



# PROCEEDINGS BOOK

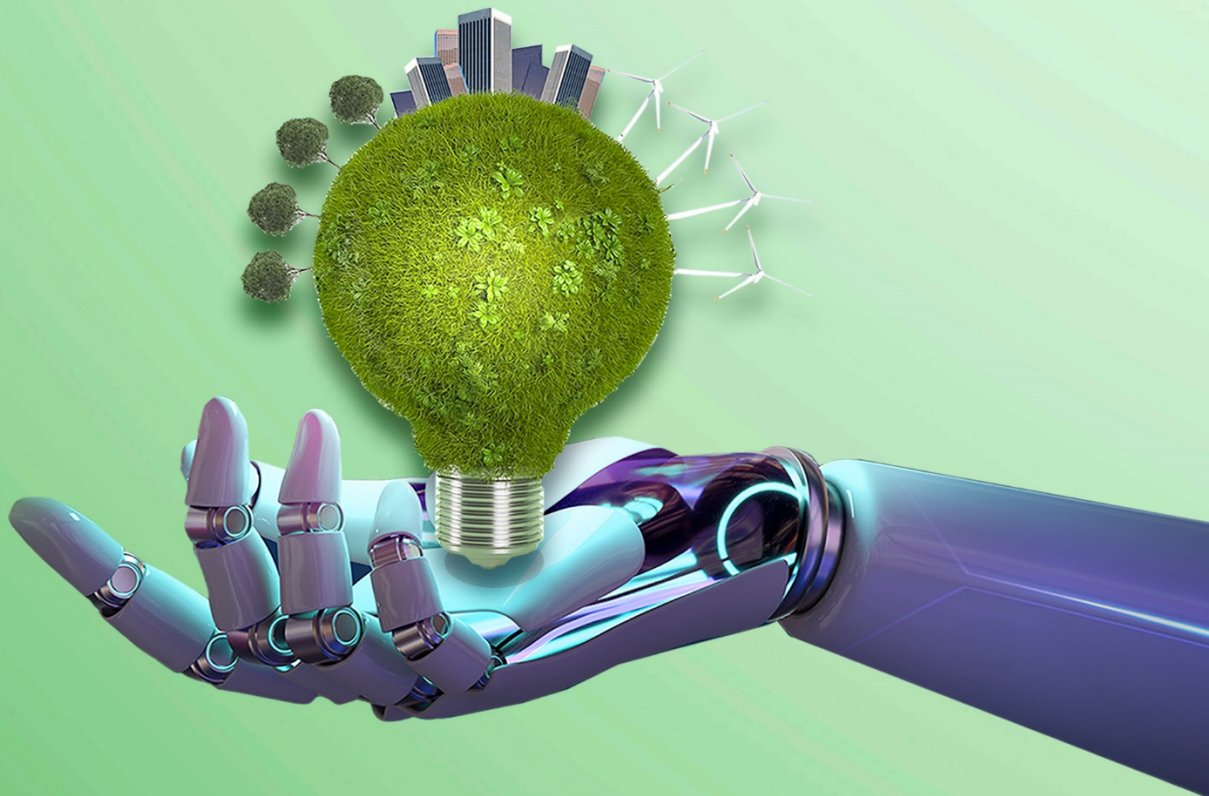
## รายงานสืบเนื่อง

การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 7  
"วิทยาศาสตร์สู่การขับเคลื่อนเทคโนโลยีและนวัตกรรมสีเขียว"

The 7<sup>th</sup> National Conference on Science, Technology and Innovation:  
Science to Drive Green Technology and Innovation

22 สิงหาคม 2567

ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร





รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ  
(Proceedings Book)

การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 7  
“วิทยาศาสตร์สู่การขับเคลื่อนเทคโนโลยีและนวัตกรรมสีเขียว”

The 7<sup>th</sup> National Conference on Science, Technology and Innovation:  
Science to Drive Green Technology and Innovation

ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
วันที่ 22 สิงหาคม 2567  
จัดการประชุมแบบ On-site และ Online ผ่าน ZOOM Cloud Meetings

พิมพ์เมื่อ : กันยายน 2567  
กองบรรณาธิการ : ฝ่ายวิชาการและวิจัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

© ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

## สารจากคณบดี



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เป็นมหาวิทยาลัยด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรม มีบทบาทสำคัญในการสร้างงานวิจัย เทคโนโลยี และนวัตกรรม อันจะนำมาเพื่อพัฒนาคุณภาพการศึกษาและงานวิจัย ให้ได้มาซึ่งองค์ความรู้และนวัตกรรมที่สามารถตอบสนองความต้องการของประชาชนและประเทศชาติ สามารถพัฒนาต่อยอด นำไปใช้ประโยชน์แก้ไขปัญหาได้อย่างแท้จริง เราตระหนักถึงความสำคัญของงานวิจัย ทั้งงานวิจัยเพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ งานวิจัยและพัฒนาเพื่อสร้างนวัตกรรม และงานวิจัยเพื่อพัฒนาการเรียนการสอน โดยส่งเสริมและสนับสนุนการสร้างงานวิจัยของคณาจารย์ บุคลากร และนักศึกษาของมหาวิทยาลัย ให้ผลิตผลงานวิจัยที่มีคุณภาพ มีประโยชน์ และสามารถพัฒนาผลงานวิจัยให้มีความก้าวหน้ามุ่งสู่ความเป็นเลิศทางวิชาการในศาสตร์แขนงต่าง ๆ การจัดการประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 7 ในครั้งนี้ เรามุ่งเน้นการใช้วิทยาศาสตร์ เป็นเครื่องมือในการขับเคลื่อนเทคโนโลยี และนวัตกรรม ให้เข้าถึงสาเหตุของปัญหา และสร้างนวัตกรรมใหม่ ๆ ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมที่เรียกว่า “นวัตกรรมสีเขียว” เพื่อเผชิญหน้ากับความท้าทายของปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันและอนาคต จึงนำไปสู่โจทย์ของงานวิจัยในการจัดการประชุมวิชาการ “วิทยาศาสตร์สู่การขับเคลื่อนเทคโนโลยีและนวัตกรรมสีเขียว” (Science to Drive Green Technology and Innovation) และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการประชุมวิชาการระดับชาติครั้งนี้ จะเป็นเวทีในการแลกเปลี่ยนและเผยแพร่ผลงานทางวิชาการของนิสิต นักศึกษา อาจารย์ นักวิชาการ นักวิจัย และบุคคลทั่วไป เพื่อสร้างสรรค์งานวิจัยและนวัตกรรมจนเป็นเครือข่ายงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ตลอดจนสามารถพัฒนาประเทศชาติต่อไป

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เพ็ญภา สุวรรณบำรุง)  
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

## คณะกรรมการ

### กรรมการบรรณาธิการ

ผศ.เพ็ญนภา สุวรรณบำรุง	บรรณาธิการ
ผศ.ดร.สุขจิตร ตั้งเจริญ	กรรมการ
ดร.คณาวุฒิ อินทร์แก้ว	กรรมการ
ดร.ชวณี สุภีรัตน์	กรรมการและเลขานุการ

### กรรมการพิจารณาบทความ

รศ.ดร.ศศิธร ชูแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.ศิริรัตน์ สิงห์ตันต์	มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ผศ.ดร.พงษ์ศักดิ์ นพรัตน์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผศ.ดร.วนิดา ลิ้มมัน	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
ผศ.ดร.วนินทร พูนไพบูลย์พัฒน์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผศ.ดร.วันวิสา เจริญรุ่งโรจน์สกุล	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผศ.ดร.วรพจน์ กนกกันทพงษ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผศ.ดร.วรารัตน์ วงเกี่ยว	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผศ.ดร.วิลาสินี ปิยะจิตร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.สันหัต พิทักษ์วงศาภรณ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.สุธิษา และเซ็น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผศ.ปิติพร มโนคูน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผศ.ภัทรมาศ เทียมเงิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ดร.ชนากานต์ จรเสถียร	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร.จุฑามาศ บุญรัมย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ดร.ดาริกา แย้มรับบุญ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ดร.ถิรพล วงศ์สอาดสกุล	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ

ดร.ธัญธรณ์ วราพงศ์พิศาล	มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ดร.พิพัฒน์ จันทร์ประดิษฐ์	มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
ดร.วาศินี ประดับศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ดร.วุฒิพงษ์ ใจแปง	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
ดร.ศิริศักดิ์ ศศิวรรณพงศ์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ดร.ศุภธินี จริงจิตร	กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
ดร.สิตานัน ธิติประเสริฐ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ดร.อิทธิราชย์ เรืองณรงค์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รศ.ดร.กฤษฎา เสือเอี่ยม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.เกรียงไกร เหลืองอำพล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.พิชญ ท่องขาว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.กัลทิมา เขาวนชาญชัยกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.ชาญวิทย์ ปราบพัยค์ม์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.ณิศรา สุทธิสังข์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.ดวงฤทัย นิคมรัฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.ปิยธิดา พันธนะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.เพชรรัตน์ เวฬุคามกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.เมธิญาณินท์ คำขาว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.ยุพาพิน อติกานต์กุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.วราวุฒิ พุทธให้	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.วรินทร์ บุญยะโรจน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.วรรณช ติละมัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.วีรวรรณ จันทะทรัพย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.สิริรัตน์ พานิช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ผศ.ดร.สุขจิตร ตั้งเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ดร.สุนิสา สายอุปราชา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.นิภาพร ปัญญา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ.ณัฐชัมัย ลักษณะอำนาจพร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.กิตติยศ ตั้งสัจจวงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.คณาวุฒิ อินทร์แก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.จินตพัฒน์ นทีวัฒนา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.จิระศักดิ์ ธาระจักร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.ชวณี สุภีรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.ณัฐติญา ไช้ติยากุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.ธิดาวรรร คล้ายศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.นริศรา นาคเมธี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.พลกฤษณ์ คุ้มกล้า	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.พิชญ์ชาญ ศรีเจริญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.ภัทริกา สูงสมบัติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.ภูมิตร์ นวรัตน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.อำนาจ ชินพงษ์พานิช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อ.วีรวัฒน์ เชี่ยวปัญญานันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

### กรรมการดำเนินงาน

ผศ.ดร.สุขจิตร ตั้งเจริญ	ดร.ชวณี สุภีรัตน์	ดร.คณาวุฒิ อินทร์แก้ว
นางศุภานัน ปิ่นเจริญ	นางสาวอัจฉรา เฉลิมเกียรติ	นางสาวหำมี๊ยะ เพียรการ
นายณัฐกานต์ สุขสมร	นายวชิรพันธุ์ พริ้งพงษ์	นางสาวชลิตา อินสระโร
นางสาวเยาวภา เทวะผลิน	นางพัทธาณี วรดิษฐ์	นางสาวภัทรภัคร จอมแก้ว
นางสาวอรรวรรณ มุกนนท์	นางสาวสายรุ่ง แก้วน้อย	นายวรวิฑู สาสิงห์
นายสมัคร นาคเกษม		

กำหนดการ

การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 7

“วิทยาศาสตร์สู่การขับเคลื่อนเทคโนโลยีและนวัตกรรมสีเขียว”

The 7<sup>th</sup> National Conference on Science, Technology and Innovation:

Science to Drive Green Technology and Innovation

วันพฤหัสบดีที่ 22 สิงหาคม 2567

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 7 “วิทยาศาสตร์สู่การขับเคลื่อนเทคโนโลยีและนวัตกรรมสีเขียว” โดย รศ.ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ รองอธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	
09.00 – 11.00 น.	บรรยายหัวข้อพิเศษ เรื่อง “IoT for Green Innovation in Water Quality Control” โดย รศ.ดร.สุชาติ เหลืองประเสริฐ	
11.00 – 12.00 น.	นำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย (Oral presentation)	นำเสนอผลงานวิจัยภาคโปสเตอร์ (Poster presentation)
12.00 – 13.00 น.	พักรับประทานอาหารกลางวัน	
13.00 – 16.00 น.	นำเสนอผลงานวิจัยภาคบรรยาย (Oral presentation)	นำเสนอผลงานวิจัยภาคโปสเตอร์ (Poster presentation)
16.00 – 16.30 น.	พิธีมอบรางวัลการนำเสนอผลงานวิจัย และพิธีปิด โดย คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี	

หมายเหตุ ผลงานวิจัยภาคโปสเตอร์จะถูกนำเสนอที่เว็บไซต์ <https://sci.rmutp.ac.th/nconsci7/>

## ตารางการนำเสนอผลงานวิจัย

การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 7

“วิทยาศาสตร์สู่การขับเคลื่อนเทคโนโลยีและนวัตกรรมสีเขียว”

The 7<sup>th</sup> National Conference on Science, Technology and Innovation:

Science to Drive Green Technology and Innovation

วันพฤหัสบดีที่ 22 สิงหาคม 2567

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

### ภาคบรรยาย (Oral presentation) On-site

#### Session A

ประธาน: ผศ.ดร.ดวงฤทัย นิคมรัฐ

รองประธาน: ดร.ภูมิรัตน์ นวรัตน์ อ.วีรวัฒน์ เขียวปัญญาพันธ์

Time	ID	Name	Title
11.00 – 11.15 น.	TH2020	รชต มณีโชติ	การหาประสิทธิภาพค่าความร้อนในการเผาไหม้เชื้อเพลิงอัดแท่งจากผลแถมะค่าโมง
11.15 – 11.30 น.	TH1006	ชนะ กิตติกุลพันธ์	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องของการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลา ในปี พ.ศ. 2566
11.30 – 11.45 น.	TH1014	พิสุทธิ กระจ่างจิตกุล	การพัฒนาต้นแบบเครื่องวัดองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของดิน

### ภาคบรรยาย (Oral presentation) Online

#### Session B1

ประธาน: ดร.อำนาจ ชินพงษ์พานิช

รองประธาน: ผศ.ดร.เพชรรัตน์ เวฬุคามกุล ผศ.ดร.สิริรัตน์ พานิช

Time	ID	Name	Title
11.00 – 11.15 น.	TH2008	ณัฐปวีร์ อินธา	ผลของค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อการพองตัวของตะกอนกากน้ำตาล
11.15 – 11.30 น.	TH2036	ปัทมพร วาสนาเจริญ	ผลของพันธุ์ถั่วเหลืองที่มีต่อคุณภาพการแปรรูปถั่วเหลืองผงดด้วยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย
11.30 – 11.45 น.	TH2037	รพี พรหมดี	การศึกษาความหลากหลายชนิดและความชุกชุมของโรติเฟอร์ คลาโดเซอแรน และโคพีพอด ในอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำหวาน จังหวัดเลย



## ตารางการนำเสนอผลงานวิจัย

การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 7

“วิทยาศาสตร์สู่การขับเคลื่อนเทคโนโลยีและนวัตกรรมสีเขียว”

The 7<sup>th</sup> National Conference on Science, Technology and Innovation:

Science to Drive Green Technology and Innovation

วันพฤหัสบดีที่ 22 สิงหาคม 2567

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

### ภาคบรรยาย (Oral presentation) Online

#### Session B2

ประธาน: ดร.คณาวุฒิ อินทร์แก้ว

รองประธาน: ดร.กิตติศ ตั้งสัจจวงศ์ ผศ.ดร.ยุพาพิน อติกานต์กุล

Time	ID	Name	Title
13.00 – 13.15 น.	TH2017	เศวตฉัตร ศรีสุรัตน์	การประเมินพื้นที่เหมาะสมสำหรับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยในอำเภอพระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี
13.15 – 13.30 น.	TH2027	ชยันต์ ภัคดีไทย	ศึกษาอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการให้ปุ๋ยร่วมกับระบบให้น้ำแบบหยดในดินทรายปนร่วนถึงดินทราย จังหวัดขอนแก่น
13.30 – 13.45 น.	TH1008	ขจิตมณี เมืองพรม	ผลของการเติมถ่านชีวภาพจากฟางข้าวในดินต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินนา และการเจริญเติบโตของข้าว

### ภาคบรรยาย (Oral presentation) Online

#### Session B3

ประธาน: ผศ.ดร.วีรวรรณ จันทะทรัพย์

รองประธาน: ผศ.ดร.เมธิญาณินท์ คำขาว ผศ.ดร.ชาญวิทย์ ปราบพยัคฆ์

Time	ID	Name	Title
14.00 – 14.15 น.	TH1017	ณัฐกมล มโนสัจจรักษ์	การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์สำหรับการบริหารจัดการข้อมูลคลินิกกายภาพบำบัด
14.15 – 14.30 น.	TH1018	โสภิตา เชียงแสน	ระบบแจ้งเตือนการหมดอายุของลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์
14.30 – 14.45 น.	TH1020	วชิรวิษณุ ดีวันไชย	การพัฒนาระบบตรวจพบภัยภัยอันตรายโดยใช้นวัตกรรมเหมืองข้อมูล
14.45 – 15.00 น.	TH2031	จิตาวรรค คล้ายศรี	การวิเคราะห์วิถีเดินเที่ยวจตุจักร
15.00 – 15.15 น.	TH2024	ญชมน ละทัยนิล	พฤติกรรมสุขภาพของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง

## ตารางการนำเสนอผลงานวิจัย

การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 7

“วิทยาศาสตร์สู่การขับเคลื่อนเทคโนโลยีและนวัตกรรมสีเขียว”

The 7<sup>th</sup> National Conference on Science, Technology and Innovation:

Science to Drive Green Technology and Innovation

วันพฤหัสบดีที่ 22 สิงหาคม 2567

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ภาคบรรยาย (Oral presentation) Online

### Session B4

ประธาน: ผศ.ดร.พิษณุ ทองขาว

รองประธาน: ดร.จิระศักดิ์ ธาระจักร์      ดร.ณัฐติญา ไชติยากุล

Time	ID	Name	Title
15.30 – 15.45 น.	TH1012	พิชิตชัย จันทร์ศิริ	การประยุกต์ใช้การทดลองแบบแฟคทอเรียลเพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยในการเชื่อมความต้านทานชนิดจุดเหล็กกล้าเคลือบสังกะสีเกรด JIS G 3302 ด้วยรอยต่อเกยสามชั้น
15.45 – 16.00 น.	TH2015	นุชจิเรศ แก้วสกุล	นวัตกรรมระบบเพาะปลูกเห็ดแครงอัตโนมัติสำหรับโรงเรือน
16.00 – 16.15 น.	TH2035	ทวี ทองคำ	การพัฒนาเครื่องขัดล้างเมือกกาแฟแกนขัดแบบแวนอน

ภาคโปสเตอร์ (Poster presentation)

ID	Name	Title
TH2004	อุดมเดชา พลเยี่ยม	ผลทางอัลลีโลพาธีของผลยางนาต่อการยับยั้งความยาวรากของไมยราบ
TH2005	อุดมเดชา พลเยี่ยม	การพัฒนาและการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตนวัตกรรมผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือ
TH2014	ณิศรา สุทธิสังข์	การส่งเสริมพัฒนาการคิดทางคณิตศาสตร์: ผ่านมุมมองการปฏิบัติการทางคณิตศาสตร์
TH2016	อัจฉราพร สมภาร	การพัฒนาไบโอแคลเซียมจากกระดูกปลานิลเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกสำหรับเสริมแคลเซียม
TH2018	สมาพร เรืองสังข์	การรอดชีวิตและการเจริญเติบโตของต้นอะโวคาโดที่ขยายพันธุ์โดยการเสียบยอดแบบเสียบลิ้มและแบบฝานบวบ
TH2019	ชัชวาล ศรีภักดี	สัญญาณรบกวนควอนตัมภายในวงแหวนสั่นพ้องแพนด้าในการกระจายก्यूแควควอนตัม
TH2021	ศรียา อินทสิน	ความผันแปรของปริมาณธาตุอาหารในรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินและฤดูกาลที่แตกต่างกันในกลุ่มน้ำห้วยหลวง

## ตารางการนำเสนอผลงานวิจัย

การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 7

“วิทยาศาสตร์สู่การขับเคลื่อนเทคโนโลยีและนวัตกรรมสีเขียว”

The 7<sup>th</sup> National Conference on Science, Technology and Innovation:  
Science to Drive Green Technology and Innovation

วันพฤหัสบดีที่ 22 สิงหาคม 2567

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

### ภาคโปสเตอร์ (Poster presentation)

ID	Name	Title
TH2022	สุวลักษณ์ ไชยทอง	การศึกษาปริมาณสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช กลุ่มออกซิน จิบเบอเรลลินในแห่นแดง และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน
TH2025	ดวงแข มณีนวล	การประเมินสมบัติของตำรับแชมพูที่มีน้ำมันอัลมอนด์และน้ำมันมะพร้าวเป็นส่วนประกอบ
TH2026	รัชกฤช ปัทมโสภาสกุล	การศึกษาสมบัติของน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทอง
TH2028	ปรานอม ขาวเมฆ	องค์ประกอบทางเคมีจากใบทุเรียนเทศสด
TH2029	ยุพาพิน อติกานต์กุล	Probability Distribution of Student Loans Thailand
TH2032	นิภาพร ปัญญา	ระบบจัดการสัญญาออนไลน์ กรณีศึกษา บริษัท เคบี เจ แคปปิตอล จำกัด
TH2033	ชวณี สุภีรัตน์	การประเมินคุณภาพน้ำดิบสำหรับการผลิตน้ำประปาในแหล่งน้ำดิบฝั่งตะวันตก โดยใช้แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์
TH1011	สุธิมา พลศักดิ์	ผลของวัสดุปลูกต่างชนิดต่อการเจริญเติบโตของไมโครกรีนในควาเระ
TH1016	ณัฐพร กองสวน	การศึกษาคุณสมบัติของเปลือกสับปะรด และเปลือกไข่ไก่เพื่อทดแทนฟิทมอสสำหรับเพาะปลูก
TH1019	ปภาดา อุ่มณเจียร	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพถ่านกัมมันต์ในการลดค่า TDS ของน้ำประปา

หมายเหตุ บทความวิจัยภาคโปสเตอร์เผยแพร่บนเว็บไซต์ <https://sci.rmutp.ac.th/nconsci7/>

## สารบัญ

	หน้า
สารจากคณบดี	ก
คณะกรรมการ	ข
กำหนดการ	จ
ตารางการนำเสนอผลงาน	ฉ
สารบัญ	ญ
บทความวิจัย (ชื่อเรื่อง/ชื่อผู้วิจัย)	
1. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องของการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลา ในปี พ.ศ. 2566 <small>ชนะ กิตติกุลพันธ์ และ สุเพชร จิระจรกุล</small>	1
2. ผลของการเติมถ่านชีวภาพจากฟางข้าวในดินต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินนา และการเจริญเติบโตของข้าว <small>ขจิตมณี เมืองพรหม, มุจลินทร์ ผลจันทร์, เจนจิรา หม่องอัน และ พชร อินธนู</small>	22
3. ผลของวัสดุปลูกต่างชนิดต่อการเจริญเติบโตของไมโครกรีนไควาเระ <small>สุธิมา พลศักดิ์, วิชาดา ดำเนินงาม, และ สมภาพร เรื่องสังข์</small>	33
4. การประยุกต์ใช้การทดลองแบบแฟคทอเรียลเพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยในการเชื่อมความต้านทานชนิดจุดเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี เกรด JIS G 3302 ด้วยรอยต่อเกยสามชั้น <small>พิชิตชัย จันทร์ศิริ และ ปรีชญา เพ็ญสุระ</small>	44
5. การพัฒนาต้นแบบเครื่องวัดองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของดิน <small>พิสุทธิ์ กระจ่างจิกุล, ศศิธร หาสิน และ อภิขญา สวัสดิ์</small>	54
6. การศึกษาคุณสมบัติของเปลือกสับประรด และเปลือกไข่ไก่เพื่อทดแทนฟัทมอสสำหรับเพาะปลูก <small>สุปัญญา เดชะคำภู, ณิชพร งอนสวัน, ปุณณภพ ทองละมุล, ศุภชัย หิรัญศุภโชติ, กิตติยศ ตั้งสัจจวงศ์ และ วรณัฐ ตีละมัน</small>	61
7. การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์สำหรับการบริหารจัดการข้อมูลคลินิกกายภาพบำบัด <small>ธมลวรรณ พิมพ์า, สุธีรา พึ่งสวัสดิ์, ณัฐกมล มโนสังจาร์ภย์, นฤติ บุรณะจรรยากุล และ เปรมรัตน์ พูลสวัสดิ์</small>	68
8. ระบบแจ้งเตือนการหมดอายุของลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ <small>โสภิตา เชียงแสน, อรรณู มาร์เดอโรเซียน, นฤติ บุรณะจรรยากุล และ สุธีรา พึ่งสวัสดิ์</small>	76

## สารบัญ (ต่อ)

บทความวิจัย (ชื่อเรื่อง/ชื่อผู้วิจัย)	หน้า
<p>9. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพผ่านกัมมันต์ในการลดค่า TDS ของน้ำประปา</p> <p>นิชาพัชร ชูอำนาจ, จุฑามาศ อภิพันธ์, ปภาดา อยู่มณเฑียร, วรณช ตีละมัน, คณาวุฒิ อินทร์แก้ว และ กิตติยศ ตั้งสัจจวงศ์</p>	85
<p>10. การพัฒนาระบบตรวจบดคัดย่อปริญญาานิพนธ์โดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล</p> <p>วชิรวิษณุ ดีวันไชย, กฤษณ์ณรงค์ รัตนโกเศรษฐ, ตริทเศศ แสงอุษา, กฤษ ลิขิตระกูล และ อุกฤษฐิววัฒน์ พิมพ์พา</p>	92
<p>11. ผลทางอัลลีโลพาธีของผลยางนาต่อการยับยั้งความยาวรากของไมยราบ</p> <p>อุดมเดชา พลเยี่ยม และ นิภาพร ปัญญา</p>	105
<p>12. การพัฒนาและการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตนวัตกรรมผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือ</p> <p>อุดมเดชา พลเยี่ยม, สังเวศ เสวกวิหारी, ธนาพร บุญชู, อัญชญา ชัตติยะวงศ์ และ นิภาพร ปัญญา</p>	113
<p>13. ผลของค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อการฟองตัวของตะกั้น</p> <p>กากน้ำตาล</p> <p>ณัฐปวีร์ อินถา และ ภณิดา ชัยขวัญ</p>	119
<p>14. การส่งเสริมพัฒนาการคิดทางคณิตศาสตร์: ผ่านมุมมองการปฏิบัติการทางคณิตศาสตร์</p> <p>ณิศา สุทธิสังข์, กรรณิการ์ ม่วงชู, สุขจิตร ตั้งเจริญ, เพ็ญญา สุวรรณบำรุง, วรวิวัฒน์ วิเศษสิงห์ และ พรรณิการ์ มีอ่อน</p>	131
<p>15. นวัตกรรมระบบเพาะปลูกเห็ดแครงอัตโนมัติสำหรับโรงเรือน</p> <p>สุภาวดี มากอัน, นุชจิเรศ แก้วสกุล, ประชิต พรหมสุวรรณ และ พรศิลป์ ศรีเผือก</p>	141
<p>16. การพัฒนาไบโอแคสซีมจากกระดูกปลานิลเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกสำหรับเสริม</p> <p>แคลเซียม</p> <p>อัจฉราพร สมภาร, ณัฐสิมา โทชน์, ศรียา อินทสิน และ นันทิยา สมภาร</p>	156
<p>17. การประเมินพื้นที่เหมาะสมสำหรับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยในอำเภอพระพุทธบาท</p> <p>จังหวัดสระบุรี</p> <p>เศวตฉัตร ศรีสุรัตน์</p>	165
<p>18. การรอดชีวิตและการเจริญเติบโตของต้นอะโวคาโดที่ขยายพันธุ์โดยการเสียบยอด</p> <p>แบบเสียบลิ้มและแบบฝานบวบ</p> <p>สมภาพ เรืองสังข์ และ แคทริยา ธรรมรักษ์</p>	176
<p>19. สัญญาณรบกวนควอนตัมภายในวงแหวนสั่นพ้องแพนด้าในการกระจายกัญแจควอนตัม</p> <p>ชัชวาล ศรีภักดี</p>	187
<p>20. การหาประสิทธิภาพค่าความร้อนในการเผาไหม้เชื้อเพลิงอัดแท่งจากผลแก่มะค่าโมง</p> <p>รชต มณีโชติ, ปกรณ์ อุ๋นไธสง และ สุคนธ์ เมื่องโคตร</p>	193

## สารบัญ (ต่อ)

บทความวิจัย (ชื่อเรื่อง/ชื่อผู้วิจัย)	หน้า
<p>21. ความผันแปรของปริมาณธาตุอาหารในรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินและฤดูกาลที่แตกต่างกันในลุ่มน้ำห้วยหลวง</p> <p>ศรียา อินทสิน, ศศิธร เพชรแสน, อัจฉราพร สมภาร และ อนัญญา โพธิ์ประดิษฐ์</p>	200
<p>22. การศึกษาปริมาณสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช กลุ่มออกซิน จิบเบอเรลลินในแห่นแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน</p> <p>สุลักษณ์ ไชยทอง, ดวงพร อีระพิทยาพงศ์, เพชรรัตน์ ศิริวิ, สุพิศสา ทองเขียว และ สาธิตา โพธิ์น้อย</p>	208
<p>23. พฤติกรรมสุขภาพของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง</p> <p>ญชมนณ ละทัยนิล, รินรำไพ พุทธิพันธ์, พงษ์พัฒน์ ว่องไว และ ไพรินทร์ ทองกลม</p>	219
<p>24. การประเมินสมบัติของตำรับแฉมพูที่มีน้ำมันอัลมอนต์และน้ำมันมะพร้าวเป็นส่วนประกอบ</p> <p>ดวงแข มณีนิล, นราวดี จิตรากุล, นฤมลวรรณ เมืองใจ และ ประภาพร บุญมี</p>	232
<p>25. การศึกษาสมบัติของน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทอง</p> <p>รัชกฤช ปัทมโสภาสกุล และ อรจิรา อารักษ์สกุลวงศ์</p>	240
<p>26. อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการให้ปุ๋ยร่วมกับระบบให้น้ำแบบหยดในดินทรายปนร่วนถึงดินทราย จังหวัดขอนแก่น</p> <p>ชยันต์ ภัคดีไทย, กาญจนา กิระศักดิ์, เนติรัฐ ชุมสุวรรณ, ปิยะรัตน์ จังพล, อีระรัตน์ ชิมแสน และ ทนุธรรม บุญฉิม</p>	250
<p>27. องค์ประกอบทางเคมีจากใบทุเรียนเทศ</p> <p>ปรานอม ชาวเมฆ และ ดวงฤทัย ศรีแดง</p>	262
<p>28. Probability Distribution of Student Loans in Thailand</p> <p>Wareewan Wisedsing, Tanutta Amnuaywattanakul, Thanaporn Boonchoo, Nisara Suthisung, Anchana Kuttiyawong, Phannika Mee-on, and Yupapin Atikankul</p>	274
<p>29. การวิเคราะห์วิถีเดินเที่ยวจตุจักร</p> <p>ณิศรา สุทธิสังข์, กัญญาภา ทองนุช, อินธิกานต์ บุญสังข์, ภควรรณ ประคองสาย, นริศรา นาคเมธี, วีรวัฒน์ เขียวปัญญานันท์, นิภาพร ปัญญา และ จิตาวรร คัลยาศรี</p>	281
<p>30. ระบบจัดการสัญญาออนไลน์ กรณีศึกษา บริษัท เคบี เจ แคปปิตอล จำกัด</p> <p>ชาญวุฒิ พันธรัตน์โยธิน, ธนเดช ม่วงวงษ์, นิภาพร ปัญญา, ภาัสสร สิงห์ธรรม, ธนาวุฒิ นิลมนั, จิตาวรร คัลยาศรี, วีรวัฒน์ เขียวปัญญานันท์, อุดมเดชา พลเยี่ยม, ธนาพร บุญชู, อัญชญา ชัตติยะวงศ์ และ ดวงฤทัย นิคมรัฐ</p>	296
<p>31. การประเมินคุณภาพน้ำดิบสำหรับการผลิตน้ำประปาในแหล่งน้ำดิบฝั่งตะวันตกโดยใช้แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์</p> <p>ชวินี สุภีรัตน์, กิตติศ ตั้งสัจจวงศ์, สุนิสา สายอุปราช และ ปิยธิดา พันธนะ</p>	311

## สารบัญ (ต่อ)

บทความวิจัย (ชื่อเรื่อง/ชื่อผู้วิจัย)	หน้า
32. การพัฒนาเครื่องขัดล้างเมือกกาแฟแกนขัดแบบแวนอน ทวี ทองคำ, อธิบดี กลับสูงเนิน และ วชิรินทร์ กลับสูงเนิน	319
33. ผลของพันธุ์ถั่วเหลืองที่มีต่อคุณภาพการแปรรูปถั่วเหลืองผงดด้วยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย ปัทมพร วาสนาเจริญ, สุพรรณณี เบ็งคำ และ ละอองดาว แสงหล้า	326
34. การศึกษาความหลากหลายชนิดและความชุกชุมของไรติเฟอร์ คลาโดเซอแรน และโคพีพอด ในอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำหมาาน จังหวัดเลย รพี พรหมดี	334

# การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องของการจำแนกพื้นที่ ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลา ในปี พ.ศ. 2566

Comparing the performance of machine learning algorithms for classifying  
mangrove forest areas in Samut Prakan Province with time-series Sentinel-2  
satellite image data in 2023

ชนะ กิตติกุลพันธ์<sup>1\*</sup> และ สุเพชร จิระจรรกุล<sup>1</sup>

<sup>1</sup>สาขาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

\*E-mail: chana.kit@dome.tu.ac.th

## บทคัดย่อ

การศึกษานี้จัดทำขึ้นเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องของการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลา ในปี พ.ศ. 2566 การทดลองได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลา ในปี พ.ศ. 2566 ด้วยวิธีการจำแนกแบบกำกับดูแล โดยใช้อัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจ อัลกอริทึมป่าสุ่มและอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนในการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลา ในปี พ.ศ. 2566 โดยการพิจารณาจากกระบวนการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกข้อมูล เช่น ค่าความถูกต้องโดยรวม ค่าความแม่นยำผู้ผลิต ค่าความแม่นยำผู้ใช้และค่าสถิติแคปปา โดยใช้แพลตฟอร์มกูเกิลเอิร์ธเอนจินในการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลเป็นหลักร่วมกับการใช้โปรแกรมด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง เช่น ArcGIS for Desktop เป็นต้น ผลการศึกษาพบว่าอัลกอริทึมป่าสุ่มมีประสิทธิภาพดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการจำแนกโดยใช้อัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจและอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน เนื่องจาก ผลการจำแนกมีค่าความถูกต้องโดยรวมมากที่สุดคือ 92.55% และผลการจำแนกทางสถิติแคปปามีค่ามากที่สุด คือ 85.33% เมื่อพิจารณาค่าความถูกต้องโดยรวมร่วมกับการพิจารณาค่าความแม่นยำของผู้ผลิตและค่าความแม่นยำของผู้ใช้ในคลาสที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลน พบว่าอัลกอริทึมป่าสุ่มให้ผลการศึกษามีประสิทธิภาพและมีความน่าเชื่อถือมากที่สุด คือ ค่าความแม่นยำของผู้ผลิตมีค่า 81.14% และค่าความแม่นยำของผู้ใช้มีค่า 94.39%

**คำสำคัญ:** ป่าชายเลน การเรียนรู้ของเครื่อง กูเกิลเอิร์ธเอนจิน

## Abstract

The purpose of this study was to evaluate the efficacy of machine learning algorithms in classifying mangrove forests in the Samut Prakan province using time-series Sentinel-2 satellite image data



in 2023. An experiment was performed to compare the performance of machine learning algorithms in classifying mangrove forest areas in Samut Prakan Province using time-series Sentinel-2 satellite imagery data. The experiment applied a Supervised Classification method and applied Decision tree/Classification and regression trees (CART), Random Forest (RF), and Support Vector Machine (SVM) algorithms. This study has examined the process of monitoring the accuracy of data classification, including measures such as Overall accuracy, Producer's accuracy, User's accuracy, and Kappa statistical values. The analysis and processing of data were primarily conducted using the Google Earth Engine platform, along with the utilization of ArcGIS for Desktop, Geographic Information System Software. The study indicated that the Random Forest (RF) algorithm outperformed both the Decision tree/Classification and regression trees (CART) algorithm and the Support Vector Machine (SVM) algorithm in terms of classification performance. The classification results achieved an overall accuracy of 92.55%, while the Kappa statistical classification results achieved an overall accuracy of 85.33%. When evaluating the accuracy of classifying mangrove forest areas, the random forest algorithm demonstrated high efficiency and reliability. The producer's accuracy was determined to be 81.14%, while the user's accuracy was found to be 94.39%.

**Keywords:** Mangroves, Machine learning, Google earth engine

## 1. บทนำ

ระบบนิเวศป่าชายเลนมีบทบาทสำคัญในความหลากหลายทางชีวภาพชายฝั่ง การปกป้องแนวชายฝั่งและการกักเก็บคาร์บอน การทำความเข้าใจพื้นที่ที่ชีวมวลเหนือพื้นดินของป่าชายเลนถือเป็นสิ่งสำคัญในการประเมินการมีส่วนร่วมของป่าชายเลนในการกักเก็บคาร์บอนทั่วโลกและเพื่อแจ้งแนวปฏิบัติการจัดการที่ยั่งยืนในจังหวัดชายฝั่งทะเลอย่างสมุทรปราการ ประเทศไทย ซึ่งระบบนิเวศป่าชายเลนเผชิญกับภัยคุกคามที่เพิ่มขึ้นจากการขยายตัวของเมือง การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศและกิจกรรมของมนุษย์ การระบุพื้นที่ที่ชีวมวลเหนือพื้นดินที่แม่นยำเป็นสิ่งสำคัญในการประเมินสุขภาพและความยืดหยุ่นของป่าชายเลนเหล่านี้ [1-5]

โดยจังหวัดสมุทรปราการมีพื้นที่ป่าชายเลนทั้งหมด 10,643 ไร่ ซึ่งเป็นป่าที่อยู่นอกเขตอนุรักษ์ 10,630 ไร่ (คิดเป็นร้อยละ 99.88) และในเขตอนุรักษ์ (ที่รักษาพืชพันธุ์สัตว์น้ำ) 13 ไร่ (คิดเป็นร้อยละ 0.12) [6] โดยป่าชายเลนทำหน้าที่เป็นแนวกันชนตามธรรมชาติป้องกันการกัดเซาะชายฝั่งและพายุ ปกป้องชุมชนและโครงสร้างพื้นฐานในบริเวณใกล้เคียง อีกทั้งยังสนับสนุนระบบนิเวศที่หลากหลาย ส่งเสริมการจัดการที่อยู่อาศัยของพืชและสัตว์หลายชนิด นอกจากนี้ ป่าชายเลนยังมีส่วนช่วยในการดำรงชีวิตของชุมชนท้องถิ่นผ่านการประมงและการถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืนอื่นๆ อย่างไรก็ตามยังมีสาเหตุที่มีผลกระทบต่อทรัพยากรป่าชายเลน (Pressure) ได้แก่ การใช้ประโยชน์ทรัพยากรป่าชายเลนขาดพื้นฐานของความยั่งยืน การบุกรุกพื้นที่ป่าชายเลนเพื่อใช้พื้นที่สำหรับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การทำร้านอาหารริมทะเลและการขยายตัวของชุมชนเมือง การลดลงของพื้นที่ป่าชายเลนจากการกัดเซาะชายฝั่ง ความเสื่อมโทรมของทรัพยากรป่าชายเลนและการมีส่วนร่วมของชุมชนในการอนุรักษ์และฟื้นฟูป่าชายเลนยังไม่เพียงพอ [6] จากสาเหตุที่มีผลกระทบต่อทรัพยากรป่าชายเลน การศึกษานี้จึงจัดทำให้สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals : SDGs) โดยเฉพาะเป้าหมายที่ 13 การดำเนินการด้านสภาพอากาศและเป้าหมายที่ 15 ชีวิตบนบก โดยดำเนินการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องของการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลา ในปี พ.ศ. 2566 เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนเหล่านี้ ซึ่งเกี่ยวข้องกับ

การจัดการกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ การอนุรักษ์ระบบนิเวศทางทะเลและการส่งเสริมแนวทางการใช้ที่ดินอย่างยั่งยืน [7] ซึ่งในบริบทของการศึกษานี้ สามารถใช้เพื่อวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมและดึงข้อมูลที่มีความหมายเกี่ยวกับพื้นที่ป่าชายเลน เช่น พืชปกคลุม เป็นต้น ด้วยการใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องซึ่งสามารถจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนตามขอบเขตและสภาพของพื้นที่ กระบวนการจำแนกประเภทนี้สามารถช่วยระบุประเภทสิ่งปกคลุมดินที่แตกต่างกันภายในระบบนิเวศป่าชายเลนและการใช้ประโยชน์ที่ดินอื่นๆ [8] นอกจากนี้ อัลกอริทึมเหล่านี้สามารถเรียนรู้รูปแบบและความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติภาพถ่ายดาวเทียมและการตรวจสอบพื้นที่ชุ่มน้ำเหนือพื้นดินในเขตป่าชายเลน ด้วยการสอนอัลกอริทึมจากข้อมูลที่มีอยู่เพื่อจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการกับพื้นที่ที่ไม่ใช่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมโดยไม่ต้องตรวจวัดโดยตรง ทำให้การใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องในการศึกษานี้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำของการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลน จังหวัดสมุทรปราการ ในปีพ.ศ. 2566 ทั้งนี้ยังช่วยให้สามารถประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจำนวนมากได้อย่างรวดเร็วและช่วยให้สามารถดึงข้อมูลที่มีค่าสำหรับการตัดสินใจได้อีกด้วย ซึ่งการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องของการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลา ในปี พ.ศ. 2566 วิธีการนี้ช่วยให้สามารถจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนตามขอบเขตและสภาพของพื้นที่ได้ [9-13] ด้วยการใช้นโยบายการสำรวจจากระยะไกลและอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง ผู้ศึกษาสามารถดึงข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับพื้นที่ป่าชายเลน เช่น พืชปกคลุมและการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นต้น ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจด้านการอนุรักษ์และการจัดการในภูมิภาค [14-18]

ทั้งนี้ ในการศึกษานี้ได้ประยุกต์การศึกษาของ Aldiansyah, et al. [19] ซึ่งได้เปรียบเทียบอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องสำหรับการใช้ที่ดินและการวิเคราะห์สิ่งปกคลุมที่ดินโดยใช้กูเกิลเอิร์ธเอนจิน กรณศึกษา ลุ่มน้ำวังกู โดยบทความนี้ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพความแม่นยำของอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง 3 รูปแบบ คือ อัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจ อัลกอริทึมป่าสุ่มและอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน สำหรับการวิเคราะห์การใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินโดยใช้ภาพ Landsat-8 และ Sentinel-2 โดยพบว่าอัลกอริทึมป่าสุ่มมีประสิทธิภาพเหนือกว่าต้นไม้แห่งการตัดสินใจและซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน ในภาพถ่ายดาวเทียมทั้งสองประเภท ค่าเฉลี่ยความแม่นยำโดยรวมของตัวจำแนกป่าสุ่ม คือ 94.74% บน Landsat-8 และ 96.15% บน Sentinel-2 ซึ่งบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการจำแนกการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินจากการศึกษาของ Mondal, et al. [20] ได้ประเมินการรวมกันของข้อมูล Sentinel-2 และอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องสำหรับการทำแผนที่ป่าชายเลนในแอฟริกาตะวันตก พบว่าผลการประเมินการผสมผสานระหว่างข้อมูล Sentinel-2 และอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องสำหรับการทำแผนที่ป่าชายเลนในแอฟริกาตะวันตก โดยเฉพาะเซเนกัลและแกมเบีย ผู้เขียนใช้อัลกอริทึมป่าสุ่มและอัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจเพื่อจำแนกป่าชายเลน ซึ่งได้ผลสรุปเป็นแผนที่ป่าชายเลนที่มีความแม่นยำมากกว่า 90% แต่ขอบเขตของป่าชายเลนจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับตัวแยกประเภทและชุดของข้อมูลการฝึกอบรมและการทดสอบที่ใช้ ผู้เขียนแนะนำให้ใช้วิธีการเหล่านี้ด้วยความระมัดระวังและดำเนินการตรวจสอบหลังการจำแนกประเภทภาคพื้นดิน และการศึกษาของ Munandar, et al. [21] ซึ่งได้ศึกษาการระบุพื้นที่ปกคลุมป่าชายเลนในอ่าวบันเติน (Banten Bay) โดยใช้กูเกิลเอิร์ธเอนจินทำการระบุพื้นที่ป่าชายเลนที่ปกคลุมใน Teluk Banten โดยใช้การจำแนกประเภทแบบมีคำแนะนำตามการเรียนรู้ของเครื่องที่มีอยู่ในกูเกิลเอิร์ธเอนจิน โดยใช้อัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจสำหรับการตัดสินใจสามารถกำหนดพื้นที่ที่รวมอยู่ในชั้นป่าชายเลนได้อย่างแม่นยำและเน้นถึงศักยภาพของการเรียนรู้ของเครื่องและเทคนิคการสำรวจระยะไกล เช่น การใช้ภาพ Sentinel 2A เพื่อทำแผนที่และติดตามระบบนิเวศป่าชายเลน เป็นต้น

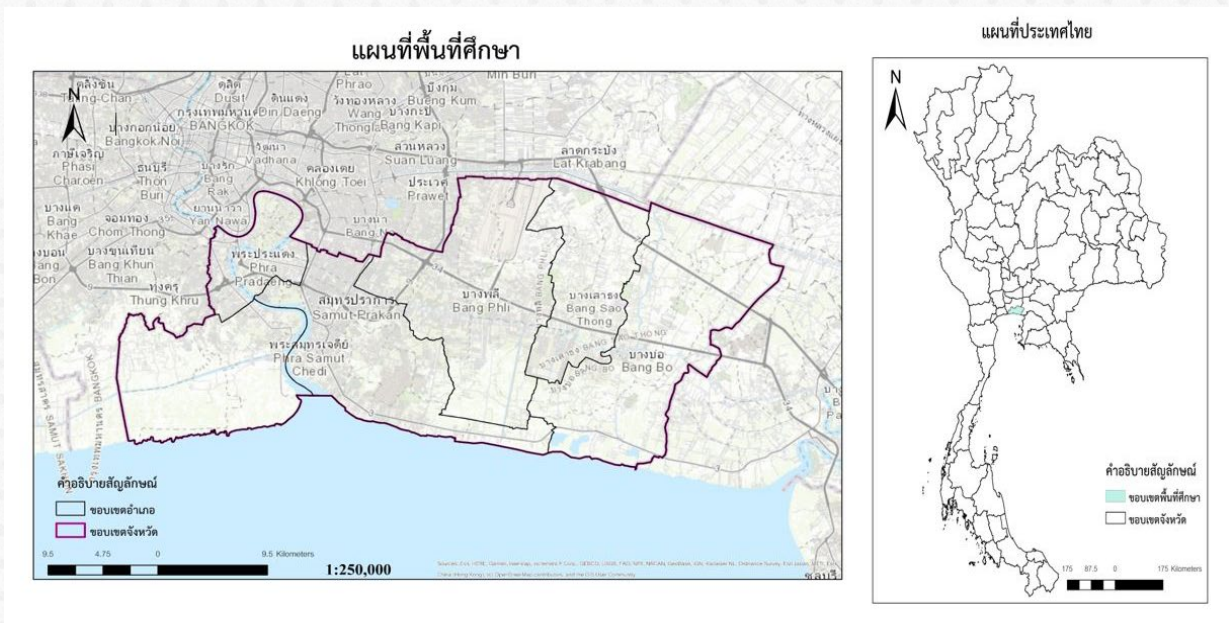
จากผลการศึกษาดังกล่าวมีความสำคัญเนื่องจากจะให้ข้อมูลที่มีคุณค่าเกี่ยวกับพื้นที่ป่าชายเลนในจังหวัดสมุทรปราการ โดยการระบุพื้นที่ที่มีศักยภาพในการกักเก็บชีวมวลเหนือพื้นดินผ่านการจำแนกพื้นที่ศึกษาด้วยอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง โดยใช้ข้อมูลการสำรวจจากระยะไกลจากดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลาผ่านแพลตฟอร์ม

กูเกิลเอิร์ธเอนจิน จึงได้นำมาสู่วัตถุประสงค์ของการศึกษา กล่าวคือ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องของการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลา ในปี พ.ศ. 2566

## 2. วิธีการวิจัย

### 2.1 พื้นที่ศึกษา

การดำเนินการศึกษาค้นคว้าได้เลือกศึกษาพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการทั้งจังหวัด ครอบคลุม 6 อำเภอ โดยแบ่งตามการปกครองส่วนภูมิภาค ซึ่งอำเภอในจังหวัดสมุทรปราการประกอบไปด้วย อำเภอเมืองสมุทรปราการ อำเภอบางบ่อ อำเภอบางพลี อำเภอพระประแดง อำเภอพระสมุทรเจดีย์และอำเภอบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการส่วนใหญ่พื้นที่ที่เป็นพื้นที่ราบลุ่มมีแม่น้ำเจ้าพระยาไหลผ่านกลาง แยกพื้นที่ออกเป็นด้านตะวันตกและด้านตะวันออก ลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปสามารถแบ่งพื้นที่ออกได้เป็น 3 ส่วน คือ บริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาทั้งสองฝั่งซึ่งเป็นที่ราบลุ่มทั้งหมด บริเวณตอนใต้ที่ใกล้ชายฝั่งทะเลน้ำทะเลท่วมถึงและบริเวณที่ราบกว้างใหญ่ทางตอนเหนือและทางตะวันออกซึ่งเป็นที่ราบลุ่มติดต่อกันตลอด จังหวัดสมุทรปราการมีพื้นที่ป่าชายเลนทั้งหมด 10,643 ไร่ โดยเป็นป่าที่อยู่นอกเขตอนุรักษ์ 10,630 ไร่ (คิดเป็นร้อยละ 99.88) และในเขตอนุรักษ์ (ที่รักษาพืชพันธุ์สัตว์น้ำ) 13 ไร่ (คิดเป็นร้อยละ 0.12) [6]



ภาพที่ 1 แผนที่พื้นที่ศึกษา

### 2.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องของการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลา ในปี พ.ศ. 2566

## 2.3 วิธีการศึกษา

สำหรับการศึกษานี้เพื่อให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์ ผู้ศึกษาได้ประยุกต์เทคโนโลยีการสำรวจจากระยะไกลเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องของการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลา ในปี พ.ศ. 2566 โดยในหัวข้อนี้ ประกอบด้วย เครื่องมือที่ใช้สำหรับการศึกษาและขั้นตอนในการศึกษาพร้อมแผนผังการทำงาน

### 2.3.1 เครื่องมือที่ใช้สำหรับการศึกษา

#### 2.3.1.1 ข้อมูล (Data)

##### (1) ข้อมูลซึ่งได้มาจากการสำรวจภาคสนาม

ข้อมูลซึ่งได้มาจากการสำรวจภาคสนาม ได้แก่ รูปถ่ายและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษาเพื่อใช้ประกอบการแปลภาพถ่ายดาวเทียมและเพื่อสร้างชุดข้อมูลฝึกหัดและชุดข้อมูลตรวจสอบความถูกต้องของผลการตรวจสอบ

##### (2) ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ซึ่งผู้ศึกษาได้ใช้สำหรับดำเนินการในการศึกษานี้มีระบบบันทึกภาพ Multispectral Instrument (MSI) ระดับการประมวลผลของภาพ 2 (Level-2) ซึ่งผ่านการปรับแก้และปรับปรุงคุณภาพ โดยมีความละเอียดเชิงจุดภาพ 10 เมตร ในช่วงคลื่น Blue (แบนด์ 2), Green (แบนด์ 3), Red (แบนด์ 4) และ Near Infrared (แบนด์ 8)

##### (3) ข้อมูลแผนที่อิเล็กทรอนิกส์

ข้อมูลแผนที่อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งสามารถเรียกใช้ข้อมูลได้จากการเขียนคำสั่งในแพลตฟอร์มกูเกิลเอิร์ธเอนจินเพื่อใช้สำหรับกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษาและประกอบการสร้างชุดข้อมูลตรวจสอบความถูกต้อง ได้แก่ ข้อมูลขอบเขตการปกครองประเภทพื้นที่ (Polygon) จังหวัดสมุทรปราการ

#### 2.3.1.2 ฮาร์ดแวร์ (Hardware)

ได้แก่ คอมพิวเตอร์พกพา ระบบปฏิบัติการ Window 10

#### 2.3.1.3 ซอฟต์แวร์ (Software)

(1) แพลตฟอร์มกูเกิลเอิร์ธเอนจิน ใช้สำหรับการทำความเข้าใจหัวข้อที่ศึกษา การทำความเข้าใจข้อมูล การเตรียมข้อมูล การวิเคราะห์และประมวลผลจากแบบจำลองข้อมูล การประเมินแบบจำลองและการติดตั้งใช้งานในข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

(2) ซอฟต์แวร์กูเกิลเอิร์ธโพร ใช้สำหรับการแสดงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อประกอบการวิเคราะห์ข้อมูลและค้นหาตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่ที่สนใจในพื้นที่ศึกษา

(3) ซอฟต์แวร์ ArcMap version 10.8 ใช้สำหรับการนำเข้าและประมวลผลข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์และสร้างแผนที่พื้นที่ศึกษา

(4) โปรแกรม Microsoft Office ใช้สำหรับการดำเนินการงานเอกสารและงานนำเสนอ

### 2.3.2 ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษา

สำหรับการศึกษานี้สามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นรวบรวมข้อมูล ขั้นก่อนการประมวลผลขั้นประมวลผลข้อมูลและขั้นหลังการประมวลผล

#### 2.3.2.1 ขั้นรวบรวมข้อมูล (Data acquisition)

(1) ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ได้จากการดำเนินการเขียนสคริปต์ภาษาจาวาสคริปต์ (JavaScript) เพื่อนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลามาใช้สำหรับการประมวลผล

บนแพลตฟอร์มกูเกิลเอิร์ธเอนจินผ่านเว็บไซต์ <https://earthengine.google.com> โดยกำหนดเงื่อนไขสำหรับนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมาใช้ กล่าวคือ สำหรับการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดเงื่อนไขในการนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 มาใช้ โดยมีระบบบันทึกภาพ Multispectral Instrument (MSI) ผ่านการปรับแก้และปรับปรุงคุณภาพ ความละเอียดเชิงจุดภาพ 10 เมตร โดยเลือกใช้ช่วงคลื่นในการศึกษา 4 แบนด์ ได้แก่ แบนด์ที่ 2 (Blue) แบนด์ที่ 3 (Green) แบนด์ที่ 4 (Red) และแบนด์ที่ 8 (Near Infrared) และเลือกใช้ข้อมูลภาพในช่วงเวลาระหว่าง 1 มกราคม พ.ศ. 2566 ถึง 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2566

(2) ข้อมูลแผนที่อเล็กทรอนิกส์ (Shapefile) ขอบเขตการปกครอง ซึ่งสามารถกำหนดเงื่อนไขและเรียกใช้ข้อมูลได้จากการเขียนคำสั่งในแพลตฟอร์มกูเกิลเอิร์ธเอนจิน

(3) ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูงและรูปถ่ายจากสถานที่ต่าง ๆ จากซอฟต์แวร์กูเกิลเอิร์ธโพรซึ่งให้บริการข้อมูลจากกูเกิลโดยไม่มีค่าใช้จ่าย

(4) ข้อมูลรูปถ่าย ข้อมูลพิกัดและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับป่าชายเลนในพื้นที่ จากการทบทวนวรรณกรรมและจากการสำรวจภาคสนามโดยผู้ศึกษา

### 2.3.2.2 ขั้นตอนการประมวลผล (Pre-processing)

ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 สำหรับใช้ในการศึกษาเป็นภาพระดับการประมวลผลในขั้นที่ 2 (Level-2) ซึ่งผ่านการจำแนกข้อมูลมาเบื้องต้น (Scene Classification) และปรับแก้ค่าการสะท้อนของชั้นบรรยากาศ (Atmospheric correction) ซึ่งผู้ศึกษาจะนำมาใช้ในการประมวลผลในขั้นประมวลผลข้อมูล โดยไม่ต้องปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงบรรยากาศ โดยทำการสร้างสคริปต์เพื่อกำหนดเงื่อนไขสำหรับการเลือกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในการวิเคราะห์และประมวลผล (Filtering) โดยการดำเนินการในขั้นก่อนการประมวลผลกับชุดข้อมูล ซึ่งมีเงื่อนไขดังนี้

(1) ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่กำหนดเงื่อนไขและเรียกใช้เพื่อประมวลผลอยู่ในขอบเขตพื้นที่ศึกษา คือ จังหวัดสมุทรปราการ

(2) ผู้ศึกษากำหนดเงื่อนไขและเลือกใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงเวลาระหว่าง 1 มกราคม พ.ศ. 2566 ถึง 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2566

(3) ภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์และประมวลผลในแต่ละภาพได้ตั้งค่าให้มีเมฆปกคลุมต่ำกว่าร้อยละ 20 ภาพถ่ายที่ถูกปกคลุมด้วยเมฆหรือเงาของเมฆได้ใช้วิธีสร้างหน้ากาก (masking) บนแพลตฟอร์มกูเกิลเอิร์ธเอนจินซึ่งมีความสามารถในการแทนที่จุดภาพที่เกิดความคลาดเคลื่อนจากกรณีดังกล่าว

(4) การเน้นข้อมูลภาพ (Image enhancement) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจำแนกด้วยการเน้นคุณภาพเชิงช่วงคลื่น (Spectral enhancement) ด้วยวิธีดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Indices) ซึ่งสกัดจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 โดยผู้ศึกษาได้สร้างเป็นอีก 1 ชั้นข้อมูล (Layer) เพื่อใช้สำหรับเพิ่มประสิทธิภาพในการจำแนกและวิเคราะห์ข้อมูลโดยเฉพาะ ได้แก่ วิธีดัชนีพืชพรรณแบบผลต่างแบบนอมอลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation Index; NDVI)

(5) การประมวลผลภาพเพื่อเตรียมสำหรับการวิเคราะห์ขั้นประมวลผลข้อมูล โดยนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมหลายช่วงเวลาที่ผ่านมาผ่านการเน้นข้อมูลภาพในแต่ละแบนด์มาทำการคอมโพสิตข้อมูล (Time-series composite) เพื่อปรับจำนวนภาพที่ใช้ในการวิเคราะห์และประมวลผลให้เหลือเพียง 1 ภาพ ซึ่งอยู่ในรูปของข้อมูลแบบข้อมูลอนุกรมเวลาด้วยวิธีการทางสถิติ ได้แก่ การคอมโพสิตข้อมูลด้วยวิธีค่าเฉลี่ย (Mean time-series composite) จากนั้นนำข้อมูลภาพที่ได้ทำการคอมโพสิตมาทำการรวมชั้นข้อมูล (Layer stacking) เพื่อเตรียมในการวิเคราะห์ขั้นประมวลผล ซึ่งจะได้ชุดข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์และประมวลผล จำนวน 1 ชุดข้อมูล คือ ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลาและทำการปรับขนาดข้อมูลภาพ (Image resize) ให้อยู่ในขอบเขตพื้นที่ศึกษาก่อนนำข้อมูลที่ได้ไปปฏิบัติในขั้น

ประมวลผล พร้อมทั้งทำการกำหนดประเภทข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในพื้นที่ศึกษา (Land use / Land cover Nomenclature) เพื่อให้สะดวกต่อการใช้วางแผนในการจำแนกด้วยสายตาและการจำแนกแบบกึ่งกำกับดูแล

### 2.3.2.3 ชั้นประมวลผลข้อมูล (Processing)

ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ การจำแนกด้วยสายตาและการจำแนกแบบกึ่งกำกับดูแล

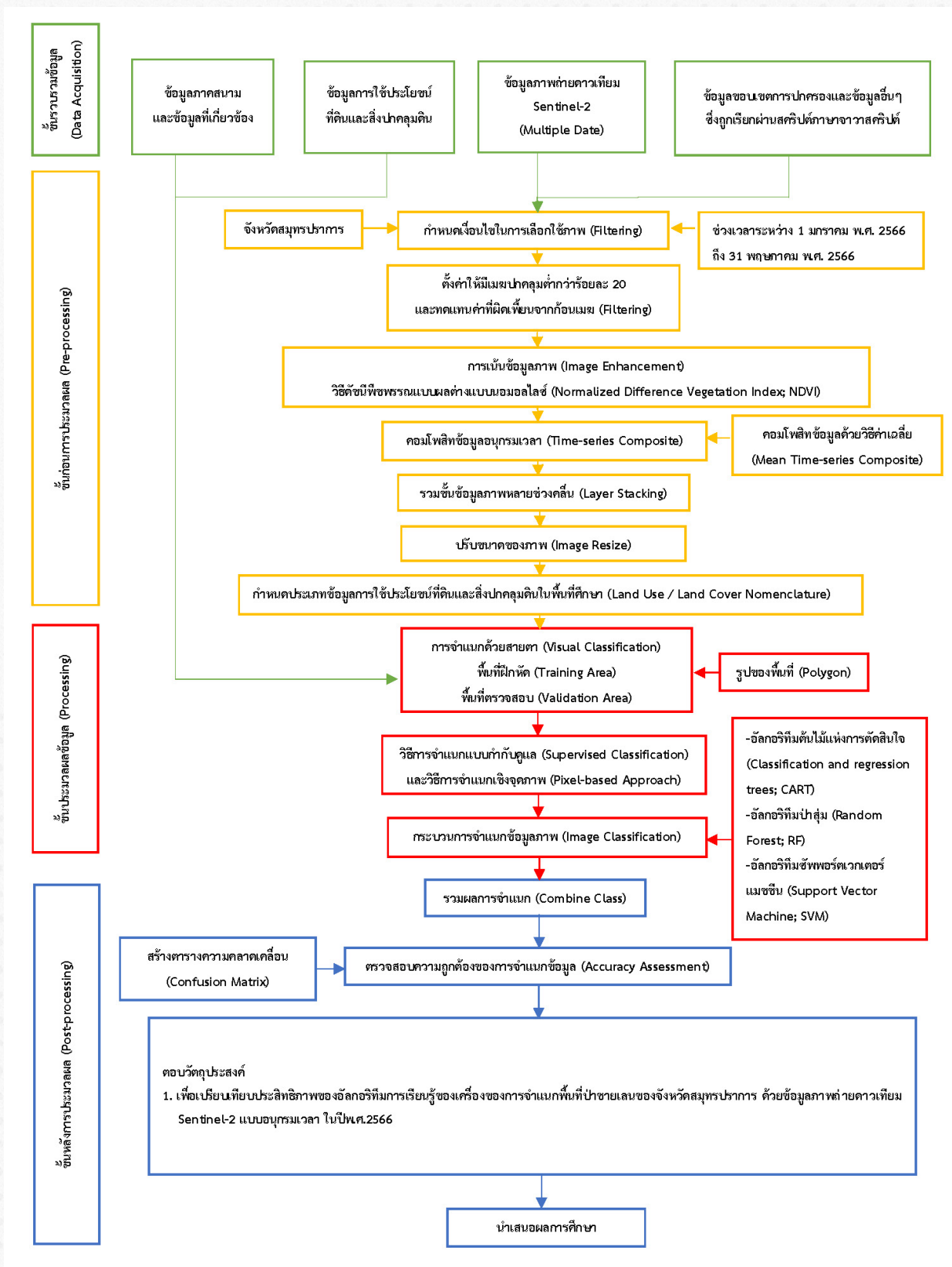
(1) การจำแนกด้วยสายตา (Visual classification) โดยนำข้อมูลภาพที่ผ่านขั้นตอนก่อนการประมวลผลมาทำการจำแนกด้วยสายตา โดยได้กำหนดขนาดของตัวอย่าง ตามแนวคิดของคองเกลตันซึ่งได้เสนอหลักทั่วไปในการกำหนดขนาดของตัวอย่าง กล่าวคือ ควรรวบรวมตัวอย่างขั้นต่ำ 50 ตัวอย่าง สำหรับสิ่งปกคลุมดินแต่ละประเภทในการศึกษานี้ได้สร้างพื้นที่ฝึกหัด (Training area) โดยมีข้อมูลพื้นที่ฝึกหัดจำนวน 400 เอเลเมนต์ ซึ่งประกอบด้วย พื้นที่ป่าชายเลนจำนวน 100 เอเลเมนต์ (elements) พื้นที่นาจำนวน 100 เอเลเมนต์ พื้นที่ตัวเมืองจำนวน 100 เอเลเมนต์ และพื้นที่แหล่งน้ำจำนวน 100 เอเลเมนต์ และได้สร้างพื้นที่ตรวจสอบ (Validation area) ซึ่งประกอบด้วย พื้นที่ป่าชายเลนจำนวน 150 เอเลเมนต์ (elements) พื้นที่นาจำนวน 160 เอเลเมนต์ พื้นที่ตัวเมืองจำนวน 200 เอเลเมนต์ และพื้นที่แหล่งน้ำจำนวน 150 เอเลเมนต์ เพื่อใช้เป็นชุดข้อมูลประมวลผลสำหรับการจำแนกแบบกึ่งกำกับดูแลและตรวจหาความถูกต้องของการจำแนก (Accuracy assessment) โดยนอกจากการใช้วิธีเน้นภาพข้อมูลประกอบการจำแนกด้วยสายตา ผู้ศึกษายังใช้ข้อมูลรูปถ่ายและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินที่ได้จากการสำรวจภาคสนามโดยผู้ศึกษาและรูปถ่ายจากตำแหน่งต่างๆ ที่ได้จากกูเกิลเอิร์ทโพรและกูเกิลสตรีทวิว ประกอบการแปลตีความการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน

(2) การจำแนกแบบกึ่งกำกับดูแล (Supervised classification) สำหรับการจำแนกแบบกึ่งกำกับดูแล โดยนำข้อมูลอนุกรมเวลาของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ที่ผ่านการคอมโพสิตข้อมูลมาใช้ในการจำแนก โดยวิธีการจำแนกแบบกึ่งกำกับดูแลที่ใช้สำหรับการศึกษานี้ ผู้ศึกษาได้นำวิธีการจำแนกแบบกึ่งกำกับดูแลมาประยุกต์ใช้ กล่าวคือ วิธีการจำแนกแบบกึ่งกำกับดูแลเป็นการนำชุดข้อมูลพื้นที่ฝึกหัดที่ได้จากการจำแนกด้วยสายตาและชุดข้อมูลพื้นที่ตรวจสอบซึ่งถูกสร้างขึ้นมาในรูปของพื้นที่จากการเก็บข้อมูลในรูปของตำแหน่ง (Point) ซึ่งใช้การลงสำรวจภาคสนามแบบการสุ่มตัวอย่างแบบสุ่ม (Simple Random Sampling) และพิจารณาข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินจังหวัดสมุทรปราการจากกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ร่วมด้วย หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ผ่านขั้นตอนการประมวลผลในแต่ละชุดข้อมูลเข้าสู่กระบวนการจำแนกข้อมูลภาพ (Image classification) โดยใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องในการจำแนกข้อมูล 3 อัลกอริทึม ได้แก่ ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน ต้นไม้แห่งการตัดสินใจและป่าสุ่ม

### 2.3.2.4 ชั้นหลังการประมวลผล (Post-processing)

สำหรับการดำเนินการในขั้นหลังการประมวลผลจะดำเนินการในขั้นนี้เพื่อตอบวัตถุประสงค์ของการศึกษา ได้แก่ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องของการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลา ในปีพ.ศ. 2566 ซึ่งภายหลังจากขั้นตอนการประมวลผลจะทำการรวมผลการจำแนก (Combine class) ในคลาสย่อยเป็นคลาสเดียวของภาพที่ได้จากขั้นตอนประมวลผลข้อมูล โดยดำเนินการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการกับพื้นที่ที่ไม่ใช่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการ ได้แก่ พื้นที่นา พื้นที่เมืองและพื้นที่แหล่งน้ำ โดยนำข้อมูลที่ได้จากการรวมผลการจำแนกเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกข้อมูล (Accuracy assessment) ด้วยวิธีการสร้างตารางความคลาดเคลื่อน (Confusion matrix) การใช้ค่าสถิติแคปปา (Kappa statistics) ค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) ค่าความแม่นยำผู้ใช้ (User's accuracy) และค่าความแม่นยำผู้ผลิต (Producer's accuracy) เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของการจำแนก ความสอดคล้องกันของข้อมูลที่ได้จากการจำแนกและข้อมูลที่ใช้อ้างอิงเพื่อตรวจสอบและแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ทั้งนี้ จากขั้นตอนในการดำเนินการศึกษาดังกล่าว สามารถสรุปเป็นแผนผังการทำงาน (Workflow) ได้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผนผังการทำงาน (Workflow)

### 2.3.3 การประเมินความถูกต้องของการจำแนก (Accuracy assessment)

การประเมินความถูกต้องมีหลายวิธีในการประเมินจากข้อมูลจากการสำรวจจากระยะไกล รวมถึงวิธีเมทริกซ์ข้อผิดพลาด (Error Matrix Method) และวิธีสัมประสิทธิ์แคปปา (Kappa Coefficient Method) วิธีเมทริกซ์ข้อผิดพลาดเป็นเทคนิคที่ใช้บ่อยที่สุดในการประเมินความถูกต้องและเกี่ยวกับการเปรียบเทียบข้อมูลซึ่งได้ถูกจำแนกประเภทกับข้อมูลอ้างอิงเพื่อคำนวณความแม่นยำของผู้ผลิต ความแม่นยำของผู้ใช้และความแม่นยำโดยรวม โดยวิธีสัมประสิทธิ์แคปปาเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการประเมินข้อตกลงระหว่างข้อมูลซึ่งได้ถูกจำแนกประเภทและข้อมูลอ้างอิงซึ่งคำนึงถึงระดับของข้อตกลงที่อาจเกิดขึ้น [22] โดยการศึกษา ผู้ศึกษาได้ใช้ตารางความคลาดเคลื่อนและวิธีสัมประสิทธิ์แคปปาสำหรับการประเมินความถูกต้องของการจำแนก โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 2.3.3.1 การใช้ตารางความคลาดเคลื่อน (Confusion matrix)

ตารางความคลาดเคลื่อนเป็นตารางแสดงข้อมูลสรุปของจุดภาพตามหมวดหมู่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Classified pixel) เมื่อเปรียบเทียบกับจุดอ้างอิงหรือข้อมูลภาคสนาม (Reference pixel) สิ่งนี้ช่วยในการพิจารณาประเมินความแม่นยำและถูกต้องของการจำแนกข้อมูลโดยการคำนวณเมทริกซ์ต่างๆ เช่น ค่าความแม่นยำโดยรวม (Overall accuracy) ค่าความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้จำแนกเกินมา (Commission error) ค่าความผิดพลาดของข้อมูลที่ทำการจำแนกขาดหายไป (Omission error) ค่าความแม่นยำของผู้ใช้หรือผู้ปฏิบัติงาน (Consumer's accuracy) และค่าความแม่นยำของผู้ผลิตหรือผู้กำหนดกลุ่มตัวอย่าง (Producer's accuracy) เป็นต้น [23]

โดยผู้ศึกษาสามารถอธิบายความแม่นยำของการจำแนกได้ว่าข้อมูลการตรวจสอบความถูกต้องของภาพซึ่งผ่านการจำแนกด้วยการใช้พื้นที่ตรวจสอบที่ได้มาจากภาคสนาม โดยทำการตรวจสอบประเภทสิ่งปกคลุมดินและการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นประเภทหรือคลาส โดยสามารถสรุปความผิดพลาดจากการจำแนกขาดและการจำแนกเกิน รวมถึงความแม่นยำของการจำแนก [23] ได้ดังนี้

ความคลาดเคลื่อนแบบจำแนกขาด (Error of Omission) หมายถึง ความผิดพลาดของข้อมูลที่ทำการจำแนกขาดหายหรือตกลงไม่ได้รวมข้อมูลในกลุ่มนั้นเข้ามา [23]

ความคลาดเคลื่อนแบบจำแนกเกิน (Error of Commission) หมายถึง ความผิดพลาดของข้อมูลที่ได้จำแนกเกินมาหรือมีข้อมูลอื่นมาปนอยู่ในกลุ่มนั้น [23]

โดยทั้งความคลาดเคลื่อนแบบจำแนกขาดและความคลาดเคลื่อนแบบจำแนกเกินนั้น สามารถนำไปคำนวณเพื่อรายงานถึงความถูกต้องของการจำแนกได้อีกทางหนึ่ง ด้วยการคำนวณเป็นค่าความแม่นยำของผู้ใช้หรือผู้ปฏิบัติงานและค่าความแม่นยำของผู้ผลิตหรือผู้กำหนดกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งค่าความถูกต้องโดยรวม ค่าความแม่นยำของผู้ผลิตหรือผู้กำหนดกลุ่มตัวอย่างและค่าความแม่นยำของผู้ใช้หรือผู้ปฏิบัติงาน สามารถอธิบายได้ดังนี้

ความถูกต้องโดยรวม (Overall Mapping Accuracy) หมายถึง การประเมินค่าความถูกต้องโดยรวมในการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินของภาพที่ถูกจำแนกหารด้วยจำนวนจุดทั้งหมด ซึ่งเป็นการรายงานความแม่นยำในการจำแนกโดยรวม [23]

ค่าความแม่นยำของผู้ผลิตหรือผู้กำหนดกลุ่มตัวอย่าง (Producer's accuracy) เป็นการประเมินความผิดพลาดของข้อมูลที่ทำการจำแนกขาดหายไป (Omission error) พิจารณาจากจำนวนจุดภาพที่จำแนกถูกต้องของแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินหารด้วยจำนวนผลรวมของจุดภาพที่เป็นข้อมูลอ้างอิง [23]

ค่าความแม่นยำของผู้ใช้หรือผู้ปฏิบัติงาน (Consumer's accuracy or User's accuracy) เป็นการประเมินความผิดพลาดของข้อมูลที่ทำการจำแนกเกินมา (Commission error) พิจารณาจากจำนวนจุดรวมที่ถูกต้องใน แต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินหารด้วยจำนวนจุดที่ได้จากการจำแนกจริง [23]



ค่าความแม่นยำของผู้ผลิตหรือผู้กำหนดกลุ่มตัวอย่างและค่าความแม่นยำของผู้ใช้หรือผู้ปฏิบัติงาน มักจะต้องรายงานควบคู่ไปกับความถูกต้องโดยรวมเพื่อให้ทราบถึงลักษณะของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น (จำแนกขาดหรือจำแนกเกิน) โดยความถูกต้องโดยรวมและความถูกต้องของแต่ละคลาสสามารถอธิบายได้ [23] โดยสามารถแสดงรายละเอียดสมการที่สามารถคำนวณได้จากตารางความคลาดเคลื่อน [24] ดังแสดงในสมการที่ (1) ถึง (3)

$$\text{Overall accuracy (\%)} = \left\{ \frac{\text{ผลรวมของจำนวนจุดภาพที่จำแนกถูกต้องทุกคลาส}}{\text{ผลรวมของจำนวนจุดภาพทั้งหมด}} \right\} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Producer's accuracy (\%)} = \left\{ \frac{\text{จำนวนจุดภาพที่ถูกต้องของคลาสเป้าหมาย}}{\text{ผลรวมของจุดภาพอ้างอิง หรือผลรวมแนวตั้งของคลาสเป้าหมาย}} \right\} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Consumer's accuracy (\%)} = \left\{ \frac{\text{จำนวนจุดภาพที่ถูกต้องของคลาสเป้าหมาย}}{\text{ผลรวมของจุดภาพจากการจำแนก หรือผลรวมแนวนอนของคลาสเป้าหมาย}} \right\} \times 100 \quad (3)$$

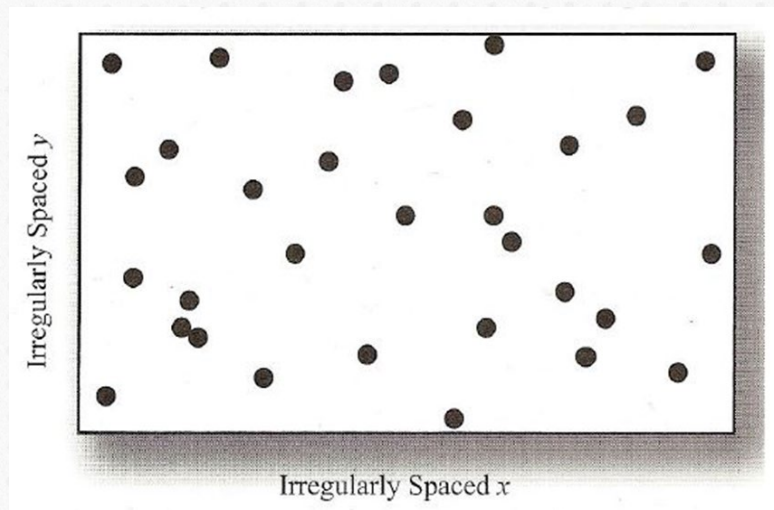
#### 2.3.3.2 วิธีการทางสถิติแคปปา (Kappa Statistics: KHAT)

เป็นการตรวจสอบความสอดคล้องกันของข้อมูลที่ผ่านการจำแนกและข้อมูลที่ใช้อ้างอิงหรือข้อมูลภาคสนามที่นำมาตรวจสอบความแม่นยำในการจำแนก ด้วยการหาค่าสัมประสิทธิ์ (Kappa Coefficient) เป็นค่าที่บ่งชี้ข้อมูล ในแต่ละประเภททั้งหมดว่ามีความเข้ากันหรืออยู่ในระดับที่ยอมรับได้อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ซึ่งโดยทั่วไปหากค่าสถิติแคปปาหรือ KHAT มากกว่า 80% แสดงว่า มีระดับการยอมรับมากที่สุด ค่าอยู่ระหว่าง 61-80% จะอยู่ในเกณฑ์ระดับการยอมรับมาก ส่วน 41-60% คือ ระดับการยอมรับปานกลาง [23] โดยสามารถแสดงรายละเอียดสมการ [24] ดังแสดงในสมการที่ (4)

$$\text{KHAT} = \left\{ \frac{\text{ความถูกต้องโดยรวม-ความถูกต้องที่คาดหวังจากการจำแนก}}{1-\text{ความถูกต้องที่คาดหวังจากการจำแนก}} \right\} \times 100 \quad (4)$$

#### 2.3.4 การสุ่มตัวอย่าง (Random Sampling)

สำหรับการศึกษานี้ได้ใช้การสุ่มตัวอย่างแบบสุ่ม (Simple Random Sampling) โดยการสุ่มตัวอย่างแบบสุ่ม คือ วิธีการสุ่มตัวอย่างที่บุคคลหรือองค์ประกอบทุกคนในประชากรมีโอกาสเท่าเทียมกันและเป็นอิสระในการเลือกกลุ่มตัวอย่าง ในแนวทางนี้แต่ละตัวอย่างจะถูกเลือกโดยบังเอิญและสมาชิกทุกคนในประชากรมีความน่าจะเป็นที่เท่ากันที่จะถูกรวมไว้ [25] ซึ่งการศึกษานี้ได้ใช้หลักของคองแกลตัน (Congalton) ซึ่งได้เสนอหลักทั่วไปในการกำหนดขนาดของตัวอย่าง กล่าวคือ ควรรวบรวมตัวอย่างขั้นต่ำ 50 ตัวอย่าง สำหรับสิ่งปกคลุมดินแต่ละประเภท [26] ดังภาพที่ 3



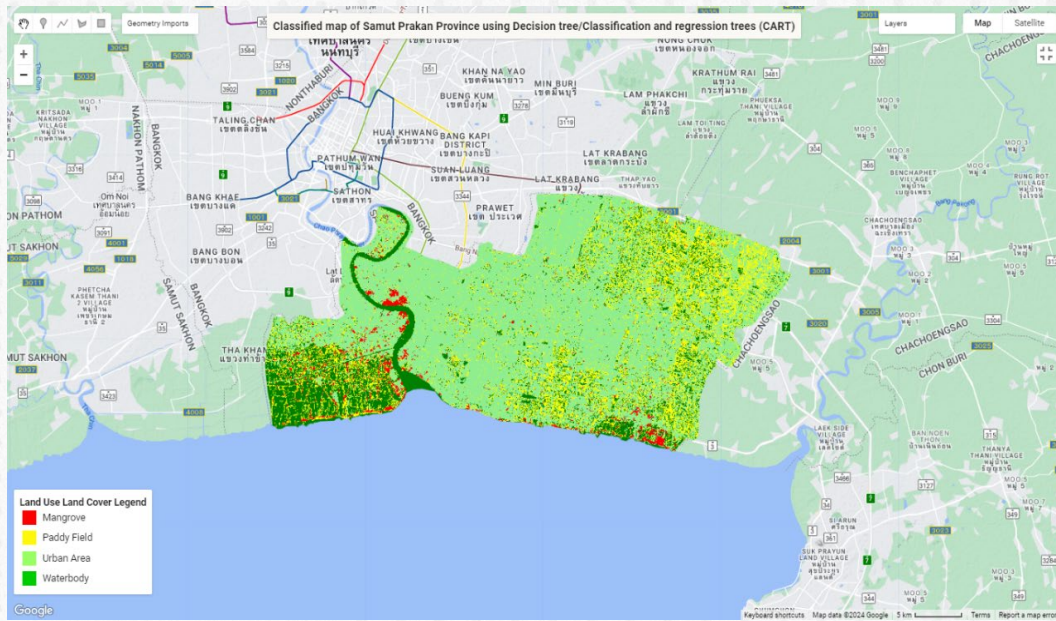
ภาพที่ 3 การสุ่มตัวอย่างแบบสุ่ม

### 3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผลการศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องของการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลา ในปี พ.ศ. 2566 โดยผลการจำแนกในชุดข้อมูลทดสอบ ผู้ศึกษาสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยวิธีการสร้างตารางความคลาดเคลื่อนและค่าสถิติแคปปา โดยผู้ศึกษาได้ทำการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินออกเป็น 4 ประเภท ประกอบด้วย (1) พื้นที่ป่าชายเลน (2) พื้นที่นา (3) พื้นที่เมือง และ (4) พื้นที่แหล่งน้ำ โดยใช้วิธีการจำแนกแบบกำกับดูแลร่วมกับอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง คือ อัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจ อัลกอริทึมป่าสุ่มและอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน โดยเป็นการวิเคราะห์และประมวลผลผ่านแพลตฟอร์มกูเกิลเอิร์ธเอนจินซึ่งได้ผลลัพธ์ดังนี้

3.1 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของอัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจ (Decision tree/Classification and regression trees; CART) ในการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลา ในปี พ.ศ. 2566

ผลการศึกษาประสิทธิภาพของอัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจในการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลา ในปี พ.ศ. 2566 ได้ผลการศึกษาดังภาพที่ 4 และตารางที่ 1 ดังนี้



ภาพที่ 4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของอัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจในการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลา ในปี พ.ศ. 2566

ตารางที่ 1 ตารางความคลาดเคลื่อนของชุดข้อมูลทดสอบของอัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจในการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลา ในปี พ.ศ. 2566

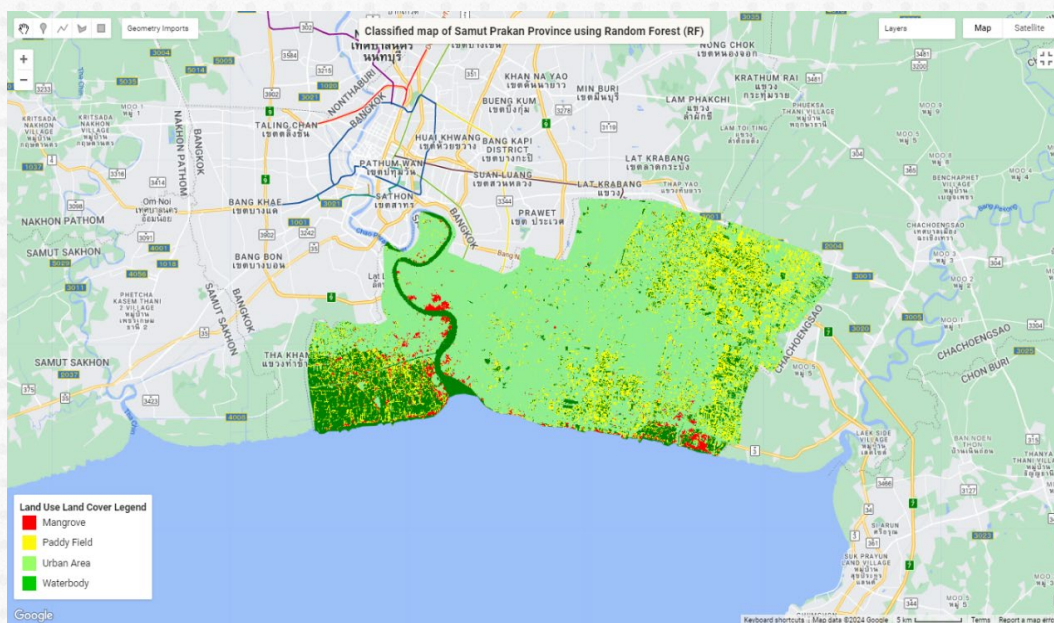
DATASET	Classified Data	Reference Data				Row Total
		Mangrove	Paddy Field	Urban Area	Waterbody	
Samutprakan CART	Mangrove	183	5	8	0	196
	Paddy Field	4	470	388	58	920
	Urban Area	49	324	6034	77	6484
	Waterbody	2	35	52	2634	2723
	Column Total	238	834	6482	2769	10323
	Producer's accuracy	76.89%	56.35%	93.08%	95.12%	
		(23.11% omission error)	(43.65% omission error)	(6.92% omission error)	(4.88% omission error)	
	User's accuracy	93.37%	51.09%	93.06%	96.73%	
		(6.63% comission error)	(48.91% comission error)	(6.94% comission error)	(3.27% comission error)	
	Overall accuracy		90.29%			
Kappa statistics		81.83%				

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 1 สามารถสรุปจำนวนจุดภาพที่จำแนกถูกต้องและคลาดเคลื่อนจากจำนวนทั้งหมด 10,323 จุดภาพ ได้ดังนี้

- พื้นที่ป่าชายเลน แผลถูกต้อง 183 จุดภาพ โดยมีการเปลี่ยนแปลงมา 13 จุดภาพ ซึ่งได้มาจากพื้นที่นา 5 จุดภาพและพื้นที่เมือง 8 จุดภาพ โดยมีการแปลงขาดหรือตกหล่นไป 55 จุดภาพ ซึ่งแปลงผิดไปเป็นพื้นที่นา 4 จุดภาพ พื้นที่เมือง 49 จุดภาพ และพื้นที่แหล่งน้ำ 2 จุดภาพ
- พื้นที่นา แผลถูกต้อง 470 จุดภาพ โดยมีการเปลี่ยนแปลงมา 364 จุดภาพ ซึ่งได้มาจากพื้นที่ป่าชายเลน 4 จุดภาพพื้นที่ตัวเมือง 388 จุดภาพ และพื้นที่แหล่งน้ำ 58 จุดภาพ โดยมีการแปลงขาดหรือตกหล่นไป 364 จุดภาพ ซึ่งแปลงผิดไปเป็นพื้นที่ป่าชายเลน 5 จุดภาพ พื้นที่เมือง 324 จุดภาพ และพื้นที่แหล่งน้ำ 35 จุดภาพ
- พื้นที่เมือง แผลถูกต้อง 6,034 จุดภาพ โดยมีการเปลี่ยนแปลงมา 450 จุดภาพ ซึ่งได้มาจากพื้นที่ป่าชายเลน 49 จุดภาพ พื้นที่นา 324 จุดภาพ และพื้นที่แหล่งน้ำ 77 จุดภาพ โดยมีการแปลงขาดหรือตกหล่นไป 448 จุดภาพ ซึ่งแปลงผิดไปเป็นพื้นที่ป่าชายเลน 8 จุดภาพ พื้นที่นา 388 จุดภาพ และพื้นที่แหล่งน้ำ 52 จุดภาพ
- พื้นที่แหล่งน้ำ แผลถูกต้อง 2,634 จุดภาพ โดยมีการเปลี่ยนแปลงมา 89 จุดภาพ ซึ่งได้มาจากพื้นที่ป่าชายเลน 2 จุดภาพ พื้นที่นา 35 จุดภาพ และพื้นที่ตัวเมือง 52 จุดภาพ โดยมีการแปลงขาดหรือตกหล่นไป 135 จุดภาพ ซึ่งแปลงผิดไปเป็นพื้นที่นา 58 จุดภาพ และพื้นที่ตัวเมือง 77 จุดภาพ

### 3.2 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของอัลกอริทึมป่าสุ่ม (Random Forest; RF) ในการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลา ในปี พ.ศ. 2566

ผลการศึกษาประสิทธิภาพของอัลกอริทึมป่าสุ่มในการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลา ในปี พ.ศ. 2566 ได้ผลการศึกษาดังภาพที่ 5 และตารางที่ 2 ดังนี้



ภาพที่ 5 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของอัลกอริทึมป่าสุ่มในการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลา ในปี พ.ศ. 2566

**ตารางที่ 2** ตารางความคลาดเคลื่อนของชุดข้อมูลทดสอบของอัลกอริทึมป่าสุ่มในการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลา ในปี พ.ศ. 2566

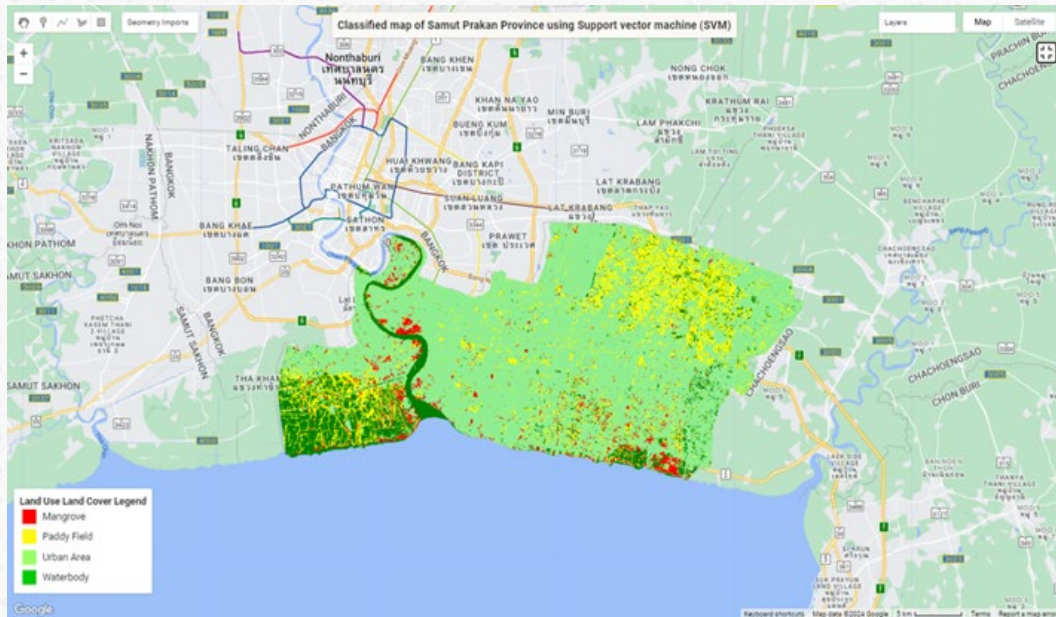
DATASET	Classified Data	Reference Data				Row Total
		Mangrove	Paddy Field	Urban Area	Waterbody	
Samutprakan RF	Mangrove	185	7	4	0	196
	Paddy Field	3	385	465	67	920
	Urban Area	38	93	6345	8	6484
	Waterbody	2	14	70	2637	2723
	Column Total	228	499	6884	2712	10323
	Producer's accuracy	81.14% (18.86%	77.15% (22.85%	92.17% (7.83%	96.84% (3.16%	
	User's accuracy	omission error) 94.39% (5.61% comission error)	omission error) 41.85% (58.15%	omission error) 97.86% (2.14%	omission error) 96.84% (3.16%	
			comission error) error)	comission error) error)	comission error) error)	
	Overall accuracy		92.55%			
	Kappa statistics		85.33%			

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 2 สามารถสรุปจำนวนจุดภาพที่จำแนกถูกต้องและคลาดเคลื่อนจากจำนวนทั้งหมด 10,323 จุดภาพ ได้ดังนี้

- พื้นที่ป่าชายเลน แผลถูกต้อง 185 จุดภาพ โดยมีการเปลี่ยนแปลงมา 11 จุดภาพ ซึ่งได้มาจากพื้นที่นา 7 จุดภาพและพื้นที่เมือง 4 จุดภาพ โดยมีการแปลงขาดหรือตกหล่นไป 43 จุดภาพ ซึ่งแปลงผิดไปเป็นพื้นที่นา 3 จุดภาพ พื้นที่เมือง 38 จุดภาพ และพื้นที่แหล่งน้ำ 2 จุดภาพ
- พื้นที่นา แผลถูกต้อง 385 จุดภาพ โดยมีการเปลี่ยนแปลงมา 535 จุดภาพ ซึ่งได้มาจากพื้นที่ป่าชายเลน 3 จุดภาพ พื้นที่เมือง 465 จุดภาพ และพื้นที่แหล่งน้ำ 67 จุดภาพ โดยมีการแปลงขาดหรือตกหล่นไป 114 จุดภาพ ซึ่งแปลงผิดไปเป็นพื้นที่ป่าชายเลน 7 จุดภาพ พื้นที่เมือง 93 จุดภาพ และพื้นที่แหล่งน้ำ 14 จุดภาพ
- พื้นที่เมือง แผลถูกต้อง 6,345 จุดภาพ โดยมีการเปลี่ยนแปลงมา 139 จุดภาพ ซึ่งได้มาจากพื้นที่ป่าชายเลน 38 จุดภาพ พื้นที่นา 93 จุดภาพ และพื้นที่แหล่งน้ำ 8 จุดภาพ โดยมีการแปลงขาดหรือตกหล่นไป 539 จุดภาพ ซึ่งแปลงผิดไปเป็นพื้นที่ป่าชายเลน 4 จุดภาพ พื้นที่นา 465 จุดภาพ และพื้นที่แหล่งน้ำ 70 จุดภาพ
- พื้นที่แหล่งน้ำ แผลถูกต้อง 2,637 จุดภาพ โดยมีการเปลี่ยนแปลงมา 86 จุดภาพ ซึ่งได้มาจากพื้นที่ป่าชายเลน 2 จุดภาพ พื้นที่นา 14 จุดภาพ และพื้นที่ตัวเมือง 70 จุดภาพ โดยมีการแปลงขาดหรือตกหล่นไป 75 จุดภาพ ซึ่งแปลงผิดไปเป็นพื้นที่นา 67 จุดภาพ และพื้นที่เมือง 8 จุดภาพ

### 3.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine; SVM) ในการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลา ในปี พ.ศ. 2566

ผลการศึกษาประสิทธิภาพของอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนในการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลา ในปี พ.ศ. 2566 ได้ผลการศึกษาดังภาพที่ 6 และตารางที่ 3 ดังนี้



ภาพที่ 6 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนในการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลา ในปี พ.ศ. 2566

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 3 สามารถสรุปจำนวนจุดภาพที่จำแนกถูกต้องและคลาดเคลื่อนจากจำนวนทั้งหมด 10,323 จุดภาพ ได้ดังนี้

- พื้นที่ป่าชายเลน แผลถูกต้อง 190 จุดภาพ โดยมีการแปลเกินมา 6 จุดภาพ ซึ่งได้มาจากพื้นที่นา 1 จุดภาพและพื้นที่เมือง 5 จุดภาพ โดยมีการแปลขาดหรือตกหล่นไป 93 จุดภาพ ซึ่งแปลผิดไปเป็นพื้นที่นา 10 จุดภาพ พื้นที่เมือง 76 จุดภาพ และพื้นที่แหล่งน้ำ 7 จุดภาพ
- พื้นที่นา แผลถูกต้อง 60 จุดภาพ โดยมีการแปลเกินมา 860 จุดภาพ ซึ่งได้มาจากพื้นที่ป่าชายเลน 10 จุดภาพ พื้นที่ตัวเมือง 794 จุดภาพ และพื้นที่แหล่งน้ำ 93 จุดภาพ โดยมีการแปลขาดหรือตกหล่นไป 203 จุดภาพ ซึ่งแปลผิดไปเป็นพื้นที่ป่าชายเลน 1 จุดภาพ พื้นที่ตัวเมือง 87 จุดภาพ และพื้นที่แหล่งน้ำ 115 จุดภาพ
- พื้นที่เมือง แผลถูกต้อง 6,306 จุดภาพ โดยมีการแปลเกินมา 139 จุดภาพ ซึ่งได้มาจากพื้นที่ป่าชายเลน 76 จุดภาพ พื้นที่นา 87 จุดภาพ และพื้นที่แหล่งน้ำ 15 จุดภาพ โดยมีการแปลขาดหรือตกหล่นไป 892 จุดภาพ ซึ่งแปลผิดไปเป็นพื้นที่ป่าชายเลน 5 จุดภาพ พื้นที่นา 794 จุดภาพ และพื้นที่แหล่งน้ำ 93 จุดภาพ
- พื้นที่แหล่งน้ำ แผลถูกต้อง 2,508 จุดภาพ โดยมีการแปลเกินมา 215 จุดภาพ ซึ่งได้มาจากพื้นที่ป่าชายเลน 7 จุดภาพ พื้นที่นา 115 จุดภาพ และพื้นที่ตัวเมือง 93 จุดภาพ โดยมีการแปลขาดหรือตกหล่นไป 71 จุดภาพ ซึ่งแปลผิดไปเป็นพื้นที่นา 56 จุดภาพ และพื้นที่ตัวเมือง 15 จุดภาพ

**ตารางที่ 3** ตารางความคลาดเคลื่อนของชุดข้อมูลทดสอบของอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนในการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลา ในปี พ.ศ. 2566

DATASET	Classified Data	Reference Data				Row Total
		Mangrove	Paddy Field	Urban Area	Waterbody	
Samutprakan SVM	Mangrove	190	1	5	0	196
	Paddy Field	10	60	794	56	920
	Urban Area	76	87	6306	15	6484
	Waterbody	7	115	93	2508	2723
	Column Total	283	263	7198	2579	10323
	Producer's accuracy	67.13% (32.87%)	22.81% (77.19%)	87.61% (12.39%)	97.25% (2.75%)	
	User's accuracy	omission error) 96.94% (3.06%) comission error)	omission error) 0.07% (99.93%) comission error)	omission error) 97.25% (2.75%) comission error)	omission error) 92.10% (7.90%) comission error)	
	Overall accuracy		87.80%			
	Kappa statistics		75.28%			

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 1-3 สามารถสรุปความคลาดเคลื่อนแบบจำแนกขาด โดยผลของความคลาดเคลื่อนแบบจำแนกขาด มีดังนี้

- การจำแนกสำหรับพื้นที่ป่าชายเลนโดยใช้อัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจมีค่า 23.11% อัลกอริทึมป่าสุ่มมีค่า 18.86% และอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีค่า 32.87%
- การจำแนกสำหรับพื้นที่นาโดยใช้อัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจมีค่า 43.65% อัลกอริทึมป่าสุ่มมีค่า 22.85% และอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีค่า 77.19%
- การจำแนกสำหรับพื้นที่เมืองโดยใช้อัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจมีค่า 6.92% อัลกอริทึมป่าสุ่มมีค่า 7.83% และอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีค่า 12.39%
- การจำแนกสำหรับพื้นที่แหล่งน้ำโดยใช้อัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจมีค่า 4.88% อัลกอริทึมป่าสุ่มมีค่า 3.16% และอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีค่า 2.75%

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 1-3 สามารถสรุปความคลาดเคลื่อนแบบจำแนกเกิน โดยผลของความคลาดเคลื่อนแบบจำแนกเกิน มีดังนี้

- การจำแนกสำหรับพื้นที่ป่าชายเลนโดยใช้อัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจมีค่า 6.63% อัลกอริทึมป่าสุ่มมีค่า 5.61% และอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีค่า 3.06%
- การจำแนกสำหรับพื้นที่นาโดยใช้อัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจมีค่า 48.91% อัลกอริทึมป่าสุ่มมีค่า 58.15% และอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีค่า 99.93%

- การจำแนกสำหรับพื้นที่เมืองโดยใช้อัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจมีค่า 6.94% อัลกอริทึมป่าสุ่มมีค่า 2.14% และอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีค่า 2.75%

- การจำแนกสำหรับพื้นที่แหล่งน้ำโดยใช้อัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจมีค่า 3.27% อัลกอริทึมป่าสุ่ม มีค่า 3.16% และอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีค่า 7.90%

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 1-3 สามารถอธิบายผลการคำนวณค่าความแม่นยำของผู้ผลิตหรือผู้กำหนดกลุ่มตัวอย่าง กล่าวคือ

- การจำแนกสำหรับพื้นที่ป่าชายเลนโดยใช้อัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจมีค่า 76.89% อัลกอริทึมป่าสุ่มมีค่า 81.14% และอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีค่า 67.13%

- การจำแนกสำหรับพื้นที่นาโดยใช้อัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจมีค่า 56.35% อัลกอริทึมป่าสุ่มมีค่า 77.15% และอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีค่า 22.81%

- การจำแนกสำหรับพื้นที่เมืองโดยใช้อัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจมีค่า 93.08% อัลกอริทึมป่าสุ่มมีค่า 92.17% และอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีค่า 87.61%

- การจำแนกสำหรับพื้นที่แหล่งน้ำโดยใช้อัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจมีค่า 95.12% อัลกอริทึมป่าสุ่มมีค่า 96.84% และอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีค่า 97.25%

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 1-3 สามารถอธิบายผลการคำนวณค่าความแม่นยำของผู้ใช้หรือผู้ปฏิบัติงาน กล่าวคือ

- การจำแนกสำหรับพื้นที่ป่าชายเลนโดยใช้อัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจมีค่า 93.37% อัลกอริทึมป่าสุ่มมีค่า 94.39% และอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีค่า 96.94%

- การจำแนกสำหรับพื้นที่นาโดยใช้อัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจมีค่า 51.09% อัลกอริทึมป่าสุ่มมีค่า 41.85% และอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีค่า 0.07%

- การจำแนกสำหรับพื้นที่เมืองโดยใช้อัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจมีค่า 93.06% อัลกอริทึมป่าสุ่มมีค่า 97.86% และอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีค่า 97.25%

- พื้นที่แหล่งน้ำโดยใช้อัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจมีค่า 96.73% อัลกอริทึมป่าสุ่มมีค่า 96.84% และอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีค่า 92.10%

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 1-3 สามารถอธิบายผลการคำนวณค่าความถูกต้องโดยรวม ซึ่งเป็นการรายงานความแม่นยำในการจำแนกโดยรวม โดยผลการศึกษากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องของการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลา ในปี พ.ศ. 2566 โดยใช้อัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจมีค่า 90.29% อัลกอริทึมป่าสุ่มมีค่า 92.55% และอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีค่า 87.80%

ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 1-3 สามารถอธิบายผลการคำนวณค่าทางสถิติแคปปา โดยค่าที่ใช้อัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจมีค่า 81.83% อัลกอริทึมป่าสุ่มมีค่า 85.33% และอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีค่า 75.28%



### 3.4 อภิปรายผลการศึกษา

จากการศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องของการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลา ในปี พ.ศ. 2566 พบว่า

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบจากตารางความคลาดเคลื่อนของชุดข้อมูลทดสอบระหว่างอัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจ อัลกอริทึมป่าสุ่มและอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน แสดงให้เห็นว่าการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการจากจำนวนจุดภาพทั้งหมด 196 จุดภาพ ด้วยอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนแปลถูกต้องมากที่สุดคือ แปลถูกต้อง 190 จุดภาพ และมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดกว่าอัลกอริทึมอื่นๆ โดยมีการเปลี่ยนแปลงมา 6 จุดภาพ ซึ่งได้มาจากพื้นที่นา 1 จุดภาพ และพื้นที่เมือง 5 จุดภาพ ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงผลของความคลาดเคลื่อนแบบจำแนกเกินที่แสดงในรูปแบบเปอร์เซ็นต์นั้น ผลของความคลาดเคลื่อนแบบจำแนกเกินของอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีค่า 3.06% ส่วนการ แปลขาดหรือตกหล่นไปนั้น อัลกอริทึมป่าสุ่มมีการแปลขาดหรือตกหล่นไปน้อยที่สุดกว่าอัลกอริทึมอื่นๆ โดยมีการแปลขาดหรือตกหล่นไป 43 จุดภาพ ซึ่งแปลผิดไปเป็นพื้นที่นา 3 จุดภาพ พื้นที่เมือง 38 จุดภาพ และพื้นที่แหล่งน้ำ 2 จุดภาพ ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงผลของความคลาดเคลื่อนแบบจำแนกขาดที่แสดงในรูปแบบเปอร์เซ็นต์นั้น ผลของความคลาดเคลื่อนแบบจำแนกขาดของอัลกอริทึมป่าสุ่มมีค่า 18.86%

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลการคำนวณค่าความแม่นยำของผู้ผลิตหรือผู้กำหนดกลุ่มตัวอย่างระหว่างอัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจ อัลกอริทึมป่าสุ่มและอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน แสดงให้เห็นว่าการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการด้วยอัลกอริทึมป่าสุ่มมีค่ามากที่สุด คือ 81.14%

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลการคำนวณค่าความแม่นยำของผู้ใช้หรือผู้ปฏิบัติงานระหว่างอัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจ อัลกอริทึมป่าสุ่มและอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน แสดงให้เห็นว่าการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการด้วยอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนมีค่ามากที่สุด คือ 96.94%

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลการคำนวณค่าความถูกต้องโดยรวมซึ่งเป็นการรายงานความแม่นยำในการจำแนกโดยรวมระหว่างอัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจ อัลกอริทึมป่าสุ่มและอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน แสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมป่าสุ่มมีค่ามากที่สุด คือ 92.55% ซึ่งค่า 92.55% แสดงระดับความแม่นยำสูง

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลการคำนวณค่าทางสถิติแคปปาซึ่งเป็นค่าที่บ่งชี้ข้อมูลในแต่ละประเภททั้งหมดมีความเข้ากันหรืออยู่ในระดับที่ยอมรับได้อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ระหว่างอัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจ อัลกอริทึมป่าสุ่มและอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน แสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมป่าสุ่มมีค่ามากที่สุด คือ 85.33% ซึ่งโดยทั่วไปหากค่าสถิติแคปปา หรือ KHAT มากกว่า 80% แสดงว่า มีระดับการยอมรับมากที่สุด

ทั้งนี้ ความสอดคล้องของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า การศึกษานี้มีความสอดคล้องกับบทความของ Aldiansyah, et al [19] ซึ่งได้ศึกษาการเปรียบเทียบอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องสำหรับการใช้ที่ดินและการวิเคราะห์สิ่งปกคลุมดินโดยใช้กูเกิลเอิร์ธเอนจิน กรณีสึกษา ลุ่มน้ำวังกู โดยผลการศึกษาพบว่าอัลกอริทึมป่าสุ่มมีประสิทธิภาพเหนือกว่าอัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจและอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน เช่นเดียวกับผลการศึกษาของผู้ศึกษา

### 4. บทสรุป

ผู้ศึกษาสามารถสรุปผลการศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องของการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลา ในปี พ.ศ. 2566 ได้ว่าอัลกอริทึมป่าสุ่มมีประสิทธิภาพดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการจำแนกโดยใช้อัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจและอัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน เนื่องจาก เมื่อพิจารณาทั้งค่าความถูกต้องโดยรวม และค่าสถิติแคปปาของข้อมูลซึ่งผ่านการตรวจสอบความแม่นยำหรือถูกต้องของการศึกษานี้ พบว่า มีค่าเท่ากับ 92.55% และ 85.33% ตามลำดับ ซึ่งแสดงถึง

ความแม่นยำสูงและมีความเข้ากันได้ระหว่างข้อมูลจากการจำแนกและข้อมูลอ้างอิงจากภาคสนามหรือแผนที่อ้างอิงในระดับสูงเช่นกัน จึงสามารถนำภาพที่ผ่านการจำแนกนี้ไปใช้ในการอ้างอิงหรือใช้วิเคราะห์ต่อไปได้

ทั้งนี้ หากเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องของการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลา ในปี พ.ศ. 2566 พิจารณาค่าความแม่นยำรวมร่วมกับการพิจารณาค่าความแม่นยำของผู้ผลิตและค่าความแม่นยำของผู้ใช้ในคลาสที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ป่าชายเลน พบว่าอัลกอริทึมป่าสุ่มให้ผลการศึกษามีประสิทธิภาพและมีความน่าเชื่อถือมาก คือ ค่าความแม่นยำของผู้ผลิตมีค่า 81.14% และค่าความแม่นยำของผู้ใช้มีค่า 94.39%

สำหรับแนวทางการศึกษาในอนาคตที่สามารถพัฒนาต่อยอดจากการศึกษานี้ได้นั้น ผู้ศึกษาพิจารณาเห็นว่าควรนำอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องอื่นๆ มาใช้สำหรับการศึกษาเปรียบเทียบ วิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลทางภูมิสารสนเทศเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพสูงและสามารถนำมาใช้ร่วมกับกระบวนการจำแนกบนกูเกิลเอิร์ธเอนจินได้ เช่น อัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neuron Network; ANN) เป็นต้น เพื่อให้ผลการศึกษามีประสิทธิภาพสูงและให้ผลลัพธ์ของความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

## 5. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องของการจำแนกพื้นที่ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรปราการ ด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 แบบอนุกรมเวลา ในปี พ.ศ. 2566 คณะผู้ศึกษาขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากร สาขาเทคโนโลยีเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนในการศึกษานี้มาโดยตลอด

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Alongi, D. M., Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Annual review of marine science*. 6(2014) 195-219.
- [2] Asner, G. P., & Mascaro, J., Mapping tropical forest carbon: Calibrating plot estimates to a simple LiDAR metric. *Remote Sensing of Environment*. 140(2014) 614-624.
- [3] Giri, C., Ochieng, E., Tieszen, L. L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T., ... & Duke, N., Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*. 20(1)(2011) 154-159.
- [4] Rocchini, D., et al., Remotely sensed spectral heterogeneity as a proxy of species diversity: Recent advances and open challenges. *Ecological Informatics*. 5(5)(2010) 318-329.
- [5] Simard, M., et al., Mangrove canopy height globally related to precipitation, temperature and cyclone frequency. *Nature Geoscience*. 4(7)(2011) 557-561.
- [6] กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (24 พฤศจิกายน 2566). ข้อมูลทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง จังหวัดสมุทรปราการ สืบค้นจาก <https://dmcrth.dmcr.go.th/attachment/ab/download.php?WP=oJW3LHj3oGMaG3FDnoy44UOeoFM3A0j4oH9axUF5nrO4MNo7o3Qo7o3Q>
- [7] United Nations. (n.d.). (6 May 2023). Sustainable Development Goals. Available: <https://sdgs.un.org/goals>
- [8] LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G., Deep learning. *Nature*. 521(7553) (2015) 436-444.

- [9] Hamilton, S. E., & Casey, D., Creation of a high spatio-temporal resolution global database of continuous mangrove forest cover for the 21st century (CGMFC-21). *Global Ecology and Biogeography*. 25(6)(2016) 729-738.
- [10] Fatoyinbo, T. E., Feliciano, E. A., Lagomasino, D., Lee, S. K., Trettin, C. C., Simard, M., ... & Pidgeon, A. M., Large-scale assessment of mangrove carbon stocks across four continents. *Remote Sensing of Environment*. 231(2019) 111198.
- [11] Simard, M., Fatoyinbo, T. E., Harris, N. L., Guay, K. C., & Pinto, N., Biomass and carbon dynamics of an Amazonian peatland. *Forest Ecology and Management*. 453(2019) 117593.
- [12] Pham, T. D., Tri, V. P. D., Nguyen, H. T. H., & Vogt, J. V., Remote sensing-based assessment of mangrove carbon stocks in the Red River Delta, Vietnam. *Journal of Environmental Management*. 259(2020) 110036.
- [13] Tovarante, J., & Honda, K., Mapping and monitoring of mangrove forests in Thailand using Google Earth Engine cloud computing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 103(2021) 102407.
- [14] Hamilton, S. E., & Friess, D. A., Global carbon stocks and potential emissions due to mangrove deforestation from 2000 to 2012. *Nature Climate Change*. 8(3)(2018) 240-244.
- [15] Fatoyinbo, T. E., Simard, M., Washington-Allen, R. A., Shugart, H. H., & Lagomasino, D., Landscape-scale biomass estimation of West African mangroves using canopy height and optical data. *Remote Sensing of Environment*. 183(2016) 347-358.
- [16] Simard, M., et al., Mangrove canopy height globally related to precipitation, temperature and cyclone frequency. *Nature Geoscience*. 4(7) (2011) 557-561.
- [17] Souza Filho, P. W. M., Lucas, R. M., Rosenqvist, A., & Shimabukuro, Y. E., Mapping carbon in forested tropical wetlands using earth observation data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 73(2018) 529-541.
- [18] Gholizadeh, H., Amiri, F., Koch, M., & Pilesjö, P., Estimation of soil organic carbon stocks in tropical mangrove forests of Iran using remote sensing and machine learning. *Remote Sensing*, 11(12) (2019) 1461.
- [19] Aldiansyah, S., & Saputra, R. A., Comparison of machine learning algorithms for land use and land cover analysis using Google Earth engine (Case study: Wanggu watershed). *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*. 19(2) (2023) 197-210.
- [20] Mondal, P., Liu, X., Fatoyinbo, T. E., & Lagomasino, D., Evaluating combinations of sentinel-2 data and machine-learning algorithms for mangrove mapping in West Africa. *Remote Sensing*. 11(24) (2019) 2928.
- [21] Munandar, E., Jasmine, A. S., & Khalifa, M. A., Identification of Mangrove Cover in Banten Bay using Google Earth Engine. *Journal of Applied Geospatial Information*. 7(1)(2023) 796-799.
- [22] Congalton, R.G. and Green, K.. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices, CRC Press, 2009.

- [23] ดร.ณรรณ กำธรเกียรติ. การสำรวจจากระยะไกลด้วยดาวเทียมและการประยุกต์ใช้. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี. 2564.
- [24] กัญทกะ โลกวิบูล. การจำแนกพื้นที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจจังหวัดนครนายก ด้วยข้อมูลอนุกรมเวลาของภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 โดยใช้ซอฟต์แวร์รหัสเปิด Google Earth Engine. ภาคนิพนธ์ศิลปศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาภูมิศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2563.
- [25] Cochran, W.G. Sampling Techniques (3rd ed.), Wiley, 1977.
- [26] ณัฐพล จันทร์แก้ว. ตำราพื้นฐานรีโมทเซนซิง. ปทุมธานี. 2555.

## ผลของการเติมถ่านชีวภาพจากฟางข้าวในดินต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินนา และการเจริญเติบโตของข้าว

### Effect of rice-staw biochar amendment on soil Fertility and rice growth promotion

ขจิตมณี เมืองพรหม<sup>1</sup> มุจลินทร์ ผลจันทร์<sup>1\*</sup> เจนจิรา หม่องอ๋น<sup>2</sup> และ พัชรี อินธนู<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้เชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

<sup>2</sup>ภาควิชาอารักขาพืช มหาวิทยาลัยแม่โจ้เชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

<sup>3</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเคมีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยแม่โจ้เชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

\*E-mail: mujalin@mju.ac.th

#### บทคัดย่อ

ปัญหาสิ่งแวดล้อมจากภาคการเกษตรส่วนหนึ่งเกิดจากการพึ่งพาสารเคมีในการปรับปรุงคุณภาพดิน การส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชตลอดจนการใช้สารเคมีทำให้เกิดการตกค้างในดินรวมถึงผลผลิตสิ่งแวดล้อม และผลผลิตทางการเกษตรที่ลดลงในระยะยาว นอกจากนี้หลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตยังมีเศษวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมากซึ่งเกษตรกรส่วนใหญ่กำจัดวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรด้วยวิธีการเผาทำให้เกิดปัญหาต่อคุณภาพอากาศ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาผลกระทบระยะสั้นของการใช้ถ่านชีวภาพในการปลูกข้าวต่อคุณภาพดินและการเจริญเติบโตของข้าวเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการเกษตรและเป็นข้อมูลให้เกษตรกรนำถ่านชีวภาพไปใช้ประโยชน์ต่อไป โดยทำการวิจัยในพื้นที่นาข้าวขนาด 1 ตารางเมตร ประกอบด้วย 2 การทดลองได้แก่ แปลงนาที่ไม่ได้ใส่ถ่านชีวภาพ และแปลงนาที่ใส่ถ่านชีวภาพ ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบผลการเจริญเติบโตของต้นข้าว น้ำหนักผลผลิต และคุณสมบัติของดินที่เปลี่ยนแปลงไป จากนั้นนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม RStudio version 4.3.1 ผลการศึกษาพบว่า การเติมถ่านชีวภาพในนาข้าวสามารถช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของข้าวทั้งน้ำหนัก ความสูง และความยาวของใบ โดยถ่านชีวภาพจะช่วยเพิ่มธาตุอาหารในดินทำให้ต้นข้าวสามารถเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตได้ดี โดยการศึกษานี้ได้บ่งชี้ว่าการใช้ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงคุณภาพดิน และส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพและสะดวกต่อการใช้งานอันจะนำไปเพื่อเป็นแนวทางแก่เกษตรกรในการลดต้นทุน เพิ่มความอุดมสมบูรณ์และการกักเก็บน้ำในดิน ลดการเผาทำลายวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และช่วยบรรเทาปัญหาหมอกควันในฤดูแล้งของเขตภาคเหนือ ถ่านชีวภาพจึงเป็นหนึ่งในวัสดุทางชีวภาพที่ควรค่าแก่การพัฒนาอย่างยั่งยืน

**คำสำคัญ:** ถ่านชีวภาพ การเจริญเติบโตของข้าว ความอุดมสมบูรณ์ของดิน

#### Abstract

The environmental issues stemming from agriculture partly arise from the reliance on chemical substances to enhance soil quality, promote plant growth, and increase agricultural yields. The use of chemicals leads to soil contamination, environmental pollution, and long-term reduction in agricultural

productivity. Additionally, after harvest, a significant amount of agricultural residues are left behind, with most farmers resorting to agricultural burning, which contributes to air pollution. Therefore, this research aims to investigate the short-term impacts of using biochar in rice cultivation on soil quality and rice growth as a potential solution to environmental issues in agriculture. The study was conducted in rice fields with a size of 1 square meter, comprising two experiments: one without biochar application and one with biochar application. The experiments compared rice growth, yield, and changes in soil properties. Statistical analysis was performed using RStudio version 4.3.1. The study found that biochar application in rice fields can enhance rice growth in terms of height, leaf length, and overall plant vigor. Biochar helps increase nutrient availability in the soil, enabling better rice growth and yield. This study suggests that using biochar to improve soil quality and promote rice growth is an effective and convenient method that can benefit farmers by reducing costs, enhancing soil fertility, water retention, reducing agricultural residue burning, and mitigating smoke haze issues during the dry season in the northern region. Therefore, biochar is considered a sustainable bio-based material worth considering for further development.

**Keywords:** Biochar, Rice growth, Soil fertility

## 1. บทนำ

การทำเกษตรกรรมโดยทั่วไปหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตมักจะมีเศษวัสดุเหลือทิ้งในพื้นที่เพาะปลูกเป็นจำนวนมาก วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรส่วนใหญ่เป็นเศษชิ้นส่วนของพืช เช่น ข้าว ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น โดยมีปริมาณที่แตกต่างกันไปซึ่งเกษตรกรส่วนใหญ่กำจัดวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรด้วยวิธีการเผาทำให้เกิดปัญหาต่อคุณภาพอากาศ [1] โดยงานวิจัยนี้ได้นำเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเหล่านี้กลับมาทำถ่านชีวภาพด้วยกระบวนการย่อยสลายเชิงความร้อนที่เรียกว่าไพโรไลซิส (pyrolysis) ซึ่งเป็นกระบวนการให้ความร้อนโดยปราศจากอากาศ [2] จึงส่งผลให้ถ่านชีวภาพมีคุณสมบัติและองค์ประกอบพื้นฐานมีลักษณะแตกต่างจากถ่านไม้ที่เผาโดยทั่วไปถ่านชีวภาพที่ได้จะมีสมบัติความเป็นรูพรุน และประกอบไปด้วยคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) ซัลเฟอร์ (S) และขี้เถ้า (ash) โครงสร้างจะเปลี่ยนไปตามชีวมวล [3] โดยเฉพาะคาร์บอน 100 เปอร์เซ็นต์ ที่อยู่ในชีวมวลจะกักเก็บอยู่ในถ่านชีวภาพ 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำถ่านชีวภาพใส่ลงในดินจะเป็นการกักเก็บคาร์บอนไว้ในดินแทนการแพร่กระจายสู่ชั้นบรรยากาศ เนื่องจากไม่ได้ผ่านการสัมผัสออกซิเจนขณะให้ความร้อน [4] ถ่านชีวภาพมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี เช่น ความพรุน (porosity) พื้นที่ผิว (surface area) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และธาตุอาหาร (nutrition) ที่อยู่ในถ่านชีวภาพนั้นมีความหลากหลายและแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของชีวมวล (feedstock types) ที่นำมาผลิตเป็นถ่านชีวภาพรวมถึงสภาวะที่ใช้ในการผลิต ได้แก่ อุณหภูมิในการเผา (pyrolysis temperature) และระยะเวลาในการเผา (residence time) [5, 6] ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จำเป็นต่อการนำถ่านชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงดินเพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน (soil fertility) ต่อไป คุณสมบัติของถ่านชีวภาพที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช คือ การที่มีความพรุนและพื้นที่ผิวสูง และบริเวณพื้นที่ผิวมีประจุลบที่เพิ่มค่า ค่าการนำไฟฟ้า (Cation Exchange Capacity, CEC) ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนสารอาหารในดิน เพื่อเพิ่มการกักเก็บธาตุอาหารที่สำคัญต่อพืชและยังชะลอการสูญเสียธาตุอาหารพืชที่มีประจุบวกชะลอการไหลของน้ำให้ช้าลงโดยเปลี่ยนการไหลแบบ bypass เป็นการไหลแบบ matrix [7] ซึ่งอิทธิพลของถ่านชีวภาพที่มีต่อพืชนั้นมีสมมติฐานว่าเนื่องจากถ่านชีวภาพมีปริมาณ C/N สูงจึงทำให้ไนโตรเจนในดินเคลื่อนที่ได้น้อยลงทำให้จุลินทรีย์ได้รับไนโตรเจนมากขึ้นก่อให้เกิดกิจกรรมต่างๆของจุลินทรีย์อาทิเช่น การดูดซึมซับ

แอมโมเนียมและการกักเก็บสารละลายดินภายในช่องว่าง เป็นต้น [8, 9] จากหลายงานวิจัยก่อนหน้านี้สามารถสรุปได้ว่าการผสมถ่านชีวภาพลงไปในดินทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้น โดยพืชได้รับธาตุอาหารที่จำเป็นมากขึ้น และการเจริญเติบโตของพืชเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบระหว่างแปลงปลูกพืชที่ผสมถ่านชีวภาพ และแปลงปลูกพืชที่ไม่ได้ผสมถ่านชีวภาพ [10-12] อีกทั้งถ่านชีวภาพยังเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยเคมีและปุ๋ยอินทรีย์ที่ใส่ควบคู่ลงไปด้วย [13, 14] จากที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าถ่านชีวภาพสามารถทำคุณสมบัติของดินดีขึ้นและมีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้น ทำให้ดินมีความเหมาะสมต่อการทำการเกษตร นอกจากนี้ถ่านชีวภาพยังมีประสิทธิภาพในการลดคาร์บอนและกักเก็บไว้ รวมไปถึงการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรนำกลับมาใช้ใหม่ อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้ถ่านชีวภาพยังมีข้อจำกัดทั้งในแง่ของปริมาณการใช้ ชนิดของพืช และคุณสมบัติของดิน อีกทั้งการศึกษาในผลของการใช้ถ่านชีวภาพในพื้นที่การเกษตรยังมีน้อยมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาผลกระทบระยะสั้นของการใช้ถ่านชีวภาพในการปลูกข้าวต่อคุณภาพดินและการเจริญเติบโตของข้าวเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการ เกษตรและเป็นข้อมูลให้เกษตรกรร่นำถ่านชีวภาพไปใช้ประโยชน์ต่อไป

## 2.วิธีการศึกษา

### 2.1 การเตรียมชีวภาพ

ทำการผลิตถ่านชีวภาพจากฟางข้าว (Rice straw biochar : RSB) ด้วยวิธีการไพโรไลซิส (Pyrolysis) ที่เตาเผาอุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 1 จากนั้นนำมาบดเป็นผงเพื่อนำไปผสมกับดิน โดยถ่านชีวภาพที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติ ได้แก่ การวิเคราะห์หาค่ารพูน และพื้นผิวของถ่านด้วยเครื่อง Bet analyzer โดยจะ ศึกษาลักษณะพื้นที่ผิวของถ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy, SEM) การวิเคราะห์ธาตุด้วยเครื่อง Energy dispersive X-rays spectrometer (EDS) ยี่ห้อ Tescan รุ่น VEGA 3 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้



ภาพที่ 1 เตาเผาถ่านชีวภาพ

### 2.2 การทดลองและการเก็บตัวอย่างดิน

ทำการทดสอบการใช้ถ่านชีวภาพในแปลงนา โดยมีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อก นำผลมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี ANOVA-RCB ระหว่างค่าประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตของข้าว แบ่งขนาดภายในแปลง 1 ตารางเมตร ประกอบด้วย 2 กรรมวิธีการทดลอง โดยแบ่งเป็นกรรมวิธีควบคุม และกรรมวิธีที่ใส่ถ่านชีวภาพ ทุกชุดการทดลองใส่ปุ๋ยตามคำแนะนำที่เกษตรกรได้รับสำหรับการปลูกพืชนั้นๆ หลังจากนั้นจะมีการใส่ถ่านชีวภาพในแปลงเกษตรในอัตราส่วน 1% ดัง

แสดงในภาพที่ 2 เก็บตัวอย่างดินแบบสุ่มก่อนและหลังการทดลองที่ระดับความลึก 0-15 ซม. และ 15-30 ซม. เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ เนื้อดิน (Soil texture), ความหนาแน่นรวมของดินโดยใช้กระบอก และแหวนโลหะเก็บตัวอย่างดิน (Core method), ความสามารถในการอุ้มน้ำได้ของดินที่มีถ่านชีวภาพและไม่มีถ่านชีวภาพ คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน โดยใช้เครื่องวัด pH meter, อินทรีย์คาร์บอนในดิน, ค่าอินทรีย์วัตถุ (Organic matter, OM), ค่าการนำไฟฟ้า (Cation Exchange Capacity, CEC), ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน (Total Nitrogen) โดยใช้วิธีของ Combustion (LECO 828 Series), ปริมาณไนเตรท (Nitrate,  $\text{NO}_3^-$ ) โดยวิธีของ KCl Extraction, ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน (Available Phosphorus) โดยวิธีของ Bray II Extraction, ปริมาณโพแทสเซียมในดิน (Extractable Potassium) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (AAS)



ภาพที่ 2 การประยุกต์ใช้ถ่านชีวภาพในแปลงทดลอง

### 2.3 การวัดการเจริญเติบโตของข้าว

ในการศึกษาจะวัดการเจริญเติบโตของข้าวในพื้นที่ขนาด 1 ตารางเมตร ดังภาพที่ 3 นำผลมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี t-test ระหว่างค่าประสิทธิภาพในการเจริญเติบโตของข้าว จำนวน 10 ซ้ำ โดยทำการเริ่มวัดต้นข้าวในระยะ 7 วัน, 14 วัน, 30 วัน, 61 วัน, 92 วัน, 122 วัน และวัดสูงจากโคนต้นเหนือดินจนถึงปลายยอด ส่วนระยะที่ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิตจะใช้วิธี Crop-cut คือ การเกี่ยวซัดดิน จากนั้นแยกองค์ประกอบผลผลิต (Yield component) หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักสดและนำไปตากแห้งเพื่อชั่งน้ำหนักแห้ง จากนั้นนำผลผลิตที่ตากแห้งแล้วนำไปอบที่  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  เพื่อนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ต่อไป



ภาพที่ 3 การวัดการเจริญเติบโตของข้าวในพื้นที่การทดลองขนาด 1 ตารางเมตร

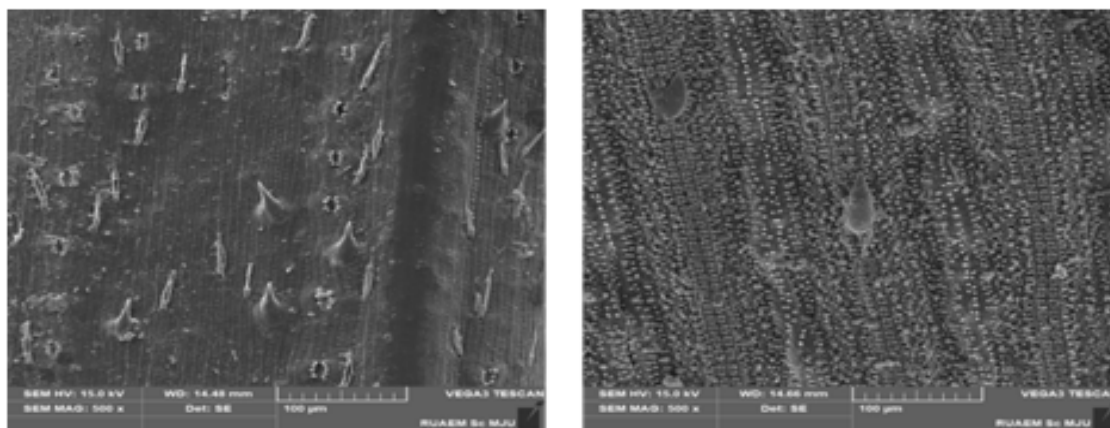


### 3. ผลการศึกษาและการวิจารณ์

#### 3.1 ผลการวิเคราะห์ถ่านชีวภาพ

ผลการเผาถ่านชีวภาพจากฟางข้าวในระดับ pilot scale ที่อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้ % yield เฉลี่ยประมาณ 35-40% โดยถ่านชีวภาพมีค่า Electrical conductivity (EC) เท่ากับ 7.34 ms/cm Organic matter เท่ากับ 3.54% Nitrogen เท่ากับ 1.32% Phosphorus เท่ากับ 0.34% Potassium เท่ากับ 5.43% Calcium 0.28% Magnesium 0.50% Sodium 0.16 mg/kg และ Ash 43.48% และ Crude fiber 38.10% ถ่านชีวภาพมีพื้นที่ผิว 45.1040 m<sup>2</sup>/g มีปริมาตรรูพรุน 0.015218 cm<sup>3</sup>/g มีขนาดของรูพรุนสำหรับ adsorption 1.3496 nm และขนาดรูพรุนสำหรับ desorption 3.1373 nm คุณสมบัติความพรุนของถ่านชีวภาพที่เกิดขึ้นทำให้ถ่านชีวภาพมีความเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินเนื่องจากช่องว่างในพื้นที่ผิวจะเป็นที่ยึดเหนี่ยวน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชทำให้สามารถดูดซับน้ำที่เป็นประโยชน์แก่พืช ตลอดจนธาตุอาหารต่างๆ และยังสามารถเป็นที่อยู่ของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช [20]

ผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพด้วยเทคนิคกล้อง SEM แสดงในภาพที่ 4 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบพื้นผิวของฟางและถ่านชีวภาพที่ได้จากฟาง ถ่านชีวภาพจะมีรูพรุนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชีวมวลก่อนเผา โดยรูปร่างรูพรุนในภาพรวมจะมีลักษณะช่องว่างคล้ายท่อ ขิดกันเหมือนรังผึ้ง มีขนาดของช่องว่างไม่สม่ำเสมอและจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของรูพรุนแตกต่างกัน ซึ่งจากขนาดของรูพรุนจัดเป็นช่องว่างขนาดเล็ก (micro pore : < 2 nm)



(ก)

(ข)

ภาพที่ 4 ลักษณะพื้นผิวถ่านชีวภาพจากฟางข้าว ที่ 500 °C ที่กำลังขยาย 500 เท่า (ก) (ข)

#### 3.2 ผลการวิเคราะห์ดิน

จากการทดลองทางผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการใช้ถ่านชีวภาพในพื้นที่เกษตรกรรมของหมู่บ้านเกษตรใหม่พัฒนา ต.ป่าไผ่ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ โดยได้ทำการทดสอบในแปลงนาข้าวเหนียว พันธุ์ กข6. ซึ่งได้มีการเก็บตัวอย่างดินก่อน-หลัง การปลูก และการเจริญของข้าวเป็นระยะเวลา 3 เดือน ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพดินตลอด 3 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า ดินจากแปลงนาที่ใส่ถ่านชีวภาพมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ Total Nitrogen (%) ที่ไม่คงที่ และไม่แตกต่างกันในแปลงที่เติมถ่านชีวภาพและแปลงควบคุม โดยปริมาณของไนโตรเจนในดินที่ลดลงเกิดจากข้าวนำไปใช้ในการเจริญเติบโต เช่นเดียวกับปริมาณ NO<sub>3</sub> ที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลา 3 เดือน อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสนใจว่าดินที่มีการเติมถ่านชีวภาพในเดือนที่ 3 พบว่ามีปริมาณธาตุอาหารเพิ่มขึ้นกว่าดินชุดควบคุม ไม่ว่าจะเป็นค่า Available Phosphorus (mg/kg) และ Exchangeable Potassium (mg/kg) โดยเฉพาะค่าฟอสฟอรัสที่พบว่ามีปริมาณสูงขึ้นในดินที่มีการเติมถ่านชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ค่า CEC ในดินที่เติมถ่านชีวภาพพบว่ามีค่าสูงกว่าดินที่ไม่มีการเติมถ่านชีวภาพเป็นแนวโน้มเช่นเดียวกัน ซึ่งคาดว่าถ่านชีวภาพมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนประจุสูง ทำให้ส่งผลต่อความสามารถใน

การยึดธาตุอาหารของพืชที่เป็นประจุบวกได้ เช่น  $K^+$   $Ca^{2+}$  และ  $Mg^{2+}$  เป็นต้น ทำให้สามารถเก็บรักษาไอออนบวกดังกล่าวได้มากขึ้น สารอาหารเหล่านี้จึงมีโอกาสน้อยที่จะถูกชะล้างออกไปและสะสมในดินสำหรับพืชมากขึ้น นอกจากนี้ถ่านชีวภาพช่วยปรับปรุงโครงสร้างดินเนื่องจากเป็นวัสดุที่มีรูพรุนบนพื้นผิวสูงโดยจะไปเพิ่มความพรุนและการระบายอากาศ การปรับปรุงนี้ช่วยให้รากเจริญเติบโตดีขึ้นและการดูดซึมสารอาหารรวมถึงฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมมีประสิทธิภาพมากขึ้น อีกทั้งถ่านไบโอชาร์สามารถสร้างสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดิน จุลินทรีย์เหล่านี้สามารถช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์และแร่ธาตุสารอาหาร ทำให้ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมพร้อมสำหรับพืชมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่าถ่านชีวภาพให้กับดินทำให้ดินมีความหนาแน่นรวมลดลง และเพิ่มความจุความชื้นสูงสุด ความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า อินทรีย์วัตถุ ปริมาณคาร์บอนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ โพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ สูงขึ้น [1] ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าถ่านชีวภาพมีสมบัติที่เหมาะสม และมีศักยภาพในการนำไปใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน อีกทั้งยังพบว่าถ่านชีวภาพสามารถกักเก็บคาร์บอนในดินและลดปริมาณก๊าซมีเทนได้โดยศึกษาจากงานวิจัย [21] พบว่าการใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินภายใต้ระบบการจัดการน้ำแบบเปียกสลับแห้งสามารถลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์จากดินที่ปลูกข้าว และยังสามารถใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินเพิ่มเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในการปลูกข้าวได้

**ตารางที่ 1** การเปลี่ยนแปลงของสมบัติของดิน ก่อน-หลังการปลูกข้าวเหนียว พันธุ์กข 6 เป็นระยะเวลา 3 เดือน ทำการวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA-RCB ของสมบัติดินในพื้นที่นาข้าวที่ใส่ถ่านชีวภาพและไม่ใส่ถ่านชีวภาพ โดยใช้โปรแกรม RStudio เวอร์ชัน 4.3.1

วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี	control	1 เดือน		2 เดือน		3 เดือน		p-value
		BC	NBC	BC	NBC	BC	NBC	
Organic matter (%)	1.19	1.37	1.11	1	0.57	0.81	0.67	0.0813
Total Nitrogen (%)	0.07	0.09	0.07	0.02	0.03	0.03	0.08	0.5784
Available Phosphorus (mg/kg)	64.04	38.38	19.51	43.91	15.06	51.17	14.99	0.0307*
Exchangeable Potassium (mg/kg)	16.03	35.63	32.63	6.75	68.25	112.25	0.75	0.7598
Nitrate (NO <sub>3</sub> )	7.06	17.65	31.76	43.05	8.55	21.46	28.45	0.796
CEC (meq/100g)	8.47	5.14	3.68	3.53	2.52	5.34	2.92	0.0593

**หมายเหตุ** \* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p-value < 0.05)

Control: ดินเริ่มต้นก่อนทำการทดลอง, BC: แปลงทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ, NBC: แปลงทดลองที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ

### 3.3. ผลการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของข้าว

จากภาพที่ 4 - 7 แสดงการเจริญเติบโตของข้าวในช่วงหลังหว่านข้าวในแปลงนา โดยพบว่าแปลงนาที่ทำการใส่ถ่านชีวภาพมีแนวโน้มที่จะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าว จะเห็นได้จากการเจริญเติบโตของข้าวในดินที่เติมถ่านชีวภาพจะสูงกว่าข้าวที่ปลูกในนาที่ไม่ได้มีการเติมถ่านชีวภาพ นอกจากนี้จากค่าความสูงจากโคนต้นถึงยอดและความสูงจากลำต้นถึงพื้นดินในแปลงที่ใส่ถ่านชีวภาพพบว่าถ่านชีวภาพช่วยให้ข้าวมีลำต้นและช่วงลำต้นถึงยอดที่สูงมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในระยะเวลาที่ 1 เดือน แสดงในตารางที่ 2 อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบทางสถิติแล้วยังพบว่าขนาดของใบข้าวจากแปลงที่มีการใส่ถ่าน

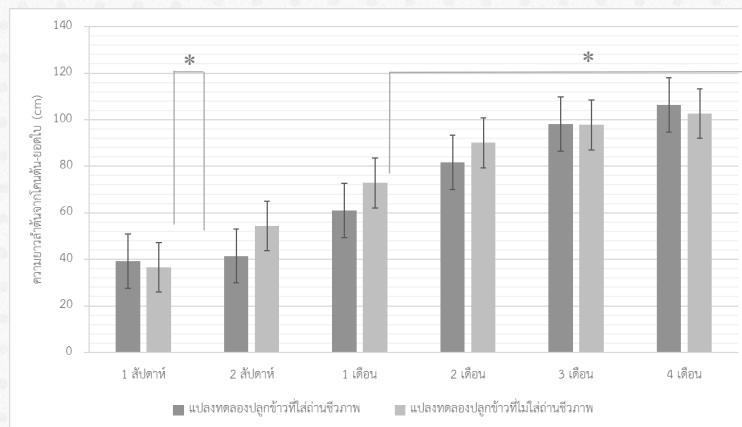
ชีวภาพจะมีขนาดที่เพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในระยะ 2 เดือน ดังตารางที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบความยาวของรากข้าวพบว่า ถ่านชีวภาพช่วยส่งเสริมการเจริญของระบบรากให้มีความแข็งแรงขึ้น ซึ่งรากของข้าวที่ทำการเพิ่มถ่านชีวภาพมีจำนวนรากที่มากและหนาแน่นกว่ารากของนาข้าวที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ โดยมีความแตกต่างกันในด้านของความยาวราก แปลงที่ใส่ถ่านชีวภาพมีความยาวเพียง 24.77 เซนติเมตรต่อกอ ในขณะที่รากข้าวจากแปลงที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพมีความยาวถึง 28.83 เซนติเมตรต่อกอ ทั้งนี้เนื่องจากแปลงนาที่ใส่ถ่านชีวภาพมีสารอาหารในดินเพียงพอต่อการเจริญเติบโตจึงทำให้มีความยาวรากสั้นกว่าแปลงนาที่ไม่ใส่ถ่านดังภาพที่ 8 ทำให้ข้าวสามารถหาอาหารได้ดีขึ้น

**ตารางที่ 2** การเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์กข.6 ในพื้นที่นาข้าวที่ใส่ถ่านชีวภาพและไม่ใส่ถ่านชีวภาพ ระยะเวลา 4 เดือน ทำการวิเคราะห์ทางสถิติ t-test โดยใช้โปรแกรม RStudio เวอร์ชัน 4.3.1

ระยะเวลา	ข้อมูลเฉลี่ย (cm)											
	ความยาวใบ			ความกว้างใบ			ความสูงของข้าวพันธุ์กข.6					
	BC	NBC	p-value	BC	NBC	p-value	พื้นดินถึงลำต้น			โคนต้นถึงยอดใบ		
	BC	NBC	p-value	BC	NBC	p-value	BC	NBC	p-value	BC	NBC	p-value
1 สัปดาห์	13.47	15.45	0.04407*	1.08	1.07	0.8118	6.82	9.01	0.013334*	25.15	33.33	0.0009200*
2 สัปดาห์	31.04	30.61	0.751	1.19	1.09	0.0885	12.99	18.98	0.00827*	74.38	77.69	0.3401
1 เดือน	34.26	32.41	0.1275	1.04	1.02	0.524	19.29	21.49	0.08639*	101.33	90.55	0.0018500*
2 เดือน	37.1	33.4	0.00254*	1.04	1.03	0.6673	21.94	22.93	0.5374	115.17	95.14	0.0000028*
3 เดือน	39.8	34.35	0.00037*	1.05	1.03	0.4709	24.86	24.44	0.8299	124.97	104.44	0.0000007*
4 เดือน	42.3	35.58	0.00014*	1.09	1.1	0.8302	26.65	25.86	0.6965	128.82	108.68	0.0000020*

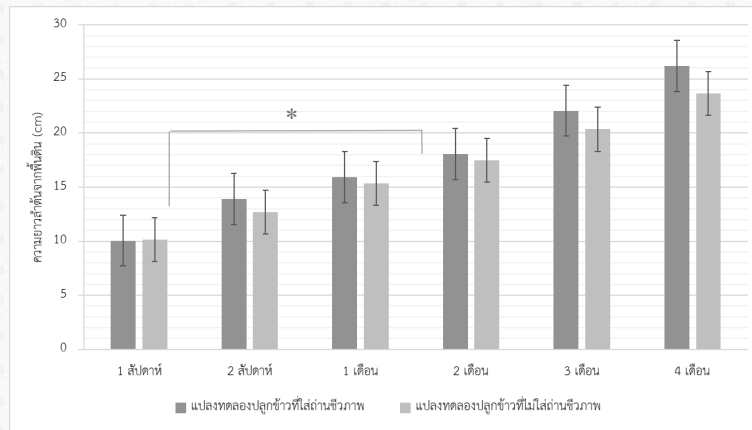
หมายเหตุ \* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p-value < 0.05)

BC: แปลงทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ, NBC: แปลงทดลองที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ



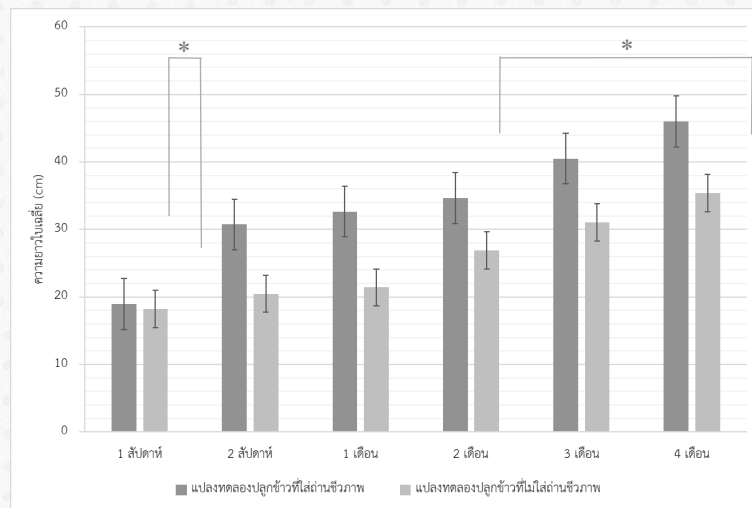
\* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p-value < 0.05)

**ภาพที่ 4** กราฟแสดงการเปรียบเทียบความสูงจากโคนต้น-ยอดของต้นข้าวที่ใส่ถ่านชีวภาพและแปลงข้าวที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ



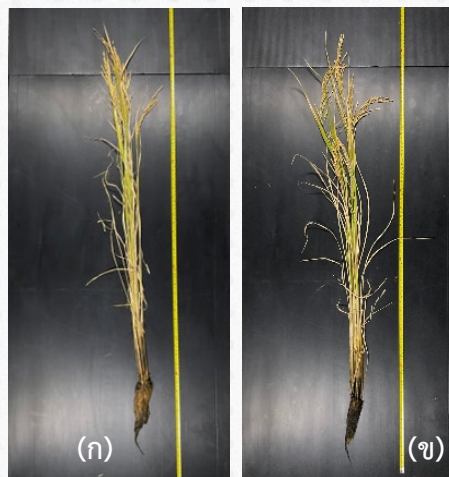
\* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p-value < 0.05)

ภาพที่ 5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความสูงจากลำต้นถึงพื้นดินของต้นข้าวที่ใส่ถ่านชีวภาพและแปลงข้าวที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ



\* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p-value < 0.05)

ภาพที่ 6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบขนาดใบยาวเฉลี่ยของต้นข้าวที่ใส่ถ่านชีวภาพและแปลงข้าวที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ



ภาพที่ 7 ตัวอย่างรากข้าวที่ใส่ถ่านชีวภาพ (ก) แปลงข้าวที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ (ข)

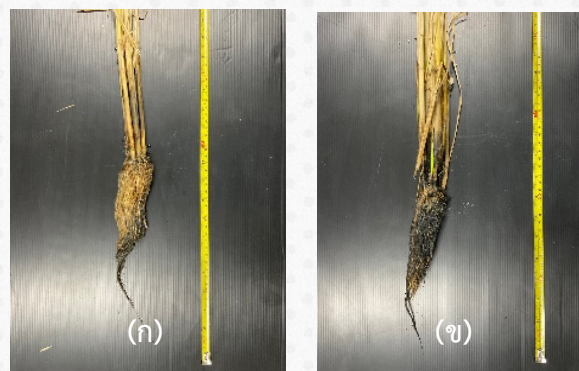
นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวที่ทำการใส่ถ่านชีวภาพจะมีน้ำหนักของต้นรวมรวงข้าวที่สูงกว่าและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยน้ำหนักสดของต้นข้าวจากแปลงที่ทำการใส่ถ่านชีวภาพอยู่ที่ 1.820 กิโลกรัมต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร ในขณะที่ข้าวจากแปลงที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพอยู่ที่ 1.750 กิโลกรัมต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร น้ำหนักแห้งของข้าวจากแปลงที่ทำการใส่ถ่านชีวภาพอยู่ที่ 1.250 กิโลกรัมต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร ในขณะที่ข้าวจากแปลงที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพอยู่ที่ 1.020 กิโลกรัมต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร และน้ำหนักผลผลิตข้าวของแปลงที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพอยู่ที่ 0.533 กิโลกรัมต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร ในขณะที่แปลงไม่ใส่ถ่านอยู่ที่ 0.412 กิโลกรัมต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร จากการศึกษาจากงานวิจัยกล่าวไว้ว่าการใส่ถ่านชีวภาพมีแนวโน้มทำให้การเจริญเติบโตของข้าวดีกว่าการไม่ใส่ถ่านชีวภาพ โดยทำการเปรียบเทียบทั้งในแปลงข้าวเคมี (ปุ๋ยเคมี) และนาข้าวอินทรีย์เคมี (ถ่านชีวภาพ + ปุ๋ยเคมี) โดยเฉพาะนาข้าวอินทรีย์เคมีมีการตอบสนองต่อการใส่ถ่านมากซึ่งทำให้น้ำหนักแห้งของข้าวมีน้ำหนักเพิ่มสูงขึ้น 35.6 กรัมต่อกอ (911.36 กก.ต่อไร่) [22]

**ตารางที่ 3** น้ำหนักเฉลี่ยของข้าวพันธุ์ข.6 ในพื้นที่นาข้าวที่ใส่ถ่านชีวภาพและไม่ใส่ถ่านชีวภาพ ระยะเวลา 4 เดือน ทำการวิเคราะห์ทางสถิติ t-test โดยใช้โปรแกรม RStudio เวอร์ชัน 4.3.1 (p-value < 0.05)

ตัวอย่าง	น้ำหนักเฉลี่ย (กิโลกรัม)		
	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง	ผลผลิตข้าวพันธุ์ข.6
BC	1.820	1.250	0.533
NBC	1.750	1.020	0.412
p-value	0.03464*	0.02115*	0.03983*

หมายเหตุ \* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p-value < 0.05)

BC: แปลงทดลองที่ใส่ถ่านชีวภาพ, NBC: แปลงทดลองที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ



**ภาพที่ 8** ตัวอย่างรากข้าวที่ใส่ถ่านชีวภาพ (ก) แปลงข้าวที่ไม่ใส่ถ่านชีวภาพ (ข)

#### 4. บทสรุป

ผลการวิจัยพบว่าการใช้ถ่านชีวภาพในแปลงนาสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพดินและส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวทั้งน้ำหนัก ความสูง และความยาวของใบ รวมไปถึงเพิ่มผลผลิต โดยข้าวจากแปลงนาที่มีการใส่ถ่านชีวภาพจะมีน้ำหนักของต้นรวมรวงข้าวที่สูงกว่าและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยน้ำหนักข้าวจากแปลงที่ทำการใส่ถ่านชีวภาพอยู่ที่ 533 กรัมต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร ผลการศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดิน เพิ่มความอุดมสมบูรณ์และการกักเก็บน้ำในดินจากพื้นที่การเกษตรประเภทอื่นได้ นับว่าเป็นทางเลือกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีประสิทธิภาพและสะดวกต่อการใช้งาน

อีกทั้งยังสามารถลดต้นทุนให้เกษตรกร ลดการเผาทำลายวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และยังช่วยปัญหาหมอกควันในฤดูแล้งในเขตภาคเหนือ

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ใหญ่บ้านกลุ่มเกษตรกรหมู่บ้านเกษตรพัฒนาใหม่ ต.ป่าไผ่ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานมูลฐาน ประจำปีงบประมาณ 2566 รหัสโครงการวิจัย มจ.1-66-08-005.1

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ณิชภัทร สิทธิวรรณ. ผลของการใช้ถ่านชีวภาพต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินการกักเก็บน้ำในดิน และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่. 2562.
- [2] กัญยาพร ไชยวงศ์ และสิทธิบูรณ์ ศิริพรอัครชัย. การวิเคราะห์ฟาร์มเเตอร์การผลิตถ่านชีวภาพจากซังข้าวโพดด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า. วารสาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 23(1)(2559) 85-92.
- [3] Winsley, P. Biochar and bioenergy production for climate change mitigation. *New Zealand Science Review*. 64(1)(2007) 5-10.
- [4] ศิริลักษณ์ ศิริสิงค์ และ อรสา สุขสว่าง. การประยุกต์ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดินเพื่อการเกษตร. วารสารสังคมศาสตร์และมนุษย. 39(2)(2556) 212-225.
- [5] Rajkovich, S., A. Enders, K. Hanley, C. Hyland, A. R. Zimmerman & J. Lehmann. Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. *Biology and Fertility of Soils*. 48(3)(2012) 271-284.
- [6] Weber, K. and P. Quicker. Properties of biochar. *Fuel* 217(2018) 240-261.
- [7] สิริภัทร ประเสริฐสุข. การใช้ประยุกต์ใช้ถ่านชีวภาพในการปลูกข้าวในพื้นที่เกษตรกรรมดินเค็ม. Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD). 3708. 2563.
- [8] Sohi, S., Krull, E., Lopez-Capel, E., & Bol, R. A Review of Biochar and Its Use and Function in Soil. *Advances in Agronomy - ADVAN AGRON*. 105(2010) 47-82. doi:10.1016/S0065-2113(10)05002-9.
- [9] Noguera, D., Barot, S., Laossi, K. R., Cardoso, J., Lavelle, P., & Cruz de Carvalho, M. H. Biochar but not earthworms enhances rice growth through increased protein turnover. *Soil Biology and Biochemistry*. 52(2012) 13-20. doi:10.1016/j.soilbio.2012.04.004.
- [10] Sriburi, T., & Wijitkosum, S. Biochar Amendment Experiments in Thailand: Practical Examples. In J. L. Viktor J. Bruckman (Ed.), *Biochar* (pp. 368-389): Cambridge University Press. 2016.
- [11] Agegnehu, G., Srivastava, A. K., & Bird, M. I. The role of biochar and biocharcompost in improving soil quality and crop performance: A review *Applied Soil Ecology*. 119(2017) 156-170. doi:10.1016/j.apsoil.2017.06.008.
- [12] Cornelissen, G., Jubaedah, Nurida, N. L., Hale, S. E., Martinsen, V., Silvani, L., & Mulder, J. Fading positive effect of biochar on crop yield and soil acidity during five growth seasons in an Indonesian Ultisol. *Science of The Total Environment*. 634(2018) 561-568. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.03.380.

