นไปเป็นนวัตกรรม และประเด็นสุดท้ายการแสวงหาความร่วมมือในการพัฒนาวัตกรรม มีความสำคัญในระดับมากที่สุดทุกประเด็น นอกจากนี้แนวทางการพัฒนาผู้ประกอบการรุ่นใหม่ที่สำคัญ สรุปได้ว่า ด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรม ประเด็นช่วยเหลือการตั้งต้นธุรกิจโดยใช้เทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพและการทำแผนธุรกิจที่ทันสมัย และการยกระดับผลิตภัณฑ์ ที่ใช้เทคโนโลยี และนวัตกรรมในการผลิต มีความสำคัญระดับมากที่สุด ด้านการส่งเสริมการเข้าถึงแหล่งเงินทุน การที่ผู้ประกอบการรุ่นใหม่สามารถเข้าถึงแหล่งสินเชื่อได้อย่างมีประสิทธิภาพและการให้สิทธิพิเศษทางภาษีอากรแก่ผู้ประกอบการโดยกำหนดระยะเวลาที่เหมาะสมมีความสำคัญระดับมากที่สุด ด้านเสริมสร้างขีดความสามารถผู้ประกอบการรุ่นใหม่ ประเด็นการส่งเสริมให้ผู้ประกอบการรุ่นใหม่ส่งออกสินค้าและบริการไปต่างประเทศ มีความสำคัญระดับมากที่สุด และด้านการพัฒนาไกลเพื่อขับเคลื่อนการส่งเสริมผู้ประกอบการรุ่นใหม่อย่างเป็นระบบ ประเด็นการส่งเสริม

ผู้ประกอบการรุ่นใหม่ให้สามารถเข้าถึง ข้อมูล ความรู้และการพัฒนาตนเองอยู่เสมอ และประเด็น การพัฒนาระบบการ ให้บริการ ด้านที่เลี้ยง ที่ปรึกษา เพื่อสนับสนุน ช่วยเหลือผู้ประกอบการรุ่นใหม่ มีความสำคัญระดับมากที่สุด

คำสำคัญ: แนวทางการพัฒนา, ผู้ประกอบการ, นวัตกรรม, วิทยาศาสตร์เทคโนโลยี

Abstract

The researcher aims to find guidelines for the development of the Faculty of Science and Technology. Let's step into the development of technology to promote innovation to create a new generation of entrepreneurs with the ability to operate business by using information technology to drive business progress. The samples used to collect data were personnel of the Faculty of Science and Technology, 30 people and establishments related to the occupation of students in both government and private sectors, 10 places. The research instruments were 2 sets of questionnaires, including the 1st set, a questionnaire to survey opinions on the development approach of the Faculty of Science and Technology and the second set of questionnaires for enterprises to explore the need for building and develop entrepreneurs in the new era with characteristics that meet the needs of the establishment. The research results showed that the development guidelines for the Faculty of Science and Technology to become a university of science, technology and strategic innovation, goals and policies found that the organization must have clear goals. Have a broad vision and strategy that will lead to an innovative organization implementation of weakness analysis and find strengths for innovation development implementation of knowledge management for innovation development develop creative people and able to convert that creativity into innovation and the last point, seeking cooperation in innovation development. It is most important in every aspect. In addition, the important guidelines for the development of new generation entrepreneurs can be summarized as technology and innovation. Issues to help start a business by using efficient technology and making a modern business plan and product enhancement that uses technology and innovation in production has the highest level of importance promoting access to funding sources the new generation of entrepreneurs have efficient access to credit sources and the provision of preferential tax privileges to entrepreneurs within a reasonable period of time is of the utmost importance. Capacity Building for New Generation Entrepreneurs Encouraging new generation entrepreneurs to export goods and services abroad has the highest level of importance and the development of mechanisms to systematically drive the promotion of new generation entrepreneurs. The issue of promoting new generation entrepreneurs to have access to information, knowledge and self-development. The issue of service system development mentors, consultants to support helping new entrepreneurs has the highest level of importance encouraging new generation entrepreneurs to export goods and services abroad has the highest level of importance and the development of mechanisms to systematically drive the promotion of new generation entrepreneurs. The issue of promoting new generation entrepreneurs to have access to information, knowledge and self-development. The issue of service system development mentors, consultants to support helping new entrepreneurs has the highest

level of importance encouraging new generation entrepreneurs to export goods and services abroad has the highest level of importance and the development of mechanisms to systematically drive the promotion of new generation entrepreneurs. The issue of promoting new generation entrepreneurs to have access to information, knowledge and self-development. The issue of service system development mentors, consultants to support helping new entrepreneurs has the highest level of importance

Keywords: Development Approach/ Entrepreneurship/ Innovation/ Science Technology

1. บทนำ

การจัดกลุ่มสถาบันอุดมศึกษา พ.ศ.2564 ได้มีผลบังคับใช้เป็นกฎหมายโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา เมื่อวันที่ 25 มีนาคม 2564 มีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดการจัดกลุ่มสถาบันอุดมศึกษาเพื่อกำหนดมาตรการส่งเสริม สนับสนุน และประเมินคุณภาพ กำกับดูแลและจัดสรรงบประมาณเพื่อการพัฒนาความเป็นเลิศของสถาบันอุดมศึกษาและการผลิตกำลังคนระดับสูง เฉพาะทาง ตามความต้องการของประเทศ รวมทั้งการพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมให้เกิดผลสัมฤทธิ์อย่างแท้จริง โดยการประกาศการแบ่งกลุ่มสถาบันอุดมศึกษา ให้คำนึงถึงศักยภาพและความพร้อมของคณะวิชาทั้งหมดที่มีอยู่ในสถาบันอุดมศึกษานั้น โดยให้จัดสถาบันอุดมศึกษาเป็นกลุ่ม ดังต่อไปนี้ [1]

- 1) กลุ่มพัฒนาการวิจัยระดับแนวหน้าของโลก
- 2) กลุ่มพัฒนาเทคโนโลยีและส่งเสริมการสร้างนวัตกรรม
- 3) กลุ่มพัฒนาชุมชนท้องถิ่นหรือชุมชนอื่น
- 4) กลุ่มพัฒนาปัญญาและคุณธรรมด้วยหลักศาสนา
- 5) กลุ่มผลิตและพัฒนาบุคลากรวิชาชีพและสาขาจำเพาะ
- 6) กลุ่มอื่นตามที่รัฐมนตรีประกาศกำหนด

โดยคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร มีความพร้อมอยู่ในกลุ่มที่ 2 คือ กลุ่มพัฒนาเทคโนโลยีและส่งเสริมการสร้างนวัตกรรม

เนื่องมาจากประเทศไทยมีความจำเป็นต้องปรับตัวและพัฒนาด้านเศรษฐกิจให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงของโลก ทำให้ต้องพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อสามารถขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศไทยให้เจริญรุ่งเรือง และก้าวทันต่อเศรษฐกิจโลกที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว ดังนั้นสิ่งสำคัญที่สถาบันการศึกษาจะสามารถช่วยให้ประเทศไทยมีเศรษฐกิจที่ดีทัดเทียมนานาประเทศได้ก็คือการจัดระบบการศึกษาให้มีหลักสูตรที่ตรงตามความต้องการของสถานประกอบการ ในยุคปัจจุบัน ซึ่งเทคโนโลยีมีความสำคัญและเข้ามามีบทบาทมากในระบบเศรษฐกิจ นอกจากนี้ ยังต้องสร้างและพัฒนาผู้ประกอบการรุ่นใหม่ (Start-up) [2,6] ให้มีความรู้ ความสามารถ เพื่อขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศไทยให้มีประสิทธิภาพอย่างยั่งยืน โดยกลุ่มผู้ประกอบการรุ่นใหม่ ต้องเป็นผู้ที่มีความรู้ความสามารถในการใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรมในการดำเนินธุรกิจ สร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจและนำพาประเทศไทยก้าวเข้าสู่ประเทศที่มีรายได้มาก ประชาชนในประเทศมีชีวิตความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น และพัฒนาองค์กรให้มีศักยภาพ [7] เติบโตขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งถือได้ว่าเป็นการส่งเสริมให้เศรษฐกิจของประเทศไทยดีขึ้น คณะฯ จึงมีแนวทางในการส่งเสริมและพัฒนาในการเป็นมหาวิทยาลัยด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและนวัตกรรม เพื่อสามารถดำเนินการพัฒนาส่งเสริมผู้ประกอบการรุ่นใหม่ให้สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มทางธุรกิจ อย่างก้าวกระโดด มุ่งยกระดับธุรกิจที่เกิดขึ้นมาใหม่ให้เป็นรากฐานที่ดีทางเศรษฐกิจของประเทศไทย

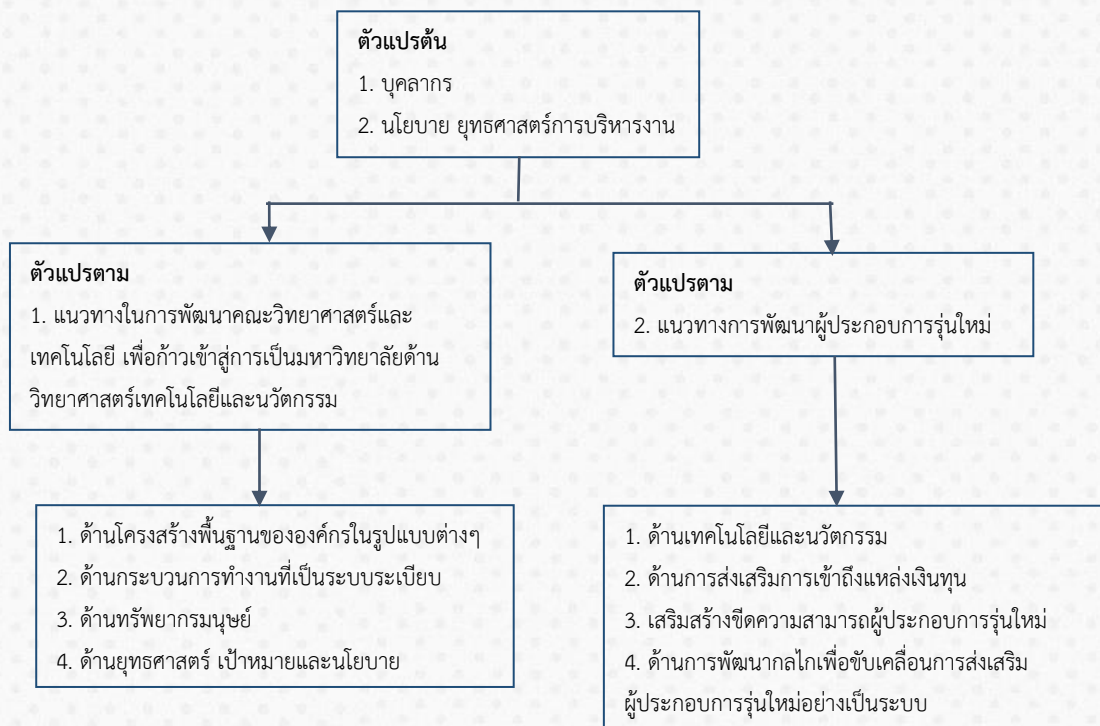
ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีจุดมุ่งหมายในการหาแนวทางสำหรับการพัฒนาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ให้ก้าวเข้าสู่การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อส่งเสริมการสร้างนวัตกรรมเพื่อสร้างผู้ประกอบการรุ่นใหม่ ที่มีความสามารถในการประกอบธุรกิจโดยใช้

ระบบเทคโนโลยีสารสนเทศในการผลักดันธุรกิจให้เจริญก้าวหน้า โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลได้แก่ บุคลากร นักศึกษา ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสถานประกอบการที่เกี่ยวข้องกับการประกอบอาชีพของนักศึกษาทั้ง ภาครัฐบาลและเอกชน และผลการวิจัยที่ได้รับก็คือแนวทางการพัฒนาคณะฯ เพื่อก้าวเข้าสู่การเป็นมหาวิทยาลัยทางด้าน เทคโนโลยีและส่งเสริมการสร้างนวัตกรรมที่เหมาะสมเพื่อสามารถสร้างและพัฒนาผู้ประกอบการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

2.1 กรอบแนวคิดการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้มีประเด็นในการศึกษา 2 ประเด็น ได้แก่ 1. แนวทางในการพัฒนาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อก้าวเข้าสู่การเป็นมหาวิทยาลัยด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและนวัตกรรม และ 2. แนวทางการพัฒนาผู้ประกอบการรุ่นใหม่



2.2 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

กลุ่มที่ 1 บุคลากร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จำนวน 30 คน

กลุ่มที่ 2 สถานประกอบการที่สอดคล้องกับอาชีพที่พึงประสงค์ จำนวน 10 แห่ง

2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แบบสอบถามที่ประกอบด้วยคำถามปลายปิด (Close-Ended Question) และคำถามปลายเปิด (Open-Ended Question) จำนวน 2 ชุด

ชุดที่ 1 แบบสอบถามเพื่อใช้สำรวจระดับความคิดเห็นเกี่ยวกับแนวทางในการพัฒนาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ชุดที่ 2 แบบสอบถามสำหรับสถานประกอบการ เพื่อสำรวจความต้องการในการสร้าง และพัฒนาผู้ประกอบการยุคใหม่ที่มีลักษณะตรงตามความต้องการของสถานประกอบการ

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมทางสถิติ เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ร้อยละ

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

การวิจัยในครั้งนี้มีประเด็นในการศึกษา 2 ประเด็น คือ การศึกษาแนวทางในการพัฒนาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อก้าวเข้าสู่การเป็นมหาวิทยาลัยด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและนวัตกรรมและการศึกษาแนวทางการพัฒนาผู้ประกอบการรุ่นใหม่ โดยสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลได้แก่ ร้อยละ ซึ่งมีผลการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 แนวทางการพัฒนาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อก้าวเข้าสู่การเป็นมหาวิทยาลัยด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและนวัตกรรม

จากการเก็บข้อมูลความคิดเห็นแนวทางในการพัฒนาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อก้าวเข้าสู่การเป็นมหาวิทยาลัยด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและนวัตกรรม สรุปดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางแสดงร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามความคิดเห็นของแนวทางการพัฒนาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อก้าวเข้าสู่การเป็นมหาวิทยาลัยด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและนวัตกรรม

ประเด็น/ด้าน	ระดับความคิดเห็น				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
1. ด้านโครงสร้างพื้นฐานขององค์กรในรูปแบบต่างๆ					
1.1 จัดเตรียมอุปกรณ์เครื่องมือที่จำเป็น และมีเทคโนโลยีที่ทันสมัย	73.33	26.66	-	-	-
1.2 สนับสนุน การรับข้อมูลสารสนเทศต่าง ๆ เพื่อช่วยส่งเสริมให้การทำงานมีประสิทธิภาพ	43.33	43.33	13.33	-	-
1.3 ปรับปรุงสถานที่ ห้องปฏิบัติการเพื่อใช้เทคโนโลยีดิจิทัลสื่อสารนวัตกรรมสู่สังคม	100.00	-	-	-	-
2. ด้านกระบวนการทำงานที่เป็นระบบระเบียบ					
2.1 จัดระบบการทำงานที่มีมาตรฐาน ชัดเจน	50.00	16.66	33.33	-	-
2.2 สร้างการทำงานที่มีระบบระเบียบ มีขั้นตอนที่เหมาะสม มีการประเมินผล รวมถึงมีการแก้ไขจุดบกพร่องเร่งด่วน	33.33	50.00	16.66	-	-
2.3 มีกระบวนการ และการปฏิบัติงานที่เอื้ออำนวยต่อการสร้างนวัตกรรม	80.00	10.00	10.00	-	-
3. ด้านทรัพยากรมนุษย์					
3.1 สร้างวัฒนธรรมที่สนับสนุนนวัตกรรมในองค์กร	30.00	60.00	10.00	-	-
3.2 ส่งเสริมบุคลากรที่มีศักยภาพในการทำงาน มีความมุ่งมั่นในการพัฒนาตนเองและองค์กร	73.33	26.66	-	-	-
3.3 อบรมให้บุคลากรมีทัศนคติที่ดีต่อองค์กร รวมถึงมีวิสัยทัศน์ในการทำงานที่ดี	30.00	60.00	10.00	-	-
3.4 ส่งเสริมบุคลากรในการฝึกอบรมและพัฒนาศักยภาพในการคิดริเริ่มสร้างสรรค์และสร้างนวัตกรรม	90.00	10.00	-	-	-

ประเด็น/ด้าน	ระดับความคิดเห็น				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
3.5 การประเมินผล เพื่อประเมินความสำเร็จของงาน แล้วนำข้อเสนอแนะ มาปรับปรุงแก้ไขให้เกิดประโยชน์สูงสุด กับองค์กร	80.00	10.00	10.00	-	-
3.6 การมีส่วนร่วมของบุคลากรทุกฝ่าย ต้องมีความร่วม แรงร่วมใจ และร่วมมือกันอย่างเต็มที่	90.00	10.00	-	-	-
3.7 สร้างทักษะการสร้างสรรค์นวัตกรรมที่เป็นหนึ่งใน ทักษะของผู้เรียนในศตวรรษที่ 21	90.00	10.00	-	-	-
4. ด้านยุทธศาสตร์ เป้าหมายและนโยบาย					
4.1 องค์กรต้องมีเป้าหมายที่ชัดเจน มีวิสัยทัศน์และ ยุทธศาสตร์ที่กว้างไกลที่จะนำไปสู่องค์กรนวัตกรรม	100.00	-	-	-	-
4.2 ดำเนินการวิเคราะห์จุดอ่อน และหาจุดแข็งเพื่อการ พัฒนานวัตกรรม	100.00	-	-	-	-
4.3 ดำเนินการจัดการความรู้ด้านการพัฒนานวัตกรรม	100.00	-	-	-	-
4.4 พัฒนาบุคลากรที่มีความคิดสร้างสรรค์ และสามารถ แปลงความคิดสร้างสรรค์นั้นไปเป็นนวัตกรรม	100.00	-	-	-	-
4.5 แสวงหาความร่วมมือในการพัฒนานวัตกรรม	100.00	-	-	-	-

จากตารางที่ 1 พบว่าการสำรวจความคิดเห็นของบุคลากร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเรื่องแนวทางการพัฒนาคณะ
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อก้าวเข้าสู่การเป็นมหาวิทยาลัยด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและนวัตกรรม ในแต่ละด้านสรุปได้
ดังนี้ ด้านโครงสร้างพื้นฐานขององค์กรในรูปแบบต่างๆ ประเด็นการปรับปรุงสถานที่ ห้องปฏิบัติการเพื่อใช้เทคโนโลยีดิจิทัล
สื่อสารนวัตกรรมสู่สังคมและประเด็นการจัดเตรียมอุปกรณ์เครื่องมือที่จำเป็น มีเทคโนโลยีที่ทันสมัย มีความสำคัญอยู่ในระดับ
มากที่สุด ด้านกระบวนการทำงานที่เป็นระบบระเบียบ ประเด็นการมีกระบวนการ และการปฏิบัติงานที่เอื้ออำนวยต่อการ
สร้างนวัตกรรม และการจัดระบบการทำงานที่มีมาตรฐาน ชัดเจน มีความสำคัญอยู่ในระดับมากที่สุด ด้านทรัพยากรมนุษย์
พบว่าการสร้างทักษะ การสร้างสรรค์นวัตกรรมที่เป็นหนึ่งในทักษะของผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 การมีส่วนร่วมของบุคลากรทุก
ฝ่าย ต้องมีความร่วมแรงร่วมใจ และร่วมมือกันอย่างเต็มที่ โดยการส่งเสริมบุคลากรในการฝึกอบรมและพัฒนาศักยภาพ ในการ
คิดริเริ่มสร้างสรรค์และสร้างนวัตกรรม มีความสำคัญอยู่ในระดับมากที่สุด สำหรับประเด็นการอบรมให้บุคลากรมีทัศนคติที่ดี
ต่อองค์กร รวมถึงมีวิสัยทัศน์ในการทำงานที่ดี และการสร้างวัฒนธรรมที่สนับสนุนนวัตกรรมในองค์กร ผู้ตอบแบบสอบถามเห็น
ว่ามีความสำคัญอยู่ในระดับมาก และสุดท้ายด้านยุทธศาสตร์ เป้าหมายและนโยบาย พบว่าองค์กรต้องมีเป้าหมายที่ชัดเจน มี
วิสัยทัศน์และยุทธศาสตร์ที่กว้างไกลที่จะนำไปสู่องค์กรนวัตกรรม การดำเนินการวิเคราะห์จุดอ่อน และหาจุดแข็งเพื่อการ
พัฒนานวัตกรรม ดำเนินการจัดการความรู้ด้านการพัฒนานวัตกรรม พัฒนาบุคลากรที่มีความคิดสร้างสรรค์ และสามารถแปลง

ความคิดสร้างสรรค์นั้นไปเป็นนวัตกรรม และประเด็นสุดท้ายการแสวงหาความร่วมมือในการพัฒนานวัตกรรม มีความสำคัญในระดับมากที่สุดทุกประเด็น

3.2 แนวทางการพัฒนาผู้ประกอบการรุ่นใหม่

จากการเก็บข้อมูลความคิดเห็นแนวทางในการพัฒนาผู้ประกอบการรุ่นใหม่จากสถานประกอบการทั้งภาครัฐและเอกชน สรุปดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางแสดงร้อยละของผู้ตอบแบบสอบถามจำแนกตามแนวทางในการพัฒนาผู้ประกอบการรุ่นใหม่

ประเด็น/ด้าน	ระดับความคิดเห็น				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
1. ด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรม					
1.1 ช่วยเหลือการตั้งต้นธุรกิจโดยการใช้เทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพและการทำแผนธุรกิจที่ทันสมัย	80.00	20.00	-	-	-
1.2 สนับสนุนให้สินค้าที่มีเทคโนโลยีและนวัตกรรมของผู้ประกอบการรายใหม่ไทยเข้าสู่ตลาดภาครัฐ	30.00	30.00	40.00	-	-
1.3 ยกระดับผลิตภัณฑ์ ที่ใช้เทคโนโลยี และนวัตกรรมในการผลิต	80.00	20.00	-	-	-
2. ด้านการส่งเสริมการเข้าถึงแหล่งเงินทุน					
2.1 ผู้ประกอบการรุ่นใหม่สามารถเข้าถึงแหล่งสินเชื่อได้อย่างมีประสิทธิภาพ	80.00	20.00	-	-	-
2.2 พัฒนาปัจจัยสนับสนุนการเข้าถึงแหล่งเงินทุน	60.00	40.00	-	-	-
2.3 ให้สิทธิพิเศษทางภาษีอากรแก่ผู้ประกอบการโดยกำหนดระยะเวลาที่เหมาะสม	80.00	20.00	-	-	-
3. เสริมสร้างขีดความสามารถผู้ประกอบการรุ่นใหม่					
3.1 ส่งเสริมให้มีการรวมกลุ่มและการสร้างเครือข่ายทางธุรกิจของผู้ประกอบการรุ่นใหม่	60.00	20.00	20.00	-	-
3.2 จัดตั้งศูนย์บริการขององค์กรส่งเสริมผู้ประกอบการรุ่นใหม่ในเมืองต่างๆ	60.00	20.00	20.00	-	-
3.3 ส่งเสริมให้ผู้ประกอบการรุ่นใหม่ส่งออกสินค้าและบริการไปต่างประเทศ	100.00	-	-	-	-
3.4 วางนโยบายการพัฒนาและสนับสนุนผู้ประกอบการให้มีการวิจัยเพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ สินค้า และบริการอย่างต่อเนื่อง	60.00	20.00	20.00	-	-
4. ด้านการพัฒนาโลกเพื่อขับเคลื่อนการส่งเสริมผู้ประกอบการรุ่นใหม่อย่างเป็นระบบ					
4.1 ส่งเสริมผู้ประกอบการรุ่นใหม่ให้สามารถเข้าถึง ข้อมูลความรู้และการพัฒนาตนเองอยู่เสมอ	100.00	-	-	-	-

ประเด็น/ด้าน	ระดับความคิดเห็น				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
4.2 พัฒนาระบบการให้บริการ ด้านที่เลี้ยง ที่ปรึกษา เพื่อสนับสนุน ช่วยเหลือผู้ประกอบการรุ่นใหม่	100.00	-	-	-	-
4.3 มีการติดตามและประเมินศักยภาพผู้ประกอบการรุ่นใหม่เพื่อให้ได้รับการพัฒนาอย่างเหมาะสม	60.00	20.00	20.00	-	-
4.4 ทบทวน ปรับปรุงกฎหมาย กฎ ระเบียบ สิทธิประโยชน์ เพื่อเอื้อและลดอุปสรรคต่อการ ดำเนินธุรกิจของผู้ประกอบการรุ่นใหม่	60.00	20.00	20.00	-	-

จากตารางที่ 2 พบว่าความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามที่เป็นสถานประกอบการทั้งภาครัฐและเอกชน เกี่ยวกับแนวทางการพัฒนาผู้ประกอบการรุ่นใหม่ที่สำคัญ สรุปได้ว่า ด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรม ประเด็นช่วยเหลือการตั้งต้นธุรกิจโดยการใช้เทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพและการทำแผนธุรกิจที่ทันสมัย และการยกระดับผลิตภัณฑ์ที่ใช้เทคโนโลยี และนวัตกรรมในการผลิต ผู้ตอบแบบสอบถามเห็นว่ามีมีความสำคัญระดับมากที่สุด และการสนับสนุนให้สินค้าที่มีเทคโนโลยีและนวัตกรรมของผู้ประกอบการรายใหม่ไทยเข้าสู่ตลาดภาครัฐเห็นว่ามีมีความสำคัญระดับปานกลาง ด้านการส่งเสริมการเข้าถึงแหล่งเงินทุน ประเด็นที่ผู้ตอบแบบสอบถามเห็นว่ามีมีความสำคัญระดับมากที่สุด ได้แก่ การที่ผู้ประกอบการรุ่นใหม่สามารถเข้าถึงแหล่งสินเชื่อได้อย่างมีประสิทธิภาพและการให้สิทธิพิเศษทางภาษีอากรแก่ผู้ประกอบการโดยกำหนดระยะเวลาที่เหมาะสม ด้านเสริมสร้างขีดความสามารถผู้ประกอบการรุ่นใหม่ ผู้ตอบแบบสอบถามเห็นว่าประเด็นการส่งเสริมให้ผู้ประกอบการรุ่นใหม่ส่งออกสินค้าและบริการไปต่างประเทศ มีความสำคัญระดับมากที่สุด และด้านการพัฒนาโลกเพื่อขับเคลื่อนการส่งเสริมผู้ประกอบการรุ่นใหม่อย่างเป็นระบบ ประเด็นการส่งเสริมผู้ประกอบการรุ่นใหม่ให้สามารถเข้าถึง ข้อมูล ความรู้และการพัฒนาตนเองอยู่เสมอ และประเด็นการพัฒนาระบบการให้บริการ ด้านที่เลี้ยง ที่ปรึกษา เพื่อสนับสนุน ช่วยเหลือผู้ประกอบการรุ่นใหม่ ผู้ตอบแบบสอบถามเห็นว่ามีมีความสำคัญระดับมากที่สุด

4. บทสรุป

เนื่องจากประเทศไทยมีความจำเป็นต้องปรับตัวและพัฒนาด้านเศรษฐกิจให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงของโลก ทำให้ต้องพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อสามารถขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศไทยให้เจริญรุ่งเรือง และก้าวทันต่อเศรษฐกิจโลกที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว ดังนั้นสิ่งสำคัญที่สถาบันการศึกษาจะสามารถช่วยให้ประเทศไทยมีเศรษฐกิจที่ดีทัดเทียมนานาประเทศได้ก็คือการจัดระบบการศึกษาให้มีหลักสูตรที่ตรงตามความต้องการของสถานประกอบการในยุคปัจจุบัน นอกจากนี้ยังต้องสร้างและพัฒนาผู้ประกอบการรุ่นใหม่ (Start-up) ให้มีความรู้ ความสามารถ เพื่อขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศไทยให้มีประสิทธิภาพอย่างยั่งยืน โดยกลุ่มผู้ประกอบการรุ่นใหม่ ต้องเป็นผู้ที่มีความรู้ความสามารถในการใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรมในการดำเนินธุรกิจ สร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจและนำพาประเทศไทยก้าวเข้าสู่ประเทศที่มีรายได้มาก ประชาชนในประเทศมีชีวิตความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีจุดมุ่งหมายในการหาแนวทางสำหรับการพัฒนาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ให้ก้าวเข้าสู่การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อส่งเสริมการสร้างนวัตกรรมเพื่อสร้างผู้ประกอบการรุ่นใหม่ ที่มีความสามารถในการประกอบธุรกิจโดยใช้ระบบเทคโนโลยีสารสนเทศในการผลักดันธุรกิจให้เจริญก้าวหน้า โดยผลการวิจัยที่ได้รับจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติร้อยละความคิดเห็นของบุคลากร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จำแนกตามความ

คิดเห็นของแนวทางการพัฒนาคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อก้าวเข้าสู่การเป็นมหาวิทยาลัยด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และนวัตกรรมพบว่า ด้านโครงสร้างพื้นฐานขององค์กรในรูปแบบต่างๆ ประเด็นการปรับปรุงสถานที่ ห้องปฏิบัติการเพื่อใช้เทคโนโลยีดิจิทัลสื่อสารนวัตกรรมสู่สังคมและประเด็นการจัดเตรียมอุปกรณ์เครื่องมือที่จำเป็น มีเทคโนโลยีที่ทันสมัย มีความสำคัญอยู่ในระดับมากที่สุด ด้านกระบวนการทำงานที่เป็นระบบระเบียบ ประเด็นการมีกระบวนการ และการปฏิบัติงานที่เอื้ออำนวยต่อการสร้างนวัตกรรม และการจัดระบบการทำงานที่มีมาตรฐาน ชัดเจน มีความสำคัญอยู่ในระดับมากที่สุด ด้านทรัพยากรมนุษย์ พบว่าการสร้างทักษะ การสร้างสรรค์นวัตกรรมที่เป็นหนึ่งในทักษะของผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 การมีส่วนร่วมของบุคลากรทุกฝ่าย ต้องมีความร่วมแรงร่วมใจ และร่วมมือกันอย่างเต็มที่ โดยการส่งเสริมบุคลากรในการฝึกอบรมและพัฒนา ศักยภาพ ในการคิดริเริ่มสร้างสรรค์และสร้างนวัตกรรม มีความสำคัญอยู่ในระดับมากที่สุด สำหรับประเด็นการอบรมให้บุคลากรมีทัศนคติที่ดีต่อองค์กร รวมถึงมีวิสัยทัศน์ในการทำงานที่ดี และการสร้างวัฒนธรรมที่สนับสนุนนวัตกรรมในองค์กร ผู้ตอบแบบสอบถามเห็นว่ามีความสำคัญอยู่ในระดับมาก และสุดท้ายด้านยุทธศาสตร์ เป้าหมายและนโยบาย พบว่าองค์กรต้องมีเป้าหมายที่ชัดเจน มีวิสัยทัศน์และยุทธศาสตร์ที่กว้างไกลที่จะนำไปสู่องค์กรนวัตกรรม การดำเนินการวิเคราะห์จุดอ่อน และหาจุดแข็งเพื่อการพัฒนาวัตกรรม ดำเนินการจัดการความรู้ด้านการพัฒนาวัตกรรม พัฒนาบุคลากรที่มีความคิดสร้างสรรค์ และสามารถแปลงความคิดสร้างสรรค์นั้นไปเป็นนวัตกรรม และประเด็นสุดท้ายการแสวงหาความร่วมมือในการพัฒนา นวัตกรรม มีความสำคัญในระดับมากที่สุดทุกประเด็น นอกจากนี้พบว่าความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามที่เป็นสถาน ประกอบการทั้งภาครัฐและเอกชน เกี่ยวกับแนวทางการพัฒนาผู้ประกอบการรุ่นใหม่ที่สำคัญ สรุปได้ว่า ด้านเทคโนโลยีและ นวัตกรรม ประเด็นช่วยเหลือการตั้งต้นธุรกิจโดยการใช้เทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพและการทำแผนธุรกิจที่ทันสมัย และการ ยกระดับผลิตภัณฑ์ ที่ใช้เทคโนโลยี และนวัตกรรมในการผลิต ผู้ตอบแบบสอบถามเห็นว่ามีความสำคัญระดับมากที่สุด และการ สนับสนุนให้สินค้าที่มีเทคโนโลยีและนวัตกรรมของผู้ประกอบการรายใหม่ไทยเข้าสู่ตลาดภาครัฐเห็นว่ามีความสำคัญระดับปาน กลาง ด้านการส่งเสริมการเข้าถึงแหล่งเงินทุน ประเด็นที่ผู้ตอบแบบสอบถามเห็นว่ามีความสำคัญระดับมากที่สุด ได้แก่ การที่ ผู้ประกอบการรุ่นใหม่สามารถเข้าถึงแหล่งสินเชื่อได้อย่างมีประสิทธิภาพและการให้สิทธิพิเศษทางภาษีอากรแก่ผู้ประกอบการ โดยกำหนดระยะเวลาที่เหมาะสม ด้านเสริมสร้างขีดความสามารถผู้ประกอบการรุ่นใหม่ ผู้ตอบแบบสอบถามเห็นว่าประเด็น การส่งเสริมให้ผู้ประกอบการรุ่นใหม่ส่งออกสินค้าและบริการไปต่างประเทศ มีความสำคัญระดับมากที่สุด และด้านการพัฒนา กลไกเพื่อขับเคลื่อนการส่งเสริมผู้ประกอบการรุ่นใหม่อย่างเป็นระบบ ประเด็นการส่งเสริมผู้ประกอบการรุ่นใหม่ให้สามารถ เข้าถึง ข้อมูล ความรู้และการพัฒนาตนเองอยู่เสมอ และประเด็นการพัฒนาระบบการให้บริการ ด้านพี่เลี้ยง ที่ปรึกษา เพื่อ สนับสนุน ช่วยเหลือผู้ประกอบการรุ่นใหม่ ผู้ตอบแบบสอบถามเห็นว่ามีความสำคัญระดับมากที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก งบประมาณเงินกองทุนเพื่อการวิจัย (วิจัยสถาบัน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กองนโยบายและแผน มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์. (2564). การจัดกลุ่มสถาบันอุดมศึกษา. สืบค้น 26 พฤศจิกายน 2564, จาก <http://plan.bru.ac.th/310564001-2/>.
- [2] Schumpeter, J. A. (1934). The Theory of Economic Development: An Inquiry into Profit, Capital, Credit, Interest and the Business Cycle. Cambridge: Harvard University Press.

- [3] Zimmerer, T. W., & Scarborough, N. M. (1996). Entrepreneurship and new venture formation. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- [4] Jones, R. G., & George, M. J. (2003). Contemporary Management. 3 ed. New York: McGraw-Hill.
- [5] นิमित นนทพันธุ์ธาวาทย. (2550). บทความ: ความหมายของคำว่า “ผู้ประกอบการ” หรือ “เจ้าแก”. สืบค้น 26 พฤศจิกายน 2564, จาก <http://www.ryt9.com/s/ryt9/105366>.
- [6] บุญจรรยาธร วังวอน. (2556). การเป็นผู้ประกอบการยุคโลกาภิวัตน์. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [7] HRNOTE.Asia. (2562). การพัฒนาองค์กร (Organization Development : OD) ให้ก้าวสู่ความสำเร็จ. สืบค้น 26 พฤศจิกายน 2564, จาก <https://th.hrnote.asia/orgdevelopment/190610-organization-development-od/>.

สมบัติความทนแรงดึงและความว่องไวต่อน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช ที่ผ่านการเติมกรดซิตริก

Tensile Properties and Water Sensitivity of Thermoplastic Starch via the Addition of Citric Acid

กัลทิมา เชาว์ชาญชัยกุล^{1*} ปิยะพงษ์ ปานแก้ว¹ ลลิตภัทร สุวรรณรัตน์¹ และ วรณัฐ ดีละมัน²

¹สาขาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

²สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

*E-mail: kantima.c@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลการเติมกรดซิตริกเพื่อตัดแปรเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชจากแป้งข้าวโพด และทำการประเมินผลโดยการทดสอบแรงดึง และการวัดค่าดูดซับน้ำที่ความชื้นสัมพัทธ์ 43 % พิล์มเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชที่มีการเติมกลีเซอรอล 40 ส่วนในแป้งสตาร์ช 100 ส่วน (phr) เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ถูกเตรียมด้วยวิธีการหล่อ และมีปรับเปลี่ยนปริมาณกรดซิตริก ตั้งแต่ 0 ถึง 15 phr จากผลการวิจัย พบว่า การตัดแปรเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชด้วยกรดซิตริก 3 phr มีผลทำให้ค่ามอดุลัสแรงดึง และค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดมีค่ามากที่สุด โดยมีค่ามากกว่ากรณีที่ไม่มีการเติมกรดซิตริก 20 และ 13 % ตามลำดับ ขณะที่การเติมกรดซิตริกปริมาณมากกว่า 3 phr มีผลทำให้ค่ามอดุลัส และค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มลดลง ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณกรดซิตริกเพิ่มสูงขึ้น แต่มีแนวโน้มคงที่เมื่อปริมาณกรดซิตริกมากกว่า 5 phr การเติมกรดซิตริก 5 phr ช่วยปรับปรุงความทนต่อน้ำ โดยทำให้ค่าการดูดซับน้ำที่ความชื้นสัมพัทธ์ 43 % มีค่าลดลง 15 % เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการเติมกรดซิตริก

คำสำคัญ: สตาร์ชแป้งข้าวโพด กรดซิตริก สมบัติการรับแรงดึง การดูดซับน้ำ การเชื่อมขวาง

Abstract

The research work was to study the effect of adding citric acid for the modification of thermoplastic starch from corn starch. The effect of citric acid was assessed using a tensile test and measurement of water absorption at 43% relative humidity (%RH). Casting was used to form thermoplastic starch films that included glycerol at 40 parts per 100 (phr) as a plasticizer. The content of citric acid ranged from 0 to 15 phr. The results suggested that citric acid-modified thermoplastic starch at 3 phr had the highest values of tensile modulus and strength, which were higher than unmodified thermoplastic starch by roughly 20 and 13%, respectively. Whereas the tensile modulus and strength decreased when citric acid was added at content above 3 phr. Elongation at break tended to increase

with increasing citric acid content and then stabilize at citric acid content of more than 5 phr. The addition of 5 phr citric acid improved water resistance. The water absorption values at 43 %RH tended to reduce about 15% compared to the case without adding citric acid.

Keywords: Corn starch, citric acid, tensile properties, water absorption, crosslinking

1. บทนำ

ปัญหาขยะพลาสติกเป็นปัญหาที่ทั่วโลก รวมถึงประเทศไทยได้ให้ความสำคัญเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากขยะพลาสติกส่วนใหญ่มาจากบรรจุภัณฑ์พลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวซึ่งส่วนใหญ่ยังคงผลิตมาจากพลาสติกที่มีแหล่งกำเนิดมาจากปิโตรเลียมและย่อยสลายได้ยาก แนวทางหนึ่งในการลดปัญหาขยะพลาสติก คือ การเลือกใช้พลาสติกชีวภาพ (Bioplastic) ที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางชีวภาพ (Biodegradable) มาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์แบบใช้ครั้งเดียว ดังนั้นการนำแป้งสตาร์ช (Starch) ที่ได้มาจากพืช เช่น ข้าว ข้าวโพด มันสำปะหลัง เป็นต้น มาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตเป็นเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช (Thermoplastic starch) เพื่อนำมาใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์แบบใช้ครั้งเดียวจึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจ เนื่องจากมีข้อดีอยู่ด้วยกันหลายประการ คือ เป็นวัสดุฐานชีวภาพ (Bio-based materials) สามารถย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางชีวภาพ ราคาไม่แพง สามารถขึ้นรูปด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบพลาสติก สามารถสัมผัสกับอาหารได้ ไม่มีสี และไม่มีกลิ่น แต่อย่างไรก็ตาม เทอร์โมพลาสติกสตาร์ชยังคงมีข้อดีที่ต้องถูกพัฒนาปรับปรุงเพื่อให้สมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานเป็นบรรจุภัณฑ์ คือ ความเปราะ และความว่องไวต่อการดูดซับน้ำ [1] จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า การปรับปรุงข้อดีของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชสามารถทำได้หลากหลายวิธี เช่น การนำแป้งสตาร์ชมาผสมกับพอลิเมอร์สังเคราะห์ชนิดอื่น (ตัวอย่างเช่น พอลิเอทิลีน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และพอลิคาโพรแลคโตน เป็นต้น) [2-4] หรือการเติมสารเพิ่มเนื้อขนาดอนุภาคระดับนาโน [5-6] และการดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของแป้งสตาร์ชบริเวณตำแหน่งหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group, OH) เพื่อลดความชอบน้ำ [7-9] และลดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของแป้งสตาร์ชที่เกิดจากพันธะไฮโดรเจนซึ่งจะช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับฟิล์มเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช การดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของแป้งสตาร์ชด้วยวิธีการเชื่อมขวางทางเคมี (Crosslinking) เป็นหนึ่งในแนวทางที่มีประสิทธิภาพที่ดี เนื่องจากการเชื่อมขวางทางเคมีของแป้งสตาร์ชจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งหมู่ไฮดรอกซิลส่งผลทำให้ความชอบน้ำของแป้งสตาร์ชลดลง ไปพร้อมๆ กับการปรับปรุงสมบัติการรับแรง นอกจากนี้การเชื่อมขวางทางเคมียังมีข้อดีในเรื่องการเตรียมที่ไม่ยุ่งยากและมีต้นทุนต่ำ [7-8] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับผลของการเติมกรดซิตริกที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านการรับแรง และความว่องไวต่อน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาร์ช เนื่องจากกรดซิตริกสามารถทำหน้าที่เป็นได้ทั้งสารพลาสติกไซเซอร์และสารเชื่อมขวางสำหรับเทอร์โมพลาสติกสตาร์ชและเป็นสารที่มีความปลอดภัยที่สามารถสัมผัสกับอาหารได้ [11] และเลือกใช้สตาร์ชจากข้าวโพดมาทำการศึกษา เพราะสตาร์ชจากข้าวโพดมีปริมาณอะไมโลส (Amylose) สูง [8, 10-11] จึงมีสมบัติการดูดซับน้ำต่ำ [12] และเป็นพืชที่มีในประเทศไทย และมีการปรับเปลี่ยนปริมาณของกรดซิตริกที่ใช้ในการดัดแปรแป้งสตาร์ช และทำการประเมินผลด้วยการทดสอบการรับแรงดึง และการดูดซับน้ำ ณ ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 43 %

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

2.1 วัตถุดิบและสารเคมี

2.1.1 สตาร์ชจากแป้งข้าวโพด จากบริษัท เฟรนด์ชิพ คอร์น สตาร์ช จำกัด มีปริมาณความชื้น 13 % และค่ากรด-เบส เท่ากับ 4-7

2.1.2 กลีเซอรอล ของบริษัท Ajax Finechem Pty จำกัด ทำหน้าที่เป็นสารพลาสติกไซเซอร์

2.2.3 กรดซิตริก เกรด AR ยี่ห้อ KemAus ทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมขวางทางเคมี

2.2 ขั้นตอนการตัดแปรรูปฟิล์มเทอร์โมพลาสติกสติกส์

การตัดแปรรูปฟิล์มเทอร์โมพลาสติกสติกส์เริ่มต้นจากการอบไล่ความชื้นสตาร์ชจากแป้งข้าวโพดด้วยตู้อบ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำสตาร์ชจากแป้งข้าวโพดมาผสมกับน้ำกลั่นที่ความเข้มข้นร้อยละ โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก 5 พร้อมกับเติมกลีเซอรอลเป็นสารพลาสติกไซเซอร์ ปริมาณ 40 ส่วนต่อสตาร์ชจากแป้ง 100 ส่วน (phr) และทำการปรับเปลี่ยนปริมาณกรดซิตริก 0, 3, 5, 10 และ 15 phr ทำการกวนผสมด้วยเครื่องกวนแม่เหล็ก ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที หลังจากนั้นทำการคายแก๊สด้วยปั๊มสุญญากาศ และเทลงในแม่พิมพ์เทอร์พอน ขนาด 20 เซนติเมตร x 20 เซนติเมตร และนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชม เพื่อให้ฟิล์มแห้ง

2.3 ขั้นตอนการทดสอบสมบัติ

2.3.1 การทดสอบความต้านทานแรงดึง

การทดสอบความต้านทานแรงดึงทำการทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D882 ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบ Universal testing ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น AG-x plus ของบริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น โดยนำฟิล์มเทอร์โมพลาสติกสติกส์มาทำการตัดให้มีขนาดชิ้นงานทดสอบ คือ 13.0 มิลลิเมตร x 100.0 มิลลิเมตร x 0.3 มิลลิเมตร ก่อนการทดสอบนำชิ้นงานทดสอบวางในสถานะความชื้นสัมพัทธ์ 43 % อุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน โดยการนำชิ้นงานทดสอบใส่ในเดซิเคเตอร์ที่มีสารละลายโพแทสเซียมคาร์บอเนต (K₂CO₃) แบบอิมตัว สภาวะที่ใช้ในการทดสอบ คือ ความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่หัวจับชิ้นงาน 50 มิลลิเมตรต่อนาที ระยะห่างของหัวจับชิ้นงาน 50 มิลลิเมตร และทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จำนวนชิ้นงานทดสอบที่ใช้ในการทดสอบแต่ละสูตร คือ 7 ชิ้นงานทดสอบ และทำการรายงานผลการทดสอบ ประกอบด้วย ค่ามอดุลัสแรงดึง (Tensile modulus) ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate tensile stress) และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด (%Elongation at break)

2.3.2 การวัดค่าการดูดซับน้ำ

นำฟิล์มเทอร์โมพลาสติกสติกส์มาเตรียมชิ้นงานทดสอบที่มีขนาด 20.0 มิลลิเมตร x 20.0 มิลลิเมตร หลังจากนั้นนำชิ้นงานทดสอบมาวางในสถานะที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 0 % โดยวางในเดซิเคเตอร์ที่มีแคลเซียมซัลเฟตแอนไฮไดรอส (anhydrous CaSO₄) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ หลังจากนั้นทำการชั่งน้ำหนักชิ้นงานฟิล์มแห้ง และนำชิ้นงานฟิล์มแห้งมาวางในสถานะความชื้นสัมพัทธ์ 43 % จำนวนชิ้นงานฟิล์มแต่ละสูตรที่ใช้ในการทดสอบแต่ละสภาวะ คือ 3 ชิ้นงานทดสอบ การเตรียมสภาวะทดสอบความชื้นสัมพัทธ์ 43 % ดำเนินการอ้างอิงตาม ASTM E 104 (1985) ทำการชั่งน้ำหนักชิ้นงานที่เวลา 1, 2, 4, 8, 24, 48, 72 ชั่วโมง คำนวณหาค่าการดูดซับน้ำของชิ้นงานทดสอบ ณ เวลาต่างๆ ตามสมการที่ 1

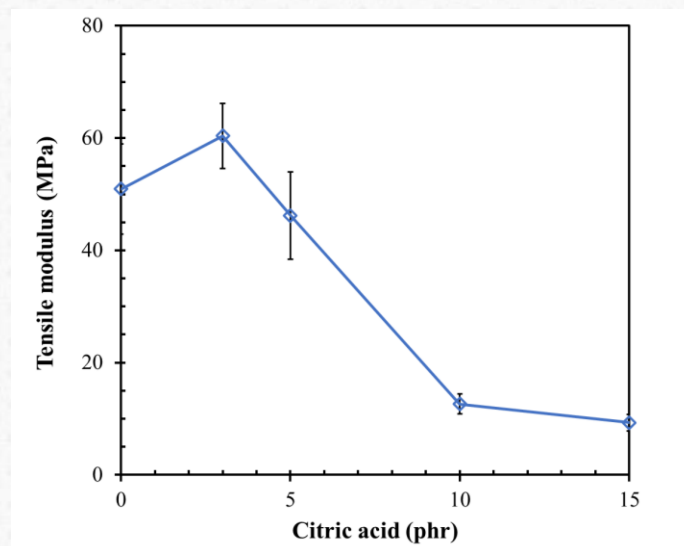
$$\text{water absorption (\%)} = \frac{w_t - w_0}{w_0} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ w_t คือ น้ำหนักชิ้นงานเมื่ออยู่ในสถานะความชื้นสัมพัทธ์ที่กำหนดเป็นเวลา t
 w_0 คือ น้ำหนักชิ้นงานแห้งเริ่มต้น

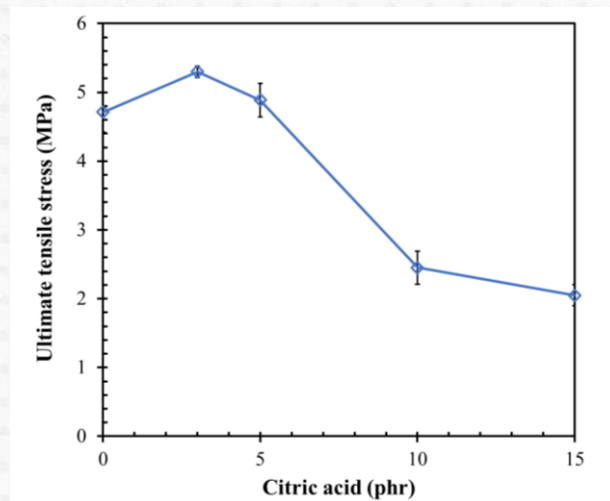
3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงของฟิล์มเทอร์โมพลาสติกสติกส์จากแป้งข้าวโพดที่มีการปรับเปลี่ยนปริมาณกรดซิตริก เป็นดังแสดงในรูปที่ 1 ถึงรูปที่ 3 เมื่อพิจารณาค่ามอดุลัสแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกสติกส์ ดังแสดงในรูปที่ 1

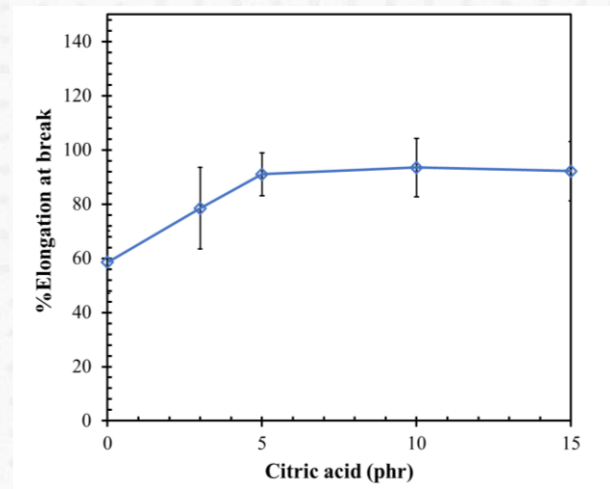
พบว่า การเติมกรดซิตริก ปริมาณ 3 phr มีผลทำให้ค่ามอดูลัสแรงดึงของฟิล์มเทอร์โมพลาสติกสตาโรลซีมีแนวโน้มเพิ่มสูงประมาณ 20 % เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่เติมกรดซิตริก แต่เมื่อปริมาณกรดซิตริกมากกว่า 3 phr พบว่า ค่ามอดูลัสแรงดึงแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน โดยมีค่าลดลงมากที่สุด ประมาณ 80 % สำหรับกรณีการเติมกรดซิตริก ปริมาณ 3 phr มีผลทำให้ฟิล์มมีความคงรูปร่างเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากกรดซิตริกมีผลทำให้สตาโรลซีมีแนวแตกตัวเกิดการเชื่อมขวางทางเคมี [9] แต่เมื่อปริมาณกรดซิตริกเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้ค่าความคงรูปลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณกรดซิตริกที่มากขึ้นทำให้มีปริมาณหลงเหลือจากการทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมขวางทางเคมีมากขึ้นจึงแทรกอยู่ระหว่างสายโซ่โมเลกุลของแบงส์สตาโรลซึ่งนำไปสู่การลดแรงดึงดูระหว่างโมเลกุลของแบงส์สตาโรลซึ่งส่งผลทำให้เทอร์โมพลาสติกสตาโรลซีมีแนวมีความยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้น เมื่อปริมาณกรดซิตริกมากกว่า 3 phr **รูปที่ 2** แสดงค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลซีมีแนวที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการตัดแปรด้วยกรดซิตริกปริมาณแตกต่างกัน พบว่า ผลของการเติมกรดซิตริกที่มีต่อค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลซีมีแนวใกล้เคียงกับผลของค่ามอดูลัสแรงดึง โดยพบว่า การเติมกรดซิตริก ปริมาณ 3 phr มีผลทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดมีค่ามากที่สุด โดยมีค่ามากกว่ากรณีที่ไม่มีการเติมกรดซิตริก ประมาณ 13 % และพบว่า ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของกรณีการเติมกรดซิตริก 5 phr มีค่าใกล้เคียงกับกรณีไม่เติมกรดซิตริก แต่เมื่อเติมกรดซิตริกมากกว่า 5 phr ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดมีค่าลดลงอย่างชัดเจน โดยมีค่าลดลงประมาณ 55 % เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่เติมกรดซิตริก ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด และการลดลงของค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดมีสาเหตุเช่นเดียวกับกรณีค่ามอดูลัสแรงดึง สำหรับค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลซีมีแนว เมื่อมีการตัดแปรด้วยกรดซิตริกปริมาณต่างๆ กัน เป็นดังแสดงใน**รูปที่ 3** จากกราฟพบว่า การตัดแปรเทอร์โมพลาสติกสตาโรลซีมีแนวด้วยกรดซิตริกมีผลทำให้ฟิล์มเทอร์โมพลาสติกสตาโรลซีมีแนวมีความสามารถในการยืดตัวได้เพิ่มมากขึ้น โดยพบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่ามากที่สุด เมื่อมีการเติมกรดซิตริกตั้งแต่ 5 phr และมีค่ามากกว่ากรณีไม่เติมกรดซิตริก ประมาณ 60 % ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลซีมีแนวเป็นผลมาจากกรดซิตริกสามารถทำหน้าที่เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลซีมีแนว [9] จึงมีผลทำให้เทอร์โมพลาสติกสตาโรลซีมีแนวมีความยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้น



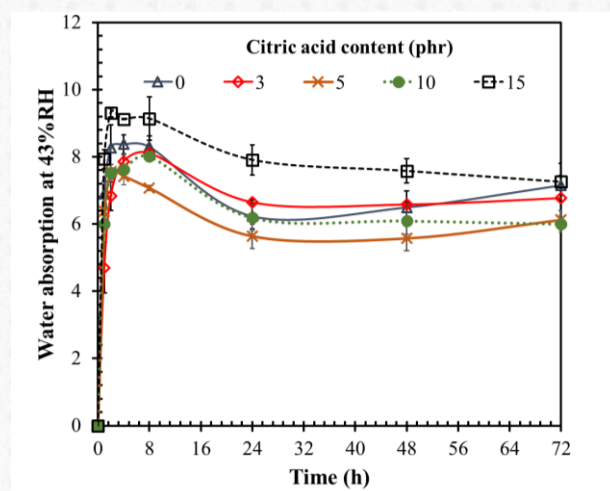
รูปที่ 1 ค่ามอดูลัสแรงดึงของเทอร์โมพลาสติกสตาโรลซีมีแนวที่ทำการตัดแปรด้วยกรดซิตริกที่ปริมาณตั้งแต่ 0 ถึง 15 ส่วนใน 100 ส่วนของแบงส์



รูปที่ 2 ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของเทอร์โมพลาสติกสไตร์ชจากแป้งข้าวโพดที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อมีการตัดแปรด้วยกรดซิตริกปริมาณตั้งแต่ 0 ถึง 15 ส่วนใน 100 ส่วนของแป้ง



รูปที่ 3 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของเทอร์โมพลาสติกสไตร์ชจากแป้งข้าวโพดที่มีการตัดแปรด้วยกรดซิตริกปริมาณตั้งแต่ 0 ถึง 15 ส่วนใน 100 ส่วนของแป้ง



รูปที่ 4 ค่าการดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสไตร์ชจากแป้งข้าวโพดที่มีการตัดแปรด้วยกรดซิตริกปริมาณต่างๆ กัน ณ ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 43 %

รูปที่ 4 แสดงค่าการดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาarch จากแป้งข้าวโพดที่มีการดัดแปรด้วยกรดซิตริก ณ ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 43 % จากกราฟพบว่า ค่าการดูดซับน้ำของฟิล์มเทอร์โมพลาสติกสตาarch ทุกกรณีมีแนวโน้มเพิ่มสูง เมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้นจาก 0 ถึง 8 ชั่วโมง หลังจากค่าการดูดซับน้ำมีค่าลดลงและมีค่าดูดซับน้ำมีแนวโน้มคงที่ เมื่อเวลาตั้งแต่ 24 ถึง 72 ชั่วโมง เมื่อพิจารณาถึงภาพรวม กรณีการดัดแปรด้วยกรดซิตริก ปริมาณ 5 phr มีผลในการช่วยปรับปรุงความทนต่อน้ำของฟิล์มเทอร์โมพลาสติกสตาarch มากที่สุด โดยมีค่าการดูดซับน้ำลดลงมากที่สุด 15 % เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการดัดแปรด้วยกรดซิตริก ส่วนกรณีการเติมกรดซิตริกปริมาณ 3 และ 10 phr มีแนวโน้มค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกับกรณีที่ไม่มีการดัดแปรด้วยกรดซิตริก ส่วนกรณีการเติมกรดซิตริก 15 phr พบว่า มีแนวโน้มทำให้ค่าการดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาarch มีค่าที่เพิ่มขึ้น การลดลงของค่าการดูดซับน้ำสำหรับกรณีกรดซิตริก 5 phr อาจมีผลมาจากกรดซิตริกเข้าทำปฏิกิริยากับสตาarch บริเวณหมู่ไฮดรอกซิลจึงช่วยลดความชอบน้ำ ในขณะที่การเติมกรดซิตริก 15 phr มีผลทำให้ค่าการดูดซับน้ำเพิ่มสูงขึ้นกว่ากรณีที่ไม่มีการดัดแปรด้วยกรดซิตริก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากถึงแม้กรดซิตริกจะช่วยลดความชอบน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาarch แต่ปริมาณกรดซิตริกที่มากเกินไปอาจมีผลไปแทรกอยู่ระหว่างสายโซ่ของสตาarch จึงส่งผลทำให้โมเลกุลน้ำแทรกเข้าไปอยู่ในฟิล์มได้เพิ่มมากขึ้น

4. บทสรุป

ผลของการเติมกรดซิตริกที่มีต่อสมบัติการรับแรงดึง และค่าการดูดซับน้ำของเทอร์โมพลาสติกสตาarch จากแป้งข้าวโพด สามารถสรุปผลได้ดังนี้

- สำหรับสมบัติการรับแรงดึง พบว่า กรณีการเติมกรดซิตริก ปริมาณ 3 phr มีผลในการปรับปรุงค่ามอดูลัสและค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดได้มากที่สุด ซึ่งอาจเป็นผลของกรดซิตริกมีผลทำให้สตาarch จากแป้งข้าวโพดเกิดการเชื่อมขวางทางเคมี ขณะที่การเติมกรดซิตริกปริมาณมากกว่า 3 phr มีผลทำให้ค่ามอดูลัสและค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากกรดซิตริกปริมาณที่มากขึ้นทำหน้าที่เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ สำหรับค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด พบว่า การเติมกรดซิตริกมีผลทำให้เทอร์โมพลาสติกสตาarch มีค่าความสามารถในการยืดตัวได้เพิ่มมากขึ้น
- สำหรับค่าการดูดซับน้ำ ณ ความชื้นสัมพัทธ์ 43 % พบว่า กรณีการเติมกรดซิตริก ปริมาณ 5 phr มีผลในการทำให้เทอร์โมพลาสติกสตาarch มีค่าการดูดซับน้ำลดลงมากที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร สำหรับการสนับสนุนทุนวิจัย ตามสัญญาทุนเลขที่ 4232827 และขอขอบคุณสาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนทางด้านอุปกรณ์และเครื่องมือวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Y. Zhang, C. Rempel, D. McLaren, Chapter 16 thermoplastic starch. In J.H. Han (Eds.), Innovations in Food Packaging, Academic Press., 2014.
- [2] A.P. Abbott, T.Z. Abolibda, W. Qu, W.R. Wise, L.A. Wright, Thermoplastic starch–polyethylene blends homogenised using deep eutectic solvents. RSC Advances. 7(2017)7268-7273.
- [3] X. Tang, S. Alavi, Recent advances in starch, polyvinyl alcohol based polymer blends, nanocomposites and their biodegradability. Carbohydrate Polymer. 85(2011)7-16.

- [4] S.A.A. Ghavimi, M.H. Ebrahimzadeh, M. Solati-Hashjin, N.A.A. Osman, Polycaprolactone/starch composite: Fabrication, structure, properties, and applications. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*. 103(2015)2482–2498.
- [5] T.P. Mohan, K. Devchand, K. Kanny, Barrier and biodegradable properties of corn starch-derived biopolymer film filled with nanoclay fillers. *Journal of Plastic Film and Sheeting*. 33(2017)309–336.
- [6] H. Kaur, T.S. Banipal, S.Thakur, M.S. Bakshi, G. Kaur, N. Singh, Novel biodegradable films with extraordinary tensile strength and flexibility provided by nanoparticles. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*. 1(2012)127–136.
- [7] H. Xu, H. Canisag, B. Mu, Y. Yang, Robust and flexible films from 100% starch cross-linked by biobased disaccharide derivative. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*. 3(2015)2631–2639.
- [8] A.S. Ayoub, S.S.H. Rizvi, An overview on the technology of cross-linking of starch for nonfood applications. *Journal of Plastic Film and Sheeting*. 25(2009)25-45.
- [9] A. Golachowski, W. Drożdż, M. Golachowska, M. Kapelko-Żeberska, B. Raszewski, Production and properties of starch citrates—current research. *Foods*. 9(2020)1311.
- [10] S.R. Kanatt, Irradiation as a tool for modifying tapioca starch and development of an active food packaging film with irradiated starch. *Radiation Physics and Chemistry*. 173(2020)108873.
- [11] E. Ogunsona, E. Ojogbo, T. Mekonnen, Advanced material applications of starch and its derivatives. *European Polymer Journal*. 108(2018)570-581.
- [12] B. Biduski, W.M.F. Silva, R. Colussi, S.L.M. Halal, L. Lim, A.R.G. Dias, E.R. Zavareze, Starch hydrogels: The influence of the amylose content and gelatinization method. *International Journal of Biological Macromolecules*. 113(2018)443-449.

ขั้นตอนวิธีการเปรียบเทียบคู่สายอักขระแบบพหุอักขระ Multi-Characters String Matching Algorithm

เชาวลิต ชื่นคำ

ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

E-mail: chouvalit.k@rmail.ru.ac.th

บทคัดย่อ

บทความงานวิจัยนี้ นำเสนอ 1) การพัฒนาโครงสร้างข้อมูลแบบใหม่ เรียกว่า รายการผกผันแบบพหุอักขระ เพื่อใช้สำหรับการค้นหาข้อมูลสายอักขระแบบ โดยออกแบบให้รองรับการเข้าถึงการเปรียบเทียบคู่สายอักขระแบบแต่ละครั้งให้ได้มากกว่าการเทียบทีละตัวอักษร 2) พัฒนาขั้นตอนวิธีการสร้างรายการผกผันแบบพหุอักขระจัดเก็บในตารางแฮชเพื่อให้เข้าถึงข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ และ 3) ออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีใหม่สำหรับการเปรียบเทียบคู่สายอักขระเพื่อค้นหาข้อมูลในเท็กซ์ ผลการวิจัยเชิงทฤษฎีพบว่า โครงสร้างข้อมูลรายการผกผันแบบพหุอักขระสามารถนำไปพัฒนาขั้นตอนวิธีส่วนการเตรียมการประมวลผลที่มีความซับซ้อนน้อยกว่าขั้นตอนวิธีอื่น ด้วยความซับซ้อนด้านเวลา $O(m/k)$ ความซับซ้อนด้านเนื้อที่ในการจัดเก็บที่ $O(\sum/m)$ กรณีมากที่สุด คือ $O(2(m/k))$ เมื่อ m คือ ความยาวของอักขระแบบ, k คือ ปัจจัยการแบ่งส่วนความยาวอักขระแบบเป็นรายการผกผันแบบพหุอักขระ, \sum คือ จำนวนอักขระที่ปรากฏสำหรับใช้ในการค้นหาและสร้างอักขระแบบ ขั้นตอนวิธีการเปรียบเทียบคู่สายอักขระแบบใหม่ที่ได้จากงานวิจัยนี้ ค้นหาด้วยความซับซ้อน $O(n+nocc)$ เมื่อ n คือ ความยาวของสายสตริงเท็กซ์ที่ต้องการค้นหา เมื่อ $nocc$ คือ จำนวนครั้งของอักขระแบบที่ปรากฏในสายเท็กซ์ จากการวิเคราะห์พบว่า ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้น มีความซับซ้อนต่ำ ทำงานแบบเชิงเส้นอันเป็นลักษณะของการค้นหาที่มีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ขั้นตอนวิธีการเปรียบเทียบคู่สายอักขระ รายการผกผันแบบพหุอักขระ ดัชนีผกผัน การเปรียบเทียบแบบ การเปรียบเทียบคู่สายอักขระแบบครบถ้วน

Abstract

This research paper presents 1) the development of a new data structure called multi-character inverted lists, to be used for string search 2) developed an algorithm to generate a multi-character inverted lists stored in a hash table for quick access to data, and 3) designed and developed a new algorithm for string matching to search for information in text. The theoretical research found that the multi-character inverted lists data structure can be used to develop a pre-processing algorithm that is less complex than other algorithms. Then, the time complexity takes $O(m/k)$, the space complexity takes $O(\sum/m)$ in the average case, and takes $O(2(m/k))$ in the best case scenario, where m is the length of the pattern, k is the multi-character inverted list character length slicing factor, and \sum is the number of characters that appear for use in searching and creating multi-character inverted lists. A new string matching algorithm searches $O(n+nocc)$ time complexity, where n is the length of the text string to be

searched for, where *nocc* is the number of times a pattern appears in the text string. From the analysis, the new algorithm uses a low complexity, and it works in a linear way that is similar to the efficient search algorithms.

Keywords: String Matching Algorithm, Multiple Character Inverted Lists, Inverted Index, Pattern Matching, Exact String Matching

1. บทนำ

การประมวลผลข้อความ (Text Processing) ในระบบสารสนเทศ (Information System) มีความสำคัญมาก เนื่องจากในปัจจุบันมีข้อมูลปริมาณมหาศาล (Big Data) ทำให้การประมวลผลต้องแยกประมวลผลทั้งต่อหน้าโดยตรง (Direct Processing) และการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลแบบมองไม่เห็นอยู่เบื้องหลัง (Invisible Processing and Analytics) อีกทั้งยังมีการพัฒนาระบบคอมพิวเตอร์แบบก้อนเมฆ (Cloud Computing) ที่ใช้การประมวลผลข้อมูลมหาศาลเสมือนอยู่บนก้อนเมฆ หรือแม้แต่การใช้งานทุกสิ่งทุกอย่างเป็นสารสนเทศ (Information Everything) ซึ่งฟังก์ชันสำคัญของการทำงานกับข้อมูลและสารสนเทศเหล่านั้นก็คือ การค้นหาและเปรียบเทียบข้อมูล โดยที่เบื้องหลังหนึ่งของหลักการค้นหาคือการเปรียบเทียบคู่สายอักขระ (String Matching) โดยอาศัยขั้นตอนวิธีการเปรียบเทียบคู่สายอักขระแบบเดี่ยว (Single String Matching Algorithm) เป็นกลไกพื้นฐานที่สำคัญที่สุดในการค้นหาข้อมูลดังกล่าว ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานในระบบคอมพิวเตอร์และโปรแกรม เช่น ฟังก์ชันงานของโปรแกรมเวิร์ดโปรเซสซิง ฟังก์ชันการค้นหาในระบบปฏิบัติการยูนิกซ์ ลินุกซ์ หรือในโปรแกรมสำหรับค้นหา โปรแกรมสำหรับการค้นหาข้อมูลต่างๆ ในแฟ้มเท็กซ์หรือเครือข่าย เป็นต้น

การเปรียบเทียบคู่สายอักขระแบบหรือสตริงแมชซิง คือการค้นหาอักขระแบบเดี่ยว (Single Pattern String) $p=c_1c_2c_3\dots c_m$ ที่ปรากฏอยู่ในสายอักขระในข้อความหรือเท็กซ์ (Text) $T = t_1t_2t_3\dots t_n$ ใดๆ เพื่อให้ทราบว่า อักขระแบบ p ที่ต้องการค้นหานั้นปรากฏอยู่ในข้อความ ณ ตำแหน่งใดบ้าง โดยประเพณีการแก้ปัญหาทำได้โดยแบ่งออกเป็นสองขั้นตอนคือการนำเอา $c_1c_2c_3\dots c_m$ มาเก็บไว้ในโครงสร้างข้อมูลที่เหมาะสมเรียกขั้นตอนนี้ว่าขั้นเตรียมการประมวลผล (Pre-processing) และหลังจากนั้นสร้างขั้นตอนวิธีค้นหาโดยอาศัยโครงสร้างดังกล่าวเรียกขั้นตอนนี้ว่าค้นหาหรือแมชซิง (Searching or Matching) มีนักวิชาการทางด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ได้พัฒนาโครงสร้างข้อมูลขึ้นมาเป็นจำนวนมาก ดังปรากฏในสรุปโครงสร้างข้อมูลในคู่มือการเปรียบเทียบ [7-8] เช่น โครงสร้างออโตเมตา ตารางการแฮช และตารางการแมชหรือไม่แมช เป็นต้น และถึงแม้ว่าจะมีการพัฒนาโครงสร้างข้อมูลและขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหาแล้วจำนวนมาก กระนั้นก็ตาม ปัญหาดังกล่าวยังคงอยู่ในความสนใจของนักวิทยาการคอมพิวเตอร์อยู่ตลอดเวลา

ในงานวิจัย [23] ออกแบบรายการผกผัน (Inverted Lists) ด้วยการนำเอาเซตของอักขระแบบมาพัฒนาใหม่ให้ง่ายและมีความซับซ้อนของขั้นตอนวิธีน้อย ทำให้ได้โครงสร้างใหม่เพื่อใช้ในการสร้างขั้นตอนวิธีการเปรียบเทียบคู่สายอักขระแบบเดี่ยว การเปรียบเทียบคู่สายอักขระพหุแบบ การเปรียบเทียบคู่ในพจนานุกรมแบบยี่ดัด และการเปรียบเทียบคู่ในพจนานุกรมแบบพลวัต แต่อย่างไรก็ตาม ในการพัฒนาโครงสร้างข้อมูลแบบรายการผกผันที่ผ่านมานั้น การจัดเก็บ การเข้าถึง และการค้นหาข้อมูลในอักขระแบบตามโครงสร้างสามารถเข้าถึงและเปรียบเทียบได้เพียงอักขระเดียวและเปรียบเทียบค้นหาทีละหนึ่งอักขระเท่านั้น ส่งผลให้ขั้นตอนวิธีมีความซับซ้อนและการค้นหาข้อมูลยังไม่ดีมากพอ นอกจากนั้นยังเกิดความหน่วงเกิดขึ้น จึงถือว่าเป็นข้อจำกัดในการพัฒนาขั้นตอนวิธีในแนวทางดังกล่าว

ดังนั้น งานวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์พัฒนาโครงสร้างข้อมูลแบบใหม่ เพื่อใช้สำหรับการค้นหาข้อมูลสายอักขระเรียกว่า “รายการผกผันพหุอักขระ” เพื่อรองรับการเข้าถึงข้อมูลอักขระแบบให้ได้มากกว่าการเทียบทีละตัวอักขระเช่นในอดีต และในงานวิจัยที่ได้ศึกษามาก่อนหน้านี้ ภายใต้สมมติฐานที่ว่า โครงสร้างข้อมูลใหม่ที่พัฒนาขึ้นจะมีประสิทธิภาพทั้งความ

ซับซ้อนด้านเวลาและเนื้อที่ สามารถนำไปปรับใช้ในสาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ที่เกี่ยวข้องได้ โครงสร้างข้อมูลใหม่จะทำให้ได้ขั้นตอนวิธีการค้นหาข้อมูลทั้งการเปรียบคู่สายอักขระแบบและการเปรียบคู่สายอักขระพหุแบบ มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการเดิม จากนั้น ผู้วิจัยจึงออกแบบขั้นตอนวิธีการค้นหาข้อมูลใหม่ สำหรับการค้นหาข้อมูลแบบสายอักขระแบบเดียว ผลการวิจัยเชิงทฤษฎี ทำให้ได้โครงสร้างข้อมูลแบบใหม่ เพื่อนำไปใช้สำหรับพัฒนาขั้นตอนวิธีใหม่ของการค้นหาอักขระสายอักขระแบบเดียวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งขั้นตอนการสร้างโครงสร้าง การเข้าถึง และได้ขั้นตอนวิธีใหม่ของการค้นหาสายอักขระแบบเดียวได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยความซับซ้อนด้านเวลาที่น้อยกว่าขั้นตอนวิธีที่พัฒนามาก่อนหน้า

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ขั้นตอนวิธีการเปรียบคู่สายอักขระแบบเดียว

ดังที่กล่าวไว้แล้วว่า การเปรียบคู่สายอักขระแบบเดียว (Single String Pattern Matching Algorithm) คือ การค้นหาอักขระแบบ $p = c_1c_2c_3...c_m$ ที่ปรากฏในข้อความขนาดใหญ่ $T = t_1t_2t_3...t_n$ ที่อยู่ภายใต้กรอบของกลุ่มอักขระ Σ โดยที่ m คือ ความยาวของ p และ n คือความยาวของ T โดยหลักการแล้ว ปัญหาที่ แบ่งออกเป็นสองขั้นตอนคือ ขั้นตอนของการสร้างโครงสร้างของอักขระแบบในหน่วยความจำ และขั้นตอนของการค้นหา ในขั้นตอนการสร้างอักขระแบบในหน่วยความจำ จะนำแต่ละอักขระใน p บรรจุลงในโครงสร้างข้อมูลที่เหมาะสมเพื่อจัดเตรียมไว้สำหรับในขั้นตอนของการค้นหา ตัวอย่างโครงสร้างข้อมูลที่มีประสิทธิภาพได้แก่ ออโตเมตา (Automata) ตารางการเลื่อน (Shift-Table) และบิตแบบขนาน (Bit-Parallel) ในขั้นตอนของการค้นหา จะอ่านข้อความ T แล้วเปรียบเทียบกับ p เพื่อรายงานการปรากฏของ p ใน T แนวทางการเปรียบเทียบ ซึ่งนาวาโร [8] ได้ให้แนวทางเอาไว้ดังนี้ คือ การค้นหาจากทางด้านหน้า (Prefix) ด้านหลัง (Suffix) และการค้นหาโดยใช้ปัจจัยอื่นๆ (Factors)

ขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพที่นำเสนอไว้ใน [1-4], [9-10], [15-16], [18-19] และ [22] สร้างรูปแบบ p ให้กับข้อมูลที่เหมาะสมของตน และพัฒนาขั้นตอนการค้นหาที่มุ่งเน้นเพื่อลดความซับซ้อนของเวลา ในบรรดาขั้นตอนวิธีดังกล่าว ขั้นตอนวิธีใน [4] ถือว่าดีที่สุด โดยใช้ความซับซ้อนของเวลา $O(m)$ และความซับซ้อนของพื้นที่ $O(1)$ ของขั้นตอนการประมวลผลล่วงหน้า ในขณะที่ความซับซ้อนของเวลาค้นหาที่ [10] ใช้ $O(n)$ ในกรณีเฉลี่ย และ $O(n/(m+1))$ สามารถศึกษาเพิ่มเติมเนื้อหาเกี่ยวกับประสิทธิภาพโดยละเอียดได้ใน [7] และ [8] ซึ่งให้คำวิจารณ์ที่ดีเกี่ยวกับวิธีแก้ไขปัญหาดังกล่าวนี้

ระหว่างขั้นตอนวิธีดังกล่าวเหล่านั้น ขั้นตอนวิธีที่น่าสนใจและมีประสิทธิภาพคือ KMP [16] เนื่องจากเป็นขั้นตอนวิธีที่ทำงานแบบเชิงเส้น และเป็นขั้นตอนวิธีแรกที่ใช้พื้นที่ $O(m)$ ขั้นตอนการค้นหาใช้เวลา $O(m+n)$ แต่อย่างไรก็ตาม การดำเนินการเปรียบเทียบอักขระจะทำการเปรียบเทียบสูงสุดถึง $2n-1$ ตัว ทั้งยังต้องมีการคำนวณตารางสำหรับการเลื่อนตำแหน่งหน้าต่างค้นหาอีกด้วย ซึ่งจะทำให้การทำงานมีความซับซ้อนเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการนำไปพัฒนาเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ขั้นตอนวิธีการค้นหาในลักษณะเดียวกันนี้สามารถค้นหารายละเอียดได้ใน [7], [15] และ [16] เป็นต้น

2.2 รายการผกผัน

เนื่องจากโครงสร้างดัชนีผกผัน (Inverted Index) เป็นโครงสร้างข้อมูลที่ใช้สำหรับปัญหาการดึงข้อมูล (Data Retrieval) ที่มีประสิทธิภาพมาก จึงถูกนำไปใช้กับแอปพลิเคชันจำนวนมาก หลักการดัชนีผกผันยังพบใน [5], [20-21] สามารถนำไปใช้กับโครงสร้างข้อมูลต่างๆ ได้ หลักการนี้ เน้นการใช้ที่คำหลักและตำแหน่งของคำหลัก นำมาทำเป็นดัชนีเพื่อทำให้ค้นหาได้เร็วขึ้น ธรรมชาติของการสร้างโครงสร้างนี้ จะแสดงค่าในเอกสารเป้าหมายในรูปแบบ $\langle \text{documentID}, \text{word:pos} \rangle$ โดยที่ documentID เป็นตัวเลขที่ระบุเพื่ออ้างอิงหมายเลขเอกสาร word คือ คีย์เวิร์ดที่เรียกว่าคำศัพท์ และ pos คือตำแหน่งที่เกิดขึ้นของคำในหมายเลขเอกสาร รายละเอียดเพิ่มเติมศึกษาเพิ่มเติมได้ใน [20] และ [21] ในงานวิจัย [23] กำหนดเอกสารทั้งหมดเป็น $D = \{D_1...D_n\}$ โดยที่ D_i คือเอกสารแต่ละรายการที่มีคีย์เวิร์ดต่างๆ ในหลายตำแหน่ง กำหนดอักขระแต่ละตัวในอักขระแบบให้เป็นเอกสารย่อยๆ D_j นำมาสร้างเป็นรายการผกผันย่อยในอักขระแบบ นำไปจัดเก็บในตารางแฮช ซึ่ง

เป็นโครงสร้างข้อมูลที่มีประสิทธิภาพและเข้าถึงได้อย่างรวดเร็ว แสดงตัวอย่างการออกแบบรายการผกผัน ตามแนวทางของดัชนีผกผันที่งานวิจัย [23] ได้ออกแบบไว้ ดังตัวอย่างที่ 1

ตัวอย่างที่ 1 กำหนด $p = aabcz$ แสดงรายการผกผันแบบอักขระเดี่ยวได้ดังตารางที่ 1

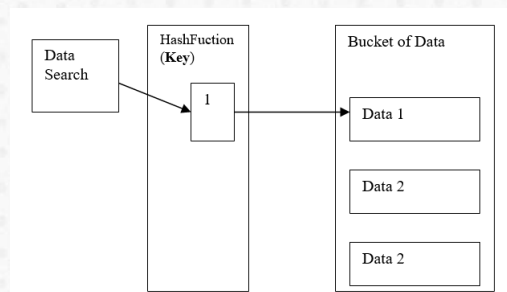
ตารางที่ 1 ตัวอย่างรายการผกผันแบบอักขระเดี่ยว

Σ (single-Character)	(IVL:inverted lists)
a	<1:0>,<2:0>
b	<3:0>
c	<4:0>
z	<5:1>

ในงานวิจัยใหม่นี้นำหลักการที่ได้นำเสนอไว้ใน [5], [20-21] และรายการผกผันแบบเดี่ยวใน [23] มาพัฒนาให้เป็นรายการผกผันแบบใหม่ เรียกว่า รายการผกผันแบบพหุอักขระ เพื่อรองรับการค้นหาเปรียบเทียบได้มากกว่า 1 อักขระสำหรับการเปรียบเทียบในแต่ละครั้งของความพยายามเปรียบเทียบ ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