- [13] Wijitkosum, S. Applying Rice Husk Biochar to Revitalise Saline Sodic Soil in Khorat Plateau Area – A Case Study for Food Security Purposes. In J. S. Singh (Ed.), *Biochar Applications in Agriculture and Environment Management*. (2020) 1- 31 : Springer, Cham.
- [14] Yooyen, J., Wijitkosum, S., & Sriburi, T. Increasing yield of soybean by adding biochar. *Journal of Environmental Research and Development*. 9(4)(2015) 1066-1074.
- [15] กรรณก โกศล, ศศิธร ศรีอ่อน, พรรณ,พรรณ จำปาแพง และสายันต์ แสงสุวรรณ. "ไบโอชาร์ (วัสดุหมักจรรยา): การสังเคราะห์ปุ๋ยสูงจันเอกลักษณ์และศักยภาพการประยุกต์ใช้งาน." วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. (2566) 89-104.
- [16] Chen, Y., Zhang, X., Chen, W., Yang, H., & Chen, H. The structure evolution of biochar from biomass pyrolysis and its correlation with gas pollutant adsorption performance. *Bioresource Technology*. 246(2017) 101-109. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.138>.
- [17] จาวภา มະนาวนอก, สันติเมตรี ก้อนคำดี, เกษสุตา เดชภิมล, วรณวิภา แก้วประดิษฐ์ และ ดร.ณิ โชติชูชัยยางกูร. ถ่านชีวภาพ: ผลต่อคุณสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของข้าวนา หว่านน้ำตม (การทดสอบในกระถาง). วารสารแก่นเกษตร. มหาวิทยาลัยขอนแก่น. พิมพ์ครั้งที่ 45(2)(2560) 209-220.
- [18] เกศศรีรินทร์ แสงมณี, ธีระรัตน์ ชินแสน และณัฐพงษ์ พันธุ์ภา. การศึกษาอัตราส่วนของ ถ่านชีวภาพต่อคุณสมบัติทางเคมีของดินปลูกการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักสลัดกรีนคอส. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53, 2559.
- [19] Zhang, Y., He, M., Wang, L. et al. Biochar as construction materials for achieving carbon neutrality. 59(4)(2022) 59. <https://doi.org/10.1007/s42773-022->.
- [20] Yao, Y., Gao, B., Chen, H., Jiang, L., Inyang, M., Zimmerman, A. R., & Li, H. Adsorption of sulfamethoxazole on biochar and its impact on reclaimed water irrigation. *Journal of Hazardous Materials*. 209–210(2012) 408-413.
- [21] ขฎาภา ใจหมั่น. ผลของการใช้ถ่านชีวภาพเป็นวัสดุปรับปรุงดินและลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกภายใต้ระบบการปลูกข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่. 2564.
- [22] เสาวคนธ์ เหมวงศ์. ผลของถ่านกลบในนาข้าวเคมีและอินทรีย์เคมีต่อการปลดปล่อยก๊าซ CH<sub>4</sub> การเจริญเติบโตและผลผลิตข้าวหอมมะลิ 105. วารสารวิจัยส่งเสริมวิชาการเกษตร. 35(1)(2558) 1-11.

## ผลของวัสดุปลูกต่างชนิดต่อการเจริญเติบโตของไมโครกรีนไคววาระ

### Effects of different planting materials on the growth of Kaiware microgreens

สุธิมา พลศักดิ์<sup>1\*</sup> วิชา ดำเนินงาม<sup>1</sup> และ สมภาพร เรืองสังข์<sup>1</sup>

<sup>1</sup>หลักสูตรเกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

\*E-mail: sutima.pol@vru.ac.th

#### บทคัดย่อ

ไมโครกรีนคือต้นอ่อนผักที่มีคุณค่าทางโภชนาการ ปัจจุบันมีผู้บริโภคผักไมโครกรีนในประเทศไทยและต่างประเทศเพิ่มขึ้นทุกปี ปัจจัยที่สำคัญในการผลิตไมโครกรีนไคววาระในถาดเพาะ ได้แก่ วัสดุปลูกที่เหมาะสม มีน้ำหนักเบาและมีธาตุอาหารเพียงพอต่อการเจริญเติบโต การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวัสดุปลูกต่างชนิดต่อการงอกของเมล็ดไคววาระ และการเจริญเติบโตและคุณภาพของไมโครกรีนไคววาระ ทำการทดลองในโรงเรือน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 4 กรรมวิธีคือ 1) ดิน : แกลบดำ อัตราส่วน 1:1 2) ดิน : ขุยมะพร้าว อัตราส่วน 1:1 3) ดิน : แกลบดำ : ขุยมะพร้าว อัตราส่วน 1:1:1 และ 4) ดิน หลังเพาะ ไมโครกรีนไคววาระเป็นเวลา 10 วัน พบว่า กรรมวิธี ดิน (T4) ดิน : แกลบดำ : ขุยมะพร้าว (T3) และ ดิน : ขุยมะพร้าว (T2) มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความงอกมีค่าสูงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 91.52%, 84.30 % และ 82.36 % ตามลำดับ แต่มีค่ามากกว่าการงอกของกรรมวิธี ดิน : แกลบดำ (T1) 55.28% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับดัชนีการงอก การเจริญเติบโตและคุณภาพของไมโครกรีนไคววาระทุกกรรมวิธีมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ ดัชนีการงอกมีค่าอยู่ที่ 8.18-17.80 น้ำหนักสดราก 0.029-0.045 กรัม/ต้น ความยาวราก 6.43-8.19 เซนติเมตร/ต้น น้ำหนักสดต้น 0.252-0.341 กรัม/ต้น ความสูงต้น 9.30 - 10.66 เซนติเมตร/ต้น ปริมาณน้ำตาล 0.0125 องศาบริกซ์เท่ากันทุกกรรมวิธี และปริมาณเส้นใย 0.712-0.981 % FW ตามลำดับ ดังนั้นสูตรวัสดุปลูกกรรมวิธีที่ 2 (ดิน : ขุยมะพร้าว) และ 3 (ดิน : แกลบดำ : ขุยมะพร้าว) จึงเหมาะสมที่จะใช้เป็นวัสดุปลูกไมโครกรีนไคววาระ แต่กรรมวิธีที่ 2 จะใช้ชนิดของวัสดุปลูกน้อยกว่า ซึ่งอาจทำให้สะดวกและประหยัดต้นทุนกว่ากรรมวิธีที่ 3 องค์กรความรู้ที่ได้จากงานวิจัยจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาสูตรวัสดุเพาะไมโครกรีน โดยใช้วัสดุทดแทนดินที่หายากราคาแพงน้ำหนักมากด้วยขุยมะพร้าวและแกลบดำที่หาง่าย ราคาไม่แพงและน้ำหนัก เบาเหมาะกับการปลูกบนอาคาร หรือปลูกในพื้นที่น้อย

**คำสำคัญ:** ไคววาระ ไมโครกรีน วัสดุปลูก

#### Abstract

Microgreens are nutritious vegetable sprouts. Currently, there are more consumers of microgreens in Thailand and abroad every year. Important factor in producing kaiware microgreens in trays includes the appropriate planting media which has light weight and sufficient nutrients for growth. This experiment therefore had the objectives for studying the effect of different types of planting materials on the germination of kaiware seeds and the growth and quality of kaiware microgreens. Conducting experiments



in the greenhouse By planning a completely randomized experiment with 4 methods: 1) soil : rice husks ash, ratio 1:1 2) soil : coconut coir, ratio 1:1 3) soil : rice husks ash : coconut coir, ratio 1:1:1 4) soil. After growing Kaiware microgreens for 10 days, it was found that treatment of soil (T4), soil : rice husks ash : coconut coir (T3) and soil : coconut coir (T2) resulted in high germination percentages that was not significantly different, namely 91.52%, 84.30% and 82.36%, respectively, but was significantly higher than the germination of seed growing on treatment of soil : rice husks ash (T1) at 55.28%. In terms of germination index, growth and quality of Kaiware microgreens were not significantly different among all treatments, namely, the germination index has a value of 8.18-17.80, fresh root weight 0.029-0.045 g/plant, root length 6.43-8.19 cm/plant, plant fresh weight 0.252-0.341 g/plant, plant height 9.30 - 10.66 cm/plant, sugar content 0.0125 degrees Brix of all treatments, and fiber content 0.712-0.981% FW respectively. Therefore, planting material formulas for treatments 2 (soil: coconut coir) and 3 (soil: rice husks ash: coconut coir) are suitable to be used as planting material for Kaiware microgreens. However, the treatment 2 uses less type of planting material. This may make it more convenient and cost-effective than treatment 3. The knowledge gained from the research will be useful in development of microgreen planting media formulas by using materials to replace rare, expensive, and heavy soil with easily available coconut husks and rice husks ash which are inexpensive and light weight, suitable for growing on buildings or in a small area.

**Keywords:** Kaiwarae, Microgreens, Planting materials

## 1. บทนำ

ไมโครกรีน (microgreen) คือต้นอ่อนผักที่มีการเจริญเติบโตอยู่ระหว่างฝักงอก (sprout) และเบบี้กรีน (baby green) ประกอบด้วยใบจริง 1-2 ใบ อายุเก็บเกี่ยว 7-14 วันหลังเพาะ เป็นที่นิยมของผู้ที่รักสุขภาพ รับประทานส่วนเหนือดิน การเจริญเติบโตของผักระยะไมโครกรีนเป็นช่วงที่มีสารอาหาร และแร่ธาตุต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารต้านมะเร็งสูงกว่าในผักโตเต็มที่ทั่วไป ส่งผลให้ไมโครกรีนเป็นที่นิยมของผู้บริโภคเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในประเทศไทยมีการผลิตผักในรูปแบบของผักไมโครกรีนหลายชนิด เช่น คენัว ทานตะวัน กระเจี๊ยบ และหัวไชเท้า

ไมโครกรีนไคววาระ (Kaiwarae) คือต้นอ่อนหัวไชเท้า ปลูกง่าย ได้รับความนิยมในต่างประเทศ โดยเฉพาะประเทศญี่ปุ่น มีรสเผ็ดคล้ายวาซาบิ มีกลิ่นแบบหัวไชเท้า สามารถนำต้นอ่อนมาประกอบอาหารได้หลายชนิด มีคุณประโยชน์มาก เช่น ด้านการอักเสบต่างๆ ควบคุมการออกฤทธิ์ของฮอร์โมนให้อยู่ในระดับสมดุล รักษาโรคมะเร็ง ช่วยให้อาการของการแพ้ฝุ่น ละอองและหอบหืดดีขึ้น รักษาเส้นเลือดขาดและโรคหลอดเลือดได้อย่างมีประสิทธิภาพและยังช่วยล้างสารพิษในร่างกาย รักษาไข้หวัด ช่วยลดน้ำหนัก แก้อาการท้องอืด ท้องเฟ้อท้องผูก เสริมการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันและช่วยบำรุงผิวพรรณ [1]

การศึกษาจำนวนมากพบว่า การบริโภคผักในระยะต้นอ่อนทำให้ได้สารพฤกษเคมีที่สำคัญมากกว่าระยะที่ผักโตเต็มที่ สารพฤกษเคมีสำคัญที่พบในหัวไชเท้ามีหลายชนิด เช่น กลูโคซิโนเลต (glucosinolate) รูติน (rutin) เควอร์เซทิน (quercetin) ซึ่งเป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระ เสริมสร้างภูมิคุ้มกันต้านทานโรค และช่วยต่อต้านมะเร็ง และอีกทั้งวิตามิน A ช่วยบำรุงสายตา และแก้อาการตาบอดตอนกลางคืน วิตามิน B ช่วยเสริมสร้างสารสื่อประสาทสมอง เหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการบำรุงสมอง ระบบความจำโดยเฉพาะผู้สูงอายุ และวิตามินซี เป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง และมีบทบาทสำคัญในการสร้างคอลลาเจน [2] งานวิจัยของ Zhong, et al. [3] วิเคราะห์สารระเหยในไมโครกรีนหัวไชเท้า 4 สายพันธุ์ โดยใช้

Ultrasonic cell disruption และ วิธี HS-SPME/GC-MS พบสารระเหย 51 ชนิดจากไมโครกรีนทั้ง 4 สายพันธุ์ กลิ่นหอมระเหยที่เข้มข้นที่สุดคือ fatty aroma รองลงมาคือ fresh aroma และ floral aroma นอกจากนี้ยังพบ isothiocyanates 4 ชนิดใหม่ในไมโครกรีนหัวไชเท้า ได้แก่ Pentyl isothiocyanate, Heptyl isothiocyanate, Nonyl isothiocyanate และ 1-Isothiocyanato-3-methylhexane และมีการศึกษาของ Cigic, et al. [4] พบว่าในหัวไชเท้าอก (daikon radish sprouts) มีการสะสมของ polyamines ประเภท Agmatine, Spermidine และ Spermine มากกว่าในไมโครกรีน lentil, fenugreek และ alfalfa ซึ่งเป็นสารที่ส่งเสริมการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของต้นอ่อน และเป็นสารที่มีสมบัติสำคัญทางการแพทย์ ป้องกันโรคหลอดเลือดสมอง โรคหัวใจ ความจำเสื่อม ส่งเสริมการเติบโตและการพัฒนาของเซลล์ การทำงานของตับ เป็นต้น

ผักไมโครกรีน สามารถเพาะได้เองโดยใช้พื้นที่น้อย ระยะเวลาเก็บเกี่ยวสั้น เหมาะสำหรับผู้อาศัยในเขตเมืองที่มักอาศัยในอาคารชุด หมู่บ้านจัดสรร หรือห้องเช่า ซึ่งมีพื้นที่ทำเกษตรน้อย การเพาะผักไมโครกรีนเพื่อรับประทานหรือขายเป็นอาชีพเสริม นับเป็นการลดรายจ่ายในครัวเรือน มีผักสะอาดปลอดภัยและมีคุณค่าทางโภชนาการสูงไว้รับประทาน การเพาะต้นอ่อนผักไมโครกรีนสามารถเพาะได้ในวัสดุหลายชนิด เช่น ดิน แกลบดำ ขุยมะพร้าว พีทมอส ซีโอไลท์ เป็นต้น การเลือกวัสดุปลูกและวิธีการเพาะเมล็ดเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตไมโครกรีนให้มีประสิทธิภาพ หากมีการจัดการผลิตไม่เหมาะสมจะนำไปสู่ปัญหาการเกิดโรคเน่าและติดเชื้อรา ทำให้เกิดการสูญเสียผลผลิต สิ้นเปลืองงบประมาณและเวลา วัสดุปลูกนอกจากดินสามารถใช้สารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์มาทดแทนดินหรือผสมดินเพื่อเพิ่มประโยชน์ให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิดได้ การใช้เฉพาะดินจะมีอุปสรรคที่หายาก ราคาแพง หากสั่งซื้อจะสิ้นเปลืองค่าขนส่งซึ่งคำนวณตามระยะทางและน้ำหนักของวัสดุ ส่วนพีทมอส แม้จะมีคุณสมบัติดีในการใช้เป็นวัสดุปลูกแต่มีราคาแพง จึงควรให้ความสำคัญกับวัสดุที่หาง่าย ราคาไม่แพง น้ำหนักเบา กักเก็บความชื้นได้ดี และหากเป็นวัสดุที่ปลดปล่อยธาตุอาหารได้ด้วยจะยิ่งมีประโยชน์ต่อพืช [5] ศึกษาผลของวัสดุปลูกที่ไม่ใช่ดินต่อการเจริญเติบโตและองค์ประกอบทางชีวเคมีของไมโครกรีน พบว่า ผู้วิจัยทดลองใช้วัสดุปลูกที่เป็นส่วนผสมของ มูลไส้เดือน ซีลี้อย เพอไรต์ และพีทมอส ในสัดส่วนต่างกัน เปรียบเทียบกับวัสดุปลูกที่มีส่วนผสมคล้ายกัน โดยเปลี่ยนจากพีทมอสเป็นปุ๋ยก้อนเชื้อเห็ด พบว่าไมโครกรีนเคล (kale) สวิสชาร์ด (Swiss chard) อารูกูลา (arugula) และผักกวางตุ้ง (Pak choi) มีความยาวรากมากที่สุด เมื่อเพาะเมล็ดในวัสดุปลูกสูตร 30% vermicast + 30% sawdust + 10% perlite + 30% PittMoss (PM) ซึ่งเป็นวัสดุปลูกที่ทำให้ สวิสชาร์ดมีปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์มากที่สุด ด้านความยาวของส่วนยอด ปริมาตรราก และผลผลิตของไมโครกรีนทุกชนิดมากที่สุดเมื่อเพาะเมล็ดในวัสดุปลูกสูตร (30% vermicast + 20% sawdust + 20% perlite + 30% mushroom compost) และเป็นสูตรวัสดุที่ทำให้ผักกวางตุ้งมีปริมาณน้ำตาลมากที่สุดและเคลมีปริมาณโปรตีนมากที่สุดด้วย นอกจากนี้วัสดุปลูกทั้ง 2 สูตรทำให้ไมโครกรีนมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและฟลาโวนอยด์เพิ่มขึ้น 1.5 เท่า เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่เพาะเมล็ดใน Pro-mix BX™ รวมถึงมีกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระเพิ่มในไมโครกรีนทั้ง 4 ชนิด ในภาพรวมวัสดุปลูกสูตร 2 มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการเพิ่มการเจริญเติบโต ผลผลิตและองค์ประกอบทางชีวเคมีของไมโครกรีนที่ทดสอบ

ดังนั้นผู้ต้องการเพาะต้นอ่อนผักไมโครกรีนเพื่อบริโภคหรือเพื่อจำหน่ายจึงควรเลือกวัสดุปลูกที่เหมาะสมกับชนิดของเมล็ดผักที่ต้องการเพาะ และมีวิธีการดูแลที่ถูกต้อง งานวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งทดสอบผลของชนิดและสัดส่วนวัสดุปลูกที่เหมาะสมกับการเพาะไมโครกรีนไคววาระโดยใช้วัสดุปลูกที่หาง่ายในท้องถิ่นและราคาไม่แพง เพื่อให้ผลิตไคววาระได้อย่างมีคุณภาพ คุ่มค่ากับเวลาและการลงทุน และเป็นผักทางเลือกเพื่อสุขภาพของผู้บริโภคต่อไป

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย เพื่อศึกษาผลของวัสดุปลูกต่างชนิดต่อการงอกของเมล็ดไคววาระ การเจริญเติบโตและคุณภาพของไมโครกรีนไคววาระ

## 2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

### 2.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ Completely Randomized Design (CRD) แบ่งออกเป็น 4 กรรมวิธี (treatment; T) กรรมวิธีละ 4 ซ้ำ ดังนี้

- T1 = ดิน : แกลบดำ อัตราส่วน 1:1
- T2 = ดิน : ขุยมะพร้าว อัตราส่วน 1:1
- T3 = ดิน : แกลบดำ : ขุยมะพร้าว อัตราส่วน 1:1:1
- T4 = ดิน

### 2.2 ขั้นตอนการทดลอง

#### 2.1 ศึกษาเปอร์เซ็นต์ความงอกและดัชนีการงอกของเมล็ดหัวไชเท้า

1) เตรียมวัสดุปลูกสูตรต่างๆ ที่กำหนดในแต่ละกรรมวิธี โดยแหล่งซื้อดินยี่ห้อลำดวน ขุยมะพร้าว แกลบดำ คือร้านลุงเทียมตลาดไท จังหวัดปทุมธานี นำวัสดุปลูกแต่ละสูตรใส่ในถาดเพาะต้นอ่อนผักขนาด 30x60x3.5 เซนติเมตร กรรมวิธีละ 2 ถาด วางถาดเพาะแบบสุ่มสมบูรณ์ในโรงเรือน

2) นำเมล็ดหัวไชเท้า ยี่ห้อซูเปอร์ท็อป (Supertop) จากร้านไร่ลุงท็อป (Railungtop Farmshop) จังหวัดลพบุรี แช่น้ำเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

3) จากนั้นนำเมล็ดหัวไชเท้าเพาะลงในถาดเพาะ กรรมวิธีละ 2 ถาด โรยเมล็ดหัวไชเท้าถาดละ 2 แถว แถวละ 100 เมล็ด รวมโรยเมล็ดกรรมวิธี ละ 4 แถว 4 ซ้ำ 400 เมล็ด (ตามหลักการของ ISTA) ปิดฝาครอบถาดเพาะไม่ให้ได้รับแสงเป็นเวลา 3 วัน รดน้ำทุกวัน

4) เมื่อเพาะเมล็ดวันที่ 4 ให้เปิดฝาครอบถาดเพาะออก

5) ตรวจนับจำนวนต้นกล้าปกติที่งอกเหนือวัสดุปลูก 2 มิลลิเมตร โดยนับตั้งแต่วันที่ 4 ถึงวันที่ 9 หลังเพาะเมล็ด (First Count วันที่ 4 และ Final Count วันที่ 9) เพื่อนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความงอกและดัชนีการงอก

6) คำนวณเปอร์เซ็นต์ความงอกและดัชนีการงอกของเมล็ด ดังสมการที่ (1) และ (2) [6]

วิธีการหาเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ด (Germination Percentage)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความงอก} = \frac{\text{จำนวนเมล็ดที่งอกทั้งหมด}}{\text{จำนวนเมล็ดที่เพาะทั้งหมด}} \times 100 \quad (1)$$

วิธีการหาดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์ (Germination Index)

$$\text{ดัชนีการงอก} = \text{ผลรวมของ} \frac{\text{จำนวนเมล็ดที่งอกปกติในแต่ละวัน}}{\text{จำนวนวันหลังเพาะ}} \quad (2)$$

#### 2.2 ศึกษาการเจริญเติบโตของไมโครกรีนไคววาระ

เก็บเกี่ยวต้นอ่อนผักไมโครกรีนไคววาระอายุ 9 วันหลังเพาะเมล็ด ล้างและผึ่งลมให้แห้ง นำมาวิเคราะห์การเจริญเติบโต ดังนี้

1) เตรียมวัสดุปลูกสูตรต่าง ๆ ที่กำหนดในแต่ละกรรมวิธี ใส่ในถาดเพาะขนาด 104 หลุมให้เต็มหลุม กรรมวิธีละ 3 ถาด วางถาดเพาะแบบสุ่มสมบูรณ์ในโรงเรือน

2) นำเมล็ดไคววาระ ยี่ห้อซูเปอร์ท็อป (Supertop) จากร้านไร่ลุงท็อป (Railungtop Farmshop) จังหวัดลพบุรี แช่น้ำเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

- 3) นำเมล็ดไควาเร่ที่แช่น้ำครบตามกำหนดเวลาใส่ลงในถาดเพาะ หลุมละ 1 เมล็ด ปิดฝาครอบถาดเพาะไม่ให้ได้รับแสงเป็นเวลา 3 วัน รดน้ำทุกวันให้วัสดุปลูกชื้นแต่ไม่แฉะเพื่อไม่ให้รากเน่า
- 4) หลังจากเพาะเมล็ด 4 วัน ให้เปิดฝาครอบถาดเพาะออก
- 5) การวัดความสูงของต้นและความยาวราก ความสูงวัดจากโคนต้นจนถึงส่วนที่สูงที่สุดของลำต้นทุกต้น และวัดความยาวรากจากโคนรากจนถึงส่วนที่ยาวที่สุดของราก แล้วหาค่าเฉลี่ยมีหน่วยเป็นเซนติเมตร/ต้น
- 6) การชั่งน้ำหนักสดต้นและน้ำหนักสดราก โดยการสุ่มตัวอย่างไมโครกรีนไควาเร่จำนวน 30 ต้น จาก 3 ถาด นำมาชั่งน้ำหนักสดของต้น และน้ำหนักสดราก แล้วหาค่าเฉลี่ยมีหน่วยเป็นกรัม/ต้น

### 2.3 ศึกษาคุณภาพของไมโครกรีนไควาเร่

นำไมโครกรีนไควาเร่ที่เก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 9 วันหลังเพาะเมล็ด จาก 2.2 มาวิเคราะห์คุณภาพของไมโครกรีนไควาเร่ ได้แก่ ปริมาณเส้นใยและปริมาณน้ำตาล

- 1) การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยฝักตามวิธีของ ปณาลี ศรีแดงบุตร และคณะ [7] โดยการนำต้นไมโครกรีนไควาเร่ปริมาณ 5 กรัม ต้มในน้ำกลั่น 15 นาที และต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 50% (50% NaOH) นาน 10 นาที ล้างตัวอย่างที่ผ่านการต้มด้วยน้ำสะอาด และขยี้จนเหลือแต่เส้นใย และนำไปอบในเครื่อง Hot Air Oven ที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง แล้วนำออกมาทิ้งไว้ให้เย็นก่อนนำไปชั่งน้ำหนัก วิเคราะห์กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ บันทึกข้อมูลน้ำหนักเส้นใย คำนวณปริมาณเส้นใยต่อน้ำหนักสดต้นมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังสมการ (3)

$$\text{ปริมาณเส้นใย (\%FW)} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งเส้นใย}}{\text{น้ำหนักสดต้น}} \times 100 \quad (3)$$

- 2) การวัดปริมาณน้ำตาล ดัดแปลงวิธีของ อินทิรา ลิจันทรพร และคณะ [8] โดยใช้ไมโครกรีนไควาเร่ 30 ต้น จาก 3 ถาด ใส่ในน้ำ 5 มิลลิลิตร นำไปปั่นให้ละเอียดเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นกรองน้ำปั่นด้วยผ้าขาวบางแล้วนำน้ำที่กรองได้ไปวัดปริมาณน้ำตาลด้วยเครื่อง Refractometer วิเคราะห์กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ บันทึกข้อมูลปริมาณน้ำตาล มีหน่วยเป็นองศาบริกซ์/ต้น

### 2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสถิติ โดยหาค่าความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี Analysis of Variance; ANOVA และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

## 3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

จากการศึกษาผลของวัสดุปลูกต่างชนิดต่อการเจริญเติบโตของไมโครกรีนไควาเร่ ด้วยวิธีการหาวัสดุปลูกที่เหมาะสมด้วยวิธีการสุ่มสมบูรณ์ Completely Randomized Design (CRD) โดยมีกรรมวิธีทั้งหมด 4 กรรมวิธี (treatment; T) กรรมวิธีละ 4 ซ้ำ คือ ดิน : แกลบดำ (T1) ดิน : ขุยมะพร้าว (T2) ดิน : แกลบดำ : ขุยมะพร้าว (T3) และดิน (T4) ผลการทดลองแสดงดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 เปอร์เซ็นต์ความงอกและดัชนีการงอกของเมล็ดไควาเระ

กรรมวิธี	เปอร์เซ็นต์ความงอก (%)	ดัชนีการงอก
ดิน : แกลบดำ (T1)	55.28±12.89 <sup>b</sup>	8.18±7.008 <sup>b</sup>
ดิน : ขุยมะพร้าว (T2)	82.36±21.47 <sup>a</sup>	14.59±11.59 <sup>a</sup>
ดิน : แกลบดำ : ขุยมะพร้าว (T3)	84.30±18.94 <sup>a</sup>	17.80±13.49 <sup>a</sup>
ดิน (T4)	91.52±6.67 <sup>a</sup>	16.85±10.95 <sup>a</sup>
F-test	*	*
C.V. (%)	20.48	76.74

หมายเหตุ \* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (p-value < 0.05)

ตัวอักษร a, b ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันหมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

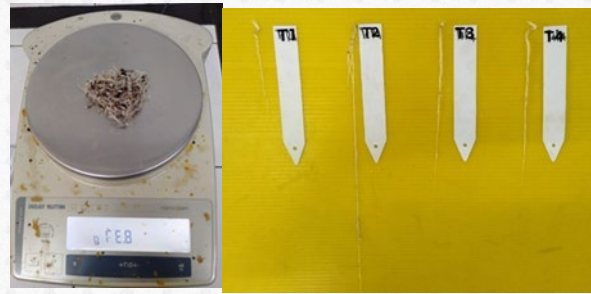
จากตารางที่ 1 พบว่าไม่โครกรีนไควาเระที่เพาะในกรรมวิธี ดิน:ขุยมะพร้าว,กรรมวิธี ดิน:แกลบดำ:ขุยมะพร้าว และกรรมวิธี ดิน มีเปอร์เซ็นต์ความงอกสูงแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 82.36, 84.30 และ 91.52 ซึ่งมีค่าสูงกว่าการเพาะเมล็ดไควาเระใน ดิน:แกลบดำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value < 0.05) คือ 55.28 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับค่าดัชนีการงอก โดยดัชนีการงอกของเมล็ดที่เพาะใน ดิน:ขุยมะพร้าว , ดิน และ ดิน: แกลบดำ: ขุยมะพร้าว มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 14.59, 16.85 และ 17.80 ส่วนการเพาะเมล็ดใน ดิน:แกลบดำมีดัชนีการงอกน้อยที่สุด แตกต่างจากกรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value < 0.05) โดยมีค่าอยู่ที่ 8.18

ตารางที่ 2 น้ำหนักสตรากและความยาวรากไม่โครกรีนไควาเระ

กรรมวิธี	น้ำหนักสตราก (กรัม/ต้น)	ความยาวราก (เซนติเมตร/ต้น)
ดิน : แกลบดำ (T1)	0.029±0.004	6.43±1.939
ดิน : ขุยมะพร้าว (T2)	0.045±0.004	8.19±3.058
ดิน : แกลบดำ:ขุยมะพร้าว (T3)	0.043±0.015	6.65±0.807
ดิน (T4)	0.043±0.005	6.87±0.662
F-test	ns	ns
C.V. (%)	22.77	26.77

หมายเหตุ ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สำหรับการเจริญเติบโตของรากไควาเระ ข้อมูลจากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่า วัสดุปลูกทั้ง 4 กรรมวิธีไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของราก ทั้งด้านน้ำหนักสตรากและความยาวรากมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value > 0.05) โดยไม่โครกรีนไควาเระมีน้ำหนักสตราก 0.029 - 0.045 กรัมต่อต้น และความยาวรากมีค่า 6.43 - 8.19 เซนติเมตรต่อต้น



ภาพที่ 1 น้ำหนักสตรากและความยาวรากไควเวระ

ตารางที่ 3 น้ำหนักสดต้นและความสูงต้นไมโครกรีนไควเวระ

กรรมวิธี	น้ำหนักสตราก (กรัม/ต้น)	ความสูงต้น (เซนติเมตร/ต้น)
ดิน : แกลบดำ (T1)	0.263±0.027	9.53±1.58
ดิน : ขุยมะพร้าว (T2)	0.341±0.077	9.30±1.74
ดิน : แกลบดำ:ขุยมะพร้าว (T3)	0.312±0.070	10.66±2.85
ดิน (T4)	0.252±0.041	10.14±2.52
F-test	ns	ns
C.V. (%)	19.77	22.63

หมายเหตุ ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลของการใช้วัสดุปลูกเมล็ดไควเวระแตกต่างกัน 4 กรรมวิธี แสดงดังตารางที่ 3 คือ วัสดุปลูกทั้ง 4 กรรมวิธีไม่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของลำต้นไควเวระ โดยไมโครกรีนไควเวระมีน้ำหนักสดต้น 0.252 - 0.341 กรัมต่อต้น และความสูงต้น 9.30 - 10.66 เซนติเมตรต่อต้น ทั้งนี้ น้ำหนักสดและความสูงของต้นไมโครกรีนไควเวระที่เพาะในวัสดุปลูกทั้ง 4 กรรมวิธีไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value > 0.05)



ภาพที่ 2 น้ำหนักสดต้นและความสูงต้นไควเวระ

การศึกษาคุณภาพของผลผลิตไมโครกรีนไควเวระที่เพาะในวัสดุปลูกแตกต่างกัน 4 กรรมวิธี โดยวิเคราะห์ปริมาณ น้ำตาลและเส้นใย วัสดุปลูกทั้ง 4 กรรมวิธีไม่ส่งผลต่อปริมาณน้ำตาลและปริมาณเส้นใย ดังแสดงในตารางที่ 4 โดยค่าน้ำตาลและเส้นใยไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value > 0.05) ไมโครกรีนไควเวระที่เพาะในวัสดุปลูกทั้ง 4 กรรมวิธี มีปริมาณน้ำตาล 0.0125 งามคาบริกซ์ เท่ากันทุกกรรมวิธี และปริมาณเส้นใยมีค่า 0.712 - 0.981 %FW

ตารางที่ 4 ปริมาณน้ำตาลและปริมาณเส้นใยไมโครกรีนไควเราะ

กรรมวิธี	ปริมาณน้ำตาล (องศาบริกซ์/ตัน)	ปริมาณเส้นใย (%FW)
ดิน : แกลบดำ (T1)	0.0125±0.0	0.981±0.210
ดิน : ขุยมะพร้าว (T2)	0.0125±0.0	0.823±0.285
ดิน : แกลบดำ:ขุยมะพร้าว (T3)	0.0125±0.0	0.779±0.306
ดิน (T4)	0.0125±0.0	0.712±0.441
F-test	ns	ns
C.V. (%)	15.49	40.58

หมายเหตุ ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ข้อมูลจากผลการวิจัยครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า การเจริญเติบโตของราก ลำต้น และคุณภาพของไมโครกรีนไควเราะด้านความหวานและเส้นใยไม่ได้รับผลกระทบจากความแตกต่างของวัสดุปลูก 4 สูตร โดยมีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ผลการทดลองทำให้เห็นแนวโน้มองค์ประกอบของวัสดุปลูกที่สำคัญต่อการผลิตไมโครกรีนไควเราะ โดยในภาพรวมวัสดุปลูกกรรมวิธีที่ 2 ดิน : ขุยมะพร้าว และกรรมวิธีที่ 3 ดิน : แกลบดำ : ขุยมะพร้าว มีแนวโน้มส่งเสริมการเจริญเติบโตและคุณภาพของไมโครกรีนไควเราะได้ดีกว่าวัสดุปลูกกรรมวิธีอื่น คือกรรมวิธีที่ 2 ทำให้เมล็ดไควเราะมีเปอร์เซ็นต์ความงอก 82.36% ดัชนีการงอก 14.59 มีน้ำหนักราก 0.045 กรัม/ตัน ความยาวราก 8.19 เซนติเมตร/ตัน น้ำหนักสดต้น 0.341 กรัม/ตัน ความสูงต้น 9.30 เซนติเมตร/ตัน ความหวาน 0.0125 องศาบริกซ์ และเส้นใย 0.823 %FW และกรรมวิธีที่ 3 ไมโครกรีนไควเราะ มีเปอร์เซ็นต์ความงอก 84.30 % ดัชนีการงอก 17.80 มีน้ำหนักราก 0.043 กรัม/ตัน ความยาวราก 6.65 เซนติเมตร/ตัน น้ำหนักสดต้น 0.312 กรัม/ตัน ความสูงต้น 10.66 เซนติเมตร/ตัน ความหวาน 0.0125 องศาบริกซ์ และเส้นใย 0.779 %FW

วัสดุปลูกกรรมวิธีที่ 2 และ 3 เป็นกรรมวิธีที่ทำให้ไมโครกรีนไควเราะงอกได้มาก งอกเร็ว และมีแนวโน้มน้ำหนักสดต้นมากกว่ากรรมวิธีอื่น (ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ) ซึ่งการบริโภคผักไมโครกรีนจะบริโภคส่วนเหนือดิน หรือส่วนต้นไม่บริโภค ราก น้ำหนักสดต้นจึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อการจำหน่าย การที่เมล็ดไควเราะในวัสดุปลูกกรรมวิธีที่ 2 และ 3 งอกได้มากและเร็ว อาจเป็นผลมาจากวัสดุปลูกมีขุยมะพร้าวเป็นส่วนผสม ซึ่งขุยมะพร้าวมีคุณสมบัติเด่นด้านการอุ้มน้ำและระบายอากาศ เป็นปัจจัยสำคัญต่อการงอกของเมล็ดพืช ในการทำให้เปลือกเมล็ดอ่อนตัว เอมบริโอในเมล็ดได้รับน้ำและอากาศสำหรับกระบวนการเมแทบอลิซึม จนเจริญเติบโตงอกรากออกมาจากเมล็ดได้ง่ายกว่าเมล็ดที่ได้รับความชื้นและอากาศไม่เพียงพอ และเมื่อต้นอ่อนงอกแล้วเจริญเติบโตได้ดีเนื่องจากได้รับธาตุจำเป็นจากดินที่เป็นส่วนประกอบของวัสดุปลูก ส่วนกรรมวิธีที่ 1 ดิน:แกลบดำ ส่งผลให้ไมโครกรีนไควเราะมีคุณภาพการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของรากต่ำกว่ากรรมวิธีอื่น เนื่องจากการมีแกลบดำเป็นส่วนผสมจำนวนมาก เมื่อเพาะเมล็ดแล้วรดน้ำผ่านไปหลายวันจะเกิดการอัดตัวของแกลบดำ ทำให้การอุ้มน้ำ การถ่ายเทอากาศและความร้อนเกิดได้ไม่ดี วัสดุปลูกแห้งเร็วกักความร้อนช่วงกลางวัน ภายในโรงเรือนไม่มีระบบควบคุมอุณหภูมิ จึงส่งผลต่อการงอกและการเจริญเติบโตของราก เมื่อรากเจริญเติบโตได้ไม่ดีย่อมส่งผลต่อการดูดซึมแร่ธาตุในดินที่เป็นส่วนผสมของวัสดุปลูก ทำให้ต้นไมโครกรีนเจริญเติบโตได้ไม่เต็มที่ น้ำหนักสดต้นและความสูงต้นมีแนวโน้มค่อนข้างน้อยกว่าแต่มีเส้นใยมากกว่ากรรมวิธีอื่น (ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ)

ผลการวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ ทวีป เสนอคำวงศ์ และคณะ [9] ที่พบว่า การใช้วัสดุปลูกที่มีส่วนผสมของแกลบดำผสมขุยมะพร้าวอัตรา 1:1 จะทำให้ต้นอ่อนผักชีหุดอายุ 7 วัน มีเปอร์เซ็นต์ความงอก 83.0 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักสด 15.6 กรัมต่อ 100 เมล็ด และมีความสูงต้นกล้างอกเฉลี่ย 10.6 เซนติเมตร ในขณะที่งานวิจัยครั้งนี้กรรมวิธีที่ 3 ที่มีส่วนผสมของดิน : แกลบดำ : ขุยมะพร้าว ทำให้ไมโครกรีนไควเราะอายุ 10 วัน มีเปอร์เซ็นต์ความงอกมากกว่าคือ 84.30% น้ำหนักสด

ต้น 34.1 กรัม/100 ต้น (0.341 กรัม/ต้น) ความสูงต้น 10.66 เซนติเมตร/ต้น จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ความงอกและความสูงต้นกล้าใกล้เคียงกับการเพาะไควาเระในกรรมวิธีที่ 3 ของงานวิจัยครั้งนี้ แต่ไมโครกรีนไควาเระมีน้ำหนักสดต้นมากกว่าประมาณ 2 เท่า อาจเป็นผลมาจากชนิดพืชและอายุเก็บเกี่ยวต่างกัน นอกจากนี้งานวิจัยครั้งนี้มี ดินเป็นส่วนผสมของวัสดุปลูกด้วย ทำให้ไมโครกรีนได้รับแร่ธาตุช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตได้ดีกว่า ดังนั้นผลการวิจัยครั้งนี้เมื่อพิจารณาการงอก การเจริญเติบโตของรากและลำต้น คุณภาพของผลผลิตด้านปริมาณน้ำตาลและเส้นใย กรรมวิธีที่ 2 (ดิน : ขุยมะพร้าว) และ 3 (ดิน : แกลบดำ : ขุยมะพร้าว) จึงเหมาะสมที่จะใช้เป็นวัสดุปลูกไมโครกรีนไควาเระ แต่กรรมวิธีที่ 2 จะใช้ชนิดของวัสดุปลูกน้อยกว่าซึ่งอาจทำให้สะดวกและประหยัดต้นทุนกว่ากรรมวิธีที่ 3

อย่างไรก็ตามข้อเสนอแนะในการทำงานวิจัยครั้งต่อไป ควรพัฒนาการผลิตให้ได้ผลผลิตที่มีปริมาณและคุณภาพเพิ่มขึ้นโดยการส่งเสริมการเจริญเติบโตของไมโครกรีนด้วยการให้ปุ๋ยหรือฮอร์โมนที่หาได้ง่าย ต้นทุนถูก เช่น ปุ๋ยมูลไส้เดือน ปุ๋ยคอก น้ำหมักชีวภาพ ฮอร์โมนไข่ ฮอร์โมนนม เป็นต้น การทดลองพัฒนาวัสดุเก่าให้เป็น innovative material เช่น วัสดุเพาะเห็ดเก่า มาปรับปรุงสำหรับเพาะไมโครกรีน เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะเพิ่มประโยชน์ของวัสดุเหลือทิ้งได้ หรือพัฒนารูปแบบการเพาะผักไมโครกรีนในระบบไม่ใช้ดิน แต่ใช้น้ำ อาจช่วยประหยัดต้นทุนและสะดวกขึ้น ลดระยะเวลาการอบการผลิตได้ รวมถึงการวิจัยด้านชีวเคมีวิเคราะห์สารสำคัญออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ดังตัวอย่างงานวิจัยของพิมพ์พรหม และคณะ [10] พบว่า การเติมเปลือกปูม้าป่นในดินเพาะสามารถเพิ่มการเจริญเติบโตของไมโครกรีนไควาเระได้ โดยการใส่เปลือกปูม้าป่นอัตรา 0.5 ชีดช่วยเพิ่มความสูง อัตรา 1 ชีด ช่วยเพิ่มน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง และเปลือกปูม้าป่นอัตรา 2 ชีด ช่วยเพิ่มการสังเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ และงานวิจัยของ Tilahan, et al. [11] เพาะไมโครกรีนหัวไชเท้า 5 สายพันธุ์ คือ Asia green1, Asia green2, Asia red, Koregon red และ Asia purple โดยไม่ใช้วัสดุปลูก แต่ใช้น้ำใสในถาดเพาะชั้นล่างซึ่งมีเมล็ดหัวไชเท้าโรยอยู่ชั้นบนที่เป็นตะแกรง มีฝาปิดโดยมีช่องให้อากาศถ่ายเท วางถาดเพาะหลายชั้นในแนวตั้ง และใช้แสงไฟจากหลอด LED ในระบบปิดพบว่าไมโครกรีนอายุ 10 วันมีมวลเพิ่ม 6-10 เท่า น้ำหนักแห้งอยู่ที่ 4.75-7.65% สายพันธุ์ Asia red มีผลผลิตมากที่สุด ในขณะที่ Koregon red มีผลผลิตน้อยที่สุด นอกจากนี้ Asia red มีวิตามิน C และ Chls มากที่สุด ส่วน Koregon red มีฟีนอลิกทั้งหมดและฟลาโวนอยด์มากที่สุด สำหรับ Asia purple มีแอนโธไซยานินและ Ca มากที่สุด และสายพันธุ์ Asia green2 มี K Mg Na มากที่สุด ในภาพรวม Asia purple และ Koregon red เป็นสายพันธุ์ที่ดีที่สุดในด้านของคุณค่าทางโภชนาการ วิธีเพาะไมโครกรีนแบบใหม่นี้จึงมีประสิทธิภาพในการคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการและหน้าที่ตามความต้องการของประชากร และลดปัญหาผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมในการผลิต และงานวิจัยของ Romano, et al. [12] การผลิตต้นอ่อนหัวไชเท้าระยะเบบี้ ลีฟ (baby leaf) เป็นการเพาะเมล็ดแล้วเก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 45 วันหลังหว่านเมล็ด พบว่าการฉีดพ่นต้นอ่อนหัวไชเท้าทุกเช้า ด้วยสารสกัดใบมะรุม (*Moringa oejfera*) เกิดผลด้านบวกคือ เพิ่มน้ำหนักสด พื้นที่ใบ ปริมาณคลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ กรดแอสคอบิก

#### 4. บทสรุป

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของไมโครกรีนไควาเระในวัสดุปลูก 4 กรรมวิธี วัสดุปลูกกรรมวิธี ดิน (T4) ทำให้เมล็ดไควาเระงอกได้ดีที่สุด รองลงมาคือ กรรมวิธี ดิน : แกลบดำ : ขุยมะพร้าว (T3) ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความงอกเท่ากับ 91.52% และ 84.30% ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และดัชนีการงอกของกรรมวิธี ดิน : แกลบดำ : ขุยมะพร้าว (T3) มีค่าสูงสุด รองลงมาคือ กรรมวิธี ดิน (T4) ซึ่งเท่ากับ 17.80 และ 16.85 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนกรรมวิธี ดิน : แกลบดำ (T1) ทำให้เมล็ดไควาเระมีเปอร์เซ็นต์ความงอก และดัชนีการงอกต่ำกว่ากรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value < 0.05) คือ 55.28% และ 8.18 ตามลำดับ

กรรมวิธีที่ทำให้รากของไมโครกรีนไควาเระเจริญเติบโตได้ดีที่สุดคือ ดิน:ขุยมะพร้าว (T2) โดยมีน้ำหนักสดรากที่ 0.045 กรัม/ต้น รองลงมาคือ กรรมวิธี ดิน : แกลบดำ : ขุยมะพร้าว (T3) 0.043±0.015 กรัม/ต้น (P-value > 0.05) และกรรมวิธีที่



ทำให้ไมโครกรีนไคววาระมีความยาวรากมากที่สุดคือ ดิน : ขุยมะพร้าว (T2) 8.19 เซนติเมตร/ต้น รองลงมาคือ กรรมวิธี ดิน (T4) 6.87 เซนติเมตร/ต้น (P-value > 0.05) ส่วนกรรมวิธีที่ทำให้การเจริญเติบโตของลำต้นดีที่สุดที่สุด โดย กรรมวิธี ดิน : ขุยมะพร้าว (T2) ทำให้มีน้ำหนักสดต้นมากที่สุด 0.341 กรัม/ต้น รองลงมาคือ กรรมวิธี ดิน : แกลบดำ : ขุยมะพร้าว (T3) 0.312 กรัม/ต้น (P-value > 0.05) และกรรมวิธีที่ทำให้มีความสูงต้นมากที่สุดคือ กรรมวิธี ดิน:แกลบดำ:ขุยมะพร้าว (T3) 10.66 เซนติเมตร/ต้น รองลงมาคือ กรรมวิธี ดิน (T4) 10.14 เซนติเมตร/ต้น (P-value > 0.05)

ด้านคุณภาพของไมโครกรีนไคววาระทุกกรรมวิธีมีปริมาณน้ำตาลเท่ากันคือ 0.0125 องศาบริกซ์/ต้น และมีปริมาณเส้นใยตั้งแต่ 0.712 - 0.981%FW (P-value > 0.05)

## 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องนี้ได้รับการสนับสนุนอุปกรณ์และสถานที่จากคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ปกรณ์ เนตรขำ และชมดาว ขำจริง. ผลของวัสดุเพาะกล้าจากเศษวัสดุเหลือใช้ที่มีต่อการงอกและการเจริญเติบโตของไมโครกรีนไคววาระ. คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี. 2560.
- [2] Medthai. (10 เมษายน 2564). 39 สรรพคุณและประโยชน์ของผักกาดหัว! (หัวไชเท้า). สืบค้นจาก <https://medthai.com/หัวไชเท้า/>.
- [3] Zhong, Y., Jia, Z, Zhou, H. Zhang, D., Li, G. and Yu, J. Comparative analysis of volatile compounds from four radish microgreen cultivars based on ultrasonic cell disruption and HS-SPME/GC-MS. *International Journal of Molecular Sciences*. 24 (2023) 1-14.
- [4] Cigic, I. K., Rupnik, S., Rijavec, T., Ulrich, N. P. and Cigic, B. Accumulation of agmatine, spermidine, and spermine in sprouts and microgreens of alfalfa, fenugreek, lentil, and daikon radish. *Food*. 547 (2020) 1-20.
- [5] Saleh, R., Gunupuru, L. R., Lada, R., Nams, V., Thomas, R. H. and Abbey, L. Growth and biochemical composition of microgreens grown in different formulated soilless media. *Plants*. 3546 (2022) 1-16.
- [6] ISTA. (2013). International Rules for Seed Testing; Rule. International Seed Testing Association, Zurich, Switzerland. *Seed Science and Technology*. 5 (2013) 1055-1063.
- [7] ปณาลี ศรีแดงบุตร, ปิยะณัฐ ฎกามาต และจ๋านอง โสมกุล. ปริมาณคลอโรฟิลล์ วิตามินซี เส้นใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรตในเมล็ดถั่วเหลืองงอก. รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 14, นครปฐม, 2560. 2598-2602.
- [8] อินทิรา ลิจันทรพร, นันทชนก นันทะไชย, ปาลิดา ตังอนุรัตน์ และภูรินทร์ อัครกุลธร. ผลของน้ำผักโขง (*Cnidoscolus chayamansa*) เข้มข้นต่อคุณภาพของแยมกระเจี๊ยบแดงลดน้ำตาล. *Journal of Applied Research on Science and Technology*. 2 (2564) 1-11.
- [9] ทวีป เสนค่างค์, ฉันทนา วิชรัตน์, ปรีชา รัตน์ง, และสุเทพ วัชรเวชตุงการ. ศึกษาผลของวัสดุเพาะ อัตราเมล็ดพันธุ์และอายุการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสมต่อการผลิตต้นกล้าของผักขึ้นหูด. *พีชศาสตร์สงขลานครินทร์* 3 (2559) 17-23.

- [10] พิมพ์พรณ นิตระวี กนกกานต์ และพรพิมล. ผลของการใช้เปลือกปุ๋ยหมักเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตของไมโครกรีน.  
*Khon Kaen Agriculture Journal*. 1(2022) 556-561.
- [11] Tilahun, S., Baek, M. W., An, K-S., Choi, H. R., Lee, J. H., Hong, J. S. and Jeong, C. S. Radish microgreens produced without substrate in a vertical multi-layered growing unit are rich in nutritional metabolites. *Frontiers in Plant Science*. 14 (2023) 1-14.
- [12] Romano, D., Fornara, G. L., Tribulato, A. and Toscano, S. Can moringa leaf spray treatment increase the nutraceutical properties of radish baby leaf?. *Horticulturae*. 671 (2022) 1-11.

การประยุกต์ใช้การทดลองแบบแฟคทอเรียลเพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยในการเชื่อม  
ความต้านทานชนิดจุดเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี เกรด JIS G 3302 ด้วยรอยต่อเกยสามชั้น  
Application of factorial experiment to study the influence of factors in  
resistance spot welding of galvanized steel grade JIS G 3302  
with three-layer lap joint

พิชิตชัย จันทร์ศิริ<sup>1\*</sup> และ ปรัชญา เพ็ญสุระ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

\*E-mail: Pichitchai9900@gmail.com

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยในการเชื่อมความต้านทานชนิดจุดเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี เกรด JIS G 3302 โดยใช้การทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ กระแสไฟฟ้า 13,000 แอมแปร์ และ 14,000 แอมแปร์ ระยะเวลาเชื่อม 10 ไซเคิล และ 12 ไซเคิล และแรงกดชิ้นงาน 0.1 เมกกะปาสคาล และ 0.2 เมกกะปาสคาล รอยต่อของชิ้นงานเชื่อมแบบต่อเกยสามชั้น จากนั้นนำชิ้นงานทำการทดสอบแรงดึงเฉือน และวัดขนาดนั้กเกิด ผลการทดลองพบว่า กระแสไฟฟ้า ระยะเวลาเชื่อม และแรงกดอเล็กโตรด ไม่มีผลกระทบบรรวมต่อค่าแรงดึงเฉือน และขนาดนั้กเกิด ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าแรงดึงเฉือนสูงสุด คือ กระแสไฟฟ้า 14,000 แอมแปร์ ระยะเวลาเชื่อม 12 ไซเคิล และแรงกดอเล็กโตรด 0.2 เมกกะปาสคาล มีค่าแรงดึงเฉือน 8.357 กิโลนิวตัน ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อขนาดนั้กเกิดสูงสุด ได้แก่ กระแสไฟฟ้า 14,000 แอมแปร์ ระยะเวลาเชื่อม 12 ไซเคิล และแรงกดชิ้นงาน 0.1 เมกกะปาสคาล ขนาดของนั้กเกิด 7.763 มิลลิเมตร

**คำสำคัญ:** การทดลองแบบแฟคทอเรียล การเชื่อมความต้านทานชนิดจุด เหล็กกล้าเคลือบสังกะสี แรงดึงเฉือน นั้กเกิด

#### Abstract

The objective of this research is to study the influence of factors on resistance spot welding of galvanized steel grade JIS G 3302 using a full factorial design experiment. Factors used in the study included welding currents of 13,000 amperes and 14,000 amperes, welding times of 10 cycles and 12 cycles, and electrode pressures of 0.1 Mpa and 0.2 MPa. The joints of the welding samples are welded in a triple-layer lap joint. Then the welding samples was tested for shear tensile strength. and measure the size of the nugget. The results showed that the welding current, time and electrode force, there was no interaction on the tensile shear strength and nugget size at a confidence level of 95 percent. Factors affecting the highest tensile shear strength were a welding current of 14,000 amperes, a welding time of

12 cycles, and an electrode of 0.2 Mpa, with a tensile shear tensile of 8.357 kN. Factors affecting the highest nugget size were a welding current of 14,000 amperes, a welding time of 12 cycles, and an electrode of 0.1 Mpa, with a nugget size of 7.763 mm.

**Keywords:** Factorial design, Resistance spot welding, Galvanized steel, Tensile shear, Nugget Size

## 1. บทนำ

การเชื่อมแบบต้านทานเฉพาะจุดถือเป็นเทคนิคหลักในการผลิตสมัยใหม่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมที่การเชื่อมส่วนประกอบโลหะมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ด้วยความสามารถในการสร้างรอยเชื่อมที่แข็งแรงและทนทาน การเชื่อมแบบจุดต้านทานได้ปฏิวัติกระบวนการผลิตในหลากหลายภาคส่วนตั้งแต่ยานยนต์และอวกาศไปจนถึงอิเล็กทรอนิกส์และอื่นๆแม้จะมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย แต่ความซับซ้อนของการเชื่อมแบบต้านทานจุด รวมถึงการทำงานร่วมกันของพารามิเตอร์ต่างๆ และผลกระทบต่อคุณภาพการเชื่อม ยังคงเป็นหัวข้อของการวิจัยและพัฒนา การศึกษาปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการเชื่อม เช่น แรงอิเล็กโทรด กระแสการเชื่อม และระยะเวลาผ่านการทดลองและการวิเคราะห์อย่างเป็นระบบด้วยการควบคุมพารามิเตอร์เหล่านี้ยิ่งทวีคูณ นักวิจัยได้รับการปรับปรุงที่สำคัญในด้านความแข็งแรงของการเชื่อม ความสม่ำเสมอ และความต้านทานต่อข้อบกพร่อง เช่น การแตกร้าวของนิกเกิลและการผลึกออก

จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งรูปแบบการเชื่อมต้านทานแบบจุดเป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมเช่นยานยนต์และการบินสำหรับการเชื่อมโลหะต่างๆรวมถึงแผ่นเหล็ก JIS G 3302 [1-2] วิธีการเชื่อมจุดต้านทานโดยทั่วไปจะรวมถึงตัวแปรการควบคุมเช่น กระแสเชื่อม ระยะเวลาพัลส์ และเวลาหยุดทำงานระหว่างพัลส์กระแสเพื่อให้แน่ใจว่ามีการเชื่อมที่แข็งแรงในขณะที่ลดการกระเด็น [3] และความก้าวหน้าในวิธีการเชื่อมจุดต้านทาน ได้จัดการกับความท้าทายที่เกี่ยวข้องกับชิ้นงานโลหะที่มีความหนาแตกต่างด้วยการใช้อิเล็กโทรดเชื่อมเฉพาะที่มีการควบคุมการเชื่อมความหนาแตกต่างและองค์ประกอบควบคุมแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพเช่น ความแข็งแรงของจุดเชื่อมต่ำและประสิทธิภาพการเชื่อมที่ไม่ดี [4] นอกจากนี้นวัตกรรมในอุปกรณ์การเชื่อมได้มุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการเชื่อมโดยการควบคุมการไหลของกระแสตามแรงดันที่วัดระหว่างอิเล็กโทรดทำให้มั่นใจได้ว่าการก่อตัวของนิกเกิลขนาดใหญ่ในขณะที่ลดการขับออก และปรับปรุงโครงสร้างส่วนปลายนิกเกิลเพื่อเพิ่มความต้านทานการแตกหัก สำหรับชิ้นส่วนการเชื่อมต้านทานแบบจุด [5] นอกจากนี้การใช้การจำลองวิธีจำกัดองค์ประกอบ (FEM) ยังมีประโยชน์ในการทำนายและเพิ่มประสิทธิภาพขนาดนิกเกิลในข้อต่อเชื่อมโดยการวิจัยชี้ให้เห็นว่านิกเกิลขนาดใหญ่สามารถนำไปสู่การกระจายความเครียดที่ดีขึ้นและอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นในข้อต่อเหล็ก [6] นอกจากนี้ในการเชื่อมจุดต้านทานยังมีการศึกษาปัจจัยต่างๆเช่น กระแสแรงอิเล็กโทรดและการเคลื่อนย้ายของอิเล็กโทรดเพื่อสร้างแบบจำลองสำหรับการประเมินขนาดนิกเกิลและตรวจจบบัญญา เช่น การขับออก ให้ข้อมูลเชิงลึกสำหรับการควบคุมคุณภาพในกระบวนการเชื่อม [7]

ด้วยเหตุผลข้างต้นนี้จึงเป็นที่มาของการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล ในการหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ กรณีศึกษาเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี JIS G 3302 เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลการทดสอบแรงดึง (Tensile shear) และขนาดของนิกเกิล (Nugget Size) โดยใช้การหาค่าด้วยวิธีการ Response Optimization เพื่อการหาค่าความเหมาะสม ในการเชื่อมความต้านทานแบบจุด กรณีศึกษาเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี JIS G 3302 และการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเชื่อมต้านทานแบบจุด ซึ่งผลการวิจัยจะเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมในอนาคตต่อไป

## 2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลต่อการทดสอบแรงดึง (Tensile shear) และขนาดของนั๊กเก็ต (Nugget Size) ในการเชื่อมความต้านทานแบบจุด กรณีศึกษาเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี JIS G 3302

2.2 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเชื่อมความต้านทานแบบจุด กรณีศึกษาเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี JIS G 3302

## 3. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

งานวิจัยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล ในการหาความเหมาะสม การเชื่อมต้านทานแบบจุด กรณีศึกษาเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี JIS G 3302 เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) โดยกำหนด ตัวแปรในการทดลอง ได้แก่ ตัวแปรต้น คือ กระแสไฟฟ้า ระยะเวลาเชื่อม และแรงกดขึ้นงาน ตัวแปรตามคือ ค่าทดสอบแรงดึง (Tensile shear) และขนาดของนั๊กเก็ต (Nugget Size) และดำเนินการวิจัยตามขั้นตอน ดังนี้

### 3.1 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองแบบ  $2^k$  Factorial Design ทุกปัจจัยมี เพียง 2 ระดับ ตัวแปรต้น กระแสไฟฟ้า 2 ระดับ ระยะเวลาเชื่อม 2 ระดับ และแรงกดขึ้นงาน 2 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 1 ตัวแปรตาม คือ ค่าแรงดึงเฉือน ตามมาตรฐานแรงดึงเฉือน JIS Z 3140:1978 และการวัดขนาดของนั๊กเก็ต ตามมาตรฐาน JIS Z 3140:2017 ซึ่งงานวิจัยนี้ ออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (Minitab 19) ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ ได้การทดลองทั้งหมด 24 การทดลอง

ตารางที่ 1 การกำหนดปัจจัยและระดับปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา

ปัจจัย	ระดับของปัจจัย	
	Low	High
กระแสไฟฟ้า (แอมป์)	13,000	14,000
ระยะเวลาเชื่อม (ไซเคิล)	10	12
แรงกดขึ้นงาน (เมกกะปาสคาล)	0.1	0.2

### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องเชื่อมความต้านทานชนิดจุด CHUOSEISAKUSHO รุ่น S2-6-50T

3.2.2 หัวทีปสป็อต (Spot welding electrodes) BLM-stub

3.2.3 เครื่องตัดโลหะ ERMAKSAN รุ่น GMR 1400X3

3.2.4 ชิ้นงานที่ใช้สำหรับการทดลองเป็น เหล็กกล้าเคลือบสังกะสี JIS G3302 กว้าง 30 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร หนา 1 มิลลิเมตร ผิวเรียบ

3.2.5 เครื่องทดสอบแรงดึง Shimadzu รุ่น AGS-X

3.2.6 เวอร์เนียคาลิปเปอร์ (0.02 mm.)

### 3.3 ขั้นตอนการทดลอง

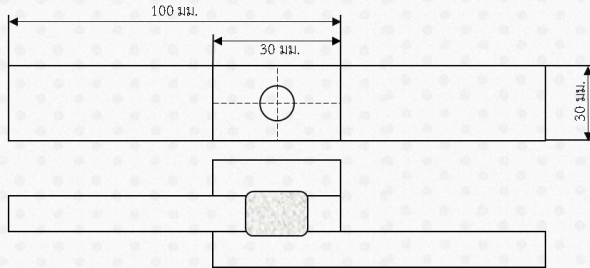
3.3.1 การเตรียมชิ้นงานที่ใช้ทดลอง เหล็กกล้าเคลือบสังกะสี JIS G3302 ขนาด 30X100X1 มิลลิเมตร

3.3.2 การเชื่อมความต้านทานชนิดจุดจริง โดยการทำให้ชิ้นงานเชื่อม โดยเปลี่ยนค่ากระแสไฟฟ้า ระยะเวลาเชื่อม และแรงกด ตามตารางสุ่มการทดลองแบบ  $2^k$  Factorial Design จำนวน 3 ซ้ำ จนครบ 24 การทดลอง ดังภาพที่ 1

3.3.3 หาค่าแรงดึงเฉือน (Tensile Shear Testing) ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง Shimadzu รุ่น AGS-X หาค่าแรงดึงเฉือน ตามมาตรฐานแรงดึงเฉือน JIS Z 3140:1978

3.3.4 วัดขนาดของน้กเกต ด้วยกล้อง Measurement Microscope หน่วยเป็น มิลลิเมตร

3.3.5 บันทึกผลการทดลองเพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าทางสถิติต่อไป



(ก) ลักษณะการจัดเตรียมชิ้นงานที่ใช้ทดลอง

(ข) ชิ้นงานที่ใช้ทดลอง

ภาพที่ 1 การจัดเตรียมชิ้นงานที่ใช้ทดลอง

### 3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

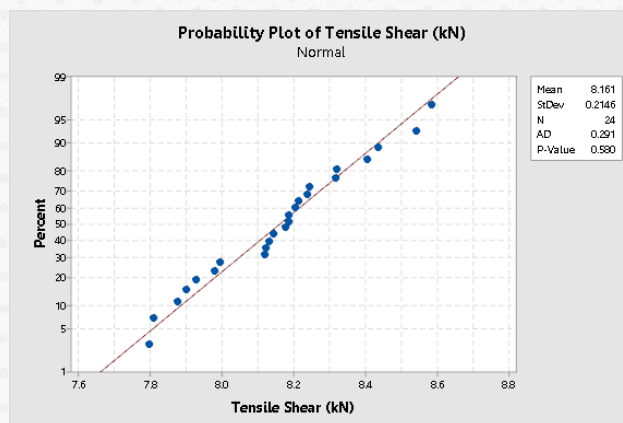
- 3.4.1 การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลของผลการทดลอง (Normal Distribution)
- 3.4.2 การวิเคราะห์การทดลองทางสถิติ ความแปรปรวน (ANOVA) ของการทดลอง
- 3.4.3 การวิเคราะห์ระดับความเชื่อมั่นของค่าแรงดึงเฉือน และขนาดของน้กเกต
- 3.4.4 การกำหนดค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลอง (Response Optimization)

## 4. ผลการทดลองและอภิปรายผล

### 4.1 ผลการตรวจสอบแจกแจงแบบปกติของการทดลองค่าแรงดึงเฉือน

เป็นการทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นงาน เพื่อหาค่าความแข็งแรงดึงเฉือนของชิ้นงานเชื่อม ภายใต้เงื่อนไขในการทดลองประกอบด้วย กระแสไฟฟ้า 2 ระดับ 13,000 และ 14,000 แอมแปร์ ระยะเวลาเชื่อม 2 ระดับ 10 และ 12 ไซเคิล และ แรงกดชิ้นงาน 2 ระดับ 0.1 และ 0.2 เมกกะปาสคาล รวมชิ้นงานได้จากการทดลองทั้งหมด 24 ชิ้น

4.1.1 ผลการตรวจสอบแจกแจงแบบปกติของการทดลองค่าแรงดึงเฉือน ผลการทดสอบสมมติฐานของ กระแสไฟฟ้า ระยะเวลาเชื่อม และแรงกดชิ้นงาน ในการเชื่อมใช้การออกแบบทดลองแบบแฟคทอเรียล เพื่อทำการศึกษถึง ผลกระทบร่วมที่ส่งผลต่อปัจจัยที่ศึกษา



ภาพที่ 2 แสดงการแจกแจงปกติของข้อมูลค่าแรงดึงเฉือน

จากภาพที่ 2 การแจกแจงปกติของข้อมูลค่าแรงดึงเฉือน พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ โดยที่ค่า P-Value มีค่า 0.580 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ (0.05) แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

#### 4.1.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่มีผลต่อค่าแรงดึงเฉือนในการเชื่อมด้านทานแบบจุด

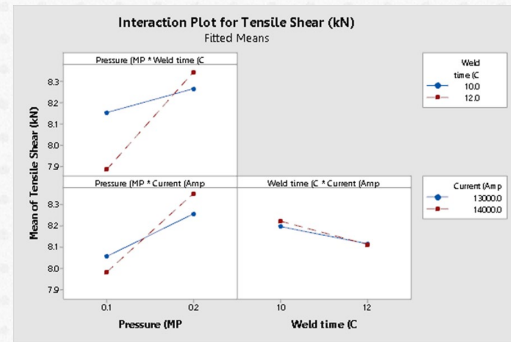
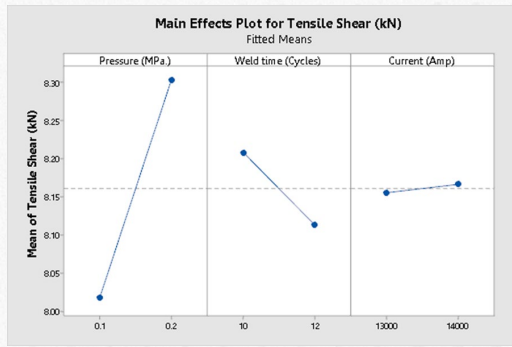
ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่มีผลต่อค่าแรงดึงเฉือนในการเชื่อมด้านทานแบบจุด

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	0.78667	0.112381	6.61	0.001
Linear	3	0.54489	0.181630	10.68	0.000
Pressure (MPa.)	1	0.49020	0.490204	28.83	0.000
Weld time (Cycles)	1	0.05396	0.053960	3.17	0.094
Current (Amp)	1	0.00073	0.000726	0.04	0.839
2-Way Interactions	3	0.22471	0.074903	4.40	0.019
Pressure (MPa.)*Weld time (Cycles)	1	0.18027	0.180267	10.60	0.005
Pressure (MPa.)*Current (Amp)	1	0.04318	0.043180	2.54	0.131
Weld time (Cycles)*Current (Amp)	1	0.00126	0.001262	0.07	0.789
3-Way Interactions	1	0.01707	0.017067	1.00	0.331
Pressure (MPa.)*Weld time (Cycles)*Current (Amp)	1	0.01707	0.017067	1.00	0.331
Error	16	0.27210	0.017006		
Total	23	1.05876			

S = 0.130407    R-sq = 74.30%    R-sq(adj) = 71.06%

จากตารางที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่มีผลต่อค่าแรงดึงเฉือนในการเชื่อมด้านทานแบบจุด พบว่า ปัจจัยที่เป็นอิทธิพลหลัก (Main Effect) ส่งผลกระทบต่อค่าแรงดึงเฉือน คือ แรงกดชิ้นงาน มีค่า P-Value < 0.0001 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ แรงกดชิ้นงานที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงเฉือนอย่างมีระดับนัยสำคัญ 0.05 และอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย ส่งผลกระทบต่อค่าแรงดึงเฉือน คือ แรงกดชิ้นงาน และระยะเวลาเชื่อม มีค่า P-Value ที่ 0.005 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ แรงกดชิ้นงาน และระยะเวลาเชื่อมที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงเฉือนอย่างมีระดับนัยสำคัญ 0.05 จากการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง จากการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน ANOVA ของค่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงเฉือน คือ แรงกดชิ้นงาน และระยะเวลาเชื่อม ซึ่งจากผลการทดลอง ซึ่งในที่นี้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าแรงดึงเฉือน มีความน่าเชื่อถือ

จากตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ  $R^2$  (adj) = 71.06% พบว่าค่าของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงเฉือน ความเป็นไปได้ของการพยากรณ์เมื่อนำตัวแปรทั้งหมดมารวมกัน มีความน่าเชื่อถือในการพยากรณ์ หรือมีอิทธิพลถึง 71.06% ส่วนที่เหลืออีก 29.94% เกิดจากอิทธิพลของตัวแปรอื่นๆ แสดงให้เห็นว่าแรงกดชิ้นงานมีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปัจจัยนี้มีผลกระทบต่อค่าแรงดึงเฉือน



(ก) กราฟแสดงปัจจัยที่เป็นอิทธิพลหลักส่งค่าแรงดึงเฉือน

(ข) กราฟปัจจัยที่เป็นอิทธิพลร่วมส่งผลค่าแรงดึงเฉือน

ภาพที่ 3 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าแรงดึงเฉือน (Tensile Shear)

#### 4.1.3 การหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการทดลองด้วยวิธีการ Response Optimization

จากผลการทดลอง ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะกำหนดค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการเชื่อมด้านทานแบบจุด กรณีศึกษาเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี JIS G 3302 เพื่อให้ได้ค่าแรงดึงเฉือนสูงสุด หาค่าด้วยวิธีการ Response Optimization ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ ค่าที่เหมาะสมในการเชื่อมด้านทานแบบจุด กรณีศึกษาเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี JIS G 3302 คือ แรงกดขึ้นงาน 0.2 เมกกะปาสกาล ระยะเวลาเชื่อม 12 ไซเคิล และกระแสไฟฟ้า 14,000 แอมแปร์ ได้ค่าแรงดึงเฉือน (Tensile shear) คือ 8.3570 kN ดังภาพที่ 4



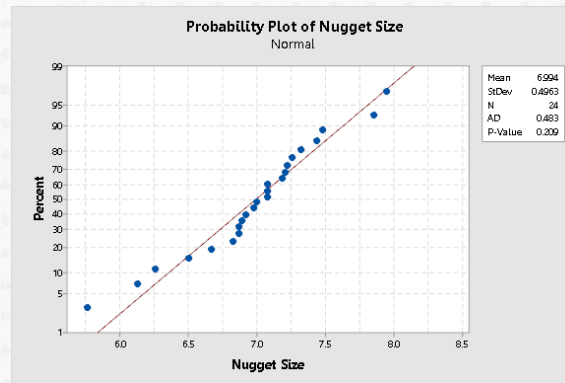
ภาพที่ 4 ปัจจัยที่เหมาะสมในการทดลองค่าแรงดึงเฉือน

#### 4.2 ผลการตรวจสอบແจกແจกแบบปกติของการทดลองค่านักเก็ต

เป็นการทดสอบชิ้นงาน เพื่อหาค่าความโตของนักเก็ต ภายใต้เงื่อนไขในการทดลองประกอบด้วย กระแสไฟฟ้า 2 ระดับ 13,000 และ 14,000 แอมแปร์ ระยะเวลาเชื่อม 2 ระดับ 10 และ 12 ไซเคิล และแรงกดขึ้นงาน 2 ระดับ 0.1 และ 0.2 เมกกะปาสกาล โดยใช้การการทดสอบ Peel Test ได้ทำการทดสอบจำนวน 24 ชิ้น

4.2.1 ผลการตรวจสอบແจกແจกแบบปกติของการทดลองค่านักเก็ต ผลการทดสอบสมมติฐานของกระแสไฟฟ้า ระยะเวลาเชื่อม และแรงกดขึ้นงาน ในการเชื่อมใช้การออกแบบทดลองแบบแฟคทอเรียล เพื่อการศึกษาถึงผลกระทบร่วมที่ส่งผลต่อปัจจัยที่ศึกษา





ภาพที่ 5 การกระจายตัวข้อมูลแบบปกติการทดลองขนาดของน้กเกิด

จากภาพที่ 5 การแจกแจงปกติของข้อมูลค่าน้กเกิด พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ โดยที่ค่า P-Value มีค่า 0.209 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับน้ยสำคัญ (0.05) แสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

4.2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่มีผลต่อขนาดของน้กเกิดในการเชื่อมต้านทานแบบจุด  
 ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่มีผลต่อขนาดของน้กเกิดในการเชื่อมต้านทานแบบจุด

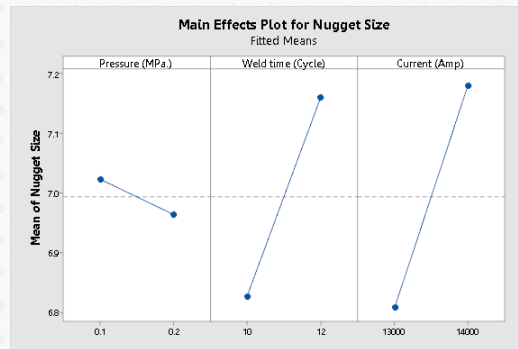
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	4.89850	0.69979	14.60	0.000
Linear	3	1.52355	0.50785	10.59	0.000
Pressure (MPa.)	1	0.02100	0.02100	0.44	0.517
Weld time (Cycle)	1	0.67000	0.67000	13.98	0.002
Current (Amp)	1	0.83254	0.83254	17.37	0.001
2-Way Interactions	3	3.37275	1.12425	23.45	0.000
Pressure (MPa.)*Weld time (Cycle)	1	1.96654	1.96654	41.02	0.000
Pressure (MPa.)*Current (Amp)	1	1.13100	1.13100	23.59	0.000
Weld time (Cycle)*Current (Amp)	1	0.27520	0.27520	5.74	0.029
3-Way Interactions	1	0.00220	0.00220	0.05	0.833
Pressure (MPa.)*Weld time (Cycle)*Current (Amp)	1	0.00220	0.00220	0.05	0.833
Error	16	0.76707	0.04794		
Total	23	5.66556			

S = 0.218956    R-sq = 86.46%    R-sq(adj) = 80.54%

จากตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่มีผลต่อขนาดของน้กเกิด ในการเชื่อมต้านทานแบบจุด พบว่า ปัจจัยที่เป็นอิทธิพลหลัก (Main Effect) ส่งผลกระทบต่อขนาดของน้กเกิด คือ ระยะเวลาเชื่อมมีค่า P-Value ที่ 0.002 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับน้ยสำคัญ 0.05 คือ ระยะเวลาเชื่อมที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อขนาดของน้กเกิด อย่างมีระดับน้ยสำคัญ 0.05 และกระแสไฟฟ้ามีค่า P-Value ที่ 0.001 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับน้ยสำคัญ 0.05 คือ กระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกันมี

อิทธิพลต่อขนาดของนิกเกต อย่างมีระดับนัยสำคัญ 0.05 และอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย ส่งผลกระทบต่อขนาดของนิกเกต คือ แรงกดขึ้นงานกับระยะเวลาเชื่อมมีค่า P-Value < 0.0001 แรงกดขึ้นงาน กับกระแสไฟมีค่า P-Value < 0.0001 ระยะเวลาเชื่อม กับกระแสไฟ ซึ่งมีค่า P-Value ที่ 0.029 ซึ่งมีความน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 กล่าวคือ อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัยที่แตกต่างกันมีอิทธิพลขนาดของนิกเกต อย่างมีระดับนัยสำคัญ 0.05 จากการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง จากการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน ANOVA ของค่า ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อขนาดของนิกเกต ซึ่งจากผลการทดลอง ซึ่งในที่นี้ แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าที่นิกเกต มีความน่าเชื่อถือ

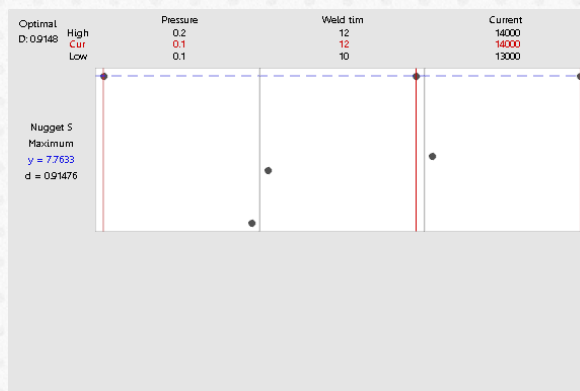
จากตาราง 3 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ  $R^2$  (adj) = 80.54% พบว่าค่าของตัวแปรที่มีอิทธิพลขนาดของนิกเกต ความเป็นไปได้ของการพยากรณ์เมื่อนำตัวแปรทั้งหมดมารวมกัน มีความน่าเชื่อถือในการพยากรณ์ หรือมีอิทธิพลถึง 80.54% ส่วนที่เหลืออีก 19.46% เกิดจากอิทธิพลของตัวแปรอื่นๆ แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาเชื่อม และ กระแสไฟมีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่า ทั้งสองปัจจัยมีผลกระทบร่วมกันที่ส่งผลต่อขนาดของนิกเกต



ภาพที่ 6 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อขนาดของนิกเกต (Nugget Size)

#### 4.2.3 การหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการทดลองด้วยวิธีการ Response Optimization

จากผลการทดลอง ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะกำหนดค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการเชื่อมด้านทานแบบจุด กรณีศึกษาเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี JIS G 3302 เพื่อให้ได้ขนาดของนิกเกต (Nugget Size) หาค่าด้วยวิธีการ Response Optimization ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ ค่าที่เหมาะสมในการเชื่อมด้านทานแบบจุด กรณีศึกษาเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี JIS G 3302 คือ แรงกดขึ้นงาน 0.1 เมกกะปาสคาล ระยะเวลาเชื่อม 12 ไซเคิล และกระแสไฟฟ้า 14,000 แอมแปร์ ได้ขนาดของนิกเกต (Nugget Size) คือ 7.7633 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แสดงค่าปัจจัยที่เหมาะสมในการทดลองวัดค่าขนาดของนิกเกต

### 4.3 อภิปรายผล

งานวิจัยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล การหาปัจจัยที่เหมาะสมในการเชื่อมด้านทานแบบจุด กรณีศึกษาเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี JIS G 3302 โดยผลพบว่า ปัจจัยที่เป็นอิทธิพลหลัก ส่งผลกระทบบต่อค่าแรงดึงเฉือน คือ แรงกดขึ้นงาน มีค่า P-Value < 0.0001 คือ แรงกดขึ้นงานที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงเฉือน อย่างมีระดับนัยสำคัญ 0.05 อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย คือ แรงกดขึ้นงาน กับระยะเวลาเชื่อม มีค่า P-Value ที่ 0.005 ซึ่ง คือ แรงกดขึ้นงาน และระยะเวลาเชื่อมที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงเฉือน อย่างมีระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้ ค่าที่เหมาะสมในการเชื่อมด้านทานแบบจุด กรณีศึกษาเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี JIS G 3302 คือ แรงกดขึ้นงาน 0.2 เมกกะปาสคาล, ระยะเวลาเชื่อม 12 ไซเคิล และกระแสไฟฟ้า 14,000 แอมแปร์ ได้ค่าแรงดึงเฉือน (Tensile shear) คือ 8.3570 kN และการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการเชื่อมด้านทานแบบจุด กรณีศึกษาเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี JIS G 3302 โดยผลพบว่า ปัจจัยที่เป็นอิทธิพลหลักส่งผลกระทบบต่อขนาดของนั้กเกิด คือ ระยะเวลาเชื่อม มีค่า P-Value ที่ 0.002 ซึ่งมีความน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ ระยะเวลาเชื่อมที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อขนาดของนั้กเกิด อย่างมีระดับนัยสำคัญ 0.05 และกระแสไฟฟ้า มีค่า P-Value ที่ 0.001 ซึ่งมีความน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ กระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อขนาดของนั้กเกิด อย่างมีระดับนัยสำคัญ 0.05 และอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย ส่งผลกระทบบต่อขนาดของนั้กเกิด คือ แรงกดขึ้นงานกับระยะเวลาเชื่อม มีค่า P-Value < 0.0001 แรงกดขึ้นงาน กับกระแสไฟฟ้า มีค่า P-Value < 0.0001 ระยะเวลาเชื่อม กับกระแสไฟฟ้ามีค่า P-Value ที่ 0.029 ซึ่งมีความน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 กล่าวคือ อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัยที่แตกต่างกันมีอิทธิพลขนาดของนั้กเกิด อย่างมีระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้ค่าที่เหมาะสมในการเชื่อมด้านทานแบบจุด กรณีศึกษาเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี JIS G 3302 คือ แรงกดขึ้นงาน 0.1 เมกกะปาสคาล ระยะเวลาเชื่อม 12 ไซเคิล และกระแสไฟฟ้า 14,000 แอมแปร์ ได้ขนาดของนั้กเกิด (Nugget Size) คือ 7.7633 มิลลิเมตร

### 4.4 บทสรุป

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลต่อการทดสอบแรงดึง (Tensile shear) และขนาดของนั้กเกิด (Nugget Size) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม โดยผ่านกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุด กรณีศึกษาเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี JIS G 3302 ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ กระแสไฟฟ้ามี 2 ระดับ 13,000 แอมแปร์ และ 14,000แอมแปร์ ระยะเวลาเชื่อมมี 2 ระดับ 10 ไซเคิล และ 12 ไซเคิล และแรงกดขึ้นงานมี 2 ระดับ 0.1 เมกกะปาสคาล และ 0.2 เมกกะปาสคาล ตัวแปรตามที่ศึกษาได้แก่ ค่าแรงดึงเฉือนสูงสุด ตามมาตรฐานแรงดึงเฉือน JIS Z 3140:1978 สามารถสรุปผลได้ดังนี้

4.4.1 ปัจจัยที่เป็นอิทธิพลหลักที่ส่งผลกระทบบต่อค่าแรงดึงเฉือน คือ แรงกดขึ้นงาน มีค่า P-Value < 0.0001 ซึ่งมีความน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ แรงกดขึ้นงานที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงเฉือน อย่างมีระดับนัยสำคัญ 0.05 อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย ที่ส่งผลกระทบบต่อค่าแรงดึงเฉือน คือ แรงกดขึ้นงาน และระยะเวลาเชื่อม มีค่า P-Value ที่ 0.005 ซึ่งมีความน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ แรงกดขึ้นงาน และระยะเวลาเชื่อมที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงเฉือน อย่างมีระดับนัยสำคัญ 0.05

4.4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าที่เหมาะสม ในการเชื่อมด้านทานแบบจุด กรณีศึกษาเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี JIS G 3302 คือ แรงกดขึ้นงาน 0.2 เมกกะปาสคาล ระยะเวลาเชื่อม 12 ไซเคิล และกระแสไฟฟ้า 14,000 แอมแปร์ ได้ค่าแรงดึงเฉือน (Tensile shear) คือ 8.3570 kN.

4.4.3 ปัจจัยที่เป็นอิทธิพลหลักที่ส่งผลกระทบบต่อขนาดของนั้กเกิด (Nugget Size) คือ ระยะเวลาเชื่อม มีค่า P-Value ที่ 0.002 ซึ่งมีความน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ ระยะเวลาเชื่อมที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อขนาดของนั้กเกิด อย่างมีระดับนัยสำคัญ 0.05 และกระแสไฟฟ้า มีค่า P-Value ที่ 0.001 ซึ่งมีความน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ กระแสไฟฟ้าที่

แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อขนาดของน้กเกต อย่างมีระดับนัยสำคัญ 0.05 อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย ส่งผลกระทบต่อขนาดของน้กเกต คือ แรงกดขึ้นงานกับระยะเวลาเชื่อม มีค่า P-Value < 0.0001 แรงกดขึ้นงาน กับกระแสไฟ มีค่า P-Value < 0.0001 ระยะเวลาเชื่อม กับกระแสไฟ ซึ่งค่า P-Value ที่ 0.029 ซึ่งมิต้านน้อยกว่ามีระดับนัยสำคัญ 0.05 กล่าวคือ อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัยที่แตกต่างกันมีอิทธิพลขนาดของน้กเกต อย่างมีระดับนัยสำคัญ 0.05

4.4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าที่เหมาะสม ในการเชื่อมตันทานแบบจุด กรณีศึกษาเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี JIS G 3302 คือ แรงกดขึ้นงาน 0.1 เมกกะปาสคาล ระยะเวลาเชื่อม 12 ไชเคิล และกระแสไฟฟ้า 14,000 แอมแปร์ ได้ค่าขนาดน้กเกต (Tensile shear) คือ 7.7633 มิลลิเมตร

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล ในการหาความเหมาะสมการเชื่อมตันทานแบบจุด กรณีศึกษาเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี JIS G 3302 ขอบคุณทุกๆ ท่าน ที่ไม่ได้กล่าวนาม ที่ได้ให้ความร่วมมือในการตรวจสอบ และเก็บข้อมูล ในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] T. Das. Resistance Spot Welding: Principles and Its Applications. Engineering Principles-Welding and Residual Stresses. 2022.
- [2] Si. Ali, SR. Pedapati. and Mokhtar Awang. A review of advances in resistance spot welding of automotive sheet steels: emerging methods to improve joint mechanical performance. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 118.5 (2022) 1335-1366.
- [3] GH. Farrahi, KR. Kashyzadeh, M. Minaei, A. Sharifpour, S. Riazi, Analysis of resistance spot welding process parameters effect on the weld quality of three-steel sheets used in automotive industry: Experimental and finite element simulation. *International Journal of Engineering*. 33.1(2020). 148-157.
- [4] H. Fujimoto, H. Oikawa, Y. Shintaro., T. Imamura, Resistance spot welding method. 2014.
- [5] N. Kawabe, H. Matsuda, R. Ikeda, Resistance spot-welded member and manufacturing method therefor. 2020.
- [6] L. Deng, Ji, Chuntao. An evaluating model of nugget size for resistance spot welding. In Proceedings of 2013 2<sup>nd</sup> International Conference on Measurement, Information and Control 1(2013) 711-714.
- [7] C. Rajarajan, P. Sivaraj, T. Sonar, S. Raja, N. Mathiazhagan, (2022). Nugget formation, microstructural features and strength of resistance spot welded cold-rolled dual-phase steel lap joints for automotive applications. *Materials Testing*. 64.8(2022) 1223-1233.

## การพัฒนาต้นแบบเครื่องวัดองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของดิน Prototype device development for measuring physical and chemical composition of soil

พิสุทธิ์ กระจ่างจิกุล<sup>1\*</sup> ศศิธร หาสิน<sup>1</sup> และ อภิษฎา สวัสดิ์<sup>1</sup>

<sup>1</sup>หลักสูตรนวัตกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ  
 มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

\*E-mail: Pisut.kla@vru.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาต้นแบบเครื่องวัดองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของดินในระดับห้องปฏิบัติการ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวัดค่าธาตุอาหารในดิน วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารที่ขาด วัดค่าพีเอชและความชื้นในดิน การตรวจวัดค่าธาตุอาหารหลักในดินประกอบด้วยไนโตรเจน โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส ผ่านเซนเซอร์ตรวจวัดธาตุอาหารและส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ภายในเครื่องเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลและรายงานปริมาณธาตุอาหารในดินที่มีและธาตุอาหารที่ขาด โดยข้อมูลปริมาณธาตุอาหารที่มีในดิน แสดงค่าในหน่วยเปอร์เซ็นต์ และปริมาณธาตุอาหารที่ต้องเติม แสดงค่าในหน่วย กิโลกรัมต่อไร่ และการวัดค่าพีเอชและความชื้นในดินผ่านเซนเซอร์และส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อแสดงค่าผ่านทางหน้าจอของเครื่อง เมื่อได้ต้นแบบเครื่องจึงดำเนินการทดสอบค่าความถูกต้อง (Accuracy) ของเครื่องมือ จากผลการทดสอบพบว่า ค่าพีเอชมีค่าความถูกต้อง ร้อยละ 98.71 ค่าความชื้นในดิน มีค่าความถูกต้อง ร้อยละ 87.80 ค่าไนโตรเจน มีค่าความถูกต้อง ร้อยละ 70.00 ค่าฟอสฟอรัส มีค่าความถูกต้อง ร้อยละ 46.67 ค่าโพแทสเซียม มีค่าความถูกต้อง ร้อยละ 86.67 การคำนวณปริมาณไนโตรเจนที่ต้องเติมเพิ่ม มีค่าความถูกต้อง ร้อยละ 61.67 การคำนวณปริมาณฟอสฟอรัสที่ต้องเติมเพิ่ม มีค่าความถูกต้อง ร้อยละ 92.58 และ การคำนวณปริมาณโพแทสเซียมที่ต้องเติมเพิ่ม มีค่าความถูกต้อง ร้อยละ 86.67 ค่าความถูกต้องของเครื่องมือแสดงให้เห็นว่า ต้นแบบเครื่องวัดองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของดิน สามารถนำไปพัฒนาให้มีค่าความถูกต้องในทุกพารามิเตอร์ เพื่อนำไปใช้จริงในพื้นที่เกษตรในการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างเหมาะสมต่อไป

**คำสำคัญ:** เครื่องวัดองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของดิน ค่าความถูกต้อง ธาตุอาหารในดิน

### Abstract

This research was the development of a prototype measuring device for the physical and chemical composition of soil in laboratory scale. The purpose of this research was measure the value of nutrients in the soil, analyze the amount of deficient nutrients, and also pH and soil moisture. Measuring the main soil nutrients including nitrogen, potassium, phosphorus through a nutrient measuring sensor and sending the data to a built-in microcontroller to analyze the data and report the amount of available nutrients in the soil and deficient nutrients. The amount of nutrients was expressed in percentage units

and the amount of nutrients add was expressed in kilograms per rai. It also has a function that can measure pH and soil moisture and send the data to a microcontroller to display the values via the unit's display. Once the prototype was obtained, testing the accuracy of the tool was carried out. The test results showed that the accuracy of pH measurement was 98.71%, the accuracy of soil moisture measurement was 87.80%, the accuracy of nitrogen measurement was 70.00%, the accuracy of phosphorus measurement was 46.67%, the accuracy of the potassium measurement was 86.67%. The accuracy of calculating the nitrogen, phosphorus and potassium that needs to be added was 61.67%, 92.58%, and 86.67%, respectively. The accuracy of the instrument shows that the prototype soil physical and chemical composition meter can be developed to have accuracy in all parameters for practical use in agricultural areas for appropriate use of chemical fertilizers.

**Keyword:** Physical and chemical composition measuring device of soil, Accuracy, Soil nutrient

## 1. บทนำ

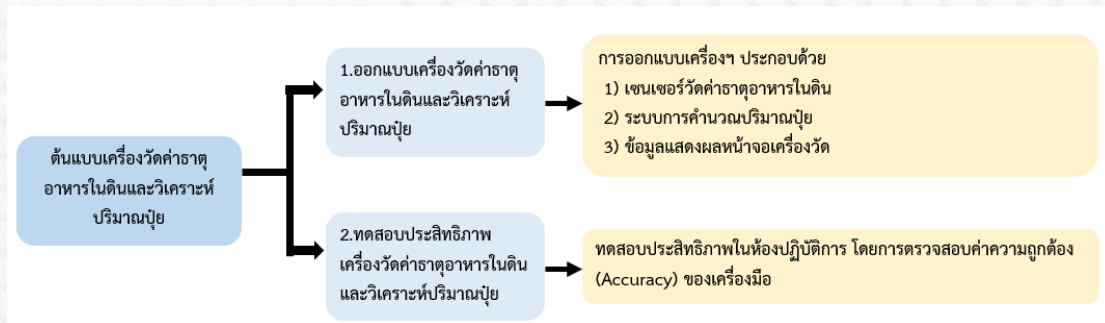
ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม [1] ซึ่งเกษตรกรมีการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกพืชเป็นจำนวนมาก เพื่อให้พืชได้รับสารอาหารที่เพียงพอ อย่างไรก็ตามการใช้ปุ๋ยเคมีปริมาณมากเกินไปในระยะยาวและการใช้ปุ๋ยเคมีอย่างไม่มีประสิทธิภาพไม่เพียงทำลายโครงสร้างของดิน ยังทำให้ดินแข็งและมีความเป็นกรด ขาดสมดุลของธาตุอาหาร แม้ว่าการใช้ปุ๋ยเคมีจะส่งผลกระทบต่อระยะยาวสำหรับพื้นที่ แต่การใช้ประโยชน์จากปุ๋ยเคมีสำหรับการเพาะปลูกนั้นยังมีความจำเป็นอย่างมาก เนื่องจากปุ๋ยเคมีเป็นธาตุอาหารที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมา เพื่อให้พืชแต่ละชนิดสามารถดูดซึมได้ดี อย่างไรก็ตามผลกระทบของการใช้ปุ๋ยที่มีปริมาณมากเกินไปไม่เพียงทำลายโครงสร้างดิน แต่ยังส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคเกษตร โดยในการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคเกษตรนั้น มีก๊าซเรือนกระจกหลัก คือ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) และไนตรัสออกไซด์ (N<sub>2</sub>O) โดยกิจกรรมการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดจากการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ และการเผาในพื้นที่เกษตร กิจกรรมที่มีการปลดปล่อยก๊าซมีเทน เกิดจากการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในสภาวะไร้ออกซิเจน รวมถึงจากการย่อยอาหารของสัตว์ การหมักมูลสัตว์ เศษซากพืช และกิจกรรมที่มีการปลดปล่อยไนตรัสออกไซด์ เกิดจากการเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในดิน และมูลสัตว์ โดยถ้ามีการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนมากเกินไปจึงส่งผลให้เกิดการปล่อยก๊าซไนตรัสออกไซด์มากขึ้น

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญในการจัดการพื้นที่เกษตรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยการนำเทคโนโลยีการตรวจวัดค่าต่างๆ มาประยุกต์ใช้ในพื้นที่เกษตร [2] ซึ่งเป็นการส่งเสริมการทำเกษตรอย่างมีประสิทธิภาพ วางแผนการใช้ปุ๋ยอย่างถูกวิธี ทำให้ลดสารเคมีตกค้างในดิน ลดการเสื่อมสภาพของดิน และยังสามารถนำไปสู่การลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก อีกทั้งลดรายจ่ายของเกษตรกรได้อีกด้วย

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อพัฒนาต้นแบบเครื่องวัดองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของดิน ในระดับห้องปฏิบัติการ

### 3. กรอบแนวคิด



### 4. วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาต้นแบบเครื่องวัดองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของดิน ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยวิธีดำเนินการวิจัยสามารถ แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

**ขั้นตอนที่ 1** ออกแบบองค์ประกอบและรูปร่างของเครื่องวัดองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของดิน ดังนี้

1. กำหนดพารามิเตอร์ในการตรวจวัดองค์ประกอบทางกายภาพและทางเคมี ที่จำเป็นต่อการใช้งานของเกษตรกร ดังนี้ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ค่าพีเอช และค่าความชื้นในดิน
2. คัดเลือกเซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้กำหนดไว้ในข้อ 1
3. ออกแบบลักษณะการแสดงผลข้อมูลผ่านทางหน้าจอเครื่องวัด
4. ออกแบบองค์ประกอบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น แบตเตอรี่ของเครื่อง
5. สร้างสมการการคำนวณปริมาณธาตุอาหารที่พืชต้องการ ดังนี้

การคำนวณในเครื่อง จะแบ่งวิธีการคำนวณดังนี้

#### สมการชุดที่ 1

$$\%N \text{ ที่พืชต้องการ} - \%N \text{ ที่วัดได้} = \%N \text{ ที่ต้องการจริง} \quad (1)$$

$$\%P \text{ ที่พืชต้องการ} - \%P \text{ ที่วัดได้} = \%P \text{ ที่ต้องการจริง} \quad (2)$$

$$\%K \text{ ที่พืชต้องการ} - \%K \text{ ที่วัดได้} = \%K \text{ ที่ต้องการจริง} \quad (3)$$

#### สมการชุดที่ 2

$$\text{ปริมาณ } N \text{ ที่ต้องเติม (กก./ไร่)} = (\text{ปริมาณ } N \text{ ที่ต้องการ (กก./ไร่)} \times \%N \text{ ที่วัดได้}) \div \%N \text{ ที่ต้องการจริง} \quad (4)$$

$$\text{ปริมาณ } P \text{ ที่ต้องเติม (กก./ไร่)} = (\text{ปริมาณ } P \text{ ที่ต้องการ (กก./ไร่)} \times \%P \text{ ที่วัดได้}) \div \%P \text{ ที่ต้องการจริง} \quad (5)$$

$$\text{ปริมาณ } K \text{ ที่ต้องเติม (กก./ไร่)} = (\text{ปริมาณ } K \text{ ที่ต้องการ (กก./ไร่)} \times \%K \text{ ที่วัดได้}) \div \%K \text{ ที่ต้องการจริง} \quad (6)$$

**ขั้นตอนที่ 2** จัดหาวัสดุและอุปกรณ์สำหรับการทำต้นแบบเครื่องวัดองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของดินในระดับห้องปฏิบัติการ ดังนี้

1. หน้าจอสำหรับแสดงผล กว้าง 5.1 เซนติเมตร ยาว 7.8 เซนติเมตร
2. ตัวเครื่องพลาสติกสำหรับหุ้มหน้าจอและแผงวงจรด้านใน
3. บอร์ดควบคุมที่รับค่าจากเซนเซอร์เพื่อแสดงผลที่หน้าจอ
4. เซนเซอร์สำหรับตรวจวัดองค์ประกอบทางกายภาพและเคมี

### ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องวัดองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของดิน

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือ เป็นการทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยการตรวจสอบค่าความถูกต้อง (Accuracy) เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถของเครื่องมือวัดในการอ่านค่าหรือแสดงค่าที่วัดได้เข้าใกล้ค่าจริงสามารถคำนวณได้ ดังสมการ

$$\%Accuracy = 100 - \%Error \quad (7)$$

$$\%Error = Relative\ error \times 100 \quad (8)$$

$$Relative\ error = \left| \frac{X_{mea} - X_t}{X_t} \right| \quad (9)$$

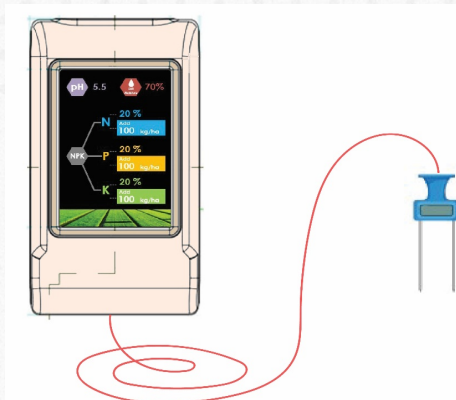
เมื่อ

$X_{mea}$  คือ ค่าที่ได้จากการวัด (measure value)

$X_t$  คือ ค่าจริง (true value)

## 5. ผลการวิจัย

1. องค์ประกอบและรูปร่างของเครื่องวัดองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของดิน ที่ผ่านการออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งานของเกษตรกร ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ภาพจำลองรูปแบบเครื่องวัดค่าธาตุอาหารในดิน

การทำงานของเครื่องวัดองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของดิน ดำเนินการดังนี้

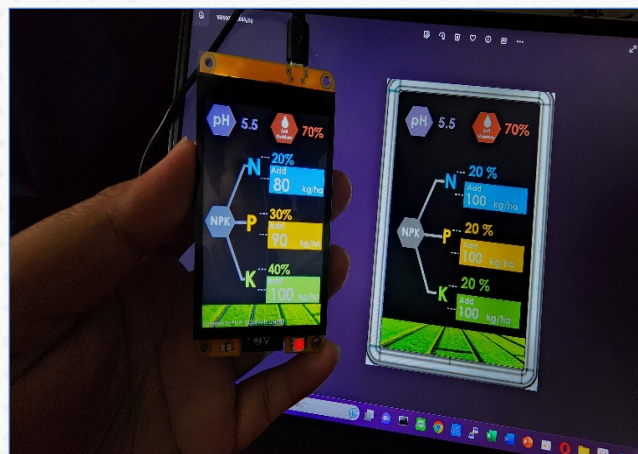
- 1.1 นำเซ็นเซอร์ไปเสียบบริเวณพื้นดินที่ต้องการตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ
- 1.2 เซ็นเซอร์มีความยาว 6.7 เซนติเมตร ดังภาพที่ 2 เริ่มอ่านค่าธาตุอาหารในดิน (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) ค่าพีเอช และค่าความชื้นในดิน
- 1.3 เมื่อเซ็นเซอร์ได้รับข้อมูลค่าธาตุอาหารในดิน จะส่งข้อมูลไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ภายในเครื่องเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลรายงานปริมาณธาตุอาหารในดินและธาตุอาหารที่ขาด ตามสมการคำนวณที่บรรจุเข้าไปในระบบ โดยข้อมูลปริมาณธาตุอาหารที่มีในดิน แสดงค่าในหน่วยเปอร์เซ็นต์ และปริมาณธาตุอาหารที่ต้องเติม แสดงค่าในหน่วย กิโลกรัมต่อไร่ และแสดงค่าผ่านทางหน้าจอของเครื่องมือวัด





ภาพที่ 2 ลักษณะเซนเซอร์ และการใช้งาน

1.4 เมื่อเซนเซอร์ได้รับข้อมูลค่าพีเอชและความชื้นในดิน จะส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อประมวลผลและแสดงค่าผ่านทางหน้าจอของเครื่องมือวัด ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 หน้าจอเครื่องวัดองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของดิน

หน้าจอแสดงผลของเครื่องวัดค่าธาตุอาหาร หน้าจอสามารถแสดงค่าได้หลายค่า หน้าจอที่ปรากฏในภาพที่ 3 มีการแสดงค่าของ เปอร์เซ็นต์ของค่าไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม ค่าพีเอช และค่าความชื้นในดิน ค่าไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม ในส่วนที่รายงานค่าที่ต้องเติมเพิ่ม คือ ค่าที่ได้จากการคำนวณข้อมูล จากสมการที่ได้บรรจุลงไปเครื่อง

## 2. การตรวจสอบค่าความถูกต้อง (Accuracy) ของเครื่องมือ

จากผลทดสอบค่าความถูกต้อง (Accuracy) ของเครื่องมือ ที่แสดงดังตารางที่ 1 พบว่า ร้อยละความถูกต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 46.667-98.708

ตารางที่ 1 ผลการตรวจสอบค่าความถูกต้อง (Accuracy) ของเครื่องมือ

Soil parameter measurement	ค่าจริง	ค่าที่ได้จากการวัด	S.D.	Relative Error	% Error	%Accuracy
pH	6.44	6.52	0.06	0.01	1.28	98.71
Soil moisture (%)	8.16	9.17	0.29	0.11	12.20	87.80
N (Nitrogen)	0.09	0.01	0.00	0.30	30.00	70.00
P (Phosphorus)	0.09	0.02	0.00	0.52	53.32	46.67
K (Potassium)	0.02	0.02	0.00	0.13	13.32	86.67
N add (Nitrogen)	0.02	0.01	0.00	0.37	38.32	61.67
P add (Phosphorus)	0.26	0.24	0.01	0.06	7.39	92.58
K add (Potassium)	0.02	0.03	0.04	0.12	13.32	86.67

โดยที่ค่าพีเอชมีค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ 1.28 และมีค่าความถูกต้อง ร้อยละ 98.71 ค่าความชื้นในดินมีค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ 12.20 และมีค่าความถูกต้อง ร้อยละ 87.79 ค่าไนโตรเจนมีค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ 30.00 และมีค่าความถูกต้อง ร้อยละ 70.00 ค่าฟอสฟอรัสมีค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ 53.32 และมีค่าความถูกต้อง ร้อยละ 46.68 ค่าโพแทสเซียมมีค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ 13.32 และมีค่าความถูกต้อง ร้อยละ 86.67 ค่าไนโตรเจนที่ต้องเติมในดินมีค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ 38.32 และมีค่าความถูกต้อง ร้อยละ 61.67 ค่าฟอสฟอรัสที่ต้องเติมในดินมีค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ 7.41 และมีค่าความถูกต้อง ร้อยละ 92.58 ค่าโพแทสเซียมที่ต้องเติมมีค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ 13.32 และมีค่าความถูกต้อง ร้อยละ 86.67

## 6. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การพัฒนาต้นแบบเครื่องวัดองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของดินโดยพัฒนาจากเครื่องต้นแบบระบบให้ปุ๋ยกึ่งอัตโนมัติตามค่าธาตุอาหารในดิน วิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารที่ขาด วัดค่าพีเอชและความชื้นในดิน จะมีฟังก์ชันการทำงานที่สามารถวัดค่าธาตุอาหารหลัก ผ่านเซนเซอร์ตรวจวัดธาตุอาหารและส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ภายในเครื่อง เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลรายงานปริมาณธาตุอาหารในดินและธาตุอาหารที่ขาด ตามสมการคำนวณที่บรรจุเข้าไปในระบบ โดยข้อมูลปริมาณธาตุอาหารที่มีในดิน แสดงค่าในหน่วยเปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีฟังก์ชันการทำงานที่สามารถวัดค่าพีเอชและความชื้นในดินและส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อแสดงค่าผ่านทางหน้าจอของเครื่องได้ ซึ่งเมื่อนำเครื่องมือไปทดสอบค่าความถูกต้อง (Accuracy) ของเครื่องมือ พบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง ร้อยละ 46.67-98.71 จากค่าความถูกต้องของเครื่องมือแสดงให้เห็นว่า ต้นแบบเครื่องวัดองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของดิน มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดในสภาพแวดล้อมจริง อย่างไรก็ตาม มีหลายพารามิเตอร์ที่ต้องได้รับการปรับแก้ เนื่องจากค่าความถูกต้องต่ำ ก่อนการนำไปใช้จริงในพื้นที่เกษตร เพื่อให้เกษตรกรสามารถนำเครื่องมือไปใช้ในการเติมปุ๋ยเคมีในพื้นที่เกษตรได้อย่างเหมาะสม และลดการตกค้างของปุ๋ยเคมีในดินได้

## 7. ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยการพัฒนาและผลิตเครื่องต้นแบบเครื่องวัดองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของดิน ทำให้ได้ทราบถึงประสิทธิภาพของเครื่องในการควบคุมปริมาณการใช้ปุ๋ยการวัดค่าพีเอชและความชื้นในดิน อย่างไรก็ตามในการวิจัย

ถัดไปควรนำเครื่องต้นแบบเครื่องวัดองค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของดินที่ดำเนินการในห้องปฏิบัติการ ไปปรับแก้ให้ทุกพารามิเตอร์มีค่าความถูกต้อง (Accuracy) สูงขึ้น ก่อนนำไปใช้ในพื้นที่จริง

#### 8. เอกสารอ้างอิง

- [1] วันสพรรัศม์ สวัสดิ์, เสาวลักษณ์ เฮ้าสกุล, และนิพนธ์ พิสุทธิไพศาล. ระบบเกษตรอัจฉริยะเพื่อการจัดการนาข้าวที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม. *The Journal of Industrial Technology*. 18(2)(2565) 217-229.
- [2] Verdouw, Wolfert, Tekinerdogan. Internet of Things in agriculture. *CAB Reviews Perspectives in Agriculture Veterinary Science Nutrition and Natural Resources*. 11(35)(2016) 1-12.

## การศึกษาคุณสมบัติของเปลือกสับปะรด และเปลือกไข่ไก่เพื่อทดแทนพีทมอส สำหรับเพาะปลูก

### Study of the Properties of Pineapple Peel and Chicken Eggshell to Replace Peat Moss for Planting

สุปัญญา เดชะคำภู<sup>1</sup> ณัฐพร จอนสวัน<sup>1</sup> ปุณณภพ ทองละมุล<sup>1</sup> ศุภชัย หิรัญศุภโชค<sup>1</sup>  
กิตติยศ ตั้งสัจจวงศ์<sup>1</sup> และ วรณัฐ ดิละมัน<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

\*E-mail: woranuch.d@rmutp.ac.th

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของเปลือกสับปะรด เปลือกไข่ไก่ และพีทมอส ที่ผ่านกระบวนการเผาด้วยเตาเผาอุณหภูมิสูง (Furnace) ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติวัสดุปลูกประกอบด้วยความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) และการวิเคราะห์ทางเคมีประกอบด้วยธาตุอาหารหลักของพืช 3 ชนิด (ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม) การวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุ (OM) และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) ผลการศึกษาพบว่า ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของเปลือกสับปะรด และเปลือกไข่ไก่ มีค่าเท่ากับ 10 และ 9.38 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ถูกจัดเป็นด่างจัด ในขณะที่พีทมอสมีค่าเป็นกรดอ่อนเท่ากับ 5.26 สำหรับค่าการนำไฟฟ้าของเปลือกสับปะรดมีค่าเท่ากับ 31.9 ds/m เปลือกไข่ไก่และพีทมอส มีค่าเท่ากับ 0.38 ds/m, 2.48 ds/m ตามลำดับ ผลการทดสอบธาตุอาหารหลัก พบว่า เปลือกสับปะรดมีธาตุอาหารมากที่สุด ประกอบด้วย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมีค่าร้อยละ 1.04, 2.95 และ 15.2 ตามลำดับ การวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) พบว่าอินทรีย์วัตถุของพีทมอสมีค่ามากที่สุดร้อยละ 87.42 รองลงมาคือเปลือกสับปะรดร้อยละ 20.5 และเปลือกไข่ไกร้อยละ 2.82 ตามลำดับ ในส่วนของผล อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) พีทมอสมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 46.83 รองลงมาคือเปลือกสับปะรดมีค่าเท่ากับ 11.5 และเปลือกไข่ไก่มีค่าเท่ากับ 9.08 ตามลำดับ ในการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นพบว่าเปลือกสับปะรดและเปลือกไข่ไก่สามารถนำมาใช้ ทดแทนพีทมอสได้ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้นจำเป็นต้องกำหนดอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการนำมาทำเป็นวัสดุเพาะปลูก เพื่อใช้ทดแทนพีทมอสจากธรรมชาติ นอกจากนี้ยังสามารถลดของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตทางการเกษตร อุตสาหกรรมและอาหารได้ดี

**คำสำคัญ:** เปลือกสับปะรด เปลือกไข่ไก่ พีทมอส

#### Abstract

The purpose of this research was to study the basic properties of pineapple peels, chicken eggshells, and peat moss that have been in a high-temperature by kiln. The properties analysis of the planting material consisted of alkaline acidity (pH), conductivity (EC), and chemical analysis consisting of

three main plant nutrients (nitrogen, phosphorus, and potassium), organic matter analysis (OM), and carbon-to-nitrogen ratio (C/N). The alkaline acidity was 10 and 9.38 respectively. Similar values are classified as very alkaline, while peat moss has a weak acidity is 5.26 The conductivity of pineapple peel was 31.9 ds/m; chicken eggshell and peat moss were 0.38 ds/m and 2.48 ds/m, respectively. Macronutrient Test Results It was found that pineapple peel has the most nutrients consisting nitrogen, phosphorus, and potassium. Were 1.04, 2.95, and 15.2, respectively. Analysis of organic matter and the ratio of carbon to nitrogen (C/N) showed that peat moss organic matter was the most valuable 87.42 followed by pineapple peel 20.5 and chicken eggshell 9.08, respectively. The results of the study and preliminary analysis of the data It was found that pineapple peels and chicken egg shells can be used to replace of peat moss. To achieve better efficiency, it is necessary to determine the optimal ratio for making planting material to replace natural peat moss. It can also lessen the waste produced by industrial, food, and agricultural production methods.

**Keywords:** Pineapple peel, Chicken eggshell, Peat moss

## 1. บทนำ

กระบวนการผลิตจากการเกษตร อุตสาหกรรมและอาหาร ก่อให้เกิดขยะและของเสียเป็นจำนวนมากที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมเหล่านี้มีปริมาณที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับแนวทางในการบริหารจัดการ [1] แม้ว่าหลาย ๆ หน่วยงานพยายามพัฒนาและปรับปรุงวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้ให้สามารถนำกลับมาใช้งานและเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งแล้ว แต่ยังคงมีวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมากที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ให้คุ้มค่าได้ [2]

พีท (Peat) คือ ซากพืชที่ทับถมกันมานานเป็นเวลานับพันปี และมอส (Moss) เป็นพืชชนิดหนึ่ง มีขนาดเล็ก ก่อตัวเรียงกันเป็นแผ่นติดกันหนาแน่น มักขึ้นในบริเวณที่มีความชื้นสูง ถูกค้นพบโดย Lennart von Post ในปี ค.ศ. 1926 โดยแบ่งแยกตามระดับความชื้นและระดับการย่อยสลายตัว ได้แก่ พีทมอสขาว (White Peat Moss) คือ พีทมอสที่อยู่ชั้นด้านบน มีการย่อยสลายไม่มาก มีคุณสมบัติเหนียว มีสีน้ำตาลอ่อน ความชื้นพอดี เหมาะสำหรับใช้เป็นวัสดุแบบปลูกและแบบเพาะสำหรับพืชที่ไม่ต้องการความชื้น พีทมอสดำ (Black Peat Moss) คือ พีทมอสที่อยู่ชั้นล่างลงไป มีคุณสมบัติเป็นเนื้อละเอียด มีความชื้นสูง สีดำ เหมาะสำหรับใช้เพาะต้นกล้า ไม่นิยมนำมาปลูก เนื่องจากเนื้อดินมีความละเอียดและมีอนุภาคของดินที่หนาแน่นจนเกินไป [3]

ในปัจจุบันประเทศไทยได้นิยมใช้พีทมอสที่นำเข้าจากต่างประเทศมาใช้เป็นวัสดุเพาะปลูกและปรับปรุงดิน เนื่องจากพีทมอสเป็นวัสดุปลูกที่ดีสำหรับการเพาะเมล็ดและต้นกล้า มีคุณสมบัติปลอดเชื้อ ไม่มีแบคทีเรีย กักเก็บความชื้นได้ดี จึงเป็นวัสดุที่เหมาะสมในการเพาะปลูกต้นกล้า [3] พีทมอสไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากข้อจำกัดของเวลา การขุดและการผลิต ทั้งนี้สถานที่เกิดของพีทมอส เช่น พื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติ เป็นพื้นที่ที่มีการกักเก็บคาร์บอนไว้ จากข้อมูลของ International Peat Society ระบุว่า กระบวนการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการขุดพีทมอส อาจจะทำให้ระบบนิเวศโดยรอบพื้นที่ชุ่มน้ำได้รับผลกระทบทุก ๆ ปีพื้นที่ของพีทมอส จะสร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปริมาณ 1.1 กิโลกรัมต่อ 1 ตารางเมตร ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นข้อถกเถียงกันระหว่างบริษัทผู้ผลิตพีทมอสและนักอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม [4] ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้ทางผู้ร่วมวิจัยจึงเล็งเห็นการนำของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตทางการเกษตร อุตสาหกรรมและอาหารมาทำการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นเพื่อหาวัสดุที่สามารถนำมาทดแทนการใช้พีทมอสจากธรรมชาติได้ วัสดุทดแทนพีทมอสที่มีความเหมาะสมจะช่วยลดปัญหาการขุดพีทมอสจากธรรมชาติซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของแหล่งกำเนิดก๊าซเรือนกระจกในปัจจุบัน

## 2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

### 2.1 การเตรียมวัสดุ

2.1.1 นำวัสดุทั้ง 2 ชนิด ประกอบด้วย เปลือกสับปะรดและเปลือกไข่ไก่ไปตากแดดให้แห้ง จากนั้นทำให้มีขนาดเล็กกลงเพื่อนำไปใส่ลงในบ่อกวนได้อย่างเหมาะสม

2.1.2 นำบ่อกวนที่เตรียมเปลือกสับปะรดและเปลือกไข่ไก่ไว้ นำใส่เข้าเตาเผาอุณหภูมิสูงแล้วทำการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

2.1.3 เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดไว้ปิดเครื่องเตาเผาอุณหภูมิสูง รอจนกว่าอุณหภูมิของเตาเผาตกลงประมาณ 35 – 40 องศาเซลเซียส นำตัวอย่างที่ทำการเผาแล้วบรรจุลงในภาชนะที่เตรียมไว้

### 2.2 วิธีการวิจัย

2.2.1 การวิเคราะห์สิ่งแวดลอมวัสดุปลูก ตามวิธีของกรมวิชาการเกษตร [5] ดังนี้

(1) การวิเคราะห์ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

ดำเนินการการปรับเทียบค่าเครื่องวัด pH meter ด้วยสารละลายมาตรฐาน (Standard buffer) ได้แก่ pH 4, pH 7, และ pH 10 จากนั้นทำการชั่งตัวอย่างทั้ง 2 ชนิด จำนวน 10 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร (อัตราส่วนของตัวอย่างต่อน้ำ = 1 : 2) คนด้วยแท่งแก้ว ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที เปิดเครื่อง pH meter นำหัววัดกระเปาะแก้ว (glass electrode) จุ่มลงในตัวอย่าง ค่าที่ได้จะแสดงผลเป็นตัวเลขที่หน้าปัดเครื่อง pH meter ก่อนและหลังจากวิเคราะห์แต่ละตัวอย่าง ใช้น้ำกลั่นชะล้างหัววัดกระเปาะแก้วให้สะอาด เพื่อวัดตัวอย่างต่อไป

(2) การวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity : EC)

เตรียมตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ทั้ง 2 ชนิด จากนั้นชั่งตัวอย่าง 5 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ ขนาด 125 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่า (Shaker) นาน 30 นาที จากนั้นกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ลงในบีกเกอร์ ขนาด 50 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการนำไฟฟ้า (EC) ด้วยเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity meter)

2.2.2 การวิเคราะห์ทางเคมี [5]

(1) วิเคราะห์ธาตุอาหารหลักในตัวอย่างของพืช 3 ชนิด ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม โดยแต่ละชนิดใช้หลักการในการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน การวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) โดยใช้หลักการเคลดาลท์ (Kjeldahl Method) การวิเคราะห์ฟอสฟอรัส (Total P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) โดยใช้หลักการดูดกลืนรังสียูวีด้วยเครื่อง UV-Spectrophotometer การวิเคราะห์โพแทสเซียม (Total K<sub>2</sub>O) โดยใช้หลักการวัดแสงเปลวไฟ (Flame Photometer)

(2) การวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอนและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) ซึ่งตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการอบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส นาน 20 ชั่วโมง ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 0.1000 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นเติม 1 N K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> จำนวน 10 มิลลิลิตร และเติม H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (conc.) จำนวน 10 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ข้ามคืน จากนั้นเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาณ 100 มิลลิลิตร และเติม O-phenanthroline ferrous sulfate 10 หยด ไตเตรทด้วย FeSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O จนได้สารละลายสีเขียว และเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นน้ำตาลปนแดงถึงจุดยุติ ทำ blank โดยใช้ 1 N K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 10 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นปริมาณเดียวกับที่เติมลงไปในตัวอย่างเป็นวิธีเดียวกันกับตัวอย่าง

$$\text{ร้อยละอินทรีย์คาร์บอน (OC)} = \frac{0.3896 \times N \times B (C - D)}{AC}$$

โดยที่ A = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

B = ปริมาตรของ K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> ที่เติมลงไปในตัวอย่างเป็นวิธีเดียวกันกับ blank (มิลลิลิตร)

C = ปริมาตรของ FeSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O ที่ไตเตรทพอดีกับ K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> ใน blank (มิลลิลิตร)

D = ปริมาตรของ  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  ที่ไตเตรทพอดีกับ  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  ในตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

N = ความเข้มข้นเป็น normal ของสารละลายมาตรฐาน  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

ร้อยละอินทรีย์วัตถุ (OM) = % OC x 1.7241

ค่า C/N = (% OC) / (% TN)

% TN = เปอร์เซ็นต์ของ Total Nitrogen

### 3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผลจากการศึกษาพบว่าเปลือกสับปะรด และเปลือกไข่ไก่ที่ผ่านการเผาด้วยเตาเผาอุณหภูมิสูง (Furnace) พบว่าเปลือกสับปะรดมีลักษณะที่เป็นเถ้าสีดำปนเทาและมีมวลที่ค่อนข้างเบา ขณะที่เปลือกไข่ไก่ มีลักษณะเป็นชิ้นละเอียด สีเทาเข้ม ลักษณะของตัวอย่างทั้ง 2 ชนิด สามารถนำไปเป็นส่วนผสมเพื่อจัดทำวัสดุปลูกทดแทน พีทมอสได้ต่อไปดังแสดงในภาพที่ 1



(ก)



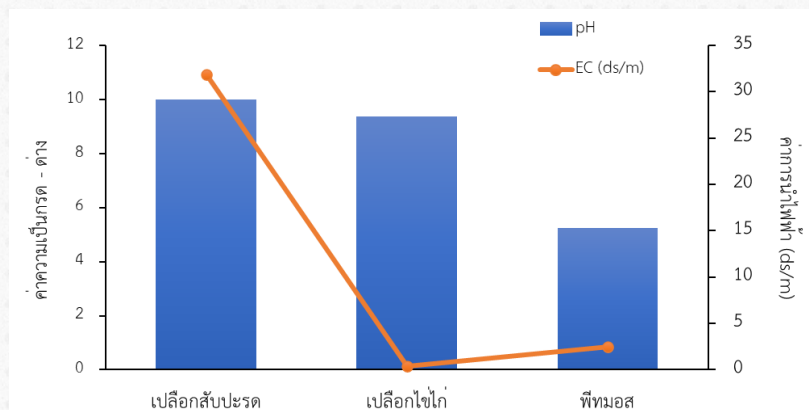
(ข)

ภาพที่ 1 ลักษณะของวัสดุปลูกที่ผ่านการเผา (ก) เปลือกสับปะรด (ข) เปลือกไข่ไก่

#### 3.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติวัสดุปลูก

ผลการทดสอบค่าความเป็นกรดเป็นด่างของตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด พบว่าเปลือกสับปะรดมีค่า pH เท่ากับ 10 ซึ่งเป็นค่าที่สูงที่สุด (เมื่อเปลือกสับปะรดถูกเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เถ้าที่เกิดขึ้นจะมีสภาพเป็นด่างเนื่องจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ เถ้าที่ได้จะประกอบด้วยแร่ธาตุต่าง ๆ ซึ่งมีองค์ประกอบเป็นต่าง) [6] รองลงมาคือ เปลือกไข่ไก่ มีค่า pH เท่ากับ 9.38 และพีทมอสมีค่า pH เท่ากับ 5.26 ตามลำดับ และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากตัวอย่างทั้ง 2 ชนิด กับพีทมอส แสดงให้เห็นว่าเปลือกสับปะรดและเปลือกไข่ไก่จัดเป็นด่างจัด และพีทมอสจัดเป็นกรดอ่อน เมื่อทำการเปรียบเทียบระดับการประเมินค่าของดิน [7]

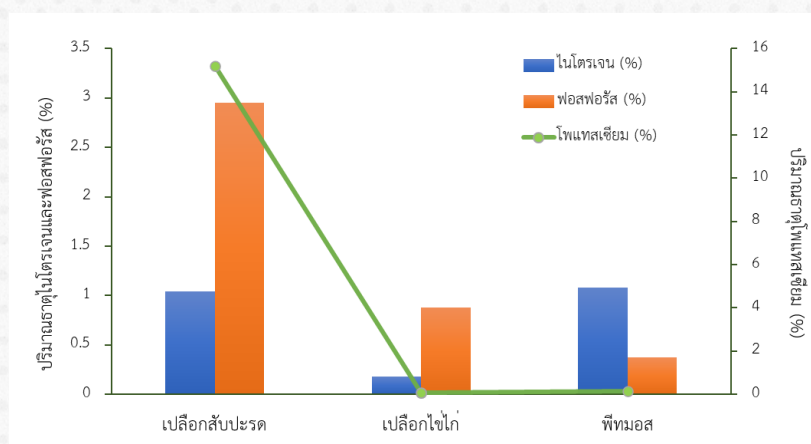
ผลการวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าของตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด พบว่าเปลือกสับปะรดมีค่าอยู่ที่ 31.9 ds/m เปลือกไข่ไก่มีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ที่ 0.38 ds/m และพีทมอสมีค่าอยู่ที่ 2.48 ds/m จะเห็นได้ว่าผลจากการทดลองเปลือกสับปะรดมีค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุด เปลือกไข่ไก่จัดอยู่ในระดับค่าการนำไฟฟ้าที่ต่ำมาก และพีทมอสมีค่าการนำไฟฟ้าที่ต่ำ จะเห็นได้ว่าค่าการนำไฟฟ้าของเปลือกสับปะรดมีค่าค่อนข้างสูงซึ่งสัมพันธ์กับค่า pH ที่มีค่าเป็นด่างจัด ดังแสดงในภาพที่ 2 ทั้งนี้ระดับค่าการนำไฟฟ้ามีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยเมื่อค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นการเจริญเติบโตของพืชจะลดลง [8]



ภาพที่ 2 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างและค่าการนำไฟฟ้าของเปลือกสับปะรด เปลือกไข่ไก่ และพีทมอส

### 3.2 ผลการวิเคราะห์ธาตุอาหารหลัก

ผลการศึกษาวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักประกอบด้วยธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมในตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด พบว่าธาตุไนโตรเจนในพีทมอสมีค่ามากที่สุดเท่ากับร้อยละ 1.08 เปลือกสับปะรดมีค่าเท่ากับร้อยละ 1.04 และเปลือกไข่ไก่มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.18 ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบระดับการประเมินไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์ของเปลือกสับปะรดอยู่ในระดับต่ำ เปลือกไข่ไก่อยู่ในระดับต่ำมาก และพีทมอสอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งตัวอย่างที่มีองค์ประกอบของธาตุไนโตรเจนสูง จะทำให้มีส่วนช่วยในการสร้างใบ และความสูงของพืช สำหรับผลการวิเคราะห์ธาตุฟอสฟอรัสที่พบในตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด พบว่าเปลือกสับปะรดมีค่ามากที่สุดเท่ากับร้อยละ 2.95 เปลือกไข่ไก่และพีทมอสพบค่าฟอสฟอรัสใกล้เคียงกันเท่ากับร้อยละ 0.88 และร้อยละ 0.37 ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบระดับการประเมินฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ทั้ง 3 ตัวอย่าง อยู่ในระดับต่ำมาก ซึ่งตัวอย่างที่มีองค์ประกอบของธาตุฟอสฟอรัสจะทำให้พืชสามารถสร้างดอก และเป็นองค์ประกอบที่ช่วยในการสร้างกรดนิวคลีอิก ฟอสโฟลิพิด และโคเอนไซม์หลายชนิดที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช และผลการวิเคราะห์ธาตุโพแทสเซียม พบว่าในเปลือกสับปะรดพบมีค่ามากที่สุดเท่ากับร้อยละ 15.2 พีทมอสและเปลือกไข่ไก่มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.13 และร้อยละ 0.07 ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบระดับการประเมินโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ ทั้ง 3 ตัวอย่าง อยู่ในระดับต่ำมาก ซึ่งตัวอย่างที่มีองค์ประกอบของธาตุโพแทสเซียมสูงจะช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ เพิ่มความหวานในพืช ช่วยให้ผลเจริญเติบโต

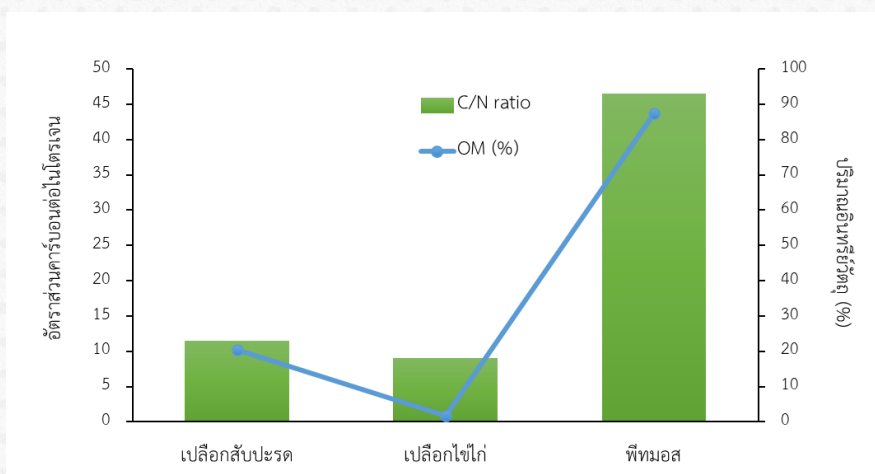


ภาพที่ 3 ปริมาณธาตุอาหารหลักประกอบด้วยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมของเปลือกสับปะรด เปลือกไข่ไก่ และพีทมอส



### 3.3 ผลการวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด พบว่าเปลือกสับปะรดมีค่าเท่ากับ 11.5 เปลือกไข่มีค่าเท่ากับ 9.08 และพีทมอสมีค่าเท่ากับ 46.83 จะเห็นได้ว่า ค่าของพีทมอสมีค่าสูงที่สุดรองลงมาคือเปลือกสับปะรด และเปลือกไข่ ตามลำดับ ตัวอย่างที่มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมากอัตราการเจริญเติบโตของต้นพืชจะช้าในส่วนของค่าที่น้อยกว่าพืชจะสามารถเจริญเติบโตได้ดี สำหรับผลการวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุของตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด พบว่าเปลือกสับปะรดมีค่าเท่ากับร้อยละ 20.5 เปลือกไข่มีค่าเท่ากับร้อยละ 2.82 และพีทมอสมีค่าเท่ากับร้อยละ 87.42 เมื่อทำการเปรียบเทียบระดับการประเมินปริมาณอินทรีย์วัตถุเปลือกสับปะรดอยู่ในระดับปานกลาง เปลือกไข่อยู่ในระดับต่ำมาก และพีทมอสอยู่ในระดับสูงมาก



ภาพที่ 4 อินทรีย์วัตถุและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ของวัสดุปลูกทั้ง 3 ชนิด

### 4. บทสรุป

จากการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของตัวอย่าง พบว่าผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวอย่างทั้ง 2 ชนิด มีความเป็นกรดเป็นด่างของเปลือกสับปะรด และเปลือกไข่ จัดเป็นต่างจัด และพีทมอสจัดเป็นกรดอ่อน ผลการวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าพบว่าเปลือกสับปะรดมีความเค็มจัด เปลือกไข่ไม่มีค่าความเค็ม และพีทมอสมีค่าความเค็มที่น้อย สำหรับผลการศึกษาธาตุอาหารหลักที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช พบว่าเปลือกสับปะรดมีระดับการประเมินไนโตรเจนที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ เปลือกไข่อยู่ในระดับต่ำมาก และพีทมอสอยู่ในระดับต่ำ ฟอสฟอรัสจากตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด มีค่าการประเมินอยู่ในระดับต่ำมาก และค่าการประเมินโพแทสเซียมจากตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด อยู่ในระดับต่ำมาก ตัวอย่างที่มาจากเปลือกสับปะรดมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชมากที่สุด ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ของตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด พบว่าเปลือกสับปะรด มีค่าอยู่ในระดับต่ำ เปลือกไข่อยู่ในระดับต่ำมาก และพีทมอสอยู่ในระดับสูง ซึ่งตัวอย่างที่มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่หมักตัวไม่สมบูรณ์จะดูดไนโตรเจนมาใช้ย่อยสลายมากขึ้น ทำให้พืชขาดไนโตรเจน ซึ่งจะทำให้พืชมีการเจริญเติบโตช้าและแสดงอาการใบเหลือง ผลการวิเคราะห์ค่าอินทรีย์วัตถุในดิน พบว่าเปลือกสับปะรดอยู่ในระดับปานกลาง เปลือกไข่อยู่ในระดับต่ำมาก และพีทมอสอยู่ในระดับสูงมาก การศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นพบว่าเปลือกสับปะรดและเปลือกไข่สามารถใช้ทดแทนพีทมอสได้ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้นจำเป็นต้องกำหนดอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการทำวัสดุปลูกมาใช้ทดแทนพีทมอสจากธรรมชาติ นอกจากนี้ยังสามารถลดของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตทางการเกษตร อุตสาหกรรมและอาหารได้

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ทำการวิจัยรวมทั้งอุปกรณ์ในการทำวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ที่ให้ความช่วยเหลือทั้งกำลังกายและกำลังใจในการศึกษาวิจัย และขอบคุณพ่อค้า แม่ค้า หรือชาวเกษตรกรที่ให้ความช่วยเหลือในการนำวัตถุดิบมาใช้ในงานวิจัย

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] วรณช ดิละมั้น และกิตติยศ ตั้งสัจจวงศ์, "การศึกษาคุณสมบัติของขยะเกษตรอินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสสำหรับทำวัสดุปลูกพืช," รายงานการประชุมระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 6 (24 สิงหาคม 2566) 257 - 263.
- [2] วรณช ดิละมั้น และกิตติยศ ตั้งสัจจวงศ์, "การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระถางเพาะชำย่อยสลายได้จากวัสดุเหลือทิ้งของอุตสาหกรรมการเกษตร," รายงานการประชุมระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 5 (19 สิงหาคม 2565) 615 - 621
- [3] จุมพล เกียรติดีลกรัตน์. (1 มีนาคม 2557) เทคนิคการเพาะปลูกพีทมอส. สืบค้นจาก <https://masakigarden.com/peat-moss/>
- [4] ชันต์ อภิสมภพ. (30 มกราคม 2567). Spring Green Evolution: ชวนรู้จักกับพีทมอส แตกต่างจากดินถุอย่างไร. สืบค้นจาก <https://www.sgethai.com/article/peat-moss/>
- [5] กรมวิชาการเกษตร. คู่มือวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 2551. 49 - 51
- [6] P.H.F Periera, "Effect of the chemical treatment sequence on pineapple peel fiber Chemical composition and thermal degradation behaviour", Fatigue and Aeronautical Material Research Group, Department of Materials and Technology, School of Engineering, Sao Paulo State University (UNESP) BraZill. 2021
- [7] Land Classification Division and FAO Project Staff. Soil Interpretation Handbook for Thailand. (1973) Dept. of Land Development, Min.of Agri. and Coop., Bangkok. 135.
- [8] วิจิตพล มีแก้ว, ณัฐพล ชันธปราบ และสุรศักดิ์ ละลอกน้ำ. การปรับตัวของพืชภายใต้ภาวะที่มีความเค็ม (Adaptation of Plants under Salinity). รายงานการประชุมก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์ ครั้งที่ 10, กรุงเทพฯ, 2553. 32

## การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์สำหรับการบริหารจัดการข้อมูลคลินิกกายภาพบำบัด Development of an Application for Physical Therapy Clinic Data Management

ฉมลวรรณ พิมพ์า<sup>1</sup> สุธีรา พึ่งสวัสดิ์<sup>1\*</sup> ญัฐกมล มโนสังจาร์กษ์<sup>1</sup>  
นฤดี บุรณจรรยากุล<sup>1</sup> และ เปรมรัตน์ พูลสวัสดิ์<sup>1</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิทยาการคำนวณและเทคโนโลยีดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

\*E-mail: aj-tarn@hotmail.com

### บทคัดย่อ

การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์สำหรับการบริหารจัดการข้อมูลคลินิกกายภาพบำบัด มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบที่ใช้ในการเก็บข้อมูลการรักษา การนัดหมายของคลินิกกายภาพ และประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ทำให้เจ้าหน้าที่สามารถจัดการกับข้อมูลของผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษา รวมถึงการนัดหมายได้สะดวกยิ่งขึ้น เพื่อแก้ไขปัญหาการเก็บข้อมูลผู้ป่วยในรูปแบบแฟ้มเอกสาร ซึ่งต้องใช้เวลาในการค้นหาแฟ้มเอกสาร โดยการพัฒนาเป็นรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันและโมบายแอปพลิเคชันที่สามารถบันทึกแสดงผลข้อมูลผู้ป่วย ข้อมูลการรักษา การนัดหมาย ระบบพัฒนาด้วย React Native, NodeJS, JavaScript และ Laravel โดยจัดเก็บฐานข้อมูล MySQL ผลการทดลอง พบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้งานได้จริงและตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน จากการประเมินความพึงพอใจของเจ้าหน้าที่กายภาพ จำนวน 3 คน มีระดับความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$  = 4.07) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D. = 0.51) และการประเมินผลความพึงพอใจของผู้ป่วย หรือผู้ดูแลผู้ป่วย จำนวน 20 คน มีระดับความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$  = 4.38) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D. = 0.67) ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานทำให้การปฏิบัติงานได้รวดเร็วมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

**คำสำคัญ:** การจัดการข้อมูล โปรแกรมประยุกต์ คลินิกกายภาพบำบัด

### Abstract

The objective of developing an application for managing physical therapy clinic data for managing treatment records, appointment scheduling, and user satisfaction evaluation within a physical therapy clinic. This application enables staff to manage patient information and appointments more efficiently, addressing the issue of time-consuming document searches in a paper-based system. The application is developed as both a web application and a mobile application capable of recording and displaying patient information, treatment records, and appointment schedules. The system is developed using React Native, NodeJS, JavaScript, and Laravel, with data stored in a MySQL database. Experimental results indicate that the developed system is practical and meets user requirements. According to the satisfaction assessment of three physical therapy staff members, the overall satisfaction level was high,

with a mean ( $\bar{X}$  = 4.07) and a standard deviation (S.D. = 0.51). Furthermore, the satisfaction assessment of twenty patients or their caregivers revealed a high overall satisfaction level, with a mean ( $\bar{X}$  = 4.38) and a standard deviation (S.D. = 0.67) which improves a work efficiency, makes it faster and more accurate.

**Keywords:** Data management, Application, Physical therapy clinic

## 1. บทนำ

การที่มนุษย์มีอายุมากขึ้นจะทำให้เนื้อเยื่อหรือระบบต่าง ๆ ของร่างกายเกิดการเปลี่ยนแปลงในทางที่เสื่อมลง ทั้งทางกายวิภาคและทางสรีระ ซึ่งจะนำไปสู่การเกิดโรคที่เป็นสาเหตุของการเสียชีวิต การเปลี่ยนแปลงของระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วน คือ กระดูก ข้อต่อ และกล้ามเนื้อ ทำให้ความสามารถในการทำงานของร่างกาย ความพิการ และคุณภาพชีวิตที่ด้อยลง การเปลี่ยนแปลงของระบบประสาทและระบบรับรู้ความรู้สึก เช่น ความสามารถในการรับรู้ตำแหน่งของข้อต่อลดลง ความไวในการรับรู้ความรู้สึกทางผิวหนังลดลง เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงทางกายวิภาคและสรีระของระบบในร่างกาย ทำให้มีแนวโน้มที่จะประสบกับปัญหาด้านสุขภาพ [1]

กายภาพบำบัด (Physical therapy) คือ ศาสตร์ฟื้นฟูสุขภาพด้วยการออกกำลังกายและใช้อุปกรณ์พิเศษ เพื่อรักษาผู้ป่วยให้กลับมาเคลื่อนไหวตามปกติได้มากที่สุด การรักษาด้วยวิธีนี้ใช้บำบัดผู้ป่วยอย่างแพร่หลาย เหมาะสำหรับผู้ได้รับบาดเจ็บหรือได้รับผลกระทบจากการผ่าตัด ผู้สูงอายุที่เกิดภาวะแทรกซ้อนหลังจากป่วยเป็นโรคหลอดเลือดในสมอง หรือผู้มีปัญหาสุขภาพเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวร่างกายจากการป่วยหรือความบกพร่องทางร่างกาย การทำกายภาพบำบัดจะช่วยลดความเจ็บปวดตามอวัยวะที่เกิดปัญหาน้อยลง และสามารถเคลื่อนไหวร่างกายได้ตามปกติหรือเกือบปกติ เนื่องจากการทำกายภาพบำบัดจะช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงและการเคลื่อนไหวของร่างกาย รวมทั้งช่วยให้รู้จักวิธีป้องกันการได้รับบาดเจ็บ อันเป็นสาเหตุให้ร่างกายเสื่อมสมรรถภาพในการเคลื่อนไหว [2]

คลินิกกายภาพบำบัด มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติให้บริการด้านการรักษาผู้ป่วยทางกายภาพบำบัด “โดยบริการเน้นหลักวิชาการ” ร่วมกับประสบการณ์ของทีมาจารย์และนักกายภาพบำบัดโดยผู้เชี่ยวชาญ การรักษาผู้ป่วยแบ่งผู้ป่วยเป็นระบบต่าง ๆ ได้แก่ กายภาพบำบัดระบบกระดูก และกล้ามเนื้อ กายภาพบำบัดระบบประสาท กายภาพบำบัดทางเด็ก กายภาพบำบัดระบบหัวใจและหลอดเลือด กายภาพบำบัดทางกีฬา กายภาพบำบัดทางกายศาสตร์ กายภาพบำบัดในผู้สูงอายุ และคลินิกบ้านหมูน เป็นต้น

ปัจจุบันคลินิกกายภาพบำบัด มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ มีการจัดเก็บข้อมูลของผู้ป่วยด้วยการบันทึกลงบนแบบฟอร์ม และจัดเก็บเข้าแฟ้มเอกสาร ซึ่งจะทำลายข้อมูลทุก ๆ 5 ปี เนื่องจากไม่มีที่เก็บแฟ้มข้อมูล การบันทึกข้อมูลผู้ป่วยแต่ละครั้งจะต้องจดลงกระดาษและเก็บในแฟ้มเอกสาร ดังนั้นเมื่อต้องการนำข้อมูลมาใช้ประกอบการรักษาเจ้าหน้าที่ต้องใช้เวลาในการค้นหาแฟ้มเอกสารซึ่งเป็นปัญหาสำคัญ นอกจากนี้ยังพบปัญหาในการจัดเก็บข้อมูลการรักษาผู้ป่วยด้วยการกรอกแบบฟอร์ม เนื่องจากปัจจุบันนักกายภาพบำบัด ใช้การจดบันทึกด้วยเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งไม่สามารถจัดเก็บในแฟ้มข้อมูลได้ หากกรณีที่ต้องการดูประวัติการรักษาจะต้องสอบถามจากนักกายภาพบำบัดเท่านั้น

จากปัญหาที่กล่าวมาจึงได้แนวคิดในการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์สำหรับการบริหารจัดการข้อมูลคลินิกกายภาพบำบัด มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบที่ใช้ในการเก็บข้อมูลการรักษา การนัดหมายของคลินิกกายภาพ และประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ระบบที่พัฒนาจะช่วยอำนวยความสะดวกแก่นักกายภาพและเจ้าหน้าที่ในการบันทึกข้อมูลการรักษาผู้ป่วย นัดหมายผู้ป่วย และเข้ามาช่วยในการจัดการข้อมูลของคลินิก ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานทำให้การปฏิบัติงานได้รวดเร็วมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ซึ่งช่วยลดข้อผิดพลาดของข้อมูล ลดการสูญหายของข้อมูล โดยข้อมูลจะถูกจัดเก็บได้เป็นระยะเวลาอันยาวนาน และช่วยในการค้นหาข้อมูลได้เร็วยิ่งขึ้น ทำให้เกิดการทำงานที่มีประสิทธิภาพ

## 2. วัตถุประสงค์งานวิจัย

- 2.1 เพื่อพัฒนาโปรแกรมประยุกต์สำหรับการบริหารจัดการข้อมูลคลินิกกายภาพบำบัด
- 2.2 เพื่อประเมินความพึงพอใจการใช้งานโปรแกรมประยุกต์สำหรับการบริหารจัดการข้อมูลคลินิกกายภาพบำบัด

## 3. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

- 3.1.1 ศึกษาความเป็นไปได้ และกำหนดปัญหาของระบบ
- 3.1.2 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในขั้นที่ 1 โดยวิเคราะห์ปัญหา และความต้องการของผู้ใช้งาน
- 3.1.3 ออกแบบระบบโดยทำการออกแบบสถาปัตยกรรมระบบ และ User Interface
- 3.1.4 พัฒนาระบบและทดสอบระบบ
- 3.1.5 เก็บรวบรวมข้อมูล สรุป วิเคราะห์ และจัดทำคู่มือการใช้งานระบบ

### 3.2 เครื่องมือการวิจัย

แบบสอบถามความพึงพอใจการใช้งานโปรแกรมประยุกต์สำหรับการบริหารจัดการข้อมูลคลินิกกายภาพบำบัด

### 3.3 กลุ่มเป้าหมาย/ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ เจ้าหน้าที่กายภาพ จำนวน 3 คน และผู้ป่วย หรือผู้ดูแลผู้ป่วย จำนวน 20 คน

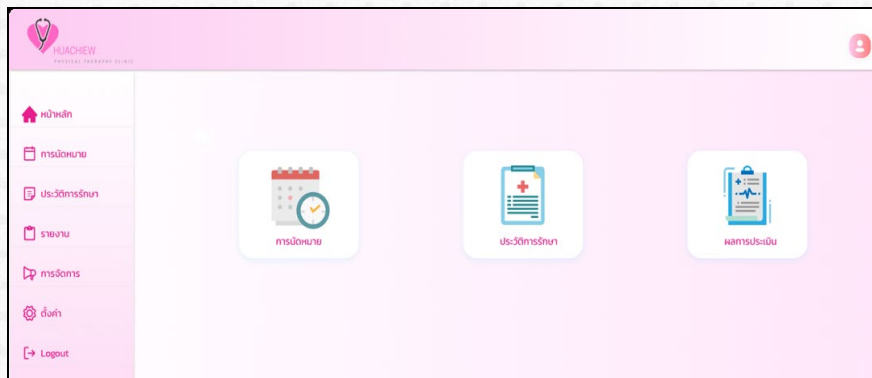
3.4 สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความคิดเห็น แบบประเมินความพึงพอใจของระบบได้กำหนดเกณฑ์ตามวิธีของลิเคอร์ท (Likert's scale) ของ Faye Anderson [3] โดยจะให้คะแนนในส่วนของแต่ละหัวข้อตามความเหมาะสมซึ่งมีลำดับตามความหมายของคะแนน เกณฑ์ประกอบด้วยมาตราส่วนประเมินค่าเชิงคุณภาพ 5 ระดับ (Rating scale) ดังนี้

- ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.51 – 5.00 หมายความว่า ระดับมากที่สุด
- ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.51 – 4.50 หมายความว่า ระดับมาก
- ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.51 – 3.50 หมายความว่า ระดับปานกลาง
- ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.51 – 2.50 หมายความว่า ระดับน้อย
- ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 – 1.50 หมายความว่า ระดับน้อยที่สุด

## 4. ผลการทดลองและอภิปรายผล

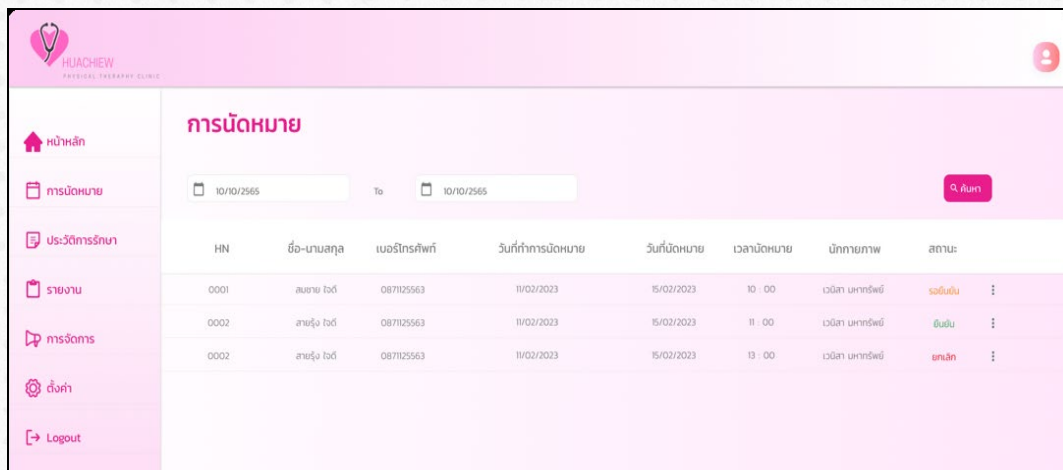
### 4.1 ผลการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์สำหรับการบริหารจัดการข้อมูลคลินิกกายภาพบำบัด

ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์สำหรับการบริหารจัดการข้อมูล โดยนำข้อมูลจากการศึกษา และวิเคราะห์ มาพัฒนาเป็นเว็บแอปพลิเคชัน ในส่วนของเจ้าหน้าที่กายภาพ แสดงดังภาพที่ 1 ถึง 3



ภาพที่ 1 หน้าจอการเข้าสู่ระบบ

จากภาพที่ 1 หน้าจอแสดงข้อมูลหลัก ได้แก่ ประวัติผู้ป่วย ประวัติการรักษา การนัดหมาย รายงาน การจัดการ หากผู้ป่วยใหม่จะต้องทำการบันทึกข้อมูลผู้ป่วยเบื้องต้น

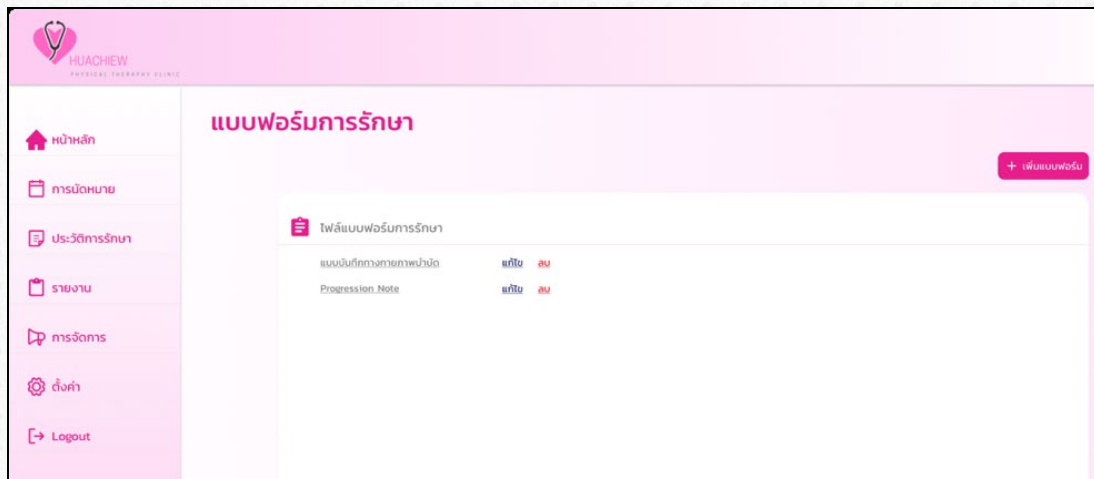


ภาพที่ 2 หน้าจอแสดงการนัดหมาย

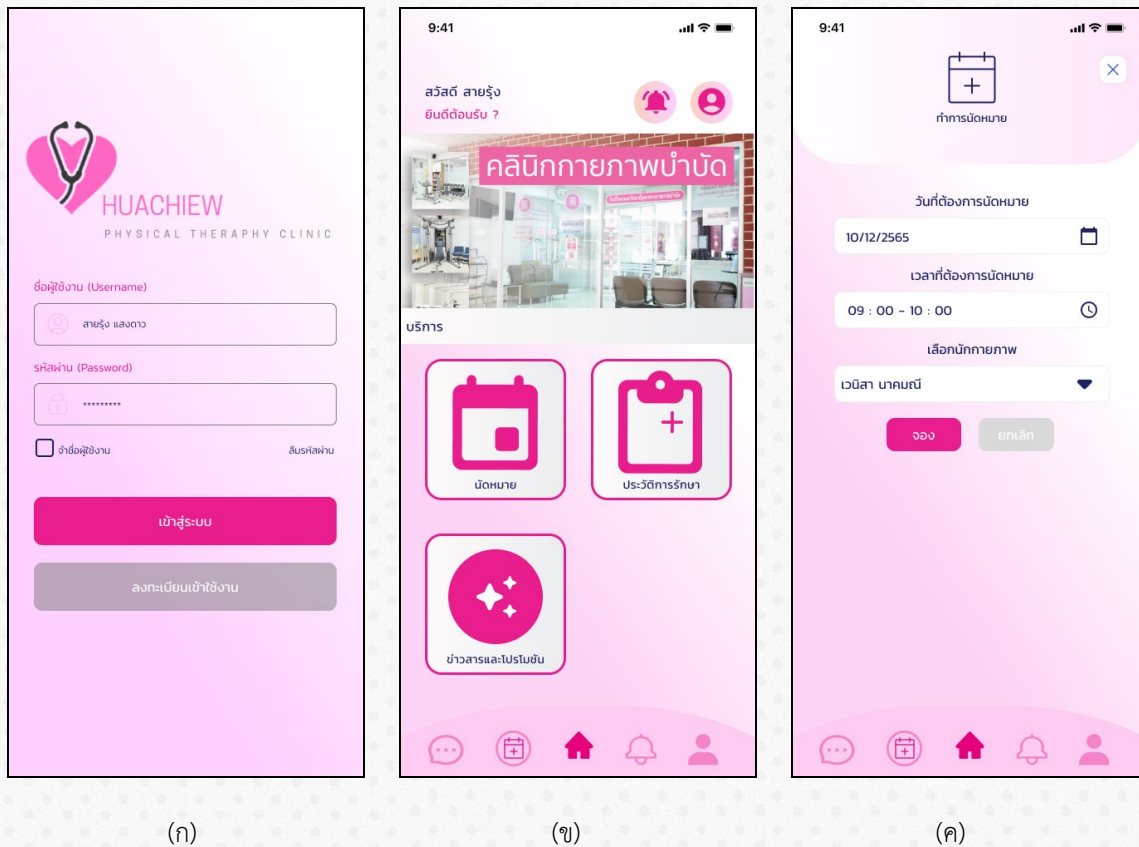
จากภาพที่ 2 เมื่อเข้าสู่ระบบเรียบร้อยแล้ว เจ้าหน้าที่กายภาพ สามารถตรวจสอบการนัดหมายในแต่ละวันของผู้ป่วยได้ โดยจะมีข้อมูลวัน และเวลาการนัด รวมถึงสถานะการนัดให้แก่เจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบ หากผู้ป่วยยกเลิกนัด ระบบจะแสดงสถานะการยกเลิก หรือหากผู้ป่วยยืนยันการนัดหมาย ระบบจะแสดงสถานะการยืนยัน และสามารถเรียกดูข้อมูลการติดต่อกับผู้ป่วยได้

จากภาพที่ 3 หากผู้ป่วยเข้ารับการรักษา เจ้าหน้าที่กายภาพจะทำการโหลดแบบฟอร์มการรักษา และเมื่อทำการรักษาเสร็จสิ้น จะทำการอัปโหลดแบบฟอร์มการรักษาเข้าสู่ระบบเพื่อเก็บข้อมูลประวัติการรักษาของผู้ป่วยแต่ละราย

ในส่วนของการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์สำหรับการบริหารจัดการข้อมูลคลินิกกายภาพบำบัด ส่วนของผู้ป่วย หรือผู้ดูแลผู้ป่วย พัฒนาเป็นโมบายแอปพลิเคชัน ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 หน้าจอแบบฟอร์มการรักษาผู้ป่วย



(ก)

(ข)

(ค)

ภาพที่ 4 UI ส่วนของผู้ป่วย หรือผู้ดูแลผู้ป่วย (ก) การเข้าสู่ระบบ, (ข) หน้าหลักระบบ และ (ค) การนัดหมาย

จากภาพที่ 4 ในส่วนของผู้ป่วย หรือผู้ดูแลผู้ป่วย สามารถใช้งานผ่านระบบผ่านโมบายแอปพลิเคชัน โดยทำการเข้าสู่ระบบ และตรวจสอบการนัดหมาย จองการนัดหมาย ยืนยันการนัดหมาย รวมถึงการยกเลิก และข่าวสารต่าง ๆ ของคลินิกกายภาพบำบัด

#### 4.2 ผลการทดลองใช้โปรแกรมประยุกต์สำหรับการบริหารจัดการข้อมูลคลินิกกายภาพบำบัด

ผู้วิจัยดำเนินการทดสอบใช้โปรแกรมประยุกต์สำหรับการบริหารจัดการข้อมูลคลินิกกายภาพบำบัด ที่พัฒนาขึ้น กับเจ้าหน้าที่กายภาพ จำนวน 3 คน โดยมีการทดลองใช้ระบบ พร้อมทั้งสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบ จากนั้นนำผลการเรียนรู้มาวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติพื้นฐานเทียบกับเกณฑ์และสรุปผล แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลความพึงพอใจการใช้งานโปรแกรมประยุกต์สำหรับการบริหารจัดการข้อมูล ของเจ้าหน้าที่กายภาพ

รายการ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
<b>1. ด้านเนื้อหาและการใช้งาน</b>			
1.1 ข้อมูลครบถ้วน มีความถูกต้อง	4.33	0.58	มาก
1.2 ลำดับการทำงานถูกต้อง	4.33	0.58	มาก
1.3 เข้าถึงข้อมูลอย่างรวดเร็ว	3.67	0.58	มาก
<b>2. ด้านรูปแบบ</b>			
2.1 แบบตัวอักษรเหมาะสมและง่ายต่อการอ่าน	3.33	0.58	ปานกลาง
2.2 สีของตัวอักษรและพื้นหลังเหมาะสม	4.00	0.00	มาก
2.3 รูปแบบง่ายต่อการใช้งานและไม่ซับซ้อน	3.67	0.58	มาก
<b>3. ด้านประโยชน์และการนำไปใช้</b>			
3.1 ความสะดวกในการใช้งานโปรแกรมประยุกต์	4.67	0.58	มากที่สุด
3.2 ความรวดเร็วในการตอบสนองของโปรแกรมประยุกต์	4.33	0.58	มาก
3.3 ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการข้อมูลของคลินิก	4.33	0.58	มาก
<b>โดยรวม</b>	<b>4.07</b>	<b>0.51</b>	<b>มาก</b>

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินความพึงพอใจของเจ้าหน้าที่กายภาพ ต่อการใช้งานโปรแกรมประยุกต์สำหรับการบริหารจัดการข้อมูลคลินิกกายภาพบำบัด พบว่า มีระดับความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X} = 4.07$ ) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D. = 0.51) รายการที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ ความสะดวกในการใช้งานโปรแกรมประยุกต์ รองลงมาคือ ข้อมูลครบถ้วน มีความถูกต้อง ลำดับการทำงานถูกต้อง ความรวดเร็วในการตอบสนองของโปรแกรมประยุกต์ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการข้อมูลของคลินิก สีของตัวอักษรและพื้นหลังเหมาะสม ตามลำดับ

ผู้วิจัยดำเนินการทดสอบใช้โปรแกรมประยุกต์สำหรับการบริหารจัดการข้อมูลคลินิกกายภาพบำบัด ที่พัฒนาขึ้น กับผู้ป่วย หรือผู้ดูแลผู้ป่วย จำนวน 20 คน โดยมีการทดลองใช้ระบบ พร้อมทั้งสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบ จากนั้นนำผลการเรียนรู้มาวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติพื้นฐานเทียบกับเกณฑ์และสรุปผล แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลความพึงพอใจการใช้งานโปรแกรมประยุกต์สำหรับการบริหารจัดการข้อมูล ของผู้ป่วย หรือผู้ดูแลผู้ป่วย

รายการ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
<b>1. ด้านเนื้อหาและการใช้งาน</b>			
1.1 ข้อมูลครบถ้วน มีความถูกต้อง	4.15	0.69	มาก
1.2 ลำดับการทำงานถูกต้อง	4.31	0.63	มาก
1.3 เข้าถึงข้อมูลอย่างรวดเร็ว	4.54	0.52	มากที่สุด



รายการ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
<b>2. ด้านรูปแบบ</b>			
2.1 แบบตัวอักษรเหมาะสมและง่ายต่อการอ่าน	4.31	0.75	มาก
2.2 สีของตัวอักษรและพื้นหลังเหมาะสม	4.54	0.78	มากที่สุด
2.3 รูปแบบง่ายต่อการใช้งานและไม่ซับซ้อน	4.38	0.65	มาก
<b>3. ด้านประโยชน์และการนำไปใช้</b>			
3.1 ความสะดวกในการใช้งานโปรแกรมประยุกต์	4.54	0.78	มากที่สุด
3.2 ความรวดเร็วในการตอบสนองของโปรแกรมประยุกต์	4.23	0.73	มาก
3.3 ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการผู้ป่วย	4.46	0.52	มาก
<b>โดยรวม</b>	<b>4.38</b>	<b>0.67</b>	<b>มาก</b>

จากตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ป่วย หรือผู้ดูแลผู้ป่วย ต่อการใช้งานโปรแกรมประยุกต์สำหรับการบริหารจัดการข้อมูลคลินิกกายภาพบำบัด พบว่า มีระดับความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X} = 4.38$ ) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D. = 0.67) รายการที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ เข้าถึงข้อมูลอย่างรวดเร็ว สีของตัวอักษรและพื้นหลังเหมาะสม ความสะดวกในการใช้งานโปรแกรมประยุกต์ รองลงมาคือ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการผู้ป่วย รูปแบบง่ายต่อการใช้งานและไม่ซับซ้อน แบบตัวอักษรเหมาะสมและง่ายต่อการอ่าน ลำดับการทำงานถูกต้อง ตามลำดับ

สรุปผลการดำเนินงานพบว่าการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์สำหรับการบริหารจัดการข้อมูลคลินิกกายภาพบำบัด สามารถนำมาใช้ได้จริง ทั้งยังสนับสนุนการทำงานของเจ้าหน้าที่คลินิกกายภาพให้มีประสิทธิภาพการทำงานมากยิ่งขึ้น ลดความล่าช้าในการค้นหาข้อมูล จากการประเมินความพึงพอใจของเจ้าหน้าที่กายภาพ จำนวน 3 คน มีระดับความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X} = 4.07$ ) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D. = 0.51) และการประเมินผลความพึงพอใจของผู้ป่วย หรือผู้ดูแลผู้ป่วย จำนวน 20 คน มีระดับความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X} = 4.38$ ) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D. = 0.67) โดยสามารถสรุปผลการประเมินความพึงพอใจจากผู้ทดลองใช้งานระบบทั้งหมดมีระดับความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X} = 4.22$ ) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D. = 0.59)

## 5. บทสรุป

5.1 โปรแกรมประยุกต์สำหรับการบริหารจัดการข้อมูลคลินิกกายภาพบำบัด ประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 ส่วน คือ 1) การบันทึกข้อมูลผู้ป่วย 2) การนัดหมายผู้ป่วย การตรวจสอบการนัดหมาย และ 3) การบันทึกการรักษาผู้ป่วย จากความคิดเห็นของผู้ใช้งานที่มีต่อความเหมาะสมของระบบโดยรวมอยู่ในระดับมาก ทั้งนี้เนื่องจากระบบมีองค์ประกอบ 3 ส่วน จึงส่งผลให้โปรแกรมประยุกต์สำหรับการบริหารจัดการข้อมูลคลินิกกายภาพบำบัด สอดคล้องกับ จุฑามาต ปวงสุข และคณะ [4] ได้วิจัยเรื่อง ระบบบริหารงานคลินิกเสริมความงามพบว่าระบบสามารถจัดเก็บข้อมูลต่างๆ เช่น ข้อมูลพนักงาน ข้อมูลลูกค้า ข้อมูลยา ข้อมูลวัสดุ ข้อมูลการสั่งซื้อยา ข้อมูลการสั่งซื้อวัสดุ ข้อมูลการเบิกวัสดุ ข้อมูลนัดหมาย ข้อมูลรักษา โดยระบบสามารถจัดการคลังยาได้แบบเข้าก่อน-ออกก่อน นอกจากนี้ระบบยังสามารถจัดทำรายงานการรักษา รายงานการนัดหมาย รายงานยาคงเหลือ รายงานวัสดุคงเหลือ รายงานการเบิก โดยประเมินประสิทธิภาพระบบอยู่ในระดับดี

5.2 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานโปรแกรมประยุกต์สำหรับการบริหารจัดการข้อมูลคลินิกกายภาพบำบัดพบว่า ภาพรวมอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ย ( $\bar{X} = 4.22$ ) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D. = 0.59) ผู้ใช้งานระบบสามารถใช้งานได้จริง และมีความรู้ความเข้าใจในการใช้งาน ทั้งนี้เนื่องจากระบบมีองค์ประกอบ 3 ส่วน สอดคล้องกับศุทธดา

บุตรงามดี [5] ได้วิจัยเรื่อง ระบบการจัดการสารสนเทศศูนย์ทันตกรรม พบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถเก็บข้อมูลประวัติส่วนตัวของคนไข้ การรักษา การนัดหมาย ซึ่งระบบที่พัฒนาขึ้นมีผลการประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับดี

การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์สำหรับการบริหารจัดการข้อมูลคลินิกกายภาพบำบัด มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบที่ใช้ในการเก็บข้อมูลการรักษา การนัดหมายของคลินิกกายภาพ และประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ผลจากการดำเนินการวิจัย และการทดลองใช้งานระบบ พบว่า ระบบสามารถใช้งานได้ตามขอบเขต กล่าวคือระบบสามารถเก็บข้อมูลผู้ป่วย ข้อมูลการรักษา การนัดหมายผู้ป่วย ซึ่งมีประโยชน์ในการรักษาอย่างต่อเนื่องในอนาคต แต่ยังมีหลายประเด็นที่มีข้อเสนอแนะมายังผู้วิจัย เช่น ระบบไม่มีการแจ้งเตือนการนัดหมาย มีเพียงแต่การกำหนดการนัดหมายในปฏิทินระบบ โดยทางผู้วิจัยได้กลับมาแก้ไขระบบ ซึ่งช่วยทำให้ได้รับความพึงพอใจจากผู้ใช้งานมากยิ่งขึ้นเช่นกัน โดยระบบที่พัฒนาต่อยอดให้สามารถทำการจัดบันทึกผ่านภาพของร่างกายได้โดยไม่ต้องใช้การอัลตราซาวด์ และพัฒนาระบบตอบกลับอัตโนมัติ สำหรับตอบคำถามผู้ป่วยเบื้องต้น ซึ่งสามารถทำงานได้ทุกวันตลอด 24 ชั่วโมงอีกด้วย

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คลินิกกายภาพบำบัด มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ ที่ให้ความร่วมมือในการจัดทำงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] จตุพร เพิ่มทรัพย์ทวี. การออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุ. ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 2564.
- [2] ศูนย์ฟื้นฟูผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง อีชี. (25 มิถุนายน 2567). กายภาพบำบัด หรือ Physical Therapy คืออะไร สามารถช่วยฟื้นฟูผู้ป่วยประเภทใดได้บ้าง. สืบค้นจาก <https://ishistrokecenter.com/what-is-physical-therapy/>.
- [3] Faye Anderson. Likert Scale Data Linear Modeling. Independently Published, Chicago, 2020.
- [4] จุฑามาศ ปวงสุข, อีรณีย์ ละเอียดอ่อน และปรางทิพย์ จันทร์ทองม่วง. ระบบบริหารงานคลินิกเสริมความงาม. ภาคนิพนธ์หลักสูตรปริญญาบริหารธุรกิจบัณฑิต คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยสยาม. 2563.
- [5] ศุภธดา บุตรงามดี. ระบบการจัดการสารสนเทศศูนย์ทันตกรรม. สารนิพนธ์หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ วิทยาลัยนวัตกรรมการด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต. 2562.

## ระบบแจ้งเตือนการหมดอายุของลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์

### Notification system for the expiration of the software license

โสภิตา เชียงแสน<sup>1\*</sup> อรัญ มาร์เดอโรเซียน<sup>1</sup> นฤดี บุรณะจรรยากุล<sup>2</sup> และ สุธีรา พิงส์สวัสดิ์<sup>2</sup>

<sup>1</sup>หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

<sup>2</sup>สาขาวิชาวิทยาการคำนวณและเทคโนโลยีดิจิทัล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

\*E-mail: ninedear@yahoo.com

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบแจ้งเตือนการหมดอายุของลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ในรูปแบบโปรแกรมประยุกต์บนเว็บ มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาการไม่แจ้งเตือนการหมดอายุของลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ โดยแจ้งเตือนผู้ดูแลระบบให้รับทราบถึงวันครบกำหนดอายุสัญญาผ่านการส่งอีเมลอัตโนมัติเมื่อถึงเวลาที่กำหนดไว้ ผู้ดูแลระบบสามารถจัดการข้อมูลสัญญา สืบค้นดูรายละเอียดข้อมูลสัญญาได้แบบออนไลน์ ระบบพัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรม Microsoft SharePoint ในการจัดเก็บข้อมูลที่ได้รับจากระบบ โปรแกรม Microsoft Power Apps สำหรับออกแบบและพัฒนาส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ และบริการของ Microsoft Power Automate ในการทำ Robotic Process Automation (RPA) เพื่อตรวจสอบวิเคราะห์ข้อมูล เมื่อนำระบบไปติดตั้งเพื่อทดสอบใช้งานจริง พบว่าระบบสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ขององค์กร จากการสำรวจความพึงพอใจของผู้ดูแลระบบ จำนวน 4 คน พบว่า อยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.17 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.18 ระบบใช้งานง่าย ทำงานได้สะดวก รวดเร็ว และยังช่วยสนับสนุนการทำงานขององค์กรได้เป็นอย่างดี

**คำสำคัญ:** ลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ ระบบแจ้งเตือน อายุสัญญา

#### Abstract

This research aims to develop a notification system for the expiration of the software license as a web application. It is intended to solve the problem of not notifying software license expiration. It notifies staff to be informed of the contract expiration date via automatic email. Staff can manage contract information, search, and view contract details. The system was developed using Microsoft SharePoint to store data received from the system, Microsoft Power Apps for designing and developing user interfaces, and Microsoft Power Automate for Robotic Process Automation (RPA) to analyzing data. 4 users satisfied at a good level with the mean score was 4.17 and Standard Deviation of 0.18; on the basis of ease of use and usefulness to their working procedures.

**Keywords:** Software license, Notification system, Expired license

## 1. บทนำ

บริษัท เมก้า ไลฟ์ไซแอนซ์ จำกัด (มหาชน) ก่อตั้งขึ้นในปี พ.ศ. 2525 ดำเนินธุรกิจด้านการผลิต การตลาด การขาย และจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์อาหารเสริม และสินค้าอุปโภคบริโภคที่มีคุณภาพ บริษัทมีโรงงานผลิตตั้งอยู่ในประเทศไทยและออสเตรเลีย ซึ่งได้รับการรับรองระดับสากลจากหน่วยงานด้านสุขภาพที่มีชื่อเสียงทั่วโลกในด้านแนวปฏิบัติด้านการผลิตที่ดี โดยมีส่วนร่วมในการช่วยเหลือผู้คนที่เข้าถึงโภชนาการคุณภาพระดับโลกที่ปลอดภัย [1]

ปัจจุบัน บริษัท เมก้า ไลฟ์ไซแอนซ์ จำกัด (มหาชน) เป็นบริษัทขนาดใหญ่ที่แต่ละแผนกมีเครื่องคอมพิวเตอร์จำนวนมากเพื่อรองรับการทำงานของพนักงาน โดยบริษัทได้ทำสัญญาการใช้บริการลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ (Software license) ประเภทซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ (Commercial software) ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่จัดทำเพื่อขายหรือวัตถุประสงค์การค้าเท่านั้น กล่าวคือ บริษัทสามารถเช่าหรือซื้อลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์จากทั้งตัวแทนจำหน่ายและผู้พัฒนา โดยที่ตัวแทนจำหน่ายหรือผู้พัฒนาจะออกแบบเงื่อนไขของการใช้งานให้กับบริษัทผู้สัญญาว่าจะนำไปใช้ทำอะไร การจำกัดจำนวนผู้ใช้งาน การลดทอนคุณสมบัติ (Feature) บางประการ หรือหากเป็นชุดซอฟต์แวร์ จะมีการจำกัดจำนวนซอฟต์แวร์ที่ให้อำนาจใช้ ซึ่งแต่ละแพ็คเกจจะมีค่าใช้จ่ายที่แตกต่างกัน เช่น โปรแกรม Microsoft 365 ได้แบ่งแพ็คเกจการใช้งาน เช่น สำหรับบุคคลทั่วไป สำหรับใช้ในองค์กร สำหรับใช้ในสถานศึกษา เป็นต้น [2, 3] ซึ่งบริษัทได้ทำสัญญาในลักษณะ Network license กล่าวคือ สามารถใช้ซอฟต์แวร์กับเครื่องคอมพิวเตอร์ในระบบเครือข่าย ทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถใช้ซอฟต์แวร์ได้ในขณะเดียวกันตามจำนวนลิขสิทธิ์ที่ได้จัดซื้อไป

โดยการทำสัญญาแต่ละฉบับจะมีระยะเวลาสิ้นสุดสัญญาที่กำหนดไว้ ปัญหาที่เกิดขึ้นคือเมื่อการใช้บริการลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ครบอายุสัญญาแล้วไม่มีการแจ้งเตือนการหมดอายุของลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ดังกล่าว ซึ่งจากการศึกษาพบว่า บริษัทไม่มีระบบฐานข้อมูลจัดเก็บข้อมูลสัญญา การตรวจสอบและสืบค้นข้อมูลสัญญาจึงเป็นไปได้ยาก อีกทั้งไม่สามารถดำเนินการแจ้งเตือนได้โดยอัตโนมัติ ผู้ดูแลระบบจะต้องเข้ามาตรวจสอบซอฟต์แวร์ที่เครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยตนเอง ส่งผลให้บริษัทไม่ได้รับการต่อสัญญาตามเวลาที่กำหนด

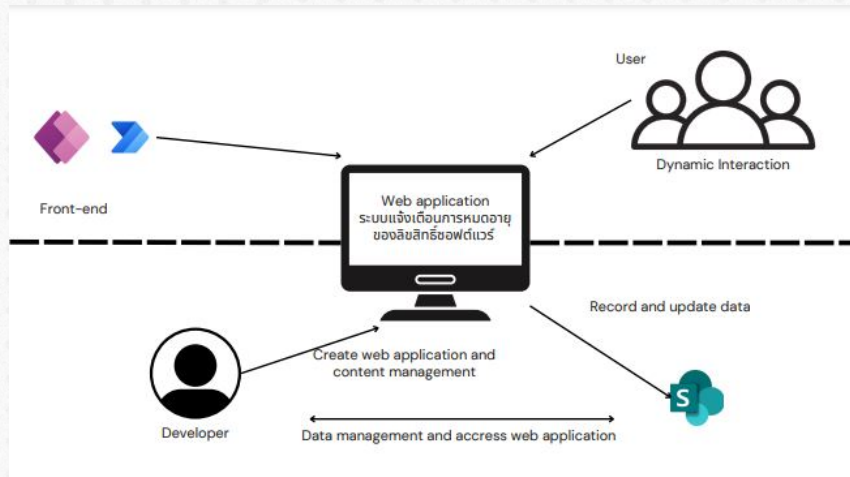
ด้วยเหตุผลดังกล่าว บริษัท เมก้า ไลฟ์ไซแอนซ์ จำกัด (มหาชน) จึงมีความต้องการนำระบบฐานข้อมูลเข้ามาใช้ในการทำงาน เพื่อให้เกิดความสะดวกในการจัดเก็บและสืบค้นข้อมูล ผู้พัฒนาจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบแจ้งเตือนการหมดอายุของลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ โดยพัฒนาในรูปแบบโปรแกรมประยุกต์บนเว็บ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาการจัดเก็บและสืบค้นข้อมูลสัญญาเนื่องจากไม่มีระบบฐานข้อมูลรองรับ และแจ้งเตือนผู้ดูแลระบบให้รับทราบถึงวันครบกำหนดอายุสัญญาผ่านการส่งอีเมลอัตโนมัติเมื่อถึงเวลาที่กำหนดไว้ โดยระบบสามารถจัดเก็บข้อมูลวันทำสัญญา ประมวลผลวันครบกำหนดอายุสัญญาได้อย่างอัตโนมัติ ผู้ดูแลระบบสามารถเรียกดูข้อมูลสัญญาได้แบบออนไลน์ และจัดเก็บข้อมูลได้เป็นระเบียบ เป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งองค์กร ทำให้สะดวกต่อการบันทึก ปรับปรุง เรียกดู และตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

## 2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

การพัฒนาระบบแจ้งเตือนการหมดอายุของลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ คณะผู้วิจัยอาศัยหลักวงจรชีวิตของการพัฒนาซอฟต์แวร์ หรือ SDLC (System Development Life Cycle) โดยมีรายละเอียดดังนี้

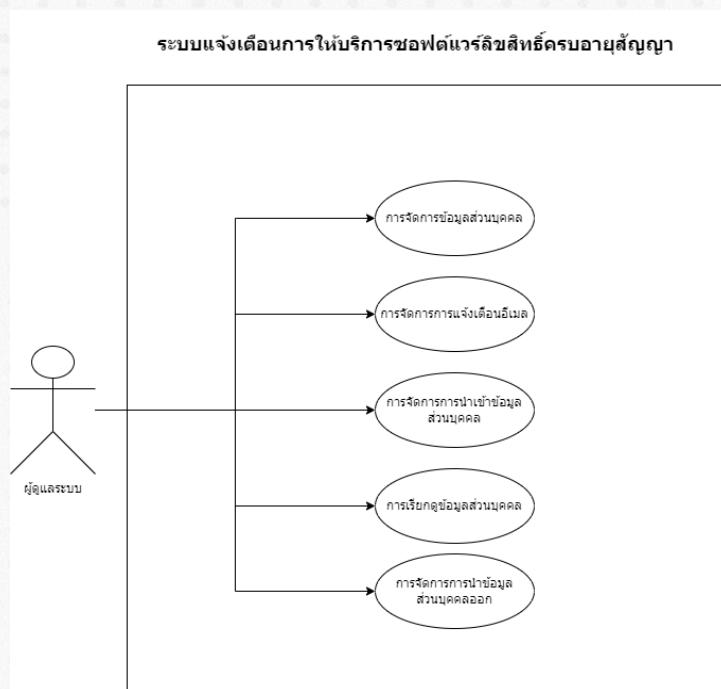
### 2.1 การวิเคราะห์และออกแบบระบบ

คณะผู้วิจัยได้รวบรวมความต้องการของผู้ใช้ มาวิเคราะห์และออกแบบระบบ ออกแบบส่วนต่อประสานผู้ใช้ เพื่อให้การพัฒนาระบบมีประสิทธิภาพและครอบคลุมความต้องการของผู้ใช้ โครงสร้างภาพรวมของระบบจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การทำงานในส่วนของส่วนต่อประสานผู้ใช้ จะแสดงเนื้อหาและแก้ไขข้อมูลภายในฐานข้อมูล และการทำงานในส่วนฐานข้อมูล จะใช้ในการจัดเก็บข้อมูลที่รับมาจากระบบ จากรายละเอียดการใช้งานระบบที่กล่าวมาข้างต้น สามารถแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานในรูปแบบแผนภาพการออกแบบสถาปัตยกรรมระบบ (System architecture) ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภาพการออกแบบสถาปัตยกรรมการทำงานของระบบแจ้งเตือนการหมดอายุของลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์

จากภาพที่ 1 สามารถอธิบายถึงกระบวนการทำงานต่าง ๆ ของระบบแจ้งเตือนการหมดอายุของลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ เพื่อแสดงโครงสร้างความสัมพันธ์ของระบบกับผู้ใช้งานได้ในรูปแบบ Use Case Diagram ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 Use Case Diagram ของระบบแจ้งเตือนการหมดอายุของลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์

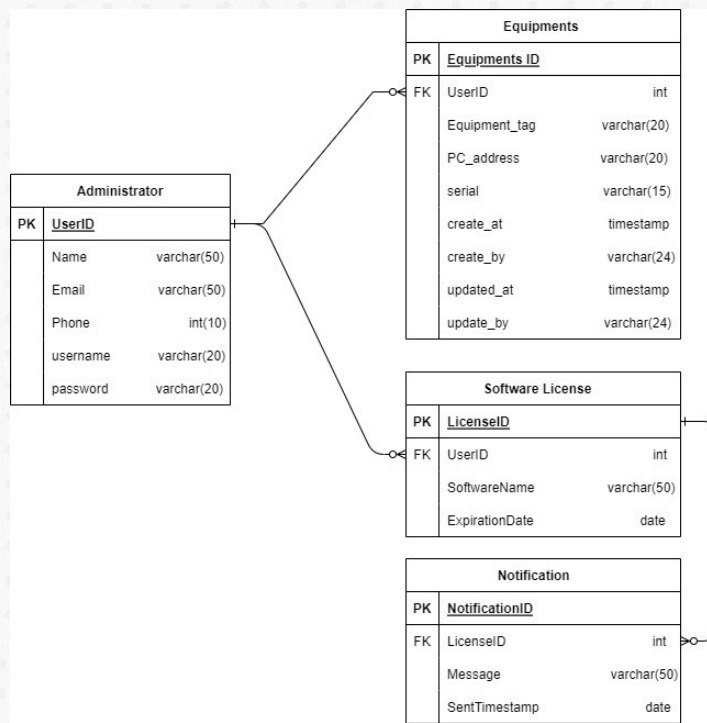
จากภาพที่ 2 แสดงถึงฟังก์ชันและสมาชิกในระบบแจ้งเตือนการหมดอายุของลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ โดยแบ่ง Use Case ได้ 5 ส่วน ดังนี้

- 1) การจัดการข้อมูลส่วนบุคคล ทำหน้าที่จัดการ เพิ่ม ลบ แก้ไข ข้อมูลส่วนบุคคลที่ใช้งานอุปกรณ์
- 2) การจัดการแจ้งเตือนอีเมล ทำหน้าที่แจ้งเตือนข้อมูลผ่านอีเมลผู้ดูแลระบบ
- 3) การจัดการการนำเข้าข้อมูลส่วนบุคคล ทำหน้าที่จัดการนำข้อมูลส่วนบุคคลที่ใช้งานอุปกรณ์เข้าไปในที่เก็บข้อมูลของระบบ

4) การเรียกดูข้อมูลส่วนบุคคล ทำหน้าที่แสดงข้อมูลส่วนบุคคล รวมถึงลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์

5) การจัดการการนำข้อมูลส่วนบุคคลออก ทำหน้าที่จัดการนำข้อมูลส่วนบุคคลที่ใช้งานอุปกรณ์ออกจากที่เก็บข้อมูลในระบบ

โดยส่วนของการออกแบบฐานข้อมูลของระบบแจ้งเตือนการหมดอายุของลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ นำเสนอด้วย Class Diagram แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 Class Diagram ของระบบแจ้งเตือนการหมดอายุของลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์

จากภาพที่ 3 ระบบแจ้งเตือนการหมดอายุของลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ สามารถอธิบายได้ดังนี้

- 1) คลาส Equipments เป็นคลาสที่ใช้เก็บข้อมูลอุปกรณ์
- 2) คลาส Software License เป็นคลาสที่ใช้เก็บข้อมูลลิขสิทธิ์
- 3) คลาส Administrator เป็นคลาสที่ใช้เก็บข้อมูลของผู้ดูแลระบบ
- 4) คลาส Notification เป็นคลาสที่ใช้เก็บข้อมูลการแจ้งเตือน

## 2.2 การพัฒนาระบบ

คณะผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรม Microsoft SharePoint ในการจัดเก็บข้อมูลที่ได้รับจากระบบ โปรแกรม Microsoft Power Apps สำหรับออกแบบและพัฒนาส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ และบริการของ Microsoft Power Automate ในการทำ Robotic Process Automation (RPA) เพื่อสร้างเงื่อนไขของกระบวนการให้สามารถส่งอีเมลได้ ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวสามารถทำงานร่วมกันได้เป็นอย่างดี

### 2.3 การทดสอบและประเมินผลโปรแกรม

เพื่อทดสอบความถูกต้องของระบบก่อนนำไปใช้งานจริง และประเมินระบบเพื่อหาประสิทธิภาพผลของการทำงาน คณะผู้วิจัยได้ทดสอบการใช้งานระบบกับกลุ่มตัวอย่าง เพื่อนำผลการทดสอบไปใช้เพื่อแก้ไขและปรับปรุงระบบให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยได้จัดทำแบบสอบถามความพึงพอใจการใช้งานระบบ สอบถามจากผู้ดูแลระบบซึ่งเป็นพนักงานภายในบริษัท รวมทั้งสิ้น 4 คน แล้วจึงนำผลการประเมินมาวิเคราะห์โดยใช้หลักการสถิติโดยใช้การหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต และการวัดการกระจายของข้อมูลโดยใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

### 3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

จากการดำเนินการตามขั้นตอนการวิจัย สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

#### 3.1 ผลการพัฒนาระบบ

ผู้ดูแลระบบสามารถเข้าทำงานในส่วนต่าง ๆ ของระบบผ่านหน้าจอเมนูหลัก ได้ดังภาพที่ 4



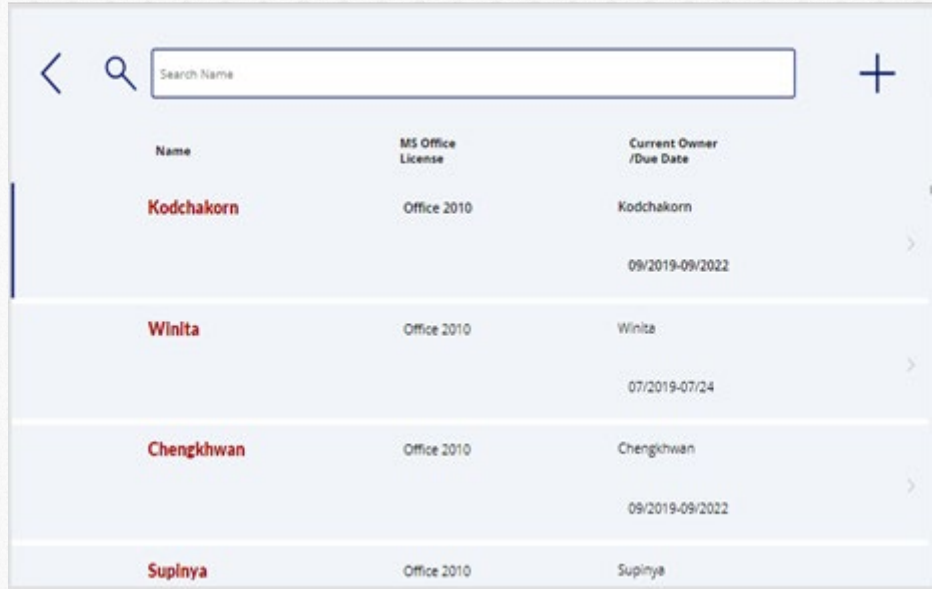
ภาพที่ 4 หน้าจอเมนูหลัก

จากภาพที่ 4 ผู้ดูแลระบบเข้าใช้งานระบบด้วยการคลิกปุ่ม DataTH ในกรณีที่ต้องการดูแผงควบคุม (Dashboard) คลิกปุ่ม LicenseTH ในกรณีที่ต้องการดูข้อมูลของพนักงานที่ใช้ลิขสิทธิ์ และคลิกที่ปุ่ม Home เมื่อต้องการกลับไปยังหน้าจอหลัก



ภาพที่ 5 หน้าจอแสดงรายการข้อมูลลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์

เมื่อผู้ดูแลระบบคลิกปุ่ม LicenseTH แล้วจะเข้าสู่หน้าจอแสดงรายการข้อมูลลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ที่มีอยู่ สามารถเลือกดูรายการด้วยการคลิกที่รายการชุดซอฟต์แวร์ที่ต้องการดูรายละเอียด ดังภาพที่ 5 และสามารถเพิ่มรายการข้อมูลลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ได้จากการคลิกที่ปุ่ม + ที่หน้าแสดงข้อมูลลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ ดังภาพที่ 6



Name	MS Office License	Current Owner / Due Date
Kodchakorn	Office 2010	Kodchakorn 09/2019-09/2022
Winita	Office 2010	Winita 07/2019-07/24
Chengkhwan	Office 2010	Chengkhwan 09/2019-09/2022
Supinya	Office 2010	Supinya

ภาพที่ 6 หน้าจอแสดงข้อมูลลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์



Item		
Department Secretary	User Name Winita	Computer Name ThWinita
Login Name winita	Start: M / Y 07/2019-07/24	Processor i5-8400
Memory 8	MachineType	Model OptiPlex3060
Machine S/N 874P@W2	OS Windows 10 Pro	Microsoft Office Office 2010
Adobe	Monitor/SN Dell E2220H	Printer/SN 17RHXV2
Email	Expired Date	Attachments

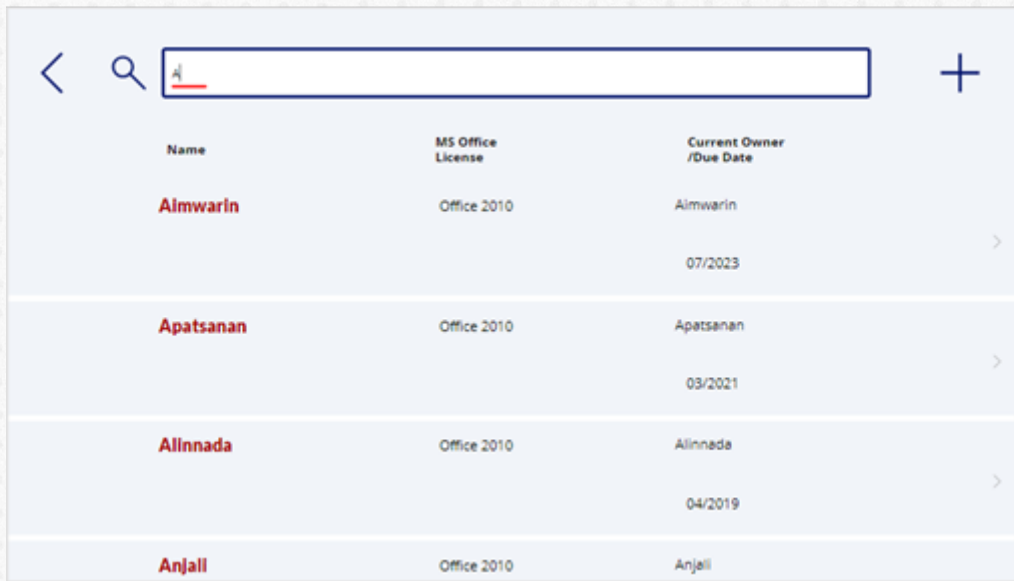
Edit
Delete

ภาพที่ 7 หน้าจอแสดงรายละเอียดของข้อมูลลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ที่เลือก

จากภาพที่ 7 จะแสดงรายละเอียดของข้อมูลลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ทั้งหมด หากผู้ดูแลระบบต้องการแก้ไขข้อมูลสามารถคลิกที่ปุ่ม Edit หากต้องการลบข้อมูลสัญญาให้คลิกที่ปุ่ม Delete เพื่อลบข้อมูลลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์

ส่วนของการสืบค้นข้อมูลลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ ผู้ดูแลระบบสามารถกรอกหมายเลขสัญญาที่ต้องการลงในช่องค้นหา ดังภาพที่ 8

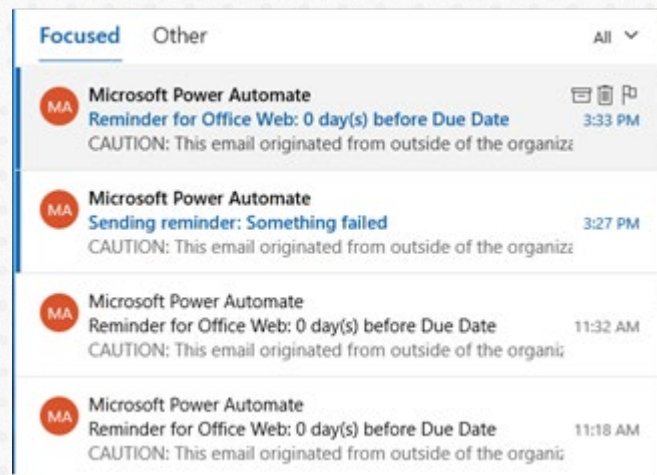




Name	MS Office License	Current Owner /Due Date
Aimwarin	Office 2010	Aimwarin 07/2023
Apatsanan	Office 2010	Apatsanan 03/2021
Alinnada	Office 2010	Alinnada 04/2019
Anjall	Office 2010	Anjall

ภาพที่ 8 หน้าจอการค้นหาข้อมูลลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์

เมื่อมีรายการลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ที่ครบอายุสัญญาตรงกับเงื่อนไขที่กำหนดจะดำเนินการส่งอีเมลแจ้งเตือนไปยังผู้ดูแลระบบ ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 การส่งอีเมลแจ้งเตือนไปยังผู้ดูแลระบบ

### 3.2 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อระบบ

จากการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบแจ้งเตือนการหมดอายุของลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น ได้มีการนำไปทดลองใช้งานกับผู้ดูแลระบบ จำนวน 4 คน และมีการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยใช้แบบประเมินความพึงพอใจของระบบ ซึ่งได้กำหนดเกณฑ์ตามวิธีของไลเคอร์ท (Likert's scale) โดยจะให้คะแนนในแต่ละหัวข้อตามความเหมาะสมซึ่งมีลำดับตามความหมายของคะแนน เกณฑ์ประกอบด้วยมาตราส่วนประเมินค่า (Rating scale) เชิงคุณภาพ 5 ระดับ ดังนี้

4.51-5.00	มีความพึงพอใจในระดับดีมาก
3.51-4.50	มีความพึงพอใจในระดับดี
2.51-3.50	มีความพึงพอใจในระดับปานกลาง
1.51-2.50	มีความพึงพอใจในระดับน้อย
1.00-1.50	มีความพึงพอใจในระดับน้อยมาก

โดยแบ่งการประเมินออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย การประเมินด้านเนื้อหาและการใช้งานระบบ การประเมินด้านรูปแบบ และการประเมินด้านภาพรวมของระบบ ซึ่งสามารถสรุปผลการดำเนินงานในแต่ละด้านได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ระดับความพึงพอใจในการใช้งานระบบแจ้งเตือนการหมดอายุของลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
<b>1. ด้านเนื้อหาและการใช้งานระบบ</b>			
1.1 ข้อมูลครบถ้วน มีความถูกต้อง	4.46	0.22	ดี
1.2 ลำดับการทำงานถูกต้อง	4.18	0.42	ดี
1.3 เข้าถึงข้อมูลอย่างรวดเร็ว	4.66	0.23	ดีมาก
<b>ค่าเฉลี่ยด้านเนื้อหาและการใช้งานระบบ</b>	<b>4.43</b>	<b>0.20</b>	<b>ดี</b>
<b>2. ด้านรูปแบบ</b>			
2.1 แบบตัวอักษรเหมาะสมและง่ายต่อการอ่าน	3.63	0.09	ดี
2.2 สีของตัวอักษรและพื้นหลังเหมาะสม	4.72	0.37	ดีมาก
2.3 รูปแบบง่ายต่อการใช้งานและไม่ซับซ้อน	3.80	0.25	ดี
<b>ค่าเฉลี่ยด้านรูปแบบ</b>	<b>4.05</b>	<b>0.48</b>	<b>ดี</b>
<b>3. ด้านภาพรวมของระบบ</b>			
3.1 แสดงผลได้อย่างถูกต้อง	3.93	0.19	ดี
3.2 ความรวดเร็วในการตอบสนองของระบบ	4.80	0.08	ดีมาก
3.3 ความพึงพอใจระบบ	3.35	0.43	ปานกลาง
<b>ค่าเฉลี่ยด้านภาพรวมของระบบ</b>	<b>4.03</b>	<b>0.59</b>	<b>ดี</b>
<b>ค่าเฉลี่ยโดยรวม</b>	<b>4.17</b>	<b>0.18</b>	<b>ดี</b>

จากตารางที่ 1 ผลการดำเนินงาน พบว่า ผลการประเมินความพึงพอใจในด้านเนื้อหาและการใช้งานระบบ อยู่ในระดับดี คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.43 ผลการประเมินความพึงพอใจในด้านรูปแบบ อยู่ในระดับดี คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.05 และผลการประเมินความพึงพอใจในด้านภาพรวมของระบบ อยู่ในระดับดี คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.03 ตามลำดับ จาก การประเมินความพึงพอใจของผู้ดูแลระบบต่อระบบแจ้งเตือนการหมดอายุของลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ผ่านระเบียบวิธีการทางสถิติ เพื่อทำการหาค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมดพบว่า ค่าเฉลี่ยที่ได้เท่ากับ 4.17 ในค่าสเกล 5 ระดับ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.18 แสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีความพึงพอใจของผู้ดูแลระบบโดยรวมอยู่ในระดับดี

#### 4. บทสรุป

ผลจากการดำเนินการวิจัยและการทดลองใช้งานระบบ พบว่า ระบบสามารถใช้งานได้ตามขอบเขต กล่าวคือ มีการทำงานที่ครอบคลุมทุกหน้าที่หลักที่หน่วยงานต้องการ และช่วยสนับสนุนการทำงานขององค์กร โดยที่พนักงานภายในองค์กรได้รับประโยชน์จากระบบอย่างต่อเนื่อง โดยสามารถเรียกดูข้อมูลลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์และตรวจสอบวันครบกำหนดอายุสัญญา ลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ได้อย่างอัตโนมัติ การจัดเก็บข้อมูลต่าง ๆ อย่างเป็นระบบทำให้ง่ายต่อการเรียกดูหรือแก้ไขข้อมูล เพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานได้เป็นอย่างดี จากการประเมินผลการดำเนินงานของผู้ดูแลระบบต่อระบบแจ้งเตือนการหมดอายุของลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ ผู้ดูแลระบบได้ให้ข้อเสนอแนะอันเป็นแนวทางเพื่อการปรับปรุงระบบในอนาคต กล่าวคือ ควรมีการสร้างแผงควบคุม (Dashboard) ที่แสดงสถานะของลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ทั้งหมดในเวลาจริง ซึ่งสามารถจัดทำให้เข้าใจได้ง่ายและสามารถตรวจสอบได้ทุกที่ทุกเวลา หรือเพิ่มความสามารถในการจัดการกับลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ในหลายประเทศ หากมีการประกอบธุรกิจหลายประเทศก็สามารถพิจารณาเพิ่มความสามารถในการจัดการกับลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ที่มีความหลากหลายได้

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณอย่างสูงต่อ บริษัท เมก้า ไลฟ์ไซแอนซ์ จำกัด (มหาชน) ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการปฏิบัติงาน และขอขอบคุณคุณสุเมธ ศุภรเชียร ตำแหน่ง ผู้จัดการพื้นฐานระบบสารสนเทศ ที่ให้ข้อมูลและคำแนะนำในการจัดทำระบบแจ้งเตือนการหมดอายุของลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] บริษัท เมก้า ไลฟ์ไซแอนซ์ จำกัด (มหาชน). (27 มิถุนายน 2567). ภาพรวมธุรกิจเพื่อนักลงทุน. สืบค้นจาก <https://investor.megawecare.com/th/corporate-info/investor-overview>.
- [2] บริษัท เมล มาสเตอร์ จำกัด. (27 มิถุนายน 2567). รวมสรุป Software License คืออะไรและมีกี่ชนิด ฉบับเข้าใจง่าย. สืบค้นจาก [mailmaster.co.th/detail/รวมสรุป-software-license-คืออะไรและมีกี่ชนิด-ฉบับเข้าใจง่าย](http://mailmaster.co.th/detail/รวมสรุป-software-license-คืออะไรและมีกี่ชนิด-ฉบับเข้าใจง่าย).
- [3] บริษัท เทคสเปซ จำกัด. (27 มิถุนายน 2567). Software License คืออะไร คือซอฟต์แวร์ลิขสิทธิ์หรือไม่. สืบค้นจาก <https://techspace.co.th/blog/software-license-computer-program/>.

## การเปรียบเทียบประสิทธิภาพถ่านกัมมันต์ในการลดค่า TDS ของน้ำประปา Comparison of Activated Carbon Efficiency in Reducing TDS of Water Supply

นิชาพัชร์ ชูอำนาจ<sup>1</sup> จุฬามาศ อภิพันธ์<sup>1</sup> ปภาดา อยู่มณเฑียร<sup>1\*</sup> วรณัฐ ดีละมัน<sup>1</sup>  
คณาวุฒิ อินทร์แก้ว<sup>1</sup> และ กิตติยศ ตั้งสัจจวงศ์<sup>1</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
\*E-mail: papada-y@rmutp.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับสารปนเปื้อน โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่ทำมาจาก กะลามะพร้าว ถ่านไม้ และแอนทราไซต์ในการลดค่า TDS (Total dissolved solids) ในน้ำประปา และสามารถนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการกรองน้ำในชีวิตประจำวันได้ โดยได้ทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการลดค่า TDS ทั้งหมด 3 ปัจจัย คือ ปัจจัยเรื่องปริมาณสารกรอง ระยะเวลาในการกรอง และจำนวนรอบในการกรองซ้ำ จากการทดลองพบว่า การกรองน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ปริมาณ 2 ลิตร ให้ประสิทธิภาพในการลดค่า TDS ได้ดีที่สุด และระยะเวลาในการกรองที่ 30 นาที รวมถึงการกรองซ้ำ 2 รอบ จะให้ประสิทธิภาพในการลดค่า TDS ได้ดีที่สุด โดยค่า TDS ขาเข้าที่ใช้ในการทดลองมีค่าประมาณ 390 mg/L และสามารถลดค่า TDS ลงได้ดีที่สุด คือลดลงเหลือ 90 mg/L

**คำสำคัญ:** ถ่านกัมมันต์ น้ำประปา การดูดซับ ของแข็งละลายน้ำ การกรอง

### Abstract

The purpose of this study was to investigate the factors affecting the efficiency of contaminant absorption using activated carbon made from coconut shells, wood charcoal and anthracite to reduce TDS (Total dissolved solids) in water supply. The results can be applied to daily water filtration. A total of 3 factors affecting the effectiveness of TDS reduction were studied, namely the factors of different filter contents, filtration time, and the number of re-filtration cycles. The experiments were conducted using filtrations volumes It was found that the filtration volume was 2 liters provided the best TDS reduction efficiency. Additionally, a filtration time of 30 minutes and re-filtration of 2 cycles was the best results. The inlet TDS used in the experiment was approximately 390 mg/L and the best TDS could be reduced to 90 mg/L. Moreover, filtration affected pH level, determined by the type of activated Carbon used.

**Keywords:** Activated carbon, Water supply, Adsorption, Total dissolved solids, Filtration

## 1. บทนำ

ปัจจุบันน้ำเป็นสิ่งจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิตทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นคนหรือสัตว์ น้ำสะอาดที่ใช้ดื่มกิน ใช้หุงต้มอาหาร ใช้ซักเสื้อผ้า ใช้ปลูกต้นไม้หรือใช้ชะล้างสิ่งสกปรกต่าง ๆ ซึ่งร่างกายของคนเรามีความจำเป็นต้องใช้น้ำในการดำเนินชีวิต และต้องเป็นน้ำที่สะอาดปราศจากสิ่งปนเปื้อนตามมาตรฐานคุณภาพน้ำประปา [1] ดังนั้น น้ำประปาจึงเป็นบริการสาธารณสุขประเภทที่มีความสำคัญ เนื่องจากมีเป้าหมายเพื่อให้ประชาชนมีน้ำสะอาดและเพียงพอ เพื่อใช้ในการอุปโภคบริโภค โดยปริมาณความต้องการใช้น้ำประปา ในเขตกรุงเทพมหานครฯ มีปริมาณเฉลี่ยสูงถึง 5.92 ล้านลูกบาศก์เมตร/วัน (การประปานครหลวง) [2] น้ำประปาที่นำมาใช้ต้องผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนนำไปใช้ สำหรับแหล่งน้ำที่นำมาทำการผลิตน้ำประปาได้แก่ แหล่งน้ำผิวดินธรรมชาติที่สามารถพบเห็นได้ง่าย เช่น แม่น้ำ คลอง ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ หรือทะเล ซึ่งแหล่งน้ำดิบนั้นเป็นแหล่งที่ไม่สามารถนำมาใช้ในการบริโภคได้โดยตรง เนื่องจากเป็นแหล่งน้ำที่มีสิ่งสกปรกและเชื้อโรคเจือปนอยู่จำนวนมาก [3]

ปัญหาของสารตกค้างในน้ำประปา เป็นปัญหาที่ยังพบเจอในปัจจุบัน เพราะส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตและสุขภาพอนามัยของผู้ใช้น้ำ โดยสารตกค้างที่พบบนนั้นมีหลายพารามิเตอร์ เช่น ค่า pH ความขุ่น สี ความกระด้าง และค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS) โดยค่า TDS ในน้ำเป็นการวัดปริมาณของสารละลายทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำ เช่น แร่ธาตุ เกลือ อย่างไรก็ตามการมีค่า TDS ที่สูงอาจบ่งบอกถึงการมีสารละลายที่ไม่เหมาะสมหรือสารตกค้างที่อาจมีผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาว และอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดสารก่อมะเร็งได้ [4]

ในการศึกษาครั้งนี้จะศึกษาการใช้ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) หรือ ถ่านดูดซับ ในการลดค่าความสกปรกในน้ำประปา ซึ่งถ่านกัมมันต์ในปัจจุบัน ผลิตมาจากกะลามะพร้าว, ถ่านหิน, ไม้, เมล็ดพืช และวัสดุจำพวกที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์นี้เป็นปัจจัยหลัก ที่ทำให้ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการดูดซับได้ และลดความสกปรกในน้ำประปา [5] โดยวัสดุดูดซับที่นำมาทดลองเปรียบเทียบมี 3 ชนิด ได้แก่ แอนทราไซต์ ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกะลามะพร้าว และถ่านไม้ เพื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดความสกปรกของสารกรองแต่ละชนิด เพื่อเป็นข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำประปาให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

## 2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

### 2.1 ขั้นตอนการเตรียมถ่านกัมมันต์

นำถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดไปล้างน้ำจนกว่าน้ำที่ล้างจะออกมาเป็นสีใส ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 สารกรองที่นำมาใช้ในการทดลอง

## 2.2 ขั้นตอนการกรองน้ำจากถ่านกัมมันต์

### 2.2.1 การทดสอบการกรองด้วยปัจจัยด้านปริมาณของสารกรอง

นำถ่านกัมมันต์แต่ละชนิดไปใส่ใน Activated Carbon Filter ในปริมาณ 1 ลิตร 2 ลิตร และ 3 ลิตร ตามลำดับ เพื่อหาปริมาณที่ดีที่สุดในการดูดซับค่า TDS แล้วนำไปใช้กับปัจจัยต่อ ๆ ไป หลังจากนั้นนำน้ำประปามากรองผ่าน ถ่านกัมมันต์ เพื่อเก็บตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์ข้อมูล

### 2.2.2 การทดสอบการกรองด้วยปัจจัยด้านระยะเวลาในการกรอง

นำปริมาณของถ่านกัมมันต์ที่ดีที่สุดมาใช้ในปัจจัยนี้ แล้วนำน้ำประปามากรองผ่านถ่านกัมมันต์ และจับ เวลา 15 นาที 30 นาที และ 45 นาที ก่อนจะปล่อยน้ำ เพื่อทำการเก็บตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์ข้อมูล

### 2.2.3 การทดสอบการกรองด้วยปัจจัยด้านจำนวนรอบในการกรองซ้ำ

เลือกปริมาณที่ดีที่สุดของถ่านกัมมันต์มาใช้ แล้วนำน้ำประปามากรองผ่าน จากนั้นนำน้ำที่ปล่อยออกมาแล้วในรอบที่ 1 ไปวนกรองผ่านถ่านกัมมันต์อีกรอบ แล้วทำซ้ำทั้งหมด 3 รอบ

## 2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่า TDS ดังภาพที่ 2

1. นำถ้วยครุชเชิลไปอบที่ hot air oven ในอุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
2. หลังจากอบถ้วยครุชเชิลเสร็จแล้วให้นำถ้วยครุชเชิลไปใส่ในตู้ดูดความชื้นเพื่อปรับเป็นอุณหภูมิห้อง
3. พออุณหภูมิถ้วยครุชเชิลเป็นอุณหภูมิห้องแล้ว นำถ้วยครุชเชิลไปชั่งน้ำหนักและบันทึกข้อมูล
4. คีบกระดาษกรองใยแก้ว (GF/C) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 47 mm. มาใส่ในชุดกรองแบบสุญญากาศแล้วล้างกระดาษกรองด้วยน้ำกลั่นปริมาณ 10 ml. จำนวน 3 ครั้ง เปิดปั๊มสุญญากาศขณะเท เพื่อดูดน้ำให้แห้ง
5. นำน้ำตัวอย่าง 100 ml. มาเทใส่ชุดกรองแบบสุญญากาศผ่านกระดาษกรอง เปิดปั๊มสุญญากาศขณะเท
6. ปิดน้ำตัวอย่าง 5 ml. ในชุดกรองมาใส่ในถ้วยครุชเชิล
7. นำถ้วยครุชเชิลมาใส่ในเครื่อง water bath ตั้งอุณหภูมิ 105°C และรอนกว่าน้ำตัวอย่างจะระเหยจนหมดด้วย
8. พอตัวอย่างระเหยหมดแล้วให้นำถ้วยครุชเชิลไปอบที่ hot air oven ที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที
9. นำถ้วยครุชเชิลไปใส่ตู้ดูดความชื้นจนกว่าถ้วยครุชเชิลจะเป็นอุณหภูมิห้อง
10. นำถ้วยครุชเชิลมาชั่งน้ำหนัก บันทึกผลและนำมาคำนวณหาค่า TDS

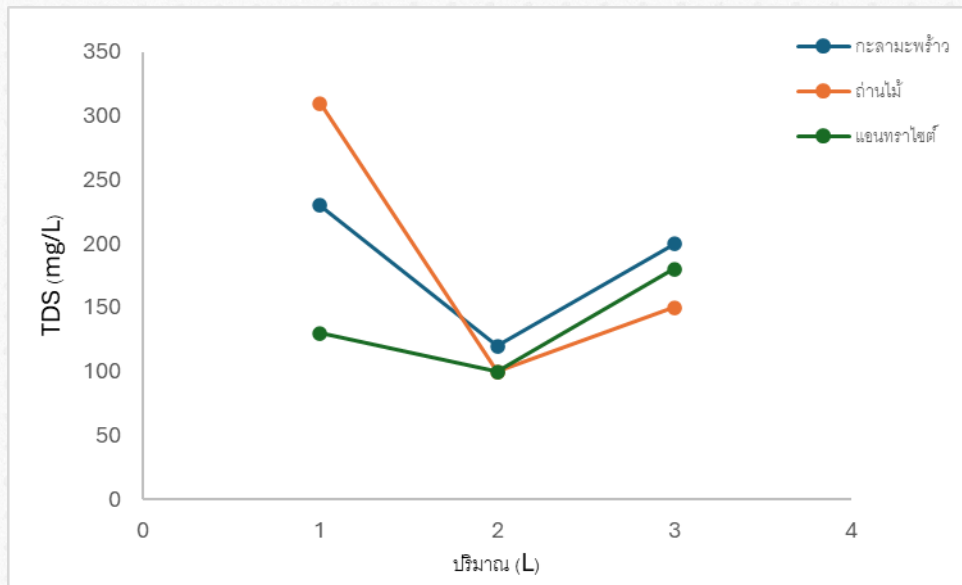


ภาพที่ 2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ค่า TDS (Total dissolved solids)

### 3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

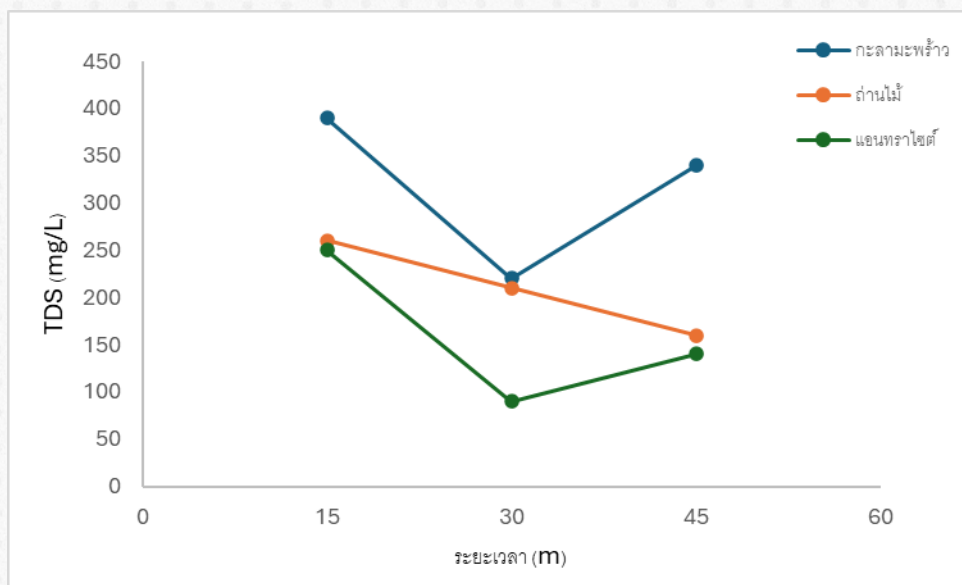
ผลการทดลองพบว่า ค่า TDS (Total dissolved solids) ในน้ำประปามีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเมื่อผ่านการกรองด้วยถ่านกัมมันต์ทั้ง 3 ชนิด คือ กะลามะพร้าว ถ่านไม้ และแอนทราไซต์ โดยในแต่ละชนิดจะมีค่า TDS แตกต่างกัน

ผลการทดลองปัจจัยที่ 1 ปริมาณสารกรอง จะแบ่งสารกรองออกเป็น 1 ลิตร 2 ลิตร และ 3 ลิตร ถ่านกะลามะพร้าว ปริมาณ 1 ลิตร มีค่า TDS ลดลงเหลือ 230 mg/L ปริมาณ 2 ลิตร มีค่า TDS ลดลงเหลือ 120 mg/L และปริมาณ 3 ลิตร มีค่า TDS ลดลงเหลือ 200 mg/L ในส่วนของถ่านไม้ปริมาณ 1 ลิตร มีค่า TDS ลดลงเหลือ 310 mg/L ปริมาณ 2 ลิตร มีค่า TDS ลดลงเหลือ 100 mg/L และปริมาณ 3 ลิตร มีค่า TDS ลดลงเหลือ 150 mg/L และถ่านแอนทราไซต์ปริมาณ 1 ลิตร มีค่า TDS ลดลงเหลือ 130 mg/L ปริมาณ 2 ลิตร มีค่า TDS ลดลงเหลือ 100 mg/L และปริมาณ 3 ลิตร มีค่า TDS ลดลงเหลือ 180 mg/L ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การลดลงของค่า TDS ในน้ำประปาที่กรองผ่านสารกรองทั้ง 3 ชนิด ในปริมาณต่าง ๆ

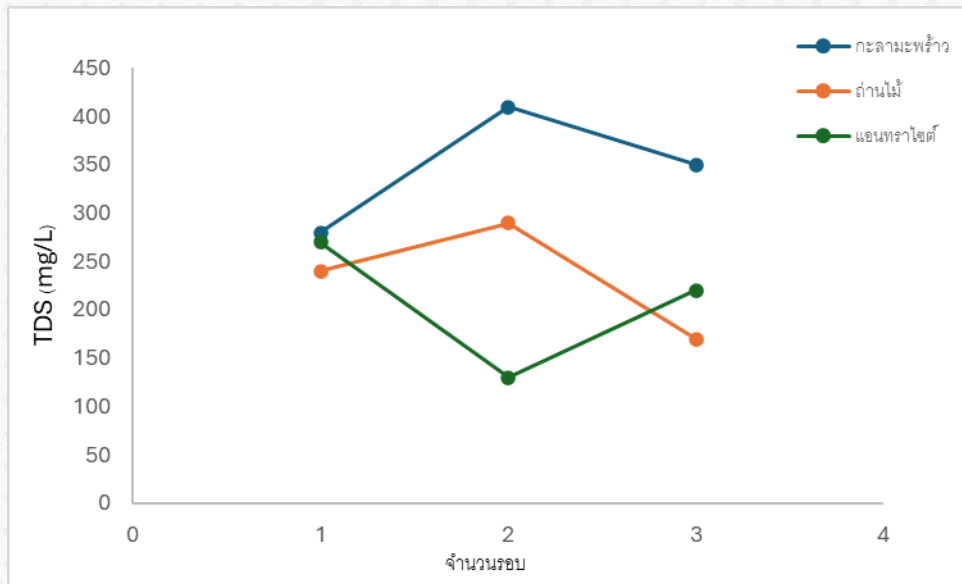
ผลการทดลองปัจจัยที่ 2 ระยะเวลาในการกรอง จะแบ่งเวลาออกเป็น 15 นาที 30 นาที และ 45 นาที ถ่านกะลามะพร้าวหลังกรองด้วยเวลา 15 นาที มีค่า TDS ลดลงเหลือ 390 mg/L ที่เวลา 30 นาที มีค่า TDS ลดลงเหลือ 220 mg/L และ 45 นาที มีค่า TDS ลดลงเหลือ เพิ่มขึ้นเป็น 340 mg/L ในส่วนของถ่านไม้ทำการกรอง 15 นาที มีค่า TDS ลดลงเหลือ 260 mg/L 30 นาที มีค่า TDS ลดลงเหลือ 210 mg/L และ 45 นาที มีค่า TDS ลดลงเหลือ 160 mg/L และ ถ่านแอนทราไซต์ในเวลา 15 นาที มีค่า TDS ลดลงเหลือ 250 mg/L 30 นาที มีค่า TDS ลดลงเหลือ 90 mg/L และ 45 นาที มีค่า TDS ลดลงเหลือ 140 mg/L ตามลำดับ โดยในการกรอง 30 นาที ของแอนทราไซต์มีค่า TDS ลดลงมากที่สุด ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การลดลงของค่า TDS ในน้ำประปาที่กรองผ่านสารกรองทั้ง 3 ชนิด ในเวลาต่าง ๆ



ผลการทดลองปัจจัยที่ 3 จำนวนรอบในการกรอง จะแบ่งรอบออกเป็นกรอง 1 รอบ 2 รอบ และ 3 รอบ โดยการกรองด้วยถ่านกะลามะพร้าวในการวน 1 รอบ มีค่า TDS ลดลงเหลือ 280 mg/L 2 รอบ มีค่า TDS ลดลงเหลือ 410 mg/L และ 3 รอบ มีค่า TDS ลดลงเหลือ 350 mg/L ในส่วนของถ่านไม้ในการวน 1 รอบ มีค่า TDS ลดลงเหลือ 240 mg/L 2 รอบ มีค่า TDS ลดลงเหลือ 290 mg/L และ 3 รอบ มีค่า TDS ลดลงเหลือ 170 mg/L และถ่านแอนทราไซต์ในการวน 1 รอบ มีค่า TDS ลดลงเหลือ 270 mg/L 2 รอบ มีค่า TDS ลดลงเหลือ 130 mg/L และ 3 รอบ มีค่า TDS ลดลงเหลือ 220 mg/L ตามลำดับ โดยในการกรองวน 2 รอบ ด้วยสารกรองแอนทราไซต์จะมีค่า TDS ลดลงมากที่สุด ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การลดลงของค่า TDS ในน้ำประปาที่กรองผ่านสารกรองทั้ง 3 ชนิด ในการกรองวนแต่ละรอบ

จากผลการทดลองปัจจัยที่ 3 เนื่องจากถ่านแอนทราไซต์ น้ำขาออกรอบที่ 2 สามารถลดค่าพารามิเตอร์ได้ดีกว่า น้ำขาออกรอบที่ 1 เพราะน้ำขาออกรอบที่ 2 เป็นน้ำที่ผ่านกระบวนการกรองมาจากรอบแรก ซึ่งได้นำมาผ่านกระบวนการกรองวนเป็นรอบที่ 2 ทำให้กรองค่า TDS จากรอบแรกได้ดีกว่า จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้รอบที่ 2 ดีกว่ารอบแรก และในถ่านไม้ของน้ำขาออกรอบที่ 3 สามารถลดค่าพารามิเตอร์ได้ดีที่สุด โดยเฉพาะ TDS ที่ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดเพราะน้ำรอบที่ 3 ได้ผ่านกระบวนการกรองจากน้ำรอบแรกและรอบที่ 2 จึงทำให้สามารถกรองค่า TDS ให้เหลือน้อยลงได้ดีกว่า จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้น้ำขาออกรอบที่ 3 ของถ่านไม้ เป็นรอบที่ดีที่สุด

#### 4. บทสรุป

จากการศึกษาถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ทั้ง 3 ชนิดที่เลือกนำมาใช้ในการลดค่า TDS ในน้ำประปา ได้แก่ กะลามะพร้าว ถ่านไม้ และ แอนทราไซต์ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับค่า TDS โดยศึกษา 3 ปัจจัย คือ ปริมาณสารกรองที่ใช้ ระยะเวลาในการกรอง และ จำนวนรอบในการกรองซ้ำ พบว่า สารกรองประเภทแอนทราไซต์ มีการลดค่า TDS ได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับสารกรองประเภทที่ทำมาจากกะลามะพร้าวและถ่านไม้ โดยผลการทดลองในปัจจัยที่ 1 ปริมาณสารกรอง สามารถลดค่า TDS ได้ดีที่สุดเหลือ 100 mg/L ปัจจัยที่ 2 ระยะเวลาในการกรอง ค่าการลดลง TDS ที่ดีที่สุดสามารถทำให้ค่า TDS ลดลงเหลือ 90 mg/L และ ปัจจัยที่ 3 จำนวนรอบในการกรองซ้ำ ผลการทดลองที่ลดค่า TDS ได้ดีที่สุดคือ สามารถลดค่าลงเหลือ 130 mg/L จึงสรุปได้ว่าถ่านกัมมันต์จากแอนทราไซต์เป็นถ่านที่ดีที่สุดในการลดค่า TDS ในน้ำประปา

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา คณะกรรมการและเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ช่วยเหลือให้คำปรึกษาและอำนวยความสะดวกในด้านสถานที่ในการปฏิบัติการ สนับสนุนเครื่องมือต่างๆในงานวิจัย ตลอดจนเสร็จจุล่งด้วยดี

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Provincial Waterworks Authority (2563). Tap Water Quality Standards of Provincial Waterwork Authority. สืบค้นจาก <https://www.pwa.co.th/contents/about/history>.
- [2] Miter Water (17 กรกฎาคม 2566). what is a water supply system? How many types are there, along with how to produce and design them to meet standards. สืบค้นจาก <https://mitrwater.com/what-is-a-water-supply-system/>.
- [3] Kacha. (11 สิงหาคม 2564). The difference between pure water and clean water. Water supply. สืบค้นจาก <https://www.kacha.co.th/articles/น้ำประปา-ในบ้านเป็นแบบ/>.
- [4] Carbokarn Company (2559). Basic information about activated carbon. สืบค้นจาก <https://www.carbokarn.co.th/ถ่านกัมมันต์/>
- [5] ธีญพิสิษฐ์ พวงจิก. ถ่านกัมมันต์จากไม้ไผ่ : ตลาดยังมีความต้องการสูง ? Activated Carbon from Bamboo: Does the Market have a High Demand ?. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 23(ฉบับพิเศษ 6)(2558) 945 – 954.

## การพัฒนาระบบตรวจบทความย่อปริญญาานิพนธ์โดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล Development of a System for Checking Abstracts and Thesis by Using Data Mining Techniques

วชิรวิชัย ดีวันไชย<sup>1\*</sup> กฤษณ์ณรงค์ รัตนโกเศศธรรมา<sup>1</sup> ตริทเศศ แสงอุษา<sup>1</sup>  
กฤษ สิ้นธนะกุล<sup>1</sup> และ อุกฤษฐิวัฒน์ พิมพ์พา<sup>2</sup>

<sup>1</sup>มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

<sup>2</sup>มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

\*E-mail: S6402041620124@email.kmutnb.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการพัฒนาระบบตรวจบทความย่อปริญญาานิพนธ์โดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล เพื่อสร้างโมเดลที่ใช้สำหรับทำนายประเภทบทความย่อ ประเภทบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (Computer-Aided Instruction : CAI) บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนบนเว็บ (Web-Based Instruction : WBI) และ ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ (Management Information Systems : MIS) และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลด้วยเทคนิค การสุ่มป่าไม้ (Random Forest) เนอ์ฟเบย์ (Naïve Bayes) การถดถอยโลจิสติกส์ (Logistic Regression) โครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการ (Convolutional Neural Network) และเครือข่ายความจำระยะสั้นแบบยาว (Long Short-Term Memory) โดยแสดงผลผ่านเว็บแอปพลิเคชัน เครื่องมือที่ใช้ในการสร้างโมเดล และเว็บแอปพลิเคชัน คือ ภาษา Python เพื่อสร้างโมเดลเทคนิคต่างๆ โดยมีชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบจำนวน 624 ตัวอย่าง และแอททริบิวต์จำนวน 2 ตัว โดยแบ่ง 2 กลุ่ม ได้แก่ ชุดข้อมูลสำหรับสอน 70% และชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ 30% ผลการทดสอบความแม่นยำของโมเดลที่ใช้ในการพยากรณ์ พบว่า การสุ่มป่าไม้ (Random Forest) เท่ากับ 75% เนอ์ฟเบย์ (Naïve Bayes) เท่ากับ 70.27% การถดถอยโลจิสติกส์ (Logistic Regression) เท่ากับ 98.38% โครงข่ายประสาท-เทียมแบบสังวัตนาการ (Convolutional Neural Network) เท่ากับ 78.38% และเครือข่ายความจำระยะสั้นแบบยาว (Long Short-Term Memory) เท่ากับ 98.99% เพื่อให้สามารถใช้งานโมเดลและข้อมูลได้ ได้มีการพัฒนาเว็บไซต์สำหรับตรวจสอบบทความย่อ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ใช้งานโมเดลในการพยากรณ์ และส่วนที่ใช้ในการแสดงข้อมูลในรูปแบบภาพนิ่ง

**คำสำคัญ:** การเรียนรู้ของเครื่อง เหมืองข้อมูล การจัดแบ่งประเภทข้อความ

### Abstract

This research was conducted with the aim of studying the development of an abstract review system for theses using data mining techniques. Was to create models to predict the type of abstracts in the categories of Computer-Aided Instruction (CAI), Web-Based Instruction (WBI), and Management Information Systems (MIS), and to compare the performance of these models using techniques such as Random Forest, Naïve Bayes, Logistic Regression, Convolutional Neural Network (CNN), and Long Short-

Term Memory (LSTM). The results are presented through a web application. The tools used to create the models and the web application were based on the Python programming language, utilizing various techniques. The dataset used for testing consists of 624 samples with 2 attributes, divided into two groups: 70% for training and 30% for testing. The testing results of the predictive models revealed the following accuracies: Random Forest at 75%, Naïve Bayes at 70.27%, Logistic Regression at 98.38%, Convolutional Neural Network at 78.38%, and Long Short-Term Memory at 98.99%. The use of the models and data, a website was developed for abstract review, which is divided into two parts: one for using the models to make predictions and the other for displaying data in a static format.

**Keywords:** Machine learning, Data mining, Text classification

## 1. บทนำ

ปัจจุบันได้เข้าสู่ยุคของ ฐานข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) อย่างเต็มตัวทุกพฤติกรรมในการใช้งานสิ่งต่าง ๆ ทำให้เกิดข้อมูลขึ้นอยู่ตลอดเวลา ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ก็จะมีประโยชน์ และสร้างโอกาสอย่างมากหากภาคธุรกิจต่าง ๆ นำไปใช้แต่การจะนำฐานข้อมูลขนาดใหญ่ไปใช้งานได้ต้องมีการแยกแยะ และจำแนกข้อมูลชุดนั้นออกมา เหมือนข้อมูล (Data Mining) คือสิ่งที่จะเข้ามาช่วยจำแนกแยกแยะฐานข้อมูลขนาดใหญ่ได้ เหมือนข้อมูลได้กำเนิดขึ้นโดยแฝงอยู่ในงาน ด้านต่าง ๆ เช่น ด้านการศึกษา ด้านธุรกิจ ด้านการแพทย์ เป็นต้น [1] เหมือนข้อมูลจัดเป็นกระบวนการอัตโนมัติ เพื่อค้นพบข้อสนเทศหรือองค์ความรู้ รูปแบบ หรือแม้แต่ตัวแบบเพื่อการพยากรณ์จากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ [2] การทำเหมืองข้อมูลเป็นเทคนิคที่ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์เพื่อประมวลผล และสำรวจชุดข้อมูลขนาดใหญ่ เมื่อใช้เครื่องมือต่าง ๆ และวิธีการทำเหมืองข้อมูล องค์กรสามารถค้นพบรูปแบบและความสัมพันธ์ที่ซ่อนอยู่ในข้อมูลของตน การทำเหมืองข้อมูลแปลงข้อมูลดิบเป็นความรู้เชิงปฏิบัติและใช้ความรู้นี้ในการแก้ไขปัญหา วิเคราะห์ผลกระทบในอนาคตของการตัดสินใจทางธุรกิจ [3]

Machine Learning คือสาขาหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ (AI) ที่มุ่งเน้นให้คอมพิวเตอร์เรียนรู้จากข้อมูลและประสบการณ์โดยไม่ต้องโปรแกรมให้ทำงานโดยตรง โดยใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์และสถิติในการวิเคราะห์และสร้างรูปแบบจากข้อมูลเพื่อทำนายหรือทำการตัดสินใจ ในการประยุกต์ใช้กับฐานข้อมูล มีขั้นตอนหลัก ได้แก่ การรวบรวมและเตรียมข้อมูล, การจัดเก็บและจัดการข้อมูลด้วยเทคโนโลยี เช่น Relational Databases, NoSQL, Hadoop และ Spark, การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคต่าง ๆ เช่น Random Forest, Logistic Regression, Naive Bayes, Convolutional Neural Networks (CNN) และ Long Short-Term Memory (LSTM), การสร้างและฝึกอบรมโมเดล, และการประเมินผลโมเดลด้วยเทคนิค Precision-Recall การนำ Machine Learning มาใช้สามารถเพิ่มความแม่นยำในการพยากรณ์ การเข้าใจพฤติกรรมและแนวโน้ม การปรับปรุงการตัดสินใจ และการเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงาน ซึ่งช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันในยุคดิจิทัลได้อย่างยั่งยืน งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบตรวจพบภัยคุกคามและการใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล รวมถึงงานของ [4] CNN ที่ใช้ในการจำแนกเอกสารและพบว่ามีความแม่นยำสูง [5] ที่แสดงว่า FastText มีประสิทธิภาพสูงในการจัดหมวดหมู่ข้อความที่พบว่า LSTM ให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำกว่าการจับลำดับและบริบทของข้อมูลได้ดี [6] และที่ศึกษาการใช้ Random Forest และ Naive Bayes และพบว่าการรวมเทคนิคหลาย ๆ อันสามารถเพิ่มความแม่นยำในการจำแนกประเภทได้ การศึกษาเหล่านี้ช่วยเสริมความเข้าใจเกี่ยวกับความสามารถและข้อดีของแต่ละเทคนิคในการวิเคราะห์และจัดหมวดหมู่เอกสารอย่างมีประสิทธิภาพ [7]

ดังนั้น ผู้จัดทำจึงมีความต้องการพัฒนาระบบตรวจพบภัยคุกคามปัญญาประดิษฐ์ภาควิชาคอมพิวเตอร์ศึกษาโดยเทคนิคเหมืองข้อมูล เนื่องจากข้อมูลที่มีจำนวนมากและเทคนิคของเหมืองข้อมูลสามารถช่วยจัดการกับข้อมูลที่มีจำนวนมากได้ จึงมี

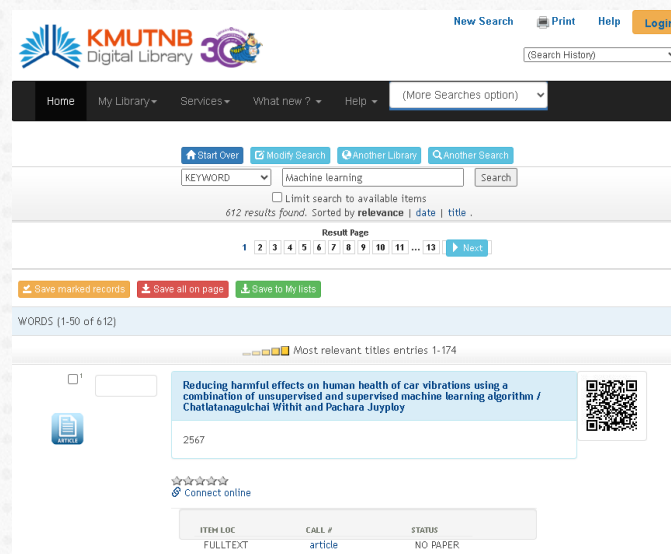
แนวคิดที่จะนำเหมืองข้อมูลมาใช้ในการพัฒนาระบบตรวจบทคัดย่อของภาควิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา คณะครุศาสตร์  
อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เพื่อให้นักศึกษาตรวจสอบบทคัดย่อ และมีตัวอย่าง  
บทคัดย่อของปริญญาณิพนธ์ และวิทยานิพนธ์ ที่ตรงกับอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการของนักศึกษา และประเภทเดียวกับ  
โครงการของนักศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการเขียนบทคัดย่อ

## 2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยนี้ได้ใช้กระบวนการในการทำเหมืองความคิดเห็นซึ่งมี 4 ขั้นตอนมาใช้ โดยเริ่มจากการรวบรวม  
ข้อมูล การเตรียมข้อมูล การพัฒนาระบบตรวจบทคัดย่อและการวัดประสิทธิภาพของระบบตรวจบทคัดย่อ

### 2.1 การรวบรวมข้อมูล

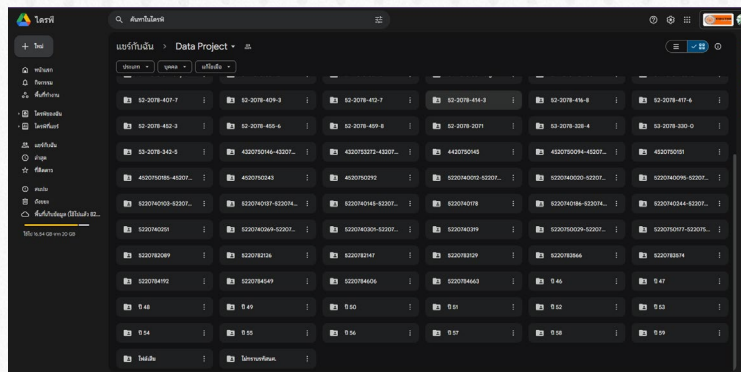
การเก็บรวบรวมข้อมูลคณะผู้จัดทำวิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 สิงหาคม 2566 ถึงวันที่ 31  
ธันวาคม 2566 โดยเริ่มจากเว็บไซต์ห้องสมุดมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ โดยการนำใบรายชื่อ  
นักศึกษา ปี 2546-2563 ค้นหาเพื่อเก็บรวบรวมเล่มปริญญาณิพนธ์ และวิทยานิพนธ์ ของภาควิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา  
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม โดยจะแสดงในภาพที่ 1 และได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากแผ่น CD และ แฟลชไดรฟ์ รวมแล้ว  
841 เล่ม โดยนับรวมเล่มที่เสีย หากนับเล่มที่นำข้อมูลมาใช้ได้มีจำนวนทั้งหมด 624 เล่ม โดยเก็บรวบรวมไว้ใน Google Drive  
และ Google sheet โดยจะแสดงให้เห็นในภาพที่ 2 - 4



ภาพที่ 1 เก็บข้อมูลจากเว็บไซต์ห้องสมุด มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



ภาพที่ 2 เก็บข้อมูลจากแผ่น CD



ภาพที่ 3 ข้อมูลที่นำมาเก็บใน Google Drive

U	W	X	Y
class	ภาควิชา	ปีการศึกษา	บทคัดย่อ
CAI		2553	การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์:
CAI	TCT-RA 52	2553	บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน
CAI	TCT-RA 52	2553	โครงการเรื่องการพัฒนาสื่อ
CAI	ภาควิชาคอมพิวเตอร์	2556	บริษัท อี พอร์ แอล อินเตอร์
CAI	ภาควิชาคอมพิวเตอร์	2556	โครงการนำวัสดุประสมผงไฟ
CAI	ภาควิชาคอมพิวเตอร์	2556	โครงการเรื่องการพัฒนาบท
CAI	ภาควิชาคอมพิวเตอร์	2556	โครงการเรื่อง การออกแบบ
CAI	ภาควิชาคอมพิวเตอร์	2556	บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยส
			โครงการพัฒนาบทเรียน
			อาชีวศึกษา คณะครุศาสตร์
			แนวคิดที่จะพัฒนาสื่อการเรี
			สำหรับใช้ในการทบทวนเพื่
			กิจกรรมประจำวันที่ผู้เรียน
			ขอชมเชยของเนื้อหา และสร
			กิจกรรมระดับโปรแกรม Ad
			Script 2.0 การบันทึกเลิน
			ผลการดำเนินงานโครงการ
			อาชีวศึกษา มสปรากยวาส
CAI	ภาควิชาคอมพิวเตอร์	2556	

ภาพที่ 4 นำข้อมูลมาใส่ใน Google sheet

## 2.2 การเตรียมข้อมูล

ขั้นตอนในการทำ Data Preprocessing สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

2.2.1 การนำเข้าข้อมูล (Data Import)

2.2.2 การทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleaning)

2.2.3 การสร้าง Feature (Create Feature)

ข้อมูลที่นำมาศึกษาเป็นชุดข้อมูลเล่มปริญญานิพนธ์ และวิทยานิพนธ์ของคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ภาควิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา จำนวน 624 เล่ม หมวดหมู่ที่สามารถจำแนกได้มี 3 ประเภทหลัก คือ บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (CAI) บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนบนเว็บ (WBI) และ ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ (MIS) โดยข้อมูลเริ่มแรกทั้งหมดได้จัดเก็บอยู่ในรูปแบบของแผ่นซีดีและแฟลชไดรฟ์ จึงบันทึกข้อมูลจากแผ่นซีดีและแฟลชไดรฟ์ทั้งหมดเพื่อมาจัดเก็บอยู่ใน Google sheet งานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลทั้งหมดมาใช้ทำการวิเคราะห์เพื่อสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ ซึ่งข้อมูลจะมีรายละเอียดเบื้องต้นของข้อมูลดังนี้

**ตารางที่ 1** คุณลักษณะของข้อมูลที่นำมาใช้ในการสอนโมเดล

แอทริบิวต์	ชื่อตัวแปร	ลักษณะข้อมูล	จำนวนข้อมูล	หมายเหตุ
ข้อความ (Text)	Text	กลุ่มประเภท	0 = 270	0 = CAI
			1 = 137	1 = WBI
			2 = 220	2 = MIS

### 2.2.1 การนำเข้าข้อมูล (Data Import)

เป็นขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลจากไฟล์ (link CSV) เข้าสู่ระบบด้วยการเขียนโปรแกรมภาษา Python เพื่อดึงข้อมูล จากนั้นใช้งาน Library Pandas เพื่อนำข้อมูลมาแสดงผล

### 2.2.2 การทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleaning)

เริ่มจากการตรวจสอบค่าว่างของบทคัดย่อและประเภทโปรเจกต์ด้วยการจัดรูปแบบตามเงื่อนไขของ Google sheet ให้แสดงไฮไลท์ค่าว่าง จากนั้นเริ่มการลบอักขรพิเศษ คำฟุ่มเฟือย สัญลักษณ์พิเศษ เครื่องหมาย เครื่องหมายวรรคตอน และแบ่งคำ โดยสร้างฟังก์ชัน Text\_process รับ parameter คือข้อความ ฟังก์ชันประกอบไปด้วย ฟังก์ชัน replacements ที่ตั้งคำสั่งให้ลบ วงเล็บ ‘(, ’)’, ไม้ยมก ‘ๆ’, ยัติภังค์ ‘-’, อัศเจรีย์ ‘!’, ทับ ‘/’, มหัพภาค ‘.’, ทวิภาค ‘:’, ดอกจัน ‘\*’ และบุพสัญญา ‘”’ เป็นต้น

ฟังก์ชัน Thai\_stopwords เป็นการลบคำในประโยคที่ไม่ช่วยในการสื่อความหมาย

ฟังก์ชัน important\_keyword คือ ชุดคำที่เป็นคำสำคัญของข้อความ ที่ต้องการให้ข้อความแบ่งคำสำคัญตรงตามความต้องการและมีน้ำหนักในการพยากรณ์มาก ตัวอย่างของข้อความที่ต้องการแก้ไข

### 2.2.3 การสร้าง Feature

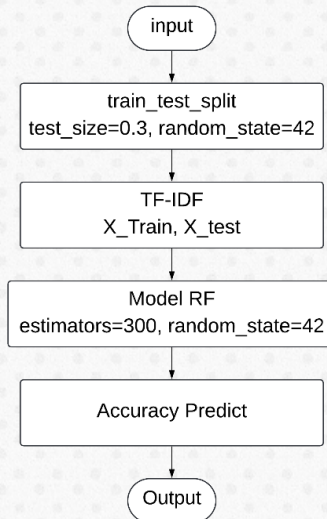
เป็นการคำนวณการสร้างค่าตัวเลขขึ้นมาค่าหนึ่งเพื่อเป็นตัวแทนคุณลักษณะหรือ Feature ของข้อความ (Text) นั้นๆ TF-IDF เป็นวิธีในการคำนวณสร้าง Feature โดยย่อมาจาก Term Frequency และ Inverse Document Frequency โดยจะใช้สูตรสมการโดยทั่วไป ค่าดัชนี TF-IDF = TF \* IDF

Bag-of-words (BOW) เป็นการสร้างตารางความถี่คำ มีความคล้ายกับการทำตารางแจกแจงว่ามีคำใดจำนวนเท่าไรโดยการสร้าง ตารางแจกแจงโดยไม่ได้คำนึงถึงหลักไวยากรณ์ ความถี่ที่พบ และลำดับของคำ โดยนำมาใช้เป็น Feature ในการเทรนตัวจัดแบ่งข้อความ Classifier

## 2.3 การพัฒนาระบบตรวจบทความคัดย่อ

โดยเริ่มจากการทำ Modeling และนำไปทำเป็นรูปแบบเว็บไซต์ ซึ่งการสร้างโมเดล (Modeling) มีดังนี้

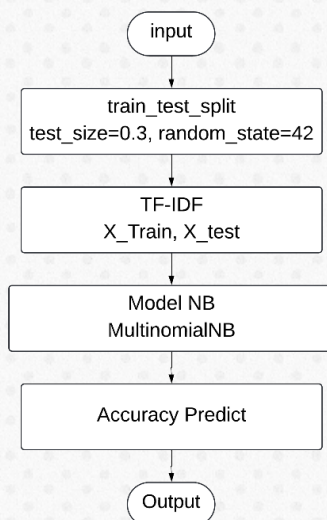
### 2.3.1 การสุ่มป่าไม้ (Random Forest)



ภาพที่ 5 Workflow การทำงานของโมเดลการสุ่มป่าไม้

การวิเคราะห์โมเดล ดังภาพที่ 5 เริ่มจาก 1) นำเข้า Library เพื่อสร้างโมเดลการสุ่มป่าไม้จาก Sklearn Library โดยนำมาเก็บไว้ที่ตัวแปร “random\_forest\_classifier” 2) นำข้อความบทความคัดย่อมาเก็บไว้ที่ตัวแปร “XRd” นำประเภทของโปรเจกต์เก็บไว้ที่ตัวแปร “yRd” หลังจากนั้น 3) นำตัวแปรดังกล่าวเข้าสู่ฟังก์ชัน train\_test\_split() โดยส่งผ่านค่าตัวแปร XRd และตัว yRd กำหนดค่าทดสอบข้อมูลเท่ากับ 30% (test\_size) และกำหนดสถานะการสุ่มเท่ากับ 42 (Random State) โดยมีตัวแปรที่เก็บค่าสำหรับสอนได้แก่ X\_train และ y\_train และมีตัวแปรที่เก็บค่าสำหรับการทดสอบได้แก่ X\_test และ y\_test จากนั้น 4) ทำ TF-IDF X\_train และ X\_test กำหนดค่าจำนวนต้นไม้ (n\_estimators = 300) กำหนดสถานะการสุ่มเพื่อสอนโมเดลเท่ากับ 42 (random\_state = 42) และ 5) ทำการส่งข้อมูลสำหรับสอน (X\_train,y\_train) เข้าสู่โมเดลเพื่อเรียนรู้

### 2.3.2 เนอ็ิบเบย์ (Naïve Bayes)

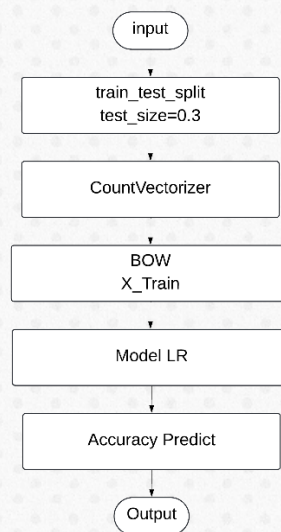


ภาพที่ 6 Workflow การทำงานของโมเดลเนอ็ิบเบย์



การวิเคราะห์โมเดล ดังภาพที่ 6 เริ่มจาก 1) นำเข้า Library เพื่อสร้างโมเดลเนอปีเพย์จาก Sklearn Library โดยนำมาเก็บไว้ที่ตัวแปร “naive\_bayes\_classifier” 2) นำบทความมาเก็บไว้ที่ตัวแปร “XNb” นำประเภทของโปรเจกต์เก็บไว้ที่ตัวแปร “yNb” หลังจากนั้น 3) นำตัวแปรดังกล่าวเข้าสู่ฟังก์ชัน train\_test\_split() โดยส่งผ่านค่าตัวแปร XNb และตัว yNb กำหนดค่าทดสอบข้อมูลเท่ากับ 30% (test\_size) และกำหนดสถานการณ์สุ่มเท่ากับ 42 (Random State) โดยมีตัวแปรที่เก็บค่าสำหรับสอนได้แก่ X\_train และ y\_train และมีตัวแปรที่เก็บค่าสำหรับการทดสอบได้แก่ X\_test และ y\_test จากนั้น 4) ทำ TF-IDF X\_train และ X\_test 5) ทำการส่งข้อมูลสำหรับสอน (X\_train,y\_train) เข้าสู่โมเดลเพื่อเรียนรู้

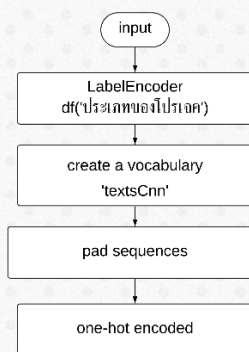
### 2.3.3 การถดถอยโลจิสติกส์ (Logistic Regression)



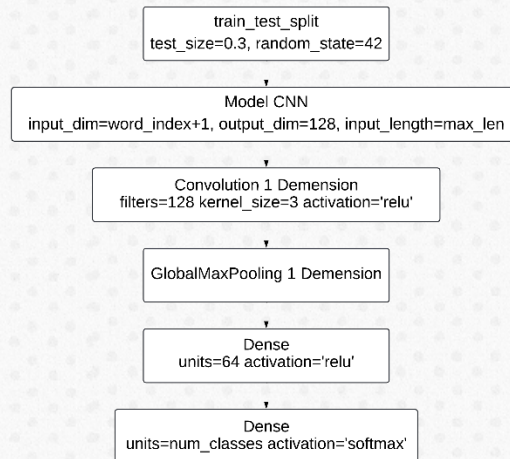
ภาพที่ 7 Workflow การทำงานของโมเดลการถดถอยโลจิสติกส์

การวิเคราะห์โมเดล ดังภาพที่ 7 เริ่มจาก 1) หลังจากทำ Count vectorizer และ Bag-of-word เพื่อเตรียมสู่การทำโมเดล 2) นำเข้า Library เพื่อสร้างโมเดลการถดถอยโลจิสติกส์จาก Sklearn Library โดยนำมาเก็บไว้ที่ตัวแปร “lr” 3) นำบทความมาเก็บไว้ที่ตัวแปร “Xlr” นำประเภทของโปรเจกต์เก็บไว้ที่ตัวแปร “ylr” หลังจากนั้น 4) นำตัวแปรดังกล่าวเข้าสู่ฟังก์ชัน train\_test\_split() โดยส่งผ่านค่าตัวแปร Xlr และตัว ylr กำหนดค่าทดสอบข้อมูลเท่ากับ 30% (test\_size) มีตัวแปรที่เก็บค่าสำหรับสอนได้แก่ X\_train และ y\_train และมีตัวแปรที่เก็บค่าสำหรับการทดสอบได้แก่ X\_test และ y\_test 5) ทำการส่งข้อมูลสำหรับสอน (train\_bow,y\_train) เข้าสู่โมเดลเพื่อเรียนรู้

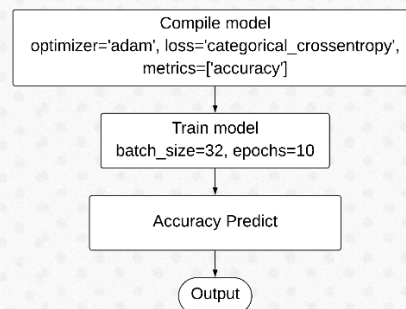
### 2.3.4 โครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการ (Convolutional Neural Network)



ภาพที่ 8 Workflow การทำงานของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการส่วนที่ 1



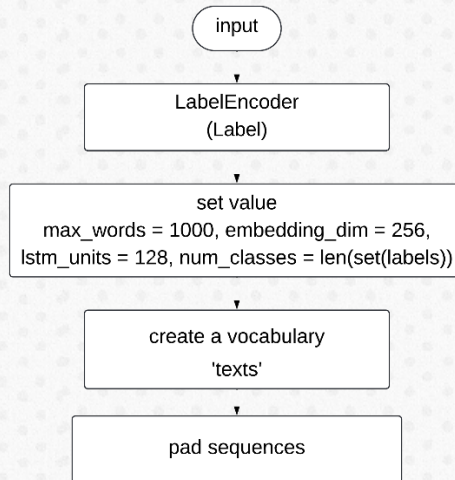
ภาพที่ 9 Workflow การทำงานของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมแบบสั่งวัตนาการส่วนที่ 2



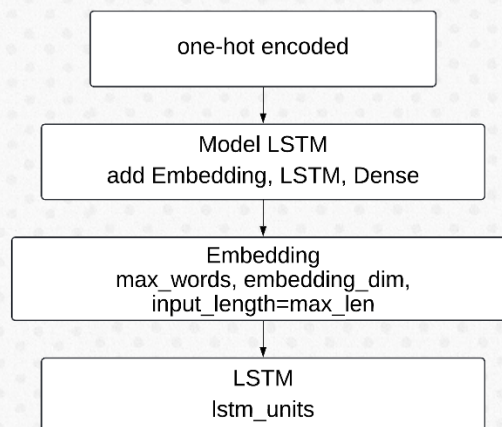
ภาพที่ 10 Workflow การทำงานของโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมแบบสั่งวัตนาการส่วนที่ 3

การวิเคราะห์โมเดล ดังภาพที่ 8 – 10 เริ่มจาก 1) การเตรียมข้อมูลบทคัดย่อเข้าไปเก็บในตัวแปร “textCnn” 2) ทำการเข้ารหัสประเภทของโปรเจคเพื่อแบ่งประเภท จากนั้น 3) ทำการ tokenize ชุดข้อมูลพร้อมทั้งปรับให้มีขนาดของความยาวข้อมูลให้เท่ากัน 4) นำประเภทของโปรเจคที่ทำการเข้ารหัสแปลงค่าด้วย One-hot encoding หลังจากนั้นนำตัวแปรดังกล่าวเข้าสู่ฟังก์ชัน train\_test\_split() โดยส่งผ่านค่าตัวแปร sequences\_padded และตัว labels\_one\_hot กำหนดค่าทดสอบข้อมูลเท่ากับ 30 % (test\_size) และกำหนดสถานะการสุ่มเท่ากับ 42 (Random State) 5) เรียกใช้ Sequential เพื่อสร้างโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมแบบสั่งวัตนาการ โดยนำมาเก็บไว้ที่ตัวแปร “modelcnn” และกำหนดค่าใช้งาน Embedding (input\_dim=len(tokenizer.word\_index) + 1 output\_dim=128 input\_length=max\_len) Convolution 1 Demension (filters=128 kernel\_size=3 activation='relu') และค่าใน Hidden\_layer ที่ติดกัน Dense(units=64 activation='relu') Dense(units=num\_classes activation='softmax') 6) ทำการส่งข้อมูลสำหรับสอน (X\_train y\_train) โดย batch\_size = “32” epoch = “10” และทดสอบโมเดล

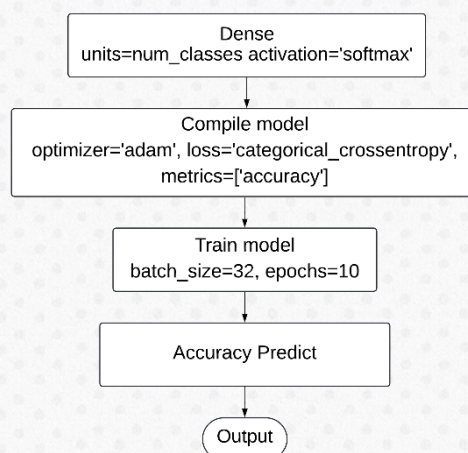
### 2.3.5 เครื่องมือช่วยความจำระยะสั้นแบบยาว (Long Short-Term Memory)



ภาพที่ 11 Workflow การทำงานของโมเดลเครื่องช่วยความจำระยะสั้นแบบยาวส่วนที่ 1



ภาพที่ 12 Workflow การทำงานของโมเดลเครื่องช่วยความจำระยะสั้นแบบยาวส่วนที่ 2



ภาพที่ 13 Workflow การทำงานของโมเดลเครื่องช่วยความจำระยะสั้นแบบยาวส่วนที่ 3

การวิเคราะห์โมเดล ดังภาพที่ 11 – 13 เริ่มจาก 1) นำเข้า Library Keras 2) เตรียมข้อมูลบทคัดย่อ นำไปเก็บในตัวแปร “texts” ทำการเข้ารหัสประเภทของโปรเจคเพื่อแบ่งประเภท จากนั้น 3) ทำการ tokenize ชุดข้อมูล พร้อมทั้งปรับให้มีขนาดของความยาวข้อมูลให้เท่ากัน 4) นำประเภทของโปรเจคที่ทำการเข้ารหัสแปลงค่าด้วย One-hot encoding เรียกใช้ Sequential เพื่อสร้างโมเดลเครือข่ายความจำระยะสั้นแบบยาว โดยนำมาเก็บไว้ในตัวแปร “modellstm” และกำหนดค่าใช้งาน Embedding (max\_words = 1000, embedding\_dim = 256, max\_len = 100, lstm\_unit = 128 Layer num\_classes = จำนวนของ class ที่รับจากเข้ารหัสประเภทของโปรเจค Activation Function = ‘softmax’) จากนั้น 5) ทำการส่งข้อมูลสำหรับสอน (x, y) โดย batch\_size = “’32” epoch = “’10” และทดสอบโมเดล

### 3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

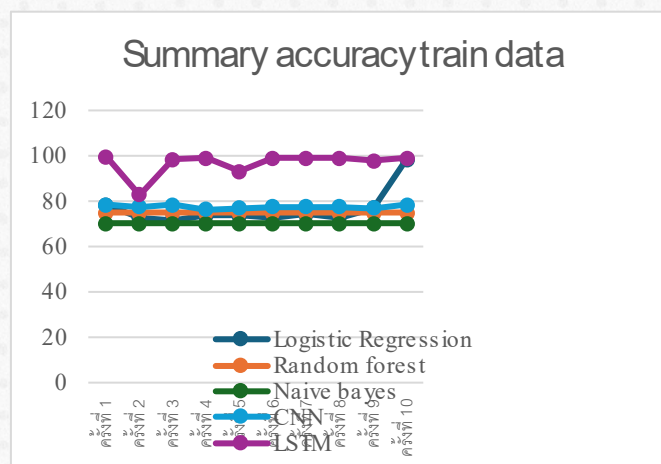
คณะผู้จัดทำได้ทำการเปรียบเทียบอัลกอริทึมเพื่อหาอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดสำหรับระบบตรวจบทคัดย่อ โดยทำการทดสอบประสิทธิภาพค่าความแม่นยำทั้งหมด 10 ครั้ง มีอัลกอริทึมทั้งหมด 5 อัลกอริทึม

จากการทดสอบอัลกอริทึม สรุปได้ว่ารูปแบบของ LSTM มีค่าความแม่นยำดีที่สุดจากทั้งหมด 5 อัลกอริทึมโดยทำการสรุปออกมาได้ดังนี้

ตารางที่ 2 สรุปค่าผลเฉลี่ยของการทดสอบความแม่นยำของแต่ละอัลกอริทึม

อัลกอริทึม	ความแม่นยำ
Logistic Regression	76.59%
Random Forest	75%
Naïve Bayes	70.27%
CNN	77.63%
LSTM	96.75%

จากตารางที่ 2 พบว่า Logistic Regression มีค่าความแม่นยำ 76.59% Random Forest มีค่าความแม่นยำ 75% Naïve Bayes มีค่าความแม่นยำ 70.27% CNN มีค่าความแม่นยำ 77.63% และ LSTM มีค่าความแม่นยำ 96.75% อัลกอริทึมที่มีค่าความแม่นยำสูงที่สุดคือ LSTM เนื่องจากเป็นอัลกอริทึมที่ซับซ้อนช่วยให้สามารถจับรูปแบบของข้อมูลข้อความที่ซับซ้อนได้ดี



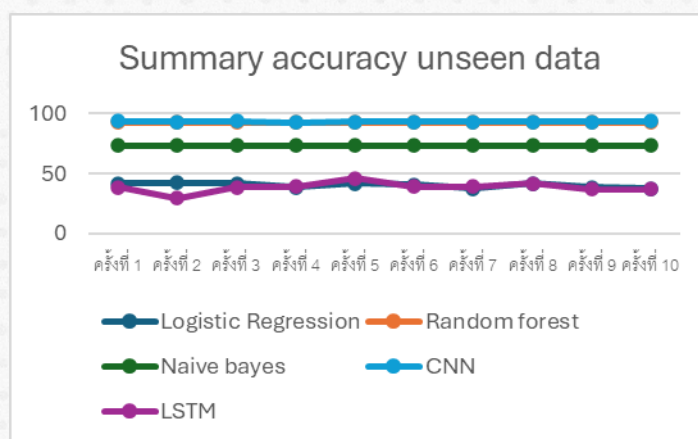
ภาพที่ 14 ผลลัพธ์ของค่าความแม่นยำในการทำงาน 10 ครั้ง

จากการทดสอบข้อมูลที่ไม่เคยเห็น (Unseen Data) อัลกอริทึมทั้งหมด 10 ครั้ง สรุปได้ว่า CNN มีค่าความแม่นยำที่  
 ที่สุดจากทั้งหมด 5 อัลกอริทึมโดยทำการสรุปออกมาได้ดังนี้

ตารางที่ 3 สรุปค่าผลเฉลี่ยของการทดสอบความแม่นยำกับข้อมูลที่ไม่เคยเห็น (Unseen Data) ของแต่ละอัลกอริทึม

อัลกอริทึม	ความแม่นยำ
Logistic Regression	40.19%
Random Forest	92.49%
Naïve Bayes	73.23%
CNN	93.28%
LSTM	38.45%

จากตารางที่ 3 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยข้อมูลที่ไม่เคยเห็น (Unseen Data) พบว่า Logistic Regression มีค่าความ  
 แม่นยำ 40.19% Random Forest มีค่าความแม่นยำ 92.49% Naïve bayes มีค่าความแม่นยำ 73.23% CNN มีค่าความ  
 แม่นยำ 93.28% และ LSTM มีค่าความแม่นยำ 38.45% อัลกอริทึมที่มีค่าความแม่นยำสูงที่สุดคือ CNN เนื่องจากมี  
 ความสามารถในการเรียนรู้ลักษณะเฉพาะและบริบทของข้อมูลได้ดีกว่าในบางกรณี ซึ่งทำให้มันมีค่าความแม่นยำสูงสุด



ภาพที่ 14 ผลลัพธ์ของค่าความแม่นยำกับข้อมูลที่ไม่เคยเห็นในการทำงาน 10 ครั้ง

#### 4. บทสรุป

คณะผู้จัดทำได้นำข้อมูลของบทคัดย่อของภาควิชาคอมพิวเตอร์ศึกษาตั้งแต่ปี 2546 - 2563 จำนวน 624 เล่ม  
 ตัวอย่างโดยแบ่งข้อมูลเป็น 2 ชุดได้แก่ ชุดฝึก 499 ข้อมูล และชุดทดสอบ 125 ชุดข้อมูล จากการแบ่งประเภทของบทคัดย่อ  
 ทั้งหมดมี 21 ประเภทและได้นำประเภทของปริญญานิพนธ์ และวิทยานิพนธ์แบ่งกลุ่มข้อมูลเป็น 3 กลุ่มคือ บทเรียน  
 คอมพิวเตอร์ช่วยสอน (CAI) บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนบนเว็บ (WBI) ระบบการจัดการสารสนเทศ (MIS) ได้ผลสรุปว่า  
 เทคนิค Logistic Regression จากการฝึกทั้ง 10 รอบมีค่าความแม่นยำ (Accuracy) โดยเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 76.59%  
 และในส่วนของการทดสอบโดยทดสอบกับข้อมูลที่ไม่เคยเห็น (Unseen Data) ทั้งหมด 10 ครั้งมีค่าความแม่นยำโดยเฉลี่ยมาก  
 ที่สุดเท่ากับ 40.19% เทคนิค Random Forest จากการฝึกทั้ง 10 รอบมีค่าความแม่นยำโดยเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 75%

และในส่วนของการทดสอบโดยทดสอบกับข้อมูลที่ไม่เคยเห็นทั้งหมด 10 ครั้งมีค่าความแม่นยำโดยเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 92.49% เทคนิค Naïve Bayes จากการฝึกทั้ง 10 รอบมีค่าความแม่นยำโดยเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 70.27% และในส่วนของการทดสอบโดยทดสอบกับข้อมูลที่ไม่เคยเห็นทั้งหมด 10 ครั้งมีค่าความแม่นยำโดยเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 73.23% เทคนิค CNN จากการฝึกทั้ง 10 รอบมีค่าความแม่นยำโดยเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 77.63% และในส่วนของการทดสอบโดยทดสอบกับข้อมูลที่ไม่เคยเห็นทั้งหมด 10 ครั้งมีค่าความแม่นยำโดยเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 93.28% เทคนิค Long Short-Term Memory : LSTM จากการฝึกทั้ง 10 รอบมีค่าความแม่นยำโดยเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 96.75% และในส่วนของการทดสอบโดยทดสอบกับข้อมูลที่ไม่เคยเห็นทั้งหมด 10 ครั้งมีค่าความแม่นยำโดยเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 38.45% และจากการที่เลือกการฝึกเพียง 10 ครั้ง เนื่องจากค่าความแม่นยำของในครั้งถัดไป มีค่าความแม่นยำที่อยู่ระดับที่คงที่จึงทำให้คณะผู้จัดทำตัดสินใจเลือกการวัดค่าความแม่นยำเพียง 10 ครั้งเท่านั้น

จากผลการวิเคราะห์โมเดลการพยากรณ์ด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูล 5 อัลกอริทึม 1) Random forest 2) Naïve bayes และ 3) CNN มีค่าความแม่นยำโดยเฉลี่ยที่สูงกว่า 70% แต่ Long Short-Term Memory และ Logistic Regression มีค่าความแม่นยำโดยเฉลี่ยเมื่อทดสอบโดยทดสอบกับข้อมูลที่ไม่เคยเห็นน้อยกว่า 70% ซึ่งผลลัพธ์ดังกล่าวสรุปได้ว่าโมเดลที่สามารถพยากรณ์และใช้งานได้ดีด้วยกัน 3 โมเดลคือ 1) Random forest 2) Naive bayes และ 3) CNN ทำให้คณะผู้จัดทำได้ทราบถึงปัญหาใหญ่คือ การเก็บรวบรวมข้อมูลยังมีไม่มากพอ และกลุ่มของข้อมูลทั้ง 3 กลุ่มมีจำนวนที่แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิงโดยกลุ่มข้อมูลที่มีมากที่สุดในชุดฝึก คือ CAI จำนวน 270 เล่ม และกลุ่มข้อมูลที่มีจำนวนน้อยที่สุดคือ WBI จำนวน 137 เล่ม ทำให้การฝึกโมเดลถูก CAI ครอบงำเพราะมีประเภทของข้อมูลที่เยอะกว่า ทำให้เมื่อนำประเภทข้อมูลอื่นมาทดสอบจึงทำให้ค่าความแม่นยำมีเปอร์เซ็นต์ที่ต่ำกว่า 70% สามารถกล่าวได้ว่า เทคนิคดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาระบบตรวจพบคัดย่อปริญญาณิพนธ์ได้ประมาณหนึ่ง

### ข้อเสนอแนะ

วิธีการทำเหมืองข้อมูลสามารถทำได้หลากหลายวิธีซึ่งการจำแนกประเภท (Classification) โดยใช้อัลกอริทึม 5 อัลกอริทึม คณะผู้จัดทำมีกระบวนการทางเหมืองข้อมูลกระบวนการหนึ่งที่บกพร่องคือการทำความสะอาดข้อมูลมีการทำความสะอาดข้อมูลบางจุดที่ยังไม่ได้รับการแก้ไขให้เรียบร้อยจึงอาจทำให้การฝึกของโมเดลมีความผิดพลาด ดังนั้น ควรพัฒนาโมเดลให้มีค่าความแม่นยำและความแม่นยำที่มีเปอร์เซ็นต์ให้มากขึ้น โดยจากการผิดพลาดของคณะผู้จัดทำในขั้นตอนการทำทำความสะอาดข้อมูล จึงควรมีการทำทำความสะอาดข้อมูลให้เรียบร้อยมากขึ้นโดยพิจารณาจากการตรวจสอบและจัดการค่าที่หายไป การจัดการกับค่าผิดปกติ การแก้ไขข้อมูลที่ไม่สอดคล้องกัน การจัดประเภทของข้อมูล และในส่วนของการเก็บรวบรวมข้อมูล ควรเก็บรวบรวมข้อมูลในแต่ละประเภทให้มีจำนวนข้อมูลใกล้เคียงกันแต่เนื่องจากตอนนี้ข้อมูลที่มีการจัดเก็บไว้มีจำนวนของข้อมูลในแต่ละประเภทที่แตกต่างกันเกินไปและมีจำนวนเพียงเท่านี้เพราะนักศึกษาในภาควิชาคอมพิวเตอร์ศึกษาส่วนใหญ่มีความถนัดในการจัดทำปริญญาณิพนธ์ประเภท CAI มากกว่าประเภทอื่นจึงทำให้การพัฒนาโมเดลมีข้อจำกัดด้านข้อมูลจำเป็นต้องรอรระยะเวลาในการเก็บข้อมูลแต่ละประเภทให้มีจำนวนใกล้เคียงกันแล้วนำโมเดลนี้มาพัฒนาต่อ

### 5. กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำงานวิจัยการพัฒนาระบบตรวจพบคัดย่อปริญญาณิพนธ์โดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษ สินธนะกุล อาจารย์ที่ปรึกษาหลักงานวิจัย และ นายอุกฤษฐิวัฒน์ พิมพ์พา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมงานวิจัย ที่ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการจัดทำมาโดยตลอดระยะเวลาที่ได้จัดทำงานวิจัย คณะผู้จัดทำงานวิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่คอยให้คำปรึกษาต่าง ๆ ที่ทำให้การจัดทำงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำงานวิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา

มารดา ที่เลี้ยงดูส่งเสริมให้ได้รับการศึกษาที่ดี สนับสนุนในด้านอุปกรณ์แก่ผู้จัดทำงานวิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา รวมทั้งเป็นผู้ที่คอยให้กำลังใจเป็นอย่างดีขอขอบคุณสำหรับกำลังใจจากเพื่อน ๆ นักศึกษาทุกท่าน หวังว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์กับท่านผู้สนใจและผู้เกี่ยวข้อง

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Daryl Pregibons. Data Mining. จาก Statistical, Statistical Computing and Graphics Newsletter, December, 8. 1996.
- [2] สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร : เหมืองข้อมูล (Data Mining) (4 มกราคม 2566) สืบค้นจาก <https://www.nupress.grad.nu.ac.th/data-mining/>
- [3] AWS : การทำเหมืองข้อมูลคืออะไร (10 ตุลาคม 2566) สืบค้นจาก <https://aws.amazon.com/th/what-is/data-mining/>
- [4] Zhang, Y., Zhao, Y., & LeCun, Y. Convolutional Neural Networks for Sentence Classification. 2018.
- [5] Joulin, A., Mikolov, T., Grave, E., Bojanowski, P., Mikolov, T., & Grave, E. Bag of Tricks for Efficient Text Classification. 2017.
- [6] Li, Y., Liu, X., & Zhao, Y. A Comparative Study of LSTM and Traditional Models for Text Classification. 2019.
- [7] Yang, Z., Yang, D., & Koren, Y. Random Forest and Naïve Bayes for Document Classification: A Comparative Study. 2020.

ผลทางอัลลีโลพาธีของผลยางนาต่อการยับยั้งความยาวรากของไมยราบ  
Allelopathic effect of *Mimosa pudica* fruits on inhibiting the root length  
of *Dipterocarpus alatus*

อุดมเดชา พลเยี่ยม<sup>1\*</sup> และ นิภาพร ปัญญา<sup>2</sup>

<sup>1</sup> กลุ่มวิชาเคมี ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

<sup>2</sup> สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถ.พิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กทม. 10800

\*E-mail: udomdeja.p@rmutp.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารสกัดชั้นเอทานอลจากผลยางนาต่อการยับยั้งความยาวรากของไมยราบ ทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์โดยวิธี Least significant difference ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 99 เปอร์เซ็นต์ โดยนำผลของยางนามาสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์คือเอทานอล และนำสารสกัดที่ได้ไปทดสอบการยับยั้งความยาวรากของไมยราบ ผลการวิจัยพบว่าความยาวรากของไมยราบที่ทดสอบด้วย ชุดควบคุม ชุดสารสกัดที่มีความเข้มข้น 1,000 2,000 และ 4,000 mg/L มีค่าเฉลี่ยเป็น 3.8225 3.6944 2.9288 และ 1.1643 mm. และมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวรากเป็น 0.0000 3.3512 23.3799 และ 69.5408% ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารสกัดชั้นเอทานอลจากผลยางนามีความสามารถในการยับยั้งความยาวรากของไมยราบได้แตกต่างกัน เมื่อสารสกัดมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวรากของไมยราบจะมีค่ามากขึ้น ทั้งนี้สารสกัดที่มีความเข้มข้น 4,000 mg/L แสดงผลการยับยั้งได้ดีที่สุดสามารถขยายผลไปสู่การศึกษาในระดับภาคสนามต่อไป

**คำสำคัญ:** สารสกัดชั้นเอทานอล การยับยั้งความยาวราก ไมยราบ ผลยางนา

### Abstract

This research aimed to study the effect of an ethanol extract from *D. alatus* fruits on inhibiting the root length of *M. pudica*. A complete randomized design was planned, and the differences between treatments were compared using the least significant difference method at a 99 percent confidence interval. The results, which revealed significant findings, showed that the root length of the *M. pudica* tested with the control set and extract sets with concentrations of 1,000, 2,000, and 4,000 mg/L had average values of 3.8225, 3.6944, 2.9288, and 1.1643 mm. and percent root length inhibition of 0.0000, 3.3512, 23.3799, and 69.5408%, respectively. The ethanol extract from *D. alatus* fruits has different abilities to inhibit the root length of *M. pudica*. When the concentration of the extract increases, the percentage of inhibition of the root length of *M. pudica* will be increased accordingly. The extract with a



concentration of 4,000 mg/L showed the best inhibitory effect and can be extended to further studies at the field level.