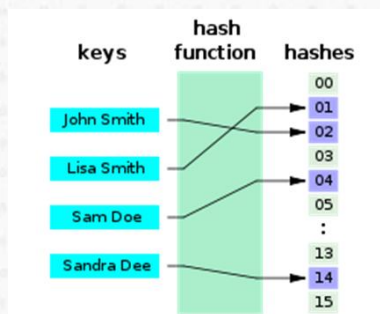
2.3 ตารางการแฮช

โครงสร้างข้อมูลการแฮช (Hashing Data Structure) คือ โครงสร้างข้อมูลที่มีประสิทธิภาพมากเพราะสามารถสนับสนุนค้นหาข้อมูลในโครงสร้างด้วยความซับซ้อนต่ำสุดคือ $O(1)$ โดยปกติแล้วโครงสร้างนี้ จะสร้างตารางไว้เก็บข้อมูล (Bucket of Data) และเข้าถึงข้อมูลโดยใช้การคำนวณเพื่อหาตำแหน่งในการเก็บข้อมูล เรียกว่า ฟังก์ชันการแฮช (Hashing Function) ภาพต่อไปนี้จะแสดง แนวคิดของโครงสร้างดังกล่าว



ภาพที่ 1 แนวคิดการสร้างตารางการแฮช

สำหรับตารางแฮช (Hash Table) ที่มีประสิทธิภาพมาก เรียกว่า การแฮชที่สมบูรณ์แบบ (Perfect Hashing) ใช้พื้นที่ $O(n)$ และเวลา $O(1)$ (แสดงใน [11-13]) โดยที่ n คือขนาดของข้อมูล โดยปกติแล้ว หลักการแฮชที่สมบูรณ์แบบนั้น เหมาะจะจัดเก็บสำหรับค่าสำคัญคงที่ เช่น คำสงวนในภาษาโปรแกรม คำในพจนานุกรม เป็นต้น โดยหลักการแล้ว โครงสร้างนี้มี 1) คีย์สากล U เพื่อรองรับคีย์ทั้งหมดสำหรับการเข้าถึงข้อมูลทั้งหมดในตาราง 2) ตารางจัดเก็บข้อมูลสองระดับ ระดับแรกคือ คีย์ k สำหรับเข้าถึงระดับที่สองโดยฟังก์ชัน $f(k)$ และระดับที่สองคือรายการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคีย์ที่เกี่ยวข้องของ k งานวิจัยนี้ กำหนดคีย์สากล U และ $f(k)$ เป็น $f(\Sigma)$ สำหรับตารางแฮชที่สมบูรณ์แบบระดับแรก และกลุ่มของรายการการผ่านรายการเป็นรายการข้อมูลในระดับที่สอง โดยการสร้างการจัดเก็บข้อมูลด้วย n คีย์ (Keys) เก็บลงไปใน $m = n$ สล็อต (Slots) โดยการใช้ฟังก์ชันการแฮช f_n ส่วนระดับที่สอง สร้างการเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้อง กับคีย์ระดับแรก คือ S_j ที่สามารถเข้าถึงได้จากระดับแรก f_n ไปสู่คีย์ h_j แนวคิดนี้แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แสดงแนวคิดของตารางการแฮชแบบสมบูร์ณ
(ที่มา : Wikipedia)

การแฮชในรอบที่สองนี้จะทำให้สามารถเข้าถึงข้อมูลที่เก็บเอาไว้ได้ ซึ่งตารางการแฮชแบบสมบูร์ณใช้เวลาค้นหาแบบคงที่ $O(1)$ เนื้อที่จัดเก็บเป็น $O(n)$ แนวคิดของงานวิจัยนี้จึงนำหลักการนี้มาสร้างเป็นตารางเก็บข้อมูล เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

3. โครงสร้างข้อมูลแบบรายการผกผันแบบพหุอักขระ

โครงสร้างข้อมูลที่พัฒนาขึ้น มีแนวคิดการสร้างดังนี้

- สร้างรายการผกผันจากอักขระแบบเดี่ยว แสดงตัวอย่างด้วยจำนวนอักขระมากกว่าหนึ่งอักขระ ตัวอย่างที่ 2 แสดงสายอักขระแบบเดี่ยว $p=abcz$ ตามแนวคิดจากงานวิจัยเดิม ดังนี้

ตารางที่ 2 แสดงตัวอย่างรายการผกผันแบบเดี่ยวของตัวอย่างที่ 2

Σ (single-Character)	(i.e., the inverted lists)
a	<1:0>,<2:0>
b	<3:0>
c	<4:0>
z	<5:1>

แนวคิดใหม่กำหนดขนาดรายการผกผันแบบพหุอักขระเป็น 2 และ 3 อักขระ แสดงได้ดังตารางที่ 3 และ 4

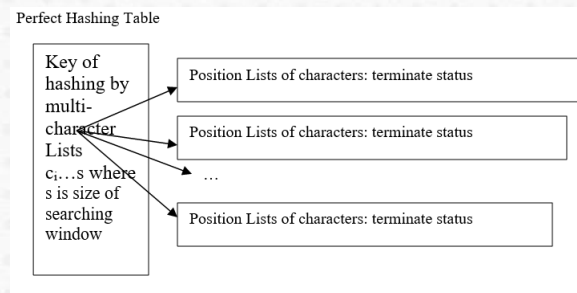
ตารางที่ 3 แสดงรายการผกผันแบบพหุอักขระแบบ(2-character)

Σ (2-Characters)	(i.e., the inverted lists)
aa	<1:0>
bc	<2:0>
z	<3:1>

ตารางที่ 4 แสดงรายการผกผันแบบพหุอักขระแบบ(3-character)

Σ (3-Characters)	(i.e., the inverted lists)
aab	<1:0>
cz	<2:1>

2) แนวคิดในการสร้างโครงสร้างเพื่อจัดเก็บในหน่วยความจำคอมพิวเตอร์ สามารถแสดงได้ตามภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงรายการผกผันแบบเดียวเมื่อจัดเก็บ

ตามแนวคิดดังกล่าวข้างต้น นิยามและตัวอย่างต่อไปนี้ จะใช้สำหรับการออกแบบขั้นตอนวิธี

นิยามที่ 1 กำหนดให้ $k-m$ คือ ปัจจัยการแบ่งส่วนของอักขระแบบ p ที่มีความยาว m อักขระ โดยที่ $k=1,2,3...m$ คือ ปัจจัยของการแบ่งอักขระแบบเป็นพหุอักขระ

ตัวอย่างที่ 3 แสดงตัวอย่างของ $p=abcz$ เมื่อ $m=5$ แสดงรายการผกผันขนาด 1 ถึง m ตามนิยามที่ 3.1 $1-m$ ของ p แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงตัวอย่างรายการผกผันแบบอักขระเดี่ยวตามนิยาม 1

Σ (single-Character)	(i.e., the inverted lists)
a	<1:0>, <2:0>
b	<3:0>
c	<4:0>
z	<5:1>

$2-m$ ของ p แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงรายการผกผันแบบพหุอักขระแบบ(2-m)

Σ (2-Characters)	(i.e., the inverted lists)
aa	<1:0>
bc	<2:0>
z	<3:1>

$3-m$ ของ p แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงรายการผกผันแบบพหุอักขระแบบ(3-m)

Σ (3-Characters)	(i.e., the inverted lists)
aab	<1:0>
cz	<2:1>

4-m ของ p แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงรายการผกผันแบบพหุอักขระแบบ(4-m)

Σ (4-Characters)	(i.e., the inverted lists)
aabc	<1:0>
z	<2:1>

5-m ของ p แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 แสดงรายการผกผันแบบพหุอักขระแบบ(5-m)

Σ (5-Characters)	(i.e., the inverted lists)
aabcz	<1:1>

นิยามที่ 2 คำสำคัญ $w_{pos,ter}$ ใดๆ คือ ส่วน p ที่เกิดจากปัจจัย $k-m$ ใดๆ ซึ่งภายใต้ $k-m$ ประกอบด้วยคำสำคัญ $w_{1,0}$, $w_{2,0}$, $w_{3,0}$, $w_{m/k-3,0}$, ..., $w_{m/k-2,0}$, $w_{m/k-1,0}$, $w_{m/k,1}$ เมื่อ pos คือตำแหน่งที่ปรากฏอยู่ใน p จาก 1 ถึง m/k โดยปัดเป็นจำนวนเต็มหากมีเศษ; ter คือค่าแสดงสถานะการจบอักขระแบบ โดยมีค่าเป็น 0 หรือ 1 ซึ่งระบุการเป็นอักขระสุดท้าย กำหนดให้เป็น 0 ถ้าไม่ใช่อักขระสุดท้ายหรือกำหนดให้เป็น 1 ถ้าเป็นอักขระสุดท้าย

ตัวอย่างที่ 4 แสดงตัวอย่างเมื่อ $k=2$ (2-m) ของ $p = aabcz$ ตามนิยามที่ 2

$$w_{1,0} = aa_{1,0}$$

$$w_{2,0} = bc_{2,0}$$

$$w_{m/k,1} = z_{3,1}$$

นิยามที่ 3 รายการผกผันแบบพหุอักขระของ $w_{pos,ter}$ ใดๆ เกิดจากการเอานำแต่ละ $w_{pos,ter}$ มาเขียนในรูปแบบ $w_{pos,ter} : <pos,ter>$

ตัวอย่างที่ 5 แสดงตัวอย่างรายการผกผันของ $p = aabcz$ จาก 2-m ของ ตามนิยามที่ 3

$$w_{1,0} = aa_{1,0} \text{ รายการผกผันเขียนแทนด้วย } aa : <1,0>$$

$$w_{2,0} = bc_{2,0} \text{ รายการผกผันเขียนแทนด้วย } bc : <2,0>$$

$$w_{m/k,1} = z_{3,1} \text{ รายการผกผันเขียนแทนด้วย } z : <3,1>$$

นิยามที่ 4 กำหนดให้ $<pos,0>$ คือ ดัชนีของรายการผกผันของพหุอักขระ เขียนแทนด้วย $l_{pos,0}$ และ $<pos,1>$ เขียนแทนด้วย $l_{pos,1}$ ดังนั้น

$$w_{pos,ter} : l_{pos,0} \text{ เมื่อ } k < m/k \text{ หรือ } l_{pos,1} \text{ เมื่อ } k = m/k$$

นิยามที่ 5 ตารางรายการผกผัน HT คือ ตารางที่นำดัชนีของรายการผกผัน ของนิยาม 4 มาสร้างในรูปแบบตาราง ประกอบด้วยรายละเอียด 2 สดมภ์ คือ สดมภ์ $W_{pos,ter}$ และสดมภ์ $I_{pos,0}$ และ $I_{pos,1}$ ดังนั้นตารางรายการผกผันแบบพหุอักขระใดๆ แสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ตารางแสดงรายการผกผัน HT ใดๆ

$W_{pos,ter}$	$I_{pos,0}$ และ $I_{pos,1}$
$W_{1,0}$	$I_{1,0}$
$W_{2,0}$	$I_{2,0}$
$W_{3,0}$	$I_{3,0}$
...	...
$W_{m/k-3,1}$	$I_{m/k-3,0}$
$W_{m/k-2,1}$	$I_{m/k-2,0}$
$W_{m/k-1,1}$	$I_{m/k-1,0}$
$W_{m/k,1}$	$I_{m/k,1}$

ทฤษฎีบท 1 การเข้าถึง $I_{pos,0}$ หรือ $I_{pos,1}$ ของตาราง HT ทำได้ด้วยความซับซ้อน $O(1)$

พิสูจน์ กำหนด $f(x)$ คือ ฟังก์ชันการแฮช; กำหนดให้ $W_{pos,0}$ ใดๆ คือ คีย์สำหรับเข้าถึง $I_{pos,0}$ ใดๆ และ $W_{pos,1}$ ใดๆ คือ คีย์สำหรับเข้าถึง $I_{pos,1}$ ใดๆ

จากคุณสมบัติของตารางการแฮชใดๆ ที่เข้าถึงข้อมูลในตารางการแฮชด้วยความซับซ้อน $O(1)$ จึงทำให้การเข้าถึง $I_{pos,0}$ จาก $f(W_{pos,0})$ หรือ $I_{pos,1}$ จาก $f(W_{pos,1})$ ทำได้ด้วยความซับซ้อน $O(1)$ #

4. ขั้นตอนวิธี

4.1 ขั้นตอนวิธีส่วนเตรียมการประมวลผล

ขั้นตอนวิธีนี้จะสร้างตารางรายการผกผันก่อน โดยเพิ่มอักขระทั้งหมดที่มีใน Σ ลงสดมภ์อักขระ หลังจากนั้นอ่านอักขระทีละ $k-m$ อักขระจากอักขระแบบมาสร้างเป็นรายการผกผันเพิ่มเข้าไปในสดมภ์รายการผกผัน โดยก่อนการเพิ่มรายการผกผันจะต้องตรวจสอบว่ามีรายการผกผันที่ตำแหน่งเดียวกันอยู่ก่อนแล้วหรือไม่ หากมีอยู่แล้วจะเพิ่มเฉพาะหมายเลขแทนอักขระแบบเข้าไปในเซตของหมายเลขแทนอักขระแบบเท่านั้น หากไม่มีอยู่ก่อนจึงจะสร้างรายการผกผันใหม่ ขั้นตอนวิธีแสดงได้ดัง Algorithm 1

Algorithm 1 : Pre-processing phase Single String matching

Input: $p[c_1c_2c_3...c_m]$ of m lenth, $k-m$

Output: table HT

1. Create empty HT
2. $pos=1, begin=1, end=k, terminate=0;$
3. For $i=1$ To m Do
4. $W_{pos, terminate} \leftarrow p[c_{begin}...c_{end}]$

5. $I_{pos,ter} \leftarrow W_{pos, terminate}$
6. $HT \leftarrow I_{pos,ter}$
7. $begin = begin + (k+1)$
8. $end = begin+k$
9. IF $end \geq m$ Then
10. $end = m$
11. End of IF
12. IF $end = m$ Then
13. $terminate = 1;$
14. End of IF
15. $pos = pos + 1$
16. End of For
17. Return HT

ความซับซ้อนด้านเวลาของขั้นตอนวิธี คือ $O(m/k)$ เมื่อ m คือ ความยาวของอักขระแบบ k คือค่า $k-m$ ของอักขระแบบที่เลือกมาใช้ในการสร้างตารางของสายพหุอักขระ ความซับซ้อนด้านเนื้อที่มากที่สุด $O(|\Sigma|+m)$ โดยเฉลี่ยที่ความซับซ้อนด้านเนื้อที่ $O(2(m/k))$ พิสูจน์ได้ดังทฤษฎีบท 2 และ 3 ต่อไปนี้

ทฤษฎีบท 2 ส่วนเตรียมการประมวลผลของขั้นตอนวิธีการเปรียบคู่สายอักขระโดยใช้รายการผกผันแบบพหุอักขระมีความซับซ้อน $O(m/k)$ เมื่อ $k > 1$ หรือ $O(m)$ เมื่อ $k = 1$

พิสูจน์ จาก p มีความยาว m โดยเลือก k กำหนดความยาวของพหุอักขระของแต่ละ $W_{pos,ter}$

กรณี $k > 1$ ความซับซ้อนหลักของเกิดจากลูป For (ในบรรทัดที่ 3-16) ในแต่ละรอบของลูป จะสามารถดำเนินการนำเอาอักขระแบบเก็บลงใน $I_{pos,ter}$ ได้ด้วยขนาดความยาวเท่ากับ k ด้วย $p[c_{begin} \dots c_{end}]$ อักขระ ลูปนี้จะทำงานจาก 1, 2, 3, ..., m/k ครั้ง ความซับซ้อนของ For นี้ มีค่า เท่ากับ $O(m/k)$ ในขณะที่ส่วนอื่นๆ ภายในและภายนอก For ทำงานด้วย $O(1)$ (รายละเอียดในแต่ละบรรทัดอื่นๆ)

กรณี $k = 1$ ลูปนี้จะทำงาน 1, 2, 3, ..., m ทำงานด้วย $O(m)$ ภายในและภายนอก For ทำงานด้วย $O(1)$ (รายละเอียดในแต่ละบรรทัดอื่นๆ)

ดังนั้นความซับซ้อนมากที่สุดของขั้นตอนวิธีนี้คือ $O(m/k)$ เมื่อ $k > 1$ หรือ $O(m)$ เมื่อ $k = 1$ #

ทฤษฎีบท 3 ส่วนเตรียมการประมวลผลเพื่อสร้างตารางรายการผกผัน HT มีความซับซ้อนด้านเนื้อที่มากที่สุด $O(|\Sigma|+m)$ โดยเฉลี่ยที่ความซับซ้อนด้านเนื้อที่ $O(2(m/k))$

พิสูจน์ การสร้างตาราง HT เกิดจากลูป For ในบรรทัดที่ 3-16 ด้วยการสร้างตารางเปล่าในบรรทัดที่ 1 การสร้างรายการผกผันครั้งแรก จะสร้าง $W_{pos, terminate}$ จาก $p[c_{begin} \dots c_{end}]$ (บรรทัดที่ 4) ให้เป็นคีย์ของตารางที่คอลัมน์แรก มีความซับซ้อนเท่ากับด้านเนื้อที่ $O(1)$ (1 รายการ) ในขณะที่เนื้อที่ในการจัดเก็บรายการผกผัน $I_{pos,ter}$ ในบรรทัดที่ 5-6 ใช้เนื้อที่ $O(1)$ (1 รายการ) เท่ากัน ดังนั้นหากพิจารณาแต่ละรายการผกผันที่ต้องสร้างแบบไม่ซ้ำกันกับคีย์ที่มีอยู่แล้ว

จำนวนรายการผกผันที่จะบรรจุลงใน HT มีค่าเท่ากับ $2(m/k)$ รายการ ซึ่งพิจารณาเป็นความซับซ้อนโดยรวมด้านเนื้อที่คือ $O(2(m/k))$ เมื่อ $k > 1$ แต่หากค่า $k=1$ ซึ่งจะทำให้ในคอลัมน์แรกของตารางบรรจุอักขระที่มีอยู่ในอักขระแบบเท่ากับ $\lfloor \Sigma \rfloor$ ขณะที่ในคอลัมน์ที่สองที่เก็บรายการผกผันในบรรทัดที่ 5-6 จะเก็บรายการผกผันเอาไว้เท่ากับ m/k รายการ ดังนั้นความซับซ้อนด้านเนื้อที่ที่มากที่สุดในการจัดเก็บของ HT ในกรณีนี้คือ $O(\lfloor \Sigma \rfloor + m)$ #

4.2 ขั้นตอนวิธีส่วนการค้นหาคำ

ขั้นตอนวิธีเริ่มจากกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับตัวนำทาง j เลื่อนหน้าต่างและตำแหน่งที่ต้องการนำมาเปรียบเทียบกับจากรายการผกผัน (scan) เพื่อเปรียบเทียบกับไปหลังของหน้าต่างการค้นหาคำ ซึ่งแต่ละครั้งของการเปรียบเทียบกับจากรายการผกผันลงตัวแปรชั่วคราว h แล้วนำรายการ ผกผัน ของอักขระจาก $\text{text}[t_{\text{begin}} \dots t_{\text{end}}]$ มาตรวจสอบกับค่าด้วยฟังก์ชันการแฮชเพื่อหา terminate ในตำแหน่ง pos หาก pos ตรงกัน และ $\text{terminate} = 1$ แสดงว่ามีการเปรียบเทียบกับตรงกัน ขั้นตอนวิธีการค้นหาคำแสดงดังนี้

Algorithm 2 : Single Multi-characters Inverted Lists Search

Input : $HT, k, p = c_1c_2c_3 \dots c_m, T = t_1t_2t_3 \dots t_n$

Output : all occurrences are reported, and T is scanned.

1. $\text{end} = k, \text{terminate} = 0, j = 1, \text{matchwindow} = 1;$
2. While $j \leq (n - (k * m))$ Do
3. $\text{pos} = 1, \text{begin} = j, \text{end} = \text{begin} + k, \text{terminate} = 0, \text{matchwindow} = 1$
4. While $\text{matchwindow} = 1$ AND $\text{end} \leq n$ Do
5. $\text{st} = \text{text}[t_{\text{begin}} \dots t_{\text{end}}]$
6. IF $HT(f(\text{st}))$ Then
7. HashSet $h \leftarrow |_{\text{pos, ter}}$ of st
8. IF h contains pos and terminate Then
9. IF $\text{terminate} == 1$ Then
10. report occurrence at $\text{text}[t_{\text{begin}} \dots t_{\text{end}}];$
11. $\text{matchwindow} = 0;$
12. Else
13. $\text{pos}++;$
14. $\text{begin} = \text{begin} + k, \text{end} = \text{begin} + k$
15. IF $\text{pos} = m/k$ Then
16. $\text{terminate} = 1$
17. IF $(m \bmod k) \neq 0$ Then
18. $\text{end} = \text{end} - 1$
19. End of IF
20. End of IF
21. End of IF
22. Else

23. matchwindow=0;
24. End of IF
25. Else
26. matchwindow=0;
27. End of IF
28. End of While
29. j++;
30. End of While

แสดงตัวอย่างการค้นหาทั้งการเปรียบเทียบคู่สายอักขระและการเปรียบเทียบคู่สายอักขระตามขั้นตอนวิธีที่ได้ดังนี้

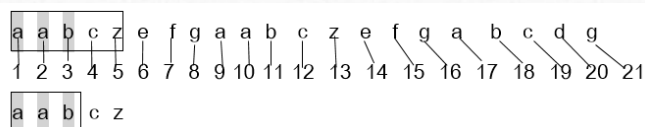
ตัวอย่างที่ 6 การค้นหา $p=abcz$ ใน $T=abczefgaabczefgabcdg$. เมื่อกำหนดค่าเริ่มต้นการค้นหา เริ่มค้นหา เมื่อ $k=3$

ตารางที่ 11 ตารางรายการผกผันแบบพหุอักขระ $p=abcz$

$W_{pos,ter}$	$I_{pos,0}$ และ $I_{pos,1}$
aab	<1:0>
cz	<2:1>

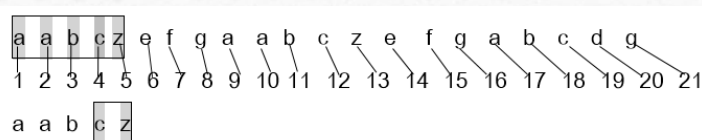
แสดงการค้นหาดังนี้

1. กำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ก่อนการเข้าสู่ While แรกของขั้นตอนวิธี $j=1$ $n=21$, $m=5$ กำหนดค่า $k=3$
2. เมื่อเข้าสู่ While ครั้งแรก ตัวแปรอื่นๆ จะถูกกำหนด ดังนี้ $pos=1$; $begin=j$; $end=begin+k$; $terminate=0$; $matchwindow=1$
3. เข้าสู่ While บรรทัดที่ 4 ถึง 25 ครั้งแรก $st=aab$ เปรียบกับรายการผกผันใน HT พบว่ามีรายการผกผันคือ $aab<1:0>$ แสดงว่าตรงกับอักขระแบบ



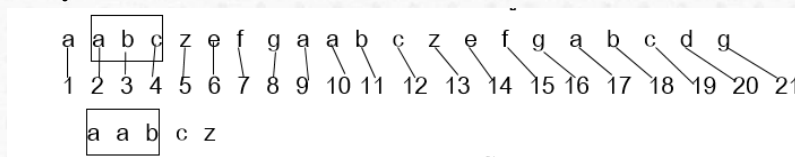
แม้จะพบว่า 3 อักขระแรกตรงกัน รายการผกผัน terminate ยังไม่เป็นค่า 1 (ขั้นตอนวิธีในบรรทัดที่ 9-11)

4. จากนั้นเพิ่มค่า $pos=pos+1$ ซึ่งทำให้ค่า $pos = m/k$ (มีเศษปัดเป็น 1) ค่า terminate ถูกกำหนดเป็น 1 ในบรรทัดที่ 15-17 ส่วนค่า $begin=4$ ค่า $end = 7$ จาก IF ในบรรทัดที่ 17-19
5. เริ่มการค้นหาในรูป While บรรทัดที่ 4-28 อีกครั้ง ซึ่งเป็นตำแหน่งรายการผกผันในตารางการแฮช $cz: <2:1>$ ด้วยค่าอีก 2 อักขระ



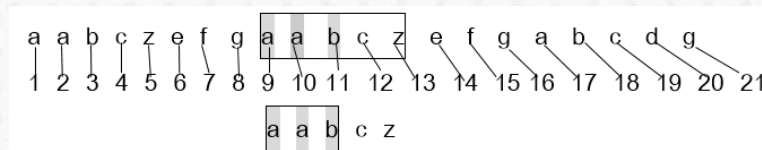
พบว่า ตรงกันอีก 2 อักขระ แสดงการ ค้นหาสำเร็จ

6. ปรับหน้าต่างการค้นหาเพิ่มขึ้น เลื่อนไป หนึ่งตำแหน่ง เริ่มการค้นหาอุปนอก While แรก บรรทัดที่ 2 ของขั้นตอนวิธี กำหนดค่าเริ่มต้นให้กับรูป While ในบรรทัดที่ 4 $j=j+1$ ($j=2$)

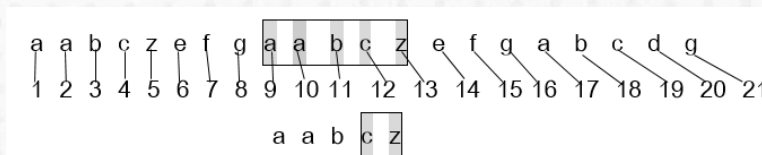


พบว่า ไม่ตรงกัน เลื่อนหน้าต่างการค้นหาต่อไปอีกครั้ง และเลื่อนหน้าต่างการค้นหาไปที่ละหนึ่งตำแหน่ง $j=j+1$ เพื่อเลื่อนหน้าต่างการค้นหา

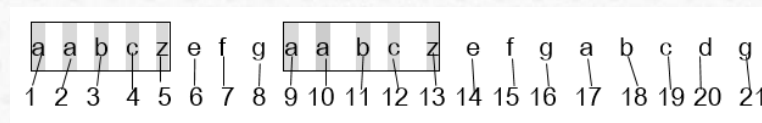
7. เลื่อนหน้าต่างการค้นหามาเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงตำแหน่งของการ ค้นหาที่พบอีกครั้ง



8. พบว่า ตรงกันที่ตำแหน่งที่ 9-11 อีกครั้ง เปรียบเทียบด้วยรายการผกผันต่อเนื่องอีกครั้ง



9. พบข้อมูลที่ต้องการค้นหาอีกครั้ง หลังจากนั้น เลื่อนหน้าต่างการค้นหาต่อไปจนหมดข้อความ ซึ่งจากแนวคิดของขั้นตอนวิธีนี้ จะทำให้ค้นพบข้อมูล 2 ครั้ง ดังตำแหน่งที่แสดงดังนี้



แนวคิดการค้นหาใหม่นี้ สามารถเปรียบเทียบตัวอักษรได้มากกว่าหนึ่งตัวอักษรในการเปรียบเทียบเพียงครั้งเดียว ซึ่งจะทำให้การค้นหาได้รวดเร็วขึ้นกว่าเดิม โดยสามารถระบุหน้าต่างของการค้นหาได้หลากหลายรูปแบบมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังสามารถกำหนดขนาดความกว้างของหน้าต่างค้นหาเป็น $1, 2, 3, \dots, m$ ได้ ซึ่งโดยแนวคิดนี้การค้นหาจะรวดเร็วขึ้น

ความซับซ้อนของขั้นตอนวิธีเกิดจากอุปสองอุป โดยอุป While แรกทำงานด้วยความซับซ้อน $O(n)$ ในขณะที่อุปในมีความซับซ้อนเท่ากับจำนวนครั้งของการค้นพบข้อมูล $O(nocc)$ เมื่อ $nocc$ คือจำนวนครั้งของการเปรียบเทียบสำเร็จ พิสูจน์ได้ดังทฤษฎีบทที่ 4 ต่อไปนี้

ทฤษฎีบท 4 ส่วนการค้นหาของขั้นตอนวิธีการเปรียบคู่สายอักขระแบบโดยใช้รายการผกผันพหุอักขระมีความซับซ้อน $O(n+nocc)$

พิสูจน์ การพิสูจน์แบ่งออกเป็นสามส่วนคือ

ส่วนแรก บรรทัดที่ 2 รูป While ความซับซ้อนทั้งหมดของขั้นตอนวิธีถูกควบคุมจากค่า $j=1, 2, 3, \dots, n-(k*m)-3, n-(k*m)-2, n-(k*m)-1, n-(k*m)$ ที่ทำให้หน้าต่างการค้นหาปกติเลื่อนไปที่ละหนึ่งตำแหน่งจากแรก ไปจนถึง $n-(k*m)$ ซึ่งเป็นความซับซ้อน $O(n)$

ส่วนที่สอง บรรทัดที่ 4-28 พิจารณาเป็นรายการกรณี ทั้ง $k=1, k>1$

กรณีแรก การเปรียบเทียบเมื่อมีการค้นพบ หากค่า $k=1$ จะทำให้การเปรียบเทียบแต่ละหน้าต่างการค้นพบเท่ากับ m ครั้ง หาก $k>1$ การเปรียบเทียบเท่ากับ m/k ครั้ง ความซับซ้อน มากที่สุดคือ จำนวนครั้งของการค้นพบ $nocc$ ขณะที่ การเข้าถึง HT ด้วยความซับซ้อนค่าคงที่ $O(1)$ ตามทฤษฎีบท 3.1

กรณีที่สอง เปรียบเทียบแล้วไม่พบเลยแม้แต่ครั้งเดียว การทำงานจะเพียงการเข้าถึง HT เพียงครั้งเดียวต่อการควบคุม โดยรูป While แต่ละค่า j ด้วยความซับซ้อนค่าคงที่ $O(1)$ ตามทฤษฎีบท 3.1

กรณีที่สาม เปรียบเทียบพบแค่เพียงบางส่วนแต่เปรียบเทียบไม่สำเร็จ จะมีการเปรียบเทียบในแต่ละรูปภายนอก (แต่ละค่า j) จำนวนครั้งของความพยายามเปรียบเทียบจะน้อยกว่า m ครั้งเมื่อ $k=1$ หรือน้อยกว่า $nocc$ ครั้ง โดยจะใช้ตัวแทนของ $nocc$ เป็นค่าที่มากที่สุดสำหรับความซับซ้อน

ส่วนที่สาม กรณีรายละเอียดของการทำงานในแต่ละบรรทัดอื่นๆ ของส่วนรูปและเงื่อนไข (IF) จะทำงานด้วยความซับซ้อนด้วยค่าคงที่ $O(1)$ เพราะเป็นเพียงการกำหนดค่าให้กับตัวแปรต่างๆ เท่านั้น

ดังนั้น รูป While ภายในทำงานด้วยความซับซ้อนมากที่สุด $nocc$ ครั้ง ขณะที่รูปภายนอกทำงานมากที่สุดด้วย $n-(k*m)$ ครั้ง ความซับซ้อนโดยรวม $nocc+(n-(k*m))$ ครั้ง ซึ่งเท่ากับ $O(n+nocc)$

3. ผลการทดลองเชิงทฤษฎีและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ออกแบบโครงสร้างข้อมูลใหม่แล้วนำมาสร้างขั้นตอนวิธีการเปรียบเทียบคู่สายอักขระแบบเดี่ยวและสายอักขระพหุแบบใหม่ จากนั้นนำมาเปรียบเทียบความซับซ้อนกับขั้นตอนวิธีที่มีชื่อเสียงในปัจจุบัน ขั้นตอนวิธีการเปรียบเทียบคู่สายอักขระแบบที่นำมาเปรียบเทียบ ได้แก่

1. Brute Force (BF) (ปรากฏในคู่มือของ Charras และ Lecroq (Charras C. and Lecroq T., 2008, pp.19) [7])
2. Knut-Morris-Pratt (KMP) รวบรวมไว้ในคู่มือของ Charras และ Lecroq (Charras C. and Lecroq T., 2008, pp.47) [7]
3. Boyer-Moor (BM) ระบุในคู่มือของ Charras และ Lecroq (Charras C. and Lecroq T., 2008, pp.91) [7]
4. PFIVL เป็นขั้นตอนวิธีที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น (Khancome C. and Boonjing V. 2007, pp. 191-195) [23]
5. BNDM (Navarro G. and Raffinot M. 2002, pp.28-29) [8]
6. BNDMq (Navarro G. and Raffinot M. 2002, pp.29-33) [8]
7. Shift-Or (SO) แสดงในระบุในคู่มือของ Charras และ Lecroq (Charras C. and Lecroq T., 2008, pp.37) [7]
8. Karp-Rabin (KR) อ้างไว้ใน Charras และ Lecroq (Charras C. and Lecroq T., 2008, pp.31) [7]
9. Quick Search (QS) รวบรวมและแสดงตัวอย่างไว้ในคู่มือของ Charras และ Lecroq (Charras C. and Lecroq T., 2008, pp.121) [7]

ตารางที่ 12 แสดงผลการเปรียบเทียบส่วนเตรียมการการประมวลผลระหว่างขั้นตอนวิธี ที่พัฒนาขึ้นใหม่กับขั้นตอนวิธีที่มีอยู่เดิม โดยสมรรถนะจะระบุชื่อขั้นตอนวิธีและสมรรถนะทั้งสองจะระบุความซับซ้อนของเวลา

จากตารางที่ 12 อภิปรายได้ว่า ถ้าพิจารณาความซับซ้อนโดยรวมของขั้นตอนวิธีใหม่พบว่าดีกว่าทุกขั้นตอนวิธีที่นำมาเปรียบเทียบ ในส่วนของการเตรียมการประมวลผล ส่วนการค้นหาพบว่า เป็นแบบเส้นตรงแบบเดียวกับ KMP ซึ่งดีกว่าขั้นตอนวิธีอื่นๆ ยกเว้นขั้นตอนวิธี SO พิจารณาในเรื่องความซับซ้อนของขั้นตอนวิธี พบว่า ขั้นตอนการเตรียมการประมวลผล $O(m/k)$ ซึ่งดีกว่าขั้นตอนวิธีอื่นๆ ส่วนการค้นหา $O(n+nocc)$ มีลักษณะเป็นเส้นตรงเช่นเดียวกับขั้นตอนวิธี KMP ยิ่งหาก

พิจารณาเปรียบเทียบกับ KR ซึ่งเป็นแนวค้นหาด้วยการแอสซเช่นเดียวกัน จะพบว่า ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ มีประสิทธิภาพมากกว่า KR มาก

ตารางที่ 12 ผลการเปรียบเทียบความซับซ้อนของการเปรียบเทียบคู่สายอักขระแบบ

ขั้นตอนวิธี	ส่วนเตรียมการประมวลผล	เนื้อที่	ส่วนการค้นหา
MIVL	$O(m/k)$	$O(2(m/k))$	$O(n+nocc)$
BF	-	-	$O(mxn)$
KMP	$O(m)$	$O(m)$	$O(n+occ)$
BM	$O(m+\Sigma)$	$O(m+\Sigma)$	$O(mxn)$
PFIVL	$O(m)$	$O(m)$	$O(mxn)$
BNDM	$O(m)$	$O(m)$	$O(mxn)$
BNDMq	$O(m)$	$O(m)$	$O(mxn)$
SO	$O(m+\Sigma)$	$O(m+\Sigma)$	$O(n)$
KR	$O(m)$	$O(m)$	$O(mxn)$
QS	$O(m+\Sigma)$	$O(m+\Sigma)$	$O(mxn)$

4. บทสรุป ข้อเสนอแนะ และงานวิจัยในอนาคต

งานวิจัยนี้ พัฒนาโครงสร้างข้อมูลแบบใหม่เรียกว่ารายการผกผันแบบพหุอักขระเพื่อใช้สำหรับการค้นหาข้อมูลสายอักขระแบบ โครงสร้างที่สร้างขึ้นสามารถรองรับการเข้าถึงการเปรียบเทียบคู่สายอักขระแบบให้ได้มากกว่าการเทียบทีละตัวอักษร จากนั้นออกแบบขั้นตอนวิธีสำหรับการสร้างตารางการจัดเก็บรายการผกผันแบบพหุอักขระ และออกแบบขั้นตอนวิธีการเปรียบเทียบคู่สายอักขระแบบเดียวเพื่อค้นหาข้อมูลแบบสายอักขระแบบเดียว ผลการวิจัยเชิงทฤษฎีพบว่า โครงสร้างของขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ในรูปแบบพหุอักขระนี้ใช้โครงสร้างข้อมูลในรูปแบบตารางที่ไม่ซับซ้อนและใช้หลักการเข้าถึงข้อมูลด้วยการสร้างตารางแฮชที่สนับสนุนการเข้าถึงข้อมูลอักขระแบบได้รวดเร็ว ผลการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีของขั้นตอนวิธีใหม่มีความซับซ้อนด้านเวลาความซับซ้อนต่ำ มีลักษณะการค้นหาเชิงเส้นตรงเช่นเดียวกับ KMP (แสดงใน (Charras C. and Lecroq T., 2008, pp.47) [7]) ซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีที่มีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะสำหรับการนำงานวิจัยไปประยุกต์ใช้ หากอักขระแบบมีการแบ่งขนาดรายการผกผันแบบพหุอักขระไม่ลงตัว อาจมีผลส่งต่อการนำไปเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งต้องจัดการในส่วนของเศษของจำนวนตัวอักขระดังกล่าวให้เหมาะสมในการค้นหา ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้นมาใหม่นี้ทำงานได้ดีมากในกรณีการแบ่งขนาดรายการผกผันแบบพหุอักขระลงตัว

การพัฒนางานวิจัยในอนาคต คือ นำขั้นตอนวิธีไปสู่การประยุกต์ใช้งานด้วยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ รวมถึงการปรับปรุงโครงสร้างรายการผกผันแบบพหุอักขระ เพื่อนำไปใช้จัดเก็บอักขระพหุแบบ (Multiple String Pattern) เตรียมสำหรับสร้างขั้นตอนวิธีสำหรับการเปรียบเทียบคู่สายอักขระพหุแบบ (Multiple String Pattern Matching Algorithm) และขั้นตอนวิธีเปรียบเทียบคู่พจนานุกรม (Dictionary Matching Algorithm) อีกทั้งจัดการการค้นหาให้อักขระแบบเป็นพลวัตได้ (Dynamic Pattern Matching)

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอบพระคุณ สถาบันวิจัยมหาวิทยาลัยรามคำแหงที่ให้การอุดหนุนทุนวิจัย ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์เอื้อเพื่อสถานที่สำหรับดำเนินการวิจัยจนบรรลุผล

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] R.S. Boyer and J. S. Moore. A fast string searching algorithm, *Communications of the ACM*. 20, 1997, 762-772.
- [2] M.Chrochemore and C. Handcart. Automata for Matching Patterns, *Handbook of Formal Languages, Volume 2, Linear Modeling: Background and Application*, G. Rozenberg and A. Salomaa ed., Springer-Verlag, Berlin., Ch. 9, 1997,399-462.
- [3] M. Chrochemore. Off-line serial exact string searching, *Pattern Matching Algorithms*, A. Apostolico and Z. Galil ed., Oxford University Press. Chapter 1, 1997, 1-53.
- [4] M. Crochemore, Gasieniec L., and Rytter W. Constant-space string-matching in sublinear average time, *Compression and Complexity of Sequences 1997*, 1997, 230 – 239.
- [5] C. Monz and M. de. Rijke. (2006, August, 12) Inverted Index Construction. Available: <http://staff.science.uva.nl/~christof/courses/ir/transparencies/clean-w-05.pdf>.
- [6] M. Escardo. (2008, October 15), Complexity considerations for hash tables Available: <http://www.cs.bham.ac.uk/~mhe/foundations2/node92.html>.
- [7] C. Charras and T. Lecroq. (2008, October 10). Handbook of Exact String Matching. Available: www.igm.univ-mlv.fr/~lecroq/string/string.pdf.
- [8] G. Navarro and M. Raffinot. *Flexible Pattern Matching in Strings*. The press Syndicate of The University of Cambridge., 2002, 15-40.
- [9] Z. Galil and R. Giancarlo. On the exact complexity of string matching upper bounds, *SIAM Journal on Computing*, 21(3)., 1992, 407-437.
- [10] H. Kesong, W. Yongcheng and C. Guilin. Research on A Faster Algorithm for Pattern Matching, *Proceedings of the fifth International workshop on Information retrieval with Asian languages*. 2000, 119-124.
- [11] Wikipedia. (2020, November 15), Hash table. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Hash_table.
- [12] K. Loudon. (2020, November 24), Hash Tables. Available: www.oreilly.com/catalog/masteralgoc/chapter/ch08.pdf.
- [13] V. H. DINH. (2020, November 24), Hash Table. Available: <http://libetpan.sourceforge.net/doc/API/API/x161.html>.
- [14] J. Law. Book reviews: Review of "Flexible pattern matching in strings: practical on-line algorithms for text and biological sequences by Gonzolo Navarro and Mathieu Raffinot.", Cambridge University Press 2002". *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, vol. 28 Issue 2, 2003, 1-36.
- [15] G. Navarro and M. Raffinot. Fast and flexible string matching by combining bit-parallelism and suffix automata, *December 2000 Journal of Experimental Algorithmics (JEA)*, vol. 5, 2000.
- [16] D. E. Knuth, J. R. Morris, and J. H. Pratt. Fast pattern matching in strings, *SIAM Journal on Computing* 6(1), 1977, 323-350.

- [17] M. S. Ager, O. Danvy and H. K. Rohde. Fast partial evaluation of pattern matching in strings, ACM Transactions on Programming Languages and Systems (TOPLAS), vo. 28 Issue 4, 2006, 3-9.
- [18] M. S. Ager, O. Danvy and H. K. Rohde. On obtaining Knuth, Morris, and Pratt's string matcher by partial evaluation, Proceedings of the ASIAN symposium on Partial evaluation and semantics-based program manipulation, 2002, 32-46.
- [19] J. R. Morris, and J. H. Pratt. A linear pattern-matching algorithm, Technical Report 40, University of California, Berkeley. 1970.
- [20] O. R. Zaïane. (2001, September 15), CMPUT 391: Inverted Index for Information Retrieval, University of Alberta. Available: <http://www.cs.ualberta.ca/~zaiane/courses /cmput39-03/>.
- [21] R. B. Yates and B. R. Neto. Mordern Information Retrieval, The ACM press. A Division of the Association for Computing Machinery, Inc, 1999, 191-227.
- [22] I. Simon. String matching and automata, Results and Trends in Theoretical Computer Science, Graz, Austria, J. Karhumaki, H. Maurer and G. Rozenberg ed., Lecture Notes in Computer Science 814, Springer- Verlag, Berlin, 1994, 386-395.
- [23] C. Khancome and V. Boonjing. Inverted lists string matching algorithms, International Journal of Computer Theory and Engineering vol.2 , no.3, 2010, 352–357.

การปรับปรุงสูตรกาวอินทรีย์ด้วยสมุนไพรให้กับกระถางเพาะกล้าจากฟางข้าว:

ผลิตภัณฑ์ชุมชนบ้านดอนซาก อำเภอหันคา จังหวัดชัยนาท

Improved organic glue formula with herbs to rice straw seedling pot:

Ban Don Sak Community Product, Huai Ngu, Hankha, Chainat Province

วีรนุช สระแก้ว^{1*} และ เกวรินทร์ พันทวี²

¹สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

²สาขาวิชาศิลปกรรมศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

*E-mail: veeranuch.s@chandra.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมและทดสอบสมบัติของกาวปราศจากสารเคมีหรือกาวอินทรีย์ (แป้งข้าวเจ้า : แป้งข้าวเหนียว : น้ำ, 1:1:5) ที่ได้เติมผงสมุนไพร (ไพล ขมิ้น ตะไคร้ ข่า และมะนาว) ขึ้นรูปและทดสอบความแข็งแรง การย่อยสลายของกระถางเพาะกล้าจากฟางข้าวที่ประสานด้วยกาวอินทรีย์ที่ได้เติมผงสมุนไพร ผลการทดสอบการเตรียมกาวอินทรีย์ผสมผงสมุนไพร พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างกาวอินทรีย์ต่อผงสมุนไพรต่อน้ำ คือ 2:1:1 โดยน้ำหนัก โดยให้ความร้อนด้วยเตาไมโครเวฟ 700 วัตต์ ผลทดสอบการดูดซับน้ำของกาวอินทรีย์ที่เตรียมได้ พบว่า มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำจากน้อยไปมาก คือ กาวอินทรีย์ผสมขมิ้น ไพล/ข่า ตะไคร้ กาวอินทรีย์สูตรควบคุม ส่วนกาวอินทรีย์ที่ผสมมะนาว ละลายน้ำหมดทันที อัตราส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปกระถางเพาะกล้าจากฟางข้าว คือ อัตราส่วนระหว่างกาวอินทรีย์ต่อฟางบดต่อผงสมุนไพรต่อน้ำที่อัตราส่วน 2:1:1:6 โดยน้ำหนัก ผลการทดสอบสมบัติการคงรูปของกระถางเพาะกล้า พบว่า เมื่อแช่กระถางในน้ำ ครบ 48 ชั่วโมง กระถางเพาะกล้ากาวมะนาวและกระถางเพาะกล้าขมิ้นคงรูป แต่น้ำที่แช่กระถางที่ประสานด้วยกาวขมิ้น เกิดฟองและมีกลิ่นแต่กาวมะนาวไม่มี ดังนั้นกระถางเพาะกล้ากาวมะนาวเป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ ผลการขึ้นรูปกระถางเพาะกล้ากาวมะนาว โดยน้ำหนัก ที่ 700 วัตต์ เป็นเวลา 16 นาที ที่อัตราส่วนระหว่าง กาวอินทรีย์สูตรควบคุม : ฟางข้าว : มะนาว คือ 2:1:1 ซึ่งเป็นสูตรกาวที่มีอัตราส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปกระถาง ผลการทดสอบสมบัติทางเคมีของกระถางเพาะกล้ากาวมะนาว โดย ATR-FTIR พบ แถบดูดกลืนสำคัญที่ 1713.00 cm^{-1} แสดงหมู่ฟังก์ชันของ C=O ester bond, แถบดูดกลืนที่ 1193.49 cm^{-1} แสดงหมู่ฟังก์ชันของ C-O stretching (ester) ผลการทดสอบความแข็งแรงของกระถางเพาะกล้ากาวมะนาวมีความแข็งแรงดิ่งมากกว่ากระถางเพาะกล้าประสานด้วยกาวอินทรีย์สูตรควบคุม ผลทดสอบการคงรูป กระถางเพาะกล้ากาวอินทรีย์เมื่อนำไปเพาะผักบุ้งและรดน้ำด้วยฝักบัวและสายยางสามารถคงรูปอยู่ได้เมื่อเวลาผ่านไป 63 วัน ส่วนกระถางเพาะกล้ากาวมะนาว สามารถคงรูปได้ 81 วัน ผลการทดสอบการย่อยสลายของกระถางเพาะกล้าโดยการฝังดิน กระถางเพาะกล้ากาวมะนาวสามารถย่อยสลายในดินได้และเป็นมิตรต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: กระถางเพาะกล้า ฟางข้าว กาวอินทรีย์ สมุนไพร

Abstract

The purpose of this study was to prepare and test properties of chemical free glue or organic glue (rice flour: glutinous rice flour: water, 1:1:5 by weight) with adding herb powder. To form and test the strength, degradation of rice straw seedling pots added with adding herb powder. The result of the preparation of organic glue with herb powder found that the optimum weight ratio between organic glue and herbal powder and water was denoted as 2:1:1 by weight with a 700 watt of microwave oven baked. The adsorption test of organic glue water revealed that the percentage of water adsorption from low to high was organic glue mixed with turmeric, plai/galangal, and lemongrass glue, respectively. Also, organic glue mixed with lime was dissolved immediately. For producing of rice straw seedling pots, the weight ratio between the organic glue to crushed straw; the herb powder i.e., plai, turmeric, lemongrass, galangal and lime, and the water was denoted as 2:1:1:6 by weight. The results of the test on the fixed shape of rice straw seedling pots showed that after immersing the pots in water for 48 hours, the seedling pot mixed with lime and seedling pot mixed with turmeric glue remained intact. However, the water used to soak the mixed-turmeric-glue pots formed not only bubbles but also smelled but seedling pot mixed with turmeric glue but seedling pot mixed with lime didn't found. Therefore, the glue for forming seedling pots with lime is the best formula for testing its performance. The optimum formula of the glue for forming seedling pots with lime between formulated organic glue and rice straw and lime was 2:1:1 by weight with a 700 watt of microwave oven baked for 16 minutes. The results of chemical properties of the seedling pots mixed with the lime glue by using ATR-FTIR for example showed a frequency of 1713.00 cm^{-1} with the C=O ester bond, also, the frequency of 1193.4 cm^{-1} showed the C-O stretching group (ester). The strength of the seedling pots with lime glue had higher tensile strength than the seedling pots with the formulated organic glue. The stability test of the formulated organic glue seedling pots based on planting morning glory watered with a shower and hose found that such pots retained their shape after 63 days. The seedling pot mixed lime to maintain fixed shape for 81 days. As for the decomposition test of rice straw seedling pots by burying in the soil, seedling pot with lime were biodegradable in the soil and bio-friendly and environmentally.

Keywords: seedling pot, rice straw, organic glue, herbs

1. บทนำ

ในปี พ.ศ. 2561-2563 คณะวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษมและชาวบ้านชุมชนหมู่บ้านดอกซาก ได้มีโอกาสทำงานวิจัยร่วมกัน ซึ่งชาวบ้านมีความต้องการที่จะนำฟางข้าวมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ เพื่อลดการเผาฟางในจังหวัดและนำฟางมาใช้ให้เกิดประโยชน์โดยการนำมาใช้ในการเพาะกล้าต้นไม้ เป็นการลดต้นทุนการผลิตในการจำหน่ายกล้าไม้ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของชุมชน ในปีที่ผ่านมาชาวบ้านได้มีการทำการตลาดโดยการออกงาน ตั้งบูธ เพื่อประชาสัมพันธ์สินค้า ทำให้ยอดจำหน่ายกระถางจากฟางข้าวเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเดือนละ 1,000 บาท (นิตยา บุญจันทร์. สัมภาษณ์. 2563) ผลจากงานวิจัยที่ผ่านมา กระถางเพาะกล้าสามารถงอกได้เป็นเวลา 45 วัน แต่หลังจาก 45 วัน เส้นใยกระถางเริ่มนิ่ม และย่อยสลาย (เกวรินทร์ พันทวี และ

วีรบุรุษ สระแก้ว, 2562) กลุ่มผู้บริโภคและกลุ่มชาวบ้านผู้ผลิตกระถางเพาะกล้าจากฟางข้าวมีความต้องการกระถางเพาะกล้าที่มีความแข็งแรง คงรูปได้นานมากกว่า 45 วัน เนื่องจากระยะเวลา 45 วัน เป็นระยะเวลาที่เมล็ดพืช เจริญเติบโตพร้อมลงดิน และมีความต้องการให้กระบวนการผลิตกระถางปราศจากการใช้โซดาไฟในการต้มฟาง เพื่อให้กระบวนการผลิตปราศจากสารเคมี 100% เพราะเวลาต้มฟางกับโซดาไฟ จะแสบจมูก คณะวิจัยร่วมกับกลุ่มชาวบ้านจึงมีแนวความคิดที่จะปรับปรุงกระบวนการผลิตกระถางให้ปราศจากการใช้สารเคมีและปรับปรุงสูตรกาวอินทรีย์ที่ใช้เป็นวัสดุประสานเส้นใยฟางข้าวโดยหาพืชที่หาได้ในท้องถิ่นที่มีน้ำมันหรือเรซินหรือสารเชื่อมขวางมาผสมในกาวอินทรีย์สูตรควบคุมเพื่อเพิ่มความคงรูปและความแข็งแรงให้กับกระถาง และเพื่อให้ได้กระถางรักษ์โลกที่ปราศจากการใช้สารเคมี 100%

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดที่จะนำพืชผักสวนครัวในท้องถิ่น ได้แก่ ข้า ตะไคร้ โพล ขมิ้น มะนาว ซึ่งเป็นพืชที่หาได้ในท้องถิ่นของชาวบ้าน มาผสมในกาวอินทรีย์สูตรควบคุมเพื่อใช้เป็นตัวประสาน เมื่อให้ความร้อนจะทำให้เกิดปฏิกิริยาระดับโมเลกุล ซึ่งจะส่งผลทำให้กระถางฟางข้าวคงรูปได้นานขึ้นเมื่อใช้บัวรดน้ำหรือสายยางรดน้ำ โดยคาดว่าน้ำมันหรือเรซินหรือสารสำคัญที่อยู่ในข้า ตะไคร้ โพล ขมิ้น และมะนาว ซึ่งในสมมติฐานเบื้องต้นคาดว่า สารสำคัญในข้า ตะไคร้ โพล ขมิ้น เป็นสารที่มี bifunctional entities และเป็น activated double bond เช่นเดียวกับสารสกัดจากขิง ซึ่งสารสำคัญในข้า ได้แก่ 1,8-cineole 53.7%, α -pinene 2.67%, trans-caryophyllene 2.61%, terpineol-4-ol 2.41%, charvicol 1% ถ้าสกัดด้วยตัวทำละลายอะซิโตนจะพบ p-hydroxycinnamaldehyde (คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. Online. 1 ตุลาคม 2565) ส่วนในตะไคร้ พบ citral 80% และสารอื่น ๆ เช่น nerol, myrcene, limonene, eugenol, linalool, menthol, nerolidol, camphor, citronellol, farnesol ฯลฯ (คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. Online. 1 ตุลาคม 2565) ในโพลและขมิ้น จะพบ curcumin ปริมาณที่สูงมาก และในขมิ้นจะมีขิน หรือ oleoresin ซึ่งคาดว่าน่าจะมีผลทำให้กระถางคงรูปได้ ส่วนมะนาวจะพบกรดซิตริก (citric acid) ซึ่งประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิลิก 3 หมู่ ใน 1 โมเลกุล ซึ่งมีสมบัติเป็นสารเชื่อมขวางได้ จึงสนใจที่จะนำมาเป็นสารเชื่อมขวางระหว่างฟางข้าว และกาวอินทรีย์หรือกาวแป้ง เนื่องจากกาวแป้งประกอบไปด้วยพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) ส่วนฟางข้าวประกอบด้วยเส้นใยเซลลูโลส ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นหมู่ที่สำคัญ จึงคาดว่าน่าจะมีปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอกซิลของกรดซิตริกได้ โดยมีการใช้ความร้อนจากเตาในการทำให้เกิดปฏิกิริยาระดับโมเลกุล ซึ่งกาวอินทรีย์สูตรควบคุม คือ แป้งข้าวเหนียว : แป้งมัน : น้ำ, 1:1:5 โดยน้ำหนัก (สำหรับกลไกการเกิดกาวอินทรีย์หรือกาวแป้ง เกิดจากเม็ดแป้งประกอบด้วยหน่วยซ้ำของแซ็กคาไรด์มาประกอบกันเป็นสายโซ่ยาว เป็นพอลิเมอร์จากธรรมชาติ เรียก อะไมโลส (amylose) แต่ถ้ามีกิ่ง จะเรียก อะไมโลเพกติน (amylopectin) พันเกี่ยวกันด้วยพันธะไฮโดรเจนอย่างแน่นหนา เมื่อทำการกวนผสมแป้งข้าวเหนียวแป้งมันและน้ำ จะกลายเป็นน้ำแป้งโมเลกุลของน้ำจะยังไม่สามารถแทรกในเม็ดแป้งได้ แต่เมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส พันธะไฮโดรเจนในเม็ดแป้งจะคลายตัว ส่งผลให้โมเลกุลของน้ำจะแทรกเข้าไประหว่างสายโซ่ของเม็ดแป้ง ทำให้แป้งดูดน้ำและพองตัว น้ำแป้งจะมีความหนืดเพิ่มขึ้นและใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำที่รอบ ๆ เม็ดแป้ง เหลืออยู่รอบเม็ดแป้งน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ส่งผลให้เม็ดแป้งหนืดขึ้น ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสนี้ ที่ทำให้แป้งหนืดขึ้น เรียก อุณหภูมิเจลลาติไนเซชัน (gelatinization temperature) (ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. ออนไลน์. 2565) จะได้กาวอินทรีย์หรือกาวแป้งที่มีความหนืด และเมื่อผสมข้า ตะไคร้ โพล ขมิ้น มะนาว กับฟางข้าว และกาวอินทรีย์หรือกาวเปียก จึงคาดว่าสารสำคัญในข้า ตะไคร้ โพล ขมิ้น มะนาว ที่กล่าวมาข้างต้น จะทำปฏิกิริยากับกาวแป้งเมื่อทำให้ร้อนด้วยเตาไมโครเวฟ จึงคาดว่าจะมีผลทำให้กระถางฟางข้าวมีความคงรูปและความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกาวอินทรีย์สูตรควบคุมที่ไม่มีการเติมผงสมุนไพโร โดยผลจากงานวิจัยนี้กลุ่มชาวบ้านสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงกาวอินทรีย์เพื่อให้กระถางเพาะกล้าคงรูปและย่อยสลายได้นานขึ้นเมื่อใช้การรดน้ำด้วยบัวรดน้ำหรือสายยาง และกระถางเพาะกล้ามีความคงรูปและความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกาวอินทรีย์สูตรควบคุม อีกทั้งพืชที่นำมาจากธรรมชาติไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และหาได้ในท้องถิ่น

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

2.1.1 การบดฟางในเครื่องบดสมุนไพร เป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นร่อนผ่านตะแกรงขนาด 30 ช่องต่อความยาว 1 นิ้วของตะแกรง (mesh) จะได้ฟางบด มีขนาดอนุภาค 0.595 มิลลิเมตร

2.1.2 การเตรียมกาวอินทรีย์ ชั่งแป้งมันแป้งข้าวเหนียว อย่างละ 100 กรัม และตวงน้ำ ปริมาตร 500 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1:1:5 โดยน้ำหนัก) คนผสมให้เข้ากัน ให้ความร้อนด้วยเตาไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แป้งจะขึ้นเหนียวจับตัวกัน จะได้กาวอินทรีย์ ส่วนการเตรียมผงสมุนไพร โดยนำ ไพล ขมิ้น ตะไคร้ และข่า มาล้างทำความสะอาด หั่น ตากแห้งและอบ บดเป็นผง ส่วนกรดซิตริกเตรียมจากน้ำมะนาว โดยการนำน้ำมะนาวมาทำปฏิกิริยากับแคลเซียมออกไซด์และกรดซัลฟูริกและเข้าสู่กระบวนการตกผลึกและอบแห้ง จะได้กรดซิตริก (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2564 :37-3) จากนั้นนำมาผสมกับกาวอินทรีย์ ที่อัตราส่วนระหว่างกาวอินทรีย์ต่อผงสมุนไพรต่อน้ำ อัตราส่วน 2:1:1 โดยน้ำหนัก ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ให้ความร้อนในเตาไมโครเวฟที่ 700 วัตต์

2.2 การเตรียมกระดาษเพาะกล้าจากฟางข้าว ชั่งกาวอินทรีย์ต่อฟางบดต่อผงขมิ้นต่อน้ำที่อัตราส่วน 2:1:1:6 โดยน้ำหนัก ผสมให้เข้ากัน เทส่วนผสมใส่แม่พิมพ์ซิลิโคนกระดาษหกเหลี่ยม เส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 เซนติเมตร สูง 4 เซนติเมตร และชั่งน้ำหนักก่อนอบ นำเข้าเตาอบไมโครเวฟ ที่ 700 วัตต์ เป็นเวลา 16 นาที กระดาษจะแข็งตัว จะได้กระดาษฟางข้าวผสมผงขมิ้น ทำซ้ำแต่เปลี่ยนผงสมุนไพรจากขมิ้นเป็น ไพล ตะไคร้ ข่า และมะนาว

2.3 การทดสอบสมบัติทางเคมีและสมบัติกายภาพของกาวอินทรีย์และกระดาษเพาะกล้าจากฟางข้าว

2.3.1 การทดสอบการดูดซับน้ำของกาวอินทรีย์ นำกาวผสมสมุนไพรที่เตรียมได้ ขนาด 5×5 ซม. แช่น้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาชั่งน้ำหนัก บันทึกผลการทดลอง

2.3.2 การทดสอบสมบัติความคงรูปและการดูดซับน้ำของกระดาษเมื่อแช่น้ำ ทดสอบการดูดซับน้ำของกระดาษกาวขมิ้น ชั่งน้ำหนักกระดาษแห้งอบ บันทึกผล จากนั้นไปทดสอบความคงรูปของกระดาษเมื่อแช่น้ำ โดยนำไปแช่น้ำ ปริมาตร 250 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 48 และ 72 ชั่วโมง สังเกตการคงรูปของกระดาษ บันทึกผลการทดลอง ทำซ้ำแต่เปลี่ยนจากกระดาษกาวขมิ้น เป็นกระดาษกาวไพล ตะไคร้ ข่า มะนาว และกาวอินทรีย์ ตามลำดับ

2.3.3 การหาหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญกระดาษเพาะกล้าจากฟางข้าว ด้วย ATR-FTIR โดยใช้ Zn-Se ATR crystal โดยสแกนจากความถี่ 650-4000 cm^{-1}

2.3.4 การทดสอบความแข็งแรงของกระดาษเพาะกล้าจากฟางข้าว ชั่งกาวอินทรีย์ต่อฟางบดต่อผงสมุนไพรต่อน้ำที่อัตราส่วน 2:1:1:6 โดยน้ำหนัก ผสมให้เข้ากัน เทส่วนผสมใส่แม่พิมพ์ซิลิโคนทรงสี่เหลี่ยมพื้นผ้า ขนาด กว้าง 2 เซนติเมตร ยาว 8 เซนติเมตร หนา 0.3 เซนติเมตร (อรรถพล ตะระะ. 2551 : 175) นำเข้าเตาอบไมโครเวฟ ที่ 700 วัตต์ จะได้ชิ้นงานสำหรับทดสอบความแข็งแรงดึง ชั่งน้ำหนักชิ้นงานแห้งอบ บันทึกผล จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติความแข็งแรงดึง

2.4 การทดสอบการคงรูปและย่อยสลายของกระดาษฟางข้าวเมื่อนำไปปลูกพืช

2.4.1 การทดสอบการคงรูป เตรียมกระดาษฟางข้าวที่มีสมบัติการคงรูปขนาด 10 นิ้ว มาชั่งน้ำหนัก จากนั้นใส่ดินและเมล็ดผักบุ้ง รดน้ำ ปลูกจนผักบุ้งโตและตาย สังเกตการคงรูปของกระดาษ นำกระดาษที่ยังไม่เสียรูปทำการทดลองต่อ โดยโดยรดน้ำกระดาษด้วยถ้วยสายยางต่อไปจนกระดาษกระดาษเสียรูป บันทึกผล

2.4.2 การทดสอบการย่อยสลาย นำกระดาษฟางข้าวที่มีสมบัติการคงรูปมาชั่งน้ำหนัก จากนั้นใส่ดินและเมล็ดพันธุ์ผักบุ้ง รดน้ำ เมื่อพืชเริ่มโตโดยออกใบจริง นำกระดาษฟางข้าวไปใส่ในภาชนะใสที่มีดินอยู่ สังเกตการย่อยสลายของกระดาษเมื่อเวลาผ่านไป นำกระดาษมาชั่งน้ำหนัก บันทึกผลการทดลอง

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 การเตรียมกาวอินทรีย์และการทดสอบการดูดซับน้ำของกาวอินทรีย์

จากการเตรียมกาวอินทรีย์ที่อัตราส่วนระหว่างกาวอินทรีย์สูตรควบคุมต่อผงสมุนไพรรตอหน้า 2:1:1 โดยน้ำหนัก สำหรับทดสอบสมบัติการดูดซับน้ำ พบว่า กาวอินทรีย์ที่มีการผสมผงไพล ขมิ้น ตะไคร้ ข่า มะนาวและกาวอินทรีย์สูตรควบคุม ในเตาไมโครเวฟ 700 วัตต์ เป็นเวลาเฉลี่ย 6 นาที จึงแข็งตัว การที่กาวเกิดการหดและแข็งตัวได้ เนื่องจากในกาวมีส่วนผสมของแป้งมันและแป้งข้าวเหนียว ซึ่งมีส่วนประกอบของอะไมโลส อะไมโล แพคติน ซึ่งเป็นพอลิแซคคาไรด์ เมื่อผสมกับน้ำและให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จะเกิดปรากฏการณ์เจลลาคิไนซ์ (Gelatinization) เนื่องจากความร้อนทำลายพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลของเม็ดแป้งอะไมโลส อะไมโลแพคติน ที่อัดอยู่จะคลายตัวและรวมกับน้ำที่ล้อมรอบ ทำให้เม็ดแป้งพองตัว และความหนืดของน้ำแป้งสูงขึ้น (ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. ออนไลน์. 21 มกราคม 2565) ทำให้เกิดการพันกันระหว่างสายโซ่ นอกจากนี้กาวอินทรีย์ที่มีส่วนผสมของผงสมุนไพรรจะช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับกาวแป้งทำให้สามารถขึ้นรูปได้ในเตาไมโครเวฟ ส่วนกาวอินทรีย์ที่ผสมมะนาว เมื่อได้รับความร้อนในเตาไมโครเวฟ 700 วัตต์ (239 องศาเซลเซียส) ทำให้กาวเปลี่ยนจะสีขาวขุ่น กลายเป็นสีน้ำตาลเข้ม มีลักษณะเหนียวหนืด เนื่องจากเมื่อกาวที่ทำมาจากแป้งทำปฏิกิริยากับกรดซิตริกในมะนาวและได้รับความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 230 องศาเซลเซียส จะเกิดเป็น Starch citrate สีน้ำตาล (Adebiyi et al. 2011 : 114) ดังแสดงในภาพที่ 1



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 ชิ้นงานกาวอินทรีย์ผสมผงมะนาวและน้ำที่อัตราส่วน 2:1:1 โดยน้ำหนัก (ก) ก่อนให้ความร้อนในเตาไมโครเวฟ (ข) หลังให้ความร้อนในเตาไมโครเวฟ 700 วัตต์ 6 นาที

จากผลทดสอบการดูดซับน้ำของกาวอินทรีย์ที่เตรียมได้ พบว่า เมื่อนำกาวผสมผงสมุนไพรรผสมน้ำที่ อัตราส่วน 2:1:1 โดยน้ำหนัก มาให้ความร้อนด้วยเตาไมโครเวฟ 700 วัตต์ เป็นเวลา 6 นาที เพื่อเตรียมชิ้นงานขนาด 10×10×0.3 ตารางเซนติเมตร จากนั้นตัดด้วยคัตเตอร์ให้มีขนาด 5×5 ตารางเซนติเมตร สำหรับทดสอบสมบัติการดูดซับน้ำ โดยแช่น้ำ เป็นเวลา 60 นาที และผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 1

จากผลทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ พบว่า ขมิ้น มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำได้น้อยที่สุด คือ 48.64% ตามด้วยไพล และ ข่า มีเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำใกล้เคียงกัน คือ 80.17% และ 84.76% ส่วนตะไคร้มีการดูดซับน้ำมาก คือ 109.29% ส่วนกาวอินทรีย์ที่ไม่ผสมผงสมุนไพรร มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำมากที่สุด คือ 276.15% เนื่องมาจากโดยทั่วไปขมิ้นมีองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยและ turmeric oleoresins ซึ่งมีความหนืดสูง (ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. ออนไลน์. 21 มกราคม 2565) จึงมีผลทำให้กาวเกิดการดูดซับน้ำที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผงสมุนไพรรชนิดอื่น ๆ ส่วนไพล มี

องค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยและสารที่มีโมเลกุลใหญ่ (สารกลุ่ม arylbutanoids, curcuminoids, และ cyclohexene derivatives) (คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. ออนไลน์. 1 ตุลาคม 2565) ส่วนกาวอินทรีย์ที่ผสมมะนาว เมื่อนำมาทดสอบการดูดซับน้ำพบว่าละลายน้ำหมดทันที เนื่องจากแบ่งทำปฏิกิริยากับกรดซิตริกในน้ำมะนาว จะเกิดเป็น Starch citrate สีนํ้าตาล ทำให้เมื่อละลายน้ำแล้วละลายหมดจึงไม่สามารถวัดการดูดซับน้ำได้ แต่ผู้วิจัยมีความสนใจกาวขี้ผึ้งเนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำได้น้อยที่สุด นอกจากนี้มีความสนใจกาวมะนาวเนื่องจากในทางทฤษฎีกรดซิตริกในมะนาวมีหมู่คาร์บอกซิลิก 3 หมู่ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารเชื่อมขวางจากธรรมชาติได้ โดยคาดว่าจะเกิดการเชื่อมขวางระหว่างหมู่คาร์บอกซิลของกรดซิตริกหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสในฟาง และหมู่ไฮดรอกซิลของพอลิแซคคาไรด์ในกาวแบ่ง โดยให้ความร้อนสูงด้วยเตาไมโครเวฟ 700 วัตต์ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาระดับโมเลกุล

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบสมบัติการดูดซับน้ำของกาวอินทรีย์ที่ผสมผงสมุนไพรชนิดต่าง ๆ

สูตรกาว	น้ำหนักการดูดซับน้ำ (กรัม)					ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		%การดูดซับน้ำ
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	น้ำหนักก่อน	น้ำหนักหลัง	
	กาวไพล	2.722	3.612	2.534	3.303	3.817	1.775±0.077	
กาวขี้ผึ้ง	2.969	3.744	3.883	3.761	3.443	2.395±0.392	3.560±0.368	48.64
กาวตะไคร้	4.705	4.32	4.101	4.323	5.98	2.239±0.277	4.686±0.755	109.29
กาวข่า	4.489	4.106	4.058	4.209	4.348	2.296±0.428	4.242±0.177	84.76
กาวมะนาว				N/A				
กาวอินทรีย์ (ไม่ผสมผงสมุนไพร)	4.141	4.73	4.631	5.041	4.019	1.199±0.105	4.51±0.425	276.15

N/A = ไม่สามารถทดสอบได้เนื่องจากละลายน้ำ

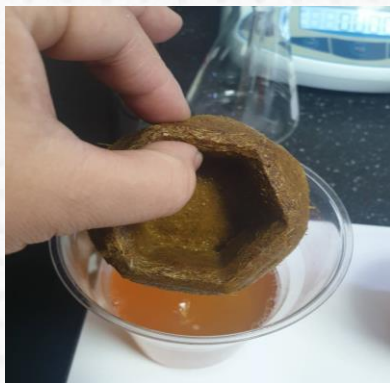
3.2 การเตรียมกระดาษเพาะกล้าจากฟางข้าวและการทดสอบสมบัติความคงรูปและการดูดซับน้ำของกระดาษเมื่อแช่น้ำ

การขึ้นรูปกระดาษเพาะกล้าจากฟางข้าว นำกาวสมุนไพรต่างๆ ที่เตรียมได้มาเตรียมกระดาษเพาะกล้าโดยให้ความร้อนด้วยเตาไมโครเวฟ 700 วัตต์ เป็นเวลา 16 นาที จะได้กระดาษเพาะกล้ากาวไพล กาวขี้ผึ้ง กาวตะไคร้ กาวข่า กาวมะนาว และกระดาษเพาะกล้ากาวอินทรีย์ที่ไม่ได้ผสมผงสมุนไพร จากนั้นนำกระดาษที่ผสมกาวสมุนไพรต่างๆ ไปทดสอบการคงรูปและการดูดซับน้ำ ผลการทดสอบการคงรูปของกระดาษเพาะกล้าที่ประสานด้วยกาวอินทรีย์ผสมผงสมุนไพรชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งจะเห็นได้ว่ากระดาษเพาะกล้าที่ประสานด้วยกาวไพล กาวขี้ผึ้ง กาวตะไคร้ กาวข่า และกาวมะนาวจะมีการคงรูปของกระดาษเหมือนเดิม หลังการแช่น้ำ 24 ชั่วโมง แต่กระดาษเพาะกล้ากาวตะไคร้ และกาวอินทรีย์จะเสียรูป และน้ำหนักของกระดาษฟางข้าวก่อนและหลังการแช่น้ำ 24 ชั่วโมง พบว่า กระดาษเพาะกล้ากาวขี้ผึ้งมีปริมาณการดูดซับน้ำน้อยที่สุด คือ 21.47% รองลงมา คือ กระดาษเพาะกล้าที่ประสานด้วย กาวไพล มะนาว และข่า คือ 46.29%, 52.84%และ 115.96% ตามลำดับ จะมีลักษณะบวมนี้ และเมื่อแช่กระดาษ ครบ 48 ชั่วโมง พบว่า กระดาษเพาะกล้ากาวไพลเสียรูป มีความนิ่ม กั้นกระดาษรั้วที่ขบกันกระดาษ และกาวข่ากั้นกระดาษหลุดออก ดังแสดงในภาพที่ 3 ส่วน

กระถางเพาะกล้ากาวขี้ผึ้งและกาวมะนาวยังคงรูปอยู่ แต่มีการบวมตัวเพิ่มขึ้นและดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 113.9% และ 154.98% ตามลำดับ และเมื่อแช่กระถางครบ 72 ชั่วโมง พบว่า กระถางเพาะกล้ากาวมะนาวกับกระถางหลุดออก ดังแสดงในภาพที่ 4 ส่วนกระถางเพาะกล้ากาวขี้ผึ้งยังคงรูปอยู่ แต่มีการบวมตัวเพิ่มขึ้นและดูดซับน้ำเป็น 125.11% ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ร้อยละของการดูดซับน้ำของกระถางเพาะกล้าผสมกาวสมุนไพรต่างๆ ที่แช่น้ำเป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง

กระถางเพาะกล้าผสมสูตรกาว	% การดูดซับน้ำของกระถาง		
	แช่น้ำ 24 ชั่วโมง	แช่น้ำ 48 ชั่วโมง	แช่น้ำ 72 ชั่วโมง
กาวไพล	46.29	151.26	-
กาวขี้ผึ้ง	21.47	113.90	125.11
กาวตะไคร้	161.77	-	-
กาวชำ	115.96	222.10	-
กาวมะนาว	52.84	154.98	160.86
กาวอินทรี	233.82	-	-



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

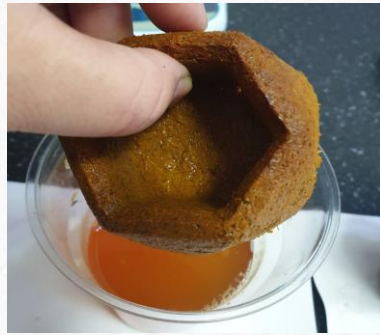


(ฉ)

ภาพที่ 2 ผลการทดสอบการคงรูปของกระถางเพาะกล้าที่ประสานด้วยกาวอินทรีผสมผงสมุนไพรชนิดต่างๆ ก) ไพล ข) ขี้ผึ้ง ค) ตะไคร้ ง) ชำ จ) มะนาว โดยเปรียบเทียบกับ ฉ) กาวอินทรี ที่ผ่านการแช่น้ำ 24 ชั่วโมง



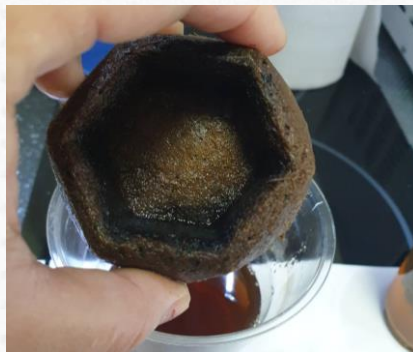
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 3 ผลการทดสอบการคงรูปของกระถางเพาะกล้าที่ประสานด้วยกาวอินทรีย์ผสมผงสมุนไพรชนิดต่างๆ ก) โพล ข) ขมิ้น ค) ข่า และ ง) มะนาวที่ผ่านการแช่น้ำ 48 ชั่วโมง



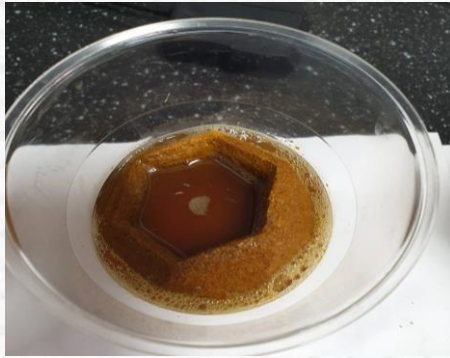
(ก)



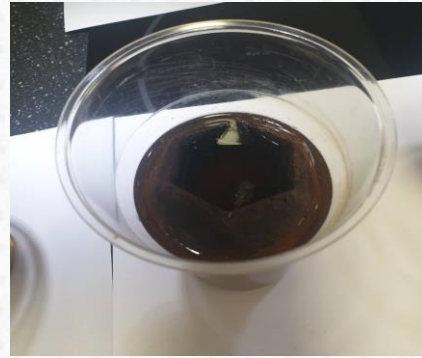
(ข)

ภาพที่ 4 ผลการทดสอบการคงรูปของกระถางเพาะกล้าที่ประสานด้วยกาวอินทรีย์ผสมผงสมุนไพรชนิดต่างๆ ก) ขมิ้น และ ข) มะนาวที่ผ่านการแช่น้ำ 72 ชั่วโมง

จากผลการทดสอบการคงรูปของกระถาง สรุปได้ว่า กระถางเพาะกล้าที่ประสานด้วยกาวขมิ้น จะมีการดูดซับน้ำได้น้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการดูดซับน้ำของกาวขมิ้น เนื่องจากในองค์ประกอบของน้ำมันหอมระเหยและ turmeric oleoresins ซึ่งเป็นโอไลโอเรซิน มีความหนืดสูง (ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. ออนไลน์. 21 มกราคม 2565) จึงเป็นตัวประสานให้กระถางคงรูปอยู่ได้ และมีผลทำให้กาวเกิดการดูดซับน้ำที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผงสมุนไพรชนิดอื่น ๆ แต่น้ำที่แช่กระถางที่ประสานด้วยกาวขมิ้นเกิดฟองและมีกลิ่น ดังแสดงในภาพที่ 5 เมื่อเทียบกับน้ำที่แช่กระถางเพาะกล้าที่ประสานด้วยกาวมะนาว ดังนั้นจึงเลือกกระถางเพาะกล้าที่ประสานด้วยกาวมะนาวเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมและทดสอบสมบัติต่อไป



(ก)

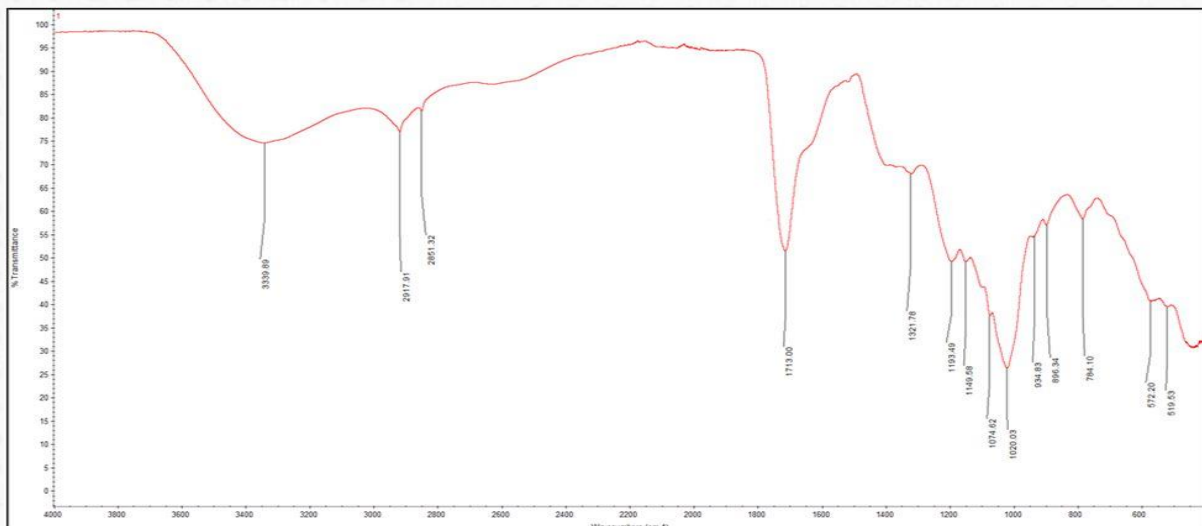


(ข)

ภาพที่ 5 การเกิดฟองและกลิ่นของน้ำแช่กระถางเพาะกล้าที่ประสานด้วยกาวอินทรีย์ผสม ก) ชมัน และ ข) มะนาวที่ผ่านการแช่น้ำ 48 ชั่วโมง