**Keywords:** Ethanol extracts, Root length inhibition, *M. pudica*, *D. alatus* fruits

## 1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีความหลากหลายทางชีวภาพ (Biodiversity) สูงที่สุดแห่งหนึ่งในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ทั้งความหลากหลายของพรรณไม้ พันธุ์สัตว์ และจุลินทรีย์ [1] มีคำกล่าวถึงความหลากหลายทางชีวภาพคือชีวิต ชีวิตของพวกเราทุกคน มนุษย์ได้รับประโยชน์จากความหลากหลายทางธรรมชาติ อาทิ ด้านการบริโภคใช้สอย เช่น การผลิตอาหาร ด้านการผลิต เช่น ภาคเกษตร และอุตสาหกรรม ผลผลิตจากป่าโดยตรงหรือโดยอ้อม เช่น สารสกัดจากพืช ตลอดจนด้านการท่องเที่ยวของมนุษย์ [2] ในปัจจุบันมีการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจและการพัฒนาด้านเทคโนโลยีต่าง ๆ ทำให้มีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติเกินศักยภาพ ไม่นับถึงผลกระทบต่อระบบนิเวศ และสิ่งแวดล้อม แต่ในทางตรงกันข้ามในระดับชุมชนที่เคยใช้ประโยชน์จากทรัพยากรในท้องถิ่นเกิดการเปลี่ยนแปลงวิถีคิดจากเดิมที่บรรพบุรุษเคยพึ่งพาทรัพยากรธรรมชาติ เปลี่ยนไปเป็นการพึ่งพิงจากภายนอกทำให้ขาดการวางแผนการอนุรักษ์ทรัพยากรในท้องถิ่น จากสถานการณ์ดังกล่าวจึงส่งผลกระทบต่อความหลากหลายทางชีวภาพจนเป็นเหตุให้จำนวนประชากรพืช และสัตว์ลดลง หรือถึงขั้นสูญพันธุ์ [1] ดังนั้น การใช้ประโยชน์จากทรัพยากรอย่างสมดุล อาทิ การใช้พืชกำจัดวัชพืชจึงเป็นการเพิ่มมูลค่า และการอนุรักษ์ทรัพยากรอีกทางหนึ่ง

ยางนา (*Dipterocarpus alatus* Roxb) เป็นพืชที่จัดอยู่ในวงศ์ยางนา (Dipterocarpaceae) ผลยางนาเป็นผลแห้งเป็นรูปกระสวย มีหลอดกลีบเลี้ยงหุ้มขมมิด ยาวประมาณ 2-2.5 เซนติเมตร มีปีกขนาดใหญ่ที่พัฒนามาจากกลีบเลี้ยง 2 อัน มีสีแดงอมชมพู ขนาดกว้างประมาณ 2-2.5 เซนติเมตร และยาวประมาณ 11-15 เซนติเมตร ผลเมื่อสุกจะเป็นสีน้ำตาล เส้นปีกตามยาวมี 3 เส้น ปีกสั้น 3 ปีก ยาวประมาณ 1 เซนติเมตร ส่วนกลางผลมีครีบตามยาว 5 ครีบ ผลมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.2-2.8 เซนติเมตร ภายในผลมีเมล็ด 1 เมล็ด เมล็ดมีขนสั้นนุ่ม ที่ปลายมีติ่งแหลม ติดผลในช่วงประมาณเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกรกฎาคม ภูมิปัญญาพื้นบ้านไทยใช้ประโยชน์ ได้แก่ ใบใช้บรรเทาอาการปวดฟัน ปวดเหงือก ฟันโยกคลอน หรือใช้ขับเลือด เปลือกใช้รักษาโรคปวดข้อ ตับอักเสบ ในตำรายาอายุรเวทของอินเดียระบุสรรพคุณต้นอ่อนของต้นยางนาซึ่งใช้แก้โรคไขข้อและโรคที่เกี่ยวข้องกับตับ รวมไปถึงน้ำมันยางนาใช้ในการรักษาบาดแผล [3]

ไมยราบ (*Mimosa pudica* L.) หรือกระทืบยอด หญ้าปันยอด ไมยราบหนาม เป็นไม้ล้มลุก จัดเป็นวัชพืชข้ามปี วัชพืชประเภทใบกว้างอายุฤดูเดียวไม้ล้มลุกแผ่คลุมพื้นดิน [4] ในพื้นที่ทำการเกษตรกรรมมีวิธีการควบคุมวัชพืชได้แก่ การควบคุมโดยวิธีกล การควบคุมโดยชีววิธี การควบคุมโดยใช้สารเคมี และการควบคุมโดยวิธีผสมผสาน ทั้งนี้การควบคุมวัชพืชแต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสีย และข้อจำกัดแตกต่างกันไป ต้องเลือกให้เหมาะสมกับสถานการณ์ เช่น วิธีกลใช้การถอน หรือตัดพื้ก่อนที่พืชออกดอก หรือใช้วัสดุคลุมดินเพื่อไม่ให้ต้นอ่อนงอกและเจริญขึ้นมาเหนือดินได้ ส่วนวิธีการควบคุมด้วยสารเคมีจะใช้สารกลุ่ม 2,4-D MCPA พาราควอท หรือ ไกลฟอสเฟต ซึ่งการใช้สารเคมีควบคุมวัชพืช ต้องเลือกสารกำจัดวัชพืชที่ไม่เป็นพิษต่อพืชปลูก และขณะฉีดพ่นต้องไม่ให้ถูกพืชปลูกด้วย ดังนั้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการจัดการควบคุมด้วยวิธีอื่นเพื่อใช้ในการจัดไมยราบยักษ์อย่างมีประสิทธิภาพ มีความปลอดภัยต่อสิ่งมีชีวิต และสภาพแวดล้อมโดยเฉพาะพืชปลูก [5]

อัลลีโลพาธี (Allelopathy) เป็นวิธีการควบคุมวัชพืชโดยใช้ธรรมชาติยับยั้งธรรมชาติด้วยกัน อาศัยปฏิกริยาระหว่างพืชซึ่งจะมีผลกระทบในทางที่เป็นประโยชน์และโทษของพืชชนิดหนึ่งที่มีต่อการงอก การเจริญเติบโต และพัฒนาการของพืชอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งอาจจะมีผลในทางกระตุ้น (stimulatory) หรือผลในการยับยั้ง (inhibitory) [6] มีรายงานการศึกษาผลทางอัลลีโลพาธีต่อการควบคุมวัชพืช ดารารัตน์ มณีจันทร์ [7] ศึกษาผลทางอัลลีโลพาธีของพุทธรักษาแดง พบว่า สารสกัดจากใบ

กิ่ง ลำต้น ส่งผลต่อการงอกของโสน ไมยราบ หน้าข้าวนก และหน้าอะตราตัม สารสกัดที่เป็น acidic extract มีผลในการยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตของพืชทั้ง 4 ชนิดได้ดีกว่าตัวทำละลายชนิดอื่น การเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารสกัดมีผลให้การงอกและการเจริญเติบโตถูกยับยั้งมากขึ้น อัญชยา พรหมมา [8] ศึกษาประสิทธิภาพสารสกัดพลู (*Piper betle L.*) เพื่อควบคุมวัชพืช 7 ชนิด รวมถึงไมยราบ (*M. pudica*) พบว่าสามารถยับยั้งการงอกและการเจริญของวัชพืชได้ อัญชลี จาละ [9] ศึกษาผลของสารอัลลีโลพาตีจากต้อยติ่งที่มีต่อการงอกของเมล็ดไมยราบ ผักเสี้ยนผี และผักโขมหินพบว่า มีผลต่อการงอกของเมล็ดวัชพืชได้แก่ ไมยราบ ผักเสี้ยนผี และผักโขม พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดสูงขึ้นจะมีผลยับยั้งการงอกของเมล็ดวัชพืชมากขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้น และส่วนต่าง ๆ ของต้อยติ่งที่นำมาใช้ในการสกัดสาร

จากข้อมูลดังกล่าวมาคณะผู้วิจัยได้เห็นความสำคัญในการค้นหาสารอัลลีโลพาตีของพืชในท้องถิ่น ดังนั้นจึงได้ศึกษาผลทางอัลลีโลพาตีของสารสกัดจากต้นยางนาต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของไมยราบ ด้วยนำผลของยางนามาสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์คือเอทานอล และนำสารสกัดที่ได้ไปทดสอบการยับยั้งความยาวราก เพื่อนำไปสู่การตอบคำถามที่ว่าสารสกัดชั้นเอทานอลจากผลของต้นยางนาแสดงผลทางอัลลีโลพาตีโดยสามารถในการยับยั้งความยาวรากของไมยราบได้หรือไม่ และความเข้มข้นของสารสกัดมีผลต่อความยาวรากของไมยราบอย่างไร เพื่อเป็นแนวทางไปสู่การศึกษาในระดับภาคสนามต่อไป

## 2. วิธีการศึกษา

### 2.1 พืชตัวอย่าง อุปกรณ์ และสารเคมี

#### 2.1.1 พืชตัวอย่าง

- พืชท้องถิ่น คือ ต้นยางนา ชื่อวิทยาศาสตร์ *Dipterocarpus alatus* Roxb.
- วัชพืชท้องถิ่น คือ ไมยราบ ชื่อวิทยาศาสตร์ *Mimosa pudica* L.

#### 2.1.2 อุปกรณ์

- ตู้อบความร้อน ยี่ห้อ BINDER
- เครื่องบดไฟฟ้า (Blender)
- เครื่องชั่งไฟฟ้า (Electronic Analytical Balance)
- เครื่องระเหยสุญญากาศแบบหมุน (Rotary evaporator)

#### 2.1.3 สารเคมี

- เอทานอล, Merck ethanol absolute  $\geq 99.9\%$  (AR/ACS)

### 2.2 การวางแผนการทดลอง

ดำเนินการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) [10] ประกอบด้วยชุดการทดลอง (treatment) 4 ทรีทเมนต์ ได้แก่ ทรีทเมนต์ที่ 1 (T1) ชุดควบคุมซึ่งไม่ใส่สารสกัด ทรีทเมนต์ที่ 2 (T2) สารสกัดจากผลยางนาที่มีความเข้มข้น 1,000 mg/L ทรีทเมนต์ที่ 3 (T3) สารสกัดจากผลยางนาที่มีความเข้มข้น 2,000 mg/L และ ทรีทเมนต์ที่ 4 (T4) สารสกัดจากผลยางนาที่มีความเข้มข้น 4,000 mg/L โดยแต่ละทรีทเมนต์ทำการทดลอง 4 ซ้ำ

### 2.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการงอกของไมยราบ

วัชพืชที่ใช้ในการทดลองคือไมยราบ ซึ่งทำการเก็บเมล็ดระหว่างเดือน มีนาคม-เมษายน 2566 ดำเนินการดังนี้

1. นำเมล็ดไมยราบแช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นแยกเมล็ดไมยราบที่ลอยน้ำกับเมล็ดที่จมน้ำออกจากกัน นำเมล็ดที่จมน้ำไปใช้ต่อไป

2. ต้มน้ำให้ได้อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นำเมล็ดไมยราบมาแช่น้ำ 3 สภาวะ ได้แก่ แช่น้ำเป็นเวลา 60 90 และ 120 วินาที
3. การเตรียมงานทดลองเพาะเมล็ดวัชพืช โดยตัดกระดาษเพาะเมล็ดให้พอดีกับงานเพาะเมล็ด แล้วใส่น้ำปริมาตร 10 มิลลิลิตรต่องาน จากนั้นนำเมล็ดที่ผ่านน้ำร้อนแล้วไปเพาะในงานเพาะเมล็ด เป็นเวลา 10 วัน
4. สังเกตการงอกของเมล็ดไมยราบที่มาจากสภาวะทั้ง 3 สภาวะ คือการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 90 และ 120 วินาที

#### 2.4 การสกัดสารจากผลยางนา

การสกัดสารสำคัญจากผลยางนาด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ ตัวทำละลายที่ใช้คือเอทานอล มีขั้นตอนดังนี้

1. นำผลยางนามาทำความสะอาด และนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เมื่อแห้งแล้วบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดไฟฟ้า
2. นำผลยางนาที่บดละเอียดมาชั่งน้ำหนัก แล้วนำมาแช่ด้วยเอทานอล ในภาชนะปิด ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน และนำมารองเพื่อแยกของผสมกับกากออกจากกัน
3. นำไประเหยแยกตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศแบบหมุน (Rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จะได้สารสกัดหยาบ (Crude extract) ของชั้นเอทานอล (Ethanoic extract) นำไปชั่งน้ำหนักและเก็บไว้ทดสอบในขั้นตอนต่อไป

#### 2.5 การศึกษาการยับยั้งความยาวรากของไมยราบ

1. การเตรียมสารสกัดให้มีความเข้มข้น โดยนำสารสกัดมาชั่งน้ำหนัก และเจือจางให้มีความเข้มข้นตามที่กำหนด ได้แก่ 1,000 2,000 และ 4,000 mg/L
2. การใส่สารสกัดปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในงานเพาะเมล็ดที่เตรียมไว้สำหรับการทดลอง 4 ทรีทเมนต์ ได้แก่ T1 (control) T2 (1,000 mg/L) T3 (2,000 mg/L) และ T4 (4,000 mg/L) ซึ่งในงานเพาะรองด้วยกระดาษเพาะเมล็ด และทำการทดลอง 4 ชั่ว
3. นำงานเพาะเมล็ดที่ใส่สารสกัดแล้วไปใส่ในตู้ดูดควันเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อให้ตัวละลายระเหยจนหมด ให้เหลือเฉพาะสารสกัด
4. เติมน้ำกลั่นจำนวน 5 มิลลิลิตรต่องานเพาะเมล็ด นำไปเพาะเมล็ดไมยราบ โดยนำเมล็ดวัชพืชที่เตรียมไว้ใส่ลงไปในงานเพาะเมล็ด จำนวน 20 เมล็ดต่องาน ปิดฝาครอบงานแล้ววางไว้ในสภาพอุณหภูมิห้องปกติเป็นเวลา 10 วัน
5. บันทึกความยาวรากของไมยราบ โดยบันทึกจากรากโผล่พ้นเปลือกหุ้มเมล็ด ทั้งนี้แต่ละงานเพาะเมล็ดทำการทดลอง จำนวน 4 ชั่ว และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวราก

#### 2.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

1. หาค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความยาวรากของไมยราบ ที่ได้จากการทดลอง ทั้ง 4 ทรีทเมนต์
2. หาเปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวรากของไมยราบ จากสูตรดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวราก} = [1 - (T/C)] \times 100$$

เมื่อ C แทน ความยาวของรากโดยเฉลี่ยในชุดควบคุม  
T แทน ความยาวของรากโดยเฉลี่ยในชุดทดลอง

3. วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) ตามแบบแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์โดยวิธี Least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติ 99%

### 3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

#### 3.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการงอกของไมยราบ

ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการงอกของเมล็ดไมยราบ โดยการต้มน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และแช่เมล็ดเป็นเวลา 60 90 และ 120 วินาที พบว่าการแช่เมล็ดในน้ำที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วินาที เป็นสภาวะที่เมล็ดมีอัตราการงอกสูงสุด จึงเลือกใช้สภาวะดังกล่าวมาใช้ในการทดลอง

#### 3.2 การศึกษาการยับยั้งความยาวรากของไมยราบ

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความยาวรากของไมยราบ

Treatments	Mean (mm)	S.D.
T1 (control)	3.8225 <sup>a</sup>	.7799
T2 (1,000 mg/L)	3.6944 <sup>a</sup>	.9601
T3 (2,000 mg/L)	2.9288 <sup>b</sup>	.5247
T4 (4,000 mg/L)	1.1643 <sup>c</sup>	.5912

ผลของการทดสอบการยับยั้งความยาวรากด้วยสารสกัดจากผลยางนาของไมยราบ ทรีทเมนต์ที่ 1 (T1) ชุดควบคุมซึ่งไม่ใส่สารสกัด ทรีทเมนต์ที่ 2 (T2) สารสกัดเข้มข้น 1,000 mg/L ทรีทเมนต์ที่ 3 (T3) สารสกัดเข้มข้น 2,000 mg/L และ ทรีทเมนต์ที่ 4 (T4) สารสกัดเข้มข้น 4,000 mg/L มีค่าเฉลี่ยเป็น 3.8225, 3.6944, 2.9288 และ 1.1643 มิลลิเมตร ตามลำดับ และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ .7799, .9601, .5247 และ .5912 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 เปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวรากของไมยราบ

Treatments	Root length inhibition (%)
T1 (control)	0.0000
T2 (1,000 mg/L)	3.3512
T3 (2,000 mg/L)	23.3799
T4 (3,000 mg/L)	69.5408

เปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยาวรากด้วยสารสกัดจากผลยางนาของไมยราบ ทรีทเมนต์ที่ 1 (T1) ชุดควบคุมซึ่งไม่ใส่สารสกัด ทรีทเมนต์ที่ 2 (T2) สารสกัดเข้มข้น 1,000 mg/L ทรีทเมนต์ที่ 3 (T3) สารสกัดเข้มข้น 2,000 mg/L และ ทรีทเมนต์ที่ 4 (T4) สารสกัดเข้มข้น 4,000 mg/L มีค่าเป็น 0.0000, 3.3512, 23.3799 และ 69.5408% ตามลำดับ

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความยาวรากของไมยราบ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	271.350 <sup>a</sup>	3	90.450	41.260	.000
Intercept	2256.869	1	2256.869	1029.495	.000
extract	271.350	3	90.450	41.260	.000
Error	585.320	267	2.192		
Total	3293.870	271			
Corrected Total	856.670	270			

หมายเหตุ <sup>a</sup> แสดงถึง R Squared = .317 (Adjusted R Squared = .309)

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยของความยาวรากของไมยราบที่ได้จากการทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตด้วยสารสกัดจากต้นยางนาที่มีความเข้มข้นต่างกันพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 นั่นคือค่าเฉลี่ยของความยาวรากของไมยราบที่ได้จากการทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตด้วยสารสกัดจากต้นยางนาที่มีความเข้มข้นในระดับต่างกัน มีความแตกต่างกัน ทั้งนี้มีค่าสัมประสิทธิ์ของการแปรผัน (Coefficient of Variation) เท่ากับ 18.89%

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของความยาวรากของไมยราบเป็นรายคู่

Treatments / Mean					
	T1	T2	T3	T4	
	3.8225	3.6944	2.9288	1.1643	
T1	3.8225	-	0.1281 (0.606)	0.8937* (.000)	2.6582* (.000)
T2	3.6944	-	-	0.7656* (.000)	2.5301* (.000)
T3	2.9288	-	-	-	1.7645* (.000)
T4	1.1643	-	-	-	-

หมายเหตุ \* แสดงถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความยาวรากของไมยราบที่มีความเข้มข้นที่ระดับ 1,000 mg/L(T2), 2,000 mg/L (T3), 4,000 mg/L (T4), และ ชุดควบคุม control (T1) เป็นรายคู่ ด้วยวิธี LSD โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 พบว่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของของความยาวรากของไมยราบแต่ละความเข้มข้นเป็นดังนี้

1. ชุดควบคุม control (T1) ไม่แตกต่างจากสารสกัดเข้มข้น 1,000 mg/L (T2)
2. ชุดควบคุม control (T1) กับ สารสกัดเข้มข้น 2,000 mg/L แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
3. ชุดควบคุม control (T1) กับ สารสกัดเข้มข้น 4,000 mg/L แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
4. สารสกัดเข้มข้น 1,000 mg/L (T2) กับ สารสกัดเข้มข้น 2,000 mg/L (T3) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
5. สารสกัดเข้มข้น 1,000 mg/L (T2) กับ สารสกัดเข้มข้น 4,000 mg/L (T4) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
6. สารสกัดเข้มข้น 2,000 mg/L (T3) กับ สารสกัดเข้มข้น 4,000 mg/L (T4) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จะเห็นได้ว่า สารสกัดจากผลของต้นยางนาด้วยตัวทำละลายเอทานอลสามารถยับยั้งความยวรากของไมยราบได้ เนื่องมาจากสารสกัดเป็นสารกลุ่มอัลลิโลพาธิ์ ซึ่งเป็นสารในธรรมชาติที่พืชชนิดผลิตและปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมส่งผลยับยั้งการเจริญของสิ่งมีชีวิตที่อยู่รอบ ๆ [6] กลุ่มสารที่มีความเข้มข้นเทียบเท่าหรือเหมาะสมกับสภาพชีวิตของตัวทำละลายทำให้ถูกสกัดออกมาได้ดีด้วยตัวทำละลายจึงให้ผลยับยั้งการเจริญเติบโตดังที่กล่าวมา ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของวิมลพรรณ รุ่งพรหม [11] ที่ศึกษาสารยับยั้งการงอกเมล็ดวัชพืชจากรากลำเจียกในการยับยั้งการงอกของเมล็ดวัชพืชด้วยสารสกัดของวัชพืชเขตร้อนในนาข้าวของไทย พบว่าสารสกัดที่มีชื่อว่า เอทิลแอสิตเตต ความเข้มข้น 10 mg/ml ของรากลำเจียก *Coix aquatica* Roxb แสดงผลการยับยั้งการงอกของเมล็ดไมยราบยักซ์ได้สูง และ ภัทริน วิจิตรตระการ [12] ศึกษาผลในการยับยั้งการงอกของสารสกัดจากตำบองฝรั่งพบว่าการแยกกลุ่มสารออกฤทธิ์จากใบตำบองฝรั่งโดยวิธี acid-base solvent partitioning พบว่าสารออกฤทธิ์ในกลุ่ม acidic fraction สามารถยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตของพืชทดสอบได้ดีที่สุดรองลงมาคือ hydrolyze fraction, NE fraction, crude ethanol และ AQ fraction และสอดคล้องกับ อีกทั้ง Laemoh, A., & Waewthongrak, W. [13] พบว่าผลอัลลิโลพาธิ์ของ *E. crassipes* ต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าไมยราบ โดยใช้สารสกัดใบน้ำของ *E. crassipes* ที่ความเข้มข้น 5, 10 และ 15 %w/v พบว่าความยาว น้ำหนัก และปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญด้วยสารสกัดจากใบ *E. crassipes* ที่มีความเข้มข้น 10% และ 15% w/v

#### 4. บทสรุป

การศึกษามูลทางอัลลิโลพาธิ์ของสารสกัดชั้นเอทานอลจากผลยางนาต่อการยับยั้งความยวรากของไมยราบ ทำการทดลอง 4 ทริทเมนต์ ได้แก่ ชุดควบคุม และชุดสารสกัดที่มีความเข้มข้น 1,000 mg/L 2,000 mg/L และ 4,000 mg/L นั้น พบว่า สารสกัดชั้นเอทานอลจากผลของต้นยางนาสามารถยับยั้งความยวรากของไมยราบได้ที่ระดับ 2,000 mg/L ขึ้นไป ซึ่งสามารถยับยั้งความยวรากของไมยราบได้แตกต่างจากชุดควบคุม ทั้งนี้เมื่อสารสกัดมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การยับยั้งความยวรากของไมยราบสูงขึ้นตามไปด้วย โดยชุดการทดลองด้วยสารสกัดที่มีความเข้มข้น 4,000 mg/L แสดงผลทางอัลลิโลพาธิ์ได้ดีที่สุด สามารถนำไปขยายผลไปสู่การศึกษาในระดับภาคสนามต่อไป

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยประจำปี 2566 (ววน.2566) และขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่อำนวยความสะดวกในการวิจัยและการใช้ห้องปฏิบัติการ ทำให้การดำเนินงานวิจัยบรรลุวัตถุประสงค์ทุกประการ

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. สถานภาพความหลากหลายทางชีวภาพของประเทศไทย พ.ศ. 2563. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ. 2563.
- [2] ภัทรารุช พูลสิงห์ (25 กรกฎาคม 2567). ความหลากหลายทางชีวภาพคือชีวิต ชีวิตของพวกเราทุกคน. สืบค้นจาก <https://www.scimath.org/article-biology/item/593-biodiversity-is-life>.
- [3] ขวลิต โยงรัมย์, สริน ทัดทอง, นาถธิดา วีระปรียากร, และเพลินทิพย์ ภูทองกิ่ง. ผลเบื้องต้นของสารสกัดยางนา (*Dipterocarpus alatus* Roxb. ex G.Don) ต่อฤทธิ์ต้านมะเร็ง ฤทธิ์ต้านเชื้อรา และการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกด้วย HPLC. วารสารการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก. 17(2562) 437-446.

- [4] นพพล เกตุประสาท (25 กรกฎาคม 2567). ไมยราบ. สืบค้นจาก  
<http://clgc.agri.kps.ku.ac.th/resources/weed/mimosa.html>.
- [5] พิสิฐ พรหมนารท และคณะ. คู่มือการป้องกันกำจัดวัชพืชในนาข้าว. กรมการข้าว, กรุงเทพฯ. 2550.
- [6] Ren Sen Zeng, Azim U. Mallik, and Shiming Luo. Allelopathy in Sustainable Agriculture and Forestry. Springer New York, NY. eBook. 2008.
- [7] ดารารัตน์ มณีจันทร์. ผลทางอัลลีโลพาที่ของพืชรากก้านแดง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต.บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2547.
- [8] อัญญา พรหมมา, ศิริพร ชิงสนธิพร, ธัญชนก จงรักไทย, และเอกรัตน์ ธนทอง. ประสิทธิภาพสารสกัดพลู (*Piper betle* L.)  
เพื่อควบคุมวัชพืช. รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2560 สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร. 2560.
- [9] อัญชลี จาละ. ผลของสารอัลลีโลพาที่จากต้อยติ่งที่มีต่อการงอกของเมล็ดไมยราบ ผักเสี้ยนผีและผักโขมหิน.  
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 21(2556) 558-564.
- [10] พิศมัย หาญมงคลพิพัฒน์. สถิติและการวางแผนการตลาดทางเกษตร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ,  
2550.
- [11] วิมลพรรณ รุ่งพรหม. สารยับยั้งการงอกของเมล็ดวัชพืชจากรากลำเจียก. วารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร. 38(2550)  
299-302.
- [12] ภัทริน วิจิตรตระการ. ผลในการยับยั้งการงอกของสารสกัดน้ำจากดาวเรืองและการแยกกลุ่มสารออกฤทธิ์. วารสารเกษตร  
พระจอมเกล้า 30(2555) 87-94.
- [13] Laemoh, A., & Waewthongrak, W. Allelopathic Effect of Eichhornia crassipes Aqueous Extract against  
Growth of Mimosa pudica. Sains Malaysiana, 51(2022) 3153-3162.

## การพัฒนาและการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตนวัตกรรมผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือ Development and transfer of technology for producing innovative hand cleaning products

อุดมเดชา พลเยี่ยม<sup>1\*</sup> ส้งเวย เสวกวิหารี<sup>1</sup> ธนาพร บุญชู<sup>1</sup> อัญชญา ชัตติยะวงศ์<sup>1</sup> และ นิภาพร ปัญญา<sup>2</sup>

<sup>1</sup> กลุ่มวิชาเคมี ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

<sup>2</sup> สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถ.พิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กทม. 10800

\*E-mail: udomdeja.p@rmutp.ac.th

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนานวัตกรรมผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือ และถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือ นวัตกรรมผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือที่พัฒนาขึ้นคือเจลแอลกอฮอล์แบบกึ่งเหลว กลุ่มตัวอย่างในการถ่ายทอดเทคโนโลยีได้มาจากการคัดเลือกแบบอาสาสมัคร (Voluntary Selection) จำนวน 10 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือแบบประเมินความพึงพอใจในการถ่ายทอดเทคโนโลยี วิเคราะห์ข้อมูลใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ สถิติที่ใช้ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือแบบเจลแอลกอฮอล์กึ่งเหลวมีคุณลักษณะสอดคล้องกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือ มพช.907/2563 ผู้เข้ารับการถ่ายทอดเทคโนโลยีส่วนใหญ่มีความพึงพอใจ ด้านวิทยากร ด้านสถานที่ ระยะเวลา และสิ่งอำนวยความสะดวกด้านความรู้ และด้านประโยชน์จากการรับบริการอยู่ในระดับมาก และผู้เข้ารับการถ่ายทอดเทคโนโลยีส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อรูปแบบการถ่ายทอดเทคโนโลยีโดยรวมทั้งระยะเวลาในการอบรม ขั้นตอนการทำนวัตกรรมผลิตภัณฑ์ นวัตกรรมผลิตภัณฑ์สามารถนำไปใช้ปฏิบัติจริงได้ และนวัตกรรมผลิตภัณฑ์เป็นแนวทางในการประกอบอาชีพอยู่ในระดับมาก

**คำสำคัญ:** ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือ เจลแอลกอฮอล์แบบกึ่งเหลว การถ่ายทอดเทคโนโลยี มพช.

### Abstract

This research aims to 1) develop innovative hand cleaning products and 2) transfer technology for developing hand-cleaning products. The innovative hand cleaning product is a semi-liquid alcohol gel. The sample group for technology transfer was selected by voluntary selection, totaling ten people. The instrument used in the research was a satisfaction assessment of technology transfer. Data were analyzed using a statistical package, and the statistics used were mean and standard deviation. The research found that Semi-liquid alcohol gel hand cleaning products have characteristics consistent with community product standards. Hand cleaning products TCPS.907/2563. Most of the trainees were satisfied with the overall technology transfer format, including the lecturer, location, duration and facilities, knowledge, and benefits from receiving services at a high level. Both the duration of the training and the



product innovation process can be put into practice, and product innovation is a guideline for careers at a high level.

**Keywords:** Innovative hands cleaning products, Semi-liquid alcohol gel, Technology transfer, TCPS

## 1. บทนำ

สถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (Covid-19) ส่งผลให้มีจำนวนผู้ติดเชื้อจำนวนมาก ประเด็นเรื่องความสะอาดจึงเป็นมาตรการที่สำคัญประการหนึ่งในการป้องกันการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา การทำความสะอาดที่อยู่อาศัย สิ่งของเครื่องใช้ และการฉีดพ่นกำจัดเชื้อไวรัสโคโรนาในพื้นที่สาธารณะที่มีประชาชนจำนวนมาก อาทิ อาคารผู้โดยสารในสนามบิน โรงแรมที่พัก รถขนส่งสาธารณะ และสถานที่จัดประชุม โดยดำเนินการอย่างเคร่งครัดจะเป็นสร้างความมั่นใจในความปลอดภัยให้กับประชาชนและเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน ทั้งนี้เชื้อไวรัสโคโรนาสามารถอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้เป็นระยะเวลาหลายชั่วโมงถึงหลายวัน ในการป้องกันการแพร่กระจายเชื้อไวรัสโคโรนาที่ปนเปื้อนอยู่ตามพื้นผิวต่างๆ จึงควรใช้สารเคมีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดเชื้อได้ภายในระยะเวลาที่สั้นที่สุด โยยม วงศ์ภูวรักษ์ [1] ได้อธิบายว่าการรักษาความสะอาดส่วนบุคคลนั้นเป็นสิ่งที่สำคัญมากเนื่องจากเชื้อไวรัสโคโรนาสามารถอยู่ในสิ่งแวดล้อม และติดตามพื้นผิวที่อุณหภูมิห้องได้นาน 2-9 วัน การสัมผัสสิ่งต่างๆ จึงมีโอกาสติดโรคได้ องค์การอนามัยโลก ให้คำแนะนำสำหรับการทำความสะอาด และการฆ่าเชื้อไวรัสโคโรนาในสิ่งแวดล้อมไว้ 2 ประการคือ การทำความสะอาด (Cleaning) และการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) เริ่มจากขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์ การเตรียมสารทำความสะอาดเพื่อฆ่าเชื้อ การทำความสะอาด และฆ่าเชื้อบริเวณพื้นผิว การจัดการภายหลังทำความสะอาด และข้อควรระวัง นอกจากนี้องค์การอนามัยโลกแนะนำวิธีการดูแลสุขภาพของมือเพื่อป้องกันการติดเชื้อ โดยให้หมั่นรักษาความสะอาดของมือด้วยการใช้ผลิตภัณฑ์ผสมแอลกอฮอล์ทำความสะอาดมือที่มีความเข้มข้นร้อยละ 60-95 โดยปริมาตร (volume by volume) และระวังไม่ให้มือสัมผัสดวงตา จมูก และปาก ส่วนสิ่งของเครื่องใช้ควรทำความสะอาดด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยปริมาตร [2]

ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือที่จำหน่ายในท้องตลาดมีหลายประเภท ได้แก่ กลุ่มผลิตภัณฑ์ประเภทที่ไม่มีแอลกอฮอล์ เช่น สบู่เหลวล้างมือ และกลุ่มผลิตภัณฑ์ประเภทที่มีส่วนผสมของแอลกอฮอล์ เช่น ผลิตภัณฑ์แอลกอฮอล์ทำความสะอาดมือชนิดน้ำ ผลิตภัณฑ์แอลกอฮอล์ทำความสะอาดมือชนิดสเปรย์ ผลิตภัณฑ์ชนิดเจลที่มีส่วนผสมของแอลกอฮอล์ และผลิตภัณฑ์ขี้ชูเปียกแอลกอฮอล์ กฤษณ์ ธิรพันธุ์เมธี [3] กล่าวว่าผลิตภัณฑ์แอลกอฮอล์สำหรับทำความสะอาดฆ่าเชื้อโรคที่จำหน่ายในประเทศไทยที่ขึ้นทะเบียนจดแจ้งกับทางกระทรวงสาธารณสุข มี 2 ประเภทคือ ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นทะเบียนเป็นยาแผนปัจจุบัน และผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นทะเบียนเป็นเครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์ที่มีขายส่วนใหญ่จะจดแจ้งเป็นเครื่องสำอาง ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นทะเบียนเป็นยาแผนปัจจุบันนั้นจะผ่านกระบวนการผลิตที่มีมาตรฐานและมีขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพก่อนออกจำหน่าย ทำให้พบปริมาณของสารสำคัญคือเอทานอล (Ethanol) และไอโซโพรพานอล (Isopropanol) ในผลิตภัณฑ์เป็นไปตามมาตรฐาน และมีปริมาณแอลกอฮอล์สอดคล้องกับความเข้มข้นที่แจ้งบนฉลากผลิตภัณฑ์นั้น [3] นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือสามารถขึ้นทะเบียนกับสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) เป็นมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือ มผช.907/2563 โดยกำหนดนิยามผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือไว้ดังนี้ ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือที่มีแอลกอฮอล์เป็นส่วนผสม อาจผสมสารสกัดจากสมุนไพร น้ำมันหอมระเหย เช่น กานพลู มินต์ ทีทรี อาจเติมสีกลิ่น สารคงสภาพ และมีเอทิลแอลกอฮอล์ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 70.0 โดยปริมาตร และต้องไม่พบเมทิลแอลกอฮอล์ และกำหนดขอบข่ายครอบคลุมผลิตภัณฑ์ที่ใช้สำหรับทำความสะอาดมือโดยไม่ต้องใช้น้ำ มีลักษณะเป็น ของเหลว และของเหลวข้น [4]

จากข้อมูลข้างต้นที่กล่าวมา คณะผู้วิจัยได้ตระหนักถึงสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 จึงมีเป้าหมาย เพื่อพัฒนานวัตกรรมผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือแบบใหม่ที่มีลักษณะเป็นเจลแอลกอฮอล์แบบกึ่งเหลวสำหรับล้างมือโดยไม่ต้องใช้น้ำ และยังคงมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรค และเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณลักษณะเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือ มพข.907/2563 และเพื่ออบรมถ่ายทอดเทคโนโลยี องค์ความรู้ และทักษะการผลิผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือให้แก่บุคคลทั่วไปให้มีความรู้ความเข้าใจในส่วนประกอบและขั้นตอนการทำผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือ สามารถนำไปเป็นแนวทางในการประกอบอาชีพต่อไป

## 2. วิธีการทดลอง

### 2.1 การพัฒนานวัตกรรมผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือ

#### 2.1.1 ขั้นตอนการทำผลิตภัณฑ์

1. เติมน้ำสะอาด จำนวน 1.4 ลิตร ลงในถังขนาด 25 ลิตร โรยผงคาร์โบพอล 10.0 กรัม จนหมด
2. เติมเอทานอล ลงไปจำนวน 5.0 ลิตร ผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน
3. เติมไตรเอทานอลามีน 10.0 มิลลิลิตร โดยค่อย ๆ คนส่วนผสมทุกอย่างอย่างช้า ๆ จนเข้ากัน
4. บรรจุแอลกอฮอล์เจลลงในภาชนะที่มีฝาปิดสนิท

2.1.2 การประเมินคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ประเมินตามเกณฑ์ของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือ มพข.907/2563 ดังนี้

1. ลักษณะทั่วไป การทดสอบโดยวิธีการตรวจพินิจ
2. สารปนเปื้อน การทดสอบโดยเครื่องมือหรือเทียบเท่า
3. ความเป็นกรด-ด่าง การทดสอบภาคปฏิบัติตาม AOAC หรือเทียบเท่า
4. แอลกอฮอล์ การทดสอบโดยเครื่องมือหรือเทียบเท่า

### 2.2 การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตนวัตกรรมผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือ

2.2.1 ผู้เข้ารับการถ่ายทอดเทคโนโลยีคือประชาชนทั่วไปที่ได้มาจากการคัดเลือกแบบอาสาสมัคร (Voluntary Selection) [5] ที่มีอายุ 30 ปี ขึ้นไป จำนวน 10 คน

2.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย เป็นแบบประเมินความพึงพอใจในการถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนานวัตกรรมผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือ

2.2.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล ดำเนินการอบรมการถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนานวัตกรรมผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือ ณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

#### 2.2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ข้อมูลทั่วไป โดยการหาค่าความถี่ และค่าร้อยละ
2. วิเคราะห์ข้อมูลความพึงพอใจต่อการถ่ายทอดเทคโนโลยี โดยการหาค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
3. การแปลความหมายข้อมูล การแปลความหมายของค่าเฉลี่ยของความพึงพอใจต่อการถ่ายทอดเทคโนโลยี ใช้เกณฑ์การแปลความหมายของค่าเฉลี่ยของ Best [6] ดังนี้

### ตารางที่ 1 เกณฑ์การแปลความหมายของค่าเฉลี่ย

ช่วงค่าเฉลี่ย	ระดับ
4.50 – 5.00	มากที่สุด
3.50 – 4.49	มาก
2.50 – 3.49	ปานกลาง
1.50 – 2.49	น้อย
1.00 – 1.49	น้อยที่สุด

### 3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

#### 3.1 การพัฒนานวัตกรรมผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือ

การพัฒนานวัตกรรมผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือ ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาคือนวัตกรรมผลิตภัณฑ์เจลแอลกอฮอล์กึ่งเหลว การประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ พบว่า ลักษณะทั่วไป เนื้อเจลเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่แยกชั้น ไม่ตกตะกอน ไม่จับตัวเป็นก้อน และสีมีความสม่ำเสมอ การไหลของเจลเมื่อเอียงขวดเจลลง 45 องศา กับแนวระดับเจลมีการไหลต่อเนื่อง ไม่พบสารปนเปื้อน และมีความเป็นกรด-ด่าง เฉลี่ย 6.9 มีปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 73.0 โดยปริมาตร และไม่พบเมทิลแอลกอฮอล์ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือ (มพช.907/2563) [4] และสอดคล้องกับองค์การอนามัยโลก [2] ที่กำหนดให้ผลิตภัณฑ์พื้นฐานในการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อโรคบนพื้นผิวทั่วไปในบริบทของการแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ที่สำคัญคือเอทานอล เข้มข้นร้อยละ 70-90 โดยปริมาตร และสอดคล้องกับโพยม วงศ์ภูวรักษ์ [1] ที่ให้เสนอแนะว่าน้ำยาฆ่าเชื้อในช่วงโควิด 19 กลุ่มแอลกอฮอล์ ได้แก่ เอทานอลที่มีความเข้มข้นไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 หรือ 62.4 โดยน้ำหนัก

#### 3.2 การถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตนวัตกรรมผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือ

### ตารางที่ 2 ข้อมูลทั่วไปของผู้เข้ารับการถ่ายทอดเทคโนโลยี

	ข้อมูลทั่วไป	ความถี่	ร้อยละ
1. เพศ	หญิง	7	70.00
	ชาย	3	30.00
2. อายุ	31-40 ปี	2	20.00
	41-50 ปี	5	50.00
	51-60 ปี	3	30.00
3. ระดับการศึกษา	ปริญญาโท	8	80.00
	ปริญญาเอก	2	20.00

จากตารางที่ 2 ผู้เข้ารับการฝึกอบรมส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 70.00 อายุระหว่าง 41-50 ปี ร้อยละ 50.00 และมีระดับการศึกษาระดับปริญญาโท ร้อยละ 80.00

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความพึงพอใจต่อการถ่ายทอดเทคโนโลยี

ข้อความ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
<b>ด้านวิทยากร</b>			
1. การถ่ายทอดความรู้ของวิทยากร	4.35	.51	มาก
2. การตอบข้อซักถามในการฝึกอบรม	4.43	.35	มาก
<b>ด้านสถานที่ ระยะเวลา และสิ่งอำนวยความสะดวก</b>			
3. ความเหมาะสมของสถานที่	4.52	.35	มากที่สุด
4. ความพร้อมของวัสดุฝึกอบรม	4.37	.78	มาก
5. ช่วงเวลาในการอบรม	4.32	.65	มาก
<b>ด้านความรู้</b>			
6. ความรู้ก่อนการอบรม	3.11	.82	ปานกลาง
7. ความรู้หลังการอบรม	4.39	.48	มาก
<b>ด้านประโยชน์จากการรับบริการ</b>			
8. สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ได้	4.35	.31	มาก
9. ความคุ้มค่าเมื่อเทียบกับเวลา	4.41	.50	มาก
<b>รวม</b>	<b>4.25</b>	<b>.51</b>	<b>มาก</b>

จากตารางที่ 3 ผู้เข้ารับการฝึกอบรมส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อการถ่ายทอดเทคโนโลยีโดยรวมด้านวิทยากร สถานที่ ระยะเวลาและสิ่งอำนวยความสะดวก ความรู้ และประโยชน์จากการรับบริการอยู่ในระดับมาก ( $\bar{X} = 4.25$ )

ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของรูปแบบการถ่ายทอดเทคโนโลยี

ข้อความ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. ระยะเวลาในการอบรม	4.49	.51	มากที่สุด
2. ขั้นตอนการทำงานนวัตกรรมผลิตภัณฑ์	4.35	.36	มาก
3. นวัตกรรมผลิตภัณฑ์สามารถนำไปใช้ปฏิบัติจริงได้	4.41	.47	มาก
4. นวัตกรรมผลิตภัณฑ์เป็นแนวทางในการประกอบอาชีพ	4.36	.39	มาก
<b>รวม</b>	<b>4.40</b>	<b>.48</b>	<b>มาก</b>

จากตารางที่ 4 ผู้เข้ารับการฝึกอบรมส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อรูปแบบการถ่ายทอดเทคโนโลยีโดยรวม ทั้งระยะเวลาในการอบรม ขั้นตอนการทำงานนวัตกรรมผลิตภัณฑ์ นวัตกรรมผลิตภัณฑ์สามารถนำไปใช้ปฏิบัติจริงได้ และ นวัตกรรมผลิตภัณฑ์เป็นแนวทางในการประกอบอาชีพอยู่ในระดับมาก ( $\bar{X} = 4.40$ )

จากผลการวิจัยที่พบว่าผู้เข้ารับการฝึกอบรมส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อรูปแบบการถ่ายทอดเทคโนโลยี โดยรวมทั้งระยะเวลาในการอบรม ขั้นตอนการทำงานนวัตกรรมผลิตภัณฑ์ นวัตกรรมผลิตภัณฑ์สามารถนำไปใช้ปฏิบัติจริงได้ และ นวัตกรรมผลิตภัณฑ์เป็นแนวทางในการประกอบอาชีพอยู่ในระดับมากนั้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการดำเนินการอบรมถ่ายทอด เทคโนโลยีในครั้งนี้มีเป้าหมายให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรมสามารถนำความรู้และทักษะไปใช้ปฏิบัติจริงได้ เพื่อเป็นแนวทางในการ ประกอบอาชีพ และนอกจากนี้ยังมีเป้าหมายประการหนึ่งคือการพัฒนาผู้เข้ารับการฝึกอบรมให้สามารถเป็นวิทยากรการ พัฒนาผลิตภัณฑ์ได้ ซึ่งสอดคล้องกับ อังคณา เรื่องชัย [7] ที่ศึกษาการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมระยะสั้น เรื่อง การทำน้ำ

สมุนไพรเพื่อเป็นอาชีพเสริมในครอบครัวซึ่งพบว่าความพึงพอใจของผู้เข้าอบรมที่มีต่อหลักสูตรฝึกอบรมระยะสั้น เรื่อง การทำน้ำสมุนไพรเพื่อเป็นอาชีพเสริมในครอบครัว ค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมียังคงจำเป็นต่อสังคมยุคใหม่และสามารถผลิตเพื่อการจำหน่ายได้ [8]

#### 4. สรุปผลการศึกษา

ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือแบบเจลแอลกอฮอล์กึ่งเหลวที่พัฒนาขึ้น สอดคล้องกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือ มผช.907/2563 ผู้เข้ารับการฝึกอบรมส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อการถ่ายทอดเทคโนโลยีโดยรวมทั้งด้านวิทยากร ด้านสถานที่ ระยะเวลา และสิ่งอำนวยความสะดวก ด้านความรู้ และด้านประโยชน์จากการรับบริการอยู่ในระดับมาก และผู้เข้ารับการฝึกอบรมส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อรูปแบบการถ่ายทอดเทคโนโลยีโดยรวมทั้งระยะเวลาในการอบรม ขั้นตอนการทำงานนวัตกรรมผลิตภัณฑ์สามารถนำไปใช้ปฏิบัติจริงได้ และนวัตกรรมผลิตภัณฑ์เป็นแนวทางในการประกอบอาชีพอยู่ในระดับมาก ทั้งนี้สามารถนำไปเป็นแนวทางในการจัดจำหน่ายได้

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่สนับสนุนทุนวิจัยและอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการเคมีสำหรับการดำเนินการวิจัย และการจัดฝึกอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยีเป็นอย่างดี

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] โปยม วงศ์วรวิทย์. (25 กรกฎาคม 2567). น้ำฆ่าเชื้อในช่วงวิกฤต โควิด 19. สืบค้นจาก [https://www.pharmacy.psu.ac.th/COVID19\\_article1\\_psu.pdf](https://www.pharmacy.psu.ac.th/COVID19_article1_psu.pdf).
- [2] World Health Organization. (25 กรกฎาคม 2567). Cleaning and disinfection of environmental surfaces in the context of COVID-19: interim guidance. สืบค้นจาก <https://iris.who.int/handle/10665/332096>.
- [3] กฤษณ์ ธิรพันธุ์เมธี. (25 กรกฎาคม 2567). บทความเผยแพร่ความรู้สู่ประชาชน การเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด. สืบค้นจาก <https://pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/>.
- [4] มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดมือ มผช.907/2563. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) กระทรวงอุตสาหกรรม 31 มีนาคม 2563.
- [5] สมชาย วรภิเษมสกุล. ระเบียบวิธีการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์. อักษรศิลป์การพิมพ์, อุดรธานี. 2554
- [6] Best, J. W. Research in education. Prentice Hall, New Jersey. 1981.
- [7] อังคนา เรื่องชัย. การพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมระยะสั้น เรื่องการทำน้ำสมุนไพรเพื่อเป็นอาชีพเสริมในครอบครัว. ปรินญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 2555.
- [8] รัตนา อานนท์วัฒนา. แผนธุรกิจผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดที่มีแอลกอฮอล์เป็นส่วนประกอบแบรนด์ Tight. ปรินญาการจัดการมหาบัณฑิต. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล. 2564.

ผลของค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อการพองตัวของตะกรันกากน้ำตาล

Effects of concentration of sodium hydroxide solution on swelling of molasses foulants

ณัฐปวีร์ อินถา<sup>1\*</sup> และ ภณิดา ช้ายขวัญ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

\*E-mail: in.natpawi@gmail.com

บทคัดย่อ

ตะกรันกากน้ำตาลเกิดขึ้นในกระบวนการกลั่นเอทานอล โดยมีรายงานว่าเกิดจากการตกผลึกของแคลเซียมออกไซด์ (Calcium oxide) เนื่องจากการล้างตะกรันกากน้ำตาลในโรงงานยังเป็นลักษณะลองผิดลองถูก งานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ต่อการพองตัวของตะกรันกากน้ำตาล โดยการศึกษาการพองตัวใช้วิธีการวัดน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปของตะกรันที่แช่ในสารละลาย NaOH (4 – 20% โดยน้ำหนัก) ที่เวลาต่าง ๆ ทั้งนี้เพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการล้างตะกรันให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด นอกจากนี้ยังได้ศึกษาการพองตัวของตะกรันกากน้ำตาลในสารละลายกรดซิตริก (1-8% โดยน้ำหนัก) ซึ่งเป็นสารละลายที่งานวิจัยส่วนใหญ่ใช้ในการล้างตะกรันเกลือแร่ (Scaling foulants) พบว่า ไม่มีการพองตัวเกิดขึ้น แต่ตะกรันที่แช่ในสารละลายทั้งสองชนิดมีพฤติกรรมที่คล้ายคลึงกัน คือ ตะกรันละลายทันทีเมื่อสัมผัสกับสารละลาย และอัตราการละลายของตะกรันลดลงตามระยะเวลา นอกจากนี้ยังพบว่าในช่วงที่ความเข้มข้นของสารละลายต่ำการเพิ่มความเข้มข้นช่วยเพิ่มอัตราการละลายของตะกรัน แต่เมื่อความเข้มข้นเพิ่มมากกว่าค่าหนึ่ง (10% และ 3% ของสารละลาย NaOH และกรดซิตริกตามลำดับ) การเพิ่มความเข้มข้นกลับทำให้อัตราการละลายลดลง ซึ่งเป็นพฤติกรรมที่พบในการศึกษาการพองตัวของตะกรันนมในสารละลาย NaOH ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าสามารถหาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการล้างตะกรันกากน้ำตาล ซึ่งช่วยให้สามารถลดการใช้สารเคมีมากกว่าที่จำเป็นได้ แม้ว่าตะกรันกากน้ำตาลจะเป็นตะกรันเกลือแร่กลับพบว่าอัตราการละลายของตะกรันกากน้ำตาลในสารละลาย NaOH สูงกว่าในกรดซิตริก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าตะกรันกากน้ำตาลมีส่วนประกอบของสารอินทรีย์เป็นส่วนประกอบ สามารถยืนยันได้จากผลวิเคราะห์องค์ประกอบของตะกรันด้วยวิธี FTIR

**คำสำคัญ:** การพองตัว การล้าง ตะกรัน สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ กากน้ำตาล

Abstract

Molasse foulants formed during distillation of ethanol have been reported to occur as a result of crystallization of calcium oxide. Since cleaning of molasse foulants is from trial and error, this research aimed to study effects of concentration of sodium hydroxide (NaOH) solution on swelling of molasse

foulants. Swelling studies were conducted by monitoring mass changes of foulants immersed in NaOH solution (4-20% by weight) at various times. This was in order to optimize the concentration of NaOH solution used in the cleaning. Swelling studies of molasse foulants in citric solution (1 – 8% by weight), which is generally used to clean scaling foulants, were also conducted. From the studies, no swelling was observed and behaviors of the foulants in both types of solutions were similar; foulants dissolved immediately when in contact with the cleaning solutions and dissolution rates decreased with increasing time. Moreover, it was found that at low concentrations, increasing the concentration caused an increase in dissolution rate. However, when increasing the concentration beyond a certain value (10% and 3% by weight of NaOH and citric solutions, respectively), a decrease in dissolution rate was observed. Such behaviors have been reported for swelling of milk foulants in NaOH solution. This suggested that there was the optimum concentration used to clean the foulants which would reduce the use of chemicals. Even though molasse foulants are scaling foulants, the dissolution rates in NaOH solution were larger than those associated with citric solution. This could be due to organic components in the molasse foulants, confirmed by FTIR analysis of the scale's composition.

**Keywords:** Swelling, Cleaning, Fouling, Sodium hydroxide, Citric acid

## 1. บทนำ

ตะกรัน คือ การสะสมของวัสดุบนพื้นผิวของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิต ปัญหาที่พบโดยทั่วไปเมื่อเกิดการสะสมของตะกรันคือ ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนของอุปกรณ์ลดลง ส่งผลทำให้ต้องมีการหยุดกระบวนการผลิต และมีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้นในกระบวนการล้างตะกรัน ทั้งทางตรงและทางอ้อม นอกจากนี้ยังอาจทำให้อุปกรณ์เกิดความสึกหรอ และความเสียหายที่เกิดขึ้นในกระบวนการล้างตะกรันได้ [1-3]

ปัจจุบันการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลเป็นอุตสาหกรรมที่มีการผลิตอย่างแพร่หลาย ปัญหาที่พบในกระบวนการผลิตคือ การเกิดตะกรันในกระบวนการกลั่นเอทานอล ซึ่งตะกรันดังกล่าวประกอบด้วยซิลิกอนไดออกไซด์ (Silicon dioxide:  $\text{SiO}_2$ ) อะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminum oxide:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) เฟอริกออกไซด์ (Ferric oxide:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) แมกนีเซียมออกไซด์ (Magnesium oxide:  $\text{MgO}$ ) แคลเซียมออกไซด์ (Calcium oxide:  $\text{CaO}$ ) โซเดียมออกไซด์ (Sodium oxide:  $\text{Na}_2\text{O}$ ) ฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์ (Phosphorus pentoxide:  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (Sulfur trioxide:  $\text{SO}_3$ ) และจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของตะกรันได้มีข้อสรุปว่าการสะสมของตะกรันส่วนใหญ่มาจากแคลเซียมออกไซด์เป็นหลัก ซึ่งมาจากแคลเซียมออกไซด์ที่พบในกากน้ำตาล [1] นอกจากนี้เมื่อมีการศึกษาองค์ประกอบของตะกรันที่เกิดในระหว่างการกลั่นเอทานอลของ Beer Column พบว่าตะกรันประกอบด้วยองค์ประกอบที่พบในกากน้ำตาลที่ใช้ในการหมัก โดยในกรณีนี้แบ่งองค์ประกอบเป็น 5 กลุ่ม คือ 1) เกลือของโลหะแอสคาโลนเอิร์ธ ซึ่งนอกจาก  $\text{CaO}$  และ  $\text{MgO}$  ยังพบแบเรียมออกไซด์ (Barium oxide:  $\text{BaO}$ ) 2) เกลือของโลหะแอสคาไลน์ ( $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ) 3) เกลือของโลหะทรานซิชัน ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ) 4) เกลือซัลเฟต และ 5) สารอินทรีย์ [2] เห็นได้ชัดว่าองค์ประกอบของกากน้ำตาลมีผลโดยตรงต่อองค์ประกอบในตะกรันที่เกิดขึ้น

กลไกที่เกี่ยวข้องกับการเกิดตะกรันในกากน้ำตาล ได้แก่ การตกผลึก การตกตะกอน และการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยบริเวณผิวของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมักเกิดตะกรันจากการตกผลึก [1,2] และการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าการแก้ปัญหาการเกิดตะกรันวิธีหนึ่งคือ การลดองค์ประกอบที่ทำให้เกิดตะกรันในกากน้ำตาล เช่น การกรองด้วยเครื่องกรอง

ของแข็งออกจากของเหลว [1] และการแยกด้วยไซโคลน [2] ซึ่งวิธีนี้สามารถลดปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้น และช่วยให้ความถี่ในการล้างลดลง

อย่างไรก็ตามในปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตน้ำตาลมีความทันสมัยมากขึ้น ส่งผลให้กากน้ำตาลที่เป็นผลพลอยได้ (By-product) ของการผลิตน้ำตาลที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในอุตสาหกรรมผลิตเอทานอลมีคุณภาพที่ลดลงและแตกต่างจากในอดีต ดังนั้นการแก้ปัญหาตะกอนที่เกิดจากกากน้ำตาลด้วยการปรับการลดปริมาณองค์ประกอบที่ก่อให้เกิดตะกอนในวัตถุดิบจึงอาจไม่เพียงพอ โดยเฉพาะเมื่อคุณภาพของวัตถุดิบเปลี่ยนไปมากจากที่เคยใช้ และไม่สามารถทำได้ทันที เช่น การปรับขนาดไซโคลน หรือการเพิ่มจำนวนไซโคลน เป็นต้น ดังนั้นการศึกษาที่เกี่ยวกับกระบวนการล้างตะกอนกากน้ำตาลจึงมีความจำเป็น เพราะนอกจากจะช่วยลดระยะเวลา สารเคมี และอุณหภูมิที่ใช้ในการล้างแล้ว ยังให้ข้อมูลที่ช่วยปรับเปลี่ยนกระบวนการล้างให้เหมาะสมตามคุณภาพของกากน้ำตาลที่เปลี่ยนไปได้อีกด้วย

เนื่องจากไม่พบการศึกษาเกี่ยวกับการล้างตะกอนกากน้ำตาล ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการล้างตะกอนที่มีองค์ประกอบหลักเป็นเกลือแร่ อันเป็นองค์ประกอบหลักของตะกอนกากน้ำตาล จากการศึกษาพบว่ากรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid: HCl) ถูกนำมาใช้กำจัดตะกอนเกลือแร่มากที่สุด เนื่องจากตะกอนที่เป็นแร่ธาตุส่วนใหญ่มีความสามารถในการละลายในกรดสูง เช่น เกลือคาร์บอเนตที่มีความสามารถในการละลายในกรดไฮโดรคลอริกสูง และสามารถกำจัดออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามจะมีตะกอนแร่ธาตุบางชนิดที่มีความสามารถในการละลายกรดต่ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในความดันบรรยากาศ เช่น เกลือซัลเฟตของแคลเซียมโดยมีความสามารถในการละลายเพียง 1.8% โดยน้ำหนัก [4] ในกรณีเช่นนี้พบว่าอาจใช้สารบางชนิดเพื่อเปลี่ยนแร่ธาตุให้เป็นสารประกอบที่ละลายในกรดได้ เช่น การใช้โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium Carbonate:  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ [7]

แม้ว่ากรดไฮโดรคลอริกจะมีประสิทธิภาพในการล้างตะกอนแร่ธาตุได้มากที่สุด แต่กรดไฮโดรคลอริกอาจกัดกร่อนอุปกรณ์ที่เป็นโลหะได้ จึงพบว่ามีความพยายามที่จะใช้กรดอ่อนในการล้างตะกอนแทน เช่น มีการเปรียบเทียบการใช้กรดไฮโดรคลอริก (pH 1) และกรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid:  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) ล้างตะกอน (ส่วนประกอบหลักคือ แคลเซียมคาร์บอเนต แมกนีเซียมคาร์บอเนต) จากพื้นผิวโลหะผสม (ทองแดงและนิกเกิล) พบว่ากรดฟอสฟอริกไม่ทำให้เกิดสนิมสีแดงบนพื้นผิวโลหะ เพราะกรดฟอสฟอริกมีหน้าที่ป้องกันการเกิดสนิม ในขณะที่กรดไฮโดรคลอริกทำให้เกิดสนิมสีแดงบนพื้นผิวโลหะ นอกจากการใช้กรดอ่อน ก็ยังมีการทดลองใช้กรดอินทรีย์ เช่น กรดอะซิติก (Acetic acid:  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) กรดฟอร์มิก (Formic acid:  $\text{CH}_2\text{O}_2$ ) กรดมาเลอิก (Maleic acid:  $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4$ ) [3, 4] ในการล้างตะกอนอีกด้วย เหตุผลหลักเพราะกรดอินทรีย์มีอัตราการกัดกร่อนที่ต่ำกว่ากรดแก่ อย่างไรก็ตามการใช้กรดอินทรีย์ก็มีข้อเสียคือ กรดอินทรีย์ส่วนใหญ่มีค่าคงที่การแยกตัวต่ำ (Low dissociation) ราคาแพง และประสิทธิภาพในการละลายตะกอน โดยเฉพาะตะกอนที่มีองค์ประกอบของคาร์บอเนตต่ำกว่ากรดไฮโดรคลอริก ในบางครั้งการผสมกรดสองชนิดก็อาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการล้างตะกอนได้ เช่น มีการศึกษาการล้างด้วยกรดอะซิติก (5% โดยน้ำหนัก) ผสมกับกรดฟอร์มิก (7% โดยน้ำหนัก) ในการล้างตะกอนแคลไซต์ แล้วพบว่าประสิทธิภาพการล้างมากกว่าการล้างด้วยกรดอะซิติก 10% โดยน้ำหนัก เพียงอย่างเดียวถึง 4 เท่า [4]

ถึงแม้ว่าการใช้กรดในการล้างตะกอนจะมีต้นทุนต่ำ และมีประสิทธิภาพสูง แต่กรดมีฤทธิ์กัดกร่อนกับโลหะทำให้อุปกรณ์เสียหายได้ การเติมสารยับยั้งการกัดกร่อน แม้จะช่วยลดอัตราการกัดกร่อนลงได้ ก็อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [3] อีกทั้งทางโรงงานตัวอย่างยังไม่ได้มีวิธีการจัดการของเสียจากการใช้กรดไฮโดรคลอริกในจำนวนมาก ซึ่งจากการศึกษาการจัดการของเสียจากการใช้กรดจะต้องทำให้เป็นกลางโดยการสะเทินด้วยสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นด่าง [18] และจากการปรับสภาพน้ำให้เป็นกลางจะต้องมีการใช้สารเคมี ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้น และด้วยข้อเสียของการใช้กรด และความกังวลความปลอดภัยของผู้ทำงาน โรงงานตัวอย่างที่ให้ตะกอนตัวอย่างใช้ในงานวิจัยนี้จึงล้างตะกอนกากน้ำตาลด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide: NaOH) และมีวิธีการจัดการของเสียจากการใช้สารละลาย NaOH หลังจากกระบวนการล้าง ซึ่งสารละลาย NaOH ที่ผ่านกระบวนการล้างจะนำไปรวมกับน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการกลั่นกลั่นซึ่งมีฤทธิ์



เป็นกรดอ่อนอยู่แล้ว เมื่อนำสารละลาย NaOH ที่ผ่านกระบวนการล้างแล้วไปรวมกับน้ำเสียจากกระบวนการล้างก็สามารถปรับสภาพน้ำเสียดังกล่าวให้มีค่าเข้าใกล้ความเป็นกลางมากขึ้น และสามารถลดการใช้สารเคมีสำหรับการปรับสภาพน้ำเสียอีกด้วย [19] จากวิธีการจัดการข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการจัดการสารละลาย NaOH ดีกว่าการจัดการกับสารละลาย HCl สำหรับโรงงานตัวอย่างนี้ อย่างไรก็ตามเงื่อนไขที่ใช้ในการล้างมาจากการลองผิดลองถูก ทำให้มีความเป็นไปได้ว่าเงื่อนไขที่ใช้ในปัจจุบันอาจไม่ใช่เงื่อนไขที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของรายงานการใช้ NaOH ในการล้างตะกรันที่มีองค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์ โดยเฉพาะโปรตีน เช่น การล้างตะกรันนมที่เกิดจากกระบวนการพาสเจอร์ไรส์ [8] และความเข้มข้นของ NaOH ที่มีความเข้มข้นสูงมากเกินไปสามารถยับยั้งการแตกตัวของโปรตีนได้ แม้ว่าอัตราการแตกตัวของโปรตีนจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อความเข้มข้นของสารละลาย NaOH มากกว่า 0.25 mol/L แต่อัตราการละลายของตะกรัน และการล้างตะกรันออกลดลงอย่างเห็นได้ชัดที่ความเข้มข้นที่น้อยกว่า 0.1 mol/L [8] ซึ่งหากเพิ่มอุณหภูมิในการล้างมากกว่า 70 องศาเซลเซียสก็จะเพิ่มประสิทธิภาพการล้างได้ อย่างไรก็ตามหากใช้ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ที่เหมาะสมแล้ว การเพิ่มอุณหภูมิกลับไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการล้างอย่างมีนัยสำคัญ [8] ทั้งหมดนี้แสดงให้เห็นว่าการหาความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ที่เหมาะสมในการล้างเป็นสิ่งสำคัญ

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาการพองตัวของตะกรันจากน้ำตาลในสารละลาย NaOH ที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน เพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ใช้ในการล้างตะกรันจากน้ำตาล และเนื่องจากไม่พบงานวิจัยอื่นที่ล้างตะกรันจากน้ำตาลด้วยสารละลาย NaOH แต่พบว่าตะกรันที่มีองค์ประกอบของเกลือแร่คล้ายกับตะกรันจากน้ำตาลถูกล้างด้วยกรด งานวิจัยนี้จึงต้องการเปรียบเทียบการพองตัวในสารละลาย NaOH กับในสารละลายกรดซิตริก ทั้งนี้กรดซิตริกเป็นกรดอ่อนทำให้ความเสียหายที่อาจเกิดการกัดกร่อนต่อพื้นผิวอุปกรณ์น้อย ปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน [3,4] และเป็น chelating agent ซึ่งช่วยยับยั้งการกัดกร่อนของโลหะได้ [4] นอกจากนี้กรดซิตริกยังถูกใช้ในการล้างตะกรันแคลเซียมในนมเบรนนของเครื่องกรองน้ำดื่มที่ใช้ในโรงงานอยู่แล้ว

## 2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

### 2.1 การศึกษาองค์ประกอบของตะกรัน

จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าตะกรันจากน้ำตาลประกอบด้วยเกลืออนินทรีย์เป็นส่วนประกอบหลัก [1, 2] จึงได้ทำการศึกษาวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบที่เป็นเกลืออนินทรีย์ในตัวอย่างตะกรันจากน้ำตาลด้วยเครื่อง X-ray fluorescence (XRF) (Model EDX-LE บริษัท SHIMADZU ประเทศญี่ปุ่น) โดยใช้การวัดปริมาณรังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนซ์ที่ปลดปล่อยออกมาจากธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดในตัวอย่างด้วยโหมด 2ch Air-Metal โดยใช้ตัวอย่างขนาดความหนา 1 mm. และ 3 mm. ทั้งหมด 2 ตัวอย่าง ซึ่งตะกรันทั้งสองเกิดจากกระบวนการผลิตที่เหมือนกัน แต่มีระยะเวลาการสะสมของตะกรันแตกต่างกัน จึงทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวอย่างเพื่อยืนยันว่าตะกรันทั้ง 2 รูปแบบมีปริมาณธาตุองค์ประกอบแตกต่างกันหรือไม่ และเนื่องจากพบว่าโรงงานตัวอย่างใช้สารละลาย NaOH ในการล้างตะกรันจากน้ำตาล และสามารถล้างได้ จึงวิเคราะห์องค์ประกอบสารอินทรีย์ที่พบในตะกรันตัวอย่างด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR) (PerkinElmer Spectrum IR Version 10.7.0) โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ทำให้เกิดช่วงความยาวคลื่น (length) 2.5 - 50 mm. ช่วงเลขคลื่น 4000 - 400  $\text{cm}^{-1}$  โดยการวิเคราะห์ของตะกรันทั้งสองวิธีเพื่อแสดงให้เห็นว่าตะกรันจากน้ำตาลมีองค์ประกอบทั้งสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ทำให้การล้างด้วยต่างเพียงอย่างเดียวจึงอาจจะไม่เพียงพอ

## 2.2 การศึกษาการพองตัวของตะกรันที่แช่ในสารละลายที่ใช้ในการล้าง

เพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลาย NaOH และสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในการล้างตะกรันที่เกิดจากกระบวนการกลั่นเอทานอล โดยใช้การศึกษาน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของตะกรันหลังจากแช่ในสารละลายดังกล่าวที่เวลาต่างกัน โดยเตรียมสารละลายตามความเข้มข้นที่ต้องการ ซึ่งช่วงความเข้มข้นของสารละลาย NaOH (โซเดียมไฮดรอกไซด์) ชนิดน้ำ 50% โดยน้ำหนัก Food Grade บริษัทเจริญฤทธิพันธ์ จำกัด) ที่ศึกษาอยู่ที่ความเข้มข้นระหว่าง 4 – 20% โดยน้ำหนัก เพื่อให้ครอบคลุมความเข้มข้นที่โรงงานตัวอย่างของการศึกษานี้ใช้งานอยู่ที่ 8 – 15% โดยน้ำหนัก ในขณะที่สารละลายกรดซัลฟิวริก (กรดซัลฟิวริก 99.5% Food Grade บริษัท ลีควิต เพียวริฟิเคชั่น เอ็นจิเนียริง อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด) ศึกษาในช่วงความเข้มข้นระหว่าง 1 – 8% โดยน้ำหนัก เนื่องจากมีรายงานว่าการใช้กรดอ่อนความเข้มข้นในช่วงนี้มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกรันดีที่สุด [4]

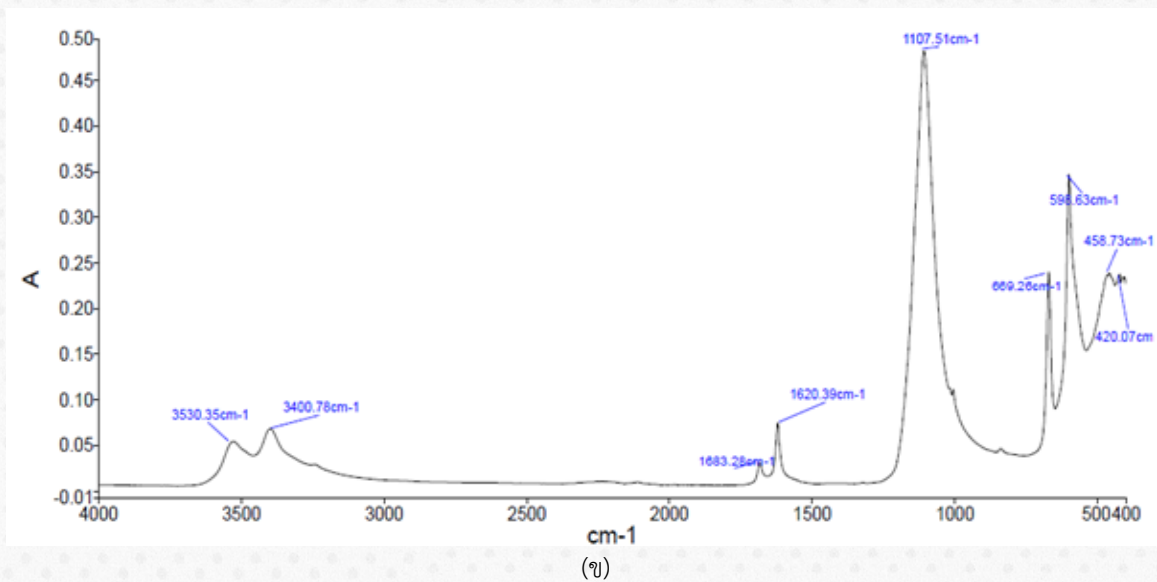
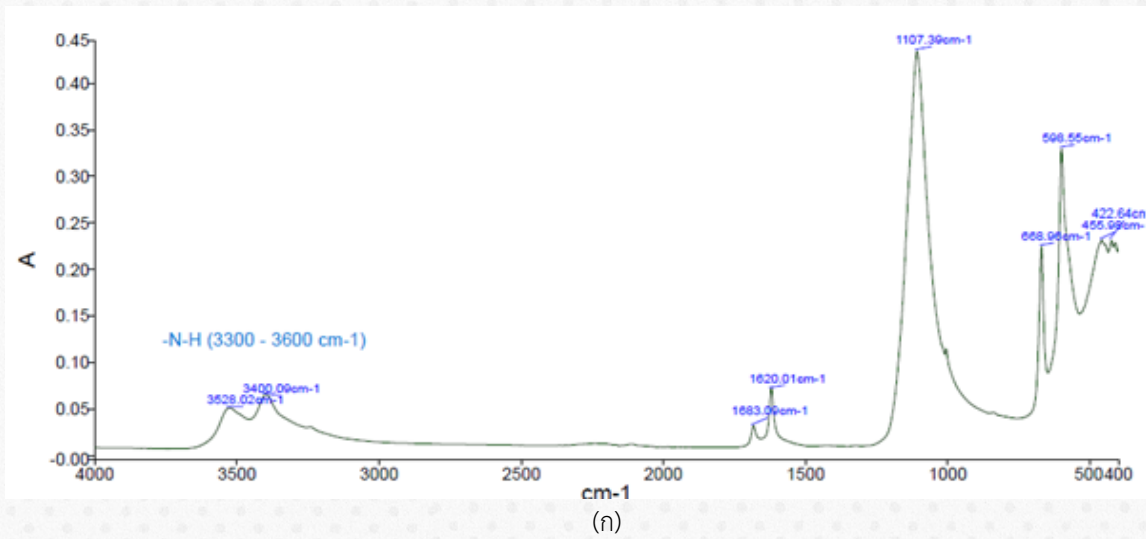
วิธีการศึกษาโดยนำสารละลายที่เตรียมไว้ปริมาณ 250 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร และนำตัวอย่างตะกรันซึ่งเป็นตัวอย่างตะกรันจริงที่เกิดจากกระบวนการกลั่นเอทานอลจากกากน้ำตาลที่ถูกกะเทาะออกมาจากคอลัมน์ เนื่องจากตะกรันที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะหลากหลายรูปแบบจึงมีการเลือกตัวอย่างตะกรันที่นำมาทดลอง โดยตะกรันที่พบเป็นส่วนใหญ่ในตะกรันทั้งหมดที่นำมาทดลองมีความหนาใกล้เคียงกัน และเกิดจากช่วงเวลาที่มีการกลั่นเดียวกัน เพราะเป็นตะกรันที่มาจากกากน้ำตาลแหล่งเดียวกัน เนื่องจากคุณสมบัติของกากน้ำตาลที่นำมาผลิตนั้นเหมือนกัน นำตะกรันที่เลือกมาชั่งน้ำหนักตะกรันเริ่มต้น ( $m_0$ ) (เครื่องชั่งน้ำหนัก 3 ตำแหน่ง โมเดล BSA 423S-CW ยี่ห้อ sartorius ประเทศเยอรมัน) เนื่องจากการที่ตะกรันสัมผัสน้ำอาจทำให้มีการพองตัว ก่อนการศึกษาการพองตัวทุกครั้งจึงนำตัวอย่างตะกรันไปแช่น้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้ชัดเจนว่าการพองตัวเมื่อตะกรันถูกแช่ในสารละลายเป็นผลของสารละลายไม่ใช่เกิดจากการสัมผัสน้ำ ซึ่งพบว่าหลังจาก 1 ชั่วโมงไม่พบการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตะกรัน จากนั้นชั่งน้ำหนักส่วนเกินของตะกรันด้วยกระดาษทิชชู แล้วนำตะกรันไปชั่งน้ำหนัก ( $m_1$ ) จากนั้นนำตัวอย่างตะกรันนี้ไปแช่ในสารละลายที่เตรียมไว้ เริ่มจับเวลาและนำมาตัวอย่างออกมาชั่งน้ำหนัก โดยในช่วงแรกมีการนำตัวอย่างออกมาชั่งน้ำหนักทุก 1 นาทีจนครบ 5 นาที หลังจากนั้นนำตัวอย่างออกมาชั่งน้ำหนักทุก 5 นาที จนสังเกตว่าน้ำหนักตะกรันไม่เปลี่ยนแปลง ทำการศึกษาทั้งหมด 3 ชั่วโมง

## 3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

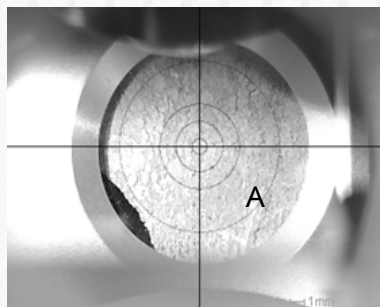
### 3.1 องค์ประกอบของตะกรัน

จากภาพที่ 1 แสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของตะกรันโดยใช้ FTIR มีการวิเคราะห์ตะกรัน 2 ตัวอย่างซึ่งมีลักษณะภายนอกคล้ายคลึงกัน แต่ต่างกันที่ความหนาของตะกรัน ดังภาพที่ 2 จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างของตะกรัน ทั้ง 2 ตัวอย่างพบว่าในตะกรันจากกากน้ำตาลมีสารประกอบคลอรีนเป็นองค์ประกอบ โดยจากภาพที่ 1 จะเห็นได้ว่าลักษณะพีคของ IR Spectrum ของตะกรันทั้ง 2 ตัวอย่างมีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งมีช่วงความยาวคลื่นที่มีพีคสูงสุดอยู่ประมาณ  $1107\text{ cm}^{-1}$  เป็นช่วงความยาวคลื่นหมู่ฟังก์ชัน C–O จัดเป็น Secondary Alcohol [8, 9] และช่วงความยาวคลื่นที่มีพีคสูงรองลงมาอยู่ในช่วง  $598\text{ cm}^{-1}$  และ  $698\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งแสดงถึงหมู่ฟังก์ชัน C–Cl หรือคลอโรแอลเคน (Chloroalkane) ( $800\text{--}600\text{ cm}^{-1}$ ) [9] ทั้งนี้คลอรีนที่พบในกากน้ำตาลอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ [10, 11] จึงมีความเป็นไปได้ว่ามีการทำปฏิกิริยาระหว่างสารอินทรีย์ กับคลอรีนเกิดเป็นคลอโรแอลเคน ซึ่งไม่ค่อยละลายน้ำ [12] จึงทำให้พบสารดังกล่าวในตะกรัน

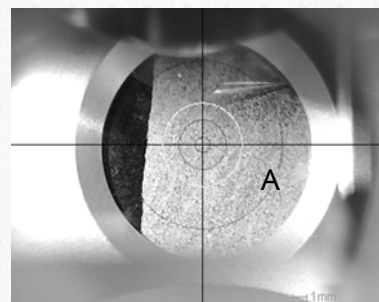
นอกจากนี้ยังพบว่าในตะกรันจากกากน้ำตาลมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบด้วย จากลักษณะของพีคของ IR Spectrum ในภาพที่ 1 มีพีคเกิดขึ้นในช่วงความยาวคลื่น  $3400\text{ cm}^{-1}$  และ  $3530\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชัน N–H (Secondary amines,  $> 3000\text{ cm}^{-1}$ ) จึงสามารถอธิบายได้ว่าเหตุใดทางโรงงานที่ศึกษาสามารถล้างตะกรันจากกากน้ำตาลด้วยสารละลาย NaOH ได้



ภาพที่ 1 ผลวิเคราะห์ตัวอย่างจาก FTIR (ก) ตะกรันมีลักษณะที่บาง หนา 1 mm (ข) ตะกรันมีลักษณะที่แข็ง หนา 3 mm



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2 ลักษณะตะกรันจากการวิเคราะห์ด้วย XRF (ก) ตะกรันมีลักษณะที่บาง หนา 1 mm (ข) ตะกรันมีลักษณะที่แข็ง หนา 3 mm: เส้นวงกลมที่ตำแหน่ง A แสดงบริเวณที่ครอบคลุมจุดที่วัดของตัวอย่าง

นอกจากการวิเคราะห์องค์ประกอบอินทรีย์ของตะกรันด้วยวิธี FTIR แล้วยังได้มีการศึกษาองค์ประกอบของสารอนินทรีย์ในตะกรันด้วยเทคนิค XRF ซึ่งผลวิเคราะห์ของตะกรันทั้ง 2 อย่างแสดงในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบของตะกรัน (ก) ตะกรันมีลักษณะที่บาง หนา 1 mm ด้วย XRF

ผลวิเคราะห์เชิงปริมาณ	
องค์ประกอบ	ความเข้มข้น (%โดยน้ำหนัก)
Ca	72.773
S	26.800
K	0.194
Sr	0.128
Fe	0.053
Cu	0.052

ตารางที่ 2 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบของตะกรัน (ข) ตะกรันมีลักษณะที่แข็ง หนา 3 mm ด้วย XRF

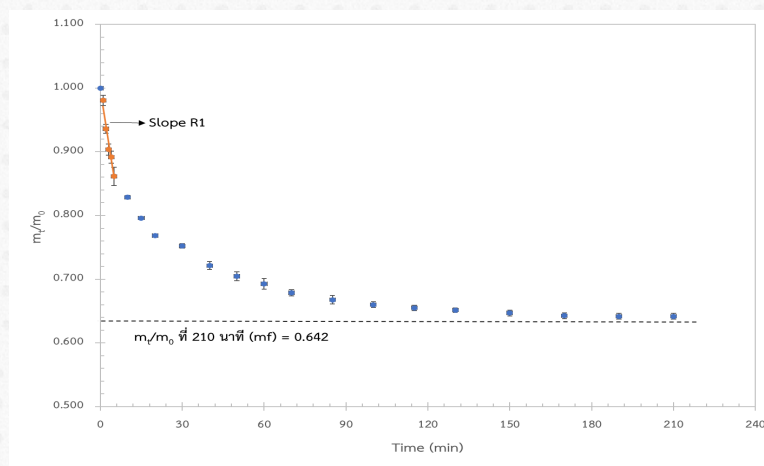
ผลวิเคราะห์เชิงปริมาณ	
องค์ประกอบ	ความเข้มข้น (%โดยน้ำหนัก)
Ca	72.132
S	27.283
K	0.261
Sr	0.245
Cu	0.078

จากตารางที่ 1 และตารางที่ 2 พบว่าตะกรันทั้ง 2 ตัวอย่างมีองค์ประกอบที่เป็นสารอนินทรีย์อยู่ด้วย และมีสัดส่วนของธาตุองค์ประกอบที่ใกล้เคียงกัน โดยธาตุองค์ประกอบที่พบมากที่สุดคือ แคลเซียม (Calcium: Ca) เช่นเดียวกับตะกรันกากน้ำตาลที่พบในงานวิจัยอื่น ๆ [1, 2] ธาตุองค์ประกอบอันดับรองลงมา คือ ธาตุกำมะถัน (Sulfur: S) มาจากการเติมสารแอมโมเนียมซัลเฟต (Ammonium sulfate:  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) ในกระบวนการหมักกากน้ำตาลโดยยีสต์ใช้เป็นแหล่งไนโตรเจนในการเจริญเติบโต [13, 14] ทั้งนี้ยังมีการพบซัลเฟตในองค์ประกอบของน้ำที่เหลือจากกระบวนการกลั่น [13] จึงมีความเป็นไปได้ว่ามีการทำปฏิกิริยาระหว่างแร่ธาตุ และซัลเฟตเกิดเป็นตะกรันของซัลเฟตที่ไม่ละลายน้ำ การที่ตะกรันทั้ง 2 ตัวอย่างมีสัดส่วนขององค์ประกอบต่าง ๆ ใกล้เคียงกันอาจเป็นเพราะการตกผลึกของเกลืออนินทรีย์แล้วเกิดเป็นตะกรันที่มีการสะสมเป็นชั้น ๆ และตะกรันที่หนากว่าอาจเกิดในตำแหน่ง หรือมีเงื่อนไขอื่น ๆ ที่ทำให้เกิดตะกรันที่หนากว่า เช่น อาจจะเป็นบริเวณที่ในขณะที่กลั่นเอทานอลมีการไหลของของไหลน้อย เป็นต้น อย่างไรก็ตามในการวัดโดยใช้วิธี XRF เป็นการวัดจากตำแหน่งเล็ก ๆ ของตะกรัน ดังภาพที่ 2 ทำให้ผลที่ได้นี้อาจจะไม่สามารถระบุองค์ประกอบทั้งหมดบนพื้นผิวตะกรันได้

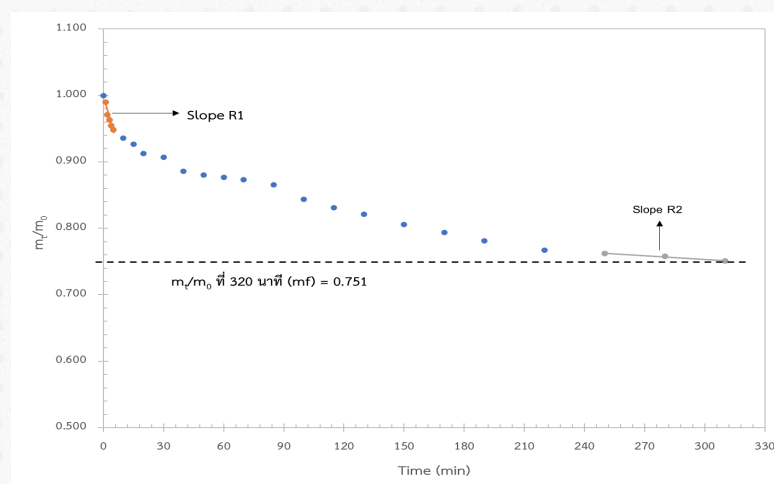
เนื่องจากโรงงานตัวอย่างได้ให้ข้อมูลว่าการล้างตะกรันกากน้ำตาลด้วยสารละลาย NaOH นั้นไม่สามารถกำจัดตะกรันได้ทั้งหมด และต้องมีการฉีดน้ำแรงดันสูงช่วยด้วย เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์องค์ประกอบตะกรันมีการพบเกลืออนินทรีย์ด้วยก็สามารถอธิบายเหตุผลที่การล้างด้วย NaOH เพียงอย่างเดียวยังไม่เพียงพอเพราะ NaOH ล้างได้เพียงสารอินทรีย์ [8] นอกจากนี้ข้อมูลจากโรงงานตัวอย่างยังทำให้ตั้งสมมติฐานได้ว่าชั้นแรกของตะกรันเกิดจากการตกผลึกของเกลืออนินทรีย์ที่พื้นผิวอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพราะหากชั้นแรกของตะกรันเป็นสารอินทรีย์ เมื่อถูกล้างออกไปด้วย NaOH ก็น่าจะหลุดออกได้อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

### 3.2 การศึกษาการพองตัวของตะกรัน

การศึกษาการพองตัวของตะกรันในสารละลาย NaOH พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างมวลตะกรันกับเวลาที่แช่ในสารละลายมีลักษณะแบบเดียวกันที่ทุกความเข้มข้นของสารละลาย ดังแสดงในภาพที่ 3(ก) คือ ไม่มีการพองตัวของตะกรัน แต่มีการละลายของตะกรันเกิดขึ้นทันที โดยช่วงแรกอัตราการละลายของตะกรัน (R1) จะสูงและค่อย ๆ ลดลงตามระยะเวลา และเข้าใกล้ศูนย์ สังเกตได้จากน้ำหนักตะกรันไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงตามเวลา สุดท้ายยังคงมีตะกรันหลงเหลืออยู่ (mf) ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้แตกต่างจากการพองตัวของโปรตีน ซึ่งมักจะมีการพองตัวก่อน โดยในกรณีของ  $\beta$ -Lg ( $\beta$ -lactoglobulin gels) มีพฤติกรรมแบบฟิกเกียน (Fickian) หรือการพองตัวถูกควบคุมด้วยการแพร่ [15,16] และในกรณีของโปรตีนเข้มข้น (Whey Protein Concentrate: WPC) มีการพองตัวด้วยอัตราการพองตัวคงที่ก่อนเข้าสู่สมดุล [16] ลักษณะการพองตัวแบบหลังนี้แสดงให้เห็นว่าผลขององค์ประกอบอื่น ๆ ในตะกรัน เช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน มีต่อการพองตัวของตะกรัน และการพองตัวในลักษณะนี้พบในตะกรันกะทิ ซึ่งเป็นตะกรันที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และมีโปรตีนเพียงเล็กน้อย [17]



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างมวลตะกรันกับเวลาที่แช่ในสารละลาย (ก) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์  
(ข) สารละลายกรดซิตริก (เส้นทึบแสดงการหาอัตราการละลายของตะกรันในช่วงแรก R1 และช่วงท้าย R2 เส้นประแสดงการหามวลที่เหลือของตะกรัน mf)

อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของโมเลกุลโปรตีนขนาดใหญ่ที่พบในตะกอนนมกับเวลา  
ที่ตะกอนแขวนสารละลาย NaOH จะพบความสัมพันธ์ที่เหมือนกันในภาพที่ 3(ก) ดังนั้นผลที่พบในงานวิจัยนี้อาจเป็นเพราะว่า  
NaOH ได้ละลายโมเลกุลโปรตีนขนาดใหญ่ที่พบในตะกอนกากน้ำตาล และองค์ประกอบอื่น ๆ ในตะกอนกากน้ำตาล ซึ่งไม่ได้มี  
การพองตัวจึงทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของมวลตะกอนที่ลดลงตามระยะเวลาเท่านั้น และแม้ว่าจากการทดลองจะดูเหมือนว่า  
ระบบได้เข้าสู่สมดุลแล้ว (มวลตะกอนไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา) ไม่อาจสรุปได้ว่าโปรตีนในตะกอนละลายหมดแล้ว  
ทั้งนี้เนื่องจากว่าองค์ประกอบอื่น ๆ ของตะกอนที่ไม่ได้ถูกละลายด้วยต่างยังคงอยู่ และอาจขบวนการแพร่ของต่าง ลักษณะ  
เช่นนี้มีรายงานในการศึกษาการพองตัวของเจลโปรตีนเวย์ ซึ่งพบว่าเจลเพียงบางส่วนมีการพองตัว และเจลส่วนที่อยู่ใต้  
ชั้นเจลที่พองตัวนี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลง [16]

เมื่อเปรียบเทียบ R1 และ mf ที่ได้จากการศึกษาการพองตัวของตะกอนในสารละลาย NaOH ที่ความเข้มข้น  
ต่าง ๆ จากตารางที่ 3 พบว่า ในช่วงความเข้มข้น 4-10%โดยน้ำหนัก ค่า R1 เพิ่มขึ้น ในขณะที่ mf ลดลง ตามการเพิ่มขึ้นของ  
ความเข้มข้นแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ในช่วงนี้ ช่วยให้ประสิทธิภาพการล้างตะกอนเพิ่มขึ้น  
อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ให้มากกว่า 10%โดยน้ำหนัก กลับพบว่าค่า R1 เพิ่มขึ้นทำให้  
ให้ R1 ลดลง และ mf เพิ่มขึ้น ซึ่งลักษณะเช่นนี้มีรายงานในการศึกษาการล้างตะกอนนมด้วยสารละลาย NaOH  
ว่าที่ความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ที่มากเกินไปสามารถยับยั้งการแตกตัวของโปรตีนได้ มีผลทำให้อัตราการละลายของ  
ตะกอน และการล้างตะกอนออกลดลงอย่างมาก [7]

การศึกษาการพองตัวของตะกอนกากน้ำตาลในสารละลายกรดซิตริก พบว่าการเปลี่ยนแปลงของมวลตะกอน  
ของกากน้ำตาลกับเวลาที่มีลักษณะแบบเดียวกัน ไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริก โดยจะมีลักษณะดังแสดงใน  
ภาพที่ 3(ข) ซึ่งจากภาพจะพบว่าไม่มีการพองตัวของตะกอน แต่มีการละลายของตะกอนเช่นเดียวกับกรณีของ NaOH อย่างไร  
ก็ตามอัตราการละลายของตะกอนในสารละลายกรดซิตริกลดลงตามระยะเวลาที่สารแขวนอยู่ในสารละลาย และเมื่อเวลาผ่านไป  
5 ชั่วโมงก็ยังไม่เข้าสู่สมดุล ลักษณะเช่นนี้แสดงให้เห็นว่าการแพร่ของกรดซิตริกมีผลต่ออัตราการละลายของตะกอน [15]

เมื่อพิจารณาอัตราการละลายของตะกอน R1 และ R2 และมวลตะกอนที่เหลืออยู่ mf จากตารางที่ 4 พบว่า  
อัตราการละลายเพิ่มขึ้น ในขณะที่ mf ลดลงตามการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริก อย่างไรก็ตามสังเกตพบว่า  
เมื่อความเข้มข้นของกรดซิตริกมากกว่า 3% โดยน้ำหนัก อัตราการละลายกลับลดลง ในขณะที่ mf เพิ่มขึ้น ซึ่งเหมือนกับผล  
การศึกษาการพองตัวของตะกอนในสารละลาย NaOH อย่างไรก็ตามไม่พบลักษณะเช่นนี้ในงานวิจัยอื่น ๆ ที่ใช้กรดซิตริกในการ  
ล้างตะกอน นอกจากนี้ยังไม่พบงานวิจัยอื่นที่ใช้กรดซิตริกในการทำสะอาดตะกอนกากน้ำตาล มีเพียงรายงานเกี่ยวกับการ  
ใช้กรดอะซิติกที่ความเข้มข้น 10%โดยน้ำหนัก ในการล้างตะกอนที่มี Ca เป็นองค์ประกอบหลักแต่ก็ยังไม่ได้มีรายงานเกี่ยวกับ  
ผลของความเข้มข้นที่มีต่ออัตราการลดลงของมวลตะกอนแต่อย่างใด [4]

มีการศึกษาการล้างตะกอนที่ประกอบด้วยองค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์ และสารอินทรีย์ด้วย chelating  
agent NaOH และสารลดแรงตึงผิว (Sodium dodecyl sulphate: SDS) [5] ซึ่งรายงานว่าประสิทธิภาพการล้างตะกอนส่วน  
ที่เป็นสารอินทรีย์สูงสุดที่ pH 11 ดังนั้นการที่พบผลของความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริกต่ออัตราการละลายของตะกอน  
และ mf ดังที่กล่าวข้างต้นอาจเป็นเพราะเมื่อความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริกสูง pH ต่ำ อัตราการละลายของตะกอนใน  
ส่วนที่เป็นสารอินทรีย์ลดลง ทำให้การแพร่ของสารละลายกรดซิตริกผ่านชั้นตะกอนลดลง และทำให้อัตราการละลายของ  
ตะกอนด้วยกรดลดลงด้วยเช่นเดียวกัน เหตุผลนี้อาจใช้อธิบายว่าเหตุให้อัตราการละลายของตะกอนในสารละลาย NaOH  
จึงสูงกว่าอัตราการละลายที่พบในสารละลายกรดซิตริก ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

นอกจากนี้ยังมีข้อสังเกตว่า ถึงแม้จะพบว่ามีความเข้มข้นของสารละลาย NaOH ที่เหมาะสมในการละลาย  
ตะกอนกากน้ำตาล เช่นเดียวกับตะกอนนม และสอดคล้องกับที่มีรายงานประสิทธิภาพการล้างตะกอนส่วนที่เป็น  
สารอินทรีย์สูงสุดที่ pH 11 [5] แต่ที่ความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลาย NaOH ที่พบในงานวิจัยนี้มีค่า pH สูงกว่า 11

ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าลักษณะโครงสร้างของตะกรันน้ำตาลอาจขัดขวางการแพร่ของสารละลาย NaOH ทำให้ค่า pH ข้างในตะกรันต่างจากภายนอกตะกรันค่อนข้างมาก กรณีคล้ายกันนี้มีรายงานในการศึกษาการพองตัวของเจลโปรตีนเวย์ [16] ที่พบว่าเจลส่วนที่สัมผัสกับสารละลายโดยตรงมีการพองตัว และมี pH ที่ต่ำกว่า pH ของสารละลาย NaOH และพบว่า pH ในเจลลดลงตามระยะทางจากผิวนอกสุดของเจล จนพบว่ามีเจลบางส่วนไม่มีการพองตัวขึ้นเลย

ตารางที่ 3 แสดงค่า R1 และ mf ของการแช่ตะกรันของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ

	ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (% โดยน้ำหนัก)				
	4%	8%	10%	15%	20%
R1	0.0031	0.0153	0.0284	0.002	0.0148
mf	0.889	0.708	0.642	0.760	0.927

ตารางที่ 4 แสดงค่า R1, R2 และ mf ของการแช่ตะกรันของสารละลายกรดซิตริกที่ความเข้มข้นต่างๆ

	ความเข้มข้นของสารละลายกรดซิตริก (% โดยน้ำหนัก)			
	1% (pH 2.05)	3% (pH 1.75)	5% (pH 1.60)	8% (pH 1.45)
R1	0.0035	0.0113	0.003	0.0024
R2	0.0003	0.0002	0.0003	0.0004
mf	0.835	0.751	0.858	0.856

#### 4. บทสรุป

ตะกรันกากน้ำตาลไม่พองตัวในสารละลาย NaOH และกรดซิตริกแต่ละลายทันทีเมื่อสัมผัสสารละลายทั้งสองชนิด โดยพบว่าที่ทุกความเข้มข้นอัตราการละลายของตะกรันจะลดลงตามระยะเวลา แสดงให้เห็นว่าการละลายของตะกรันถูกควบคุมด้วยการแพร่ นอกจากนี้ความเข้มข้นของสารละลายยังมีผลต่ออัตราการละลาย ซึ่งพบว่าในทั้งสองกรณีมีความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ให้อัตราการละลายของตะกรันมากที่สุด และมีตะกรันหลงเหลืออยู่น้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบอัตราการละลายของตะกรันที่มากที่สุดที่ได้จากการใช้สารละลาย NaOH และกรดซิตริก พบว่าอัตราการละลายของตะกรันกากน้ำตาลใน NaOH สูงกว่ากรดซิตริกค่อนข้างมากอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งน่าจะเป็นเพราะองค์ประกอบที่เป็นสารอินทรีย์ที่พบในตะกรันกากน้ำตาลซึ่งละลายได้ดีในด่าง จากการทดลองยังพบว่าแม้ว่าการละลายของตะกรันในสารละลาย NaOH จะเกิดขึ้นรวดเร็วในระยะแรก แต่พบว่าตะกรันจะหยุดละลายโดยที่ยังมีตะกรันหลงเหลืออยู่ ในขณะที่ในสารละลายกรดซิตริกการละลายจะยังคงเกิดขึ้นเรื่อย ๆ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าตะกรันแต่ละชั้นมีองค์ประกอบแตกต่างกัน จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาวิธีการล้างที่เหมาะสม เช่น การล้างสองขั้นตอน หรือการใช้สารเคมีอื่นในการล้าง

แม้ว่าผลจากงานวิจัยนี้จะแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้ NaOH ในการล้างตะกรันกากน้ำตาลได้ และสามารถลดความเข้มข้นของสารละลาย NaOH จากที่ใช้จริงที่ 20% โดยน้ำหนักเป็น 10% โดยน้ำหนัก แต่ความเข้มข้นนี้ยังคงค่อนข้างสูง จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับวิธีการจัดการของเสียที่เหลือจากกระบวนการล้างต่อไป

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณขวัญมนัส มิตรสุพรรณ เลขานุการภาควิชา คุณจิตตรา ดอกบัว นักวิทยาศาสตร์ คุณวรารภรณ์ นิลสนธิ นักวิชาการศึกษาของภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ที่ได้ให้

ข้อเสนอแนะ และแนะนำต่าง ๆ เกี่ยวกับการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง รวมถึงขอขอบคุณ คุณเทพนิมิตร์ มะลิพวง คุณวิไลสา คำจริง เจ้าหน้าที่ชำนาญการเทคนิค ที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ เอื้อเพื่อสถานที่ และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือต่าง ๆ สำหรับงานทดลอง จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] L. D. Abo, S. M. Hailegiorgis. Investigation of scale deposits on Finchaa sugar factory ethanol plant heat transfer units. *Thermal Science and Engineering Progress*. 25(2021) 101022.
- [2] M. K. Msibi, "The Effect of Fouling By: Cane Molasses and Fermentation Residuals on the Distillation (Beer Column)", Faculty of Engineering, Vaal University of Technology. 2017.
- [3] Z. Wu, Z. Yan, Q. Zhang, Y. Zhu, M. Luo, D. Zhou. Review on descaling and anti-scaling technology of heat exchanger in high-salt wastewater thermal desalination. *Water Science & Technology*. 88(2023) 2081-2107.
- [4] M. Shahzad Kamal, I. Hussein, M. Mahmoud, A. S. Sultan, M. A. S. Saad. Oilfield scale formation and chemical removal: A review. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 171(2018) 127-139.
- [5] L. Masse, J. Puig-Bargués, M. Mondor, L. Deschênes, G. Talbot, Efficiency of EDTA, SDS, and NaOH Solutions to Clean RO Membranes Processing Swine Wastewater. *Separation Science and Technology*. 50(2015) 2509-2517.
- [6] W. Wongrat, M. Northey, K. Ali, A. Garusinghe, A. Elkamel. Modeling Fouling Mitigation Options for Cellulosic Ethanol Distillation. in Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bali, Indonesia, 2014, 1155-1165.
- [7] J. Moghadasi, H. Müller-Steinhagen, M. Jamialahmadi, A. Sharif. Scale deposits in porous media and their removal by EDTA injection. ECI Symposium Series, Volume RP5: Proceedings of 7<sup>th</sup> International Conference on Heat Exchanger Fouling and Cleaning – Challenges and Opportunities, Portugal, July 1 - 6, 2007.
- [8] L. Fan, X. D. Chen, R. Mercadé-Prieto. On the nature of the optimum cleaning concentration for dairy fouling: High NaOH concentrations inhibit the cleavage of non-covalent interactions in whey protein aggregates. *LWT - Food Science and Technology*. 101(2019) 519-525.
- [9] รศ.รัชณี ตันตะพานิชกุล. (ตุลาคม 2005). CM 328 ปฏิบัติการเคมีอินทรีย์ 3: บทที่ 10 อินฟราเรดสเปกโตรสโคปี. สืบค้นจาก <http://old-book.ru.ac.th/e-book/c/CM328/CM328-10.pdf>.
- [10] M. J. Dirbeba, A. Brink, N. DeMartini, M. Zevenhoven, M. Hupa. Potential for thermochemical conversion of biomass residues from the integrated sugar-ethanol process - Fate of ash and ash-forming elements. *Bioresource Technology*. 234(2017) 188-197.
- [11] P. Rein. Cane sugar engineering. Vol. 768, Bartens, Berlin, 2007.
- [12] A. Nuro. (2018). Introductory Chapter: Organochlorine. In Organochlorine. สืบค้นจาก <https://doi.org/10.5772/intechopen.81271>.



- [13] ปิยบุตร โพธิคามบำรุง. การลดความเข้มข้นในน้ำกากส่าโดยใช้เชื้อผสมระหว่างเชื้อจุลินทรีย์ในกลุ่มเชื้อราเน่าขาวและเชื้อยีสต์. ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิตศึกษา สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ สำนักงานบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 2552.
- [14] อนุพล ฤกษ์สว่าง. การหมักเอทานอลจากน้ำคั้นหัวแกมตะวันตกันที่อุณหภูมิสูงโดยยีสต์ทนร้อน *Kluyveromyces marxianus* สายพันธุ์ UBU. ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิตศึกษา สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 2556.
- [15] T. T. Reddy, L. Lavenant, J. Lefebvre, D. Ranard. Swelling Behavior and Controlled Release of Theophylline and Sulfamethoxazole Drugs in B-Lactoglobulin Protein Gels Obtained by Phase Separation in Water/Ethanol Mixture. *Biomacromolecules*. 7(2006) 323-330.
- [16] P. Saikhwan, R. Mercadé-Prieto, Y. M. J. Chew, S. Gunasekaran, W. R. Paterson, D. I. Wilson. Swelling and dissolution in cleaning of whey protein gels. *Food and Bioproducts Processing*. 88(2010) 375-383.
- [17] P. Saikhwan, S. Thongchan, N. Jumwan, P. Thungsiabyuan, J. Sakdanuphap, S. Boonsom, P. Kraitong, P. Danwanichakul. Cleaning studies of coconut milk foulants formed during heat treatment process. *Food and Bioproducts Processing*. 93(2015) 166-175.
- [18] คณะทำงานวิชาการด้านความปลอดภัยสารเคมีอันตราย. หลักการและมาตรการความปลอดภัยกรดไฮโดรคลอริก. โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ, กรุงเทพฯ. 2562.
- [19] คณะทำงานวิชาการด้านความปลอดภัยสารเคมีอันตราย. หลักการและมาตรการความปลอดภัยโซเดียมไฮดรอกไซด์. โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ, กรุงเทพฯ. 2562.

## การส่งเสริมพัฒนาการคิดทางคณิตศาสตร์: ผ่านมุมมองการปฏิบัติการทางคณิตศาสตร์

### Complementing of Mathematical Thinking Development: Through Perspective of Mathematical Practice

นิศรา สุทธิสังข์<sup>1\*</sup> กรรณิการ์ ม่วงชู<sup>1</sup> สุขจิตร ตั้งเจริญ<sup>1</sup> เพ็ญนภา สุวรรณบำรุง<sup>1</sup>  
 วรวิวรรณ วิเศษสิงห์<sup>1</sup> และ พรณิการ์ มีอ่อน<sup>1</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

\*E-mail: nisara.s@rmutp.ac.th

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการส่งเสริมพัฒนาการคิดทางคณิตศาสตร์ผ่านมุมมองการปฏิบัติการทางคณิตศาสตร์ โดยอธิบายจากนัยของการสร้างแนวคิดทางคณิตศาสตร์ผ่านการใช้โปรแกรม Microsoft Mathematics เพื่อสนับสนุนวิธีการที่ใช้ในการคิด 4 ขั้นตอน ประกอบด้วย 1) Procedure 2) Multi-procedure 3) Process และ 4) Concept วิธีการวิจัยใช้วิธีการวิจัยเชิงคุณภาพ ด้วยการเก็บข้อมูลจากบันทึกสนามการคิดทางคณิตศาสตร์ของผู้เรียนในชั้นเรียนคณิตศาสตร์รายวิชา แคลคูลัส 2 สำหรับวิศวกร แผนการสอน และการใช้โปรแกรม Microsoft mathematics การวิเคราะห์ผลตามกรอบแนวคิด The three worlds of mathematics ของ Tall [3] ผลการวิจัยพบว่า ผู้เรียนสร้างแนวคิดทางคณิตศาสตร์ผ่านวิธีการที่ใช้ทีละขั้นตอน และเมื่อผู้เรียนใช้วิธีการที่หลากหลายจนเกิดความคล่องแคล่ว ผู้เรียนสามารถต่อยอดแนวคิดทางคณิตศาสตร์ และสามารถคาดการณ์แนวคิดที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ แนวคิดทางคณิตศาสตร์ที่เกิดขึ้นจากการพัฒนาลำดับวิธีการคิดจากรูปธรรมไปสู่นามธรรม และในทางกลับกันสามารถตรวจสอบความเป็นนามธรรมจากรูปธรรมได้

**คำสำคัญ:** ปฏิบัติการทางคณิตศาสตร์ วิธีการสู่แนวคิด โปรแกรมคณิตศาสตร์

#### Abstract

This article presents complementing of mathematical thinking development through perspective of mathematical practice. It explains from the implications of the formation of mathematical ideas through the use of the Microsoft Mathematics programs to support the 4-step procedures of thinking consisting of 1) Procedure 2) Multi-procedure 3) Process and 4) Concept. The research method used qualitative research by collecting data from the field notes of students in Mathematics class based on mathematical thinking, Calculus 2 for Engineers, lesson plans, and using the Microsoft mathematics program. Analysis of results according to the three worlds of mathematics of Tall [3]. The research results found that learners build mathematical ideas through a step-by-step procedure and when learners use a multiple procedure until it become fluent Learners can expand on mathematical ideas, and able to

predict the idea that arise. In addition, mathematical ideas arise from the development of a sequence of a thinking procedure from concrete to abstract, and versa, abstraction can be verified form concreteness.

**Keywords:** Mathematical practice, Procept, Microsoft mathematics

## 1. บทนำ

ชั้นเรียนคณิตศาสตร์แบบเดิม ผู้สอนมีบทบาทสำคัญในถ่ายทอดความรู้ให้กับผู้เรียน ผู้เรียนทำหน้าที่เป็นผู้รับและดำเนินตามคำแนะนำและข้อเสนอแนะของผู้สอน ผู้สอนใช้วิธีการบรรยาย ให้แบบฝึกหัด และให้โจทย์ปัญหาหลาย ๆ ข้อ เพื่อให้ผู้เรียนเกิดทักษะและความคล่องแคล่วในการคำนวณ การประเมินผู้เรียนจากผลลัพธ์คะแนนการสอบของผู้เรียนมากกว่ากระบวนการคิดทางคณิตศาสตร์ของผู้เรียน

การคิดทางคณิตศาสตร์ (Mathematical thinking) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อผู้เรียนเผชิญกับการแก้ปัญหา การคิดคำนวณเพื่อหาคำตอบอย่างมีเป้าหมายและแสวงหาวิธีการคิดอย่างเป็นแบบแผนเพื่อสร้างแนวคิด วิธีการคิดทางคณิตศาสตร์ที่ผู้เรียนใช้สั่งสมมาจากความรู้พื้นฐานที่ผู้เรียนมี การแสวงหาวิธีการที่ผู้เรียนค้นเคยหรือการค้นหาวิธีการใหม่ที่ผู้เรียนเริ่มต้นในการหาวิธีการอื่นๆ

คณิตศาสตร์เชิงปฏิบัติการเป็นกระบวนการคิดที่ผู้เรียนใช้วิธีการและแนวทางการคิดอย่างอิสระผ่านการเชื่อมโยงการจัดกระทำกับวัตถุเชิงกายภาพเพื่อสนับสนุนให้เกิดการคิดเชิงตัวเลข สัญลักษณ์ การดำเนินการทางคณิตศาสตร์ คณิตศาสตร์เชิงปฏิบัติการเป็นการเชื่อมโยงสองโลกคณิตศาสตร์ที่สำคัญในระดับโรงเรียน คือโลกกายภาพเชิงความคิดรวบยอดและโลกสัญลักษณ์ซึ่งพัฒนาอย่างเป็นลำดับขั้นของวิธีการคิดและแนวทางในการคิดอย่างอิสระ [1]

แนวทางหนึ่งในการส่งเสริมการพัฒนาการคิดทางคณิตศาสตร์คือทำให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติและใช้วิธีการคิดอย่างอิสระเพื่อพัฒนาไปสู่การสร้างแนวคิดที่จะนำไปเป็นเครื่องมือในการต่อยอดหรือขยายแนวคิดต่อไป

ด้วยเหตุนี้ การให้ผู้เรียนเรียนรู้คณิตศาสตร์จากการลงมือปฏิบัติจะส่งเสริมให้ผู้เรียนพัฒนาการคิดทางคณิตศาสตร์ได้อย่างไร และเพื่อที่จะตอบคำถามนี้ คณะผู้วิจัยจึงสนใจวิเคราะห์การพัฒนาการคิดทางคณิตศาสตร์ผ่านการปฏิบัติการโดยใช้โปรแกรมทางคณิตศาสตร์ให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติและตรวจสอบวิธีการคิดเพื่อสร้างแนวคิดทางคณิตศาสตร์

## 2. วิธีการวิจัย

**2.1 วิธีการวิจัย** ใช้วิธีการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative research) จากเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยแล้ววิเคราะห์ผลตามกรอบแนวคิด (Conceptual framework) ด้วยวิธีการพรรณนา (Description)

**2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย** ประกอบด้วย บันทึกสนาม (Field noted) ใช้เพื่อบันทึกสิ่งที่สังเกตได้ในขณะที่ผู้เรียนคิดหาวิธีการแก้ปัญหา แผนการสอน (Lesson plan) ใช้เพื่อการออกแบบบทเรียนให้ผู้เรียนได้แสดงแนวคิด และคาดการณ์แนวคิดที่เกิดขึ้นของผู้เรียน โปรแกรมคณิตศาสตร์ (Microsoft mathematic) ใช้เพื่อให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติในขณะที่แก้ปัญหาและตรวจสอบวิธีการคิด

**2.3 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย** เป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 2 ที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชาแคลคูลัส 2 สำหรับวิศวกรรมจำนวน 1 กลุ่ม โดยสมัครใจ

## 2.4 การวิเคราะห์ผล แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

2.4.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล จากบันทึกสนามที่ใช้บันทึกแนวคิดของผู้เรียน การวิเคราะห์แผนการสอนที่นำเสนอให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติ และโปรแกรมทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ผู้เรียนได้ปฏิบัติตามโจทย์ที่ผู้สอนให้

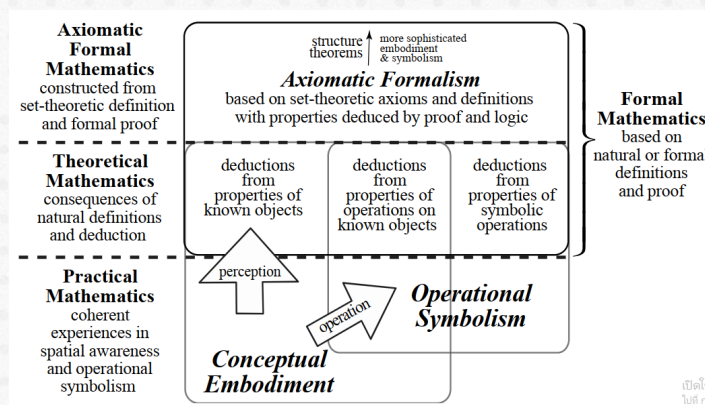
### 2.4.2 การวิเคราะห์ตามกรอบแนวคิด ดังนี้

#### 2.4.2.1 คณิตศาสตร์เชิงปฏิบัติการ (Practical Mathematics)

คณิตศาสตร์เชิงปฏิบัติการ เป็นกระบวนการคิดที่เชื่อมโยง การหยิบ จับ สัมผัสวัตถุเพื่อพัฒนาไปสู่การคิดในรูปแบบจำนวน สัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ หรืออีกนัยหนึ่งเป็นการคิดที่เชื่อมโยงสองโลกทางคณิตศาสตร์จากโลกคณิตศาสตร์เชิงกายภาพ (embodiment world) ไปสู่โลกคณิตศาสตร์เชิงสัญลักษณ์ (symbolism world) [2]

กรอบแนวคิดของการคิดทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องและสัมพันธ์กันและเรียกรวมทั้งสามว่า “สามโลกของคณิตศาสตร์ (the three worlds of mathematics)” ดังนี้ โลกเชิงกายภาพ (embodiment world) คือการเข้าใจคณิตศาสตร์ผ่านการสัมผัสกับวัตถุเชิงกายภาพ สิ่งของ เช่น การนับ โลกเชิงสัญลักษณ์ (symbolism world) คือ การเข้าใจคณิตศาสตร์ผ่านการคำนวณด้วยจำนวน เช่น การบวก ลบ คูณ หาร และโลกเชิงทฤษฎี (formalism world) คือ การเข้าใจคณิตศาสตร์ผ่านการใช้หลักการ กฎ นิยาม โดยคณิตศาสตร์เชิงปฏิบัติการเกี่ยวข้องกับการรับรู้รูปร่าง รูปทรงของสิ่งของ และการดำเนินการสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์เพื่อพัฒนาไปสู่โลกเชิงทฤษฎี [3]

กรอบการพัฒนาการคิดทางคณิตศาสตร์ในระดับที่คู่ขนานและผสมผสานกัน ในแต่ละโลกทางคณิตศาสตร์จากโลกเชิงกายภาพไปสู่โลกเชิงสัญลักษณ์และโลกเชิงสัจพจน์ [2] ดังภาพที่ 1

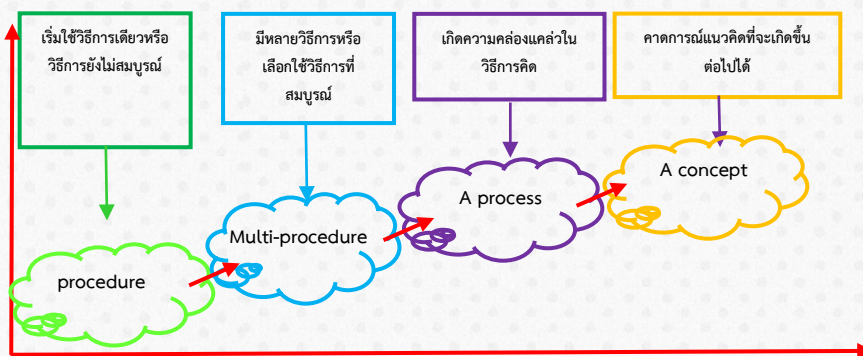


ที่มา: Tall & Witzke [2]

ภาพที่ 1 กรอบพัฒนาการคิดทางคณิตศาสตร์

2.4.2.2 วิธีการสู่แนวคิด (Procept) [4] ดังภาพที่ 2 แสดงให้เห็นพัฒนาการจากวิธีการคิดจนนำไปสู่การเกิดแนวคิดซึ่งเป็นการเข้าใจภาพรวมของวิธีการคิดต่าง ๆ ซึ่งกรอบของการสร้างแนวคิดจากวิธีการที่ใช้ในการคิด ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ

- 1) การใช้วิธีการเดียวในการแก้ปัญหา (procedure)
- 2) การใช้วิธีการที่ต่างกันอย่างหลากหลายในการแก้ปัญหา (multi-procedure)
- 3) การตระหนักถึงวิธีการที่ต่างกันนี้ให้ผลลัพธ์เดียวกัน (a process)
- 4) การเกิดแนวคิด (a concept)

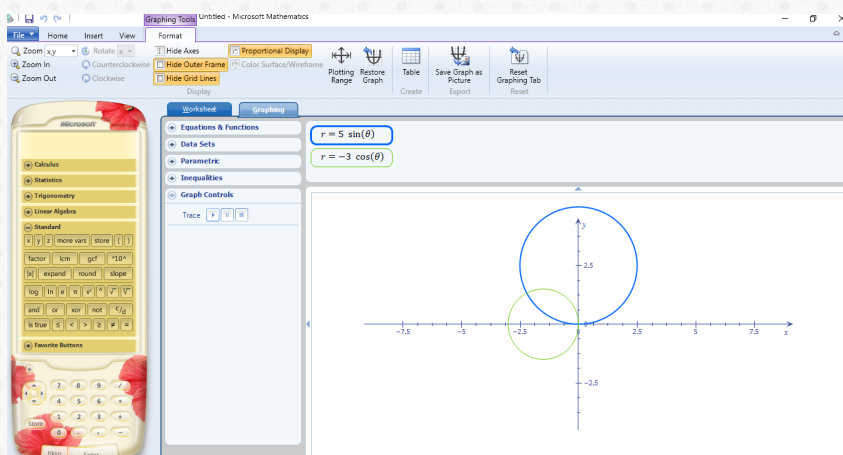


ภาพที่ 2 พัฒนาการคิดทางคณิตศาสตร์จากวิธีการสู่แนวคิด

### 2.4.2.3 โปรแกรมคณิตศาสตร์ (Microsoft mathematics)

Microsoft mathematic [5] แสดงดังภาพที่ 3 ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อการคิดเลข จำนวน คำนวณ เลขด้านคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ เช่น คณิตศาสตร์ พีชคณิต ตรีโกณมิติ ฟิสิกส์ เคมี และแคลคูลัส โปรแกรมคณิตศาสตร์ เป็นโปรแกรมที่ไม่เสียค่าใช้จ่าย โปรแกรมนี้มีวัตถุประสงค์หลัก คือช่วยนักเรียน นิสิต นักศึกษา ครู อาจารย์ หรือ ผู้ที่สนใจ ในการแก้ปัญหาโจทย์ทางคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เป็นต้น

นอกจากนี้แล้ว โปรแกรมคณิตศาสตร์นี้สามารถแก้สมการ แก้สมการปัญหาตรีโกณมิติและยังสามารถวาดกราฟจากการคำนวณค่าหรือแม้แต่ความสามารถด้านการแปลงหน่วย (Unit Converter) ก็สามารถคิดคำนวณออกมาได้ ที่สำคัญในโจทย์แต่ละโจทย์ ปัญหาแต่ละปัญหานั้น โปรแกรม Microsoft Mathematics จะแสดงวิธีทำ วิธีแก้ปัญหาแบบเป็นขั้นเป็นตอน (Step-by-Step) อย่างละเอียด ซึ่งมีประโยชน์สำหรับนักเรียน นิสิต นักศึกษา



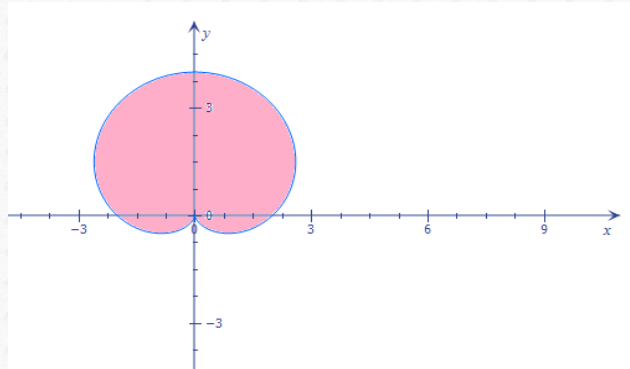
ที่มา: <https://software.thaiware.com/3487-Microsoft-Mathematics-Download.html>; 3 มิถุนายน 2567

ภาพที่ 3 โปรแกรม Microsoft mathematic

## 3. ผลการวิเคราะห์และอภิปรายผล

### 3.1 การวิเคราะห์ผล (ตัวอย่างหน่วยเรียนเรื่อง พิกัดเชิงขั้ว)

ตัวอย่างการวิเคราะห์จากแผนการสอนในหน่วยพิกัดเชิงขั้ว เรื่อง โค้งรูปหัวใจ มีสมการเป็น  $r = a \pm b \cos \theta$ ;  $a > 0, b > 0$  และ  $r = a \pm b \sin \theta$ ;  $a > 0, b > 0$

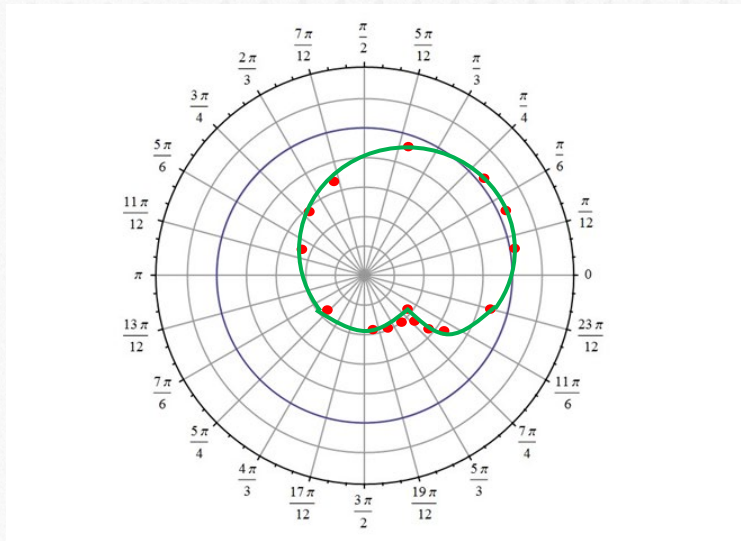


ภาพที่ 4 แสดงโค้งรูปหัวใจ  $r = 2 + 2 \sin \theta$

จากภาพที่ 4 มีสมการ  $r = 2 + 2 \sin \theta$  ผู้สอน: แสดงการวาดกราฟผ่าน Microsoft mathematics จากสมการข้างต้น ผู้เรียน: ตรวจสอบกราฟที่ได้โดยใช้ตารางแสดงการคำนวณด้วยการลงจุดพิกัดเชิงขั้ว  $(r, \theta); 0 \leq \theta \leq 2\pi$  ผู้เรียนใช้โปรแกรม Microsoft mathematics เพื่อหาจุดตัด และการลงจุดในกราฟ ดังภาพที่ 5

ตารางที่ 1 แสดงการคำนวณ  $r = 2 + 2 \sin \theta$  โดยการลงจุดพิกัดเชิงขั้ว  $(r, \theta); 0 \leq \theta \leq 2\pi$

ลำดับที่	$\theta$	$r = 2 + 2 \sin \theta$	$(r, \theta)$	ลำดับที่	$\theta$	$r = 2 + 2 \sin \theta$	$(r, \theta)$
1.	0	$2 + 2 \sin 0$	$(2, 0)$	10.	$\frac{7\pi}{6}$	$2 + 2 \sin \frac{7\pi}{6}$	$(1, \frac{7\pi}{6})$
2.	$\frac{\pi}{6}$	$2 + 2 \sin \frac{\pi}{6}$	$(3, \frac{\pi}{6})$	11.	$\frac{5\pi}{4}$	$2 + 2 \sin \frac{5\pi}{4}$	$(0.58, \frac{5\pi}{4})$
3.	$\frac{\pi}{4}$	$2 + 2 \sin \frac{\pi}{4}$	$(3.41, \frac{\pi}{4})$	12.	$\frac{4\pi}{3}$	$2 + 2 \sin \frac{4\pi}{3}$	$(0.26, \frac{4\pi}{3})$
4.	$\frac{\pi}{3}$	$2 + 2 \sin \frac{\pi}{3}$	$(3.73, \frac{\pi}{3})$	13.	$\frac{3\pi}{2}$	$2 + 2 \sin \frac{3\pi}{2}$	$(0, \frac{3\pi}{2})$
5.	$\frac{\pi}{2}$	$2 + 2 \sin \frac{\pi}{2}$	$(4, \frac{\pi}{2})$	14.	$\frac{5\pi}{3}$	$2 + 2 \sin \frac{5\pi}{3}$	$(0.26, \frac{5\pi}{3})$
6.	$\frac{2\pi}{3}$	$2 + 2 \sin \frac{2\pi}{3}$	$(3.73, \frac{2\pi}{3})$	15.	$\frac{7\pi}{4}$	$2 + 2 \sin \frac{7\pi}{4}$	$(0.58, \frac{7\pi}{4})$
7.	$\frac{3\pi}{4}$	$2 + 2 \sin \frac{3\pi}{4}$	$(3.41, \frac{3\pi}{4})$	16.	$\frac{11\pi}{6}$	$2 + 2 \sin \frac{11\pi}{6}$	$(1, \frac{11\pi}{6})$
8.	$\frac{5\pi}{6}$	$2 + 2 \sin \frac{5\pi}{6}$	$(3, \frac{5\pi}{6})$	17.	$2\pi$	$2 + 2 \sin 2\pi$	$(2, 2\pi)$
9.	$\pi$	$2 + 2 \sin \pi$	$(2, \pi)$				

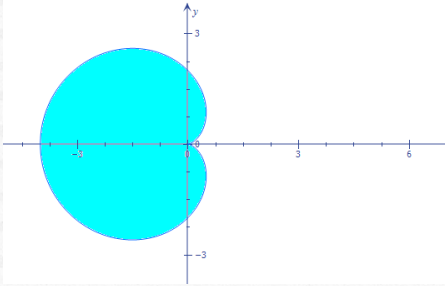
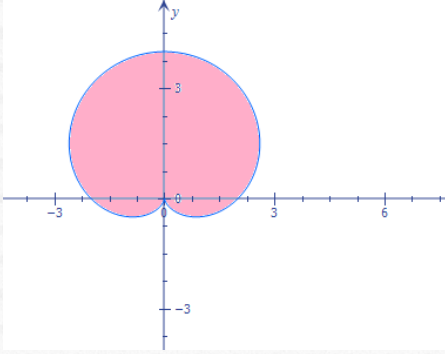


ภาพที่ 5 กราฟแสดงพิกัดเชิงขั้ว  $r = 2 + 2 \sin \theta$  (ผลงานของผู้เรียน)

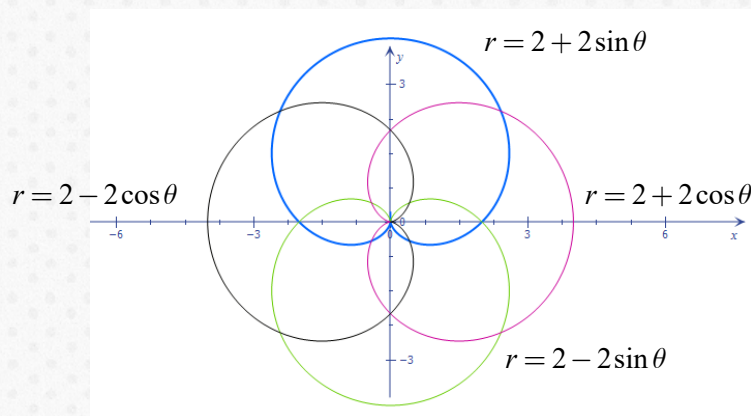
จากวิธีการของผู้เรียนโดยการคิดคำนวณด้วยตาราง ผู้เรียนลงจุดพิกัดเชิงขั้วที่ละจุด แล้วลากเส้นเชื่อมโยงจุดแต่ละจุด ผู้เรียนพบว่า รูปโค้งในพิกัดเชิงขั้วเป็นโค้งรูปหัวใจ ณ พิกัด  $(0, \frac{3\pi}{2})$  โค้งรูปหัวใจมาบรรจบกัน (กันโค้งรูปหัวใจ) จากพิกัดเชิงขั้ว  $r = 2 + 2 \sin \theta$  ได้โค้งรูปหัวใจเป็นรูปตั้ง ผู้เรียนแสดงโค้งรูปหัวใจ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงการคำนวณ  $r = a \pm b \cos \theta ; a > 0, b > 0$  และ  $r = a \pm b \sin \theta ; a > 0, b > 0$  โดยการลงจุดพิกัดเชิงขั้ว  $(r, \theta); 0 \leq \theta \leq 2\pi$

ลำดับที่	สมการ	โค้งรูปหัวใจ	ข้อค้นพบ
1.	$r = 2 - 2 \sin \theta$		<ol style="list-style-type: none"> <li>ได้โค้งรูปหัวใจเป็นรูปนอน</li> <li>ณ พิกัด <math>(0, \frac{\pi}{2})</math> กันโค้งรูปหัวใจมาบรรจบกัน</li> <li>ที่ <math>0, \pi, 2\pi ; r = 2</math></li> <li>จุดสูงสุดของโค้งรูปหัวใจ คือ <math>(4, \frac{3\pi}{2})</math></li> </ol>
2.	$r = 2 + 2 \cos \theta$		<ol style="list-style-type: none"> <li>ได้โค้งรูปหัวใจเป็นรูปตะแคงขวา</li> <li>ณ พิกัด <math>(0, \pi)</math> กันโค้งรูปหัวใจมาบรรจบกัน</li> <li>ที่ <math>\frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2} ; r = 2</math></li> <li>จุดสูงสุดของโค้งรูปหัวใจ คือ <math>(4, 0), (4, 2\pi)</math></li> </ol>

ลำดับที่	สมการ	โค้งรูปหัวใจ	ข้อค้นพบ
3.	$r = 2 - 2 \cos \theta$		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ได้โค้งรูปหัวใจเป็นรูปตะแคงซ้าย</li> <li>2. ณ พิกัด <math>(0, 2\pi)</math> ก้นโค้งรูปหัวใจมาบรรจบกัน</li> <li>3. ที่ <math>\frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}; r = 2</math></li> <li>4. จุดสูงสุดของโค้งรูปหัวใจ คือ <math>(4, \pi)</math></li> </ol>
4.	$r = 2 + 2 \sin \theta$		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ได้โค้งรูปหัวใจเป็นรูปตั้ง</li> <li>2. ณ พิกัด <math>(0, \frac{3\pi}{2})</math> ก้นโค้งรูปหัวใจมาบรรจบกัน</li> <li>3. ที่ <math>0, \pi, 2\pi; r = 2</math></li> <li>4. จุดสูงสุดของโค้งรูปหัวใจ คือ <math>(4, \frac{\pi}{2})</math></li> </ol>

ผู้สอนแสดงโค้งรูปหัวใจ โดยนำเสนอกราฟทั้ง 4 ในภาพเดียวกัน แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงพิกัดเชิงขั้ว  $r = a \pm b \cos \theta; a > 0, b > 0$  และ  $r = a \pm b \sin \theta; a > 0, b > 0$  โดย  $(r, \theta); 0 \leq \theta \leq 2\pi$

ผู้เรียนสามารถเรียนรู้และเข้าใจกราฟแสดงพิกัดเชิงขั้วในรูป  $r = a \pm b \cos \theta; a > 0, b > 0$  และ  $r = a \pm b \sin \theta; a > 0, b > 0$  โดย  $(r, \theta); 0 \leq \theta \leq 2\pi$

1) โค้งรูปหัวใจเป็นรูปตั้งหรือรูปนอนอยู่ในพิกัดเชิงขั้วของ  $r = a \pm b \sin \theta; a > 0, b > 0$

ถ้าเป็นรูปตั้งอยู่ในพิกัดเชิงขั้วของ  $r = a + b \sin \theta; a > 0, b > 0$

และถ้าเป็นรูปนอนอยู่ในพิกัดเชิงขั้วของ  $r = a - b \sin \theta; a > 0, b > 0$



- 2) โค้งรูปหัวใจเป็นรูปตะแคงขวาหรือรูปตะแคงซ้ายในพิกัดเชิงขั้วของ  $r = a \pm b \cos \theta$  ;  $a > 0, b > 0$   
 ถ้าเป็นรูปตะแคงขวาอยู่ในพิกัดเชิงขั้วของ  $r = a + b \cos \theta$  ;  $a > 0, b > 0$   
 และถ้าเป็นรูปตะแคงซ้ายอยู่ในพิกัดเชิงขั้วของ  $r = a - b \cos \theta$  ;  $a > 0, b > 0$
- 3) โค้งรูปหัวใจ ค่าของ  $a = b$  โค้งรูปหัวใจจะอยู่ในรูป  $r = a \pm b \cos \theta$  ;  $a > 0, b > 0$   
 และ  $r = a \pm b \sin \theta$  ;  $a > 0, b > 0$
- 4) ความยาวสูงสุดของโค้งรูปหัวใจ คือ  $r = a + b$   
 จุดสูงสุดของโค้งรูปหัวใจรูปตั้ง คือ  $(a + b, \frac{\pi}{2})$   
 จุดสูงสุดของโค้งรูปหัวใจรูปนอน คือ  $(a + b, \frac{3\pi}{2})$   
 จุดสูงสุดของโค้งรูปหัวใจรูปตะแคงขวา คือ  $(a + b, 0)$  หรือ  $(a + b, 2\pi)$   
 จุดสูงสุดของโค้งรูปหัวใจรูปตะแคงซ้าย คือ  $(a + b, \pi)$
- 5) แกนโค้งรูปหัวใจมาบรรจบกันที่  $r = 0$   
 จุดกันโค้งรูปหัวใจรูปตั้งที่มาบรรจบกัน คือ  $(0, \frac{3\pi}{2})$   
 จุดกันโค้งรูปหัวใจรูปนอนที่มาบรรจบกัน คือ  $(0, \frac{\pi}{2})$   
 จุดกันโค้งรูปหัวใจรูปตะแคงขวาที่มาบรรจบกัน คือ  $(0, \pi)$   
 จุดกันโค้งรูปหัวใจรูปตะแคงซ้ายที่มาบรรจบกัน คือ  $(0, 0)$  หรือ  $(0, 2\pi)$

#### 4. สรุปและอภิปรายผล

##### 4.1 สรุปผล

ผู้เรียนสามารถเข้าใจหลักการทางคณิตศาสตร์จากวิธีการคิดต่างๆ ที่เกิดขึ้น โดยมีลำดับขั้นที่สำคัญ ดังนี้

- 1) วิธีการคิดเดียว (ผู้เรียนคิดคำนวณเป็นคำร่าง มีการตรวจสอบวิธีการคิดและเป็นจุดเริ่มต้นในการคิดวิธีการอื่นๆ)
- 2) วิธีการคิดที่หลากหลาย (ผู้เรียนเริ่มใช้วิธีการคิดต่างๆ คิดคำนวณทีละขั้นตอน ลงรายละเอียดในวิธีการคิด

อาจใช้เวลาการคิดมากกว่าลำดับขั้นที่ 1 วิธีการคิดต่างๆ เชื่อมโยงและสัมพันธ์กัน)

3) เชื่อมโยงวิธีการคิดและเห็นความสัมพันธ์ของวิธีการคิด (ผู้เรียนพิจารณาถึงวิธีการคิดต่างๆ มีความเชื่อมโยงและสัมพันธ์กัน และสามารถสร้างแนวคิดจากการใช้วิธีการคิดต่างๆ ได้)

4) เกิดแนวคิด (ผู้เรียนสร้างแนวคิดทางคณิตศาสตร์จากการเชื่อมโยงวิธีการคิดและเห็นความสัมพันธ์ของวิธีการคิด สร้างหลักการทั่วไปทางคณิตศาสตร์)

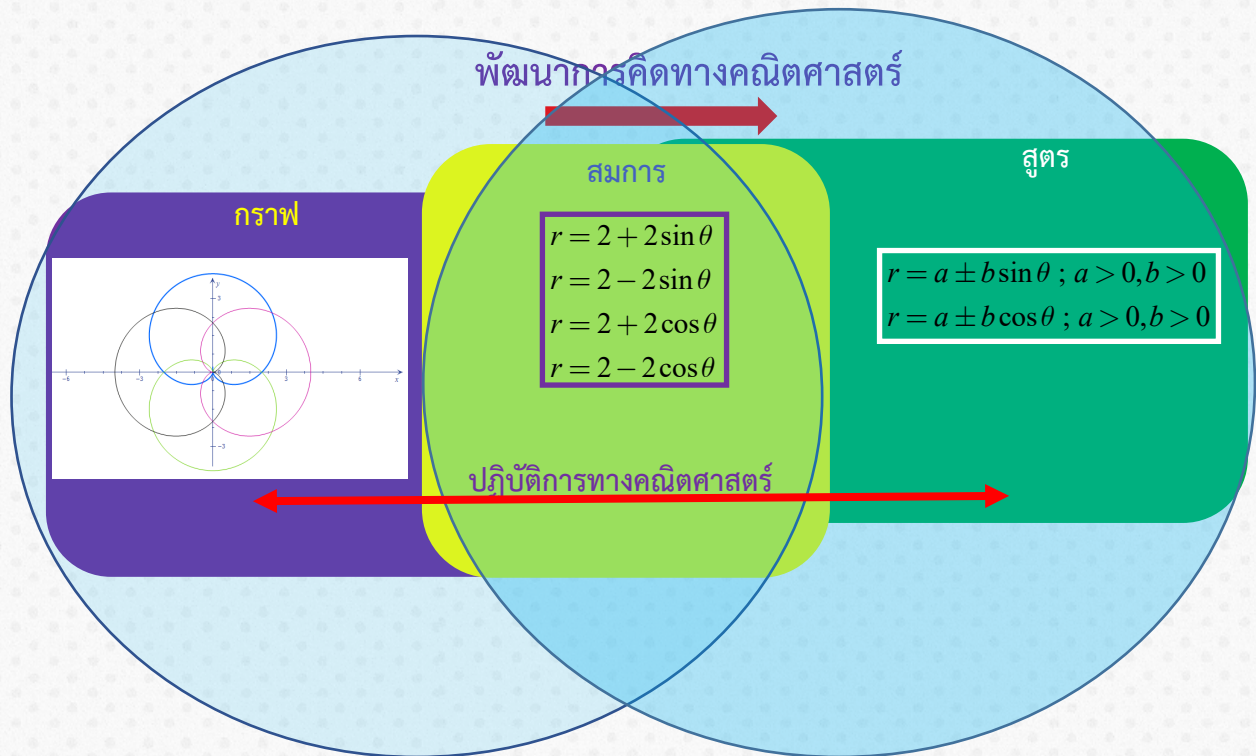
จากแผนการสอนที่ผู้สอนจัดเตรียมให้ ทำให้ผู้เรียนได้เกิดวิธีการคิดที่หลากหลายและสามารถเชื่อมโยงวิธีการคิดจนเกิดแนวคิดและสามารถขยายแนวคิดที่เกิดขึ้นได้

##### 4.2 อภิปรายผล

วิธีการคิดทางคณิตศาสตร์ที่ผู้เรียนใช้มีการตรวจสอบจากการปฏิบัติการโดยใช้โปรแกรมทางคณิตศาสตร์ เพื่อแสดงวิธีการคิด การสร้างหลักการทั่วไปทางคณิตศาสตร์ และในทำนองเดียวกันผู้เรียนสามารถสร้างหลักการทางคณิตศาสตร์โดยสะท้อนจากการวิธีการคิดเริ่มต้นทีละขั้นตอนที่ผู้เรียนใช้ การพัฒนาการคิดทางคณิตศาสตร์ของผู้เรียนเชื่อมโยงจากวิธีการที่ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติไปสู่การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์และนำไปสู่การสร้างหลักการทั่วไปทางคณิตศาสตร์ในท้ายสุด

ดั่งภาพที่ 7

โปรแกรมทางคณิตศาสตร์ส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดแนวคิด ทำให้ผู้เรียนพัฒนาการคิดจากกรณีเฉพาะไปสู่กรณีทั่วไปทางคณิตศาสตร์



ภาพที่ 7 แสดงพัฒนาการคิดทางคณิตศาสตร์ผ่านปฏิบัติการทางคณิตศาสตร์

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Tall, D. Making Sense of Mathematical Thinking over the Long Term: The Framework of Three Worlds of Mathematics and New Developments. Draft. To appear in Tall, D. & Witzke, I. (Eds.): MINTUS: Beiträge zur mathematischen, naturwissenschaftlichen und technischen Bildung. Wiesbaden: Springer. 2020.
- [2] Tall, D. & Witzke, I. MINTUS: Beiträge zur mathematischen, naturwissenschaftlichen und technischen Bildung. Wiesbaden: Springer. 2019.
- [3] Tall, D. How Humans Learn to Think Mathematically. New York: Cambridge University Press. ISBN: 9781139565202. 2013.
- [4] Tall, D. & Isoda, M. Long-Term Development of Mathematical Thinking and Lesson Study. UK: University of Warwick. 2007.
- [5] Microsoft Corp. (9 เมษายน 2557). Microsoft Mathematics (โปรแกรมคณิตศาสตร์ คำนวณเลขฟรี). สืบค้นจาก <https://software.thaiware.com/3487-Microsoft-Mathematics-Download.html>

- [6] Tall, D. Setting Lesson Study within a long-term framework of learning. Presented at APEC Conference on Lesson Study in Thailand, 2007.
- [7] Tall, D. Encouraging Mathematical Thinking that has both power and implicitness. Plenary presented at the APEC-Tsukuba International Conference, the JICA Institute for International Cooperation (Ichigaya, Tokyo). December 3–7, 2006. (pre-publication draft) [A presentation the overall framework of three worlds of mathematics to an audience interested in elementary school teaching, concentrating on the relationship between embodiment and symbolism]

## นวัตกรรมระบบเพาะปลูกเห็ดแครงอัตโนมัติสำหรับโรงเรือน Innovation of Automatic Schizophyllum Commune Cultivation System for Greenhouses

สุภาวดี มากอ้น<sup>1</sup> นุชจิเรศ แก้วสกุล<sup>2\*</sup> ประชิต พรหมสุวรรณ<sup>1</sup> และ พรศิลป์ ศรีเผือก<sup>3</sup>

<sup>1</sup>วิทยาลัยรัตภูมิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

<sup>2</sup>คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

<sup>3</sup> คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

\*E-mail: nutjiredk@rmutsv.ac.th

### บทคัดย่อ

ปัญหาของโรงเรือนสำหรับการเพาะเลี้ยงเห็ดแครง เห็ดแครงที่ทางกลุ่มมีเป็นเป็นโรงเรือนแบบธรรมดา มีเพียงเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น และส่งระบบพ่นหมอกให้ทำงานตามเงื่อนไข ซึ่งพบว่าโรงเรือนแบบเดิมมีข้อจำกัดเรื่องการการถ่ายเทความร้อนภายในโรงเรือนที่เหมาะสม กลุ่มผู้เพาะเลี้ยง ยังคงต้องฉีดน้ำช่วยพื้นโรงเรือน เพื่อช่วยในเรื่องของการระบายอากาศภายในโรงเรือน เซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิมีเพียงจุดเดียว ซึ่งไม่เพียงพอทั้งโรงเรือน และหัวพ่นหมอกมีเพียง 2 จุด สำหรับก้อนเห็ดไม่ทั่วถึงก้อนเห็ดจำนวน 1000 ก้อน เข้ามาให้น้ำก้อนเชื้อและและยังขาดระบบการจ่ายน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยง การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1. เพื่อออกแบบและสร้างโรงเรือนระบบปิดเพาะปลูกเห็ดแครงอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง 2. เพื่อพัฒนาระบบแอปพลิเคชันควบคุมและแสดงผลการทำงานของโรงเรือนเพาะเลี้ยงเห็ดแครงแบบเวลาจริง ผลการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1. ด้านการออกแบบและพัฒนาโรงเรือน (อบต.ท่าข้าม) สภาพแวดล้อมโรงเรือนอยู่ที่โรงโม่ใจกลางแดด ความชื้นโดยรอบปานกลาง (30%) อุณหภูมิไม่เกิน 35 องศาเซลเซียส ความชื้นไม่ต่ำกว่า 75% มีม่านน้ำและพัดลมระบายอากาศ 2. ผลการประเมินด้านประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.93, S.D. = 0.70$ ) ผลการประเมินด้านการออกแบบและการจัดรูปแบบของแอปพลิเคชันมีประสิทธิภาพ อยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.86, S.D. = 1.46$ ) ผลการประเมินแอปพลิเคชันควบคุม และแสดงผลโรงเรือนเพาะเลี้ยงเห็ดแครง มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.90, S.D. = 2.16$ ) ผลการประเมินด้านการออกแบบแอปพลิเคชัน มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.92, S.D. = 1.20$ ) ผลการประเมินความพึงพอใจการทำงานของแอปพลิเคชัน/ความแม่นยำของการทำงาน มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.94, S.D. = 1.20$ ) ผลการประเมินความพึงพอใจของแอปพลิเคชันควบคุมและแสดงผลโรงเรือนเพาะเลี้ยงเห็ดแครง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.93, S.D. = 1.20$ )

**คำสำคัญ:** เห็ดแครง โรงเรือนระบบปิด อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง แอปพลิเคชัน

## Abstract

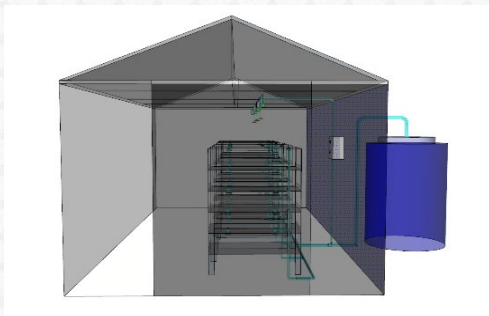
Problems with greenhouses for growing cockle mushrooms. The greenhouse that the group has is a normal greenhouse. There is only a temperature and humidity sensor. and order the fog spraying system to work according to conditions It was found that traditional greenhouses have limitations regarding proper heat transfer within the greenhouse. Through the group of breeders Still need to spray water to help the floor of the house. To help with ventilation within the greenhouse. The temperature measurement sensor system has only one point. which is not enough for the whole house and there are only 2 fog spray heads for the mushrooms, not covering 1000 mushrooms to provide water for the inoculum, and there is still a lack of a proper water distribution system for cultivation. This research has the objective 1. To design and build a closed system greenhouse for automatic mushroom cultivation using Internet of Things technology. 2. To develop an application system to control and display the performance of a mushroom cultivation house in real time. The results of operations are divided into 2 parts: Part 1, the design and development of the greenhouse. (Tha Kham Subdistrict Administrative Organization), environment: The greenhouse is in an open area exposed to the sun. There is a moderate ambient humidity (30%), a temperature not exceeding 35 degrees, a humidity not less than 75%, a water curtain and a ventilation fan. Part 2 results of the evaluation of the efficiency of the application. Application performance evaluation results Effective at the highest level ( $\bar{X} = 4.93$ , S.D. = 0.70) The results of the design and formatting of the application are effective. is at the highest level ( $\bar{X} = 4.86$ , S.D. = 1.46) results of evaluating the efficiency of the control application and display the results of the mushroom cultivation greenhouse Effective at the highest level ( $\bar{X} = 4.90$ , S.D. = 2.16) Results of evaluation of satisfaction with application design. Satisfaction is at the highest level (Satisfaction was at the highest level ( $\bar{X} = 4.94$ , S.D. = 1.20) Satisfaction evaluation results of the control and display application for the mushroom cultivation greenhouse. Satisfaction was at the highest level ( $\bar{X} = 4.93$ , S.D. = 1.20)

**Keywords:** Mushroom, closed system greenhouse, Internet of Things, Applications

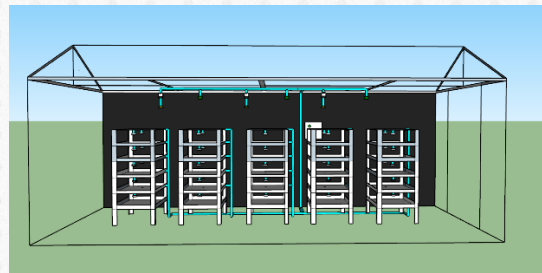
### 1. บทนำ

วิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้เพาะเลี้ยงเห็ดแครงตำบลท่าข้าม อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ทางกลุ่มประสบปัญหาเรื่องโรงเรือน สำหรับการเพาะเลี้ยงเห็ดแครง โรงเรือนที่ทางกลุ่มมีเป็นเป็นโรงเรือนแบบธรรมดา มีเพียงเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น และส่งระบบพ่นหมอกให้ทำงานตามเงื่อนไข ซึ่งพบว่าโรงเรือนแบบเดิมมีข้อจำกัดเรื่องการถ่ายเทความร้อนภายในโรงเรือนที่เหมาะสม ทางกลุ่มผู้เพาะเลี้ยง ยังคงต้องฉีดน้ำช่วยพื้นโรงเรือน เพื่อช่วยในเรื่องของการระบายอากาศภายในโรงเรือน ระบบเซนเซอร์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิมีเพียงจุดเดียว ซึ่งไม่เพียงพอกับทั้งโรงเรือน และหัวพ่นหมอกมีเพียง 2 จุด สำหรับก้อนเห็ดไม่ทั่วถึงก้อนเห็ดจำนวน 1000 ก้อน เข้ามาในน้ำก้อนเชื้อและและยังขาดระบบการจ่ายน้ำที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยง นอกจากนี้ทางกลุ่มยังต้องเข้ามาดูแลโรงเรือนทุกวัน [1, 2] โรงเรือนไม่สามารถทำงานเองได้อัตโนมัติ พัฒนาโรงเรือนแบบเดิมให้เป็นโรงเรือนแบบระบบปิด (Evap: Evaporative Cooling System) ดังภาพที่ 1 อัตโนมัติสำหรับควบคุมและเผ่าดูแลการเพาะปลูกเห็ดแครง โดยปรับปรุงโรงเรือนให้มีระบบถ่ายเทความร้อนภายในโรงเรือน

โดยนำหลักการอาศัยหลักการพื้นฐานการทำความเย็น คือ น้ำไหลผ่านอุปกรณ์ที่ชุ่มน้ำแล้วใช้พัดลมเป่าที่ผิวของอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อนทำให้น้ำสามารถดูดซับความร้อน จนตัวมันเองมีอุณหภูมิสูงขึ้นแล้วเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอที่บริเวณพื้นผิว ดึงความร้อนไปทั้งด้านนอก และวิเคราะห์และพัฒนาระบบตรวจวัดและควบคุมการทำงานอัตโนมัติและเฝ้าตรวจสอบข้อมูลผ่านเว็บแอปพลิเคชันได้ด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง (IoT: Internet of Things) โดยเกษตรกรไม่ต้องไปดูแลโรงเรือนตลอดเวลา ดังภาพที่ 1 และภาพที่ 2



(ก) แบบโรงเรือนอัตโนมัติด้านข้าง



(ข) แบบโรงเรือนอัตโนมัติด้านหน้า

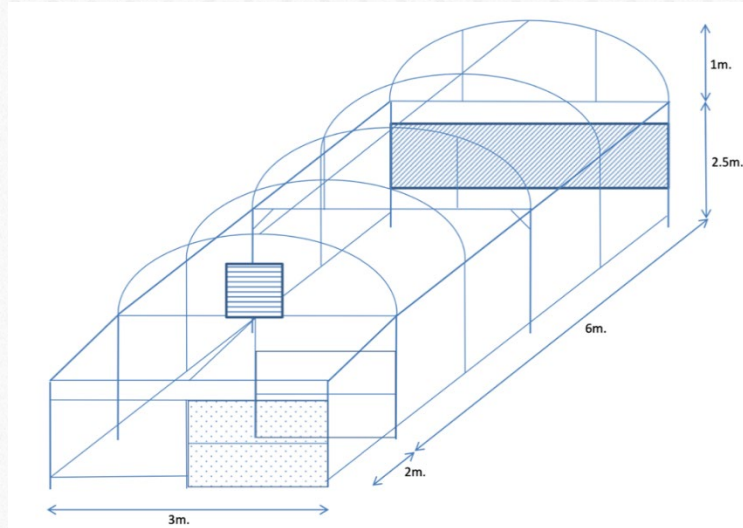
ภาพที่ 1 แบบโรงเรือนอัตโนมัติสำหรับควบคุมและเฝ้าดูแลการเพาะปลูกเห็ดแครง



ภาพที่ 2 โรงเรือนอัตโนมัติควบคุมระบบการทำงานด้วยเทคโนโลยี IoT

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเพาะปลูก ทางคณะผู้วิจัยจึงได้มีการพัฒนาโรงเรือนให้เป็นแบบระบบปิดหรือโรงเรือน EVAP ดังภาพที่ 3 โรงเรือนระบบปิด โดยใช้หลักการระบายความร้อน ด้วยน้ำและใช้พัดลม เป็นตัวถ่ายเทอากาศโดยมีแผ่นรังผึ้ง (Cooling Pad) ที่ปล่อยน้ำไหลผ่านจนเปียกชุ่ม เมื่อเดินพัดลมซึ่งอยู่ในแนวตรงกันข้ามกับแผ่นรังผึ้งอากาศภายนอกจะถูกดูดผ่านแผ่นรังผึ้งเข้าภายในโรงเรือนภายในโรงเรือนจะเย็นสบาย โดยใช้หลักการระเหยของน้ำ ข้อดีของระบบฟาร์มปิด คือ การควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมและป้องกันโรคระบาด ส่งผลดีต่อคุณภาพและความปลอดภัยของผู้บริโภคได้ ด้วย ให้ผลผลิตได้ตลอดทั้งปี รวมถึงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังมีแอปพลิเคชันสำหรับควบคุมการและแสดงผลการทำงานจากระยะไกล (Remoting) แบบเวลาจริง (Real-Time) โดยมีการเก็บข้อมูลสถิติการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ และเก็บค่าที่อ่านได้ภายในโรงเรือนไว้บนระบบคลาวด์เพื่อนำมาแสดงผลสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลการเพาะเลี้ยงได้ในอนาคต ระบบนี้สามารถนำไปเพาะเห็ดร้อนชื้น ได้หลายชนิด เช่น เห็ดแครง เห็ดนางฟ้า เห็ดหูหนู เห็ดขอนขาว เห็ดฟาง เป็นต้น งานวิจัยนี้

สามารถช่วยลดแรงงาน ช่วยประหยัดน้ำและพลังงาน เพิ่มผลผลิตมากขึ้น 15-20% เห็นมีคุณภาพ สด สะอาด รสอร่อย เป็นที่ต้องการของตลาดขายได้ราคาสูงขึ้น



ภาพที่ 3 โรงเรือนระบบปิดหรือโรงเรือน EVAP

## 2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

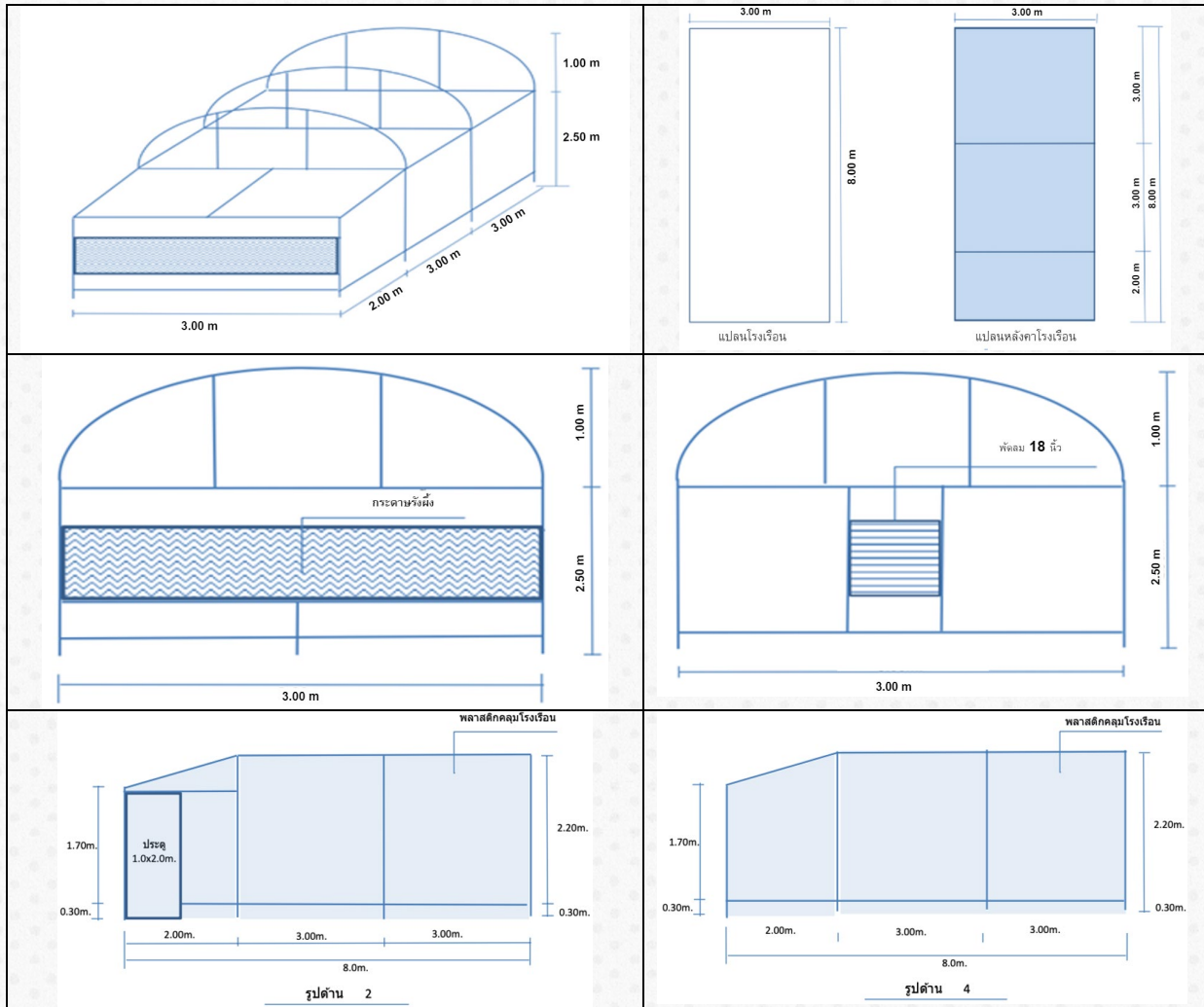
### 2.1 ระเบียบวิธีวิจัยและวิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานการวิจัยเรื่อง นวัตกรรมระบบเพาะปลูกเห็ดแครงอัตโนมัติสำหรับโรงเรือน มีวิธีการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1. ออกแบบและสร้างโรงเรือนระบบปิด
2. ออกแบบและวิเคราะห์ตำแหน่งการวางอุปกรณ์เซนเซอร์ความชื้น อุณหภูมิ อุปกรณ์กระจายสัญญาณอินเทอร์เน็ทให้ครอบคลุมพื้นที่ภายในโรงเรือน รวมถึงวิเคราะห์ตำแหน่งการติดตั้งของสเปรย์น้ำเพื่อให้น้ำแก่ก่อนเชื้อเห็ดแครงจำนวน 1,000 ก้อน ได้อย่างทั่วถึง
3. เขียนโปรแกรมและพัฒนาระบบวงจรควบคุมการทำงานของอุปกรณ์เซนเซอร์ภายในโรงเรือนด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ทในทุกสิ่ง
4. ทดสอบประสิทธิภาพโรงเรือนระบบปิดเมื่อติดตั้งระบบการทำงานด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ทในทุกสิ่งสำหรับเพาะเลี้ยงเห็ดแครง
5. พัฒนาและสร้างแอปพลิเคชันแบบเวลาจริงเพื่อเก็บข้อมูลบนระบบคลาวด์สำหรับนำข้อมูลมาวิเคราะห์เวลาที่ถ่ายทอดองค์ความรู้ให้กับทางกลุ่ม
6. จัดทำสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร
7. สรุปผลการวิจัย และจัดทำเล่มงานวิจัย นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ผลสรุปผลโครงการ และจัดทำรูปเล่ม
8. จัดทำเอกสารบทความวิจัย/บทความวิชาการ เผยแพร่ในที่ประชุมวิชาการระดับชาติ/นานาชาติ

## 2.2 ออกแบบโรงเรือนระบบปิด หรือ โรงเรือน EVAPORATIVE COOLING

จากการลงพื้นที่สำรวจตำแหน่งการติดตั้งโรงเรือน ซึ่งอยู่ในพื้นที่ของทาง อบต.ท่าข้าม จากแบบโรงเรือนระบบปิดที่ได้ออกแบบไว้ จำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนเพื่อให้สอดคล้องกับพื้นที่และแหล่งจ่ายไฟกับแหล่งน้ำในพื้นที่ ทางทีมวิจัยจึงได้ออกแบบโรงเรือนระบบปิดแบบ EVAP

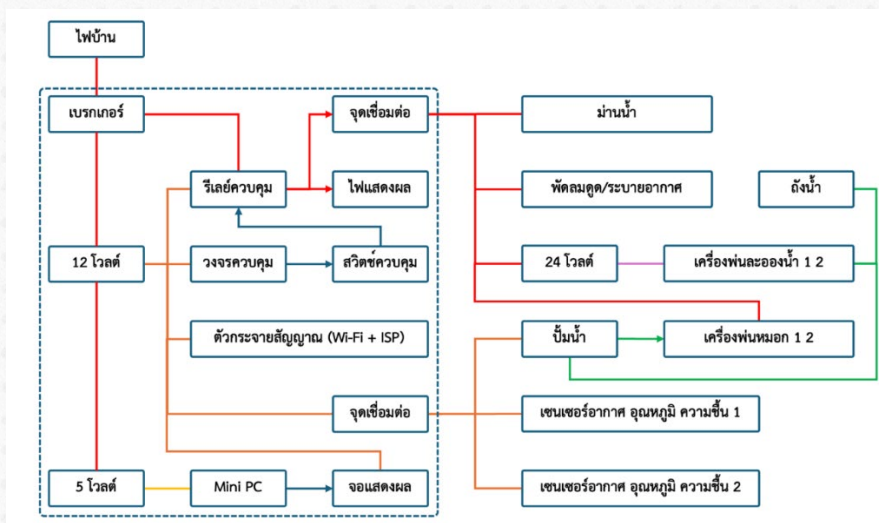


ภาพที่ 4 แบบโรงเรือนระบบปิด แบบ EVAP

## 2.3 ออกแบบวงจรภายในตู้ควบคุมระบบภายในโรงเรือนเพาะเลี้ยงเห็ดแครงระบบปิด แบบ EVAP

โรงเรือนเพาะเลี้ยงเห็ดแครงภายในโรงเรือนระบบปิดแบบ EVAP นั้นมี มีส่วนของพัดลม และคลุ้ฉิ่งแพดที่ติดตั้งมากับตัวโรงเรือน ดังนั้นวงจรการทำงานภายในตู้ควบคุมจึงแสดงได้ดังภาพที่ 5

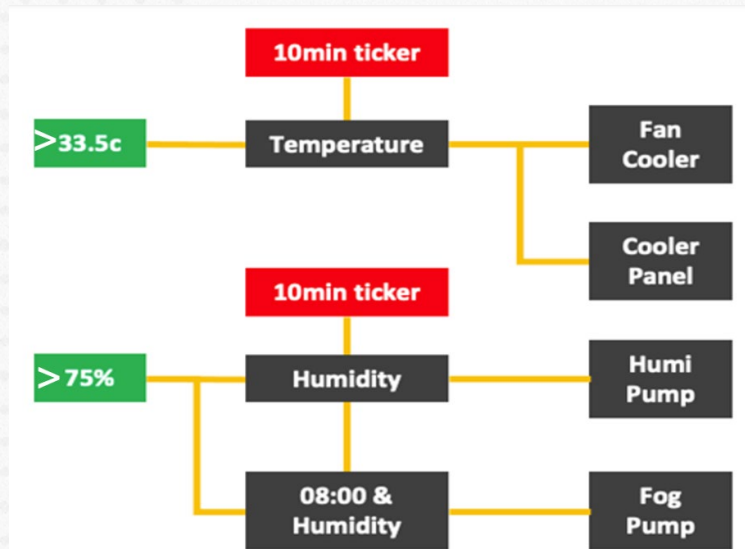




ภาพที่ 5 ออกแบบวงจรตู้ควบคุมการทำงานภายในโรงเรือนระบบปิดแบบ EVAP

## 2.4 ออกแบบเงื่อนไขการทำงานของอุปกรณ์ภายในโรงเรือนตามเงื่อนไขของอุณหภูมิกับความชื้น

การเพาะเลี้ยงเห็ดแครงมีตัวแปรที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตอยู่ 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิกับความชื้นภายในโรงเรือน ซึ่งเงื่อนไขที่กำหนดโดยอ้างอิงจากโรงเรือนเพาะเลี้ยงเห็ดแครงระบบกึ่งปิดในงานวิจัยโรงเรือนแบบเปิด ดังภาพที่ 6 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ เงื่อนไขที่ 1 เมื่ออุณหภูมิมากกว่า 33.5 องศาเซลเซียส สั่งให้ Fan Cooler และ Cooler Panel ทำงาน และเงื่อนไขที่ 2 เมื่อความชื้นน้อยกว่า 75% สั่งให้ Humi Pump ทำงาน และถ้าเวลา 08:00 และความชื้นน้อยกว่า 75% สั่งให้ Fog Pump ทำงาน



ภาพที่ 6 ออกแบบเงื่อนไขการทำงานของอุปกรณ์ภายในโรงเรือน

## 2.5 ประเมินผลการใช้งานระบบ

### 2.5.1 การทดสอบแอปพลิเคชัน

ประเมินผลการใช้งานระบบ ขั้นตอนแรกทดสอบโดยการรับแอปพลิเคชันบน Blynk เพื่อดูการทำงานของแอปพลิเคชัน ผ่าน Blynk และ API แต่ละเวอร์ชันและตรวจสอบ Error ต่างๆที่อาจเกิดขึ้นใน Blynk จากนั้นได้ทดสอบแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์จริง โดยใช้สมาร์ทโฟนที่มีระบบปฏิบัติการที่รองรับแอปพลิเคชันเพื่อทดสอบการใช้งาน แล้วผู้จัดทำได้นำแอปพลิเคชัน ให้อาจารย์ที่มีความเชี่ยวชาญทดลองใช้งานเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของงานและปรับปรุงแก้ไขให้มีคุณภาพในการใช้งาน

### 2.5.2 การประเมินประสิทธิภาพต่อแอปพลิเคชันควบคุมและแสดงผลโรงเรือนเพาะเลี้ยงเห็ดแครงค์

การประเมินประสิทธิภาพการใช้งานแอปพลิเคชันควบคุมและแสดงผลโรงเรือนเพาะเลี้ยงเห็ดแครงค์ ด้วยการใช้แบบประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชัน ซึ่งดัดแปลงจากแบบประเมินประสิทธิภาพการพัฒนาแอปพลิเคชันควบคุมระดับแสงอัจฉริยะภายในห้องผู้สูงอายุผ่านเทคโนโลยี IoT [3] โดยผู้คณาจารย์ใช้แบบประเมินประสิทธิภาพซึ่งกำหนดเกณฑ์วิธีการประเมินแบบรวมค่า มาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) ตามหลักมาตรวัดของลิเคิร์ต (Likert's scale) 5 ระดับ ซึ่ง กำหนดเกณฑ์ 5 ระดับ ดังนี้

4.50 - 5.00 อยู่ในระดับ มากที่สุด

3.50 - 4.49 อยู่ในระดับ มาก

2.50 - 3.49 อยู่ในระดับ ปานกลาง

1.50 - 2.49 อยู่ในระดับ น้อย

0.00 - 1.49 อยู่ในระดับ น้อยที่สุด

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา คือ คณาจารย์ จำนวน 6 คน และเกษตรกรเพาะเลี้ยงเห็ดแครงค์ 1 คน ซึ่งใช้จากการเลือกกลุ่มข้อมูลแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive sampling)

## 2.6 ขั้นตอนประเมินผลการใช้งาน

การประเมินความพึงพอใจของการใช้งานแอปพลิเคชันควบคุมและแสดงผลโรงเรือนเพาะเลี้ยงเห็ดแครงค์ ด้วยการใช้แบบประเมินความพึงพอใจต่อแอปพลิเคชัน ซึ่งดัดแปลงจากแบบประเมินความพึงพอใจการพัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ “Taladnut Night Market” [4] โดยที่องค์การบริหารส่วนตำบลท่าข้าม ต.ท่าข้าม อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา จำนวน 10 คน ได้กำหนดเกณฑ์วิธีการประเมินแบบรวมค่า มาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) ตามหลักมาตรฐานการวัดของลิเคิร์ต (Likert's scale) ตามที่กล่าวในหัวข้อ 2.5.2

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา คือ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนเพาะเลี้ยงเห็ดแครงค์ท่าข้าม ต.ท่าข้าม อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา จำนวน 10 คน ที่ใช้งานแอปพลิเคชันควบคุมและแสดงผลโรงเรือนเพาะเลี้ยงเห็ดแครงค์

## 2.7 สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล [5]

2.7.1 ร้อยละ การคำนวณหาสัดส่วนของข้อมูลในแต่ละตัวเทียบกับข้อมูลรวมทั้งหมด

2.7.2 ค่าเฉลี่ย สำหรับค่าเฉลี่ยที่ได้จากประชากรทั้งหมด

2.7.3 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน คือ ค่ารากที่สองของผลรวมของความแตกต่างระหว่างข้อมูลกับค่าเฉลี่ยกำลังสอง

### 3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

สำหรับผลการดำเนินการ แบ่งการดำเนินงานออกเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ ดังนี้

1. การพัฒนาโรงเรือนระบบปิดแบบ EVAP
2. การพัฒนาตู้ควบคุมการทำงานภายในโรงเรือน
3. ผลการพัฒนาแอปพลิเคชันควบคุมการทำงานของโรงเรือน

#### 3.1 ผลของการพัฒนาโรงเรือนระบบปิดแบบ EVAP



ภาพที่ 7 พัฒนาโรงเรือนระบบปิดแบบ EVAP และติดตั้งตู้ควบคุมระบบภายในโรงเรือน

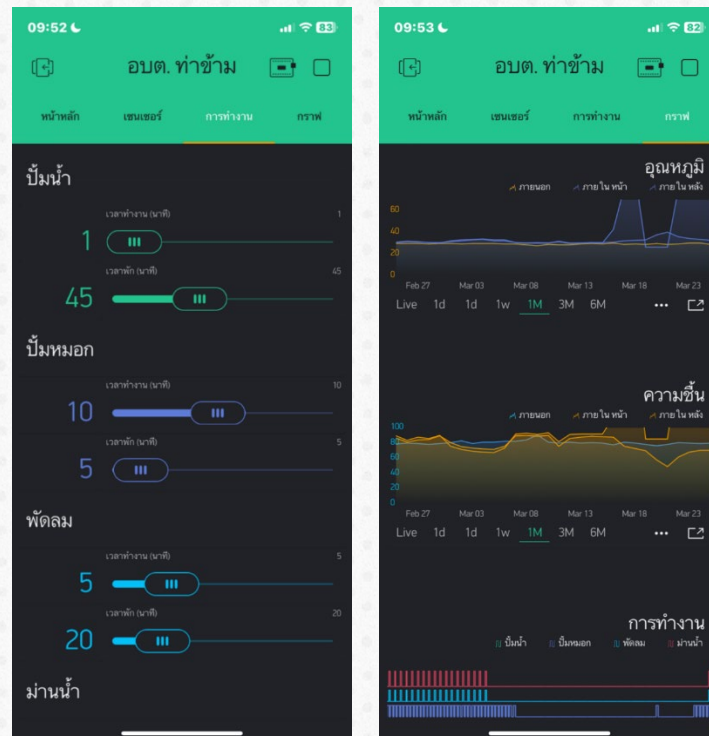
#### 3.2 ผลการพัฒนาตู้ควบคุมการทำงานภายในโรงเรือน

ภายในตู้ควบคุมต่อวงจร ตามที่ได้ออกแบบไว้ใน ด้านหน้ามีจอแสดงผล โดยแสดงสถานะการทำงานของ อุปกรณ์ ได้แก่ Fan Cooler, Cooler Panel, Humi Pump และ Fog Pump และแสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นที่อ่านได้จากเซนเซอร์



ภาพที่ 8 ตู้ควบคุมการทำงานภายในโรงเรือน

### 3.3 ผลการพัฒนาแอปพลิเคชันควบคุมการทำงานของโรงเรือน

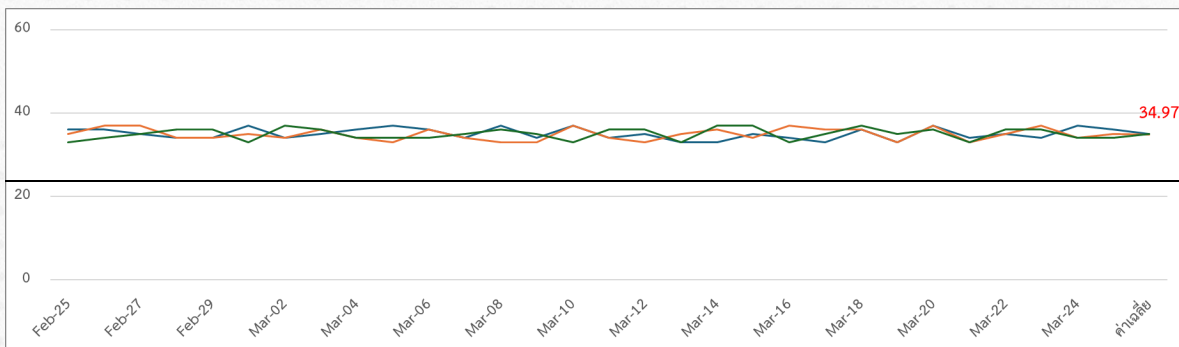


ภาพที่ 9 แอปพลิเคชันควบคุมการทำงานของโรงเรือน

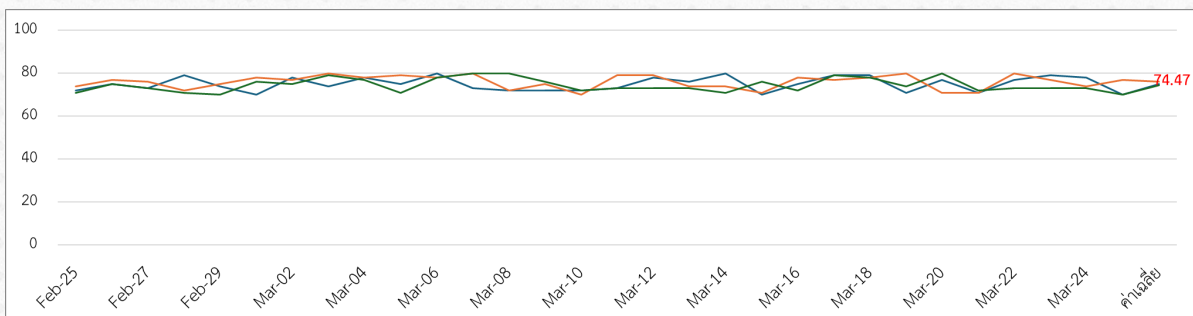
แอปพลิเคชันสำหรับแสดงผลและควบคุมการทำงานของระบบเพาะเลี้ยงเห็ดแครงในโรงเรือนระบบปิดแบบ EVAP งานวิจัยนี้พัฒนาด้วยแอปพลิเคชัน Blynk เนื่องจากเป็นแบบโอเพ่นซอร์สและสามารถใช้งานได้ทั้งบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ และไอโอเอส แอปพลิเคชันออกแบบและพัฒนาให้ผู้ใช้ใช้งานง่ายโดยมีหน้าการใช้งานตามแสดงภาพที่ 9 ดังนี้ 1) หน้าเข้าสู่ระบบ เพื่อเข้าสู่แอปพลิเคชัน โดยใส่ค่า email และ password 2) หน้าหลัก ใช้แสดงผลค่าเซนเซอร์และสถานการณ์ทำงาน 3) หน้าเซนเซอร์ เป็นส่วนการตั้งค่าเริ่มต้นเงื่อนไขการทำงานของเซนเซอร์ 4) หน้าเวลาทำงาน เป็นการกำหนดเวลาการทำงานให้กับอุปกรณ์ และหน้าตั้งค่า สามารถตั้งค่าเซนเซอร์ทุกตัวที่มีในระบบได้ และ 5) หน้าแสดงผลรูปแบบกราฟ

### 3.4 ผลการทำงานของอุปกรณ์และค่าเซนเซอร์ควบคุมของโรงเรือน

การทดลองนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลของโรงเรือนเพาะเลี้ยงจำนวน 1 เดือน ตั้งแต่เมื่อวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2567 ถึง 25 มีนาคม 2567 โดยมีการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ รุ่น SHT31 จำนวน 2 ตัว ทำหน้าที่ในการอ่านข้อมูลสำหรับประมวลผลผ่านบอร์ดคอนโทรลเลอร์ เพื่อควบคุมสภาวะแวดล้อมในโรงเรือน ซึ่งได้ทำการบันทึกข้อมูลทุก ๆ 5 นาทีขึ้นระบบคลาวด์ ดังภาพที่ 10 ผลพบว่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เซนเซอร์ รุ่น SHT31 จำนวน 3 จุด อ่านได้อยู่ในช่วง 34-35 องศาเซลเซียส มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 34.96 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ อยู่ในช่วง 74-76 % RH มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 75.16 % RH



ภาพที่ 10 การเซนเซอร์วัดอุณหภูมิภายในโรงเรือน



ภาพที่ 11 การเซนเซอร์วัดความชื้นภายในโรงเรือน

### 3.5 ผลการทดลองการเพาะเลี้ยงเห็ดแครงในโรงเรือนอัตโนมัติด้วยเทคโนโลยี IoT แบบปิด 100%

การทดลองในครั้งนี้ได้ใช้ก้อนเห็ดแครงจากงานวิจัยซึ่งใช้รำข้าวสำหรับใช้เป็นอาหารเสริมสำหรับเพาะเห็ดแครง จำนวน 200 ก้อน ขนาด 600 กรัมต่อก้อน พบว่าระบบควบคุมสภาวะแวดล้อมภายในโรงเรือนด้วยเทคโนโลยี IoT แบบปิด 100% มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อสีดอกเห็ด และน้ำหนักของดอกเห็ดแครง ดอกเห็ดแครงมีสีเหลือง (มีลักษณะแห้งไม่นุ่ม เป็นบางรอบการเพาะเลี้ยง) ส่วนผลผลิตจาก 200 ก้อน ผลผลิตอยู่ที่ประมาณ 20-22 กิโลกรัม น้อยกว่าการเพาะเลี้ยงในโรงเรือนแบบกึ่งปิด (โรงเรือนในโครงการวิจัยปีที่ 1) ประมาณ 2-3 กิโลกรัมต่อครั้ง



ภาพที่ 12 ลักษณะของสีดอกเห็ด และน้ำหนัก

### 3.6 ผลประเมินความพึงพอใจ

#### 3.6.1 ผลประเมินประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันควบคุมและแสดงผลโรงเรือนเพาะเลี้ยงเห็ดแครง

จากการสำรวจการใช้งานโทรศัพท์มือถือของเกษตรกรจำนวน 10 คน พบว่าเกษตรกรทั้ง 10 คนใช้งานบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ แอปพลิเคชันที่พัฒนาโดย Blynk โดยแบ่งแบบประเมินประสิทธิภาพทำงานของแอปพลิเคชันออกเป็น 2 ด้าน ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 และสรุปแบบประเมินประสิทธิภาพดังตารางที่ 3

**ตารางที่ 1** ผลการประเมินประสิทธิภาพด้านความสามารถในการทำงาน

ด้านประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับประสิทธิภาพ
1. ความรวดเร็วในการเข้าถึงแอปพลิเคชัน	4.80	0.40	มากที่สุด
2. การแบ่งหมวดมีความชัดเจนและเหมาะสม	5.00	0.00	มากที่สุด
3. ความถูกต้องครบถ้วนของข้อมูล	5.00	0.00	มากที่สุด
4. ความเหมาะสมของข้อมูลภายในแอปพลิเคชัน	4.90	0.30	มากที่สุด
<b>รวม</b>	<b>4.93</b>	<b>0.70</b>	<b>มากที่สุด</b>

จากตารางที่ 1 พบว่าผลการประเมินประสิทธิภาพด้านประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.93$ ) เมื่อพิจารณารายข้อ พบว่า ประสิทธิภาพ มากที่สุด คือ การแบ่งหมวดมีความชัดเจนและเหมาะสมและความถูกต้องครบถ้วนของข้อมูล อยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 5.00$ ) รองลงมาความเหมาะสมของข้อมูลภายในแอปพลิเคชัน อยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.93$ ) และความรวดเร็วในการเข้าถึงแอปพลิเคชัน อยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.80$ )

**ตารางที่ 2** ผลการประเมินประสิทธิภาพด้านการออกแบบและการจัดรูปแบบของแอปพลิเคชัน

ด้านการออกแบบและการจัดรูปแบบของแอปพลิเคชัน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับประสิทธิภาพ
1. ความสวยงาม ความทันสมัย น่าสนใจ ของแอปพลิเคชัน	4.90	0.30	มากที่สุด
2. การจัดรูปแบบในแอปพลิเคชันง่ายต่อการใช้งาน	5.00	0.00	มากที่สุด
3. สีสีนในการออกแบบแอปพลิเคชันมีความเหมาะสม	4.90	0.30	มากที่สุด
4. สีพื้นหลังกับสีตัวอักษรมีความเหมาะสมต่อการอ่าน	4.70	0.46	มากที่สุด
5. ขนาดตัวอักษร และรูปแบบตัวอักษรอ่านได้ง่าย	4.80	0.40	มากที่สุด
<b>รวม</b>	<b>4.86</b>	<b>1.46</b>	<b>มากที่สุด</b>

จากตารางที่ 2 พบว่าผลการประเมินประสิทธิภาพด้านการออกแบบและการจัดรูปแบบของแอปพลิเคชัน มีประสิทธิภาพ อยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.86$ ) เมื่อพิจารณารายข้อ พบว่าประสิทธิภาพที่มากที่สุด คือ การจัดรูปแบบในแอปพลิเคชันง่ายต่อการใช้งาน อยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 5.00$ ) รองลงมาความสวยงาม ความทันสมัย น่าสนใจ ของแอปพลิเคชัน สีสีนในการออกแบบแอปพลิเคชันมีความเหมาะสม อยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.90$ ) รองลงมาขนาดตัวอักษร และรูปแบบตัวอักษรอ่านได้ง่าย อยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.80$ ) และสุดท้ายคือ สีพื้นหลังกับสีตัวอักษรมีความเหมาะสมต่อการอ่าน อยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.70$ )

**ตารางที่ 3** ผลการประเมินประสิทธิภาพ

ผลการประเมินประสิทธิภาพ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับประสิทธิภาพ
1.ด้านประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน	4.93	0.70	มากที่สุด
2.ด้านการออกแบบและการจัดรูปแบบของแอปพลิเคชัน	4.86	1.46	มากที่สุด
<b>รวม</b>	<b>4.90</b>	<b>2.16</b>	<b>มากที่สุด</b>

จากตารางที่ 3 พบว่า ภาพรวมของผลการประเมินความประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันควบคุม และแสดงผลโรงเรือนเพาะเลี้ยงเห็ดแครง มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.90$ ) เมื่อพิจารณารายข้อ พบว่า ประสิทธิภาพที่มากที่สุด คือ ด้านประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน อยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.93$ ) และรองลงมาด้านการออกแบบและการจัดรูปแบบของแอปพลิเคชัน อยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.86$ )

### 3.6.2 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อแอปพลิเคชันควบคุมและแสดงผลโรงเรือนเพาะเลี้ยงเห็ดแครง

ผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเพาะเลี้ยงเห็ดแครงท่าข้าม ต.ท่าข้าม อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา จำนวน 10 คน ได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการประเมินความพึงพอใจด้านการทดสอบการใช้งาน

ด้านการออกแบบแอปพลิเคชัน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. ความน่าสนใจในรูปแบบการแสดงผลของแอปพลิเคชัน	4.90	0.30	มากที่สุด
2. การใช้ภาษาถูกต้องเหมาะสมเข้าใจง่าย	4.90	0.30	มากที่สุด
3. แอปพลิเคชันมีความทันสมัย	4.90	0.30	มากที่สุด
4. แอปพลิเคชันมีความสะดวกในการใช้งาน	5.00	0.00	มากที่สุด
5. แอปพลิเคชันมีรูปลักษณ์ที่สวยงาม	4.90	0.30	มากที่สุด
<b>รวม</b>	<b>4.92</b>	<b>1.20</b>	<b>มากที่สุด</b>

จากตารางที่ 4 พบว่าผลการประเมินความพึงพอใจด้านการออกแบบแอปพลิเคชัน มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.92$ ) เมื่อพิจารณารายข้อ พบว่าความพึงพอใจที่มากที่สุด คือ แอปพลิเคชันมีความสะดวกในการใช้งาน อยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 5.00$ ) รองลงมา คือ ความน่าสนใจในรูปแบบการแสดงผลของแอปพลิเคชัน การใช้ภาษาถูกต้องเหมาะสมเข้าใจง่าย แอปพลิเคชันมีความทันสมัย และแอปพลิเคชันมีรูปลักษณ์ที่สวยงาม อยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.90$ )

ตารางที่ 5 ผลการประเมินความพึงพอใจโดยรวมของแอปพลิเคชัน

ด้านการทำงานของแอปพลิเคชัน / ความแม่นยำของการทำงาน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. ลำดับการทำงานของแอปพลิเคชันควบคุมและแสดงผลโรงเรือนเพาะเลี้ยงเห็ดแครง	4.90	0.30	มากที่สุด
2. ความรวดเร็วในการใช้งานของแอปพลิเคชันควบคุมและแสดงผลโรงเรือนเพาะเลี้ยงเห็ดแครง	4.90	0.30	มากที่สุด
3. แอปพลิเคชันควบคุมและแสดงผลโรงเรือนเพาะเลี้ยงเห็ดแครงมีการทำงานตามจุดประสงค์	5.00	0.00	มากที่สุด
4. แอปพลิเคชันควบคุมและแสดงผลโรงเรือนเพาะเลี้ยงเห็ดแครงมีความเร็วในการประมวลผล	4.90	0.30	มากที่สุด
5. แอปพลิเคชันควบคุมและแสดงผลโรงเรือนเพาะเลี้ยงเห็ดแครงมีความถูกต้อง ชัดเจน	4.90	0.30	มากที่สุด



ด้านการทำงานของแอปพลิเคชัน /ความแม่นยำของการทำงาน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
6. แอปพลิเคชันควบคุมและแสดงผลโรงเรือนเพาะเลี้ยงเห็ดแครงสามารถนำไปใช้ได้จริง	5.00	0.00	มากที่สุด
7. ประสิทธิภาพโดยรวมของแอปพลิเคชันควบคุมและแสดงผลโรงเรือนเพาะเลี้ยงเห็ดแครง	5.00	0.00	มากที่สุด
<b>รวม</b>	<b>4.94</b>	<b>1.20</b>	<b>มากที่สุด</b>

จากตารางที่ 5 พบว่าภาพรวมของการประเมินความพึงพอใจการทำงานของแอปพลิเคชัน/ความแม่นยำของการทำงาน มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.94$ ) เมื่อพิจารณารายข้อ พบว่าความพึงพอใจที่มากที่สุดคือ แอปพลิเคชันควบคุมและแสดงผลโรงเรือนเพาะเลี้ยงเห็ดแครงมีการทำงานตามจุดประสงค์ แอปพลิเคชันควบคุมและแสดงผลโรงเรือนเพาะเลี้ยงเห็ดแครงสามารถนำไปใช้ได้จริง และ ประสิทธิภาพโดยรวมของแอปพลิเคชันควบคุมและแสดงผลโรงเรือนเพาะเลี้ยงเห็ดแครง อยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 5.00$ ) รองลงมาลำดับการทำงานของแอปพลิเคชันควบคุมและแสดงผลโรงเรือนเพาะเลี้ยงเห็ดแครง ความรวดเร็วในการใช้งานของแอปพลิเคชันควบคุมและแสดงผลโรงเรือนเพาะเลี้ยงเห็ดแครง แอปพลิเคชันควบคุมและแสดงผลโรงเรือนเพาะเลี้ยงเห็ดแครงมีความเร็วในการประมวลผล แอปพลิเคชันควบคุมและแสดงผลโรงเรือนเพาะเลี้ยงเห็ดแครงมีความถูกต้อง ชัดเจน อยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.90$ )

ตารางที่ 6 ผลการประเมินความพึงพอใจ

ผลการประเมินความพึงพอใจ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับประสิทธิภาพ
1.ด้านการออกแบบแอปพลิเคชัน	4.92	1.20	มากที่สุด
2.ด้านการทำงานของแอปพลิเคชัน/ความแม่นยำของการทำงาน	4.94	1.20	มากที่สุด
<b>รวม</b>	<b>4.93</b>	<b>2.40</b>	<b>มากที่สุด</b>

จากตารางที่ 6 พบว่าภาพรวมของผลการประเมินความพึงพอใจของแอปพลิเคชันควบคุมและแสดงผลโรงเรือนเพาะเลี้ยงเห็ดแครง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.93$ ) เมื่อพิจารณารายข้อ พบว่าความพึงพอใจที่มากที่สุดคือ ด้านการทำงานของแอปพลิเคชัน/ความแม่นยำของการทำงาน อยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.94$ ) และรองลงมาด้านการออกแบบแอปพลิเคชัน อยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.92$ )

#### 4. บทสรุป

สภาพแวดล้อม (อบต. ท่าข้าม) โรงเรือนกลางแดด มีความชื้นโดยรอบปานกลาง (30%) อุณหภูมิไม่เกิน 35 องศา ความชื้นไม่ต่ำกว่า 75% มีม่านน้ำ และพัดลมระบายอากาศ ระบบควบคุมอัจฉริยะอุณหภูมิ ตั้งการทำงาน 5 นาที พัก 15 นาที ให้เครื่องพ่นละอองน้ำ ระบบควบคุมอัจฉริยะ ตั้งการทำงาน 1 นาที พัก 20 นาที ให้เครื่องพ่นหมอก ระบบควบคุมความชื้น ตั้งการทำงาน 10 นาที พัก 5 นาที

ประเมินประสิทธิภาพด้านประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.93$ , S.D. = 0.70) ผลการประเมินประสิทธิภาพด้านการออกแบบและการจัดรูปแบบของแอปพลิเคชันมีประสิทธิภาพ อยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.86$ , S.D. = 1.46) ผลการประเมินความประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันควบคุม และแสดงผลโรงเรือนเพาะเลี้ยงเห็ดแครง มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.90$ , S.D. = 2.16) ผลการประเมินความพึงพอใจด้านการ

ออกแบบแอปพลิเคชัน มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.92$ , S.D. = 1.20) ผลการประเมินความพึงพอใจการทำงานของแอปพลิเคชัน/ความแม่นยำของการทำงาน มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.94$ , S.D. = 1.20) ผลการประเมินความพึงพอใจของแอปพลิเคชันควบคุมและแสดงผลโรงเรือนเพาะเลี้ยงเห็ดแครง มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.93$ , S.D. = 1.20)

## 5. กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีจากความกรุณาของ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้เพาะเลี้ยงเห็ดแครงตำบลท่าข้าม อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ประธานวิสาหกิจ นางสาวเพ็ญพร ขวัญดำ โดยได้รับการสนับสนุนจากทางองค์การบริหารส่วนตำบลท่าข้าม โดยนายกององค์การบริหารส่วนตำบลท่าข้าม นายสินธพ อินทร์ดี ตลอดจนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยงบประมาณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม งบประมาณประจำปี พ.ศ. 2566 คณะผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมาเป็นอย่างสูง ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณผู้เชี่ยวชาญทุกๆ ท่านที่กรุณาเสียสละเวลาเพื่อร่วมกันทำการประเมินชุดทดลองและให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอบคุณคณะผู้วิจัยทุกท่าน

ท้ายนี้ใคร่ขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งต่อความเอาใจใส่ การให้กำลังใจและสนับสนุนจากครอบครัว ที่คอยห่วงใยและให้การสนับสนุนในการศึกษาตลอดมาและให้การช่วยเหลือทางด้านต่างๆ ตลอดระยะเวลาการศึกษาในการทำวิจัย

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กฤษญา พวงสุวรรณ และ สุภาวดี มากอ้น. การพัฒนาแอปพลิเคชันควบคุมฟาร์มอัจฉริยะของ โรงเรือนเพาะเลี้ยงระบบปิด สำหรับก้อนเชื้อเห็ดแครง. วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม. 15(2)(2565) 165-175.
- [2] อัญญาศร์ บุญศรี, นIVID คลังสีดา, จารุกิตติ พิบูลนฤดม, ธัญญลักษณ์ บุตรศรีเพชร, และ เพ็ญญา ทองแฉล้ม. การพัฒนาระบบควบคุมความชื้นและอุณหภูมิในโรงเรือนเพาะเห็ดนางฟ้าด้วยระบบสมาร์ตโฟน. การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านนวัตกรรมเพื่อการเรียนรู้และสิ่งประดิษฐ์ ครั้งที่ 4, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, จังหวัดปทุมธานี, 2563.
- [3] พัทธนนท์ บุญเลิศ, ชัยวัฒน์ จงสุวรรณิชย์, นิธิโชติ คณาณูวัฒน์, และ ธัญญาภรณ์ บุญยั้ง. การพัฒนาแอปพลิเคชันควบคุมระดับแสงอัจฉริยะภายในห้องผู้สูงอายุ ผ่านเทคโนโลยี IoT The Development of Smart. การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาลัยนครราชสีมา ครั้งที่ 7 “นวัตกรรมเพื่อสุขภาพและสังคม ในยุคดิจิทัล”, วิทยาลัยนครราชสีมา, จังหวัดนครราชสีมา, 2563. 306-316.
- [4] ธนภฤต โพธิ์ซี. การพัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ “Taladnut Night Market”. คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยนอร์ทกรุงเทพ. 2560.
- [5] บุญชม ศรีสะอาด. การวิจัยเบื้องต้น. ฉบับปรับปรุงใหม่. พิมพ์ครั้งที่10. กรุงเทพฯ:บริษัท สุวีริยาสาส์น จำกัด. 2560.

## การพัฒนาไบโอแคลเซียมจากกระดูกปลานิลเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือก สำหรับเสริมแคลเซียม

### Development of Bio-calcium from Nile Tilapia Bone to Alternative Food For Calcium Supplement

อัจฉราพร สมภาร<sup>1\*</sup> ณัฐสิมา โทจันทร์<sup>2</sup> ศรียา อินทสิน<sup>1</sup> และ นันทิยา สมภาร<sup>3</sup>

<sup>1</sup>สำนักวิชาศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

<sup>2</sup>คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์

<sup>3</sup>คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต)

\*E-mail: somparn\_a@yahoo.com

#### บทคัดย่อ

กระดูกปลานิล (*Oreochromis niloticus*; Linn.) เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการชำแหละและแปรรูปที่อุดมไปด้วยแคลเซียม งานวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาไบโอแคลเซียมจากกระดูกปลานิลเพื่อใช้เป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกสำหรับเสริมแคลเซียม จากกระบวนการผลิตต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน คือ (1) การต้มและการฉีดน้ำแรงดันสูง (2) การแช่ในสารละลายต่าง NaOH (3) การแช่ในตัวทำละลายเฮกเซน และ (4) การฟอกสีและบดจนได้ผงไบโอแคลเซียมจากกระดูกปลานิล ผลการวิจัยพบว่า ไบโอแคลเซียมมีร้อยละผลผลิตเท่ากับ  $10.79 \pm 0.82\%$  ซึ่งในขั้นตอนการผลิตมีผลทำให้ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และค่าความเป็นสีเหลืองของไบโอแคลเซียมลดลง แต่มีผลทำให้ปริมาณเถ้าและค่าความสว่าง (L\*) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนตั้งต้น โดยไบโอแคลเซียมจากกระดูกปลานิลมีปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 216.49 มิลลิกรัมต่อ 1 กรัม ลักษณะผงมีความละเอียด มีสีขาวนวล และไม่มีกลิ่นคาว เนื่องจากกระบวนการผลิตมีการกำจัดไขมันและฟอกสีจึงช่วยลดข้อจำกัดในการนำไปประยุกต์ใช้เสริมในผลิตภัณฑ์อาหารหรือผลิตภัณฑ์อาหารเสริม ดังนั้น ไบโอแคลเซียมจากกระดูกปลานิลที่ได้จึงคุณภาพที่ดีเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์ต่อไปได้ โดยแนวทางดังกล่าวนอกจากช่วยเพิ่มมูลค่าและคุณค่าให้กับกระดูกปลานิลซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งแล้ว ยังเป็นการหมุนเวียนและการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์สูงสุดภายใต้แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนอีกทาง

**คำสำคัญ:** กระดูกปลานิล ไบโอแคลเซียม แคลเซียม การสกัดแคลเซียม

#### Abstract

Nile tilapia bones (*Oreochromis niloticus*; Linn.) are a waste material from butchering and processing that is rich in calcium sources. The objective of this research is to develop the process of producing bio-calcium from Nile tilapia bones as an alternative product for calcium supplementation. In a continuous production process, four steps are taken: (1) boiling and high pressure jet process (2)

soaking in an alkaline NaOH solvent (3) soaking in a hexane solvent (4) bleaching and grinding to obtain bio-calcium powder. The results found that the obtained bio-calcium had a %yield of  $10.79 \pm 0.82\%$ . In addition, the bio-calcium had a low moisture, protein, fat contents and yellow value ( $b^*$ ) but increased in ash content and lightness value ( $L^*$ ) with significance ( $P < 0.05$ ) compared to the previous process. The bio-calcium from Nile tilapia bones has a calcium content of 216.49 mg/1g. Due to the fat removal and bleaching process, the obtained powder is fine-grained, off-white, and has no fishy odor, which reduces limitations, thereby facilitating its use in food products or nutritional supplements. Therefore, the bio-calcium from Nile tilapia bones is of good quality and suitable for further commercial application. This approach not only increases the value of Nile tilapia bones, which are waste materials. It is also another way to circulate and utilize waste materials for added benefit under the concept of circular economy.

**Keywords:** Nile tilapia bone, Bio – calcium, Calcium, Calcium extraction

## 1. บทนำ

ปลานิล (Nile tilapia) เป็นสัตว์น้ำที่นิยมเลี้ยงและบริโภคกันอย่างแพร่หลายเนื่องจากเลี้ยงง่ายและราคาไม่แพง สำหรับประเทศไทยปลานิลเป็นเศรษฐกิจที่สำคัญและมีผลผลิตเป็นอันดับหนึ่งในบรรดาสัตว์น้ำจืดทั้งหมด ในปี พ.ศ. 2565 มีผลผลิตปลานิลจำนวน 220,374 ตัน และมีแนวโน้มการเลี้ยงขยายตัวมากขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร [1] อย่างไรก็ตามกระบวนการแปรรูปและการชำแหละปลานิลมีเศษเหลือถึงร้อยละ 65 ซึ่งประกอบด้วย ส่วนหัว ครีบปลา กระดูกปลา เก็ด็ด หนัง และอวัยวะภายใน อย่างไรก็ตามเศษเหลือดังกล่าวประกอบไปด้วยโปรตีน แร่ธาตุ และสารอื่น ๆ ในปริมาณสูง แต่มีมูลค่าต่ำจึงมักจะถูกนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์หรือปุ๋ย หรือนำไปใช้ประโยชน์อย่างไม่คุ้มค่า อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากย่อยสลายได้ยาก และทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ [2] อย่างไรก็ตามกระดูกปลานิลมีองค์ประกอบของโปรตีนร้อยละ 30.92 ไขมันร้อยละ 9.28 แคลเซียมร้อยละ 13.88 ฟอสฟอรัสร้อยละ 6.19 ความชื้นร้อยละ 40.74 และเถ้าร้อยละ 17.90 ตามลำดับ อีกทั้งยังมีปริมาณแคลเซียมที่มีความคล้ายคลึงกับส่วนประกอบของมนุษย์สูง [3] ดังนั้น กระดูกปลานิลจึงเป็นอีกเป็นทางเลือกหนึ่งที่สำคัญที่ควรหมุนเวียนกลับมาใช้ประโยชน์ในการเสริมสร้างทางโภชนาการ โดยเฉพาะเสริมสร้างแคลเซียมให้ร่างกาย

แคลเซียม (Ca) เป็นแร่ธาตุที่สำคัญใช้ในการสร้างกระดูกและฟัน ช่วยเพิ่มความหนาแน่นให้มวลกระดูก อีกทั้งแคลเซียมที่อยู่ในเลือดยังมีบทบาทควบคุมการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกาย อย่างไรก็ตามคนไทยส่วนใหญ่ บริโภคแคลเซียมอยู่ในช่วง 300 - 400 มิลลิกรัมต่อวัน ซึ่งต่ำกว่าคำแนะนำคือ 800 มิลลิกรัมต่อวัน ซึ่งหากได้รับแคลเซียมไม่เพียงพอ ร่างกายจะทำให้เสี่ยงต่อการเกิดกระดูกพรุนและเปราะ [4] ดังนั้น การเสริมแคลเซียมเข้าไปในอาหารจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ช่วยเสริมแคลเซียมให้เพียงพอกับร่างกาย โดยเฉพาะในปัจจุบันกระแสผู้บริโภคส่วนใหญ่หันมาดูแลสุขภาพมากขึ้น สังเกตได้จากผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการเสริมสารอาหารที่จำเป็นเข้าไปเพื่อช่วยเพิ่มสารอาหารให้เพียงพอต่อความต้องการซึ่งมีการจำหน่ายมากมายในหลายรูปแบบในปัจจุบัน

ไบโอแคลเซียม (Bio-calcium) ประกอบไปด้วยเปปไทด์ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioavailability) สูงกว่าแคลเซียมอนินทรีย์ ซึ่งเปปไทด์ดังกล่าวสามารถจับกับแคลเซียม (Calcium chelating) และป้องกันการตกตะกอนของแคลเซียม ในรูปเกลือแคลเซียมฟอสเฟตจึงช่วยเพิ่มการดูดซึมและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดี [5] ไบโอแคลเซียมจากกระดูกปลา เป็นเศษเหลือจากอุตสาหกรรมแปรรูปสัตว์น้ำที่ถูกพัฒนาและมีการศึกษาวิจัย เนื่องจากมีปริมาณแคลเซียมสูงร้อยละ 30 - 35 และเป็นสารอนินทรีย์แคลเซียมที่มีสารประกอบอินทรีย์ [6] อีกทั้งผ่านกระบวนการแปรรูปที่ผ่านความร้อนในระดับต่ำ

ทำให้อุดมไปด้วยคอลลาเจนและเปปไทด์ จึงมีฤทธิ์ทางชีวภาพและดูดซึมสู่ร่างกายที่ลำไส้เล็กได้ดีกว่าผลิตภัณฑ์อาหารเสริมที่ใช้ความร้อนสูงจากการเผาเพื่อให้เหลือสารประกอบอินทรีย์อย่างเดียว [7] แต่อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ไบโอแคลเซียมจากกระดูกปลายังมีข้อจำกัดในเรื่องของการนำไปใช้โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาเรื่องกลิ่นคาว (Fishy odor) ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีสาเหตุหลักจากเลือดที่ตกค้างในกระดูกและปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดกลิ่นหืนที่ไม่พึงประสงค์ในผลิตภัณฑ์ (Off-odor rancidity) และยังส่งผลให้อายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์สั้นลง [5] นอกจากนี้ปัญหาด้านสีก็เป็นอีกหนึ่งข้อจำกัดของการนำไปใช้ของไบโอแคลเซียมไปใช้งาน ดังนั้น การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตไบโอแคลเซียมจากกระดูกปลานิลซึ่งเป็นวัสดุเหลือจากชำแหละเพื่อพัฒนาไบโอแคลเซียมจากกระดูกปลานิล และลดข้อจำกัดการนำไปประยุกต์ใช้เป็นวัตถุดิบเสริมหรือทดแทนในผลิตภัณฑ์อาหารและผลิตภัณฑ์อาหารเสริม แนวทางดังกล่าวนอกจากจะช่วยเพิ่มมูลค่าและคุณค่าให้กับกระดูกปลานิล ยังช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากเศษกระดูกปลาที่เหลือ [8] อีกทั้งยังเป็นแนวทางที่เสริมสร้างศักยภาพในการหมุนเวียนและการใช้ประโยชน์ของของเหลือใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดภายใต้แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน

## 2. วิธีการวิจัย

### 2.1 วัตถุดิบ

นำกระดูกปลานิล (*Oreochromis niloticus*; Linn) ที่อยู่ในรูปของเหลือจากการแล่เอาเนื้อออก โดยนำตัวอย่างมาจากตลาดสดที่จำหน่ายปลาที่มีแหล่งเพาะเลี้ยงจากฟาร์มปลาในจังหวัดอุดรธานี ซึ่งขนาดของปลานิลก่อนแล่มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 0.8 - 1.0 กิโลกรัม จากนั้นทำการเก็บรักษาตัวอย่างในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีน และบรรจุใส่ถังโฟมที่เติมน้ำแข็งในอัตราส่วนกระดูกปลานิลต่อน้ำแข็ง 1 : 2 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้น้อยกว่า 4 องศาเซลเซียส ก่อนขนส่งมาที่ห้องปฏิบัติการเพื่อเก็บรักษาตัวอย่างภายในตู้แช่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส

### 2.2 การเตรียมวัตถุดิบ

ตัดแปลงขั้นตอนทำความสะอาดจากวิธีของ Abbey, et al. [9] และ Benjakul, et al. [7] โดยนำตัวอย่างกระดูกปลานิลมาล้างทำความสะอาดและฟุ้งให้สะเด็ดน้ำ จากนั้นหั่นเป็นท่อนให้มีขนาด 4 - 5 เซนติเมตร บรรจุในถุงพลาสติกปิดสนิทและทำการเก็บรักษาในตู้แช่ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส

### 2.3 กระบวนการผลิตไบโอแคลเซียมจากกระดูกปลานิล

การเตรียมไบโอแคลเซียมจากกระดูกปลานิลตัดแปลงจากวิธีการของ Deeammart และ Benjakul and Karnjaapratum [10, 11] โดยมีกระบวนการผลิตทั้งหมด 4 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 นำตัวอย่างกระดูกปลานิลที่เก็บรักษา มาทำละลายที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำไปต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และนำกระดูกปลานิลมาฉีดล้างด้วยน้ำแรงดันสูงเพื่อล้างเศษเนื้อและสิ่งสกปรกที่ติดออก ซึ่งขั้นตอนนี้จะได้กระดูกปลานิลที่ผ่านการต้มและการฉีดน้ำแรงดันสูง จากนั้นขั้นตอนที่ 2 นำกระดูกปลานิลแช่ในสารละลายด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 2 M เป็นระยะเวลา 30 นาที เมื่อครบกำหนดนำมาล้างด้วยน้ำสะอาดหลาย ๆ ครั้ง และนำไปอบที่ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง พักไว้ให้เย็น ทำการลดขนาดอนุภาคกระดูกปลานิลให้เหลือประมาณ 3 - 4 มิลลิเมตร โดยขั้นตอนนี้จะได้ตัวอย่างกระดูกปลานิลจากการแช่ด้วยสารละลายด่าง NaOH จากนั้นขั้นตอนที่ 3 นำกระดูกปลานิลที่ผ่านการลดขนาดอนุภาคมาแช่ในสารละลายเฮกเซนในอัตรากระดูกต่อตัวทำละลาย 1 : 10 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยทำการกวนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำกระดูกปลานิลมาผึ่งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนแห้งและไม่มีการกลั่นของเฮกเซน ซึ่งขั้นตอนนี้จะได้กระดูกปลานิลผ่านการแช่สารละลายเฮกเซนเพื่อกำจัดไขมัน จากนั้นขั้นตอนที่ 4 นำกระดูกปลานิลมาแช่ในสารละลาย โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaClO) ที่ความเข้มข้น 2.5% เป็นเวลา 30

นาที่ และนำมาแช่ต่อในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 1 : 10 (น้ำหนักต่อปริมาตร) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดนำมาล้างผ่านน้ำไหลเป็นเวลา 5 นาที และนำไปอบที่ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นและทำการบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด (IKA รุ่น M 20 - Universal Mill) จากนั้นร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช จะได้ผงไบโอแคลเซียมจากกระดูกปลานิลโดยทำการเก็บรักษาตัวอย่างในถุงสุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง

#### 2.4 การวิเคราะห์ผลผลิตร้อยละ (%yield)

การคำนวณร้อยละของผลผลิต (%yield) ของกระดูกปลานิลที่ผ่านขั้นตอนการผลิตไบโอแคลเซียม โดยการเปรียบเทียบน้ำหนักกระดูกปลาที่ผ่านขั้นตอนต่าง ๆ และกระดูกปลาสดเริ่มต้น ดังแสดงตัวอย่างในดังสมการ (1)

$$\%yield = \frac{\text{น้ำหนักกระดูกปลาหลังจากผ่านขั้นตอนต่างๆ} \times 100}{\text{น้ำหนักกระดูกปลาเริ่มต้น}} \quad (1)$$

#### 2.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (proximate analysis) และปริมาณแคลเซียม

นำตัวอย่างกระดูกปลานิลที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอแคลเซียมทั้ง 4 ขั้นตอน มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน และปริมาณแคลเซียม ตามวิธีของ AOAC [12] วิธีการที่ 950.46B, 992.15, 920.153, 960.39 และ 984.27

#### 2.6 การวิเคราะห์ค่าสี

นำตัวอย่างกระดูกปลานิลที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอแคลเซียมทั้ง 4 ขั้นตอน มาวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดสี (Chroma meter CR-400, Japan) ในระบบ CIE โดยวิเคราะห์ค่า L\* value (ค่าความสว่าง) a\* value (ค่าความเป็นสีแดง) และ b\* value (ค่าความเป็นสีเหลือง)

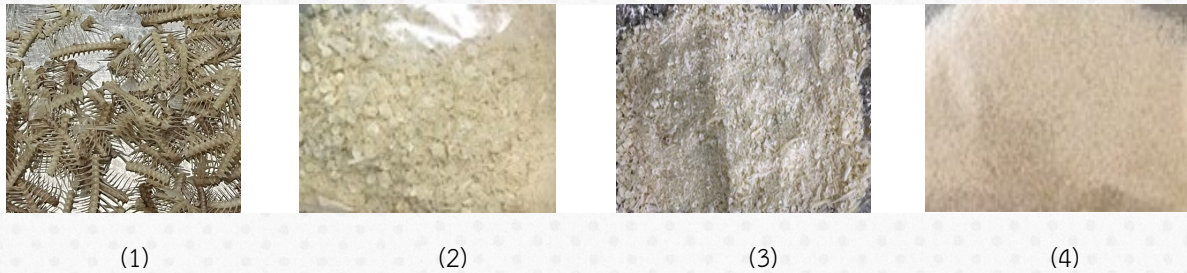
#### 2.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) โดยข้อมูลที่ได้วิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี One-way ANOVA และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

### 3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

#### 3.1 ผลการศึกษาร้อยละผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีระหว่างกระบวนการผลิตไบโอแคลเซียมจากกระดูกปลานิล

กระดูกปลานิลที่เป็นวัสดุเหลือจากกระบวนการแล่นเนื้อ เมื่อนำมาผ่านกระบวนการผลิตไบโอแคลเซียมทั้ง 4 ขั้นตอน ได้แก่ (1) ขั้นตอนการต้มและการฉีบน้ำแรงดันสูง (2) ขั้นตอนการแช่ด้วยสารละลายต่าง NaOH (3) ขั้นตอนการแช่ด้วยตัวทำละลายเฮกเซน และ (4) ขั้นตอนการฟอกสีและบดจนได้ไบโอแคลเซียมจากกระดูกปลานิลตามลำดับ จากภาพที่ 1 ผลการศึกษาพบว่า ขั้นตอนการต้มและฉีบน้ำแรงดันสูงมีร้อยละผลผลิตสูงสุด เท่ากับ 16.51± 4.55 แต่เมื่อกระดูกปลานิลผ่านขั้นตอนต่าง ๆ จนถึงขั้นตอนการได้มาซึ่งผงไบโอแคลเซียม พบว่า ร้อยละของผลผลิตลดลงเหลือร้อยละ 10.79±0.82 โดยปริมาณร้อยละผลผลิตมีความสอดคล้องกันผลการศึกษาร้อยละผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีแสดงดังตารางที่ 1



ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตไคโตแซนจากกระดุกปลานิล (1) ขั้นตอนการต้มกระดุกและฉีดน้ำแรงดันสูง (2) ขั้นตอนการแช่ด้วยสารละลายต่าง NaOH (3) ขั้นตอนการแช่ด้วยตัวทำละลายเฮกเซน และ (4) ไคโตแซน

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีระหว่างกระบวนการผลิตไคโตแซนจากกระดุกปลานิล

กระบวนการผลิตไคโตแซน	ร้อยละผลผลิต	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า
การต้มกระดุกและฉีดน้ำแรงดันสูง	16.51±4.55 <sup>a</sup>	12.67±1.10 <sup>a</sup>	22.73±0.22 <sup>a</sup>	7.35±1.17 <sup>a</sup>	44.00±0.72 <sup>c</sup>
การแช่ด้วยสารละลายต่าง NaOH	13.39±2.86 <sup>ab</sup>	6.47±0.86 <sup>b</sup>	17.52±1.97 <sup>b</sup>	5.27±0.86 <sup>a</sup>	61.15±1.17 <sup>b</sup>
การแช่ด้วยตัวทำละลายเฮกเซน	12.04±1.26 <sup>b</sup>	5.10±1.12 <sup>b</sup>	16.36±1.55 <sup>b</sup>	1.23±0.56 <sup>b</sup>	63.45±1.29 <sup>ab</sup>
ไคโตแซน	10.79±0.82 <sup>b</sup>	4.43±0.33 <sup>bc</sup>	15.05±0.83 <sup>bc</sup>	0.19±0.44 <sup>c</sup>	67.12±2.38 <sup>a</sup>

หมายเหตุ 1) ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ค่าที่ตัวอักษรแตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่า ขั้นตอนการผลิตที่มากขึ้นมีผลทำร้อยละผลผลิตลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ดังแสดงในตารางที่ 1 การที่ร้อยละของผลผลิตลดลงตามขั้นตอนการที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากสารอินทรีย์ที่ติดกับกระดุกปลา ได้แก่ เศษเนื้อ เลือด ไขมัน เส้นใย และไขกระดูก ถูกล้างออกไปในแต่ละขั้นตอนการผลิตทำให้สารอินทรีย์ถูกกำจัดออกจากกระดุกปลาเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้กระบวนการอบแห้งด้วยเตาอบลมส่งผลให้น้ำระเหยออกจากกระดุกปลานิล โดยบ่งชี้ได้จากค่าความชื้นที่ลดลงตามลำดับซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณเถ้าที่สูงขึ้น [7] ดังนั้น การผลิตไคโตแซนจากกระดุกปลานิลในการวิจัยครั้งนี้มีการอบลมร้อนถึง 3 ครั้ง จึงอาจส่งผลทำให้อัตราผลผลิตของไคโตแซนลดลง นอกจากนี้ปัจจัยของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบอาจจะมีผลทำให้ปริมาณผลผลิตไคโตแซนและปริมาณความชื้นลดลงเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับ ภาวิตา จินตนาณภูมิตร และคณะ [4] ที่พบว่า การสกัดไคโตแซนจากกระดุกปลาด้วยวิธีอัลตราโซนิกร่วมกับความร้อนและการกำจัดไขมันและการฟอกสีเป็นกระบวนการเสริมที่มีการอบลมร้อน 3 ครั้ง มีผลทำให้ผลผลิตของไคโตแซนจากก้างปลาห่านมีปริมาณน้อยกว่าการสกัดวิธีอัลตราโซนิกด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีการอบลมร้อน 1 ครั้ง

การศึกษาค่าองค์ประกอบทางเคมีระหว่างกระบวนการผลิตไคโตแซนจากกระดุกปลานิล พบว่า ขั้นตอนในการผลิตไคโตแซนจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของกระดุกปลานิล โดยพบว่า ปริมาณความชื้นมีค่าอยู่ระหว่าง  $4.43 \pm 0.33\%$  -  $12.67 \pm 1.10\%$  ซึ่งปริมาณความชื้นมีแนวโน้มลดลงเมื่อผ่านขั้นตอนต่าง ๆ มากขึ้น อย่างไรก็ตามปริมาณความชื้นของผงไคโตแซนที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้มีค่าเท่ากับ  $4.43 \pm 0.33\%$  ซึ่งมีปริมาณความชื้นอยู่ในเกณฑ์อาหารแห้งจึงทำให้มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนาน ส่วนปริมาณโปรตีนและไขมันมีแนวโน้มลดลงตลอดช่วงของกระบวนการผลิตเช่นกัน โดยพบว่า ปริมาณโปรตีนลดลงในขั้นตอนการแช่กระดุกปลานิลด้วยสารละลายต่าง NaOH อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนเริ่มต้น โดยปริมาณโปรตีนลดลงจาก  $22.73 \pm 0.22\%$  เป็น  $14.05 \pm 0.83\%$  ซึ่งเกิดเนื่องจากสารละลายต่าง NaOH ที่ใช้ดังกล่าวสามารถละลายเศษเนื้อที่มีองค์ประกอบของโปรตีนให้หลุด

ออกจากกระดุกปลาได้ จึงทำให้กระดุกปลาที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้นและยังทำให้ปริมาณโปรตีนลดลง [13] สำหรับปริมาณไขมันพบว่า ขั้นตอนการแช่ด้วยตัวทำละลายเฮกเซนมีผลทำให้ปริมาณไขมันลดลงแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนการต้มและฉีดน้ำแรงดันสูง และขั้นตอนการแช่ด้วยสารละลายต่าง NaOH ซึ่งมีปริมาณไขมันเท่ากับ  $7.35 \pm 1.17\%$ ,  $5.27 \pm 0.86\%$  และ  $1.23 \pm 0.56\%$  ตามลำดับ ซึ่งการที่ขั้นตอนการใช้สารละลายเฮกเซนมีผลต่อปริมาณไขมันของกระดุกปลานิล เนื่องจากเฮกเซนเป็นตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วจึงละลายไขมันออกมาจากกระดุกปลาได้ดี [14] ผลดังกล่าวจึงทำให้กระดุกปลานิลมีปริมาณไขมันลดลง ซึ่งการลดลงของไขมันดังกล่าวมีผลทำให้ไบโอแคลเซียมจากกระดุกปลานิลไม่มีกลิ่นคาวปลา กลิ่นเหม็นหืน และกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษา พบว่า ปริมาณไขมันแห้งไม่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) จากขั้นตอนเริ่มต้นที่มีปริมาณไขมันเท่ากับ  $44.00 \pm 0.72\%$  และเพิ่มเป็น  $67.12 \pm 2.38\%$  ในขั้นตอนสุดท้ายที่ได้มาซึ่งผงไบโอแคลเซียมจากกระดุกปลานิล โดยปริมาณไขมันที่เพิ่มสูงขึ้นตามขั้นตอนการผลิตเกิดเนื่องจากในกระบวนการผลิตมีการกำจัดสารประกอบอินทรีย์ออก ผลดังกล่าวจึงมีผลทำให้ปริมาณสารประกอบอินทรีย์เพิ่มสูงสอดคล้องตามปริมาณไขมันที่เพิ่มขึ้น [8] ซึ่งสอดคล้องกับ วิลาวัลย์ เชียงฉิน และคณะ [15] ที่รายงานว่ากำจัดไขมันและฟอสฟอรัสเป็นกระบวนการเสริมมีผลทำให้ปริมาณไขมันสูงและปริมาณของโปรตีนของผงก้างปลาลดลง

ผลการศึกษาพบว่า ผงไบโอแคลเซียมจากกระดุกปลานิลมีแร่ธาตุแคลเซียมเป็นองค์ประกอบ โดยมีปริมาณเท่ากับ 216.50 มิลลิกรัมต่อ 1 กรัม ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่า ฌฎฐวรณ เลิศทงนค์ และคณะ [16] และ Techochatchwal [17] ที่รายงานว่าผงกระดุกปลานิลมีปริมาณแคลเซียม 250.10 มิลลิกรัม และ 276.76 มิลลิกรัมต่อ 1 กรัม และเมื่อเปรียบเทียบกับผงกระดุกปลาชนิดอื่น พบว่า กระดุกปลาทูน่ามีปริมาณแคลเซียม 381.6 มิลลิกรัมต่อ 1 กรัม ผงกระดุกปลาแชลมอนมีปริมาณแคลเซียม 223 มิลลิกรัมต่อ 1 กรัม และผงก้างปลาสดมีปริมาณแคลเซียม 228.33 มิลลิกรัมต่อ 1 กรัม [19] อย่างไรก็ตามปริมาณแคลเซียมจากไบโอแคลเซียมที่ได้จะแตกต่างกันตามชนิดของกระดุกปลาและขั้นตอนของการผลิตไบโอแคลเซียม ซึ่งสอดคล้องกับ ภาวิตา จินตนาณฤมิตร และคณะ [4] ที่รายงานว่ากระบวนการผลิตไบโอที่แตกต่างกันจะส่งผลทำให้ปริมาณแคลเซียมที่ได้แตกต่างกันไป

### 3.2 ผลการศึกษาค่าสีระหว่างกระบวนการผลิตไบโอแคลเซียมจากกระดุกปลานิล

ค่าสีของกระดุกปลานิลเมื่อผ่านกระบวนการผลิตทั้ง 4 ขั้นตอน จนได้มาซึ่งไบโอแคลเซียม พบว่า เมื่อผ่านขั้นตอนเริ่มต้นจนถึงขั้นตอนสุดท้ายที่ได้มาซึ่งไบโอแคลเซียมจากกระดุกปลานิล พบว่า ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่ค่าความเป็นสีเหลือง ( $b^*$ ) กลับมีค่าลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ตารางที่ 2 ค่าสีระหว่างกระบวนการผลิตไบโอแคลเซียมจากกระดุกปลานิล

กระบวนการผลิตไบโอแคลเซียม	$L^*$	$a^*$	$b^*$
การต้มกระดุกและฉีดน้ำแรงดันสูง	$86.04 \pm 0.45^c$	$0.25 \pm 0.09^a$	$13.13 \pm 0.67^a$
การแช่ด้วยสารละลายต่าง NaOH	$84.41 \pm 0.71^b$	$-0.42 \pm 0.18^b$	$11.96 \pm 0.35^b$
การแช่ด้วยตัวทำละลายเฮกเซน	$85.77 \pm 0.45^b$	$-0.49 \pm 0.13^b$	$11.74 \pm 0.66^b$
ไบโอแคลเซียม	$90.18 \pm 0.07^a$	$-1.41 \pm 0.03^c$	$11.19 \pm 0.52^b$

หมายเหตุ 1) ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) ค่าที่ตัวอักษรแตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



จากผลการวิจัยจะเห็นได้ว่าในแต่ละขั้นตอนการผลิตส่งผลให้สีของกระดุกปลานิลมีการเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากในขั้นตอนการต้มและการแช่ด้วยสารละลายต่าง NaOH จะช่วยกำจัดโปรตีนและสิ่งตกค้าง โดยต่างจะช่วยละลายโปรตีนออกจากกระดุกปลา [19] จึงมีผลทำให้กระดุกมีสีที่ขาวขึ้นและมีสีขาวมากขึ้นในขั้นตอนการแช่ด้วยตัวทำละลายเฮกเซน และการฟอกสีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยผลการวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกับ ภาวิตา จินตนาณภูมิตร และคณะ [4] ที่พบว่า ไบโอแคลเซียมจากก้างปลาที่ได้จากการสกัดแคลเซียมด้วยวิธีอัลคาไลน์ร่วมกับมีการกำจัดไขมัน และการสกัดแคลเซียมด้วยวิธีอัลคาไลน์ร่วมกับความร้อนและมีการกำจัดไขมันและการฟอกสีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นกระบวนการเสริม มีผลทำให้ผงไบโอแคลเซียมจากกระดุกปลานิลมีสีขาวครีมและมีความสว่าง  $L^*$  มากกว่าและมีค่า  $b^*$  ความเป็นเหลืองต่ำกว่าการสกัดแคลเซียมด้วยอัลคาไลน์อย่างเดียว เนื่องจากกรดอะมิโนและไขมันบางชนิดเป็นส่วนประกอบ ทำให้เกิดสารประกอบคาร์บอนิลจากการเกิดออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งมีโอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ โดยเกิดขึ้นกับกรดอะมิโนและโปรตีนที่มีอยู่ในผงไบโอแคลเซียมจากกระดุกโดยมีความร้อนจากการอบลมร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [7] ผลดังกล่าวจึงทำให้ไบโอแคลเซียมที่ได้จากสกัดด้วยวิธีอัลคาไลน์อย่างเดียวที่มีปริมาณไขมันที่สูง ดังตารางที่ 1 มีค่าสีเหลืองสูงกว่าวิธีการสกัดแคลเซียมด้วยวิธีอื่น ดังนั้นจะเห็นได้ว่า การผลิตไบโอแคลเซียมที่ผ่านกระบวนการกำจัดโปรตีนด้วยสารละลายต่าง NaOH การกำจัดไขมันด้วยตัวทำละลายเฮกเซน และการฟอกสีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ส่งผลทำให้ได้ไบโอแคลเซียมมีคุณภาพที่ดีขึ้นเนื่องจากมีปริมาณแคลเซียมที่สูงที่สุดและมีสีที่ขาวขึ้น อีกทั้งยังสามารถดกลินไม่พึงประสงค์ในไบโอแคลเซียมได้ [8, 20] ไบโอแคลเซียมจากกระดุกปลานิลที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้มีคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ดีและยอมรับได้ จึงเหมาะในการนำไปประยุกต์ใช้ในการเสริมในผลิตภัณฑ์อาหารหรือใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริมโดยตรงในเชิงพาณิชย์ต่อไปได้

#### 4. บทสรุป

การผลิตไบโอแคลเซียมจากกระดุกปลานิล พบว่า เมื่อผ่านขั้นตอนการต้มและฉีกน้ำแรงดันสูง การแช่ด้วยสารละลายต่าง NaOH จากนั้นแช่ในตัวทำละลายเฮกเซน และทำการฟอกสีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะทำให้ได้ไบโอแคลเซียมที่มีคุณภาพที่ดี มีปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 216.49 มิลลิกรัมต่อ 1 กรัม ลักษณะผงมีความละเอียด มีสีขาวนวลและไม่มีการจับตัว จึงเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์ต่อไป อย่างไรก็ตามควรศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องการตรวจวัดการตกค้างของโซเดียมไฮดรอกไซด์และเฮกเซนในไบโอแคลเซียมเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค และควรทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไบโอแคลเซียมดังกล่าวเพื่อให้มั่นใจว่าได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค

การนำกระดุกปลานิลซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์ในการวิจัยนี้ นอกจากช่วยเพิ่มมูลค่าและคุณค่าให้กับกระดุกปลานิลเพื่อนำไปต่อยอดในการใช้เสริมหรือทดแทนในผลิตภัณฑ์อาหารหรือผลิตภัณฑ์อาหารเสริมโดยตรงต่อไป ยังช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากเศษกระดุกปลาที่เหลือ อีกทั้งยังเป็นแนวทางที่ช่วยเสริมสร้างศักยภาพในการหมุนเวียนและการใช้ประโยชน์ของวัสดุเหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์สูงสุดภายใต้แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนอีกด้วย

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนวิจัยจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุน ววน.) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 รหัสสัญญา 2567FF25GE02-G52 ตลอดจนขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสี) ศูนย์วิทยาศาสตร์ และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่ได้อนุเคราะห์อุปกรณ์ เครื่องมือ และห้องปฏิบัติการสำหรับการดำเนินการวิจัย

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กองนโยบายและแผนพัฒนาการประมง กลุ่มเศรษฐกิจการประมง. Monitoring Report สินค้าปลานิล & ผลิตภัณฑ์ประจำเดือน มกราคม 2565. กรมประมง. 2565.
- [2] ประเสริฐ สายสิทธิ์. ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสัตว์น้ำ. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 2526.
- [3] M. Nemati, N. Huda and F. Ariffin. Development of calcium supplement from fish bone wastes of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and characterization of nutritional quality. *International Food Research Journal*. 24(6)(2017) 2419-2426.
- [4] ภาวิตา จินตนาณภูมิตร, ทวีศักดิ์ เตชะเกรียงไกร, และพรทิพย์ พสุกลมเศรษฐ์. คุณลักษณะทางกายภาพและเคมีของไบโอแคลเซียมจากก้างปลาทูน่าโดยวิธีการสกัด. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 39(1)(2564) 22-29.
- [5] W.K. Jung, B.J. Lee and S.K. Kim. Fish-bone peptide increases calcium solubility and bioavailability in ovariectomised rats. *British Journal of Nutrition*. 95(2006) 124–128.
- [6] M. Hamada, T. Nagai, N. Kai, Y. Tanoue and H. Mae. Inorganic constituents of bone of fish. *Fisheries Science*. 61(1995) 517–520.
- [7] S. Benjakul, S. Mad-Ali and P. Sookchoo. Characteristics of bio-calcium powders from precooked tonggol (*Thunnus tonggol*) and yellowfin (*Thunnus albacores*) tuna bones. *Food Biophysics*. 12(2017) 412-421.
- [8] เจนนจิรา นิเวศน์, เกรียงศักดิ์ เม่งอาพันธ์, วิจิตรา แดงปรก, กิตติมา สีสระพงค์วัฒนา, สุชาลินี ญาณภักดิ์, และ อีระพล แสนพันธุ์. การพัฒนากระบวนการผลิตไบโอแคลเซียมจากกระดูกปลาลูกผสมบึกสยาม. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 26(3)(2564) 1532-1544.
- [9] L. Abbey, M. G. Amengor, M. O. Atikpo, A. Atter and J. Toppe. Nutrient content of fish powder from low value fish and fish byproduct. *Food Science and Nutrition*. 5(3)(2017) 374-379.
- [10] J. Deeamart. “Cracker from Horm-nin Rice Flour added Calcium from Fish Bone”. Research Report master’s degree, Kasetsart University, Thailand. 2007.
- [11] S. Benjakul and S. Karnjaapratum. Emulsion stability and properties of fish gelatin-based films as affected by palm oil and surfactants. *Food Chemistry*. 165,15(2014) 403-411.
- [12] AOAC Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists: Official Methods of Analysis of AOAC International. 21<sup>st</sup> Ed., AOAC, Washington DC., 2019.
- [13] S. Sinthusamran, A.T. Idowu, S. Benjakul, T. Prodpran, A.F. Yesilsu and H. Kishimura. Effect of proteases and alcohols used for debittering on characteristics and antioxidative activity of protein hydrolysate from salmon frames. *The Journal of Food Science and Technology*. 57(2019) 473-483.
- [14] M.M. Cascant, C. Breil, S. Garrigues, M. de la Guardia, A. S. Fabiano-Tixier and F. Chemat. A green analytical chemistry approach for lipid extraction: computation methods in the selection of green solvents as alternative to hexane. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 409,14(2017) 3527-3539.
- [15] วิลาวัณย์ เข้ายงฉิน, เทอดศิริ แพ่งไทย, ต้องกานต์ ไชยยะ, และ ดวงใจ มาลัย. การพัฒนาขนมปังเสริมแคลเซียมด้วยผงก้างปลาทะเลขาว. วารสารสาธารณสุขศาสตร์. 53(2)(2565) 431-448.

- [16] ณัฐวรารณ เลิศทงศ์, วราภรณ์ ชื่นระรวย, และ กรรณิการ์ อ่อนสำลี. การพัฒนาผลิตภัณฑ์กล้วยฉาบเสริมแคลเซียมจากกระดูกปลานิล. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์. 3(1)(2566) 60-70.
- [17] K. Techochatchawal, N. Therdthai, S. Khotavivattana. Development of calcium supplement from the bone of Nile Tilapia (*Tilapia nilotica*). *Asian Journal of Food and Agro-Industry*. 2(4)(2009) 539-546.
- [18] ผกาวดี เอี่ยมกำแพง และ โสร็จ วรชุม อินเกต. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขี้ตังเสริมแคลเซียมจากกระดูกปลาสด. วารสารวิจัย มสค. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 8(1)(2558) 157-71.
- [19] I. Batista. Recovery of proteins from fish waste products by alkaline extraction. *European Food Research and Technology*. 210(2)(1999) 84-89.
- [20] S. Benjakul, and S. Karnjanapratum. Characteristics and nutritional value of whole wheat cracker fortified with tuna bone bio-calcium powder. *Food Chemistry*. 259(2018) 181-187.

## การประเมินพื้นที่เหมาะสมสำหรับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยในอำเภอพระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี

### Evaluation of Suitable Area for Landfill Facility in Amphoe Phra Phutthabat, Saraburi Province

เสวตฉัตร ศรีสุรัตน์<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

\*E-mail: sawettac@gmail.com

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อประเมินพื้นที่เหมาะสมในการฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาลในอำเภอพระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี โดยการใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์วิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยวิธีการถ่วงน้ำหนักและเทคนิคการซ้อนทับข้อมูลจากปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 8 ปัจจัย ได้แก่ ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ โบราณสถาน แหล่งน้ำผิวดิน/เส้นทางน้ำ เส้นทางคมนาคม สภาพทางธรณีวิทยา ความลาดชัน การใช้ประโยชน์ที่ดิน และพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่เหมาะสมมากที่สุดมีพื้นที่มากที่สุดอยู่ในพื้นที่ตำบลพุดค่าจัน มีเนื้อที่ถึง 29.61 ตารางกิโลเมตร ส่วนพื้นที่เหมาะสมปานกลางที่มีพื้นที่มากที่สุดอยู่ในพื้นที่ตำบลหนองแกมีเนื้อที่ 61.41 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ที่ไม่เหมาะสมมีพื้นที่มากที่สุดอยู่ในพื้นที่ตำบลพระพุทธบาท มีเนื้อที่ 16.91 ตารางกิโลเมตร

**คำสำคัญ:** พื้นที่เหมาะสมสำหรับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอย ขยะมูลฝอย ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

#### Abstract

This research used Geographic Information System to identify a suitable area for landfill facility in Amphoe Phra Phutthabat, Saraburi Province. Spatial data and overlay analysis technique were performed under eight environmental impact factors including watershed class, heritage site, surface water/water routes, transportation, geology, slope, landuse, and flood risk area factors. The results found that the most suitable area in Tambol Phu Kham Chan has an area of 29.61 square kilometers. As for the suitable area, the most common area is in the area of Tambol Nong Kae, which has an area of 61.41 square kilometers. The unsuitable area with the most area in Tambol Phra Phutthabat has an area of 16.91 square kilometers.

**Keywords:** Suitable area for landfill facility, Landfill facility, Geographic information system

### 1. บทนำ

ขยะได้ถูกผลักดันให้เป็นวาระแห่งชาติ เนื่องจากประเทศไทยประสบวิกฤตผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากกองขยะเก่าที่มีได้ถูกดำเนินการจัดการอย่างถูกต้องในหลายพื้นที่ จนส่งผลให้เกิดเหตุเพลิงไหม้อย่างรุนแรง และกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน อีกทั้งส่งผลกระทบต่อดิน แหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดิน ทั้งนี้วิธีการกำจัดขยะมูลฝอยมีหลายวิธีเช่น นำไปกองไว้บนพื้นดิน นำไปทิ้งทะเล นำไปฝังกลบ เป็นต้น อย่างไรก็ตามการกำจัดขยะมูลฝอยในแต่ละวิธีต่างก็มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป ฉะนั้นควรเลือกวิธีที่เหมาะสมของแต่ละพื้นที่ แต่ที่ผ่านมาตั้งแต่อดีตจวบจนปัจจุบันการนำขยะไปเทกองกลางแจ้งหรือการนำขยะไปทิ้งไว้ตามธรรมชาติเป็นวิธีที่พบบ่อย เนื่องจากไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการฝังกลบ วิธีนี้มีปัญหากลิ่นรบกวนรุนแรง ก่อปัญหาด้านทัศนียภาพ เป็นแหล่งการแพร่กระจายของพาหะและเชื้อโรค ปัญหาน้ำชะจากกองขยะส่งผลต่อคุณภาพน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ส่วนใหญ่ในประเทศไทยยังใช้วิธีจัดการขยะด้วยวิธีนี้

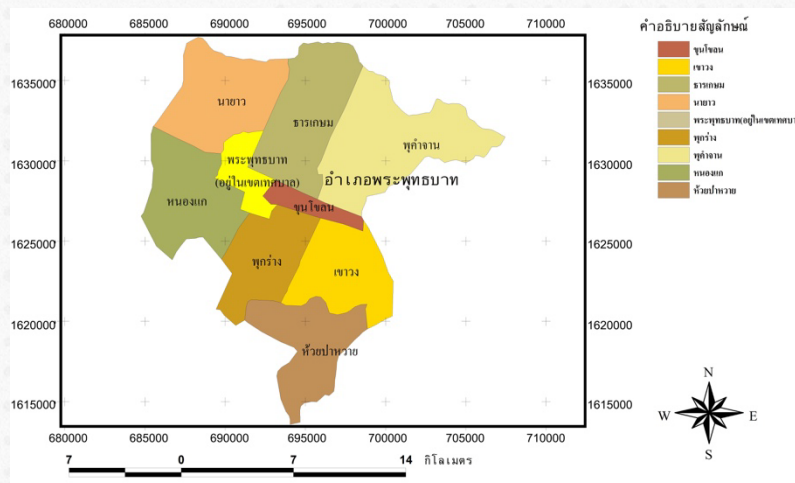
การพิจารณาความเหมาะสมของพื้นที่ การออกแบบก่อสร้างและการจัดการสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยอย่างถูกหลักเป็นแนวทางในการจัดการขยะมูลฝอยที่ถูกต้อง ดังนั้นในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ จึงนำเทคโนโลยีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อวิเคราะห์หาพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับใช้กำจัดขยะมูลฝอยโดยเฉพาะสถานที่ฝังกลบ ในพื้นที่อำเภอพระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี สร้างเป็นแผนที่ดิจิทัลอย่างมีประสิทธิภาพ รวดเร็ว ถูกต้องแม่นยำ และผลสรุปที่ได้เป็นข้อมูลแนวทางการวางแผนนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมของหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไป

### 2. วัตถุประสงค์ในการศึกษา

- 2.1 เพื่อประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการประเมินพื้นที่ที่เหมาะสม
- 2.2 เพื่อประเมินพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยในอำเภอพระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี
- 2.3 เพื่อสร้างแผนที่และจัดทำรายงานแสดงพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอย ในอำเภอพระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี

### 3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อำเภอพระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี มีเนื้อที่ประมาณ 514.53 ตารางกิโลเมตร (321,581.25 ไร่) แบ่งการปกครองออกเป็น 9 ตำบล ประกอบด้วยตำบลพระพุทธบาท ตำบลหนองแก ตำบลธารเกษม ตำบลน่ายาว ตำบลพุดคำจาน ตำบลเขาวง ตำบลห้วยป่าหวาย ตำบลพุกวาง และตำบลขุนโขลน [1]



ภาพที่ 1 แผนที่แสดงขอบเขตการปกครองของอำเภอพระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี

ในพื้นที่ศึกษาวิจัยพบว่า มีบ่อขยะชื่อ ทม.พระพุทธรบาท ณ บ้านพุดามหวาน ตำบลพระพุทธรบาท อำเภอพระพุทธรบาท จังหวัดสระบุรี มีวิธีการจัดการขยะแบบการเทกองกลางแจ้ง ขนาดพื้นที่ 166 ไร่ ซึ่งไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล [2] โดยการแก้ปัญหาด้านการจัดการขยะมูลฝอย ระบบต้องมีการออกแบบที่ดีและต้องมีการดำเนินการที่ตามหลักวิชาการ ด้วยการคัดเลือกพื้นที่หรือสถานที่ตั้ง โดยพิจารณาเกณฑ์ด้านวิศวกรรม ด้านเศรษฐกิจและสังคมและด้านสิ่งแวดล้อม [3] ทั้งนี้สถานที่ฝังกลบจะต้องป้องกันหรือลดผลกระทบเชิงลบต่อสิ่งแวดล้อมให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้รวมถึงลดความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ที่เกิดจากการฝังกลบขยะ [4, 5] ทั้งนี้ Mohammed, et al. [6] ศึกษาเรื่องการวิเคราะห์ความเหมาะสมของหลุมฝังกลบสุขาภิบาลโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยกำหนดปัจจัยที่ใช้ประเมินพื้นที่ ได้แก่ ด้านกายภาพ ด้านสิ่งแวดล้อมและด้านเศรษฐกิจและสังคมเช่นกัน ส่วนสุภาวดี น้อยน้ำใส และปิยะดา วชิระวงศกร [7] ศึกษาเรื่องการประเมินพื้นที่ที่เหมาะสม สำหรับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาลในจังหวัดอุดรธานี โดยใช้ระบบสารสนเทศ ภูมิศาสตร์ โดยการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยวิธีการถ่วงน้ำหนักและเทคนิคการซ้อนทับข้อมูล จากปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 11 ปัจจัย ได้แก่ ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ โบราณสถาน ประปา แหล่งน้ำผิวดิน/เส้นทางน้ำ เส้นทางคมนาคม ระดับน้ำใต้ดิน สภาพทางธรณี ความลาดชัน การใช้ประโยชน์ ที่ดิน ลักษณะเนื้อดิน และพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม

#### 4. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ แผนที่ภูมิประเทศ L7018 มาตราส่วน 1 : 50,000 จากกรมแผนที่ทหาร ราว 5138I 5138II 5138III และ 5138IV ครอบคลุมพื้นที่อำเภอพระพุทธรบาท จังหวัดสระบุรี ข้อมูลจากกรมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม ฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์พื้นที่ด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จำนวน 10 กลุ่มชั้นข้อมูล ข้อมูลอื่นๆ จากหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้องเช่น กรมพัฒนาที่ดิน กรมทรัพยากรธรณี กรมชลประทาน เป็นต้น

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและเครื่องพิมพ์สี วัสดุและอุปกรณ์การสำรวจภาคสนาม เก็บข้อมูลปฐมภูมิ ซอฟต์แวร์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เครื่องมือเก็บพิกัดด้วยดาวเทียมพร้อมกล้องถ่ายภาพดิจิทัลและโปรแกรมงานด้านเอกสาร

การเก็บรวบรวมข้อมูล ได้จากการรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานต่าง ๆ ทั้งจากฐานข้อมูลและงานเอกสาร การออกภาคสนามเพื่อสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนามจากพื้นที่ศึกษา

การจัดกระทำข้อมูล ประกอบด้วยตรวจสอบฐานข้อมูลดิจิทัลปัจจัยต่าง ๆ 8 ปัจจัยในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ประกอบด้วยชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ โบราณสถาน แหล่งน้ำผิวดินและเส้นทางน้ำ เส้นทางคมนาคม ธรณีวิทยา ความลาดชัน การใช้ประโยชน์ที่ดินและพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมจากหน่วยงานต่างๆ เข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อให้เป็นฐานข้อมูลดิจิทัลอยู่ในรูปแบบที่ดิจิทัลพร้อมอธิบายในพิกัด Universal Transverse Mercator (UTM)

การวิเคราะห์ข้อมูล ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลดิจิทัลปัจจัยต่าง ๆ ด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) โดยกำหนดเงื่อนไขของแต่ละปัจจัยให้เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดในการประเมินพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยในอำเภอพระพุทธรบาท จังหวัดสระบุรี จากนั้นดำเนินการซ้อนทับข้อมูลแต่ละปัจจัย โดยใช้ Map algebra tool เพื่อวิเคราะห์โดยการคูณแต่ละเกณฑ์ด้วยน้ำหนักกรรม สำหรับการประเมินพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอย โดยกำหนดชั้นความเหมาะสมเป็น 3 ระดับคือ ไม่เหมาะสม เหมาะสมปานกลางและเหมาะสมมาก แล้วสร้างข้อมูลแผนที่ผสม (composited map) ที่มีการคิดคำนวณค่าความเหมาะสมของแต่ละพื้นที่ โดยค่าความเหมาะสมสามารถคำนวณได้จากการหาผลคะแนนรวม (Total score; Y) ที่ได้จากการคูณค่าคะแนนระดับความเหมาะสมของปัจจัย (Rating ; X) ดังตารางที่ 1 และค่าน้ำหนักของปัจจัย (Weight ; W) ดังตารางที่ 2 ของแต่ละเกณฑ์ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง [7, 8] ดังสมการ (1)

$$Y = W_1X_1 + W_2X_2 + \dots + W_nX_n \quad (1)$$

เมื่อ  $Y$  = ค่าความเหมาะสมของพื้นที่  
 $W_i$  = ค่าน้ำหนักของปัจจัย  
 $X_i$  = ค่าคะแนนระดับความเหมาะสมของปัจจัย

ตารางที่ 1 ค่าคะแนนเกณฑ์กำหนดในการประเมินพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอย

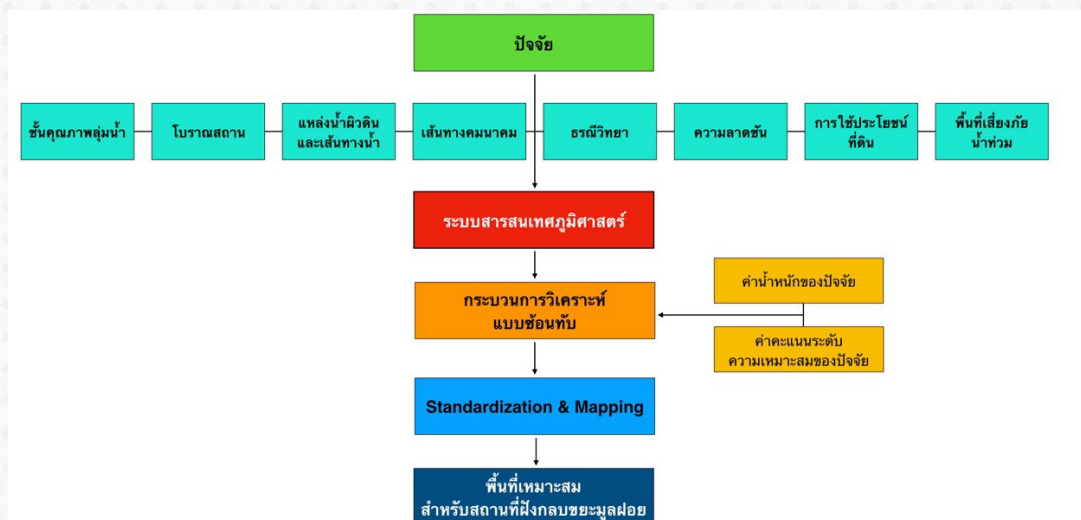
ปัจจัย	ระดับการจำแนกข้อมูล	ค่าคะแนน
ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ	พื้นที่ลุ่มน้ำชั้น 1 และ 2	0
	พื้นที่ลุ่มน้ำชั้น 3 และ 4	8
	พื้นที่ลุ่มน้ำชั้น 5	4
โบราณสถาน	ระยะห่างอย่างน้อย 1,000 เมตร	0
	ระยะห่างมากกว่าหรือเท่ากับ 1,000 เมตร	8
แหล่งน้ำผิวดินและเส้นทางน้ำ	ระยะห่างอย่างน้อย 300 เมตร	0
	ระยะห่างมากกว่าหรือเท่ากับ 300 เมตร	8
เส้นทางคมนาคม	ระยะห่างอย่างน้อย 1,000 เมตร	4
	ระยะห่างมากกว่าหรือเท่ากับ 1,000 เมตร	8
ธรณีวิทยา	พื้นที่ชั้นน้ำ	0
	พื้นที่ชั้นหินตะกอนและหินแปร	4
	หินอัคนี	8
ความลาดชัน	ความลาดชันมากกว่าร้อยละ 35	0
	ความลาดชันร้อยละ 16 - 35	4
	ความลาดชันร้อยละ 0 - 15	8
การใช้ประโยชน์ที่ดิน	พื้นที่ลุ่ม แหล่งน้ำ ชุมชนและป่าไม้	0
	พื้นที่นาข้าว	4
	พื้นที่พืชสวนและพืชไร่	8
พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม	พื้นที่เสี่ยงปานกลางถึงสูง	0
	พื้นที่เสี่ยงต่ำ	8

ตารางที่ 2 ค่าถ่วงน้ำหนักเกณฑ์ปัจจัยการประเมินพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอย

ปัจจัย	ค่าถ่วงน้ำหนัก	ค่าถ่วงน้ำหนัก (Normalize)
ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ	1.00	0.161
โบราณสถาน	1.00	0.161
แหล่งน้ำผิวดินและเส้นทางน้ำ	2.00	0.323
เส้นทางคมนาคม	0.50	0.081
ธรณีวิทยา	0.50	0.081

ปัจจัย	ค่าถ่วงน้ำหนัก	ค่าถ่วงน้ำหนัก (Normalize)
ความลาดชัน	0.50	0.081
การใช้ประโยชน์ที่ดิน	0.50	0.081
พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม	0.20	0.032
รวม	6.20	1.000

ขั้นสุดท้ายทำการวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยที่ได้เบื้องต้นด้วยกระบวนการวิเคราะห์แบบซ้อนทับ (overlay analysis) กับขอบเขตทั้ง 8 ตำบล และคำนวณเป็นเนื้อที่แต่ละระดับของความเหมาะสมในแต่ละตำบล ดังภาพที่ 2

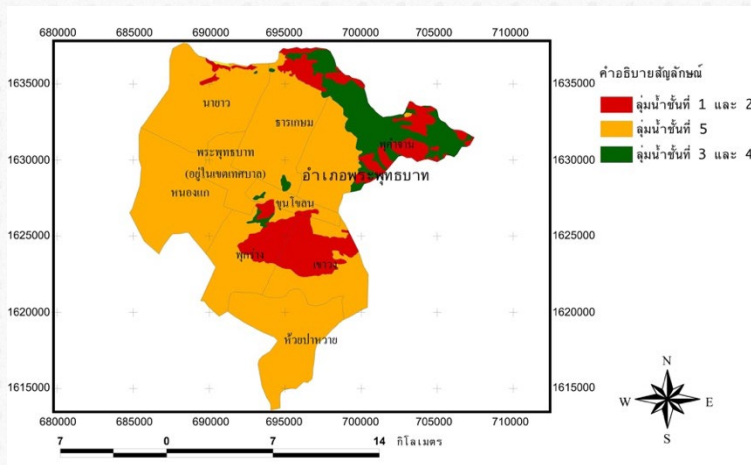


ภาพที่ 2 แผนภูมิแสดงการดำเนินงานวิจัย

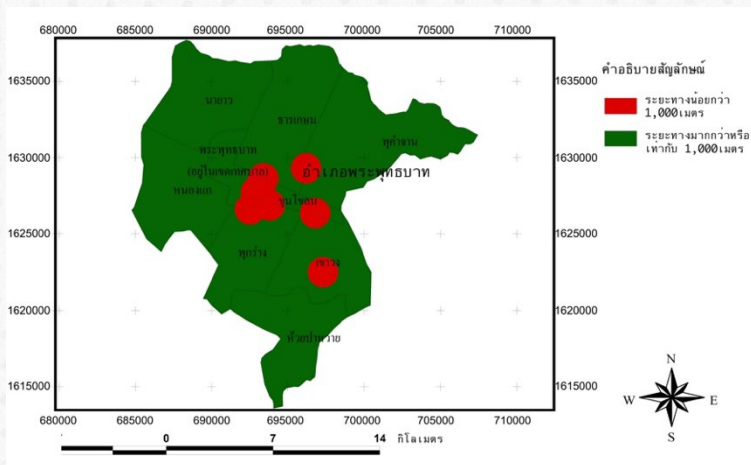
### 5. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ในการประเมินพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยในอำเภอพระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี โดยรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานต่างๆ รวมทั้งการออกภาคสนามเพื่อสำรวจ ตรวจสอบและเก็บข้อมูลเพิ่มเติม นำมาจัดกระทำเป็นชั้นข้อมูลเชิงเลขด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วยชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ โบราณสถาน แหล่งน้ำผิวดินและเส้นทางน้ำ เส้นทางคมนาคม ธรณีวิทยา ความลาดชัน การใช้ประโยชน์ที่ดินและพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม เพื่อให้เป็นฐานข้อมูลดิจิทัลอยู่ในรูปแบบที่ดิจิทัลพร้อมอธิบาย ในพิกัด Universal Transverse Mercator เดียวกัน เพื่อนำไปวิเคราะห์โดยกำหนดเงื่อนไขของแต่ละปัจจัยให้เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดในการประเมินพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอย ดังแสดงในภาพที่ 3

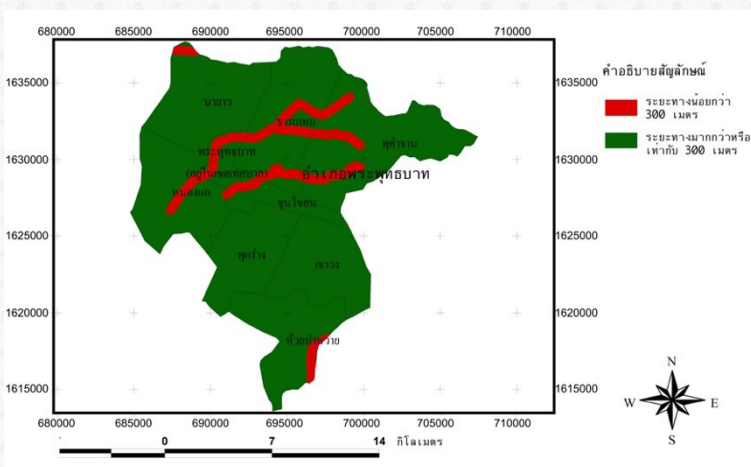




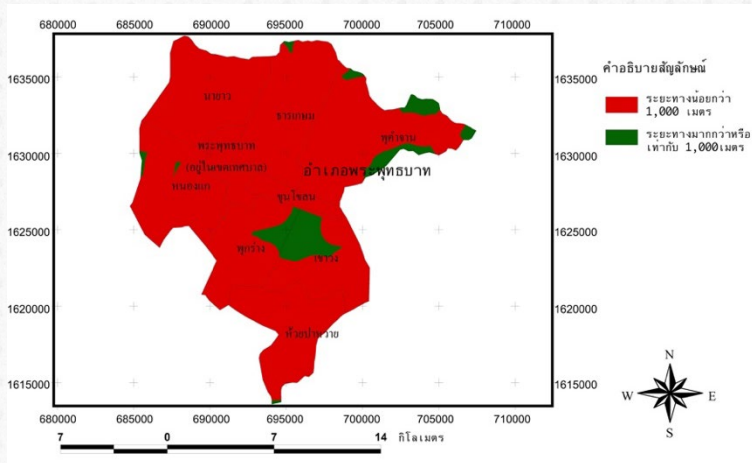
(ก)



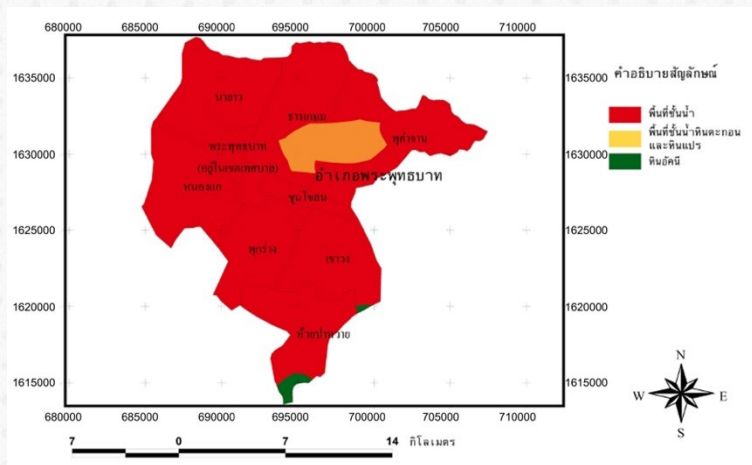
(ข)



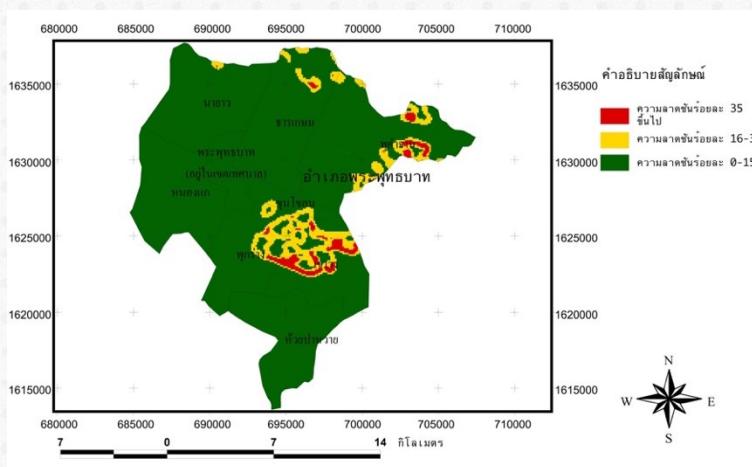
(ค)



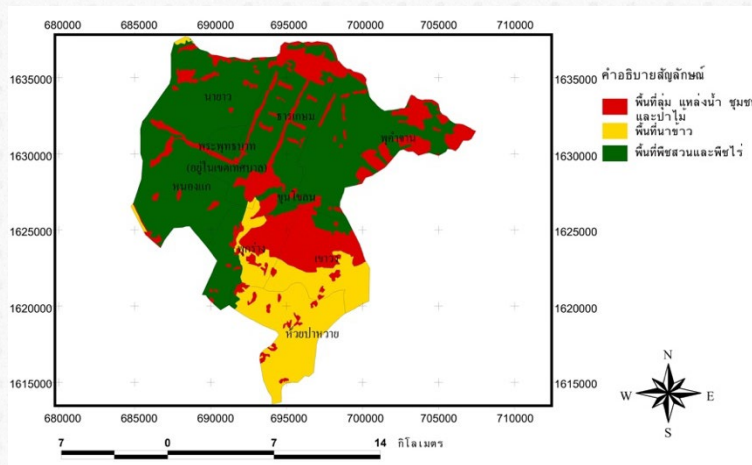
(ง)



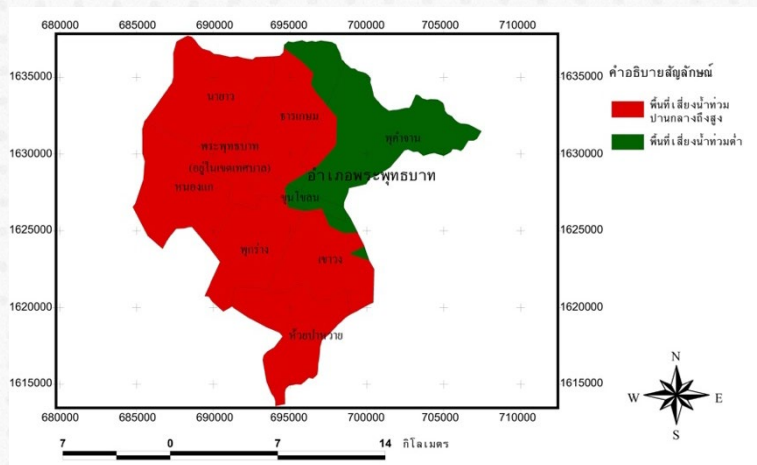
(จ)



(ฉ)



(ข)

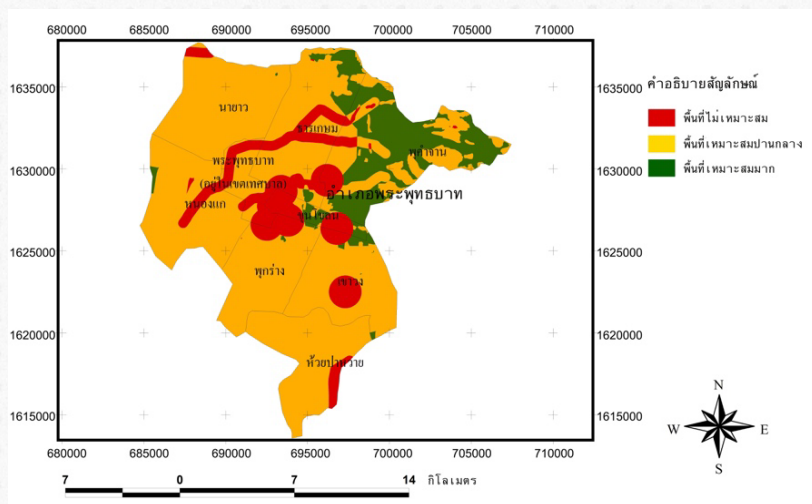


(ค)

ภาพที่ 3 แผนที่แสดงพื้นที่ที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยต่าง ๆ สำหรับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอย

- (ก) พื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ (ข) พื้นที่โบราณสถาน (ค) พื้นที่แหล่งน้ำผิวดินและเส้นทางน้ำ (ง) เส้นทางคมนาคม
- (จ) พื้นที่ธรณีวิทยา (ฉ) พื้นที่ความลาดชัน (ช) พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและ (ซ) พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม

จากนั้นดำเนินการซ้อนทับข้อมูลแต่ละปัจจัย โดยใช้ Map algebra tool วิเคราะห์โดยการคูณแต่ละเกณฑ์ด้วยน้ำหนักรวม และประเมินพื้นที่ที่เหมาะสมโดยกำหนดชั้นความเหมาะสมเป็น 3 ระดับคือ ไม่เหมาะสม เหมาะสมปานกลางและเหมาะสมมาก ในท้ายที่สุดสร้างเป็นแผนที่แสดงพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยในอำเภอพระพุทธบาท จังหวัดสระบุรี ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แผนที่แสดงพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับสถานที่ฟังกกลบขยะมูลฝอยในอำเภอพระพุทธรบาท จังหวัดสระบุรี

จากผลการวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับสถานที่ฟังกกลบขยะมูลฝอยในอำเภอพระพุทธรบาท จังหวัดสระบุรี ดังแสดงในภาพที่ 4 พบว่า พื้นที่เหมาะสมมากมีพื้นที่รวมทั้งหมด 46.87 ตารางกิโลเมตรจากพื้นที่อำเภอทั้งหมด 514.53 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 9.11 ของพื้นที่ทั้งอำเภอ โดยมีพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ทางด้านฝั่งตะวันออกออกไปทางตอนเหนือของอำเภอ ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม มีพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในตำบลพุดค่างาน มีเนื้อที่ถึง 29.61 ตารางกิโลเมตร รองลงมาคือ ตำบลธารเกษม

ส่วนพื้นที่เหมาะสมปานกลางมีพื้นที่รวมทั้งหมด 393.43 ตารางกิโลเมตรจากพื้นที่อำเภอทั้งหมด 514.53 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 76.46 ของพื้นที่ทั้งอำเภอ โดยส่วนใหญ่อยู่ทางด้านตอนเหนือ ฝั่งตะวันตกและตอนใต้ของอำเภอ มีพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในตำบลหนองแกมีเนื้อที่ถึง 61.41 ตารางกิโลเมตร รองลงมาได้แก่ ตำบลพระพุทธรบาท ตำบลห้วยป่าหวาย ตำบลเขวง ตำบลพุกร้าง ตำบลนายาว ตำบลธารเกษม และตำบลพุดค่างาน ตามลำดับ

พื้นที่ไม่เหมาะสมมีพื้นที่รวมทั้งหมด 74.23 ตารางกิโลเมตรจากพื้นที่อำเภอทั้งหมด 514.53 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 14.43 ของพื้นที่ทั้งอำเภอ โดยส่วนใหญ่อยู่ตอนกลางของอำเภอพระพุทธรบาท ซึ่งเป็นที่ลุ่ม แหล่งน้ำ เป็นพื้นที่เสี่ยงต่อน้ำท่วมขังสูง เป็นภูเขา ป่าไม้และชุมชนที่อยู่อาศัย รวมไปถึงมีแหล่งโบราณสถานที่สำคัญ โดยตำบลพระพุทธรบาทมีพื้นที่ไม่เหมาะสมมากที่สุดถึง 16.91 ตารางกิโลเมตร รองลงมาได้แก่ ตำบลธารเกษม ตำบลขุนโกลน ตำบลพุกร้าง และตำบลพุดค่างาน ตามลำดับ

## 6. บทสรุป

การประเมินพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับสถานที่ฟังกกลบขยะมูลฝอยในอำเภอพระพุทธรบาท จังหวัดสระบุรีพบว่า ตำบลพุดค่างานเป็นตำบลที่มีพื้นที่เหมาะสมมากที่สุด ตำบลหนองแกเป็นตำบลที่มีพื้นที่เหมาะสมปานกลางมากที่สุด และตำบลพระพุทธรบาทเป็นตำบลที่มีพื้นที่ไม่เหมาะสมมากที่สุด

ผลที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการคัดเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการฟังกกลบขยะภายใต้เกณฑ์ทางกายภาพ เงื่อนไข ระเบียบและข้อกำหนดตามกฎหมายตามประกาศของ กรมควบคุมมลพิษ หน่วยงานต่างๆ ที่รับผิดชอบด้านการดูแลบริหารจัดการขยะชุมชน เช่น เทศบาลนคร เทศบาล เมือง เทศบาลตำบล หรือองค์การบริหารส่วนตำบล โดยสามารถนำแนวทางการศึกษาและการประเมินหาพื้นที่เหมาะสมดังกล่าวไปปรับกับพื้นที่รับผิดชอบได้เป็นอย่างดี

อีกทั้งการประยุกต์ใช้งานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในครั้งนี้จะช่วยให้ผู้ที่สนใจหรือทำงานเกี่ยวกับข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) ได้เห็นถึงประโยชน์ จุดเด่นและประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ที่จะสามารถนำแนวทางขั้นตอนวิธีการไปวางแผน ตัดสินใจ แก้ปัญหา และประยุกต์ใช้กับงานวิจัยด้านอื่น ๆ ได้เช่น งานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย เรื่องการประเมินหาพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วม ภัยแล้งหรืออัคคีภัย หรืองานด้านสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม เรื่องการประเมินหาพื้นที่เสี่ยงการเกิดโรคระบาด เป็นต้น หรือสามารถนำไปต่อยอดเป็นทางออกใหม่ เพื่อให้เกิดเป็น Location Intelligence การวิเคราะห์ด้วยระบบภูมิสารสนเทศในมุมมองใหม่ๆ เช่น การจัดการเส้นทางการขนส่งขยะจากชุมชนบ้านเรือนต้นทางสู่ปลายทางคือ พื้นที่ฝังกลบขยะ หรือการแบ่งเขตความรับผิดชอบของพื้นที่ฝังกลบขยะแต่ละแห่งกับชุมชนโดยรอบ ซึ่งก่อให้เกิดประโยชน์ทางวิชาการต่อสังคม

## 7. ข้อเสนอแนะในการวิจัย

ข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ เป็นแนวทางเพื่อประโยชน์สำหรับการวิจัยด้านนี้ต่อไป

7.1 ควรทำการวิเคราะห์ศึกษาให้ครอบคลุมพื้นที่ท้องถิ่นในระดับจังหวัด เพื่อให้สอดคล้องกับระบบการบริหารงานแบบการกระจายอำนาจ (Decentralization) สู่ท้องถิ่น อันเป็นวิธีการที่ภาครัฐหรือราชการส่วนกลาง โอนอำนาจการปกครองหรือบริหารบางส่วนบางเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการจัดบริการสาธารณะให้องค์กรหรือนิติบุคคลอื่นรับไปดำเนินการแทน ภายในอาณาเขตของแต่ละท้องถิ่น ด้วยงบประมาณและเจ้าหน้าที่ของท้องถิ่น

7.2 ควรทำการศึกษาเชิงเปรียบเทียบ วิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยในพื้นที่ตามหลักวิชาการด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อนำจุดสถานที่ตั้งที่วิเคราะห์ได้ไปซ้อนทับเปรียบเทียบกับจุดที่ตั้งสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยที่มีอยู่เดิมในพื้นที่ ว่ามีความตรงกันหรือต่างกันอย่างไร เพื่อที่ให้ทราบถึงความถูกต้อง ความปลอดภัยของผลกระทบจากสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยมีอยู่เดิมมีการดำเนินการที่ตามหลักวิชาการ ด้วยการคัดเลือกพื้นที่หรือสถานที่ตั้งโดยพิจารณาเกณฑ์ด้านวิศวกรรม ด้านเศรษฐกิจและสังคมและด้านสิ่งแวดล้อม

## 8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการประเมินพื้นที่เหมาะสมสำหรับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยในอำเภอบึงสามพัน จังหวัดสระบุรี ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (เงินรายได้คณะสังคมศาสตร์) ประจำปี 2566 จึงทำให้สามารถดำเนินการวิจัยเรื่องนี้ได้สำเร็จ

## 9. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมการปกครอง. (20 มกราคม 2566). ระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารสถิติประชากรรายจังหวัด. สืบค้นจาก URL : <https://stat.bora.dopa.go.th/StatMIS/#/ReportStat/2>.
- [2] กรมควบคุมมลพิษ. รายงานสถานการณ์สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2563. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ. 2564.
- [3] ปราโมช เขียวชาญ. การฝังกลบอย่างถูกสุขาภิบาล (Sanitary Landfill). จุลสารวิชาการวิทยาศาสตร์สุขภาพออนไลน์ มสธ. 3(2557).
- [4] Environmental Protection Agency. Landfill manuals landfill site design. The Environmental Protection Agency, Ireland. 2000.

- [5] อัญพอล หมิ่นยงค์, จรินทร์ธร บุญญานุกา และดลเดช ตั้งตระการพงษ์. การคัดเลือกสถานที่ ฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาลโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ กรณีศึกษา จังหวัดลำพูน. การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ 41 และนานาชาติครั้งที่ 5, มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ฯ, ปทุมธานี, 8-9 ธันวาคม 2559.
- [6] Habiba I Mohammed, Z. Majid and Yamusa B Yamusa. GIS based sanitary landfill suitability analysis for sustainable solid waste disposal. In Institute of Physics Conf. Series: Earth and Environmental Science 220. IOP Publishing,2019.
- [7] สุภาวดี น้อยน้ำใส และปิยะดา วชิระวงศกร. การประเมินพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยแบบถูกหลักสุขาภิบาลในจังหวัดอุดรธานีโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร. 25(2017) 77-88.
- [8] J. Malczewski. GIS and Multicriteria Decision Analysis. John Wiley and Sons, Inc., New York. 1999.

## การรอดชีวิตและการเจริญเติบโตของต้นอะโวคาโดที่ขยายพันธุ์โดยการเสียบยอด แบบเสียบลิ่มและแบบผ่านบวบ

### Survival and Growth of Avocado Trees Propagated by Cleft and Splice Graftings

สมาพร เรืองสังข์<sup>1\*</sup> และ แคทรียา ธรรมรักษ์<sup>1</sup>

<sup>1</sup>หลักสูตรเกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

\*E-mail: samaporn@vru.ac.th

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบอัตราการรอดชีวิตและการเจริญเติบโตของต้นอะโวคาโดหลังเสียบยอดด้วยวิธีเสียบลิ่มและวิธีการผ่านบวบ โดยทำการทดลองที่โรงเรือนอะโวคาโด ศูนย์วิจัยเกษตรที่สูงเพชรบูรณ์ อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ใช้ต้นตอพันธุ์พื้นเมือง และยอดพันธุ์ดี KK4 ผลการวิจัยพบว่า หลังจากเสียบยอดเป็นเวลา 5 สัปดาห์ ต้นอะโวคาโดที่ขยายพันธุ์โดยวิธีเสียบลิ่มมีอัตราการรอดชีวิตมากกว่าวิธีผ่านบวบ โดยมีเปอร์เซ็นต์การติดยอดสำเร็จ 71 และ 46 ตามลำดับ ด้านการเจริญเติบโต การเสียบยอดแบบเสียบลิ่มทำให้ต้นอะโวคาโดมีจำนวนยอดที่แตกใหม่และความยาวยอดที่แตกใหม่มากกว่าการเสียบยอดแบบผ่านบวบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ  $P < .05$  คือ จำนวนยอดที่แตกใหม่เฉลี่ย 2.00 และ 1.25 ยอด ความยาวยอดที่แตกใหม่เฉลี่ย 5.46 และ 3.23 มิลลิเมตร ตามลำดับ สำหรับความสูงต้นตอ ความยาวยอดที่เสียบ และความกว้างยอดที่เสียบทั้งสองวิธีให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > .05$ ) โดยการเสียบยอดแบบผ่านบวบทำให้มีความสูงต้นตอ มากกว่าแบบเสียบลิ่ม (25.04 และ 23.74 เซนติเมตร) แต่แบบเสียบลิ่มทำให้ ยอดที่เสียบมีความยาวและความกว้าง (7.64 เซนติเมตร และ 6.08 มิลลิเมตร) มากกว่าแบบผ่านบวบ (7.08 เซนติเมตร และ 5.75 มิลลิเมตร)

**คำสำคัญ:** การเจริญเติบโต การรอดชีวิต เสียบยอดแบบผ่านบวบ เสียบยอดแบบเสียบลิ่ม อะโวคาโด

#### Abstract

This research aims to compare the survival rate and growth of avocado trees after apical grafting using the cleft and splice graftings. The experiment was conducted at the avocado greenhouse of Phetchabun Highland Agricultural Research Center, Khao Kho District, Phetchabun Province. The native rootstocks and scions KK4 were used. It was found that 5 weeks after grafting, avocado trees propagated by the cleft grafting have a higher survival rate than those obtained by the splice grafting with success percentages of 71 and 46, respectively. Growth of cleft grafting caused the avocado tree to have higher number of new shoots and length of new shoots than splice grafting with statistical significance at  $P < .05$  level. They had average number of new shoots of 2.00 and 1.25 shoot length. The average length of new shoots was 5.46 and 3.23 mm, respectively. In terms of rootstock height, length and width of the grafted shoots obtained by both methods were not significantly different ( $P > .05$ ). The rootstocks of splice

grafting were taller than those of cleft grafting (25.04 and 23.74 cm.). However, the cleft grafting makes the length and width of the inserted scions (7.64 cm. and 6.08 mm.) were greater than those of the splices grafting (7.08 cm. and 5.75 mm.)