3.3 หมู่ฟังก์ชันที่สำคัญของกระถางเพาะกล้ากาวมะนาว โดย ATR-FTIR

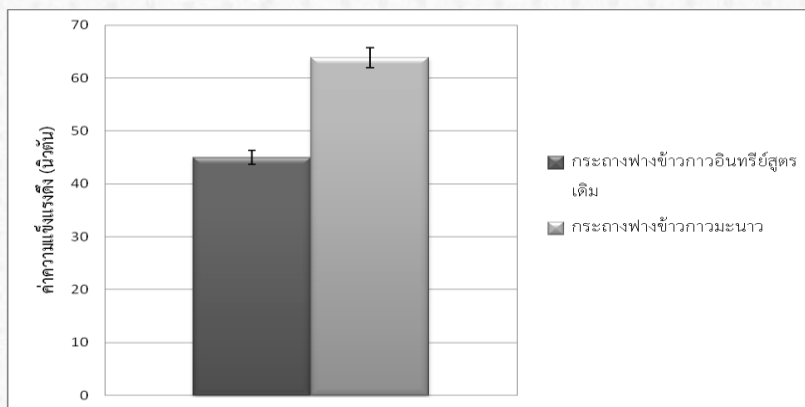
จาก IR สเปกตรัมของกระถางเพาะกล้ากาวมะนาว ดังแสดงในภาพที่ 6 แถบดูดกลืนที่ 3339.89 cm^{-1} แสดงหมู่ฟังก์ชันของ -OH stretching (lignin) แถบดูดกลืนที่ 2917.91 cm^{-1} แสดงหมู่ฟังก์ชันของ C-H stretching (lignin) ของฟางข้าว แถบดูดกลืนที่ 2851.32 cm^{-1} แสดงหมู่ฟังก์ชันของ C-H stretching (lignin) (ณัฐพร ชัชวาลธาดศรี, 2559 : 95) แถบดูดกลืนที่ 1713.00 cm^{-1} แสดงหมู่ฟังก์ชันของ C=O ester bond (Wilpiszewska et al., 2020 : 1384) แถบดูดกลืนที่ 1321.78 cm^{-1} แสดงหมู่ฟังก์ชันของ C-OH ของกาวอินทรีย์ (Wilpiszewska et al. , 2020 : 1384) แถบดูดกลืนที่ 1193.49 cm^{-1} แสดงหมู่ฟังก์ชันของ C-O stretching (ester) แถบดูดกลืนที่ 1149.58 cm^{-1} แสดงหมู่ฟังก์ชันของ C-O-C stretching (glycosidic bond) (ณัฐพร ชัชวาลธาดศรี, 2559 : 95) แถบดูดกลืนที่ 1074.62 cm^{-1} แสดงหมู่ฟังก์ชันของ C-OH, C-O-H ในวงกลูโคสของกาวอินทรีย์สูตรควบคุม แถบดูดกลืนที่ 1020.03 cm^{-1} แสดงหมู่ฟังก์ชันของ C-O-H bending แถบดูดกลืนที่ 896.34 cm^{-1} แสดงหมู่ฟังก์ชันของ CH bending (Prachayawarakorn and Tamseekhram, 2019 : 358) จากแถบดูดกลืนที่ 1713.00 cm^{-1} แสดงให้เห็นว่ากรดซิติริกจากมะนาวเกิดการเชื่อมขวางกับกระถางฟางข้าว ซึ่งจะมีผลต่อความแข็งแรงของกระถาง ซึ่งสอดคล้องกับผลของความแข็งแรงดึงของกระถางกาวมะนาวที่มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกระถางกาวอินทรีย์ที่ไม่ผสมผงสมุนไพรร



ภาพที่ 6 IR สเปกตรัมของกระถางฟางข้าวประสานด้วยกาวมะนาว

3.4 การทดสอบความแข็งแรงของกระถางเพาะกล้า

ทดสอบสมบัติเชิงกลเพื่อหาค่าความแข็งแรงดึง จากภาพที่ 7 พบว่า กระถางเพาะกล้ากาวอินทรีย์สูตรควบคุมที่ไม่ได้ผสมผงสมุนไพรมีค่าความแข็งแรงดึง เท่ากับ 44.99 ± 1.35 นิวตัน ส่วนกระถางเพาะกล้ากาวมะนาว ค่าความแข็งแรงดึง เท่ากับ 63.84 ± 1.93 นิวตัน ซึ่งกระถางเพาะกล้ากาวมะนาวมีค่าความแข็งแรงมากกว่ากระถางเพาะกล้ากาวอินทรีย์สูตรควบคุมประมาณ 41.89 % จากผลการทดสอบความแข็งแรงดึงแสดงให้เห็นว่า กาวมะนาวมีผลทำให้สมบัติเชิงกลของกระถางเพาะกล้ามีค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เนื่องจากกาวมะนาวทำให้เกิดการเชื่อมขวางระหว่างโมเลกุลของเส้นใยฟางข้าวและกาว สอดคล้องกับผลของ ATR-FTIR



ภาพที่ 7 ผลการทดสอบความแข็งแรงดึงของกระถางเพาะกล้ากาวอินทรีย์สูตรควบคุมและกระถางเพาะกล้ากาวมะนาว

3.5 ผลทดสอบการคงรูปและการย่อยสลายของกระถางเพาะกล้าจากฟางข้าวที่นำไปปลูกผักบุ้ง

3.5.1 ผลการทดสอบการคงรูปของกระถางเพาะกล้าจากฟางข้าวที่นำไปปลูกผักบุ้ง

จากผลการทดสอบการคงรูป ในตารางที่ 3 แสดงถึงน้ำหนักกระถางเพาะกล้าจากฟางข้าวกาวอินทรีย์ก่อนปลูกผักบุ้ง มีน้ำหนัก เท่ากับ 85.82 กรัม ส่วนกระถางเพาะกล้ากาวมะนาว มีน้ำหนักก่อนนำไปปลูกผักบุ้ง เท่ากับ 120.23 กรัม และนำไปปลูกผักบุ้ง พบว่า ผักบุ้งเจริญเติบโตได้ดี ดังแสดงในภาพที่ 8 และเริ่มหยุดการเจริญเติบโต และเริ่มตายหลังวันที่ 28 ซึ่งโดยทั่วไปผักบุ้งจะมีอายุประมาณ มีอายุ 20-25 วัน จากนั้นทำการปลูกต่อแต่เปลี่ยนมาเป็นรดน้ำด้วยสายยาง จนถึงวันที่ 63 พบว่า กระถางเพาะกล้ากาวอินทรีย์ไม่สามารถคงรูปกระถางอยู่ได้ เมื่อผ่านไป 63 วัน ส่วนกระถางเพาะกล้ากาวมะนาวยังคงรูปอยู่ได้ เมื่อผ่านไป 63 ดังแสดงในภาพที่ 9 จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักหลังจากนำไปปลูกผักบุ้ง 63 วัน พบว่า กระถางเพาะกล้ากาวอินทรีย์ มีน้ำหนักเท่ากับ 85.15 กรัม ส่วนกระถางเพาะกล้ากาวมะนาว มีน้ำหนักเท่ากับ 126.63 กรัม ดังแสดงในรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่าน้ำหนักของกระถางเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย กระถางเพาะกล้ากาวอินทรีย์น้ำหนักหายไป เพียง 0.67 กรัม คิดเป็น 0.78% เนื่องจากกระถางเสียรูป ทำให้น้ำหนักหายไปบางส่วน ส่วนกระถางเพาะกล้ากาวมะนาว มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นจากเดิม 6.4 กรัม คิดเป็น 5.32% เนื่องจากกระถางทำจากฟางข้าวมีคุณสมบัติดูดซับน้ำ และได้ทำการทดลองต่อโดยนำกระถางเพาะกล้ากาวมะนาวมาเติมดินและนำมารดน้ำด้วยสายยางเพื่อดูความคงรูปของกระถาง ดังแสดงในภาพที่ 11 (ก) พบว่า กระถางเพาะกล้ากาวมะนาวเสียการคงรูปในวันที่ 81 ดังแสดงในภาพที่ 11 (ข) จะเห็นได้ว่ากระถางเพาะกล้ากาวอินทรีย์สูตรควบคุมเมื่อนำไปเพาะผักบุ้งและรดน้ำด้วยผักบัวและสายยางสามารถคงรูปอยู่ได้เมื่อเวลาผ่านไป 63 วัน แต่กระถางเพาะกล้ากาวมะนาว สามารถคงรูปได้ 81 วัน แสดงให้เห็นว่ากระถางเพาะกล้ากาวมะนาวมีความแข็งแรงกว่ากระถางเพาะกล้ากาวอินทรีย์ สอดคล้องกับผลการทดสอบสมบัติเชิงกลที่กระถางเพาะกล้ากาวมะนาวมีค่าความแข็งแรงดึงมากกว่ากระถางฟางข้าวกาวอินทรีย์ ส่วนการย่อยสลายของกระถางฟางข้าว จากภาพที่ 12 (ก) กระถางเพาะกล้ากาวอินทรีย์ที่ไม่ผสม

ผสมปุ๋ยกับกระถางเพาะกล้ากวางมะนาวที่นำมาปลูกผักบุ้งได้ 15 วัน จากนั้นนำกระถางมาฝังในดินที่อยู่ในถังพลาสติก เพื่อทดสอบการย่อยสลาย ดังแสดงในภาพที่ 12 (ข) เมื่อผ่านไป 63 วัน ผักบุ้งตายเกือบหมด ดังแสดงในภาพที่ 12 (ค) และเมื่อตักดินออก พบว่า กระถางเพาะกล้ากวางอินทรีย์ที่ไม่ได้เติมผสมปุ๋ยและกระถางเพาะกล้ากวางมะนาว ถูกย่อยสลายหมด ดังแสดงในภาพที่ 12 (ง) และ (จ) และพบไส้เดือนในดิน แสดงให้เห็นว่า กระถางฟางข้าวทั้ง 2 สูตร สามารถย่อยสลายในดินได้และเป็นมิตรต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 3 น้ำหนักของกระถางเพาะกล้ากวางอินทรีย์และกวางมะนาวก่อนและหลังการนำไปปลูกผักบุ้ง

กระถางฟางข้าว	น้ำหนักของกระถาง (กรัม)	
	ก่อนนำไปปลูกผักบุ้ง	หลังนำไปปลูกผักบุ้ง 2 เดือน
กวางอินทรีย์	85.82	85.15
กวางมะนาว	120.23	126.63



(ก)



(ข)

ภาพที่ 8 กระถางเพาะกล้าปลูกผักบุ้งและไม่นำฝังดิน วันที่ 8 (ก) กวางอินทรีย์ (ข) กวางมะนาว



(ก)



(ข)

ภาพที่ 9 กระถางเพาะกล้าปลูกผักบุ้งและไม่นำฝังดิน วันที่ 63 (ก) กวางอินทรีย์สูตรควบคุม (ข) กวางมะนาว



(ก)



(ข)

ภาพที่ 10 น้ำหนักและรูปทรงกระถางเพาะกล้าหลังปลูกผักบุ้งและไม้นำฝังดิน เป็นเวลา 63 วัน (ก) กาวอินทรีย์ (ข) กาวมะนาว



(ก)



(ข)

ภาพที่ 11 กระถางเพาะกล้ากาวมะนาวหลังปลูกผักบุ้งและรดน้ำด้วยสายยาง จนถึงวันที่ 81 (ก) รดน้ำด้วยสายยางวันที่ 81 (ข) กระถางเพาะกล้ากาวมะนาวเสียรูป



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

ภาพที่ 12 กระถางผักบุ้ง (ก) กระถางเพาะกล้ากาวอินทรีย์ (ซำย) และกระถางเพาะกล้ากาวมะนาว (ขวา) ก่อนลงดิน (ข) หลังลงดิน วันที่ 1 (ค) หลังลงดิน 63 วัน (ง) การย่อยสลายของกระถางเพาะกล้ากาวอินทรีย์สูตรควบคุม (จ) การย่อยสลายของกระถางเพาะกล้ากาวมะนาว หลังลงดิน 63 วัน

4. บทสรุป

การเตรียมกาวอินทรีย์ อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างกาวอินทรีย์สูตรควบคุมต่อผงสมุนไพร (ไพล ขมิ้น ตะไคร้ ข่า และมะนาว) ต่อน้ำ คือ 2:1:1 โดยน้ำหนัก ซึ่งกาวอินทรีย์ที่มีการผสมผงไพล ขมิ้น ตะไคร้ ข่า และกาวอินทรีย์ สามารถขึ้นรูปชิ้นงานเพื่อใช้ทดสอบสมบัติการดูดซับน้ำได้ในเวลาไมโครเวฟ 700 วัตต์ การขึ้นรูปกระถางฟางข้าวที่อัตราส่วนระหว่างกาวอินทรีย์ต่อฟางบดต่อผงสมุนไพร (ไพล ขมิ้น ตะไคร้ ข่า และมะนาว) ต่อน้ำที่อัตราส่วน 2:1:1:6 โดยน้ำหนัก ผลการทดสอบสมบัติการคงรูปของกระถางฟางข้าวที่ผสมสมุนไพรต่างๆ กระถางเพาะกล้ากาวมะนาวเหมาะสมที่สุด การขึ้นรูปกระถางเพาะกล้ากาวมะนาวที่อัตราส่วนระหว่าง กาวอินทรีย์สูตรควบคุม : ฟางข้าว : มะนาว คือ 2 : 1 : 1 โดยน้ำหนัก ที่ 700 วัตต์ เป็นเวลา 16 นาที กระถางเพาะกล้ากาวมะนาวมีค่าความแข็งแรงมากกว่ากระถางเพาะกล้ากาวอินทรีย์ และการคงรูปและการย่อยสลายของกระถางเพาะกล้ากาวมะนาวที่นำไปปลูกผักบุ้ง กระถางเพาะกล้ากาวมะนาวสามารถคงรูปได้ 81 วัน และกระถางเพาะกล้ากาวมะนาวสามารถย่อยสลายในดินได้และเป็นมิตรต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม ที่สนับสนุนทุนวิจัยงบประมาณรายได้ ปี พ.ศ. 2564

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] เกวรินทร์ พันทวี และวีรณัฐ สระแก้ว. (2562). การพัฒนาและออกแบบบรรจุภัณฑ์เพื่อเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการทำนา บ้านดอนซอก ตำบลห้วยงู จังหวัดชัยนาท. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม. (2562).
- [2] คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. (2553). “ข่า” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.thaicrudedrug.com/main.php?action=viewpage&pid=173> (1 ตุลาคม 2565)
- [3] คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. (2553). “ไพล” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.phargarden.com/main.php?action=viewpage&pid=192> (1 ตุลาคม 2565)
- [4] คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. (2553). “ตะไคร้” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.thaicrudedrug.com/main.php?action=viewpage&pid=60> (1 ตุลาคม 2565)
- [5] ญัฐพร ชัชวาลธาดารี. (2559). การปรับสภาพฟางข้าวด้วยต่างและไมโครเวฟร่วมกับต่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยสุรนารี.
- [6] นิตยา บุญจันทร์. ผู้นำชุมชน. สัมภาษณ์. 7 ตุลาคม 2563, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. (2564). โครงการเพิ่มศักยภาพฐานข้อมูลอุตสาหกรรมชีวภาพ: รายละเอียดข้อมูลสารเคมีประเภทกรดซิตริก (citric acid). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [7] ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. (2553). “การเจลาติไนซ์.” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0350/gelatinization> (21 มกราคม 2565)
- [8] ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร. (2553). “โอเลโอเรซิน.” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2873/oleoresin> (21 มกราคม 2565)
- [9] อรรถพล ตะระะ. (2551). การทดสอบแรงดึง. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

- [10] Adebiji, A. B., Omojola, M. O., Orishadipe, A. T., Afolayan, M. O. & Olalekan, D. (2011). “TACCA starch citrate a potential pharmaceutic excipient.” *Archives of Applied Science Research*, 3(6): 114-121.
- [11] Prachayawarakorn, J. & Tamseekhram, J. (2019). “Chemical modification of biodegradable cassava starch films by natural mono-, di-and tri-carboxylic acids.” *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 41(2): 355-362.
- [12] Wilpiszewska, K., Antosik, K. A., & Zdanowicz. (2020). “The Effect of Citric Acid on Physicochemical Properties of Hydrophilic Carboxymethyl Starch-Based Films”. *Journal of Polymers and the Environment*. 27: 1379–1387.

พืชถิ่นเดียวและสถานะการอนุรักษ์ของพืชวงศ์โปโดสเต็มเอซีอี ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ของประเทศไทย

Endemism and Conservation Status of Podostemaceae in Northeastern Thailand

เพชรรัตน์ เวฬุคามกุล¹ อำนวย ชินพงษ์พานิช¹ และ วรารุณี พุทธิให้^{1*}

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

*E-mail: waravut.p@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์ความเป็นพืชถิ่นเดียวและสถานะการอนุรักษ์ของพืชโปโดสเต็มเอซีอี ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ตามการแบ่งภาคของภูมิศาสตร์พืช โดยใช้ข้อมูลด้านอนุกรมวิธานพืชทั้งในอดีตและปัจจุบัน การศึกษาภาคสนาม ขอบเขตทางภูมิศาสตร์ และเกณฑ์ประเมินสถานะการอนุรักษ์ของ IUCN จำนวนพืช 6 สกุล และ 20 ชนิด เป็นพืชถิ่นเดียวในระดับสกุลเพียงชนิดเดียว พืชถิ่นเดียวในระดับชนิดที่พบในประเทศไทย 12 ชนิด ในจำนวนนี้ 7 ชนิด มีการกระจายพันธุ์แคบจำกัดอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และพืชอีก 8 ชนิด ไม่จัดเป็นพืชถิ่นเดียว การพิจารณาสถานะการอนุรักษ์พืช พบพืช 2 ชนิด อยู่ในกลุ่มใกล้สูญพันธุ์อย่างยิ่ง มีการกระจายพันธุ์ในแม่น้ำสายเดียว พืช 10 ชนิด อยู่ในกลุ่มมีแนวโน้มใกล้สูญพันธุ์ พืช 6 ชนิดอยู่ในกลุ่มใกล้ถูกคุกคาม พืช 2 ชนิดอยู่ในกลุ่มที่มีความเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ ในจังหวัดเลยพบพืช 12 ชนิด ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีชนิดพืชอาศัยอยู่มากที่สุดในประเทศไทย ในจำนวนนี้พืช 3 ชนิด มีแหล่งอาศัยจำเพาะในจังหวัดเลย

คำสำคัญ: พืชถิ่นเดียว การอนุรักษ์ โปโดสเต็มเอซีอี ประเทศไทย

Abstract

The present study analyses endemism and conservation status of the Podostemaceae in northeastern floristic region Thailand using past and current taxonomic records, personal field collections, geographic ranges, IUCN assessment. Among the six genera and 20 species recognized, one genus is endemic, twelve species are endemic to Thailand, seven species of the twelve are narrowly distributed and confined in northeastern floristic region, and the other eight species are not endemic. Considering the conservation status, two species are classified as Critically Endangered distributed in a single river, ten species, six species as Near Threatened and two species as Least Concern. Loei province is the most species-rich area in Thailand with 12 species, three of them are restricted in Loei.

Keywords: endemism, conservation, Podostemaceae, Thailand

1. บทนำ

พืชวงศ์โพโดสเต็มเอเซีย เป็นพืชน้ำมีดอกพบในแหล่งน้ำธรรมชาติที่สะอาด และเป็นพืชอยู่ในข่ายเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ เพราะส่วนใหญ่เป็นพืชถิ่นเดียว มีขอบเขตการกระจายพันธุ์ที่จำกัด เกิดในแม่น้ำสายเดียว น้ำตกเดียว แก่งเดียว หรือประเทศเดียว (Kato, 2004 and 2006a; Cook and Rutishauser, 2007; Kato and Koi, 2009; Koi and Kato, 2012; Werukamkul et al., 2012, 2016 and 2018) พืชในกลุ่มนี้ต้องเจริญเติบโตบนโขดหิน ในน้ำตกหรือแก่งที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตามฤดูกาล พืชจะตายหากน้ำนิ่งหรืออยู่ในโคลนตม ช่วงชีวิตของอวัยวะที่ไม่เกี่ยวกับเพศ (vegetative organ) พืชเจริญอยู่ในน้ำที่ไหลเชี่ยวในฤดูฝน และเมื่อระดับน้ำลดลงในหน้าแล้งพืชจึงจะโผล่พ้นน้ำ และดอกบาน ติดผล ซึ่งพืชโผล่พ้นน้ำเป็นเพราะการลดของระดับน้ำไม่ใช่เพราะพืชพัฒนาสูงขึ้นเหมือนพืชน้ำจืดอื่นๆ ดังนั้นถ้าสภาพอากาศหรือสิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลง น้ำท่วมขังหรือน้ำแล้งตลอดปี พืชวงศ์นี้ไม่สามารถเจริญเติบโตครบวัฏจักรชีวิต และจะสูญหายไป การปรากฏหรือสูญหายไปของพืชกลุ่มนี้จะเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศและคุณภาพของน้ำ (Philbrick et al., 2010)

ปัจจุบันยังไม่สามารถนำพืชกลุ่มนี้มาปลูกนอกพื้นที่ได้ การอนุรักษ์พืชวงศ์นี้ต้องเป็นการอนุรักษ์แหล่งที่อยู่ของพืช เนื่องจากพื้นที่ป่าหลายแห่งได้ถูกทำลายเปลี่ยนเป็นพื้นที่เกษตรกรรม และเกาะแก่งต่าง ๆ ที่เป็นแหล่งอาศัยธรรมชาติ ได้พัฒนาเป็นแหล่งน้ำใช้ของชุมชน การสร้างเขื่อนใช้เป็นที่กักเก็บพลังงานไฟฟ้า หรือเป็นสถานที่ท่องเที่ยว สารเคมีและหน้าดินไหลสู่กระแสน้ำ ทำให้อุณหภูมิของน้ำเปลี่ยนแปลงไป ปัจจัยเหล่านี้เป็นภาวะคุกคาม ทำให้ความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชลดน้อยลงและในที่สุดพืชจะหายไปจากพื้นที่ ลักษณะโครงสร้างของพืชอาจจะเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่พืชมีความเสี่ยงต่อการสูญหายเพราะมันมีขนาดเล็ก สูงไม่ถึง 1 เซนติเมตร ไม่มีสีสดใสที่จะดึงดูดความสนใจ รูปร่างคล้ายมอสส์และไลเคนส์ ชุมชนในท้องถิ่นเข้าใจว่าเป็นมอสส์และสาหร่าย และไม่รู้จักประโยชน์ของมัน จึงไม่เป็นที่สังเกตและไม่ได้รับความสนใจที่จะปกป้องรักษาเอาไว้ ประเทศไทยมีความหลากหลายทางชีวภาพของโพโดสเต็มเอเซีย สูงที่สุดในทวีปเอเชีย พบพืช 10 สกุล 52 ชนิด เป็นพืชถิ่นเดียว 29 ชนิด (Cusset and Cusset, 1988; Cusset, 1992; Kato, 2004 and 2006a; Kato and Koi, 2009; Kato, 2006b; Werukamkul et al., 2012, 2016 and 2018) การศึกษาอนุกรมวิธาน (taxonomy) วงศ์วานวิวัฒนาการเชิงโมเลกุล (molecular phylogeny) และการกระจายพันธุ์ของพืช ได้สรุปว่าประเทศไทยเป็นศูนย์กลางของการกระจายพันธุ์ และวิวัฒนาการของพืชวงศ์โพโดสเต็มเอเซียในทวีปเอเชีย และมีโอกาสพบพืชชนิดใหม่ถ้ามีการสำรวจในอนาคต

ในอดีตองค์ความรู้เรื่องพืชโพโดสเต็มเอเซีย ในประเทศไทยเป็นผลงานของนักวิจัยต่างชาติหลายท่านเป็นเวลายาวนานติดต่อกัน และได้พบชนิดพืชเพิ่มขึ้นทุกครั้งที่มีการศึกษาเพิ่มเติม (Warming, 1901; Royen, 1957 and 1965; Cusset and Cusset, 1988; Cusset, 1992; Kato, 2004 and 2006a; Kato and Koi, 2009) แต่ไม่มีการประเมินสถานะการอนุรักษ์ และกรณีที่เข้าใจว่าเป็นพืชถิ่นเดียวนั้น เป็นพืชถิ่นเดียวจริงหรือ ตัวอย่างเช่น *Hydrobryum tardhuangense* M. Kato เคยเข้าใจว่าเป็นพืชถิ่นเดียวพบเฉพาะที่น้ำตกตาดเหือง จังหวัดเลยแห่งเดียว (Kato, 2004; Werukamkul et al., 2012) ปัจจุบันพบว่ามีการกระจายพันธุ์ที่จังหวัดพิษณุโลก (Werukamkul et al., 2016) และน้ำตกตาดน้ำสวน ประเทศสาธารณประชาธิปไตยประชาชนลาว (Koi and Kato, 2012) มีระดับอนุรักษ์ ใกล้ถูกคุกคาม (Koi and Kato, 2012; Werukamkul et al., 2012) ดังนั้นความรู้ด้านอนุกรมวิธาน (taxonomy) เป็นรากฐานสำคัญสำหรับประเมินความเป็นพืชถิ่นเดียว และระดับอนุรักษ์ของพืชวงศ์โพโดสเต็มเอเซีย (Philbrick et al., 2010) เพื่อเป็นฐานข้อมูลของพืชวงศ์โพโดสเต็มเอเซีย ของประเทศไทยใน The IUCN Red List of Threatened Species และใช้สำหรับการจัดการและการอนุรักษ์พันธุ์กรรมพืชของประเทศ และยังพบชนิดที่ยังไม่เคยมีรายงานมาก่อน ซึ่งจะเพิ่มเติมความรู้ด้านอนุกรมวิธานของโพโดสเต็มเอเซีย ทำให้เรารู้จักและรู้จำนวนทรัพยากรพรรณพืชของประเทศ

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

2.1 พื้นที่ศึกษา

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ตามการแบ่งของภูมิศาสตร์พืชประกอบด้วย 12 จังหวัด ได้แก่ กาฬสินธุ์ ขอนแก่น นครพนม บึงกาฬ เพชรบูรณ์ มหาสารคาม มุกดาหาร เลย สกลนคร หนองคาย หนองบัวลำพู และอุดรธานี ตั้งอยู่ระหว่างละติจูดที่ 15°05' เหนือ ถึง 18°21' เหนือ และลองจิจูดที่ 100°21' ตะวันออก ถึง 104°46' ตะวันออก

2.2 วิธีดำเนินการศึกษา

การศึกษาขอบเขตการแพร่กระจาย (Extent of Occurrence, EOO) และพื้นที่การแพร่กระจาย (Area of Occupancy, AOO) ของพืชแต่ละชนิด พร้อมทั้งวัดความสูงและพิกัดของพื้นที่ติดตามลงพื้นที่สำรวจการดำรงอยู่หรือการสูญหายของพืช โดยศึกษาข้อมูลด้านอนุกรมวิธานพืชวงศ์ Podostemaceae ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ตามการแบ่งภาคของภูมิศาสตร์พืช จากเอกสาร (Cusset, 1992; Kato, 2004 and 2006a; Kato and Koi, 2009; Werukamkul et al., 2012) พร้อมกับสำรวจพืชในพื้นที่ใหม่ ตามน้ำตกและแก่งต่างๆ ทำการประมวลข้อมูลทั้งหมด และนำมาประเมินสถานภาพพืชถิ่นเดียว และประเมินสถานะการอนุรักษ์ โดยใช้เกณฑ์ของ Philbrick (2010) และ IUCN (2011)

การประเมินความเป็นพืชถิ่นเดียวโดยศึกษาข้อมูลด้านการกระจายพันธุ์พืช ถ้าชนิดพืชพบเฉพาะในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จัดเป็นชนิดพืชถิ่นเดียวของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ถ้าเป็นพืชที่พบในภาคอื่นด้วย จัดเป็นชนิดพืชถิ่นเดียวของประเทศไทย และถ้าพบในประเทศอื่นด้วย จัดเป็นพืชที่ไม่ใช่ชนิดพืชถิ่นเดียวของไทย และการวินิจฉัยความเป็นพืชถิ่นเดียวที่มีการกระจายพันธุ์แคบ โดยกำหนดพืช Podostemaceae ที่มีการกระจายพันธุ์อยู่ในแม่น้ำ 1 ถึง 2 สาย จัดเป็นชนิดพืชถิ่นเดียวที่มีการกระจายพันธุ์แคบ (Philbrick et al., 2010)

การประเมินสถานะการอนุรักษ์พืชวงศ์ Podostemaceae ตามเกณฑ์ของ IUCN (2011) วิเคราะห์โดยใช้ maps.google.com ประมาณค่าขอบเขตการแพร่กระจาย โดยวิธี α -hull และประมาณค่าพื้นที่การแพร่กระจาย โดยจัดทำกริด (grid) ในพื้นที่ ที่พบพืช

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 การกระจายพันธุ์

พืชวงศ์โพโดสเต็มเอเซีย ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยตามการแบ่งภาคของภูมิศาสตร์พืช พบพืชทั้งหมดจำนวน 6 สกุล 20 ชนิด พืชในสกุล *Hydrobryum* พบมากที่สุด 8 ชนิด รองลงมาคือ สกุล *Polypleurum* 6 ชนิด *Terniopsis* และ *Dalzellia* พบสกุลละ 2 ชนิด และสกุล *Hanseniella* และ *Thawatchaia* พบสกุลละ 1 ชนิด จำแนกเป็น 2 วงศ์ย่อย ดังนี้

1. วงศ์ย่อย Tristichoideae มีจำนวน 2 สกุล 4 ชนิด ได้แก่ *Dalzellia angustissima* M. Kato, *Dalzellia kailarsenii* M. Kato, *Terniopsis filiformis* Werukamkul, Ampornpan, Koi and M. Kato และ *Terniopsis heterostaminata* Werukamkul, Ampornpan, Koi and M. Kato

2. วงศ์ย่อย Podostemoideae จำนวน 4 สกุล 16 ชนิด ได้แก่ *Hanseniella heterophylla* C. Cusset, *Thawatchaia trilobata* M. Kato, Koi & Y. Kita, *Hydrobryum japonicum* Imamura, *Hydrobryum loeicum* M. Kato, *Hydrobryum phetchabunense* M. Kato & Koi, *Hydrobryum phurueanum* Werukamkul, Ampornpan, Koi and M. Kato, *Hydrobryum somranii* M. Kato, *Hydrobryum tardhuangense* M. Kato, *Hydrobryum varium* Ampornpan, Werukamkul, Koi and M. Kato, *Hydrobryum vientianense* (M. Kato and Fukuoka) Koi and M.

Kato., *Polypleurum longifolium* M. Kato, *Polypleurum longicaule* M. Kato, *Polypleurum pluricostatum* Koi and M. Kato, *Polypleurum prachinburiense* M. Kato & Koi, *Polypleurum phuwuaense* M. Kato, และ *Polypleurum erectum* M. Kato

3.2 พืชถิ่นเดียว

พืชทั้ง 6 สกุล 20 ชนิด ที่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตามการแบ่งภาคของภูมิศาสตร์พืช จำแนกเป็นพรรณพืชที่เป็นพืชถิ่นเดียวในระดับสกุล (endemic genera) ซึ่งพบเพียงสกุลเดียว คือ *Hanseniella* และพืชทั้ง 20 ชนิด สามารถแบ่งกลุ่มตามการกระจายพันธุ์ได้ 3 กลุ่ม ดังนี้

1) พืชถิ่นเดียวในระดับชนิดที่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมี 7 ชนิด แยกออกเป็นจังหวัดได้ ดังนี้ จังหวัดเลย พบ 3 ชนิด ได้แก่ *Hydrobryum loeicum*, *H. phurueanum* และ *H. varium* จังหวัด บึงกาฬพบ 3 ชนิด ได้แก่ *Polypleurum erectum*, *P. longifolium* และ *P. phuwuaense* (Kato, 2006a) และจังหวัดนครพนม พบ 1 ชนิด *H. somranii*

2) พืชถิ่นเดียวในระดับชนิดที่พบในประเทศไทย 12 ชนิด โดยเพิ่มจากกลุ่มหนึ่ง 5 ชนิด ได้แก่ *Hanseniella heterophylla* พบที่จังหวัดเลย พบครั้งแรกที่จังหวัดพิษณุโลก (Cusset, 1992) *H. phetchabunense* พบครั้งแรกที่จังหวัดเพชรบูรณ์ (Kato and Koi, 2009) *Thawatchaia trilobata* พบที่จังหวัดเลย พบครั้งแรกที่จังหวัดเชียงใหม่ (Kato, 2004) *P. longicaule* พบครั้งแรกที่จังหวัดอุดรธานี (Kato, 2006a) และ *P. prachinburiense* พบที่จังหวัดมุกดาหาร พบครั้งแรกที่จังหวัดปราจีนบุรี (Kato and Koi, 2009) ในปัจจุบันพบว่า *H. phetchabunense* และ *Th. trilobata* เจริญเติบโตอยู่หลายพื้นที่ในจังหวัดพิษณุโลก และ *Ha. heterophylla* กระจายพันธุ์อยู่หลายพื้นที่ในพิษณุโลก และมีค่าความชุกชุมสูง (Werukamkul et al., 2016) และ *P. longicaule* กระจายพันธุ์อยู่หลายพื้นที่ในจังหวัดชัยภูมิ (Werukamkul et al., unpubl. data)

3) พืชที่ไม่ใช่ชนิดพืชถิ่นเดียวของไทยมี 8 ชนิด ได้แก่ *Hydrobryum japonicum* พบครั้งแรกในประเทศญี่ปุ่น เป็นพืชที่มีค่าของขอบเขตการแพร่กระจายสูง พบในจังหวัด เลย นครนายก เชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน น่าน (Cusset, 1992; Kato, 2004) ประเทศจีน (Kato and Kita, 2003) เวียดนาม (Cusset, 1992; Kato, 2011) และในสาธารณประชาธิปไตยประชาชนลาว (สปป ลาว) (Cusset, 1992) *H. tardhuangense* พบครั้งแรกในจังหวัดเลย (Kato, 2004) ปัจจุบันพบพืชชนิดนี้หลายพื้นที่ในจังหวัดพิษณุโลก (Werukamkul et al., 2016) และหลายพื้นที่ในจังหวัดเพชรบูรณ์ (Werukamkul et al. unpubl. data) และใน สปป ลาว (Koi and Kato, 2012) *H. vientianense* และ *Polypleurum pluricostatum* พบในจังหวัดเลย พบครั้งแรกใน สปป ลาว (Koi and Kato, 2012) *Dalzellia angustissima* พบที่จังหวัดมุกดาหาร พบครั้งแรกในจังหวัดตราด (Kato, 2006a) และใน สปป ลาว (Koi and Kato, 2015a) *D. kailarsenii* พบที่จังหวัดเพชรบูรณ์และจังหวัดเลย พบครั้งแรกที่จังหวัดชัยภูมิ (Kato, 2004) และใน สปป ลาว (Koi and Kato, 2015b) *Terriopsis filiformis*, และ *T. heterostaminata* พบครั้งแรกที่จังหวัดเลย (Werukamkul et al., 2012) และใน สปป. ลาว (Koi and Kato, 2015a, ตารางที่ 1)

3.3. สถานะการอนุรักษ์พืชวงศ์โพโตสเต็มเอซีอี

พืชทั้งหมด 6 สกุล 20 ชนิด (ตารางที่ 1) ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตามการแบ่งภาคของภูมิศาสตร์พืช สามารถจำแนกสถานะการอนุรักษ์พืชได้ 4 ระดับ คือ 1) พืชในกลุ่มใกล้สูญพันธุ์อย่างยิ่ง [Critically Endangered: CR B1ab (i,ii,iii)+2ab(i,ii,iii)] พบพืชกลุ่มนี้ 2 ชนิด (10%) 2) พืชในกลุ่มมีแนวโน้มใกล้สูญพันธุ์ (Vulnerable: VU D2) พืชกลุ่มนี้มี 10 ชนิด (50%) 3) พืชในกลุ่มใกล้ถูกคุกคาม (Near Threatened; NT) มี 6 ชนิด (30%) 4) พืชในกลุ่มที่มีความเสี่ยงต่ำต่อการสูญพันธุ์ (Least Concern, LC) พบ 2 ชนิด (10%)

3.4 ผลกระทบต่อพืชวงศ์ โพลีโตสเต็มเอเซีย

ถิ่นที่อยู่ของโพลีโตสเต็มเอเซีย บางแห่งถูกรบกวนจากกิจกรรมของมนุษย์จนกลายเป็นแหล่งเสื่อมโทรม และบางพื้นที่ได้พัฒนาเป็นแหล่งท่องเที่ยวและนันทนาการ เป็นผลให้ขนาดประชากรพืชลดลง บางพื้นที่มีการขุดลอกแก่ง ทำให้ไม่มีหินให้พืชได้เกาะอาศัย และบางพื้นที่มีการกักเก็บน้ำ สำหรับการผลิตไฟฟ้า ซึ่งการปล่อยและการกักน้ำทำให้เกิดการท่วมของน้ำเป็นครั้งคราว ปรากฏว่าในปัจจุบัน *Hanseniella heterophylla* ที่แก่งसानสวรรค์ และ *Terniopsis heterostaminata* และ *Thawatchaia trilobata* ที่แก่งท่าลาด ได้สูญหายไปหมด ทั้งนี้เพราะการเจริญเติบโตของพืชวงศ์โพลีโตสเต็มเอเซีย ต้องอาศัยอยู่ในน้ำ ที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตามฤดูกาล พืชจึงจะเจริญเติบโตครบวงจรชีวิต

ตารางที่ 1 รายชื่อพืชวงศ์โพลีโตสเต็มเอเซีย จังหวัด ประเทศที่พบพืชและสถานะการอนุรักษ์

ลำดับที่	ชนิด	จังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	จังหวัดอื่นและประเทศอื่น (อ้างอิง)	สถานะการอนุรักษ์
1	<i>Dalzellia angustissima</i>	มุกดาหาร	ตราด ลาว	VU
2	<i>Dalzellia kailarsenii</i>	เลย เพชรบูรณ์	ชัยภูมิ ลาว	NT
3	<i>Terniopsis filiformis</i>	เลย	ลาว	CR
4	<i>Terniopsis heterostaminata</i>	เลย	ลาว	CR
5	<i>Hanseniella heterophylla</i>	เลย	พืชนุโลก	NT
6	<i>Hydrobryum japonicum</i>	เลย	เชียงใหม่ นครนายก แม่ฮ่องสอน น่าน ญี่ปุ่น จีน เวียดนาม ลาว	LC
7	<i>Hydrobryum loeicum</i>	เลย	-	VU
8	<i>Hydrobryum phetchabunense</i>	เพชรบูรณ์	พืชนุโลก	NT
9	<i>Hydrobryum phurueanum</i>	เลย	-	VU
10	<i>Hydrobryum somranii</i>	นครพนม	-	VU
11	<i>Hydrobryum tardhuangense</i>	เลย	พืชนุโลก ลาว	LC
12	<i>Hydrobryum varium</i>	เลย	-	VU
13	<i>Hydrobryum vientianense</i>	เลย	ลาว	NT
14	<i>Thawatchaia trilobata</i>	เลย	พืชนุโลก เชียงใหม่	NT
15	<i>Polypleurum longifolium</i>	บึงกาฬ	-	VU
16	<i>Polypleurum longicaule</i>	อุดรธานี	ชัยภูมิ	NT
17	<i>Polypleurum pluricostatum</i>	เลย	ลาว	VU
18	<i>Polypleurum prachinburiense</i>	มุกดาหาร	ปราจีนบุรี	VU
19	<i>Polypleurum phuwaense</i>	บึงกาฬ	-	VU
20	<i>Polypleurum erectum</i>	บึงกาฬ	-	VU

หมายเหตุ ใกล้สูญพันธุ์อย่างยิ่ง (Critically Endangered: CR),
มีแนวโน้มใกล้สูญพันธุ์ (Vulnerable: VU),
ใกล้ถูกคุกคาม (Near Threatened: NT)
มีความเสี่ยงต่ำต่อการสูญพันธุ์ (Least Concern: LC)

4. บทสรุป

4.1 สรุปผลการศึกษา

พืชถิ่นเดียวและสถานะการอนุรักษ์ของพืชวงศ์ โปโดสเต็มเอเซีย ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยตามการแบ่งภาคของภูมิศาสตร์พืช พบพืชทั้งหมด 6 สกุล 20 ชนิด เป็นพืชถิ่นเดียวในระดับสกุล (endemic genera) มีเพียงสกุลเดียว คือ *Hanseniella* และพืชทั้ง 20 ชนิด แบ่งกลุ่มตามการกระจายพันธุ์ได้ 3 กลุ่ม คือ พืชถิ่นเดียวในระดับชนิดที่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมี 7 ชนิด พืชถิ่นเดียวในระดับชนิดที่พบในประเทศไทย 12 ชนิด โดยเพิ่มจากพืชถิ่นเดียวในระดับชนิดที่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 5 ชนิด และ พืชที่ไม่ใช่ชนิดพืชถิ่นเดียวของไทย 8 ชนิด สถานะการอนุรักษ์พืชวงศ์ โปโดสเต็มเอเซีย จำแนกได้ 4 ระดับ คือ พืชในกลุ่มใกล้สูญพันธุ์อย่างยิ่ง (Critically Endangered) 2 ชนิด พืชในกลุ่มมีแนวโน้มใกล้สูญพันธุ์ (Vulnerable) 10 ชนิด พืชในกลุ่มใกล้ถูกคุกคาม (Near Threatened) 6 ชนิด และพืชในกลุ่มที่มีความเสี่ยงต่ำต่อการสูญพันธุ์ (Least Concern) 2 ชนิด พืชในกลุ่มใกล้สูญพันธุ์อย่างยิ่งและพืชในกลุ่มมีแนวโน้มใกล้สูญพันธุ์ จัดเป็นชนิดพืชถิ่นเดียวที่มีการกระจายพันธุ์แคบ พบในแม่น้ำ 1 ถึง 2 สาย และในด้านผลกระทบต่อการดำรงอยู่ของพืช พบว่าการรบกวนและมลพิษจากกิจกรรมการท่องเที่ยวและเกษตรกรรมทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของน้ำ เป็นสาเหตุให้ขนาดของประชากรพืชลดลง และการกักเก็บน้ำเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าเป็นผลกระทบที่สำคัญที่ทำให้พืชสูญหายจากแหล่งที่เคยพบ

4.2 อภิปรายผล

ความรู้ด้านอนุกรมวิธาน (taxonomy) เป็นรากฐานสำคัญและเป็นความรู้ที่จำเป็นอย่างยิ่ง สำหรับประเมินความเป็นพืชถิ่นเดียวและระดับสถานะการอนุรักษ์พืช (Philbrick et al., 2010) ข้อมูลใหม่ของการกระจายพันธุ์ที่กว้างกว่าที่เคยรู้มาก่อน เป็นสิ่งสำคัญมาก การศึกษาภาคสนามสามารถให้คำตอบได้ดีที่สุด ชนิดพืชที่เคยคิดว่ามันจำกัดอยู่เพียงพื้นที่เดียว แต่พบว่ามีกระจายพันธุ์กว้างขึ้น ซึ่งการประเมินความเป็นพืชถิ่นเดียวและสถานะการอนุรักษ์พืชวงศ์ โปโดสเต็มเอเซีย จำนวน 6 สกุล 20 ชนิด ที่พบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยตามการแบ่งภาคของภูมิศาสตร์พืช ได้ทำการประมวลข้อมูลด้านอนุกรมวิธานของการศึกษาและของ Cusset (1992), Kato (2004, 2006a), Kato and Koi (2009), Koi and Kato (2012), Werukamkul et al. (2012, 2016 and 2018) เพื่อให้ผลการประเมินเป็นข้อมูลปัจจุบันมากที่สุด

ชนิดพืชถิ่นเดียวที่มีการกระจายพันธุ์แคบ (narrow endemic species) เจริญเติบโตอยู่ในลำน้ำ 1-2 สาย เป็นพืชอันดับต้นๆ ที่จะได้รับการพิจารณาให้การอนุรักษ์ ซึ่งพืชกลุ่มนี้มี 12 ชนิด มากกว่าครึ่งหนึ่งของจำนวนชนิดพืชทั้งหมด (20 ชนิด) และมีสถานะการอนุรักษ์ตามเกณฑ์ของ IUCN (2011) อยู่ในระดับใกล้สูญพันธุ์อย่างยิ่ง เมื่อขนาดของประชากรลดลงและอยู่ในระดับมีแนวโน้มใกล้สูญพันธุ์ (ตารางที่ 1) เมื่ออยู่ในสิ่งแวดล้อมที่ปลอดภัย และขนาดของประชากรไม่ลดลง พืชวงศ์ โปโดสเต็มเอเซีย ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยตามการแบ่งภาคของภูมิศาสตร์พืช ที่พบการกระจายพันธุ์กว้างขึ้น ตัวอย่าง เช่น *Polypleurum longicaule* เคยพบในน้ำตกธารงาม จังหวัดอุดรธานี (Kato, 2006a) ปัจจุบันพบหลายพื้นที่ในจังหวัดชัยภูมิ (Werukamkul et al., unpubl. Data, ตารางที่ 1) *Dalzellia angustissima* เคยพบที่น้ำตกสะพานหิน จังหวัดตราด (Kato, 2006a) และ *P. prachinburiense* เคยพบที่น้ำตกแก่งวังไซและน้ำตกแก่งหินเพิง แม่น้ำปราจีนบุรี จังหวัดปราจีนบุรี (Kato and Koi, 2009) ปัจจุบันพืชทั้ง 2 ชนิดนี้ พบที่ลำน้ำห้วยบางทราย อุทยานแห่งชาติภูผายล จังหวัดมุกดาหาร ในด้านสถานะการอนุรักษ์พืชพบว่าพืชหลายชนิดได้เปลี่ยนระดับการอนุรักษ์ เช่น *D. kailarsen* และ *Thawatchaia trilobata* เปลี่ยนจากระดับใกล้สูญพันธุ์อย่างยิ่ง และ *Hanseniella heterophylla* เปลี่ยนจากระดับใกล้สูญพันธุ์ (Werukamkul et al. 2012) เป็นระดับใกล้ถูกคุกคาม (Werukamkul et al. 2016)

สาเหตุสำคัญที่ทำให้ประชากรของพืชวงศ์ โปดอสเต็มเอซีอี สูญหาย คือถิ่นที่อยู่ถูกทำลาย เช่นการขุดลอกแก่ง การสร้างเขื่อนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ ซึ่งการปล่อยและการกักน้ำทำให้เกิดการท่วมของน้ำเป็นครั้งคราว ทั้งนี้เพราะพืชน้ำวงศ์นี้ต้องเกาะติดกับหิน ในน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตามฤดูกาล พืชจึงจะเจริญเติบโตครบวงจรชีวิต

ความรู้ในด้านชนิดพืชถิ่นเดียวและสถานะการอนุรักษ์ของพืช เป็นสิ่งจำเป็นต่อการวางแผนจัดการการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชของประเทศ สำหรับเป็นแนวทางจัดการหยุดทำลายที่อยู่ของพืชและพืชน้ำที่มีแหล่งอาศัยในแหล่งน้ำสะอาดในธรรมชาติ ดังนั้นการอนุรักษ์พืชโปดอสเต็มเอซีอี เป็นการอนุรักษ์ป่าต้นน้ำด้วย

ข้อเสนอแนะ

1. สนับสนุนการศึกษาด้านอนุกรมวิธานพืช เพื่อจัดทำเป็นฐานข้อมูลทรัพยากรชีวภาพที่สำคัญของท้องถิ่นและของประเทศไทย ซึ่งข้อมูลเหล่านี้นำไปใช้ในการประเมินชนิดพืชถิ่นเดียวและสถานะการอนุรักษ์พืช สำหรับการจัดการและการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชของประเทศ และฐานข้อมูลด้านอนุกรมวิธานพืช จะเป็นประโยชน์โดยตรงต่อการศึกษาด้านระบบวิทยา (systematics) และวงศ์วานวิวัฒนาการ (phylogeny)

2. สนับสนุนการศึกษาด้านนิเวศวิทยา เพื่อให้รู้จักสิ่งแวดล้อมและปัจจัยภายนอกที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชวงศ์ โปดอสเต็มเอซีอี และสามารถนำพืชมาปลูกนอกถิ่นอาศัยได้ เพราะปัจจุบันยังไม่สามารถนำพืชกลุ่มนี้มาปลูกนอกพื้นที่ได้ การอนุรักษ์พืชน้ำวงศ์นี้ต้องเป็นการอนุรักษ์แหล่งที่อยู่ของพืช

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ ดร. ละออ อัมพรพรดี ที่ให้ความรู้ แนวคิด คำแนะนำ และให้คำปรึกษา และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้ทุนสนับสนุนสำหรับการทำวิจัยจากงบประมาณภายใต้ทุนด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) ประเภท Fundamental Fund ประจำปีงบประมาณ 2566

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] C. D. K. Cook. Aquatic Plant Book. 2nd rev. ed. SPB Academic Publishing, The Hague. 1996.
- [2] C. D. K. Cook, R. Rutishauser, Podostemaceae. In: K. Kubitzki [ed.], The Families and Genera of Vascular Plants. Springer, Berlin. 9(2007) 304-344.
- [3] C. Cusset, Contribution à l'étude des Podostemaceae: 12. Les genres asiatiques. *Bul. Mus. Natl. Hist. Nat., B, Adansonia*. 14(1992) 13-54.
- [4] C. Cusset, G. Cusset, Etude sur les Podostemales: 9. Délimitations taxonomiques dans les Tristichaceae. *Bul. Mus. Natl. Hist. Nat., B, Adansonia*. 10(1988) 149-177.
- [5] IUCN Standards and Petitions Subcommittee, Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria. Version 9.0. Prepared by Standards and Petitions Subcommittee. Downloadable from <http://www.iucnredlist.org/documents/RedListGuidelines.pdf>. 2011.
- [6] M. Kato, Taxonomic studies of Podostemaceae of Thailand. 1. *Hydrobyrum* and related genera with crustaceous roots (subfamily Podostemoideae), *Acta Phytotax. Geobot.* 55(2004) 133-165.
- [7] M. Kato, Taxonomic studies of Podostemaceae of Thailand. 2. Subfamily Tristichoideae and subfamily Podostemoideae with ribbon-like roots. *Acta Phytotax. Geobot.* 57(2006a) 1-54.

- [8] M. Kato, Distribution and biogeography of Podostemaceae in Asia. *Bull. Natl. Sci. Mus., Tokyo, Ser. B (Bot.)* 32(2006b) 19-27.
- [9] M. Kato, Taxonomic enumeration of Podostemaceae of Cambodia and Vietnam. *Bull. Natl. Mus. Nat. Sci., ser. B (Bot.)* 37(2011) 1-8.
- [10] M. Kato, Y. Kita, Taxonomic Study of Podostemaceae of China. *Acta Phytotax. Geobot.* 54(2003) 87-97.
- [11] M. Kato, S. Koi, Taxonomic studies of Podostemaceae of Thailand. 3. Six new and rediscovered species. *Gard. Bull. Singapore.* 61(2009) 55-72.
- [12] S. Koi, M. Kato, Taxonomic study of Podostemaceae subfamily Podostemoideae of Laos with phylogenetic analyses of *Cladopus*, *Paracladopus* and *Polypleurum*. *Kew Bull.* 67(2012) 331-365.
- [13] S. Koi, Y. Kita, Y. Hirayama, R. Rutishauser, K. Huber, M. Kato, Molecular phylogenetic analysis of Podostemaceae: implications for taxonomy of major groups. *Bot. J. Linn. Soc.* 169(2012b) 461-492.
- [14] S. Koi, M. Kato, The taxonomy of Podostemaceae subfamily Tristichoideae in Laos, with descriptions of seven new species. *Acta Phytotax. Geobot.* 66(2015a) 61-79.
- [15] S. Koi, M. Kato, Additions to Podostemaceae subfamily Podostemoideae of Laos. *Acta Phytotax. Geobot.* 66(2015b) 181-187.
- [16] C. T. Philbrick, C. P. Bove, H. I. Stevens, Endemism in Neotropical Podostemaceae. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 97(2010) 425-456.
- [17] P. van. Royen, A new species from Thailand, *Polypleurella micranthera*. *Blumea* 8(1957) 522-524.
- [18] P. van. Royen, Studies in the flora of Thailand 29: Podostemaceae. *Dansk Bot. Ark.* 23(1965) 183-185.
- [19] E. Warming, Podostemaceae in J. Schmidt, Flora of Koh Chang: contributions to the knowledge of the vegetation in the Gulf of Siam. *Bot. Tidsskr.* 24(1901) 241-46.
- [20] P. Werukamkul, L. Ampornpan, S. Koi, M. Kato, Taxonomic study of Podostemaceae in Loei province, northeastern Thailand. *Acta Phytotax. Geobot.* 63(2012): 11-28.
- [21] P. Werukamkul, L. Ampornpan, M. Kato, S. Koi. New species and new records of Podostemaceae from Phitsanulok Province, Northern Thailand. *Acta Phytotax. Geobot.* 67 (2016) 97-114.
- [22] P. Werukamkul, L. Ampornpan, M. Kato, S. Koi. Additions to the Podostemaceae of Thailand with molecular phylogenetic relationships of *Cladopus*, *Hydrobryum* and *Thawatchaia*. *Acta Phytotax. Geobot.* 69(2018) 21-39.

องค์ประกอบทางเคมีของกึ่งกลางดง Chemical constituents of *Stephania venosa*

ปรานอม ขาวเมฆ^{1*} และ ดวงฤทัย ศรีแดง¹

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

*E-mail: pranorm.k@rsu.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาทางพฤกษเคมีจากผลของกึ่งกลางดง (*Stephania venosa*) สามารถแยกสารได้ 3 ชนิด โดยพบว่าเป็นสารผสมระหว่าง β -sitosterol และ stigmasterol 1 ชนิด สารบริสุทธิ์อีก 1 ชนิดเป็น long chain ester นอกจากนี้ยังได้สารผสมอีก 1 ชนิด ซึ่งคาดว่าเป็นสารประเภท benzyl isoquinoline (SM1, SM2) โดยพบหมู่ฟังก์ชันของ aromatic ring methoxyl และ carbonyl ในการพิสูจน์โครงสร้างทางเคมีของสารที่แยกได้นี้ อาศัยการวิเคราะห์สเปกตรัมของ IR ¹H-NMR ¹³C-NMR และ 2D-NMR ร่วมกับการเปรียบเทียบข้อมูลของสารที่ทราบโครงสร้างแล้ว

คำสำคัญ: กึ่งกลางดง องค์ประกอบทางเคมี

Abstract

Phytochemical study of the results of *Stephania venosa* led to the isolation of three compounds. One of them is a mixture of β -sitosterol and stigmasterol and one pure compound is long chain ester. The last one was a mixture which had benzyl isoquinoline (SM1, SM2) that composed with the functional groups of aromatic ring, methoxyl and carbonyl. The structures of all these isolates were determined by extensive spectroscopic studies, including comparison of their IR, ¹H-NMR, ¹³C-NMR and 2D-NMR properties with previously reported data.

Keywords: *Stephania venosa*, Chemical constituents

1. บทนำ

พืชในวงศ์ Menispermaceae มีทั้งหมด 73 สกุล (Genus) ประกอบไปด้วยต้นไม้ชนิดต่างๆ 350 ชนิด (Species) ซึ่งกระจายอยู่ในป่าเขตร้อนชื้น พืชวงศ์นี้พบในประเทศไทยมีทั้งหมด 22 สกุล ประกอบไปด้วยต้นไม้ชนิดต่างๆ 51 ชนิด สำหรับพืชในสกุล *Stephania* ซึ่งอยู่ในวงศ์ Menispermaceae หลายชนิดมีการนำมาใช้ประโยชน์ทางการแพทย์แผนโบราณกันเป็นเวลานานแล้ว โดยเฉพาะประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น ประเทศไทย และ ประเทศจีน ได้ใช้ต้นโกฐหัวบัว (*Stephania erecta*) ใช้เป็นยาช่วยผ่อนคลายกล้ามเนื้อ (Muscle relaxant) ใช้เป็นยาบำรุงกำลัง (Tonic) มีฤทธิ์ในการระงับปวด (Analgesic) ที่ดีมาก ช่วยให้การไหลเวียนของเลือดในร่างกายดีขึ้น ต้นสบู่เลือด (*Stephania pierrei*) มีสรรพคุณในด้าน

การกระตุ้นการกำหนด (Aphrodisiac) เป็นยาบำรุงเซลล์สมอง และบำรุงเส้นปลายประสาท ใช้เป็นยาแก้ไอ ยาลดความดัน รักษาไข้มาลาเรีย รักษาโรคหัวใจ การที่พืชในสกุลนี้แต่ละชนิดมีคุณสมบัติดังกล่าว เนื่องจากมีสารประเภทอัลคาลอยด์ (Alkaloids) พืชในสกุลนี้มีสรรพคุณทางยาที่น่าสนใจ ควรที่จะนำมาศึกษาเพิ่มเติม โดยเฉพาะการศึกษาที่เกี่ยวกับสารผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ (Natural products) [1]

กึ่งกลางดง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Stephania venosa* เป็นพืชในวงศ์ Menispermaceae [2] ลักษณะทางพฤกษศาสตร์เป็นไม้เลื้อย มีรากสะสมอาหารเป็นหัวทรงกลม ผิวมีทั้งชนิดขรุขระและเรียบ ต้นและกิ่งก้านเลื้อยพันกับสิ่งที่อยู่ใกล้ มีการเจริญเติบโตในฤดูฝนเพียงฤดูเดียว ในช่วงฤดูแล้งความชื้นไม่พอเถาจะแห้งตายเหลือไว้แต่หัวใต้ดิน เมื่อมีความชุ่มชื้นพอในฤดูฝนต้นจะเจริญขึ้นมาใหม่ หัวหรือรากที่สะสมอาหารนี้หากทำให้เกิดบาดแผล จะมีน้ำยางใสสีแดงไหลซึมออกมา การเกาะติดของใบบนกิ่งเป็นแบบเรียงสลับ เป็นพืชใบเดี่ยว ทรงใบรูปไข่แกมหัวใจ ปลายใบแหลมมีติ่งทางโคนมนกว้างว่าลึกเป็นติ่งหู ขอบใบและแผ่นใบเป็นคลื่นเล็กน้อย ขนาดประมาณ 9 × 13 เซนติเมตร ผิวใบด้านบนมีขนเล็กน้อย ดอกออกเป็นช่อ แยกเพศ ช่อดอกตัวผู้ยาวประมาณ 4-16 เซนติเมตร กลีบดอกสีส้ม ช่อดอกตัวเมีย อัดกันแน่นมากกว่า ผลเป็นผลสด รูปไข่กลับ สรรพคุณด้านสมุนไพร ใช้ขับพยาธิ ขับโลหิต ระดู กระจายลมที่แน่นในอก ใบใช้บำรุงธาตุรักษาแผลสด และแผลเรื้อรัง ดอกแก้โรคผิวหนัง ผื่นคัน ช่วยย่อยอาหาร บำรุงเส้นประสาท หัวใต้ดินของเถาถิ่นบำรุงกำลัง ขับเสมหะ ปั้นเป็นลูกกลอน เป็นยาอายุวัฒนะ ขับลม ช่วยให้เจริญอาหาร รักษาโรคมะเร็งต่างๆ โรคเบาหวาน โรคโลหิตจาง และโรคปวดศีรษะ [3]

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า มีสารหลายชนิดจากพืชในสกุลสเตฟานี (Stephania) แต่พบว่าอัลคาลอยด์อยู่เป็นจำนวนมาก [4-8] โดยเฉพาะจากส่วนหัว (Tubers) จะพบสารประเภทนี้มากกว่าส่วนอื่นๆ อัลคาลอยด์ที่พบมีทั้งที่ทราบโครงสร้างแล้ว หรือเป็นอัลคาลอยด์ชนิดใหม่ที่ยังไม่มีผู้ใดค้นพบมาก่อน สารในกลุ่มอัลคาลอยด์นี้ใช้เป็นยาในการรักษาโรคต่างๆ ได้ค่อนข้างดีมาก ผู้ทำวิจัยจึงสนใจที่จะทำการศึกษหาส่วนประกอบทางเคมีของกึ่งกลางดง (*Stephania venosa*) ที่เป็นพืชในสกุลสเตฟานี (*Stephania*) ซึ่งมีรายงานการวิจัยน้อยมาก งานวิจัยนี้ทำการแยกสารที่สกัดได้จากกึ่งกลางดง ให้บริสุทธิ์ หาโครงสร้าง และประเภทของสารที่เป็นองค์ประกอบ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพ (Biological activities) ต่อในอนาคต นอกจากนี้การวิจัยหาสารเคมีในพืชสมุนไพรทำให้การนำสมุนไพรมาใช้ได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย เพราะในปัจจุบันมีการใช้สมุนไพรเป็นยารักษาโรคหรือยาบำรุงนั้นได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง

2. วิธีการทดลอง

เก็บผลของกึ่งกลางดง (*Stephania venosa*) บนเขาในโรงเรียนตำรวจภูธร 1 ในเขตพื้นที่ตำบลหนองยาว อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี ส่วนของพืชที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ ส่วนของผล โดยผลที่เก็บต้องมีสภาพสมบูรณ์ ไม่ถูกแมลงกิน และไม่มีเชื้อรา ซึ่งเก็บในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2564

2.1 การสกัด (Extraction)

นำผลกึ่งกลางดงที่ล้างและบดให้หยาบน้ำหนัก 778.05 กรัม มาแช่ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดต่างๆ คือ CH_2Cl_2 และ 95% methanol ตามลำดับ โดยแช่ทั้งหมด 4 ครั้ง แช่ครั้งละ 3 วัน ต่อตัวทำละลาย 1 ชนิด กรองแล้วนำส่วนของสารละลายที่สกัดได้ไประเหยแห้ง จะได้สารสกัดหยาบ (Crude) ของ CH_2Cl_2 น้ำหนัก 9.5709 g (1.23 %) และ 95% methanol น้ำหนัก 68.0818 g (8.75 %)

2.2 การแยกสาร (Isolation)

เมื่อนำสารสกัดหยาบของ CH_2Cl_2 (9.5709 g) ผสมกับ Silica gel 60 (No.7734, 20 g) ทำการแยกโดยใช้เทคนิค Column Chromatography ที่มีตัวดูดซับเป็น Silica gel 60 (No.7734, 510 g) และชะโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ CH_2Cl_2 : MeOH (100 : 0 ถึง 0 : 100) สามารถรวม Fraction ได้ทั้งหมด 27 Fraction คือ S1 (0.3774 g), S2 (0.0590 g), S3 (0.4838 g), S4 (0.0882 g), S5 (0.2786 g), S6 (0.0179 g), S7 (0.1064 g), S8 (0.0395 g), S9 (0.1382 g), S10

(0.1926 g), S11 (2.2765 g), S12 (0.2181 g), S13 (0.2510 g), S14 (0.2470 g), S15 (0.0278 g), S16 (0.1411 g), S17 (0.2532 g), S18 (0.271 g), S19 (0.3704 g), S20 (0.2721 g), S21 (0.2067 g), S22 (0.5843 g), S23 (0.3623 g), S24 (0.1503g), S25 (1.0304 g), S26 (0.0198 g) และ S27 (0.1999 g)

2.2.1 การแยกสารประกอบ SD1

นำ Fraction S1 (0.3774 g) มาแยกโดยใช้เทคนิค Column Chromatography ที่มีตัวดูดซับเป็น Silica gel 60 (No.9385, 60 g) ละลายด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ CH_2Cl_2 : MeOH (100 : 0 ถึง 0 : 100) รวม Fraction ได้ทั้งหมด 7 Fractions โดย Fraction S1-1 มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว เมื่อนำมาทำให้บริสุทธิ์มากขึ้นโดยการล้างด้วย MeOH ได้สารประกอบ S1-1 มีน้ำหนัก 0.0642 g (R_f 0.70, Silica gel 60, Hexane : CH_2Cl_2 เท่ากับ 30 : 70) เมื่อศึกษาโครงสร้างพบว่า เป็นสารประกอบประเภท long chain ester (SD1, 0.0642 g)

2.2.2 การแยกสารประกอบ SD2

นำ Fraction S7 (0.1064 g) มาแยกโดยใช้เทคนิค Column Chromatography ที่มีตัวดูดซับเป็น Silica gel 60 (No.9385, 70 g) ละลายด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ CH_2Cl_2 : MeOH (100 : 0 ถึง 0 : 100) รวม Fraction โดยดูจาก TLC patterns สามารถรวม Fraction ได้ทั้งหมด 12 Fractions คือ S7-1 (0.0029 g), S7-2 (0.0024 g), S7-3 (0.0016 g), S7-4 (0.0486 g), S7-5 (0.0044 g), S7-6 (0.0048 g), S7-7 (0.0154 g), S7-8 (0.0054 g), S7-9 (0.0011 g), S7-10 (0.0049 g), S7-11 (0.0030 g) และ S7-12 (0.1006 g) เมื่อนำ Fraction S7-4 (0.0486 g) มาทำการแยกโดยใช้ Silica gel 60 (No.9385, 40 g) ละลายด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ CH_2Cl_2 : MeOH (100 : 0 ถึง 0 : 100) สามารถรวม Fraction ได้ทั้งหมด 5 Fractions นำ Fraction S7-4-4 (0.0266 g) มาแยกโดยใช้ Silica gel 60 (No.9385, 30 g) ละลายด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ CH_2Cl_2 : MeOH (100 : 0 ถึง 0 : 100) รวม Fraction ได้ทั้งหมด 5 Fraction ใน Fraction S7-4-4-2 มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว น้ำหนัก 0.0028 g (R_f 0.34, Silica gel 60, Hexane : CH_2Cl_2 เท่ากับ 30 : 70) มีการเรืองแสงบนแผ่น TLC ที่ดูภายใต้แสง UV ที่ความยาวคลื่น 254 และ 365 nm เมื่อนำไป Spray ด้วย Anisaldehyde reagent และ Heat ที่ 105 °C 10 นาที เป็นสีม่วง เมื่อศึกษาโครงสร้างพบว่า เป็นสารผสมของ steroids (SD2, 0.0028 g)

การแยกสารประกอบต่างๆ จากสารสกัดหยาบ MeOH โดยนำสารสกัดหยาบของ MeOH (68.0818 g) ผสมกับเป็น Silica gel 60 (No.7729, 70 g) เมื่อนำมาแยกโดยใช้เทคนิค Vacuum Liquid Column Chromatography ที่มีตัวดูดซับเป็น Silica gel 60 (No.7729, 400 g) ละลายด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ CH_2Cl_2 : MeOH (100 : 0 ถึง 0 : 100) รวม Fraction ได้ทั้งหมด 28 Fractions คือ V1 (0.2922 g), V2 (0.2106 g), V3 (0.3715 g), V4 (1.8338 g), V5 (0.4537 g), V6 (0.4918 g), V7 (0.4018 g), V8 (0.3921 g), V9 (0.4832 g), V10 (0.4354 g), V11 (0.5965 g), V12 (0.5124 g), V13 (0.6405 g), V14 (0.8372 g), V15 (0.8557 g), V16 (1.6131 g), V17 (1.6430 g), V18 (1.8820 g), V19 (1.2652 g), V20 (5.6521 g), V21 (2.2067 g), V22 (1.6759 g), V23 (1.5717 g), V24 (3.2945 g), V25 (2.3217 g), V26 (2.9117 g), V27 (2.0942 g) และ V28 (2.0364 g)

2.2.3 การแยกสารประกอบ SM1

นำ Fraction V4 (1.8338 g) ซึ่งมีลักษณะเป็นผลึก มาล้างด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ CH_2Cl_2 และ MeOH แยกส่วนของผลึก และสารละลายเป็น 2 Fractions คือ VD4 (0.9279 g) และ VM4 (0.2312 g) เมื่อนำ Fraction VM4 (0.2312 g) มาแยกโดยใช้เทคนิค Column Chromatography ที่มีตัวดูดซับเป็น Silica gel 60 (No.9385, 50 g) ละลายด้วย CH_2Cl_2 : MeOH (100 : 0 ถึง 0 : 100) รวม Fraction โดยดูจาก TLC Patterns สามารถรวมได้ทั้งหมด 41 Fractions และเมื่อนำ Fraction ที่ VM4-11 (0.0625 g) มาทำการแยกโดยใช้ Silica gel 60 (No.9385, 50 g) เมื่อละลายด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ CH_2Cl_2 : MeOH (100 : 0 ถึง 0 : 100) สามารถรวม Fraction ได้ทั้งหมด 3 Fraction คือ VM4-11-1 (0.0045 g), VM4-11-2 (0.0434 g), VM4-11-3 (0.0131 g) โดย Fraction ที่ VM4-11-2 มีลักษณะเป็นผลึกรูปเข็ม เมื่อนำมาทำให้บริสุทธิ์มากขึ้นโดย

การล้างด้วย MeOH พบว่าได้สารประกอบ VM4-11-2 น้ำหนัก 0.0434 g (R_f 0.70, Silica gel 60, MeOH : CH_2Cl_2 เท่ากับ 10 : 90) มีการเรืองแสงบนแผ่น TLC ที่ดูภายใต้แสง UV ที่ความยาวคลื่น 254 และ 365 nm เมื่อนำไป Spray ด้วย Anisaldehyde reagent และ Heat ที่ 105 °C 10 นาที เป็นสีม่วง เมื่อศึกษาหาโครงสร้างพบว่าเป็นสารประเภท benzyl isoquinoline (SM1, 0.0434 g)

2.2.4 การแยกสารประกอบ SM2

เมื่อนำ Fraction V4 (1.8338 g) มาล้างผลึกด้วย CH_2Cl_2 และ MeOH แยกส่วนของผลึก และสารละลายเป็น 2 Fractions คือ VD4 (0.9279 g) และ VM4 (0.2312 g) เมื่อนำ Fraction VM4 (0.2312 g) มาแยกโดยใช้เทคนิค Column Chromatography ที่มีตัวดูดซับเป็น Silica gel 60 (No.9385, 50 g) และชะโดยตัวทำละลายอินทรีย์ CH_2Cl_2 : MeOH (100 : 0 ถึง 0 : 100) รวม Fraction ได้ทั้งหมด 41 Fractions เมื่อนำ Fraction ที่ VM4-12 (0.0219 g) มาแยกโดยใช้ Silica gel 60 (No.9385, 20 g) และชะโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ CH_2Cl_2 : MeOH (100 : 0 ถึง 0 : 100) รวม Fraction ได้ทั้งหมด 3 Fraction คือ VM4-12-1 (0.0029 g), VM4-12-2 (0.0135 g) และ VM4-12-3 (0.0145 g) โดย Fraction VM4-12-1 มีลักษณะเป็นผลึกรูปเข็ม เมื่อนำมาทำให้บริสุทธิ์มากขึ้นโดยการล้างด้วย MeOH พบว่าได้สารประกอบ VM4-12-1 น้ำหนัก 0.0029 g (R_f 0.82, Silica gel, MeOH : CH_2Cl_2 เท่ากับ 10 : 90) มีการเรืองแสงบนแผ่น TLC ที่ดูภายใต้แสง UV ที่ความยาวคลื่น 254 และ 365 nm เมื่อนำไป Spray ด้วย Anisaldehyde reagent และ Heat ที่ 105 °C 10 นาที เป็นสีม่วง เมื่อศึกษาหาโครงสร้างพบว่าเป็นสารประเภท benzyl isoquinoline (SM2, 0.0029 g)

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

จากส่วนผลของกลิ้งกลางดงที่ฝั่งแห้งและบดให้หยาบ ได้สารน้ำหนัก 778.05 กรัม เมื่อแช่ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดต่างๆ คือ CH_2Cl_2 และ 95% MeOH ตามลำดับ ได้สารสกัดหยาบ (Crude) ของ CH_2Cl_2 (9.5709 g, 1.23 %) และ 95% MeOH (68.0818 g, 8.75 %)

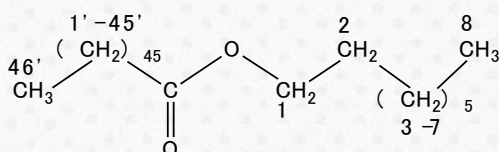
สารประกอบที่แยกได้นั้นสามารถหาโครงสร้างได้ โดยการใช้ข้อมูลที่ได้จากเครื่อง FTIR 1H -NMR ^{13}C -NMR และ 2D-NMR แล้วทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลจากเอกสารที่เคยมีรายงานโครงสร้างของสารต่างๆ นั้นมาแล้ว

3.1 การศึกษาหาโครงสร้างของสารประกอบ SD1

สารประกอบ SD1 มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว มีสูตรโมเลกุล $C_{55}H_{110}O_2$ เป็นสารประกอบประเภท long chain ester จาก IR spectrum พบ λ_{max} (cm^{-1}) ที่ 2918, 2849 (C-H aliphatic) 1734 (C=O stretching) 1473 และ 1463 ($-CH_2$, $-CH_3$ blending) และค่าความถี่ที่ 1377 และ 1179 (C-O stretching) ซึ่งแสดงสัญญาณของ ester group

จาก 1H -NMR (ตารางที่ 1) พบสัญญาณที่ δ 0.86 (6H, t, 7 Hz), 1.23 (94H, s), 1.59 (6H, t, 7 Hz), 2.26 (1H, t, 7 Hz), 4.03 (1H, t, 7 Hz)

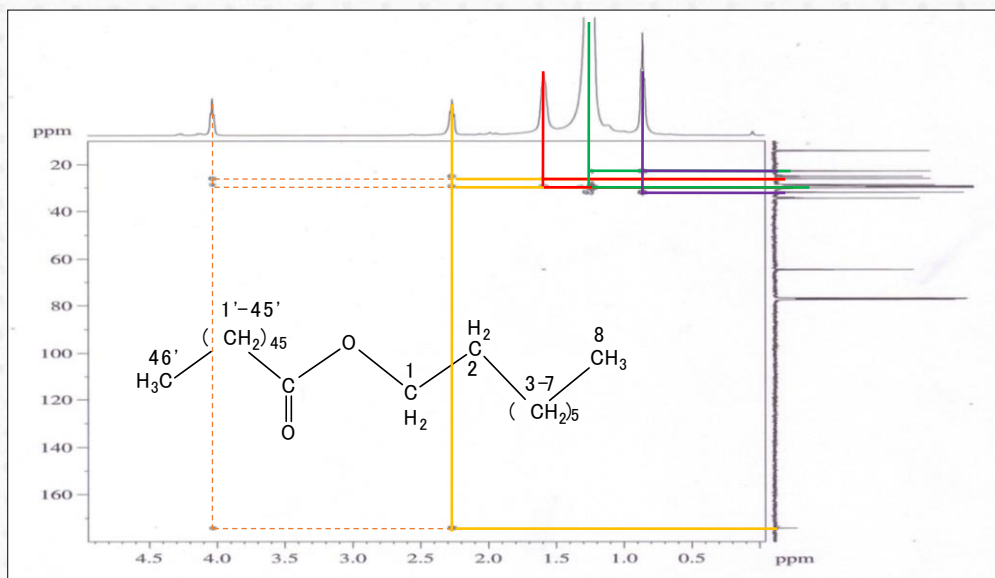
จาก ^{13}C -NMR (ตารางที่ 1) พบสัญญาณที่ δ 64.40 (C-1), 34.42 (C-2), 25.93 (C-3-7), 14.11 (C-8, 46'), 29.70 (C-1' - 45') และ 174.04 (O-C=O) และจากการวิเคราะห์ที่ใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง H และ C คือ HMQC และ HMBC ดังรูปที่ 2 และ 3 พบว่าโครงสร้างน่าจะเป็นดังนี้



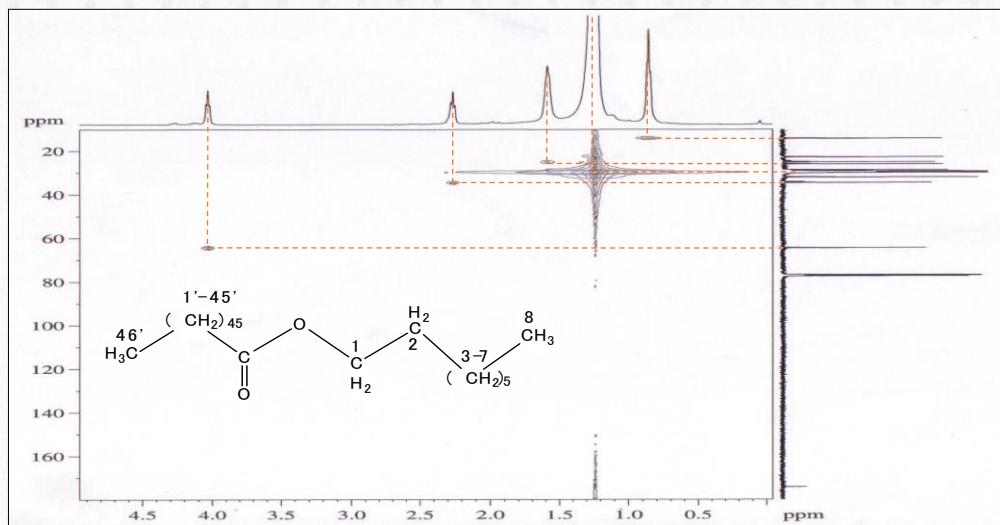
รูปที่ 1 โครงสร้างของ long chain ester

ตารางที่ 1 $^1\text{H-NMR}$ และ $^{13}\text{C-NMR}$ ของสารประกอบ SD1 (in CDCl_3)

ตำแหน่งของ C	δ_{H} (ppm)	δ_{C} (ppm)
1	4.03 (2H, t, 7 Hz)	64.4
2	2.26 (2H, t, 7 Hz)	34.4
3-7	1.59 (6H, t, 7 Hz)	25.9
8, 46'	0.86 (6H, t, 7 Hz)	14.1
1' - 45'	1.23 (94H, s)	29.7
O-C=O	-	174.0



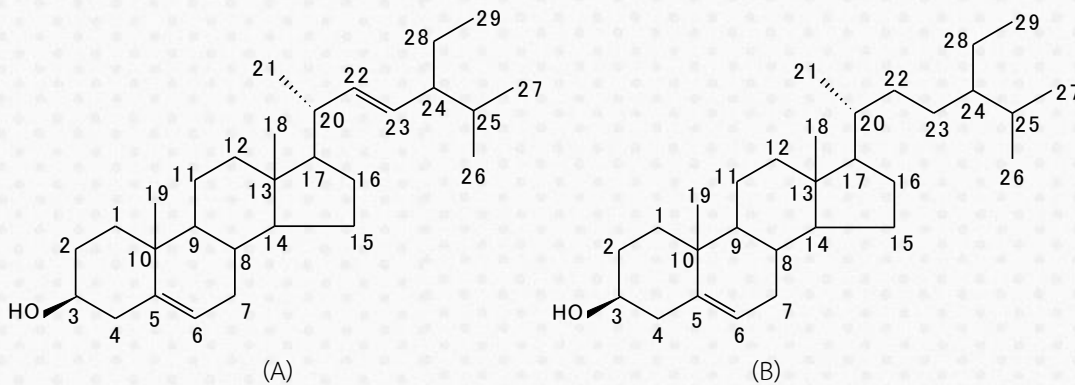
รูปที่ 2 HMOC spectrum ของสารประกอบ SD1 (CDCl_3)



รูปที่ 3 HMOC spectrum ของสารประกอบ SD1 (CDCl_3)

3.2 การศึกษาโครงสร้างของสารประกอบ SD2

สารประกอบ SD2 มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว พบว่าเป็นสารผสมระหว่าง β -Sitosterol กับ Stigmasterol โครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2 จาก $^1\text{H-NMR}$ (ตารางที่ 2) พบสัญญาณที่ δ 5.01 (1H, *dd*, $J = 8.5$ Hz, 8.5 Hz), 5.15 (1H, *dd*, $J = 9$ Hz, 8.5 Hz) และ 5.33 (2H, *s*) H-22 และ H-23 ของ stigmasterol และ H-6 ของ β -sitosterol และ stigmasterol ตามลำดับ จาก $^{13}\text{C-NMR}$ (ตารางที่ 2) ของ SD2 แสดง 43 สัญญาณ จากการเปรียบเทียบข้อมูล $^{13}\text{C-NMR}$ มีค่าที่รายงานของสารผสมระหว่าง β -sitosterol และ stigmasterol



รูปที่ 2 แสดงโครงสร้างของ β -sitosterol (A) และ stigmasterol (B)

ตารางที่ 2 $^{13}\text{C-NMR}$ ของสารประกอบ SD2 (in CDCl_3 , 500 MHz) เมื่อเทียบกับสารผสมของ β -sitosterol และ Stigmasterol ที่เคยมีรายงานมาแล้ว [9]

ตำแหน่งของ C	SD2	β -Sitosterol [9]	Stigmasterol [9]
	δ_c (ppm)	δ_c (ppm)	δ_c (ppm)
1	37.2	37.3	37.3
2	31.7	31.6	31.7
3	71.8	71.7	71.8
4	42.3	42.5	42.4
5	140.8	140.8	140.8
6	121.7	121.6	121.7
7	39.8	31.9	31.9
8	31.9	31.9	31.9
9	50.1	50.2	50.2
10	36.5	36.5	36.6
11	21.1	21.1	21.1
12	39.7, 39.8	39.8	39.7
13	42.3	42.3	42.4

ตารางที่ 2 ^{13}C -NMR ของสารประกอบ SD2 (in CDCl_3 , 500 MHz) เมื่อเทียบกับสารผสมของ β -sitosterol และ Stigmasterol ที่เคยมีรายงานมาแล้ว [9]

ตำแหน่งของ C	SD2	β -Sitosterol [9]	Stigmasterol [9]
	δ_c (ppm)	δ_c (ppm)	δ_c (ppm)
14	56.8, 56.9	56.7	56.9
15	24.3, 24.4	24.3	24.4
16	28.2, 28.9	28.3	28.9
17	55.9, 56.0	56.1	56.1
18	11.8, 12.0	11.9	12.1
19	19.4	19.4	19.4
20	36.5, 40.5	36.2	40.5
21	18.8, 21.1	18.8	21.1
22	33.9, 138.3	33.9	138.3
23	26.0, 129.3	26.1	129.3
24	45.8, 51.2	45.9	51.3
25	29.1, 31.9	29.2	31.9
26	19.8, 21.2	19.8	21.3
27	19.0	19.0	19.0
28	23.1, 25.4	23.1	25.4
29	12.2	12.3	12.3

3.3 การศึกษาโครงสร้างของสารประกอบ SM1 และ สารประกอบ SM2

สารประกอบ SM1, SM2 มีลักษณะเป็นผลึกรูปเข็ม คาดว่าน่าจะเป็นสารประเภท benzyl isoquinoline จาก ^1H -NMR (ตารางที่ 3) พบสัญญาณ δ_H ช่วง 1-4 ppm เป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นช่วงของสัญญาณที่เกิดจากสารประกอบประเภท alkyl และ methoxyl และช่วง 6-7 ppm ซึ่งเป็น aromatic ring

จาก ^{13}C -NMR (ตารางที่ 3) พบสัญญาณ δ_C ในช่วง 20-40 ppm เป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นช่วงสัญญาณของ alkyl และ methoxyl ซึ่งเป็นการยืนยันผลร่วมกันกับ ^1H -NMR นอกจากนี้ยังพบ δ_C ช่วง 110-140 ppm ซึ่งเป็นตำแหน่งของ aromatic ring นั้นเอง

จากข้อมูล ^1H -NMR และ ^{13}C -NMR อาจจะเป็นสารผสมที่มีค่า chemical shift แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงค่า $^1\text{H-NMR}$ และ $^{13}\text{C-NMR}$ ของสารประกอบ SM1, SM2 (in CDCl_3 : CD_3OD)

ตำแหน่ง C (ค่าสมมติ)	δ_{H} (ppm) (เรียงจากน้อยไปมาก)	δ_{C} (ppm) (เรียงจากน้อยไปมาก)
1	1.12 (6H, s)	15.7
2	1.68 (3H, t, 12.5 Hz)	21.0
3	1.91 (15H, d, 12 Hz)	29.1
4	2.15 (5H, d, 12.5 Hz)	32.9
5	2.40 (10H, m)	34.5
6	2.42 (10H, m)	35.1
7	2.50 (10H, m)	39.0
8	2.79 (2H, dd, 14, 2.5 Hz)	41.4
9	5.12 (2H, d, 2.5 Hz)	43.2
10	5.47 (2H, dd, 12.5, 3.5 Hz)	71.8
11	6.50 (H, s)	72.1
12	7.45 (H, s)	109.4
13	7.57 (H, s)	126.4
14	-	141.3
15	-	144.7
16	-	172.4
17	-	174.1
18	-	178.7

4. บทสรุป

การศึกษาทางพิษเคมีในผลของกลิ้งกลางตง สามารถแยกสารได้ 3 ชนิด โดยพบว่าเป็นสารผสมระหว่าง β -sitosterol และ stigmasterol 1 ชนิด สารบริสุทธิ์ 1 ชนิดคือ long chain ester นอกจากนี้ยังได้สารผสมอีก 1 ชนิด ซึ่งคาดว่า เป็นสารประเภท benzyl isoquinoline (SM1, SM2) โดยพบหมู่ฟังก์ชันของ aromatic ring methoxyl และ carbonyl ในการพิสูจน์โครงสร้างทางเคมีของสารที่แยกได้นี้ อาศัยการวิเคราะห์สเปกตรัมของ IR $^1\text{H-NMR}$ $^{13}\text{C-NMR}$ และ 2D-NMR ร่วมกับการเปรียบเทียบข้อมูลของสารที่ทราบโครงสร้างแล้ว

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์สารเคมีจาก ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] บดินทร์ ชิตกุล. การศึกษาส่วนประกอบทางเคมีของพืชสกุลสเทฟาเนียบางชนิด. วิจัยมหาวิทยาลัยรามคำแหง. 2(2), (2542), 82-117.
- [2] เต็ม สมิตินันท์. ชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ ฟันนี้ พับลิชชิง. หน้า 315 (2523).
- [3] D. K. Semwal, R. Badoni., R. Semwal, S. K. Kothiyal, G. J. P. Singh and U. Rawat. The genus *Stephania* (Menispermaceae): Chemical and pharmacological perspectives. *Journal of Ethnopharmacology* 132 (2010): 369-383.
- [4] S. Nantapap, S., C. Loetchutinat, P. Meepowpan, N. Nuntasaeen and W. Pompimon. Antiproliferative. Effects of Alkaloids Isolated from the Tuber of *Stephania venosa* via the Induction of Cell Cycle Arrest in Mammalian Cancer Cell Lines. *American Journal of Applied Sciences*. 7 (8), (2010): 1057-1065.
- [5] L.B. Zhang and G.X. Rao Aporphine, protoberberine and morphine alkaloids from the tubers of *Stephania yunnanensis*. *Biochemical Systematics and Ecology*. 37 (2009): 622-625.
- [6] A. Chea, S. Hout, S.S. Bun, N. Tabatadze, M. Gasquet, N. Azas, R. Elias and G. Balansard. Antimalarial activity of alkaloids isolated from *Stephania rotunda*. *Journal of Ethnopharmacology*. 112 (2007): 132-137
- [7] J.T. Blanchfield, D.P.A. Sands, C.H.L. Kennard, K.A. Byriel and W. Kitching. Characterization of alkaloids from some Australian *Stephania* (Menispermaceae) species. *Phytochemistry*. 63 (2003): 711-720.
- [8] J. Banerji, A. Chatterjee, A. Patra, P. Bose, R. Das, B. Das, M. Shamma and B. Tantisewie. Kamaline, an Unusual Aporphine alkaloid from *Stephania venosa*. *Phytochemistry*. 36 (4) (1994): 1053-1056.
- [9] J.L.C. Wright, A.G. Mcinnes, S. Shimizu, D.G. Smith and J.A. Walter. Identification of C-24 alkyl epimers of marine sterols by ¹³C nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Can. J. Chem*. 56 (1978): 1898-1903.

ปัจจัยสนับสนุนการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด กรณีศึกษา Baby Boomer Generation

Supporting factors of the transition to cashless society: a case study of baby boomer generation

กฤษฎา ประทุมรัตน์วัฒนา^{1*} ชนะกัญจน์ ศรีรัตนบัลล์¹ และ รัชชดา วงศ์เกษม²

¹สาขาวิชาการจัดการนวัตกรรมการผลิตและเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

²เทศบาลตำบลห้วยโพธิ์ จังหวัดกาฬสินธุ์

*E-mail: kidsada.pratumratwattana@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยสนับสนุนการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของ Baby Boomer Generation และ เพื่อศึกษาแนวทางการส่งเสริมการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของ Baby Boomer Generation ดำเนินการเก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถามกับกลุ่มตัวอย่างกับกลุ่ม Baby Boomer Generation ที่มีอายุ 59-77 ปี จำนวน 400 คน สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว และ วิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ ผลการศึกษา พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้เงินสดแบบอิเล็กทรอนิกส์ ในภาพรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็น อันดับแรก คือ ด้านการรับรู้ประโยชน์ รองลงมาคือ ด้านทัศนคติที่มีต่อการใช้เทคโนโลยี และอันดับสุดท้าย คือ ด้านการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation ส่วนผลการทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปัจจัยส่วนบุคคลด้านปีเกิด อาชีพ และรายได้เฉลี่ยต่อเดือนที่ต่างกัน ส่งผลกระทบต่อการใช้เงินสดของ Baby Boomer Generation แตกต่างกันไป และการรับรู้ประโยชน์ ทัศนคติที่มีต่อการใช้เทคโนโลยี อิทธิพลทางสังคม การรับรู้ความปลอดภัย และการรับรู้ความเสี่ยง มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

คำสำคัญ: ปัจจัยสนับสนุน, การเปลี่ยนผ่าน, สังคมไร้เงินสด, Baby Boomer Generation

Abstract

The purpose of this study is to identify supporting factors that play a role moving towards a cashless society as well as recommendations for promoting it among the baby boomer generation. The sample consisted of 400 members of the baby boomer generation, ranging in age from 59 to 77, and the data were analyzed using percentages, means, standard deviations, T-tests, one-way ANOVAs, and multiple regressions. The findings revealed that the respondents placed the highest value on the perceived benefit followed by the attitude towards technology and the transition to a cashless society of the baby boomer generation, respectively. According to the hypothesis testing, a different characteristic in terms of year of birth, career, and monthly income influenced the transition to a cashless society of the

baby boomer generation. Moreover, the perceived benefit, attitude towards technology, social influence, safety perception, and risk perception influenced the transition to a cashless society of the baby boomer generation with a significance level of 0.05.

Keywords: Supporting Factor, Transition, Cashless society , Baby boomer generation

1. บทนำ

ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีในปัจจุบันทำให้โลกเกิดการพัฒนาเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว ทั้งในด้านเศรษฐกิจและด้านสังคม ซึ่งหนึ่งในเทคโนโลยีดังกล่าว คือ เทคโนโลยีทางการเงิน ที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เริ่มตั้งแต่การเกิดขึ้นของการจ่ายเงินด้วยบัตรเครดิต จนถึงสังคมไร้เงินสดอย่างในปัจจุบัน สำหรับสังคมไร้เงินสดในประเทศไทย จะมีรูปแบบการทำธุรกรรมทางการเงินที่ยังไม่เข้าสู่สังคมไร้เงินสดแบบเต็มรูปแบบ โดยประชาชนบางส่วนเริ่มทำธุรกรรมทางการเงินผ่านโทรศัพท์มือถือมากขึ้น แต่ยังไม่ครอบคลุมกับประชาชนทุกคน ซึ่งอาจเกิดจากหลายสาเหตุ ทั้งร้านค้าหรือหน่วยงานบางแห่งก็ยังคงที่จะเลือกรับเงินสด ประชาชนบางส่วนมีความเชื่อมั่นในการถือเงินสดมากกว่าใช้จ่ายผ่านการสแกนจ่าย โดยเฉพาะกลุ่ม Baby Boomer Generation หรือ Gen B คือผู้ที่เกิดระหว่างปี พ.ศ. 2489-2507 ถือเป็นกลุ่มประชาชนในสูงอายุที่มีภาพลักษณ์เป็นผู้ที่ห่างไกลจากเทคโนโลยีมาก และยังคงไม่มีความเชื่อมั่นในการชำระเงินแบบ e-Payment เนื่องจากยังรู้สึกไม่ปลอดภัยในเรื่องของการถูกโจรกรรมข้อมูลทางการเงิน และยังมีความรู้สึกว่าการใช้จ่ายด้วยเงินสดเป็นเรื่องของความสะดวกและสามารถรับรู้เงินที่ตนเองใช้จ่ายได้ชัดเจน และส่วนใหญ่ยังมีความเข้าใจในเทคโนโลยีน้อย จึงรู้สึกไม่สะดวกที่จะต้องดาวน์โหลดแอปพลิเคชัน Mobile Banking ก่อนแล้วค่อยนำมาใช้จ่ายเงิน และกลุ่ม Baby Boomer Generation ยังมีค่านิยมแบบดั้งเดิมที่เคยมีความสุขกับการได้จับเงินสด ดังนั้นในการศึกษารุ่นนี้ ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษา ปัจจัยสนับสนุนการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด กรณีศึกษา Baby Boomer Generation เพื่อศึกษาแนวทางการส่งเสริมการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของ Baby Boomer Generation

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

2.1 กลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษารุ่นนี้ ได้แก่ กลุ่ม Baby Boomer Generation ที่มีอายุ 59-77 ปี ที่อาศัยอยู่ทั่วทุกภาคในประเทศไทย จำนวน 400 ตัวอย่าง ที่ประกอบอาชีพที่แตกต่างกันรวมถึงกลุ่มประชากรที่เกษียณอายุงานแล้ว และมีรายได้ที่แตกต่างกัน โดยคำนวณได้จากสูตรไม่ทราบขนาดตัวอย่างของ Cochran โดยกำหนดระดับค่าความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และระดับค่าความคลาดเคลื่อนร้อยละ 5 ทำการวิจัยครั้งนี้จึงใช้วิธีการคำนวณหาจำนวนกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้การสุ่มแบบบังเอิญ (Accidental Sampling) ดำเนินการเก็บข้อมูลในรูปแบบออนไลน์ ในรูปแบบ Google Form โดยใช้วิธีแจกแบบสอบถามโดยใช้แอปพลิเคชัน Line โดยให้คุณพ่อและคุณแม่ ซึ่งเป็นกลุ่ม Baby Boomer Generation แจกแบบสอบถามให้กับกลุ่มเพื่อนช่วงวัยใกล้เคียงกัน ซึ่งมีจำนวนมาก และกลุ่มในสถานที่ทำงาน และยังสามารถฝากให้กลุ่มเพื่อนๆของคุณพ่อและคุณแม่ ช่วยกันแจกแบบสอบถามต่อไปอีกเป็นทอดๆ ให้แก่คนที่รู้จักซึ่งเป็นกลุ่ม Baby Boomer Generation เช่นเดียวกัน จึงทำให้ได้แบบสอบถามออกมารบถ้วน

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

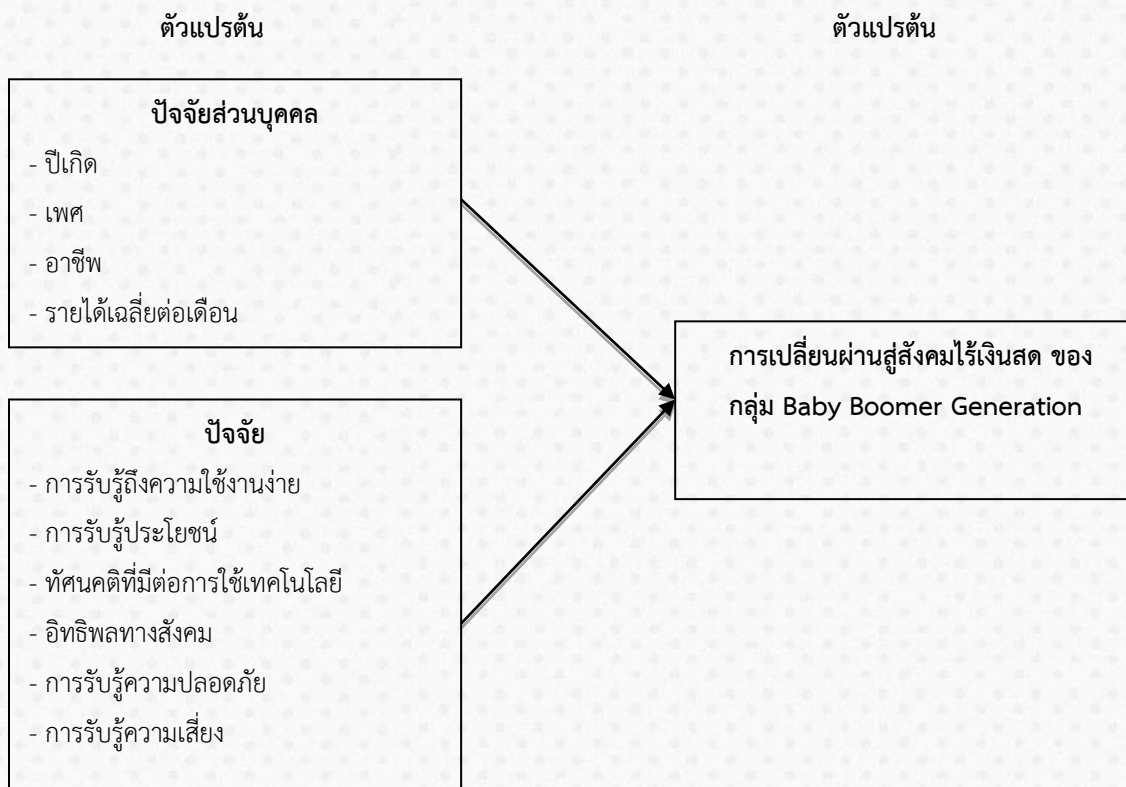
ตอนที่ 1 แบบสอบถามข้อมูลปัจจัยส่วนบุคคลได้แก่ ช่วงปี พ.ศ. ที่เกิด เพศ อาชีพ รายได้ โดยเป็นคำถามแบบปิด (Close Ended Question) โดยเลือกตอบคำถามแบบให้ผู้ตอบเลือกเพียงข้อเดียว (Check List)

ตอนที่ 2 แบบสอบถามเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการชำระเงินแบบอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบด้วยตัวแปร ดังนี้ 1.การรับรู้ถึงการใช้งานง่าย 2.การรับรู้ประโยชน์ 3.ทัศนคติที่มีต่อการใช้เทคโนโลยี 4.อิทธิพลของสังคม 5.การรับรู้ความปลอดภัย 6.การรับรู้ความเสี่ยง ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation มาใช้ในแบบสอบถาม ซึ่งเป็นแบบสอบถามที่มีลักษณะเป็นมาตรฐานประเมินค่า 5 ระดับความคิดเห็นโดยเรียงลำดับ จากระดับที่ 5 คือ เห็นด้วยมากที่สุดไปจนถึงระดับเห็นด้วยน้อยที่สุดคือ ระดับ 1 (ภทรธิรา ผลงาน, 2558)

โดยผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของแบบสอบถามโดยใช้วิธีหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา ของครอนบาค (Cronbach) จากการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของแบบสอบถาม จำนวน 30 ชุด ทำการทดสอบความสม่ำเสมอของมาตรวัดที่ใช้ในการศึกษา ปรากฏว่าได้ผลเท่ากับ 0.903 ซึ่งโดยปกติถ้าค่าความเชื่อมั่นต้องมีค่าเกิด 0.80 ขึ้นไป ถือว่าใช้ได้

2.3 สถิติที่ใช้ในการวิจัย วิเคราะห์หาความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว และวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ

2.4 กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

2.5 สมมติฐาน

2.5.1 ปัจจัยส่วนบุคคลที่ต่างกัน ส่งผลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation แตกต่างกัน

2.5.2 การรับรู้ถึงการใช้งานง่ายมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation

2.5.3 การรับรู้ประโยชน์มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation

2.5.4 ทักษะการที่มีต่อการใช้เทคโนโลยีมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation

2.5.5 อิทธิพลทางสังคมมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation

2.5.6 การรับรู้ความปลอดภัยมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation

2.5.7 การรับรู้ความเสี่ยงมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถาม

สรุปผลการศึกษา พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เกิดปี พ.ศ. 2494 – 2507 ร้อยละ 80.80 เป็น เพศชาย ร้อยละ 53.80 มีอาชีพเป็น เจ้าของกิจการ / ธุรกิจส่วนตัว ร้อยละ 38.80 และมีรายได้เฉลี่ยต่อเดือน 50,001 บาท ขึ้นไป ร้อยละ 40.30

3.2 สรุปการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการชำระเงินแบบอิเล็กทรอนิกส์

สรุปผลการศึกษา พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อการชำระเงินแบบอิเล็กทรอนิกส์ ในภาพรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีความคิดเห็น อันดับแรก คือ ด้านการรับรู้ประโยชน์รองลงมาคือ ด้านทัศนคติที่มีต่อการใช้เทคโนโลยี และอันดับสุดท้าย คือ ด้านการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของปัจจัยด้านการรับรู้ถึงความใช้งานง่าย ในภาพรวม

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการชำระเงินแบบอิเล็กทรอนิกส์	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับความคิดเห็น
1. ด้านการรับรู้ถึงความใช้งานง่าย	4.13	0.69	มาก
2. ด้านการรับรู้ประโยชน์	4.43	0.59	มากที่สุด
3. ด้านการรับรู้ความเสี่ยง	3.21	0.77	ปานกลาง
4. ด้านทัศนคติที่มีต่อการใช้เทคโนโลยี	4.23	0.66	มากที่สุด
5. ด้านอิทธิพลของสังคม	3.75	0.72	มาก
6. ด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล	3.51	0.52	มาก
7. ด้านการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation	3.34	0.67	ปานกลาง
รวม	3.80		มาก

3.3 สรุปผลการทดสอบสมมติฐาน

3.3.1 ปัจจัยส่วนบุคคลที่ต่างกัน ส่งผลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation แตกต่างกัน

สรุปผลการทดสอบสมมติฐาน พบว่า ปัจจัยส่วนบุคคลด้านปีเกิด อาชีพ และรายได้เฉลี่ยต่อเดือนที่ต่างกัน ส่งผลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

3.3.2 การรับรู้ประโยชน์ ทักษะคิดที่มีต่อการใช้เทคโนโลยี อิทธิพลทางสังคม การรับรู้ความปลอดภัย และการรับรู้ความเสี่ยง มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation

การทดสอบสมมติฐานใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Linear Regression) จากการวิเคราะห์ปัจจัย ผู้วิจัยได้กลุ่มปัจจัยใหม่ทั้ง 6 ปัจจัย ประกอบด้วย ด้านการรับรู้ถึงความใช้งานง่าย การรับรู้ประโยชน์ การรับรู้ความเสี่ยง ทักษะคิดที่มีต่อการใช้เทคโนโลยี อิทธิพลของสังคม การรักษาความปลอดภัยของข้อมูล โดยในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นเพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation ผู้วิจัยได้วิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation) ของกลุ่มปัจจัยใหม่ทั้ง 6 กลุ่ม

X_1	=	ด้านการรับรู้ถึงความใช้งานง่าย
X_2	=	ด้านการรับรู้ประโยชน์
X_3	=	ด้านการรับรู้ความเสี่ยง
X_4	=	ด้านทักษะคิดที่มีต่อการใช้เทคโนโลยี
X_5	=	ด้านอิทธิพลของสังคม
X_6	=	ด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล
Y	=	ด้านการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation)

ตัวแปร	X1	X2	X3	X4	X5	X6	Y
X_1	1	0.813*	0.132*	0.256*	0.046*	0.177*	0.597*
X_2		1	0.478*	0.641*	0.242*	0.442*	0.807*
X_3			1	0.361*	0.400*	0.320*	0.293*
X_4				1	0.199*	0.504*	0.729*
X_5					1	0.192*	0.546*
X_6						1	0.535*
Y							1

ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation) พบว่า ตัวแปรอิสระนั้นมีความสัมพันธ์กันเอง (Multicollinearity) (ดูพหุลักษณะ บารมี, 2551) สามารถใช้วิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณได้

ตารางที่ 3 ตัวแบบที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Model Summary)

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.966 ^a	.933	.931	.07420	2.257

จากตาราง พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R Square) เท่ากับ 0.933 หมายความว่าปัจจัยด้านการรับรู้ถึงความใช้งานง่าย การรับรู้ประโยชน์ การรับรู้ความเสี่ยง ทักษะคิดที่มีต่อการใช้เทคโนโลยี อิทธิพลของสังคม การรักษาความปลอดภัยของข้อมูล สามารถอธิบายความผันแปรของคะแนนการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation ได้

ร้อยละ 93.3 และจากค่า Durbin-Watson เท่ากับ 2.257 ซึ่งอยู่ในช่วง 1.5 ถึง 2.5 แสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระต่อกัน

จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยของตัวแบบ

ANOVA ^a						
	Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	29.900	6	4.983	905.055	.000 ^b
	Residual	2.164	393	.006		
	Total	32.064	399			

จากตารางสามารถวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้น โดยกำหนดสมมติฐานทางสถิติดังต่อไปนี้

H_0 : ปัจจัยที่ใช้ในตัวแบบทั้ง 6 กลุ่มปัจจัย ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation อย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : มีปัจจัยที่ใช้ในตัวแบบอย่างน้อย 1 กลุ่มปัจจัย มีผลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation อย่างมีนัยสำคัญ

เนื่องจากค่า F เท่ากับ 905.055 และค่า Sig. เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 สรุปได้ว่า มีปัจจัยที่ใช้ในตัวแบบอย่างน้อย 1 กลุ่มปัจจัย มีผลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation อย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple Regression Analysis)

Model	Unstandardized		Standardized	t	Sig.
	Coefficients		Coefficients		
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	.740	.055		13.545	.000*
1. ด้านการรับรู้ถึงความใช้งานง่าย	.090	.014	.218	6.305	.000*
2. ด้านการรับรู้ประโยชน์	.157	.022	.328	7.027	.000*
3. ด้านการรับรู้ความเสี่ยง	.098	.007	.265	14.262	.000*
4. ด้านทัศนคติที่มีต่อการใช้เทคโนโลยี	.168	.010	.392	17.354	.000*
5. ด้านอิทธิพลของสังคม	.180	.006	.456	31.544	.000*
6. ด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล	.083	.009	.151	9.583	.000*

สรุปผลการทดสอบสมมติฐาน พบว่า การรับรู้ประโยชน์ ทักษะคิตที่มีต่อการใช้เทคโนโลยี อิทธิพลทางสังคม การรับรู้ความปลอดภัย และการรับรู้ความเสี่ยง มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

4. บทสรุป

ในการวิจัยเรื่อง ปัจจัยสนับสนุนการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด กรณีศึกษา Baby Boomer Generation สามารถอภิปรายผลตามสมมติฐาน ดังนี้

สมมติฐานที่ 1. ปัจจัยส่วนบุคคลที่ต่างกัน ส่งผลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation แตกต่างกัน

ปีเกิด พบว่า ปัจจัยส่วนบุคคลที่ต่างกัน ส่งผลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation แตกต่างกัน จำแนกตามด้านปีเกิด ทั้งนี้เนื่องจาก อายุที่สูงอายุจะมีผลต่อความสามารถในการวิเคราะห์ ค่าสายตา และความคล่องในการใช้งานเทคโนโลยี ยิ่งอายุมาก การใช้งานและการยอมรับเทคโนโลยีจะยิ่งต่ำตามไปด้วย สอดคล้องกับการศึกษาของ Carlson [1] รายงานว่า ปัจจุบันประชากรกลุ่ม Baby Boomer Generation มักเป็นกลุ่มที่มีความมั่งคั่งทางการเงิน และมีกำลังซื้อ แต่จะไม่มีคามเชี่ยวชาญทางเทคโนโลยีมากนัก โดยเฉพาะกลุ่มที่มีอายุมากกว่า 70 ปี สอดคล้องกับแนวคิดของชไมพร ขนานแก้ว และ กนกพร ชัยประสิทธิ์ [2] พบว่า บุคคลที่มีอายุที่แตกต่างกันมี ทักษะคิตต่อการยอมรับการใช้ E-payment ผ่านธนาคารทหารไทย จำกัด (มหาชน) ในเขตกรุงเทพมหานคร ที่แตกต่างกัน

ด้านเพศ พบว่า ปัจจัยส่วนบุคคลที่ต่างกัน ส่งผลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation ไม่แตกต่างกัน จำแนกตามด้านเพศ ทั้งนี้เนื่องจาก ส่วนใหญ่ ผู้สูงอายุเมื่อมีอายุมากขึ้นความสามารถต่าง ๆ จะคล้ายกันไม่ว่าจะเป็นเพศชายหรือเพศหญิง สอดคล้องกับงานวิจัยของจักรพงษ์ ลีลาธนาศิริ [3] พบว่า กลุ่มตัวอย่างที่มีเพศแตกต่างกัน มีการยอมรับการทำธุรกรรมทางการเงินบนสมาร์โฟนในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล ไม่แตกต่างกัน และสอดคล้องกับงานวิจัยของบัญชา หมั่นกิจการ [4] พบว่า ผู้สูงอายุในเขตกรุงเทพมหานครที่มีเพศที่ต่างกัน มีการยอมรับเทคโนโลยีระบบการชำระเงินแบบอิเล็กทรอนิกส์ภาครัฐ (e-payment) ไม่แตกต่างกัน

ด้านอาชีพ พบว่า ปัจจัยส่วนบุคคลที่ต่างกัน ส่งผลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจาก อาชีพเป็นสิ่งที่บ่งบอกถึง ฐานะ รายได้ ซึ่งจะส่งผลต่อกำลังซื้อสินค้าโดยเฉพาะสินค้าที่สามารถรองรับเทคโนโลยีที่ใช้งานด้านสังคมไร้เงินสดได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ชไมพร ขนานแก้ว และ กนกพร ชัยประสิทธิ์ [5] พบว่า บุคคลที่มี อาชีพที่แตกต่างกันมี ทักษะคิตต่อการยอมรับการใช้ E-payment ผ่านธนาคารทหารไทย จำกัด (มหาชน) ในเขตกรุงเทพมหานคร ที่แตกต่างกัน และสอดคล้องกับงานวิจัยของ จักรพงษ์ ลีลาธนาศิริ [6] พบว่า กลุ่มตัวอย่างที่มีอาชีพแตกต่างกัน มีการยอมรับการทำธุรกรรมทางการเงินบนสมาร์โฟนในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล แตกต่างกัน และสอดคล้องกับงานวิจัยของบัญชา หมั่นกิจการ [7] พบว่า ผู้สูงอายุในเขตกรุงเทพมหานครที่มีอาชีพที่ต่างกัน มีการยอมรับเทคโนโลยีระบบการชำระเงินแบบอิเล็กทรอนิกส์ภาครัฐ (e-payment) แตกต่างกัน

ด้านรายได้เฉลี่ยต่อเดือน พบว่า ปัจจัยส่วนบุคคลที่ต่างกัน ส่งผลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation แตกต่างกัน จำแนกตามด้านรายได้เฉลี่ยต่อเดือน สอดคล้องกับงานวิจัยของชไมพร ขนานแก้ว และ กนกพร ชัยประสิทธิ์ [9] พบว่า บุคคลที่มี รายได้เฉลี่ยต่อเดือนที่แตกต่างกันมี ทักษะคิตต่อการยอมรับการใช้ E-payment ผ่านธนาคารทหารไทย จำกัด (มหาชน) ในเขตกรุงเทพมหานคร ที่แตกต่างกัน และสอดคล้องกับงานวิจัยของจักรพงษ์ ลีลา

ธนาศิริ [10] พบว่า กลุ่มตัวอย่างที่มีรายได้เฉลี่ยต่อเดือน แตกต่างกัน มีการการยอมรับการทำธุรกรรมทางการเงินบนสมาร์ตโฟนในเขตกรุงเทพฯ และ ปริมณฑล แตกต่างกัน

สมมติฐานที่ 2. การรับรู้ถึงความใช้งานง่ายมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation พบว่า การรับรู้ถึงความง่ายมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งนี้เนื่องจากการรับรู้ความง่ายของเทคโนโลยี จะทำให้กลุ่ม Baby Boomer Generation มองเห็นว่า เทคโนโลยีต่าง ๆ ใช้งานง่าย ไม่ยุ่งยาก และสะดวกในการใช้งาน ซึ่งจะกลุ่ม Baby Boomer Generation ตัดสินใจใช้เทคโนโลยีได้ง่ายขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของทวิวรรณ คมณีชัชวาล และ ถนอมศักดิ์ สุวรรณน้อย [11] พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อทัศนคติและความตั้งใจในการเลือกใช้อพพลิคชันการจ่ายเงิน รหัส QR ผ่านโทรศัพท์สมาร์ตโฟน ได้แก่ การรับรู้ถึงความใช้งานง่าย และสอดคล้องกับงานวิจัยของ จักรพงษ์ ลีลาธนาศิริ [12] พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ ปัจจัยด้านการรับรู้ถึงความใช้งานง่าย และสอดคล้องกับงานวิจัยของ บัญชา หมั่นกิจการ [13] พบว่า ตัวแปรที่มีอิทธิพลทางตรงเชิงบวกต่อการใช้งานจริง คือ การรับรู้ถึงความใช้งานง่าย มีอิทธิพลทางอ้อมเชิงบวกต่อการใช้งานจริง

สมมติฐานที่ 3. การรับรู้ประโยชน์มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation พบว่า การรับรู้ประโยชน์ มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งนี้เนื่องจากการรับรู้ประโยชน์ของเทคโนโลยี จะทำให้กลุ่ม Baby Boomer Generation มองเห็นว่า ตนเองจะได้รับสิ่งดี ๆ ที่เทคโนโลยีมอบให้ทั้งความสะดวกสบาย ซึ่งจะกลุ่ม Baby Boomer Generation ตัดสินใจใช้เทคโนโลยีได้ง่ายขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของจักรพงษ์ ลีลาธนาศิริ [14] พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ ปัจจัยด้านการรับรู้ถึงประโยชน์ที่ได้รับมาก และสอดคล้องกับงานวิจัยของ บัญชา หมั่นกิจการ [15] พบว่า ตัวแปรที่มีอิทธิพลทางตรงเชิงบวกต่อการใช้งานจริง คือ การรับรู้ประโยชน์ มีอิทธิพลทางอ้อมเชิงบวกต่อการใช้งานจริง

สมมติฐานที่ 4. ทัศนคติที่มีต่อการใช้เทคโนโลยีมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation พบว่า ทัศนคติที่มีต่อการใช้เทคโนโลยีมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งนี้เนื่องจาก ทัศนคติ จะเป็นสิ่งที่สะท้อนออกมาทั้งความรู้ ความเข้าใจและพฤติกรรมต่อสิ่งนั้น ถ้ากลุ่ม Baby Boomer Generation มีทัศนคติที่ดีต่อสังคมไร้เงินสดจะมีแนวโน้มให้ตัดสินใจเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสดนั้นได้ สอดคล้องกับแนวคิดของ สิงหะ ฉวีสุข และสุนันทา วงศ์จตุรภัทร [16] รายงานว่า ทัศนคติที่มีต่อการใช้เทคโนโลยี (Attitude toward the Technology) เป็นปฏิกริยาทางความรู้สึกโดยรวมของแต่ละบุคคลที่มีต่อการใช้งานในระบบการชำระเงินแบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยความเชื่อมั่นที่แสดงออกมาจะแตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อพฤติกรรมของผู้ใช้งาน สอดคล้องกับงานวิจัยของอรรมพ ดวงฉวี และ ต่อตระกูล อุบลวัตร [17] พบว่า ประชาชนมีทัศนคติในเชิงบวกต่อการเข้าสู่สังคมไร้เงินสด โดยส่วนใหญ่เห็นว่า การเข้าสู่สังคมไร้เงินสดทำให้ระบบการเงินของประเทศมีความทันสมัย นอกจากนี้ยังพบว่าพฤติกรรมการใช้สื่อใหม่มีความสัมพันธ์กับทัศนคติที่มีต่อการเข้าสู่สังคมไร้เงินสดของประชาชน และ สอดคล้องกับงานวิจัยของ จักรพงษ์ ลีลาธนาศิริ [18] พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ ปัจจัยด้านทัศนคติที่มีต่อการทำธุรกรรมส่งผลต่อการยอมรับการทำธุรกรรมทางการเงินบนสมาร์ตโฟนมากที่สุด

สมมติฐานที่ 5. อิทธิพลทางสังคมมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation พบว่า อิทธิพลทางสังคมมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งนี้เนื่องจาก บุคคลรอบข้าง สังคม บุคคลในสังคม ต่างเป็นบุคคลที่กลุ่มประชาชนเชื่อใจ และไว้วางใจ จึงง่ายต่อการตัดสินใจเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด สอดคล้องกับแนวคิดของ สิงหะ ฉวีสุข และสุนันทา วงศ์

จตุรภัทร [19] รายงานว่า อิทธิพลของสังคม (Social Influence) เป็นความเชื่อของบุคคลที่แสดงให้เห็นถึงการรับรู้ด้านเทคโนโลยี โดยมีปัจจัยทางสังคมเป็นตัวกำหนดพฤติกรรมกรรับรู้ที่ต่างกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ ทวีวรรณ คงมณีชัชวาล และ อนุมศักดิ์ สุวรรณน้อย [20] พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อทัศนคติและความตั้งใจในการเลือกใช้แอปพลิเคชันการจ่ายเงิน รหัส QR ผ่านโทรศัพท์สมาร์ทโฟน ได้แก่ บรรทัดฐานของกลุ่มคนที่ติดต่อกับ บรรทัดฐานของกลุ่มอ้างอิง ความตั้งใจใช้ และพฤติกรรมการใช้ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ธัญธาดา อนุสารโสภณและ พิศภาว ทวีสุข [21] พบว่า การยอมรับเทคโนโลยีที่มีอิทธิพลต่อความตั้งใจในการชำระเงินผ่านสมาร์ทโฟนของ Generation X ในกรุงเทพมหานครได้แก่ อิทธิพลทางสังคม ส่งผลต่อความตั้งใจในการชำระเงินผ่านสมาร์ทโฟนของ Generation X ในกรุงเทพมหานคร

สมมติฐานที่ 6. การรับรู้ความปลอดภัยมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation พบว่า การรับรู้ความปลอดภัยมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งนี้เนื่องจาก การรับรู้ความปลอดภัย คือ การรับรู้ความปลอดภัย คือ การสร้างความเชื่อใจในการยอมรับสังคมไร้เงินสดให้กับกลุ่ม Baby Boomer Generation สอดคล้องกับแนวคิดของ สิงหะฉวีสุข และสุนันทา วงศ์จตุรภัทร [22] รายงานว่า การรักษาความปลอดภัยของข้อมูล (Information Security) คือ มาตรการที่ใช้สำหรับการป้องกันผู้ที่ไม่ได้รับอนุญาตในการเข้าถึง ลบ แก้ไข หรือขัดขวางไม่ให้ผู้ที่ไม่ได้รับอนุญาตให้ใช้งาน เป็นการปกป้องคุณสมบัติ 3 ด้านของข้อมูล ได้แก่ ความลับ ความถูกต้อง และความพร้อมใช้งาน สอดคล้องกับงานวิจัยของ จักรพงษ์ สีสานาศิริ [23] พบว่า ปัจจัยด้านความปลอดภัยส่งผลต่อการยอมรับการทำธุรกรรมทางการเงินบนสมาร์ทโฟนในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล และสอดคล้องกับงานวิจัยของ บัญชา หมั่นกิจการ [24] พบว่า ตัวแปรที่มีอิทธิพลทางตรงเชิงบวกต่อการใช้งานจริง คือ การรับรู้ความปลอดภัย และประสบการณ์ในอดีต มีอิทธิพลทางอ้อมเชิงบวกต่อการใช้งานจริง

สมมติฐานที่ 7. การรับรู้ความเสี่ยงมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation พบว่า การรับรู้ความเสี่ยงมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด ของกลุ่ม Baby Boomer Generation อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งนี้เนื่องจาก ความเสี่ยง คือ สิ่งในกลุ่ม Baby Boomer Generation ต้องคิดถึงและสืบค้นข้อมูลก่อนตัดสินใจเข้าสู่การเปลี่ยนผ่านสู่สังคมไร้เงินสด สอดคล้องกับงานวิจัยของ ทวีวรรณ คงมณีชัชวาล และ อนุมศักดิ์ สุวรรณน้อย [25] ได้ศึกษาวิจัยเรื่อง ความตั้งใจในการเลือกใช้แอปพลิเคชัน การจ่ายเงินรหัส QR ผ่านโทรศัพท์สมาร์ทโฟน พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อทัศนคติและความตั้งใจในการเลือกใช้แอปพลิเคชันการจ่ายเงิน รหัส QR ผ่านโทรศัพท์สมาร์ทโฟน ได้แก่ การรับรู้ถึงความเสี่ยง และสอดคล้องกับงานวิจัยของ บัญชา หมั่นกิจการ [26] พบว่า ตัวแปรที่มีอิทธิพลทางตรงเชิงบวกต่อการใช้งานจริง คือ การรับรู้ความเสี่ยงมีอิทธิพลทางตรงเชิงลบต่อการใช้งานจริง และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ธัญธาดา อนุสารโสภณและ พิศภาว ทวีสุข [27] พบว่า การยอมรับเทคโนโลยีที่มีอิทธิพลต่อความตั้งใจในการชำระเงินผ่านสมาร์ทโฟนของ Generation X ในกรุงเทพมหานครได้แก่ การรับรู้ความเสี่ยง ส่งผลต่อความตั้งใจในการชำระเงินผ่านสมาร์ทโฟน ของ Generation X ในกรุงเทพมหานคร

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Carlson. Psychology : The Science of Behavior. 7th ed. Boston : Pearson International. 2009.
- [2] ชไมพร ขนานแก้ว และ กนกพร ชัยประสิทธิ์. ทัศนคติและการรับรู้ความเสี่ยงที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับ การใช้ E-Payment ผ่านธนาคารทหารไทย จำกัด (มหาชน) ในเขตกรุงเทพมหานคร [วิทยานิพนธ์]. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 2562.

- [3] จักรพงษ์ สีสานาศีรี. การยอมรับการทำธุรกรรมทางการเงินแอปพลิเคชันทางการเงินสมาร์ตโฟน [วิทยานิพนธ์]. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 2559.
- [4] บัญชา หมั่นกิจการ. แบบจำลองเชิงโครงสร้างของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับ เทคโนโลยีระบบการชำระเงินแบบอิเล็กทรอนิกส์ภาครัฐ (e-Payment) ของผู้สูงอายุในเขตกรุงเทพมหานคร. วารสารนิเทศศาสตร์, 37(3), 30-39. 2559.
- [5] ชไมพร ขนาบแก้ว และ กนกพร ชัยประสิทธิ์. ทศนคติและการรับรู้ความเสี่ยงที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับ การใช้ E-Payment ผ่านธนาคารทหารไทย จำกัด (มหาชน) ในเขตกรุงเทพมหานคร [วิทยานิพนธ์]. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 2562.
- [6] จักรพงษ์ สีสานาศีรี. การยอมรับการทำธุรกรรมทางการเงินแอปพลิเคชันทางการเงินสมาร์ตโฟน [วิทยานิพนธ์]. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 2559.
- [7] บัญชา หมั่นกิจการ. แบบจำลองเชิงโครงสร้างของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับ เทคโนโลยีระบบการชำระเงินแบบอิเล็กทรอนิกส์ภาครัฐ (e-Payment) ของผู้สูงอายุในเขตกรุงเทพมหานคร. วารสารนิเทศศาสตร์, 37(3), 30-39. 2559.
- [8] ชไมพร ขนาบแก้ว และ กนกพร ชัยประสิทธิ์. ทศนคติและการรับรู้ความเสี่ยงที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับ การใช้ E-Payment ผ่านธนาคารทหารไทย จำกัด (มหาชน) ในเขตกรุงเทพมหานคร [วิทยานิพนธ์]. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 2562.
- [9] ชไมพร ขนาบแก้ว และ กนกพร ชัยประสิทธิ์. ทศนคติและการรับรู้ความเสี่ยงที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับ การใช้ E-Payment ผ่านธนาคารทหารไทย จำกัด (มหาชน) ในเขตกรุงเทพมหานคร [วิทยานิพนธ์]. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 2562.
- [10] จักรพงษ์ สีสานาศีรี. การยอมรับการทำธุรกรรมทางการเงินแอปพลิเคชันทางการเงินสมาร์ตโฟน [วิทยานิพนธ์]. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 2559.
- [11] ทวีวรรณ คงมณีชัชวาล และ ถนอมศักดิ์ สุวรรณน้อย. ความตั้งใจในการเลือกใช้ออปพลิเคชัน การจ่ายเงินรหัส QR ผ่านโทรศัพท์สมาร์ตโฟน. วารสารเกษมบัณฑิต, 20(2). 2562.
- [12] จักรพงษ์ สีสานาศีรี. การยอมรับการทำธุรกรรมทางการเงินแอปพลิเคชันทางการเงินสมาร์ตโฟน [วิทยานิพนธ์]. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 2559.
- [13] บัญชา หมั่นกิจการ. แบบจำลองเชิงโครงสร้างของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับ เทคโนโลยีระบบการชำระเงินแบบอิเล็กทรอนิกส์ภาครัฐ (e-Payment) ของผู้สูงอายุในเขตกรุงเทพมหานคร. วารสารนิเทศศาสตร์, 37(3), 30-39 :2559.
- [14] จักรพงษ์ สีสานาศีรี. การยอมรับการทำธุรกรรมทางการเงินแอปพลิเคชันทางการเงินสมาร์ตโฟน [วิทยานิพนธ์]. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 2559.
- [15] บัญชา หมั่นกิจการ. แบบจำลองเชิงโครงสร้างของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับ เทคโนโลยีระบบการชำระเงินแบบอิเล็กทรอนิกส์ภาครัฐ (e-Payment) ของผู้สูงอายุในเขตกรุงเทพมหานคร. วารสารนิเทศศาสตร์, 37(3), 30-39 :2559.
- [16] สิงหะ ฉวีสุข และสุนันทา วงศ์จตุรภัทร ทฤษฎีการยอมรับการใช้. เทคโนโลยีสารสนเทศ. KMITL Information Technology Journal. 2555.
- [17] อรรณพ ดวงมณี และ ต่อตระกูล อุบลวัตร. พฤติกรรมการใช้สื่อใหม่ และทัศนคติที่มีต่อการเข้าสู่สังคมไร้เงินสดของประชาชนในกรุงเทพมหานคร. นิเทศสยามปริทัศน์, 17(22). 2560.

- [18] จักรพงษ์ สีลาธนาศิริ. การยอมรับการทำธุรกรรมทางการเงินแอปพลิเคชันทางการเงินสมาร์ตโฟน [วิทยานิพนธ์]. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 2559.
- [19] สิงหะ ฉวีสุข และสุนันทา วงศ์จตุรภัทร ฤกษ์การยอมรับการใช้. เทคโนโลยีสารสนเทศ. KMITL Information Technology Journal. 2555.
- [20] ทวีวรรณ คมณิษฐ์ชวาล และ ถนอมศักดิ์ สุวรรณน้อย. ความตั้งใจในการเลือกใช้แอปพลิเคชัน การจ่ายเงินรหัส QR ผ่านโทรศัพท์สมาร์ตโฟน. วารสารเกษมบัณฑิต, 20(2). 2562.
- [21] ธัญรดา ธนสารโสภณและ พีรภาว ทีวีสุข. การยอมรับเทคโนโลยีการประชุมผ่านสื่ออิเล็กทรอนิกส์ของผู้ปฏิบัติงานในอุตสาหกรรมการผลิตจังหวัดชลบุรี [วิทยานิพนธ์]. ชลบุรี : มหาวิทยาลัยบูรพา. 2562.
- [22] สิงหะ ฉวีสุข และสุนันทา วงศ์จตุรภัทร ฤกษ์การยอมรับการใช้. เทคโนโลยีสารสนเทศ. KMITL Information Technology Journal. 2555.
- [23] จักรพงษ์ สีลาธนาศิริ. การยอมรับการทำธุรกรรมทางการเงินแอปพลิเคชันทางการเงินสมาร์ตโฟน [วิทยานิพนธ์]. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 2559.
- [24] บัญชา หมั่นกิจการ. แบบจำลองเชิงโครงสร้างของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับ เทคโนโลยีระบบการชำระเงินแบบอิเล็กทรอนิกส์ภาครัฐ (e-Payment) ของผู้สูงอายุในเขตกรุงเทพมหานคร. วารสารนิเทศศาสตร์, 37(3), 30-39. 2559.
- [25] ทวีวรรณ คมณิษฐ์ชวาล และ ถนอมศักดิ์ สุวรรณน้อย. ความตั้งใจในการเลือกใช้แอปพลิเคชัน การจ่ายเงินรหัส QR ผ่านโทรศัพท์สมาร์ตโฟน. วารสารเกษมบัณฑิต, 20(2). 2562.
- [26] บัญชา หมั่นกิจการ. แบบจำลองเชิงโครงสร้างของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับ เทคโนโลยีระบบการชำระเงินแบบอิเล็กทรอนิกส์ภาครัฐ (e-Payment) ของผู้สูงอายุในเขตกรุงเทพมหานคร. วารสารนิเทศศาสตร์, 37(3), 30-39. 2559.
- [27] ธัญรดา ธนสารโสภณและ พีรภาว ทีวีสุข. การยอมรับเทคโนโลยีการประชุมผ่านสื่ออิเล็กทรอนิกส์ของผู้ปฏิบัติงานในอุตสาหกรรมการผลิตจังหวัดชลบุรี [วิทยานิพนธ์]. ชลบุรี : มหาวิทยาลัยบูรพา. 2562.

การย่อยสลายสีย้อมที่ปนเปื้อนในน้ำเสียด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์

Degradation of Dye Contaminated Wastewater by MoS₂ Photocatalyst

กนกพร ศรีฐาน¹ กมลฉัตร ลาภะ¹ และ ชลดา เตชาเกียรติไกร ธีรการุณวงศ์^{1*}

¹สาขาวิชาเคมี ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

*E-mail: chonlada.d@nsru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการย่อยสลายเมทิลีนบลูในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต/แสงที่ตามองเห็นภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบใช้แสง โดยสังเคราะห์อนุภาคโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ด้วยเทคนิคไมโครเวฟ เมื่อศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน พบว่าอนุภาคโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์มีโครงสร้างทรงกระบอกที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 100 x 150 นาโนเมตร อนุภาคโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ก่อนการดูดซับเมทิลีนบลูและหลังการดูดซับเมทิลีนบลูมีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 82.68 และ 63.55 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ และพบว่าเมื่อตัวเร่งปฏิกิริยามีการดูดซับเมทิลีนบลูจะทำให้หมู่ฟังก์ชันของเมทิลีนบลูที่เลขคลื่นต่าง ๆ มีความเข้มของสัญญาณลดลง เพราะพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาถูกปกคลุมด้วยโมเลกุลของสีย้อม เมื่อศึกษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา คือ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.005 กรัม สภาวะที่สารละลายเป็นกรด ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 120 นาที และความเข้มข้นของเมทิลีนบลู 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการศึกษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์โดยการนำกลับมาใช้ซ้ำ 2 รอบ พบว่ามีประสิทธิภาพในการดูดซับเมทิลีนบลูร้อยละ 94.11-95.08 นอกจากนี้ยังมีศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายสีย้อมที่ได้จากน้ำทิ้งในอุตสาหกรรมสิ่งทอภายใต้แสงสังเคราะห์และแสงอาทิตย์อีกด้วย

คำสำคัญ: โมลิบดีนัมไดซัลไฟด์, เมทิลีนบลู, ปฏิกิริยาเร่งด้วยแสง, สิ่งทอ

Abstract

Photodegradation of methylene blue from synthetic and textile industry wastewater was performed using MoS₂ photocatalyst under ultraviolet/visible light in the photoreactor. The MoS₂ was synthesized by microwave technique. TEM image revealed the cylindrical structure of MoS₂ with the average particle of 100 x 150 nm. The specific surface area of bare MoS₂ and dye absorbed MoS₂ was 82.68 and 63.55 m²/g, respectively. The appearance of functional groups of methylene blue absorbed MoS₂ exhibited the lower intensity due to the surface of MoS₂ covered by dye molecules. For the photocatalyst performance of MoS₂, the amount of 0.005 g MoS₂ with 0.1 mg L⁻¹ dye in an acidic medium with 120 min gave the highest yield of methylene blue photodegradation. The uptake capacity of recycling MoS₂ photocatalyst remained around 94.11-95.08% for 2 regeneration cycles. Synthetic and solar light for photocatalytic degradation of the effluent dye from textile industry were also investigated.

Keywords: MoS₂, methylene blue, photocatalytic, textile

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมเป็นประเด็นที่หลายภาคส่วนหันมาตระหนักและให้ความสำคัญต่อสภาพปัญหาสาเหตุ และแนวทางในการแก้ปัญหาเพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดตามมาไม่ว่าจะเป็นผลกระทบต่อมนุษย์ สัตว์ และระบบนิเวศ ปัญหามลพิษทางน้ำเป็นหนึ่งในปัญหาทางสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อดำรงชีวิตของมนุษย์ สัตว์ และพืช เพราะน้ำเป็นทรัพยากรที่มีมากที่สุดเมื่อเทียบกับทรัพยากรอื่น โดยตั้งแต่ยุคปฏิวัติอุตสาหกรรม มีการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการพัฒนาประเทศ ซึ่งกระบวนการผลิตจากภาคอุตสาหกรรมเป็นหนึ่งในการปล่อยของเสียออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการแก้ปัญหาด้านการปนเปื้อนสีย้อมจากกระบวนการอุตสาหกรรมสิ่งทอ เพราะอุตสาหกรรมดังกล่าวเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวสูง มีการใช้น้ำในปริมาณมากร่วมกับการใช้สีย้อม ไม่ว่าจะเป็นสีย้อมสังเคราะห์หรือสีย้อมธรรมชาติ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้น้ำทิ้งจากกระบวนการต่าง ๆ มีการเปลี่ยนสภาพ เช่น สี กลิ่น ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ เปลี่ยนไป ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงเนื่องจากการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ในน้ำที่มีปริมาณสูง ทำให้สิ่งมีชีวิตในน้ำไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้

ปฏิกิริยาเร่งด้วยแสง (photocatalytic reaction) เป็นหนึ่งในวิธีการทางเคมีสีเขียวที่สามารถนำมาใช้แก้ปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อมได้ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชที่สามารถย่อยสลายสารมลพิษอินทรีย์ให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำด้วยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงร่วมกับแสงสังเคราะห์หรือแสงจากดวงอาทิตย์ โดยกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงอาศัยการกระตุ้นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงที่มีค่าความยาวคลื่นเท่ากับหรือมากกว่าค่าแถบช่องว่างพลังงาน (band gap energy) ทำให้อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นจากแถบเวเลนซ์ (valence band) ไปยังแถบกระตุ้น (conduction band) และทิ้งช่องว่างอิเล็กตรอน (hole) ซึ่งมีประจุบวกไว้ที่แถบเวเลนซ์ จากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันได้อนุมูลไฮดรอกซิลและซูเปอร์ออกไซด์ที่มีประจุลบ ซึ่งเป็นตัวออกซิไดซ์ที่เร่งที่สามารถทำลายโครงสร้างของสารมลพิษอินทรีย์หรือสามารถยับยั้งชีวเคมีของเซลล์หรือแบคทีเรีย และได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งเปรียบได้กับกระบวนการสังเคราะห์แสงที่คลอโรฟิลล์เกิดการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์แล้วเกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำนั่นเอง [1]

โมลิบดีนัมไดซัลไฟด์เป็นหนึ่งในตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงที่มีประสิทธิภาพในการนำมาใช้ในกระบวนการเร่งด้วยแสง เพราะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเสถียรสูง มีค่าแถบช่องว่างพลังงานในช่วง 1.8-1.9 eV ซึ่งเป็นแถบพลังงานในช่วงแคบ ทำให้มีประสิทธิภาพในการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่อัลตราไวโอเล็ตถึงช่วงแสงที่ตามองเห็น [2] ซึ่งเหมาะกับการนำมาใช้งานจริงในประเทศไทยที่มีความเข้มแสงสูงเกือบตลอดปี โดยในความเป็นจริงแล้วแสงที่มาจากดวงอาทิตย์มีรังสีอัลตราไวโอเล็ตเพียงร้อยละ 2-3 ส่วนรังสีที่ตามองเห็นมีมากถึงประมาณร้อยละ 43-45 ดังนั้น โมลิบดีนัมไดซัลไฟด์จึงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงที่มีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียร่วมกับการใช้แสงธรรมชาติในการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยา [3-4] มีรายงานการศึกษาการย่อยสลายสีย้อมเมทิลีนบลูและคริสตัล ไวโอเล็ตโดยใช้นาโนโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงภายใต้แสงจากดวงอาทิตย์ ผลการศึกษาพบว่าอนุภาคนาโนโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์มีประสิทธิภาพสูงใกล้เคียงร้อยละ 100 และสามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ซ้ำได้ ซึ่งประสิทธิภาพในการย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาเร่งด้วยแสงขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความเป็นผลึก พื้นที่ผิวจำเพาะในการเกิดปฏิกิริยา และขนาดอนุภาค เป็นต้น [5] นอกจากนี้ยังมีรายงานเกี่ยวกับการนำอนุภาคนาโนโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ไปย่อยสลายสีย้อมภายใต้แสงที่ตามองเห็น โดยพบว่าใช้เวลาในการย่อยสลาย 75 นาที มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้อยกว่า 85.33-93.68 [6]

งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์อนุภาคนาโนโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ด้วยเทคนิคไมโครเวฟ โดยศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการสังเคราะห์ จากนั้นนำตัวเร่งปฏิกิริยามาวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะด้วยเทคนิคต่าง ๆ และศึกษาประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อมเมทิลีนบลูในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้แสงสังเคราะห์และแสงจากดวงอาทิตย์ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา เวลาในการย่อยสลาย ค่าความเป็นกรด-ด่าง ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสียสังเคราะห์ และการนำกลับมาใช้ซ้ำ โดยผลจากการศึกษาสามารถนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการออกแบบระบบสำหรับการบำบัดน้ำเสียโดยปฏิกิริยาเร่งด้วยแสงได้

2. วิธีการทดลอง

2.1 การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์

การสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์เริ่มจากการนำสารตั้งต้นแอมโมเนียม เฮปตะโมลิบเดต ((NH₄)₆MO₇O₂₄•4H₂O ; เกรดวิเคราะห์) ปริมาณ 1 มิลลิโมล ผสมกับไทโอยูเรีย (SC(NH₂)₂; เกรดวิเคราะห์) ปริมาณ 30 มิลลิโมล และน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 30 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยแท่งแม่เหล็กและกวนสารเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นบรรจุสารละลายลงในขวดบรรจุตัวอย่าง (vessel) ของเครื่องไมโครเวฟ โดยศึกษาระยะเวลาและอุณหภูมิในการสังเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ 1 เมื่อครบกำหนดเวลา นำสารที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอนออก ก่อนนำตะกอนไปล้างด้วยเอทานอล แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบดให้ละเอียดก่อนนำไปใช้งาน

ตารางที่ 1 สภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)		ความดัน (วัตต์)		
10	-	-	220	240	1800
15	180	200	220	-	1800

2.2 การวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์

ศึกษาสมบัติเฉพาะของโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ โดยศึกษาสัณฐานวิทยาของตัวดูดซับด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope ; TEM) ศึกษาพื้นที่ผิวจำเพาะในการเกิดปฏิกิริยาด้วยเครื่องวัดพื้นที่ผิวและความเป็นรูพรุน (Surface and porosity analyzer ; BET) ศึกษาลักษณะเฟสของตัวดูดซับด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffractometer ; XRD) และศึกษาหมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับด้วยเครื่องวิเคราะห์สารโดยใช้แสงอินฟราเรด (Fourier transform infrared spectrometer ; FT-IR)

2.3 การศึกษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์

การศึกษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ด้วยปฏิกิริยาเร่งด้วยแสงได้ออกแบบวิธีการศึกษาไว้ดังนี้

2.3.1 การศึกษาปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์

นำตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ 0.005 0.01 และ 0.05 กรัม มาใส่ในสารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7 โดยนำไปใส่ในตู้ปฏิกรณ์ที่มีหลอดไฟในช่วงความยาวคลื่น 300 – 900 นาโนเมตร ความเข้มแสง 15 วัตต์ ปิดไฟพร้อมกวนสารเป็นระยะเวลา 15 นาที เพื่อให้สารเข้าสู่สภาวะสมดุล จากนั้นศึกษาประสิทธิภาพในการย่อยสลายด้วยแสง โดยเปิดไฟพร้อมทั้งกวนสารตลอดเวลา เป็นเวลา 150 นาที โดยเก็บสารละลายปริมาตร 5 มิลลิลิตร ทุก 30 นาที นำสารละลายไปกรองเพื่อแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกก่อนนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเมทิลีนบลูด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 667 นาโนเมตร

2.3.2 การศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายเมทิลีนบลูในน้ำเสียสังเคราะห์

นำตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ 0.005 กรัม มาใส่ในสารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 0.05 0.1 และ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7 โดยนำไปใส่ในตู้ปฏิกรณ์ที่มีหลอดไฟในช่วงความยาวคลื่น 300 – 900 นาโนเมตร ความเข้มแสง 15 วัตต์ ปิดไฟพร้อมกวนสารเป็นระยะเวลา 15 นาที เพื่อให้สารเข้าสู่สภาวะสมดุล จากนั้นศึกษาประสิทธิภาพในการย่อยสลายด้วยแสง โดยเปิดไฟพร้อมทั้งกวนสารตลอดเวลา เป็นเวลา 120 นาที โดย นำสารละลายไปกรองเพื่อแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกก่อนนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเมทิลีนบลูด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 667 นาโนเมตร

2.3.3 การศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายเมทิลีนบลูในน้ำเสียสังเคราะห์

นำตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ 0.005 กรัม มาใส่ในสารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 3 7 และ 10 โดยนำไปใส่ในตู้ปฏิกรณ์ที่มีหลอดไฟในช่วงความยาวคลื่น 300 – 900 นาโนเมตร ความเข้มแสง 15 วัตต์ ปิดไฟพร้อมกวนสารเป็นระยะเวลา 15 นาที เพื่อให้สารเข้าสู่สภาวะสมดุล จากนั้นศึกษาประสิทธิภาพในการย่อยสลายด้วยแสง โดยเปิดไฟพร้อมทั้งกวนสารตลอดเวลา เป็นเวลา 120 นาที โดย นำสารละลายไปกรองเพื่อแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกก่อนนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเมทิลีนบลูด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 667 นาโนเมตร

2.3.4 การศึกษาการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ซ้ำ

นำตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ 0.005 กรัม มาใส่ในสารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 3 โดยนำไปใส่ในตู้ปฏิกรณ์ที่มีหลอดไฟในช่วงความยาวคลื่น 300 – 900 นาโนเมตร ความเข้มแสง 15 วัตต์ ปิดไฟพร้อมกวนสารเป็นระยะเวลา 15 นาที เพื่อให้สารเข้าสู่สภาวะสมดุล จากนั้นศึกษาประสิทธิภาพในการย่อยสลายด้วยแสง โดยเปิดไฟพร้อมทั้งกวนสารตลอดเวลา เป็นเวลา 120 นาที โดย นำสารละลายไปกรองเพื่อแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกก่อนนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเมทิลีนบลูด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 667 นาโนเมตร จากนั้น นำตัวเร่งปฏิกิริยาที่กรองได้ไปล้างด้วยน้ำจืดที่มีความเป็นกรด-ด่างเป็นกลาง แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แล้วนำมาใช้ซ้ำเป็นจำนวน 3 ครั้ง แล้วศึกษาประสิทธิภาพในการย่อยสลายเช่นเดียวกับวิธีการข้างต้น

2.3.5 การศึกษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยากับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

นำตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ 0.005 กรัม มาใส่ในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 3 โดยนำไปใส่ในตู้ปฏิกรณ์ที่มีหลอดไฟในช่วงความยาวคลื่น 300 – 900 นาโนเมตร ความเข้มแสง 15 วัตต์ ปิดไฟพร้อมกวนสารเป็นระยะเวลา 15 นาที เพื่อให้สารเข้าสู่สภาวะสมดุล จากนั้นศึกษาประสิทธิภาพในการย่อยสลายด้วยแสง โดยเปิดไฟพร้อมทั้งกวนสารตลอดเวลา เป็นเวลา 120 นาที โดย นำสารละลายไปกรองเพื่อแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกก่อนนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเมทิลีนบลูด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 667 นาโนเมตร

2.3.6 การศึกษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยากับน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ ด้วยแสงจากดวงอาทิตย์

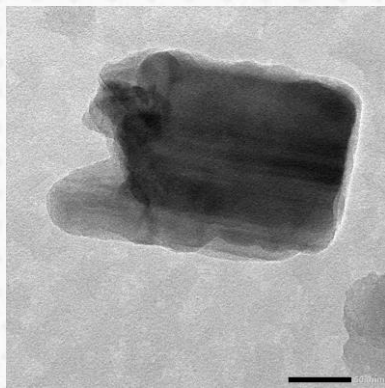
นำตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ 0.005 กรัม มาใส่ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของเมทิลีนบลู ความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยน้ำเสียทั้ง 2 แหล่งมีการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ให้มีค่าเท่ากับ 3 จากนั้นนำไปกระตุ้นการย่อยสลายด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสงจากดวงอาทิตย์ โดยใช้ความเข้มแสงในช่วงตั้งแต่ 11:30 – 13:30 นาฬิกา พร้อมกวนสารตลอดเวลา จากนั้นนำสารละลายไปกรองเพื่อแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกก่อนนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายเมทิลีนบลูด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 667 นาโนเมตร

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

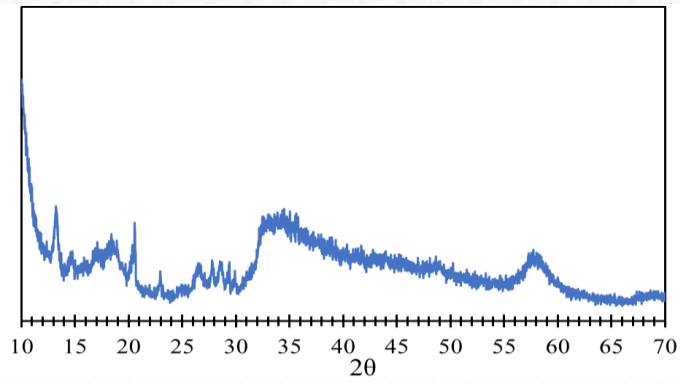
3.1 การวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์

การวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ด้วยเทคนิคต่าง ๆ ได้ผลการศึกษาดังนี้ จากการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของอนุภาค พบว่าอนุภาคโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์มีรูปร่างทรงกระบอกโดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่ความกว้าง 100

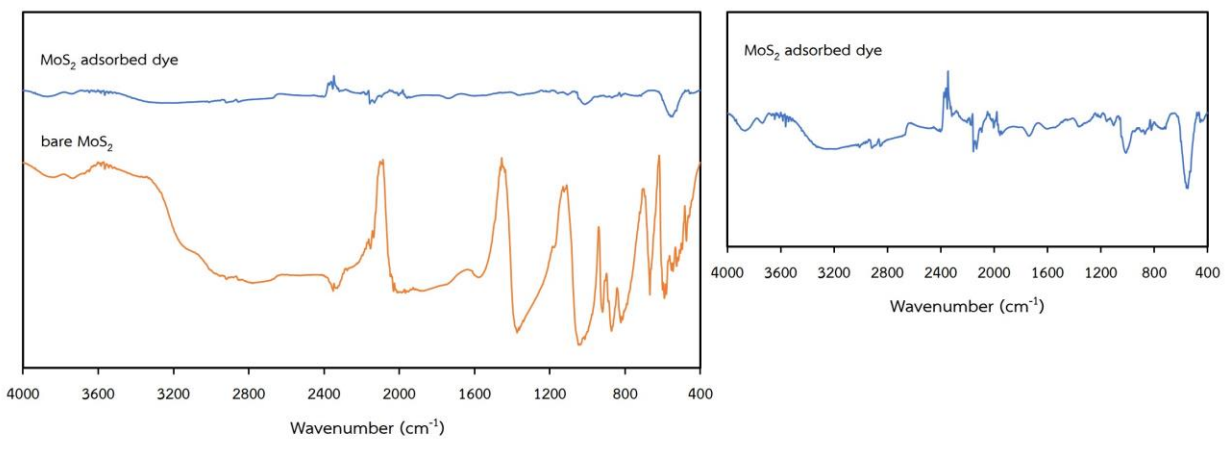
นาโนเมตร และความยาว 150 นาโนเมตร ภาพที่ 1(ก) และมีความเป็นผลึกน้อยซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่พบตำแหน่งพีคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ระนาบ (002) (100) (110) และ (201) ตรงกับตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 14.5° 33.0° 58.5° และ 69.7° (ภาพที่ 1 (ข)) ซึ่งตรงกับข้อมูลมาตรฐาน JCPDS no. 371492 และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Nagarajan et al., 2022 [7] จากผลการศึกษาพบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์แม้จะมีความเป็นผลึกต่ำแต่ไม่พบเฟสเจือปนของสารอื่น ทั้งนี้ คาดว่าความเป็นผลึกขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์ เมื่อศึกษาพื้นที่ผิวจำเพาะในการเกิดปฏิกิริยาด้วยเทคนิค BET โดยใช้หลักการดูดซับด้วยแก๊สไนโตรเจนพบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์มีพื้นที่ผิวในการดูดซับเท่ากับ 82.68 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุนเท่ากับ 0.1890 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ขนาดรูพรุนเฉลี่ย 95.23 นาโนเมตร ในขณะที่เมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ที่ผ่านการใช้ซ้ำในรอบที่ 3 มาวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะพบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยามีพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนลดลง (ตารางที่ 2) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากพื้นที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาปกคลุมไปด้วยโมเลกุลของเมทิลีนบลู เมื่อศึกษาหมู่ฟังก์ชันของอนุภาคโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์และอนุภาคโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ที่มีการดูดซับเมทิลีนบลูที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ได้ผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 1(ค) ซึ่งปรากฏพีค O-H ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3734.10 cm^{-1} แสดงถึงมีโมเลกุลของน้ำอยู่ในโครงสร้างของอนุภาคโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ ตำแหน่งเลขคลื่น 2781.51 cm^{-1} เป็นของ C-H



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 1 (ก) สัณฐานวิทยาและขนาดอนุภาคของอนุภาคโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ (ข) การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของอนุภาคโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ และ (ค) หมู่ฟังก์ชันของอนุภาคโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์และโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ที่ใช้ดูดซับเมทิลีนบลูและภาพขยายของโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ที่ใช้ดูดซับเมทิลีนบลู

ตำแหน่งเลขคลื่น 1372.75 cm^{-1} เป็นหมู่ซัลโฟเนต (แถบ S-O ยืด) และตำแหน่งเลขคลื่น 666.81 cm^{-1} เป็นของแถบ Mo-O ยืด [8] และพบว่าเมื่อนำอนุภาคโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ที่มีการนำไปดูดซับเมทิลีนบลู พบแถบ C=O แบบยืดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1740.23 cm^{-1} เนื่องจาก C=O เกิดคอนจูเกตกับวงเบนซีน และที่ทุกตำแหน่งเลขคลื่นมีความเข้มของสัญญาณลดลง สามารถอธิบายได้ว่าการดูดซับโมเลกุลของเมทิลีนบลูบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์

ตารางที่ 2 ลักษณะเฉพาะของโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์

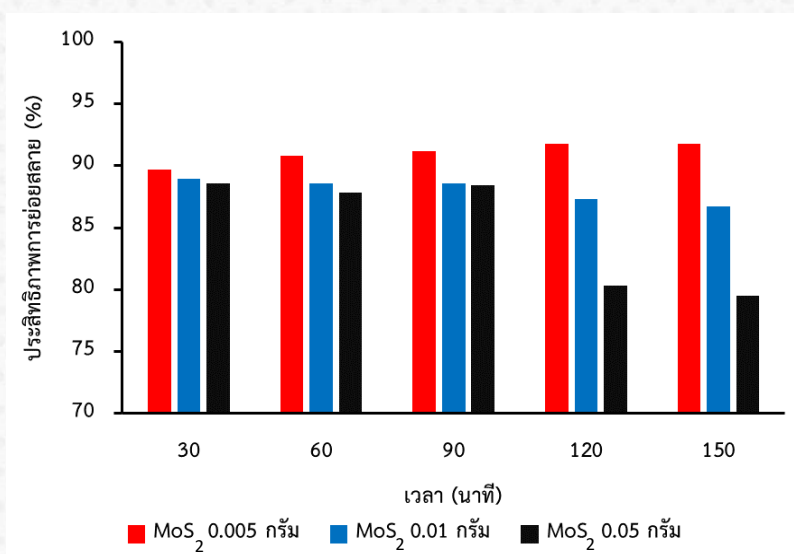
ตัวเร่งปฏิกิริยา	พื้นที่ผิวในการดูดซับ (ตารางเมตรต่อกรัม)	ปริมาตรรูพรุน (ตารางเซนติเมตรต่อกรัม)	ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (นาโนเมตร)
ก่อนการดูดซับ	82.68	0.1890	95.23
หลังการดูดซับ	63.55	0.1275	107.11

3.2 การศึกษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์

การศึกษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ด้วยปฏิกิริยาเร่งด้วยแสงได้ผลการศึกษาดังนี้

3.2.1 ผลของปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์และเวลาในการเกิดปฏิกิริยา

จากผลการศึกษาปริมาณของโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ที่มีต่อประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อมเมทิลีนบลู ที่ความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7 และมีความเข้มแสงเท่ากับ 15 วัตต์ พบว่า เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ 0.005 กรัม มีประสิทธิภาพการย่อยสลายสูงสุดเท่ากับร้อยละ 91.75 เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ 0.01 และ 0.05 กรัม พบว่ามีประสิทธิภาพในการย่อยสลายลดลง เนื่องจากมีปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามากเกินไป ทำให้เกิดการบดบังพื้นที่ผิวในการดูดซับระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยกันเอง ส่งผลให้สารละลายมีสีขุ่นเข้ม และทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายเมทิลีนบลูมีค่าลดลง แสดงดังภาพที่ 3 เมื่อศึกษาระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเร่งด้วยแสงพบว่า เมื่อใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ 0.005 กรัม จะเห็นว่าเมื่อเวลาในการย่อยสลายเพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น และมีค่าสูงสุดที่เวลา 120 นาที หลังจากนั้นจะมีประสิทธิภาพคงที่ ในขณะที่เมื่อใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ 0.01 และ 0.05 กรัม ประสิทธิภาพในการย่อยสลายมีค่าไม่ต่างจากเดิมในช่วงระยะเวลา 30-90 นาที แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเป็น 120 และ 150 นาที ประสิทธิภาพในการย่อยสลายมีค่าลดลง สอดคล้อง

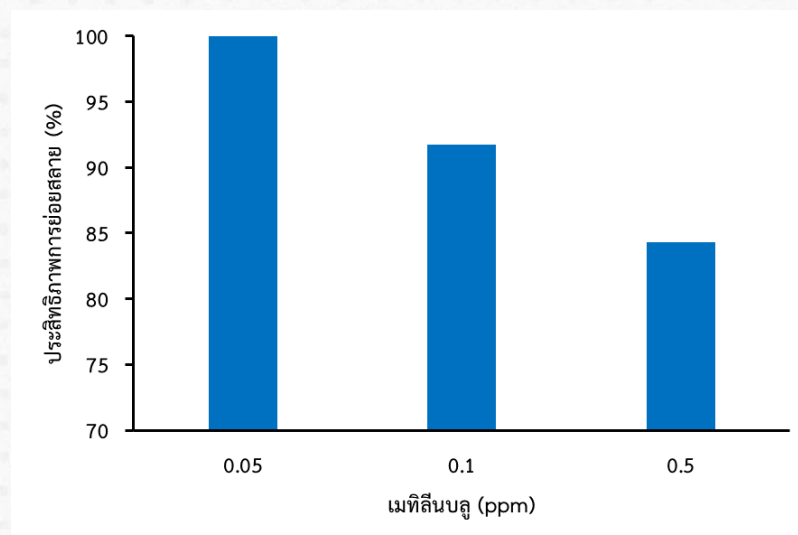


ภาพที่ 3 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาและเวลาในการย่อยสลายเมทิลีนบลูต่อประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์

กับผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีเพิ่มขึ้นทำให้เกิดการบดบังกันเองระหว่างอนุภาคของตัวเร่งปฏิกิริยาและทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะในการเกิดปฏิกิริยามีค่าลดลง ดังนั้น ในการศึกษานี้จึงเลือกใช้ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ 0.005 กรัม ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 120 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด

3.2.2 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายเมทิลีนบลูในน้ำเสียสังเคราะห์

เมื่อศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายเมทิลีนบลูในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นในช่วง 0.05-0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยกระตุ้นด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ 0.005 กรัม ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7 ความเข้มแสง 15 วัตต์ ที่ระยะเวลา 120 นาที พบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายเมทิลีนบลู 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์มีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 100 และเมื่อสารละลายเมทิลีนบลูมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเป็น 0.1 และ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการย่อยสลายจะมีค่าลดลง ตามลำดับ (ภาพที่ 4) ทั้งนี้ เนื่องมาจากความไม่สมดุลระหว่างปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยากับความเข้มข้นของเมทิลีนบลู ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีพื้นที่ผิวจำเพาะในการเกิดปฏิกิริยาไม่เพียงพอต่อการดูดซับ นอกจากนี้ ความเข้มข้นของเมทิลีนบลูยังส่งผลต่อค่าการส่องผ่านแสงไปยังตัวเร่งปฏิกิริยา โดยพบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นของเมทิลีนบลูต่ำ สามารถทำให้แสงส่องผ่านไปยังตัวเร่งปฏิกิริยาได้ดีกว่าการใช้ความเข้มข้นของเมทิลีนบลูสูง เนื่องจากแสงที่ใช้ในการกระตุ้นการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยามีค่าความเข้มการส่องผ่านไปยังตัวเร่งปฏิกิริยาได้มากกว่า จะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาถูกกระตุ้นและเกิดเป็นอนุมูลไฮดรอกซิลที่มีความสามารถในการออกซิไดซ์เมทิลีนบลูได้มากกว่าการใช้เมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้นสูง ซึ่งจะทำให้มีปริมาณแสงที่ส่องผ่านไปยังตัวเร่งปฏิกิริยาได้น้อยกว่า จึงเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้น้อยกว่า โดยในการศึกษานี้เลือกใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทิลีนบลูเท่ากับ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อให้มีค่าใกล้เคียงกับความเข้มข้นที่ใช้ในอุตสาหกรรมสีย้อม

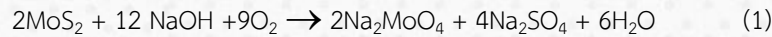


ภาพที่ 4 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายเมทิลีนบลูในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์

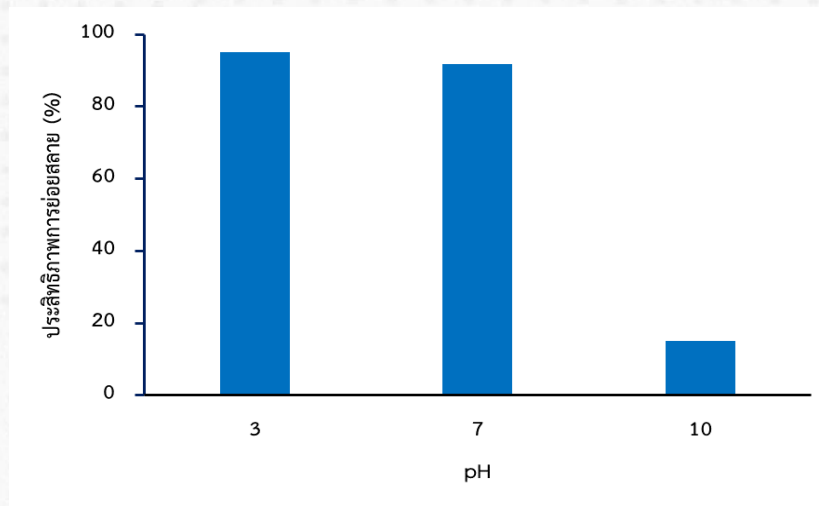
3.2.3 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายเมทิลีนบลูในน้ำเสียสังเคราะห์