**Keywords:** Growth, Survival, Splice grafting, Cleft grafting, Avocado

## 1. บทนำ

อะโวคาโด (*Persea americana*) จัดอยู่ในวงศ์ Lauraceae เป็นไม้ผลที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกอะโวคาโดรวมทั้งสิ้นประมาณ 1,200 ไร่ มีผลผลิต 350 ตันต่อปี โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในเขตภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย นครราชสีมา เลย เพชรบูรณ์ เป็นต้น [1] ผลอะโวคาโดมีคุณค่าทางอาหารสูงกว่าผลไม้อื่นๆ มีโปรตีนสูงแต่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำผู้ป่วยเบาหวานสามารถบริโภคได้ เป็นแหล่งพลังงาน กรดไขมันไม่อิ่มตัว แร่ธาตุ และวิตามิน ที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายในปริมาณค่อนข้างสูง รวมถึงสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งช่วยป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง โรคหัวใจและหลอดเลือด และโรคเบาหวาน นอกจากนี้ยังช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด [2] การบริโภคอะโวคาโดได้รับความนิยมมากขึ้น ปัจจุบันพบว่าผลผลิตอะโวคาโดยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาดจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณหรือการผลิตเพิ่มพื้นที่การผลิตโดยใช้เทคนิคการขยายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพ

การขยายพันธุ์อะโวคาโดโดยปกติจะใช้เมล็ด ซึ่งนำไปสู่ความแปรผันทางพันธุกรรม และใช้เวลาเจริญเติบโตนานให้ผลผลิตช้า ต้องใช้เวลาอย่างน้อย 6-7 ปี จึงจะให้ผล นอกจากนี้ยังทำให้ขนาด รูปร่าง ผิวของผล ลักษณะเนื้อ คุณภาพของผลผลิตไม่แน่นอน การเพาะเมล็ดจึงทำโดยมีจุดประสงค์ในการคัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์เป็นส่วนใหญ่หรือเพาะเมล็ดเพื่อใช้เป็นต้นตอในการติดตามหรือเสียบยอด การขยายพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศเป็นที่นิยมมากกว่าการใช้เมล็ด เนื่องจากเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการผลิตพืชที่มีคุณภาพและลักษณะตรงตามแม่พันธุ์ที่ต้องการ ทั้งนี้การขยายพันธุ์อะโวคาโดด้วยวิธีการติดตาต่อกิ่ง (grafting) เป็นวิธีที่นิยมอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะวิธีการเสียบยอดทำได้โดยการนำกิ่งพันธุ์ดี (scion) ที่มีมากกว่า 1 ตา มาต่อบนต้นตอ (rootstock) เพื่อให้เนื้อเยื่อเจริญทั้งสองแหล่งเชื่อมประสานเป็นต้นเดียวกัน เกิดรอยต่อที่แข็งแรง ให้มีชีวิตและเจริญเติบโตร่วมกันเสมือนเป็นพืชต้นเดียวกัน [3] มีการทดสอบผลของเทคนิคการติดตาต่อกิ่งหลายวิธีต่อการเจริญเติบโตของต้นอะโวคาโด โดยที่อิสลามาบัด (Islamabad) มีการศึกษาวิธีการขยายพันธุ์ 4 วิธี คือ การเสียบยอดแบบลิ้ม (cleft), tongue, patch และ T-budding ต่อการเจริญเติบโตของต้นอะโวคาโด 10 พันธุ์ พบว่าการเสียบยอดมีความเหมาะสมมากที่สุด โดยทำให้มีอัตราการรอดชีวิต 27.40 เปอร์เซ็นต์ และมีลักษณะการเจริญเติบโตทางลำต้นใกล้เคียงกับวิธี tongue grafting ซึ่งมากกว่าวิธีอื่น ได้แก่ จำนวนใบ พื้นที่ใบ จำนวนปล้อง และความยาวปล้อง ความยาวยอด และเส้นผ่านศูนย์กลาง สำหรับพันธุ์ที่มีการเจริญเติบโตดีที่สุดคือ NARC-Feurte และ NARC-Purple [4] ในขณะที่การทดลองขยายพันธุ์อะโวคาโดในประเทศอินเดียด้วยเทคนิค veneer grafting, cleft grafting, T-budding และ patch budding พบว่าหลังจากติดตาต่อกิ่ง 90 วัน การทำ cleft grafting ในเดือนกันยายนประสบความสำเร็จสูงที่สุดคือ 70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งได้ผลใกล้เคียงกับการทำ cleft graft ในเดือนมีนาคมที่ประสบความสำเร็จ 60 เปอร์เซ็นต์ มากกว่าวิธีอื่นและช่วงเวลาอื่น ยอดพันธุ์ดีที่นำมา graft เจริญเติบโตได้ดีกว่าการใช้เทคนิค budding หลังจากนั้น 1 ปี transportable seedlings จากการ cleft grafting ในเดือนกันยายนสูงสุดถึง 60 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าการขยายพันธุ์โดยเทคนิค cleft graft ในเดือนกันยายนและมีนาคมเหมาะสมที่สุดในการขยายพันธุ์ด้วยส่วนลำต้นของอะโวคาโดภายใต้สภาวะร้อนชื้น [5]

ความเข้ากันได้ของต้นตอและยอดพันธุ์ดีจึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และคุณภาพของผลผลิตอะโวคาโดที่มาจาก การขยายพันธุ์แบบเสียบยอด การเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานของต้นตอ/ยอดพันธุ์ดีเป็นข้อจำกัดอย่างหนึ่งของการขยายพันธุ์โดยการเสียบยอดซึ่งหมายถึงการไม่เข้ากันของเนื้อเยื่อทั้งสองแหล่ง มีการศึกษาผลกระทบของการเข้ากันได้



(Compatibility) และการไม่เข้ากัน (Incompatibility) ระหว่างต้นตออะโวคาโดพันธุ์ Creole ที่เจริญเติบโตจากเมล็ด และยอดอะโวคาโดพันธุ์ Hass และฤดูการเก็บเกี่ยวต่อการพัฒนาผล การแปรผันของอัตราการหายใจ และการเจริญเติบโตทางสัณฐานของผล พบว่าการไม่เข้ากันของเนื้อเยื่อไม่ส่งผลต่ออัตราการหายใจและการเจริญเติบโตของผลอะโวคาโด แต่ได้รับผลกระทบจากฤดูเก็บเกี่ยว ผลที่เก็บเกี่ยวในฤดูกาลหลักจะมีขนาดและน้ำหนักดีกว่าการเก็บเกี่ยวในฤดูกาลที่สอง [6] และเมื่อมีการเปรียบเทียบผลของการขยายพันธุ์อะโวคาโดพันธุ์ Duke 7 (*Persea americana*) ด้วยเทคนิคการโคลน (clone) ซึ่งเสียบยอดด้วยยอดพันธุ์ Hass และเทคนิคการเพาะต้นกล้าจากเมล็ดไม่มีการเสียบยอด ต่อการตัดแปรลักษณะสัณฐานของรากและการสะสมมวลชีวภาพของต้นอะโวคาโด โดยนำต้นอะโวคาโดพันธุ์ที่ได้จากการเสียบยอดและไม่เสียบยอดมาปลูก 1 ปี พบว่าเทคนิคการขยายพันธุ์ส่งผลต่อมุมการเจริญของรากใหญ่ (รากลำดับที่ 3) ต้นอะโวคาโดที่ขยายพันธุ์โดยการเสียบยอด (ต้นโคลน) มีระบบรากตื้น และมีรากฝอยเยอะ เพิ่มกลุ่มความยาวรากทั้งหมด พบรากที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดใหญ่ ไม่แตกแขนง อาจส่งเสริมการชอนไชลงดินของต้นโคลน เรียกว่า pioneer roots สำหรับต้นกล้าที่ไม่เสียบยอดจะมีรากแก้วและรากแขนงมุมแคบแทงลงดินได้ดีกว่า และเพิ่มชีวมวลของส่วนเหนือพื้นดิน แต่มีสัดส่วนราก/ยอด (root-shoot ratio) ต่ำกว่า [7]

อุปสรรคสำคัญของการขยายพันธุ์ด้วยการเสียบยอด คือ การเสียบยอดไม่สำเร็จ สาเหตุหลักมาจากการติดเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคพืช ในปี ค.ศ. 2021 มีการนำเสนอข้อมูลการทดลองขยายพันธุ์อะโวคาโดด้วยการเสียบยอด เกิดความล้มเหลวสูงสุดกับพันธุ์ Hass และ Fuerte ตามด้วยพันธุ์ Benkerton และ Reed สาเหตุที่พบบ่อยมาจากการติดเชื้อ *Lasiodiplodia theobromae* รองลงมาคือ *Fusarium moniliforme* ส่วนที่พบน้อยคือ *Alternaria alternata* ผู้วิจัยศึกษาการควบคุมโรคด้วยวิธีทางชีวภาพและเคมี พบว่า Amistar Top และ Bellis มีประสิทธิภาพในการลดการเจริญเติบโตของเชื้อโรคทั้ง 3 ชนิดได้มากที่สุด รองลงมาคือ Koside (2000) และ Star copper แต่ Serenade ASO และ Bio Zeid มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด โดย Amistar Top, Bellis และ Koside (2000) ทำให้การตอกกิ่งเสียบยอดอะโวคาโดพันธุ์ Hass และ Fuerte ประสบความสำเร็จ 91.00 และ 94.00 เปอร์เซ็นต์ เมื่อจุ่มยอดหรือกิ่งพันธุ์ใน Amistar Top 85.00 และ 87.00 เปอร์เซ็นต์ ใน Bellis 84.00 และ 87.00 เปอร์เซ็นต์ ใน Koside (2000) ตามลำดับ [8]

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงต้องการทดสอบอัตราการรอดชีวิตและอัตราการแตกยอดของต้นอะโวคาโดด้วยวิธีขยายพันธุ์แบบเสียบยอด โดยใช้วิธีการเสียบยอดแบบฟานบวบและวิธีการเสียบยอดแบบเสียบลิ้ม เพื่อให้ได้ต้นพันธุ์ที่ไม่มีการกลายพันธุ์และยังสามารถขยายพันธุ์ได้อย่างรวดเร็วต้นพันธุ์มีความแข็งแรงสมบูรณ์

## 2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อเปรียบเทียบอัตราการรอดชีวิตของต้นอะโวคาโดหลังเสียบยอดด้วยวิธีการเสียบลิ้มและวิธีการฟานบวบ
- 2.2 เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของต้นอะโวคาโดหลังเสียบยอดด้วยวิธีการเสียบลิ้มและวิธีการฟานบวบ

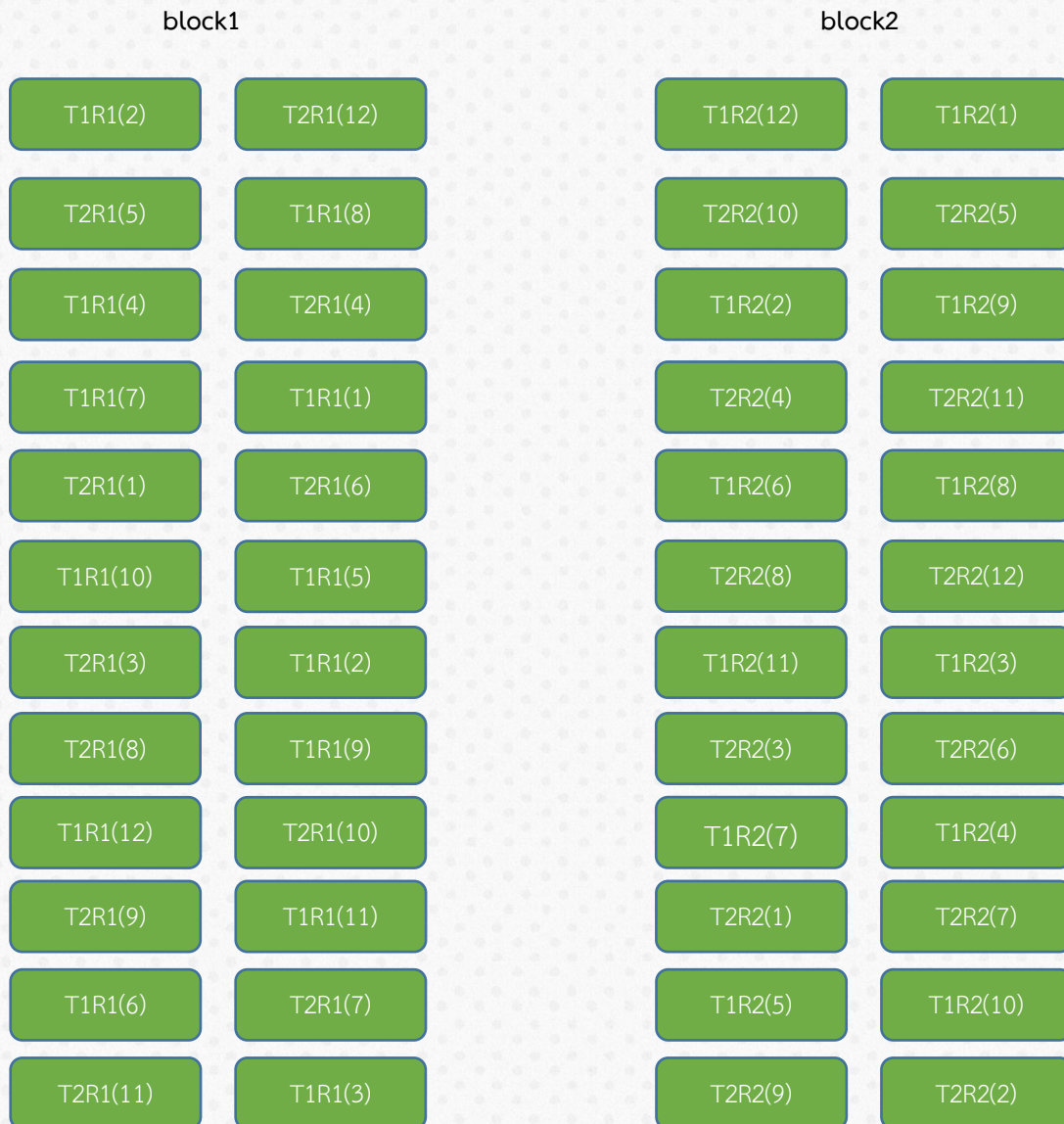
## 3. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

### 3.1 แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) แบ่งออกเป็น 2 Blocks ในแต่ละ Block มี 2 กรรมวิธี (T1, T2) แต่ละกรรมวิธีมี 1 ซ้ำ (Block1 มี ซ้ำ R1, Block 2 มีซ้ำ R2) แต่ละซ้ำของแต่ละกรรมวิธีมี 12 ต้น

กรรมวิธีที่1: การเสียบยอดแบบเสียบลิ้ม (T1)

กรรมวิธีที่2: การเสียบยอดแบบฟานบวบ (T2)



หมายเหตุ T1R1(1) – T1R1(12) หมายถึง กรรมวิธีที่ 1 ซ้ำที่ 1 ต้นที่ 1 ถึงต้นที่ 12  
 T2R1(1) – T2R1(12) หมายถึง กรรมวิธีที่ 2 ซ้ำที่ 1 ต้นที่ 1 ถึงต้นที่ 12  
 T1R2(1) – T1R2(12) หมายถึง กรรมวิธีที่ 1 ซ้ำที่ 2 ต้นที่ 1 ถึงต้นที่ 12  
 T2R2(1) – T2R2(12) หมายถึง กรรมวิธีที่ 2 ซ้ำที่ 2 ต้นที่ 1 ถึงต้นที่ 12

ภาพที่ 1 แผนผังการวางแผนการทดลองแบบ RCBD



ภาพที่ 2 การวางต้นอะโวคาโด แบบ RCBD

### 3.2 การเตรียมต้นตอ และยอดพันธุ์ดี

3.2.1 ใช้ต้นตออะโวคาโดพันธุ์พื้นเมือง ปลุกโดยการเพาะเมล็ด อายุต้นตอ 150 วัน และต้นตอมีลักษณะ ขนาดใกล้เคียงกัน

3.2.2 ใช้ยอดอะโวคาโดพันธุ์ KK4 (สายต้นที่เพาะจากเมล็ด มีลักษณะดีให้ผลผลิตสูงนำมาเปรียบเทียบกับสายต้นในแหล่งปลูกที่ศูนย์วิจัยเกษตรที่สูงเพชรบูรณ์ เพื่อให้ได้พันธุ์ที่เหมาะสมสำหรับปลูกในไทย) ลักษณะที่พร้อมในการขยายพันธุ์คือ ต้องมีลักษณะใกล้เคียงกัน ด้านความยาวยอด ขนาด และอายุ เป็นกิ่งที่มีความสมบูรณ์แข็งแรง ปราศจากโรคแมลง มีตาดอกตูมตามซอก



ภาพที่ 3 ต้นตออะโวคาโดพันธุ์พื้นเมือง (ซ้าย) และยอดอะโวคาโดพันธุ์ KK4 (ขวา)

### 3.3 วิธีการขยายพันธุ์แบบเสียบยอด

ทำการเสียบยอดอะโวคาโด ดังนี้

#### 3.3.1 การเสียบยอดแบบเสียบลิ้ม (apical cleft grafting)

ตัดยอดต้นตอที่แตกใหม่ ให้เหลือยาวประมาณ 4 นิ้ว แล้วผ่ากลางกิ่งพืชที่ต้องการเสียบยอด ให้ลึกประมาณ 2 นิ้ว เชื่อนยอดพันธุ์ดีเป็นรูปลิ้ม ยาวประมาณ 2 นิ้ว เสียบยอดพันธุ์ดีลงในแผลของต้นตอให้รอยแผลทั้งสองตรงกัน แล้วใช้เทปพันกิ่งพันรอบรอยแผลให้แน่น โดยพันจากล่างขึ้นบนเพื่อป้องกันน้ำเข้ารอยแผล



**ภาพที่ 4** การเสียบยอดแบบเสียบลิ้ม (ก) ผ่ากลางกิ่งต้นตอที่ต้องการเสียบยอดให้ลึกประมาณ 2 นิ้ว (ข) เชื่อนยอดพันธุ์ดีเป็นรูปลิ้มยาวประมาณ 2 นิ้ว (ค) เสียบยอดพันธุ์ดีลงในแผลของต้นตอให้รอยแผลทั้งสองตรงกัน (ง) ใช้เทปพันกิ่งพันรอบรอยแผลให้แน่น

#### 3.3.2 การเสียบยอดแบบฝานบวบ (Splice grafting)

เชื่อนต้นตอให้เฉียงขึ้น เป็นลักษณะเช่นเดียวกับการฝานบวบ ให้ความยาวของรอยเชื่อน ประมาณ 1-1.5 นิ้ว รอยแผลที่ได้จะมีลักษณะคล้ายโล่ เชื่อนกิ่งพันธุ์ดีให้มีลักษณะและขนาดเช่นเดียวกับต้นตอ แต่เชื่อนลง(ตรงข้ามกับต้นตอ) นำกิ่งพันธุ์ดีประกบเข้ากับต้นตอ โดยให้รอยแผลประกบกันให้สนิทใช้เทปพันกิ่งพันรอบรอยแผลให้แน่น โดยพันจากล่างขึ้นบน เพื่อป้องกันน้ำเข้ารอยแผล



ภาพที่ 5 การเสียบยอดแบบฝานบวบ (ก) เชื่อมต้นตอให้เฉียงขึ้นเป็นลักษณะเช่นเดียวกับการฝานบวบ  
(ข) เชื่อมกิ่งพันธุ์ดีให้มีลักษณะและขนาดเช่นเดียวกับต้นตอแต่เชื่อมลงตรงข้ามกับต้นตอ  
(ค) นำกิ่งพันธุ์ดีประกบเข้ากับต้นตอ โดยให้รอยแผลประกบกันให้สนิท (ง) ใช้เทปพันกิ่งพันธุ์รอบรอยแผลให้แน่น

### 3.4 การดูแลรักษา

เมื่อเสียบยอดสำเร็จให้น้ำวันเว้นวัน (ช่วงเช้า) เพื่อลดการเกิดโรครากเน่า เมื่อถึงระยะสัปดาห์ที่ 2 บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นอะโวคาโด จนถึงสัปดาห์ที่ 5 สิ้นสุดการทดลอง

### 3.5 การบันทึกข้อมูล

เมื่อถึงระยะ 2 สัปดาห์ บันทึกความสูงต้น จำนวนยอดที่แตก ความยาวยอดที่เสียบ ความกว้างยอดที่เสียบ ความยาวยอดที่แตกใหม่ จนถึงสัปดาห์ที่ 5 บันทึกการรอดชีวิตโดยนับจำนวนต้นที่รอดเป็นเปอร์เซ็นต์ สิ้นสุดการบันทึกข้อมูล

### 3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.6.1 นำข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นอะโวคาโด ความสูงต้นตอ จำนวนยอดที่แตก ความยาวยอดที่เสียบ ความกว้างยอดที่เสียบ ความยาวยอดที่แตกใหม่ ไปทำการวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3.6.2 คำนวณการรอดชีวิตโดยใช้สูตร

$$\text{อัตราการรอดชีวิตของกิ่งพันธุ์} = \frac{\text{จำนวนยอดที่รอดชีวิต}}{\text{จำนวนยอดที่เสียบยอดทั้งหมดของแต่ละกรรมวิธี}} \times 100$$

#### 4. ผลการทดลองและอภิปรายผล

##### 4.1 การรอดชีวิตของต้นอะโวคาโดหลังเสียบยอดด้วยวิธีการเสียบลิ่มและวิธีการฝานบวบ

การศึกษาการรอดชีวิตของต้นอะโวคาโดหลังเสียบยอดโดยวิเคราะห์จากค่าเปอร์เซ็นต์การติดยอดสำเร็จหลังเสียบยอดด้วยวิธีการเสียบลิ่มและวิธีการฝานบวบ ผลการทดลองแสดงดังแผนภูมิต่อไปนี้



ภาพที่ 6 เปรียบเทียบการเสียบยอดสำเร็จ

จากภาพที่ 6 พบว่า เปอร์เซ็นต์การติดยอดสำเร็จสูงที่สุด คือ วิธีการเสียบยอดแบบเสียบลิ่มมีเปอร์เซ็นต์การติดยอดสำเร็จสูงที่สุดถึง 71 เปอร์เซ็นต์และเปอร์เซ็นต์การติดยอดไม่สำเร็จ 29 เปอร์เซ็นต์ สำหรับวิธีการเสียบยอดแบบฝานบวบมีเปอร์เซ็นต์การติดยอดสำเร็จ 46 เปอร์เซ็นต์และเปอร์เซ็นต์การติดยอดไม่สำเร็จ 54 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

##### 4.2 การเจริญเติบโตของต้นอะโวคาโดหลังเสียบยอด

ตารางที่ 1 การเจริญเติบโตของต้นอะโวคาโด

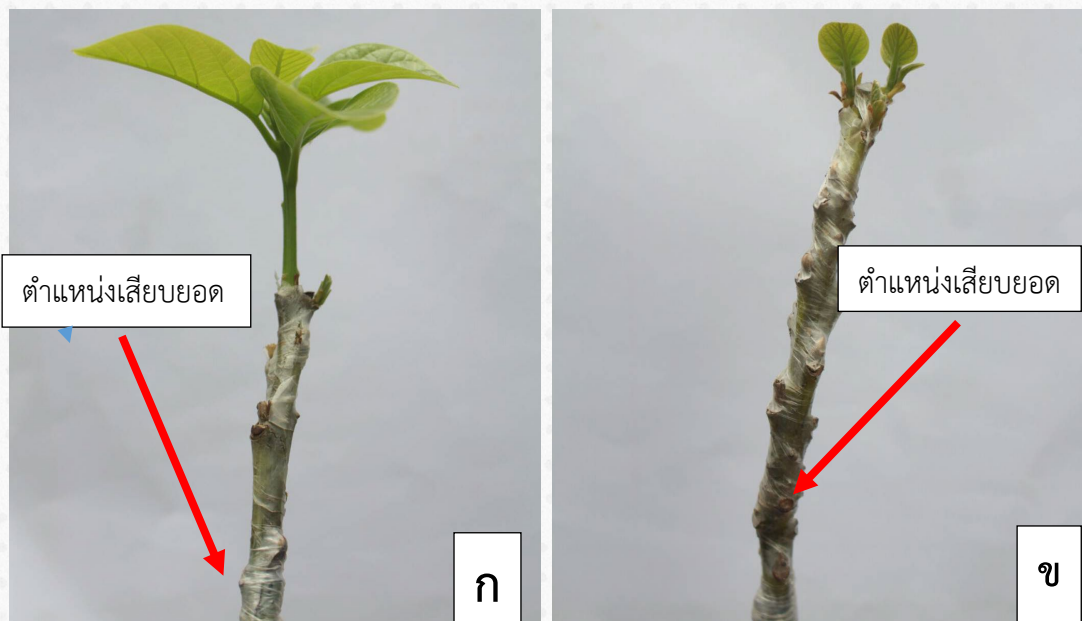
วิธีการ	การเจริญเติบโตหลังการเสียบยอด				
	ความสูงต้น ต่อ (cm.)	จำนวนยอด ที่แตกใหม่	ความยาวยอดที่ เสียบ (cm.)	ความกว้างยอดที่ เสียบ (mm.)	ความยาวยอดที่ แตกใหม่ (mm.)
แบบเสียบลิ่ม	23.74	2.00 <sup>a</sup>	7.64	6.08	5.46 <sup>a</sup>
แบบฝานบวบ	25.04	1.25 <sup>b</sup>	7.08	5.75	3.23 <sup>b</sup>
C.V. (เปอร์เซ็นต์)	19.11	77.48	17.02	10.5	85.8
	NS	*	NS	NS	*

หมายเหตุ (1) ตัวอักษรภาษาอังกฤษ (superscript) ที่ต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการวิเคราะห์แบบ DMRT (Duncan Multiple Rang Test)

(2) C.V. ย่อจาก coefficient of variation ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผัน

(3) NS ย่อจาก non-significant ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และ \* หมายถึง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

หลังเสียบยอดเป็นเวลา 5 สัปดาห์ การเจริญเติบโตของอะโวคาโดในตารางที่ 1 ต้นอะโวคาโดที่เสียบยอดแบบผ่านบวบมีความสูงของต้นตอมากกว่าต้นที่เสียบยอดแบบเสียบลิ้ม แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > .05$ ) คือ 25.04 เซนติเมตร และ 23.74 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนต้นอะโวคาโดที่มีการเสียบยอดแบบเสียบลิ้มมีจำนวนและความยาวของยอดที่แตกใหม่มากกว่าอะโวคาโดที่มีการเสียบยอดแบบผ่านบวบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < .05$ ) คือ จำนวนยอดที่แตกใหม่ 2.00 ยอดและ 1.25 ยอด และ ความยาวยอดที่แตกใหม่ 5.46 มิลลิเมตร และ 3.23 มิลลิเมตร ตามลำดับ สำหรับความยาวและความกว้างของยอดพันธุ์ดี KK4 ที่นำมาเสียบยอดโดยวิธีเสียบลิ้มมีการเจริญเติบโตดีกว่ายอดพันธุ์ดี KK4 ที่เสียบยอดแบบผ่านบวบ แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > .05$ ) คือ ความยาวยอด KK4 7.64 เซนติเมตร และ 7.08 เซนติเมตร และความกว้างยอด KK4 6.08 มิลลิเมตรและ 5.75 มิลลิเมตร ตามลำดับ



ภาพที่ 7 ตัวอย่างการติดยอดสำเร็จทั้ง 2 วิธี (ก) วิธีการเสียบยอดแบบเสียบลิ้ม (ข) วิธีการเสียบยอดแบบผ่านบวบ

งานวิจัยครั้งนี้ได้ผลการทดลองต่างจากงานวิจัยของ [3] ที่พบว่า การต่อกิ่งอะโวคาโดแบบผ่านบวบเป็นวิธีการขยายพันธุ์ที่ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคต่อกิ่งแบบเสียบลิ้ม แบบเสียบข้าง และแบบเสียบเปลือก โดยแบบผ่านบวบให้ผลสำเร็จในการต่อกิ่งอะโวคาโดสูงสุด 66.67 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือแบบเสียบลิ้ม 41.67 เปอร์เซ็นต์ แบบเสียบข้างและแบบเสียบเปลือกให้ 16.67 เปอร์เซ็นต์ และ 25.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่งานวิจัยครั้งนี้ใช้เทคนิคการเสียบยอดแบบเสียบลิ้มได้ผลสำเร็จมากกว่าแบบผ่านบวบ ในเปอร์เซ็นต์ที่มากกว่า คือ 71 เปอร์เซ็นต์ และ 46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ได้ผลต่างกันอาจเนื่องมาจากชนิดของพันธุ์ต้นตอและยอดพันธุ์ดีที่นำมาเสียบยอดแตกต่างกัน งานวิจัยครั้งนี้ใช้ต้นตอพันธุ์พื้นเมืองและยอดพันธุ์ดี KK4 นอกจากนี้ขนาดและอายุของต้นตอและยอดพันธุ์ดีเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการรอดชีวิตและการเจริญเติบโตของต้นอะโวคาโดที่ผ่านการเสียบยอด ในปี ค.ศ. 2023 มีการศึกษาพบวิธีที่เหมาะสมสำหรับการขยายพันธุ์อะโวคาโดพันธุ์ Hass คือการเสียบยอดด้วยต้นตอขนาด 60-70 กรัม และยอดพันธุ์ดีขนาดอายุ 90 วัน ทำให้มีอัตราการรอดชีวิตสูงสุด 94.98 เปอร์เซ็นต์ ได้พืชต้นใหม่ที่เจริญเติบโตได้ดีกว่าเดิมและอัตราการงอกเร็วกว่าเดิม ทำให้ลดระยะเวลาในเนออสรี เปรียบเทียบกับงานวิจัยครั้งนี้ที่ใช้ต้นตอพันธุ์พื้นเมืองอายุ 150 วัน และคัดเลือกยอดพันธุ์ KK4 ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน โดยพิจารณาความยาวยอด ขนาด อายุ มีตาดอกตามซอก กิ่งสมบูรณ์ปราศจากโรค เป็นต้น [9]

ข้อเสนอแนะในการทดลองครั้งต่อไป ควรทดลองการเสียบยอดอะโวคาโดด้วยวิธีอื่น เพื่อค้นหาวิธีที่เหมาะสมที่สุดกับต้นอะโวคาโดพันธุ์ที่ต้องการ เช่น การเสียบยอดแบบเสียบข้าง และทดลองกระตุ้นการเจริญเติบโตหลังเสียบยอดด้วยการให้ความมืด [10] หรือการให้สารกระตุ้นการเจริญเติบโต [11]

## 5. บทสรุป

การขยายพันธุ์อะโวคาโดด้วยวิธีการเสียบยอดแบบเสียบลิ้มและแบบฝานบวบส่งผลต่ออัตราการรอดชีวิตและการเจริญเติบโตของต้นอะโวคาโดหลังเสียบยอดแตกต่างกัน ต้นอะโวคาโดที่ใช้วิธีเสียบยอดแบบเสียบลิ้มมีอัตราการรอดชีวิตมากกว่าการเสียบยอดแบบฝานบวบ โดยวิธีเสียบลิ้มมีเปอร์เซ็นต์การติดยอดสำเร็จ 71 เปอร์เซ็นต์ วิธีฝานบวบมีเปอร์เซ็นต์การติดยอดสำเร็จ 46 เปอร์เซ็นต์

การเจริญเติบโตหลังเสียบยอดด้วยวิธีเสียบลิ้มและฝานบวบมีความแตกต่างกันคือ อะโวคาโดที่ได้จากการเสียบลิ้มมีจำนวนยอดที่แตกใหม่ และความยาวยอดที่แตกใหม่มากกว่าวิธีฝานบวบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ  $P < .05$  คือจำนวนยอดที่แตกใหม่ 2.00 ยอดและ 1.25 ยอด และความยาวยอดที่แตกใหม่ 5.46 มิลลิเมตรและ 3.23 มิลลิเมตร ตามลำดับ แต่วิธีเสียบลิ้มทำให้อะโวคาโดมีความยาวยอดที่เสียบและความกว้างยอดที่เสียบมากกว่าแบบฝานบวบอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > .05$ ) คือ ความยาวยอดที่เสียบ 7.64 เซนติเมตรและ 7.08 เซนติเมตร ความกว้างยอดที่เสียบ 6.08 มิลลิเมตร และ 5.75 มิลลิเมตร ตามลำดับ ด้านความสูงของต้นอะโวคาโดที่ใช้วิธีการเสียบยอดแบบฝานบวบมีความสูงต้นตอมากกว่าวิธีเสียบลิ้มไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ 25.04 เซนติเมตร และ 23.74 เซนติเมตร

## 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้เป็นโครงการร่วมมือด้านการวิจัยร่วมระหว่างคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี และศูนย์วิจัยเกษตรที่สูงเพชรบูรณ์ จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยได้รับการสนับสนุนด้านสถานที่ วัสดุ และอุปกรณ์ จากศูนย์วิจัยเกษตรที่สูงเพชรบูรณ์

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ฉลองชัย แบบประเสริฐ. อะโวคาโด. ส่วนวิชาการ กองพัฒนาเกษตรกรที่สูง, กรุงเทพฯ. 2544.
- [2] J. A. Villa-Rodríguez, F. J. Molina-Corral, J. F. Ayala-Zavala, G. I. Olivas, G. A. González-Aguilar. Effect of maturity stage on the content of fatty acids and antioxidant activity of 'Hass' avocado. Food Research International 44 (2011) 1231–1237.
- [3] ขวัญหทัย ทนงจิตร, พิณิจ กรินทร์ธัญญกิจ, กัลยาณี สุวิทวัส, เรืองศักดิ์ กมขุนทด, และพิมพ์นิภา เพ็งช่าง. อิทธิพลของพันธุ์และวิธีการตอกิ่งที่มีผลต่อการขยายพันธุ์อะโวคาโดพันธุ์ปีเตอร์สัน. รายงานสืบเนื่องการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53. กรุงเทพฯ. 2558. 423-430
- [4] M. I. Kasana, R. I. Khan, N. U. Khan, M. Noman, S. Ali, S. Mumtaz, S. Rasheed, M. Qamar-Uz-Zaman. Impact of grafting techniques on vegetative growth of different avocado cultivars. Pakistan Journal of Agricultural Research 37(2024) 39-47.
- [5] P. C. Tripathi, G. Karunkaran. Standardization of time and method of propagation in avocado. Journal of Applied Horticulture 21(2019) 67-69.



- [6] L. E. Cano-Gallego, J. A. B. Estrada, J. D. H. Arredondo, G. A. Correa-Londono, O. de J. Cordoba-Gaona. Graft compatibility effects on cv. Hass avocado fruit growth. *Ciencia e Agrotechnologia*, 47(2023) 1-16.
- [7] C. Fasiio, R. Cautin, A. Perez-Donoso, C. Bonomelli, M. Castro. Propagation techniques and grafting modify the morphological traits of roots and biomass allocation in avocado tree. *HortTechnology* 26(2016) 63-69.
- [8] G. A. Monir, M. A. Radwan, M. S. S. Hassan. Protecting avocado seedlings from grafting failure during propagation in nursery using biological and chemical control. *Egyptian Journal of Phytopathology* 49 (2021) 41-53
- [9] B. Subash, S. Muthuramalingam, R. Balakumbahan, K. Venkatesan, T. Anitha. *Standardization of softwood grafting in avocado (Persea americana Mill.)*. *International Journal of Environment and Climate Change* 13 (2023) 2444-2451.
- [10] B. C. Sarker, J. Gomasta. Technique, time, and etiolation applications influencing the grafting success in avocado (*Persea americana* Mill.). *International Journal of Horticultural Science and Technology* 11(2024) 147-162.
- [11] P. Shindre, K. HS. Yallesh, S. M. Narayana, M. Ganapathi, HS. Chaitanya. Effect of growth stimulants on growth and survivability of avocado (*Persea americana* Mill.) grafts under hill zone of Karnataka. *The Pharma Innovation Journal* 12 (2032) 3479-3481.

# สัญญาณรบกวนควอนตัมภายในวงแหวนสั่นพ้องแพนด้าในการกระจายกุญแจควอนตัม

## Quantum Noise within a Panda Ring Resonator in Quantum Key Distribution

ชัชวาล ศรีภักดี<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>กลุ่มวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
กรุงเทพฯ 10800

\*E-mail: chatchawal.s@rmutp.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและวิเคราะห์แฮมิลโทเนียนของการสร้างเอ็นแทงเกิลโฟตอนในวงแหวนสั่นพ้องแพนด้าระดับไมครอนเพื่อใช้เป็นหน่วยการสร้างกุญแจควอนตัมบิตในการประมวลผลการเข้ารหัสควอนตัม ได้ทำการวิเคราะห์จากแมทริกซ์ความหนาแน่นแบบลดรูปสำหรับสถานะคิวบิตสองระดับโดยใช้สมการการเคลื่อนที่ของไฮเซนเบิร์กแบบไดนามิกประยุกต์ใช้กับแฮมิลโทเนียนที่สร้างขึ้นจนได้สมการหลักที่รวมเข้ากับผลกระทบจากแหล่งความร้อนแสดงถึงความผันผวนของตัวดำเนินการของเอ็นแทงเกิลโฟตอน ผลการจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับความน่าจะเป็นของสถานะคิวบิตที่อยู่รอดจากผลกระทบของการมีอยู่ของแหล่งความร้อนโดยรอบก็ได้แสดงการวิเคราะห์ด้วย

**คำสำคัญ:** วงแหวนสั่นพ้องแพนด้า การกระจายกุญแจควอนตัม สัญญาณรบกวนควอนตัม

### Abstract

This work aims to create and analyze Hamiltonian for the production of entangled photons in the panda ring resonator at the micron level to be employed as a quantum key distribution device to handle quantum encoding. Apply the dynamic Heisenberg equation of motion for two-level qubit states to the Hamiltonian, and then the reduced density matrix i.e., the main equation was analyzed. The relevant value variations for complex operators are displayed by the main equation in conjunction with the thermal effect. In addition, the best simulation findings regarding the likelihood that the qubit state will withstand the impact of the nearby heat sink are shown and examined.

**Keywords:** Panda ring resonator, Quantum key distribution, Quantum noise

## 1. บทนำ

สัญญาณรบกวนควอนตัมส่งผลกระทบต่อปรากฏการณ์การขนส่งเชิงคลื่นและเชิงอนุภาค [1] ซึ่งจะส่งผลกระทบมากขึ้นเมื่อแอมพลิจูดของสัญญาณคลื่นโฟตอนมีค่าต่ำมากเช่นในกระบวนการผลิตเอ็นแทงเกิลโฟตอน (entangled photons) ด้วยกระบวนการผสมสัญญาณคลื่นแสงอาพันธ์แบบโพรวเวฟมิกซิง (four-wave mixing process) กล่าวโดยคร่าวๆ จากหลักความไม่แน่นอนเชิงควอนตัมของคู่ประจักษ์ประกอบควอเทรเจอร์เมื่อสนามไฟฟ้าของคลื่นของโฟตอนถูกขยายขึ้นจะทำให้เกิดความไม่แน่นอนขึ้นซึ่งจะปรากฏเป็นสัญญาณรบกวนขึ้น ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดขีดจำกัดล่างของสัญญาณรบกวนของเครื่องขยายสัญญาณเชิงควอนตัม [2] ในโลกระดับจุลภาคระบบควอนตัมจึงมีอันตรกิริยากับแหล่งโบซอนหรือเฟอร์มิออน [3] นี่จึงเป็นสถานการณ์ของระบบควอนตัมแบบเปิดซึ่งเกิดกับระบบการผลิตเอ็นแทงเกิลโฟตอนด้วยเช่นกัน สถานการณ์เช่นนี้คือการทำลายความอาพันธ์เชิงควอนตัมในระบบเอ็นแทงเกิลซึ่งโดยปกติก็มีสาเหตุมาจากความแตกต่างเชิงความร้อนที่อยู่รอบๆ อนุภาคโฟตอนที่เกิดการเอ็นแทงเกิลกันอยู่แล้ว กรณีส่วนใหญ่สัญญาณการรบกวนเชิงควอนตัมจะหมายถึงความผันผวนหรือการกระเพื่อมของสัญญาณในระบบทัศนศาสตร์ของแสงเลเซอร์ที่เดิมมีความเสถียรและตัวตรวจจับสัญญาณที่เดิมมีประสิทธิภาพดีอยู่แล้ว การวิเคราะห์สัญญาณรบกวนของคู่สถานะควอนตัมบิต (quantum bit) หรือคิวบิต จะใช้เกณฑ์ของพิชเชอร์เพื่อศึกษาสภาพเอ็นแทงเกิลในการประมาณค่าพารามิเตอร์ควอนตัมซึ่งขึ้นอยู่กับการแปลงยูนิทารีที่รวมพารามิเตอร์การรบกวนเข้าไว้ด้วย [4]

ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้ผลิตไมโครชิปวงแหวนสั้นพองแพนด้าเพื่อนำมาใช้งานเป็นแหล่งผลิตเอ็นแทงเกิลโฟตอนตลอดจนใช้ในการควบคุมความเป็นอาพันธ์ของพวกมันด้วย โฟตอนถูกผลิตขึ้นด้วยหลักการซ้อนทับที่สอดคล้องกันของโหมดความถี่สูงที่มีความบริสุทธิ์สูงหลายโหมด [5, 6] นอกจากนี้ยังมีความสำเร็จของการแลกเปลี่ยนสถานะควอนตัมระหว่างบรรดาโฟตอนสองพวกที่มีความถี่ความถี่ต่างกันอย่างมากโดยใช้การเปลี่ยนสถานะของอะตอมชนิดที่ระดับพลังงานสามระดับในย่านสเปกตรัมของแสงที่ตามองเห็นได้ใช้สำหรับหน่วยความจำควอนตัม และยังใช้ในการแลกเปลี่ยนสถานะอีกพวกหนึ่งซึ่งเป็นของพวกความยาวคลื่นในช่วงโทรคมนาคม (ความยาวคลื่น 1,550 นาโนเมตร) สำหรับการส่งผ่านระยะไกลผ่านในเส้นใยแก้วนำแสง ซึ่งได้รับการตรวจสอบสำหรับเครื่องกำเนิดเอ็นแทงเกิลโฟตอนแบบโพรวเวฟมิกซิงซึ่งมีการเหนี่ยวนำทำให้เกิดสัญญาณรบกวนควอนตัมด้วย [7]

ในงานวิจัยนี้จะสร้างแฮมิลโทเนียน (Hamiltonian) สำหรับกระบวนการโพรวเวฟมิกซิงการเกิดเอ็นแทงเกิลโฟตอนรวมเข้ากับผลของการมีอันตรกิริยากับอ่างความร้อน เพื่อแสดงให้เห็นถึงทราบดีกการวิวัฒน์ที่ขึ้นกับเวลาของตัวดำเนินการเมทริกซ์ความหนาแน่นแบบลดรูปสำหรับระบบสถานะสองระดับเช่นคิวบิตชนิดโพลาริซชันที่มีอันตรกิริยากับตัวตรวจจับโฟตอนของแสงสองระดับสถานะแบบราบิ นอกจากนี้กระแสสัญญาณไฟฟ้าการรบกวนที่ขึ้นกับเวลาในควอนตัมอิเล็กทรอนิกส์จากเครื่องตรวจจับโฟตอนแสงก็จะถูกพิจารณาในทางทฤษฎีด้วย

## 2. วิธีการวิจัย

สิ่งสำคัญที่สุดในการประมวลผลตรรก (logic) ในทางวิศวกรรมสารสนเทศเชิงควอนตัมขึ้นอยู่กับควอนตัมบิต เช่น คิวบิตสถานะสปินของอะตอมหรือคิวบิตสถานะโพลาริซชันของโฟตอน ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้คิวบิตสถานะโพลาริซชันของโฟตอนในการประมวลผลการเข้ารหัสเชิงควอนตัม (quantum cryptography) โดยที่สถานะโฟตอนคิวบิตโพลาริซชันของโฟตอนสามารถเขียนได้ในรูปแบบ [8]

$$\psi = \alpha|H\rangle + \beta|V\rangle \quad (1)$$

โดยที่  $|H\rangle$  และ  $|V\rangle$  คือ สถานะโพลาริซชันแนวอนและแนวตั้งของโฟตอนตามลำดับ ด้วยค่าคงที่ของความน่าจะเป็น  $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$  สถานะคิวบิตนี้จะฉายภาพลงบนสถานะเอ็นแทงเกิลโฟตอนด้วยโพลาริซชันตามวิธีการควอนตัมเทเลพอร์ต

(quantum teleport) โดยอาศัยเครื่องกำเนิดสัญญาณควอนตัมของช่องการสื่อสารแบบควอนตัมระยะไกลจำนวนสองช่องคือที่หน่วยประมวลผลการสื่อสารของผู้รับและผู้ส่งข้อมูลซึ่งอยู่คนละที่กันเพื่อเข้ารหัส/ถอดรหัสข้อมูลการสื่อสารระหว่างกันเพื่อไม่ให้มือที่สามเข้ามาดักฟังข่าวสาร ผลสืบเนื่องจากการสร้างเอ็นแทงเกิลโฟตอนโดยการยิงพัลส์ของเลเซอร์ที่มีความเข้มสูงมากเข้าไปในแสงแว่นสันฟุ้งแพนด้าที่ทำมาจากวัสดุที่มีสภาพอ่อนไหวที่ไม่เป็นเชิงเส้นลำดับที่สาม  $\chi^{(3)}$  ให้แผ่เข้าไปในวงแหวนหลายรอบเพื่อให้เกิดกระบวนการโพรววมิกซิง การขยายความแรงของสัญญาณจะทำให้เกิดปัญหาเฟสไม่ตรงกันพร้อมด้วยสัญญาณรบกวนต่อการเป็นเอ็นแทงเกิลของสถานะสองระดับ ดังนั้นการขยายความแรงของสัญญาณที่ยิงพัลส์แสงแว่นสันฟุ้งแพนด้าที่เป็นวัสดุแบบไม่เชิงเส้นจะถือว่าเป็นอ่างความร้อนที่ประกอบด้วยอะตอมจำนวน  $N$  อะตอมซึ่งมีระดับพลังงานแบบสองสถานะนั่นเอง โดย  $N_1$  อยู่ในสถานะกระตุ้นและ  $N_2$  อยู่ในสถานะพื้น โดยที่ประชากร  $N_1 > N_2$  ซึ่งหมายความว่าความแข็งแกร่งทนทานของสถานะโฟตอนควิบิตสามารถยืนหยัดกับเงื่อนไขการขยายสัญญาณของตัวกลาง คือ

$$G = e^{\gamma_{jk}(N_1 - N_2)t} \quad (2)$$

โดยที่  $\gamma_{jk}$  คือ สัมประสิทธิ์การเสื่อมสลายที่เป็นไปตามเงื่อนไข

$$|G|^2 < \frac{2N_1}{N_1 + N_2} < 2 \quad (3)$$

ภายใต้การอนุรักษ์พลังงาน  $f_s + f_d = 2f_p$  และการอนุรักษ์โมเมนตัม  $k_s + k_d = k_p$  และเฟสที่ไม่ตรงกันสามารถเขียนได้เป็น [9]

$$\Delta\varphi = \varphi_s + \varphi_d - 2\varphi_p \quad (4)$$

โดยที่  $s, d$  และ  $p$  คือ โหมดสัญญาณ (signal mode) โหมดนิ่งเฉย (idler mode) และโหมดการปั๊ม (pumping mode) ของโฟตอนตามลำดับ ในแง่ของความเข้มของแสงการปั๊มที่เข้มข้นรุนแรงสิ่งนี้จะทำให้เกิดผลกระทบที่ไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งสัมพันธ์กับแสงเชิงเส้น

ระบบแฮมิลโตเนียนประกอบด้วยสองส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นระบบของเอ็นแทงเกิลโฟตอนในวงแหวนสันฟุ้งแพนด้าระดับไมครอนที่เป็นวัสดุไม่เชิงเส้นสามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการ

$$\hat{H}_F = i\hbar(\chi^{(3)}\hat{a}_s^\dagger\hat{a}_d^\dagger - \chi^{(3)*}\hat{a}_s\hat{a}_d) \quad (5)$$

โดยที่  $i = \sqrt{-1}$   $\hbar = h/2\pi$  โดยที่  $h$  คือ ค่าคงที่ของพลังค์  $s$  เป็นโหมดสัญญาณ  $d$  เป็นโหมดนิ่งเฉย และ  $\chi^{(3)}$  คือ สภาพอ่อนไหวแบบไม่เชิงเส้นของวัสดุ  $\hat{a}_s^\dagger$  และ  $\hat{a}_s$  คือ ตัวดำเนินการสร้างและทำลายโฟตอนในโหมด  $s$  ตามลำดับ  $\hat{a}_d^\dagger$  และ  $\hat{a}_d$  คือ ตัวดำเนินการสร้างและทำลายโฟตอนในโหมด  $d$  ตามลำดับ สำหรับการตรวจจับโฟตอนในการกระจายสัญญาณควอนตัม เกิดการกระเจิงระหว่างโฟตอนกับโฟตอนตัวสัญญาณซึ่งจะจับคู่กับอิลีกตรอน การกระเจิงที่เวลา  $t > 0$  ส่วนที่สองเป็นระบบอันตรกิริยาระหว่างเอ็นแทงเกิลโฟตอนกับอ่างความร้อนที่ขึ้นกับเวลา  $t$  สามารถอธิบายในรูปของ

$$\hat{H}_{BF} = i\hbar \sum_{k=p_1, p_2} E(e^{-i\omega_k t}\hat{a}_k^\dagger - e^{i\omega_k t}\hat{a}_k) + \hbar \sum_{k=s, d, p_1, p_2} (\hat{a}_k^\dagger \hat{T} - \hat{a}_k \hat{T}^\dagger) \quad (6)$$

โดยที่  $E$  คือ แอมพลิจูดของสนามไฟฟ้าของแสงเลเซอร์  $\omega_k$  คือ ความถี่เชิงมุมของแสงเลเซอร์ที่โหมด  $k$  และ  $p_1, p_2$  คือ โหมดของแสงเลเซอร์ที่ใช้ปั๊มเข้าสู่วงแหวนสันฟุ้งแพนด้า  $\hat{T}, \hat{T}^\dagger$  คือ ตัวดำเนินการดูดกลืนและคายโฟตอนตามลำดับของอ่างความร้อน

แฮมิลโตเนียนรวม คือ  $\hat{H} = \hat{H}_F + \hat{H}_{BF}$  ที่ได้จากสมการ (5) และ (6) หลังจากกำจัดตัวแปรอ่างความร้อนทิ้งโดยใช้สมการการเคลื่อนที่ของไฮเซนเบิร์กแบบขยายจะได้รับการวิวัฒนาการของเมทริกซ์ความหนาแน่นลดรูป (reduced density matrix)  $\hat{\rho}$  ในรูปของสมการหลัก คือ

$$\frac{\partial \hat{\rho}}{\partial t} = -\frac{i}{\hbar} [\hat{H}, \hat{\rho}] - \frac{1}{2} \sum_{j,k} \gamma_{jk} (\sigma_j^\dagger \sigma_k \hat{\rho} + \hat{\rho} \sigma_j^\dagger \sigma_k - 2\sigma_k \hat{\rho} \sigma_j^\dagger) \quad (7)$$

โดยที่  $\sigma_j, \sigma_j^\dagger$  คือ แมทริกซ์ของเพาลี (Pauli's matrices) ในวัฏจักรราบิ (Rabi cycle) ของอะตอมที่มีระดับพลังงานสองสถานะในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแบบกวัดแกว่งของแสงเลเซอร์ในโหมดของการบีบ และ  $\gamma_{jk}$  คือ พารามิเตอร์สัญญาณรบกวนโดยค่าเฉลี่ยของโฟตอนในสถานะพลังงาน  $i$  สำหรับสถิติของโบส-ไอน์สไตน์ คือ

$$n_i(\varepsilon_i) = \frac{g_i}{e^{(\varepsilon_i - \mu)/k_B T} - 1} \quad (8)$$

โดยที่  $n_i$  คือ จำนวนอนุภาคที่อยู่ในสถานะ  $i$  และ  $g_i$  คือ สภาพเสื่อมสลายของสถานะพลังงาน  $\varepsilon_i$  คือ สถานะพลังงานที่  $i$  และ  $\mu$  คือ ศักย์เคมี  $k_B$  คือ ค่าคงที่โบลต์ซมันน์ และ  $T$  คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ กระแสไฟฟ้าที่ตรวจจับได้เป็นค่าจินตภาพของนิพจน์ [10]

$$I_{jk} = -\frac{2e}{\hbar} \text{Im} \left( \sum_\alpha \int dE f_\alpha(E) [\psi_{\alpha E}(j)]^\dagger \hat{H}_{jk} \psi_{\alpha E}(k) \right) \quad (9)$$

โดยที่  $e = 1.602 \times 10^{-19}$  C คือ ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน  $f_\alpha(E)$  คือ ฟังก์ชันแจกแจงของเฟอร์มีที่สถานะพลังงาน  $E$  และ  $\psi_{\alpha E}$  คือ สถานะการกระเจิงที่ไม่ขึ้นกับเวลา  $\alpha$  คือ บรรดาโหมดเชิงอิเล็กตรอนิกส์ของวัสดุ

สัญญาณรบกวนควอนตัมถูกจำลองขึ้นโดยให้เป็นช่องสัญญาณรบกวนที่กระทำต่อคิวบิตก่อนจะถูกวัด โดยทั่วไปสถานะควอนตัมแบบสองสถานะจะเป็นสถานะบริสุทธิ์หรือสถานะผสมซึ่งโดยทั่วไปจะแทนด้วยตัวดำเนินการความหนาแน่นสองตัว  $\hat{\rho}_+$  และ  $\hat{\rho}_-$  ปัญหาของการตรวจจับเป็นเรื่องเกี่ยวกับการตรวจจับจากการวัดที่ไม่ซ้ำเพียงครั้งเดียว ไม่ว่าระบบควอนตัมจะอยู่ในสถานะ  $\hat{\rho}_+$  หรือ  $\hat{\rho}_-$  หรือไม่ก็ตาม โดยอาศัยหลักการวัดแบบความน่าจะเป็นค่าบวก  $P_+$  โดยที่  $P_- = 1 - P_+$  ตามลำดับ ผนวกเข้ากับหน่วยการวัดคิวบิตสองชุด โดยที่  $M_+, M_-$  โดยที่  $M_+ + M_- = \mathbb{I}$  ตามลำดับ เมื่อ  $\mathbb{I}$  คือ แมทริกซ์เฉียงหนึ่งหน่วย โดยทั่วไปสถานะควอนตัมสองสถานะไม่สามารถแยกแยะได้อย่างสมบูรณ์และจะต้องเกิดข้อผิดพลาดในระดับหนึ่ง เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับคิวบิตจึงทำการรวมตลอดค่าไอเกนชนิดลบของตัวดำเนินการทดสอบ  $\tau$  ในที่สุดได้ผลลัพธ์เป็น

$$P_{\text{err}}^{\min} = \frac{1}{2} (1 - \|P_+ r_+ - P_- r_-\|) \quad \text{โดยที่ } \det(\tau) < 0 \quad (10)$$

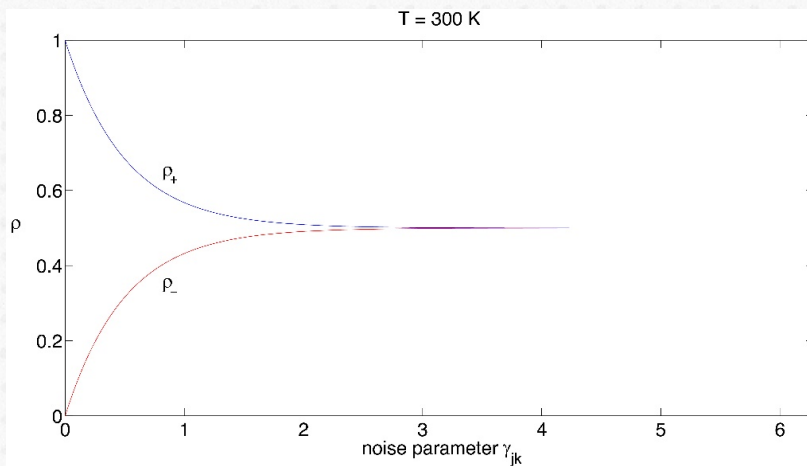
โดยที่  $r_+$  และ  $r_-$  เป็นเวกเตอร์ของบล็อส (Bloch vectors) [11] มีค่าปกติแบบยุคลิด  $|r_j| \leq 1$  และ

$$\tau = \frac{1}{2} ((P_- - P_+) \mathbb{I} + (P_- r_- - P_+ r_+) \sigma) \quad (11)$$

ดังนั้นการค้นหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดของความน่าจะเป็นของข้อผิดพลาดจากการตรวจจับและความน่าจะเป็นของสัญญาณรบกวนจะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

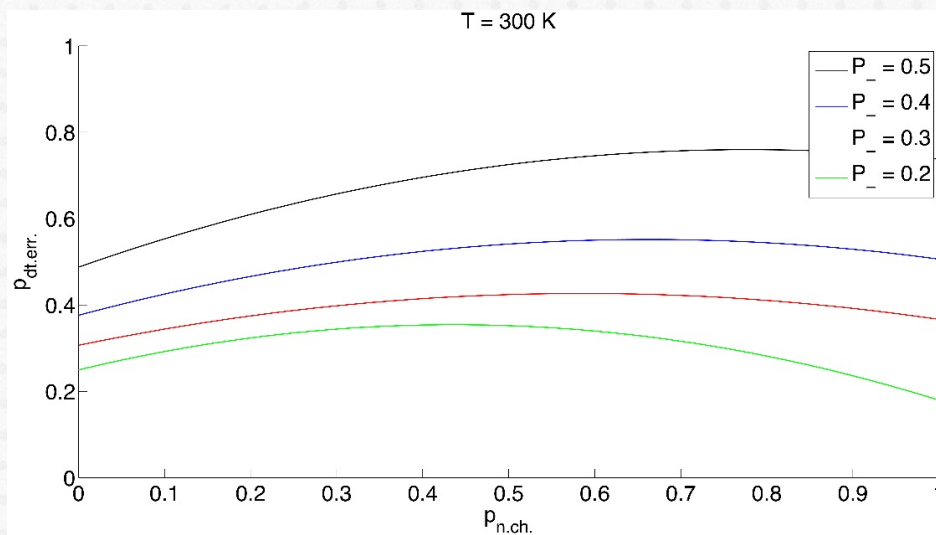
### 3. ผลการจำลองคณิตศาสตร์และอภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิธีการเชิงตัวเลขสำหรับสมการ (7) เทียบกับความแรงของพารามิเตอร์ที่อุณหภูมิ 300K แสดงไว้ในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ผลการจำลองของตัวดำเนินการความหนาแน่นลดรูปแบ่งออกเป็นสองส่วน  $\rho_+$  และ  $\rho_-$  เทียบกับพารามิเตอร์สัญญาณรบกวน  $\gamma_{jk}$

จากภาพที่ 1 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่เหมาะสมของตัวดำเนินการที่ลดรูปแล้วสำหรับตัวพารามิเตอร์สัญญาณรบกวน  $\gamma_{jk} \leq 3$  ซึ่งบ่งบอกถึงความน่าจะเป็นของการจำแนกผลการวัดความเข้มสัญญาณของเอ็นแทงเกิลโฟตอนออกจากสัญญาณรบกวนของอ่างความร้อนได้อย่างชัดเจนและจากสมการ (10) ผลลัพธ์การจำลองเพื่อหาความหนาแน่นที่เหมาะสมที่สุดสำหรับทั้งส่วนของความคลาดเคลื่อนเชิงการตรวจจับและความคลาดเคลื่อนของความน่าจะเป็นของช่องสัญญาณที่อุณหภูมิค่านี้แสดงไว้ในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การวิเคราะห์เชิงตัวเลขระหว่างสถานะบริสุทธิ์เริ่มต้นทั้งสอง  $\rho_+ = |H\rangle\langle H|$  และ  $\rho_- = |V\rangle\langle V|$  ด้วยความน่าจะเป็น  $P_+ = 1/2$  โดยที่  $p_{n,ch}$  คือ ความน่าจะเป็นของช่องสัญญาณรบกวน และ  $p_{dt,err}$  คือ ความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนในการตรวจจับโฟตอน

จากภาพที่ 2 สหสัมพันธ์ของความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนในการตรวจจับโฟตอนและความน่าจะเป็นของช่องสัญญาณรบกวน มีความสัมพันธ์กันแบบไม่เชิงเส้นโดยความน่าจะเป็นของช่องสัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วความน่าจะเป็นความคลาดเคลื่อนในการตรวจจับโฟตอนมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นตามค่า  $p_-$  และลดลงในเมื่อ  $p_-$  มีค่าน้อยลง

#### 4. บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสัญญาณรบกวนกระทำต่อคิวบิตภายในวงแหวนสั่นพ้องแบบดาร์ระดับไมครอน เพื่อจุดประสงค์ในการกระจายสัญญาณควอนตัมในกระบวนการควอนตัมคริปโทกราฟี ได้สร้างแฮมิลโตเนียนสำหรับกระบวนการโพรวีเวฟมิกซิงสำหรับผลิตเอ็นแทงเกิลโฟตอนสถานะสัญญาณและสถานะนิ่งเฉยผนวกเข้ากับแฮมิลโตเนียนการควบกันของโฟตอนกับอ่างความร้อน เพื่อวิเคราะห์หาค่าความเหมาะสมที่สุดของความน่าจะเป็นของความคลาดเคลื่อนของการตรวจจับโฟตอนและความน่าจะเป็นของช่องสัญญาณรบกวน ได้ทำการจำลองแยกตัวดำเนินการความหนาแน่นที่ลดรูปแล้วพร้อมด้วยสัมประสิทธิ์ความแรงของพารามิเตอร์สัญญาณรบกวนออกเป็นสองส่วนเพื่อหาตัวเลือกที่เหมาะสมที่สุดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกระจายสัญญาณควอนตัมบิต

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่สนับสนุนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทางคณิตศาสตร์ส่งเสริมในการวิจัย

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Zou, S. Bosco, and D. Loss., Spatially correlated classical and quantum noise in driven qubits. *npj Quantum Information*. 10-46(2024) 1-14.
- [2] A. Salmanoglu and V. S. Sirat. Design of ultra-low noise amplifier for quantum applications (QLNA). *Quantum Information Processing*. 23-91(2024) 1-23.
- [3] N. Anto-Sztrikacs, A. Nazir, and D. Segal., Effective-Hamiltonian theory of open quantum systems at strong coupling. *PRX Quantum*, 4(2023) 020307(1-35).
- [4] A. Sone, M. Cerezo, J. Beckey, P. Coles., Generalized measure of quantum Fisher information. *Phys. Rev. A*. 104(2021) 062602-062614.
- [5] W. Hsu, N. Nujhat, B. Kupp, J. C. Jr, A. Wang., On-chip wavelength division multiplexing filters using extremely efficient gate-driven silicon microring resonator array. *Scientific Reports*. 13(2023) 5269(1-7).
- [6] Z. Li, J. Smith, M. Scullion, N. Wessling, L. McKnight, M. Dawson, M. Strain., Photonic integration of lithium niobate micro-ring resonators onto silicon nitride waveguide chips by transfer-printing. *Optical Materials Express*. 12-11(2022) 4375-4383.
- [7] M. Cheng, J. Fang, A universal quantum frequency converter via four-wave mixing processes. *Opt. Comm*. 368(2016) 54 - 57.
- [8] C. Chun, Y. Sun, and Y. Ji., Simultaneous long-distance transmission of discrete-variable quantum key distribution and classical optical communication. *IEEE Transactions on Communications*. 69-5(2021) 3222-3234.
- [9] Z. Yanbing, et al., Induced photon correlations through the overlap of two four-wave mixing processes in integrated cavities. *Laser & Photonics Reviews*. 14-9(2020) 2000128(1-8).
- [10] B. Gaury, J. Weston, M. Santin, M. Houzet, C. Groth, X. Waintal, Numerical simulations of time-resolved quantum electronics. *Physics Reports*. 534(2014) 1-37.
- [11] O. Gamel., Entangled Bloch spheres: Bloch matrix and two-qubit state space. *Phys. Rev. A* 93(2016) 062320(1-18).

# การหาประสิทธิภาพค่าความร้อนในการเผาไหม้เชื้อเพลิงอัดแท่งจากผลแก่มะค่าโมง

## Determination the Efficiency of Heat Value in Combustion of Fuel Briquettes from Maca Mong Fruit

รชต มณีโชติ<sup>1\*</sup> ปกรณ์ อุ๋นไธสง<sup>1</sup> และ สุคนธ์ เมืองโคตร<sup>1</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาไฟฟ้าเครื่องกลการผลิต แขนงวิชาเครื่องกลการผลิต วิทยาลัยธาตุพนม มหาวิทยาลัยนครพนม  
\*E-mail: Jimmykoi@hotmail.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการหาประสิทธิภาพค่าความร้อนในการเผาไหม้เชื้อเพลิงอัดแท่งจากผลแก่มะค่าโมง ซึ่งเป็นวัสดุที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์นำมาเผาด้วยกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน ให้ผลแก่มะค่าโมงกลายเป็นถ่านและบดให้เป็นผงนำมาผสมกับแป้งมันสำปะหลังและน้ำเปล่า ในอัตราส่วน 1.0 : 0.2 : 0.6 โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการผสมและอัดด้วยเครื่องอัดแท่งถ่านแบบสกรูอัดเย็น ทำการวิเคราะห์หาค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ด้วยเครื่อง Bomb calorimeter ได้ค่า 18.4973 MJ/kg (4,418 kcal/kg) ทดสอบประสิทธิภาพการต้มน้ำแบบมีภาชนะเปิดด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer) ได้ค่าสูงสุดที่ 102.6 °C และรักษาอุณหภูมิลดความร้อนลงถึง 50 °C ระยะเวลา 186 นาที

**คำสำคัญ:** ถ่านอัดแท่ง วัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่น พลังงานชีวมวล

### Abstract

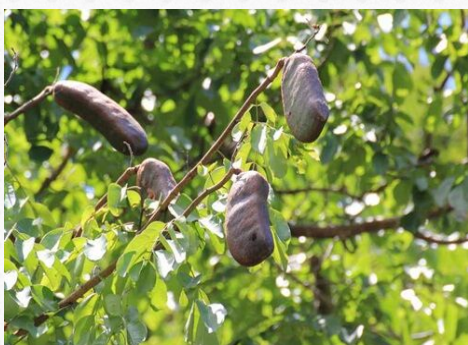
This research investigated the efficiency of heat generation from burning compressed fuel briquettes made from maca mong, a material otherwise unused. The waste was carbonized through a carbonization process to which was then from maca mong charcoal, ground into powder. These briquettes were mixed with cassava starch and water in a ratio of 1.0:0.2:0.6 by weight, and subsequently compacted using a screw-type cold press briquetting machine. The calorific value of the fuel was determined using a Bomb calorimeter, resulting in a value of 18.4973 MJ/kg (4,418 kcal/kg). The performance in boiling water in an open container was tested using a thermometer, achieving a maximum temperature of 102.6 °C and maintaining it above 50 °C for 186 minutes.

**Keywords:** Charcoal briquette, Rural residue, Biomass



## 1. บทนำ

ประเทศไทยมีความต้องการพลังงานเป็นอย่างมาก เพื่อใช้ในการประกอบกิจกรรมต่าง ๆ ในการดำรงชีวิตประจำวัน และอุตสาหกรรม พลังงานความร้อนเป็นพลังงานอีกรูปแบบหนึ่งที่มีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมและครัวเรือน โดยพลังงานความร้อนส่วนใหญ่ที่ได้มาจากน้ำมันดิบ ซึ่งต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศประกอบกับสถานะเศรษฐกิจในปัจจุบัน ราคาน้ำมันและแก๊สหุงต้มมีราคาที่สูงขึ้น ทำให้การใช้ถ่านและฟืนยังคงมีความจำเป็น ประชากรส่วนใหญ่ยังคงมีรายได้น้อย การเผาถ่านเพื่อใช้สำหรับการถลุงประกอบอาหารยังคงจำเป็น และเป็นที่ยอมรับของประชาชนส่วนใหญ่ มีความพยายามที่จะนำวัสดุทดแทนชนิดอื่น ๆ ที่หาง่ายและราคาถูกกว่ามาปรับใช้ เช่น วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร [1] การนำผลแยมะค่าโมงที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนฟืน จากการศึกษาการผลิตถ่านจากเปลือกหมาก ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ เพื่อการพัฒนาพลังงานชีวมวลถ่านเปลือกหมากที่ผลิตได้มีสีดำและน้ำหนักเบาจากการศึกษาพบว่าองค์ประกอบของธาตุและสมบัติทางความร้อนของถ่านเปลือกหมากที่ผลิตได้มีคุณภาพใกล้เคียงกับถ่านมังคุดและถ่านไม้ยางพารา แสดงว่าสามารถนำวัสดุเหลือใช้อย่างเปลือกหมากมาใช้เป็นพลังงานชีวมวลในรูปของเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยสามารถลดการผลิตถ่านจากป่าไม้ในธรรมชาติได้ [2]



ภาพที่ 1 ภาพถ่ายผลแยมะค่าโมง จากสวนสุขภาพ อำเภอธาตุพนม จังหวัดนครพนม เมื่อวันที่ 7 ส.ค. 2566

สำหรับบทความนี้ได้ศึกษาวัสดุที่เหลือใช้ในท้องถิ่น ได้แก่ ผลแยมะค่าโมง โดยต้นมะค่าโมงมีผล เรียกว่า ฝัก มีลักษณะเป็นฝักแบนขนาดใหญ่ กว้างประมาณ 7 - 10 เซนติเมตรและยาว 12 - 20 เซนติเมตร ฝักอ่อนจะมีสีเขียว ส่วนฝักแก่จะมีสีน้ำตาลดำและฝักแก่จะแตกออกเป็น 2 ซีก ด้านในมีเมล็ดประมาณ 2 - 5 เมล็ด เมล็ดมีลักษณะกลม เปลือกของเมล็ดมีสีดำและมีเยื่อหุ้มลักษณะเมล็ดคล้ายรูปฟืนคน โดยมีความยาวประมาณ 1.5 เซนติเมตร และหุ้มบริเวณฐานเมล็ด จึงเรียกว่า ฟืนฤๅษี โดยฝักจะแก่ประมาณช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม [3] ผลแยมะค่าโมง เป็นวัสดุที่ยังไม่ได้รับการศึกษาเพื่อนำมาใช้ประโยชน์มาก่อน ในพื้นที่จังหวัดนครพนมมีการปลูกต้นต้นมะค่าโมงพบเห็นโดยทั่วไป ซึ่งผลมะค่าโมงที่แก่จะมีสีดำเมื่อแก่ได้ที่จะร่วงหล่นตามพื้นเป็นจำนวนมาก ไม่มีการนำไปใช้ให้ประโยชน์ การกำจัดต้องเผาทิ้งก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ เนื่องจากเขม่าควันที่เกิดจากการเผาไหม้สร้างความรำคาญให้กับบ้านเรือนและผู้อยู่อาศัยอีกด้วย วัตถุประสงค์สำหรับงานวิจัยนี้ เพื่อนำผลแยมะค่าโมงมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งและหาประสิทธิภาพค่าความร้อนในการเผาไหม้ เพื่อที่จะนำไปใช้งานทดแทนเชื้อเพลิงซึ่งจากถ่านไม้และฟืน

## 2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

กระบวนการผลิตถ่าน คือ ไม้ที่ได้จากการเผาไหม้ภายในบริเวณที่มีอากาศอยู่เบาบาง ซึ่งถ่านที่ได้หลังการผลิตจะมีปริมาณของคาร์บอนสูงและไม้มีความชื้นทำให้ปริมาณพลังงานในถ่านสูง เนื้อไม้ที่เปลี่ยนรูปเป็นถ่านเรียกว่า “Carbonization” โดยการเผาไหม้เพื่อไล่ความชื้นออกจากเนื้อวัสดุ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะใช้อุณหภูมิจนถึง 270 องศาเซลเซียส ความชื้นจะค่อย ๆ ลดลงจนกระทั่งหมดไป การนำผลิตภัณฑ์ถ่านมาทำให้เย็น ซึ่งจะใช้เวลาหลายชั่วโมงขึ้นอยู่กับชนิดของ

เตาเผาที่ใช้ในการผลิต คุณภาพของถ่านที่ผู้ใช้อยอมรับได้ คือ ต้องมีปริมาณคาร์บอน 70% สารระเหยได้ต้องน้อยกว่า 25% ซัลเฟอร์ประมาณ 5% และความหนาแน่นประมาณ 0.25 – 0.30 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งถ่านจะมีคุณสมบัติเปราะปานกลาง

## 2.1 การอัดขึ้นรูปและทำให้แห้ง

กระบวนการอัดขึ้นรูปนอกจากวัตถุดิบและส่วนผสมที่มีความสำคัญแล้ว องค์ประกอบที่สำคัญอีกประการ คือ เครื่องอัดประกอบด้วยส่วนประกอบคือ เกลียว กระจับอกเกลียวและกระจับอกอัด ซึ่งสามารถเปลี่ยนขนาดได้ ความชื้นก่อนการอัดขึ้นอยู่กับชนิดของพีชโดยทั่วไปมีความชื้น 60% จะอัดได้ดี แต่ถ้าสูงหรือต่ำกว่าอาจจะอัดได้ไม่ดี การอัดยังมีลักษณะเป็นการประสานกันของเส้นใยพีชด้วยเมื่อการอัดเป็นแท่งแล้ว แท่งเชื้อเพลิงจะต้องนำไปตากแดดให้แห้งก่อนนำไปใช้ เพื่อเป็นการลดความชื้นตามมาตรฐานให้ไม่เกิน 8% โดยน้ำหนัก ซึ่งแท่งเชื้อเพลิงจะมีความหนาแน่นประมาณ 600 – 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และเพื่อให้เชื้อเพลิงแข็งตัวเกาะกันแน่นซึ่งวิธีที่ง่ายและถูกที่สุดสำหรับการทำให้แห้งก็คือการนำไปผึ่งแดดจนกว่าถ่านจะแห้งสนิท ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผลแยมะค่าโมงใช้เครื่องอัดเชื้อเพลิงแท่งอเนกประสงค์ โดยเครื่องผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งอเนกประสงค์ ที่มีขนาดความกว้าง 97 cm. ความยาว 56 cm. และความสูง 87 cm. ซึ่งมีทั้งระบบการบดเศษวัสดุ และระบบการอัดเชื้อเพลิงแท่ง ในการขับเคลื่อนใช้มอเตอร์ขนาด 1 HP และระบบผสมวัสดุให้เข้ากันใช้มอเตอร์ขนาด 0.5 HP เป็นตัวขับเคลื่อน ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 นวัตกรรมเครื่องอัดเชื้อเพลิงแท่งอเนกประสงค์

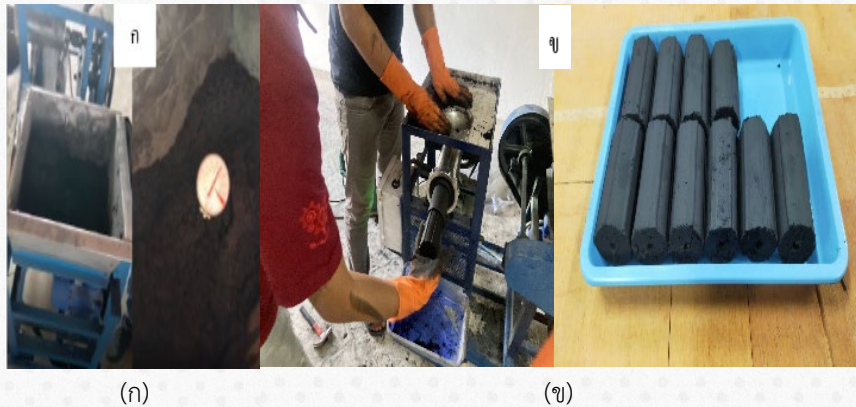
## 2.2 การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผลแยมะค่าโมง

2.2.1 นำผลแยมะค่าโมงทำการเผาในเตาเผาที่มีอากาศจำกัดเพื่อให้เกิดกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน โดยใช้ความร้อนประมาณ 200 °C ถึง 250 °C ดังแสดงในภาพที่ 3 (ก), การเปลี่ยนแปลงสภาพของถ่านผลแยมะค่าโมงหลังการเผาไหม้ (ข), จากนั้นทำการบดให้ละเอียดหลังจากการเผาไหม้ (ค)



ภาพที่ 3 แสดงการเผาผลแยมะค่าโมง (ก), การเปลี่ยนแปลงสภาพของถ่านผลแยมะค่าโมงหลังการเผาไหม้ (ข), จากนั้นทำการบดให้ละเอียดหลังจากการเผาไหม้ (ค)

2.2.2 การผสมและอัดขึ้นรูป จากการบดถ่านผลแก่มะค่าโมงนำมาผสมกับแป้งมันสำปะหลังและน้ำเปล่า ในอัตราส่วนที่กำหนดไว้ 3 สูตร ได้แก่ 1.4 : 0.3 : 1.2, 1.0 : 0.1 : 0.6 และ 1.0 : 0.2 : 0.6 โดยน้ำหนัก ผสมวัตถุดิบให้เข้ากันจนได้อูณหภูมิที่เหมาะสม (ก) และนำส่วนผสมเข้าเครื่องอัดเชื้อเพลิงเอนกประสงค์แบบสกรูอัดเย็น ลักษณะเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร มีครีบบนโดยรอบจำนวน 5 ครีบ (ข) ดังแสดงภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แสดงการผสมวัตถุดิบให้เข้ากันจนได้อุณหภูมิที่เหมาะสม (ก), นำส่วนผสมเข้าเครื่องอัดเชื้อเพลิงเอนกประสงค์แบบสกรูอัดเย็น (ข)

2.2.3 การลดความชื้นเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผลแก่มะค่าโมง เป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านอัดแท่ง มผช. 238/2547 การลดปริมาณความชื้นด้วยวิธีการตากแดดและการอบแห้งด้วยตู้อบเพื่อลดความชื้นที่อุณหภูมิ 90 °C ไม่เกิน 8 % โดยน้ำหนัก, ค่าความร้อนไม่น้อยกว่า 5,000 kcal/kg นอกจากนี้ ยังพบว่าถ่านอัดแท่งผลแก่มะค่าโมงมีประสิทธิภาพการให้ความร้อนที่ดี เมื่อติดไฟไม่มีการเกิดสะเก็ดไฟกระเด็น ควันและกลิ่นฉุน และในการผลิตแต่ละครั้งเฉลี่ย น้ำหนักถ่านอัดแท่ง จำนวน 4 ก้อน ได้น้ำหนักประมาณ 500 กรัม ดังแสดงภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงลักษณะเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผลแก่มะค่าโมง

### 3. ผลการทดลอง

**3.1 การทดสอบหาค่าความร้อน** การทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผลแถมมะค่าโมง โดยวิธีการวิเคราะห์ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Higher Heating Value) ด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ที่สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน วิทยาลัยธาตุพนม มหาวิทยาลัยนครพนม จากผลการทดสอบหาค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากผลแถมมะค่าโมง พบว่าให้ค่าความร้อนที่สูงในระดับหนึ่ง โดยให้ค่าความร้อน 18.4973 MJ/kg ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การทดสอบหาค่าความร้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผลแถมมะค่าโมง

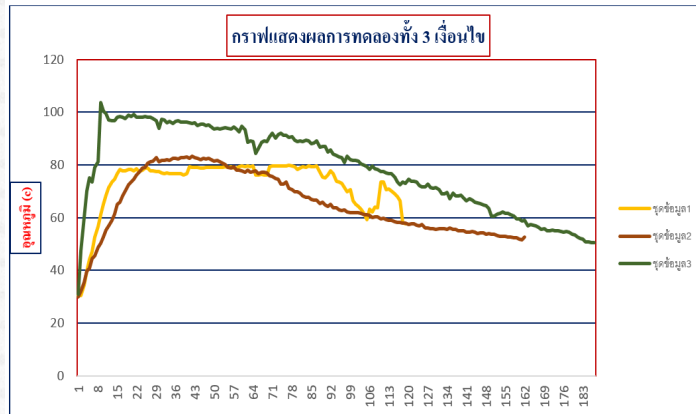
เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์	ผลการวิเคราะห์ (ค่าสูงสุด)
ทดสอบผลโดยใช้เครื่องบอมบ์ IKA แคลอรีมิเตอร์ C 1 Package 1/10	Sample ID : RDF 1,2 และ 3 คือ 18.4973 MJ/kg (4,418 kcal/kg)

**3.2 การทดสอบประสิทธิภาพการให้ความร้อน (Heat Utilization Efficiency) ของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผลแถมมะค่าโมง** โดยการวัดอุณหภูมิจากตัวอย่าง 4 ครั้ง ๆ อย่งละ 500 กรัม เพื่อต้มน้ำ 2,000 กรัม ให้เดือดเพื่อหาประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้ [4]

$$\eta_{Thermal} = \frac{\sum ms(t_2 - t_1) + (t_3 - t_1) \times 100}{Wq} \quad (1)$$

เมื่อ $\eta_{Thermal}$	คือ ประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนของเชื้อเพลิง (%)
$W$	คือ น้ำหนักของเชื้อเพลิง (g)
$q$	คือ ค่าความร้อนของแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล (J/g)
$m$	คือ น้ำหนักของน้ำในหม้อต้ม (g)
$S$	คือ ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ 4.81 J/g (°C)
$t_1$	คือ ค่าอุณหภูมิของน้ำเมื่อแรกเริ่ม (°C)
$t_2$	คือ ค่าอุณหภูมิของน้ำเดือด (°C)
$t_3$	คือ ค่าอุณหภูมิของน้ำสุดท้ายของหม้อต้ม (°C)

**3.2.1 การบันทึกอุณหภูมิโดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer) รุ่น TM-1947SD บันทึกผลภายในเครื่องแบบ Micro SD card หน้าจอแสดงผลแบบดิจิทัล และใช้สายวัดอุณหภูมิ Thermo couple ชนิด K (Type-K) ทั้ง 3 สูตร ตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ จนกระทั่งน้ำในหม้อต้มอุณหภูมิลดลงเหลือ 50 °C จึงหยุดการบันทึกข้อมูล โดยได้แสดงผลกราฟการหาประสิทธิภาพค่าความร้อนของแต่ละสูตร ดังแสดงภาพที่ 6 จากกราฟเส้นสีเหลืองจะเห็นได้ว่า สูตรที่ 1 ได้ค่าสูงสุดที่ 79.7 °C , จากกราฟเส้นสีแดง จะเห็นได้ว่า สูตรที่ 2 ได้ค่าสูงสุดที่ 83.3 °C และ จากกราฟเส้นสีเขียว จะเห็นได้ว่า สูตรที่ 3 ได้ค่าสูงสุดที่ 102.6 °C**



ภาพที่ 6 กราฟแสดงผลประสิทธิภาพค่าความร้อนในการเผาไหม้เชื้อเพลิงอัดแท่งจากผลแก่มะค่าโมง

3.2.2 ระยะเวลาในการทดสอบจะทำการสังเกตลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง และใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer) บันทึกผลหน้าจอแสดงผลแบบดิจิทัลโดยเลเซอร์วัดอุณหภูมิของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผลแก่มะค่าโมง ได้ค่าความร้อนสูงสุด ประมาณ 777.6 °C [5] ดังแสดงภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้บันทึกอุณหภูมิ

#### 4. บทสรุป

การหาประสิทธิภาพค่าความร้อนในการเผาไหม้เชื้อเพลิงอัดแท่งจากผลแก่มะค่าโมง พบว่า อัตราส่วนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ดีที่สุด ได้แก่ สูตรที่ 3 ในอัตราส่วน 1.0 : 0.2 : 0.6 โดยน้ำหนัก ใกล้เคียงกับข้อกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง มผช.238/2547 รูปร่างของถ่านอัดแท่งจะเป็นทรงกระบอกความกว้าง 50 มิลลิเมตร และความยาว 100 มิลลิเมตร มีรูตรงกลางขนาด 10 มิลลิเมตร ขนาดใกล้เคียงกันมีสีดำสม่ำเสมอปริมาณความชื้นไม่เกิน 8% โดยน้ำหนัก ก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งเกาะกันเป็นก้อนและประสานกันได้ดีมีแตกหักบ้างเล็กน้อย การหาประสิทธิภาพโดยการต้มน้ำแบบมีภาชนะเปิด ทดสอบโดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer) ได้ค่าสูงสุดที่ 102.6 °C และรักษาอุณหภูมิลดความร้อนลงถึง 50 °C ระยะเวลา 186 นาที

## 5. การอภิปราย

จากการหาประสิทธิภาพค่าความร้อนในการเผาไหม้เชื้อเพลิงอัดแท่งจากผลแก่มะค่าโมง ทั้ง 3 อัตราส่วน ได้แก่ (1.4 : 0.3 : 1.2), (1.0 : 0.1 : 0.6) และ(1.0 : 0.2 : 0.6) โดยน้ำหนัก เมื่อมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง มผช.238/2547 พบว่า ถ่านอัดแท่งจากผลแก่มะค่าโมง ทั้ง 3 อัตราส่วน ใกล้เคียงกับข้อกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง มผช.238/2547 รูปร่างของถ่านอัดแท่งจะเป็นทรงกระบอกความกว้าง 50 มิลลิเมตร และความยาว 100 มิลลิเมตร มีรูตรงกลางขนาด 10 มิลลิเมตร ขนาดใกล้เคียงกันมีสีดำสม่ำเสมอ ไม่เปราะอาจแตกหักได้บ้าง ปริมาณความชื้นไม่เกิน 8% โดยน้ำหนัก ค่าความร้อนทั้ง 3 สูตร โดยอัตราส่วนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากผลแก่มะค่าโมงที่ดีที่สุดมีส่วนผสมจากผงถ่านผลแก่มะค่าโมง : แป้งมันสำปะหลังน้ำในอัตราส่วน 0.1 : 0.2 : 0.6 โดยน้ำหนัก ได้ค่าความร้อนที่ดีที่สุดที่ 4,418 kcal/kg

เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงอัดแท่งจากฝักราชพฤกษ์และเศษถ่านไม้ ตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ ซึ่งประกอบด้วย ถ่านฝักราชพฤกษ์ เศษถ่านไม้ แป้งมันสำปะหลัง และน้ำ อัตราส่วน 1 : 0.7 : 0.3 : 1.2 โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการผสมและอัดด้วยเครื่องอัดแท่งถ่านด้วยสกรูแบบอัดเย็น ให้ค่าความร้อน 26.951 MJ/kg (6,437.14 kcal/kg) เมื่อทำการทดสอบการต้มน้ำแบบมีภาชนะปิด สามารถให้ค่าความร้อนสูงสุดประมาณ 95 °C [6] ค่ากำหนดใกล้เคียงกับข้อกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง มผช.238/25476 ดังนั้น ถ้าต้องการพัฒนาใช้ผลแก่มะค่าโมง ต้องมีการต่อยอดงานวิจัยในการผสมกันระหว่างสามวัตถุดิบ เนื่องจากแต่ละชนิดมีสมบัติที่แตกต่างกัน

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] อรทัย วงษาเวียง, มาลีวรรณ อุณพิพัฒน์, ชลธิชา เจริญเนตร, และเอกราชชัย ไชยชนะ. ไพโรไลซิสของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในท้องถิ่นจังหวัดนครปฐม. วารสารวิจัยสหวิทยาการไทย. 11(3)(2559) 46-53.
- [2] ทิพย์วรรณ ช่วยทอง, ธเนศ ไชยชนะ, และศุภลักษณ์ อ่ำลอย. สมบัติของถ่านจากเปลือกหมาก. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ปีที่ 17 ฉบับที่ 3 ฉบับพิเศษ, จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 24 ประจำปี 2557.
- [3] ธเนศ ไชยชนะ, จอมภพ แววศักดิ์, จตุพร แก้วอ่อน, และอุษา อันทอง. สมบัติความเป็นเชื้อเพลิงของถ่านเปลือกมังคุด. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. 17(3)(2557) 29-36.
- [4] ธารินี มหายศนันท์. การออกแบบและสร้างเครื่องผลิตถ่านอัดแท่งสำหรับการผลิตในระดับครัวเรือน. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2548.
- [5] รุ่งโรจน์ พุทธิสกุล. การผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเห้งน้ำมันสำปะหลัง. หลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 2553.
- [6] รชต มณีโชติ, สุคนธ์ เมืองโคตร, และปกรณ์ อุ๋นโรสง. การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากฝักราชพฤกษ์และเศษถ่านไม้. การประชุมวิชาการงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ครั้งที่ 15. 15<sup>th</sup> ECTI-CARD 2023, Hua Hin, Thailand. 2565.

## ความผันแปรของปริมาณธาตุอาหารในรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินและฤดูกาลที่ต่างกัน ในกลุ่มน้ำห้วยหลวง

### Variation of Nutrient in Different Land Uses and Season in Huai-Luang Watershed

ศรียา อินทสิน<sup>1\*</sup> ศศิธร เพชรแสน<sup>2</sup> อัจฉราพร สมภาร<sup>1</sup> และ อนัญญา โพธิ์ประดิษฐ์<sup>3</sup>

<sup>1</sup>สำนักวิชาศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

<sup>2</sup>คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

<sup>3</sup>วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

\*E-mail: Sariya\_i@udru.ac.th

#### บทคัดย่อ

ลำน้ำห้วยหลวงมีความสำคัญต่อประชาชนในพื้นที่ลุ่มน้ำ ทั้งเป็นแหล่งน้ำดิบสำหรับน้ำประปา แหล่งน้ำสำหรับทำเกษตรกรรม รวมถึงมีความสำคัญต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำจืด ในลุ่มน้ำมีลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินหลายประเภท ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม (ทำนา) พื้นที่ชุมชนเมืองและชนบท นอกจากนี้ยังมีการทำกิจกรรมอื่น ๆ (พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่ปศุสัตว์ และพื้นที่อุตสาหกรรม) โดยการใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละประเภทจะมีกิจกรรมที่ต่างกัน และส่งผลกระทบต่อคุณภาพที่ต่างกันด้วย การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในลำน้ำห้วยหลวงตามรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินและตามฤดูกาลที่ต่างกัน ผลการศึกษาพบว่า ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen; DO) ค่าความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (Biological Oxygen Demand; BOD) ค่าไนเตรท (Nitrate; NO<sub>3</sub>) ค่าแอมโมเนีย (Ammonia; NH<sub>3</sub>) และค่าฟอสเฟต (Phosphate; PO<sub>4</sub>) ในมีค่าเฉลี่ยในฤดูน้ำแห้งมีปริมาณมากกว่าฤดูน้ำหลาก พื้นที่ป่าไม้มีค่า BOD, NO<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub>, และ PO<sub>4</sub> (0.89±0.15, 12.82±1.63, 0.20±0.01 และ 0.48±0.06 mg/L ตามลำดับ) ต่ำที่สุด พื้นที่นาข้าวมี NO<sub>3</sub> และ NH<sub>3</sub> มากที่สุด (40.42±17.97 และ 0.43±0.11 mg/L ตามลำดับ) และพื้นที่โรงงานอุตสาหกรรมมี BOD และ PO<sub>4</sub> มากที่สุด (2.69±0.12 และ 1.03±0.22 mg/L ตามลำดับ) โดยเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน ค่า BOD และ NO<sub>3</sub> มีค่าเกินมาตรฐานเมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างพบว่าปริมาณธาตุอาหารมีค่าไม่แตกต่างกันทั้งรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินและฤดูกาลที่ต่างกัน ยกเว้นพื้นที่โรงงานอุตสาหกรรมที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จากผลการศึกษา ถึงแม้ว่าจะไม่พบความแตกต่างทางสถิติ แต่ปริมาณธาตุอาหารมีปริมาณสูง ซึ่งสาเหตุหลักเกิดจากการใส่ปุ๋ยในพื้นที่เกษตรกรรม รวมถึงน้ำทิ้งจากการทำอุตสาหกรรม ดังนั้น จึงควรมีมาตรการป้องกันไม่ให้คุณภาพน้ำเสื่อมโทรม และหาแนวทางในการจัดการน้ำอย่างยั่งยืนต่อไป

**คำสำคัญ:** ธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส การใช้ประโยชน์ที่ดิน ลุ่มน้ำห้วยหลวง

## Abstract

The Huai-Luang River is important to the people in the watershed area such as; water supply, agriculture, and contributing to the freshwater ecosystem. There are many land use characteristics which the most were cultivated area (paddy), urban and rural area and the rest were forest areas, livestock areas, and industrial areas. Each type of land use involves different activities that lead to effect of water quality differently. The purpose of this study is to analyze nutrient levels in the Huai-Luang River based on different land use patterns (forest, paddy, livestock, community, and industry area) and seasons (dry and wet). The results showed that average dissolved oxygen (DO), Biological Oxygen Demand (BOD), nitrate ( $\text{NO}_3$ ), ammonia ( $\text{NH}_3$ ), and phosphate ( $\text{PO}_4$ ) levels were higher in the dry season than in the wet season. Forest areas represented the lowest BOD,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_3$ , and  $\text{PO}_4$  levels ( $0.89\pm 0.15$ ,  $12.82\pm 1.63$ ,  $0.20\pm 0.01$  and  $0.48\pm 0.06$  mg/L, respectively). Paddy areas had the highest  $\text{NO}_3$  and  $\text{NH}_3$  levels ( $40.42\pm 17.97$  and  $0.43\pm 0.11$  mg/L, respectively), and industrial areas had the lowest BOD and  $\text{PO}_4$  levels ( $2.69\pm 0.12$  and  $1.03\pm 0.22$  mg/L, respectively). The amount of BOD and  $\text{NO}_3$  revealed exceeded the standard values. The findings indicated nutrient levels were not significantly different, except in industrial areas which showed a significantly difference at p-value 0.05. Although there is no statistical difference, nutrient levels are high, mainly due to the use of fertilizers in agricultural areas and industrial wastewater discharge. Therefore, the measures should be taken to prevent water quality deterioration and to find sustainable water management solutions.

**Keywords:** Nutrient, Nitrogen, Phosphorus, Land uses, Huai-Luang watershed

### 1. บทนำ

ธาตุอาหารในน้ำมีผลต่อคุณภาพน้ำอย่างมาก โดยเฉพาะธาตุหลักอย่างไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส (P) ซึ่งส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์ เช่น การเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) การเจริญเติบโตของสาหร่ายที่มากเกินไป (Algal Bloom) แหล่งน้ำขาดออกซิเจน และส่งผลกระทบต่อพืชน้ำและสัตว์น้ำตาย [1] ที่มาของธาตุอาหารที่มากเกินไปมาจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ เช่น การทำเกษตรกรรม การปล่อยน้ำเสียจากแหล่งชุมชนและภาคอุตสาหกรรม ทำให้ปริมาณของฟอสฟอรัสและไนโตรเจนเพิ่มขึ้น จนส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบนิเวศ [2] นอกจากนี้ ยังส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจ เช่น ผลกระทบต่อการท่องเที่ยว ทัศนียภาพเสื่อมโทรม และส่งผลกระทบต่อ การเพิ่มต้นทุนในการบำบัดน้ำเสีย [3] สาเหตุสำคัญอีกประการหนึ่งมาจากรูปแบบการใช้ที่ดินมีอิทธิพลต่อพารามิเตอร์คุณภาพน้ำ เช่น ไนโตรเจนทั้งหมด (TN) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (TP) และแอมโมเนียไนโตรเจน ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) [1-3] นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาที่พบว่าลักษณะของพื้นที่เมืองและพื้นที่ป่า มีบทบาทสำคัญในการกำหนดคุณภาพน้ำในแม่น้ำ โดยพื้นที่ป่าไม้มักจะพบปริมาณธาตุอาหารในน้ำในปริมาณน้อยกว่า [4]

ลุ่มน้ำห้วยหลวง มีขนาดพื้นที่ประมาณ 4,138 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ส่วนต้นน้ำมีป่าไม้ครอบคลุมร้อยละ 33.5 พื้นที่เกษตรกรรมร้อยละ 54.3 ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่นาข้าว ที่เหลือเป็นพื้นที่ชุมชนและอื่น ๆ ถ้าน้ำห้วยหลวงมีความยาวตลอดลำน้ำประมาณ 150 กิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดอุดรธานีและปลายลำน้ำไหลลงสู่มแม่น้ำโขงบริเวณจังหวัดหนองคาย สำนักงาน



สิ่งแวดล้อมภาคที่ 9 [5] ได้รายงานคุณภาพน้ำผิวน้ำห้วยหลวงในช่วงปี 2561- 2566 ว่าอยู่ในระดับพอใช้ ค่าดัชนีบ่งชี้คุณภาพแหล่งน้ำ WQI (Water Quality Index) พารามิเตอร์สำคัญที่บ่งชี้ถึงปัญหาคุณภาพน้ำตลอดปีคือ ปริมาณแอมโมเนีย - ไนโตรเจน ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) และแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria : TCB) เนื่องจากมีชุมชนและพื้นที่เกษตรกรรมอยู่สองฝั่งแม่น้ำหลายชุมชน ประกอบกับห้วยหลวงเป็นลำน้ำที่รองรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลนครอุดรธานีทำให้เกิดการสะสมสิ่งสกปรกที่ถูกชะล้างจากกิจกรรมในพื้นที่ลงสู่แหล่งน้ำ จะเห็นได้ว่า กิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ โดยเฉพาะปริมาณธาตุอาหารที่มักจะพบมากกว่าพารามิเตอร์อื่น ๆ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในลำน้ำห้วยหลวงตามรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินและตามฤดูกาลที่ต่างกััน ทั้งนี้ผลการศึกษา จะนำไปสู่การเสนอแนวทางการจัดการลุ่มน้ำทั้งในส่วนภาครัฐและชุมชนต่อไป

## 2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

2.1 งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ โดยมีการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling)

2.2 การกำหนดจุดเก็บตัวอย่างใช้ระบบภูมิศาสตร์สารสนเทศ (Geographic Information System: GIS) ในการแบ่งประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินและกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง 5 จุด โดยทั้ง 5 จุดเป็นตัวแทนของแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ดังนี้

จุดเก็บตัวอย่างน้ำ	รูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน	พิกัด
FOR	พื้นที่ป่าไม้	102°38'48 E, 17°04'56 N
PAD	พื้นที่นาข้าว	103°03'21 E, 17°34'08 N
LIV	พื้นที่ปศุสัตว์	102°35'36 E, 17°18'52 N
COM	พื้นที่ชุมชน	103°05'16 E, 17°52'23 N
IND	พื้นที่อุตสาหกรรม	102°35'28 E, 17°28'28 N

2.3 ทำการเก็บตัวอย่างน้ำจำนวน 2 ครั้ง ช่วงฤดูน้ำแห้ง (เดือนพฤศจิกายน 2566) และช่วงฤดูน้ำหลาก (เดือนพฤษภาคม 2567) เก็บตัวอย่างน้ำแบบจ้วง (Grab Samples) บริเวณกึ่งกลางลำน้ำ ทำการเก็บตัวอย่างที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตรจากผิวน้ำ โดยเก็บตัวอย่างจากจุดเก็บตัวอย่างที่กำหนด จุดละ 3 ครั้ง ในแต่ละจุดเมื่อเก็บตัวอย่างน้ำแล้วนำมาหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามวิธีวิเคราะห์ ดังต่อไปนี้

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO)	Membrane electrode method
ความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (BOD)	5-Days BOD test Azide modification method
ไนเตรท ( $\text{NO}_3$ )	Cadmium Reduction Method
แอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ )	Phenate method
ฟอสเฟต ( $\text{PO}_4$ )	Molybdenum blue method

## 2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ

- 1) วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- 2) วิเคราะห์ความแตกต่างกันของค่าพารามิเตอร์น้ำในแต่ละฤดูกาลด้วยการวิเคราะห์สถิติ independent sample t-test
- 3) วิเคราะห์ความแตกต่างกันของค่าพารามิเตอร์ในแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยการวิเคราะห์สถิติ one-way ANOVA

## 3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

การศึกษาความผันแปรของปริมาณธาตุอาหารในรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ต่างกันในกลุ่มน้ำห้วยหลวง ได้ผลการศึกษา ดังตารางที่ 1 และภาพที่ 1 – 5

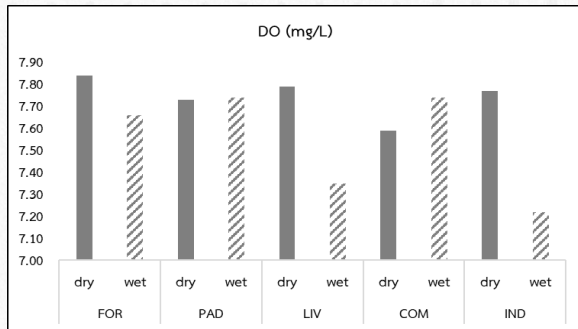
ตารางที่ 1 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและตามฤดูกาล

	season	FOR	PAD	LIV	COM	IND	Min - Max	Mean± SD
DO	dry	7.84±0.08	7.73±0.07	7.79±0.03	7.59±0.03	7.77±0.02	7.59-7.84	7.74±0.09
	wet	7.66±0.11	7.74±0.01	7.35±0.03	7.74±0.03	7.22±0.01	7.22-7.74	7.54±0.24
BOD	dry	0.89±0.15	1.82±0.04	2.58±0.20	1.17±0.06	2.69±0.12	0.89-2.69	1.83±0.81
	wet	1.13±0.03	1.63±0.62	1.98±0.18	1.63±0.17	1.52±0.18	1.13-1.98	1.58±0.30
NO <sub>3</sub>	dry	12.82±1.63	40.42±17.97	20.11±1.08	30.02±3.09	18.88±0.87	12.82-40.42	24.45±10.85
	wet	17.54±0.30	19.72±1.41	18.87±1.84	10.30±3.36	17.23±0.77	10.3-19.72	16.73±3.73
NH <sub>3</sub>	dry	0.58±0.01	0.35±0.04	0.68±0.05	0.28±0.17	0.24±0.08	0.24-0.68	0.43±0.19
	wet	0.20±0.01	0.43±0.11	0.28±0.04	0.35±0.13	0.26±0.06	0.20-0.43	0.27±0.16
PO <sub>4</sub>	dry	0.82±0.42	0.84±0.19	1.27±0.13	1.16±0.12	0.97±0.24	0.82-1.27	1.01±0.20
	wet	0.48±0.06	0.62±0.16	0.84±0.03	0.50±0.18	1.03±0.22	0.48-1.03	0.69±0.24

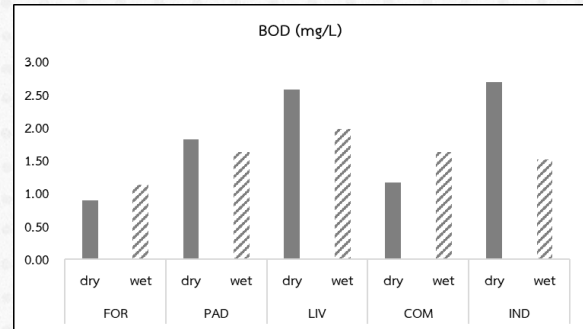
**3.1 ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO)** พบว่า รูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทพื้นที่ชุมชน (7.59±0.03 mg/L) และพื้นที่โรงงานอุตสาหกรรม (7.22±0.01 mg/L) มีปริมาณ DO น้อยที่สุดในฤดูแล้งและฤดูน้ำหลากตามลำดับ ในขณะที่พื้นที่ป่าไม้ (7.84±0.08 mg/L) และนาข้าว (7.74±0.01 mg/L) มีปริมาณ DO มากที่สุด เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยพบว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำฤดูน้ำแห้งมีค่ามากกว่า และทั้ง 2 ฤดู ค่า DO อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน จะเห็นว่าทั้ง 2 ฤดู พบปริมาณ DO มีค่าน้อยในพื้นที่ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ จากภาพที่ 1 พบว่า DO ในทุกรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน ฤดูน้ำแห้งมีปริมาณมากกว่าฤดูน้ำหลาก ยกเว้นในพื้นที่ชุมชนที่ปริมาณ DO ในฤดูน้ำหลากมีค่ามากกว่า จากผลการศึกษาของ Bhutiani, et al. [6] พบว่าในช่วงฤดูที่มีฝนตกนั้น จะทำให้มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total soluble solid; TSS) จะส่งผลต่อปริมาณออกซิเจนให้มีความลดลงน้อยกว่าฤดูน้ำแห้ง

**3.2 ความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (BOD)** พื้นที่โรงงานอุตสาหกรรมมีปริมาณ BOD มากที่สุด คือ 2.69±0.12 mg/L ในฤดูแล้ง ในขณะที่ฤดูน้ำหลากพบค่า BOD มากที่สุดในพื้นที่ปศุสัตว์ คือ 1.98±0.18 mg/L ทั้งนี้ ทั้ง 2 ฤดูมีปริมาณ BOD ต่ำที่สุดในพื้นที่ป่าไม้ สาเหตุเนื่องจากเป็นพื้นที่ที่ยังไม่ถูกรบกวนจากกิจกรรมของมนุษย์มากนัก เมื่อนำค่าที่ได้ไปเทียบเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน พบว่า ทั้ง 2 ฤดูมีค่า BOD เกินค่ามาตรฐาน สาเหตุที่พบว่าพื้นที่โรงงานอุตสาหกรรมมี

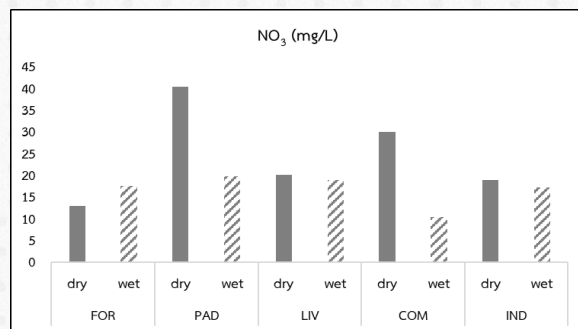
ปริมาณ BOD สูง อาจเป็นผลจากการปล่อยน้ำจากโรงงาน ซึ่งเป็นโรงงานผลิตแอมโมเนียสำหรับปุ๋ย ซึ่งมีปริมาณสารอินทรีย์สูง ส่งผลต่อค่า BOD ขณะที่พื้นที่ป่าไม้ มีค่า BOD ต่ำ เนื่องจากได้รับการถูกระบายจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ไม่มากเท่ากับพื้นที่อื่น ๆ สอดคล้องกับการศึกษาของ Rizvi, et al. [7] และ Singh, et al. [8] ที่พบปริมาณ BOD สูงเนื่องจากการปล่อยน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม



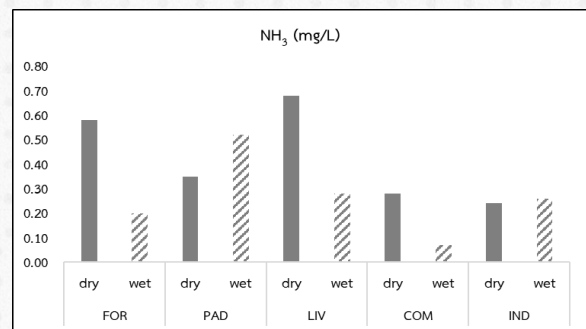
ภาพที่ 1 ปริมาณออกซิเจนละลาย (mg/L)



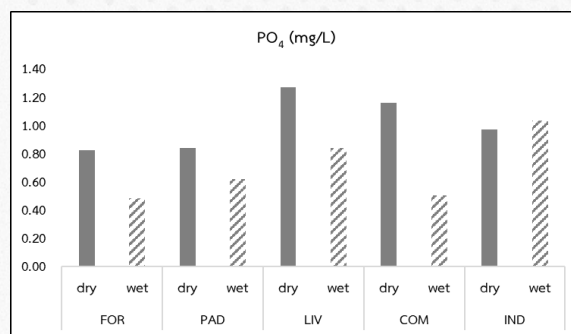
ภาพที่ 2 ปริมาณความสกปรกในรูปสารอินทรีย์(mg/L)



ภาพที่ 3 ปริมาณไนเตรท (mg/L)



ภาพที่ 4 ปริมาณแอมโมเนีย (mg/L)



ภาพที่ 5 ปริมาณฟอสฟอรัส (mg/L)

**3.3 ไนเตรท (NO<sub>3</sub>)** พบว่า พื้นที่นาข้าวมีค่า NO<sub>3</sub> มากที่สุดทั้งในฤดูแล้งและฤดูน้ำหลาก (40.42±17.97 และ 19.72±1.41 mg/L ตามลำดับ) ปริมาณ NO<sub>3</sub> ที่น้อยที่สุดพบในพื้นที่ป่าไม้ (12.82±1.63 mg/L) และพื้นที่ชุมชน (10.30±3.36 mg/L) โดยค่าเฉลี่ยในฤดูน้ำแห้งมีปริมาณไนเตรทมากกว่าฤดูน้ำหลาก เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับพบว่า ค่า NO<sub>3</sub> เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินทั้ง 2 ฤดู การที่พบว่าปริมาณไนเตรทมากในพื้นที่นา สาเหตุหลักเกิดจากการใส่ปุ๋ยของเกษตรกร เพื่อเป็น

การเติมไนโตรเจนในดิน สอดคล้องกับ Perez-Gutierrez, et al. [9] พบว่าปริมาณธาตุอาหารที่เพิ่มขึ้นมีสาเหตุจากการใส่ปุ๋ย และจะส่งผลต่อการเกิดยูโทรฟิเคชัน ในฤดูน้ำหลากมีค่าไนเตรทน้อยกว่าฤดูน้ำแห้งเป็นเพราะมีน้ำฝนชะล้างไนเตรท ประกอบกับเป็นช่วงฤดูทำนา ไนเตรทจะถูกดูดซึมโดยพืช สำหรับพื้นที่อื่น ๆ ที่พบว่ามีปริมาณไนเตรทเกินค่ามาตรฐาน โดยเฉพาะในพื้นที่ชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม สาเหตุเกิดจากการใช้ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดที่มีสารเคมีที่มีองค์ประกอบของไนโตรเจนเป็นส่วนผสม เมื่อมีการชำระล้างต่าง ๆ ไนโตรเจนจะเกิดการเปลี่ยนรูปเป็นไนเตรทและแอมโมเนีย ไหลลงสู่แหล่งน้ำได้

**3.4 แอมโมเนีย (NH<sub>3</sub>)** พื้นที่ปศุสัตว์มีปริมาณ NH<sub>3</sub> มากที่สุดในฤดูแล้ง (0.68±0.05 mg/L) ในขณะที่พื้นที่โรงงานอุตสาหกรรมมีปริมาณน้อยที่สุด (0.24±0.08 mg/L) ในฤดูน้ำหลากมี NH<sub>3</sub> ในพื้นที่นาข้าวมากที่สุด (0.43±0.11 mg/L) และพบว่าพื้นที่ป่าไม้มีปริมาณแอมโมเนียน้อยที่สุด (0.20±0.01 mg/L) เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยทั้ง 2 ฤดู พบว่า ในฤดูน้ำแห้งมีปริมาณ NH<sub>3</sub> มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินค่า NH<sub>3</sub> ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ปริมาณ NH<sub>3</sub> ในแหล่งน้ำ มักเกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใส่ปุ๋ยในพื้นที่เกษตรกรรม โดยจะพบว่าพื้นที่นาข้าวมีปริมาณ NH<sub>3</sub> สูง นอกจากนี้ NH<sub>3</sub> ยังอาจมีสาเหตุจากสิ่งปฏิกูล ซึ่งจะเห็นได้จากพื้นที่ปศุสัตว์มีปริมาณ NH<sub>3</sub> สูง การศึกษาของ Li, H., et al. [4] NH<sub>3</sub> พบมากในฤดูแล้ง ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการศึกษานี้

**3.5 ฟอสเฟต (PO<sub>4</sub>)** พบว่า ทั้ง 2 ฤดู พื้นที่ป่าไม้มีปริมาณฟอสเฟตต่ำที่สุด คือ ฤดูแล้ง 0.82±0.42 mg/L และฤดูน้ำหลาก 0.48±0.06 mg/L ในขณะที่พื้นที่ปศุสัตว์ (1.27±0.13 mg/L) และพื้นที่โรงงานอุตสาหกรรม (1.03±0.22 mg/L) มีค่ามากที่สุด ค่าเฉลี่ยฟอสเฟตในฤดูน้ำแห้งมีค่ามากกว่าฤดูน้ำหลาก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ De Mello, et al. [10] พบความแตกต่างของธาตุอาหารในพื้นที่โรงงานอุตสาหกรรมโดยพบว่ามีปริมาณฟอสเฟตสูงสุดช่วงฤดูน้ำหลากมากกว่าฤดูแล้ง สำหรับผลกระทบต่อของฟอสเฟตในแหล่งน้ำ หากมีปริมาณมาก จะเป็นสาเหตุให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) คือ สาหร่ายในน้ำเจริญเติบโตมากผิดปกติ เพราะได้รับธาตุอาหาร และเมื่อสาหร่ายใช้ธาตุอาหารในแหล่งน้ำหมด จะตายลง ส่งผลให้เกิดน้ำเน่าเสียได้ จึงต้องมีมาตรการในการควบคุมปริมาณฟอสเฟตไม่ให้มีปริมาณมากเกินไป

**3.6 ผลการทดสอบความแตกต่างของปริมาณธาตุอาหาร** จากตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบความแตกต่างของปริมาณธาตุอาหารในแต่ละฤดูกาลและแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่า ทั้ง 2 ฤดูมีปริมาณธาตุอาหารที่ไม่แตกต่างกัน และจากตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบความแตกต่างของปริมาณธาตุอาหารในแต่ละประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่า มีเพียงพื้นที่โรงงานอุตสาหกรรมที่ปริมาณธาตุอาหารแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ p-value < 0.05 ผลการศึกษานี้แตกต่างจาก Ding, et al. [11], Shi, et al. [12], Sliva and Williams [13], และ Hernández, et al. [14] ที่พบว่าประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดินมีอิทธิพลต่อคุณภาพน้ำอย่างมีนัยสำคัญ ไม่ว่าจะปริมาณ DO, BOD และธาตุอาหาร โดยได้ชี้ให้เห็นว่าพื้นที่ชุมชนเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำ ในขณะที่แหล่งน้ำที่อยู่พื้นที่ป่าไม้จะมีคุณภาพน้ำในเกณฑ์ดีมาก เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่อื่น ๆ นอกจากนี้ Shi, et al. [15] พบว่า คุณภาพน้ำได้รับอิทธิพลจากฤดูกาลแตกต่างกัน โดยในฤดูฝนจะมีปริมาณสารมลพิษไหลลงแหล่งน้ำมากกว่า ส่งผลต่อพารามิเตอร์ต่าง ๆ Li, et al. [4] พบว่า ฤดูกาลที่ต่างกัน ส่งผลให้ DO แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 รวมไปถึงปริมาณธาตุอาหารจะมีความสัมพันธ์กับประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน Mello, et al. [10] พบว่าพื้นที่เกษตรกรรมและพื้นที่เมื่องนั้นจะมีปริมาณฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสาเหตุเกิดจากการใส่ปุ๋ยในพื้นที่เกษตรกรรม

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความแตกต่างกันของปริมาณธาตุอาหารในแต่ละฤดูกาล

Season	F-value
dry	0.060
wet	1.061

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความแตกต่างกันของปริมาณธาตุอาหารในแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน

Land use	t-value
FOR	0.140
PAD	0.543
LIV	0.194
COM	0.196
IND	0.049*

หมายเหตุ \* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่  $p - value < 0.05$

จากผลการศึกษาที่ได้กล่าวมาข้างต้น พบว่า ปริมาณธาตุอาหารในแต่ละฤดูกาลและแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินนั้น ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นปริมาณธาตุอาหารในพื้นที่โรงงานอุตสาหกรรม แต่ทั้งนี้ เมื่อพิจารณากิจกรรมการใช้ประโยชน์ของมนุษย์ในลำน้ำห้วยหลวง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม บางส่วนเป็นเมืองขนาดใหญ่ (อ.เมืองอุดรธานี) ย่อมส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในลำน้ำห้วยหลวงไม่มากก็น้อย ความสำคัญของลำน้ำห้วยหลวงเป็นแหล่งน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปา เป็นแหล่งน้ำสำหรับทำเกษตรกรรม อีกทั้งยังสำคัญต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำ ดังนั้น จึงควรมีมาตรการป้องกันไม่ให้คุณภาพน้ำเสื่อมโทรม และหาแนวทางในการจัดการน้ำอย่างยั่งยืนต่อไป

#### 4. บทสรุป

ความผันแปรของประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน มักส่งผลต่อคุณภาพน้ำ อันเนื่องมาจากกิจกรรมต่าง ๆ ในพื้นที่ที่แตกต่างกัน ปริมาณธาตุอาหารในแหล่งน้ำมีสาเหตุจากการใช้ปุ๋ยในพื้นที่เกษตรกรรม สำหรับพื้นที่ชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม ธาตุอาหารมักจะมาจากผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดต่าง ๆ ฤดูกาลที่แตกต่างกัน ทำให้มีการไหลบ่าของผิวดินและการสะสมตัวของธาตุอาหาร ส่งผลต่อคุณภาพน้ำได้เช่นกัน ดังนั้น จึงควรมีมาตรการป้องกันไม่ให้คุณภาพน้ำเสื่อมโทรม และหาแนวทางในการจัดการน้ำอย่างยั่งยืนต่อไป ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาครั้งต่อไป ควรเพิ่มจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน และเพิ่มการวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำ เพื่อนำไปคำนวณดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำ (Water Quality Index; WQI)

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุน ววน.) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Suresh, K. Tang, T. T.H. van Vliet M. F.P. Bierkens M. Strokal, M. Sorger-Domenigg, F. and Wada, Y. Recent advancement in water quality indicators for eutrophication in global freshwater lakes. *Environ. Res. Lett.* 18(2023) 063004.
- [2] Njue, J. Magana, A. and Githae, E. Effects of Agricultural Nutrients Influx on Water Quality in Thiba River basin, a sub-catchment of Tana River Basin in Kirinyaga County, Kenya. *East African Journal of Agriculture and Biotechnology.* 5(2022): 1 69-89.
- [3] Kováčová, V. Deterioration of water quality in aquatic system. *Acta Hydrologica Slovaca.* 24(2023): 1 141-150.
- [4] Li, H. Zhao, B. Wang, D. Zhang, K. Tan, X. and Zhang, O. Effect of multiple spatial scale characterization of land use on water quality. *Environ Sci Pollut Res* 30(2023) 7106–7120
- [5] กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กรมควบคุมมลพิษ สำนักงานสิ่งแวดล้อมและควบคุมมลพิษที่ 9 (อุดรธานี). รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม ปี 2566 เลย อุดรธานี หนองคาย บึงกาฬ สกลนคร นครพนม. อุดรธานี: สำนักงานสิ่งแวดล้อมและควบคุมมลพิษที่ 9 (อุดรธานี). 2567.
- [6] Bhutiani, R. Ruhela, M. and Ahamad, F. Limnological characterization of Hindon River at NCR (Uttar Pradesh), *Environment Conservation Journal.* 18(2017) 219-229
- [7] Rizvi, N. Katyal, D. and Joshi, V. Assessment of water quality of Hindon River in Ghaziabad and Noida, India by using Multivariate statistical methods. *JOGEE* 3(2015) 2: 80–90.
- [8] Singh, B.P. and Kumar, Y. Physicochemical Characteristic of Hindon River, Uttar Pradesh (India). *IOSR J Environ Sci Toxicol Food Technol* 10(2016) 12: 35–38.
- [9] Perez-Gutierrez, J.D. Paz, J.O. and Tagert, M.L.M. Seasonal water quality changes in on-farm water storage systems in a south-central US agricultural watershed. *Agric Water Manage* 187(2017): 131–139.
- [10] De Mello, K. Valente, R.A. Randhir, T.O. dos Santos, A.C.A. and Vettorazzi, C.A. Effects of land use and land cover on water quality of low-order streams in Southeastern Brazil: Watershed versus riparian zone. *CATENA* 167(2018): 130–138.
- [11] Ding, J. Jiang, Y. Liu, Q. Hou, Z. Liao, J. Fu, L. and Peng, Q. Influences of the land use pattern on water quality in low-order streams of the Dongjiang River basin, China: A multi-scale analysis. *Sci Total Environ* 551(2016): 205–216.
- [12] Shi, P. Zhang, Y. Li, Z. Li, P. and Xu, G. Influence of land use and land cover patterns on seasonal water quality at multi-spatial scales. *CATENA* 151(2017): 182–190.
- [13] Sliva, L. and Williams, D.D. Buffer zone versus whole catchment approaches to studying land use impact on river water quality. *Water Res* 35(2001) 14: 3462–3472.
- [14] Hernández Falconi, A. V. Castillo, M. M. Mendoza Carranza, M. Jarquín Sánchez, A. and Ramos Reyes, R. Land use changes affect water quality and chlorophyll concentration in tropical streams. *HIDROBIOLÓGICA* 33(2023) 1.
- [15] Shi, J. Jin, R. Zhu, W. and Tian, L. and XinHang Lv. Effects of multi-scale landscape pattern changes on seasonal water quality: a case study of the Tumen River Basin in China. *Environ Sci Pollut Res* 29(2022) 76847–76863.

## การศึกษาปริมาณสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช กลุ่มออกซิน จิบเบอเรลลิน ในแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

### Study on the Quantitative of Plant Growth Regulator Auxin and Gibberellins in the Azolla and Blue-green Algae

สุวลักษณ์ ไชยทอง<sup>1\*</sup> ตวงพร ชีระพิทยาพงศ์<sup>1</sup> เพชรรัตน์ ศิริวิ<sup>1</sup> สุพิศสา ทองเขียว<sup>1</sup> และ สาธิตา โพธิ์น้อย<sup>1</sup>

<sup>1</sup>กลุ่มวิจัยเกษตรเคมี กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร แขวงลาดยาว

เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

\*E-mail: suwaluck1988@gmail.com

#### บทคัดย่อ

ปัจจุบันเกษตรกรประสบปัญหาปุ๋ยเคมีมีราคาแพง จึงทำให้เกษตรกรได้เปลี่ยนมาใช้ปัจจัยการผลิตทางการเกษตรที่มีการผลิตจากพืชและสารอินทรีย์ทดแทนเพิ่มมากขึ้นเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิต โดยเฉพาะแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ซึ่งเป็นพืชที่มีปริมาณสารฮอร์โมนพืชและมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชสูง อีกทั้งยังสามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สารเพิ่มประสิทธิภาพพืชได้อีกด้วย งานวิจัยนี้จึงได้มีการศึกษาปริมาณสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ในสารกลุ่มออกซิน ได้แก่ กรดอินโดล-3-แอซิติค (Indole-3-acetic acid: IAA) และกลุ่มจิบเบอเรลลิน 2 ชนิด ได้แก่ จิบเบอเรลลิน เอ4 (Gibberellin A4: GA<sub>4</sub>) และ จิบเบอเรลลิน เอ7 (Gibberellin A7: GA<sub>7</sub>) ในตัวอย่างแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ด้วยเทคนิค LC-MS/MS จากการศึกษาพบว่า วิธีการเตรียมตัวอย่างที่เหมาะสม คือการใช้วิธี QuEChERS โดยใช้สารสกัด 1% Formic acid in Acetonitrile ต่อ Methanol (4:1, v/v) และ Salt mixture (MgSO<sub>4</sub>, NaCl, Trisodium citrate dehydrate และ Disodium hydrogen citrate sesquihydrate (8:2:2:1, w/w/w/w)) และใช้ Primary secondary amine (PSA) และ MgSO<sub>4</sub> เป็นสารที่ช่วยทำให้สารตัวอย่างมีความบริสุทธิ์เพิ่มมากขึ้นก่อนนำไปวิเคราะห์ ทั้งนี้สภาวะที่เหมาะสมในการแยกสาร คือ Gradient elution ระหว่าง 0.1% Formic acid กับ Acetonitrile ในระยะเวลา 10 นาที โดยทำการศึกษาปริมาณสาร IAA, GA<sub>4</sub> และ GA<sub>7</sub> ที่ช่วงความเข้มข้น 0.01-0.30 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการศึกษาปริมาณสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในตัวอย่างแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินพบว่า มีปริมาณสาร IAA เท่ากับ 0.088 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และ 0.102 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยปริมาณที่ตรวจพบอยู่ในระดับความเข้มข้นที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช คือมากกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร ตาม Moore (1989) และพบปริมาณสาร GA<sub>4</sub> ในตัวอย่างแหนแดงเท่ากับ 0.028 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แต่ไม่พบในตัวอย่างสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ทั้งนี้ตรวจไม่พบปริมาณสาร GA<sub>7</sub> ทั้งในตัวอย่างแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน โดยพบความแม่นยำจากการศึกษาปริมาณสารอยู่ในช่วง 80.0 – 103.4 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์กำหนดตาม AOAC (2023) ที่มีเกณฑ์กำหนดอยู่ในช่วง 80-110% ดังนั้นวิธีนี้มีความเหมาะสมในการตรวจหาปริมาณสารกลุ่มออกซินและจิบเบอเรลลินในแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน อีกทั้งยังสามารถนำข้อมูลจากการตรวจหาปริมาณสารในตัวอย่างดังกล่าวไปใช้ประกอบการใช้งานในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สารเพิ่มประสิทธิภาพพืช

**คำสำคัญ:** ออกซิน จิบเบอเรลลิน สารเพิ่มประสิทธิภาพพืช

## Abstract

At present, farmers are facing the problem of expensive chemical fertilizers. Therefore, farmers have switched to using more agricultural production factors produced from plants and organic substances as alternatives in order to reduce production costs, especially Azolla and blue-green algae, which are plants that contain high amounts of plant hormones and nutrients necessary for plant growth. They can also be used to produce products that increase plant efficiency. This research has studied the amount of plant growth regulators in the auxin group, namely indole-3-acetic acid (IAA) and two types of gibberellins, namely gibberellin A4 (GA<sub>4</sub>) and gibberellin A7 (GA<sub>7</sub>), in Azolla and blue-green algae samples using LC-MS/MS technique. The results suggested that a suitable sample preparation technique was QuEChERS. The samples were extracted by 4:1 (v/v) 1% formic acid in acetonitrile and methanol, and a salt mixture (8:2:2:1, (w/w/w/w) of MgSO<sub>4</sub>, NaCl, trisodium citrate dehydrate, and disodium hydrogen citrate sesquihydrate) The extracts were cleaned up by Primary secondary amine (PSA) and MgSO<sub>4</sub>. A preferable condition for extraction was a gradient elution between 0.1% Formic acid and Acetonitrile in 10 minutes time. IAA, GA<sub>4</sub>, and GA<sub>7</sub> contents were determined at a concentration between 0.01-0.30 mg/L. From the study of the amount of plant growth regulators in the samples of Azolla and blue-green algae, it was found that the amount of IAA was 0.088 mg/kg and 0.102 mg/kg, respectively. The amount detected was at a concentration that promotes plant growth of more than 0.005 mg/L according to Moore (1989). The amount of GA<sub>4</sub> was found in the Azolla sample of 0.028 mg/kg, but not in the blue-green algae sample. However, the amount of GA<sub>7</sub> was not detected in either the Azolla or blue-green algae samples. The accuracy of the study of the amount of substances was found to be in the range of 80.0-103.4, which is within the criteria specified by AOAC (2023) with a criteria of 80-110%. Therefore, this method is suitable for detecting the amount of auxin and gibberellin in Azolla and blue-green algae. Moreover, the data from the quantification of substances in such samples can be used for production of plant enhancement products.

**Keywords:** Auxin, Gibberellin, Plant enhancement products

### 1. บทนำ

การปลูกพืชแบบเกษตรอินทรีย์มีกระแสนิยมเพิ่มมากขึ้น เกษตรกรจึงให้ความสนใจและกลับมาปลูกพืชในระบบเกษตรอินทรีย์กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากการให้ความสำคัญกับคุณภาพและความปลอดภัย ด้านอาหารของทั้งผู้ผลิต ผู้บริโภค รวมถึงการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน เกษตรกรจึงต้องเลือกใช้ปัจจัยการผลิตทางการเกษตรที่เป็นผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ ซึ่งผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ เช่น สารชีวภัณฑ์ สารสกัดสารอินทรีย์หรือที่ได้จากสิ่งมีชีวิตจะมีสารจำพวกวิตามิน ฮอโมน แร่ธาตุและกรดอะมิโนต่างๆ เป็นองค์ประกอบ ซึ่งมีการผลิตและวางจำหน่ายตามร้านค้าเคมีเกษตร จำหน่ายด้วยระบบขายตรง และระบบออนไลน์ทั่วไป และเนื่องจากปัจจุบันเกษตรกรประสบปัญหาปุ๋ยเคมีมีราคาแพง จึงทำให้เกษตรกรนิยมใช้ปัจจัยการผลิตทางการเกษตรที่เป็นอินทรีย์ทดแทนเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ผู้ประกอบการ



ที่มองเห็นช่องทางกำไรที่ตอบรับกับเกษตรอินทรีย์ได้ผลิตและจำหน่ายปัจจัยการผลิตทางการเกษตรเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน กรมวิชาการเกษตรได้เล็งเห็นความสำคัญจากปัญหาที่เกิดขึ้น จึงได้มีการศึกษากระบวนการผลิตและใช้สารสกัดเพิ่มประสิทธิภาพพืชและลดการใช้ปุ๋ยเคมีลง เช่น การใช้สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินร่วมกับปุ๋ยทางใบต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้วยน้ำว้า ซึ่งในสารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช มีกรดอะมิโน 16 ชนิด และสารคล้ายฮอร์โมนพืช Indoleacetic acid (IAA) และ Cytokinin เป็นต้น [1] และยังมีการศึกษาผลของสารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินต่อการเจริญเติบโตของข้าว พบว่า การใช้สารสกัดสาหร่ายระยะกล้าร่วมกับการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนทำให้ข้าวมีการแตกกอมากกว่าการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนอย่างเดียว [2] และจากนวัตกรรมของสำนักวิจัยและพัฒนาการอาชีวศึกษา [3] ได้มีการสกัดสารเข้มข้นจากแหนแดง ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกใหม่ในการใช้สารธรรมชาติ ที่ประกอบด้วยธาตุอาหารไนโตรเจนสูง ใช้ทดแทนปุ๋ยเคมี เพื่อการเร่งการเจริญเติบโตของพืชผัก เหมาะกับการเพาะปลูกพืชผักแบบอินทรีย์หรือปลูกพืชผักไว้รับประทานเองในครัวเรือน ซึ่งสารสกัดแหนแดงเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่มีความปลอดภัยต่อการบริโภค ทั้งนี้กรมวิชาการเกษตรได้จัดทำผลิตภัณฑ์แหนแดงร่วมกับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินอัดเม็ด ซึ่งมีคุณสมบัติตามเกณฑ์กำหนดของปุ๋ยอินทรีย์ สามารถนำไปใช้ประโยชน์แก่พืชผักทั้งการผลิตแบบเกษตรอินทรีย์และใช้ตามแนวทางในการทำ การเกษตรเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดีตรงตามมาตรฐานที่กำหนด ได้ผลผลิตสูงคุ้มค่าการลงทุนและขบวนการผลิตที่ปลอดภัยต่อเกษตรกรและผู้บริโภค มีการใช้ทรัพยากรที่เกิดประโยชน์สูงสุด เกิดความยั่งยืนทางการเกษตรและไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยแหนแดงเปรียบเสมือนโรงงานผลิตปุ๋ยไนโตรเจนทางชีวภาพ โดยผ่านกระบวนการตรึงไนโตรเจนจากอากาศของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่อาศัยอยู่ในโพรงใบของแหนแดง ทั้งนี้ แหนแดงเป็นพืชที่สามารถเพิ่มชีวมวลได้อย่างรวดเร็ว โดยมีระยะเวลาเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าเพียง 2-5 วัน หากมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมจะสามารถเพิ่มปริมาณได้ถึง 40 เท่า ในระยะเวลาเพียง 2 สัปดาห์ [4, 5] ในขณะที่สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีองค์ประกอบของกรดอะมิโน และสารคล้ายฮอร์โมนพืชในกลุ่มออกซิน ไซโตไคนิน และจิบเบอเรลลินที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช [1, 6] อีกทั้งแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ยังเป็นแหล่งชีวมวลที่มีศักยภาพที่เกษตรกรสามารถผลิตได้อย่างต่อเนื่องไม่มีวันหมด โดยมีต้นทุนการผลิตต่ำหากเปรียบเทียบกับการผลิตชีวมวลชนิดอื่น การพัฒนาผลิตภัณฑ์แหนแดงร่วมกับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินอัดเม็ดเป็นการวิจัยพัฒนาเพื่อให้การใช้แหนแดงแห้งในแปลงปลูกพืชมีความสะดวกมากขึ้น สามารถใส่ลงดินได้ในปริมาณมากทำให้พืชได้รับธาตุอาหารเพียงพอต่อความต้องการ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใส่ในกระถางปลูกพืชชนิดต่างๆ ได้ง่ายขึ้น โดยในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน พบปริมาณสารกลุ่มออกซิน ได้แก่ IAA ความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นที่เพียงพอต่อการนำไปใช้ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากพบว่าความเข้มข้นของ IAA ที่ตอบสนองต่อส่วนของลำต้นและตาข้างในด้านส่งเสริมการเจริญเติบโตอยู่ในช่วง  $10^{-5}$  และ  $10^{-8}$  โมลาร์ ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของรากอยู่ในระดับต่ำมากในช่วง  $10^{-11}$  และ  $10^{-10}$  โมลาร์ [7] ซึ่งความเข้มข้นของ IAA ในสารสกัดสาหร่ายที่แนะนำให้ใช้ฉีดพ่นทางใบแก่พืชผักเท่ากับ 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเป็นความเข้มข้นที่อยู่ในช่วง  $10^{-8}$  -  $10^{-7}$  โมลาร์ ส่วนจิบเบอเรลลินช่วยเพิ่มการขยายขนาดของเซลล์และการยืดยาวของลำต้น และพบในสารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน 36.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนไซโตไคนินสามารถช่วยส่งเสริมการแบ่งเซลล์ เร่งการขยายตัวของเซลล์ ส่งเสริมการสร้างและการเจริญของตาและช่วยในการงอกของเมล็ด และพบในสารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน 0.013 มิลลิกรัมต่อลิตร [8]

เทคนิคลิควิดโครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรเมทรี (LC-MS/MS) เป็นเทคนิคที่สามารถตรวจวัดได้ในระดับมวลต่อประจุ อีกทั้งยังมีความสะดวก รวดเร็ว ทันท่วงที มีความถูกต้อง แม่นยำสูงและสามารถตรวจวัดสารที่มีปริมาณต่ำๆ ได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณได้หลายชนิดในเวลาเดียวกัน ดังนั้นจึงได้นำเทคนิคนี้มาใช้ในศึกษาปริมาณของสารกลุ่มออกซินและจิบเบอเรลลินในตัวอย่างแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่จะนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สารเพิ่มประสิทธิภาพพืช ซึ่งได้จากการเพาะเลี้ยงจากกรมวิชาการเกษตร การตรวจวิเคราะห์ด้วย LC-MS/MS ทำให้ทราบได้ว่าแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีปริมาณสารกลุ่มออกซินและจิบเบอเรลลินอยู่ในช่วงความเข้มข้นที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้หรือไม่ อีกทั้งจะได้นำ

ความรู้เกี่ยวกับประโยชน์ของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชในแผนผัง สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน และผลิตภัณฑ์สารเพิ่มประสิทธิภาพพืชไปถ่ายทอดให้เกษตรกร และจะได้แนะนำและส่งเสริมให้เกษตรกรนำผลิตภัณฑ์สารเพิ่มประสิทธิภาพพืชที่ผลิตจากแผนผังและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินไปใช้ประโยชน์ในด้านการเพาะปลูกพืชเกษตรอินทรีย์ อีกทั้งเป็นการลดต้นทุนการผลิตและพัฒนาการเกษตรปลอดภัยได้อย่างยั่งยืน

## 2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

### 2.1 อุปกรณ์และสารเคมี

- อุปกรณ์ ได้แก่ เครื่องลิกวิดโครมาโทกราฟีแมสสเปกโตรมิเตอร์ (LC-MS/MS: ExionLC™ และ Sciex 4500 Triple Quadrupole, เยอรมนี) เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 5 ตำแหน่ง (Mettler toledo รุ่น XPE 205, สวิตเซอร์แลนด์) เครื่องอัลตราโซนิก (Branson รุ่น 2210, สหรัฐอเมริกา) และเครื่องปั่นเหวี่ยง (Rotina 380R, เยอรมนี)

- สารมาตรฐานและสารเคมี ได้แก่ Indole-3-acetic acid (IAA) 99.6% (Dr.Ehrenstorfer (Augsburg, เยอรมนี) Gibberellin A4 (GA<sub>4</sub>) 99.7% (Sigma-Aldrich, เบลเยียม) Gibberellin A7 (GA<sub>7</sub>) 97.0% (Toronto Research Chemicals, แคนาดา) Acetonitrile LC-MS grade >99%, Formic acid (FA) >98%, ตัวอย่างแผนผัง สกุล Azolla Lam. สปีชีส์ Azolla microphylla Kaulf และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน สกุล Hapalosiphon

### 2.2 การเตรียมตัวอย่างแผนผังและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

นำตัวอย่างแผนผังจากบ่อปูนซีเมนต์สำหรับเพาะขยายแม่พันธุ์แผนผัง และตัวอย่างสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน Hapalosiphon ในอาหารเหลว จากแหล่งรวบรวมและเก็บรักษาสายพันธุ์สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน จากกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร โดยทำการเตรียมตัวอย่างดังนี้ นำตัวอย่างแผนผังไปปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ไนโตรเจนเหลว และเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปสกัดเพื่อวิเคราะห์ สำหรับตัวอย่างสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน Hapalosiphon นำไปกรองด้วยผ้ากรองแปลงตอนขนาด 30 ไมครอน แล้วนำส่วนที่เป็นเนื้อสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินไปสกัดเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชกลุ่มออกซินและจิบเบอเรลลิน

### 2.3 วิธีวิเคราะห์

#### 2.3.1 การตรวจสอบความเฉพาะเจาะจง (Specificity) และความสามารถของการแยกสาร (Selectivity)

2.3.1.1 ปรับตั้งสภาวะในการวิเคราะห์ของเครื่อง LC-MS/MS ได้แก่ ไอออนตั้งต้น (Precursor ion: Q1) ไอออนจากการแตกตัว (Product ion: Q3) ค่าศักย์ไฟฟ้า Decluster potential (DP) และ Entrance potential (EP) พลังงานแตกตัว Collision energy (CE) และ Collision cell exit potential (Cxp) แสดงในตารางที่ 1 จากนั้นนำค่าที่ได้ไปปรับตั้งค่าของเครื่องวิเคราะห์มวลอย่างละเอียด (MS/MS) และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องที่ใช้ในการแยกสารด้วยของเหลว (LC) โดยกำหนดค่าดังนี้

สำหรับสภาวะของเครื่องส่วนวิเคราะห์มวลอย่างละเอียด (MS/MS) เลือกแหล่งกำเนิดไอออน (Ion source) แบบ Electrospray ionization (ESI) ที่ประกอบด้วยการตรวจวัดไอออนบวกและไอออนลบ (Positive - Negative mode) ใช้เคอร์เทนแก๊ส (Curtain gas) แรงดันเท่ากับ 25 psig และคอลลิชันแก๊ส (Collision gas) แรงดันเท่ากับ 9 psig สำหรับการสเปรย์ไอออนใช้ความต่างศักย์ เท่ากับ 5500 V และ -4500 V ใน Positive mode และ Negative mode ตามลำดับ ใช้อุณหภูมิในการแตกตัวของไอออนเท่ากับ 500 องศาเซลเซียส ใช้แรงดันของแก๊สในแหล่งกำเนิดไอออน เท่ากับ 50 psig และ 60 psig และใช้พารามิเตอร์การสแกน MS/MS เป็นโหมดมัลติรีแอคชันมอนิเตอร์ริง (Multi Reaction Monitoring: MRM) ดังแสดงในตารางที่ 1

สภาวะของเครื่องส่วนที่ใช้ในการแยกสารด้วยของเหลว (LC) ใช้คอลัมน์ในการแยกสารเป็น Phenomenex Synergi fision RP 80 A° มีขนาดความยาวคูณเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 50 x 2 mm มีขนาดอนุภาคเท่ากับ 4 ไมโครเมตร และใช้อุณหภูมิของตู้ควบคุมอุณหภูมิของคอลัมน์เท่ากับ 40 องศาเซลเซียส สำหรับปริมาณสารที่ใช้ในการฉีดแต่ละครั้งเท่ากับ 5 ไมโครลิตร ใช้อัตราการไหลเท่ากับ 300 ไมโครลิตรต่อนาที ทำการฉีดสารในระยะเวลา 10 นาที โดยใช้อัตราส่วนของเฟสเคลื่อนที่ในโปรแกรมเกรเดียนต์ (Gradient program) ดังนี้ (A คือ 0.1% Formic acid และ B คือ Acetonitrile) ที่ระยะเวลา 0-1 นาที ใช้อัตราส่วน A:B เท่ากับ 95:5 ที่ระยะเวลา 1-4 นาที ใช้อัตราส่วน A:B เท่ากับ 5:95 ที่ระยะเวลา 4-6 นาที ใช้อัตราส่วน A:B เท่ากับ 5:95 ที่ระยะเวลา 6-8 นาที ใช้อัตราส่วน A:B เท่ากับ 95:5 และที่ระยะเวลา 8-10 นาที ใช้อัตราส่วน A:B เท่ากับ 95:5

**ตารางที่ 1** ค่าของพารามิเตอร์ต่างๆที่ทำให้เกิดการแตกตัวของประจูงสองครั้ง สำหรับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช 3 ชนิด

สารที่วิเคราะห์	ค่าประจูงของ		ค่าประจูงของ		DP	EP	CE	Cxp
	ไอออนตัวตั้งต้น (Q1)	โหมตสแกน	ไอออนของตัวที่แตกออก (Q3)					
IAA	176	บวก	130	18	11	23	10	
			103	18	11	42	7	
GA <sub>4</sub>	331.1	ลบ	243.1	-31	-5	-27	-14	
			257	-31	-5	-34	-20	
GA <sub>7</sub>	329	ลบ	223	-41	-5	-27	-15	
			211	-41	-5	-38	-7	

2.3.1.2 ทำการฉีดสารตัวอย่าง คือ สารที่ใช้เป็นตัวทำละลาย สารละลายมาตรฐาน และสารละลายตัวอย่าง

2.3.1.3 พิจารณาโครมาโทแกรมทั้งหมดตามเงื่อนไขของการหาความจำเพาะเจาะจงและความสามารถในการแยกสาร

2.3.2 ศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง (Linearity) และช่วงการใช้งาน (Working rang) ของวิธีวิเคราะห์

2.3.2.1 เตรียมสารมาตรฐาน IAA ให้ได้ความเข้มข้นที่แน่นอน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขวดวัดปริมาตร 50 มิลลิตร และเตรียม GA<sub>4</sub> และ GA<sub>7</sub> ให้ได้ความเข้มข้นที่แน่นอน 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขวดวัดปริมาตร 10 มิลลิตร ละลายและปรับปริมาตรด้วยสารละลายเมทานอล แล้วเขย่าให้เข้ากัน

2.3.2.2 เตรียมสารละลายมาตรฐาน IAA, GA<sub>4</sub> และ GA<sub>7</sub> ให้มีความเข้มข้นชนิดละ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขวดวัดปริมาตรเดียวกันขนาด 10 มิลลิตร (Mixed standard) ปรับปริมาตรด้วยสารละลายเมทานอล แล้วเขย่าให้เข้ากัน

2.3.2.3 เตรียมสารละลายมาตรฐานรวม (Mixed standard) ให้มีความเข้มข้นต่างกัน 7 ระดับ ได้แก่ 0.01, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ ปรับปริมาตรด้วย 0.1% Formic acid แล้วเขย่าให้เข้ากัน กรองด้วย PVDF filter ขนาด 0.22 ไมโครเมตร ก่อนนำไปฉีดเข้าเครื่อง LC-MS/MS

2.3.2.4 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน (แกน x) กับค่าความเข้มข้นของพลังงาน (Intensity) (แกน y)

2.3.2.5 คำนวณค่า Correlation coefficient (r) เกณฑ์ยอมรับที่  $r \geq 0.995$  [9]

### 2.3.3 การสกัด (Extraction)

สกัดตัวอย่างด้วยเทคนิค QuEChERS โดยชั่งตัวอย่างปริมาณ 10 กรัม เติม 1% Formic acid in acetonitrile ต่อ Methanol (4:1, v/v) เขย่าให้เข้ากันเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นเติม Salt mixture ( $MgSO_4$ , NaCl, Trisodium citrate dehydrate และ Disodium hydrogen citrate sesquihydrate (8:2:2:1, w/w/w/w)) ปริมาณ 6.5 กรัม เขย่าให้เข้ากันเป็นเวลา 1 นาที นำตัวอย่างที่ผสมแล้วไปทำการปั่นเหวี่ยงที่ 3000 รอบต่อนาที ที่ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ซึ่งจะได้สารละลายส่วนด้านบน (Supernatant) ออกมา จากนั้นนำส่วนที่เป็น Supernatant ปริมาตร 6 มิลลิลิตร ไปทำให้บริสุทธิ์ยิ่งขึ้นด้วย Primary secondary amine (PSA) 150 มิลลิกรัม และ  $MgSO_4$  900 มิลลิกรัม เขย่าให้เข้ากันเป็นเวลา 2 นาที และนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ 3000 รอบต่อนาที ที่ 15 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้น นำสารละลายส่วนด้านบนไปกรองด้วย PVDF filter ขนาด 0.22 ไมโครเมตร ก่อนนำไปฉีดเข้าเครื่อง LC-MS/MS [10] โดยประเมินความแม่นยำของการสกัดจากค่า Recovery จากการเติมสารมาตรฐาน IAA,  $GA_4$  และ  $GA_7$  ความเข้มข้น 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในตัวอย่างแห้งและตัวอย่างสารหยาบสีเขียวแถมน้ำเงิน

2.3.4 การตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารกลุ่มออกซิน ได้แก่ IAA และสารกลุ่มจิบเบอเรลลิน ได้แก่  $GA_4$  และ  $GA_7$  ด้วยเครื่อง LC-MS/MS

2.3.4.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานรวม (Mixed standard) โดยเตรียมสารมาตรฐาน IAA,  $GA_4$  และ  $GA_7$  ในขวดเดียวกันให้มีความเข้มข้นของสารชนิดละ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.3.4.2 เตรียมกราฟมาตรฐาน ให้อยู่ในช่วงความเข้มข้นของสารแต่ละชนิดที่ 0.01-0.30 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.3.4.3 เตรียมสารละลายตัวอย่าง ตามข้อ 2.3.3

2.3.4.4 เตรียมสารละลายตัวอย่างที่ทำการเติมสารมาตรฐาน เพื่อประเมินค่าความแม่นยำจากค่าของ Recovery โดยทำการเติมสารมาตรฐาน IAA,  $GA_4$  และ  $GA_7$  ความเข้มข้น 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในตัวอย่างแห้งและตัวอย่างสารหยาบสีเขียวแถมน้ำเงินจากนั้นดำเนินการเตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับข้อ 2.3.3

2.3.4.5 เตรียมสภาวะของเครื่อง LC-MS/MS ตามข้อ 2.3.1.1

## 3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

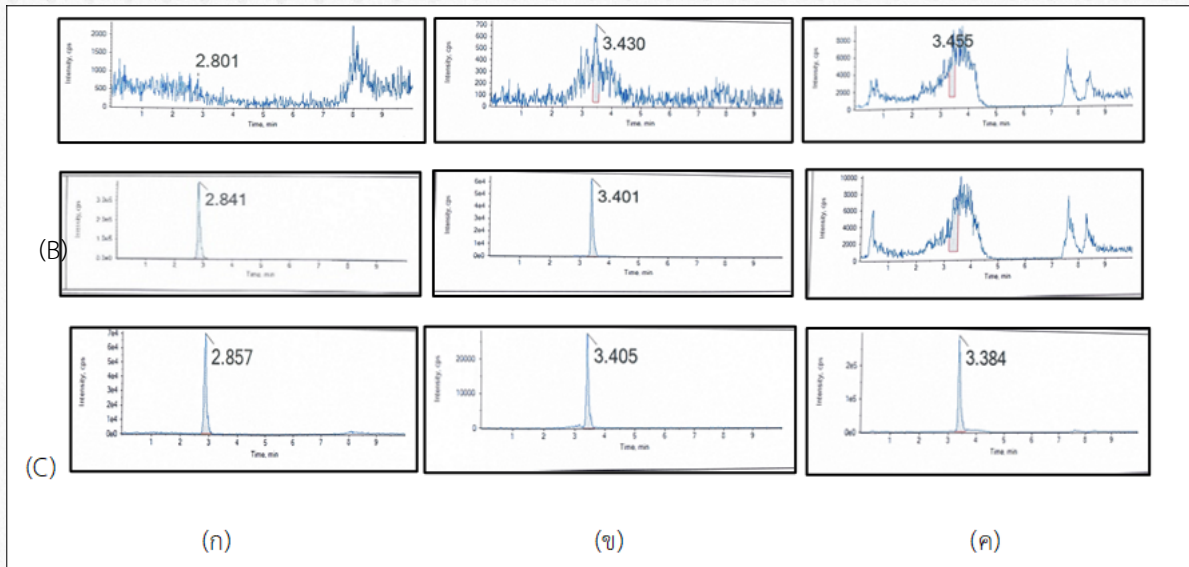
### 3.1 ผลของการเตรียมตัวอย่างแห้งและสารหยาบสีเขียวแถมน้ำเงิน

ตัวอย่างแห้ง มีความจำเป็นต้องบดให้ละเอียดเนื่องจากการวิเคราะห์ตัวอย่างต้องใช้ตัวอย่างที่มีความเป็นเนื้อเดียวกัน ทั้งนี้ตัวอย่างแห้งและสารหยาบสีเขียวแถมน้ำเงินมีองค์ประกอบของสารสำคัญที่เป็นสารคล้ายฮอร์โมนพืชจากธรรมชาติ ซึ่งสลายตัวได้ง่ายเมื่อได้รับแสง ดังนั้นจึงควรเก็บรักษาไว้ในช่องแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อเป็นการชะลอการเสื่อมสลายของสารสำคัญไว้

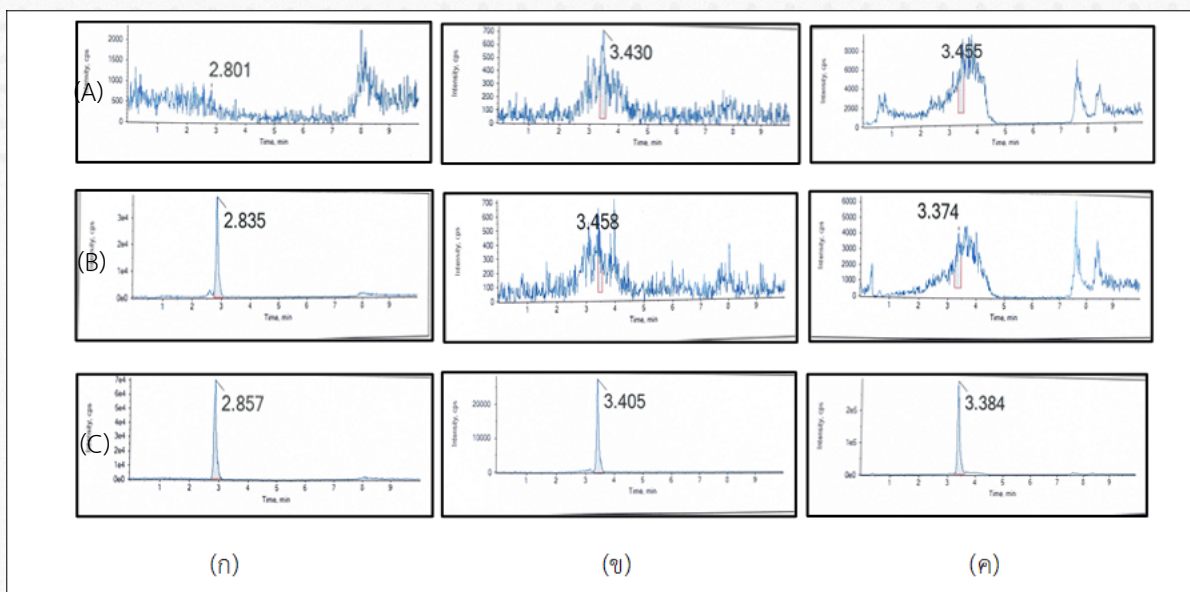
### 3.2 ผลการศึกษาวิธีวิเคราะห์

3.2.1 ผลการตรวจสอบความเฉพาะเจาะจง (Specificity) และความสามารถของการแยกสาร (Selectivity)

จากการฉีดสารที่ใช้เป็นตัวทำละลาย สารละลายมาตรฐานและสารละลายตัวอย่าง IAA,  $GA_4$  และ  $GA_7$  พบว่า โครมาโทแกรมของตัวทำละลาย สารละลายมาตรฐานและสารละลายตัวอย่าง ไม่มีพีคอื่นใดมารบกวน ดังแสดงในภาพที่ 1 และภาพที่ 2



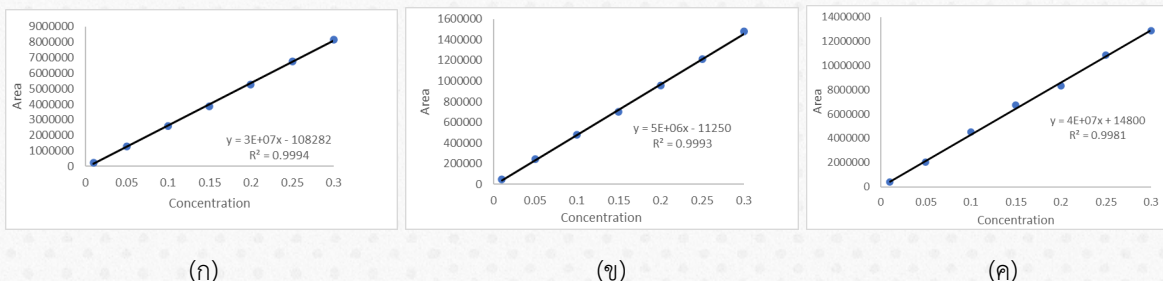
ภาพที่ 1 ผลการตรวจสอบความเฉพาะเจาะจงและความสามารถในการแยกสารในตัวอย่างแห้งแดง (ก) IAA (ข) GA<sub>4</sub> (ค) GA<sub>7</sub> (A) พืชตัวทำละลาย (B) พืชสารละลายตัวอย่าง (C) พืชสารละลายมาตรฐาน



ภาพที่ 2 ผลการตรวจสอบความเฉพาะเจาะจงและความสามารถในการแยกสารในตัวอย่างสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (ก) IAA (ข) GA<sub>4</sub> (ค) GA<sub>7</sub> (A) พืชตัวทำละลาย (B) พืชสารละลายตัวอย่าง (C) พืชสารละลายมาตรฐาน

3.2.2 ผลการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรง (Linearity) และช่วงการใช้งาน (Working rang) ของวิธีวิเคราะห์

พบว่า ช่วงความเป็นเส้นตรงของ IAA, GA<sub>4</sub> GA<sub>7</sub> อยู่ในช่วงความเข้มข้น 0.01 – 0.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่า Correlation coefficient (r) ≥ 0.995 อยู่ในเกณฑ์ยอมรับ r ≥ 0.995



ภาพที่ 3 ผลการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงและช่วงการใช้งานของวิธีวิเคราะห์ (ก) IAA (ข) GA<sub>4</sub> และ (ค) GA<sub>7</sub> ซึ่งค่า r เท่ากับ 0.9997 0.9996 และ 0.9990 ตามลำดับ

3.2.3 ผลการสกัดตัวอย่าง (Extraction)

งานวิจัยนี้ศึกษาการสกัดตัวอย่างโดยใช้เทคนิค QuEChERS ซึ่งอาศัยวิธีการสกัดสารด้วย Liquid-liquid extraction (LLE) และกำจัดสิ่งรบกวนออกจากสารสกัดตัวอย่างด้วยวิธี Dispersive solid phase extraction (d-SPE) ซึ่งตัวทำละลายที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ 1% Formic acid in Acetonitrile และเติมเกลือลงไปในขั้นตอนสกัดเพื่อให้สารที่ต้องการวิเคราะห์ละลายในเฟสของตัวทำละลายอินทรีย์ได้มากขึ้น โดยสารที่มีขั้วจะเกิดการแยกชั้น เนื่องจากเกลือจะไปเพิ่มความแรงของไอออน ทำให้ความมีขั้วของตัวทำละลายเพิ่มขึ้น เป็นผลให้สารที่มีขั้วในตัวอย่างไม่ละลายในตัวทำละลายได้มากขึ้น สำหรับ NaCl จะลดปริมาณของสิ่งปนเปื้อนที่มีขั้วในสารสกัดตัวอย่าง ส่วน MgSO<sub>4</sub> จะทำให้การแยกชั้นของสารเกิดได้ดี อีกทั้งเทคนิค QuEChERS มีข้อดี คือ ทำได้รวดเร็ว สะดวก และปลอดภัย [11] งานวิจัยนี้ได้ประเมินความแม่นยำของการสกัดตัวอย่างจากค่า Recovery โดยการเติมสารมาตรฐาน IAA, GA<sub>4</sub> และ GA<sub>7</sub> ความเข้มข้น 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในตัวอย่าง แหนแดงและตัวอย่างสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน พบว่า ค่า %Recovery ของสาร IAA, GA<sub>4</sub> และ GA<sub>7</sub> อยู่ในช่วง 80.0 – 103.4 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์กำหนดตาม AOAC [9] ที่มีเกณฑ์กำหนดอยู่ในช่วง 80-110% ดังแสดงในตารางที่ 2 ทั้งนี้ การสกัดตัวอย่างที่มีความแม่นยำจะนำไปสู่การศึกษาปริมาณสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่ถูกต้องและแม่นยำด้วย

ตารางที่ 2 ค่า Recovery จากการเติมสารมาตรฐาน IAA, GA<sub>4</sub> และ GA<sub>7</sub> ความเข้มข้น 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในตัวอย่าง แหนแดงและตัวอย่างสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน

ตัวอย่าง	% Recovery		
	IAA	GA <sub>4</sub>	GA <sub>7</sub>
แหนแดง	83.6	80.0	93.9
สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน	80.1	92.1	103.4

3.2.4 ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช กลุ่มออกซินและจิบเบอเรลลิน

จากการศึกษาปริมาณสาร IAA, GA<sub>4</sub> และ GA<sub>7</sub> ในตัวอย่างแหนแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน โดยใช้เทคนิค QuEChERS ในการสกัดตัวอย่างและนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง LC-MS/MS และได้ทำการประเมินความแม่นยำจากค่าของ Recovery ของกระบวนการวิเคราะห์ปริมาณสาร จากการเติมสารละลายมาตรฐาน 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงในตัวอย่าง

พบว่า ค่า Recovery อยู่ในเกณฑ์กำหนด ดังตารางที่ 2 และพบปริมาณสาร IAA, GA<sub>4</sub> และ GA<sub>7</sub> ดังแสดงในตารางที่ 3 สำหรับปริมาณ IAA ในตัวอย่างแห้งแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินพบที่ระดับความเข้มข้น 0.088 และ 0.102 มิลลิกรัมต่อกรัมตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าปริมาณ IAA ที่พบในตัวอย่างสองชนิดนี้อยู่ในระดับความเข้มข้นที่มากกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ส่งเสริมการเจริญเติบโตของตาต้นข้างและการเจริญเติบโตของราก [8] ทั้งนี้สอดคล้องกับเอกสารอ้างอิงของกองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตรกรรมวิชาการเกษตร ที่พบปริมาณ IAA ในตัวอย่างสารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่มีค่าอยู่ในระดับความเข้มข้นที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้เช่นเดียวกัน ซึ่งพบที่ระดับความเข้มข้น 0.05 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับผลการศึกษาปริมาณ GA<sub>4</sub> ในตัวอย่างแห้งแดงพบที่ระดับความเข้มข้น 0.028 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้ยังไม่สามารถยืนยันได้แน่ชัดสำหรับปริมาณสารที่ส่งเสริมให้พืชเจริญเติบโตได้ แต่มีข้อมูลอ้างอิงจากหลายแหล่งที่แสดงให้เห็นถึงคุณประโยชน์ของสารกลุ่มจิบเบอเรลลินในการขยายขนาดของเซลล์และยืดอายุของลำต้นได้ ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องอิทธิพลของสารเร่ง และจำนวนข้อต่อการเจริญเติบโตของแม่พันธุ์มันฝรั่ง [12] ที่บ่งบอกว่าการใส่ฮอร์โมนจิบเบอเรลลินเร่งการเจริญเติบโต ส่งผลให้พืชมีการเจริญเติบโตที่ดี

ตารางที่ 3 ผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสาร IAA, GA<sub>4</sub> และ GA<sub>7</sub> ด้วยเครื่อง LC-MS/MS

สาร	ปริมาณสารที่ตรวจพบ (mg/kg)	
	แห้งแดง	สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน
IAA	0.088	0.102
GA <sub>4</sub>	0.028	ตรวจไม่พบ
GA <sub>7</sub>	ตรวจไม่พบ	ตรวจไม่พบ

#### 4. บทสรุป

จากการศึกษาปริมาณสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชกลุ่มออกซิน ได้แก่ IAA และกลุ่มจิบเบอเรลลิน ได้แก่ GA<sub>4</sub> และ GA<sub>7</sub> ในตัวอย่างแห้งแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน จากการศึกษาความจำเพาะเจาะจง (Specificity) และความสามารถของการแยกสารของวิธีทดสอบ พบว่าวิธีนี้มีความจำเพาะเจาะจงและมีความเหมาะสมในการนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารกลุ่มออกซิน และจิบเบอเรลลิน ในตัวอย่างแห้งแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินได้ พบช่วงของการวัด (Working Range) และค่าความเป็นเส้นตรง (Linearity) อยู่ในช่วงความเข้มข้น 0.01 - 0.30 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ค่า Correlation coefficient (r) เท่ากับ 0.9997 0.9996 และ 0.9990 ตามลำดับ ซึ่งผ่านเกณฑ์การยอมรับ ค่า  $r \geq 0.995$  ตามมาตรฐาน AOAC และพบความแม่นยำจากการศึกษาปริมาณสารอยู่ในช่วง 80.0 - 103.4 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์กำหนดตาม AOAC [9] ที่มีเกณฑ์กำหนดอยู่ในช่วง 80 - 110% ดังนั้นวิธีนี้มีความเหมาะสมในการตรวจหาปริมาณสารกลุ่มออกซินและจิบเบอเรลลินในแห้งแดงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน อีกทั้งวิธีที่ใช้สกัดเป็นเทคนิค QuEChERS มีข้อดีคือทำได้รวดเร็ว สะดวก ใช้สารเคมีปริมาณน้อย และปลอดภัย ซึ่งพัฒนาวิธีการสกัดแบบใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมละลายสารที่ต้องการออกมาจากสารตัวอย่าง (Liquid-liquid extraction) ซึ่งจะเป็นการสกัดที่ใช้สารละลายจำนวนมากเป็นอันตรายมากกว่าและใช้ต้นทุนสูงกว่าเทคนิค QuEChERS อีกทั้งในการใช้เทคนิค LC-MS/MS มีข้อดีคือ มีความไวและความจำเพาะเจาะจงในการตรวจวิเคราะห์สารมากกว่าเทคนิคที่ใช้เดิม นั่นคือเทคนิคการคัดแยกสารโดยใช้การไหลของสารในระบบสารละลายผ่านเครื่องแยกสาร หรือ เทคนิค HPLC ทั้งนี้จากการศึกษาปริมาณสารกลุ่มออกซินและจิบเบอเรลลินพบปริมาณ IAA ในตัวอย่างแห้งแดงและตัวอย่างสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เท่ากับ 0.088 และ 0.102 มิลลิกรัมต่อกรัม

ตามลำดับ พบสาร  $GA_4$  ในตัวอย่างแห้งแฉง มีค่าเท่ากับ 0.028 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และตรวจไม่พบสาร  $GA_7$  ทั้งในตัวอย่างแห้งแฉงและตัวอย่างสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน จะเห็นได้ว่าปริมาณสาร IAA ในตัวอย่างแห้งแฉงและตัวอย่างสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินอยู่ในระดับความเข้มข้นที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ได้แก่ ส่งเสริมการเจริญเติบโตของตาข้างและการเจริญเติบโตของราก และพบปริมาณสาร  $GA_4$  ในตัวอย่างแห้งแฉงซึ่งช่วยในการขยายขนาดของเซลล์และยืดอายุของลำต้นได้ จะเห็นได้ว่าตัวอย่างแห้งแฉงและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมีสารกลุ่มออกซินและกลุ่มจิบเบอเรลลินที่เป็นประโยชน์กับพืช จึงเหมาะที่จะนำตัวอย่างเหล่านี้ไปผลิตเป็นสารเพิ่มประสิทธิภาพพืช เพื่อเป็นการนำไปใช้ในการผลิตพืชผักแบบเกษตรอินทรีย์ อีกทั้งยังเป็นการใช้ทรัพยากรที่มีต้นทุนการผลิตต่ำและเป็นการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

## 5. กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้ อยู่ภายใต้โครงการวิจัยการตรวจสอบคุณภาพของสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช และกรดอะมิโนในผลิตภัณฑ์สารเพิ่มประสิทธิภาพพืชที่จำหน่ายในท้องตลาด แผนงานวิจัยเรื่อง พัฒนาระบบการตรวจรับรองคุณภาพปัจจัยการผลิต เพื่อสร้างมาตรฐาน และยกระดับคุณภาพห้องปฏิบัติการในประเทศไทย ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์วิจัยและนวัตกรรม สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) สามารถดำเนินการงานได้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ ด้วยความช่วยเหลือจากบุคลากรและเจ้าหน้าที่กลุ่มวิจัยเกษตรเคมีและกลุ่มงานวิจัยจุลินทรีย์ดิน กลุ่มวิจัยปฐพีวิทยา กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร ที่ช่วยในการดำเนินการทั้งในด้านเอกสาร การเตรียมตัวอย่าง และดำเนินการวิจัย คณะผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ประไพ ทองระอา, ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต, กานดา ฉัตรไชยศิริ, กัลป์ยานี สุวิทวัส, พิมพ์นิภา เพ็ญช่าง, นิศารัตน์ ทวีบุตร, และภาสกร ศารทูลทิต. การใช้สารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินร่วมกับปุ๋ยทางใบต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้วยน้ำว้า ‘ปากช่อง 50’ จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ. วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์. 4(4)(2560).
- [2] ประไพ ทองระอา, สมปอง หมั่นแจ้ง, ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต, และกัลยากร โปร่งจันทิก. การศึกษาผลของสารสกัดสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าว. ผลการปฏิบัติงาน ประจำปี 2553 เล่มที่ 2. กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. 2553.
- [3] สำนักวิจัยและพัฒนาอาชีพศึกษา. (25 มิถุนายน 2566). สารสกัดแห้งแฉง *Azolla* ex. สืบค้นจาก <https://www.thailandinnovationportal.com/info/innovation/item/2558>
- [4] Jumadi, O., F. Hiola, Y. Hala, J. Norton and K. Inubushi. Influence of *Azolla* (*Azolla microphylla* Kaulf.) compost on biogenic gas production, inorganic nitrogen and growth of upland Kangkong (*Ipomoea aquatica* Forsk.) in a silt loam soil. *Soil Sci. Plant Nutr.* 60(2014) 722-730.
- [5] Zimmerman, WJ. Biomass and pigment production in three isolates of *Azolla* ll. Response to light and temperature stress. *Annals of Botany.* 56(1985) 701-709.
- [6] Kollmen, J. and D. Strieth. The beneficial effects of cyanobacterial co-culture on plant growth. *Life* 12(2)(2022) 223.
- [7] Moore, T.C. *Biochemistry and physiology of plant hormones*. Springer-Verlag. N.Y. 1989.
- [8] ประไพ ทองระอา, ศิริลักษณ์ แก้วสุรลิขิต, ณัฐนันท์ ไกรเลิศรัตนชัย, และแววตา พลกุล. การพัฒนาผลิตภัณฑ์สารชีวภาพจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและแห้งแฉง. เอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตรการจัดการธาตุอาหารพืชในการผลิตพืชปลอดภัย. กองวิจัยพัฒนาปัจจัยการผลิตทางการเกษตร กรมวิชาการเกษตร. 2567.