ค่าความเป็นกรด-ด่างในสารละลายส่งผลต่อประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาในปฏิกิริยาการเร่งด้วยแสง เนื่องจากประจุบนพื้นผิวของตัวดูดซับมีความสัมพันธ์กับประจุของสารมลพิษอินทรีย์ จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อสารละลายมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 3 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า pH_{pzc} ของโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2 จะส่งผลให้ประจุบนพื้นผิว

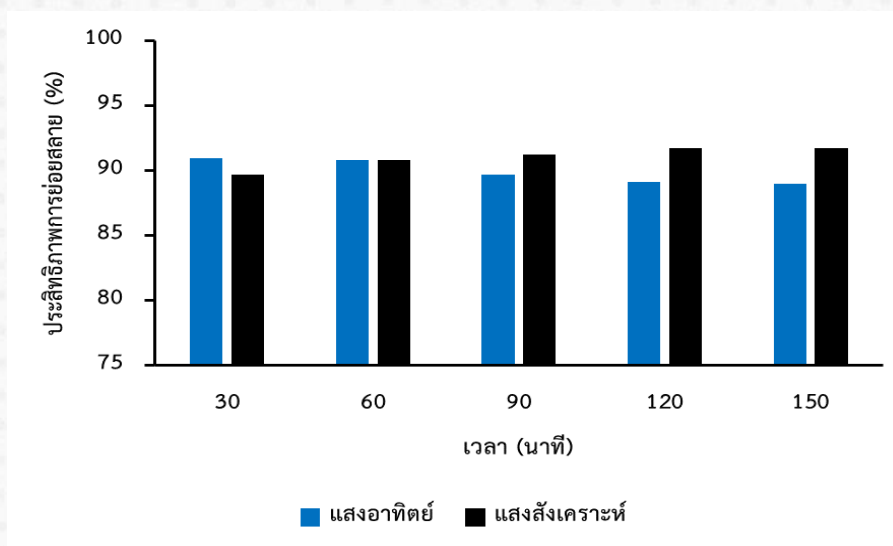
ของตัวดูดซับมีค่าเป็นลบ ในขณะที่ประจุของเมทิลีนบลูซึ่งเป็นแคทไอออนิกมีประจุบวก จึงเกิดการดูดซับด้วยโมลิตินัมไดซัลไฟด์ได้ดี ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 95.08 [9] และเมื่อสารละลายมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 10 แม้ว่าพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิตินัมไดซัลไฟด์มีประจุลบ แต่ประสิทธิภาพในการดูดซับมีค่าลดลง ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10 มีค่าสูงกว่าค่า pH_{pzc} ของโมลิตินัมไดซัลไฟด์มากกว่า 5 เท่า ทำให้พื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยามีประจุเป็นลบ และในขณะเดียวกันในสารละลายก็มีปริมาณของไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณมาก ทำให้เกิดเกลือโมลิตินัมดีทซ์ขึ้นดังสมการ



ซึ่งเกลือโมลิตินัมดีทซ์ที่เกิดขึ้นในสารละลายนั้นเกิดจากการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างไอออนของตัวเร่งปฏิกิริยากับไอออนของไฮดรอกไซด์จากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ประจุลบที่พื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยามีจำนวนน้อยลง จึงส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับลดลง แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายเมทิลีนบลูต่อประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิตินัมไดซัลไฟด์



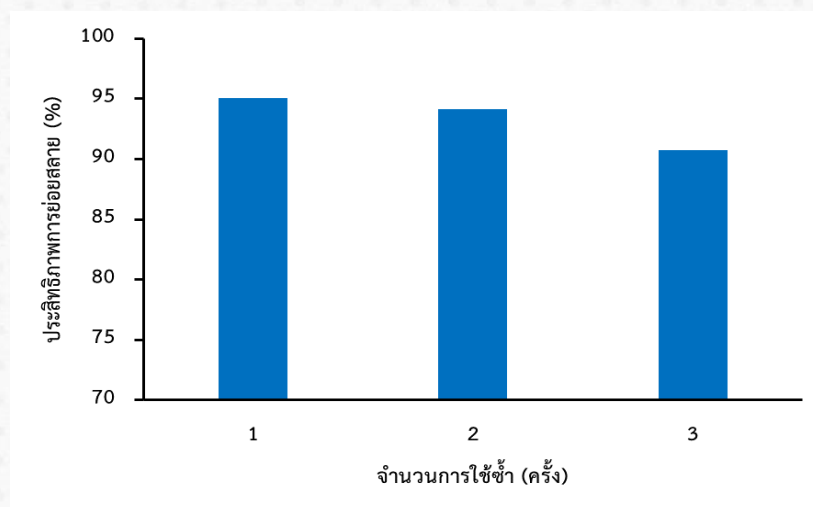
ภาพที่ 6 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับเมทิลีนบลูเมื่อใช้แสงสังเคราะห์และแสงอาทิตย์

3.2.4 ผลของแหล่งกำเนิดแสงที่มีต่อประสิทธิภาพในการย่อยสลายเมทิลีนบลู

ปฏิกิริยาย่อยสลายสีย้อมโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงมีแสงเป็นปัจจัยหลักที่ใช้ในการกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน เพื่อให้เกิดการสลายพันธะระหว่างโมเลกุลของสีย้อมหรือสารมลพิษอินทรีย์ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแสงที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ แสงสังเคราะห์และแสงอาทิตย์ โดยผลการศึกษาดังภาพที่ 6 จากผลการศึกษาพบว่าแสงสังเคราะห์มีประสิทธิภาพมากกว่าแสงจากดวงอาทิตย์ ทั้งนี้เนื่องจากแสงสังเคราะห์มีความเข้มแสงคงที่ตลอดช่วงการทดลอง ในขณะที่แสงจากดวงอาทิตย์มีความเข้มไม่คงที่ แม้ว่าจะมีการศึกษาระยะเวลาในการดูดซับเท่ากัน แต่ความเข้มแสงในแต่ละช่วงเวลามีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปัจจัยภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น การเคลื่อนตัวและความหนาแน่นของเมฆ เป็นต้น

3.2.5 ผลการศึกษาการนำตัวเร่งปฏิกิริยากลับมาใช้ซ้ำ

ผลการศึกษาการนำตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์กลับมาใช้ซ้ำ ได้ผลการศึกษาดังภาพที่ 7 จากการศึกษาพบว่า การนำตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์กลับมาใช้ซ้ำจะมีประสิทธิภาพสูงถึงร้อยละ 94.11-95.08 ใน 2 ชั่วโมงของการศึกษา และในการใช้ซ้ำรอบที่ 3 พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีประสิทธิภาพลดลง (ร้อยละ 90.77) ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่จำนวนรูพรุนหรือปริมาตรของรูพรุนมีจำนวนลดลงเนื่องจากการดูดซับโมเลกุลของเมทิลีนบลูบนพื้นผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาพื้นที่ผิวจำเพาะในการดูดซับ (ตารางที่ 1) และการศึกษาหุ้ฟงักซันของตัวเร่งปฏิกิริยาภายหลังการดูดซับด้วยเมทิลีนบลูแล้วมีความเข้มของสัญญาณลดลง (ภาพที่ 1(ค))

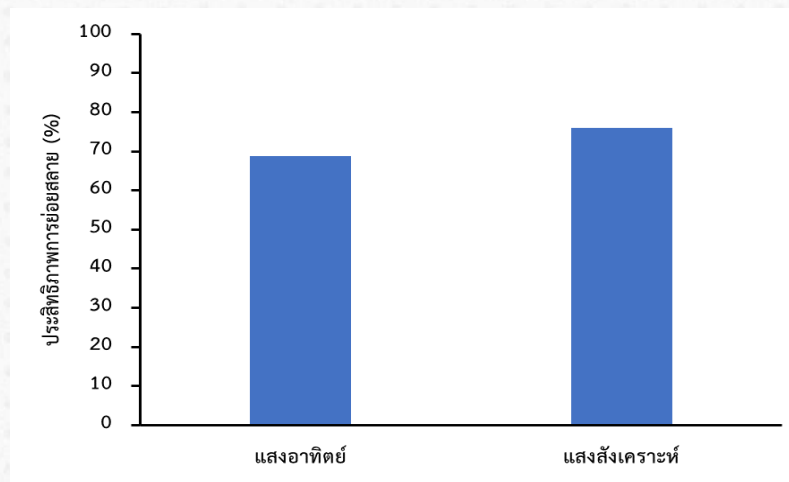


ภาพที่ 7 ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ในการนำมาใช้ซ้ำ

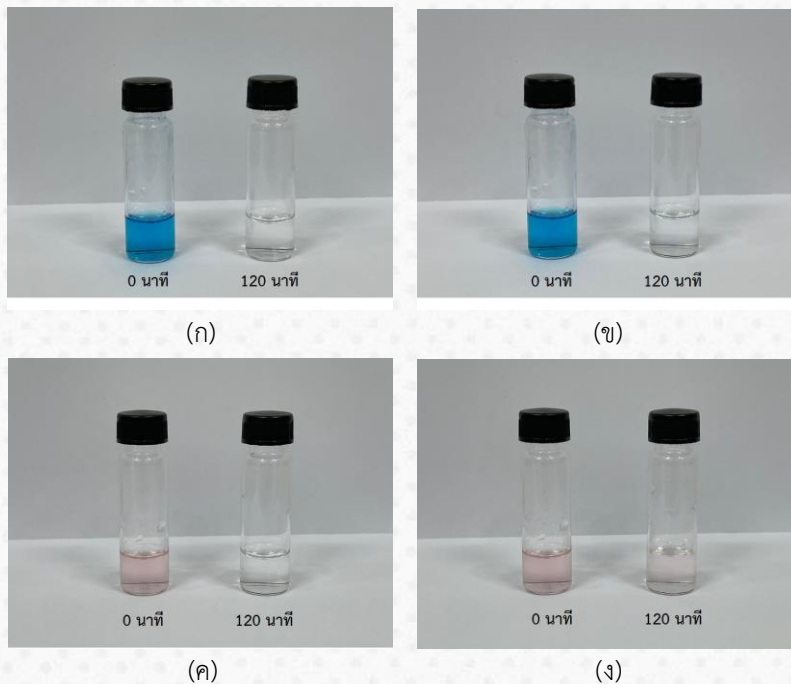
3.2.6 ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาในการนำมาประยุกต์ใช้ในการย่อยสลายสีย้อมจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

เมื่อนำน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอมาศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายด้วยแสงด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์เปรียบเทียบระหว่างการใช้แสงสังเคราะห์และแสงอาทิตย์ โดยใช้สภาวะที่เหมาะสม คือ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.005 กรัม ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 3 ความเข้มแสงของแสงสังเคราะห์ 15 วัตต์ ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ 75,000 ลักซ์และระยะเวลาในการย่อยสลาย 120 นาที พบว่า ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อมจากอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยแสงสังเคราะห์และแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับร้อยละ 75.96 และ 68.69 ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 8 โดยจะเห็นได้ว่าแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพต่ำกว่าแสงสังเคราะห์ ทั้งนี้คาดว่าเกิดจากความเข้มแสงที่ไม่สม่ำเสมอในขณะที่เกิดปฏิกิริยาแม้ว่าจะทำการศึกษาในช่วงเวลา 11:30-13:30 นาฬิกา ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีความเข้มของแสงอาทิตย์สูง ทำให้ไม่สามารถควบคุมความเข้มแสงที่เกิดจากปัจจัยภายนอกที่นอกเหนือการควบคุมได้ เช่น การเคลื่อนที่ของมวลเมฆ หรือความหนาแน่นของมวลเมฆ

เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อศึกษาผลของชนิดน้ำเสีย พบว่า ประสิทธิภาพของการย่อยสลายสีย้อมจากอุตสาหกรรมสิ่งทอยังมีค่าต่ำกว่าการย่อยสลายสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสีทออาจมีสารเคมีที่มากกว่า 1 ชนิด รวมถึงเมทริกซ์ในน้ำตัวอย่างที่ต่างจากน้ำเสียสังเคราะห์ ภาพที่ 9 แสดงความประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อมสังเคราะห์และสีย้อมจากอุตสาหกรรมสิ่งทอเปรียบเทียบระหว่างการใช้แสงสังเคราะห์และแสงอาทิตย์ โดยจะเห็นได้ว่าการใช้แสงสังเคราะห์ในการย่อยสลายเมทิลีนบลูในน้ำเสียสังเคราะห์ทำให้สีย้อมจางลงอย่างเห็นได้ชัด (ภาพที่ 9 (ก) และ (ค)) ส่วนการใช้แสงอาทิตย์ในการย่อยสลายสีย้อมจากอุตสาหกรรมสิ่งทอแม้จะมีประสิทธิภาพสูง แต่ยังคงเห็นสารละลายมีสีชมพูจางจากผลการศึกษา แสดงให้เห็นว่าตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์มีประสิทธิภาพในการนำมาใช้บำบัดน้ำที่ปนเปื้อนสีย้อมจากอุตสาหกรรมสิ่งทอได้



ภาพที่ 8 ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ในการย่อยสลายสีย้อมจากน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ



ภาพที่ 9 ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ในการย่อยสลาย (ก)-(ข) เมทิลีนบลูในน้ำเสียสังเคราะห์ (ค)-(ง) สีย้อมจากน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ โดยที่ (ก) และ (ค) แสงสังเคราะห์ และ (ข) และ (ง) แสงอาทิตย์

ตารางที่ 3 ลักษณะของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอก่อนและหลังการบำบัดด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง

ตัวแปร	คุณภาพน้ำ	
	ก่อนการบำบัด	หลังการบำบัด
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	8.0	7.2
COD (มิลลิกรัมต่อลิตร)	95	40

จากตารางที่ 3 พบว่าผลของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์บำบัดน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสิ่งทอน้ำหลังการบำบัดมีค่าความเป็นกรด-ด่างลดลง และมีค่าความต้องการออกซิเจนลดลงต่ำกว่าค่ามาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษซึ่งกำหนดว่าน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมต้องมีค่าต่ำกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นน้ำหลังการบำบัดมีคุณภาพดีขึ้น

4. บทสรุป

การศึกษานี้เป็นการสังเคราะห์และวิเคราะห์อนุภาคโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ด้วยเทคนิคทางความร้อนซึ่งเป็นเทคนิคที่มีข้อดีคือ ใช้ระยะเวลาในการสังเคราะห์น้อยเนื่องจากสามารถควบคุมอุณหภูมิและความดันในขณะวิเคราะห์ได้ จากนั้นเมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยาอนุภาคโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ไปวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ พบว่าอนุภาคโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์มีโครงสร้างเป็นทรงกระบอกที่มีความเป็นผลึกต่ำ มีพื้นที่ผิวจำเพาะในการเกิดปฏิกิริยาเท่ากับ 82.68 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุนเท่ากับ 0.1890 ตารางเซนติเมตรต่อกรัม ขนาดรูพรุนเฉลี่ย 85.23 นาโนเมตร และมีหมู่ฟังก์ชันหลักที่ตำแหน่งเลขคลื่นตำแหน่งเลขคลื่น 1372.75 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่ซัลโฟเนต และตำแหน่งเลขคลื่น 666.81 cm^{-1} ที่เป็นแถบ Mo-O ยึด เมื่อนำไปศึกษาประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อมเมทิลีนบลูด้วยปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยแสง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 0.005 กรัม ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 3 ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทิลีนบลูเท่ากับ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา 120 นาที ภายใต้แสงสังเคราะห์ ซึ่งมีประสิทธิภาพการย่อยสลายสูงถึงร้อยละ 95.08 และพบว่าสามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้ซ้ำโดยมีประสิทธิภาพสูงในช่วง 2 ครั้ง จากนั้นประสิทธิภาพจะลดลง เมื่อศึกษาการย่อยสลายด้วยแสงเปรียบเทียบกับระหว่างแสงสังเคราะห์และแสงอาทิตย์ พบว่าแสงสังเคราะห์มีประสิทธิภาพสูงกว่าแสงอาทิตย์ เนื่องจากมีความเข้มแสงสม่ำเสมอ นอกจากนี้เมื่อศึกษาประสิทธิภาพในการย่อยสลายสีย้อมที่ได้จากอุตสาหกรรมสิ่งทอ พบว่าทั้งแสงสังเคราะห์และแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายได้ในช่วงร้อยละ 68.69-75.96 จากผลการศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบบำบัดน้ำทิ้งจากภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดแสงหลักเพื่อช่วยลดต้นทุนในกระบวนการบำบัดน้ำทิ้งได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณและเครื่องมือในการทำงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] M.S.S. Osmana, N.H. Alias, N.S. Jamaluddina, N. Abdullahb, N.H. Othmana, F. Marpania, M.S. Mat-Shayutia, S.F.A. Manafa, T. Tutuk DjokoKusworol, Progress on emerging photocatalysts for treatment of dyes in wastewater: a review. *Desalination and Water Treatment*. 257(2022) 270–289.

- [2] A. Rahman, J. R. Jennings, A.L. Tan, M.M. Khan, Molybdenum disulfide-based nanomaterials for visible-light-induced photocatalysis. *ACS Omega*. 7(26)(2022) 22089–22110.
- [3] L. O. Amaral, A.L. Daniel-da-Silva, MoS and MoS₂ nanocomposites for adsorption and photodegradation of water pollutants: A review. *Molecules* 27(2022) 6782.
- [4] D. Gawari, V. Vikram Pandit, N. Jawale, P. Kamble, Layered MoS₂ for photocatalytic dye degradation. *Materials Today: Proceedings*. 53(2022) Part 1 10-14.
- [5] H.K. Sadhanala, S. Senapati, K.V. Harika, K.K. Nanda, A. Gedanken, Green synthesis of MoS₂ nanoflowers for efficient degradation of methylene blue and crystal violet dyes under natural sun light conditions. *New Journal of Chemistry*. 42(2018) 14318-14324.
- [6] K.C. Lalithambika, K. Shanmugapriya, S. Sriram, Photocatalytic activity of MoS₂ nanoparticles: an experimental and DFT analysis. *Applied Physics A*. 125(2019) 817.
- [7] T. Nagarajan, M. Khalid, N. Sridewi, P. Jagadish, S. Shahabuddin, K. Muthoosamy, R. Walvekar, Tribological, oxidation and thermal conductivity studies of microwave synthesised molybdenum disulfide (MoS₂) nanoparticles as nano additives in diesel based engine oil, *Scientific Reports*. 12(2022) 14108.
- [8] E. Fosso-Kankeu, M.J. Spiro, F. Waanders, N. Kumar, S.S. Ray, N. Lemmer Hydrothermal synthesis, characterization and adsorption testing of MoS₂-Zeolite for the removal of lead in an aqueous solution. 10th Int'l Conference on Advances in Science, Engineering, Technology & Healthcare (ASETH-18) Cape Town (South Africa), 2018, 164-169.
- [9] R. Zhang, M. Hummelgård, V. Forsberg, H. Andersson, M. Engholm, T. Öhlund, M. Olsen, J. Örtengren, H. Olin, Photoconductivity of acid exfoliated and flash-light-processed MoS₂ films, *Scientific Reports*. 8: 3296 2018 1-8.

การพัฒนาและขึ้นรูปปุ๋ยชีวภาพอัดแผ่นจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

The development and forming of Bio-fertilizer sheets from agricultural waste

นิติพันธุ์¹ วิทย์ผดุง¹ สิริมาภรณ์² วัชรกุล² โฉมศรี³ ชูช่วย³ ศรัทธา⁴ ศรีวรรเดชไพศาล¹ และ วรนุช ดิละมัน^{4*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและเมคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

²ศูนย์ทรัพยากรจุลินทรีย์และการใช้ประโยชน์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

³คณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

⁴สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

*E-mail: Woranuch.d@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ประชากรประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก มีการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจมากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำนาข้าว เมื่อมีการเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้วมักมีวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ถูกทิ้งและมีการเผาทำลายทำให้เกิดหมอกควันและปัญหามลภาวะทางอากาศรวมถึงทำให้หน้าดินเสื่อมสภาพจากการเผาไหม้ ดังนั้นเพื่อลดผลกระทบจากการเผาทำลายและเพิ่มมูลค่าให้แก่วัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและเปรียบเทียบกระบวนการขึ้นรูปแผ่นฟางข้าวที่มีส่วนผสมของปุ๋ยอินทรีย์ ด้วยกระบวนการขึ้นรูป 2 วิธี ได้แก่ 1.กระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก และ 2.กระบวนการอบแห้ง ซึ่งเป็นการนำฟางข้าวที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผ่านกระบวนการขึ้นรูปให้เป็นแผ่นคลุมหน้าดิน เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของวัชพืช เพื่อช่วยปรับโครงสร้างของหน้าดินและป้องกันการระเหยของความชื้นที่อยู่ในดิน รวมไปถึงการนำวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรมาทำให้เกิดประโยชน์ ลดการใช้แผ่นพลาสติกคลุมหน้าดิน ซึ่งจะทำให้สารพิษตกค้างที่ส่งต่อมายังผู้บริโภคลดน้อยลงอีกด้วย โดยการศึกษาเริ่มจากเตรียมเยื่อฟางข้าวด้วยกระบวนการแปลงสภาพฟางข้าวให้กลายเป็นเยื่อฟางข้าวโดยผ่านการต้มและใส่สารละลายไฮโดรอกไซด์ จากนั้นจึงนำเยื่อฟางข้าวที่ได้มาผสมปุ๋ยอินทรีย์ ในอัตราส่วน 6:4 7:3 8:2 และ 9:1 ตามลำดับ ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าการอัดแผ่นปุ๋ยเยื่อฟางข้าวในอัตราส่วนผสมเยื่อฟางข้าวต่อปุ๋ยอินทรีย์ที่อัตรา 9:1 และ 8:2 นั้นสามารถอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นได้ดี โดยมีช่วงอุณหภูมิการอัดขึ้นรูปในช่วง 150-160 องศาเซลเซียส และผลการศึกษาระบบการขึ้นรูปด้วยวิธีการอบแห้งนั้นสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นได้ดีในทุกอัตราส่วน และจะได้ชิ้นงานที่มีความหนาแน่นมากกว่าการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก เมื่อนำตัวอย่างแผ่นปุ๋ยเยื่อฟางข้าวไปทดสอบโดยนำไปวางบริเวณพื้นหญ้าทำการรดน้ำและเก็บผลเป็นระยะเวลา 14 วัน จากผลการทดลองพบว่าแผ่นปุ๋ยเยื่อฟางข้าวที่ได้จากกระบวนการอัดขึ้นรูปนั้นเริ่มมีการแตกออก ไม่คงสภาพเป็นแผ่นในวันที่ 5 ของการทดสอบ แต่แผ่นปุ๋ยฟางข้าวที่ได้จากกระบวนการอบแห้งนั้นยังคงสภาพเป็นแผ่นได้จนครบ 14 วัน และบริเวณที่นำแผ่นปุ๋ยฟางข้าวไปวางพบว่ามีหญ้ามีการเปลี่ยนสีจากสีเขียวเป็นสีเหลือง

คำสำคัญ: ไฮดรอลิก ฟางข้าว กระบวนการอบแห้ง กระบวนการอัดรีด

Abstract

Thailand, known for its predominantly agrarian population, cultivates a variety of economic crops, notably rice. However, crop harvesting often leads to the generation of agricultural waste, commonly disposed of through burning. This practice exacerbates smog, air pollution, and soil degradation. To address these issues and maximize the value of waste materials, this study aims to investigate and evaluate the process of combining rice straw with organic fertilizer. Two distinct sheet-forming processes were explored: 1. Hydraulic extrusion process and 2. Drying process. Initially, rice straw was converted into pulp by boiling and adding sodium hydroxide. The pulp was then molded using the hydraulic press and drying methods. The ratios of rice straw to organic fertilizer mixtures examined were 6:4, 7:3, 8:2, and 9:1. Results demonstrated that the 9:1 and 8:2 ratios could be successfully formed into sheets using the hydraulic press, while the drying process facilitated the formation of mixed fertilizer mulch sheets for all ratios. Furthermore, the temperature setting in the hydraulic forming process was investigated within the range of 130-160 degrees Celsius. Findings indicated that sturdy mulch sheets could be formed at temperatures of 160 and 150 degrees Celsius. The durability of the mulch sheets was assessed by placing them on a grass bed for 14 days. Results revealed that the hydraulic press-formed sheets began to break on the 5th day, whereas the sheets obtained from the drying process remained intact throughout the 14-day period. Additionally, the mulch sheets exhibited weed-suppressing properties, causing the underlying grass to transition from green to yellow.

Keywords: Hydraulics, Rice straw, Drying process, Hot pressing process

1. บทนำ

ปัจจุบันการทำเกษตรอินทรีย์ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับประเทศเกษตรกรรม ซึ่งผลผลิตทางการเกษตรที่มีกระบวนการผลิตแบบอินทรีย์ได้รับความนิยมเป็นอย่างสูงในกลุ่มของผู้บริโภค ดังจะเห็นได้ว่าการสนับสนุนให้เกษตรกรปรับเปลี่ยนรูปแบบเป็นการเกษตรแบบอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น โดยการเติบโตในแง่ของเกษตรอินทรีย์ย่อมต้องพิจารณาถึงปัจจัยของส่วนประกอบที่มีความสำคัญอย่างเช่นปุ๋ยที่นำมาใช้ในการเกษตรที่จะส่งผลโดยตรงต่อผลผลิตทางการเกษตร อัตราการเจริญเติบโตที่ดีและให้ผลผลิตสูง และนอกจากนี้ยังต้องเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและปลอดภัยต่อสุขภาพของผู้บริโภคอีกด้วย ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าปุ๋ยเป็นส่วนประกอบที่มีบทบาทสำคัญเป็นอย่างมากต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้ปุ๋ยหลายประเภทในการเกษตรได้แก่ การใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยอินทรีย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้ปุ๋ยเคมีนั้นจะส่งผลเสียต่อคุณภาพดินต่อไปในอนาคต เนื่องจากปุ๋ยเคมีประกอบด้วยแอมโมเนียม จึงส่งผลให้ดินมีสถานะเป็นกรดและเค็ม นอกจากนี้ปุ๋ยเคมียังไม่มีคุณสมบัติปรับปรุงดินให้โปร่งและมีความร่วนซุย ดังนั้นการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถรักษาสภาพของดินในพื้นที่ที่ทำการเกษตรและยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมรวมถึงยังสามารถนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเพิ่มมูลค่าให้แก่เกษตรกร และยังเป็นการช่วยเกษตรกรในการลดรายจ่ายในการซื้อปุ๋ยเคมีมาใช้ได้อีกหนึ่งด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทยเป็นประเทศที่ประชากรในภูมิภาคต่างๆ ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกี่ยวกับการเกษตร ซึ่งหลังจากการทำเกษตรกรรมในแต่ละฤดูจะมีวัสดุที่เหลือใช้จากการทำการเกษตรเกิดขึ้นเช่น ฟางข้าว ซึ่งเกษตรกรมักจะนำวัสดุเหลือใช้

เหล่านี้มาเผาเพื่อกำจัดวัชพืชที่เหลือใช้ซึ่งส่งผลการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่มีผลต่อการเกิดสภาวะโลกร้อนและเหนี่ยวนำให้สิ่งแวดล้อมเกิดการเปลี่ยนแปลงไปในทางที่เสื่อมโทรมมากยิ่งขึ้นและสุดท้ายจะส่งผลกระทบต่อปัญหาสุขภาพของประชาชน [1]

ฟางข้าว คือลำต้นแห้งของต้นข้าวหลังจากการเก็บเกี่ยว ซึ่งประเทศไทยปลูกข้าวประมาณ 61 ล้านไร่ มีฟางข้าวรวมทั้งส่วนที่เป็นตอซึ่งไม่น้อยกว่า 40 ล้านตัน [2] ฟางข้าวมีลิกนิน [3-4] ในปริมาณ 7-13 % ขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์ข้าว ซึ่งลิกนินเป็นสารประกอบที่มีอยู่ในพืชรองลงมาจากเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนรวมตัวกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิด ซึ่งเป็นสารอะโรมาติก ลิกนินไม่มีสมบัติ ทางการยืดหยุ่นและไม่ละลายน้ำ แต่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมเซลล์และเส้นใย [3-4] แม้ว่าในปัจจุบันได้มีการนำฟางข้าวซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์โดยตรงในการคลุมดินหรือห่มดิน [5-7] เพื่อลดการระเหยของน้ำที่อยู่ในดิน ช่วยรักษาความชื้น และป้องกันการเจริญเติบโตของวัชพืชในแปลงปลูก แต่ยังคงมีกระบวนการใส่ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อให้เป็นสารอาหารแก่ดินด้วยการโรยปุ๋ยคอก และน้ำหมักชีวภาพเพื่อเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้กับดิน หรือปรับปรุงหน้าดินโดยวิธีธรรมชาติซึ่งทำให้ขั้นตอนการปรับปรุงดินได้ประสิทธิภาพไม่สม่ำเสมอ

การใช้เทคโนโลยีเพื่อการเกษตรและการใช้ปุ๋ยเพื่อเพิ่มผลผลิตให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพซึ่งมีทั้งการใช้ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยชีวภาพและปุ๋ยอินทรีย์เป็นการเพิ่มต้นทุนที่สูงขึ้นในการทำการเกษตร เมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตทางการเกษตรที่มีราคาไม่แน่นอนและมักจะประสบปัญหาการขาดค่า ปุ๋ยจึงนับได้ว่าเป็นต้นทุนส่วนหนึ่งของการผลิตที่มีราคาสูง ดังนั้นการใช้ปุ๋ยชีวภาพจากวัตถุดิบที่หาง่ายและเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรนอกจากจะช่วยลดต้นทุนทางการเกษตรแล้วยังช่วยลดการใช้สารเคมีหรือปุ๋ยเคมีที่ทำให้ดินเสื่อมสภาพ ขาดความอุดมสมบูรณ์และส่งผลกระทบต่อโครงสร้างดินไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกอีกด้วย ปัจจุบันสินค้าเกษตรแบบชีวภาพกำลังได้รับความนิยมมากในท้องตลาด โดยเฉพาะสินค้าจากเกษตรอินทรีย์ชีวภาพที่มีราคาค่อนข้างสูงในท้องตลาดเมื่อเทียบกับสินค้าทางการเกษตรอื่น ๆ เนื่องจากความนิยมในการบริโภคผลิตภัณฑ์ปลอดสารเคมีและการเพาะปลูกแบบเกษตรอินทรีย์โดยการใช้ปุ๋ยชีวภาพการใช้ปุ๋ยชีวภาพจึงเป็นหนึ่งในทางเลือกที่เป็นที่นิยมและมีแนวโน้มเป็นความต้องการของตลาดมากยิ่งขึ้น ปุ๋ยชีวภาพนอกจากจะเป็นทางเลือกใหม่ให้กับเกษตรกรแล้วยังพบว่ามีความสำคัญคือการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดินให้มีความร่วนซุยมากยิ่งขึ้นรวมถึงการช่วยรักษาจุลินทรีย์ในดินที่มีประโยชน์ต่อพืช [8] และมีราคาไม่สูง ปุ๋ยชีวภาพที่ใส่ให้กับพืชเพื่อเป็นการปลดปล่อยธาตุอาหารให้พืชสามารถดูดไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตทั้งยังเป็นการรักษาหน้าดินและคงความอุดมสมบูรณ์ให้กับดินอีกด้วยเนื่องจากปุ๋ยชีวภาพเป็นผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติที่มีจุลินทรีย์ที่มีชีวิตช่วยในการย่อยสลายสารอินทรีย์และส่งเสริมการเจริญของพืช ซึ่งพบว่ายังมีการสร้างฮอร์โมนพืชบางชนิดและกระตุ้นการเจริญของพืชและบริเวณรากพืชให้สามารถเพิ่มความสามารถในการดูดสารอาหารและแร่ธาตุทั้งจุลินทรีย์ในปุ๋ยชีวภาพบางชนิดยังสามารถตรึงก๊าซไนโตรเจนในอากาศเปลี่ยนเป็นธาตุไนโตรเจนให้พืชสามารถนำไปใช้ได้อีกด้วย [9]

แต่อย่างไรก็ตามปุ๋ยชีวภาพที่มีการผลิตและออกจำหน่ายในท้องตลาดมีความหลากหลาย ทั้งยังมีสูตรและองค์ประกอบที่ไม่แน่นอน ทำให้ปุ๋ยชีวภาพมีคุณภาพไม่คงที่ หรือบางชนิดอาจมีการปนเปื้อนโลหะหนักหรือพบจุลินทรีย์ก่อโรคมมากกว่าจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ทั้งยังยากต่อการใช้งาน ในหลายพื้นที่ได้มีการนำวัสดุทางการเกษตร เช่นใบไม้แห้งหรือฟางข้าวมาคลุมโคนต้นไม้เพื่อรักษาความชื้นบริเวณหน้าดินและรอให้ย่อยสลายตามธรรมชาติซึ่งใช้เวลานานและอาจก่อให้เกิดเชื้อราที่เป็นอันตรายต่อต้นไม้ทำให้ต้นไม้เป็นโรคได้ ดังนั้นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเหล่านี้มาทำเป็นปุ๋ยชีวภาพที่มีการผสมกับจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายวัตถุดิบอินทรีย์เพื่อเร่งอัตราในการย่อยสลาย อินทรีย์วัตถุให้เร็วมากขึ้นและกลายเป็นโมเลกุลที่เล็กลงทำให้พืชสามารถดูดซึมนำไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตได้เร็วกว่านี้การอัดเป็นแผ่นปุ๋ยชีวภาพเพื่อให้เหมาะสมและง่ายกับการใช้งานมากยิ่งขึ้นทั้งยังสามารถใช้เป็นแผ่นปุ๋ยชีวภาพรักษาความชื้นบริเวณโคนต้นไม้และป้องกันการแย่งพื้นที่ในการเจริญและแย่งอาหารของวัชพืช เป็นการเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

และเพิ่มมูลค่าให้กับของเสียเหลือทิ้ง ลดปัญหามลพิษในสิ่งแวดล้อมและเป็นแนวทางในการลดการใช้ปุ๋ยเคมีของเกษตรกรเพื่อ
การเกษตรที่ยั่งยืน

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบกระบวนการขึ้นรูปแผ่นฟางข้าวสำหรับคลุมดินสำเร็จรูป
ที่มีส่วนผสมของปุ๋ยอินทรีย์ ด้วยกระบวนการขึ้นรูป 2 วิธี ได้แก่ 1.กระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก
และ 2.กระบวนการอบแห้ง เพื่อศึกษาหากระบวนการที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแผ่นคลุมหน้าดินจากฟางข้าวผสมปุ๋ยอินทรีย์
เพื่อนำไปคลุมหน้าดิน ช่วยลดการเจริญเติบโตของวัชพืชและย่อยสลายเป็นปุ๋ยให้กับดินได้ เพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งทาง
การเกษตร และเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะสามารถรักษาสภาพของดินในพื้นที่การเกษตรและยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม [10]

2. วัสดุและอุปกรณ์

2.1 ฟางข้าว

งานวิจัยนี้ใช้ฟางข้าวตากแห้งจากแหล่งเพาะปลูกในจังหวัดสงขลา ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวท้องถิ่น ผ่านกระบวนการตากแห้ง
ด้วยแสงอาทิตย์ตามธรรมชาติ และเตรียมฟางข้าวเบื้องต้นด้วยการสับฟางข้าวให้มีขนาดเล็กลงเพื่อความสะดวกในการเก็บ
รักษาและนำไปใช้ในการทดลองศึกษากระบวนการขึ้นรูปแผ่นปุ๋ยเยื่อฟางข้าว

2.2 เครื่องอัดไฮดรอลิกและกระบวนการอัดขึ้นรูป

เครื่องที่ใช้ในกระบวนการอัดแปรรูปที่ไม่ได้มีความซับซ้อน โดยหลักการทำงานของเครื่องอัดไฮดรอลิก คือการนำ
วัสดุอัดในแม่พิมพ์ (Mold) ภายใต้ความดันและอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อให้วัสดุที่นำมาอัดนั้นเข้าสู่ช่องว่างภายในแม่พิมพ์
โดยที่ส่วนประกอบหลักของเครื่องอัดไฮดรอลิก คือ แผ่นเหล็ก (Platens) ทำหน้าที่เป็นฐานแม่พิมพ์จำนวนสองชุด ซึ่งแผ่นหนึ่ง
สามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ ส่วนอีกแผ่นหนึ่งถูกยึดตรึงกับที่ โดยที่แม่พิมพ์สำหรับการแปรรูปทั้งส่วนฐานและส่วนเคลื่อนที่
จะถูกยึดติดกับแผ่นเหล็กทั้งสองแผ่นนี้ สำหรับเครื่องที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูปแผ่นปุ๋ยฟางข้าวคือ เครื่องอัดร้อนแม่พิมพ์
ยางไฮดรอลิก (Compression molding) ผลิตโดยบริษัท LIY YIH (Thailand) Co, LTD. รุ่น SYR-20LL ดังรูปที่ 1 ซึ่งใช้
ระบบไฮดรอลิกและให้ความร้อนด้วยระบบไฟฟ้า สามารถสร้างแรงอัดสูงสุดขนาด 200 ตัน และสามารถบรรจุแม่พิมพ์ขนาด
62x62 cm และมีระยะเคลื่อนที่ของแผ่นฐานแม่พิมพ์ 40 cm



รูปที่ 1. เครื่องอัดไฮดรอลิก

กระบวนการอัดขึ้นรูปแผ่นปุ๋ยฟางข้าวนี้ใช้กระบวนการอัดร้อน (Hot Press Process) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการอัด
วัสดุโดยการให้ความร้อนตลอดเวลาในระหว่างที่ทำการอัดขึ้นรูปขึ้นงาน โดยกำหนดอุณหภูมิที่เหมาะสมกับวัสดุซึ่งเมื่อได้รับ

ความร้อนจะเกิดสารเคมีอินทรีย์ที่สามารถทำให้ชิ้นงาน ยึดติดกันได้โดยไม่ต้องใช้ตัวผสมช่วยในการยึดติดของตัวชิ้นงาน ตัวอย่างวัสดุที่สามารถนำมาเข้ากระบวนการอัดร้อนได้คือ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น แกลบ ชี้เลื่อย ฟางข้าว ทะลายปาล์ม วัชพืชขบ วัชพืชน้ำ และผลผลิตทางการเกษตรโดยเฉพาะพืชที่มีแป้งและน้ำตาลเช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง และข้าวฟ่าง เป็นต้น

2.3 การขึ้นรูปด้วยกระบวนการอบแห้ง

การอบแห้ง คือ กระบวนการลดความชื้น โดยทั่วไปจะใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ความร้อนส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ในการระเหยน้ำออกจากผิววัสดุ ถ้าผิววัสดุมีปริมาณน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำบริเวณผิวของวัสดุก็จะมีค่าคงที่ ซึ่งส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการอบแห้งคงที่ หากอุณหภูมิ ความชื้นและความเร็วลมของอากาศมีค่าคงที่ เมื่อผิวของวัสดุมีปริมาณน้ำลดลง อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิววัสดุเปลี่ยนแปลงไป โดยที่อุณหภูมิที่ผิวจะสูงขึ้นและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวจะลดลง ซึ่งส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการอบแห้งลดลง

3. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการเตรียมฟางข้าว

ชั่งน้ำหนักฟางข้าว โดยมีน้ำหนักทั้งหมด 50 กรัม ต่อแผ่นตัวอย่าง 1 แผ่น จากนั้นนำไปแช่น้ำทิ้งไว้ 1 คืน

3.2 ขั้นตอนการแปรสภาพจากฟางข้าวเป็นเยื่อ

นำฟางข้าวที่แช่น้ำมาต้มโดยการใส่โซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 10% ของน้ำหนักฟางข้าวแห้ง โดยใช้ระยะเวลาในการต้มครั้งละประมาณ 3-4 ชั่วโมง จากนั้นนำเยื่อที่ได้จากการต้มไปกรองโดยใช้ผ้าขาวบาง และล้างเมือกออกด้วยน้ำจนกว่าน้ำล้างมีลักษณะใส เยื่อฟางข้าวไม่ลื่นหรือติดเมือก จากนั้นจึงนำเยื่อที่ล้างเสร็จแล้วใส่ภาชนะเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที จะได้เยื่อฟางข้าวอบแห้งสำหรับใช้ในการศึกษากระบวนการขึ้นรูปในขั้นตอนถัดไป

3.3 ขั้นตอนการขึ้นรูป

3.3.1 การขึ้นรูปด้วยกระบวนการอบแห้ง

นำเยื่อฟางข้าวที่ผ่านการอบขั้นต้นเสร็จแล้วมาผสมกับปุ๋ยโดยผสมในอัตราส่วน 9:1 8:2 7:3 และ 6:4 ตามลำดับ โดยน้ำหนักแห้งตั้งต้นเมื่อผสมเยื่อฟางข้าวกับปุ๋ย 50 กรัม ต่อแผ่นตัวอย่าง 1 แผ่น นำไปแช่น้ำเพื่อคืนสภาพฟางนำไปใส่แม่พิมพ์แล้วทำการอัดด้วยมือจนเข้าแม่พิมพ์ นำไปอบด้วยอุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการอบ 2 ชั่วโมง เพื่อให้แผ่นแห้ง

3.3.2 การขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัด

นำเยื่อฟางข้าวที่อบเสร็จแล้วมาผสมกับปุ๋ยโดยผสมในอัตราส่วน 9:1 8:2 7:3 และ 6:4 ตามลำดับ โดยน้ำหนักแห้งเริ่มต้นเมื่อผสมเยื่อฟางข้าวกับปุ๋ย 50 กรัม ต่อแผ่นตัวอย่าง 1 แผ่น ผสมน้ำเล็กน้อยเพื่อให้ปุ๋ยคลุกเคล้ากับเยื่อฟางข้าว จากนั้นจึงนำไปอบ 10 นาที ให้แห้ง นำเข้าแม่พิมพ์ขนาด 13x13x0.3 cm นำเข้าเครื่องอัดรอบที่หนึ่งเพื่อให้ส่วนแรกเข้าแม่พิมพ์ จากนั้นนำแม่พิมพ์ออก นำเข้าไปอัดรอบที่สองโดยใช้เวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 130 140 150 160 และ 170 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

3.4 ทดสอบประสิทธิภาพแผ่นปุ๋ยฟางข้าว

นำแผ่นปุ๋ยจากฟางข้าวที่ผสมปุ๋ยอินทรีย์จากการขึ้นรูปทั้ง 2 กระบวนการไปวางบริเวณพื้นหญ้าเป็นระยะเวลา 14 วัน โดยการรดน้ำและบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของแผ่นปุ๋ยทุกวัน



รูปที่ 2. วิธีการเตรียมการขึ้นรูปและการทดสอบประสิทธิภาพแผ่นปูฟางข้าว

4. ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระหว่างเยื่อฟางข้าวผสมปุ๋ยอินทรีย์ในการขึ้นรูป

- กระบวนการอัดขึ้นรูป

ผลจากการทดสอบหาอัตราส่วนระหว่างเยื่อฟางข้าวผสมปุ๋ยอินทรีย์ 50g ในอัตราส่วน 9:1 8:2 7:3 และ 6:4 ใส่ในแม่พิมพ์ขนาด 13 x 13 x 0.3 cm ในกระบวนการอัดขึ้นรูป โดยใช้อุณหภูมิในการอัด 160 องศาเซลเซียส แรงดัน 27.85 kN ในการอัดครั้งที่ 1 ทำการอัดเข้าแม่พิมพ์เป็นเวลา 20 วินาที จะได้ชิ้นงานที่มีความหนา 3 มิลลิเมตร แล้วทำการอัดครั้งที่ 2 เป็นเวลา 20 นาที จะได้ความหนา 2 มิลลิเมตร จากรูปที่ 3 (ก) จะเห็นได้ว่าในอัตราส่วนของเยื่อฟางข้าวต่อปุ๋ย 6:4 นั้น มีรอยแยกและเกิดการแตกออกไม่ยึดเกาะติดกัน เนื่องจากมีปริมาณเยื่อฟางข้าวในสัดส่วนที่น้อย เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนของเยื่อฟางข้าวต่อปุ๋ย 9:1 จะเห็นได้ว่าในอัตราส่วนนี้แผ่นปูฟางข้าวมีการยึดติดกันเป็นแผ่นสวยงามและขึ้นรูปได้ง่าย มากกว่าอัตราส่วน 6:4 และสามารถสรุปผลการทดลองได้ว่าปริมาณเยื่อฟางข้าวต่อปุ๋ยมีผลต่อกระบวนการอัดขึ้นรูปแผ่นคลุมหน้าดินโดย ซึ่งเมื่อมีปริมาณเยื่อฟางข้าวมากจะทำให้แผ่นปูฟางข้าวจะยิ่งยึดติดกันได้มากขึ้นและง่ายต่อการขึ้นรูป

- กระบวนการอบแห้ง

ผลจากการทดสอบหาอัตราส่วนระหว่างเยื่อฟางข้าวผสมปุ๋ย 50 g ในอัตราส่วน 9:1 8:2 7:3 และ 6:4 ใส่ในแม่พิมพ์ขนาด 13 x 13 x 0.3 cm โดยใช้อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ทำการอบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่ออบเสร็จแล้วความหนาของแผ่นคลุมหน้าดินอยู่ที่ 6 มิลลิเมตร จากรูปที่ 3 (ข) จะเห็นได้ว่าในอัตราส่วนของเยื่อฟางข้าวต่อปุ๋ย 6 : 4 นั้น เกิดการ



(ก) กระบวนการอัด

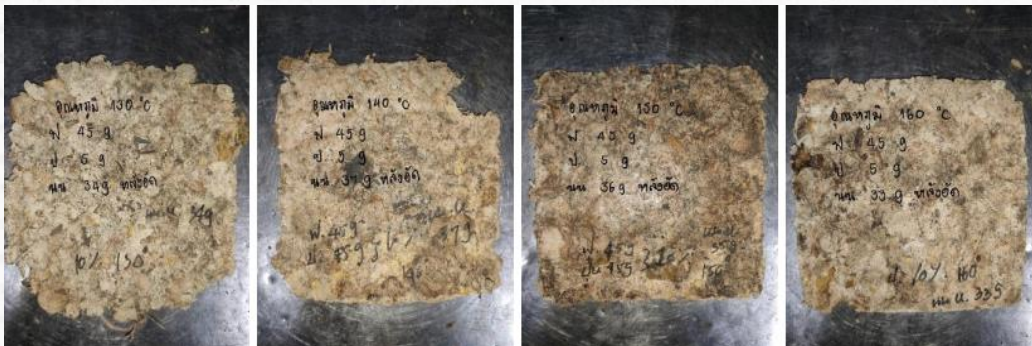
(ข) กระบวนการอบแห้ง

รูปที่ 3. ผลการทดสอบการขึ้นรูปเป็นแผ่นปุ๋ย (ก) กระบวนการอัด (ข) กระบวนการอบแห้ง

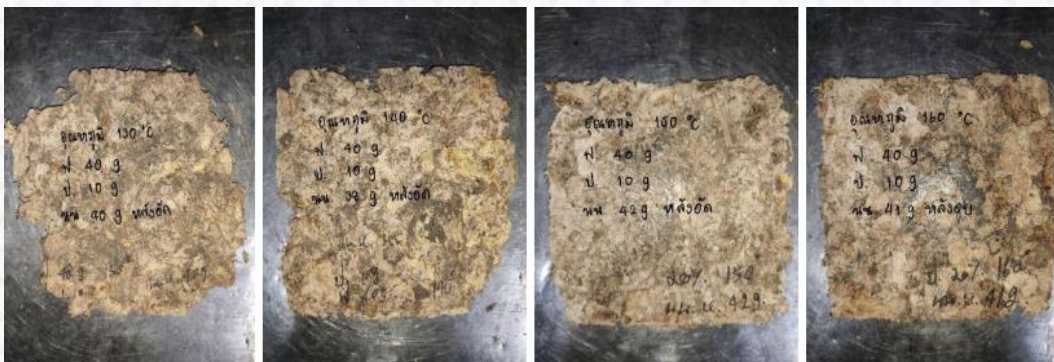
แตกไม่ยึดเกาะติดกันเพียงเล็กน้อย แต่มีความหนา 4 มิลลิเมตร และแผ่นขึ้นงานอ่อนตัวเนื่องจากปริมาณเยื่อฟางข้าวน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับ แผ่นขึ้นงานที่อัตราส่วนของเยื่อฟางข้าวต่อปุ๋ย 9:1 จะเห็นได้ว่าในอัตราส่วนนี้ขึ้นงานจะมีการยึดติดกันเป็นแผ่นสวยงามกว่าและมีความหนา 6 มิลลิเมตรสม่ำเสมอ และมีความแข็งแรงมากกว่าที่อัตราส่วน 6:4 ซึ่งสามารถสรุปผลได้ว่าปริมาณเยื่อฟางข้าวต่อปุ๋ยมีผลต่อกระบวนการอบขึ้นรูปแผ่นปุ๋ยเยื่อฟางข้าวสำหรับคลุมหน้าดินโดยที่ยังมีปริมาณเยื่อฟางข้าวมาก แผ่นคลุมหน้าดินจะยังมีความสวยงาม ความแข็งแรง และยึดติดกันมากขึ้น

4.2 ผลการทดสอบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิแม่พิมพ์ในกระบวนการอัดขึ้นรูป

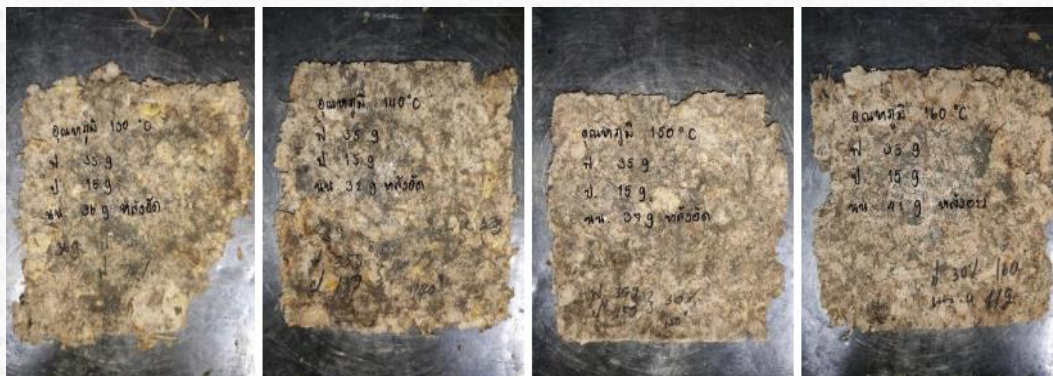
การทดสอบการหาอุณหภูมิแผ่นปุ๋ยในอัตราส่วน 9:1 8:2 7:3 และ 6:4 นำมาอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 130 140 150 และ 160 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยกำหนดให้ใช้ระยะเวลาในการอัดเท่ากัน ขึ้นงานละ 20 นาที พบว่า อุณหภูมิส่งผลต่อการอัดขึ้นรูป กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แผ่นอัดเยื่อฟางข้าวคลุมหน้าดินมีความเป็นแผ่นยึดเกาะกันสูงไม่หลุดออกจากกันง่าย เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้เกิดการละลายของลิกนินในเยื่อฟางข้าวมากขึ้น [3-4] ทำให้เยื่อฟางข้าวสามารถเกาะตัว



รูปที่ 4. อุณหภูมิ 130-160 องศาเซลเซียส อัตราส่วน 9:1

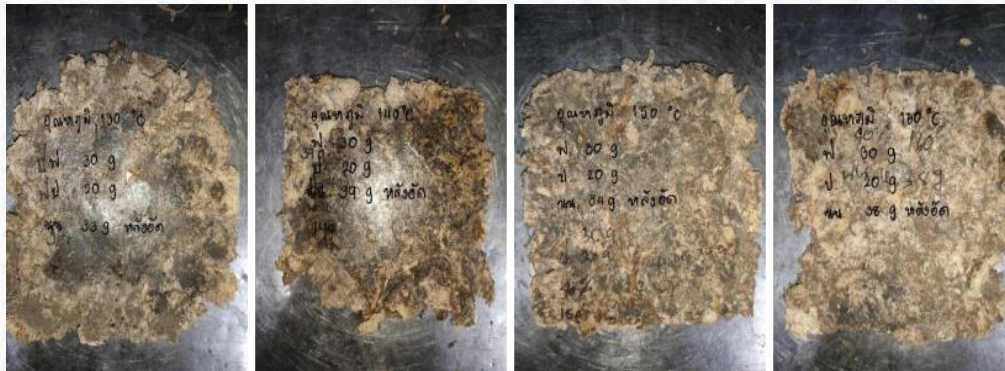


รูปที่ 5. อุณหภูมิ 130-160 องศาเซลเซียส อัตราส่วน 8:2



รูปที่ 6. อุณหภูมิ 130-160 องศาเซลเซียส อัตราส่วน 7:3

เป็นแผ่นได้ดี และจากผลการทดลอง พบว่ากระบวนการอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 และ 160 องศาเซลเซียสทำให้แผ่นอัดเยื่อฟางข้าวคลุมหน้าดินมีความเป็นแผ่นได้ดี ดังแสดงในรูปที่ 4 ถึงรูปที่ 7 ซึ่งแสดงลักษณะทางกายภาพของแผ่นอัดเยื่อฟางข้าวซึ่งอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 130 140 150 และ 160 องศาเซลเซียส ในอัตราส่วน 9:1 8:2 7:3 และ 6:4 ตามลำดับ



รูปที่ 7. อุณหภูมิ 130-160 องศาเซลเซียส อัตราส่วน 6:4

4.3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการคลุมดินของแผ่นปุ๋ยเยื่อฟางข้าว

จากการทดสอบการนำแผ่นคลุมหน้าดินจากเยื่อฟางข้าวผสมปุ๋ยอินทรีย์จากทั้ง 2 กระบวนการไปวางบนพื้นหญ้า และมีแสงแดดส่องในช่วงเวลากลางวัน เป็นระยะเวลา 14 วัน และทำการรดน้ำทุก ๆ วัน เพื่อจำลองลักษณะการใช้งานทางการเกษตร พบว่าแผ่นปุ๋ยเยื่อฟางข้าวที่ได้จากกระบวนการอัดขึ้นรูปเกิดการแตกตั้งแต่วันที่ 5 ส่วนแผ่นปุ๋ยเยื่อฟางข้าวจากกระบวนการอบขึ้นรูปยังสามารถคงสภาพเป็นแผ่นได้จนถึงวันที่ 14 ซึ่งแผ่นปุ๋ยคลุมดินจากทั้ง 2 กระบวนการสามารถป้องกันการรับแสงของวัชพืชได้ [5-6] เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคลุมดิน พบว่าแผ่นปุ๋ยคลุมดินที่ได้จากการอบขึ้นรูปมีประสิทธิภาพในการกำจัดวัชพืชดีกว่าแผ่นปุ๋ยคลุมดินที่ได้จากการอัด เนื่องจากแผ่นปุ๋ยที่ได้จากกระบวนการอัดขึ้นรูปเกิดการแตกตั้งแต่วันที่ 5 จึงทำให้หญ้าบางส่วนไม่ถูกปกคลุมด้วยแผ่นคลุมหน้าดินจึงเป็นผลให้ไม่สามารถกำจัดวัชพืชรบกวนได้ [5] ดังแสดงในรูปที่ 8



ทดสอบวันที่ 1

ทดสอบวันที่ 5

ทดสอบวันที่ 14

รูปที่ 8. ผลการทดสอบประสิทธิภาพการนำแผ่นปุ๋ยไปคลุมหญ้าในระยะเวลา 14 วัน

5. บทสรุป

จากผลการศึกษากระบวนการขึ้นรูปแผ่นคลุมหน้าดินจากฟางข้าวผสมปุ๋ยอินทรีย์ด้วย 2 กระบวนการคือ กระบวนการอัดขึ้นรูปและกระบวนการอบขึ้นรูป พบว่าขั้นตอนในกระบวนการอัดขึ้นรูปฟางข้าวผสมปุ๋ยอินทรีย์ ต้องมีการแปลงสภาพฟางข้าวโดยการสับและต้มให้เป็นเยื่อฟางข้าวก่อน ซึ่งไม่สามารถนำฟางข้าวที่ยังไม่ผ่านกระบวนการแปลงสภาพเป็นเยื่อฟางข้าวมาอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นได้ เนื่องจากการนำฟางข้าวมาอัดใส่แม่พิมพ์นั้นทำได้ยากทำให้ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่น

ได้ ขั้นตอนในการทดสอบหาอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูปแผ่นคลุมหน้าดิน ได้ทำการทดสอบหาอุณหภูมิตั้งแต่ 130 140 150 และ 160 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 130 และ 140 องศาเซลเซียส สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นได้แต่มีบางส่วนที่ลิกนินยังละลายไม่ทั่วถึง ที่อุณหภูมิ 150 และ 160 องศาเซลเซียส สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นได้ดี เนื่องจากลิกนินในฟางข้าวเกิดการละลายเป็นวัสดุประสาน [3-4] ขั้นตอนในการทดสอบหาอัตราส่วนระหว่างฟางข้าวผสมปุ๋ยอินทรีย์ในอัตราส่วน 9:1 8:2 7:3 และ 6:4 แบ่งกระบวนการขึ้นรูปเป็น 2 กระบวนการคือ กระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกและกระบวนการอบแห้ง พบว่าที่อัตราส่วน 6:4 มีรอยแยกและเกิดการแตกออกไม่ยึดเกาะติดกัน และอัตราส่วน 9:1 แผ่นคลุมมีการยึดติดกันเป็นแผ่นมีความหนาและแข็งมากกว่าอัตราส่วน 6:4 เนื่องจากปริมาณฟางข้าวต่อปุ๋ยอินทรีย์มีผลต่อกระบวนการอัดขึ้นรูปแผ่นคลุมหน้าดิน โดยยังมีปริมาณเยื่อฟางข้าวมากแผ่นคลุมหน้าดินยังยึดติดกันมากขึ้นและง่ายต่อการขึ้นรูป ในกระบวนการอบแห้งเยื่อฟางข้าวผสมปุ๋ยอินทรีย์ สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นได้ดีทุกอัตราส่วนขั้นตอน ในการทดสอบหาอุณหภูมิระหว่างเยื่อฟางข้าวผสมปุ๋ยอินทรีย์ในกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกโดยทำการทดสอบหาอุณหภูมิในอัตราส่วน 9:1 8:2 7:3 และ 6:4 นำมาอัดขึ้นรูปในอุณหภูมิ 130 140 150 และ 160 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการอัดขึ้นรูปโดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แผ่นคลุมหน้าดินมีความเป็นแผ่นยึดเกาะกันสูงไม่หลุดออกจากกันง่าย เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้เกิดการละลายของลิกนินในเยื่อฟางข้าวมากขึ้นอุณหภูมิที่ทำให้แผ่นคลุมหน้าดินสามารถเกาะกันเป็นแผ่นได้ดีคือ 150 และ 160 องศาเซลเซียส และขั้นตอนในการทดสอบประสิทธิภาพแผ่นคลุมหน้าดินจากฟางข้าวผสมปุ๋ยอินทรีย์จากทั้ง 2 กระบวนการไปวางบริเวณพื้นหญ้าในระยะเวลา 14 วันและทำการรดน้ำทุกวัน พบว่าแผ่นปุ๋ยจากกระบวนการอบมีประสิทธิภาพในการกำจัดวัชพืชได้ดีกว่าแผ่นปุ๋ยที่ได้จากกระบวนการอัด

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณผ่านกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 สัญญารับทุนเลขที่ 4222777/2 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] H. Elbasiouny, B.A. Elbanna, E. Al-Najoli, A. Alsherief, S. Negm, E.A. El-Nour, A. Nofal, S. Sharabash. Agricultural Waste Management for Climate Change Mitigation: Some Implications to Egypt. Waste Management in MENA Regions, Springer Water. Springer, Cham, 2020.
- [2] สำนักวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน. (1 มิถุนายน 2566). การเถือกลบตอซังเพื่อปรับปรุงดินและเพิ่มผลผลิตข้าว. สืบค้นจาก https://www.ddd.go.th/menu_moc/POSTER/rice/rice.htm.
- [3] ธนพรรณ บุณยรัตกลิน, ทรงสิริ วิชิรานนท์, อุดม พลเยี่ยม. การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระดาษจากฟางข้าว. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตจตุจักร. 2545.
- [4] Leulee Nortoualee. การเพิ่มมูลค่าฟางข้าวโดยการผลิตเป็นกระดาษบรรจุภัณฑ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม สำนักบริหารและพัฒนาวิชาการ มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 2564.
- [5] P. Nantasomsaran, R. Kurubunjerdjit, M. Sarana, S. Kongsengdao. Effect of Mulching Materials on Weed Control in Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Planting. *Thai Agricultural Research Journal*. 24-3(2006) 247-262.
- [6] พัฒนา ชนะพันธ์ุ, ประยูร วงศ์จันทร์, กรรณิกา สุขงาม. การอนุรักษ์ทรัพยากรดินโดยการหมักดินตามศาสตร์พระราชารวารสารวิทยาการสิ่งแวดล้อมไทย. 2-5(2019) 81 -97.

- [7] รัตนะ สวาวิชชัย. การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม: ทรัพยากรดินและการใช้ที่ดิน. วารสารรัฐภูมิรักษ์. 58-1(2016) 55-75.
- [8] สันติภาพ ปัญจพรุรงค์. เทคโนโลยีปุ๋ย. ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2545.
- [9] R. Dey, K.K. Pal, K.V.B.R Tilak. Plant growth promoting rhizobacteria in crop protection and challenges. In: A. Goyal and C. Manoharachary (Eds.). Future Challenges in Crop Protection Against Fungal Pathogens, Springer Science+Business Media, New York, 2014.
- [10] N.T.H. Nhu, N.L. Chuen, N. Riddech. The Effects Bio-fertilizer and Liquid Organic Fertilizer on the Growth of Vegetables in the Pot Experiment. *Chiang Mai J. Sci.* 45-3(2018) 1257-1273.

การศึกษาคุณสมบัติของขยะเกษตรอินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิส สำหรับทำวัสดุปลูกพืช

The study of properties of pyrolysis processed organic agricultural waste for making plant planting material

วรณุช ดีละมัน^{1*} กัลทิมา เชาว์ชาญชัยกุล² กิตติยศ ตั้งสัจจวงศ์¹ และ โฉมศรี ชูช่วย³

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

²สาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

³ คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

*E-mail: woranuch.d@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประกอบด้วยเกสรปาล์มน้ำมัน และผักตบชวาเปรียบเทียบกับวัสดุปลูก (พีทมอส) ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด โดยผ่านกระบวนการไพโรไลซิสและทำการวิเคราะห์ทางกายภาพ (ปริมาณเถ้า) สิ่งแวดล้อมของวัสดุปลูก (pH และค่าการนำไฟฟ้า) และทางเคมี (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ผลการศึกษาพบว่าร้อยละปริมาณเถ้าของวัสดุทั้ง 3 มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 85.88- 95.55 ค่า pH ของวัสดุปลูกจากเกสรปาล์มน้ำมันและผักตบชวามีค่าใกล้เคียงกันถูกจัดอยู่ในค่าความเป็นด่างจัดในขณะที่พีทมอสมีค่า pH จัดอยู่ในระดับความเป็นกรด สำหรับค่าการนำไฟฟ้าพบว่าผักตบชวามีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 87.52 ds/m รองลงมาคือเกสรปาล์มน้ำมันมีค่าเท่ากับ 28.2 ds/m และพีทมอสมีค่าเท่ากับ 2.48 ds/m ตามลำดับ ผลการทดสอบปริมาณธาตุอาหารหลักของพืช พบว่าโพแทสเซียมมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือฟอสฟอรัสและไนโตรเจน โดยวัสดุปลูกที่ผลิตมาจากเกสรปาล์มน้ำมันมีธาตุอาหารมากที่สุด ผลการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นนี้จะช่วยให้สามารถกำหนดอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตวัสดุปลูกที่จะนำมาใช้ทดแทนพีทมอสที่มาจากธรรมชาติได้อย่างยั่งยืนและยังช่วยในการออกแบบทดลองเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์วัสดุปลูกจากของเหลือทิ้งทางการเกษตรต่อไป

คำสำคัญ: เกสรปาล์มน้ำมัน ผักตบชวา พีทมอส ไพโรไลซิส

Abstract

The objective of this research is to study the preliminary properties of agricultural waste materials consisting of oil palm pollen and water hyacinth compared to commercially available planting materials (peat moss) through pyrolysis and physical analysis (ash content), an environment of planting materials (pH and conductivity) and chemicals (nitrogen, phosphorus and potassium). The results showed that the ash content percentage of all three materials was in the range of 85.88- 95.55 %. The pH of planting material from oil palm pollen and water hyacinth is similar and is classified as highly alkaline, while peat

moss has an acidity value. The conductivity showed that hyacinths were the highest at 87.52 ds/m, followed by oil palm pollen at 28.2 ds/m and peat moss at 2.48 ds/m, respectively. The results of the macronutrient content test showed that potassium was the highest, followed by phosphorus and nitrogen the planting material produced from oil palm pollen contains the most nutrients. The results of this preliminary data analysis will help determine the optimal ratio for the production of planting material that will sustainably replace naturally sourced peat moss and also assist in the experimental design and development of planting material products from agricultural waste.

Keywords: Oil palm pollen, water hyacinth, peat moss, pyrolysis

1. บทนำ

ขยะอินทรีย์กลายเป็นปัญหาของประเทศไทยเนื่องจากมีปริมาณการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องผนวกกับความต้องการที่จะลดสัดส่วนการกำจัดขยะที่สามารถย่อยสลายเองได้จากหลุมฝังกลบจึงเป็นเหตุผลให้เกิดการเรียกร้องในการแก้ไขปัญหาและพัฒนาขยะเหล่านี้ให้เกิดความคุ้มค่าและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ประเทศไทยแล้วยังพบว่าหลายประเทศในสหภาพยุโรปซึ่งดูแลโดยคณะกรรมการยุโรป (EU) มีเป้าหมายร่วมกันคือการรีไซเคิลขยะจากครัวเรือนให้ได้ 65% ภายในปี 2030 [1] นั่นชี้ให้เห็นว่าขยะอินทรีย์กำลังกลายเป็นปัญหาสำคัญที่ทั่วโลกกำลังประสบอยู่ ขยะอินทรีย์จำนวนมากที่ได้มาจากการเกษตร พืชสวน หรืออุตสาหกรรมการประมง ถูกนำกลับมาใช้ใหม่โดยการทำปุ๋ยหมัก และทำถ่านชีวภาพหรือไบโอชาร์ (Biochar) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการปรับปรุงดินที่ได้จากกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนภายใต้สภาวะไพโรไลติก (สภาวะออกซิเจนหรือออกซิเจนต่ำ) [2,3] จากสถานการณ์ในปัจจุบันพบว่ามูลค่าพืชสวนที่ปรับตัวสูงขึ้นอาจเป็นแรงจูงใจที่ทำให้ประชาชนหันมาใช้วัสดุและผลิตภัณฑ์ที่มีพื้นผิวปราศจากดินสำหรับการเพาะปลูกทำสวนเองที่บ้านโดยวัสดุพื้นผิวที่ไร้อินทรีย์ประกอบด้วยส่วนผสมของอินทรีย์และอินทรีย์วัตถุซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานสำหรับการผลิตพืชผลที่ปลูกภายในเรือนกระจกและเรือนเพาะชำ [4]

ในปัจจุบันพีท (peat) เป็นส่วนประกอบอินทรีย์ที่ถูกนำมาใช้บ่อยที่สุดสำหรับเป็นส่วนผสมของวัสดุปลูกพืช เนื่องจากพีทมีคุณสมบัติที่เหมาะสม เช่น มีความพรุนสูง ความหนาแน่นรวมต่ำ และมีสารอาหารปริมาณมาก แต่อย่างไรก็ตามเริ่มมีการถกเถียงกันมากขึ้นเนื่องจากการขุดและสกัดเอาพีทออกมาใช้งานส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศของพื้นที่ชุ่มน้ำซึ่งเป็นพื้นที่ที่เปราะบางที่สุดในโลก [5] ถึงแม้ว่าพื้นที่ชุ่มน้ำจะมีเพียง 3% ของพื้นผิวโลก แต่กลับมีการสะสมคาร์บอนอินทรีย์ภาคพื้นดินเกือบหนึ่งในสามของโลกซึ่งเทียบเท่ากับสองในสามของคาร์บอนอินทรีย์ในชั้นบรรยากาศทั้งหมด และเป็นสองเท่าของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่พบในชีวมวลป่าไม้ทั่วโลก [6] ดังนั้นจึงเป็นที่ทราบกันดีว่าพื้นที่ป่าพรุเป็นแหล่งกักเก็บและสะสมของคาร์บอนอินทรีย์ แต่หากพื้นที่ดังกล่าวได้รับผลกระทบและถูกคุกคามจะส่งผลให้มีการปลดปล่อยอินทรีย์วัตถุออกมาอย่างรวดเร็วและกลายเป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก ปรากฏการณ์นี้ชี้ให้เห็นว่าพื้นที่พรุเขตร้อนอาจกลายเป็นแหล่งปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขนาดใหญ่ ดังนั้นในหลายประเทศจึงมีนโยบายลดการใช้พีทที่ผสมอยู่ในวัสดุปลูกพืชเพื่อเป็นการช่วยป้องกันพื้นที่ป่าพรุในธรรมชาติ ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นเร่งด่วนที่ต้องหาวัสดุทดแทนที่ใช้ในการปลูกพืช เมื่อเร็ว ๆ นี้ถ่านไบโอชาร์เป็นตัวเลือกที่ถูกแนะนำให้มีการใช้ทดแทนพีทเนื่องจากมีคุณสมบัติที่คล้ายคลึงกัน สำหรับสารอินทรีย์ที่เป็นคาร์บอนที่สามารถใช้เป็นถ่านไบโอชาร์ได้นั้นต้องเป็นไปตามคุณสมบัติที่ระบุไว้ในรับรองมาตรฐานของ European Biochar ด้วยเหตุนี้ชี้ให้เห็นว่าคุณสมบัติของถ่านไบโอชาร์จะขึ้นอยู่กับวัตถุดิบและสภาวะที่ใช้ในการผลิต การศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการนำไบโอชาร์หลายชนิดไปทำการทดสอบเพื่อแก้ไขปัญหาเรื่องดินซึ่งผลลัพธ์มีความแตกต่างกันออกไป แต่การศึกษาเกี่ยวกับการ

ใช้ไบโอชาร์ในพื้นที่ที่ไม่มีดินพบว่ายังมีน้อยมาก อย่างไรก็ตามก่อนที่วัสดุปลูกจะสามารถนำไปใช้กับพืชสวนได้นั้นจำเป็นจะต้องมีการประเมินผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชก่อน

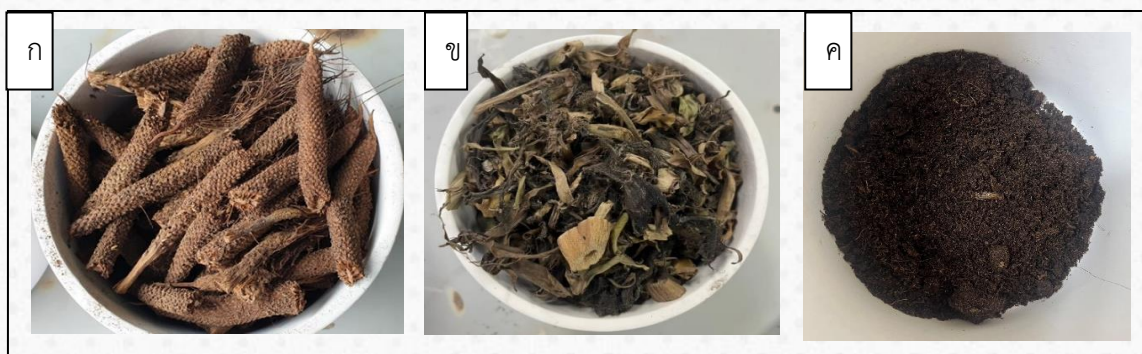
ประเทศไทยขึ้นชื่อว่าเป็นประเทศเกษตรกรรมประชากรแรงงานของประเทศเกือบร้อยละ 35 ทำงานในภาคการเกษตรโดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่ชนบทของไทยส่วนใหญ่ประชาชนหารายได้จากการจำหน่ายผลผลิตและผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่มาจาก การเพาะปลูก เลี้ยงสัตว์ และการรับจ้างทำการเกษตรเป็นหลัก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีประชากรที่ประกอบอาชีพทางการเกษตรมากที่สุด รองลงมาคือภาคเหนือ ภาคใต้ และภาคกลาง ผลผลิตทางการเกษตรของประเทศไทยสามารถส่งออกไปจำหน่ายให้กับต่างประเทศและสร้างรายได้เข้าสู่ประเทศเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง “ข้าว” ในปี พ.ศ. 2562 ไทยสามารถผลิตและส่งออกข้าวอยู่ในอันดับที่ 6 ของโลก รองจากจีน อินเดีย อินโดนีเซีย บังคลาเทศ และเวียดนาม ตามลำดับ โดยสามารถเก็บเกี่ยวได้ประมาณ 28 ล้านตัน ซึ่งคิดเป็นประมาณร้อยละ 3.8 ของผลผลิตข้าวโลก ดังนั้นวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดมาจากภาคเกษตรกรรมของประเทศไทยมีปริมาณค่อนข้างมากแม้ว่าหลายๆหน่วยงานพยายามพัฒนาและปรับปรุงวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้ให้สามารถนำกลับมาใช้งานและเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งแล้วก็ตาม แต่ยังคงพบว่าวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมากที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ให้คุ้มค่าได้ ผนวกกับวิธีการเพาะปลูกของเกษตรกรในประเทศมีการพัฒนาไปมาก หลายพื้นที่เริ่มใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการทำการเกษตรและมีการเพาะปลูกพืชในโรงเรือนและโรงเพาะชำสมัยใหม่ที่ไม่ต้องใช้พื้นผิวดินในการเพาะปลูก การทำเกษตรแบบนี้จึงมีส่วนในการนำพีทมามาใช้ในการเพาะปลูกค่อนข้างมาก ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้ทางผู้ร่วมวิจัยจึงเล็งเห็นปัญหาที่เกิดขึ้นต่อทรัพยากรป่าพรุ ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมต่อสถานะโลกร้อน ปัญหาต่อระบบนิเวศและความหลากหลายต่อสิ่งมีชีวิตบริเวณป่าพรุ และทางผู้วิจัยมีความคาดหวังว่าจะสามารถนำวัสดุเหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรมมาเพิ่มมูลค่าและสามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ในการเกษตรเพื่อทดแทนพีทที่นำมาจากพื้นที่ชุ่มน้ำเพื่อผลิตวัสดุและผลิตภัณฑ์ที่มีพื้นผิวปราศจากดินได้

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

2.1 การเตรียมวัสดุ

การศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุในขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของเกสรตัวผู้ของปาล์ม น้ำมัน ผักตบชวา และพีทมอส เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประกอบพิจารณาในการกำหนดอัตราส่วนผสมของวัสดุ ปลูกให้เหมาะสมต่อไป

2.1.1 นำวัสดุดิบที่ได้ไปตากให้แห้งตัวอย่างที่มีความชื้นสูงทำให้ตัวอย่างแห้งโดยการอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 - 8 ชั่วโมง หากครบเวลาที่กำหนดแต่ตัวอย่างยังไม่แห้งให้ทำการเพิ่มระยะเวลาในการอบต่อไปครั้งละ 1-2 ชั่วโมง จากนั้นทำให้ตัวอย่างมีขนาดเล็กลงเพื่อเหมาะต่อการบรรจุในคูชิเปิล



รูปที่ 1 (ก) เกสรปาล์มน้ำมัน (ข) ผักตบชวา และ (ค) พีทมอส

2.1.2 นำคูชิเบิลที่จัดเตรียมไว้เข้าเตาเผาอุณหภูมิสูง (Furnace) ตั้งอุณหภูมิที่ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

2.1.3 เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนดรอจนกว่าอุณหภูมิจะลดลงนำวัสดุปลูกที่ผ่านการเผาแบบไพโรไลซิสเก็บในภาชนะที่เตรียมไว้

2.2 วิธีการวิจัย

2.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (Ash) ตามวิธีของ AOAC (2000) Methods 923.03

(1) นำถั่วฝักยาวที่สะอาดไปเอาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบระยะเวลาย้ายถั่วฝักยาวไปไว้ในโถดูดความชื้นจนเย็นลงในระดับอุณหภูมิห้อง ใช้คีมคีบถั่วฝักยาวไปชั่งน้ำหนักให้ดำเนินการอย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิความชื้นกลับมา

(2) นำตัวอย่างแห้งที่เตรียมไว้ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งแบบละเอียด 2 กรัม ใส่ในถ้วยตวงที่ทำการบันทึกน้ำหนักหรือชั่งน้ำหนักออกแล้ว จากนั้นนำตัวอย่างทั้งหมดใส่ในเตาเผาที่ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จนได้เถ้าสีเทาอ่อนหรือสีขาว

(3) จากนั้นปิดเตาเผาให้อุณหภูมิปรับลดลงจนต่ำกว่า 250 องศาเซลเซียส เปิดเตาเผาค่อยๆ ปล่อยให้เย็นเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของเถ้าออกจากถ้วยเผา ใช้คีมคีบถ้วยเผาเพื่อนำไปใส่ในโถดูดความชื้นปล่อยให้เย็นจนกว่าถ้วยเผาจะเย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง ค่อยๆ เลื่อนฝาโถดูดความชื้นไปด้านข้างเล็กน้อยเพื่อปรับความดันภายนอกกับภายในให้เท่ากัน แล้วจึงค่อยเปิดฝาโถดูดความชื้นออก นำตัวอย่างทั้งหมดไปชั่งน้ำหนักบันทึกข้อมูล

$$\text{ร้อยละปริมาณเถ้า} = \frac{(\text{น้ำหนักเถ้า} + \text{น้ำหนักถ้วย}) - \text{น้ำหนักถ้วยเผา} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนใช้เถ้า}} \quad (1)$$

2.2.2 การวิเคราะห์สิ่งแวดล้อมวัสดุปลูก

(1) การวิเคราะห์ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ทำการเตรียมวิเคราะห์วัสดุปลูกทั้ง 3 ชนิดสำหรับการวิเคราะห์ การศึกษาครั้งนี้ใช้อัตราส่วนการวิเคราะห์ดิน:น้ำ อัตราส่วน 1:2 โดย ชั่งตัวอย่างดิน 10 กรัม ใส่ลงในปิกรเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไป 20 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วควมตัวอย่างให้เข้ากันวางทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นนำตัวอย่างไปวัดด้วยเครื่อง pH meter ทำการจดบันทึกผลการทดลอง

(2) การวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC)

เตรียมตัวอย่างวัสดุปลูกที่ทำกรวิเคราะห์ทั้ง 3 ชนิด จากนั้นชั่งตัวอย่าง 10 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร นำไปเขย่าเป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำตัวอย่างไปกรอง นำสารละลายดิน 1:10 ที่กรองได้ไปวัดค่าการนำไฟฟ้า (EC) ด้วยเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity meter)

2.2.3 การวิเคราะห์เคมี

วิธีวิเคราะห์ธาตุอาหารหลักในวัสดุปลูก โดยทำวิเคราะห์ธาตุอาหารหลักของพืช 3 ชนิด ประกอบด้วย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม การวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen; N) ทำโดยเทคนิคเจลดาล์ (Kjeldahl) วิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัส (Total P) ด้วยวิธีวานาโดมอลิบเดต โดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และวิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียม (Total K) โดยใช้เครื่องอะตอมมิคมิสชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผลจากการศึกษาพบว่าเกสรตัวผู้ของปาล์มน้ำมัน และผักตบชวาที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสมีลักษณะร่วนซุยถึงขั้นเป็นเถ้าละเอียดซึ่งสามารถนำมาใช้ในการศึกษาเพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการจัดทำวัสดุปลูกพืชที่ใช้ทดแทนพีทมอสที่วางขายตามท้องตลาดต่อไป โดยลักษณะของวัสดุที่เตรียมได้ดังรูปที่ 2



(ก)



(ข)

รูปที่ 2 ลักษณะของวัสดุปลูกที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิส (ก) เกสรตัวผู้ของปาล์มน้ำมัน (ข) ผักตบชวา สำหรับใช้เพื่อทดแทนพีทมอส

3.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (Ash)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเถ้าจากวัสดุที่จะนำมาใช้สำหรับปลูกพืชทั้ง 3 ชนิด พบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละเถ้าสูงที่สุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 95.55 รองลงมาคือร้อยละ 91.08 และร้อยละ 85.88 ซึ่งถูกตรวจพบในวัสดุจากพีทมอส เกสรปาล์มน้ำมัน และผักตบชวา ดังแสดงในตารางที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบค่าทั้งหมดจะพบว่าพีทมอสมีสัดส่วนประกอบของสารอนินทรีย์อยู่ในปริมาณสูง นอกจากนี้ตัวอย่างที่ได้จากการเผาแบบไพโรไลซิสจะกลายเป็นไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ สอดคล้องกับผลการศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักซึ่งตรวจพบว่าวัสดุปลูกที่มาจากพีทมอส และเกสรปาล์มน้ำมันมีปริมาณไนโตรเจนสูงที่สุดเช่นกัน ส่วนแร่ธาตุจะถูกเปลี่ยนให้กลายเป็นพวกออกไซด์ต่างๆ เช่น ซัลเฟต ฟอสเฟต คลอไรด์ เป็นต้น

ตารางที่ 1 ค่าปริมาณเถ้า (Ash) ของวัสดุปลูกพืช 3 ชนิด

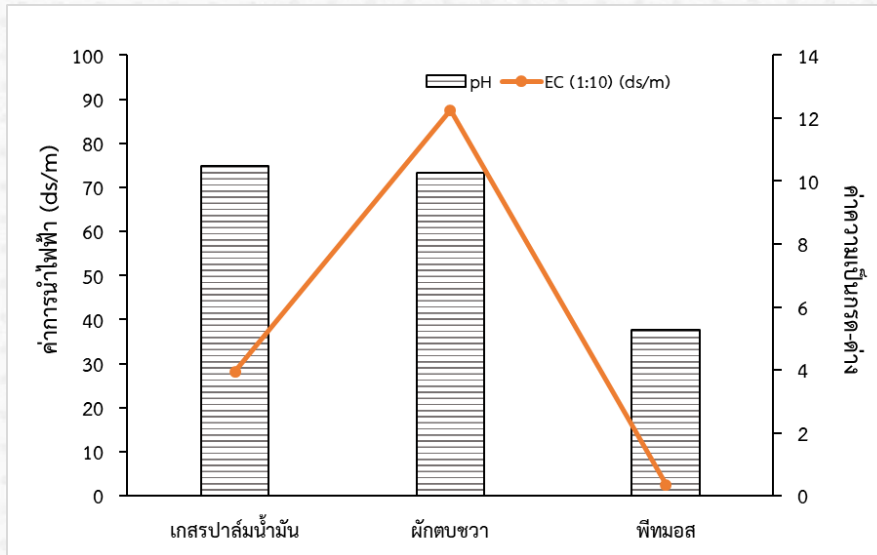
ชนิดของวัสดุปลูก	ร้อยละปริมาณเถ้า (%)
เกสรปาล์มน้ำมัน	91.09
ผักตบชวา	85.88
พีทมอส	95.55

3.2 ผลการวิเคราะห์สิ่งแวดล้อมวัสดุปลูก

ผลการทดสอบค่าความเป็นกรดต่างของวัสดุปลูกพืชทั้ง 3 ชนิด พบว่าวัสดุปลูกที่ทำมาจากเกสรปาล์มน้ำมันมีค่าเฉลี่ยของ pH เท่ากับ 10.48 ซึ่งเป็นค่าที่สูงที่สุด รองลงมาคือ ผักตบชวามีค่าเท่ากับ 10.26 และพีทมอสมีค่าเท่ากับ 5.26 เมื่อทำการเปรียบเทียบระดับความรุนแรงของความเป็นกรดเป็นด่างของวัสดุปลูก (Land Classification Division และ FAO Project Staff) [7] ค่าที่ได้แสดงให้เห็นว่าวัสดุปลูกจากเกสรปาล์มน้ำมัน และผักตบชวาจัดอยู่ในระดับเป็นด่างจัดมาก (very strongly alkaline) ในขณะที่พีทมอสอยู่ในระดับเป็นกรดจัด (strongly acid)

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าพบว่าวัสดุปลูกที่ทำมาจากผักตบชวามีค่าสูงที่สุดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 87.52 ds/m รองลงมาคือเกสรปาล์มน้ำมันมีค่าเท่ากับ 28.2 ds/m และพีทมอสมีค่าเท่ากับ 2.48 ds/m ผลที่ได้จากการทดลองบ่งชี้ให้เห็นว่าในวัสดุปลูกที่ทำมาจากผักตบชวามีค่าความเค็มค่อนข้างสูงซึ่งสัมพันธ์กับค่า pH ที่แสดงผลว่าวัสดุชนิดนี้มีค่าความ

เป็นต่างจัด ดังแสดงในรูปที่ 3 ผลที่ได้จะช่วยในการกำหนดอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการจัดทำวัสดุสำหรับปลูกพืชต่อไป นอกจากนี้ผลที่ได้จากการทดลองค่าการนำไฟฟ้ายังแสดงให้เห็นว่าวัสดุปลูกทั้ง 3 ชนิดมีธาตุอาหารหรือสารอาหารที่จำเป็นกับพืช

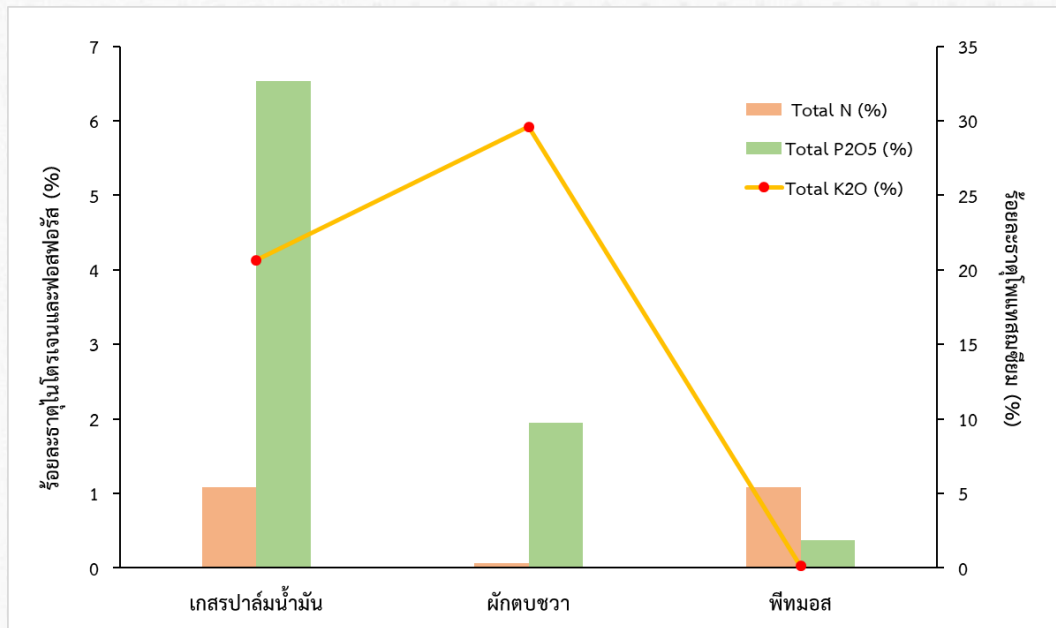


รูปที่ 3 ค่าความเป็นกรดต่างและค่าการนำไฟฟ้าจากวัสดุปลูก 3 ชนิด

3.3 ผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารหลัก

ผลการศึกษาปริมาณธาตุอาหารหลักประกอบด้วยธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมในวัสดุปลูกทั้ง 3 ชนิด พบว่า ค่าเฉลี่ยร้อยละของธาตุไนโตรเจนถูกตรวจสอบพบว่ามีค่ามากที่สุดเท่ากับ ร้อยละ 1.08 โดยตรวจพบว่ามีปริมาณเท่ากัน ในวัสดุปลูก 2 ชนิด คือเกสรปาล์มน้ำมัน และพีทมอส ในขณะที่ผักตบชวามีค่าไนโตรเจนอยู่ร้อยละ 0.06 วัสดุปลูกที่มีองค์ประกอบของไนโตรเจนสูงจะช่วยให้พืชเจริญเติบโต ระยะแรกจะช่วยส่งเสริมให้พืชโตได้เร็วทำกิ่งก้าน ใบ ลำต้น เจริญเติบโตได้ดี ขณะเดียวกันผลจากการทดสอบปริมาณฟอสฟอรัสในวัสดุปลูกทั้ง 3 ชนิด พบว่าเกสรปาล์มน้ำมันมีค่าฟอสฟอรัสอยู่ในปริมาณสูงที่สุดคือ ร้อยละ 6.53 รองลงมาคือ ผักตบชวา และพีทมอส โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 1.95 และ ร้อยละ 0.13 ตามลำดับ สำหรับวัสดุปลูกที่มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงนั้นจะช่วยให้การส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชและช่วยเรื่องการแพร่กระจายของรากในช่วงระยะแรกของการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ฟอสฟอรัสยังช่วยสังเคราะห์สารอินทรีย์และโปรตีนที่สำคัญสำหรับพืช

และผลจากการวิเคราะห์ธาตุอาหารหลักตัวสุดท้ายสำหรับการศึกษาคั้งนี้คือ ธาตุโพแทสเซียมพบว่าปริมาณโพแทสเซียมที่ตรวจพบจากวัสดุปลูกทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 29.6 รองลงมาคือร้อยละ 20.64 และ ร้อยละ 0.13 โดยตรวจพบในวัสดุปลูกที่มาจาก ผักตบชวา เกสรปาล์มน้ำมัน และพีทมอส ตามลำดับ วัสดุปลูกที่มีปริมาณของโพแทสเซียมสูงมีผลสำคัญต่อพืชในกระบวนการต่างๆของเซลล์พืช โดยเฉพาะการสังเคราะห์แสงและการเคลื่อนย้ายน้ำตาล และแป้งจากใบพืชไปยังส่วนต่างๆ นอกจากนี้โพแทสเซียมยังมีความสำคัญต่อกระบวนการเปิดปิดปากใบและการหายใจ ดังนั้นสำหรับวัสดุที่เหมาะสมต่อการเพาะต้นกล้าจำเป็นต้องมีโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย จากการทดสอบธาตุอาหารหลักพบว่าวัสดุทั้ง 3 ชนิดมีธาตุอาหารที่มีความจำเป็นต่อพืชเป็นองค์ประกอบทั้งสิ้นดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ร้อยละปริมาณธาตุอาหารหลักประกอบด้วยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมจากวัสดุปลูกทั้ง 3 ชนิด

4. บทสรุป

จากการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรเพื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของฟีดหมอสที่มีจำหน่ายในท้องตลาดพบว่าร้อยละความเป็นเถ้าของเกสรปาล์มน้ำมัน ผักตบชวา และฟีดหมอสมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 95.55 ร้อยละ 91.09 และร้อยละ 85.88 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์สิ่งแวดล้อมของวัสดุปลูกทั้ง 3 พบว่าค่า pH ของวัสดุปลูกจาก เกสรปาล์มน้ำมันและผักตบชวามีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในระดับค่าความเป็นด่างจัด ขณะที่ฟีดหมอสมีค่าความเป็นกรด ค่าการนำไฟฟ้าพบว่าผักตบชวามีค่าสูงที่สุด อย่างไรก็ตามวัสดุปลูกทั้ง 3 ชนิด ตรวจพบค่าการนำไฟฟ้าแสดงให้เห็นว่ามีส่วนประกอบของสารอาหารที่ขอยู่ในวัสดุปลูกดังกล่าว นอกจากนี้ผลการศึกษาธาตุอาหารหลักที่จำเป็นสำหรับพืชในวัสดุปลูกทั้ง 3 ชนิด พบว่า โพแทสเซียมมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ ฟอสฟอรัส และไนโตรเจนตามลำดับ โดยวัสดุปลูกที่ผลิตมาจากเกสรปาล์มน้ำมัน มีธาตุอาหารมากที่สุด การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นนี้จะช่วยให้สามารถกำหนดอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการผลิต วัสดุปลูกที่จะนำมาใช้ทดแทนฟีดหมอสที่มาจากธรรมชาติได้และยังช่วยในการออกแบบทดลองเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์วัสดุปลูก จากของเหลือทิ้งทางการเกษตรต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณผ่านกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประจำปี งบประมาณ พ.ศ. 2566 สัญญารับทุนเลขที่ 4232827 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Nocentini M, Panettieri M, Garcia de Castro Barragan J, Mastrodonato G, Knicker H. Recycling pyrolyzed organic waste from plant nurseries, rice production and shrimp industry as peat substitute in potting substrates. *Journal of Environmental Management*. 277 (2021) 111436.
- [2] Sohi S.P, Krull E, Lopez-Capel E, Bol R. A review of biochar and its use and function in soil. *Advances in Agronomy*. Academic Press Inc. (2010) 47–82.
- [3] Lehmann J. A handful of carbon. *Nature* 447 (2007) 143–144.

- [4] Bilderback T.E, Warren S.L, Owen J, Albano J. Healthy substrates need physicals too! HortTechnology 15. (2005) 747–751.
- [5] Clarke D, Rieley J. Strategy for Responsible Peatland Management, sixth ed. International Peatland Society, Jyväskylä, Finland. (2019)
- [6] Dunn C, Freeman C. Peatlands: our greatest source of carbon credits? Carbon Manag. 2. (2011). 289–301.
- [7] Land Classification Division and FAO Project Staff. Soil Interpretation Handbook for Thailand. Dept. of Land Development, Min.of Agri. and Coop., Bangkok. (1973) 135.

การศึกษาและพัฒนาสูตรน้ำยาเคลือบผิวกระจกที่มีสมบัติเป็นสารสะท้อนน้ำ

Study and Development of a Coating Formula for Glass Surfaces with Water-Reflective Properties

อรจิรา อารักษ์สกุลวงศ์^{1*} และ รัชกฤษ ปัทมโสภาสกุล¹

¹ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

*E-mail: ornjira.a@rsu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาชนิดและความเข้มข้นที่เหมาะสมของตัวทำละลายน้ำและเอทานอลในการพัฒนาสูตรน้ำยาเคลือบผิวกระจกที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำหรือที่เรียกว่าสมบัติสะท้อนน้ำ โดยใช้พอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ได้แก่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) พอลิอะคริลิกแอซิด (PAA) และเฮกซะเดซิลไตรเมทอกซีไซเลน (HDTMS) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาความสามารถในการละลายสถานะที่เหมาะสมในการละลาย โดยใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำกลั่นและเอทานอล จากนั้นทดสอบสมบัติการสะท้อนน้ำโดยศึกษาหาค่ามุมสัมผัสหยดน้ำ (contact angle) จากชุดเครื่องมือวัดค่ามุมสัมผัสหยดน้ำ ศึกษาหาความหนืด และความคงทนในการใช้งานเป็นเวลา 5 วัน เปรียบเทียบผลการทดลองและประสิทธิภาพการสะท้อนน้ำกับสารเคลือบกระจกที่ผลิตจากพอลิไดเมทิลไซลอกเซน (PDMS) ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยาเคลือบกระจกในปัจจุบัน ผลการทดลองพบว่าสาร HDTMS มีค่ามุมสัมผัสหยดน้ำมากที่สุดทั้งในตัวทำละลายที่เป็นน้ำกลั่นและเอทานอล ผู้วิจัยจึงนำสาร HDTMS มาเตรียมเป็นน้ำยาเคลือบผิวกระจกและทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสะท้อนน้ำกับสารเคลือบกระจกที่ผลิตจาก PDMS ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยาเคลือบกระจกในปัจจุบัน นอกจากนี้ผู้วิจัยได้เตรียมน้ำยาเคลือบผิวกระจกจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และแอมโมเนียม ลอริล ซัลเฟต (ALS) เพื่อใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบด้วย จากการทดลองพบว่าน้ำยาเคลือบผิวกระจกที่เตรียมจาก HDTMS มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับน้ำยา PDMS มากที่สุด ทั้งค่ามุมสัมผัสหยดน้ำ ค่าความหนืด และความคงทนในการใช้งาน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสาร HDTMS มีสมบัติที่สามารถนำมาผลิตเป็นสารเคลือบผิวกระจกเพื่อทำให้พื้นผิวกระจกมีสมบัติไม่ชอบน้ำหรือมีสมบัติสะท้อนน้ำเพื่อป้องกันการเกาะติดพื้นผิวของหยดน้ำได้

คำสำคัญ: สมบัติสะท้อนน้ำ สารเคลือบผิวกระจก เฮกซะเดซิลไตรเมทอกซีไซเลน พอลิไดเมทิลไซลอกเซน

Abstract

This research aims to study and develop a formula for glass coatings with hydrophobic properties, known as water reflection properties. Various polymers were used, including polyvinyl alcohol (PVA), polyacrylic acid (PAA), and hexadecyltrimethoxysilane (HDTMS). In this research, the solubility and optimum conditions of solubility were studied. The solvents used were distilled water and ethanol. After that, the water reflection property was tested by studying the contact angle value from the contact angle measuring tool. In addition, the viscosity and durability in use for 5 days were studied, comparing the experimental results and the performance of water reflection with glass coatings produced from

polydimethylsiloxane (PDMS), which is currently used in the glass coating industry. The results showed that HDTMS had the highest water droplet contact angle in both distilled water and ethanol solvents. Therefore, the researcher prepared HDTMS as a glass coating solution and compared the water reflection performance with glass coatings produced from PDMS. In addition, the researcher prepared glass coatings from polyvinyl alcohol (PVA) and ammonium lauryl sulfate (ALS) for comparative studies. From the experiment, it was found that the glass coating prepared from HDTMS had the performance similar to that of PDMS in terms of water droplet contact angle, viscosity and durability in use. Therefore, it can be seen that HDTMS has properties that can be used to produce a glass coating to make the glass surface have hydrophobic properties or reflect water properties to prevent the adhesion of water droplets to the surface.

Keywords: Water-reflective properties, glass surface coating, hexadecyltrimethoxysilane, polydimethylsiloxane

1. บทนำ

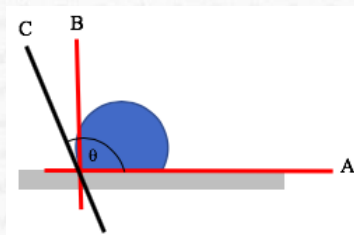
วัสดุประเภทกระจกนับเป็นวัสดุที่เข้ามามีบทบาทในวงการอุตสาหกรรมด้านต่างๆ มากขึ้นเรื่อยๆ เช่น งานก่อสร้าง สถาปัตยกรรม ที่พักอาศัย อาคารสำนักงาน อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น ซึ่งถือได้ว่าปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะใช้กระจกในงานด้านต่างๆ เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสร้างตึกสูงนิยมใช้กระจกเป็นอย่างมาก เพื่อลดพื้นที่การก่อสร้างและใช้กระจกเป็นส่วนประกอบของอาคารทั้งในลักษณะของผนังโปร่งแสงและหลังคาโปร่งแสง

กระจกเป็นวัสดุที่ผลิตมาจากวัตถุดิบหลักๆ คือ ทรายแก้ว (Silica sand) ประมาณ 60% โซดาแอส (Soda ash) หรือโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ประมาณ 20% แร่ธาตุจำพวกหินปูน เช่น หินฟันม้า (Feldspar) หินโดโลไมต์ (Dolomite) และส่วนประกอบที่เหลืออื่นๆ เช่น ผงคาร์บอน ผงเหล็ก โซเดียมซัลเฟต สารเคมีอื่นๆ ฯลฯ ซึ่งกระบวนการผลิตจะต้องนำวัตถุดิบต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้นผสมเข้าด้วยกัน แล้วนำส่วนผสมนี้ไปให้ความร้อนในเตาที่มีอุณหภูมิสูง 1,500 องศาเซลเซียสจนวัตถุดิบทั้งหมดหลอมละลายเป็นของเหลวได้เป็นน้ำกระจก หลังจากนั้นก็ปรับอุณหภูมิให้ลดลงจนเหลือประมาณ 1,100 องศาเซลเซียส เพื่อให้ น้ำกระจกนี้มีความหนืดพอเหมาะ ก่อนที่จะนำไปขึ้นรูปเป็นรูปร่างต่างๆ [1] ดังนั้นองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของกระจกก็จะเป็น ซิลิกา (silica) หรือที่เรียกว่า ซิลิกอนไดออกไซด์ (silicon dioxide) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของทรายแก้ว และจะมีองค์ประกอบเสริมอื่นๆ เช่น ฟอสเฟต (phosphates) เพื่อเพิ่มความแข็งแรง โบรอน (boron) เพื่อปรับเปลี่ยนสมบัติทางอุณหภูมิ และตัวเพิ่มระบบทางสี (coloring agents) เพื่อให้กระจกมีสีหรือความโปร่งใสตามต้องการ นอกจากนี้กระจกยังสามารถเคลือบผิวด้วยชั้นบางๆ เช่น ดีบุก (tin) หรืออะลูมิเนียม (aluminum) เพื่อให้มีคุณสมบัติที่เฉพาะเจาะจง เช่น ประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงสูง (high reflectivity) หรือความทึบแสง (opacity) และสามารถเติมสารเคมีอื่นๆ เข้าไปในโครงสร้างของกระจกเพื่อเพิ่มคุณสมบัติเฉพาะอื่นๆ ตามต้องการ

ถึงแม้ว่ากระจกจะเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในสิ่งต่างๆ ที่อยู่รอบตัวเรา ถูกนำมาใช้ในงานด้านต่างๆ มากมาย อย่างไรก็ตามปัญหาหลักที่เกิดจากการใช้กระจก คือ สกปรกง่ายทั้งจากฝุ่นละอองและน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำจะทำให้กระจกเป็นคราบและทำให้เกิดฝ้าขึ้นได้ การทำความสะอาดก็อาจจะยุ่งยากหลายขั้นตอน และมีค่าใช้จ่ายสูงในบางกรณี เช่น กรณีการใช้กระจกเป็นผนังของอาคารสูงการทำความสะอาดก็จะยุ่งยากเสี่ยงอันตรายและมีค่าใช้จ่ายสูง รวมถึงการใช้กระจกเป็นส่วนประกอบหลักของแผงโซลาร์เซลล์ หรือในกรณีการใช้กระจกเป็นส่วนประกอบในรถยนต์ซึ่งกระจกมักสกปรกด้วยน้ำฝนหรือการเกาะติดกับน้ำฝนในระหว่างการขับขี่ขณะที่ฝนตกอาจทำให้ทัศนวิสัยในการมองเห็นของผู้ขับขี่ลดลง และเสี่ยงต่อการ

เกิดอุบัติเหตุ ดังนั้นจึงมีการพัฒนาสารเคลือบผิวกระจกเพื่อเพิ่มสมบัติไม่ชอบน้ำลดการเกาะติดของน้ำทำให้กระจกไม่เปียกน้ำก็จะลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุจากการขับขี่รถยนต์ขณะฝนตกได้ ในปัจจุบันน้ำยาเคลือบผิวกระจกรถยนต์ส่วนใหญ่ที่ขายในท้องตลาดจะมีองค์ประกอบหลักเป็นสารจำพวกน้ำมันซิลิโคนชนิดต่างๆ เช่น พอลิไดเมทิลซิลอกเซน (PDMS) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่โมเลกุลไม่มีขั้วจึงมีสมบัติสะท้อนน้ำได้ดี และยังเป็นฉนวนกันความร้อนได้อีกด้วย

ในการพิจารณาการเปียกของของเหลวบนพื้นผิวของของแข็งจะนิยามวัดความเปียกด้วย มุมสัมผัส (contact angle) ซึ่งคือมุมระหว่างหยดของของเหลวเทียบกับพื้นผิวของของแข็ง ณ จุดที่ผิวทั้งสองเกาะติดกันดังภาพที่ 1 โดยค่ามุมสัมผัสจะขึ้นอยู่กับแรงสองชนิด คือ แรงยึดติด (Adhesive force) ระหว่างของเหลวและของแข็งจะทำให้ของเหลวกระจายตัวไปทั่วพื้นผิวของของแข็ง และแรงเชื่อมแน่น (Cohesive force) ภายในของเหลวจะทำให้ของเหลวเกาะกันเป็นทรงกลมและไม่สัมผัสกับพื้นผิวของของแข็ง โดยมุมสัมผัสจะแปรผกผันกับความสามารถในการกระจายตัวของของเหลว โดยทั่วไปมุมสัมผัสที่น้อยกว่า 90 องศา หมายถึง ภาวะการเปียกของพื้นผิวอยู่ในระดับดีมาก และของเหลวจะกระจายตัวออกไปเป็นบริเวณกว้างบนพื้นผิวของของแข็ง มุมสัมผัสที่มากกว่า 90 องศา จะหมายถึง ภาวะการเปียกของพื้นผิวอยู่ในระดับไม่ดี และของเหลวจะสัมผัสกับพื้นผิวของแข็งเพียงเล็กน้อยและจะก่อตัวเป็นทรงหยดน้ำค้าง ซึ่งถ้าของเหลวเป็นน้ำพื้นผิวที่มีการกระจายตัวของน้ำได้ดีจะถูกเรียกว่า Hydrophilic และพื้นผิวที่มีการกระจายตัวของน้ำไม่ดีจะถูกเรียกว่า Hydrophobic [2]



ภาพที่ 1 การวัดค่ามุมสัมผัส (contact angle)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาและพัฒนาสูตรน้ำยาเคลือบผิวกระจกที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ หรือที่เรียกว่าสมบัติสะท้อนน้ำ โดยทำการทดลองกับพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ได้แก่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) พอลิอะคริลิกแอซิด (PAA) และเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีไฮเลน (HDTMS) [3] รวมถึงพอลิไดเมทิลซิลอกเซน (PDMS) ซึ่งพอลิเมอร์ที่นำมาทดลองในงานวิจัยนี้เป็นพอลิเมอร์ที่โมเลกุลไม่มีขั้ว ทำให้มีความสามารถในการป้องกันการเปียกน้ำ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการสะท้อนน้ำและการนำมาเตรียมเป็นน้ำยาเคลือบผิวกระจกเพื่อให้พื้นผิวกระจกมีสมบัติไม่ชอบน้ำ โดยผู้วิจัยจะเปรียบเทียบความสามารถในการสะท้อนน้ำด้วยการวัดค่ามุมสัมผัสหยดน้ำ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเปรียบเทียบความหนืด และความคงทนในการใช้งาน เพื่อพัฒนาเป็นน้ำยาเคลือบผิวกระจกที่มีประสิทธิภาพในการใช้งานต่อไป

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

2.1 การศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการสะท้อนน้ำของสารละลาย PVA PAA และ HDTMS ในน้ำและเอทานอล

เตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) สารละลายพอลิอะคริลิกแอซิด (PAA) และสารละลายเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีไฮเลน (HDTMS) ในตัวทำละลาย 2 ชนิด คือ น้ำและเอทานอล ให้มีความเข้มข้น 3% 5% และ 7% โดยมวลต่อปริมาตร ซึ่งจากการเตรียมสารละลายพบว่าสารละลายพอลิอะคริลิกแอซิด (PAA) ในน้ำที่ความเข้มข้น 7% โดยมวลต่อปริมาตร สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ในเอทานอลทั้งสามความเข้มข้น รวมถึงสารละลายพอลิอะคริลิกแอซิด (PAA) ในเอทานอลที่ความเข้มข้น 5% และ 7% โดยมวลต่อปริมาตร ไม่สามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้จึงไม่สามารถนำมาทดลองในขั้นตอนต่อไปได้ จากนั้นนำสารละลายที่เตรียมได้ทั้งหมดมาหาค่ามุมสัมผัสหยดน้ำโดยทำความสะอาดพื้นผิว

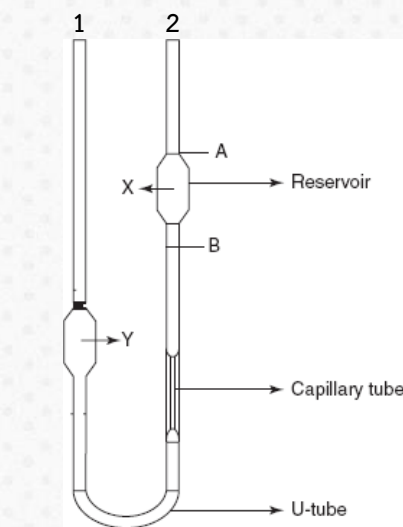
กระจกด้วยน้ำยาล้างจานและน้ำสะอาดจากนั้นทำการกระจกให้แห้งด้วยเครื่องเป่าลมเป่าให้ความร้อน (ใช้ความร้อนระดับต่ำที่สุด) จนกระจกแห้ง จากนั้นนำผ้าไมโครไฟเบอร์ชุบสารตัวอย่างพองมาตามเข็มนาฬิกาบนกระจกที่แห้งสนิท เช็ดถูไปในทางเดียวกัน นำเครื่องเป่าลมมาเป่าให้ความร้อนอีกครั้งเพื่อทำให้กระจกที่เช็ดด้วยสารตัวอย่างแห้งสนิท [4] แล้วหยดน้ำลงบนแผ่นกระจก ถ่ายรูป และวัดค่ามุมสัมผัสหยดน้ำที่เกิดขึ้น ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย โดยจะต้องทำความสะอาดพื้นผิวกระจกด้วยน้ำยาล้างจานก่อนหยดน้ำลงบนพื้นผิวกระจกทุกครั้ง

2.2 การศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการสะท้อนน้ำของน้ำยาเคลือบผิวกระจกสูตรต่างๆ

จากการศึกษาสูตรน้ำยาเคลือบผิวกระจกเพื่อให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำที่ขายกันตามท้องตลาดพบว่าน้ำยาเคลือบผิวกระจกส่วนใหญ่ผลิตจากพอลิไดเมทิลไซลอกเซน (PDMS) ผู้วิจัยจึงได้ใช้สูตรการผลิตน้ำยาเคลือบผิวกระจกที่ขายกันตามท้องตลาด และได้ปรับเปลี่ยนสารตั้งต้นจาก PDMS เป็น HDTMS PVA และ แอมโมเนียม ลอริล ซัลเฟต (ALS) โดยเตรียมสารละลาย PDMS เข้มข้น 0.50%V/V ลงในตัวทำละลายไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 10%V/V และกรดอะซิติกเข้มข้น 0.1% V/V จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงในสารละลายผสมเพื่อปรับปริมาตรให้เป็น 100.00 มิลลิลิตร แล้วกวนสารละลายผสมที่ได้ด้วยเครื่องกวนแท่งแม่เหล็กความเร็วระดับ 2 เป็นเวลา 10 นาที จะได้น้ำยาเคลือบผิวกระจกจากพอลิไดเมทิลไซลอกเซน ปริมาตร 100.00 มิลลิลิตร ทำการเตรียมสารละลายเช่นเดียวกันนี้แต่เปลี่ยนจากสารละลาย PDMS เป็นสารละลาย HDTMS PVA และ ALS เข้มข้น 0.50%V/V แทน ก็จะได้น้ำยาเคลือบผิวกระจกทั้งหมด 4 สูตรจากสารตั้งต้น 4 ชนิด จากนั้นนำน้ำยาเคลือบผิวกระจกทั้ง 4 สูตรที่เตรียมได้มาหาค่ามุมสัมผัสหยดน้ำด้วยวิธีเดียวกันกับข้อ 2.1

2.3 การศึกษาเปรียบเทียบความหนืดของสารละลาย

นำน้ำยาเคลือบผิวกระจกทั้ง 4 สูตรที่เตรียมได้ในข้อ 2.2 มาเปรียบเทียบความหนืด โดยใช้ Capillary viscometer [5] โดยนำ Capillary viscometer มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำยาล้างจาน ตามด้วยอะซิโตนแล้วเป่าลมร้อนจากเครื่องเป่าลมเพื่อให้แห้ง จากนั้นนำ Capillary viscometer ตั้งให้อยู่ในแนวตั้ง ปิดตสารตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร ใส่ลงใน Capillary viscometer และใช้ลูกยางดูดสารตัวอย่างให้ระดับสารตัวอย่างอยู่เหนือกระเปาะ X ที่ขีด Aพอดี ใช้นิ้วมืออุดปลายหลอดหมายเลข 2 เพื่อไม่ให้สารตัวอย่างภายในหลอดเกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับของเหลว เริ่มจับเวลาเมื่อปล่อยนิ้วออกจากปลายหลอดหมายเลข 2 เพื่อให้สารตัวอย่างไหลลงจากขีด A และหยุดจับเวลาเมื่อสารตัวอย่างไหลลงถึงขีด B บันทึกเวลาในการไหลของสารตัวอย่าง ทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง นำค่าระยะเวลาที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 2 ชุดเครื่องมือ Capillary viscometer

2.4 การศึกษาความคงทนในการใช้งาน

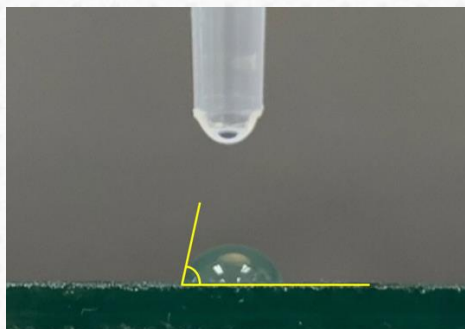
ทำความสะอาดพื้นผิวกระจกด้วยน้ำยาล้างจานและน้ำสะอาดจากนั้นทำกระจกให้แห้งด้วยเครื่องเป่าผมเป่าให้ความร้อน (ใช้ความร้อนระดับต่ำที่สุด) จนกระจกแห้ง จากนั้นนำผ้าไมโครไฟเบอร์ชุบสารตัวอย่างพอลิเมอร์มาเช็ดลงบนกระจกที่แห้งสนิท เช็ดถูไปในทางเดียวกัน นำเครื่องเป่าผมมาเป่าให้ความร้อนอีกครั้งเพื่อทำให้กระจกที่เช็ดด้วยสารตัวอย่างแห้งสนิท ทำการวัดค่ามุมสัมผัสหยดน้ำด้วยวิธีการเช่นเดียวกับข้อ 2.1 ติดต่อกันเป็นระยะเวลา 5 วัน โดยทำการเคลือบผิวกระจกด้วยสารตัวอย่างแค่เพียง 1 ครั้งเท่านั้นในวันแรกที่เริ่มทำการทดสอบ

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ผลการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการสะท้อนน้ำของสารละลาย PVA PAA และ HDTMS ในน้ำและเอทานอล

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสหยดน้ำบนผิวกระจกที่ถูกเคลือบด้วยสารละลาย PVA PAA และ HDTMS ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ โดยมีน้ำเป็นตัวทำละลาย

สารตั้งต้น	ความเข้มข้น	ค่ามุมสัมผัสหยดน้ำบนพื้นผิวกระจกที่ (องศา)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
PVA	3%W/V	33.0	39.0	38.0	36.7 ± 3.2
PVA	5%W/V	56.0	59.0	60.0	58.3 ± 2.1
PVA	7%W/V	61.0	61.0	60.0	60.7 ± 0.6
PAA	3%W/V	40.0	40.0	40.0	40.0 ± 0.0
PAA	5%W/V	56.0	60.0	59.0	58.3 ± 2.1
HDTMS	3%V/V	59.0	60.0	59.0	59.3 ± 0.6
HDTMS	5%V/V	66.0	68.0	64.0	66.0 ± 2.0
HDTMS	7%V/V	67.0	67.0	65.0	66.3 ± 0.6



ภาพที่ 3 ภาพถ่ายหยดน้ำที่หยดลงบนพื้นผิวกระจกที่เคลือบด้วยสารละลาย HDTMS ในน้ำที่ความเข้มข้น 7%V/V

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาและพัฒนาสูตรน้ำยาเคลือบผิวกระจกที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำหรือที่เรียกว่าสมบัติสะท้อนน้ำ โดยผู้วิจัยเลือกใช้สารตั้งต้นเป็นพอลิเมอร์ 3 ชนิด ได้แก่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) พอลิอะคริลิกแอซิด (PAA)

และเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีไซเลน (HDTMS) ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาความสามารถในการละลายเพื่อเตรียมสารละลายที่จะนำไปหาค่ามัมสัมผัสน้ำ โดยใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำกลั่นและเอทานอล จากผลการทดลองพบว่าสารละลายพอลิอะคริลิกแอซิด (PAA) ในน้ำที่ความเข้มข้น 7% โดยมวลต่อปริมาตร สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ในเอทานอลทั้งสามความเข้มข้น รวมถึงสารละลายพอลิอะคริลิกแอซิด (PAA) ในเอทานอลที่ความเข้มข้น 5% และ 7% โดยมวลต่อปริมาตร ไม่สามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกันได้จึงไม่สามารถนำมาใช้ในสูตรน้ำยาเคลือบผิวกระจกได้ ส่วนสารตัวอย่างที่สามารถละลายเข้าด้วยกันได้ก็จะนำไปหาค่ามัมสัมผัสน้ำได้ผลการทดลองดังตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่ามัมสัมผัสน้ำบนผิวกระจกที่ถูกเคลือบด้วยสารละลาย PAA และ HDTMS ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ โดยมีเอทานอลเป็นตัวทำละลาย

สารตั้งต้น	ความเข้มข้น	ค่ามัมสัมผัสน้ำบนพื้นผิวกระจก (องศา)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
PAA	3%W/V	42.0	42.0	33.0	39.0 ± 5.2
HDTMS	3%V/V	64.0	61.0	62.0	62.3 ± 1.5
HDTMS	5%W/V	69.0	67.0	67.0	67.7 ± 1.2
HDTMS	7%V/V	67.0	69.0	70.0	68.7 ± 1.5

จากการทดลองวัดค่ามัมสัมผัสน้ำบนผิวกระจกที่ถูกเคลือบด้วยสารละลาย PVA PAA และ HDTMS ที่ความเข้มข้น 3% 5% และ 7% โดยมีน้ำเป็นตัวทำละลาย พบว่าสารละลาย HDTMS ในน้ำมีค่ามัมสัมผัสน้ำมากที่สุด นั่นแสดงให้เห็นว่าสารละลาย HDTMS มีสมบัติไม่ชอบน้ำมากที่สุด ซึ่งสามารถสังเกตได้จากการละลายเมื่อนำสาร HDTMS ละลายในน้ำจะมีลักษณะเป็นชั้นน้ำมันไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำ อีกทั้งสาร HDTMS เป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้ว เมื่อนำมาเคลือบผิวกระจกจึงทำให้พื้นผิวกระจกมีสมบัติไม่ชอบน้ำหรือไม่มีขั้วด้วย ในขณะที่สารละลาย PVA และ PAA ที่ความเข้มข้นต่างๆ สามารถรวมตัวกับน้ำได้ดี เนื่องจากสาร PVA และ PAA เป็นพอลิเมอร์ที่มีขั้ว เมื่อนำไปละลายในน้ำจะได้สารละลายใส ไม่มีสี ดังนั้นเมื่อวัดมัมสัมผัสน้ำจะพบว่าค่ามัมสัมผัสน้ำมีค่าน้อย แสดงให้เห็นว่าสารละลายทั้งสองชนิดนี้มีสมบัติไม่ชอบน้ำน้อยกว่าสารละลาย HDTMS นอกจากนี้จากผลการทดลองยังพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย HDTMS จะมีผลทำให้ค่ามัมสัมผัสน้ำเพิ่มขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเป็น 7% พบว่าค่ามัมสัมผัสน้ำเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ในขณะที่เมื่อพิจารณาผลการทดลองในตารางที่ 2 พบว่าสารละลาย HDTMS มีค่ามัมสัมผัสน้ำมากกว่าสารละลาย PAA ถึง 2 เท่า นั่นแสดงให้เห็นว่าสารละลาย HDTMS มีสมบัติไม่ชอบน้ำมากกว่า PAA ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายพบว่ามัมสัมผัสน้ำเมื่อใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายมีค่ามากกว่าเมื่อใช้น้ำเป็นตัวทำละลายเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากสาร HDTMS สามารถละลายในเอทานอลได้ดีกว่าน้ำ จึงทำให้ได้ประสิทธิภาพในการสะท้อนน้ำเมื่อนำสารละลายไปเคลือบผิวกระจกมากกว่าด้วย

3.2 ผลการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการสะท้อนน้ำของน้ำยาเคลือบผิวกระจกสูตรต่างๆ

จากการศึกษาสูตรน้ำยาเคลือบผิวกระจกเพื่อให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำที่ขายนันตามท้องตลาดพบว่าน้ำยาเคลือบผิวกระจกส่วนใหญ่ผลิตจากพอลิไดเมทิลไซลอกเซน (PDMS) ผู้วิจัยจึงได้ใช้สูตรการผลิตน้ำยาเคลือบผิวกระจกที่ขายนันตามท้องตลาด และได้ปรับเปลี่ยนสารตั้งต้นจาก PDMS เป็น HDTMS PVA และ ALS เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสะท้อนน้ำของสารตั้งต้นที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสหยดน้ำบนผิวกระจกที่ถูกเคลือบด้วยน้ำยา PDMS น้ำยา HDTMS น้ำยา PVA และน้ำยา ALS

สารตัวอย่าง	ค่ามุมสัมผัสหยดน้ำบนพื้นผิวกระจก (องศา)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
น้ำยา PDMS	90.0	90.0	90.0	90.0 ± 0.0
น้ำยา HDTMS	80.0	78.0	80.0	79.3 ± 1.2
น้ำยา PVA	54.0	55.0	57.0	55.3 ± 1.5
น้ำยา ALS	77.0	77.0	76.0	76.7 ± 0.6

จากผลการทดลองในตารางที่ 3 พบว่าน้ำยา PDMS ซึ่งเป็นน้ำยาเคลือบผิวกระจกที่ขายตามท้องตลาดสามารถวัดค่ามุมสัมผัสหยดน้ำได้มากที่สุด คือ 90.0 ± 0.0 องศา รองลงมา คือ น้ำยา HDTMS น้ำยา ALS และน้ำยา PVA ตามลำดับ ซึ่งน้ำยา HDTMS มีค่ามุมสัมผัสหยดน้ำใกล้เคียงกับน้ำยา PDMS มากที่สุด แสดงให้เห็นว่าสาร HDTMS มีสมบัติไม่ชอบน้ำเหมือนกับสาร PDMS และมีประสิทธิภาพการสะท้อนน้ำใกล้เคียงกัน สามารถนำมาใช้ในการเคลือบพื้นผิวกระจกเพื่อให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำได้เช่นเดียวกับกับสาร PDMS

3.3 ผลการศึกษาเปรียบเทียบความหนืดของสารละลาย

ในการศึกษาและพัฒนาน้ำยาเคลือบผิวกระจกความหนืดเป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการเคลือบพื้นผิวกระจก เนื่องจากถ้าน้ำยาเคลือบผิวกระจกมีความหนืดมากเกินไปอาจเป็นอุปสรรคในการใช้งาน ทำให้การเคลือบพื้นผิวกระจกทำได้ยากขึ้น ใช้เวลานานมากขึ้น และอาจจะมีผลต่อความใสของกระจกด้วย ผู้วิจัยจึงได้ทดสอบความหนืดของสารตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือที่มีชื่อว่า Capillary viscometer ซึ่งเป็นอุปกรณ์ในการวัดความหนืด โดยบันทึกเวลาในการไหลของสารละลายตัวอย่างจากตำแหน่งที่ระบุในเครื่องมือ ซึ่งสารตัวอย่างแต่ละชนิดจะทำการวัดความหนืดซ้ำจำนวน 3 ครั้ง เพื่อหาระยะเวลาเฉลี่ย ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ระยะเวลาในการไหลของน้ำยา PDMS, น้ำยา HDTMS, น้ำยา PVA และน้ำยา ALS

สารตัวอย่าง	ระยะเวลาในการไหล (วินาที)			ระยะเวลาเฉลี่ย (วินาที)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
น้ำยา PDMS	3.20	3.15	3.10	3.15 ± 0.05
น้ำยา HDTMS	3.10	3.07	3.09	3.09 ± 0.02
น้ำยา PVA	3.37	3.44	3.60	3.46 ± 0.12
น้ำยา ALS	3.09	3.18	3.19	3.15 ± 0.06

จากผลการทดลองในตารางที่ 4 พบว่าน้ำยา PVA ใช้ระยะเวลามากที่สุดในการเคลื่อนที่ภายใน Capillary viscometer แสดงให้เห็นว่าน้ำยา PVA มีความหนืดมากที่สุด รองลงมาคือ น้ำยา PDMS และน้ำยา ALS โดยน้ำยา HDTMS ใช้ระยะเวลาน้อยที่สุดในการเคลื่อนที่ภายใน Capillary viscometer แสดงให้เห็นว่าน้ำยา HDTMS มีความหนืดน้อยที่สุด ซึ่งถือเป็นข้อดีต่อการใช้งาน ทำให้กระบวนการเคลือบผิวกระจกทำได้ง่าย สะดวกต่อการใช้งาน และไม่มีผลต่อความใสของกระจก ซึ่งสารตัวอย่างทั้ง 4 ชนิด เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ระยะเวลาในการเคลื่อนที่ก็จะเพิ่มมากขึ้น ความหนืดก็จะเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ปริมาณตัวถูกละลายจะเพิ่มขึ้นในขณะที่ปริมาณตัวทำละลายเท่าเดิมทำให้แรงดึงดูดระหว่างตัวถูกละลายเพิ่มสูงขึ้น ความหนืดของสารละลายจึงเพิ่มขึ้นไปด้วย

3.4 ผลการศึกษาความคงทนในการใช้งาน

ในการศึกษาความคงทนในการใช้งานของสารเคลือบผิวกระจก ผู้วิจัยได้ทำการศึกษากับสารตัวอย่าง 2 ชนิด ได้แก่ น้ำยา PDMS และน้ำยา HDTMS เนื่องจากการทดลองเปรียบเทียบความสามารถในการสะท้อนน้ำของน้ำยาเคลือบผิวกระจกสูตรต่างๆ และการทดลองเปรียบเทียบความหนืดของสารละลาย พบว่าน้ำยา HDTMS มีความหนืดและประสิทธิภาพการสะท้อนน้ำใกล้เคียงกับน้ำยา PDMS ซึ่งเป็นน้ำยาเคลือบผิวกระจกที่ขายตามท้องตลาด โดยทำการทดลองเคลือบผิวกระจกด้วยน้ำยาเคลือบผิวกระจกทั้งสองชนิด จากนั้นวัดค่ามุมสัมผัสหยดน้ำทุกวันติดต่อกันตลอดทั้ง 5 วัน

ตารางที่ 5 ค่ามุมสัมผัสหยดน้ำบนพื้นผิวกระจกที่เคลือบสารตัวอย่างเป็นระยะเวลา 5 วันติดต่อกัน

สารตัวอย่าง	ค่ามุมสัมผัสหยดน้ำบนพื้นผิวกระจก (องศา)					ค่าเฉลี่ยมุมสัมผัส
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	วันที่ 5	
น้ำยา PDMS	90.0	90.0	91.0	90.0	92.0	90.6 ± 0.9
น้ำยา HDTMS	80.0	85.0	84.0	80.0	87.0	83.2 ± 3.1

จากการศึกษาความคงทนในการใช้งานของน้ำยาเคลือบผิวกระจกทั้ง 2 สูตร พบว่าค่ามุมสัมผัสหยดน้ำตลอดระยะเวลา 5 วันมีค่าค่อนข้างคงที่ทั้งในกรณีของน้ำยา PDMS และน้ำยา HDTMS ซึ่งน้ำยา HDTMS มีค่ามุมสัมผัสหยดน้ำเฉลี่ยสูงถึง 83.2 ± 3.1 องศา ซึ่งเป็นค่ามุมสัมผัสหยดน้ำที่ใกล้เคียงกับน้ำยา PDMS ที่เป็นน้ำยาเคลือบผิวกระจกที่ขายตามท้องตลาด ซึ่งมีค่ามุมสัมผัสหยดน้ำเป็น 90.6 ± 0.9 องศา ดังแสดงในตารางที่ 5 และตลอดระยะเวลา 5 วันในการศึกษาความคงทนในการใช้งานสารตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดมีประสิทธิภาพความคงทนไม่แตกต่างกัน คือ ในระยะเวลา 5 วันประสิทธิภาพในการสะท้อนน้ำยังคงที่เท่าเดิมสำหรับสารตัวอย่างทั้ง 2 ชนิด

4. บทสรุป

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาและพัฒนาสูตรน้ำยาเคลือบผิวกระจกที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำหรือที่เรียกว่าสมบัติสะท้อนน้ำ โดยใช้พอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ได้แก่ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) พอลิอะคริลิกแอซิด (PAA) และเฮกซะเดคซิลไตรเมทอกซีไซเลน (HDTMS) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาความสามารถในการละลาย อัตราส่วนที่เหมาะสมในการละลาย โดยใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำกลั่นและเอทานอล โดยในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติการสะท้อนน้ำ โดยศึกษาหาค่ามุมสัมผัสหยดน้ำ (contact angle) จากชุดเครื่องมือวัดค่ามุมสัมผัส เพื่อบอกประสิทธิภาพการสะท้อนน้ำของสารตั้งต้นทั้งสามชนิดในตัวทำละลายที่เป็นน้ำกลั่นและเอทานอล ผลการทดลองพบว่าสาร HDTMS มีค่ามุมสัมผัสหยดน้ำมากที่สุดทั้งในตัวทำละลายที่เป็นน้ำกลั่นและเอทานอล ผู้วิจัยจึงนำสาร HDTMS มาเตรียมเป็นน้ำยาเคลือบผิวกระจกและทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสะท้อนน้ำกับสารเคลือบผิวกระจกที่ผลิตจากพอลิไดเมทิลไซลอกเซน (PDMS) ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยาเคลือบผิวกระจกในปัจจุบัน นอกจากนี้ก็มีน้ำยาเคลือบผิวกระจกที่เตรียมจาก PVA และ ALS ที่ใช้ในการศึกษาร่วมด้วย จากการทดลองพบว่าน้ำยาเคลือบผิวกระจกที่เตรียมจาก HDTMS มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับน้ำยา PDMS มากที่สุด ทั้งค่ามุมสัมผัสหยดน้ำ ค่าความหนืด และความคงทนในการใช้งาน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสาร HDTMS มีสมบัติที่สามารถนำมาผลิตเป็นสารเคลือบผิวกระจกเพื่อทำให้พื้นผิวกระจกมีสมบัติไม่ชอบน้ำหรือมีสมบัติสะท้อนน้ำเพื่อป้องกันการเกาะติดพื้นผิวของหยดน้ำได้ ซึ่งก็จะสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนนี้ที่พบว่าสาร HDTMS สามารถใช้ในการพัฒนาผ้าสะท้อนน้ำด้วยกระบวนการโซลเจลได้ [6]

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินการวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] นิพนธ์ ลักขณาอดิศร. ว่าด้วยเรื่องของกระจก. คบเด็กสร้างบ้าน 151(2009)31-32.
- [2] จันทิมา ชั่งสิริพร. การเคลือบผิวกระจกโซลาร์ให้สามารถทำความสะอาดตัวเองได้. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2560.
- [3] B. Xu, Q. Zhang, Preparation and Properties of Hydrophobically Modified Nano-SiO₂ with Hexadecyltrimethoxysilane, *ACS Omega*. 6(2021)9764–9770.
- [4] X. Tang, F. Yu, W. Guo, T. Wang, Q. Zhang, Q. Zhu, X. Zhanga, M. Pei, A facile procedure to fabricate nano calcium carbonate–polymer-based superhydrophobic surfaces, *New Journal of Chemistry*. 6(2014)2245-2249.
- [5] B.M. Mckenna, J.G. Lyng, Principles of food viscosity analysis Instrumental Assessment of Food Sensory Quality A Practical Guide Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition (2013)129-162
- [6] เพ็ญวิสาข์ พิสิษฐศักดิ์, การใช้กระบวนการโซลเจลเพื่อเพิ่มสมบัติของสิ่งทอ: ฝ้ายสะท้อนน้ำและน้ำมัน, *Thai Journal of Science and Technology*. ปีที่ 4 (ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม - เมษายน), 2558.

ผลของการเติมสารให้สีต่อการประดิษฐ์อัญมณีสังเคราะห์จากขี้เถ้าชีวมวลเหลือใช้ และกระดองหมีก

Effect of colorant for Fabricate Synthetic Jewelry from Biomass Residue ash and Paharaoh cuttlefish

ณัฐกานต์ สุขสมร¹ ธนาพร บุญชู¹ อุดมเดชา พลเยี่ยม¹ และ วิไลวรรณ ลีชะกุล^{1*}

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

*E-mail: wilaiwan.l@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการเตรียมแก้วอัญมณีสังเคราะห์โดยใช้วัสดุจากธรรมชาติเป็นหลัก ได้แก่ ซิลิกอนไดออกไซด์จากขี้เถ้าชีวมวล และแคลเซียมออกไซด์จากกระดองหมีก ที่เป็นของเหลือใช้จากอุตสาหกรรมอาหาร โดยทำการเติมสารให้สีได้แก่ คอปเปอร์ออกไซด์ที่มีปริมาณที่ต่างกัน (ร้อยละ 0.00-0.18 โดยน้ำหนัก) จากการตรวจสอบเฟสองค์ประกอบของขี้เถ้าแกลบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ พบว่า เฟสที่ได้มีความเป็นอสัณฐาน และเมื่อทำการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีพบว่า มีปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์อยู่ที่ร้อยละ 79.8 ซึ่งมีปริมาณสูง นอกจากนั้นเมื่อพิจารณากระดองหมีกยังพบว่าปริมาณของแคลเซียมมากกว่าร้อยละ 88.14 และมีองค์ประกอบของธาตุได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการหลอมอัญมณีสังเคราะห์ได้ และเมื่อเติมสารให้สีที่มีปริมาณที่ต่างกันพบว่ามีค่าความหนาแน่นและค่าความแข็งของชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารให้สีที่เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: คริสตัล, แก้ว, ขี้เถ้าชีวมวล, กระดองหมีก

Abstract

The aim of this work was to fabricate crystal glass from natural raw materials as SiO₂ from biomass residue ash and CaCO₃ from Pharaoh cuttlefish. The crystal glasses were doped by CuO at various contents (0.00-0.18%wt). The phase formation of biomass residue ash was investigated by using X-ray diffraction technique, the result demonstrated the amorphous phase structure. The chemical composition measured by using X-ray fluorescence revealed the formation of SiO₂ to be 79.8%. Moreover, paharaoh cuttlefish show the phase of CaCO₃ with 88.14% chemical composition. The crystals glasses were prepared by using biomass residue ash and pharaoh cuttlefish as natural raw materials. In addition, the crystals glass prepared with various content of doping CuO show that the density and the microhardness value increased with increasing content of CuO.

Keywords: Crystals, glass, biomass residue ash, paharaoh cuttlefish

1. บทนำ

ปัจจุบันความเจริญก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนาอย่างรวดเร็วในประเทศไทยส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก ทรัพยากรต่างๆถูกนำมาใช้อย่างฟุ่มเฟือยและแพร่หลายตามปริมาณสัดส่วนประชากรที่เพิ่มขึ้น ซึ่งการพัฒนาอย่างก้าวกระโดดนี้มีผลโดยตรงต่อธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะปัญหาขยะที่เพิ่มขึ้นอย่างมากภายในประเทศ และหากไม่ได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วนจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพประชาชน ดังนั้นรัฐบาลจึงได้สนับสนุนและขับเคลื่อนให้ประเทศไทยไปสู่การเป็นสังคมปลอดขยะ (Zero Waste Society) เพื่อให้เกิดการจัดการขยะแบบผสมผสาน เน้นการลดและการใช้ประโยชน์จากขยะให้เกิดประโยชน์สูงสุด โรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวลเป็นธุรกิจในรูปแบบหนึ่งที่มีการจัดการกับของเหลือใช้ทางการเกษตรมาประยุกต์ใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงที่ทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้า ซึ่งถือว่าเป็นการจัดการขยะทางการเกษตรให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้น ปัจจุบันประเภทของโรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวลสามารถแบ่งออกตามชนิดของเชื้อเพลิงหลักๆได้ 2 ชนิด คือ เศษขานอ้อยและแกลบ [1] สร้างรายได้ให้ชุมชนและลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลอย่างมหาศาล อย่างไรก็ตามผลที่ตามมาหลังจากผ่านกระบวนการเผาจะเกิดขึ้น ซึ่งชี้ถ้าเหลือใช้เหล่านี้มักไม่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ กลายเป็นขยะที่เป็นมลภาวะทางอากาศอีกด้วย เนื่องจากชี้ถ้าเหลือใช้เหล่านี้สามารถลอยปลิวไปในอากาศได้ และหากมีการสูดดมเข้าไปจะไม่มีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจของสิ่งมีชีวิตโดยเฉพาะมนุษย์ ซึ่งเป็นอันตรายอย่างยิ่ง นอกจากนี้เมื่อได้มีการนำชี้ถ้าเหล่านี้มาทำการตรวจสอบสมบัติทางเคมี [2] พบว่าชี้ถ้าเหล่านี้มีสารประกอบของสารซิลิกอนไดออกไซด์ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการผลิตแก้วได้จากปัญหาดังกล่าวทางกลุ่มผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดในการนำชี้ถ้าเหลือใช้จากโรงงานไฟฟ้าชีวมวลมาทำการเพิ่มมูลค่า โดยในงานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบผลของการสังเคราะห์ชี้ถ้าเหลือใช้โดยใช้วิธีที่แตกต่างกันทั้งในด้านกายภาพ เคมี ทางกลและสมบัติด้านแสงที่จำเป็น นอกจากนี้ยังมีการนำกระดองหมึกที่เป็นเศษเหลือใช้จากอุตสาหกรรมอาหารที่ไม่มีค่า ถูกทิ้งไม่ให้เกิดประโยชน์มาเป็นวัตถุดิบรองอีกทางหนึ่งด้วย โดยมีความคาดหวังว่าการประดิษฐ์อัญมณีสังเคราะห์จากชี้ถ้าและกระดองหมึกนี้ จะสามารถผลิตต้นแบบที่มีจุดขายที่โดดเด่นคือเป็นวัสดุที่ผลิตมาจากวัสดุธรรมชาติ ซึ่งน่าจะเป็นการเพิ่มมูลค่าและเพิ่มความน่าเชื่อถือของการนำใช้ตกแต่งได้ดีกว่าวัสดุที่ผลิตมาจากสารที่สังเคราะห์ด้วยวิธีการทางเคมีโดยทั่วไป ซึ่งน่าจะสามารถสร้างนวัตกรรมใหม่ๆ และสามารถต่อยอดต่อไปได้

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

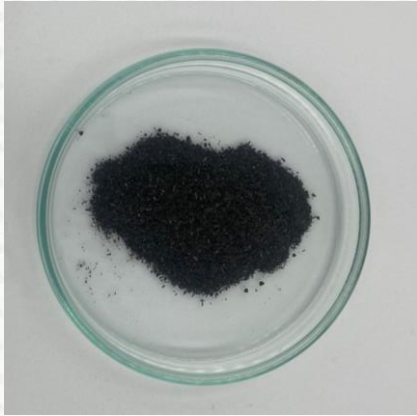
ในการทดลองนี้จะแบ่งการทดลองเป็นสองส่วนโดยส่วนแรกจะเป็นส่วนของการทดสอบสมบัติต่างๆขององค์ประกอบหลักและองค์ประกอบรองซึ่งได้แก่ ชี้้ถ้าจากโรงไฟฟ้าชีวมวล และกระดองหมึกจากของเหลือใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยจะทำการตรวจสอบองค์ประกอบเคมีด้วยการใช้เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีโดยวิธีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X-ray Fluorescence: XRF) และทำการตรวจสอบเฟสองค์ประกอบด้วยการใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction analysis) เพื่อยืนยันองค์ประกอบและผลึกของเฟสว่าสามารถใช้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมแก้วอัญมณีสังเคราะห์ได้

จากนั้นในขั้นตอนที่สองเป็นขั้นตอนการหลอมแก้วอัญมณีสังเคราะห์โดยใช้อัตราส่วนคือ ซิลิกอนไดออกไซด์ที่ได้จากชี้ถ้าชีวมวลร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก โบแรกซ์ร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก แคลเซียมคาร์บอเนตจากกระดองหมึกร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก โซเดียมออกไซด์ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักและส่วนผสมอื่นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก โดยมีการเติมสารให้สีได้แก่ คอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0-0.18 โดยน้ำหนัก ผสมส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกัน จากนั้นทำการหลอมโดยใช้วิธีการหลอมแบบดั้งเดิมที่อุณหภูมิ 1400 องศาเซลเซียส จากนั้นเทน้ำแก้วลงบนโมลเหล็ก และนำชิ้นงานที่ได้ทดสอบสมบัติความหนาแน่น และความแข็งแรงตามลำดับ

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ผลการตรวจสอบทางกายภาพของซีเถ้าชีวมวลและกระดองหมีก

เมื่อทำการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของซีเถ้าชีวมวลที่ได้ พบว่าสีของซีเถ้ามีลักษณะเป็นผงละเอียด สีดำ ดังแสดงดัง รูปที่ 1(ก) ในขณะที่กระดองหมีกที่ได้มีลักษณะเป็นกระดองสีขาวครีม มีน้ำหนักเบา สามารถบดให้มีขนาดเล็กกลงได้ รูปที่ 1 (ข)



รูปที่ 1 (ก)



รูปที่ 1 (ข)

3.2 ผลการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคการวิเคราะห์โดยวิธีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (X ray Fluorescence: XRF)

ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของซีเถ้าชีวมวลจากโรงไฟฟ้า

Order	% Content									
	SiO ₂	K ₂ O	P ₂ O ₅	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃
Biomass	79.800	1.440	0.367	0.000	0.368	0.515	0.654	0.002	0.368	0.337
Ash										

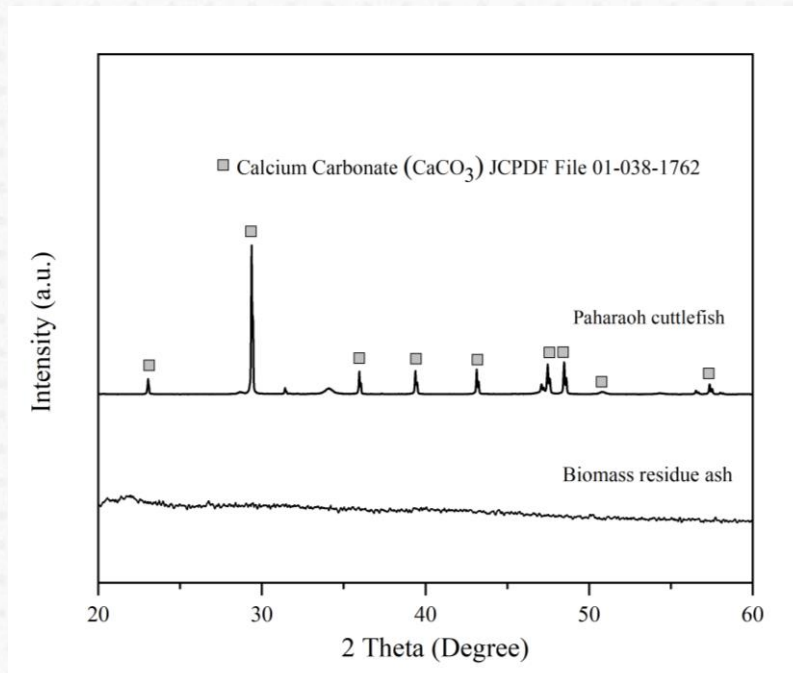
จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของซีเถ้าชีวมวลที่ได้จากโรงไฟฟ้าแสดงดังตารางที่ 1 พบว่า ปริมาณซิลิกอนไดออกไซด์ที่ต้องการในการนำไปใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการหลอมแก้วมีปริมาณค่อนข้างสูงถึงร้อยละ 79.8 นอกจากนั้นยังพบองค์ประกอบของธาตุที่มีผลต่อสมบัติการให้สีซึ่งได้แก่ MnO ที่ให้สารสีชมพูร้อยละ 0.368 ในแก้วและเหล็กออกไซด์ Fe₂O₃ ร้อยละ 0.337 ซึ่งมีผลต่อการเกิดสีน้ำตาล เหลือง หรือเขียวในแก้ว

ตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของกระดองหมีก

Order	% Content						
	CaO	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CuO	ZnO	SrO	MoO ₃
Paharaoh cuttlefish	88.135	0.234	0.058	0.034	0.834	10.417	0.654

เมื่อทำการตรวจสอบสมบัติทางเคมีของกระดองหมึกที่ไม่ผ่านการสังเคราะห์ใดๆด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ แสดงดังตารางที่ 2 พบว่า ธาตุที่มีปริมาณสูงที่สุดได้แก่ แคลเซียมออกไซด์ซึ่งสูงถึงร้อยละ 88.135 รองลงมาได้แก่สตรอนเทียมออกไซด์ซึ่งพบได้ปริมาณร้อยละ 10.417 นอกจากนั้นแล้วยังพบธาตุเหล็กออกไซด์ที่มีปริมาณร้อยละ 0.058 มีปริมาณเพียงเล็กน้อยไม่สามารถที่จะส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนสีเมื่อเติมกระดองหมึกลงไปเนื้อแก้วได้

3.3 ผลการทดสอบเฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction analysis) กระดองหมึก



รูปที่ 2 ผลการทดสอบเฟสองค์ประกอบของซีเถ้าชีวมวลและกระดองหมึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

จากผลการทดสอบเฟสองค์ประกอบของซีเถ้าชีวมวลที่ไม่ผ่านกระบวนการสังเคราะห์ใดๆแสดงในรูปที่ 2 พบว่า เฟสที่ได้แสดงถึงลักษณะโครงสร้างของวัสดุอสัณฐาน แสดงให้เห็นว่าวัตถุดิบชีวมวลนี้เป็นวัสดุที่ไม่มีผลึก ซึ่งอาจเป็นผลมาจากซีเถ้าชีวมวลดังกล่าวระหว่างการเผาเพื่อทำให้เกิดเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้าได้ผ่านการให้ความร้อนที่สูงจนทำให้โครงสร้างภายในของซีเถ้าชีวมวลถูกทำลายกลายเป็นโครงสร้างแบบไม่มีผลึกได้ ซึ่งเป็นผลดีต่อกระบวนการในการหลอมแก้วที่ต้องการวัตถุดิบที่เป็นตัวฟอร์มเมอร์หรือโครงร่างตาข่ายแก้วที่มีความเป็นอสัณฐานนั่นเองสามารถหลอมแก้วได้ และเมื่อพิจารณาผลการทดสอบสมบัติทางเคมีควบคู่กันแสดงให้เห็นว่าซีเถ้าชีวมวลจากโรงไฟฟ้ามีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นสารเคมีตั้งต้นในการหลอมแก้วได้ โดยจะทำหน้าที่เป็นโครงร่างตาข่ายของแก้ว (Former) ที่เรียกอีกชื่อได้ว่าแก้วซิลิเกต

เมื่อนำกระดองหมึกมาทำการบดด้วยโม่แล้วนำมาวิเคราะห์เฟสองค์ประกอบด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอกซ์พบว่าผงกระดองหมึกที่ได้ตรงกับเฟสองค์ประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีเลข JCPDS ไฟล์เลขที่ 01-038-1762 ซึ่งเป็นธาตุที่เหมาะสมกับการนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการหลอมแก้วได้โดยจะทำหน้าที่เป็นตัวช่วยประสาน หรือ Stabilizer ซึ่งมีความสมบัติช่วยให้แก้วที่หลอมได้ไม่แตกและรวมเป็นเนื้อเดียวกัน

3.4 ลักษณะทางกายภาพของแก้ว

แก้วที่ผ่านการหลอมที่เงื่อนไขการเติมสารให้สีที่แตกต่างแสดงดังรูปที่ 3 จากผลการทดลองพบว่าแก้วที่ไม่ผ่านการเติมสารให้สีมีลักษณะเป็นแก้วสีขาวใส อย่างไรก็ตามขณะทำการเทแก้วลงโมลพบว่าแก้วสุรนี้มีความหนืดค่อนข้างสูง และความหนืดจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของคอปเปอร์ออกไซด์ เมื่อพิจารณาถึงลักษณะของชิ้นงานของตัวอย่างการเติมสารให้สีที่

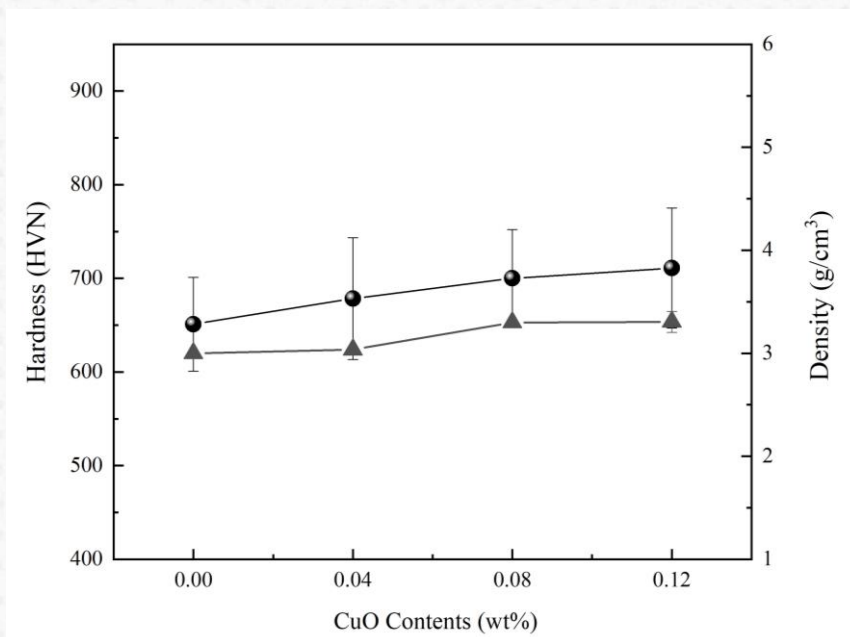
ปริมาณแตกต่างกันตั้งแต่ 0.00-0.18 ร้อยละโดยน้ำหนัก พบว่าแก้วที่ได้มีสีออกเขียวอมฟ้าและความเข้มของชิ้นงานแก้วมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณสารที่เจือเพิ่มขึ้นนั่นเอง จากผลการทดสอบดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ชี้นำชีวมวลและกระดองหมีกเมื่อนำมาหลอมรวมกันตามสูตรที่อุณหภูมิสูงพบว่า แก้วที่ได้ไม่เกิดสีภายในชิ้นงาน แสดงว่าการใช้ชี้นำชีวมวลและกระดองหมีกไม่มีผลต่อการให้เกิดสี



รูปที่ 3 แสดงชิ้นงานแก้วอัญมณีสังเคราะห์ที่ผ่านการเติม CuO ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

3.5 สมบัติเชิงกลของชิ้นงาน

จากผลการทดสอบสมบัติความแข็งด้วยเครื่องวัดแบบวิกเกอร์ (รูปที่ 4) พบว่าค่าความแข็งของชิ้นงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดที่ 711 HVN ที่ปริมาณการเติมคอปเปอร์ออกไซด์ที่ร้อยละ 0.18 โดยน้ำหนัก ซึ่งผลการทดสอบสมบัติความแข็งยังมีแนวโน้มเดียวกันกับค่าความหนาแน่นของชิ้นงานที่มีค่าสูงชันเช่นเดียวกัน สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เป็นผลมาจากสารคอปเปอร์ออกไซด์ที่เป็นสารเติมนั้น มีค่าความหนาแน่นอยู่ที่ 6.31 g/cm³ ซึ่งถือว่ามีค่าที่สูงมากดังนั้นเมื่อเป็นสารเติมในการเตรียมแก้วอัญมณีสีย่อมส่งผลให้ค่าความหนาแน่นและค่าความแข็งเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 4 แสดงผลของการทดสอบสมบัติความแข็งและความหนาแน่นของชิ้นงานแก้วอัญมณีสังเคราะห์ที่ผ่านการเติม CuO ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

4. บทสรุป

ในงานวิจัยนี้สามารถสังเคราะห์แก๊วอัญมณีสังเคราะห์จากวัสดุเหลือทิ้งทางธรรมชาติที่มีจากขี้เถ้าชีวมวลของโรงไฟฟ้าและกระดองหมีก็ได้ โดยพบว่าแก๊วอัญมณีที่ได้มีสีขาวใส และเมื่อมีการเติมสารให้สีได้แก่คอปเปอร์ออกไซด์ที่ปริมาณแตกต่างกันมีผลทำให้ค่าความเข้มของชั้นงานมากขึ้น นอกจากนี้การเติมสารให้สีชนิดคอปเปอร์ออกไซด์ยังมีผลต่อสมบัติด้านความแข็งและความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้น โดยค่าความแข็งสูงสุด 711 HVN ได้มาจากชั้นงานที่มีการเติมคอปเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0.18 โดยน้ำหนัก และค่าความหนาแน่นที่ 3.304 g/cm³

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการสนับสนุนงบประมาณการทำวิจัยจากงบประมาณภายใต้ทุนด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม งบประมาณเพื่อสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund) ประจำปีงบประมาณ 2566 สัญญาเลขที่ 4232827 รวมไปถึงคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการนำเสนอ บทความในการประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 6 “เทคโนโลยี นวัตกรรม สร้างสรรค์ ก้าวการเป็นผู้ประกอบการ” ในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] วมลลักษ์ณ์ สุตะพนธ์, ผศ.ดร. ยูพาพร รักสกุลพิวัฒน์ และ ผศ.ดร. นิธินาถ ศุภกาญจน์ “รายงานการวิจัย การเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเปลือกไข่ไก่” 2564 หน้า 4-5.
- [2] ภาวิตา จินตนาณภูมิตร, ทวีศักดิ์ เตชะเกรียงไกร และพรทิพย์ พสุกลมเศรษฐ์ “คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของไบโอแคลเซียมจากก้างปลาทูน่าโดยวิธีการสกัด” วารสารเกษตรพระจอมเกล้า, 2564 หน้า 22.
- [3] Weast, R.C. (ed.) Handbook of Chemistry and Physics, 68th ed. Boca Raton, Florida: CRC Press Inc., 1987-1988., p. B-89

ผลของพอลิโออลจากน้ำมันข้าวโพดต่อสมบัติทางกายภาพของโฟมพอลิยูรีเทน

The influence of corn oil polyol on the properties of polyurethane foam

ดวงฤทัย ศรีแดง^{1*} และ ปราณอม ขาวเมฆ¹

¹ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

*E-mail: duangruthai.s@rsu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้เตรียมพอลิโออลธรรมชาติจากน้ำมันข้าวโพดเพื่อใช้เตรียมโฟมพอลิยูรีเทน โดยนำพอลิโออลจากน้ำมันข้าวโพด (0-20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ไปผสมกับพอลิโออลทางการค้าสำหรับเตรียมโฟมพอลิยูรีเทน เพื่อศึกษาผลของพอลิโออลจากน้ำมันข้าวโพดที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของโฟม วิเคราะห์หาเวลาในการเกิดปฏิกิริยา ความหนาแน่น ค่าความต้านทานต่อแรงกดและสัณฐานวิทยาของโฟม พิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ผลการทดลองพบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณหมู่ไอโซไซยาเนตมีค่า 98.3-99.6 เปอร์เซ็นต์ การเติมพอลิโออลจากน้ำมันข้าวโพดลงในสูตรโฟมพอลิยูรีเทนไอโซไซยาเนตอินเดกซ์ 100 มีผลให้ขนาดเซลล์โฟมเล็กลงและช่วยเพิ่มค่าความต้านทานต่อแรงกด

คำสำคัญ: โฟมพอลิยูรีเทน พอลิโออลธรรมชาติ น้ำมันข้าวโพด

Abstract

In this work, biopolyol obtained from corn oil was used for preparation of polyurethane foam. These prepared polyol (0-20 wt.% corn oil) was mixed with the commercial polyol to preparation of polyurethane foam, in order to investigate the influence of corn oil polyol on the physical property of foam. The reaction time of foam formation, apparent density, the compression strength and SEM micrograph of foams were determined. The synthesized polyurethane foams were characterized by FT-IR spectroscopy technique. The results show that the isocyanate conversion of polyurethane foams was 98.3-99.6%. Incorporation of corn oil polyol into formulation of polyurethane foam with the isocyanate index of 100 had beneficial impact on the structure of material reducing average cell size and increasing compressive strength.

Keywords: Polyurethane foam, biopolyol, corn oil

1. บทนำ

โคมพอลิยูรีเทนมีสมบัติในการเป็นฉนวนความร้อนได้ดี สามารถกันเสียง และกันการรั่วซึมได้อย่างดีเยี่ยม ทนต่อแรงกดอัด ไม่ลามไฟ นิยมนำมาใช้เป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์เพื่อกันกระแทก ฉนวนกันความร้อนในตู้เย็น อาคารบ้านเรือน สามารถทำให้แข็งเหมือนไม้หรือนิ่มคล้ายฟองน้ำตามสภาพการใช้งาน พอลิยูรีเทนเตรียมจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบขั้น (stepwise reaction) โดยอาศัยกลไกการเติมหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งพันธะคู่ของไดไอโซไซยาเนต ทำให้ได้สายโซ่ของพอลิยูรีเทน (-NH-COO-) สมบัติที่หลากหลายของพอลิยูรีเทนขึ้นอยู่กับชนิดของสารตั้งต้นที่ใช้ทำปฏิกิริยา [1] สารตั้งต้นที่ใช้ได้แก่ ไดไอโซไซยาเนต และพอลิเอเธอร์หรือไดเอเธอร์ ร่วมกับสารตั้งต้นที่สำคัญตัวอื่น คือ สารฟุ้ง (blowing agent) สารลดแรงตึงผิว (surfactant) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์โคมพอลิยูรีเทน ได้แก่ เทอเทียรีแอมีน เช่น เพนตะเมทิลไดเอทิลีนไตรแอมีน (pentamethyldiethylenetriamine, PMDETA) และไดเมทิลไซโคลเฮกซิลแอมีน (dimethylcyclohexylamine, DMCHA) ซึ่งช่วยเร่งปฏิกิริยาทั้งปฏิกิริยาการเกิดเจล (gelling reaction) และปฏิกิริยาการฟุ้ง (blowing reaction) ทำให้เนื้อโคมมีลักษณะเป็นรูพรุน โดยไอโซไซยาเนตจะนิยมใช้ชนิดอะโรมาติก ไดไอโซไซยาเนตมากกว่าอะลิฟาติกไดไอโซไซยาเนต เนื่องจากความเป็นพิษที่ต่ำกว่า และมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาที่มากกว่า ซึ่งอะโรมาติกไดไอโซไซยาเนตที่นิยม ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตโคม ยาง และกาว ได้แก่ ของผสมระหว่าง 2,4- และ 2,6-โทลูอินไดไอโซไซยาเนต (TDI) หรือ 4,4-เมทิลีนบิสฟีนิลไดไอโซไซยาเนต (MDI) ส่วนพอลิเอเธอร์นิยมใช้สารประกอบพอลิเมอริกไฮดรอกซิล ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งปลาย โดยจะต้องพิจารณาถึงความยืดหยุ่นของโครงสร้างและค่าฟังก์ชันนอลิตี้ (functionality) ซึ่งจะส่งผลต่อระดับของการเกิดร่างแหภายในโคมเจล ซึ่งจะควบคุมความแข็งและความยืดหยุ่นของโคม โคมพอลิยูรีเทนแบบคงรูปต้องการโครงสร้างโคมเจลที่แข็งตัว จะใช้พอลิเอเธอร์ที่มีระดับของการเกิดร่างแหที่สูง แต่สำหรับโคมพอลิยูรีเทนชนิดยืดหยุ่นต้องการพอลิเอเธอร์ที่มีระดับการเกิดร่างแหต่ำ พอลิเอเธอร์ส่วนใหญ่มีน้ำหนักโมเลกุลไม่สูงมากนัก เช่น พอลิเอเธอร์พอลิเอเธอร์ พอลิเอเธอร์พอลิเอเธอร์ เพื่อไม่ให้ของผสมหนืดเกินไป แม้พอลิเอเธอร์ที่ใช้ในปัจจุบันจะสามารถตอบสนองต่อความต้องการในการใช้ประโยชน์ของพอลิยูรีเทนในรูปแบบต่างๆ ได้เป็นอย่างดี แต่จากกระแสความตื่นตัวในด้านสิ่งแวดล้อม ทำให้นักวิจัยจำนวนมากสนใจการสังเคราะห์พอลิเมอร์จากวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ประกอบกับพอลิเอเธอร์ทางการค้าที่มีมาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีจึงทำให้มีราคาผันผวนตามวิกฤตราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้น จึงมีนักวิจัยจำนวนมากสนใจที่จะศึกษาการเตรียมโคมพอลิยูรีเทนชีวภาพ

พอลิเอเธอร์จากน้ำมันพืชสามารถเตรียมได้จากการเติมหมู่ไฮดรอกซิลตรงตำแหน่งพันธะคู่ของน้ำมันพืชโดยมีวิธีเติมได้หลากหลายแบบเช่น ไฮโดรไลซิส [2] ไอโซโนไลซิส [3] ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้วเปิดวงออกไซด์ [4] เป็นต้น Simone A. Silval และคณะ [5] เตรียมโคมพอลิยูรีเทนแบบยืดหยุ่น โดยใช้ epoxy-hydroxyl ester corn oil polyol และ inorganic clay พบว่าโคมพอลิยูรีเทนที่เตรียมได้มีความยืดหยุ่นน้อย เนื่องจาก epoxy-hydroxyl ester corn oil polyol ทำให้โครงสร้างของโคม rigid มากขึ้น มีอุณหภูมิคล้ายแก้ว (glass transition temperatures) สูงกว่าโคมพอลิยูรีเทนที่ใช้พอลิเอเธอร์มาตรฐาน และพบว่า epoxy-hydroxyl ester corn oil polyol ทำให้โคมพอลิยูรีเทนที่เตรียมได้มีความต้านทานการกดต่ำกว่าโคมที่เตรียมจากพอลิเอเธอร์มาตรฐาน แต่พบว่าการที่ภายในมีการเชื่อมขวางที่ดีโคมพอลิยูรีเทนที่ได้จึงทนความร้อนได้สูงขึ้น H. Aleksander และคณะ [6] ศึกษาผลของกลีเซอรอลและพอลิเอเธอร์จากน้ำมันละหุ่งต่อโคมพอลิยูรีเทนโดยจะใส่พอลิเอเธอร์น้ำมันละหุ่ง 0-70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักพบว่าเมื่อใช้พอลิเอเธอร์จากน้ำมันละหุ่งจะทำให้ขนาดเซลล์โคมมีขนาดเล็กลง โคมมีความต้านทานต่อแรงกดสูงขึ้น งานวิจัยนี้จึงสนใจจะนำน้ำมันข้าวโพดซึ่งมีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย มีโครงสร้างทางเคมีที่เอื้อต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เนื่องจากมีพันธะคู่บนสายโซ่ทำให้สามารถดัดแปรเป็นพอลิเอเธอร์สำหรับเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์โคมพอลิยูรีเทนซึ่งจะช่วยลดต้นทุน เป็นวัสดุหมุนเวียนจากธรรมชาติ และทำให้โคมเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น

2. วิธีการทดลอง

2.1 วัตถุดิบและสารเคมี

1. Polymeric 4,4'-methane diphenyl diisocyanate (PMDI, Suprasec[®] 5005, % NCO = 31.0 wt %, average functionality = 2.7)
2. Polyol (Daltolac[®] 180, sucrose-based polyether polyol, hydroxyl value = 440 mg of KOH/g, functionality = 4.3)
3. Polysiloxane surfactant (Tegostab[®] B8460)
4. *N,N*-dimethylcyclohexylamine (DMCHA)
5. น้ำมันข้าวโพด
6. 30%v/v Hydrogen peroxide
7. Formic acid
8. Sodium bicarbonate
9. Methanol
10. Anhydrous sodium sulfate

2.2 การตัดแปรโครงสร้างของน้ำมันข้าวโพด

นำน้ำมันข้าวโพด 50 กรัม กรดฟอร์มิก 29 มิลลิลิตร เติมน้ำขูดก้นกลมสองคอขนาด 250 มิลลิลิตร ค่อย ๆ เติม 30%v/v ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 11.5 มิลลิลิตร รีฟลักซ์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เติมน้ำตาล 100 มิลลิลิตร รีฟลักซ์ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำมาแยกด้วยกรวยแยก นำชั้นน้ำมันมาล้างด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต และกำจัดน้ำที่เหลือด้วยแอนไฮดรัสโซเดียมซัลเฟต

2.3 การสังเคราะห์โฟมพอลิยูรีเทน

การเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนจะมียุทธศาสตร์หลัก 2 ส่วน ข้อมูลดังตารางที่ 1 ส่วนแรกจะประกอบด้วยพอลิโอล (Daltolac[®] 180) หรือพอลิโอลผสมน้ำมันข้าวโพดตัดแปร 10 กรัม กับตัวเร่งปฏิกิริยา (DMCHA) 0.1 กรัม สารลดแรงตึงผิว (Tegostab[®] B8460) 0.25 กรัม น้ำ 0.3 กรัม นำของผสมที่ได้กวนด้วยเครื่องกวนแบบกลที่ความเร็ว 2000 rpm เป็นเวลา 10 วินาที จากนั้นเติมองค์ประกอบหลักส่วนที่สองคือไดฟีนิลมีเทนไดไอโซไซยาเนต (Suprasec[®] 5005) ปริมาณที่ใช้สำหรับเตรียม ดัชนีไอโซไซยาเนต 100 (NCO index) คือ 15.2 กรัม และปริมาณที่ใช้สำหรับเตรียม ดัชนีไอโซไซยาเนต 130 (NCO index) คือ 19.7 กรัม กวนด้วยเครื่องกวนแบบกลที่ความเร็ว 2000 rpm เป็นเวลา 20 วินาที บันทึกเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเป็นพอลิยูรีเทนโฟมดังนี้ คือ เวลาที่สารผสมเป็นเนื้อครีม (cream time) เวลาที่สารผสมเป็นเจล (gel time) เวลาที่โฟมหยุดฟู (rise time) และเวลาที่โฟมไม่เกาะติดกับผิววัสดุ (tack-free time) เก็บโฟมพอลิยูรีเทนไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำโฟมที่ได้มาตัดเพื่อวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นตาม ASTM D1622-03 พิสูจน์เอกลักษณ์โฟมพอลิยูรีเทนด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR) รุ่น Perkin Elmer Spectra 100 ค่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณหมู่ไอโซไซยาเนตสามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ใต้พีคไอโซไซยาเนตที่เวลา t ต่อพื้นที่ใต้พีคไอโซไซยาเนตที่เวลาเริ่มต้น ซึ่งแสดงดังสมการ [7]

$$\text{Isocyanate conversion} = \left[1 - \frac{\text{NCO}_f}{\text{NCO}_i} \right] \times 100$$

เมื่อ NCO(f) คือ พื้นที่ใต้พีคไอโซไซยาเนตที่เวลา t, NCO(i) คือ พื้นที่ใต้พีคไอโซไซยาเนตที่เวลาเริ่มต้น, ปริมาณหมู่ไอโซไซยาเนตอิสระพิจารณาได้จากห่วงแหวนแอมโรมาติกซึ่งเกิดการดูดซับที่ $1,595 \text{ cm}^{-1}$

ตารางที่ 1 ตัวอย่างและปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้เตรียมโฟมพอลิยูรีเทน

สารตั้งต้น	PU100	PU100C1	PU100C2	PU130	PU130C1	PU130C1
Polyether polyol (Daltolac®180) (g)	10	9	8	10	9	8
น้ำมันข้าวโพด (g)	0	1	2	0	1	2
Catalysts (DMCHA) (g)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Surfactant (Tegotab B®8460) (g)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Blowing agent (water) (g)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
PMDI (Suprasec® 5005) (g)	15.2	15.2	15.2	19.7	19.7	19.7

2.4 การวิเคราะห์ความต้านทานตอแรงกด

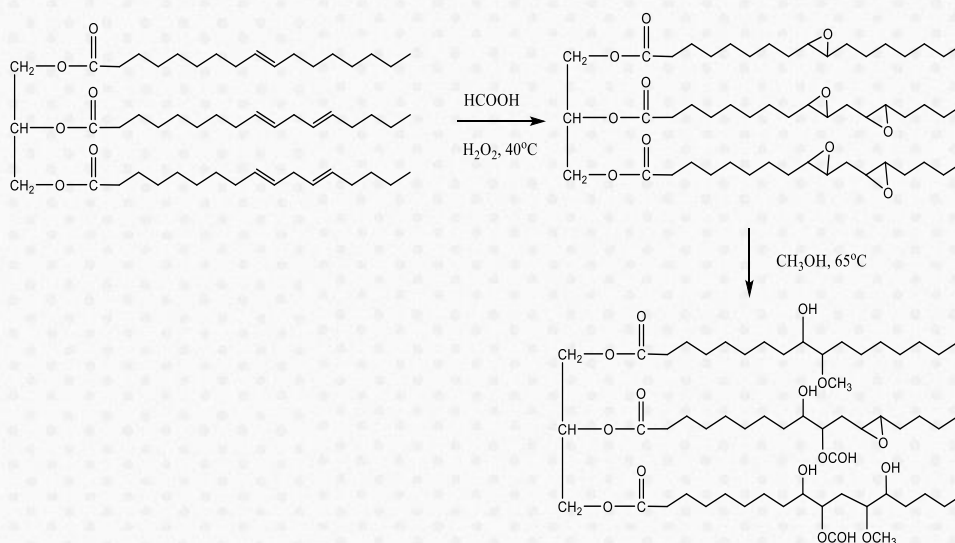
เตรียมสารผสมวิธีเดียวกับการขึ้นรูปในถ้วยกระดาษ แล้วเทสารผสมลงในแม่พิมพ์พลาสติกขนาด 10×10×10 เซนติเมตร รอจนการเกิดปฏิกิริยาสบบูรณ์ เก็บโฟมพอลิยูรีเทนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำไปตัดด้วยเครื่องตัดโฟม นำชิ้นงานมาวิเคราะห์ความต้านทานตอแรงกด (compressive strength; ASTM D1621-04) ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (Lloyd/LRX)

2.5 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของโฟมพอลิยูรีเทน

การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของโฟมตัวอย่าง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด JEOL JSM-5800 LV Scanning Electron Microscope (SEM) ที่ความต่างศักย์เร่ง 15 kV โดยเตรียมตัวอย่างหนา 1.0 nm และเคลือบด้วยทอง

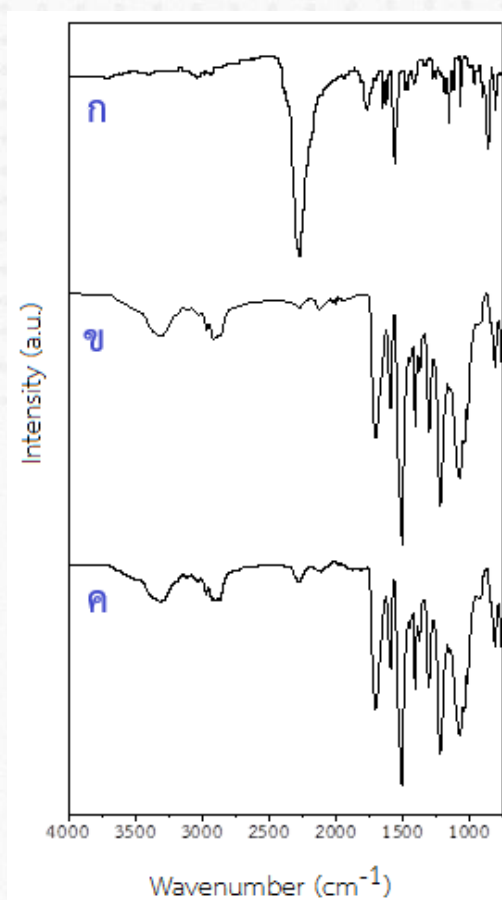
3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

เมื่อนำน้ำมันข้าวโพดมาทำปฏิกิริยาออกซิเดชันและเปิดวงโดยการไฮโดรไลซิสร่วมกับการใช้เมทานอลพบว่าทำให้ไขมันมีสีเหลืองเข้มขึ้น และเมื่อนำน้ำมันที่เตรียมได้ไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วย FT-IR พบพีก O-H stretching ที่ 3,370 cm^{-1} ซึ่งเป็นหมู่หลักที่ต่างจากสารตั้งต้น C-H stretching และ methoxyl group ที่ 2,920 cm^{-1} , 2,850 cm^{-1} และ C=O stretching ที่ 1,732 cm^{-1}

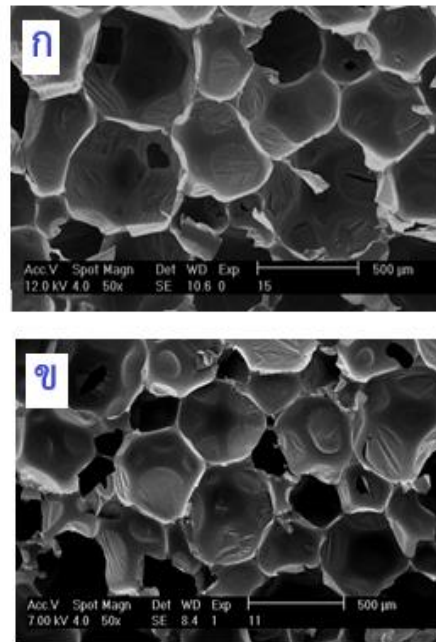


ภาพที่ 1 การตัดแปรรูปโครงสร้างน้ำมันข้าวโพด

เมื่อทำการสังเคราะห์โฟมพอลิยูรีเทนโดยใช้พอลิออลทางการค้าที่ไอโซไซยานาเนตอินเด็กซ์ 100 (PU100) ไอโซไซยานาเนตอินเด็กซ์ 130 (PU130) พบว่าเนื้อโฟมมีสีเหลืองอ่อน เนื้อละเอียดเนียน ผิวหน้าเรียบ มีรูพรุนสม่ำเสมอ คงรูปดีไม่เกิดการหดตัว โดยโฟมพอลิยูรีเทนไอโซไซยานาเนตอินเด็กซ์ 100 นั้นจะนิ่มกว่า เมื่อกดจะยุบตัวลงเล็กน้อย สำหรับโฟมพอลิยูรีเทนไอโซไซยานาเนตอินเด็กซ์ 130 เมื่อกดจะแข็งไม่ยุบตัว และเมื่อสังเคราะห์โฟมพอลิยูรีเทนโดยการผสมน้ำมันข้าวโพดตัดแปรรูป 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (PU100C1 PU100C2 PU130C1 PU130C2) กับพอลิออลมาตรฐาน พบว่าทั้งโฟมพอลิยูรีเทนไอโซไซยานาเนตอินเด็กซ์ 100 และไอโซไซยานาเนตอินเด็กซ์ 130 จะมีเนื้อเนียนละเอียด คงรูปได้ดี รูพรุนสม่ำเสมอ โฟมทุกสูตรเมื่อทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ ไม่เกิดการหดตัว พิสูจน์เอกลักษณ์ของโฟมโดยใช้เทคนิค FTIR spectroscopy แสดงดังภาพที่ 2 พบพีค N-H stretching ที่ 3420-3445 cm^{-1} และ C=O stretching ที่ 1710-1727 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีคที่แสดงหมู่ฟังก์ชันหลักของยูรีเทน และพบว่ามีพีคที่ 2277 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีคแสดงหมู่ฟังก์ชันหลักของไอโซไซยานาเนตมีความเข้ม (intensity) ลดลง



ภาพที่ 2 FT-IR สเปกตรัมของ (ก) พอลิเมอร์ไดฟีนิลมีเทนไดไอโซไซยานาเนต (ข) PU100 (ค) PU100C2



ภาพที่ 3 SEM โฟมพอลิยูรีเทน
(ก) PU100 (ข) PU100C2

จากการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของโฟมด้วยเทคนิค SEM ดังภาพที่ 3 พบว่าโครงสร้างของเซลล์โฟมพอลิยูรีเทนที่ใช้พอลิออลผสมน้ำมันข้าวโพดตัดแปรรูปจะมีขนาดเล็กกว่าเซลล์โฟมพอลิยูรีเทนที่ใช้พอลิออลทางการค้า น่าจะเกิดจากโครงสร้างของพอลิออลจากน้ำมันข้าวโพดมีสายโซ่สั้นกว่าพอลิออลทางการค้า ทำให้เกิดการเชื่อมขวางภายในโครงสร้างของโฟมสูงขึ้น โฟมฟูตัวได้น้อยลง เซลล์โฟมมีขนาดเล็กลง

ตารางที่ 1 เวลาที่ใช้ในการเกิดโฟม %NCO conversion และ ความหนาแน่นของโฟมพอลิยูรีเทน

ชนิดของโฟมพอลิยูรีเทน	Cream time (sec)	Gel time (sec)	Rise time (sec)	Tack free time (sec)	NCO conversion (%)	PIR/PUR	ความหนาแน่น (g/cm ³)
PU100(ref)	25±0	32±0	128±1	170±2	99.6	0.18	39.50±0.38
PU100C1	35±0	48±0	198±0	340±0	99.2	0.19	41.76±0.41
PU100C2	40±0	52±0	221±0	376±0	99.4	0.19	42.91±0.23
PU130(ref)	38±0	44±1	158±0	140±2	98.7	0.24	44.19±0.44
PU130C1	42±0	49±1	253±0	168±2	98.9	0.21	42.43±0.26
PU130C2	34±0	40±1	218±0	394±2	98.3	0.20	42.12±0.15

ค่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณหมู่ไอโซไซยานต (NCO conversion, %) มีค่าประมาณ 98.3-99.6 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าการใช้พอลิออลทางการค้าผสมพอลิออลจากน้ำมันข้าวโพดตัดแปรผสมกับพอลิออลทางการค้า ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของโฟมยังเกิดได้อย่างสมบูรณ์ และเมื่อศึกษาเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันจะเห็นว่าการใช้พอลิออลทางการค้าผสมพอลิออลจากน้ำมันข้าวโพดตัดแปรจะทำให้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาช้าลง ส่งผลให้โฟมพอลิยูรีเทนที่ได้มีความสูงลดลงแต่มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2 ค่าความต้านทานแรงกดของโฟมพอลิยูรีเทน

ชนิดของโฟมพอลิยูรีเทน	ค่าความต้านทานแรงกดในแนวขนานกับการฟู่ตัวของโฟม (kPa) (Parallel)	ค่าความต้านทานแรงกดในแนวตั้งฉากกับการฟู่ตัวของโฟม (kPa) (Perpendicular)
PU100(ref)	193	95
PU100C1	161	74
PU100C2	178	86
PU130(ref)	235	147
PU130C1	215	112
PU130C2	212	120

จากการศึกษาค่าความต้านทานต่อแรงกดของโฟมทั้งด้านที่ขนานกับการฟู่ตัวของโฟมและด้านที่ตั้งฉากกับแนวฟู่ตัวของโฟม พบว่าโฟมพอลิยูรีเทนไอโซไซยานตอินเด็กซ์ 100 เมื่อใช้พอลิออลทางการค้าจะมีค่าความต้านทานต่อแรงกดต่ำกว่าสังเคราะห์ด้วยพอลิออลตัดแปรด้วยน้ำมันข้าวโพด เนื่องจากพอลิออลจากน้ำมันข้าวโพดตัดแปรทำให้เซลล์โฟมมีขนาดเล็ก ความหนาแน่นของโฟมสูงขึ้น เกิดการเชื่อมขวางในโครงสร้างมากขึ้น ค่าความต้านทานต่อแรงกดจึงเพิ่มขึ้น แต่พบว่าโฟมพอลิยูรีเทนไอโซไซยานตอินเด็กซ์ 130 เมื่อผสมพอลิออลจากน้ำมันข้าวโพดส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานต่อแรงกดน้อยมากเพราะปริมาณหมู่ไอโซไซยานตที่มากเกินไปในสูตร ทำให้ภายในโครงสร้างของโฟมเกิดไตรเมอไรเซชันเป็นไอโซไซ

ยานูเรตซึ่งแข็งแรงอยู่แล้ว การเชื่อมขวางจากหมู่พอลิออลของน้ำมันข้าวโพดที่เกิดขึ้นในโครงสร้างจึงส่งผลต่อความต้านทานต่อแรงกดของโฟมไม่มาก

4. บทสรุป

งานวิจัยนี้สังเคราะห์โฟมพอลิยูรีเทนจากพอลิออลทางการค้าเปรียบเทียบกับการใช้พอลิออลทางการค้าผสมน้ำมันข้าวโพดตัดแปร โดยเติมน้ำมันข้าวโพดตัดแปร 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันสมบูรณ์ดี เกิดโฟมที่เนื้อละเอียด คงรูปได้ดี โฟมพอลิยูรีเทนไอโซไซยาเนตอินเด็กซ์ 100 ที่ใช้พอลิออลทางการค้าจะมีค่าความต้านทานต่อแรงกดต่ำกว่าสังเคราะห์ด้วยการใช้พอลิออลทางการค้าผสมน้ำมันข้าวโพดตัดแปร เนื่องจากน้ำมันข้าวโพดตัดแปรทำให้เซลล์โฟมมีขนาดเล็กลง แต่พบว่าโฟมพอลิยูรีเทนไอโซไซยาเนตอินเด็กซ์ 130 มีค่าความต้านทานต่อแรงกดลดลงเล็กน้อย จึงเห็นได้ว่าโฟมพอลิยูรีเทนจากการใช้พอลิออลทางการค้าผสมน้ำมันข้าวโพดตัดแปรมีสมบัติที่ดีและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์สารเคมีจากบริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) [IRPC Public Company Limited] และภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Daniel, CF. Kurt. Handbook of polymeric foams and technology. Oxford University Press Publisher, Oxford, 1991.
- [2] Y. Guo, JH. Hardesty, VM. Mannari, JL. J. Massingill Jr. Hydrolysis of epoxidized soybean oil in the presence of phosphoric acid. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 84(2007) 929–935.
- [3] SN. Narine, J. Yue, X. Kong. Production of polyols from canola oil and their chemical identification and physical properties. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 84(2007) 173–179.
- [4] H. Dai, I. Yang, B. Lin. Synthesis and characterization of the different soy-based polyols by ring opening of epoxidized soybean oil with methanol, 1,2-ethanediol and 1,2-propanediol. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 86(2009) 261–267.
- [5] AS. Simone, PR. Luiz, VB. Ronilson, FZ. Epoxidized corn oil polyol-based composites polyurethane flexible foams, preparation, and characterization. *Ciência e Natura*, Santa Maria 41(2019) e44. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/2179460X39155>
- [6] A. Hejna, M. Kirpluks, P. Kosmela, U. Cabulis, J. Haponiuk, Ł. Piszczyk: The influence of crude glycerol and castor oil-based polyol on the structure and performance of rigid polyurethane-polyisocyanurate foams. *Industrial Crops and Products*. 95(2017) 113-125.
- [7] M. Modesti, A. Lorenzetti. An experimental method for evaluating isocyanate conversion and trimer formation in polyisocyanate-polyurethane foams. *European Polymer Journal*. 37(5)(2001) 949–954.

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดจากฝาง

Antioxidant and antibacterial activities of *Caesalpinia sappan* L.
Heartwood Extractรัชกฤษ ปัทมโสภาสกุล^{1*} และ บุณยรัศมี สุขเขียว¹¹ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

*E-mail: ratchakrich.p@rsu.ac.th

บทคัดย่อ

การใช้สมุนไพรในท้องถิ่นเพื่อรักษาโรค เป็นภูมิปัญญาของสังคมไทยมาช้านาน แต่พืชบางชนิดยังขาดข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ เพื่อสร้างความมั่นใจในการใช้พืชสมุนไพร ดังนั้นเพื่อยืนยันการออกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของฝาง จึงทำการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ของสารสกัดจากแก่นฝาง (*Caesalpinia sappan* L.) โดยเปรียบเทียบหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารจากแก่นฝาง คือ ชนิดของตัวทำละลาย ปริมาตรที่เหมาะสมของตัวทำละลาย น้ำหนักแก่นฝาง และระยะเวลาที่เหมาะสม หลังจากนั้นทำการทดสอบฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) และฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียด้วยวิธี paper disc diffusion ผลการทดลองพบว่า ชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมด้วยวิธีการสกัดเย็นคือน้ำ ที่ร้อยละผลผลิต (3.78 ± 0.03) การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีการรีฟลักซ์ พบว่าปริมาตรของตัวทำละลายคือ 500 มิลลิลิตร (ร้อยละ 7.49 ± 0.10) น้ำหนักแก่นฝาง 30 กรัม (ร้อยละ 7.78 ± 0.07) ที่ระยะเวลา 120 นาที (ร้อยละ 9.23 ± 0.14) วิเคราะห์ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay เปรียบเทียบสารสกัดที่ได้จากการแก่นฝางที่ระยะเวลา 60, 90 และ 120 นาที พบว่า สารสกัดที่ได้จากแก่นฝางที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด คือสารสกัดจากแก่นฝางที่ระยะเวลาในการสกัด 90 นาที โดยมีค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระ (DPPH) ได้ 50% (IC_{50}) เท่ากับ 5.90 ppm โดยใช้วิตามินซีเป็นสารมาตรฐาน การศึกษาฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhi* และ *Escherichia coli* จากการเตรียมสารตัวอย่าง 2 แบบ ได้แก่ สารตัวอย่างที่ผ่านการฆ่าเชื้อ (sterilized) กับ สารตัวอย่างที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ (unsterilized) เพื่อเป็นการทดสอบความสามารถของความเป็นสารต้านเชื้อแบคทีเรียตามธรรมชาติ (Natural Anti-microbial) ของแก่นฝาง พบว่าเตรียมสารตัวอย่างแบบ sterilized สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่าการเตรียมสารตัวอย่างแบบ unsterilized เมื่อทำการเปรียบเทียบจากบริเวณใสรอบโคโรนี (clear zone) และยังพบว่าสารสกัดที่ได้จากแก่นฝางมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhi* ได้ดีอย่างมีประสิทธิภาพด้วยวิธีการแพร่ผ่านกระดาษกลม (paper disc diffusion assay)

คำสำคัญ: ฝาง ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

Abstract

The use of traditional herbal medicine for treating illnesses has been a longstanding cultural heritage of Thai society. However, certain plant species still lack scientific data to cultivate confidence in their use as herbal remedies. Therefore, in order to verify the pharmacological efficacy of the plant

Caesalpinia sappan L. and establish its pharmacological properties, it is necessary to conduct further research. Antioxidant activity and Antibacterial activity from *Caesalpinia sappan* L., including appropriate type of solvent and volume of *Caesalpinia sappan* L. weight and a suitable time. Afterwards, the efficacy in antioxidant activity was tested using the DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) assay, as well as the efficacy in antibacterial activity paper disc diffusion assay. The results found that the suitable solvent is water with cold pressed process by yield (3.78 ± 0.03). Appropriate condition is reflux with solvent 500 mL (7.49 ± 0.10 percent), *Caesalpinia sappan* L. weight is 30 g (7.78 ± 0.07 percent) at 120 minutes (9.23 ± 0.14 percent). Antioxidant activity was analyzed by DPPH assay and antibacterial comparison of extracts obtained from *Caesalpinia sappan* L. at 60, 90 and 120 minutes, found that the extract obtained from the *Caesalpinia sappan* L. has the highest antioxidant activity is an extract from the *Caesalpinia sappan* L. at an extraction time of 90 minutes with a concentration value of the extract that can inhibit 50% of free radical (DPPH) formation (IC_{50}) value of 5.90 ppm using vitamin C as a standard substance. Study on antibacterial activity *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhi*, and *Escherichia coli* were obtained from two sample preparations, which were sterilized (sterilized) and non-sterile (unsterilized) samples. Natural Anti-microbial of the *Caesalpinia sappan* L. was found that the heat stabilizer was able to inhibit bacteria better than the unsterilized sample preparation which obviously show from clear zone. It was also found that extracts obtained from the essence of *Caesalpinia sappan* L. were effective found that can inhibited *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhi* showed significant effectiveness using the paper disc diffusion assay.

Keywords: *Caesalpinia sappan* Linn Antioxidant Antibacterial

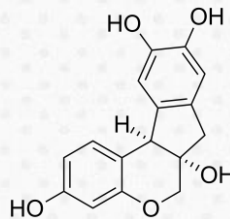
1. บทนำ

ในปัจจุบันมนุษย์มีความใส่ใจในเรื่องสุขภาพและความงามมากขึ้น การศึกษาวิจัยเพื่อหาสารที่มีผลเสียต่อร่างกาย และสารที่มีประสิทธิภาพในการเสริมสร้างสุขภาพที่ดีของร่างกายจึงได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารต้านอนุมูลอิสระและสารที่ช่วยในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในร่างกาย อนุมูลอิสระ (free radicals) คือ โมเลกุลหรือไอออนที่มีอิเล็กตรอนโดดเดี่ยวอยู่รอบนอก[1] เป็นโมเลกุลที่ไม่เสถียรและมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งเกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ สามารถทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลต่างๆที่ล้อมรอบในทันทีที่ถูกสร้างขึ้น ส่งผลให้เกิดความเสียหายแก่เซลล์ในร่างกาย ไม่ว่าจะเป็นการทำลายโครงสร้างดีเอ็นเอ (DNA) การเปลี่ยนสภาพโปรตีนและไขมันของเยื่อหุ้มเซลล์ หรือการสร้างพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) กับโปรตีนหรือเอนไซม์บางชนิด จนทำให้การทำงานของโปรตีนหรือเอนไซม์เหล่านั้นผิดปกติเป็นสาเหตุสำคัญของโรคหลายชนิด[2] อนุมูลอิสระเกิดจากการใช้ออกซิเจนของกระบวนการเมแทบอลิซึม (metabolism) ของเซลล์รวมทั้งปัจจัยจากสิ่งแวดล้อมภายนอก ได้แก่ มลพิษ การติดเชื้อโรค รังสียูวี โอโซน (ozone) ควันจากท่อไอเสียรถยนต์ และควันบุหรี่ เป็นต้น อนุมูลอิสระเหล่านี้สามารถถูกกำจัดหรือลดความรุนแรงด้วยสารที่เรียกว่า สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ที่สามารถจับอนุมูลอิสระ และเกิดเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ที่เสถียรกว่า ส่งผลให้หยุดวงจรเกิดอนุมูลตัวใหม่ได้

การศึกษารอกฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของพืช มีสารประกอบกลุ่มฟีนอลิกในฝาง (*Caesalpinia sappan* L.) สารสกัดจากแก่นฝางมีฤทธิ์ในการต้านเชื้อแบคทีเรีย[3] จึงมีการถูกนำมาเป็นส่วนผสมในยา และเครื่องสำอาง ประเภทครีม เจล

และ โลชัน เพื่อใช้ในการต้านเชื้อแบคทีเรีย มีสรรพคุณทางตำรับยา คือแก่นต้มน้ำดื่มสามารถบำรุงโลหิต แก้อ่อนในกระหาย น้ำแก้ท้องร่วง แก่นฝลกกับน้ำเป็นยาทาภายนอกในโรคผิวหนังบางชนิด ฆ่าเชื้อโรค ขับหนอง พืชชนิดนี้ยังสามารถหาได้ง่ายในประเทศไทยเพราะเป็นพืชเขตร้อนสำหรับประเทศไทยจะพบในพื้นที่ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง และป่าเขาหินปูนแห้งแล้ง

ฝางจัดอยู่ในวงศ์ Caesalpiniaecaea มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Caesalpinia sappan* Linn. ฝางเป็นพืชสมุนไพรพื้นเมืองของประเทศไทย จัดเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลาง หรือเป็นไม้พุ่มกิ่งเถาผลัดใบ มีความสูงประมาณ 5-13 เมตร ลำต้นและกิ่งมีหนามแข็ง ดอกเป็นช่อสีเหลืองขนาดใหญ่ [4] แก่นมีสีสีแดงส้ม เนื้อไม้มีลักษณะเป็นสีส้มอ่อน พรรณไม้ชนิดนี้เป็นไม้กลางแจ้ง ขยายพันธุ์โดยใช้เมล็ด เจริญเติบโตได้ดีในดินที่ร่วนซุย สารสำคัญของแก่นฝางสามารถพบได้ 2 กลุ่มหลัก ๆ ได้แก่ ฟลาโวนอยด์ (flavonoid) และสเตียรอยด์ (sterols) โดยสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์จะมีสารประกอบหลายชนิดที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) สารแทนนิน (tannin) มีสรรพคุณทางยาหลายประการ ได้แก่ แก้ท้องเสีย ยาบำรุงโลหิต ขับเสมหะ แก้ไข้ แก้อ่อนใน ด้านการอักเสบ (anti-inflammatory) [5] ต้านแบคทีเรีย (antibacterial) [3,5] และ ต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) เป็นต้น ดังนั้นจึงได้นำฝางมาทำการพัฒนาเป็นยาสมุนไพรรักษาโรค โดยสารสกัดที่ได้จากแก่นฝางมีสารบราซิลิน (brazilin) เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งพบในปริมาณมากที่สุด เนื่องจากให้สารที่มีสีแดงจึงนิยมนำมาแต่งสีแดงในน้ำยาอูทัยทิพย์ ใช้เป็นสีผสมอาหารและผสมน้ำสำหรับดื่ม นอกจากนี้ยังนำมาผสมในเครื่องสำอาง และย้อมผ้า ด้วยคุณสมบัติและประสิทธิภาพที่กล่าวมาข้างต้นจึงทำให้ฝางได้รับความสนใจในการนำมาใช้ประโยชน์หลาย ๆ อย่างมากมาย



ภาพที่ 1 โครงสร้างของ Brazilin [6]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาการสกัดสารสำคัญที่ได้จากแก่นฝาง เช่น ชนิดของตัวทำละลาย ปริมาตรของตัวทำละลาย ใช้น้ำหนักของแก่นฝาง และระยะเวลาในการสกัด เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด และทำการทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพจากแก่นฝาง ได้แก่ ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants) ด้วยวิธี DPPH assay และประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (antimicrobial) ด้วยวิธี paper disc diffusion assay เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการพัฒนาในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางต่อไป

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

2.1 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารจากแก่นฝาง

2.1.1 การศึกษาตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารจากแก่นฝาง ด้วยวิธีสกัดเย็น

บดแก่นฝางให้ละเอียด ชั่งน้ำหนัก 50.00 กรัม เติมตัวทำละลาย น้ำกลั่น, เอทานอล และ เฮกเซน ปริมาตร 500 มิลลิลิตร แช่ไว้เป็นเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง ตามลำดับ กรองด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 2 ระเหยตัวทำละลายด้วยเครื่องระเหยแห้ง (rotary evaporator) เก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และคำนวณหาปริมาณผลผลิต

2.1.2 การศึกษาปริมาตรตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารจากแก่นฝาง ด้วยวิธีสกัดร้อน

บดแก่นฝางให้ละเอียด ชั่งน้ำหนัก 50.00 กรัม เติมน้ำกลั่นปริมาตร 300, 400 และ 500 มิลลิลิตร ตามลำดับ ทำการรีฟลักซ์ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที กรองด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 2 ระเหยตัวทำละลายด้วยเครื่องระเหยแห้ง (rotary evaporator) เก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และคำนวณหาปริมาณผลผลิต

2.1.3 การศึกษาน้ำหนักที่เหมาะสมของแก่นฝาง ด้วยวิธีสกัดร้อน

บดแก่นฝางให้ละเอียด ชั่งฝงแก่นฝาง 30, 40 และ 50 กรัม ตามลำดับ เติมน้ำกลั่นปริมาตร 500 มิลลิลิตร ทำการรีฟลักซ์ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที กรองด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 2 ระเหยตัวทำละลายด้วยเครื่องระเหยแห้ง (rotary evaporator) เก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และคำนวณหาปริมาณผลผลิต

2.1.4 การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการสกัดสารจากแก่นฝาง ด้วยวิธีสกัดร้อน

บดแก่นฝางให้ละเอียด ชั่งน้ำหนัก 50.00 กรัม เติมน้ำกลั่นปริมาตร 500 มิลลิลิตร ทำการรีฟลักซ์ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60, 90 และ 120 นาที ตามลำดับ กรองด้วยกระดาษกรอง เบอร์ 2 ระเหยตัวทำละลายด้วยเครื่องระเหยแห้ง (rotary evaporator) เก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และคำนวณหาปริมาณผลผลิต

การคำนวณหาร้อยละผลผลิตที่ได้จากสารสกัด (% yield) คำนวณจากสูตร $\% \text{yield (w/w)} = (\text{น้ำหนักสารสกัด} / \text{น้ำหนักของแก่นฝางที่บดแล้ว (g)}) \times 100$

2.2 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay

การทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากแก่นฝางใช้วิธีกำจัดอนุมูล DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) ดัดแปลงมาจากวิธี sana และคณะ [7]

เตรียมสารสกัดหยาบจากแก่นฝาง และสารละลายมาตรฐานวิตามินซี โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย ที่ความเข้มข้น 1000 ppm ปรับให้ได้ความเข้มข้น 1, 10, 50, 100 และ 500 ppm ตามลำดับ เติมสารสกัดจากแก่นฝางลงในหลอดทดลอง ปริมาตร 1.60 มิลลิลิตร เติมสารละลาย DPPH เข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.40 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน แล้วเก็บไว้ในที่มืด 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร (nm) ด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer โดยทดสอบ 3 ครั้ง ครั้งละ 3 ซ้ำ แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยใช้สมการ $\% \text{DPPH radical scavenging activity} = [(A-B)/A] \times 100$ โดยให้ A เป็นค่าการดูดกลืนแสงของ DPPH (ค่าอนุมูลอิสระเริ่มต้น) และ B เป็นค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง จากนั้นทำการเขียนกราฟระหว่าง % radical scavenging เทียบกับความเข้มข้นของสารสกัดจากฝาง เพื่อหาค่า IC_{50} หรือค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันที่ทำให้ความเข้มข้นของอนุมูลอิสระลดลงร้อยละ 50

2.3 การทดสอบฤทธิ์การต้านเชื้อแบคทีเรียก่อโรคด้วยวิธี paper disc diffusion ดัดแปลงวิธีมาจาก รุ่งทิพย์ กาวารี และคณะ [2]

ทำการเตรียมสารสกัดจากแก่นฝาง โดยการเตรียม 2 รูปแบบ คือ สารตัวอย่างที่ผ่านการฆ่าเชื้อ (sterilized) และสารตัวอย่างที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ (unsterilized) มาทำการทดสอบกับเชื้อแบคทีเรียก่อโรค ได้แก่ แบคทีเรียแกรมบวก (Gram positive bacteria) *Staphylococcus aureus* และแบคทีเรียแกรมลบ (Gram negative bacteria) *Salmonella typhi* และ *Escherichia coli* (ได้รับการเตรียมเชื้อจากหมวดวิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต) การทดสอบใช้วิธี paper disc diffusion โดยการนำเอาแบคทีเรียทั้ง 3 ชนิด มาเลี้ยงในอาหารเหลว Tryptic soy broth (TSB) บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำเชื้อมาปรับปริมาณโดยเทียบความขุ่นเท่ากับ 0.5 McFarland standard (เชื้อแบคทีเรียประมาณ 1.5×10^8 ซีเอฟยู/มิลลิลิตร)

ทำการทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรีย โดยการใช้ไม้พันสำลีปราศจากเชื้อจุ่มลงในเชื้อที่เตรียมไว้ นำมาเกลี่ยบนอาหาร Tryptic soy agar (TSA) ที่เตรียมไว้ในจานอาหารเลี้ยงเชื้อให้ทั่วผิวหน้าอาหารโดยการป้าย และทิ้งให้ผิวหน้าอาหารแห้ง หลังจากนั้นทำการระบุตำแหน่งที่ต้องการวางกระดาษกรองชุบยาปฏิชีวนะและกระดาษกรองชุบสารตัวอย่าง โดยในงานวิจัย

ใช้ Ciprofloxacin, Ampicillin, Cefoxitin และ Aztreonam เข้มข้น (10 mg/mL) เป็น Positive control และนำสารตัวอย่างที่เตรียมได้ทั้งในรูปแบบ sterilized และ unsterilized (10 mg/mL) โดยนำกระดาษกรองจุ่มลงในสารละลายสารตัวอย่างที่เตรียมไว้ และวางไปบนตำแหน่งที่ได้ทำการระบุได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อ จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง อ่านผลโดยวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณวงใสที่เกิดรอบอาหารเลี้ยงเชื้อ (inhibition zone) หน่วยเป็นมิลลิเมตร ทำการทดสอบ 3 ครั้ง และรายงานเป็นค่าเฉลี่ยเลขคณิต \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลโดยการหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต และการหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ผลการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารจากแก่นฝาง

3.1.1 ผลการศึกษาหาตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารจากแก่นฝาง

จากการศึกษาหาตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารจากแก่นฝาง ด้วยเทคนิคการใช้ตัวทำละลายที่มีความเป็นขั้วที่แตกต่างกัน เช่น น้ำ เอทานอล และเฮกเซน ที่ระยะเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมงด้วยวิธีการสกัดเย็น และทำการระเหยตัวทำละลายออก สังเกตลักษณะสี และคำนวณหาค่าร้อยละผลผลิตได้ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ร้อยละผลผลิตที่ได้จากการสกัดสารจากแก่นฝางของตัวทำละลาย น้ำ, เอทานอล และ เฮกเซน

ชนิดตัวทำละลาย	ร้อยละผลผลิต \pm SD		
	24 ชั่วโมง	48 ชั่วโมง	72 ชั่วโมง
H ₂ O	3.78 \pm 0.03	2.89 \pm 2.36	2.48 \pm 0.71
Ethanol	2.93 \pm 0.55	4.23 \pm 0.41	2.01 \pm 0.52
Hexane	1.49 \pm 0.13	0.67 \pm 0.35	0.47 \pm 0.01

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อนำสารแก่นฝางมาทำการสกัดเย็นด้วยชนิดของตัวทำละลาย และระยะเวลาที่แตกต่างกัน พบว่า ลักษณะของสารสกัดที่ได้จะให้สารของเหลวหนืดสีแดง และเมื่อนำมาคำนวณหาค่าร้อยละผลผลิต พบว่า สารสกัดที่ได้ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายที่ระยะเวลา 24 ชั่วโมง ให้ค่าร้อยละผลผลิตสูงที่สุดคือ 3.78 \pm 0.03 เนื่องจากสารสำคัญที่ต้องการแก่นฝางมีความสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีสภาพขั้วสูงกว่า ตัวทำละลายชนิดที่มีสภาพขั้วต่ำจึงทำให้ได้ปริมาณผลผลิตสูงกว่าตัวทำละลายชนิดอื่น

3.1.2 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารจากแก่นฝาง ปริมาตรของตัวทำละลาย น้ำหนักของแก่นฝาง และ ระยะเวลาในการสกัด ด้วยวิธีการสกัดร้อน

ตารางที่ 2 ร้อยละผลผลิตที่ได้จากการสกัดสารจากแก่นฝางด้วยสภาวะที่เหมาะสม ปริมาตรของตัวทำละลาย น้ำหนักของแก่นฝาง และ ระยะเวลาในการสกัด

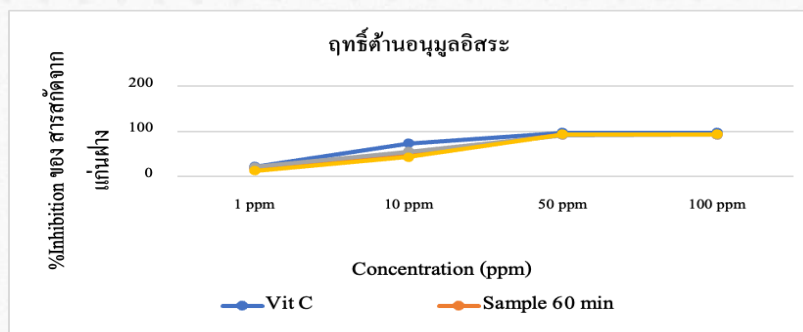
สภาวะทดสอบ	ปริมาตรของตัวทำละลาย (mL)			น้ำหนักของแก่นฝาง (g)			ระยะเวลา (min)		
	300	400	500	30	40	50	60	90	120
ร้อยละ	4.69 \pm	5.67 \pm	7.49 \pm	7.78 \pm	6.56 \pm	6.60 \pm	8.97 \pm	9.13 \pm	9.23 \pm
	0.27	0.21	0.10	0.07	0.23	0.23	0.24	0.28	0.14

จากข้อมูลตารางที่ 1 ผู้ทำวิจัยจึงได้นำมาศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแก่นฝาง โดยทำการศึกษาปริมาณของตัวทำละลาย น้ำหนักของแก่นฝาง และระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด โดยใช้เทคนิคการสกัดร้อน (reflux extraction) จากนั้นทำการระเหยตัวทำละลายออกและสังเกตลักษณะสารสกัดหยาบ คำนวณหาค่าร้อยละผลผลิตได้ดังตารางที่ 2

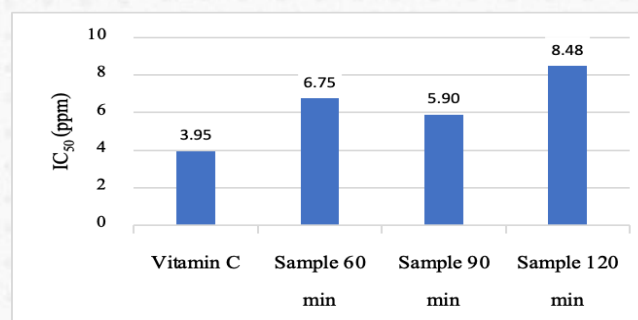
ผลของการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดแก่นฝาง คือ ปริมาตรของตัวทำละลาย น้ำหนักของแก่นฝาง และระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด เมื่อทำการระเหยตัวทำละลายออกจะได้ของเหลวหนืดสีแดงเข้ม เมื่อนำมาคำนวณหาค่าร้อยละผลผลิตพบว่า ปริมาตรของตัวทำละลายที่เหมาะสมคือ 500 มิลลิลิตร ที่ร้อยละ 7.49± 0.10 น้ำหนักของแก่นฝางที่เหมาะสมคือ 30 กรัม ที่ร้อยละ 7.78± 0.07 ระยะเวลาที่เหมาะสมคือ 120 นาที ที่ร้อยละ 9.23± 0.14 เนื่องจากปริมาณของตัวทำละลาย น้ำหนักของแก่นฝาง มีผลต่อขนาดพื้นที่สัมผัสของสารตัวอย่างจึงส่งผลให้ได้ปริมาณผลผลิตที่สูงกว่าอัตราส่วนอื่นๆ และระยะเวลาในการสกัดมีผลต่อการได้มาซึ่งสารสำคัญ เมื่อนำข้อมูลของระยะเวลาที่เหมาะสมมาพิจารณา พบว่าให้ผลผลิตที่ไม่แตกต่างกันมาก เพื่อให้ผู้นำไปใช้งานได้เกิดประโยชน์มากขึ้น จึงได้นำผลการทดลองในการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมไปทำการศึกษาต่อในด้านฤทธิ์ทางชีวภาพ เพื่อเป็นอีกทางเลือกให้ผู้ทำวิจัยได้นำไปใช้ประโยชน์ และเป็นทางเลือกเพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป

3.2 ผลการทดสอบฤทธิ์ในด้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay

จากการศึกษาทดสอบฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay โดยใช้สารมาตรฐานวิตามินซี และสารตัวอย่างที่นำมาทดสอบคือ สารสกัดจากแก่นฝางที่ระยะเวลา 60, 90 และ 120 นาที และทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดอนุมูล DPPH และสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นต่างๆ ของสารสกัดกับ %Inhibition เพื่อคำนวณหาค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถยับยั้งการเกิดอนุมูลอิสระ (DPPH) ได้ 50% (IC₅₀) ของสารสกัดจากแก่นฝาง สามารถคำนวณได้จากเส้นสมการลอการิทึม และแสดงผลดังภาพที่ 2 และทำการเปรียบเทียบค่า IC₅₀ ของสารสกัดที่ระยะเวลา 60, 90 และ 120 นาทีเทียบกับสารละลายมาตรฐานวิตามินซีดังภาพที่ 3



ภาพที่ 2 เปรียบเทียบค่า %inhibition ในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากแก่นฝางที่ระยะเวลา 60, 90 และ 120 นาที กับสารละลายมาตรฐานวิตามินซี



ภาพที่ 3 การเปรียบเทียบค่า IC₅₀ ระหว่างสารสกัดจากแก่นฝางที่ระยะเวลา 60, 90 และ 120 นาที กับสารละลายมาตรฐานวิตามินซี

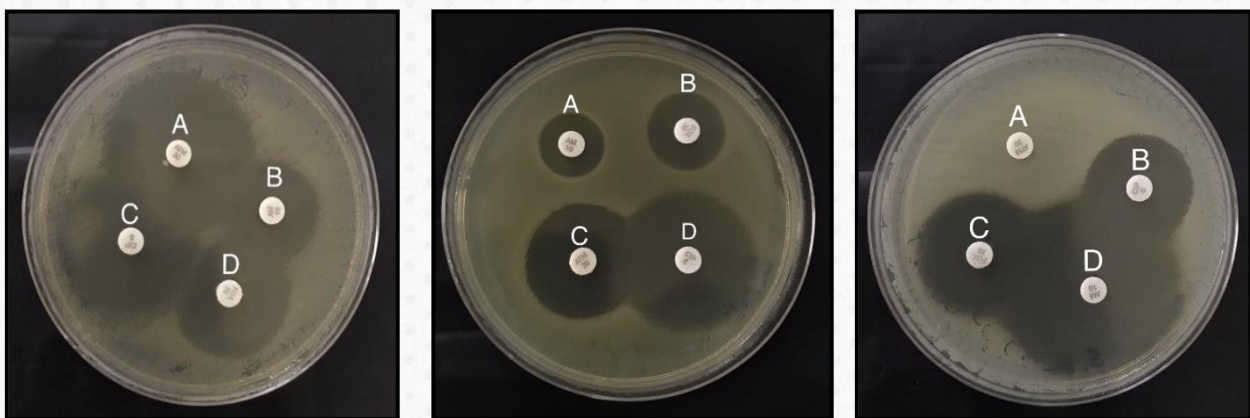
จากผลการศึกษาฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay และใช้สารละลายวิตามินซี เป็นสารละลายมาตรฐาน พบว่าเมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาของ จันทนา กาญจนนต์ [8] ทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากแก่นฝาง มีค่า $IC_{50} = 35.26 \pm 2.08$ ppm สารสกัดที่ได้จากแก่นฝางที่ระยะเวลาการสกัด 60, 90 และ 120 นาที มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่ตีมากที่สุด โดยระยะเวลาในการสกัดที่ 90 นาทีมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด (IC_{50} 5.90 ppm) ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของสารละลายมาตรฐานวิตามินซีมีค่า IC_{50} 3.95 ppm จากผลงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าสารสกัดที่ได้จากแก่นฝางมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระได้ดี เมื่อพิจารณาจากค่า %inhibition และค่า IC_{50} จากรูปที่ 2 และ 3

3.3 ผลการทดสอบฤทธิ์การต้านเชื้อแบคทีเรียก่อโรคด้วยวิธี paper disc diffusion

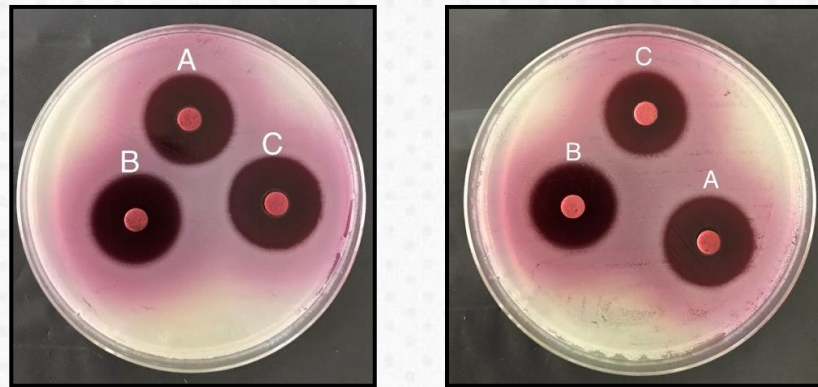
จากการศึกษาฤทธิ์ในการต้านเชื้อแบคทีเรียก่อโรคด้วยวิธี paper disc diffusion โดยแบคทีเรียที่นำมาศึกษา ได้แก่ แบคทีเรียแกรมบวก (Gram positive bacteria) *Staphylococcus aureus* และแบคทีเรียแกรมลบ (Gram negative bacteria) *Salmonella typhi* และ *Escherichia coli* ในการศึกษาใช้ยาในการต้านเชื้อแบคทีเรีย ได้แก่ Ciprofloxacin(CIP), Ampicillin (AM), Cefoxitin(FOX) และ Aztreonam(ATM) เข้มข้น 10 mg/mL เป็น Positive control และนำสารตัวอย่างที่เตรียมได้ทั้งในรูปแบบผ่านการฆ่าเชื้อและไม่ผ่านการฆ่าเชื้อเข้มข้น 10 mg/mL มาทดสอบด้วยวิธี paper disc diffusion และทำการแปลผลในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคด้วยการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณที่ใสรอบๆ บริเวณที่ใส ในหน่วยมิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 3 และลักษณะเคลียร์โซนดังแสดงในภาพที่ 4 และ 5

ตารางที่ 3 แสดงประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรค *E.coli* *S.typhi* *S.aureus* โดยสารสกัดจากแก่นฝางแบบที่ผ่านการฆ่าเชื้อ ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ และยาต้านเชื้อแบคทีเรีย ที่ความเข้มข้น (10mg/mL)

ชนิดเชื้อ	ผ่านการฆ่าเชื้อ (10mg/mL)			ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ (10mg/mL)			Positive control (10mg/mL)			
	60	90	120	60	90	120	CIP	AM	FOX	ATM
<i>E.coli</i>	0	0	0	0	0	0	34	16	19	27
<i>S.typhi</i>	13	13	11	12	10	9	34	28	29	39
<i>S.aureus</i>	25	23	23	25	21	20	25	0	30	44



(1) (2) (3)
ภาพที่ 4 แสดงฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (1) *S.typhi* (2) *E.coli* (3) *S.aureus* (A) Ampicillin (B) Cefoxitin (C) Aztreonam (D) Ciprofloxacin



(1)

(2)

ภาพที่ 5 แสดงฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S.aureus* (1)แบบผ่านการฆ่าเชื้อ (2) ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ

(A) สารสกัดจากแก่นฝางที่เวลา 60 นาที (B) สารสกัดจากแก่นฝางที่เวลา 90 นาที

(C) สารสกัดจากแก่นฝางที่เวลา 120 นาที

จากผลการศึกษาฤทธิ์ในการต้านเชื้อแบคทีเรียก่อโรคทั้ง 3 ชนิด โดยการเปรียบเทียบเทคนิคสารสกัดที่ผ่านการฆ่าเชื้อและไม่ผ่านฆ่าเชื้อ และสารสกัดจากแก่นฝางที่เวลา 60, 90 และ 120 นาที พบว่า การทดสอบเทคนิคโดยการนำสารสกัดไปผ่านการฆ่าเชื้อมีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีการไม่นำผ่านสกัดไปผ่านการฆ่าเชื้อ (ตารางที่ 3) และพบว่าสารสกัดที่ได้จากแก่นฝางที่ระยะเวลา 60 นาทีให้ผลในการต้านเชื้อแบคทีเรียได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีฤทธิ์ในการต้านเชื้อ *S.typhi* ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร และมีฤทธิ์ในการต้านเชื้อ *S.aureus* ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร แต่ยังไม่ มีฤทธิ์ในการต้านเชื้อ *E.Coli*

4. บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการสกัดสารสำคัญจากแก่นฝาง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้หาตัวทำละลาย และสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารสำคัญจากแก่นฝาง จากนั้นนำมาศึกษาเกี่ยวกับฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคที่ได้จากสารสกัดสำคัญในแก่นฝาง

การศึกษาหาตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารจากแก่นฝาง พบว่าน้ำเป็นตัวทำละลายที่ดีที่สุดแสดงให้เห็นว่า สารสำคัญสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้วสูง จากนั้นทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารจากแก่นฝาง พบว่าน้ำหนักแก่นฝาง 30.00 กรัม ปริมาตรตัวทำละลาย 500 มิลลิลิตร เวลาในการสกัด 120 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสม ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากแก่นฝางที่ระยะเวลา 60, 90 และ 120 นาที ด้วยวิธี DPPH assay พบว่า สารสกัดที่ได้จากแก่นฝางที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดคือ สารสกัดจากแก่นฝางที่ใช้เวลาในการสกัด 90 นาที ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของสารสกัดแก่นฝางในเชื้อทั้ง 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *Escherichia coli*, *Salmonella typhi* และ *Staphylococcus aureus* พบว่าการเตรียมสารตัวอย่างโดยการฆ่าเชื้อสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับสารตัวอย่างที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ เวลาในการสกัดแก่นฝางที่ผ่านการฆ่าเชื้อ ที่ให้ขนาดเคลียร์โซนใหญ่ที่สุดคือ ระยะเวลาในการสกัด ที่ 60 นาที โดยขนาดเคลียร์โซนที่ได้ *S.typhi* เท่ากับ 13 มิลลิเมตร *S.aureus* เท่ากับ 25 มิลลิเมตร แต่ไม่สามารถยับยั้งเชื้อ *Escherichia coli* ได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำวิจัยขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ที่ได้ทำการสนับสนุนในเรื่องของการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณหมวดวิชาจุลชีววิทยา สำหรับการอนุเคราะห์เชื้อแบคทีเรียก่อโรค และสถานที่ระหว่างการทำงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] พิชชาภรณ์ วันโย และคณะ. การทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากใบมะหาดด้วยวิธีDPPH radical scavenging assay. คณะเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์. 2564.
- [2] รุ่งทิพย์ กาวารี และคณะ. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของฝาง. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 2560.
- [3] อรรวรรณ ปิยะบุญ และคณะ. ฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย Staphylococcus aureus ของแผ่นแปะจากเปลือกมะนาวที่มีสารสกัดหยาบจากแก่นฝางเสน. Journal of Health Science. Vol. 31 No. 6. (2556). 1132-1139.
- [4] Nirmal, N.P., Rajput, M.S., Prasad, R.G.S.V. and Ahmad, M., Brazilin from *Caesalpinia sappan* heartwood and its pharmacological activities: A review, Asian Pac.J. Trop. Biomed. 8(2015) 421-430.
- [5] Batubara, I., Mitsunaga, T. and Ohashi, H., Brazilin from *Caesalpinia sappan* wood as an antiacne agent, J. Wood Sci 56. (2010) 77-81.
- [6] Wu, S.Q., Otero, M., Ungena, F.M., Goldring, M.B., at.al., Anti-inflammatory activity of an ethanolic *Caesalpinia sappan* extract in human chondrocytes and macrophages, J. Ethnopharmacol. 138. (2011)364-372.
- [7] YAN, Y, CHEN, Y, LIN, Y et.al. Brazilin isolated from the heartwood of *Caesalpinia sappan* L induces endothelium-dependent and - Independent relaxation of rat aortic rings. Acta Pharmacologica Sinica. (2015)
- [8] Sana, H., Sabitha Rani, A. and Sulakshana, G., Determination of antioxidant potential in *Spilanthes acmella* using DPPH assay, Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci. 3(2014)219-223).
- [9] จันทนา กาญจน์กมล. ฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ต้านเซลล์มะเร็งของสารสกัดฝาง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ววท.). vol.29 No.2. (2021). 307-317.

การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบคัดแยกขยะรีไซเคิล 4 ถัง

Design and Build a Prototype Machine of Recycling Waste Sorting 4 Bins

ประจักษ์ บุญศักดิ์^{1*} พรชัย พรฤทธิ์¹ พีรวัจน์ มีสุข¹ นฤกร สิริมงคลกาล¹ ศิริรัตน์ ศรีอินทร์¹
และ กวินชัย ต้องตรงทรัพย์²

¹สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและระบบควบคุมอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

²สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

*E-mail: tumpp_winner@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอ การออกแบบสร้างเครื่องต้นแบบคัดแยกขยะรีไซเคิล 4 ถัง ซึ่งสามารถคัดแยก ขวดแก้ว ขวดพลาสติก กระป๋องอลูมิเนียม และกล่องกระดาษ โดยใช้บอร์ด Arduino AT Mega 2560 เป็นตัวควบคุมการทำงาน การตรวจจับ กระป๋องอลูมิเนียมใช้ Proximity Sensor LJ18A3-5-Z/AX 3 ตัว การตรวจจับขวดแก้วใช้ Load Cell กับ HX711 Amplifier Module การตรวจจับขวดพลาสติกและกล่องกระดาษใช้ TCRT5000 Infrared Reflective Sensor Module โดยใช้ DC Motor ZYTD520 12Vdc ใช้บอร์ดขับ BTS7960B ขนาด 43A เป็นตัวขับเคลื่อนหาช่องทิ้ง จากนั้นสั่งงานให้ Servo Motor 1501MG เป็นตัวทิ้งขยะลงถัง จากการทดลองกับเครื่องต้นแบบสามารถแยกขยะได้ตามวัตถุประสงค์

คำสำคัญ: คัดแยกขยะรีไซเคิล การคัดแยก ไมโครคอนโทรลเลอร์ เทคโนโลยีไอโอที

Abstract

This paper presents the design and build a prototype machine of recycling waste sorting 4 bins, which can sort glass bottle, plastic bottles, aluminum cans and paper box. Arduino AT Mega 2560 board used as a controller. Aluminum cans detection uses 3 proximity sensors LJ18A3-5-Z/AX 3. Glass bottles detection uses load cell with HX711 amplifier module. Plastic bottles and paper box detection uses TCRT5000 infrared reflective sensor module. By using DC Motor ZYTD520 12Vdc, using a 43A BTS7960B driver board as a drive to find a hole to leave. Then command servo motor 1501MG to throw garbage into the bin. The experimental results confirm effectiveness of the proposed method.

Keywords: Machine of Recycling Waste, Recycling Waste, Microcontroller, IoT technology

1. บทนำ

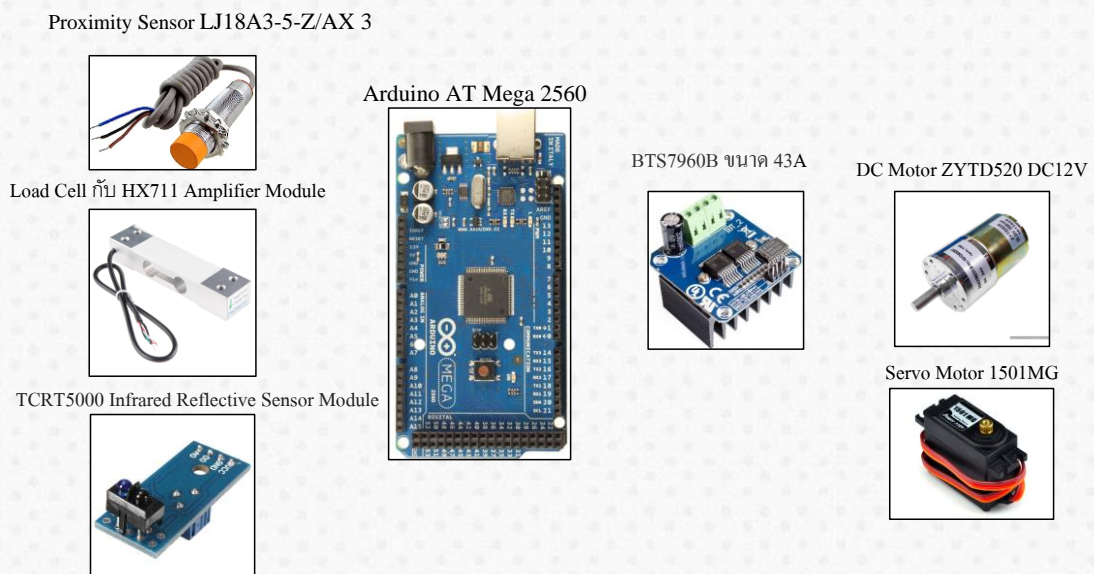
ในปัจจุบันการเพิ่มจำนวนประชากรและอัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจ แต่ละประเทศมีจำนวนมากขึ้นปัญหาเรื่องขยะ นับว่าเป็นปัญหาในระดับชุมชน ระดับประเทศ ตลอดจนระดับชาติ ประเภทขยะสามารถแบ่งออกเป็น ขยะประเภทกระป๋อง อลูมิเนียม ขยะประเภทขวดแก้ว ขยะขวดพลาสติก ขยะกล่องกระดาษ [1] ถ้าไม่มีแนวทางอาจจะทำให้เกิดปัญหาดังนี้

1. สิ่งแวดล้อมที่เสียหาย: การมีปริมาณขยะที่มากเกินไปทำให้ระบบการจัดการขยะไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขยะล้นเมืองอาจทำให้นก ล่าธาร และลาคลอง ก่อให้เกิดน้ำเสียและส่งกลิ่นเหม็น ระบบน้ำเสียไม่ทำงานได้ถูกต้อง ส่งผลให้สิ่งแวดล้อมถูกทำลายและเสื่อมโทรมได้

2. การปนเปื้อนอากาศ: ขยะที่เน่าเสียและสารเคมีที่มาจากขยะอาจส่งกลิ่นไม่พึงประสงค์และสารปนเปื้อนระเหยในอากาศ ทำให้คุณภาพของอากาศที่หายใจลดลง และเสี่ยงต่อการเกิดโรคทางเดินหายใจและปัญหาสุขภาพอื่นๆ

3. สุขภาพของประชาชน: การทิ้งขยะอย่างไม่เหมาะสมอาจสร้างสภาพแวดล้อมที่ไม่สะอาด ทำให้เกิดการแพร่ระบาดของโรคต่างๆ เช่น ติดเชื้อท้องเดิน ติดเชื้อทางน้ำ และโรคที่มาจากแมลงพาหะ เช่น ไข้เด็กใหญ่ ไข้เลือดออก และอื่นๆ

ในงานวิจัยนี้ จึงได้พัฒนาการออกแบบสร้างเครื่องต้นแบบคัดแยกขยะรีไซเคิล 4 ถัง ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาในการคัดแยกประเภทของขวดต่างๆ นั้นลดลงเพื่ออำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวัน และตอบสนองการคัดแยกขวดประเภทต่างๆ เพื่อนำมารีไซเคิลได้ [2] โดยใช้ Sensor คัดแยกไม่ว่าจะเป็น การคัดแยกกระป๋องที่เป็นโลหะ ซึ่งสามารถคัดแยก ขวดแก้ว ขวดพลาสติก กระป๋องอลูมิเนียม และกล่องกระดาษ โดยใช้บอร์ด Arduino AT Mega 2560 เป็นตัวควบคุมการทำงาน การตรวจจับกระป๋องอลูมิเนียมใช้ Proximity Sensor LJ18A3-5-Z/AX 3 ตัว การตรวจจับขวดแก้วใช้ Load Cell กับ HX711 Amplifier Module การตรวจจับขวดพลาสติกและกล่องกระดาษใช้ TCRT5000 Infrared Reflective Sensor Module โดยใช้ DC Motor ZYTD520 12Vdc [3] ใช้บอร์ดขับ BTS7960B ขนาด 43A เป็นตัวขับเคลื่อนหาช่องทิ้ง จากนั้นสั่งงานให้ Servo Motor 1501MG เป็นตัวทิ้งขยะลงถัง ควบคุมการทำงานโดยบอร์ด Arduino ระบบโดยดังแสดงในภาพที่ 1

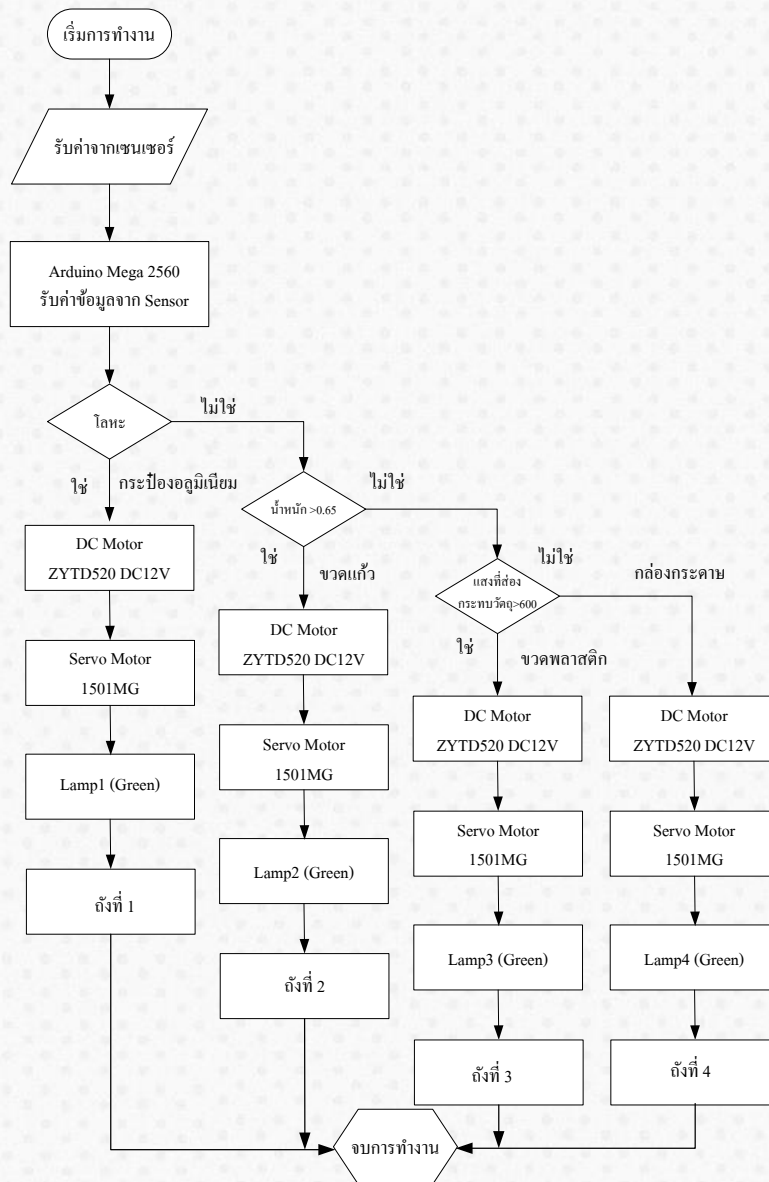


ภาพที่ 1 เครื่องต้นแบบคัดขยะรีไซเคิล 4 ถัง

2. หลักการทำงานของระบบคัดแยกขยะอัตโนมัติ

ในงานวิจัยนี้จะใช้บอร์ด Arduino AT Mega 2560 เป็นตัวควบคุมการทำงาน [4] การตรวจจับกระป๋องอลูมิเนียมใช้ Proximity Sensor LJ18A3-5-Z/AX 3 ตัว การตรวจจับขยะประเภทขวดแก้วใช้ Load Cell กับ HX711 Amplifier Module การตรวจจับขวดพลาสติกและกล่องกระดาษใช้ TCRT5000 Infrared Reflective Sensor Module โดยใช้ DC Motor ZYTD520 12Vdc ใช้บอร์ดขับ BTS7960B ขนาด 43A เป็นตัวขับเคลื่อนหาช่องทิ้งแต่ละถังกำหนดค่า Delay ที่แตกต่างกันในบอร์ด Arduino จากนั้นสั่งงานให้ Servo Motor 1501MG เป็นตัวทิ้งทำงานคู่ขนานกับ DC Motor หลักการ

ทำงานเมื่อหย่อนวัตถุลงในช่องรับ เซนเซอร์จะทำการตรวจเช็คว่ามีโลหะหรือไม่ ถ้ามีโลหะ ขยะประเภทกระป๋องอลูมิเนียม จะถูกทิ้งลงถังใบที่ 1 แต่ถ้าไม่ใช่จะถูกตรวจสอบน้ำหนักถ้ามากกว่า 0.65 กรัม ถ้าใช่จะถูกตรวจสอบว่าเป็นขยะพวกขวดแก้ว และจะถูกทิ้งลงถังใบที่ 2 ถ้าไม่ใช่จะเช็คแสงที่ส่อง ถ้ามากกว่า 600 ถ้าใช่จะถูกตรวจสอบว่าเป็นขวดพลาสติกและจะถูกทิ้งลงถังใบที่ 3 และถ้าไม่ใช่จะถูกตรวจสอบเป็นขยะประเภทกล่องกระดาษและจะถูกทิ้งลงถังใบที่ 4 ซึ่งระบบการทำงานทั้งหมดอธิบายได้ด้วยภาพที่ 2

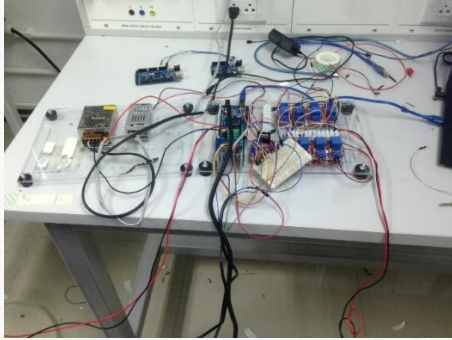


ภาพที่ 2 การทำงานของระบบการคัดแยก

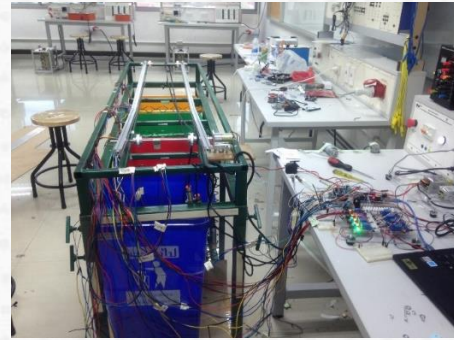
3. การออกแบบสร้างเครื่องต้นแบบคัดแยกขยะรีไซเคิล 4 ถัง

เมื่อออกแบบเขียน Code และทดสอบว่าระบบเป็นไปตามที่ได้ออกแบบแล้ว จากนั้น Upload ลงบอร์ด Arduino AT Mega 2560 โดยอุปกรณ์ที่ใช้ ดังภาพที่ 3 การทดสอบโปรแกรมที่ได้ออกแบบมาทดสอบกับอุปกรณ์จริง โดยมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าตรง 12Vdc จำนวน 2ชุด และ Relay 12Vdc และ DC Motor ZYTD520 12Vdc ใช้บอร์ดขับ BTS7960B ขนาด 43A

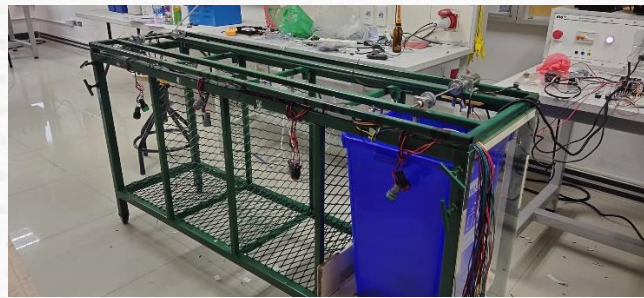
โดยจับจังหวะการหมุนไปข้างหน้า หยุด และถอยหลังกลับมาที่เดิม จากนั้นนำมาทดสอบกับโครงสร้างจริง พร้อมติดตั้งรางเลื่อนโดยใช้ อะลูมิเนียมโปรไฟล์และชุดสไลด์ 4 ชุด เพื่อเป็นตัวขับเคลื่อนการทั้งขยับแต่ละประเภท ดังภาพที่ 4 จากนั้นทำการติดตั้งหลอดไฟฟ้าแสดงสถานะโดยสีเขียวแสดงสถานะการทั้งขยับและสีแดงแสดงสถานะการเต็ม โดยใช้ Ultrasonic Sensor เป็นตัวเช็ค ดังภาพที่ 5 และภาพที่ 6 วงจรต้นแบบที่ใช้การควบคุมในงานวิจัยนี้



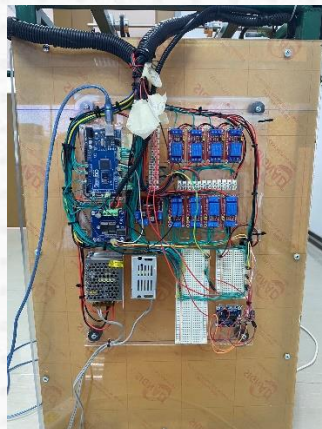
ภาพที่ 3 ออกแบบตัวโปรแกรม



ภาพที่ 4 ทดสอบระบบการทำงานกับโครงสร้างจริง



ภาพที่ 5 ติดตั้งอุปกรณ์เข้ากับโครงสร้าง



ภาพที่ 6 ชุดควบคุมระบบรวม

4. ผลการทดสอบจากเครื่องต้นแบบ

โดยเครื่องต้นแบบการคัดแยกขยะรีไซเคิลอัตโนมัติ แบบ 4 ถัง แสดงดังภาพที่ 7 ประเภทขยะที่ใช้ในการทดสอบ ประกอบด้วย กระป๋องอลูมิเนียม ขวดแก้ว ขวดพลาสติก และกล่องกระดาษ แสดงดังภาพที่ 8 ทำการทดสอบโดยการหย่อน

ขยะแต่ละประเภทลง โดยถ้าหย่อนขยะประเภทขวดแก้ว ตัวคัดแยกจะทิ้งลงถังขยะใบสีน้ำเงินหรือใบที่ 1 และขยะประเภทขวดพลาสติกจะทิ้งลงในถังใบที่ 2 คือถังสีแดง ขยะประเภทกระป๋องอะลูมิเนียมจะทิ้งในใบที่ 3 คือถังสีเขียว และขยะประเภทกล่องกระดาษจะถูกทิ้งลงในถังใบสีเหลืองคือใบที่ 4 โดย จากนั้นทำการบันทึกผลการทดลอง โดยการทดสอบจะทดสอบทั้งขยะแต่ละประเภทจำนวน 3 ครั้ง



ภาพที่ 8 ประเภทขยะที่ทำการทดสอบ

ทดสอบเครื่องในวันพฤหัสบดี ที่ 29 มิถุนายน พ.ศ.2566 ห้อง 24603 สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและระบบอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา แสดงได้ดังภาพที่ 9 ผลการทดสอบแสดงได้ดังตารางที่ 1



ภาพที่ 9 การทดสอบการทำงานของถังขยะ

จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการแสดงดังตารางที่ 1 การตรวจเช็คขวดแก้ว ใช้ Load Cell กับ HX711 Amplifier Module และตั้งค่า Calibration factor -38550.0 โดยตั้งค่าน้ำหนักไว้ที่ มากกว่า -0.1g และค่าที่ตรวจเช็คมีค่าน้อยกว่านี้

ให้เป็นขวดพลาสติก ส่วนขยะประเภทกระป๋องอะลูมิเนียมจะใช้ Proximity Sensor LJ18A3-5-Z/AX 3 ตัว ส่วนขยะประเภทกล่องกระดาษ ใช้ TCRT5000 Infrared Reflective Sensor Module

ตารางที่ 1 ผลของการทดสอบการทำงาน พร้อมกับรายงานผลจำนวนขยะ ทั้ง 4 ชนิด และรายงานสถานที่ตั้งถังขยะ

ขยะที่ทิ้ง	จำนวนครั้ง	ขยะขวดแก้ว	ขยะขวดพลาสติก	ขยะกระป๋องอะลูมิเนียม	ขยะกล่องกระดาษ
ขยะขวดแก้ว	1	ถูกต้อง			
	2	ถูกต้อง			
	3	ถูกต้อง			
ขยะขวดพลาสติก	4		ถูกต้อง		
	5		ถูกต้อง		
	6		ไม่ถูกต้อง		
ขยะกระป๋องอะลูมิเนียม	7			ถูกต้อง	
	8			ถูกต้อง	
	9			ถูกต้อง	
ขยะกล่องกระดาษ	10				ถูกต้อง
	11				ถูกต้อง
	12				ถูกต้อง

5. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้นำเสนอ การออกแบบสร้างเครื่องต้นแบบคัดขยะรีไซเคิล 4 ถัง ซึ่งสามารถคัดแยก ขวดแก้ว ขวดพลาสติก กระป๋องอะลูมิเนียม และกล่องกระดาษ โดยใช้บอร์ด Arduino AT Mega 2560 เป็นตัวควบคุมการทำงาน โดยการตรวจจับ กระป๋องอะลูมิเนียมใช้ Proximity Sensor LJ18A3-5-Z/AX 3 ตัว การตรวจจับขวดแก้วใช้ Load Cell กับ HX711 Amplifier Module การตรวจจับขวดพลาสติกและกล่องกระดาษใช้ TCRT5000 Infrared Reflective Sensor Module โดยใช้ DC Motor ZYTD520 12Vdc ใช้บอร์ดขับ BTS7960B ขนาด 43A เป็นตัวขับเคลื่อนหาช่องทิ้ง จากนั้นสั่งงานให้ Servo Motor 1501MG เป็นตัวทิ้งขยะลงถัง จากการทดลองกับเครื่องต้นแบบสามารถแยกขยะได้ตามวัตถุประสงค์

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณคณาจารย์วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยาที่ให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการโครงการยุทธศาสตร์ กิจกรรมนวัตกรรมเพื่อการบริหารจัดการขยะ และยกระดับคุณภาพชีวิตของชุมชนและท้องถิ่น

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] คนสรณ์ ผิวบาง, ศรีณยู พรหมยุทธนา, และการตรัตน์ ขำดำ. (2562). เครื่องคัดแยกขวดอัตโนมัติ. ปรียญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [2] P. Chanthuma, "Success Factors in the Recycling Bank of Kham Ngnang Ruay in Kham Nam Saep Sub-district, Warinchamrap District, Ubon Ratchathani Province," Area Based Development Research Journal, Vol .6, No. 5, pp. 94-107, 2014

- [3] ณัฐนันท์ รัตนยานนท์ และศุภวิชญ์ ฝอยทอง. (2563). ระบบตรวจจับและคัดแยกถุงขยะด้วยการประมวลผลภาพ. วารสารวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม, 1(4), 20-23
- [4] ประภาส พุ่มพวง (2561). การเขียนและประยุกต์ใช้งานโปรแกรม Arduino). ซีไอเอ็มเอสไอเคยูเคชั่น, กรุงเทพฯ.

การศึกษาและออกแบบตู้ยาสามัญประจำบ้านอัจฉริยะ Study and Design of Smart Home Medicine Cabinet

ธนพร พะยอมใหม่^{1*} สมสิน วาขุนทด¹ ทนงค์ดี มากทอง¹ วิญญู ศีลาบุตร¹ และ ไมตรี ธรรมมา¹

¹สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

*E-mail: Tanaporn.py@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยตู้ยาสามัญประจำบ้านอัจฉริยะทำเพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่ผู้สูงอายุ คนพิการทางสายตา เพื่อให้ผู้สูงอายุและพิการทางสายตาได้ดูแลตัวเองได้เวลาที่ผู้ป่วยอยู่คนเดียวในบ้าน ซึ่งความสำคัญของการช่วยเหลือสำหรับผู้ป่วยมีอาการเบื้องต้นโดยเฉพาะผู้สูงอายุและผู้พิการทางสายตาเลยที่ช่วยเหลือตัวเองได้ยาก ดังนั้นตู้ยาสามัญประจำบ้านอัจฉริยะ ออกแบบจากการศึกษาการทำงานของอาร์เอฟไอดีแล้วนำมาประยุกต์ใช้กับตู้ยาสามัญประจำบ้าน เพื่อทำการติดตั้ง Tag RFID ไว้ที่ขวดยาพร้อมกับข้อมูลของยาชนิดนั้น แล้วจะสามารถบอกสรรพคุณผ่านทางลำโพงเพื่อให้ผู้พิการทางสายตาได้ยินแล้วสามารถรับประทานยาชนิดที่ตรงต่ออาการที่ป่วยอยู่ในขณะนั้น

คำสำคัญ: ยาสามัญ, บ้านอัจฉริยะ, อาร์เอฟไอดี

Abstract

Research on smart home medicine cabinets is done to facilitate the elderly. Visually impaired to allow the elderly and visually impaired to take care of themselves when the patient is alone in the home, which is important to help for those who have primary symptoms, especially the elderly and visually impaired who are difficult to help themselves. Therefore, the smart home medicine cabinet is designed from the study of RFID operation and then applied to the home generic medicine cabinet to install RFID tag on the medicine bottle along with the information of that type of drug.

Keywords: medicine cabinets, smart home, RFID

1. บทนำ

จากการศึกษาเกี่ยวกับปัญหาของผู้พิการทางสายตาได้มองเห็นว่าผู้พิการทางสายตามีอุปสรรคในการช่วยเหลือยังไม่มีดีพอที่จะช่วยเหลือคนพิการทางสายตาในเวลาป่วยเพราะคนพิการทางสายตา มี 2 ประเภท คือ ผู้พิการแบบบอดสนิท กับ บอดไม่สนิท ปัญหาของผู้ป่วยทางสายในการใช้ชีวิตประจำวันมีหลากหลายแบบ ซึ่งงานวิจัยนำเสนอการแก้ไขปัญหาการกินยาของผู้ป่วยที่พิการทางสายตารวมถึงผู้สูงอายุให้ได้กินยาถูกต้องตามชนิดและตรงต่ออาการที่ผู้ป่วยเป็นเพื่อความปลอดภัยในการรับประทานยา จริงอยู่ที่ในปัจจุบันมีภาษาเบรลล์มาช่วยให้ผู้ป่วยทางสายตาได้สะดวกมากขึ้นในการใช้ชีวิต สามารถแบ่งแยกชนิดของยาได้ แต่ยาที่ได้จากหมอบท้าวไปหรือตามคลินิกไม่ได้มีภาษาเบรลล์กำกับ จากโครงสร้าง RFID สำหรับการประยุกต์ใช้งาน เพื่อออกแบบได้ระบบที่ง่าย ไม่ซับซ้อน และมีประสิทธิภาพ เช่น เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี หรือ RFID (Radio Frequency

Identification System) เป็นระบบที่ใช้สัญญาณคลื่นวิทยุในการตรวจสอบและระบุตำแหน่งวัตถุ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการให้บริการห้องสมุดได้เป็นอย่างดี โดยระบบจะอ่านข้อมูลจากแผ่นข้อมูล RFID Tag ที่ติดอยู่กับหนังสือ และเชื่อมโยงกับโปรแกรมระบบบริหารงานห้องสมุด ในการยืม-คืนหนังสือด้วยตนเอง [5] การนำ RFID มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการควบคุมและจัดการทรัพย์สินคอมพิวเตอร์ [6] การประยุกต์ใช้ RFID สำหรับการคัดแยกผลิตภัณฑ์บนสายพานลำเลียงและได้มีการออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดแยกขนาดเล็กในกระบวนการกระจายสินค้าหรือการจัดเก็บสินค้าเข้าโกดัง เพื่อลดเวลาของขั้นตอนการทำงานรวมถึงเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน [7] ระบบ RFID สำหรับสนับสนุนคนพิการทางการเห็นในการเดินทาง ดังนั้นผู้จัดทำได้ศึกษาการทำงานของ RFID แล้วนำมาประยุกต์ใช้กับตู้ยาสามัญประจำบ้าน เพื่อทำการติดตั้ง Tag RFID ไว้ที่ขวดยาพร้อมกับข้อมูลของยาชนิดนั้นและสามารถบอกสรรพคุณผ่านทางลำโพง เพื่อให้ผู้พิการทางสายตาได้ยินแล้วสามารถรับประทานยาชนิดที่ตรงต่ออาการที่ผู้ป่วย ดังนั้นการออกแบบตู้ยาสามัญประจำบ้านอัจฉริยะสามารถช่วยให้ผู้ป่วยทางสายตาและผู้สูงอายุใช้ชีวิตได้สะดวกสบายและปลอดภัยเพราะกินยาตรงตามโรค โดยที่ตู้ยาอัจฉริยะสามารถบอกชนิดยาแต่ละชนิดโดยการพูดออกมาผ่านลำโพง โดยแค่นำขวดยาไปสแกนกับกล่องสแกนข้างตู้ยา หลังกล่องสแกนจะมีเสียงบอกสรรพคุณของยาว่าแก้โรคอะไร ควรกินกี่เม็ด ก่อนอาหาร หรือ หลัง อาหาร วิธีการใช้ยา ใช้แบบกิน หรือแบบทา จะทำให้ผู้ป่วยที่พิการทางสายตาหรือผู้สูงอายุสะดวกสบายในการใช้ชีวิตมากขึ้น ในเวลาที่อยู่บ้านคนเดียว สามารถดูแลตัวเองได้

2. วิธีการทดลอง

2.1 ทฤษฎีและกรอบแนวความคิดของการวิจัย

2.1.1 อาดูโน

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมี การเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัวบอร์ดอาดูโนถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษาทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลงเพิ่มเติมและพัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ดหรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วยความง่ายของบอร์ด อาดูโนในการต่ออุปกรณ์เสริมต่าง ๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริมประเภทต่าง ๆ เช่น อาดูโน XBee Shield, อาดูโน Music Shield, อาดูโน Relay Shield, อาดูโน Wireless Shield, อาดูโน GPRS Shield เป็นต้น มาเสียบกับบอร์ดบนบอร์ดอาดูโนแล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้ แสดงดังรูปที่ 1

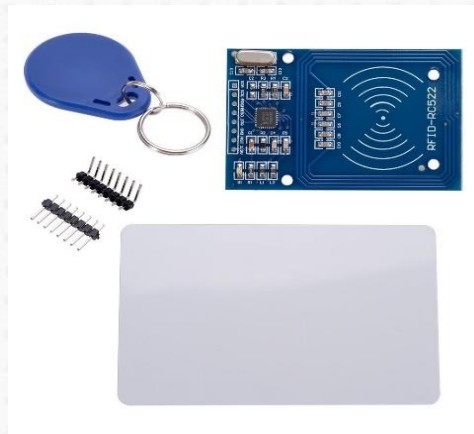


รูปที่ 1 บอร์ดอาดูโน R3

2.1.2 อาร์เอฟไอดี (RFID)

RFID ย่อมาจากคำว่า Radio Frequency Identification แสดงดังรูปที่ 2 เป็นระบบที่ได้ถูกพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 เพื่อวัตถุประสงค์ในการอ่านข้อมูลของฉลากได้โดยไม่ต้องสัมผัสสามารถอ่านค่าได้อย่างแม่นยำ และสามารถ อ่านข้อมูล

ได้ด้วยความเร็วสูงโดยที่อุปกรณ์ RFID ที่มีการประดิษฐ์ขึ้นใช้งานเป็นครั้งแรกนั้น เป็นผลงานของ Leon Theremin ซึ่งสร้างให้กับรัฐบาลของประเทศรัสเซียในปี ค.ศ. 1945 ซึ่ง อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมาในเวลานั้นทำหน้าที่เป็นเครื่องมือดักจับสัญญาณ ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นตัวระบุเอกลักษณ์อย่างที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน RFID ในปัจจุบันมีลักษณะเป็นป้ายอิเล็กทรอนิกส์ (RFID Tag) ที่สามารถอ่านค่าได้โดยผ่านคลื่นวิทยุจากระยะห่าง เพื่อตรวจ ติดตามและบันทึกข้อมูลที่ติดอยู่กับป้าย ซึ่งนำไปฝังไว้ในหรือติดอยู่กับวัตถุต่างๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ กล่อง หรือสิ่งของใดๆ สามารถติดตามข้อมูลของวัตถุ 1 ชิ้นว่า คืออะไร ผลิตที่ไหน ใครเป็นผู้ผลิต ผลิตอย่างไร ผลิตวันไหน และเมื่อไร ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนที่ขึ้น และแต่ละชิ้นมาจากที่ไหน รวมทั้งตำแหน่งที่ตั้งของวัตถุนั้น ๆ ในปัจจุบันว่าอยู่ส่วนใดในโลก โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยการสัมผัส (Contact-Less) หรือต้องเห็นวัตถุนั้นๆ ก่อน ทำงานโดยใช้เครื่องอ่านที่สื่อสารกับป้ายด้วยคลื่นวิทยุในการอ่านและเขียนข้อมูล



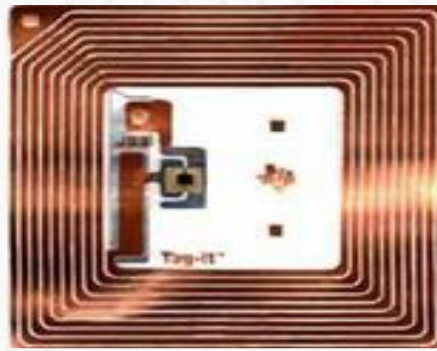
รูปที่ 2 RFID

2.1.3 TAG

โครงสร้างภายในของแท็กจะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ขดลวดขนาดเล็กซึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศ (Antenna) สำหรับรับส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ และสร้างพลังงาน ป้อนให้ส่วนของไมโครชิปแผ่นฟิล์ม พลาสติก มีขนาดและรูปร่างต่างๆ กันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะนำไปติด และมีหลายรูปแบบเช่น ขนาดเท่าบัตรเครดิต เหรียญ กระดุม ฉลากสินค้า แคลปซูล เป็นต้น แต่โดยหลักการอาจแบ่งแท็กที่มีการใช้งานกันอยู่ 2 ชนิดใหญ่ๆ แต่ละชนิดก็จะมีขนาดแตกต่างกันในแง่ของการใช้งานราคาโครงสร้างและหลักการการทำงานอยู่ สำหรับรูปแบบของเทคโนโลยี RFID ที่ใช้ในการดังกล่าวก็มีทั้งแบบสมาร์ทการ์ดที่สามารถถูกเขียน หรือ อ่านข้อมูลออกมาได้โดยไม่ต้องมีการสัมผัสกับเครื่องอ่านบัตร หรือ คอนแทคเลสสมาร์ทการ์ด (Contact less Smart Card) , เหรียญ , ป้ายชื่อ หรือ ฉลากซึ่งมีขนาดเล็กมาก องค์ประกอบหลักของ RFID ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ (1) Transponder ตัวจัดเก็บและส่งข้อมูล ซึ่งมาจากคำว่า Transmitter ผสมกับคำว่า Responder ที่อยู่ในรูปแบบของ ฉลาก หรือ ป้าย โดยฉลากนี้จะทำ การบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้นเอาไว้ โดยเราอาจเรียก ทั่วๆไปว่า " Tag" (แท็กส์) ซึ่งแท็กส์ จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณ หรือ ข้อมูลที่บันทึกอยู่ในแท็กส์ตอนบสนองไปที่ตัวอ่านข้อมูล และ (2) Reader อุปกรณ์สำหรับอ่าน หรือ เขียนข้อมูลภายในแท็กส์

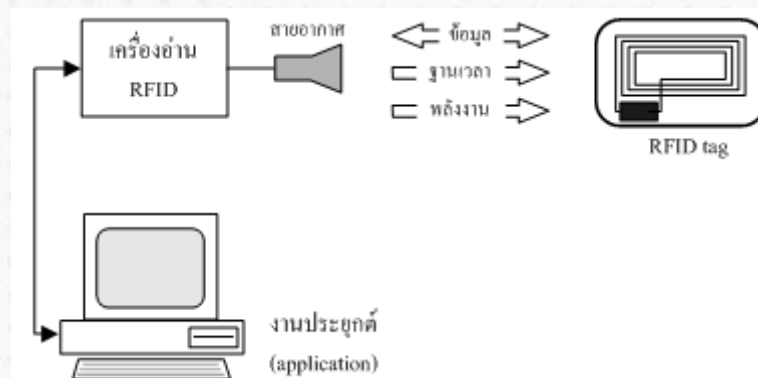
2.1.4 การสื่อสารกันระหว่าง RFID Reader กับ RFID Tag

การสื่อสารระหว่างแท็กส์และตัวอ่านข้อมูลจะเป็นการสื่อสารกันโดยอาศัยช่องความถี่วิทยุ ผ่านอากาศ ซึ่งสัญญาณนี้ผ่านได้ทั้ง โลหะ และ อโลหะ แต่ Tags ไม่สามารถติดต่อกับเครื่องอ่านให้อ่านได้โดยตรง เมื่อเครื่องอ่านส่งข้อมูลผ่านความถี่วิทยุ แสดงถึงความต้องการข้อมูลที่ถูกระบุไว้จากป้าย ป้ายจะตอบข้อมูลกลับ และ เครื่องอ่านจะส่งข้อมูลต่อไปยังส่วนประมวลผลหลักของคอมพิวเตอร์ โดยเครื่องอ่านจะติดต่อกับคอมพิวเตอร์โดยผ่านสายเครือข่าย Lan (Local Area Network) หรือ ส่งผ่านทางความถี่วิทยุจากทั้งอุปกรณ์มีสายและอุปกรณ์ไร้สาย ลักษณะการสื่อสารข้อมูลระหว่าง Tag กับเครื่องอ่าน



รูปที่ 3 โครงสร้างภายในของ TAG

- (1). Reader จะปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาตลอดเวลา และคอยตรวจจับว่ามี Tag ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือไม่ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือการคอยตรวจจับว่ามีการมอดูเลตสัญญาณเกิดขึ้นหรือไม่
- (2). เมื่อมี Tag เข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้า Tag จะได้รับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้ Tag เริ่มทำงาน และจะส่งข้อมูลในหน่วยความจำที่ผ่านการมอดูเลตกับคลื่นพาหะแล้วออกมาทางสายอากาศที่อยู่ภายในแท็ก
- (3). คลื่นพาหะที่ถูกส่งออกมาจากแท็กจะเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด, ความถี่ หรือเฟส ขึ้นอยู่กับวิธีการมอดูเลต
- (4). Reader จะตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของคลื่นพาหะแปลงออกมาเป็นข้อมูลแล้วทำการถอดรหัสเพื่อนำข้อมูลไปใช้งานต่อไป



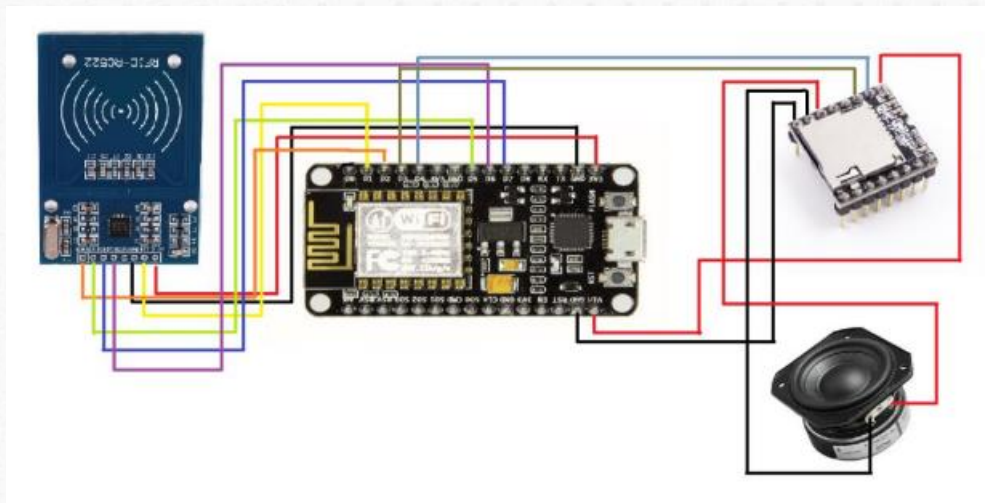
รูปที่ 4 หลักการทำงาน

2.2 ออกแบบวงจรและบล็อกไดอะแกรม

วงจรในการประกอบเครื่องตรวจจับสัญญาณประจำบ้านอัจฉริยะ แสดงดังรูปที่ 5 ประกอบด้วย NodeMCU ESP8266 มีโมดูล Rfid อ่านบัตรคีย์การ์ด 1. 3.3V -> 3.3V 2. GND -> GND 3. ขาD7 -> MOSI 4. ขาD6 -> MISO 5. ขาD5 -> SCK 6. ขาD2 -> SDA(SS) 7. ขาD1 -> RST

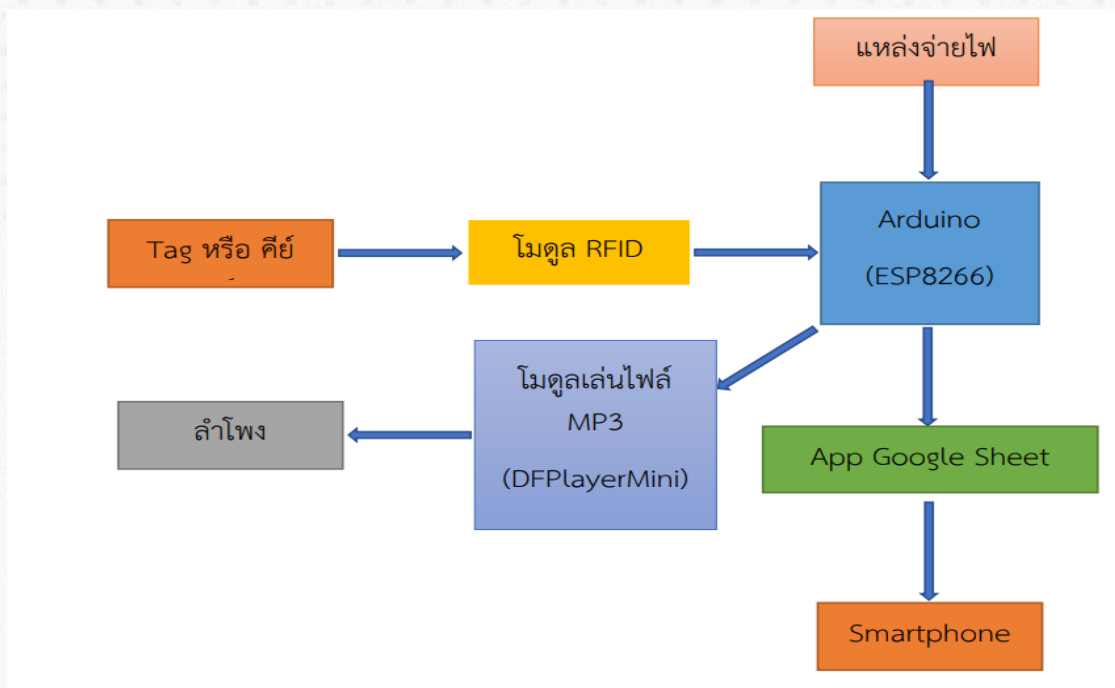
โมดูล DFPlayer mini มี 1. ขาTx -> D4 2. ขาRx -> D3 3. ขาGND->GND 4. ขา Vcc -> Vin

ลำโพง มีโมดูลDFPlayer mini มี 1. ขา+ ->SPK1 2. ขา- ->SPK1



รูปที่ 5 วงจรตู้ยา

2.3 กลไกการทำงานของโปรแกรมควบคุมตู้ยา



รูปที่ 6 บล็อกไดอะแกรมของตู้ยาสามัญประจำบ้านอัจฉริยะ

จากรูปที่ 6 เริ่มจากการอ่านจากเซนเซอร์ RFID แล้วนำข้อมูลมาตรวจสอบว่าอยู่ในค่าที่ตั้งไว้หรือไม่ ระบบก็จะทำงานโดยค่าที่อ่านนั้นจะมากจาก แท็คที่ติดอยู่ตามขวดยาต่างๆ เมื่อตรวจสอบหรือผ่านตัวเซนเซอร์ จะทำการส่งข้อมูลไปยังบอร์ดอาดูโน่ บอร์ดจะทำการส่งตัวเก็บข้อมูลเสียงหรือตัว IC ที่มีการตั้งค่าเอาไว้ ให้ทำการอินพุตเสียงผ่านออกมาทางลำโพงที่เชื่อมต่อระหว่างบอร์ดอาดูโน่และตัว IC WTV020SD โดยที่แท็คแต่ละตัวจะมีค่าที่ต่างกัน ในการหยิบจับใช้งานยาต่างๆก็จะมีเสียงอินพุตที่แตกต่างกัน

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ทำการทดลองด้วยสามัญประจำบ้านอัจฉริยะด้วยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาควบคุมระบบการจัดการเรื่องของคำสั่งต่างๆ เช่น ระบบเสียงหรือคำอธิบายสรรพคุณของยา เพื่อให้เกิดความสะดวกและปลอดภัยแก่ผู้ใช้งาน การเก็บรวบรวมข้อมูลและศึกษาข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการแก้ปัญหาของการบริโภคและการใช้ยา จากปัญหาที่พบเจอ รวมถึงศึกษาข้อมูลจากอินเทอร์เน็ตและห้องสมุดจากเอกสารต่างๆ จากนั้นจึงได้เขียนโปรแกรมสำหรับการออกแบบชุดคำสั่งต่างๆ โดย Tag RFID มีการสร้างรหัสยา 5 ชนิด แสดงดังรูปที่ 7 ซึ่งมีรหัสดังนี้ (A) 001 คีอยาบรรเทาปวดลดไข้ (B) รหัส 002 คีอยาแก้ไอแก้เจ็บคอ (C) รหัส 003 คีอยาแก้ปวดท้อง (D) รหัส 004 คีอยาแก้เจ็บคอ และ (E) รหัส 005 คีoyal้างแผล โดยจะเริ่มจากการทดลองอ่านค่า RFID Tag ที่ติดได้ขวด ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 7 และทำไฟล์เสียงใส่ข้อมูลยาลงใน Sd card เป็นนามสกุล Mp 3 แสดงดังรูปที่ 8 จากนั้นมาทดลองหาความถูกต้องของรหัสและเสียงของแต่ละชนิดยาผลลัพธ์ที่ได้แสดงดังตารางที่ 1



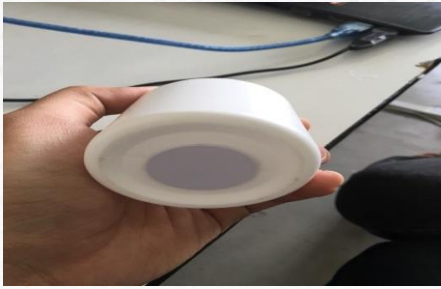
รูปที่ 7 ขวดยา 5 ขวดที่ติด TAG



รูปที่ 8 ไฟล์เสียงของแต่ละชนิดยา

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบ RFID Tag ที่ติดได้ขวด

Tag Rfid	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
001	✓	✓	✓	✓	✓
002	✓	✓	✓	✓	✓
003	✓	✓	✓	✓	✓
004	✓	✓	✓	✓	✗
005	✓	✓	✓	✓	✓



รูปที่ 9 ขวดที่ติดสติ๊กเกอร์ TAG และการแนบ TAG ลงบนตัวสแกน (RFID)

ตารางที่ 2 ความพึงพอใจของผู้สูงอายุที่มีอายุ 58-68 ปี และผู้พิการทางสายตา รวมเป็นจำนวน 20 คน

ตารางความพอใจ									
ลำดับ ที่	รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ					N	ค่าเฉลี่ย	เกณฑ์ ประเมิน
		5	4	3	2	1			
1	ความถูกต้องครบสมบูรณ์ของเนื้อหา	2	7	10	1	0	20	3.5	กลาง
2	มีความชัดเจนในการอธิบายชิ้นงาน	3	7	10	0	0	20	3.65	มาก
3	มีการเรียบเรียงในการบรรยายชิ้นงานเข้าใจง่าย	2	8	10	0	0	20	3.6	มาก
4	ชิ้นงานสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2	10	8	0	0	20	3.7	มาก
5	ชิ้นงานมีประโยชน์และสามารถนำไปใช้งานได้จริงในชีวิตประจำวัน	5	5	10	0	0	20	3.75	มาก
6	ชิ้นงานมีความชัดเจนในรูปแบบของเสียงที่ตรงตามวัตถุประสงค์	4	5	10	1	0	20	3.6	มาก
7	ชิ้นงานมีความน่าสนใจในเทคนิคการทำงานที่มีขั้นตอนชัดเจน	5	5	10	0	0	20	3.75	มาก
8	ผู้บรรยายสามารถตอบข้อสงสัยของผู้ทดลองได้และแนะนำผู้ทดลองได้	3	8	8	1	0	20	3.65	มาก
9	ผู้บรรยายใช้คำสุภาพและภาษาที่เหมาะสมกับผู้ฟัง	5	10	5	0	0	20	4	มาก
10	ท่านมีความพึงใจในองค์ประกอบโดยรวมอยู่ในระดับใด	5	5	10	0	0	20	3.75	มาก
รวม		36	70	91	3	0	200	3.70	มาก

ผลสำรวจจากการทดลองหาความพึงพอใจ มี 5 ระดับ ดังนี้ 5 = ระดับความพึงพอใจสูงสุด, 4 = ระดับความพึงพอใจมาก, 3 = ระดับความพึงพอใจปานกลาง, 2 = ระดับความพึงพอใจน้อย และ 1 = ระดับความพึงพอใจน้อยมาก

สรุปผลการสำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้ผู้สูงอายุสามัญประจำอัจฉริยะ (1) ความเข้าใจเนื้อหา 1-3 พบว่ามีความพึงพอใจในระดับ มาก (2) วัตถุประสงค์ของเนื้อหา 4-6 พบว่ามีความพึงพอใจในระดับมาก และ (3) ขั้นตอนการทำงาน 7-10 พบว่ามีความพึงพอใจในระดับมาก

4. บทสรุป

งานวิจัยผู้สูงอายุสามัญประจำบ้านอัจฉริยะจัดทำเพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่คนพิการทางสายตาและผู้สูงอายุ เพื่อให้สามารถดูแลตัวเองได้เวลาที่เจ็บป่วยอยู่คนเดียวในบ้าน โดยศึกษาและออกแบบตู้ยาสามัญประจำบ้านอัจฉริยะจากหลักการทำงานของ RFID มาประยุกต์ใช้กับตู้ยาสามัญประจำบ้าน เพื่อทำการติดตั้ง Tag RFID ไว้ที่ขวดยาพร้อมกับข้อมูลของยา ชนิดนั้นๆ แล้วจะสามารถบอกสรรพคุณผ่านทางลำโพง เพื่อให้ผู้พิการทางสายตาและผู้สูงอายุสามารถได้ยินเสียง เพื่อรับประทายาชนิดที่ตรงต่ออาการที่ผู้ป่วยเป็นอยู่ ผลการทดลอง Tag Rfid มีประสิทธิภาพการทำงาน 95 % และผลการศึกษาชุดสแกนข้อมูลจาก Tag RFID ประสิทธิภาพการทำงาน 95 % และได้มีการสำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้บริการตู้ยาสามัญประจำบ้านอัจฉริยะจำนวน 20 คน ผลที่ได้พบว่า (1) ความเข้าใจเนื้อหา มีความพึงพอใจในระดับมาก (2) วัตถุประสงค์ของเนื้อหา มีความพึงพอใจในระดับมาก (3) ขั้นตอนการทำงาน มีความพึงพอใจในระดับมาก การทดลองเป็นไปได้อย่างดีและตรงตามวัตถุประสงค์

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณเงินรายได้ (งบประจำส่วนภาคปกติ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานประจำปีงบประมาณ 2566 ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ทดลองในการดำเนินการวิจัยให้ลุล่วงเป็นไปอย่างเรียบร้อย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] จักรี รัชมีฉาย. (2558). ทดลองและใช้งานบอร์ด ARDUINO UNO R3 ด้วยโปรแกรม NI LABVIEW เข้าถึงได้จาก <https://tripleed.com> (2563, 1 กรกฎาคม)
- [2] Dfrobotg. (2015). DFPlayer Mini MP3 Player For Arduino [online] available: https://wiki.dfrobot.com/DFPlayer_Mini_SKU_DFR0299 (2020, 4 July)
- [3] สิริยาภรณ์ ผลลาวรรณและสุรพล ฤทธิ์รวมทรัพย์. “การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี RFID ในงานห้องสมุด”, วารสารวิจัยสมาคมห้องสมุดแห่งประเทศไทย , ปีที่ 8, ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2558.
- [4] ชยพร มณฑารัตน์. “ศึกษาความเป็นไปได้ในการน า RFID มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการควบคุมและจัดการทรัพย์สินคอมพิวเตอร์”,วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี, ปีที่ 7, ฉบับที่1, 2559.
- [5] กันตภณ พรวิโรตสัง. “การประยุกต์ใช้อาร์เอฟไอดีเพื่อคัดแยกสินค้าและจัดเก็บข้อมูล”, วารสารสังคมศาสตร์, ปีที่ 4, ฉบับที่1 มกราคม – มิถุนายน 2558.
- [6] ปานรวี มณีอินทร์และทิพย์วิภา ทองเอิบ. “ระบบ RFID สำหรับสนับสนุนคนพิการทางการเห็นในการเดินทาง”, วารสารวิทยาลัยราชสุดาเพื่อการศึกษาและพัฒนาคนพิการ, ปีที่ 5, ฉบับที่1 มกราคม –มิถุนายน 2555.
- [7] สุทธาทิพย์ ออประยูร, อัจฉนา เฟื่องจันทร์. “การพัฒนาฉลากยาสำหรับผู้พิการทางสายตา” วารสารเภสัชกรรมไทย ปีที่ 9 เล่มที่ 1 มค.- มีย. 60 หน้า 236-250.

การตรวจสอบกรดซาลิซิลิก (สารกันรา) ในอาหารประเภทผักดองและผลไม้ดองในเขตตลาด
สดตำบลมะม่วงสองต้น จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยการใช้ชุดทดสอบเบื้องต้น
Examination of salicylic acid (Anti fungal) in food category vegetable and
pickled fruit in Tambon Mamuangsongton Nakhon Si Thammarat

ซูรียา รอแม^{1*} และ สาสุข นคร¹

¹คณะสาธารณสุข มหาวิทยาลัยเฉลิมกาญจนา

*E-mail: research@cnu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยเล่มนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจแหล่งจำหน่ายกรดซาลิซิลิก รวมถึงแหล่งจำหน่ายขายส่งผักและผลไม้ดอง พร้อมทั้งทดสอบการปนเปื้อนของกรดซาลิซิลิก ในตำบลมะม่วงสองต้น อำเภอพระพรหม จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยกลุ่มตัวอย่างที่นำมาทดสอบ ได้แก่ผักดอง 5 ชนิด (ขิง ผักกาด หน่อไม้ กระเทียม และหัวไชโป๊ยะ) และผลไม้ดอง 5 ชนิด (องุ่น มะม่วง มะดัน มะยม และมะขามดอง) โดยนำตัวอย่างทั้งหมดมาทดสอบหาการปนเปื้อนของกรดซาลิซิลิก ด้วยชุดทดสอบเบื้องต้น จากการศึกษาพบว่า กรดซาลิซิลิกมีจำหน่ายโดยทั่วไป ส่วนใหญ่มีชื่อเรียกทางการค้าว่าสารกันบูดหรือสารกันรา มีชื่อทางเคมี คือ โซเดียมเบนโซเอต และโซเดียมโพรพิโอเนต ซึ่งแหล่งจำหน่ายขายส่งผักและผลไม้ดองที่สำรวจนั้น พ่อค้าแม่ค้ารับมาจากแหล่งจำหน่ายส่งตลาดหัวอัฐ เมื่อทำการสุ่มตรวจตัวอย่างพบการปนเปื้อนในผักและผลไม้ดอง คิดเป็นร้อยละ 51.14 และ 60.00 จะเห็นได้ว่าพบการปนเปื้อนกรดซาลิซิลิกทั้งในผักและผลไม้ดอง เนื่องจากในกระบวนการหมักดองจำเป็นต้องเติมสารเคมีลงไปเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทำให้ดูน่ารับประทานมากขึ้น

คำสำคัญ: กรดซาลิซิลิก การปนเปื้อน ผักและผลไม้ดอง

Abstract

This research has objective for investigate source distribute Salicylic acid, including source distribute of vegetable and pickled fruit. Along with test contamination of Salicylic acid in Tambon Maruang Song Ton Amphoe Phra Phrom Nakhon Si Thammarat Province and a simple group that's taken to test pickled vegetable 5 types (ginger, Lettuce, shoot, garlic, radish) and pickled fruit 5 types (grape, mango, madan, star gooseberry, tamarind) by taking all of instance to examine the contamination of with the example set. The result showed that Salicylic acid has general sale mostly it has a trade name is preservatives or mold. Part name in chemical that found is Sodium benzoate and Sodium Propionate. Which source distribute vegetable and pickled fruit that survey find merchant and Vendor receive from Fruit and Vegetables Market Hua It. When we random check example of contamination in vegetable and pickled fruit accounted for percentage 51.14 and 60.00 will find that contaminant Salicylic acid in both

since in process of pickled must increase Chemical substance for extend the life of maintenance longer and inhibit growth of microorganism. It looks Appetizing.

Keywords: Salicylic acid, contamination, vegetable and pickled fruit

1. บทนำ

ปัจจุบันการแปรรูปผักดองและผลไม้ดองเป็นที่นิยมมากเพราะสามารถแปรรูปได้ง่ายและเก็บไว้ได้นานทำให้มีอาหารประเภทผักและผลไม้รับประทานได้ตลอดทั้งปีส่งผลให้มูลค่าของผักและผลไม้เพิ่มขึ้นและสร้างรายได้เสริมให้แก่พ่อค้าแม่ขายมากมายโดยจำพวกผักผลไม้ที่นิยมนำมาทำมีหลากหลาย เช่น ผลไม้กวน ผลไม้เชื่อม ผลไม้แช่อิ่ม ผลไม้ดอง ผักดอง และผลไม้แปรรูป ในการนำผลไม้ที่อยู่ในสภาพดีไม่เน่าเสียมาผ่านกรรมวิธีการหมักการดอง การแช่อิ่มและการทำให้แห้งโดยใช้แสงแดด หรือนำไปอบซึ่งหากเลือกผลไม้ที่ไม่ได้คุณภาพหรือมีการเน่าเสียผ่านกรรมวิธีที่ไม่ได้มาตรฐาน ประกอบกับในการแปรรูปผักและผลไม้ อาจมีการปรุงแต่งกลิ่นหรือรสด้วยน้ำตาล เกลือ พริก ก็อาจส่งผลให้มีการเจริญเติบโตของเชื้อราจากสารปรุงแต่งในผลไม้แปรรูปอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพผู้บริโภค โภคได้กระบวนกรแปรรูปผักผลไม้มักมีการเติมวัตถุเจือปนหลายชนิดลงไปเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและคงสีสนสวยงามน่ารับประทาน เช่น สารบอร์แรกซ์ สีสังเคราะห์สารกันรา สารกันบูด สารฟอกขาวและสารเคมีกำจัดศัตรูพืช เป็นต้น ซึ่งหากใช้สารเคมีเหล่านี้ในปริมาณที่มากเกินไปเกินกว่าที่กฎหมายกำหนดหรือใช้ สารเคมีที่กฎหมายห้ามใช้จากก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพผู้บริโภค โภค

การดองเป็นวิธีการถนอมอาหารเพื่อชะลอการเน่าเสียและยืดอายุการเก็บรักษาไว้ได้นานหลายเดือน โดยเฉพาะผักและผลไม้จำพวกต่าง ๆ ที่มีความนิยมนำมาหมักดองทั้งหลาย เช่น มะม่วงดอง มะขามดอง มะยมดอง องุ่นดอง ขิงดอง ผักกาดดอง หน่อไม้ดอง กระเทียมดอง หัวไชโปดก เป็นต้นล้วนเป็นอาหารที่คนไทยนิยมกันอย่างกว้างขวางซึ่ง พบว่ามีการจำหน่ายกันอย่างแพร่หลายโดยจะเห็นได้ตามรถเข็นขายผลไม้ หาบเร่ แผงลอย ตลาดสด หรือแม้แต่ซูเปอร์มาร์เก็ตที่มีผักและผลไม้ดองวางขายในทุกพื้นที่ ทำให้หาซื้อได้ไม่ยากจึงทำให้ผู้ประกอบการบางรายหัวใสหาวิธีที่จะทำให้ผักและผลไม้ดองของตนสามารถเก็บไว้ได้นานและมีสภาพที่ดูเหมือนใหม่ตลอดเวลาทำให้น่ารับประทานมากขึ้นจึงมีการนำสารเคมีบางชนิดมาใช้ คือ กรดซาลิซิลิกเป็นสารเคมีสังเคราะห์ชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และเชื้อราได้ จึงทำให้ผักและผลไม้ดองน่ารับประทาน ไม่มีฝ้าขาวหรือจุดสีต่าง ๆ บนผักผลไม้ดองในทางกฎหมายกรดซาลิซิลิก เป็นวัตถุที่ห้ามใส่ในอาหารตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 151 (2536) เนื่องจากเป็นสารที่มีอันตรายต่อสุขภาพ

จากงานวิจัยพบว่าผลการศึกษาศาสนาการปนเปื้อนความปลอดภัยอาหารกลุ่มผักและผลไม้ในระยะที่ 1 และระยะที่ 2 พบว่าผลิตภัณฑ์ผักดองยังคงมีการตรวจพบสารเคมีเจือปนที่เป็นอันตรายในผักผลไม้เช่น สารกันรา ซึ่งไม่อนุญาตให้ใช้ในอาหารและยังมีการตรวจพบการเจือปนสีสังเคราะห์ซึ่งไม่อนุญาตในผลิตภัณฑ์ผักดองและผลไม้ดองซึ่งข้อมูลที่ได้บ่งชี้ว่าผู้ผลิตมีการใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคโดยเฉพาะอย่างยิ่งผักดองและผลไม้ดองในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการสำรวจหาสารเคมีปนเปื้อนในผักดองและผลไม้ดองเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิเคราะห์เพื่อนำเสนอแนวทางการควบคุมและป้องกันจำหน่ายสารอันตรายดังกล่าวผลการเก็บตัวอย่างสารเคมีที่จำหน่ายในพื้นที่เป็นเวลา 6 เดือน โดยตัวอย่างที่เก็บคือ สารกันรา ผงกรอบ ผงฟอกขาว พบว่า ตัวอย่างที่ได้มีความหลากหลายและมีชื่อเรียกที่ต่างกันออกไปสารเคมีเหล่านี้จะมีจำหน่ายตามร้านค้าหรือบริเวณใกล้เคียงในตลาดสดรวมทั้งร้านค้าจำหน่ายยาบางแห่งในส่วนสารกันบูดจะมีสาร โซเดียมเบนโซเอตและโซเดียมโพธิ โอนेटจำหน่ายอยู่ (นภาพร เขียวชาญ, ชัยรัตน์ชัย ตั้งควงดี และวไลพร ศรีชุมพวง, 2552)

การปลอมสารเคมีในตัวอย่างอาหาร โดยมีจำนวนตัวอย่างอาหารรวม 14.4849 ตัวอย่าง 8 ชนิด สารเคมีที่พบตัวอย่างอาหาร ได้แก่ กรดซาลิซิลิก (ร้อยละ 1.67) (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2547) การแปรรูปผักผลไม้ โดยวิธีการดองเป็นที่นิยมของผู้บริโภคทำให้ผู้ผลิตเติมสารต่าง ๆ เพื่อให้ยืดอายุการเก็บรักษาและยังคงคุณภาพทางกายภาพอัน

ได้แก่ สี กลิ่น รส และเนื้อสัมผัส ให้สดใหม่อยู่เสมอโดยไม่คำนึงถึงผู้บริโภ� (ทิพวรรณ และนิตยา, 2542) กรดซาลิซิลิก เป็นกรดที่มีอันตรายต่อร่างกายมาก ซึ่งผู้ผลิตอาหารบางรายนำมาใส่เป็นสารกันเสียในอาหารแห้งเพื่อป้องกันราขึ้น อาหารที่มักพบว่ามีการกันรา ได้แก่ น้ำผักกาดดอง น้ำคองผลไม้ แหนม หมูยอ เป็นต้น พิษของสารกันราเมื่อกินเข้าไปจะทำลายเซลล์ในร่างกายให้ตาย หากกินเข้าไปมาก ๆ จะทำลายเยื่อบุกระเพาะอาหารและลำไส้ทำให้เป็นแผลในกระเพาะอาหารและลำไส้ได้ ความดันโลหิตต่ำจนช็อกได้หรือในบางรายที่กินเข้าไปไม่มากแต่จะทำให้เป็นผื่นคันขึ้นตามตัว อาเจียน หูอื้อ มีไข้ ประกาศจากกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 151 (พ.ศ.2536) กำหนดให้กรดซาลิซิลิก เป็นวัตถุต้องห้ามใช้ในอาหาร จากงานวิจัยที่ทำการศึกษเกี่ยวกับสถานการณ์ปัจจุบันของการขายสินค้ากลุ่มผักผลไม้ของผู้ค้าเร่ในภาคอีสานมีการตรวจพบการใช้สารกันราในตัวอย่างผักดอง คิดเป็นร้อยละ 6 จากจำนวนตัวอย่างที่ได้ทำการสำรวจทั้งหมด 80 ตัวอย่าง (เกษม และคณะ, 2550) และต่อมาได้มีการทำวิจัยเพื่อศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับสถานการณ์ความปลอดภัยด้านผักและผลไม้ กรณีตลาดนัดและรถเร่ ผลที่ได้จากการสุ่มตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างผักดอง 35 ตัวอย่างพบสารกันราในตัวอย่างคิดเป็นร้อยละ 1.99 (พีรศักดิ์ และคณะ, 2552)

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการปนเปื้อนของกรดซาลิซิลิกในผักดองและผลไม้ดองที่ขายตามรถขายผลไม้ทั่วไปในเขตตลาดสดตำบลมะม่วงสองต้น เพื่อเป็นข้อมูลนำไปใช้เพื่อความปลอดภัยในการบริโภคอาหารของประชาชนและความเสี่ยงในการเกิดโรคที่เกิดจากกรดซาลิซิลิกซึ่งมีอยู่ในผักดองและผลไม้ดอง เพื่อให้ผู้ประกอบการได้ตระหนักถึงความปลอดภัยที่จะจัดหาอาหารมาให้ผู้บริโภ�

2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

2.1 วัตถุประสงค์

2.1.1 เพื่อสำรวจแหล่งจำหน่ายกรดซาลิซิลิกและแหล่งจำหน่ายขายส่งผักดองและผลไม้ดอง ในเขต อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช

2.1.2 เพื่อสำรวจการปนเปื้อนของกรดซาลิซิลิกในผักดองและผลไม้ดองที่นิยมบริโภ�จากตลาดสดในตำบลมะม่วงสองต้น

2.2 ประชากร

ผู้วิจัยทำการเก็บตัวอย่างผักดองและผลไม้ดองจากร้านค้าและรถผลไม้ในเขตตลาดสดตำบลมะม่วงสองต้น อำเภอพระพรหมจังหวัดนครศรีธรรมราช โดยผักดองและผลไม้ดองที่นำมาทำการวิจัย ได้แก่ ผักกาดดอง หน่อไม้ดอง กระเทียมดอง หัวไชโป๊ดอง มะม่วงดอง มะขามดอง มะดันดอง มะยมดอง และ องุ่นดอง

2.3 กลุ่มตัวอย่าง

ประกอบด้วยร้านขายผักจากตลาดสดศาลามีชัยจำนวน 7 ร้าน เก็บตัวอย่างร้านละ 5 ตัวอย่าง รวม 35 ตัวอย่างและร้านขายผลไม้ จำนวน 8 ร้าน เก็บตัวอย่างร้านละ 5 ตัวอย่าง รวม 40 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 75 ตัวอย่าง โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำ

2.4 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

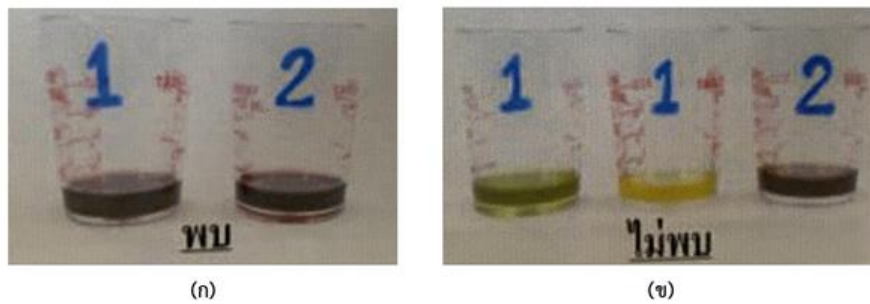
2.4.1 ชุดทดสอบ Test kit สำหรับตรวจหากรดซาลิซิลิก ในผักดองและผลไม้ดอง 75 ชุด ซึ่งทำการทดลอง 2 ซ้ำ ชุด Test kit นี้ใช้เป็นชุดทดสอบอาหารของกรมวิทยาศาสตร์ทางการแพทย์

1. ขั้นตอนเตรียมการทดลอง

- เตรียมตัวอย่างผักดองและผลไม้ดองลงในถุงซิปล็อก
- นำมาคั้นเอาน้ำใส่ในถุงซิปล็อก
- นำน้ำผักดองและผลไม้ดองเทใส่มีกเกอร์เพื่อทำการตรวจหากรดซาลิซิลิก

2. ขั้นตอนการทดลอง

- นำน้ำผักและผลไม้คองใสในถ้วยเบอร์ 1 และ 2
- หยดกรดซาลิซิลิก 1 ลงในถ้วยที่ 2 จำนวน 10 หยด
- หยดกรดซาลิซิลิก 2 ลงในถ้วยที่ 2 ที่ละหยด จำนวน 2-3 หยด สังเกตสี
- หยดกรดซาลิซิลิก 2 ลงในถ้วยที่ 1 ที่ละหยด จำนวน 2-3 หยด สังเกตสี



ภาพที่ 1 ตัวอย่างอาหารที่มีกรดซาลิซิลิกเจือปน (ก) และ อาหารที่ไม่มีกรดซาลิซิลิกเจือปน (ข)

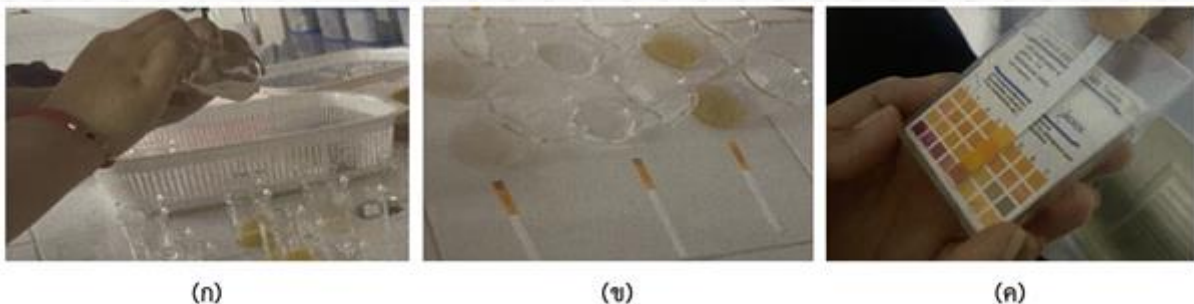
3. ชั้นประเมินผล

- ถ้าถ้วยที่ 1 มีสีม่วงดำเหมือนถ้วยที่ 2 แสดงว่า ตัวอย่างที่มีกรดซาลิซิลิกเจือปน (ภาพที่ 1 (ก))
- ถ้าถ้วยที่ 1 เป็นสีอื่นที่ไม่ใช่สีม่วงดำเหมือนถ้วยที่ 2 แสดงว่า ตัวอย่างที่ไม่มีกรดซาลิซิลิกเจือปน (ภาพที่ 1 (ข))

2.4.2 กระดาษลิตมัส สำหรับตรวจหาค่าความเป็นกรดต่าง (พีเอช)

1. ขั้นตอนเตรียมการทดลอง

- เตรียมตัวอย่างผักคองและผลไม้คองลงในถุงซิปล็อก
- นำมาคั้นเอาน้ำใส่ในถุงซิปล็อก
- นำน้ำผักคองและผลไม้คองเทใส่บีกเกอร์เพื่อทำการวัดค่าพีเอช



ภาพที่ 2 การทดสอบค่าความเป็นกรดต่างด้วยกระดาษลิตมัส

2. ขั้นตอนการทดลอง

- นำกระดาษลิตมัสจุ่มลงในบีกเกอร์จนทั่วแผ่นกระดาษ (ภาพที่ 2 (ก))
- สังเกตดูแถบสีที่ค่อย ๆ เปลี่ยนสี (ภาพที่ 2 (ข))
- นำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับสีมาตรฐานเพื่ออ่านค่าพีเอช (ภาพที่ 2 (ค))

2.5 การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

1. การลงเก็บตัวอย่างเพื่อทดสอบการปนเปื้อน
 - นำตัวอย่างที่ทำการเก็บเรียบร้อยแล้วไปตรวจทางห้องปฏิบัติการด้วยชุดทดสอบ Test-kit
 - ขั้นตอนวิเคราะห์นำตัวอย่าง ผักคองและผลไม้คอง เช่น ผักกาดคอง หน่อไม้คอง กระเทียมคอง ชิงคอง หัวไชโป๊ะคอง มะม่วงคอง มะขามคอง มะยมคอง และ องุ่นคอง โดยสังเกตสีที่เกิดขึ้นและอ่านผล หากสารละลายเปลี่ยนเป็นสีม่วงดำ แสดงว่าพบ สารกันราหรือกรดซาลิซิลิก หากไม่มีการเปลี่ยนสีจากเดิม แสดงว่าไม่พบสารกันราหรือกรดซาลิซิลิก
 - บันทึกและสรุปผลการวิจัย
2. หาค่าความเป็นกรดต่าง (พีเอช) จาก กระดาษลิตมัสในผักคองจำนวน 7 ร้าน และผลไม้คองจำนวน 8 ร้าน

2.6 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลตามขั้นตอนดังนี้

1. สํารวจตลาดสดในพื้นที่ ตำบล มะม่วงสองต้น พบว่ามีร้านค้าที่จำหน่ายผัก 7 ร้าน ผลไม้ 8 ร้าน รวมทั้งหมด 15 ร้าน สำหรับการเก็บตัวอย่างจะทำการเก็บทุก ๆ ร้าน
2. ทำการเก็บตัวอย่าง ผักคองและผลไม้คองภาคสนาม
3. นำตัวอย่างที่ได้มาทำการตรวจหากรดซาลิซิลิก ในผักคองและผลไม้คองด้วยชุดทดสอบ Test kit
4. นำตัวอย่างที่ได้มาทำการตรวจหาค่าความเป็นกรดต่าง (พีเอช) ในผักคองและผลไม้คอง
5. นำผลที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์

2.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การตรวจคัดกรองการปนเปื้อนของกรดซาลิซิลิก ในผักคองและผลไม้คองโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ใช้สำหรับหาค่าเฉลี่ย และร้อยละแสดงค่าการปนเปื้อนของสารในผักคองและผลไม้คอง เช่น พบและไม่พบ
2. การตรวจหาค่าความเป็นกรดต่าง (พีเอช)ในผักคองและผลไม้ โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ใช้สำหรับหาค่าเฉลี่ย และร้อยละ ซึ่งจะแสดงค่าความเป็นกรดต่างในผักคองและผลไม้คอง เช่น ค่า pH น้อยกว่า 7 มีค่าเป็นกรด ค่า pH มากกว่า 7 มีค่าเป็นด่าง ค่า pH เท่ากับ 7 มีค่าเป็นกลาง

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ผลการทดลอง

การศึกษาวิจัย เรื่องการตรวจสอบกรดซาลิซิลิก ในตัวอย่างอาหารประเภทผักคองและผลไม้คองในเขต ตลาดสด ตำบลมะม่วงสองต้น โดยการใชชุดทดสอบเบื้องต้นเป็นการวิจัยเชิงสำรวจ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจแหล่งจำหน่ายกรดซาลิซิลิกและแหล่งจำหน่ายขายส่งตลาดกลางผักและผลไม้จังหวัดนครศรีธรรมราช(ตลาดรวมพืชผลหัวอัญชัญ) ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 75 ตัวอย่าง แบ่งเป็น ผักคองจำนวน 7 ร้าน (ชิงคอง ผักกาดคอง หน่อไม้คอง กระเทียมคอง และหัวไชโป๊ะคอง) ผลไม้คองจำนวน 8 ร้าน (องุ่นคอง มะม่วงคอง มะดันคอง มะยมคอง และมะขามคอง) ซึ่งผู้วิจัยได้นำเสนอการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

3.1.1 ผลของการสำรวจข้อมูลทั่วไปของกรดซาลิซิลิก

จากการสำรวจแหล่งจำหน่ายกรดซาลิซิลิกและแหล่งจำหน่ายขายส่งผักคองและผลไม้คอง เมื่อทำการสุ่มเก็บตัวอย่างจากร้านค้าเพื่อสำรวจการจำหน่ายกรดซาลิซิลิก พบแหล่งที่มาทั้งหมด 3 ร้าน โดยตัวอย่างที่เก็บได้ส่วนใหญ่มีชื่อเรียกทางการค้าคือ สารกันบูด กับสารกันเชื้อราพบตัวอย่างที่ระบุชื่อสารเคมีบนฉลากทั้ง 3 ร้าน ชนิดของสารเคมีที่พบมีสองชนิดคือ โซเดียมเบนโซเอต (2 ตัวอย่าง) และ โซเดียมโพรปีโอเนต (1 ตัวอย่าง) ซึ่งตัวอย่างมีลักษณะผงขาวละเอียด 2 ตัวอย่าง และ

ตัวอย่างที่เป็นผลึกกลมจำนวน 1 ตัวอย่าง สารกันราที่วางจำหน่ายมีเลข อย. กำกับ 2 ร้าน และไม่มีเลข อย. 1 ร้าน (แสดงดังตารางที่ 1) ส่วนแหล่งจำหน่ายขายส่งผักและผลไม้คงจากการสำรวจสอบถามจากร้านค้า พบว่าส่วนใหญ่ผักดองและผลไม้ดองที่นำมาวางจำหน่ายนั้นรับมาจากตลาดผัก (ตลาดรวมพืชผลหัวอัฐ) ซึ่งเป็นกลุ่มที่ชาวบ้านประกอบอาชีพดองผักและผลไม้รายใหญ่ซึ่งมีกระบวนการแปรรูปกระบวนการดองและกระบวนการบรรจุถุงเพื่อจำหน่ายเพื่อขายส่ง

ตารางที่ 1 แหล่งจำหน่ายสารกันราชนิดต่าง ๆ ที่พบในเขตพื้นที่ศึกษา

ชื่อเรียก	ยี่ห้อ	จำนวนตัวอย่าง	ลักษณะตัวอย่าง	ชื่อระบุบนฉลาก	แหล่งตัวอย่าง
สารกันเชื้อรา	-	1	ผงขาวละเอียด	โซเดียม โพรปีโอเนต	โพธิ์เสด็จ
ผงกันบูด	ตราพีซีซี	1	ผงขาวละเอียด	โซเดียม เบนโซเอต	โพธิ์เสด็จ
ผงกันบูด	-	1	ผงขาวผลึกกลม	โซเดียม เบนโซเอต	โพธิ์เสด็จ

3.1.2 ผลการวิเคราะห์การปนเปื้อนกรดซาลิซิลิกในอาหารประเภทผักและผลไม้ดองในเขตตลาดสด ตำบล มะม่วงสองต้น โดยการใช้ชุดทดสอบเบื้องต้น

1. ผลการวิเคราะห์การปนเปื้อนกรดซาลิซิลิกในผักดอง

ผลการตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนกรดซาลิซิลิกในตัวอย่างผักดอง โดยได้ทำการเก็บตัวอย่างผักดองทั้งหมด 7 ร้าน ร้านละ 5 ตัวอย่าง (ชิงดอง ผักกาดดอง หน่อไม้ดอง กระเทียมดอง และหัวไชโป๊ดอง) พบว่า จากการทดสอบด้วยชุดทดสอบการปนเปื้อนของกรดซาลิซิลิกในตัวอย่างผักกาดดองพบการปนเปื้อนมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 100 จากจำนวนร้านทั้งหมด 7 ร้าน พบทั้ง 7 ร้าน รองลงมาพบการปนเปื้อนในหน่อไม้ดองและกระเทียมดองจำนวน 4 ร้านจากตัวอย่างทั้งหมด 7 ร้าน คิดเป็นร้อยละ 57.14 และพบการปนเปื้อนในชิงดองจำนวน 3 ร้านจากตัวอย่างทั้งหมด 7 ร้าน คิดเป็นร้อยละ 42.85 ส่วนตัวอย่างที่พบน้อยที่สุด คือ หัวไชโป๊ดอง พบจำนวน 2 ร้านจากตัวอย่างทั้งหมด 7 ร้าน คิดเป็นร้อยละ 28.57 แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 จำนวนและค่าร้อยละของผลการตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนกรดซาลิซิลิกในอาหารประเภทผักดองจากทั้งหมดจำนวน 7 ร้าน

ชนิด	จำนวนตัวอย่าง	การพบการปนเปื้อน			
		มีการปนเปื้อน (ตัวอย่าง)	คิดเป็น (ร้อยละ)	ไม่มีการปนเปื้อน (ตัวอย่าง)	คิดเป็น (ร้อยละ)
ชิงดอง	7	3	42.85	4	57.15
ผักกาดดอง	7	7	100.00	0	0.00
หน่อไม้ดอง	7	4	57.14	3	42.86
กระเทียมดอง	7	4	57.14	3	42.86
หัวไชโป๊ดอง	7	2	28.57	5	72.43
รวม	35	20	57.14	15	43.86

2. ผลการวิเคราะห์การปนเปื้อนกรดซาลิซิลิกในผลไม้ดอง

ผลการตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนกรดซาลิซิลิกในตัวอย่างผักดอง โดยได้ทำการเก็บตัวอย่างผักดองทั้งหมด 8 ร้าน ร้านละ 5 ตัวอย่าง (องุ่นดอง มะม่วงดอง มะดันดอง มะขมดอง และมะขามดอง) พบว่า จากการทดสอบด้วย

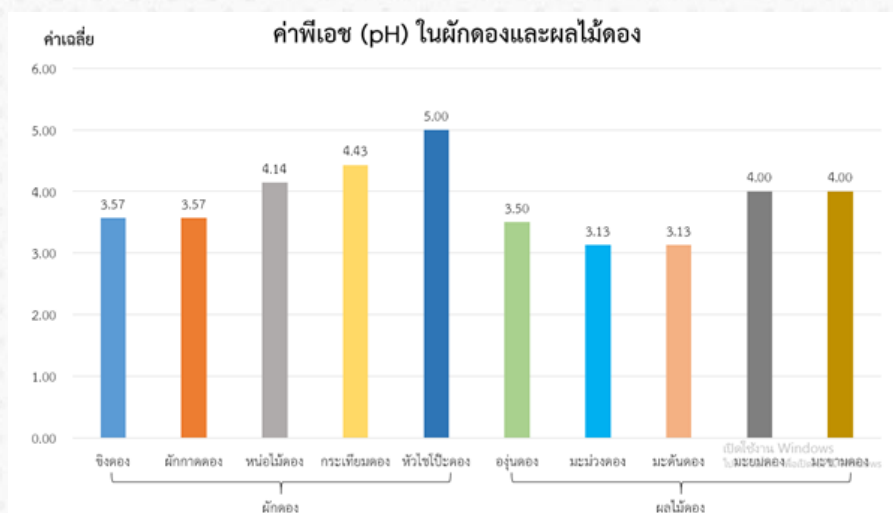
ชุดทดสอบการปนเปื้อนของกรดซาลิซิลิกในตัวอย่างมะดันต้องพบการปนเปื้อนมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 87.50 โดยพบจำนวน 7 ร้าน จากตัวอย่างทั้งหมด 8 ร้าน รองลงมาพบการปนเปื้อนในองุ่นต้อง พบจำนวน 6 ร้าน จากตัวอย่างทั้งหมด 8 ร้าน คิดเป็นร้อยละ 75.00 และพบการปนเปื้อนในมะม่วงต้องจำนวน 5 ร้าน จากตัวอย่างทั้งหมด 8 ร้าน คิดเป็นร้อยละ 62.50 ส่วนตัวอย่างที่พบน้อยที่สุด คือ มะยมต้อง และมะขามต้อง พบจำนวน 2 ร้าน จากตัวอย่างทั้งหมด 8 ร้าน คิดเป็นร้อยละ 37.50 แสดงรายละเอียดตารางที่ 3

ตารางที่ 3 จำนวนและค่าร้อยละของผลการตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนกรดซาลิซิลิกในอาหารประเภทผลไม้ต้องจากทั้งหมดจำนวน 8 ร้าน

ชนิด	จำนวนตัวอย่าง	การพบการปนเปื้อน			
		มีการปนเปื้อน (ตัวอย่าง)	คิดเป็น (ร้อยละ)	ไม่มีการปนเปื้อน (ตัวอย่าง)	คิดเป็น (ร้อยละ)
องุ่นต้อง	8	6	75.00	2	25.00
มะม่วงต้อง	8	5	62.50	3	37.50
มะดันต้อง	8	7	87.50	1	12.50
มะยมต้อง	8	3	37.50	5	62.50
มะขามต้อง	8	3	37.50	5	62.50
รวม	40	24	60.00	16	40.00

3.1.3 ผลการตรวจวัดค่าความเป็นกรดต่าง (พีเอช) ในตัวอย่างผักและผลไม้ต้อง

ผลจากการตรวจค่าพีเอชในตัวอย่างผักต้องโดยใช้กระดาษลิตมัสในการทดสอบ พบว่า ในตัวอย่างขิงคองและผักกาดคองมีค่าพีเอชที่มีค่าความเป็นกรดสูงเฉลี่ยอยู่ที่ 3.57 ซึ่งมีความเป็นกรดสูงกว่าตัวอย่างอื่นรองลงมาคือ หน่อไม้ต้องมีค่าพีเอชเฉลี่ยอยู่ที่ 4.10 มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับกระเทียมต้องอยู่ที่ 4.43 ส่วนหัวไชโปะมีค่าพีเอชเฉลี่ยอยู่ที่ 5.00 ส่วนในผลไม้ต้อง พบว่า ในตัวอย่างมะขมคอง และมะขามคองมีค่าพีเอชที่มีค่าความเป็นกรดสูงเฉลี่ยอยู่ที่ 4.00 ซึ่งมีความเป็นกรดสูงกว่าตัวอื่นรองลงมา คือ องุ่นคองมีค่าพีเอชเฉลี่ยอยู่ที่ 3.5 ส่วนในมะม่วงคองและมะดันคองมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.12 แสดงดังรูปที่ 3



ภาพที่ 3 ผลการตรวจหาค่าพีเอชในผักคองและผลไม้

3.2 อภิปรายผล

3.2.1 ข้อมูลจากการสำรวจร้านค้าจำหน่ายกรดซาลิซิลิกในเขตตลาดสดตำบลมะม่วงสองต้น จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่า ส่วนใหญ่มีชื่อเรียกตามการค้า คือ สารกันบูดและสารกันเชื้อรา ส่วนสารเคมีที่ระบุบนฉลากมี 2 ชนิด คือ โซเดียมเบนโซเอตและโซเดียมโพรพิโอเนต ซึ่งเราสามารถหาซื้อได้ตามร้านขายของชำทั่วไป จากการที่ผู้วิจัยได้ลงพื้นที่สำรวจหาแหล่งจำหน่ายผักดองและผลไม้ดองที่ได้มาจากการสอบถามจากค้าในตำบลมะม่วงสองต้น ปรากฏว่าส่วนใหญ่ผักดองและผลไม้ดองนั้นที่นำมาจำหน่ายส่วนใหญ่รับมาจากตลาดผักและผลไม้ จังหวัดนครศรีธรรมราช (ตลาดรวมพืชผลหัวอัฐ) ตำบลโพธิ์เสด็จ อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่า กรรมวิธีที่ใช้ในการผลิตผักดองและผลไม้ดองซึ่งไม่ถูกสุขลักษณะอนามัยสุขภาพด้านอาหาร เนื่องจากไม่มีฟาปิภาชนะที่มิดชิดอาจทำให้มีการเจริญของฝุ่นละอองและแมลงวันซึ่งเป็นพาหะนำโรคซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ นภาพร เขียวชาญ และคณะ พ.ศ.2549 ที่ได้รายงานการสำรวจร้านค้าจำหน่ายกรดซาลิซิลิกในเขตกรุงเทพและปริมณฑลจากการสำรวจแหล่งจำหน่ายพบร้านค้าที่จำหน่ายกรดซาลิซิลิกจำนวน 26 ร้าน ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล พบชนิดของสารเคมีที่ระบุมีสองชนิดคือ โซเดียมเบนโซเอตและโซเดียมโพรพิโอเนต ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีขายโดยทั่วไป

ดังนั้นหากมีการผลิตนำเข้าหรือจำหน่ายอาหารปลอมปนกรดซาลิซิลิก จัดเป็นอาหารที่ไม่บริสุทธิ์ โดยจะถูกดำเนินการตามกฎหมายอาจได้รับโทษจำคุกไม่เกิน 2 ปี หรือปรับไม่เกิน 20,000 บาท หรือทั้งจำทั้งปรับ และตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขตามกฎหมายอาหารฉบับที่ 151 (พ.ศ.2536) กรดซาลิซิลิกเป็นสารเคมีที่ห้ามใส่ในอาหารถ้าบริโภคนำเข้าไปจะทำให้หูดื้อ อาเจียนรุนแรง มีไข้ ไตวายและเสียชีวิตได้

3.2.2 ข้อมูลผลการตรวจวิเคราะห์ให้การปนเปื้อนกรดซาลิซิลิกในผักและผลไม้ดอง ในเขตตลาดสดตำบลมะม่วงสองต้น จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่า การปนเปื้อนของกรดซาลิซิลิกในผักและผลไม้ดองสอดคล้องกับงานวิจัยของ นภาพร เขียวชาญ และคณะ (2549:24) ซึ่งพบว่า ผลการศึกษาสถานการณ์ความปลอดภัยอาหารกลุ่มผักดองและผลไม้ดองในระยะเวลาที่ 1 และระยะเวลาที่ 2 ผลผลิตเกษตรยังคงมีการตรวจพบสารเคมีเจือปนที่เป็นอันตรายต่อผักผลไม้ เช่น สารกันราซึ่งไม่อนุญาตให้ใช้ในอาหารและยังมีการตรวจพบการเจือปนสังเคราะห์ซึ่งไม่อนุญาตในผลิตภัณฑ์ผักดองและผลไม้ดอง ซึ่งข้อมูลที่ได้บ่งชี้ว่าผู้ผลิตมีการใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคโดยเฉพะอย่างยิ่งผักดองและผลไม้ดองในงานวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการสำรวจหาสารเคมีปนเปื้อนในผักดองและผลไม้ดองเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิเคราะห์เพื่อนำเสนอแนวทางการควบคุมและป้องกันการจำหน่ายสารอันตรายดังกล่าว

ดังนั้น หากมีการผลิตนำเข้าหรือจำหน่ายอาหารปลอมปนกรดซาลิซิลิก จัดเป็นอาหารที่ไม่บริสุทธิ์ โดยจะถูกดำเนินการตามกฎหมายอาจได้รับโทษจำคุกไม่เกิน 2 ปี หรือปรับไม่เกิน 20,000 บาท หรือทั้งจำทั้งปรับ และตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขตามกฎหมายอาหารฉบับที่ 151 (พ.ศ.2536) กรดซาลิซิลิกเป็นสารเคมีที่ห้ามใส่ในอาหารถ้าบริโภคนำเข้าไปจะทำให้หูดื้อ อาเจียนรุนแรง มีไข้ ไตวาย และเสียชีวิตได้

3.2.3 ข้อมูลผลการตรวจวัดค่าความเป็นกรดต่าง(พีเอช)ในตัวอย่างผักดองและผลไม้ดองในเขตตำบลมะม่วงสองต้น จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่า ในตัวอย่างขิงดองและผักกาดดองมีค่าพีเอชที่มีค่าความเป็นกรดสูงเฉลี่ยอยู่ที่ 3.57 ซึ่งสูงกว่าในตัวอย่างอื่น ๆ รองลงมา คือ หน่อไม้ดองมีค่าพีเอชเฉลี่ยอยู่ที่ 4.1 จะมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับกระเทียมดองซึ่งมีค่าพีเอชเฉลี่ยอยู่ที่ 4.43 ส่วนหัวไชโป๊มีค่าพีเอชเฉลี่ยอยู่ที่ 5.00 และในส่วนของผลไม้ดอง ที่มีค่าพีเอชสูงสุดในกลุ่มตัวอย่างคือ มะยมดองและมะขามดองจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.00 รองลงมาคือ องุ่นดอง มีค่าพีเอชเฉลี่ยอยู่ที่ 3.5 ถัดมาจะเป็นมะม่วงดองและมะดันดอง มีค่าพีเอชเฉลี่ยอยู่ที่ 3.12 ซึ่งเป็นค่าที่น้อยที่สุดของตัวอย่างทั้งหมด

4. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผล

งานวิจัยครั้งนี้ได้สำรวจร้านค้าจำหน่ายกรดซาลิซิลิกและสำรวจการปนเปื้อนกรดซาลิซิลิกในอาหารประเภทผักและผลไม้ต่างได้แก่ ขิงคอง ผักกาดคอง หน่อไม้คอง กระเทียมคอง หัวไชโปะคอง องุ่นคอง มะม่วงคอง มะดันคอง มะยมคอง มะขามคอง ในเขตตลาดสดตำบลมะม่วงสองต้น เพื่อเป็นข้อมูลในการศึกษา โดยสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

4.1.1 สรุปข้อมูลการสำรวจแหล่งจำหน่ายกรดซาลิซิลิกและจำหน่ายผักและผลไม้คองในเขตตำบลมะม่วงสองต้น จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งจากการสำรวจร้านค้าจำหน่าย ในเขตตำบลมะม่วงสองต้น พบร้านค้าจำหน่ายสารกันราจำนวน 3 ร้าน ซึ่งชนิดของสารเคมีที่ระบุบนฉลากคือ โซเดียมเบนโซเอต และโซเดียมโพรปีโอเนต กรดซาลิซิลิกที่วางจำหน่ายมีเลขอย.กำกับมีชื่อผู้ผลิตและผู้จัดจำหน่ายส่วนบางร้านไม่ระบุผู้ผลิตและ ไม่มี อย.ระบุซึ่งกรดซาลิซิลิกเป็นสารเคมีที่สามารถหาซื้อได้ไม่ยากสำหรับประชาชนทั่วไปในการนำไปประยุกต์ใช้โดยไม่คำนึงถึงผลกระทบ

ส่วนแหล่งจำหน่ายขายส่งผักและผลไม้คอง พบว่าในเขตตำบลมะม่วงสองต้นส่วนใหญ่แล้ว พ่อค้าแม่ค้าตามรถขายผลไม้ทั่วไปจะรับผักคองและผลไม้คองมาจากแหล่งขายส่ง ซึ่งจะเป็นกลุ่มชาวบ้านที่ทำกันเองตามกรรมวิธีของตนเองแล้วนำสารกันราใส่เพื่อที่จะให้ผักคองและผลไม้คองพ่อค้าแม่ค้าที่ไปรับมาขายนั้นไม่ทราบมาก่อนว่ามีการใส่สารกันราลงในผักคองและผลไม้คองด้วย

4.1.2 สรุปข้อมูลการตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนของกรดซาลิซิลิกในอาหารประเภทผักคองและผลไม้คองในเขตตำบลมะม่วงสองต้น จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งจากการตรวจวิเคราะห์การปนเปื้อนของกรดซาลิซิลิกในตัวอย่างผักคองในเขตตำบลมะม่วงสองต้น จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยเก็บตัวอย่างประเภทผักคอง 35 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 7 ร้าน แบ่งออกเป็นร้านละ 5 ชนิด ได้แก่ ขิงคอง ผักกาดคอง หน่อไม้คอง กระเทียมคอง และหัวไชโปะคอง ในส่วนผลไม้คองเก็บนั้นได้เก็บตัวอย่างทั้งหมด 40 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 8 ร้าน แบ่งออกเป็น ร้านละ 5 ชนิด ได้แก่ องุ่นคอง มะม่วงคอง มะดันคอง มะยมคอง และมะขามคอง พบว่า ในผักคองที่มีการปนเปื้อนของกรดซาลิซิลิกมากที่สุด คือ ผักกาดคอง คิดเป็นร้อยละ 100.00 รองลงมา คือ หน่อไม้คอง และกระเทียมคอง คิดเป็นร้อยละ 57.14 ถัดมาคือขิงคอง คิดเป็นร้อยละ 42.85 ส่วนผักคองที่พบกรดซาลิซิลิกน้อยที่สุด คือ หัวไชโปะคอง คิดเป็นร้อยละ 28.57

ในส่วนของผลไม้คองพบการปนเปื้อนของกรดซาลิซิลิกมากที่สุด คือ มะดันคอง คิดเป็นร้อยละ 87.5. รองลงมาพบในองุ่นคอง คิดเป็นร้อยละ 75.00 ถัดมาพบในมะม่วงคอง คิดเป็นร้อยละ 62.50 ส่วนในผลไม้คองที่พบกรดซาลิซิลิกน้อยที่สุด คือมะยมคองและมะขามคอง คิดเป็นร้อยละ 37.50

4.1.3 สรุปข้อมูลการตรวจวัดค่าความเป็นกรดต่าง (พีเอช) ในตัวอย่างผักและผลไม้คองในเขตตำบลมะม่วงสองต้น จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งจากการตรวจวิเคราะห์วัดค่าความเป็นกรด (พีเอช) ในผักคองและผลไม้คองโดยใช้กระดาษลิตมัสในการทดสอบพบว่าในตัวอย่างผักคองค่าความเป็นกรดเฉลี่ยจะอยู่ในช่วงประมาณ 3.5 – 5.0 ส่วนในตัวอย่างผลไม้คองค่าความเป็นกรดเฉลี่ย จะอยู่ในช่วงเฉลี่ย 3.1 – 4.0 จากข้อมูลจะเห็นได้ว่าในตัวอย่างผักและผลไม้คองมีความเป็นกรดสูงเนื่องจากกระบวนการถนอมอาหารโดยการดองหรือแช่อิ่มให้อาหารมีรสเปรี้ยว

4.2 ข้อเสนอแนะ

4.2.1 การประยุกต์ผลการวิจัยไปใช้

- จากการสำรวจพบว่า ประชาชนที่เป็นผู้ผลิตยังขาดความรู้เกี่ยวกับอันตรายจากโรคที่เกิดจากกรดซาลิซิลิก จึงควรมีการส่งเสริมให้ความรู้และพัฒนาความรู้เกี่ยวกับโภชนาการเพื่อให้ประชาชนมีความรู้ ความเข้าใจมากยิ่งขึ้น และสามารถนำไปใช้ในชีวิตประจำวันได้อย่างถูกต้อง

- หน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องการมีตรวจการใช้กรดซาลิซิลิกให้เข้มงวดขึ้น

4.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับทำวิจัยครั้งต่อไป

- ในการศึกษาครั้งต่อไป ควรศึกษาพฤติกรรมการบริโภคอาหารประเภทต่าง ๆ ให้มากกว่านี้ โดยเฉพาะอาหารที่ปนเปื้อนกรดซาลิซิลิก
- ควรมีการวิจัยหาปริมาณการปนเปื้อนของกรดซาลิซิลิกในอาหารชนิดอื่น ๆ ลักษณะที่เสี่ยงต่อการปนเปื้อนกรดซาลิซิลิก

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (26 สิงหาคม 2565). สารพิษในอาหาร. งานวิจัย...ใช้ได้จริง. สืบค้นจาก <http://drug.pharmacy.psu.ac.h/Question.asp>
- [2] เคมีอุตสาหกรรม. (26 สิงหาคม 2565). กรดซาลิซิลิก (salicylic acid). สืบค้นจาก <https://www.siamchemi.com>
- [3] ณัฐจรรย์ จิรัคกุล และคณะ. สารตกค้างในผักที่วางจำหน่ายในต.หนองกอมเกาะ อ.เมือง จ.หนองคาย. รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติครั้งที่ 14 และระดับนานาชาติครั้งที่ 6. 424-427.
- [4] นภาพร เชี่ยวชาญและคณะ. โครงการศึกษารูปแบบการจัดการความปลอดภัยอาหารกลุ่มผักและผลไม้กระป๋องเค็มเจือปนในอาหาร. ศูนย์ศึกษาระบบความปลอดภัยอาหารและโภชนาการสถาบันคลังสมองของชาติ.(RD001)01 22-25.
- [5] นิชนันท์ ธรรมวัฒน์. (26 สิงหาคม 2565). ซาลิซิลิก...กรดร้ายอันตราย...ตายผ่อนส่ง. รู้จักกินรู้จักใช้ได้ประโยชน์. สืบค้นจาก <http://ecurriculum.my.ac.th>
- [6] เรณู จุลศรี. อันตรายแฝงในอาหาร. Rชีวารสาร. คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล. ปีที่ 3 ฉบับที่ 12. (2560).
- [7] ศากุน เอี่ยมศิลา และคณะ. สถานการณ์ความปลอดภัยด้านอาหารของประเทศไทย เอกสารเผยแพร่ข้อมูลด้านสุขภาพ. 8(6) 1-4.
- [8] อัญญาจุ บังชุม. อันตรายที่เจือปนอยู่ในอาหาร. คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล. ปีที่ 3 ฉบับที่ 12. (2560).
- [9] National Food Institute. (28 สิงหาคม 2565). สารกันบูดในน้ำตองผัก. สืบค้นจาก <https://oryor.com/oE0%B8%AD%E0B89A2/detailmedia printing/848>
- [10] Nfitr966. (28 สิงหาคม 2565). สารกันบูดในน้ำผักตองผลไม้ตอง. สืบค้นจาก <http://www.blogth.com/blog/Colum/Helth/4583.html> กันยายน, 6-8.



คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

โทร. 02-836-3000 ต่อ 4159,4155 WWW.SCI.RMUTP.AC.TH/NCONSCI6