- [9] Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Official Method of Analysis of AOAC International. 22<sup>nd</sup> Ed. AOAC International Gaithersburg, Maryland, USA. 2023.
- [10] Chieh-Han Pu, Shao-Kai Lin, Wei-Chen Chuang and Tsyr-Horng Shyu. Modified QuEChERS method for 24 plant growth regulators in grapes using LC-MS/MS. *Journal of Food and Drug Analysis*. 26(2018.) 637-648.
- [11] ธนภูมิ มณีบุญ. (25 กรกฎาคม 2567) การเตรียมตัวอย่างด้วยเทคนิค QuEChERS. สืบค้นจาก <https://www3.rdi.ku.ac.th/cl/knowledge/2566/dec/QuEChERS.pdf>.
- [12] อรทัย วงศ์เมธา, สุเมธ พากเพียร, นงคราญ โชติอิมอุดม, สาคร ยิ่งพ้อง, ฐิตาภรณ์ เรืองกุล, ศิรินันท์ญา จรินทร์, สมคิด รัตนบุรี, และสนอง จรินทร์. อิทธิพลของสารเร่งและจำนวนข้อต่อการเจริญเติบโตของต้นแม่พันธุ์มันฝรั่ง. ศูนย์วิจัยเกษตรหลวงเชียงใหม่และศูนย์วิจัยพืชสวนเชียงราย กรมวิชาการเกษตร. 2558.

## พฤติกรรมสุขภาพของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง Health Behavior of Students in Muban Chombueng Rajabhat University

ณัฐมน ละทัยนิล<sup>1\*</sup> รินรำไพ พุทธิพันธ์<sup>2</sup> พงษ์พัฒน์ ว่องไว<sup>3</sup> และ ไพรินทร์ ทองกลม<sup>4</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาการแพทย์แผนไทย วิทยาลัยมวยไทยศึกษาและการแพทย์แผนไทย มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง

<sup>2</sup>สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ วิทยาลัยมวยไทยศึกษาและการแพทย์แผนไทย มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง

<sup>3</sup>สาขาวิชามวยไทยศึกษาและพลศึกษา วิทยาลัยมวยไทยศึกษาและการแพทย์แผนไทย มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง

<sup>4</sup>กลุ่มวิชาชีพครู คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

\*E-mail: lataininya@gmail.com

### บทคัดย่อ

การวิจัยเชิงสำรวจนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา (1) พฤติกรรมสุขภาพ 3อ2ส ได้แก่ อาหาร ออกกำลังกาย อารมณ์ สุขบุหรี สุราของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง (2) ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลกับพฤติกรรมสุขภาพของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง ประชากร คือ นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง ระดับปริญญาตรี ภาคปกติ ปีการศึกษา 2565 จำนวน 4,737 คน คำนวณตัวอย่างได้จำนวน 356 คน ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบแบ่งชั้นภูมิ เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา คือ แบบสอบถามความรอบรู้ด้านสุขภาพและพฤติกรรมสุขภาพ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคือ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ทดสอบความสัมพันธ์ด้วยสถิติไคสแควร์และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน ผลการวิจัยพบว่า (1) พฤติกรรมสุขภาพ 3อ2ส ของกลุ่มตัวอย่างในภาพรวมคือ อยู่ในระดับไม่ดี ( $\bar{x} = 2.27, S.D. = 0.45$ ) โดยเฉพาะพฤติกรรมสุขภาพด้านอาหาร การออกกำลังกาย และด้านการจัดการทางอารมณ์ (2) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลกับพฤติกรรมสุขภาพ พบว่าคณะมีความสัมพันธ์เชิงบวกกระดัดปานกลางกับพฤติกรรมสุขภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001 ( $\chi^2 = 0.337, p\text{-value} < 0.001$ ) รายได้ที่ได้รับเฉลี่ยต่อเดือนมีความสัมพันธ์เชิงลบในระดับต่ำกับพฤติกรรมสุขภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $r = -0.114, p\text{-value} < 0.05$ ) ข้อเสนอแนะ ควรบรรจุเนื้อหาที่เกี่ยวกับสุขภาพในหลักสูตรหรือในหมวดวิชาศึกษาทั่วไป การวางนโยบายและส่งเสริมการจัดกิจกรรมด้านสุขภาพอย่างเป็นรูปธรรม

**คำสำคัญ:** พฤติกรรมสุขภาพ 3อ2ส นักศึกษา

### Abstract

The objectives of this survey research were (1) to study health behaviors 3E2S, namely food, exercise, emotional management smoking, alcohol drinking of students in Muban Chombueng Rajabhat University. (2) to determine the relationship between personal factors and health behavior of students in Muban Chombueng Rajabhat University. The population of this study was 4,737 undergraduate students in a regular program, the academic year 2022 in Muban Chombueng Rajabhat University. The sample of

this study was 356 individuals. The sample was selected based on a stratified sampling method. The research instrument was Health Literacy and Health Behavior questionnaire. Data were analyzed using statistics, including frequency, percentage, mean, standard deviation, minimum, maximum value, Chi-Square and Pearson's Product-Moment Correlation Coefficient. The results of this research indicated that (1) overall health behaviors 3E2S of the sample was at a poor level ( $\bar{x} = 2.27$ , S.D. = 0.45), especially food, exercise, and emotional management, and (2) The analysis of the relationship between personal factors and health behaviors revealed that the faculty had a moderate positive correlation with health behaviors, which was statistically significant at the 0.001 level ( $\chi^2 = 0.337$ , p-value < 0.001). The average monthly income had a low negative correlation with health behaviors, which was statistically significant at the 0.05 level ( $r = -0.114$ , p-value < 0.05). The suggestions include that health-related content should be integrated in the curriculum or in the general education courses. Policies should be established and health activities tangibly promoted.

**Keywords:** Health Behaviors, 3E2S, Students

## 1. บทนำ

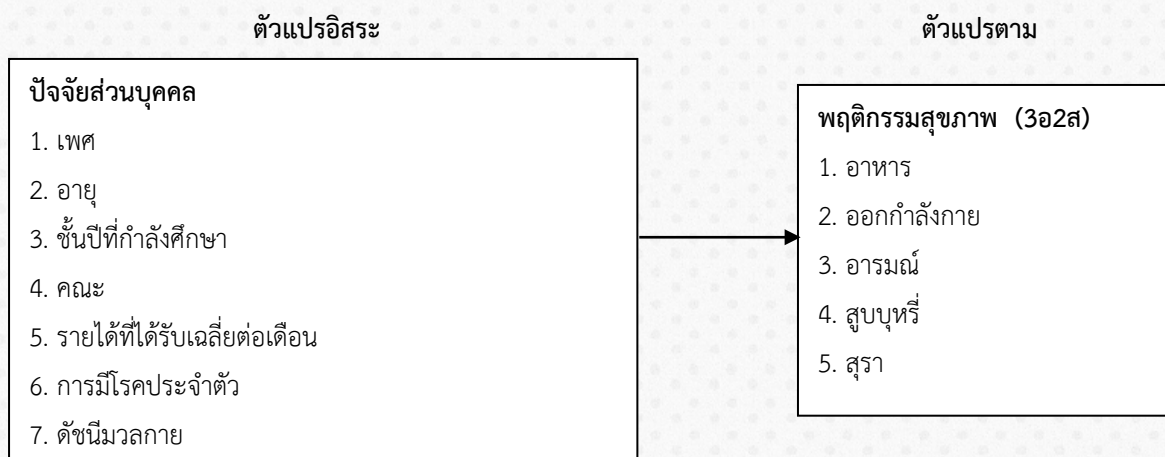
ปัจจุบันประเทศไทยมีความเจริญก้าวหน้าในด้านต่างๆ มากมาย ทั้งด้านเศรษฐกิจ การคมนาคม อุตสาหกรรม เทคโนโลยีการสื่อสาร และเทคโนโลยีทางการแพทย์ แต่ประเทศไทยยังคงมีปัญหาด้านสุขภาพเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (Non-communicable diseases; NCDs) ที่มีอัตราป่วยเพิ่มขึ้น และเริ่มป่วยในอายุน้อยลงเรื่อยๆ กลุ่มโรคไม่ติดต่อเรื้อรังเป็นสาเหตุการเสียชีวิตของประชากรทั่วโลกถึงปีละ 38 ล้านคน หรือคิดเป็นร้อยละ 68 ของการเสียชีวิต ข้อมูลจากองค์การอนามัยโลกระบุว่าตลอดช่วงเวลา 10 ปีที่ผ่านมา กลุ่มโรคไม่ติดต่อเรื้อรังเป็นสาเหตุการตายอันดับหนึ่งของคนไทย โดยมีคนไทยป่วยเป็นโรค NCDs สูงถึง 14 ล้านคน เสียชีวิตมากกว่า 300,000 คนต่อปี และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นทุกปี ซึ่งส่วนใหญ่เสียชีวิตก่อนวัย 70 ปี สะท้อนภาพการสูญเสียจากการตายก่อนวัยอันควร ซึ่งเมื่อคิดเป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจรวมที่เสียไปแล้วนั้นว่าสูงมากถึงร้อยละ 40 ของมูลค่างบประมาณภาครัฐไทยทั้งหมด สำหรับประเทศไทยโรคไม่ติดต่อเรื้อรังเป็นสาเหตุหลักของการเสียชีวิตร้อยละ 75 ของการเสียชีวิตทั้งหมด หรือประมาณ 320,000 คนต่อปี โดยทุกชั่วโมงจะมีผู้เสียชีวิต 37 ราย ทั้งนี้โรคไม่ติดต่อเรื้อรังที่พบมากที่สุดคือ โรคหลอดเลือดสมอง รองลงมาคือโรคหัวใจขาดเลือด โรคทางเดินหายใจอุดกั้น เบาหวาน และความดันโลหิตสูง ตามลำดับ [1] สาเหตุสำคัญของปัญหาดังกล่าวคือ ประชาชนมีพฤติกรรมสุขภาพที่ไม่ถูกต้องเหมาะสม กองสุกศึกษา กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ ได้นำแนวคิดความรู้ด้านสุขภาพมาใช้เป็นตัวชี้วัดระดับความสำเร็จในการทำงานด้านสุขศึกษาและการส่งเสริมสุขภาพ โดยมีเป้าหมายให้คนไทยทุกคนมีพฤติกรรมสุขภาพที่ถูกต้องตามหลัก 3อ2ส ประกอบด้วยอาหาร ออกกำลังกาย อารมณ์ สุขบุหรื และสุรา ดังนั้นควรมีการพัฒนาพฤติกรรมสุขภาพต่อเนื่องให้เกิดขึ้นกับประชาชน เพื่อการเพิ่มสมรรถนะด้านการเรียนรู้ชั้นสูง เพื่อการมีพฤติกรรมสุขภาพที่ถูกต้อง เหมาะสม และยั่งยืน [2] จาก การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมสุขภาพ พบว่าปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมสุขภาพ ได้แก่ เพศ [3-7] อายุ [5] ชั้นปีที่กำลังศึกษา [5, 7] คณะที่ศึกษา [4, 5, 7] รายได้ [4, 5] ดัชนีมวลกาย [6] และการมีโรคประจำตัว [8]

การศึกษาในระดับอุดมศึกษาเป็นช่วงชีวิตที่สำคัญของบุคคล นักศึกษาอุดมศึกษาอยู่ในช่วงวัยรุ่นตอนปลายเข้าสู่วัยผู้ใหญ่ตอนต้น เป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างความเป็นวัยรุ่นและความเป็นผู้ใหญ่ มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านร่างกาย สติปัญญา สังคม และอารมณ์ มหาวิทยาลัยในฐานะสถาบันการศึกษาในระดับอุดมศึกษา มีหน้าที่ผลิตบุคลากรอันเป็นกำลังสำคัญในการพัฒนาประเทศชาติ ต้องมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมสุขภาพให้กับนักศึกษา จากการศึกษาข้อมูลการเจ็บป่วย

ของนักศึกษาโดยการขอรับบริการจ่ายยาและปฐมพยาบาลเบื้องต้น ข้อมูล 5 ปีย้อนหลังตั้งแต่ พ.ศ. 2561 - พ.ศ. 2565 พบว่า ร้อยละของการเข้าใช้บริการเท่ากับ 56.41 46.70 39.85 45.28 และ 39.66 ตามลำดับ โดยพบว่าสาเหตุของการเจ็บป่วยที่สำคัญ 5 อันดับแรก ได้แก่ ระบบทางเดินหายใจ ระบบสืบพันธุ์ ระบบประสาท ระบบย่อยอาหารและสุขภาพช่องปาก ระบบผิวหนัง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 52.17 14.28 11.84 11.83 และ 7.11 ตามลำดับ [9] จากข้อมูลดังกล่าวพบว่านักศึกษามีปัญหาสุขภาพมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลปี พ.ศ.2561 นักศึกษาร้อยละ 56.41 ต้องขอพึ่งบริการจ่ายยาและปฐมพยาบาลเบื้องต้น แม้ข้อมูลดังกล่าวมีแนวโน้มที่ลดลงแต่ยังคงเป็นตัวเลขที่สูง ดังนั้นจึงควรมีข้อมูลสถานการณ์พฤติกรรมสุขภาพของนักศึกษาในสถาบันการศึกษา จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยได้ตระหนักถึงความสำคัญและปัญหาดังกล่าว จึงมีความสนใจศึกษาพฤติกรรมสุขภาพ และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลกับพฤติกรรมสุขภาพของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานและเป็นประโยชน์ในการนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการออกแบบและวางแผนการดำเนินการสร้างเสริมสุขภาพที่เหมาะสมให้แก่นักศึกษาต่อไป

## 2. วัตถุประสงค์ในการศึกษา

- 2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมสุขภาพ 3อ2ส ได้แก่ อาหาร ออกกำลังกาย อารมณ์ สุกดิบหรือ สุรา ของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง
- 2.2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลกับพฤติกรรมสุขภาพ ของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

## 3. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

### 3.1 รูปแบบการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้รูปแบบการวิจัยเชิงสำรวจแบบภาคตัดขวาง (Cross-Sectional Survey Research)

### 3.2 ประชากร

นักศึกษาระดับปริญญาตรี ภาคปกติ มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง ปีการศึกษา 2565 จำนวน 4,737 คน

### 3.3 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คำนวณโดยใช้แอปพลิเคชันสำหรับคำนวณในงานวิจัย n4studies [10] ที่ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับร้อยละ 95 ค่าความคลาดเคลื่อนหรือผิดพลาดที่ยอมรับได้ไม่เกินร้อยละ 5 หรือที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างจำนวน 356 คน ใช้วิธีการสุ่มแบบแบ่งชั้นตามสัดส่วน (Proportional Stratified Random Sampling) โดยใช้คณะเป็นตัวแบ่งชั้นภูมิ และใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเป็นระบบ (Systematic Random Sampling)

### 3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นแบบสอบถาม ซึ่งผู้วิจัยได้ดัดแปลงขึ้นจากแบบวัดความรู้ด้านสุขภาพ และพฤติกรรมสุขภาพ 3๐2ส ของคนไทยที่มีอายุ 15 ปีขึ้นไป กองสุขศึกษา กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ ปี พ.ศ.2559 [11] เพื่อเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยมีรายละเอียดการสร้างเครื่องมือ 2 ขั้นตอนดังนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม จำนวน 8 ข้อ ได้แก่ เพศ อายุ ระดับชั้นปีที่กำลังศึกษา คณะ รายได้ที่ได้รับเฉลี่ยต่อเดือน โรคประจำตัว น้ำหนัก ส่วนสูง แบบสอบถามมีลักษณะเป็นคำถามแบบให้เติมข้อความและมีตัวเลือกให้เลือกตอบ ข้อมูลที่ได้มานั้นจะประมวลผลในลักษณะการแจกแจงความถี่ ค่าเฉลี่ย และค่าร้อยละ

ตอนที่ 2 พฤติกรรมสุขภาพตามหลัก 3๐2ส จำนวน 10 ข้อ ลักษณะข้อคำถามมี 5 ตัวเลือกในลักษณะของ มาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ คือ ไม่ได้ปฏิบัติ ปฏิบัตินานๆครั้ง ปฏิบัติบางครั้ง ปฏิบัติบ่อยครั้ง และปฏิบัติทุกครั้ง เป็นข้อคำถามเชิงบวก จำนวน 5 ข้อ ข้อคำถามเชิงลบ จำนวน 5 ข้อ แปลผลจากเกณฑ์ให้คะแนนจำแนกระดับพฤติกรรมสุขภาพ โดยประยุกต์จากแบบวัดความรู้ด้านสุขภาพและพฤติกรรมสุขภาพ 3๐2ส ของคนไทย ที่มีอายุ 15 ปีขึ้นไป [11] ใช้เกณฑ์เฉลี่ยจากค่าคะแนนที่ได้ แบ่งออกเป็น 3 ระดับดังนี้

ค่าเฉลี่ย 0-2.39 คะแนน หรือ < 60% ของคะแนนเต็ม แปลผล ไม่ดี หมายถึง เป็นผู้ที่มีพฤติกรรมสุขภาพ ไม่ดีต่อการปฏิบัติตนตามหลัก 3๐2ส

ค่าเฉลี่ย 2.40-3.19 คะแนน หรือ  $\geq 60 - < 80\%$  ของคะแนนเต็ม แปลผล พอใช้ หมายถึง เป็นผู้ที่มีพฤติกรรมสุขภาพที่พอใช้และมีการปฏิบัติตนตามหลัก 3๐2ส ได้ถูกต้องบ้าง

ค่าเฉลี่ย 3.20-4.00 คะแนน หรือ  $\geq 80\%$  ของคะแนนเต็ม แปลผล ดีมาก หมายถึง เป็นผู้ที่มีพฤติกรรมสุขภาพดีมากเพียงพอ มีการปฏิบัติตนตามหลัก 3๐2ส ได้ถูกต้องและยั่งยืนจนเชี่ยวชาญ

### 3.5 การหาคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยดำเนินการโดยศึกษางานวิจัย ทฤษฎีและเอกสารต่างๆที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาเป็นแนวทางการออกแบบข้อคำถาม จากนั้นทดสอบความตรงเชิงเนื้อหาของแบบสอบถาม (Content validity) โดยนำร่างแบบสอบถามให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน พิจารณาโครงสร้างแบบสอบถาม เนื้อหาและความเหมาะสมของเนื้อหา ซึ่งในแต่ละข้อมีค่า IOC ตั้งแต่ 0.67 ขึ้นไป จากนั้นนำไปปรับปรุงแก้ไขให้สมบูรณ์ นำแบบสอบถามที่ปรับปรุงแก้ไขไปทดลอง (Try out) ใช้เก็บข้อมูลกับนักศึกษาที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน และนำมาวิเคราะห์หาความเที่ยงของเครื่องมือ (Reliability) การหาความเที่ยงของแบบสอบถามพฤติกรรมสุขภาพ 3๐2ส โดยใช้สัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha Coefficient) ได้ค่าความเที่ยงเท่ากับ 0.776

### 3.6 วิธีที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary data) นำเอกสารที่อธิการบดีลงนามอนุมัติ เสนอต่อคณบดีทุกคณะ รวบรวมข้อมูลจากการเก็บแบบสอบถามจากนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-มีนาคม พ.ศ.2566 จำนวนทั้งหมด 356 ชุด โดยผู้วิจัยทำการประชุมชี้แจงวิธีการเก็บข้อมูลให้กับผู้ช่วยนักวิจัย จากนั้นคณะผู้วิจัยจะดำเนินการส่งแบบสอบถามให้กลุ่มตัวอย่างพร้อมทั้งชี้แจงวัตถุประสงค์ของการทำวิจัย ตลอดจนลักษณะของแบบสอบถามให้กลุ่มตัวอย่างทราบเพื่อให้เกิดความเข้าใจตรงกัน และเมื่อได้รับแบบสอบถามแล้วผู้วิจัยดำเนินการตรวจสอบความสมบูรณ์ของการตอบ เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางสถิติต่อไป

ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary data) เป็นข้อมูลที่ใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมศึกษาค้นคว้าจากเอกสารทางวิชาการวารสาร บทความ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และสืบค้นข้อมูลที่เผยแพร่ในเว็บไซต์ต่างๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

### 3.7 การพิทักษ์สิทธิ์กลุ่มตัวอย่าง

ผู้วิจัยจัดทำเอกสารชี้แจงวัตถุประสงค์ของการวิจัย เอกสารพิทักษ์สิทธิแนบไว้กับแบบสอบถามเพื่อแจ้งให้กลุ่มตัวอย่างทราบ การเข้าร่วมในการวิจัยครั้งนี้เป็นไปด้วยความสมัครใจและข้อมูลทุกอย่างที่อยู่ในแบบสอบถามผู้วิจัยจะเก็บเป็นความลับมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการวิจัยเท่านั้น และผู้วิจัยดำเนินการเก็บข้อมูลโดยประสานอธิการบดี คณบดี และองค์การนักศึกษาทุกคณะเพื่อขอเข้าเก็บข้อมูล

### 3.8 การวิเคราะห์ข้อมูล

ปัจจัยส่วนบุคคลและพฤติกรรมสุขภาพ ใช้การวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ การแจกแจงความถี่ (Frequency) ค่าร้อยละ (Percentage) ค่าสูงสุด (Maximum) ค่าต่ำสุด (Minimum) ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ( $\bar{x}$ ) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และระดับการแปลผล การหาความสัมพันธ์ใช้สถิติ Chi square ( $\chi^2$ ) และสถิติ Pearson's Product-Moment Correlation Coefficient นำเสนอข้อมูลในรูปแบบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เกณฑ์การพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ [12]  $r = \pm 1.00$  ตัวแปรมีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์  $r > .70$  ตัวแปรมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง  $r < .30$  ตัวแปรมีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ  $r$  มีค่าระหว่าง  $.30 - .70$  ตัวแปรมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง  $r = 0$  ตัวแปรไม่มีความสัมพันธ์กัน

## 4. ผลการทดลองและอภิปรายผล

### 4.1 ผลการทดลอง

ข้อมูลส่วนบุคคลของกลุ่มตัวอย่าง พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ร้อยละ 65.2 เป็นเพศหญิง ร้อยละ 57.6 มีอายุระหว่าง 21-25 ปี ร้อยละ 23.9 ศึกษาอยู่ชั้นปีที่ 4 ร้อยละ 30.9 ศึกษาที่คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ ร้อยละ 63.8 ได้รับรายได้ต่อเดือนในช่วง 3,001 – 6,000 บาท ภาพรวมได้รับรายได้ต่อเดือนเฉลี่ย 4,965.17 บาท ร้อยละ 94.4 ไม่มีโรคประจำตัว และร้อยละ 61.0 มีดัชนีมวลกายอยู่ในเกณฑ์ปกติ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่าง จำแนกตามปัจจัยส่วนบุคคล (n = 356)

ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง	จำนวน	ร้อยละ
<b>เพศ</b>		
ชาย	124	34.8
หญิง	232	65.2
<b>อายุ</b>		
18-20 ปี	151	42.4
21-25 ปี	205	57.6
$(\bar{x} = 20.85, S.D. = 1.60, Min = 18, Max = 25)$		
<b>ระดับชั้นปีที่กำลังศึกษา</b>		
ชั้นปีที่ 1	77	21.6
ชั้นปีที่ 2	67	18.8
ชั้นปีที่ 3	79	22.2
ชั้นปีที่ 4	85	23.9
ชั้นปีที่ 5	48	13.5

ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง	จำนวน	ร้อยละ
<b>คณะ</b>		
ครุศาสตร์	65	18.3
มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์	110	30.9
วิทยาศาสตร์	87	24.4
วิทยาการจัดการ	46	12.9
วิทยาลัยมวยไทยศึกษาและการแพทย์แผนไทย	26	7.3
เทคโนโลยีอุตสาหกรรม	22	6.2
<b>รายได้ที่ได้รับเฉลี่ยต่อเดือน (บาท)</b>		
น้อยกว่าหรือเท่ากับ 3000	63	17.7
3,001 – 6,000	227	63.8
6,001 – 9,000	54	15.2
9,001 – 12,000	11	3.1
12,001 – 15,000	1	0.3
$(\bar{x} = 4,965.17, S.D. = 2068.45, \text{Min} = 1,000, \text{Max} = 15,000)$		
<b>โรคประจำตัว</b>		
ไม่มีโรคประจำตัว	336	94.4
มีโรคประจำตัว	20	5.6
<b>ดัชนีมวลกาย (Body mass index; BMI กก./ม.<sup>2</sup>)</b>		
ผอม (BMI น้อยกว่า 18.5)	56	15.7
ปกติ (BMI 18.50 – 22.99)	217	61.0
น้ำหนักเกิน (BMI 23 – 24.99)	39	11.0
อ้วนระดับที่ 1 (BMI 25 – 29.99)	34	9.6
อ้วนระดับที่ 2 (BMI ตั้งแต่ 30.0)	10	2.8
$(\bar{x} = 21.37, S.D. = 3.38, \text{Min} = 15.59, \text{Max} = 35.32)$		

ผู้วิจัยดำเนินการศึกษาพฤติกรรมสุขภาพ 3๑2ส ของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง ประกอบด้วย การบริโภคอาหาร การออกกำลังกาย การจัดการด้านอารมณ์ การสูบบุหรี่ และการดื่มสุรา จากตารางที่ 2 พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่พฤติกรรมสุขภาพ 3๑2ส ระดับไม่ดีมากที่สุด ( $\bar{x} = 0.00-2.39$ ) ร้อยละ 61.0 รองลงมาคือ พฤติกรรมสุขภาพ 3๑2ส ระดับพอใช้ ( $\bar{x} = 2.40-3.19$ ) ร้อยละ 36.8 และพฤติกรรมสุขภาพ 3๑2ส ระดับดีมาก ( $\bar{x} = 3.20-4.00$ ) ร้อยละ 2.2 ระดับพฤติกรรมสุขภาพ 3๑2ส ในภาพรวม อยู่ในระดับไม่ดี ( $\bar{x} = 2.27, S.D.=0.45$ )

ตารางที่ 2 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่าง จำแนกตามระดับพฤติกรรมสุขภาพ 3อ2ส (n = 356)

พฤติกรรมสุขภาพ	จำนวน	ร้อยละ
ระดับไม่ดี ( $\bar{x}$ = 0.00-2.39)	217	61.0
ระดับพอใช้ ( $\bar{x}$ = 2.40-3.19)	131	36.8
ระดับดีมาก ( $\bar{x}$ = 3.20-4.00)	8	2.2
$\bar{x}$ = 2.27, S.D. = 0.45, Min = 0.50, Max = 3.60		

ตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาพฤติกรรมสุขภาพ 3อ2ส รายข้อ พบว่าข้อที่มีค่าคะแนนเฉลี่ยสูงสุดคือ ข้อ 10. นักศึกษาดื่มสุราหรือเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์อยู่ในระดับพอใช้ ( $\bar{x}$  = 2.93, S.D. = 1.17) รองลงมาได้แก่ ข้อ 9. นักศึกษาสูบบุหรี่หรืออยู่ใกล้ขีดผู้สูบบุหรี่อยู่ในระดับพอใช้ ( $\bar{x}$  = 2.60, S.D. = 1.23) และข้อ 8. นักศึกษาจัดการความเครียดด้วยการมองโลกในแง่ดีอยู่ในระดับพอใช้ ( $\bar{x}$  = 2.42, S.D. = 1.03) ส่วนพฤติกรรมสุขภาพข้อที่มีค่าคะแนนเฉลี่ยต่ำสุด คือ ข้อ 1. นักศึกษากินอาหารที่มีไขมันสูง เช่น อาหารทอด กะทิอยู่ในระดับไม่ดี ( $\bar{x}$  = 1.82, S.D. = 0.97) รองลงมาได้แก่ ข้อ 2. นักศึกษากินอาหารรสจัด เช่น เค็มจัด หวานจัดอยู่ในระดับไม่ดี ( $\bar{x}$  = 1.95, S.D. = 1.05) และข้อ 6. นักศึกษาออกกำลังกาย อย่างน้อยครั้งละ 30 นาทีอยู่ในระดับไม่ดี ( $\bar{x}$  = 1.95, S.D. = 1.10) ตามลำดับ

ตารางที่ 3 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่าง จำแนกตามระดับพฤติกรรมสุขภาพ 3อ2ส รายข้อ (n = 356)

ข้อคำถาม	พฤติกรรมสุขภาพ 3อ2ส						$\bar{x}$	S.D.	ระดับ
	ไม่ดี		ปานกลาง		ดี				
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ			
<b>อ.1 อาหาร</b>									
1. นักศึกษากินอาหารที่มีไขมันสูง เช่น อาหารทอด กะทิ	264	74.2	86	24.2	6	1.7	1.82	0.97	ไม่ดี
2. นักศึกษากินอาหารรสจัด เช่น เค็มจัด หวานจัด	242	68.0	90	25.3	24	6.7	1.95	1.05	ไม่ดี
3. นักศึกษากินอาหารที่มีกากใย เช่น ผักผลไม้ อย่างน้อยวันละครั้งกิโลกรัม	220	61.8	99	27.8	37	10.4	2.27	0.93	ไม่ดี
4. นักศึกษาควบคุมปริมาณอาหาร โดยได้รับอาหารที่เพียงพอกับร่างกายตนเอง	210	59.0	118	33.1	28	7.9	2.26	0.92	ไม่ดี



ข้อคำถาม	พฤติกรรมสุขภาพ 3อ2ส						$\bar{x}$	S.D.	ระดับ
	ไม่ดี		ปานกลาง		ดี				
	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ	จำนวน	ร้อยละ			
<b>อ.2 ออกกำลังกาย</b>									
5. นักศึกษาทำกิจกรรมหรือเคลื่อนไหวต่อเนื่องจนรู้สึกเหนื่อย	222	62.4	93	26.1	41	11.5	2.26	0.96	ไม่ดี
6. นักศึกษาออกกำลังกายอย่างน้อยครั้งละ 30 นาที	247	69.4	73	20.5	36	10.1	1.95	1.10	ไม่ดี
<b>อ.3 อารมณ์</b>									
7. นักศึกษามีความเครียด ยากที่จะผ่อนคลายลงได้	209	58.7	112	31.5	35	9.8	2.19	1.07	ไม่ดี
8. นักศึกษาจัดการความเครียด ด้วยการมองโลกในแง่ดี	183	51.4	118	33.1	55	15.4	2.42	1.03	พอใช้
<b>ส.1 สูบบุหรี่</b>									
9. นักศึกษาสูบบุหรี่หรืออยู่ใกล้ซิดผู้สูบบุหรี่	157	44.1	87	24.4	112	31.5	2.60	1.23	พอใช้
<b>ส.2 สุรา</b>									
10. นักศึกษาดื่มสุราหรือเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์	119	33.4	81	22.8	156	43.8	2.93	1.17	พอใช้
<b>หมายเหตุ</b>	ค่าเฉลี่ย	0.00 – 2.39 พฤติกรรมสุขภาพระดับไม่ดี							
		2.40 – 3.19 พฤติกรรมสุขภาพระดับพอใช้							
		3.20 – 4.00 พฤติกรรมสุขภาพระดับดีมาก							

ตารางที่ 4 แสดงพฤติกรรมสุขภาพ 3อ2ส โดยจำแนกเป็นรายด้านพบว่า ด้านการบริโภคอาหาร มีพฤติกรรมสุขภาพระดับไม่ดีมากที่สุด ( $\bar{x} = 2.07$ , S.D. = 0.54) รองลงมา ได้แก่ ด้านการออกกำลังกาย มีพฤติกรรมสุขภาพระดับไม่ดี ( $\bar{x} = 2.11$ , S.D. = 0.90) ด้านอารมณ์ มีพฤติกรรมสุขภาพระดับไม่ดี ( $\bar{x} = 2.31$ , S.D. = 0.65) ส่วนด้านการสูบบุหรี่ มีพฤติกรรมสุขภาพระดับพอใช้ ( $\bar{x} = 2.60$ , S.D. = 1.23) และด้านเครื่องดื่มสุรา มีพฤติกรรมสุขภาพระดับพอใช้ ( $\bar{x} = 2.93$ , S.D. = 1.17) ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน พฤติกรรมสุขภาพ 3อ2ส โดยจำแนกเป็นรายด้าน (n = 356)

พฤติกรรมสุขภาพ 3อ2ส	$\bar{x}$	SD	ระดับ
อ1 อาหาร	2.07	0.54	ไม่ดี
อ2 ออกกำลังกาย	2.11	0.90	ไม่ดี
อ3 อารมณ์	2.31	0.65	ไม่ดี
ส1 สูบบุหรี่	2.60	1.23	พอใช้
ส2 สุรา	2.93	1.17	พอใช้
$\bar{x} = 2.27, S.D. = 0.45, \text{Min} = 0.50, \text{Max} = 3.60$			

การหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลกับพฤติกรรมสุขภาพ พบว่า เพศ ระดับชั้นปีที่กำลังศึกษา ดัชนีมวลกาย การมีโรคประจำตัว ไม่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมสุขภาพ ส่วนคณะมีความสัมพันธ์เชิงบวกระดับปานกลางกับ พฤติกรรมสุขภาพของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001 ( $\chi^2 = 0.337, p\text{-value} < 0.001$ ) เมื่อวิเคราะห์ด้วยสถิติการทดสอบไคสแควร์ ( $\chi^2$ ) ดังตารางที่ 5 ส่วนอายุไม่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมสุขภาพ รายได้ที่ได้รับเฉลี่ยต่อเดือนมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมสุขภาพของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยมีความสัมพันธ์เชิงลบในระดับต่ำ ( $r = -0.114, p\text{-value} < 0.05$ ) เมื่อวิเคราะห์ด้วย สถิติวิเคราะห์สหสัมพันธ์สเปียร์มันน์ ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 5 สรุปความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลกับพฤติกรรมสุขภาพของกลุ่มตัวอย่าง (n=356)

ปัจจัย	$\chi^2$	p-value	ระดับความสัมพันธ์
เพศ	.005	1.00	-
ระดับชั้นปีที่กำลังศึกษา	.130	.200	-
คณะ	.337	.000***	ปานกลาง
ดัชนีมวลกาย (BMI)	.102	.451	-
การมีโรคประจำตัว	-.045	.537	-

หมายเหตุ ใช้สถิติ Chi-square \* p-value < 0.05, \*\* p-value < 0.01, \*\*\* p-value < 0.001

ตารางที่ 6 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลกับพฤติกรรมสุขภาพของกลุ่มตัวอย่าง (n=356)

ปัจจัย	พฤติกรรมสุขภาพ		ระดับความสัมพันธ์
	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	p-value	
1. อายุ	-.074	.163	-
2. รายได้ที่ได้รับเฉลี่ยต่อเดือน	-.114	.032*	ต่ำ

หมายเหตุ ใช้สถิติสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน \* p-value < 0.05, \*\* p-value < 0.01, \*\*\* p-value < 0.001

## 4.2 อภิปรายผล

ผู้วิจัยอภิปรายตามวัตถุประสงค์ดังนี้

1. พฤติกรรมสุขภาพของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง จากการศึกษาพฤติกรรมสุขภาพ 3๐2ส ของกลุ่มตัวอย่าง ผลการศึกษาพบว่านักศึกษามีพฤติกรรมสุขภาพ 3๐2ส ในภาพรวม อยู่ในระดับไม่ดี ( $\bar{x} = 2.27$ , S.D. = 0.45) เมื่อพิจารณารายด้านพบว่าพฤติกรรมสุขภาพ ด้านการบริโภคอาหารอยู่ในระดับไม่ดีมากที่สุด ( $\bar{x} = 2.07$ , S.D. = 0.54) ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากนักศึกษามีความรู้ ความเข้าใจทางด้านสุขภาพที่ไม่ถูกต้อง และไม่เห็นความสำคัญเกี่ยวกับการบริโภคอาหารจึงไม่นำมาปฏิบัติ ส่งผลให้นักศึกษามีพฤติกรรมการกินอาหารที่มีไขมันสูง การกินอาหารหวานจัด เค็มจัด การกินอาหารที่มีกากใยน้อย และไม่ควบคุมปริมาณอาหารให้เพียงพอกับร่างกายตนเอง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของจิราเจต สีดาศ และคณะ [13] ที่ทำการศึกษาพฤติกรรมสุขภาพตามหลัก 3๐2ส ของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา พบว่าพฤติกรรมสุขภาพด้านการบริโภคอาหาร อยู่ในระดับที่ไม่เหมาะสม และสอดคล้องกับการศึกษาของวารภรณ์ แสงรัมย์ [14] ที่ทำการศึกษาในนิสิตระดับปริญญาตรี คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน พบว่าอาหารจานด่วนที่กลุ่มตัวอย่างชื่นชอบรับประทานมากที่สุดคือ ไก่ทอดและมักรับประทานคู่กับเครื่องดื่มประเภทน้ำอัดลม โดยให้เหตุผลในการเลือกรับประทานอาหารจานด่วนว่าสะดวกและรวดเร็ว นอกจากนี้ศึกษายังมีพฤติกรรมสุขภาพด้านการออกกำลังกาย อยู่ในระดับไม่ดี ( $\bar{x} = 2.11$ , S.D. = 0.90) โดยมีกิจกรรมที่เคลื่อนไหวต่อเนื่องจนรู้สึกเหนื่อยน้อย ขาดการออกกำลังกายอย่างน้อยครั้งละ 30 นาที ส่วนพฤติกรรมด้านอารมณ์ อยู่ในระดับไม่ดี ( $\bar{x} = 2.31$ , S.D. = 0.65) นักศึกษามีความเครียดยากที่จะผ่อนคลายลงได้ เมื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมสุขภาพของกลุ่มตัวอย่างกับนักศึกษาทั่วไป พบว่ากลุ่มตัวอย่าง มีพฤติกรรมสุขภาพโดยรวมต่ำกว่านักศึกษาทั่วไปที่ส่วนมากมีพฤติกรรมสุขภาพอยู่ในระดับพอใช้ขึ้นไป เช่น พรภัทรา แสนเหลา และคณะ [15] ศึกษาพฤติกรรมสุขภาพหลัก3๐2ส ของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ พบว่าพฤติกรรมสุขภาพด้านการรับประทานอาหาร การออกกำลังกาย การจัดการอารมณ์ และการสูบบุหรี่ อยู่ในระดับปานกลาง ส่วนการดื่มสุรามีพฤติกรรมอยู่ในระดับดี พฤติกรรมสุขภาพโดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของลัดดา พลพุทธา และอรทัย พงษ์แก้ว [16] ที่ทำการศึกษาพฤติกรรมสุขภาพ 3๐2ส ของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด พบว่า มีพฤติกรรมสุขภาพด้านการบริโภคอาหาร การออกกำลังกาย การจัดการความเครียด และการสูบบุหรี่ อยู่ในระดับพอใช้ ส่วนด้านการดื่มสุราและเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ อยู่ในระดับดีมาก พฤติกรรมสุขภาพโดยรวมอยู่ในระดับพอใช้ นอกจากนี้ พฤติกรรมสุขภาพ 3๐2ส ของกลุ่มตัวอย่างยังต่ำกว่าประชาชนทั่วไป เช่น อารีย์ แร่ทอง [17] ศึกษาพฤติกรรมสุขภาพ 3๐2ส ของอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) กรณีศึกษาตำบลหินตก อำเภอรัตนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่า อสม. มีพฤติกรรม 3๐2ส อยู่ระดับพอใช้ นพมาศ โกศล และคณะ [7] ศึกษาความรู้ด้านสุขภาพและพฤติกรรมสุขภาพ 3๐2ส ของกลุ่มวัยทำงาน ชุมชนบ้านวังหิน อำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่าพฤติกรรมสุขภาพตามหลัก 3๐2ส อยู่ในระดับดี

2. ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลกับพฤติกรรมสุขภาพ ของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง จากการศึกษาพบว่า เพศกับพฤติกรรมสุขภาพ ไม่มีความสัมพันธ์กัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากปัจจุบันเพศชายและเพศหญิงได้รับความรู้เท่าเทียมกันจากสถานศึกษา จากสื่อมวลชนและสื่อต่างๆ ซึ่งเป็นลักษณะโลกไร้พรมแดน มีประสบการณ์ที่คล้ายคลึงกัน จึงส่งผลให้มีพฤติกรรมสุขภาพไม่แตกต่างกัน สอดคล้องกับการศึกษาของมาลีวัล เลิศสาครศิริ [18] แต่ผล การศึกษานี้แตกต่างกับฐปรัตน์ รักษาณูสิทธิ์ [19] ที่พบว่าเพศมีความสัมพันธ์ในทางบวกกับพฤติกรรมสร้างเสริมสุขภาพ ( $r = 0.107$ ,  $p < 0.01$ ) โดยนักศึกษาเพศหญิงมีแนวโน้มความรู้และพฤติกรรมสร้างเสริมสุขภาพที่ดีกว่าเพศชาย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะค่านิยมและวัฒนธรรมเพศหญิงที่ดูแลเอาใจใส่สุขภาพมากกว่าเพศชาย อายุกับพฤติกรรมสุขภาพ ไม่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของมาลีวัล เลิศสาครศิริ [18] และฐปรัตน์ รักษาณูสิทธิ์ [19] ทั้งนี้อาจเนื่องจากอายุของนักศึกษายู่ในช่วงวัยใกล้เคียงกัน ศึกษาในระดับปริญญาตรีเหมือนกัน การปฏิบัติพฤติกรรมส่งเสริมสุขภาพก็จะคล้ายคลึงกัน

ระดับชั้นปีที่กำลังศึกษากับพฤติกรรมสุขภาพไม่มีความสัมพันธ์กัน เนื่องจากระดับชั้นปีที่กำลังศึกษานั้นเป็นเพียงระดับของการศึกษาเท่านั้น แต่การหาความรู้เรื่องสุขภาพนั้นไม่ได้มีในตำราเรียนเพียงอย่างเดียว สามารถหาความรู้เรื่องสุขภาพได้จากสื่อมวลชนต่างๆ ซึ่งผลการศึกษานี้แตกต่างกับมาลิวัล เลิศสาครศิริ [18] และฐปรัตน์ รักษาณัฐสิทธิ์ [19] ที่พบว่าชั้นปีที่ต่างกันมีความรู้ในการเสริมสร้างสุขภาพ พฤติกรรมการรับประทานอาหาร พฤติกรรมการออกกำลังกาย และการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ต่างกัน คณะมีความสัมพันธ์เชิงบวกระดับปานกลางกับพฤติกรรมสุขภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001 ( $\chi^2 = 0.337$ , p-value < 0.001) โดยคณะที่มีพฤติกรรมสุขภาพดีที่สุด คือ คณะครุศาสตร์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการผลิตบัณฑิตครูที่จะเป็นต้นแบบออกสู่สังคม มีการเรียนรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเสริมและดูแลสุขภาพ ซึ่งผลการศึกษานี้แตกต่างกับฐปรัตน์ รักษาณัฐสิทธิ์ [19] พบว่าคณะที่เรียนไม่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมส่งเสริมสุขภาพ ทั้งนี้อาจเนื่องจากคณะที่เรียนนั้นเป็นเพียงสาขาวิชาที่นักศึกษาเลือกเรียนเท่านั้น แต่การหาความรู้เกี่ยวกับสุขภาพไม่ได้มีเพียงในตำราเรียนอย่างเดียว สามารถหาความรู้เรื่องสุขภาพได้จากทุกแหล่ง การปฏิบัติเพื่อให้มีพฤติกรรมส่งเสริมสุขภาพที่ดีขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง รายได้ที่ได้รับเฉลี่ยต่อเดือนมีความสัมพันธ์เชิงลบในระดับต่ำกับพฤติกรรมสุขภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $r = -0.114$ , p-value < 0.05) โดยนักศึกษาที่มีรายรับต่อเดือนเป็นจำนวนมาก มีแนวโน้มพฤติกรรมส่งเสริมสุขภาพไม่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับนักศึกษากลุ่มที่มีรายรับต่อเดือนต่ำกว่า อาจเนื่องมาจากนักศึกษาที่มีฐานะทางเศรษฐกิจดีหรือร่ำรวย มักจะมีพฤติกรรมใช้จ่ายฟุ่มเฟือยและมีกิจกรรมทางสังคมมาก ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมส่งเสริมสุขภาพได้ ผลการศึกษานี้แตกต่างกับสมคิด สนวนศรี [20] พบว่า นักศึกษาที่มีค่าใช้จ่ายที่ได้รับต่อเดือนมากกว่า 10,000 บาท มีพฤติกรรมสุขภาพสูงกว่านักศึกษาที่มีค่าใช้จ่ายที่ได้รับต่อเดือนต่ำ (p-value < 0.05) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะค่าใช้จ่ายที่ได้รับมีผลต่อชีวิตและความเป็นอยู่ หากได้รับค่าใช้จ่ายต่อเดือนมากก็จะมีการดูแลสุขภาพได้ดีกว่าผู้ที่ได้รับค่าใช้จ่ายต่อเดือนน้อย การมีโรคประจำตัวกับพฤติกรรมสุขภาพ ไม่มีความสัมพันธ์กัน ผลการศึกษานี้แตกต่างกับอัญญิรริมา พิสัยพันธ์ [8] ที่ศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมสุขภาพในกลุ่มผู้ใหญ่ พบว่ากลุ่มที่มีโรคประจำตัวมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมสุขภาพด้านการออกกำลังกาย เพราะโรคอ้วนเป็นปัจจัยหนึ่งที่สัมพันธ์กับพฤติกรรมการออกกำลังกาย และสถานะทางสุขภาพเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการออกกำลังกาย ดัชนีมวลกายกับพฤติกรรมสุขภาพไม่มีความสัมพันธ์กัน ทั้งนี้เนื่องจากการที่บุคคลจะปฏิบัติพฤติกรรมสุขภาพหรือไม่นั้น ไม่ได้เกิดจากปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งเพียงอย่างเดียวแต่เกิดจากหลายปัจจัยร่วมกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของอานนท์ สีดาเพ็ง [21] ผลการศึกษานี้แตกต่างกับศุภกร หวานกระโทก [22] พบว่าดัชนีมวลกายมีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมสร้างเสริมสุขภาพ ( $\chi^2 = 13.622$ , p-value < 0.05) เนื่องจากสถานศึกษาอยู่ใกล้สถานบริการ ทำให้ได้รับข้อมูลเกี่ยวกับการดูแลสุขภาพจากเจ้าหน้าที่สาธารณสุข สอดคล้องกับระดับความรู้เกี่ยวกับโรคอ้วน การบริโภคอาหาร และการออกกำลังกายที่ส่วนใหญ่มีความรู้ดังกล่าวในระดับปานกลางขึ้นไป สรุป ปัจจัยส่วนบุคคล ได้แก่ คณะ ( $\chi^2 = 0.337$ , p-value < 0.001) และรายได้ที่ได้รับเฉลี่ยต่อเดือน ( $r = -0.114$ , p-value < 0.05) มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมสุขภาพของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง

## 5. บทสรุป

พฤติกรรมสุขภาพ 3อ2ส ของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง ผลการศึกษาพบว่านักศึกษามีพฤติกรรม 3อ2ส อยู่ระดับไม่ดี คือ เป็นผู้ที่มีพฤติกรรมสุขภาพไม่ดีต่อการปฏิบัติตนตามหลัก 3อ2ส ร้อยละ 61.0 รองลงมา อยู่ระดับพอใช้ คือมีการปฏิบัติตนตามหลัก 3อ2ส ได้ปริมาณเพียงพอร้อยละ 36.8 และระดับดีมาก คือมีการปฏิบัติตนตามหลัก 3อ2ส ได้ปริมาณมากเพียงพอต่อสุขภาพที่ดีอย่างยั่งยืนจนเชี่ยวชาญร้อยละ 2.2 พฤติกรรมสุขภาพ 3อ2ส ของนักศึกษานในภาพรวมคืออยู่ในระดับไม่ดี ( $\bar{x} = 2.27$ , S.D. = 0.45) จึงเป็นประเด็นสำคัญที่จะต้องพัฒนาพฤติกรรมสุขภาพในนักศึกษา ซึ่งมีแนวทางการพัฒนาดังนี้ (1) ข้อเสนอแนะต่อผู้บริหาร เนื่องจากพฤติกรรมสุขภาพในภาพรวมของนักศึกษายู่ในระดับไม่ดี เมื่อพิจารณาทางด้านพบว่าพฤติกรรมสุขภาพด้านการบริโภคอาหาร ด้านการออกกำลังกาย และด้านการจัดการอารมณ์อยู่ใน

ระดับไม่ดี โดยนักศึกษามีพฤติกรรมการกินอาหารที่มีไขมันสูง กินอาหารรสจัด มีกากใยน้อย และไม่ควบคุมปริมาณอาหาร การออกกำลังกาย และมีความเครียดยากที่จะผ่อนคลายลงได้ ดังนั้นมหาวิทยาลัยควรมีนโยบายและพัฒนาสิ่งแวดล้อมที่เอื้อกับสุขภาพ เช่น ผู้บริหารกำหนดกฎระเบียบพร้อมทั้งควบคุมตรวจสอบให้ร้านค้ามีการจำหน่ายอาหารที่ถูกต้องตามหลักโภชนาการในมหาวิทยาลัยและคณะ กำหนดเวลาเรียนให้นักศึกษามีการออกกำลังกายในระหว่างวันอย่างน้อย 2-3 ครั้งต่อสัปดาห์ การเพิ่มช่องทางการให้ความรู้แก่นักศึกษาที่มากขึ้น เช่น บรรจุเนื้อหาที่เกี่ยวกับความรู้ด้านสุขภาพในหลักสูตรหรือบรรจุในรายวิชาของหมวดวิชาศึกษาทั่วไป (General Education) จัดทำแผนการดำเนินงานการพัฒนาพฤติกรรมสุขภาพให้กับนักศึกษา และมีการนำสู่การปฏิบัติอย่างเป็นรูปธรรม (2) ข้อเสนอแนะต่อนักศึกษา นักศึกษาควรตระหนักถึงความสำคัญของพฤติกรรมสุขภาพ อีกทั้งควรนำข้อมูลจากการศึกษาไปเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ตนเองว่าควรพัฒนาการเรียนรู้เพื่อให้มีสุขภาพและคุณภาพชีวิตที่ดี การจัดกิจกรรมเพื่อพัฒนาพฤติกรรมสุขภาพ นักศึกษาควรวิเคราะห์ สังเคราะห์จนนำมาสู่การสร้างทักษะในการพัฒนาพฤติกรรมสุขภาพในด้านต่างๆได้ (3) ข้อเสนอแนะต่อการทำวิจัยครั้งต่อไป ควรศึกษาความรู้ด้านสุขภาพ และปัจจัยอื่นที่มีผลต่อความรอบรู้ด้านสุขภาพของนักศึกษา ควรมีการศึกษาวิจัยถึงทดลองถึงโปรแกรมการพัฒนาความรอบรู้ทางสุขภาพและพฤติกรรมสุขภาพของนักศึกษา

## 6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณอธิการบดี คณบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง รวมทั้งผู้ช่วยวิจัยทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์อำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูล ตลอดจนนักศึกษาที่มีส่วนช่วยให้การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ปิยรัตน์ ชูมี. (1 มิถุนายน 2567). สถานการณ์โรคเรื้อรังไม่ติดต่อ. สืบค้นจาก [http://110.164.147.155/kmhealth\\_new/Document/blood/knowledge/17.pdf](http://110.164.147.155/kmhealth_new/Document/blood/knowledge/17.pdf)
- [2] กองสุศึกษา กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ. (16 กรกฎาคม 2561). รายงานผลการประเมินความรู้ด้านสุขภาพและพฤติกรรมสุขภาพ ปี 2560. สืบค้นจาก <http://www.hed.go.th/linkHed/321>
- [3] อรุณรัตน์ สารวิโรจน์ และกานดา จันทร์แย้ม. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมส่งเสริมสุขภาพของนักศึกษา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่. วารสารวิทยาศาสตร์ สาขาสังคมศาสตร์. 35(2557) 223-234.
- [4] วิไลวรรณ จงรัชต์ชัย. ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยบางประการกับพฤติกรรมด้านสุขภาพของนักศึกษา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิจัยและสถิติการศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2548.
- [5] เพียว พงษ์ศักดิ์ชาติ, ประไพจิตร โสมภีร์, อาทิตยา แก้วน้อย, และกนกกาญจน์ เมฆอนันต์รัชช. ความรอบรู้ทางสุขภาพและพฤติกรรมสุขภาพ ตามภูมิปัญญาท้องถิ่นของนักศึกษาพยาบาล วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนี นพรัตน์วชิระ. วารสารวิชาการสาธารณสุข. 20(2561) 20-32.
- [6] ฐาปนี สิริรุ่งเรือง. (18 กรกฎาคม 2560). ความรู้ เจตคติ และพฤติกรรมสุขภาพตามหลัก 3อ2ส ของพนักงานบริษัทเบทาโกร จำกัด มหาชน. สืบค้นจาก <https://mis.krirk.ac.th>
- [7] นพมาศ โกศล, ประนอม อุบลกาญจน์, เขาวลิต ลิ้มวิจิตรวงศ์, และนิตยา ศิริแก้ว. ความรอบรู้ด้านสุขภาพและพฤติกรรมสุขภาพ 3อ2ส ของกลุ่มวัยทำงานสำหรับหมู่บ้านจัดการสุขภาพ กรณีศึกษาชุมชนบ้านวังหิน อำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช. รายงานสืบเนื่องการประชุมมหาดใหญ่วิชาการระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 10, สงขลา, 2562. 1600-1611.

- [8] อัญฐิรริมา พิสัยพันธ์, จรรยา ภัทรอาชาชัย, และกัณฑ์วีร์ วิวัฒน์พาณิชย์. ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมสุขภาพในกลุ่มผู้ใหญ่. ธรรมศาสตร์เวชสาร. 13(2556) 352-360.
- [9] กองพัฒนานักศึกษา. (20 มีนาคม 2565). ข้อมูลสุขภาพของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง ประจำปี พ.ศ. 2561-2565. สืบค้นจาก <https://sdd.mcru.ac.th/docs/>
- [10] เชษฐา งามจรัส. (25 พฤษภาคม 2565). แอปพลิเคชัน n4Studies. สืบค้นจาก <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.chetta.n4Studies&hl=th>
- [11] กองสุศึกษา กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ. (25 พฤษภาคม 2565). เครื่องมือและโปรแกรมประเมิน HL และ HB. สืบค้นจาก <https://hed.go.th/tool-hlhb/>
- [12] บุญใจ ศรีสถิตย่นรากร. ระเบียบวิธีการวิจัยทางพยาบาลศาสตร์. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 2553.
- [13] จิราเจต สีดาหัส, ปิยะพร ขวัญสูงเนิน, พิมพ์ประไพ พ่วงกลาง, ธวัชชัย เอกสันติ, และพัชรินทร์ ยูพา. พฤติกรรมสุขภาพตามหลัก 3อ2ส ของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา. วารสารวิจัยและพัฒนาด้านสุขภาพ สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดนครราชสีมา. 8(2565) 60-73.
- [14] วราภรณ์ แสงรัสมิ. พฤติกรรมการบริโภคอาหารจานด่วนของนิสิตระดับปริญญาตรีมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาสุขภาพศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2558.
- [15] พรภัทรา แสนเหล่า, เบญจพร สืบทอง, ภิญญารัตน์ เปลี่ยนจันทิก, ปิยะกุล ศิริ, ศุภลักษณ์ โคบัวรุ่ง, สิริณยา ผลไธสง, สุจิตา เพชรฤทัย, และอาริยา นาใจเย็น. ความสัมพันธ์ด้านความรู้สุขภาพกับพฤติกรรมสุขภาพหลัก 3อ2ส ของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ. รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ครั้งที่ 14, นครปฐม, 2565. 1651-1662.
- [16] ลัดดา พลพุดธา และอรทัย พงษ์แก้ว. ความรอบรู้ด้านสุขภาพและพฤติกรรมสุขภาพ 3อ2ส ของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด. วารสารสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดขอนแก่น. 6(67) 1-16.
- [17] อารีย์ แร่ทอง. ความรอบรู้ด้านสุขภาพและพฤติกรรมสุขภาพ 3อ2ส ของอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้านกรณีศึกษาตำบลหินตก อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช. วารสารวิชาการกรมสนับสนุนบริการสุขภาพ. 15(2562) 62-70.
- [18] มาลีวัล เลิศสาครศิริ และชะบา คำปัญญา. ปัจจัยที่สัมพันธ์กับพฤติกรรมการส่งเสริมสุขภาพของนักศึกษาพยาบาลวิทยาลัยเซนต์หลุยส์ที่ฝึกปฏิบัติงานในสถานบริการสุขภาพ. วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 25(2560) 67-76.
- [19] ฐปรัตน์ รักษาภานุสิทธิ์, นฤมล จินเมือง, และนันทิยา ไชยนิ่ง. ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อพฤติกรรมสร้างเสริมสุขภาพของนักศึกษามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี. วารสารวิทยบริการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 29(2561) 170-178.
- [20] สมคิด สนวนศรี, ปราจิต ทิพย์โอสถ, และพนิดา ต้นสิน. พฤติกรรมสุขภาพของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. วารสารศิลปกรรมศาสตร์วิชาการ วิจัย และงานสร้างสรรค์. 1(2560) 1-25.
- [21] อานนท์ สีดาเพ็ง และนิคม มูลเมือง. ศึกษาพฤติกรรมส่งเสริมสุขภาพของนักศึกษามหาวิทยาลัย. วารสารศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 1(2556) 59-86.
- [22] ศุภกร หวานกระโทก และจุไรรัตน์ วัชรอาสน์. ปัจจัยที่สัมพันธ์กับพฤติกรรมสร้างเสริมสุขภาพของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น สังกัดเขตพื้นที่การศึกษาเขต 18 จังหวัดชลบุรี. วารสารพยาบาลตำรวจ. 10(2561) 132-141.

# การประเมินสมบัติของตำรับแชมพูที่มีน้ำมันอัลมอนด์และน้ำมันมะพร้าวเป็นส่วนประกอบ

## Property Assessment of Shampoo Formulations Containing Almond Oil and Coconut Oil

ดวงแข มณีนวล<sup>1</sup> นราวดี จิตรากุล<sup>1</sup> นฤมลวรรณ เมืองใจ<sup>1</sup> และ ประภาพร บุญมี<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีเภสัชกรรม คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

\*E-mail: prapaporn@pharmacy.psu.ac.th

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันทั้งผู้ชายและผู้หญิงต่างก็สนใจในรูปลักษณ์ภายนอกของตัวเองรวมถึงผม จึงทำให้ผู้คนต่างสนใจในการดูแลผมของตัวเอง การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์แชมพูที่มีน้ำมันอัลมอนด์และน้ำมันมะพร้าวเป็นส่วนประกอบ ซึ่งคาดว่าจะช่วยชดเชยการสูญเสียน้ำมันที่หล่อเลี้ยงเส้นผมตามธรรมชาติหลังการสระผม โดยทดลองตั้งตำรับและเตรียมแชมพู 5 สูตร ซึ่งมีปริมาณน้ำมันรวมร้อยละ 3 ในสูตรที่ศึกษาผลของน้ำมัน ยกเว้นสูตรควบคุมที่ไม่มีน้ำมัน ทุกตำรับมีส่วนประกอบอื่น ๆ ได้แก่ Texapon<sup>®</sup>N40, Sodium chloride, Cocamidopropyl betaine, Polysorbate 20, Comperlan<sup>®</sup>KD, Phenoxyethanol และ Citric acid เหมือนกัน แต่แตกต่างกันที่อัตราส่วนของน้ำมันอัลมอนด์และน้ำมันมะพร้าวที่ใช้ในแต่ละสูตรตำรับ ผลการทดลองพบว่าแชมพูหลังเตรียม มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 5.9-6.4 ทำให้เกิดฟอง ลดแรงตึงผิวของน้ำได้ และมีความหนืดที่เหมาะสมกับการสระผม เมื่อใช้แชมพูที่มีส่วนผสมของน้ำมันอัลมอนด์และน้ำมันมะพร้าวเป็นส่วนประกอบสระปอยผม พบว่ามีแนวโน้มช่วยให้ปอยผมหลังสระมีลักษณะที่นุ่มลื่นกว่าแชมพูตำรับควบคุมซึ่งที่ไม่มีน้ำมันเป็นส่วนประกอบ อย่างไรก็ตาม พบว่ามีการแยกชั้นของน้ำมันขึ้นมาที่ผิวด้านบนของแชมพูหลังจากเก็บไว้ 1 เดือน ดังนั้นในการศึกษาต่อไป ควรปรับปรุงวิธีเตรียมหรือสูตรตำรับเพื่อให้ตำรับแชมพูมีความคงตัวมากยิ่งขึ้น

**คำสำคัญ:** แชมพู ผม น้ำมันอัลมอนด์ น้ำมันมะพร้าว เกล็ดผมชั้นนอก

### Abstract

Nowadays, both men and women are interested in their personal appearances, including their hair. Therefore, people pay attention in taking care of their own hair. This study aimed to develop shampoo products containing almond oil and coconut oil as ingredients with the expectation to compensate for the loss of natural nourish oils of the hair after washing. The 5 shampoos were formulated and prepared. In the formulations for studying effects of oils, a total oil content of 3% was used while the control formula did not contain oils. All formulations were composed of other identical ingredients, including Texapon<sup>®</sup>N40, Sodium chloride, Cocamidopropyl betaine, Polysorbate 20, Comperlan<sup>®</sup>KD, Phenoxyethanol and Citric acid, but they contained different ratios of almond oil and coconut oil. The results showed that the shampoos after preparation had pH values in the range of 5.9-

6.4, created foam bubbles, reduced the surface tension of water, and possessed suitable viscosity for hair washing. When the shampoos containing almond oil and coconut oil as ingredients were used for washing the hair tresses, the washed hair tresses tended to appear softer and smoother than those washing with the control shampoo formulation without oils. However, separation of oils in the shampoos after 1 month of storage was observed. Therefore, in further studies, the preparation method or formula should be improved to make the shampoos stable.

**Keywords:** Shampoo, Hair, Almond oil, Coconut oil, Cuticle

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันผู้คนให้ความสำคัญและเอาใจใส่กับรูปลักษณ์ภายนอกเป็นอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นรูปร่าง หน้าตา ผิวพรรณ รวมไปถึงผม (scalp hair) ซึ่งผมหรือขนที่งอกปกคลุมหนังศีรษะของมนุษย์ มีหน้าที่สำคัญในการปกป้องหนังศีรษะจากแสงแดดและความเย็น อย่างไรก็ตาม หน้าที่นี้ไม่ได้มีความสำคัญในความคิดของคนส่วนใหญ่ โดยบทบาทสำคัญของผมในความคิดของคนส่วนใหญ่ คือ บทบาทในด้านการเสริมความงามและความมั่นใจในการเข้าสังคม ผมแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ เส้นผม (hair shaft) เป็นส่วนที่งอกเหนือหนังศีรษะ และรากผม (hair root) ซึ่งเป็นส่วนที่ฝังอยู่ภายใต้หนังศีรษะ ซึ่งทั้ง 2 ส่วนมีผลกระทบต่อลักษณะของผมซึ่งส่งผลต่อเนื่องถึงความสวยงาม อย่างไรก็ตาม เส้นผมเป็นส่วนที่มีผลในการมองเห็นถึงความสวยงามได้อย่างชัดเจน โดยเส้นผมที่มีสุขภาพดีและเรียบรื่น จะส่งผลให้จัดทรงง่ายและแลดูเงางาม เมื่อนำเส้นผมมาตัดขวางพบว่าประกอบด้วย 3 ชั้น เรียงตามลำดับจากด้านนอกไปด้านใน คือ เกล็ดผมชั้นนอก (cuticle) อยู่ชั้นนอกสุด มีลักษณะเป็นเกล็ดใส ๆ ที่เรียงซ้อนกันแบบเกล็ดปลาครอบเส้นผม ประกอบด้วยเคราตินชนิดแข็ง (hard keratin) เป็นส่วนใหญ่ ทำให้เส้นผมมีความแข็งแรง ช่วยป้องกันการซึมผ่านของสิ่งสกปรกที่จะเข้าไปทำลายเส้นผม และปกป้องชั้นเนื้อผมไม่ให้สูญเสียความชุ่มชื้นหรือน้ำมันตามธรรมชาติ ซึ่งหากการเรียงตัวของเกล็ดผมชั้นนอกดีจะทำให้ผมดูเงางาม เนื้อชั้นนอก (cortex) เป็นชั้นที่มีความหนาที่สุด ประกอบไปด้วยเซลล์รูปกระสวยคล้ายเส้นใยเรียงอัดกันแน่นตามยาว นอกจากนี้ มีเม็ดสีซึ่งเป็นตัวกำหนดสีผม ช่องอากาศ เส้นใยโปรตีนซึ่งมีผลต่อความนุ่มและยืดหยุ่นของเส้นผม และแกนผม (medulla) ซึ่งเป็นเซลล์รูปลูกเต๋า โดยจำนวนเซลล์จะลดลงทางปลายผม และไม่พบบทบาทสำหรับมนุษย์มากนัก ส่วนมากพบแกนผมในผมเส้นใหญ่ แต่ไม่พบในผมเส้นเล็ก ถัดจากเส้นผมลงไปใต้หนังศีรษะ คือ รากผม ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากต่อการเจริญเติบโตของเส้นผม เป็นส่วนที่มีเลือดและเส้นประสาทมาเลี้ยง ทำให้เซลล์รากผมมีการแบ่งตัว เกิดเซลล์ใหม่ของผมขึ้นเรื่อย ๆ โดยวงจรชีวิตของเส้นผมแบ่งได้เป็น 3 ระยะ คือ ระยะเจริญเติบโต (anagen หรือ active growth phase) เป็นระยะที่ผมงอกยาว เส้นผมส่วนใหญ่อยู่ในระยะนี้ และผมแต่ละเส้นจะอยู่ในระยะนี้ประมาณ 3-5 ปี ระยะเปลี่ยนสถานะ (catagen หรือ transition phase) เป็นระยะที่ผมหยุดงอกฐานของต่อมรากผมเคลื่อนตัวขึ้นมาบนผิวหนังศีรษะ และระยะสุดท้าย (telogen หรือ resting phase) เป็นระยะที่ผมพร้อมจะหลุดร่วงออกจากหนังศีรษะ เมื่อเส้นผมเดิมหลุดร่วงออกไป จะเกิดการสร้างและงอกยาวของผมเส้นใหม่ในระยะเจริญเติบโตขึ้นมาแทนที่เป็นวัฏจักรที่หมุนเวียนไปเรื่อย ๆ [1]

แชมพู (shampoo) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการสระผม เพื่อขจัดสิ่งสกปรกจากเส้นผมและหนังศีรษะ ส่วนประกอบหลักในแชมพูที่ทำหน้าที่นี้ คือ สารลดแรงตึงผิว (surfactant) [2,3] แชมพูอาจแบ่งประเภทได้หลายแบบ ขึ้นกับเกณฑ์ที่ใช้ เช่น แบ่งตามลักษณะของเส้นผม/ผู้ใช้/ส่วนประกอบ เช่น แชมพูสำหรับผมมัน (shampoo for oily hair) แชมพูสำหรับผมแห้ง (shampoo for dry hair) แชมพูสำหรับผมเสีย (shampoo for damaged hair) แชมพูเด็ก (baby shampoo) แชมพูจัดรังแค (anti-dandruff shampoo) แชมพูสมุนไพร (herbal shampoo) เป็นต้น แบ่งตามลักษณะทางกายภาพ เป็นแชมพูของเหลว (liquid shampoo) และแชมพูของแข็งหรือผงแห้ง (powder shampoo) แชมพูส่วนใหญ่ในท้องตลาดอยู่ในรูปแบบ



ของเหลวซึ่งอาจแบ่งย่อยตามลักษณะที่มองเห็นเป็นแชมพูใส (clear or transparent shampoo) แชมพูประกายมุก (pearl sheen shampoo) เป็นต้น [2]

จากสภาพอากาศที่ร้อนอบอ้าวและมีฝุ่นควัน ส่งผลให้ผู้คนจำเป็นต้องสระผมบ่อยครั้งขึ้น จึงอาจทำให้น้ำมันที่หล่อเลี้ยงเส้นผมตามธรรมชาติซึ่งผลิตจากต่อมน้ำมันใกล้รากผมถูกชะล้างออกไปด้วย ส่งผลให้เส้นผมขาดความชุ่มชื้นและไม่เป็นเงางาม รวมถึงหนังศีรษะแห้ง ดังนั้น การทดแทนน้ำมันที่สูญเสียไปดังกล่าวด้วยการนำน้ำมันจากธรรมชาติ มาเป็นส่วนประกอบในแชมพู จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจในการดูแลเส้นผมและหนังศีรษะให้สะอาดพร้อมกับบำรุงเส้นผมให้มีความเรียบรื่นและเงางาม นอกจากนี้ ยังตอบความสนองความต้องการของผู้บริโภคในด้านเวลาอีกด้วย เนื่องจากการรวมน้ำมันบำรุงเส้นผมไว้ในแชมพูทำความสะอาดเส้นผม จะช่วยลดเวลาในการดูแลเส้นผมสำหรับผู้บริโภคที่มีวิถีชีวิตที่เร่งรีบ

น้ำมันจากธรรมชาติที่ได้รับการรายงานหรือมีการใช้ในผลิตภัณฑ์ดูแลเส้นผม (hair-care products) มีหลากหลายชนิด รวมทั้งน้ำมันอัลมอนด์ (almond oil) ซึ่งได้จากผลของ *Prunus amygdalus* ประกอบด้วยกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) กรดโอเลอิก (oleic acid) กรดลิโนเลนิก (linolenic acid) กรดสเตียริก (stearic acid) กรดปาล์มติก (palmitic acid) วิตามินอี (vitamin E) และน้ำมันมะพร้าว (coconut oil) ซึ่งได้จากผลของ *Cocos nucifera* ประกอบด้วยกรดไมริสติก (myristic acid) กรดคาพริก (capric acid) กรดลอริก (lauric acid) โมโนลอรีน (monolaurin) สารต้านออกซิเดชัน (antioxidants) ซึ่งสารที่พบในน้ำมันทั้ง 2 ชนิด เป็นสารที่มีประโยชน์ในฟื้นฟูความเสียหายของเส้นผม [4] ดังนั้น จึงมีความน่าสนใจในการผลิตแชมพูที่มีน้ำมัน 2 ชนิดนี้เป็นส่วนประกอบ ก่อนหน้านี้มีรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำน้ำมันจากธรรมชาติมาใช้เป็นส่วนประกอบในแชมพูโดยใช้ในรูปแบบน้ำมันเดี่ยว เช่น น้ำมันมะพร้าว [5] น้ำมันเมล็ดเงาะ (rambutan seed oil) [6] รวมถึงในรูปแบบน้ำมันผสม เช่น ของผสมระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันทีทรี (tea tree oil) ในอัตราส่วน 6:0, 5:1, 4:2, 3:3, 2:4, 1:5 และ 0:6 [7] นอกจากนี้ พบว่าในท้องตลาดมีแชมพูหลายชื่อการค้าที่มีน้ำมันจากพืชเป็นส่วนประกอบโดยระบุเฉพาะชนิดแต่ไม่ระบุปริมาณของน้ำมัน อย่างไรก็ตาม การนำน้ำมันซึ่งเป็นสารที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) มาเป็นส่วนประกอบในแชมพูอาจมีอุปสรรคจากการละลายหรือการผสมเข้ากันกับส่วนประกอบอื่น ๆ ซึ่งเป็นสารที่มีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic)

งานวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการเตรียมตำรับแชมพูที่มีน้ำมันอัลมอนด์และน้ำมันมะพร้าวเป็นส่วนประกอบ โดยประเมินสมบัติทางกายภาพรวมถึงผลการสระผมด้วยผลิตภัณฑ์แชมพูที่เตรียมได้

## 2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

### 2.1 สารเคมี

น้ำมันอัลมอนด์ (sweet almond oil) และน้ำมันมะพร้าว (virgin coconut oil) ซื้อมาจาก RR Cosmetics & Food Ingredients Co., Ltd (สมุทรปราการ), citric acid, phenoxyethanol และ Texapon<sup>®</sup>N40 (sodium laureth sulfate 28%) ซื้อมาจาก Chemipan Corporation Co., Ltd (กรุงเทพฯ), cocamidopropyl betaine, Comperlan<sup>®</sup>KD (cocamide DEA), polysorbate 20 และ sodium chloride ซื้อมาจาก PC Drug Center Co., Ltd (กรุงเทพฯ) และน้ำที่ใช้ในการศึกษานี้ คือ น้ำจัดอไอออน (deionized water)

### 2.2 การตั้งตำรับและเตรียมแชมพู

ในการศึกษาเบื้องต้น (preliminary study) เตรียมแชมพูที่มีความเข้มข้นรวมของน้ำมันอัลมอนด์และน้ำมันมะพร้าวในแต่ละตำรับเป็นร้อยละ 6 โดยใช้อัตราส่วนน้ำมันอัลมอนด์ต่อน้ำมันมะพร้าวเป็นร้อยละ 6:0, 5:1, 4:2, 3:3, 2:4, 1:5 และ 0:6 เช่นเดียวกับในรายงานก่อนหน้านี้ [7] อย่างไรก็ตาม พบว่าตำรับที่ได้แยกชั้นอย่างรวดเร็วโดยพบการแยกชั้นหลังเตรียมเพียงข้ามคืน ยกเว้นตำรับควบคุมซึ่งไม่มีน้ำมัน จึงได้ปรับสูตรตำรับโดยเพิ่มปริมาณสารที่มีผลทำให้ตำรับมีความหนืด

เพิ่มขึ้นเพื่อชะลอการรวมตัวกันของน้ำมันที่กระจายตัวเป็นหยดเล็ก ๆ ในแชมพู ซึ่งพบว่าตำรับที่น้ำมันเป็นส่วนประกอบในปริมาณรวมร้อยละ 6 ยังคงแยกชั้นในอัตราเร็วที่ช้าลงเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องจากน้ำมันอัลมอนด์และน้ำมันมะพร้าวที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นน้ำมันระเหยยาก (fixed oil) แตกต่างจากในรายงานก่อนหน้านี้ซึ่งใช้ของผสมระหว่างน้ำมันมะพร้าวซึ่งเป็นน้ำมันระเหยยากกับน้ำมันที่ระเหยง่าย (volatile oil) [7] ส่งผลให้เกิดการละลายและ/หรือการกระจายตัวในตำรับแตกต่างกัน ผู้วิจัยจึงลดปริมาณรวมของน้ำมันอัลมอนด์และน้ำมันมะพร้าวในสูตรตำรับแชมพูเป็นร้อยละ 3 โดยกำหนดให้ทุกตำรับมีส่วนประกอบอื่น ๆ เหมือนกัน ยกเว้นตำรับ F1 ซึ่งไม่มีน้ำมัน จึงมีน้ำสูงกว่าตำรับ F2-F5 ในปริมาณร้อยละ 3 ดังตารางที่ 1 และเตรียมแชมพูด้วยการละลายส่วนประกอบทั้งหมดเข้าด้วยกันที่อุณหภูมิโดยรอบ (ambient temperature; 25±2 องศาเซลเซียส)

ตารางที่ 1 สูตรตำรับแชมพู

สาร	ปริมาณในตำรับ (ร้อยละ)				
	F1	F2	F3	F4	F5
Sweet almond oil	0.00	3.00	2.00	1.00	0.00
Virgin coconut oil	0.00	0.00	1.00	2.00	3.00
Texapon <sup>®</sup> N40 (Sodium laureth sulfate 28%)	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
Sodium chloride	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Cocamidopropyl betaine	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
Polysorbate 20	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Comperlan <sup>®</sup> KD (Cocamide DEA)	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Phenoxyethanol	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Citric acid	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
Deionized water	28.43	25.43	25.43	25.43	25.43

### 2.3 การศึกษาสมบัติของแชมพู

นำแชมพูที่เตรียมได้มาศึกษาสมบัติต่าง ๆ ภายใน 1 สัปดาห์หลังเตรียม โดยศึกษาสมบัติดังนี้ [8-10]

- สังเกตลักษณะทางกายภาพ เช่น ความใส สี การแยกชั้น เป็นต้น ที่มองเห็นด้วยตาเปล่า
- วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยเจือจางแชมพูด้วยน้ำให้ได้ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร (v/v)

จากนั้นวัด pH ด้วย pH meter (SevenCompact, Mettler Toledo, Switzerland)

- วัดความสามารถในการเกิดฟอง (foaming ability) โดยผสมแชมพู 50 ไมโครลิตร กับน้ำ 40 มิลลิลิตร เขย่าด้วยแรงที่คงที่เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นวัดปริมาตรของฟองที่เกิดขึ้นเหนือผิวน้ำ

- วัดแรงตึงผิว (surface tension) โดยเจือจางแชมพูด้วยน้ำให้ได้ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร (v/v) จากนั้นวัดแรงตึงผิวด้วย tensionmeter (Lauda TD 1, LAUDA DR. R. WOBSEER GMBH & CO. KG, Germany) ด้วยวิธี ring method โดยใช้หลักการวัดแรงที่ทำให้ฟิล์มของของเหลวที่ติดกับผิววงแหวนซึ่งทำด้วย platinum-irridium ขาด

- วัดความหนืดด้วย Brookfield DV3 Ultra Rheometer (Brookfield Engineering Laboratories, USA) โดยวัดที่อัตราการหมุนของ spindle เท่ากับ 4 รอบต่อนาที (rpm) และ spindle ที่ใช้คือ SC4-31
- เก็บตัวอย่างในขวดแก้วใสที่ปิดด้วยฝาเกลียวพลาสติก ภายใต้สภาวะปกติหรือที่อุณหภูมิโดยรอบ นาน 1 เดือน จากนั้นสังเกตลักษณะ และวัดสมบัติต่าง ๆ ตามวิธีที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

## 2.4 การประเมินประสิทธิภาพในการทำให้เส้นผมเรียบขึ้น

ประเมินประสิทธิภาพในการทำให้เส้นผมเรียบขึ้นของแชมพูที่เตรียมได้ โดยใช้ปอยผมมนุษย์ที่ตัดจากคนเดียวกัน และในคราวเดียวกันซึ่งซื้อจากร้านทำผม นำปอยผมดังกล่าวมาแบ่งเป็น 5 ซอ แต่ละซอมีความยาวไม่น้อยกว่า 10 เซนติเมตร และมีน้ำหนัก 5 กรัม จากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาด 3 ครั้ง ก่อนใช้ในการทดลอง สังเกตลักษณะของเส้นผมภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (Nikon Upright Microscope Eclipse Ei Model, TE800-N Hollywood International Ltd, Thailand) กำลังขยาย 400 เท่า และถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัล (digital camera)

ชั่งแชมพูแต่ละสูตรจำนวน 5 กรัม ผสมน้ำ 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำมาสระปอยผม โดยใช้เครื่อง sonicator ซึ่งกำหนดความถี่ในการสั่นสะเทือน และระยะเวลา 5 นาทีที่เท่ากัน แทนการสระด้วยมือ แล้วล้างด้วยน้ำสะอาด 50 มิลลิลิตร โดยใช้เครื่อง sonicator (Bandelin DT1028 Ultrasonic bath, BANDELIN electronic GmbH & Co. KG, Germany) ซึ่งกำหนดความถี่ในการสั่นสะเทือนและระยะเวลา 5 นาทีที่เท่ากัน จากนั้นนำปอยผมมาซับน้ำและวางให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง สังเกตลักษณะของเส้นผมภายใต้กล้องจุลทรรศน์และถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัล โดยศึกษาซ้ำ 3 รอบ บันทึกผลในแต่ละรอบ และเปรียบเทียบลักษณะของเส้นผมหลังการสระด้วยแชมพู F1-F5 ในแต่ละรอบกับเริ่มต้น [8]

## 3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

### 3.1 สมบัติของแชมพูหลังเตรียม

จากการสังเกตลักษณะของแชมพู พบว่าตำรับที่มีน้ำมันเป็นส่วนประกอบ (F2-F5) มีลักษณะเป็นของเหลวขาวขุ่นและมีกลิ่นเฉพาะของน้ำมัน ขณะที่ตำรับที่ไม่มีน้ำมัน (F1) มีลักษณะเป็นของเหลวใสที่ไม่มีกลิ่น ลักษณะที่มองเห็นของตำรับที่เตรียมได้แสดงในภาพที่ 1 นอกจากนี้ แชมพู F1-F5 มีสมบัติอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งลักษณะขาวขุ่นของ F2-F5 เกิดจากการกระจายตัวของน้ำมันในตำรับ ขณะที่แชมพูทุกสูตรมีสมบัติด้านความเป็นกรด-ด่าง ความสามารถในการเกิดฟอง การลดแรงตึงผิวของน้ำ และความหนืด อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สำหรับผลิตภัณฑ์แชมพู [8-10] การเติมน้ำมันในตำรับแชมพู ส่งผลให้ความหนืดลดลง โดยพบว่าน้ำมันมะพร้าวมีผลต่อความหนืดมากกว่าน้ำมันอัลมอนด์ ปริมาณน้ำมันมะพร้าวที่เพิ่มขึ้นยิ่งส่งผลให้ตำรับมีความหนืดลดลง อย่างไรก็ตาม ทั้งน้ำมันอัลมอนด์และน้ำมันมะพร้าวมีผลค่อนข้างน้อยต่อสมบัติด้านความเป็นกรด-ด่าง ความสามารถในการเกิดฟอง และการลดแรงตึงผิวของน้ำ



ภาพที่ 1 ลักษณะที่มองเห็นของแชมพู F1-F5 หลังเตรียม เรียงลำดับจากซ้ายไปขวา





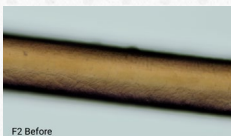














ตารางที่ 2 สมบัติต่าง ๆ ของแชมพูที่เตรียมได้หลังเตรียม

ตำรับ	สมบัติที่ศึกษา (mean±SD, n=3)			
	pH	ปริมาตรของฟอง (cm)	แรงตึงผิว (mN/m)	ความหนืด (cP)
F1	5.92±0.03	190±10	30.8±0.3	4296.58±250.50
F2	6.14± 0.00	223±6	31.1±0.2	3454.26±141.15
F3	6.21±0.01	207±21	31.0±0.0	2824.40±191.81
F4	6.22±0.02	197±6	31.0±0.1	2639.44±218.49
F5	6.23±0.01	207±25	31.0±0.1	2132.05±195.73

### 3.2 ประสิทธิภาพในการทำให้เส้นผมเรียบปรึนของแชมพูที่เตรียมได้

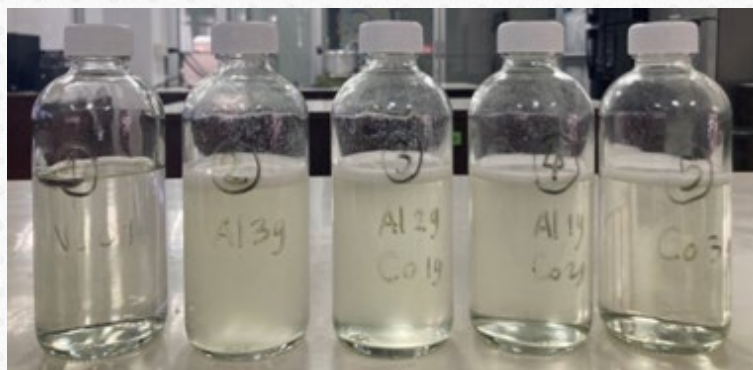
ตารางที่ 3 แสดงตัวอย่างรูปถ่ายของเส้นผมภายใต้กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 400 เท่า เพื่อเปรียบเทียบลักษณะการเรียงตัวของเกล็ดผมชั้นนอกก่อนและหลังสระด้วยแชมพู F1-F5 พบว่าหลังจากใช้แชมพูสระ 3 ครั้ง การเรียงตัวของเกล็ดผมชั้นนอกใกล้เคียงกับลักษณะเดิมก่อนสระ ทั้งนี้เนื่องจากการศึกษาในระยะสั้น ซึ่งผลลัพธ์จากการใช้เครื่องสำอางมักสามารถสังเกตได้เมื่อใช้ต่อเนื่องเป็นระยะเวลาานติดต่อกัน นอกจากนี้ อาจเกิดจากความคาดเคลื่อนในการเลือกเส้นผมมาพิจารณาเปรียบเทียบผลการสระ อย่างไรก็ตาม จากการสัมผัสผอมโดยภาพรวมทั้งผอมของผู้วิจัยพบว่าหลังจากสระผอมด้วยสูตรตำรับที่มีส่วนผสมของน้ำมัน (F2, F3, F4, F5) ให้ความรู้สึกที่นุ่มลื่นมือกว่าสูตรที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำมัน (F1) ทั้งนี้เป็นผลจากการที่น้ำมันอัลมอนต์และน้ำมันมะพร้าวสามารถช่วยเคลือบเส้นผม ส่งผลเกล็ดผมชั้นนอกเรียงตัวดีขึ้น เมื่อสัมผัส จึงรู้สึกถึงความนุ่มมากกว่าผอมที่สระด้วยตำรับที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำมัน

ตารางที่ 3 ลักษณะของเส้นผมภายใต้กล้องจุลทรรศน์ก่อนและหลังสระด้วยแชมพู F1-F5

ตำรับ	ลักษณะของเส้นผมภายใต้กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 400 เท่า			
	ก่อนสระผม	สระครั้งที่ 1	สระครั้งที่ 2	สระครั้งที่ 3
F1				
F2				
F3				
F4				
F5				

### 3.3 สมบัติของแชมพูหลังเก็บไว้ 1 เดือน

หลังเก็บแชมพูที่เตรียมได้ไว้ 1 เดือน สังเกตพบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะที่สังเกตได้หลังเตรียม ตำรับที่มีน้ำมันเป็นส่วนประกอบ (F2-F5) มีความขาวขุ่นลดลงและเห็นน้ำมันลอยตัวด้านบน ขณะที่ตำรับที่ไม่มีน้ำมัน (F1) มีลักษณะใกล้เคียงกับลักษณะเดิม ตำรับ F1-F5 หลังเก็บไว้ 1 เดือน มีลักษณะที่มองเห็น ดังแสดงในภาพที่ 2 และมีสมบัติอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4 หลังเก็บไว้ 1 เดือน F2-F5 ดูใสขึ้นและมีความหนืดลดลงมาก เนื่องจากน้ำมันที่กระจายตัวเกิดการรวมกลุ่มและลอยขึ้นบนผิวของตำรับ โดยพบว่าตำรับ F4 ซึ่งมีส่วนผสมของน้ำมันมะพร้าวร้อยละ 3 เกิดการแยกชั้นของแชมพูชุดที่สุด สันนิษฐานได้ว่าน้ำมันมะพร้าวอาจคงตัวอยู่ในสูตรตำรับแชมพูนี้ได้ไม่ดีเท่าที่น้ำมันอัลมอนต์ ส่วน F1 ซึ่งไม่มีน้ำมัน ยังคงมีลักษณะที่มองเห็นและความหนืดรวมถึงความสามารถในการเกิดฟองและการลดแรงตึงผิวของน้ำใกล้เคียงกับเมื่อเริ่มต้น ขณะที่แชมพูที่มีน้ำมันเป็นส่วนประกอบมีสมบัติด้านความเป็นกรด-ด่างใกล้เคียงกับเมื่อเริ่มต้น แต่ความสามารถในการเกิดฟองและการลดแรงตึงผิวของน้ำมีแนวโน้มลดลง



ภาพที่ 2 ลักษณะที่มองเห็นของแชมพู F1-F5 หลังเก็บไว้ 1 เดือน เรียงลำดับจากซ้ายไปขวา

ตารางที่ 4 สมบัติต่าง ๆ ของแชมพูที่เตรียมได้หลังเก็บไว้ 1 เดือน

ตำรับ	สมบัติที่ศึกษา (mean±SD, n=3)			
	pH	ปริมาตรของฟอง (cm)	แรงตึงผิว (mN/m)	ความหนืด (cP)
F1	6.15±0.02	187±6	31.6±0.1	4091.63± 258.92
F2	6.26±0.01	197±6	32.2±0.1	1864.60± 210.13
F3	6.33±0.02	187±6	32.2±0.1	1039.78± 218.91
F4	6.37±0.01	170±10	32.2±0.1	592.35 ±73.83
F5	6.43±0.01	187±6	32.2±0.3	301.60± 187.07

### 4. บทสรุป

แชมพูหลังเตรียม มีสมบัติความเป็นกรด-ด่าง ความสามารถในการเกิดฟอง ความสามารถในการลดแรงตึงผิวของน้ำ และความหนืด อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เมื่อใช้ผลิตภัณฑ์แชมพูที่มีส่วนผสมของน้ำมันอัลมอนต์และน้ำมันมะพร้าวเป็นส่วนประกอบสระปอยผม พบว่ามีแนวโน้มช่วยให้ปอยผมหลังสระมีลักษณะที่นุ่มลื่นกว่าแชมพูที่ไม่มีน้ำมันเป็นส่วนประกอบ แต่ไม่สามารถเห็นผลที่ชัดเจนเมื่อสังเกตลักษณะการเรียงตัวของเกล็ดผมชั้นนอกของเส้นผมภายใต้กล้องจุลทรรศน์ อย่างไรก็ตามพบว่าการแยกชั้นของน้ำมันออกจากแชมพูหลังจากเก็บไว้ 1 เดือน ดังนั้น ในการทำวิจัยครั้งต่อไป จึงควรปรับปรุงตำรับให้มีความคงตัวที่ดีขึ้น โดยมีแนวทางที่เป็นไปได้ คือ ใช้ homogenizer หรือ high speed mixer ลดขนาดอนุภาคของหยดน้ำมัน

ในตำรับ รวมถึงปรับสูตรตำรับโดยปรับเปลี่ยนชนิดของสารลดแรงตึงผิวเพื่อให้น้ำมันสามารถคงสภาพในตำรับได้ดีขึ้น และอาจเพิ่มสารต้านออกซิเดชันเพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชันของน้ำมัน นอกจากนี้ ในกรณีที่ต้องการแต่งสีและ/กลิ่น ควรผสมในตำรับเพื่อศึกษาความคงตัวด้วย

## 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับบสนับสนุนการวิจัยจากเงินกองทุนวิจัยคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประเภทโครงการนักศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2567 (PHA6704015S)

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] B. Buffoli, F. Rinaldi, M. Labanca, E. Sorbellini, A. Trink, E. Guanzioli, R. Rezzani, L. F. Rodella. The human hair: from anatomy to physiology. *International Journal of Dermatology*. 53(2014) 331–341.
- [2] นัฏฐา แก้วนพรัตน์. แชมพู. ใน: อรุณศรี สุนทรพิธ, นัฏฐา แก้วนพรัตน์, ชีระพล ศรีชนะ, บรรณาธิการ. แนวทางการพัฒนาเภสัชภัณฑ์สำหรับผิวหนังและเครื่องสำอาง. สงขลา: คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2546, หน้า 161-199.
- [3] C. J. Thompson, N. Ainger, P. Starck, O. O. Mykhaylyk, A. J. Ryan. Shampoo science: a review of the physiochemical processes behind the function of a shampoo. *Macromolecular Chemistry and Physics*. 224(2023) 2200420.
- [4] V. Mysore, A. Arghya. Hair oils: Indigenous knowledge revisited. *International Journal of Trichology*. 14(2022) 84-90.
- [5] T. T. K. Ngan, T. T. Hien, L. T. H. Nhan, M. H. Cang, P. H. Danh, N. D. Phuc, L. G. Bach. Development and evaluation of shampoo products based on coconut oil source from Ben Tre Province (Vietnam). *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 959(2020) 012026.
- [6] พนิดา แสนประกอบ, ฉัตรทริกา เวียงแก้ว, และเปรมฤดี อินทนะ. การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์แชมพูและโลชั่นที่มีส่วนผสมของน้ำมันเมล็ดเงาะ. วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 18(2566) 84-93.
- [7] H. Kinjuit, N. Surugau. Formulation and evaluation of hair shampoo containing tea tree (*Melaleuca alternifolia*) oil and virgin coconut (*Cocos nucifera*) oil. *Journal of Physics Conference Series*. 1358(2019) 012022.
- [8] P. Boonme, N. Pakpayat, K. Yotmanee, S. Kunlawijitrungrsee, D. Maneenuan. Evaluation of shampoos containing silicone quaternary microemulsion. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*. 1(2011) 59-63.
- [9] B. Khaloud, K. Shah. Formulation, evaluation and comparison of the herbal shampoo with the commercial shampoos. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*. 3(2014) 301-305.
- [10] J. Tarun, J. Susan, J. Suria, V. J. Susan, S. Criton. Evaluation of pH of bathing soaps and shampoos for skin and hair care. *Indian Journal of Dermatology*. 59(2014) 442-444.

## การศึกษาสมบัติของน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทอง

## Study of the Properties of Cordyceps Militaris Mushroom Fermentation Liquid

รัชกฤษ ปัทมโสภาสกุล<sup>1\*</sup> และ อรจิรา อารักษ์สกุลวงศ์<sup>1</sup><sup>1</sup>ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

\*E-mail: ratchakrich.p@rsu.ac.th

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาสมบัติของน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ได้รับมาจากบริษัท ซีดีไอพี (ประเทศไทย) จำกัด โดยได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทอง ศึกษาหาปริมาณสารคอร์ไดซีปินและอะดีโนซีนในน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทอง ศึกษาตรวจสอบและหาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทอง และทำการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทอง ซึ่งทางบริษัท ซีดีไอพี (ประเทศไทย) จำกัด จะใช้ข้อมูลจากผลการทดลองนี้ประกอบการพิจารณาการนำน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองไปใช้ประโยชน์ต่อไป โดยจากผลการวิจัยพบว่าน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองมีสมบัติเป็นกรดสามารถวัดค่า pH ได้เท่ากับ 3.24 ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ วัดได้ 10%Brix ส่วนปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายในน้ำ วัดค่าเฉลี่ยได้ 6.81 g/mL ส่วนในการวิเคราะห์หาปริมาณสารคอร์ไดซีปินและอะดีโนซีนในน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองด้วยเทคนิค High-performance Liquid Chromatography (HPLC) ไม่สามารถตรวจพบปริมาณสารคอร์ไดซีปินและอะดีโนซีนในสารตัวอย่างนี้ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังทำการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ Clostridium spp., Escherichia coli, Salmonella spp., และ Staphylococcus aureus ในน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทอง จากผลการทดลองพบว่าในน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองตรวจไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ 3 ชนิด คือ Clostridium spp., Salmonella spp., และ Staphylococcus aureus แต่ตรวจพบเชื้อจุลินทรีย์ Escherichia coli ในปริมาณที่น้อยกว่าค่ามาตรฐานขององค์การอาหารและยา (อย.) ในส่วนการวิเคราะห์หาความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระของน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองในรูปแบบผงเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานวิตามินซี พบว่าสารละลายมาตรฐานวิตามินซีมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ โดยมีค่า IC<sub>50</sub> ของเท่ากับ 0.0024 mg/mL ส่วนสารละลายผงน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระน้อยมากจนไม่สามารถคำนวณหาค่า IC<sub>50</sub> ได้

คำสำคัญ: เห็ดถั่งเช่าสีทอง สารต้านอนุมูลอิสระ น้ำหมัก

## Abstract

This research studies the properties of Cordyceps militaris mushroom fermentation liquid obtained from CDIP Co., Ltd. (Thailand). The study examines the physical and chemical properties of the Cordyceps militaris mushroom fermentation liquid, specifically focusing on the quantities of cordycepin and adenosine present in the fermentation liquid. We also analyze and determine the quantity of microorganisms in the fermentation liquid and tests the antioxidant properties of the fermentation liquid.

The results of this research will be used by CDIP Co., Ltd. (Thailand) to consider the further utilization of the *Cordyceps militaris* mushroom fermentation liquid. The study reveals that the *Cordyceps militaris* mushroom fermentation liquid is acidic with a pH value of 3.24. The soluble solids content (%Brix) in the fermentation liquid is measured at 10% Brix, while the total solids content is measured at an average value of 6.81 g/mL. Using High-performance Liquid Chromatography (HPLC) to analyze the quantities of cordycepin and adenosine in the fermentation liquid, it was found that these substances could not be detected in the samples. Additionally, the study identified four types of microorganisms in the fermentation liquid, namely *Clostridium spp.*, *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, and *Staphylococcus aureus*. The analysis revealed that only *Escherichia coli* was present in a quantity lower than the standard set by the Food and Drug Administration (FDA), while the other three types of microorganisms were not detected. Furthermore, In the study of antioxidant activity by DPPH assay, it was found that the Vitamin C solution which is the standard solution in this study has an  $IC_{50}$  value of 0.0024 mg/mL, indicating its strong antioxidant capacity. On the other hand, the powdered fermentation liquid of the *Cordyceps militaris* mushroom showed very weak inhibition of free radicals, to the extent that an  $IC_{50}$  value could not be calculated.

**Keywords:** *Cordyceps militaris* mushroom, Antioxidant activity, Fermentation liquid

## 1. บทนำ

ถั่งเช่าหรือที่เรียกกันอีกชื่อหนึ่งว่า “หญ้าหนอน” จัดเป็นสมุนไพรจีนที่มีคุณสมบัติหลายด้านมากในการดูแลสุขภาพและมีสรรพคุณทางยาแผนโบราณที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในตำราแพทย์ของจีนมานานหลายพันปี สมุนไพรชนิดนี้มีลักษณะเด่นที่สามารถแบ่งรูปร่างได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นตัวหนอนของผีเสื้อ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Hepialus armoricanus Oberthiir* ซึ่งในฤดูร้อนตัวหนอนเหล่านี้จะกินสปอร์ของเห็ดที่ตกอยู่ตามพื้นดิน และพอเข้าสู่ฤดูหนาวหนอนเหล่านี้ก็จะหนีความหนาวโดยการฝังตัวจำศีลอยู่ใต้ดินซึ่งอุ่นกว่า ระหว่างที่ตัวหนอนต่อสู้กับความหนาวและอ่อนแรงลง สปอร์ของเห็ดก็จะเริ่มเจริญเติบโตโดยอาศัยการดูดสารอาหารและแร่ธาตุจากตัวหนอนนั้น และแผ่เส้นใยปกคลุมไปทั้งตัวหนอน จนกระทั่งตัวหนอนอ่อนแรงลงในขณะที่สปอร์ของเห็ดก็เจริญเติบโตขึ้นเรื่อยๆ เมื่อน้ำแข็งเริ่มละลายส่งผลให้ตัวหนอนสามารถขึ้นสู่ผิวดินเพื่อมารับแสงอาทิตย์ในฤดูร้อนพอดี เห็ดเหล่านี้ต้องการแสงอาทิตย์มันจึงงอกขึ้นสู่พื้นดิน ส่วนตัวหนอนผีเสื้อก็จะค่อย ๆ ตายไป อยู่ในลักษณะของซากตัวหนอนที่ตายแล้ว สปอร์ของเห็ดก็ยึดร่างกายหนอนสำเร็จกลายเป็นเห็ดไปนั่นเอง ส่วนที่สองมีลักษณะเป็นเส้นงอกออกมาจากตัวหนอน รูปลักษณะภายนอกคล้ายไม้กระบอก นั่นคือเห็ดชนิดหนึ่งมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cordyceps sinensis* ซึ่งขึ้นชื่อว่าแพงที่สุดในโลก ชาวจีนเรียกสมุนไพรนี้ว่า “ตั่งถั่งเช่า” ที่แปลว่าฤดูหนาวเป็นหนอน ฤดูร้อนเป็นหญ้า ฉะนั้น “ถั่งเช่า” ที่ใช้ทำเป็นยาก็คือ ตัวหนอนและเห็ดที่แห้งแล้วนั่นเอง ถั่งเช่าพบได้ในแถบทุ่งหญ้าบนภูเขาประเทศจีน (ทิเบต) เนปาล และภูฏาน ซึ่งโดยทั่วไป เห็ดถั่งเช่าแท้ หรือ เห็ดถั่งเช่าทิเบต (*Ophiocordyceps sinensis* หรือชื่อเดิม *Cordyceps sinensis*) [1] ในภาษาจีนจะเรียกว่า “ตั่งถั่งเช่า” หากเรียกว่า “ถั่งเช่าหรือถั่งเฒ่า” อาจเป็นถั่งเช่าสีทอง (*Cordyceps militaris*) ถั่งเช่าหิมะ (*Isaria tenuipes*) หรือชนิดอื่นๆ ได้ เห็ดถั่งเช่ามีอยู่หลายจีนัส เช่น *Cordyceps sp.*, *Paecilomyces sp.*, *Isaria sp.* เป็นต้น

ถั่งเช่าถือได้ว่าเป็นยาสมุนไพรที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในประเทศจีนนานนับศตวรรษ มีสรรพคุณทางยาแผนโบราณที่ใช้กันแพร่หลายในประเทศจีนในเรื่องของกระตุ้นสมรรถภาพทางเพศ และใช้เป็นยาบำรุงร่างกาย บำรุงอวัยวะภายใน [2]



เช่น ปอด ตับ และไต เป็นต้น ทำให้ถั่งเช่าเป็นสมุนไพรที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน ซึ่งเห็ดถั่งเช่าสีทองเป็นสายพันธุ์ที่มีความต้องการในตลาดมากกว่าเห็ดถั่งเช่าสีเบด เพราะถั่งเช่าสีทองมีสารออกฤทธิ์และฤทธิ์ทางชีวภาพใกล้เคียงกับถั่งเช่าสีเบด จึงมีการนำถั่งเช่าสีทองมาใช้แทนถั่งเช่าสีเบด นอกจากนี้ถั่งเช่าสีทองยังสามารถเพาะเลี้ยงได้ ปัจจุบันมีการเพาะเลี้ยงถั่งเช่าสีทองเพื่อการค้าอย่างแพร่หลาย โดยเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะเหลว เพื่อบรรวบรวมเส้นใย และเพาะเลี้ยงในอาหารเพาะแข็ง เพื่อผลิตส่วนดอก

ถั่งเช่าสีทองมีสารออกฤทธิ์หลากหลายชนิด ซึ่งได้รับการตรวจสอบ และได้รับการยอมรับว่ามีคุณประโยชน์อย่างยิ่งต่อสุขภาพของมนุษย์ เช่น คอร์ดิซิปีน (cordycepin) อะดีโนซีน (adenosine) โพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) เออร์โกสเตอรอล (ergosterol) แมนนิทอล (mannitol) เปปไทด์ (peptide) กรดแอมิโน (amino acid) กรดไขมัน (fatty acid) กรดไขมันไม่อิ่มตัว (polyunsaturated fatty acids) กรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acids) วิตามิน E (vitamin E) กรดอินทรีย์ (organic acids) และกรดซินนามิก (cinnamic acid) เป็นต้น[3]. ซึ่งในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาหาปริมาณสารคอร์ดิซิปีนและอะดีโนซีนด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography: HPLC) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้แยกและวิเคราะห์สารประกอบที่ผสมอยู่ในสารตัวอย่าง โดยอาศัยหลักการความแตกต่างของอัตราการเคลื่อนที่ของสารประกอบบนเฟสคงที่ (stationary phase) โดยมีเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) เป็นตัวพาไป สารแต่ละชนิดจะถูกแยกออกมาเป็นส่วนๆ ในเวลาที่ต่างกัน

ถั่งเช่าถือได้ว่าเป็นสมุนไพรที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน โดยนิยมนำมาใช้เป็นอาหารเสริมเพื่อสุขภาพ ทำให้มีอายุยืนยาว และใช้เป็นยาทางเลือกเพื่อบรรเทาโรคต่างๆ เช่น โรคหลอดเลือดสมอง เจ็บคอ วัณโรค โรคลมชัก และโรคกระเพาะ นอกจากนี้ มีการนำถั่งเช่าสีทองที่ได้จากการเพาะเลี้ยง มาทำเป็นยาเพื่อบำรุงรักษาการทำงานของไตและปอด ชะลอวัย ควบคุมการนอน รักษาโรคหลอดเลือดเรื้อรัง โรคที่เกี่ยวข้องกับระบบหมุนเวียนเลือด ระบบหายใจ ต่อมต่างๆ และระบบเมตาบอลิซึม ซึ่งการใช้ถั่งเช่าเป็นการใช้ตามสรรพคุณของภูมิปัญญาที่มีมานานกว่าศตวรรษ แต่ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะการศึกษาทางคลินิกยังมีน้อย ฉะนั้นการใช้ถั่งเช่าจะต้องพิจารณาให้รอบคอบ เพราะถั่งเช่ามีราคาสูงมาก ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาศักยภาพต้านอนุมูลอิสระ โดยสารต้านอนุมูลอิสระ คือ สารที่สามารถยับยั้งหรือต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือสารที่สามารถขจัดอนุมูลอิสระออกจากร่างกายได้ อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติมีมากมายหลายชนิด ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ลายสารชีวโมเลกุลภายในเซลล์ และทำให้เกิดโรคต่าง ๆ ตามมา ในการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณเป็นการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระในสารตัวอย่างประเภทต่าง ๆ วิธีที่นิยม ได้แก่ การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (DPPH<sup>•</sup>) และวิธีการฟอกสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอส (ABTS<sup>•+</sup>) ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะมีการสร้างอนุมูลอิสระที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอนและวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งหรือกำจัดอนุมูลอิสระของสารตัวอย่าง โดยวัดปริมาณอนุมูลอิสระที่ลดลงหรือที่เหลือจากค่าการดูดกลืนแสง จากนั้นคำนวณหาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระจากอัตราส่วนของค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงของสารตัวอย่างเทียบกับสารมาตรฐาน ซึ่งจะคำนวณออกมาได้ 2 รูปแบบ คือ ปริมาณความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระที่มีในสารตัวอย่าง ซึ่งค่าตัวเลขสูงแสดงว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง และปริมาณความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่ทำให้สารอนุมูลอิสระลดลง 50% (IC<sub>50</sub>, 50% of inhibitory concentration) โดยค่าตัวเลขต่ำแสดงว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง

ในงานวิจัยนี้ได้รับสารตัวอย่างเป็นน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองจากบริษัท ซีดีไอพี (ประเทศไทย) จำกัด โดยน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองจะเป็นผลพลอยได้ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับเห็ดถั่งเช่าสีทอง ผู้วิจัยจะทำการศึกษสมบัติทางกายภาพและเคมี ปริมาณสารคอร์ดิซิปีนและอะดีโนซีน ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทอง รวมถึงตรวจสอบและหาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทอง ซึ่งทางบริษัท ซีดีไอพี (ประเทศไทย) จำกัด จะใช้ข้อมูลจากผลการทดลองนี้ประกอบการพิจารณาการนำน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองไปใช้ประโยชน์ต่อไป

## 2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

### 2.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทอง

สังเกตลักษณะทางกายภาพของสารตัวอย่างน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ได้รับมา บันทึก สี กลิ่น และลักษณะของสารตัวอย่าง จากนั้นนำสารตัวอย่างน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองมาทำการทดลองหาค่าความเป็นกรด-เบส (pH), ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ (%Brix) และปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายในน้ำ (Total Solid) ดังนี้

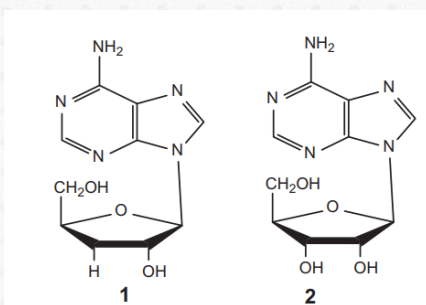
2.1.1 ปริมาณของแข็งที่สามารถละลายน้ำได้ (Total soluble solids: TSS) (AOAC, 2000) โดยใช้ Atago, Digital refractometer, PAL 1, Measurement Range Brix: 0 – 53%, Japan ทำการตั้งค่า Blank ด้วยการหยดน้ำกลั่นลงบน Digital refractometer เพื่อปรับค่าเป็นศูนย์ จากนั้นนำสารตัวอย่างน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองประมาณ 1- 2 หยด มาหยดบน Digital refractometer บันทึกค่าที่ได้เป็น (% Brix)

2.1.2 ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) (AOAC, 2000) ทำการวัดค่าความเป็นกรด-เบสของสารตัวอย่างน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทอง โดยใช้เครื่องมือ pH meter (Eutech Model CyberScan PH1500) โดยจุ่มหัววัด (probe) ลงไปในน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทอง เพื่อทำการวัดค่ากรด-ด่างของสารตัวอย่าง บันทึกผลการทดลองและหาค่าเฉลี่ย

2.1.3 ปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายในน้ำ (Total solids : TS) ชั่งน้ำหนักกระดาษกรองเบอร์ 1 และชั่งน้ำหนักสารตัวอย่างน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองปริมาณ 100 กรัม จากนั้นใช้กระดาษกรองเบอร์ 1 นั้นกรองสารตัวอย่าง แล้วจึงนำกระดาษกรองและสารตัวอย่างบนกระดาษกรองไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จนกระดาษกรองและสารตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่หรือแห้งสนิท คำนวณหาน้ำหนักสารตัวอย่างที่อยู่บนกระดาษกรองและคำนวณหาปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายในน้ำในสารตัวอย่างหมักเห็ดถั่งเช่าสีทอง

### 2.2 ศึกษาหาปริมาณสารคอร์ไดเซปินและอะดีโนซีนในน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทอง

นำสารตัวอย่างน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ได้มาวิเคราะห์ปริมาณสารคอร์ไดเซปินและอะดีโนซีน ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (high performance liquid chromatography: HPLC) โดยใช้คอลัมน์ C18 photoSIL reversed-phase column ร่วมกับตัวตรวจวัด PDA (photodiode array detector) และใช้ mobile phase เป็นสารละลายผสมเอทานอลกับน้ำ และคำนวณหาปริมาณคอร์ไดเซปินและอะดีโนซีนในหน่วย mg/kg เปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของคอร์ไดเซปินและอะดีโนซีนบริสุทธิ์ [3]



ภาพที่ 1 โครงสร้างสาร cordycepin (1) และ adenosine (2) [4]

### 2.3 ศึกษาตรวจสอบและหาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทอง [5-6]

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ด้วยวิธีมาตรฐาน ดังนี้ In-house method based on AOAC (2012)

*Clostridium spp.* ตามวิธีมาตรฐาน USP 42/NF : 2019

*Escherichia coli* ตามวิธีมาตรฐาน FDA BAM : 2020

*Salmonella spp.* ตามวิธีมาตรฐาน IOS 6579 : 2017

*Staphylococcus aureus* ตามวิธีมาตรฐาน FDA BAM, 2016

## 2.4 การวิเคราะห์หาความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระของน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองในรูปแบบผง

การวิเคราะห์ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging activity (DPPH) ซึ่งตัดแปลงจากวิธีการของ [7]

2.4.1 เตรียมตัวอย่างน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทอง โดยนำสารตัวอย่างน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองมาทำการระเหยเอาตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ (evaporator) ซึ่งน้ำหนักของสารสกัดเห็ดถั่งเช่าสีทอง เก็บไว้ที่อุณหภูมิ -5 องศาเซลเซียส

2.4.2 เตรียมสารตัวอย่างผงเห็ดถั่งเช่าสีทอง ความเข้มข้น 20 mg/mL ละลายในเมทานอล

2.4.3 เตรียมตัวอย่างสารตัวอย่างผงเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 mg/mL ตามลำดับ ทำสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ โดยเติมสารละลาย ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณสารที่ใช้ในการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของผงเห็ดถั่งเช่าสีทอง

สาร	หลอดที่				
	1	2	3	4	5
ผงเห็ดถั่งเช่าสีทอง (μL)	-	20	40	60	80
Methanol (μL)	100	80	60	40	20
DPPH (mL)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00

2.4.4 ใช้วิตามินซีที่ความเข้มข้น 0.001, 0.002, 0.003 และ 0.004 mg/mL ตามลำดับ เป็นสารมาตรฐาน ทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ โดยเติมสารละลาย ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณสารที่ใช้ในการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารละลายวิตามินซี

สาร	หลอดที่				
	1	2	3	4	5
วิตามินซี 0.1 mg/mL (μL)	-	20	40	60	80
Methanol (μL)	100	80	60	40	20
DPPH (mL)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00

2.4.5 ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นระยะเวลา 30 นาที

2.4.6 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Vis spectrophotometer) คำนวณร้อยละของการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH โดยใช้สูตร

$$\text{ร้อยละของการยับยั้งอนุมูลอิสระ} = \frac{[\text{Abs}_{\text{control}} - \text{Abs}_{\text{sample}}] \times 100}{\text{Abs}_{\text{control}}}$$

โดย  $Abs_{control}$  คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายควบคุม (สารละลาย DPPH ในเมทานอล)

$Abs_{sample}$  คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายตัวอย่าง

2.4.7 นำร้อยละของการยับยั้งอนุมูลอิสระ ไปสร้างกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารตัวอย่างกับร้อยละของการยับยั้งอนุมูลอิสระ จากนั้นทำการคำนวณหา  $IC_{50}$  จากสมการเส้นตรง

### 3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

#### 3.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทอง

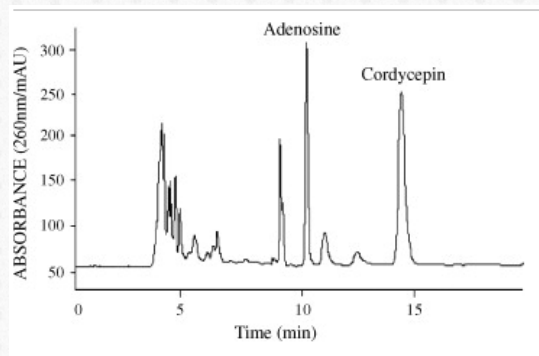
จากการทดลองศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ได้รับมาจากบริษัท ซีดีไอพี ประเทศไทย จำกัด พบว่าน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองเป็นสารผสมที่แยกออกเป็นสองชั้น โดยชั้นบนมีลักษณะเป็นของเหลวมีเหลืองใส ส่วนชั้นล่างมีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลขุ่นและมีตะกอนปนอยู่ มีกลิ่นเหม็นเปรี้ยว เมื่อทำการทดลองหาค่าความเป็นกรด-เบส (pH), ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ (%Brix) และปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายในน้ำ (Total Solid) พบว่าในน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองมีสมบัติเป็นกรดสามารถวัดค่า pH ได้เท่ากับ 3.24 ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ (%Brix) วัดได้ 10 %Brix ส่วนปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายในน้ำ (Total Solid) วัดค่าเฉลี่ยได้ 6.81 g/ml ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงค่าความเป็นกรด-เบส (pH), ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ (%Brix) และปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายในน้ำ (Total Solid) ของน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทอง

การวิเคราะห์	การทดลอง			ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
ค่าความเป็นกรด-เบส (pH)	3.25	3.24	3.24	3.24
ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ (%Brix)	10	10	10	10
ปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายในน้ำ (Total Solid)	6.78	6.94	6.70	6.81

#### 3.2 ศึกษาหาปริมาณสารคอร์ไดซิปีนและอะดีโนซีนในน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทอง

ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารคอร์ไดซิปีนและอะดีโนซีนในน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ได้รับมาจากบริษัท ซีดีไอพี (ประเทศไทย) จำกัด ด้วยเทคนิค High-performance Liquid Chromatography (HPLC) ซึ่งสารทั้งสองชนิดนี้เป็นสารออกฤทธิ์สำคัญที่พบในเห็ดถั่งเช่าสีทอง พบว่าไม่สามารถตรวจพบปริมาณสารคอร์ไดซิปีนและอะดีโนซีนในสารตัวอย่างนี้ ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองมีความเข้มข้นต่ำจนไม่สามารถตรวจพบสารสำคัญทั้งสองชนิดได้ อีกทั้งความมีขี้ของตัวทำละลายยังมีผลอย่างมากต่อชนิดและปริมาณสารสำคัญที่สกัดได้ ซึ่งโครมาโตแกรมที่แสดงของสารสำคัญ อะดีโนซีน และคอร์ไดซิปีน แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐาน อะดีโนซีน และคอร์ไดซิปีน ด้วยเครื่อง HPLC [8]

### 3.3 ศึกษาตรวจสอบและหาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทอง

งานวิจัยนี้ทำการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทอง ซึ่งงานวิจัยทำการตรวจวิเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ *Clostridium spp.*, *Escherichia coli*, *Salmonella spp.* และ *Staphylococcus aureus* โดยจุลินทรีย์ทั้ง 4 ชนิดจัดเป็นจุลินทรีย์ก่อโรคในอาหาร (pathogenic microorganisms in food) หมายถึง จุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย เชื้อรา ไวรัส พยาธิและโปรโตซัว ที่ก่อให้เกิดโรคในคน โดยผ่านทางอาหารหรือน้ำเป็นหลัก ซึ่งเชื้อ *Clostridium spp.* มีลักษณะเด่น คือ เป็นเชื้อชนิด anaerobic bacteria ไม่ใช้ออกซิเจน มักจะพบก่อให้เกิดโรคในอวัยวะหรือเจริญเติบโต สร้างสารพิษในสิ่งแวดล้อมที่อับอากาศหรือมีออกซิเจนต่ำ ส่วนเชื้อ *Escherichia coli* พบได้ในลำไส้ของคน โดยปกติจะไม่ทำอันตรายหรือก่อโรคร้ายแรง แต่หากเชื้อ *Escherichia coli* ถูกกลืนเข้าสู่ระบบต่างๆ ของร่างกาย ก็จะทำให้เกิดโรคติดเชื้อรุนแรง เช่น โรคติดเชื้อระบบทางเดินปัสสาวะ โรคเยื่อหุ้มสมองอักเสบ และการติดเชื้อในกระแสเลือด เป็นต้น และมีเชื้อ *Escherichia coli* บางสายพันธุ์ทำให้เกิดโรคอุจจาระร่วงได้ เชื้อ *Salmonella spp.* เป็นเชื้อโรคร้ายแรงทำให้เกิดโรคไทฟอยด์และท้องร่วงรุนแรง และเชื้อ *Staphylococcus aureus* เป็นเชื้อแบคทีเรียที่ทำให้เกิดหนองที่สามารถทำให้เกิดโรคได้ในหลายอวัยวะและมี ตั้งแต่ความรุนแรงน้อยจนถึงมาก จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้พบว่าในน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองตรวจไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ 3 ชนิด คือ *Clostridium spp.*, *Salmonella spp.* และ *Staphylococcus aureus* แต่ตรวจพบเชื้อจุลินทรีย์ *Escherichia coli* ปริมาณน้อยกว่า 3.0 MPN/g ซึ่งเป็นค่าที่น้อยกว่าค่ามาตรฐานขององค์การอาหารและยา (อย.) ที่ไม่ควรเกิน 3.6 MPN/g

### 3.4 การวิเคราะห์หาความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระของน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทอง

#### 3.4.1 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารละลายมาตรฐานวิตามินซี

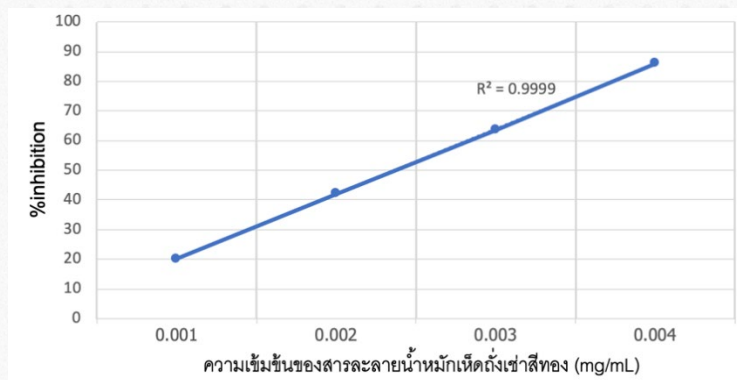
การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH เป็นการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารต้านอนุมูลอิสระกับสารอนุมูลอิสระ ซึ่งก็คือ DPPH ซึ่งเป็นสารละลายสีม่วง โดยสังเกตจากการจางลงของสารละลายสีม่วงและวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร แล้วนำไปคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งสารอนุมูลอิสระ (%Inhibition) ดังสมการ

$$\% \text{ Inhibition} = \left( \frac{A_{517} \text{ Control} - A_{517} \text{ Test sample}}{A_{517} \text{ Control}} \right) \times 100$$

และเมื่อนำความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระกับค่า %Inhibition ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์จะสามารถหาค่าความเข้มข้นของสารที่ออกฤทธิ์ยับยั้งอนุมูลอิสระได้ 50% (IC<sub>50</sub>) ซึ่งฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างจะแปรผกผันกับค่า IC<sub>50</sub> ดังนั้นถ้าสารตัวอย่างมีค่า IC<sub>50</sub> น้อยแสดงว่ามีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระได้ดี จากการศึกษาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารละลายมาตรฐานวิตามินซีที่ความเข้มข้น 0.001 0.002 0.003 และ 0.004 mg/mL ค่าปริมาณค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งสารอนุมูลอิสระได้ดังตารางที่ 3 และเมื่อนำข้อมูลในตารางที่ 4 ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานวิตามินซีในหน่วย mg/mL กับ %Inhibition (R<sup>2</sup> = 0.9999) จะสามารถคำนวณหา IC<sub>50</sub> ของสารละลายมาตรฐานวิตามินซีได้เท่ากับ 0.0024 mg/mL

ตารางที่ 4 ค่าการดูดกลืนแสงและค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งสารอนุมูลอิสระของสารละลายมาตรฐานวิตามินซี โดยวิธี DPPH

ความเข้มข้นของสารละลาย มาตรฐานวิตามินซี (mg/mL)	ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ย ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร	%Inhibition
0.001	0.512	20.12
0.002	0.371	42.12
0.003	0.233	63.49
0.004	0.090	85.96



ภาพที่ 3 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานวิตามินซี

#### 3.4.2 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองในรูปแบบผง

จากการศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองในรูปแบบผงด้วยวิธี DPPH เช่นเดียวกับกับวิตามินซีโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร และคำนวณหา %Inhibition ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าการดูดกลืนแสงและค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งสารอนุมูลอิสระของผงน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทอง โดยวิธี DPPH

ความเข้มข้นของ ผงน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทอง (mg/mL)	ค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ย ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร	%Inhibition
0.2	0.867	1.25
0.4	0.867	1.25
0.6	0.863	1.71
0.8	0.865	1.48

และเมื่อนำข้อมูลในตารางที่ 5 ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารตัวอย่างในหน่วย (mg/mL) กับ %Inhibition พบว่าสารตัวอย่างที่เป็นน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองในรูปแบบผงไม่สามารถคำนวณหาค่า  $IC_{50}$  ได้ เนื่องจากค่า %Inhibition ของสารตัวอย่างชนิดนี้มีค่าน้อยมาก ซึ่งน้อยกว่า 50% หรืออาจกล่าวได้ว่าสารตัวอย่างชนิดนี้ไม่มีฤทธิ์ในการยับยั้งอนุมูลอิสระได้ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของผงน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองในหน่วย (mg/mL) กับ %Inhibition

จากการวิเคราะห์หาความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระของน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองในรูปแบบผงเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานวิตามินซี พบว่าสารละลายมาตรฐานวิตามินซีมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ โดยมีค่า  $IC_{50}$  ของเท่ากับ 0.0024 mg/mL ส่วนสารละลายผงน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระน้อยมากจนไม่สามารถคำนวณหาค่า  $IC_{50}$  ได้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองมีปริมาณสารสำคัญละลายอยู่น้อย ทำให้ความเข้มข้นของสารสำคัญชนิดต่างๆ จากเห็ดถั่งเช่าสีทองมีค่าน้อยด้วย ทำให้ไม่สามารถออกฤทธิ์ยับยั้งอนุมูลอิสระได้อย่างมีนัยสำคัญ

#### 4. บทสรุป

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ได้รับมาจากบริษัท ซีดีไอพี (ประเทศไทย) จำกัด โดยได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทอง ศึกษาหาปริมาณสารคอร์โดซิปีนและอะดีโนซีนในน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทอง ศึกษาตรวจสอบและหาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทอง และศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทอง ซึ่งทางบริษัท ซีดีไอพี ประเทศไทย จำกัด โดยจากผลการวิจัยพบว่าน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองมีสมบัติเป็นกรดสามารถวัดค่า pH ได้เท่ากับ 3.24 ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ (%Brix) วัดได้ 10 %Brix ส่วนปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายในน้ำ (Total Solid) วัดค่าเฉลี่ยได้ 6.81 g/mL ส่วนในการวิเคราะห์หาปริมาณสารคอร์โดซิปีนและอะดีโนซีนในน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองด้วยเทคนิค High-performance Liquid Chromatography (HPLC) ไม่สามารถตรวจพบปริมาณสารคอร์โดซิปีนและอะดีโนซีนในสารตัวอย่างนี้ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังทำการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ *Clostridium spp.*, *Escherichia coli*, *Salmonella spp.* และ *Staphylococcus aureus* ในน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทอง จากผลการทดลองพบว่าในน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองตรวจไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ 3 ชนิด คือ *Clostridium spp.*, *Salmonella spp.* และ *Staphylococcus aureus* แต่ตรวจพบเชื้อจุลินทรีย์ *Escherichia coli* ในปริมาณน้อยกว่าค่ามาตรฐานขององค์การอาหารและยา (อย.) แสดงให้เห็นว่าน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองไม่มีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ก่อโรคให้กับมนุษย์ ในส่วนการวิเคราะห์หาความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระของน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองในรูปแบบผงเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานวิตามินซี พบว่าสารละลายมาตรฐานวิตามินซีมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ โดยมีค่า  $IC_{50}$  ของเท่ากับ 0.0024 mg/mL ส่วนสารละลายผงน้ำหมักเห็ดถั่งเช่าสีทองมีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระน้อยมากจนไม่สามารถคำนวณหาค่า  $IC_{50}$  ได้

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท ซีดีไอพี (ประเทศไทย) จำกัด และภาคีวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินการวิจัยนี้

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] I.-P. Hong, P.-D. Kang, K.-Y. Kim, S.-H. Nam, M.-Y. Lee, Y.-S. Choi, N.-S. Kim, H.-K. Kim, K.-G. Lee, R A. Humber, Fruit Body Formation on Silkworm by *Cordyceps militaris*. *Mycobiology*, 38(2010) 128–132.
- [2] L. Lim, C. Lee, E. Chang, Optimization of solid state culture conditions for the production of adenosine, cordycepin, and D-mannitol in fruiting bodies of medicinal caterpillar fungus *Cordyceps militaris* (L.:Fr.) Link (Ascomycetes). *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 14(2012) 181–187.
- [3] L. Huang, Q. Li, Y. Chen, X. Wang, X. Zhou, Determination and analysis of cordycepin and adenosine in the products of *Cordyceps* spp. *African Journal of Microbiology Research*, 3(2009) 957–961.
- [4] J. K. Prasain, Pharmacological Effects of *Cordyceps* and Its Bioactive Compounds. *Studies in Natural Products Chemistry*, 40(2013) 453-468.
- [5] ธนัชชา ผาติพงษ์, นริศรา ทศวงศ์, จารุณี เมฆสุวรรณ, ชีระ ปานทิพย์อำพร และนพมาศ สะพู. คุณภาพทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่สุ่มจากห้างสรรพสินค้าในกรุงเทพมหานคร และร้านค้าออนไลน์. *วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กรมวิทยาศาสตร์บริการ*, 12(2566) 66-81.
- [6] ศนิ จิระสถิตย์. จุลินทรีย์ก่อโรคในอาหาร. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 22(2560) 218-232.
- [7] K. Yamasaki, A. Hashimoto, Y. Kokusenya, T. Miyamoto, T. Sato, Electrochemical method for estimating the antioxidative effect of methanol extracts of crude drugs. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 42(1994) 1663-1665.
- [8] J. Y. Linga, G. Y. Zhang, J. Q. Lina, Z. J. Cui, C. K. Zhanga, Supercritical fluid extraction of cordycepin and adenosine from *Cordyceps kyushuensis* and purification by high-speed counter-current chromatography. *Separation and Purification Technology*, 66(2009) 625–629.



**อัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการให้ปุ๋ยร่วมกับระบบให้น้ำแบบหยด  
 ในดินทรายปนร่วนถึงดินทราย จังหวัดขอนแก่น**

**Optimum nitrogen fertilizer rate for fertigation with drip irrigation in  
 sandy soil - loamy sand at Khon Kaen Province**

ชยันต์ ภัคดีไทย<sup>1\*</sup> กาญจนา กิระศักดิ์<sup>1</sup> เนติรัฐ ชุ่มสุวรรณ<sup>1</sup> ปิยะรัตน์ จังพล<sup>1</sup>  
 อธิรัตน์ ชินแสน<sup>1</sup> และ ทนุธรรม บุญนิมิต<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น ตำบลศิลา อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

\*Email: pakdeethai@gmail.com

**บทคัดย่อ**

การให้น้ำสามารถยกระดับการผลิตอ้อยและเพิ่มความสามารถในการไว้ตอสำหรับอ้อยที่ปลูกในดินทราย และยังสามารถให้ปุ๋ยไนโตรเจนผ่านระบบให้น้ำได้ แต่ยังไม่มียางานอัตราที่เหมาะสม จึงได้ทำการทดลองเพื่อหาอัตราการให้ปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมในระบบให้น้ำ วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block จำนวน 4 ซ้ำ 6 กรรมวิธี ดังนี้ 1. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่ 2 ครั้ง โดยใส่รองพื้นและ 3-5 เดือนหลังปลูกใส่ฝังกลบข้างร่อง 2. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่รองพื้น 1/2 ของค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยไนโตรเจนอีกครั้งที่เหลือใช้ปริมาณลดลง 50% แบ่งใส่ในระบบน้ำ 3. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่รองพื้น 1/2 ของค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยไนโตรเจนอีกครั้งที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำ 4. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่รองพื้น 1/2 ของค่าวิเคราะห์ดิน เพิ่มปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 1.5 เท่าของปริมาณที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำ 5. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่รองพื้น 1/2 ของค่าวิเคราะห์ดิน เพิ่มปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 2 เท่าของปริมาณที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำ 6. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำใส่ทั้งหมดผ่านระบบน้ำ ใช้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อยปลูกและอ้อยตอ ปุ๋ยฟอสเฟตและปุ๋ยโพแทสเซียมอัตราพร้อมปลูกในทุกกรรมวิธี และกรรมวิธีที่ 2-6 แบ่ง ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในระบบน้ำจำนวน 8 ครั้ง พบว่าการเพิ่มปุ๋ยไนโตรเจนสามารถเพิ่มผลผลิตอ้อยได้มากกว่าวิธีปฏิบัติเดิม โดยให้ผลผลิตถึง 21.27 ตันต่อไร่ ในอ้อยปลูกและ 16.28 ตันต่อไร่ในอ้อยตอ 1 และหากใส่ปุ๋ยรองพื้น 1/2 ของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน แล้วให้ปุ๋ยไปพร้อมระบบน้ำหยด 0.5 เท่าของปริมาณที่เหลือ จะมีค่าประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนสูงสุดทั้งในอ้อยปลูกและอ้อยตอ 1 ซึ่งเป็นทางเลือกในการผลิตอ้อยที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

**คำสำคัญ:** อ้อย ระบบน้ำ น้ำหยด ไนโตรเจน ค่าวิเคราะห์ดิน

**Abstract**

Irrigation can enhance sugarcane production and increase the ratooning ability of sugarcane grown in sandy soils. Nitrogen fertilizer can also be applied through the irrigation system; However, there is no report on the appropriate fertilizer rate. Therefore, an experiment was conducted to determine the suitable nitrogen fertilizer rate for application through the irrigation system. The experiment was planned

to use a Randomized Complete Block Design with four replications and six treatments as follows: 1. Apply fertilizer in Soil (2 times). 2. Apply N fertilizer in soil 50% + Drip Fertigation 0.5 x N rate. 3. Apply N fertilizer in soil 50% + Drip Fertigation 1.0 x N rate 4. Apply N fertilizer in soil 50% + Drip Fertigation 1.5 x N rate 5. Apply N fertilizer in soil 50% + Drip Fertigation 2.0 x N rate. 6. Apply N with Drip Fertigation 100%. The fertilizer recommendations were based on soil analysis for both plant cane and ratoon cane. Phosphate and potassium fertilizers were applied at full rates at planting in all treatments. In treatments 2–6, nitrogen fertilizer was applied through the irrigation system eight times. The results showed that increasing nitrogen fertilizer could increase sugarcane yield more than the traditional method, yielding up to 21.27 tons per rai for plant cane and 16.28 tons per rai for first ratoon cane. Applying half of the recommended basal nitrogen fertilizer based on soil analysis and then applying 0.5 times the remaining amount through the drip irrigation system resulted in the highest nitrogen use efficiency for both plant cane and first ratoon cane. This method provides an environmentally friendly option for sugarcane production.

**Keywords:** Sugarcane, Irrigation system, Drip irrigation, Nitrogen, Soil analysis

## 1. บทนำ

การให้น้ำในอ้อยสามารถเพิ่มผลผลิตของอ้อยปลูกและอ้อยต่อ ทำให้ความสามารถในการไว้ต่อดีขึ้น ผลผลิตอ้อยต่อจะไม่ลดลงจากอ้อยปลูกมากนัก การให้ปุ๋ยในระบบน้ำ เป็นวิธีการที่ช่วยเพิ่มผลผลิตอ้อย โดยผสมปุ๋ยที่สามารถละลายน้ำได้หมดลงไปในระบบน้ำซึ่งเมื่อพืชดูดใช้ก็จะมีการดูดธาตุอาหารขึ้นไปด้วยซึ่งเป็นวิธีการที่ให้ทั้งน้ำและปุ๋ยไปพร้อมกันในเวลาเดียวกันและบริเวณที่พืชต้องการนั้นก็จะมีปุ๋ยลงไปซึ่งการให้ปุ๋ยวิธีนี้สามารถลดการใช้แรงงานในการให้ปุ๋ย ลดการชะล้างปุ๋ยเกินกว่าระดับรากพืชและมีการแพร่กระจายของปุ๋ยอย่างสม่ำเสมอบริเวณที่รากพืชอยู่ [1-3] โดยระบบน้ำที่สามารถให้ปุ๋ยร่วมในระบบจะต้องเป็นการให้น้ำแบบประหยัดคือระบบน้ำหยด หรือ Mini sprinkler ซึ่งการให้ปุ๋ยในระบบน้ำเป็นการให้ปุ๋ยที่มีประสิทธิภาพสูงสุด [4] ถ้ามีการลงทุนระบบน้ำอยู่แล้วก็ควรมีการให้ปุ๋ยของระบบน้ำไปพร้อมกันเพราะมีการเพิ่มการลงทุนเพียงเล็กน้อยเท่านั้นแต่มีผลดีหลายด้านคือสามารถลดแรงงานการให้ปุ๋ยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ยได้ 10 ถึง 50% ลดปริมาณการใช้ปุ๋ย ทำให้ไม่ต้องนำรถเข้าไปในแปลงปลูกพืช ลดอัตราการแน่นของดิน [5] และนอกจากนี้ยังสามารถปรับสูตรปุ๋ยได้รวดเร็วทันตามความต้องการของพืช [6] สามารถให้ปุ๋ยจุลธาตุลงไปในระบบน้ำในรูปของเกลือละลายน้ำง่ายเช่น  $ZnSO_4$ ,  $MnSO_4$  และ  $CuSO_4$  ทำให้ประหยัดการฉีดพ่นปุ๋ยทางใบและยังสามารถแบ่งปุ๋ยให้ตามความต้องการของพืช Hartz, et al. [7] รายงานว่า การแบ่งให้ปุ๋ยแก่พริกทำให้ผลผลิตพริกเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะไนโตรเจนและโพแทสเซียม ที่มีการเคลื่อนย้ายได้ดีในดินทำให้เกิดการสูญเสียไปในดินเกินกว่าระยะรากโดยเฉพาะในดินเนื้อหยาบ Drost, et al. [8] รายงานการใช้ปุ๋ยในระบบการให้น้ำแบบหยดโดยกำหนดปริมาณปุ๋ยลดลง สามารถลดการสูญเสียไนโตรเจนและโพแทสเซียม จากบริเวณรากพืชในดินทรายและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ปุ๋ย N P และ K [9] ต่อมา Deshmukh, et al. [10] รายงานการใช้ปุ๋ยในระบบการให้น้ำแบบหยดโดยกำหนดปริมาณปุ๋ยลดลง 15% และ 30% และปริมาณปุ๋ยตามคำแนะนำ ทำให้ผลผลิตอ้อยเพิ่มขึ้น 27.32% 24.61% และ 20.15% ตามลำดับเมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยแบบเดิม

จากรายงานการทดลองของ Shinde, et al. [11] แบ่งใส่ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำจำนวน 20 ครั้ง ใส่ปุ๋ยพร้อมการให้น้ำแบบหยดทำให้ได้ผลผลิตอ้อยเพิ่มขึ้น 20% [12] และมีการทดลองให้ปุ๋ยไนโตรเจนในระบบน้ำ ใช้ปริมาณ 80 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกตาร์ เปรียบเทียบกับการให้ปุ๋ยตามคำแนะนำ 120 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อเฮกตาร์ใส่ข้างร่อง ได้ผลผลิตอ้อย 162.3 ตันต่อเฮกตาร์ และ 170.1 ตันต่อเฮกตาร์ตามลำดับ และต่อมา Shinde, et al. [13] ได้ทำการศึกษาพบว่า การให้ปุ๋ย

ไนโตรเจนในระบบน้ำจะช่วยเพิ่มผลผลิตถึง 20.74% เมื่อเทียบกับการใส่ปุ๋ยแบบฝังข้างแถว แต่ข้อเสียของการให้ปุ๋ยระบบนี้คือปุ๋ยต้องละลายหมดและมีความบริสุทธิ์สูง [14] ต่อมา สุดชล วุ่นประเสริฐ และธีรยุทธ เกิดไทย [15] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของการจัดการดิน น้ำ และปุ๋ยต่อผลผลิตและคุณภาพของอ้อย โดยการใส่ปุ๋ยทางดินครั้งแรกอัตรา 50% ที่อายุ 1 เดือน และครั้งที่ 2 อัตรา 50% เมื่ออายุ 3 เดือน การให้ปุ๋ยทางน้ำแบ่งให้ 8 ครั้งๆ ละเท่าๆ กัน โดยเริ่มให้ครั้งแรกเมื่ออ้อยมีอายุ 1 เดือน และครั้งต่อไปห่างกัน 1-2 สัปดาห์ ส่วนธาตุอาหารเสริมใช้ธาตุอาหารเสริมรวมชนิดพ่นทางใบระหว่างอายุ 1-3 เดือนจำนวน 3 ครั้ง ในแปลงเกษตรกร ดังนั้นการให้ปุ๋ยในระบบน้ำจะให้ผลคุ้มค่าหรือไม่เพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายประการ โดยเฉพาะประเภทของระบบการให้น้ำ ที่มีการใช้ปุ๋ยควบคู่กันไปชนิดปุ๋ยเคมีที่จะจับชนิดดิน โดยเฉพาะยิ่งประเภทเนื้อดิน คุณภาพของน้ำชลประทาน ชนิดพืชและวิธีการปลูกพืช เป็นต้น [16] การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนยังมีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและโลกร้อน เนื่องจากปุ๋ยไนโตรเจนเมื่อถูกใช้ในทางการเกษตร บางส่วนจะถูกปล่อยออกมาในรูปของก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N<sub>2</sub>O) ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีความสามารถในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนมากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) หลายเท่า หากสามารถลดการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนลงได้จะสามารถบรรเทาภาวะโลกร้อนได้อีกทางหนึ่ง งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาอัตราการให้ปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมในระบบให้น้ำในระบบการผลิตอ้อย โดยลดการสูญเสียและเพิ่มประสิทธิภาพของการดูดธาตุอาหาร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตอ้อยอย่างเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมต่อไป

## 2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

### 2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 1) พื้นที่ทดลอง 2 ไร่
- 2) ท่อนพันธุ์อ้อย ได้แก่ พันธุ์ขอนแก่น 3
- 3) อุปกรณ์การให้น้ำหยด ได้แก่ ท่อน้ำหยดพีอี สายน้ำหยด หัวน้ำหยด บีมน้ำ ชุดกรองน้ำ
- 4) ปุ๋ยเคมี 46-0-0 18-46-0 0-0-60
- 5) สารป้องกันกำจัดศัตรูพืช
- 6) อุปกรณ์วัดคุณภาพความหวาน ได้แก่ Automatic/hand refractometer
- 7) อุปกรณ์วัดการเจริญเติบโต ได้แก่ Vernier Caliper สำหรับใช้วัดเส้นผ่านศูนย์กลางลำ และ ไม้วัดความสูง
- 8) อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างดิน ได้แก่ กระบอกลอยดินแบบไม่รบกวนดิน (undisturbed core sampler) ชุดตอกสแตนเลสที่ใช้คู่กับกระบอกลอยดินแบบไม่รบกวนดิน ท่อเจาะดินสแตนเลสยาว 1 เมตร ค้อนทองแดง เป็นต้น
- 9) ชุดเก็บตัวอย่างดินแบบไม่รบกวนดินและสว่านเก็บตัวอย่างดิน

### 2.2 วิธีการทดลอง

- วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block จำนวน 4 ซ้ำ 6 กรรมวิธี ดังนี้
- 1) ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่ 2 ครั้ง โดยใส่รองพื้นและ 3-5 เดือนหลังปลูกใส่ฝังกลบข้างร่อง
  - 2) ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่รองพื้น ½ ของค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยไนโตรเจนอีกครั้งที่เหลือใช้ปริมาณลดลง 0.5 เท่าแบ่งใส่ในระบบน้ำ
  - 3) ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่รองพื้น ½ ของค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยไนโตรเจนอีกครั้งที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำ
  - 4) ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่รองพื้น ½ ของค่าวิเคราะห์ดิน เพิ่มปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 1.5 เท่าของปริมาณที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำ
  - 5) ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่รองพื้น ½ ของค่าวิเคราะห์ดิน เพิ่มปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 2 เท่าของปริมาณที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำ

6) ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำใส่ทั้งหมดผ่านระบบน้ำ

**หมายเหตุ** ใช้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อยปลูกและอ้อยต่อ ปุ๋ยฟอสเฟตและปุ๋ยโพแทช ใส่เต็มอัตราพร้อมปลูกในทุกกรรมวิธี และกรรมวิธีที่ 2-6 แบ่ง ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในระบบน้ำจำนวน 8 ครั้ง

### 2.3 วิธีปฏิบัติการทดลอง

ปลูกอ้อยในแปลงย่อยขนาด 9.1 x 12 เมตร ระยะปลูก 1.3 x 0.50 เมตร เว้นระยะระหว่างแปลงย่อย 1.3 เมตร พื้นที่เก็บเกี่ยว 65 ตารางเมตร (5 แถว ๆ ละ 10 เมตร) ให้น้ำโดยใช้น้ำทุกกรรมวิธีเท่ากัน และใส่ปุ๋ยตามกรรมวิธีที่กำหนด การเก็บเกี่ยวที่อายุ 12-14 เดือน นับจำนวนกอ นับจำนวนลำ และชั่งน้ำหนักในพื้นที่เก็บเกี่ยว สุ่มอ้อยแปลงย่อยละ 10 ต้น วัดความยาว เส้นผ่านศูนย์กลาง จำนวนปล้อง ค่าบrix ค่าโพล และเปอร์เซ็นต์เยื่อใย คำนวณผลผลิตต่อไร่จากน้ำหนักลำและพื้นที่เก็บเกี่ยวคำนวณ ค่าซีซีเอส (Commercial Cane Sugar, CCS) จากค่าบrix โพล และไฟเบอร์ ดำเนินการเก็บข้อมูลในอ้อยปลูกและอ้อยต่อ 1

## 3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

### 3.1 ผลวิเคราะห์ดินก่อนปลูก

จากผลการวิเคราะห์ดินก่อนปลูก พบว่า ดินบนที่ระดับความลึก 0-20 เซนติเมตร มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5.8 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำ 0.65 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับปานกลาง 15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับปานกลาง 65 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนดินล่างที่ระดับความลึก 20-50 เซนติเมตร มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.5 มีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำ 0.58 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์อยู่ในระดับต่ำ 12 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้อยู่ในระดับปานกลาง 43 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม นำผลวิเคราะห์ดินไปกำหนดอัตราปุ๋ยอ้อยตามค่าวิเคราะห์ดินได้เป็นอัตรา 27-6-18 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O กิโลกรัมต่อไร่ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าวิเคราะห์ดินก่อนปลูก

ความลึก (ซม.)	ความเป็นกรด-ด่าง <sup>1</sup> (ดิน:น้ำ 1:1)	อินทรีย์วัตถุ <sup>2</sup> (%)	โพแทสเซียมที่เป็น ประโยชน์ <sup>3</sup> (มก./กก.)	โพแทสเซียมที่ แลกเปลี่ยนได้ <sup>4</sup> (มก./กก.)
0-20	5.7	0.65	15	65
20-50	5.5	0.58	12	43

หมายเหตุ <sup>1</sup>Peech [19], <sup>2</sup>Walkley and Black [20], <sup>3</sup>Bray and Kurtz, [21], และ <sup>4</sup>Schollenberger and Simon, [22]

### 3.2 การเจริญเติบโต

#### 3.2.1 อ้อยปลูก

จากผลการทดลองพบว่า การให้ปุ๋ยในกรรมวิธีที่แตกต่างกันเมื่ออ้อยอายุ 4 เดือนไม่มีผลต่อความสูงและจำนวนหน่อ ดังแสดงในตารางที่ 2 แต่ในช่วงอายุ 6 และ 10 เดือน กรรมวิธีที่ 4 ซึ่งใส่ปุ๋ยรองพื้น ½ ของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินและให้ปุ๋ยไปพร้อมระบบน้ำหยด 1.5 เท่าของปริมาณที่เหลือ โดยแบ่งใส่พร้อมกับการน้ำแบบหยดมีผลทำให้อ้อยมีความสูงมากกว่ากรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ แต่จำนวนหน่อและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วงอายุ 6 และ 10 เดือนไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ดังตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 2 ความสูง จำนวนหน่อ และเส้นผ่านศูนย์กลาง ของอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 เมื่ออายุ 4 เดือนหลังปลูก

กรรมวิธี	ความสูง (ซม.)	จำนวน หน่อ	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง (ซม.)
1. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่ 2 ครั้ง โดยใส่รองพื้นและ 3-5 เดือนหลังปลูกใส่ฝังบกลบข้างร่อง <sup>1/</sup>	49	5.4	-
2. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่รองพื้น 1/2 ของค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยไนโตรเจนอีกครั้งที่เหลือใช้ปริมาณลดลง 0.5 เท่าแบ่งใส่ในระบบน้ำ	40	4.6	-
3. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่รองพื้น 1/2 ของค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยไนโตรเจนอีกครั้งที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำ	52	5.9	-
4. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่รองพื้น 1/2 ของค่าวิเคราะห์ดิน เพิ่มปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 1.5 เท่าของปริมาณที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำ	54	5.9	-
5. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่รองพื้น 1/2 ของค่าวิเคราะห์ดิน เพิ่มปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 2 เท่าของปริมาณที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำ	51	5.8	-
6. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำใส่ทั้งหมดผ่านระบบน้ำ	39	4.6	-
<b>ค่าเฉลี่ย</b>	<b>48</b>	<b>5.4</b>	<b>-</b>
<b>F-test</b>	<b>ns</b>	<b>ns</b>	<b>-</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>26.87</b>	<b>25.19</b>	<b>-</b>

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ใช้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อยปลูกและอ้อยต่อ ปุ๋ยฟอสเฟตและปุ๋ยโพแทสเซียมอัตราพร้อมปลูกในทุกกรรมวิธี และ กรรมวิธีที่ 2-6 แบ่ง ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในระบบน้ำจำนวน 8 ครั้ง  
ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 3 ความสูง จำนวนหน่อ และเส้นผ่านศูนย์กลาง ของอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 เมื่ออายุ 6 เดือนหลังปลูก

กรรมวิธี	ความสูง (ซม.)	จำนวน หน่อ	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง (ซม.)
1. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่ 2 ครั้ง โดยใส่รองพื้นและ 3-5 เดือนหลังปลูกใส่ฝังบกลบข้างร่อง <sup>1/</sup>	115 bc <sup>2/</sup>	4.3	2.74
2. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่รองพื้น 1/2 ของค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยไนโตรเจนอีกครั้งที่เหลือใช้ปริมาณลดลง 0.5 เท่าแบ่งใส่ในระบบน้ำ	125 ab	5.1	2.86
3. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่รองพื้น 1/2 ของค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยไนโตรเจนอีกครั้งที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำ	119 abc	4.3	2.72
4. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่รองพื้น 1/2 ของค่าวิเคราะห์ดิน เพิ่มปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 1.5 เท่าของปริมาณที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำ	138 a	5.1	2.92
5. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่รองพื้น 1/2 ของค่าวิเคราะห์ดิน เพิ่มปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 2 เท่าของปริมาณที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำ	112 bc	4.8	2.66
6. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำใส่ทั้งหมดผ่านระบบน้ำ	98 c	4.6	2.79
<b>ค่าเฉลี่ย</b>	<b>118</b>	<b>4.7</b>	<b>2.78</b>

กรรมวิธี	ความสูง (ซม.)	จำนวน หน่อ	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง (ซม.)
F-test	*	ns	ns
C.V. (%)	12.92	21.43	6.64

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ใช้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อยปลูกและอ้อยต่อ ปุ๋ยฟอสเฟตและปุ๋ยโพแทสเซียมอัตราพร้อมปลูกในทุกกรรมวิธี และกรรมวิธีที่ 2-6 แบ่ง ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในระบบน้ำจำนวน 8 ครั้ง  
<sup>2/</sup> ตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติ  
\* = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์, ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 4 ความสูง จำนวนหน่อ และเส้นผ่านศูนย์กลาง ของอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 เมื่ออายุ 10 เดือนหลังปลูก

กรรมวิธี	ความสูง (ซม.)	จำนวน หน่อ	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง (ซม.)
1. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่ 2 ครั้ง โดยใส่รองพื้นและ 3-5 เดือน หลังปลูกใส่ฝังบกลบข้างร่อง <sup>1/</sup>	179 b <sup>2/</sup>	4.0	2.74
2. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่รองพื้น ½ ของค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยไนโตรเจนอีกครั้งที่เหลือใช้ปริมาณลดลง 0.5 เท่าแบ่งใส่ในระบบน้ำ	183 ab	4.4	2.86
3. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่รองพื้น ½ ของค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยไนโตรเจนอีกครั้งที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำ	200 ab	4.3	2.90
4. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่รองพื้น ½ ของค่าวิเคราะห์ดิน เพิ่มปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 1.5 เท่าของปริมาณที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำ	203 a	5.0	2.88
5. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่รองพื้น ½ ของค่าวิเคราะห์ดิน เพิ่มปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 2 เท่าของปริมาณที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำ	189 ab	4.6	2.84
6. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำใส่ทั้งหมดผ่านระบบน้ำ	177 b	4.7	2.86
ค่าเฉลี่ย	188	4.5	2.85
F-test	*	ns	ns
C.V. (%)	8.34	18.94	3.85

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ใช้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อยปลูกและอ้อยต่อ ปุ๋ยฟอสเฟตและปุ๋ยโพแทสเซียมอัตราพร้อมปลูกในทุกกรรมวิธี และกรรมวิธีที่ 2-6 แบ่ง ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในระบบน้ำจำนวน 8 ครั้ง  
<sup>2/</sup> ตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติ  
\* = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์, ns=ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

### 3.2.2 อ้อยต่อ 1

การเจริญเติบโตของอ้อยต่อ 1 พันธุ์ขอนแก่น 3 อายุ 6 เดือน กรรมวิธีที่ 4 ซึ่งให้ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่ข้างร่องหลังจากเก็บเกี่ยวและตัดแต่งต่อ ½ ของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน เพิ่มปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 1.5 เท่าของปริมาณที่เหลือ แบ่งใส่ในระบบน้ำหยดโดยแบ่งใส่ 8 ครั้ง มีความสูงมากที่สุดและแตกต่างในทางสถิติกับกรรมวิธีอื่น ในส่วนของจำนวนหน่อและเส้นผ่านศูนย์กลางลำ ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ ดังตารางที่ 5 และเมื่อ อ้อยอายุ 8 เดือน ความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ แต่จำนวนหน่อต่อกอ กรรมวิธีที่ 6 ซึ่งให้ใส่ปุ๋ย 100% ของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินผ่านระบบน้ำหยดโดยแบ่งใส่ 8 ครั้ง มีจำนวนมากที่สุด 5.5 หน่อต่อกอ ไม่แตกต่างในทาง

สถิติกับกรรมวิธีที่มีการแบ่งใส่ปุ๋ยผ่านระบบน้ำ ดังตารางที่ 6 แต่เมื่ออ้อยอายุ 10 เดือน ความสูง จำนวนหน่อและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจากการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนที่ต่างกันไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 5 ความสูง จำนวนหน่อ และเส้นผ่านศูนย์กลาง ของอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 เมื่ออายุ 6 เดือนหลังปลูก (อ้อยต่อ 1)

กรรมวิธี	ความสูง (ซม.)	จำนวน หน่อ	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง (ซม.)
1. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่ 2 ครั้ง โดยใส่รองพื้นและ 3-5 เดือน หลังปลูกใส่ฝังบกลบข้างร่อง <sup>1/</sup>	148 b <sup>2/</sup>	4.8	2.90
2. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่รองพื้น ½ ของค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยไนโตรเจนอีกครั้งที่เหลือใช้ปริมาณลดลง 0.5 เท่าแบ่งใส่ในระบบน้ำ	149 b	5.4	2.78
3. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่รองพื้น ½ ของค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยไนโตรเจนอีกครั้งที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำ	157 b	5.3	2.88
4. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่รองพื้น ½ ของค่าวิเคราะห์ดิน เพิ่มปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 1.5 เท่าของปริมาณที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำ	177 a	5.4	2.89
5. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่รองพื้น ½ ของค่าวิเคราะห์ดิน เพิ่มปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 2 เท่าของปริมาณที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำ	149 b	5.2	2.89
6. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำใส่ทั้งหมดผ่านระบบน้ำ	162 ab	5.3	2.85
<b>ค่าเฉลี่ย</b>	<b>157</b>	<b>5.2</b>	<b>2.87</b>
<b>F-test</b>	<b>*</b>	<b>ns</b>	<b>ns</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>8.52</b>	<b>17.08</b>	<b>5.48</b>

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ใช้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อยปลูกและอ้อยต่อ ปุ๋ยฟอสเฟตและปุ๋ยโพแทชใส่เต็มอัตราพร้อมปลูกในทุกกรรมวิธี และ  
กรรมวิธีที่ 2-6 แบ่ง ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในระบบน้ำจำนวน 8 ครั้ง

<sup>2/</sup> ตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติ

\* = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์, ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 6 ความสูง จำนวนหน่อ และเส้นผ่านศูนย์กลาง ของอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 เมื่ออายุ 8 เดือนหลังปลูก (อ้อยต่อ 1)

กรรมวิธี	ความสูง (ซม.)	จำนวน หน่อ	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง (ซม.)
1. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่ 2 ครั้ง โดยใส่รองพื้นและ 3-5 เดือนหลังปลูกใส่ฝังบกลบข้างร่อง <sup>1/</sup>	174	4.0 b <sup>2/</sup>	2.73
2. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่รองพื้น ½ ของค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยไนโตรเจนอีกครั้งที่เหลือใช้ปริมาณลดลง 0.5 เท่าแบ่งใส่ในระบบน้ำ	172	4.3 ab	2.69
3. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่รองพื้น ½ ของค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยไนโตรเจนอีกครั้งที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำ	198	4.8 ab	2.67
4. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่รองพื้น ½ ของค่าวิเคราะห์ดิน เพิ่มปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 1.5 เท่าของปริมาณที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำ	202	4.7 ab	2.76

กรรมวิธี	ความสูง (ซม.)	จำนวน หน่อ	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง (ซม.)
5. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่ร่องพื้น 1/2 ของค่าวิเคราะห์ดิน เพิ่มปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 2 เท่าของปริมาณที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำ	187	5.0 ab	2.72
6. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำใส่ทั้งหมดผ่านระบบน้ำ	201	5.5 a	2.78
<b>ค่าเฉลี่ย</b>	<b>189</b>	<b>4.7</b>	<b>2.72</b>
<b>F-test</b>	<b>ns</b>	<b>*</b>	<b>ns</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>12.13</b>	<b>17.39</b>	<b>6.01</b>

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ใช้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อยปลูกและอ้อยต่อ ปุ๋ยฟอสเฟตและปุ๋ยโพแทสเซียมอัตราพร้อมปลูกในทุกกรรมวิธี และกรรมวิธีที่ 2-6 แบ่ง ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในระบบน้ำจำนวน 8 ครั้ง

<sup>2/</sup> ตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติ

\* = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์, ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 7 ความสูง จำนวนหน่อ และเส้นผ่านศูนย์กลาง ของอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 เมื่ออายุ 10 เดือนหลังปลูก (อ้อยต่อ 1)

กรรมวิธี	ความสูง (ซม.)	จำนวน หน่อ	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง (ซม.)
1. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่ 2 ครั้ง โดยใส่ร่องพื้นและ 3-5 เดือน หลังปลูกใส่ฝังกอปลูกข้างร่อง <sup>1/</sup>	256	6.1	2.59
2. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่ร่องพื้น 1/2 ของค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยไนโตรเจนอีกครั้งที่เหลือใช้ปริมาณลดลง 0.5 เท่าแบ่งใส่ในระบบน้ำ	245	6.0	2.51
3. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่ร่องพื้น 1/2 ของค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยไนโตรเจนอีกครั้งที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำ	273	6.5	2.66
4. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่ร่องพื้น 1/2 ของค่าวิเคราะห์ดิน เพิ่มปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 1.5 เท่าของปริมาณที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำ	279	6.3	2.77
5. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่ร่องพื้น 1/2 ของค่าวิเคราะห์ดิน เพิ่มปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 2 เท่าของปริมาณที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำ	254	6.1	2.74
6. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำใส่ทั้งหมดผ่านระบบน้ำ	261	6.8	2.67
<b>ค่าเฉลี่ย</b>	<b>261</b>	<b>6.0</b>	<b>2.66</b>
<b>F-test</b>	<b>ns</b>	<b>ns</b>	<b>ns</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>10.96</b>	<b>14.6</b>	<b>6.9</b>

หมายเหตุ <sup>1/</sup> ใช้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อยปลูกและอ้อยต่อ ปุ๋ยฟอสเฟตและปุ๋ยโพแทสเซียมอัตราพร้อมปลูกในทุกกรรมวิธี และกรรมวิธีที่ 2-6 แบ่ง ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในระบบน้ำจำนวน 8 ครั้ง

ns คือ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

### 3.3 ผลผลิต

#### 3.3.1 อ้อยปลูก

เก็บเกี่ยวอ้อยที่อายุ 14 เดือน พบว่า กรรมวิธีที่ 5 การใส่ปุ๋ยร่องพื้น 1/2 ของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินและให้ปุ๋ยไปพร้อมระบบน้ำหยอด 2.0 เท่าของปริมาณที่เหลือ ให้ผลผลิตอ้อยและผลผลิตน้ำตาลสูงที่สุด 21.27 ตันต่อไร่



และ 3.4 ตัน CCS/ไร่ ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างกันทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 3 และ 4 ซึ่งใส่ปุ๋ยรองพื้น ½ ของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินและให้ปุ๋ยที่เหลือไปพร้อมระบบน้ำหยด และเพิ่มปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 1.5 เท่าของปริมาณที่เหลือ ในกรรมวิธีที่ 1 ซึ่งใส่รองพื้นพร้อมปลูกและใส่โรยข้างร่องให้ค่า CCS สูงสุด 17.3 CCS แตกต่างกับกรรมวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนพบว่า กรรมวิธีที่ 2 ซึ่งใส่ปุ๋ยรองพื้น 50% ของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินและให้ปุ๋ยไปพร้อมระบบน้ำหยด 0.5 เท่าของปริมาณที่เหลือมี ค่าประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนสูงสุด โดยไนโตรเจน 1 กิโลกรัม สามารถสร้างผลผลิตอ้อยได้ 788 กิโลกรัม/ไร่ ดังตารางที่ 8

**ตารางที่ 8** ผลผลิต CCS ผลผลิตน้ำตาล และประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน (NUE) ของอ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 เก็บเกี่ยวอายุ 14 เดือน

กรรมวิธี	ผลผลิต (ตัน/ไร่)	CCS	ผลผลิต น้ำตาล (ตัน CCS/ไร่)	NUE (กก.กก. N <sup>-1</sup> )
1. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่ 2 ครั้ง โดยใส่รองพื้นและ 3-5 เดือนหลังปลูกใส่ฝั่งกลบข้างร่อง <sup>1/</sup>	12.32 c	17.3 a	2,132 c	456
2. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่รองพื้น ½ ของค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยไนโตรเจนอีกครั้งที่เหลือใช้ปริมาณลดลง 0.5 เท่าแบ่งใส่ในระบบน้ำ	15.95 bc <sup>2/</sup>	16.6 ab	2,635 bc	788
3. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่รองพื้น ½ ของค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยไนโตรเจนอีกครั้งที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำ	18.36 ab	16.1 b	2,952 ab	680
4. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่รองพื้น ½ ของค่าวิเคราะห์ดิน เพิ่มปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 1.5 เท่าของปริมาณที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำ	18.04 ab	16.3 b	2,938 ab	535
5. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่รองพื้น ½ ของค่าวิเคราะห์ดิน เพิ่มปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 2 เท่าของปริมาณที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำ	21.27 a	16.1 b	3,424 a	525
6. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำใส่ทั้งหมดผ่านระบบน้ำ	12.86 c	16.4 ab	2,104 c	476
<b>ค่าเฉลี่ย</b>	<b>16.47</b>	<b>16.5</b>	<b>2,697</b>	<b>577</b>
<b>F-test</b>	<b>*</b>	<b>*</b>	<b>*</b>	<b>-</b>
<b>C.V. (%)</b>	<b>15.09</b>	<b>3.76</b>	<b>15.41</b>	<b>-</b>

**หมายเหตุ** <sup>1/</sup> ใช้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อยปลูกและอ้อยต่อ ปุ๋ยฟอสเฟตและปุ๋ยโพแทชใส่เต็มอัตราพร้อมปลูกในทุกกรรมวิธี และกรรมวิธีที่ 2-6 แบ่ง ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในระบบน้ำจำนวน 8 ครั้ง

<sup>2/</sup> ตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติ

\* = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

### 3.3.2 อ้อยต่อ 1

ทำการเก็บเกี่ยวอ้อยต่อ 1 ที่อายุ 12 เดือน พบว่ากรรมวิธีที่ 6 ซึ่งให้ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่ข้างร่องหลังจากเก็บเกี่ยวและตัดแต่งต่อ ½ ของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน และเพิ่มปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 2.0 เท่าของปริมาณที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำหยดโดยแบ่งใส่ 8 ครั้ง มีผลผลิตมากที่สุด 16.28 ตันต่อไร่ และแตกต่างกันทางสถิติกับกรรมวิธีที่ 1 ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่ 2 ครั้ง โดยใส่ข้างร่องหลังจากเก็บเกี่ยวและตัดแต่งต่อ และ ใส่ 3-5 เดือนหลังจากเก็บเกี่ยวโดยใส่ฝั่งกลบข้างร่อง แต่อย่างไรก็ตามการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่ข้างร่องหลังจากเก็บเกี่ยวและตัดแต่งต่อ

½ ของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน และเพิ่มปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 1-2 เท่าของปริมาณที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำหยด โดยแบ่งใส่ 8 ครั้ง ผลผลิตที่ได้ ไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ ในส่วนของค่า CCS จากกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยแตกต่างกันไม่มีความแตกต่างในทางสถิติ และปริมาณผลผลิตน้ำตาลเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลผลิต แต่การใช้ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่ข้างร่องหลังจากเก็บเกี่ยวและตัดแต่งต่อ ½ ของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน เพิ่มปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 0.5 เท่าของปริมาณที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำหยดโดยแบ่งใส่ 8 ครั้งมีประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนสูงที่สุด 551 กิโลกรัมผลผลิตต่อไนโตรเจน 1 กิโลกรัม โดยให้ผลผลิต 11.16 ตันต่อไร่ ดังตารางที่ 9

**ตารางที่ 9** ผลผลิต CCS ผลผลิตน้ำตาล และประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน (NUE) ของอ้อยต่อ 1 พันธุ์ขอนแก่น 3 เก็บเกี่ยว อายุ 12 เดือน

กรรมวิธี	ผลผลิต (ตัน/ไร่)	CCS	ผลผลิตน้ำตาล (ตัน CCS/ไร่)	NUE (กก.กก. N <sup>-1</sup> )
1. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่ 2 ครั้ง โดยใส่ร่องพื้นและ 3-5 เดือนหลังปลูกใส่ฝักรอบข้างร่อง <sup>1/</sup>	9.06 c <sup>2/</sup>	15.2	1,384 b	336
2. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่ร่องพื้น ½ ของค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยไนโตรเจนอีกครั้งที่เหลือใช้ปริมาณลดลง 0.5 เท่าแบ่งใส่ในระบบน้ำ	11.16 bc	14.6	1,617 ab	551
3. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่ร่องพื้น ½ ของค่าวิเคราะห์ดิน ปุ๋ยไนโตรเจนอีกครั้งที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำ	14.44 ab	13.5	1,949 ab	535
4. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่ร่องพื้น ½ ของค่าวิเคราะห์ดิน เพิ่มปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 1.5 เท่าของปริมาณที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำ	13.46 ab	12.8	1,690 ab	399
5. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำแบ่งใส่ร่องพื้น ½ ของค่าวิเคราะห์ดิน เพิ่มปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนเป็น 2 เท่าของปริมาณที่เหลือแบ่งใส่ในระบบน้ำ	16.28 a	13.2	2,231 a	402
6. ปุ๋ยไนโตรเจนตามคำแนะนำใส่ทั้งหมดผ่านระบบน้ำ	10.46 bc	13.0	1,358 b	387
<b>ค่าเฉลี่ย</b>				
<b>F-test</b>	*	ns	*	-
<b>C.V. (%)</b>	<b>21.44</b>	<b>14.29</b>	<b>30.14</b>	-

**หมายเหตุ** <sup>1/</sup> ใช้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับอ้อยปลูกและอ้อยต่อ ปุ๋ยฟอสเฟตและปุ๋ยโพแทสเซียมอัตราพร้อมปลูกในทุกกรรมวิธี และกรรมวิธีที่ 2-6 แบ่ง ใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในระบบน้ำจำนวน 8 ครั้ง

<sup>2/</sup> ตัวอักษรเหมือนกันในสดมภ์เดียวกันไม่แตกต่างกันทางสถิติ

\* = แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์, ns = ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

#### 4. บทสรุป

การให้ปุ๋ยไปพร้อมกับการให้น้ำแบบหยดต้องมีการใส่ปุ๋ยร่องพื้นพร้อมปลูก โดยต้องใส่ปุ๋ยร่องพื้น ½ ของอัตราคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน และเมื่อใช้อัตราปุ๋ยไนโตรเจนเพิ่มขึ้นสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตอ้อยได้มากกว่าวิธีการปฏิบัติเดิมของเดิมของเกษตรกร โดยอัตราการให้ปุ๋ยไนโตรเจนที่เหมาะสมในระบบให้น้ำ ซึ่งแนะนำให้ใส่ปุ๋ยร่องพื้น ½ ของอัตราคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดิน และเพิ่มปริมาณปุ๋ยไนโตรเจนที่เหลือเป็นสองเท่า ใส่ลงในระบบให้น้ำแบบหยดจำนวน 8 ครั้ง

ทั้งในอ้อยปลูกและอ้อยต่อ 1 ให้ผลผลิตสูงถึง 21.27 ตันต่อไร่ และ 16.28 ตันต่อไร่ ตามลำดับ รวมถึงยังให้ค่า CCS สูง โดยค่า CCS จะเป็นปริมาณของน้ำตาลทรายที่มีอยู่ในอ้อย ซึ่งสามารถหีบสกัดออกมาได้เป็นน้ำตาลทรายบริสุทธิ์ และสอดคล้องกับ [17] รายงานการผลิตอ้อยโดยการให้น้ำสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตได้ แต่จะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับอัตราปุ๋ยที่ใช้ และมีแนวโน้มว่าการใช้ปุ๋ยในอัตราที่สูงขึ้นจะทำให้ได้ผลผลิตมากขึ้น และยังมีรายงานอีกว่า การให้น้ำในพื้นที่ดินทรายความอุดมสมบูรณ์ของธาตุอาหารพืชต่ำจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโต การเติมธาตุอาหารรองและธาตุอาหารเสริมลงไปจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและผลผลิตของอ้อยได้ดีขึ้น และปัญหาของการปลูกอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนืออีกประการหนึ่งคือ การปลูกทั่วไปจะสามารถไว้ต่อได้เพียง 1-2 ต่อเท่านั้น เนื่องจากผลผลิตอ้อยต่อจะลดลงมากจนไม่คุ้มต่อการดูแล ซึ่งเกษตรกรสามารถเพิ่มผลผลิตอ้อยต่อได้ โดยการให้น้ำเสริมในระยะการแตกกอ สามารถเพิ่มผลผลิตอ้อยต่อได้ 40-120% [18] แต่อย่างไรก็ตาม แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนพบว่ากรรมวิธีการใส่ปุ๋ยรองพื้น 1/2 ของคำแนะนำตามค่าวิเคราะห์ดินและให้ปุ๋ยไปพร้อมระบบน้ำหยด 0.5 เท่าของปริมาณที่เหลือ มีค่าประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนสูงสุดทั้งในอ้อยปลูกและอ้อยต่อ 1 ซึ่งสามารถนำไปใช้ในกรรมวิธีการผลิตอ้อยเพื่อลดปัญหาโลกร้อนได้

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณปี พ.ศ. 2565 - 2566 สำหรับดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] มนตรี คำชู. หลักการชลประทานแบบหยด. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 2538.
- [2] Or, D. and Coelho, F.E. Soil water dynamics under drip irrigation: transient flow and uptake models. *Trans. ASAE* 39(1996) 2017-2025.
- [3] Boyhan, G., Granberry, Darbie and Kelley, T. Onion production guide, Bulletin 1198. College of Agricultural and Environmental Sciences, University of Georgia, 2001, p. 56.
- [4] ทองดี บ้านดอน. เทคโนโลยีระบบน้ำ. วารสารเคหการเกษตร. 21(2540) 157-165.
- [5] ยงยุทธ โอสดสภา. ธาตุอาหารพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา. คณะเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 2546.
- [6] Locascio, S.J. Management of irrigation for vegetables: past, present, and future *Hort Technology*. 15(2005) 477-481.
- [7] Hartz, T.K., M. LeStrange, and May, D.M. Nitrogen requirements of drip-irrigated pepper. *Hort Science*. 28(1993) 1097-1099.
- [8] Drost, D. and Koenig, R. Improving onion productivity and N use efficiency with a polymer coated nitrogen source. In: Presented at the Western Management Conference, Salt Lake City, UV March 8-9, 2001
- [9] Badr, M.A., Abou Hussein, S.D. and El-Tohamy, W.A. Nutrient uptake and yield of tomato under various method of fertilizer application and levels of fertigation in arid lands. *Gesunde Pflanzen .J*. 62(2010) 11-19.
- [10] Deshmukh, A.S., Shinde, P.P. and Jadhav, S.B. Fertigation under drip irrigation for sugarcane. *Proc. All India Sem. Modern Irr. Tech.*, 26-27 June, Bangalore, India, 1996, 217-221.

- [11] Shinde, S.H., Dahiwalkar S.D. and Bhoi P.S. Effect of fertigation through drip irrigation and planting technique on yield and quality of Suru sugarcane. Proc. Nation. Sem. Irrigation water Management for Sugarcane, 5-6 June, VSI, Manjari (BK), Pune, 1998, 59-69.
- [12] Ng Kee Kwong, K.F., Paul, J.P. and Deville, J. Drip fertigation- A means for reducing fertilizer nitrogen to sugarcane. *Exp. Agric.*, 35(1999) 31-37.
- [13] Shinde, S.H., Dahiwalkar, S. D. and Berad, S.M. Influence of planting techniques and fertigation through drip on yield, quality and economics of sugarcane. *J. Maharashtra Agril. Uni.*, 24(3)(1999) 276-278.
- [14] อธิสุนทร นันทกิจ. การให้ปุ๋ยในระบบน้ำ. เอกสารประกอบการบรรยายการสัมมนากลยุทธ์ การจัดการธาตุอาหารพืชสู่รายได้ที่ยั่งยืน. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง. 2550.
- [15] สุดชล วุ่นประเสริฐ และธีรยุทธ เกิดไทย. รายงานการวิจัย การจัดการดินและน้ำเพื่อเพิ่มผลผลิตอ้อยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ระยะที่ 2). รหัสโครงการ SUT3-302-56-36-11. สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช. สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 2560.
- [16] ปิยะ ดวงพัตรา. การให้ปุ๋ยทางระบบชลประทาน. หลักการ และวิธีการใช้ ปุ๋ยเคมี. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 2538. หน้า 273-276.
- [17] รัชดา ปรัชเจริญนิชัย, ทักษิณา ศันสยะวิชัย, กอบเกียรติ ไพศาลเจริญ, และสุรีย์พร ม้ากระโทก. ผลของการจัดการแปลงอ้อยระยะยาวต่อการกระจายตัวของรากและการให้ผลผลิตอ้อย. เกษตร 40 ฉบับพิเศษ 3(2555) 177-184.
- [18] ทักษิณา ศันสยะวิชัย และปรีชา กาเพ็ชร. (8 มีนาคม 2559). การให้น้ำที่ระยะแตกกอและการจัดการดินเพื่ออนุรักษ์น้ำต่อความสามารถในการไถดอ. สืบค้นจาก: <https://www.doa.go.th/research/showthread.php?mode=threaded&tid=1540&pid=1558#pid1558>.
- [19] Peech, M. Soil pH by glass electrode pH meter, pp. 914-925. In C.A. Black, D.D. Evans, R.L. White, L.E. Ensminger, F.E. Clark and R.C. Dinsuer (eds). Method of Soil Analysis Part 2: Physical and microbiological Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling American Society of Agronomy Inc., Publisher Madison, USA. 1965.
- [20] Walkley, A. and C.A. Black. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37(1934) 29-37.
- [21] Bray, R.H. and L.T. Kurtz. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59(1945) 39-45.
- [22] Schollenberger, C.L. and R.H. Simon. Determination of exchange capacity and exchangeable bases in soil-ammonium acetate method. *Soil Sci.* 59(1945) 13-24.

## องค์ประกอบทางเคมีจากใบทุเรียนเทศสด Chemical Constituent from Fresh *Annona muricata* leaves

ปรานอม ขาวเมฆ<sup>1\*</sup> และ ดวงฤทัย ศรีแดง<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ปทุมธานี 12000

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

### บทคัดย่อ

จากการนำสารสกัดหยาบจากใบทุเรียนเทศสดที่สกัดด้วยเมทานอลมาศึกษาทางพิษเคมี สามารถแยกสารได้ทั้งหมด 4 ชนิด เป็นสารบริสุทธิ์ 1 ชนิด สารที่หาโครงสร้างได้บางส่วน 1 ชนิด และสารผสมที่ไม่สามารถหาโครงสร้างได้อีก 2 ชนิด (มีโครงสร้างบางส่วนที่แตกต่างกัน) โดยสารบริสุทธิ์ที่แยกได้นั้นเป็น สารประกอบแอลกอฮอล์สายโซ่ยาว (long chain alcohol) คือ 1-Tetratricontanol ส่วนสารผสมที่สามารถหาโครงสร้างได้บางส่วนอีก 1 ชนิด เป็นสารในกลุ่มของแอนโนนาซีอัส อะซิโทจีนิน (annonaceous acetogenins) ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 3 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 เป็นอนุพันธ์ของกลุ่มสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว (long chain hydrocarbon) และ โอลิฟินิก โปรตอน (olefinic proton) ส่วนที่ 2 เป็น สารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว และหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) และส่วนที่ 3 เป็นกลุ่มของวงแลคโตน (lactone ring) ส่วนสารผสมที่ไม่สามารถหาโครงสร้างได้อีก 2 ชนิดนั้นคาดว่า น่าจะเป็นสารประกอบที่เป็นอนุพันธ์ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว ที่มีการเกาะกับหมู่ไฮดรอกซิลที่ผสมกับวงเบนซีน (aromatic ring) การพิสูจน์โครงสร้างทางเคมีของสารที่แยกได้นี้ อาศัยการวิเคราะห์สเปกตรัมของ FT-IR, <sup>1</sup>H-NMR, <sup>13</sup>C-NMR, DEPT, COSY, HMQC และ HMBC ร่วมกับการเปรียบเทียบข้อมูลของสารที่ทราบโครงสร้างแล้ว

**คำสำคัญ:** ทุเรียนเทศ องค์ประกอบทางเคมี 1-เตตระไตรคอนทานอล

### Abstract

Phytochemical study of fresh *Annona muricata* leave with methanol crude extraction led to the isolation four compounds which one was pure known compound, long chain alcohol (1-Tetratricontanol), one known some parts of the structure compounds. This compound was *Annonaceous acetogenins* group which compose of 3 parts, derivative of long chain hydrocarbon and olefinic proton, part 2 was long chain hydrocarbon and hydroxyl group and part 3 was lactone ring. Two mixture compounds were a mixture of derivative of long chain hydrocarbon and hydroxyl group which had aromatic ring. The structures of all these isolates were determined by extensive spectroscopic studies, including comparison of their FT-IR, <sup>1</sup>H-NMR, <sup>13</sup>C-NMR, DEPT, COSY, HMQC and HMBC properties with previously reported data.

**Keywords:** *Annona muricata*, Chemical constituents, 1-Tetratricontanol

## 1. บทนำ

ทุเรียนเทศ หรือ ทุเรียนน้ำ [1] ชื่อเรียกอื่น ๆ คือ ทุเรียนแขก (ภาคกลาง) หมากเขียบหลดหรือหมากพิลด (ภาคอีสาน) ทุเรียนน้ำ (ภาคใต้) และ มะทุเรียน (ภาคเหนือ) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Annona muricata L.* อยู่ในวงศ์ Annonaceae (วงศ์เดียวกับน้อยหน่า น้อยโหน่ง กระดังงา และการเวก) ทุเรียนเทศมีชื่อเรียกตามประเทศและท้องถิ่นที่ต่างกัน เช่น Soursop, Graviola, Prickly Custard apple, Nangka blanda, Brazilian pawpaw, Guanabana, Durian benggala, Zuuzak และ Sirsak [2] ทุเรียนเทศเป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็ก ลำต้นสูงประมาณ 5-6 เมตรใบเป็นใบเดี่ยว ค่อนข้างหนา ใบเรียงสลับกันไปในระนาบเดียวกับกิ่ง ใบมีรูปร่างรี ผิวใบอ่อนเป็นมัน เมื่อฉีกใบจะได้กลิ่นเหม็นเขียวฉุนจัด ผลคล้ายทุเรียนสีเขียวสด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15-20 เซนติเมตร แต่เปลือกไม่มีหนามแหลม และนิ่มเมื่อสุก รับประทานได้มีรสหวานอมเปรี้ยวเป็นเส้นใยเกาะกัน [3] ทุเรียนเทศเป็นพืชพื้นเมืองของทวีปอเมริกา ปัจจุบันปลูกได้ทั่วโลกในประเทศแถบเขตร้อนชื้น ในทวีปเอเชียพบได้ในประเทศมาเลเซีย สิงคโปร์ สำหรับประเทศไทยพบมากทางตอนใต้ คนไทยนำทุเรียนเทศมาประกอบอาหาร ภาคใต้นิยมนำผลอ่อนใช้ทำแกงส้ม เชื่อม และคั้นทำเครื่องดื่ม เมล็ดใช้เปลือกปลา และเป็นยาฆ่าแมลงได้ ส่วนใบมีสรรพคุณทางยาใช้รักษาโรคผิวหนัง แก้ไอ ปวดตามข้อ และความดันโลหิตสูง จากรายงานการวิจัย [4-11] พบว่า สารสกัดจากใบทุเรียนเทศมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ มีความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งเต้านม ปอด ตับ ตับอ่อน และผิวหนัง จากการศึกษาในสัตว์ทดลองพบว่า สารสกัดจากใบมีฤทธิ์ระงับปวด ต้านการอักเสบ ลดน้ำตาล และไขมันในเลือดของหนูที่เป็นเบาหวานได้ มีรายงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่าสารสกัดด้วยเอทานอลของใบทุเรียนเทศมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของก้อนเนื้ออกผิวหนัง นอกจากนี้สารสกัดยังมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของมะเร็งตับอ่อน และสามารถลดการแพร่กระจายของมะเร็งไปสู่อวัยวะอื่นได้ เช่น ตับ ต่อมม้ามเหลือง และรังไข่ จากการแยกสารสำคัญที่มีอยู่ในทุเรียนเทศที่มีผลต่อเซลล์มะเร็งพบว่า คือ สารกลุ่ม *Annonaceous acetogenins* ถึงแม้ว่าทุเรียนเทศสามารถพัฒนาต่อยอดเป็นยารักษามะเร็งหรืออาจใช้ร่วมกับเคมีบำบัดในอนาคต ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาองค์ประกอบทางเคมีจากใบทุเรียนเทศสด เนื่องจากว่าทุเรียนเทศเป็นสมุนไพรไทยชนิดหนึ่งที่กำลังได้รับความนิยมและนำมาใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ ซึ่งจากการสืบค้นงานวิจัยพบว่า ส่วนมากจะศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพ แต่งานวิจัยที่ทำการศึกษเกี่ยวกับพิษทางเคมีจากใบทุเรียนเทศมีจำนวนน้อย โดยเฉพาะงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพิษทางเคมีจากใบทุเรียนเทศสดนั้นผู้วิจัยไม่พบงานวิจัยที่มีการตีพิมพ์ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการศึกษาหาองค์ประกอบทางเคมีจากใบทุเรียนเทศสด

ในงานวิจัยนี้จึงได้นำสารสกัดจากใบทุเรียนเทศสด มาศึกษาองค์ประกอบทางเคมีโดยใช้เทคนิค Column Chromatography เพื่อสกัดแยกสารบริสุทธิ์และหาโครงสร้างทางเคมีของสารบริสุทธิ์โดยใช้เทคนิคทาง Spectroscopy คือ FT-IR, <sup>1</sup>H-NMR, <sup>13</sup>C-NMR, DEPT, COSY, HMQC และ HMBC

## 2. วิธีการทดลอง

### 2.1 วัสดุุดิบและสารเคมี

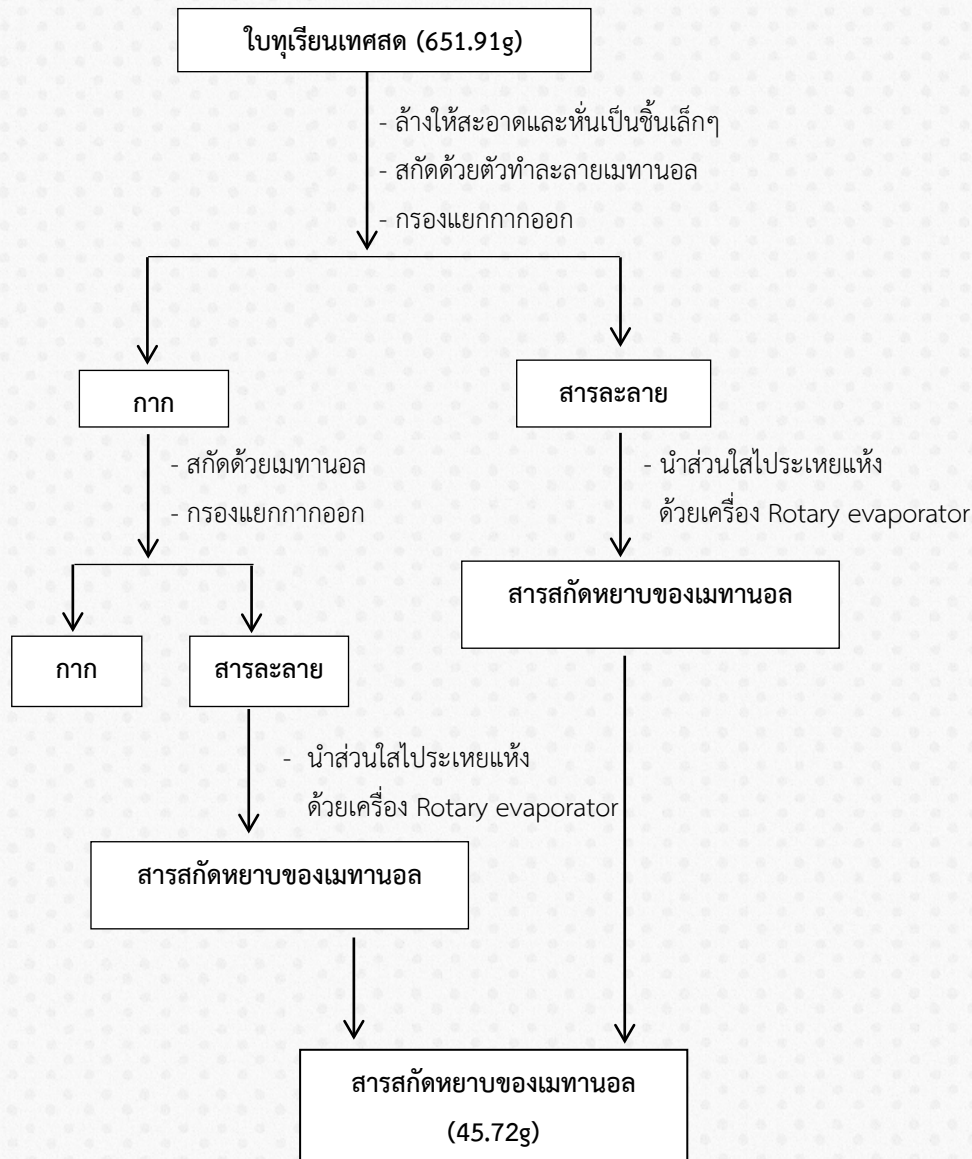
- 1) เก็บตัวอย่างพืช จากอำเภอมาบตาพุด จังหวัดระยอง
- 2) n-Hexane (AR grade, RCI lab-scan Ltd.)
- 3) Chloroform (AR grade, RCI lab-scan Ltd.)
- 4) 99.9% Methanol (AR grade, RCI lab-scan Ltd.)
- 5) CDCl<sub>3</sub> (Chloroform-*d*<sub>1</sub> deuteration degree min, 99.8%)
- 6) CD<sub>3</sub>OD (Methanol-*d*<sub>4</sub> deuteration degree min, 99.8%)
- 7) Anisaldehyde-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> reagent (Anisaldehyde : conc. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : methanol)

- 8) Thin Layer Chromatography (TLC percolated, silica gel 60 F<sub>254</sub>, Merck)
- 9) Silica gel 60 No.7734 ขนาดอนุภาค 0.063-0.200 มิลลิเมตร (70 - 230 mesh ASTM, Merck)
- 10) Silica gel 60 No.9385 ขนาดอนุภาค 0.040-0.063 มิลลิเมตร (230 - 400 mesh ASTM, Merck)

## 2.2 การสกัดและการแยกสาร

### 2.2.1 การสกัดสารจากใบทุเรียนเทศ

นำใบทุเรียนเทศที่เก็บจาก อำเภอมาบตาพุด จังหวัดระยอง ไปล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ ผึ่งแดดให้แห้งและหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ได้น้ำหนัก 651.91 g นำมาแช่ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ คือ เมทานอล ในอัตราส่วน 1:2 แช่ไว้ 2-3 วัน กรองนำส่วนของสารละลายที่สกัดได้ไประเหยแห้ง ทำซ้ำแบบนี้จนสารสกัดสีซีดลงหรือไม่มีสี เมื่อนำสารสกัดมารวมกันจะได้สารสกัดหยาบ (Crude Extraction) 45.72 g ได้ร้อยละของสารสกัดต่อน้ำหนักของใบทุเรียนเทศสด 7.01 %w/w ขั้นตอนการแยกสารแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงขั้นตอนการสกัดสารจากใบทุเรียนเทศสด

## 2.2.2 การแยกสาร

### การแยกสารประกอบต่างๆ จากสารสกัดหยาดเมฆทานอล

นำสารสกัดหยาดเมฆทานอล (20.37g, 44.55 %w/w) มาแยกด้วยเทคนิค Column Chromatography ที่มีตัวดูดซับเป็น Silica gel (No. 7734, 500 g) และชะโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ผสม โดยการเพิ่มขั้วระหว่าง Hexane : CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> (100 : 0 ถึง 20 : 80) และ CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> : MeOH (100 : 0 ถึง 0 : 100) โดยรับ Fraction ละประมาณ 500 mL และรวม Fraction โดยการดูจาก TLC patterns สามารถรวม Fraction ได้ทั้งหมด 13 Fraction คือ AM1 (0.2090 g, 0.47 %w/w), AM42 (0.7961 g, 1.79 %w/w), AM81 (4.2859 g, 9.62 %w/w), AM151 (0.2027 g, 0.45 %w/w), AM175 (0.6242 g, 1.40 %w/w), AM231 (1.0417 g, 2.34 %w/w), AM311 (0.2330 g, 0.52 %w/w), AM337 (0.2487 g, 0.56 %w/w), AM411 (0.2254 g, 0.51 %w/w), AM449 (0.1263 g, 0.28 %w/w), AM489 (3.4196 g, 7.68 %w/w), AM537 (1.4791 g, 3.32 %w/w) และ AM602 (6.4497 g, 14.48 %w/w)

#### 2.2.2.1 การแยกสารประกอบ AM151

เมื่อนำ Fraction AM151 (0.1186 g) มาละลายด้วย CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> และทำการแยกด้วยเทคนิค Column Chromatography ที่มีตัวดูดซับเป็น Silica gel (No. 9385, 50 g) และชะด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ผสมระหว่าง Hexane : CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> เท่ากับ 40 : 60 ถึง CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> : MeOH เท่ากับ 70 : 30 สามารถรวมได้ทั้งหมด 18 Fraction คือ AM151/1 (0.0016 g, 1.35 %w/w), AM151/8 (0.0001 g, 0.08 %w/w), AM151/10 (0.0001 g, 0.08 %w/w), AM151/14 (0.0035 g, 2.95 %w/w), AM151/16 (0.0260 g, 21.92 %w/w), AM151/28 (0.0072 g, 6.07 %w/w), AM151/36 (0.0002 g, 0.17 %w/w), AM151/40 (0.0086 g, 7.25 %w/w), AM151/52 (0.0019 g, 1.60 %w/w), AM151/68 (0.0017 g, 1.43 %w/w), AM151/72 (0.0079 g, 6.66 %w/w), AM151/78 (0.0028 g, 2.36 %w/w), AM151/89 (0.0002 g, 0.17 %w/w), AM151/106 (0.0026 g, 2.19 %w/w), AM151/128 (0.0042 g, 3.54 %w/w), AM151/130 (0.0066 g, 5.56 %w/w), AM151/134 (0.0054 g, 4.55 %w/w) และ AM151/168 (0.0110 g, 9.27 %w/w) โดย Fraction ที่ AM151/16 (AM1) มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว (น้ำหนัก 0.0260 g, 0.03 %w/w) เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วย <sup>1</sup>H-NMR พบว่าเป็นสารบริสุทธิ์ตัวที่ 1 คือ AM1

#### 2.2.2.2 การแยกสารประกอบ AM81

เมื่อนำ Fraction AM81 (3.8492 g) มาละลายด้วย CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> และทำการแยกด้วยเทคนิค Column Chromatography ที่มีตัวดูดซับเป็น Silica gel (No. 9385, 200 g) และชะด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ผสมระหว่าง Hexane : CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> เท่ากับ 20 : 80 ถึง CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> : MeOH เท่ากับ 80 : 20 สามารถรวม Fraction ได้ทั้งหมด 24 Fraction คือ AM81/1 (0.0306 g, 0.79 %w/w), AM81/40 (0.0458 g, 1.19 %w/w), AM81/74 (0.0032 g, 0.08 %w/w), AM81/76 (0.2650 g, 6.88 %w/w), AM81/190 (0.0518 g, 1.34 %w/w), AM81/202 (0.0281 g, 0.73 %w/w), AM81/210 (0.0353 g, 0.92 %w/w), AM81/220 (0.0829 g, 2.15 %w/w), AM81/268 (0.0303 g, 0.79 %w/w), AM81/310 (0.0135 g, 0.35 %w/w), AM81/320 (0.0465 g, 1.21 %w/w), AM81/324 (0.0009 g, 0.02 %w/w), AM81/326 (0.0279 g, 0.72 %w/w), AM81/336 (0.8783 g, 22.82 %w/w), AM81/386 (0.0146 g, 0.38 %w/w), AM81/404 (0.0353 g, 0.92 %w/w), AM81/440 (0.0048 g, 0.12 %w/w), AM81/458 (0.0219 g, 0.57 %w/w), AM81/490 (0.0223 g, 0.58 %w/w), AM81/574 (0.00006 g, 1.56 %w/w), AM81/580 (0.1071 g, 2.78 %w/w), AM81/592 (0.4191 g, 10.89 %w/w), AM81/606 (0.1295 g, 3.36 %w/w) และ AM81/612 (0.1202 g, 3.12 %w/w)



### 2.2.2.3 การแยกสารประกอบ AM81/104 (AM2)

นำ Fraction AM81/104 (AM2) น้ำหนัก (0.0352 g) มาแยกให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิค reparative Thin Layer Chromatography (PTLC) โดยนำสารมา Spot ลงบนแผ่น TLC และใช้ Mobile Phase เป็น 60%  $\text{CH}_2\text{Cl}_2/\text{Hexane}$  เมื่อนำแผ่น TLC ไปส่องภายใต้แสง UV ที่ความยาวคลื่น 254 nm ไม่พบสีของสาร และที่ความยาวคลื่น 365 nm พบสารสีแดง เมื่อทำการจุด Silica gel บริเวณที่มีสารสำคัญและนำไปละลายด้วย  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  เพื่อแยกสารออกจาก Silica gel โดยการกรองนำสารละลายที่ได้ไประเหยแห้ง และนำไปวิเคราะห์ด้วย  $^1\text{H-NMR}$

### 2.2.2.4 การแยกสารประกอบ AM81/336 (AM3)

นำ Fraction AM81/336 (AM3) น้ำหนัก (0.8783 g) มาแยกให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิค reparative Thin Layer Chromatography (TLC) โดยนำสารมา spot ลงบนแผ่น TLC และใช้ Mobile Phase เป็น 60%  $\text{CH}_2\text{Cl}_2/\text{Hexane}$  เมื่อนำแผ่น TLC ไปส่องภายใต้แสง UV ที่ความยาวคลื่น 254 nm ไม่พบสีของสาร ส่วนที่ความยาวคลื่น 365 nm พบสารสีแดงจึงทำการจุด Silica gel บริเวณที่มีสารสำคัญและนำไปละลายด้วย  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  เพื่อแยกสารออกจาก Silica gel โดยการกรองนำสารที่ได้ไประเหยแห้ง และนำไปวิเคราะห์ด้วย  $^1\text{H-NMR}$  พบว่า สารที่แยกได้ยังไม่บริสุทธิ์ คือ AM3 ซึ่งมีน้ำหนักเท่ากับ 0.0117 g แต่มีสารที่น่าสนใจ จึงนำมาแยกให้บริสุทธิ์ต่อ

### 2.2.2.5 การแยกสารประกอบ AM3

นำ AM3 (0.0117 g) ที่ได้จากการแยกด้วยด้วยเทคนิค Preparative Thin Layer Chromatography (PTLC) มาแยกให้บริสุทธิ์ด้วย Column chromatography ขนาดเล็กที่มีตัวดูดซับเป็น Silica gel (No. 9385) ด้วยตัวทำละลาย 80%  $\text{CH}_2\text{Cl}_2/\text{Hexane}$  รวม Fraction ที่ได้ คือ AM3/1 (0.0225 g) นำไปวิเคราะห์ด้วย  $^1\text{H-NMR}$

### 2.2.2.6 การแยกสารประกอบ AM81/76 (AM4)

นำ Fraction AM81/76 (AM4) (1.9321 g) ละลายด้วย  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  ทำการแยกด้วยเทคนิค Column Chromatography ที่มีตัวดูดซับเป็น Silica gel (No. 9385, 150 g) และชะด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ผสมระหว่าง Hexane :  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  เท่ากับ 40 : 60 ถึง  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  : MeOH เท่ากับ 70 : 30 สามารถรวมได้ทั้งหมด 6 Fraction คือ AM4/1 (0.0182 g, 0.94 %w/w), AM4/3 (0.0759 g, 3.92 %w/w), AM4/5 (0.4816 g, 24.92 %w/w), AM4/10 (0.2501 g, 12.94 %w/w), AM4/13 (0.7491 g, 38.77 %w/w) และ AM4/24 (0.4456 g, 23.06 %w/w) โดย Fraction AM4/13 (0.7491 g) และ AM4/24 (0.4456 g) ซึ่งพบว่าสารมีลักษณะเป็นน้ำมันสีเหลือง เมื่อทดสอบด้วยแผ่น TLC มีสารที่น่าสนใจจึงนำไปวิเคราะห์ด้วย  $^1\text{H-NMR}$  พบว่าสารที่แยกได้ยังไม่บริสุทธิ์จึงนำมาแยกให้บริสุทธิ์ต่อไป

### 2.2.2.7 การแยกสารประกอบ AM4/13

นำ Fraction AM4/13 (1.1543 g) ทำการแยกโดยใช้เทคนิค Column Chromatography ที่มีตัวดูดซับเป็น Silica gel (No. 9385, 60 g) และชะด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ผสมระหว่าง Hexane :  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  เท่ากับ 40 : 60 ถึง  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  : MeOH เท่ากับ 70 : 30 สามารถรวมได้ทั้งหมด 8 Fraction คือ AM4/13/1 (0.6639 g, 57.4 %w/w), AM4/13/12 (0.0500 g, 4.33 %w/w), AM4/13/15 (0.0271g, 2.34 %w/w), AM4/13/17 (0.0264 g, 2.29 %w/w), AM4/13/19 (0.0145 g, 1.26 %w/w), AM4/13/20 (0.0585 g, 5.07 %w/w), AM4/13/30 (0.0332 g, 2.87 %w/w) และ AM4/13/36 (0.0300g, 2.59 %w/w) ใน Fraction AM4/13/15 (0.0271g) และ AM4/13/17 (AM7) (0.0264 g) พบว่าสารมีลักษณะเป็นน้ำมันสีเหลือง เมื่อตรวจสอบด้วยแผ่น TLC มีสารที่น่าสนใจจึงนำไปวิเคราะห์ด้วย  $^1\text{H-NMR}$

### 2.2.2.8 การแยกสารประกอบ AM4/24

นำ Fraction AM4/24 (0.4456 g) ทำการแยกด้วยเทคนิค Column Chromatography ที่มีตัวดูดซับเป็น Silica gel (No. 9385, 70 g) และชะด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ผสมระหว่าง Hexane :  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  เท่ากับ 40 : 60 ถึง  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  : MeOH เท่ากับ 70 : 30 สามารถรวมได้ทั้งหมด 4 Fraction คือ AM4/24/1 (0.0059 g, 1.32 %w/w), AM4/24/2

(0.4052 g, 90.93 %w/w), AM4/24/13 (0.0590 g, 13.24 %w/w) และ AM4/24/19 (0.0318 g, 7.13 %w/w) โดยที่ Fraction AM4/24/13 (0.0590 g) และ AM4/24/19 (0.0318 g) เมื่อตรวจสอบด้วยแผ่น TLC พบว่าเป็นสารตัวชนิดเดียวกันจึงนำมารวมกันคือ AM5 (0.118 g) สารที่ได้มีลักษณะเป็นผงสีขาว เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง <sup>1</sup>H-NMR พบว่าสารที่แยกได้ยังไม่บริสุทธิ์จึงนำมาแยกให้บริสุทธิ์ต่อไป

### 2.2.2.9 การแยกสารประกอบ AM5

นำ AM5 (0.1180 g) ทำการแยกโดยใช้เทคนิค Column Chromatography ที่มีตัวดูดซับเป็น Silica gel (No. 9385, 30 g) และชะด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ผสมระหว่าง Hexane : CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> เท่ากับ 40 : 60 ถึง CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> : MeOH เท่ากับ 70 : 30 สามารถรวมได้ทั้งหมด 5 Fraction คือ AM5/1 (0.0218 g, 18.47 %w/w), AM5/4 (0.00910 g, 77.12 %w/w), AM5/10 (0.0143 g, 12.12 %w/w), AM5/15 (0.0098 g, 8.3 %w/w) และ AM5/16 (0.0212g, 17.97 %w/w) โดย Fraction AM5/15 (0.0980 g) และ AM5/16 (0.0212 g) มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว จึงนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง <sup>1</sup>H-NMR แต่สารที่แยกได้ยังไม่บริสุทธิ์จึงนำมาแยกให้บริสุทธิ์ต่อไปด้วยวิธี Recrystallization ด้วยเมทานอล

### 2.2.2.10 การแยกสารประกอบ AM4/13/1 + AM4/13/12 + AM81/104 (AM8)

นำ Fraction AM4/13/1 + AM4/13/12 + AM81/104 (AM8) (0.6779 g) ละลายด้วย CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> ทำการแยกโดยใช้เทคนิค Column Chromatography ที่มีตัวดูดซับเป็น Silica gel (No. 9385, 60 g) และชะด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ผสมระหว่าง Hexane : CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> เท่ากับ 40 : 60 ถึง CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> : MeOH เท่ากับ 70 : 30 สามารถรวมได้ทั้งหมด 8 Fraction คือ AM8/1 (0.0032 g, 4.72 %w/w), AM8/3 (0.0325 g, 47.88 %w/w), AM8/5 (0.0116 g, 17.11 %w/w), AM8/7 (0.0402 g, 59.30 %w/w), AM8/20 (0.0104g, 15.34 %w/w), AM8/27 (0.0374g, 55.17 %w/w), AM8/41 (0.0046 g, 6.79 %w/w) และ AM8/54 (0.0033 g, 4.87 %w/w) โดย Fraction AM8/41 (0.0046 g) ซึ่งพบว่ามีสารมีลักษณะเป็นน้ำมันสีเหลือง เมื่อตรวจสอบด้วยแผ่น TLC มีสารที่น่าสนใจจึงนำไปวิเคราะห์ด้วย <sup>1</sup>H-NMR

เมื่อนำ AM8/41 ไปวิเคราะห์ด้วย <sup>1</sup>H-NMR เนื่องจากเป็นสารที่ยังไม่บริสุทธิ์ และมีปริมาณน้อยมาก จึงไม่สามารถทำการแยกต่อไปได้ แต่เมื่อดูจาก <sup>1</sup>H-NMR พบว่าเป็นสารที่น่าสนใจ จึงควรนำสารสกัดหยาบมาทำการแยกซ้ำ เพื่อให้มีปริมาณสารมากขึ้นและนำไปแยกให้สารบริสุทธิ์ต่อไป

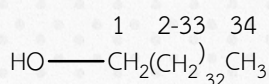
## 3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

### 3.1 การศึกษาโครงสร้างของสารประกอบ AM 1

สารประกอบ AM 1 มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว ซึ่งมีสูตรโมเลกุลเป็น C<sub>34</sub>H<sub>70</sub>O เป็นสารประกอบประเภทสารประกอบแอลกอฮอล์สายโซ่ยาว (long chain alcohol) และจากข้อมูล NMR พบว่าค่าที่ได้นั้นสอดคล้องกับงานวิจัยที่เคยตีพิมพ์มาแล้ว [11] คือ 1-Tetratricontanol มีจุดหลอมเหลวเท่ากับ 801.0 °C

จากสเปกตรัมของ IR พบว่ามีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) ที่เลขคลื่น 3278 cm<sup>-1</sup> มี C-H aliphatic (stretching) ที่เลขคลื่น 2916-2848 cm<sup>-1</sup> มี C-H (bending) ที่เลขคลื่น 1472-1462 cm<sup>-1</sup> และมี C-O ที่เลขคลื่น 1061 cm<sup>-1</sup>

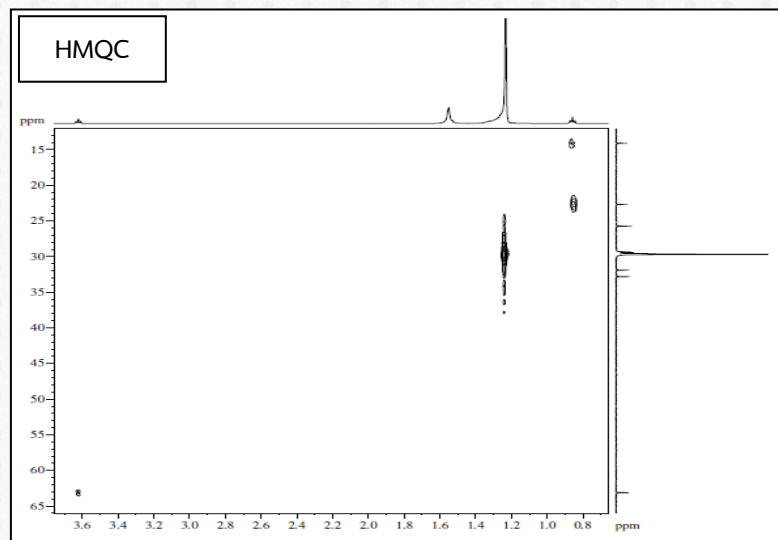
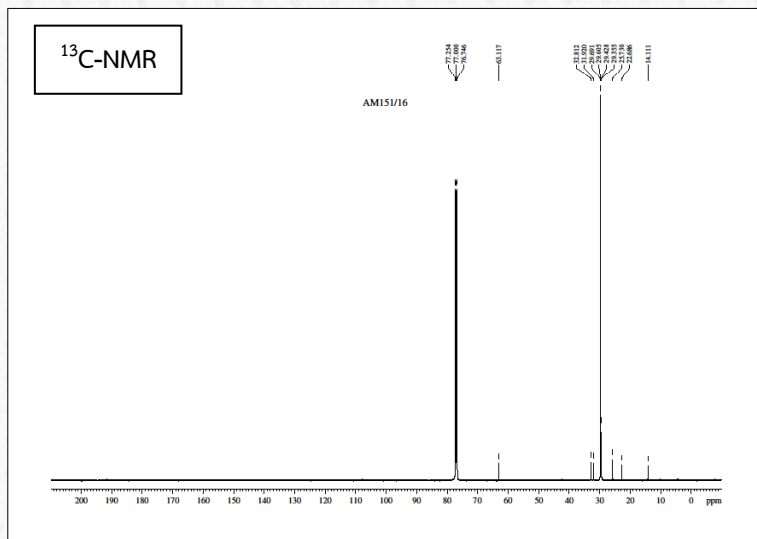
จาก <sup>1</sup>H-NMR spectrum พบสัญญาณที่มีค่า δ<sub>H</sub> 3.62 (2H, t, J = 6.5 Hz), 1.23 (2H, s) และ 0.86 (3H, t, J = 7Hz) จาก <sup>13</sup>C-NMR spectrum จะพบสัญญาณที่มีค่า δ<sub>C</sub> 63.11 (C-1), 29.69 (C-2 ถึง C-33) และ 14.11 (C-34) เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วย 2D-NMR คือ HMQC และ HMBC พบว่า AM 1 มีโครงสร้างดังนี้



ภาพที่ 2 โครงสร้างของ AM 1 (1-Tetratricontanol)

ตารางที่ 1  $^1\text{H-NMR}$  spectrum และ  $^{13}\text{C-NMR}$  spectrum ของสารประกอบ AM 1 (in  $\text{CDCl}_3$ )

ตำแหน่งของ C	Chemical shift (ppm in $\text{CDCl}_3$ )		
	สารประกอบ N1 (in $\text{CDCl}_3$ )		1-Tetratricontanol [9]
	$^1\text{H-NMR}$ (500 MHz)	$^{13}\text{C-NMR}$ (125 MHz)	(125 MHz)
1	3.62 (1H, t, $J = 6.5$ Hz)	63.1	63.3
2-33	1.23 (2H, s)	22.6-32.8	22.9-33.0
34	0.86 (3H, t, $J = 7$ Hz)	14.1	14.3

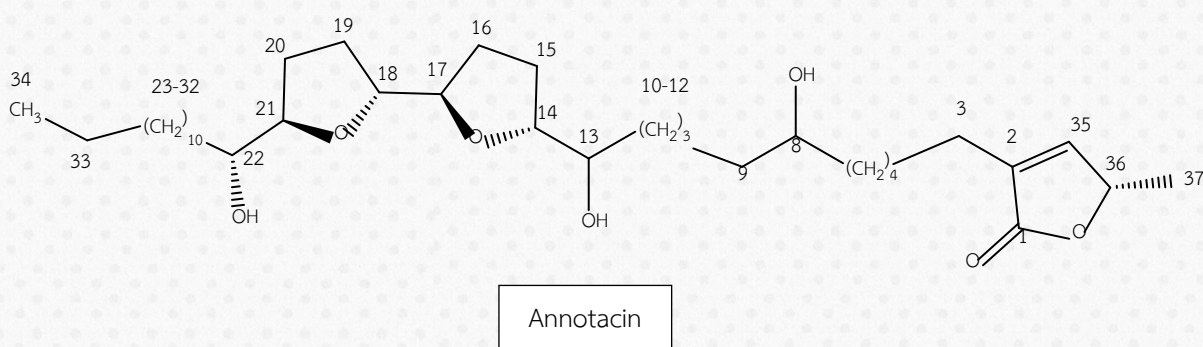
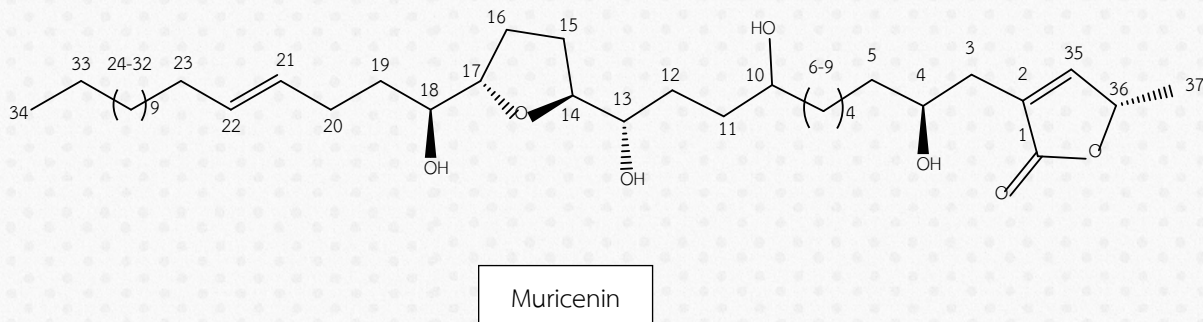


ภาพที่ 3  $^{13}\text{C-NMR}$  (125 mHz) และ HMQC spectrum ของสารประกอบ AM 1 ( $\text{CDCl}_3$ )

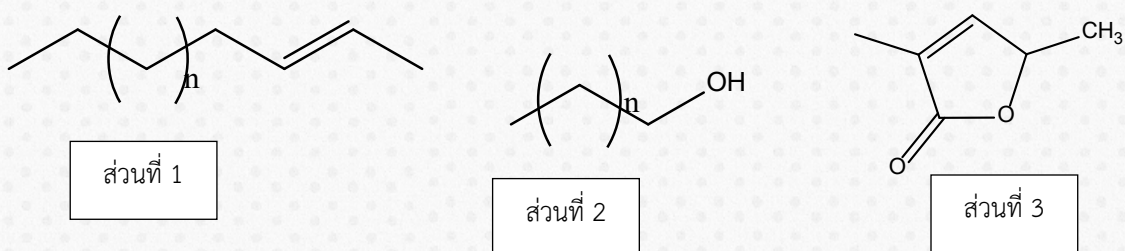
### 3.2 การศึกษาโครงสร้างของสารประกอบ AM 2 และ AM 3

สารประกอบ AM 2 และ AM 3 พบว่าเป็นสารชนิดเดียวกัน (รวมกันเป็น AM 3) ที่มีลักษณะเป็นน้ำมันสีเหลือง น้ำหนัก 0.8783 g จากการวิเคราะห์ด้วย  $^1\text{H-NMR}$ ,  $^{13}\text{C-NMR}$ , COSY, DEPT135, HMQC และ HMBC เมื่อเทียบข้อมูลกับ  $^{13}\text{C-NMR}$  ของสารที่เคยตีพิมพ์มาแล้วในกลุ่ม แอนโนนาซีอัส อะซิโทจีนิน (annonaceous acetogenins) คือ muricenin

และ annotacin โครงสร้างแสดงดังภาพที่ 4 พบว่า สารที่แยกได้นี้ น่าจะเป็นสารในกลุ่มเดียวกัน โดยโครงสร้างที่คาดว่าน่าจะเป็นไปได้ ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันที่แบ่งเป็นส่วนต่างๆ ดังนี้ คือ ส่วนที่ 1 เป็นอนุพันธ์ของ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว (long chain hydrocarbon) และ โอลิฟินิก โปรตอน (olefinic proton) ส่วนที่ 2 เป็น สารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว และ หมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) และส่วนที่ 3 เป็นกลุ่มของของวงแลคโตน (lactone ring) โครงสร้างทั้งสามกลุ่มแสดงดังภาพที่ 5 ส่วนค่า chemical shift ของ  $^{13}\text{C}$ -NMR ของสารประกอบ AM 3 แสดงดังตารางที่ 2



ภาพที่ 4 แสดงโครงสร้างของ Muricenin [10] และ Annotacin [11]



ภาพที่ 5 แสดงโครงสร้างบางส่วนของสารประกอบ AM 2 และ AM 3

ตารางที่ 2 ข้อมูลสเปกตรัมของ  $^{13}\text{C}$ -NMR ของสารประกอบ AM 3, Muricenin และ Annotacin

ตำแหน่งของ C	Chemical shift (ppm in $\text{CDCl}_3$ )		
	$^{13}\text{C}$ -NMR (125 MHz)	$^{13}\text{C}$ -NMR (125 MHz)	$^{13}\text{C}$ -NMR (125 MHz)
	AM3	Muricenin [10]	Annotacin [11]
1	173.9	174.7	173.8
2	134.3	131.2	134.5
3	25.1	19.1	25.2
4	26.2-27.2	69.9	27.5
5	26.2-27.2	37.3	29.2-29.8
6	26.2-27.2	25.5-25.6	22.1
7	27.3-28.0	29.4-29.7	37.4
8	27.3-28.0	29.4-29.7	71.9
9	27.3-28.0	25.5-25.6	37.6
10	56.8	71.7	29.2-29.8
11	31.9	31.9-34.0	25.0
12	56.7	74.0-74.4	33.5
13	57.2	82.6-82.7	74.2
14	27.3-28.0	28.7	83.3
15	27.3-28.0	28.7	28.5
16	26.2-27.2	82.6-82.7	28.9
17	26.2-27.2	74.0-74.3	82.2
18	56.7	33.4-33.5	82.5
19	26.2-27.2	25.4-25.6	28.9
20	131.0	130.9	25.7
21	128.3	128.9	82.9
22	27.3-28.0	25.4-25.6	71.6
23	29.2-29.6	29.4-29.7	32.6
24	29.2-29.6	29.4-29.7	25.7
25	29.2-29.6	29.4-29.7	29.3-29.8
26	29.2-29.6	29.4-29.7	29.3-29.8
27	29.2-29.6	29.4-29.7	29.3-29.8
28	29.2-29.6	29.4-29.7	29.3-29.8
29	29.2-29.6	29.4-29.7	29.3-29.8

ตารางที่ 2 ข้อมูลสเปกตรัมของ  $^{13}\text{C-NMR}$  ของสารประกอบ AM 3, Muricenin และ Annotacin (ต่อ)

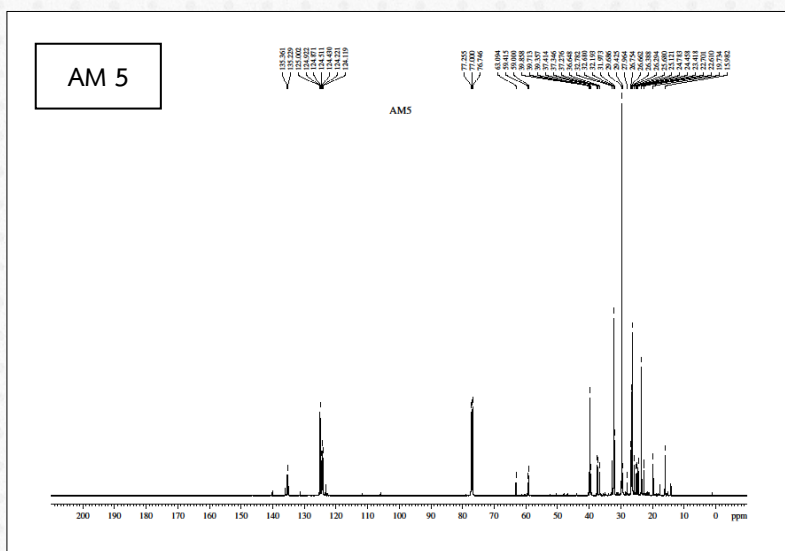
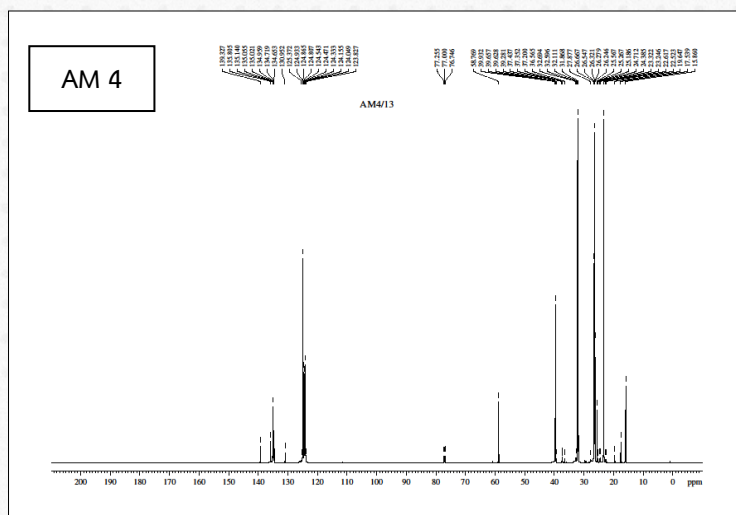
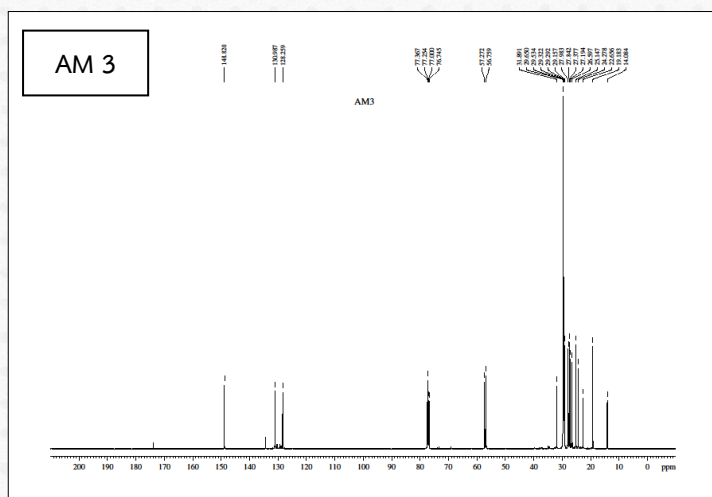
ตำแหน่งของ C	Chemical shift (ppm in $\text{CDCl}_3$ )		
	$^{13}\text{C-NMR}$ (125 MHz)	$^{13}\text{C-NMR}$ (125 MHz)	$^{13}\text{C-NMR}$ (125 MHz)
	AM3	Muricenin [10]	Annotacin [11]
30	29.2-29.6	29.4-29.7	29.3-29.8
31	29.2-29.6	29.4-29.7	29.3-29.8
32	31.9	31.9-33.5	31.9
33	22.7	22.7	22.6
34	14.1	14.1	14.1
35	148.8	151.8	148.8
36	77.4	78.0	77.3
37	19.2	19.1	19.2

### 3.3 การศึกษาโครงสร้างของสารประกอบ AM 4

สารประกอบ AM 4 มีลักษณะเป็นน้ำมันสีเหลือง เมื่อทดสอบด้วย anisaldehyde reagent พบว่ามีสีม่วง เมื่อพิจารณาข้อมูลจาก  $^1\text{H-NMR}$   $^{13}\text{C-NMR}$  และ 2D-NMR ของสารประกอบ AM 4 พบว่ายังมีสารปนเปื้อนอยู่ แต่สารที่แยกได้มีปริมาณน้อยมากจึงไม่สามารถทำให้สารบริสุทธิ์ได้ โดยหมู่ฟังก์ชันที่น่าสนใจ เมื่อพิจารณาจาก  $^1\text{H-NMR}$  ที่ค่า  $\delta_{\text{H}}$  ในช่วง 1-2 ppm ซึ่งเป็นตำแหน่งของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว ค่า  $\delta_{\text{H}}$  อยู่ในช่วง 3-5 ppm คือตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิล และพบค่า  $\delta_{\text{H}}$  อยู่ในช่วง 5-6 ppm ที่เป็นตำแหน่งของโอลิฟินิก โปรตอน และจาก  $^{13}\text{C-NMR}$  spectrum พบว่ามีค่า  $\delta_{\text{C}}$  อยู่ในช่วง 10-40 ppm ซึ่งเป็นตำแหน่งของ  $\text{CH}_3$  และ  $\text{CH}_2$  ในโครงสร้างของ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว พบค่า  $\delta_{\text{C}}$  อยู่ในช่วง 50-60 ppm ซึ่งเป็นตำแหน่งของคาร์บอนที่เกาะอยู่กับหมู่ไฮดรอกซิล ค่า  $\delta_{\text{C}}$  อยู่ในช่วง 120-140 ppm ซึ่งเป็นตำแหน่งของ  $\text{C}=\text{C}$  ใน โอลิฟินิก โปรตอน หรือ วงเบนซีน สารประกอบ AM 4 น่าจะเป็นสารประกอบที่เป็นอนุพันธ์ของ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาวที่มีการเกาะกับหมู่ไฮดรอกซิลที่ผสมกับวงเบนซีน ในสารประกอบ AM 4 นี้

### 3.4 การศึกษาโครงสร้างของสารประกอบ AM 5

สารประกอบ AM 5 มีลักษณะเป็นผงสีขาว เมื่อทดสอบด้วย anisaldehyde reagent พบว่ามีสีม่วง เมื่อพิจารณาข้อมูลจาก  $^1\text{H-NMR}$   $^{13}\text{C-NMR}$  และ 2D-NMR ของสารประกอบ AM 5 พบว่ายังมีสารปนเปื้อนอยู่ แต่สารที่แยกได้มีปริมาณน้อยมากจึงไม่สามารถทำให้สารบริสุทธิ์ได้ โดยหมู่ฟังก์ชันที่น่าสนใจจาก  $^1\text{H-NMR}$  ที่ค่า  $\delta_{\text{H}}$  ในช่วง 1-2 ppm ซึ่งเป็นตำแหน่งของ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว ค่า  $\delta_{\text{H}}$  อยู่ในช่วง 3-5 ppm คือตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิล และพบค่า  $\delta_{\text{H}}$  อยู่ในช่วง 5-6 ppm ที่เป็นตำแหน่งของ โอลิฟินิก โปรตอน และจาก  $^{13}\text{C-NMR}$  spectrum พบว่ามีค่า  $\delta_{\text{C}}$  อยู่ในช่วง 10-40 ppm ซึ่งเป็นตำแหน่งของ  $\text{CH}_3$  และ  $\text{CH}_2$  ในโครงสร้างของ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว พบค่า  $\delta_{\text{C}}$  อยู่ในช่วง 50-70 ppm ซึ่งเป็นตำแหน่งของคาร์บอนที่เกาะอยู่กับหมู่ไฮดรอกซิล ค่า  $\delta_{\text{C}}$  อยู่ในช่วง 120-140 ppm ซึ่งเป็นตำแหน่งของ  $\text{C}=\text{C}$  ใน โอลิฟินิก โปรตอน หรือวงเบนซีน สารประกอบ AM 5 น่าจะเป็นสารประกอบที่เป็นอนุพันธ์ของ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว ที่มีการเกาะกับ หมู่ไฮดรอกซิล ที่ผสมกับ aromatic ring ในสารประกอบ AM 5 ซึ่งสารประกอบชนิดนี้จะคล้ายกับ AM 4 แต่มีบางกลุ่มที่ต่างกัน เช่น ที่ค่า  $\delta_{\text{C}}$  ในช่วง 50-70 ppm เป็นต้น



ภาพที่ 6  $^{13}\text{C-NMR}$  (125 MHz) spectrum ของสารประกอบ AM 3, AM 4 และ AM 5 ( $\text{CDCl}_3$ )

#### 4. บทสรุป

จากการศึกษาทางพิษเคมีจากใบทุเรียนเทศ โดยนำสารสกัดหยาบของใบทุเรียนเทศที่สกัดด้วยเมทานอล มาแยกให้บริสุทธิ์ด้วยเทคนิค silica gel column chromatography พบว่าแยกสารได้ทั้งหมด 13 fraction เมื่อนำ fraction ที่น่าสนใจไปแยกให้บริสุทธิ์ขึ้นสามารถแยกสารได้ 4 ชนิด เป็นสารบริสุทธิ์ 1 ชนิด สารที่หาโครงสร้างได้บางส่วน 1 ชนิด และสารผสมที่ไม่สามารถหาโครงสร้างได้อีก 2 ชนิด โดยสารบริสุทธิ์ที่แยกได้นั้นเป็นสารประกอบแอลกอฮอล์สายโซ่ยาว คือ 1-tetratricontanol ส่วนสารผสมที่สามารถหาโครงสร้างได้บางส่วนอีก 1 ชนิด เป็นสารในกลุ่มของแอนโนนาซีอัส อะซิโกลินิน ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 3 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 เป็นอนุพันธ์ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว และ โอลิฟีนิก โปรตอน ส่วนที่ 2 เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว และ หมูไฮดรอกซิล และส่วนที่ 3 เป็นกลุ่มของ วงแลคโตน ส่วนสารผสมที่ไม่สามารถหาโครงสร้างได้อีก 2 ชนิด คาดว่าน่าจะเป็นสารประกอบที่เป็นอนุพันธ์ของสารประกอบ ไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาว ที่มีการเกาะกับหมูไฮดรอกซิลที่ผสมกับวงเบนซีน

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์สารเคมีจาก ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ทุเรียนเทศ แหล่งที่เข้าถึง: <https://th.wikipedia.org/wiki/ทุเรียนเทศ/> [18 สิงหาคม 2566]
- [2] นพมาศ สุนทรเจริญนนท์ แหล่งที่เข้าถึง: <https://pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/271/ทุเรียนเทศรักษาอะไรได้จริงหรือ/> [26 พฤษภาคม 2567]
- [3] สมุนไพรสรรพคุณทุเรียนเทศ หรือทุเรียนน้ำ แหล่งที่เข้าถึง: <http://health.mthai.com/health-News/4564.html> [1 กันยายน 2566]
- [4] สรรพคุณทางยาทุเรียนเทศ แหล่งที่เข้าถึง <http://cancer.vg/en/annona-muricata-soursop> [13 กันยายน 2559]
- [5] กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์กระทรวงสาธารณสุขสาธารณะสุขสาธารณสุข. การศึกษาวิจัยด้านพิษวิทยาสมุนไพรใบทุเรียนเทศโดยเตรียมในรูปแบบของน้ำคั้นจากใบสด. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 28(3)(2015) 9.
- [6] L.Taylor. Technical Data Report for Graviola (*Annona muricata*). *J Biol Chem Pharm*. 2(1)(2005):1-7.  
C. Pierre, M. Alice, G.E. Vincent, G. Christophe, F. Djibril, U. H. Gunter, R. Merle, L. Annie, L. Olivier, L. Alain and H. Reynald. Quantification of acetogenins in *Annona muricata* linked to atypical parkinsonism in Guadeloupe. *Movement Disorders*. 20 (12). (2005). 1628-33.
- [8] C. Yong, C. Jian-Wei, W. Yu, X. Sha-Sha and L. Xiang. Six cytotoxic annonaceous acetogenins from *annona squamosa* seed. *Journal of Food Chemistry*. 135 (2012). 960-966.
- [9] G. Wright and J. A. Walter. Identification of C-24 alkyl epimers of marine sterols by <sup>13</sup>C nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Can. J. Chem*. 56 (1978): 1898-1903.
- [10] S. Shi, L. Jingchun, Z. Ninghui, Z. Wenjun, D.Q. Ping, and Z. Kequan. Isolation of three new annonaceous acetogenins from Graviola fruit (*Annona muricata*) and their anti-proliferation on human prostate cancer cell PC-3. *Journal of Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*. 26 (2016). 4382-4385.
- [11] A.R.S.L. Luciana, P.S.P. Lucia and A.D.B. Maria. Acetogenins from *Annona cornifolia* and their antioxidant capacity. *Journal of Food Chemistry*. 122 (2010). 1129-1138.



## Probability Distribution of Student Loans in Thailand

Wareewan Wisedsing<sup>1</sup> Tanutta Amnuaywattanaku<sup>2</sup> Thanaporn Boonchoo<sup>3</sup> Nisara Suthising<sup>1</sup>  
Anchana Kuttiyawong<sup>3</sup> Phannika Mee-on<sup>1</sup> and Yupapin Atikankul<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science and Technology,  
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

<sup>2</sup>Department of Health Cosmetic and Anti-Aging Technology, Faculty of Science and Technology,  
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

<sup>3</sup>Department of Science, Faculty of Science and Technology,  
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

\*E-mail: yupapin.a@rmutp.ac.th

### Abstract

This article aims to analyze student loan data in Thailand. Three well-known distributions, namely the Weibull, normal, and log-normal distributions, are used to analyze a student loan data set. The maximum likelihood method is applied to estimate distribution parameters. The results show that the log-normal distribution is suitable for analyzing student loans in Thailand.

**Keywords:** Maximum likelihood estimation, Student loans, Probability distribution

### 1. Introduction

Student loans make higher education accessible to many who cannot afford it. This helps individuals achieve their educational and career goals. However, the fear of accumulating debt can deter some students, particularly those from low-income backgrounds, from pursuing higher education. Student loans allow more people to acquire higher education, leading to a more skilled workforce and increased economic productivity. However, there is little research on student loans in Thailand [1,2] and they have not studied probability theory.

The normal distribution is the best-known for fitting data whose support is the real number; thus, it may not be suitable for all data types. In this article, three well-known distributions namely the Weibull, normal, and log-normal distributions, which have different ranges of random variables are fitted to a student loan data set in Thailand. Additionally, the maximum likelihood method is applied to estimate their parameters.

The rest of this paper is organized as follows. In Section 2, we introduce Weibull, normal, and log-normal distributions. The unknown parameters of three distributions are derived by the maximum

likelihood method in Section 3. A student loan data set is applied to the three distributions in Section 4. Finally, conclusions are drawn in Section 5.

## 2. Distributions

In this section, we present the probability density function (pdf), the cumulative distribution function (cdf), pdf plots, and cdf plots of the Weibull, normal, and log-normal distributions.

### 2.1 The Weibull distribution

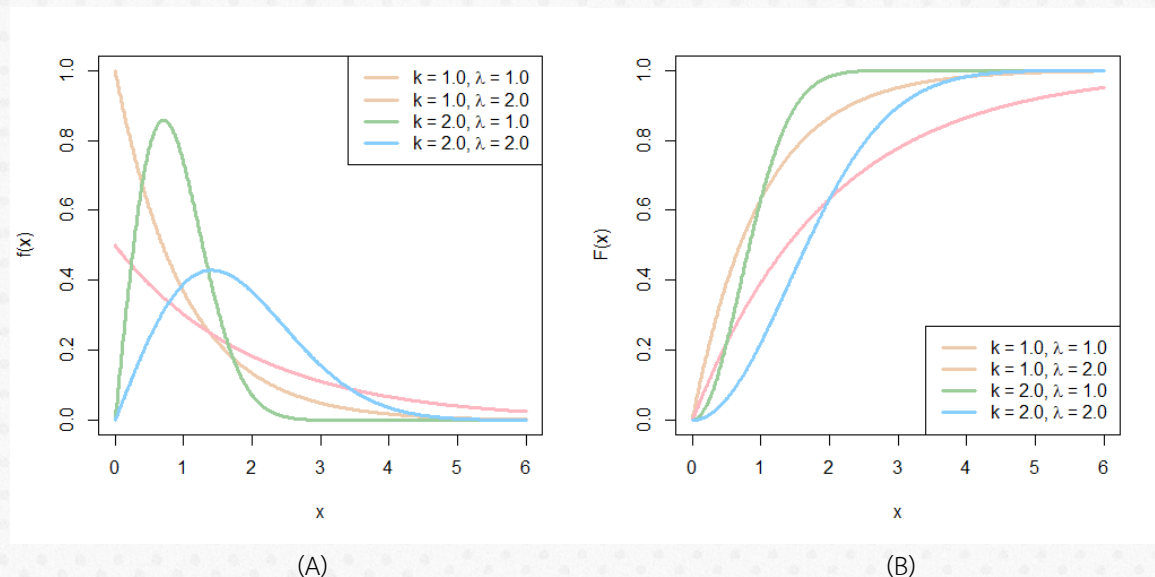
The Weibull distribution is a continuous probability distribution named after Waloddi Weibull [3]. It is widely used in reliability engineering, failure analysis, and life data analysis because it can model various types of failure rates. The pdf and cdf of the Weibull distribution with shape parameters  $k$  and scale parameter  $\lambda$  are given by, respectively,

$$f(x) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k\right), \quad (1)$$

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k\right), \quad (2)$$

for  $x \geq 0, k, \lambda > 0$ .

Figure 1 displays the pdf and cdf plots of the Weibull distribution with some selected shape and scale parameter values. The pdf of the Weibull distribution is decreasing and unimodal.



**Figure 1** The pdf (A) and cdf (B) plots of the Weibull distribution with various parameter values

## 2.2 The normal distribution

The normal distribution, known as the Gaussian distribution, is a widely used probability distribution in statistics [4]. It is characterized by its bell-shaped curve, symmetric around its mean, and is defined by parameters  $\mu$  and  $\sigma$ . The pdf of the normal distribution is

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (3)$$

for  $-\infty < x < \infty$ ,  $-\infty < \mu < \infty$ ,  $\sigma^2 > 0$ . The cdf of the normal distribution is

$$F(x) = \frac{1}{2} \left[ 1 + \operatorname{erf}\left(\frac{x-\mu}{\sqrt{2}\sigma}\right) \right], \quad (4)$$

where  $\operatorname{erf}(x)$  is the error function defined by

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-t^2) dt. \quad (5)$$

Figure 2 shows the pdf and cdf plots of the normal distribution with some mean and standard deviation.

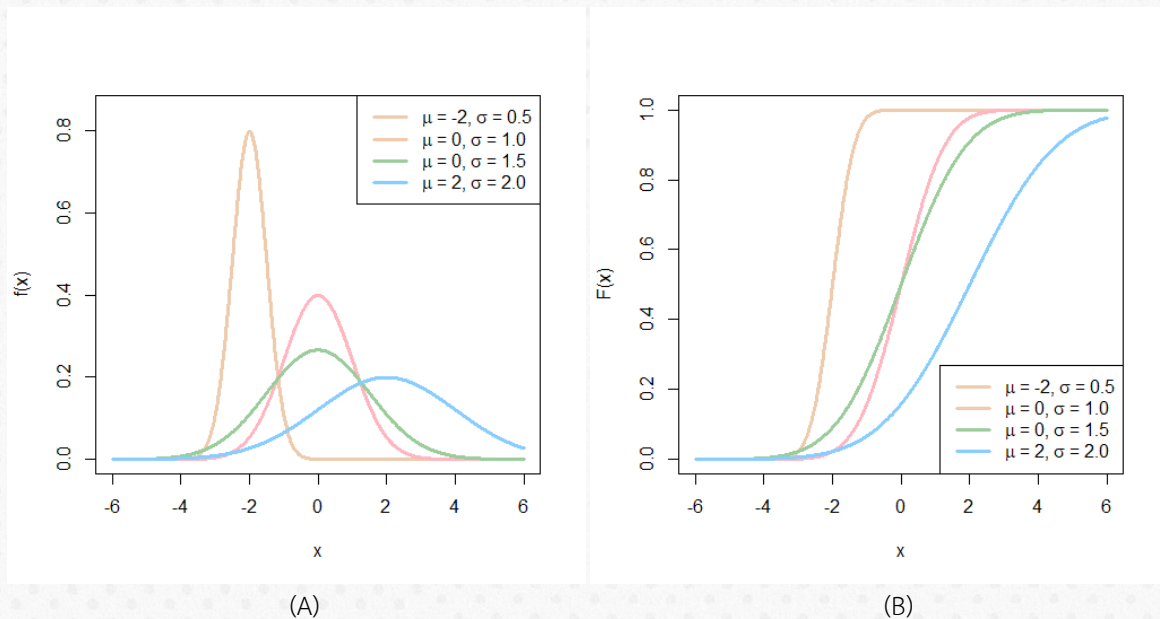


Figure 2 The pdf (A) and cdf (B) plots of the normal distribution with different parameter values

## 2.3 The log-normal distribution

The log-normal distribution is a probability distribution of a random variable whose logarithm is normally distributed [5]. The distribution is useful in various fields such as finance, environmental modeling, and reliability engineering, where the variables of interest are positive and can span several orders of magnitude. The log-normal distribution has pdf

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\log(x) - \mu)^2}{2\sigma^2}\right), \tag{6}$$

for  $x > 0$ ,  $-\infty < \mu < \infty$ ,  $\sigma^2 > 0$ . The cdf of the log-normal distribution is given by

$$F(x) = \frac{1}{2} \left[ 1 + \operatorname{erf}\left(\frac{\log(x) - \mu}{\sqrt{2}\sigma}\right) \right], \tag{7}$$

The pdf and cdf plots of the log-normal distribution are shown in Figure 3.

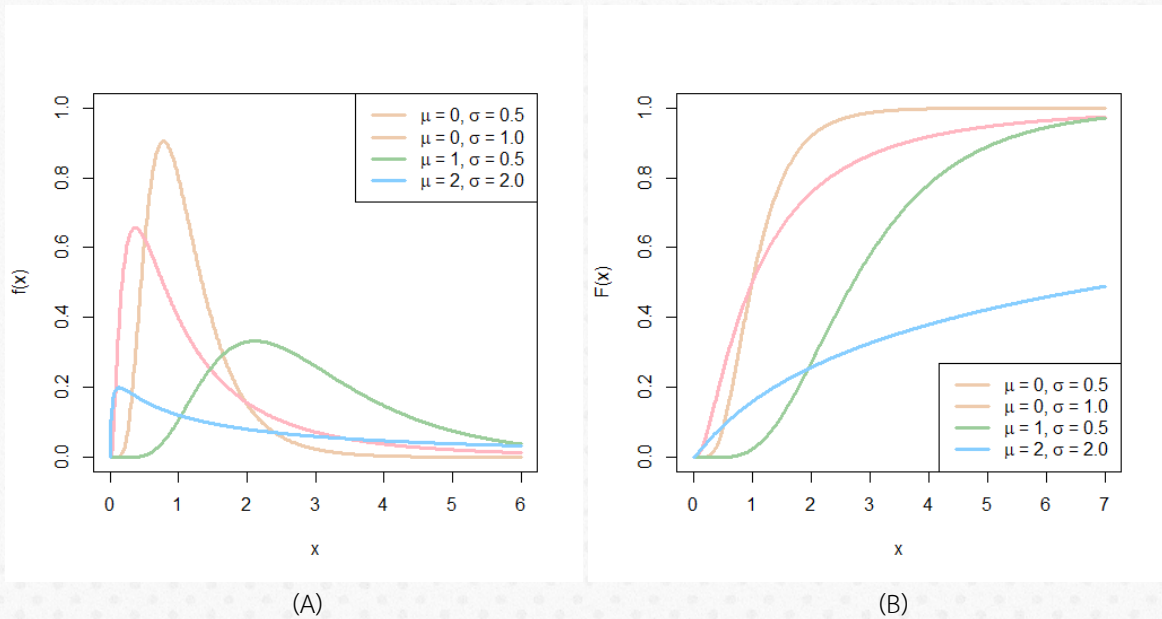


Figure 3 The pdf (A) and cdf (B) plots of the log-normal distribution with selected parameter values

### 3. Parameter Estimation

In this paper, the method of maximum likelihood is considered to estimate the unknown parameters of the Weibull, normal, and log-normal distribution. Here, we illustrate the maximum likelihood estimators of the log-normal distribution.

Suppose  $X_1, X_2, \dots, X_n$  be a random sample of size  $n$  from the log-normal distribution with parameter  $\mu, \sigma^2$  and let  $x, x_2, \dots, x_n$  be the observed values. The likelihood function is given by

$$L(\mu, \sigma^2) = \prod_{i=1}^n f(x_i) \tag{8}$$

$$= \prod_{i=1}^n \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\log(x) - \mu)^2}{2\sigma^2}\right). \tag{9}$$

The log-likelihood function is obtained by

$$\log L(\mu, \sigma^2) = -\frac{n}{2} \log(2\pi\sigma^2) - \sum_{i=1}^n \log(x_i) - \frac{\sum_{i=1}^n (\log(x_i) - \mu)^2}{2\sigma^2}. \tag{10}$$

The first partial derivative of the log-likelihood function with respect to each parameter is given by

$$\frac{\partial \log L(\mu, \sigma^2)}{\partial \mu} = \frac{\sum_{i=1}^n \log(x_i)}{\sigma^2} - \frac{2n\mu}{2\sigma^2} \quad (11)$$

$$\frac{\partial \log L(\mu, \sigma^2)}{\partial \sigma^2} = -\frac{n}{2\sigma^2} + \frac{\sum_{i=1}^n (\log(x_i) - \mu)^2}{2\sigma^2}. \quad (12)$$

The maximum likelihood estimates of the log-normal distribution can be obtained by setting the equation (11) and equation (12) to zero and solving them. In this article, we apply the numerical method implemented in the fitdist function [6] of the R programming language [7] to solve them. Additionally, the same process of the maximum likelihood estimation is also applied to the Weibull and normal distribution.

#### 4. Application

We consider a data set on the student loan from 76 provinces in Thailand [8]. The observations are as follows: 2741.91, 300.19, 1796.92, 2631.28, 1266.04, 4611.43, 3015.25, 1547.00, 5934.70, 2203.04, 435.20, 736.69, 1229.82, 1535.98, 754.45, 1555.51, 6244.49, 2573.41, 2449.85, 2754.30, 410.67, 1061.18, 2319.22, 260.52, 3912.59, 316.48, 3214.35, 5782.21, 4572.23, 4196.14, 5963.00, 4101.54, 5269.02, 4299.85, 568.79, 885.12, 68495.70, 3548.35, 7371.46, 2986.10, 714.56, 369.45, 2529.06, 4122.70, 3813.95, 4290.13, 5969.66, 1440.90, 3144.55, 1600.68, 3261.87, 5624.33, 2191.82, 4431.80, 3974.68, 5800.29, 2885.74, 4533.54, 1537.04, 2280.31, 5858.06, 7244.41, 14265.75, 4594.41, 4962.60, 5357.32, 2983.66, 2768.48, 2444.76, 6705.50, 3378.76, 3453.38, 6562.34, 14217.45, 2802.44, 304.32. The mean and the standard deviation of the data set are 4319.377 and 7900.4, respectively. The log-normal, Weibull, and normal distributions are fitted to this data set. The model selection is the log-likelihood value, the value of the Akaike Information Criterion (AIC) [9], and the Kolmogorov-Smirnov (KS) goodness of fit test. The AIC is given by

$$\text{AIC} = -2 \log L + 2p, \quad (13)$$

where  $\log L$  is the log-likelihood value and  $p$  is the number of estimated parameters.

$$D_n = \sup_x |F_n(x) - F(x)|, \quad (14)$$

where  $\sup_x$  is the supremum of the set of distances and  $F_n(x)$  is the empirical distribution function.

Table 1 shows the parameter estimates, the log-likelihood value, the AIC value, and the  $p$ -value based on the KS test.

**Table 1** Parameter estimates, log-likelihood values, AIC, and  $p$ -value based on the KS test

Distribution	Estimate	Log-likelihood	AIC	$p$ -value
Weibull	$\hat{k} = 0.960$ $\hat{\lambda} = 4216.588$	-712.027	1428.054	0.077
Normal	$\hat{\mu} = 4319.377$ $\hat{\sigma} = 7848.252$	-789.411	1582.822	< 0.001
Log-normal	$\log \hat{\mu} = 7.871$ $\log \hat{\sigma} = 0.975$	-704.155	1412.312	0.1013

The  $p$ -value based on the KS test indicates that the log-normal and Weibull distributions provide adequate fit to this data set. The log-normal distribution provides the highest log-likelihood value and the lowest AIC value. The Weibull distribution provides the second highest log-likelihood value and the second lowest AIC value. The normal distribution cannot be fitted to this data set at the 5% significance level. Hence, the log-normal provides the best fit among the distributions for the student loan data.

## 5. Conclusions

In this article, we compare three distributions, the Weibull, normal, and log-normal distributions, for the student loan data. Maximum likelihood estimations of unknown parameters are obtained and the criteria for selecting distributions include the log-likelihood, AIC, and KS test are provided. The results indicate that the log-normal distribution is the best model among competitive models. When the KS statistic is considered to distributions, we can see that the normal distribution cannot be fitted to this data set at the 5% significance level. In the future study, other distributions will be investigated.

## 6. Acknowledgments

The authors would like to thank the anonymous referees for their valuable comments. The authors would also to thank the nconsci7 team and the faculty of science and technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon.

## 7. References

- [1] C. Chaiya, M. M. Ahmad. The student loan fund and the education for all in Thailand. In Education as the Driving Force of Equity for the Marginalized. *IGI Global*. (2022) 135-157.
- [2] T. Boonchai. The Study of Factors Influencing Education Loan Granting and Repayment at Rajabhat Universities in Northern Thailand. *Rajabhat Chiang Mai Research Journal*, 23(2022) 1-17.

- [3] W. Weibull. A statistical distribution function of wide applicability. *Journal of Applied Mechanics*. (1951).
- [4] J. K. Patel, C. B. Read. Handbook of the Normal Distribution. CRC Press, 1996.
- [5] N. L. Johnson, S. Kotz, N. Balakrishnan. Continuous Univariate Distributions. John Wiley & Sons, 1995.
- [6] M. L. Delignette-Muller, C. Dutang. fitdistrplus: An R package for fitting distributions. *Journal of Statistical Software*. 64(2015) 1-34.
- [7] R Core Team. (2023). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available: <https://www.R-project.org/>.
- [8] National Statistical Office Thailand. (11 June 2024). Key Statistics and Indicators. Available: [https://www.nso.go.th/nsoweb/index?set\\_lang=en](https://www.nso.go.th/nsoweb/index?set_lang=en).
- [9] H. Akaike. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*. 19(1974) 716-723.

## การวิเคราะห์วิถีเดินเที่ยวจตุจักร Chatuchak Pedestrian Paths Analysis

ณิศา สุทธิสังข์<sup>1</sup> กัญญาภา ทองนุช<sup>2</sup> อินฉิกานต์ บุญสังข์<sup>2</sup> ภควรรณ ประครองสาย<sup>2</sup>  
 นริศรา นาคเมธี<sup>3</sup> วีรวัฒน์ เชี่ยวปัญญา<sup>3</sup> นิภาพร ปัญญา<sup>3</sup> และ ธิดาวรรร คล้ายศรี<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

<sup>2</sup>สาขาวิชาวิทยาการข้อมูลและเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

<sup>3</sup>สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

\*E-mail: Thidawan.k@rmutp.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อนำเสนอวิถีเดินเท้าที่สามารถเยือน 7 จุดที่นิยมเที่ยวในเขตจตุจักร และไม่เดินซ้ำจุดเดิม และเพื่อวิเคราะห์หาวิถีเดินเที่ยวที่สั้นที่สุด นักท่องเที่ยวอาจเดินทางมาถึงและออกจากจตุจักรด้วยขนส่งมวลชนที่เร็วที่สุด ได้แก่ รถไฟฟ้าใต้ดิน MRT และ/หรือรถไฟฟ้า BTS ดำเนินงานวิจัยโดย ประเมินการระยะทางและเวลาที่ใช้เดินระหว่างสองจุดเที่ยว ด้วยโปรแกรม Google map แล้วนำข้อมูลเหล่านี้มาสร้างกราฟเดินเที่ยวจตุจักร ในรูปแบบของกราฟถ่วงน้ำหนักที่ไม่มีทิศทาง ด้วยโปรแกรม Gephi จากนั้นประยุกต์ใช้ทฤษฎีกราฟในการหาวิถีเดินเที่ยวแบบต่างๆ แล้วนำมาวิเคราะห์ ผลลัพธ์วิถีเดินเที่ยวจตุจักร พบว่า วิถีสั้นที่สุด ได้แก่ วิถีแบบที่เดินทางด้วย MRT ทั้งขามาถึงและออกจากจตุจักร มีระยะทางรวมตลอดวิถีประมาณ 4.46 กิโลเมตร ใช้เวลาเดินประมาณครึ่งชั่วโมง ในบทความวิจัยนี้ได้อภิปรายผลการวิเคราะห์วิถีเดินเที่ยวแบบอื่นๆ เพื่อเป็นทางเลือกให้กับผู้เดินทาง

**คำสำคัญ:** ทฤษฎีกราฟ วิถีที่สั้นที่สุด การวิเคราะห์วิถี เดินเที่ยวจตุจักร

### Abstract

The main goals of this research are to present outcomes of pedestrian paths that can visit 7 famous attractions in Chatuchak district and not revisit any terminals, and to analyze the paths for the shortest one. A traveler may arrive and depart Chatuchak with the fastest public transportation by MRT skytrain and/or BTS underground train. Research approaches are: Walking distances and times spent between each pair of terminations were estimated by Google map application. The data was used to construct the Chatuchak pedestrian graph in a form of an undirected weighted-graph by Gephi. Graph theory was applied to find alternative paths, and they were analyzed. The path analysis result found the shortest path is the commuting option for a round trip by MRT with the path distance about 4.46 kilometers and spent walking time about half an hour. The alternative paths analysis is discussed in this research article.

**Keywords:** Graph theory, Shortest path, Path analysis, Chatuchak walking trip



## 1. บทนำ

ตลาดนัดจตุจักร (Chatuchak Market) นิยมเรียกย่อว่า JJ Market เป็นตลาดนัดแบบเปิดใหญ่ที่สุดในโลก ตั้งอยู่ในเขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร เป็นที่รู้จักและได้รับความนิยมมาทั้งคนไทยและชาวต่างชาติ นอกจากนี้ยังมีสถานที่อื่นๆ ในเขตจตุจักรที่นักท่องเที่ยวให้ความสนใจ [1, 5] โดยได้ให้คะแนนความนิยมไว้ที่เว็บไซต์ทริปปอดเวเซอร์ [2] เรียงตามลำดับจากมากไปอย่างน้อยจำนวน 7 จุดเที่ยว โดยที่ไม่รวมถึงสถานที่ประกอบการแบบพาณิชย์ ดังนี้ (1) ตลาดนัดจตุจักร (2) ตลาดต้นไม้ (3) สวนสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ (4) สวนจตุจักร (5) ตลาดปลาจตุจักร (6) พิพิธภัณฑ์เด็กกรุงเทพมหานครแห่งที่ 1 และ (7) อุทยานผีเสื้อและแมลง รายละเอียดเกี่ยวกับสถานที่เหล่านี้ นำเสนอสรุปดังตารางที่ 1 ประกอบไปด้วยรูปภาพสถานที่เที่ยวทั้ง 7 แห่งในคอลัมน์แรก และชื่อของสถานที่พร้อมคำอธิบายแบบย่อในคอลัมน์ที่ 2 โดยเรียงลำดับตามความนิยมมากจาก (1) ถึง (7)

เนื่องด้วยการจราจรในช่วงวันหยุดของเขตพื้นที่ตลาดนัดจตุจักรและบริเวณใกล้เคียง มักติดขัดจากการเดินทางด้วยยานยนต์ โดยเฉพาะบริเวณด้านหน้าตลาดนัดจตุจักร ที่เป็นจุดเชื่อมต่อของการคมนาคมขนส่งซึ่งใกล้กับสถานีเดินรถสาธารณะ หมอชิต ดังนั้นการเดินทางด้วยรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแบบใต้ดิน MRT และแบบลอยฟ้า BTS ช่วยให้ผู้เดินทางได้สะดวก รวดเร็วกว่าทางรถ [4] ทั้งนี้จุดเที่ยวเจ็ดแห่งดังกล่าวมีอาณาเขตที่กว้างมาก หากผู้เดินทางประสงค์เดินให้ครบทุกจุดได้ภายในวันเดียว อาจกระทำได้ยากเพราะเที่ยวเหล่านี้มีพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่กลางแจ้ง ประกอบกับกรุงเทพมหานครมีอากาศร้อนอบอ้าวเกือบทั้งปี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวันหยุดสุดสัปดาห์มักมีผู้เดินทางไปมาอย่างขวักไขว่ ดังนั้น นักท่องเที่ยวควรวางแผนการเดินทางล่วงหน้า เพื่อช่วยประหยัดเวลา ให้สามารถหลีกเลี่ยงการเดินทางเข้าไปมายังจุดเดิม การเดินอ้อมด้วยระยะทางที่ไกลโดยไม่จำเป็น หรือแม้แต่การเดินทางด้วยเหตุนี้ คณะผู้วิจัยจึงวิเคราะห์เส้นทางเดินเที่ยวตลาดนัดจตุจักรและสถานที่ที่น่าสนใจในบริเวณใกล้เคียงกันนั้น เพื่อหาวิถีที่สั้นที่สุดให้เที่ยวได้ครบทุกจุดด้วยระยะทางสั้นที่สุด ไม่หลงทาง ไม่เดินซ้ำ ไม่เดินอ้อม โดยเริ่มจากการมาถึง ณ จุดต้นทาง และออกจากจตุจักร ณ จุดปลายทาง ด้วยรถไฟฟ้า ที่สถานีรถไฟฟ้า MRT สวนจตุจักร และ/หรือสถานีรถไฟฟ้า BTS หมอชิต ให้ได้เส้นทางที่ไม่เดินซ้ำจุดเที่ยวเดิม

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทดลองนี้ ได้แก่ นักท่องเที่ยวสามารถนำเส้นทางผลลัพธ์สั้นที่สุดจากงานวิจัยนี้ไปใช้ในการวางแผนเที่ยวตลาดนัดจตุจักรและจุดเที่ยวบริเวณใกล้เคียงกันเหล่านั้นได้ ช่วยย่นระยะการเดินทางให้สั้นลง สามารถเดินเที่ยวได้ครบทุกจุดในวันเดียว ประหยัดเวลาในการเที่ยว โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ *ประการแรก* เพื่อสร้างกราฟเดินเที่ยวจตุจักร (กราฟจตุจักร) จากการศึกษาข้อมูล และสำรวจเส้นทางเดินเท้าระหว่างสถานที่ทั้งเจ็ดแห่ง *ประการต่อมา* เพื่อหาวิถีเดินเที่ยวที่เป็นไปได้ในแบบต่างๆ ให้เที่ยวได้ครบทั้งเจ็ดแห่งในย่านจตุจักร และ *ประการสุดท้าย* เพื่อวิเคราะห์ และนำเสนอวิถีเดินที่สั้นสุดในการเที่ยวครบทั้งเจ็ดสถานที่ดังกล่าว

## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นำแนวคิดสำหรับสร้างข้อมูลกราฟ ทฤษฎีกราฟ และเครื่องมือจัดการกราฟ และศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดัง 2.1- 2.4

### 2.1 ข้อมูลกราฟ

ข้อมูลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหนดสำหรับสิ่งที่น่าสนใจศึกษา อาทิเช่น ให้ โหนด H, K, L, P และ E แทนสถานที่ 5 จุดที่นำเที่ยวในจังหวัดนนทบุรี เป็น *ข้อมูลกราฟ* (graph data) ประกอบไปด้วยข้อมูลของโหนด และการเชื่อมโยงระหว่างโหนดต่างๆ ข้อมูลกราฟนี้สามารถนำเสนอได้หลายรูปแบบ ดังตัวอย่างอธิบายใน 2.1.1 และ 2.1.2

ตารางที่ 1 ภาพและชื่อสถานที่ท่องเที่ยว และคำอธิบายสถานที่ท่องเที่ยวในเขตจตุจักร เรียงตามลำดับความนิยม

ภาพสถานที่ท่องเที่ยว	ชื่อสถานที่ท่องเที่ยวและคำอธิบาย
	<p><b>ตลาดนัดจตุจักร</b> เป็นตลาดขนาดใหญ่ที่สร้างขึ้นทางด้านทิศใต้ของสวนจตุจักร จัดสรรพื้นที่เพื่อรองรับผู้ค้าขายเดิมจากตลาดนัดสนามหลวงและหาบเร่แผงลอยทั่วไปในกทม. เดิมมีชื่อว่า “ตลาดนัดย่านพลโยธิน” ปัจจุบันกรุงเทพมหานครเป็นผู้รับผิดชอบแทนการรถไฟแห่งประเทศไทย ที่เดิมเคยเป็นเจ้าของที่ดิน ตลาดนัดจตุจักรมีจำนวนแผงค้าหลากหลาย แบ่งออกเป็นโครงการๆ ตามประเภทของสินค้าที่จำหน่าย ได้แก่ อาหารสำเร็จรูป อาหารสด ผักและผลไม้ เสื้อผ้า สัตว์เลี้ยง ต้นไม้ และเบ็ดเตล็ด ตลาดนัดมีหอนาฬิกาเป็นสัญลักษณ์เด่น จุดที่คนเดินเที่ยวมักนัดพบกัน [1, 5]</p>
<p>(1) ตลาดนัดจตุจักร [3]</p>	
	<p><b>ตลาดต้นไม้</b> ตั้งอยู่ในตลาดนัดจตุจักรโครงการที่ 3 และ 4 เป็นจุดศูนย์รวมจำหน่ายพันธุ์ไม้และอุปกรณ์จัดสวนที่มาจากจังหวัดต่างๆ โดยเริ่มเปิดตั้งแต่เวลาเย็นของวันอังคาร เรื่อยไปจนถึงวันพุธ เป็นที่นิยมสำหรับนักจัดสวน โดยจำหน่ายต้นไม้หลากหลาย ทั้งไม้ต่าง ไม้มงคล และไม้พอกอากาศที่เหมาะสมกับเมืองกรุงเทพมหานคร รวมทั้งปุ๋ย และของตกแต่งสวน ฯลฯ [1]</p>
<p>(2) ตลาดต้นไม้ [2]</p>	
	<p><b>สวนสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ (Queen Sirikit Park)</b> เป็นสวนสาธารณะในแบบสวนป่าทฤษีชาติเพื่ออนุรักษ์พันธุ์ไม้ และให้ประชาชนได้พักผ่อน มีพื้นที่เกือบ 200 ไร่ ตั้งอยู่บน ถนนกำแพงเพชร 2 มีเนื้อที่ติดกับสวนวชิรเบญจทัศ (สวนรถไฟ) และสวนจตุจักร สร้างขึ้นเนื่องในวโรกาสหมางมงคลเฉลิมพระชนมพรรษาสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ พระบรมราชชนนีพันปีหลวง ครบ 5 รอบ เปิดเมื่อวันที่ 19 ธันวาคม ปีพ.ศ. 2539 [1]</p>
<p>(3) สวนสมเด็จพระเจ้า [2]</p>	
	<p><b>สวนจตุจักร (Chatuchak Park)</b> เป็นสวนสาธารณะที่ตั้งอยู่บนพื้นที่ประมาณ 700 กว่าไร่ โดยเขตกรุงเทพมหานครได้จัดสร้างสวนสาธารณะแห่งนี้ขึ้นเพื่อเป็นอนุสรณ์และสิริมงคลแด่ในหลวงรัชกาลที่ 9 มีพระชนมพรรษาครบ 4 รอบ ชื่อว่า “จตุจักร” หมายถึง 4 ทิศ ได้รับการโปรดเกล้าฯ พระราชทานนามนี้จากพระเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 9 โดยมีพื้นที่ด้านตะวันออกติด ถนนพลโยธิน ทางทิศเหนือติด ถนนวิภาวดีรังสิต ทางทิศตะวันตกและทิศใต้ติดกับ ถนนกำแพงเพชร อาณาบริเวณของสวนจตุจักรนี้ติดกับสวนวชิรเบญจทัศและสวนสมเด็จพระเจ้า [1]</p>
<p>(4) สวนจตุจักร [3]</p>	
	<p><b>ตลาดปลาจตุจักร (Fish Market Chatuchak)</b> หรือที่รู้จักกันในชื่อ <b>ตลาดนัดชั้นใต้</b> หรือ <b>ตลาดปลาสวยงามจตุจักร</b> พื้นที่ของตลาดเป็นบริเวณที่ติดกับถ. กำแพงเพชร เป็นจุดรวมร้านขายปลาสวยงาม อุปกรณ์เลี้ยงปลา พรรณไม้น้ำ ราคาไม่แพง โดยร้านส่วนใหญ่จำหน่ายปลาสวยงาม ทั้งขนาดเล็ก เช่น ปลาหางนกยูง ปลากัด ไปจนถึง ปลามังกร แหล่งขายปลาสวยงาม ปลาการ์ฟ ฯลฯ และสัตว์น้ำสายพันธุ์อื่นๆ [1]</p>
<p>(5) ตลาดปลาจตุจักร [2]</p>	
	<p><b>อุทยานผีเสื้อและแมลง</b> เป็นอาคารอุทยานผีเสื้อและแมลงให้เป็นห้องเรียนแบบธรรมชาติสำหรับการศึกษารียนรู้เกี่ยวกับผีเสื้อและแมลง ตั้งอยู่ในอาณาบริเวณของสวนวชิรเบญจทัศ เพื่อเป็นแหล่งให้ประชาชนได้ศึกษา ค้นคว้า วิจัย รวบรวมข้อมูล แลกเปลี่ยนความรู้เกี่ยวกับผีเสื้อและแมลง ได้ทราบถึงวงจรชีวิต ความหลากหลายทางชีวภาพ และความสัมพันธ์ของผีเสื้อและแมลงที่มีต่อระบบนิเวศน์โดยธรรมชาติ [1]</p>
<p>(6) อุทยานผีเสื้อและแมลง [1]</p>	
	<p><b>พิพิธภัณฑ์เด็กกรุงเทพมหานครแห่งที่ 1</b> เป็นพิพิธภัณฑ์สำหรับเด็กและผู้ปกครองได้เที่ยวชม เพื่อให้เด็กไทยได้เรียนรู้อย่างเพลิดเพลิน ประกอบไปด้วยอาคาร 2 หลังแยกตามอายุของเด็กให้สอดคล้องกับพัฒนาการและศักยภาพของเด็ก ตั้งอยู่บน ถนนกำแพงเพชร ได้จัดตั้งขึ้นตามพระราชปรารถนาในสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์พระบรมราชินีนาถ ในรูปแบบของพิพิธภัณฑ์เด็กและศูนย์การเรียนรู้สำหรับเด็กแห่งแรกในประเทศไทยและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ [1]</p>
<p>(7) พิพิธภัณฑ์เด็กฯ [2]</p>	

### 2.1.1 ตารางกราฟ (graph table)

ในภาพที่ 1 (ก) แสดง ระยะทาง (d: distance) ด้วยค่า  $w$  คอลัมน์ที่ 3 ระหว่างจุดยอดต้นทาง  $u$  และ  $v$  แทนด้วย  $d = |u \rightarrow v|$  ดังแถวแรกของภาพ (ก) หมายถึง จุดยอด H อยู่ห่างจากจุดยอด K ด้วยระยะทาง 1 กิโลเมตร

### 2.1.2 เมทริกซ์ประชิด (adjacency matrix)

ข้อมูลแบบเมทริกซ์ประชิด  $[A]_{n \times n}$  ที่  $n = 4$  แสดงในภาพที่ 1 (ข) นำเสนอค่าความสัมพันธ์ประชิด (เชื่อม/เดินได้โดยตรง) ระหว่าง  $u$  และ  $v$  ด้วยค่าระยะทาง  $d$  (หรือ  $w$ ) ด้วยเลข 0 ถึง 3 โดยที่

$$[A]_{n \times n} = \begin{cases} 0 & \text{ถ้า } u \rightarrow v \text{ ไม่ประชิดกัน หรือ } u=v \\ 1-3 & \text{ถ้า } u \rightarrow v \text{ ประชิดกัน} \end{cases}$$

กล่าวคือ ถ้า  $u$  และ  $v$  เชื่อมต่อกันได้โดยตรง แล้ว ให้ถือว่า สองจุดยอดนี้ประชิดกัน และมีค่า  $d$  อยู่ระหว่าง 1 ถึง 3

ถ้า  $u$  และ  $v$  ไม่เชื่อมต่อกันได้โดยตรง แล้ว ให้ถือว่า สองจุดยอดนี้ไม่ประชิดกัน และมีค่า  $d$  เป็น 0 [7-8]

อาทิเช่น แถวแรกในภาพที่ 1 (ข) อธิบายได้ว่า จุดยอด H ประชิดกับจุดยอด K โดยอยู่ห่างกันเป็นระยะทาง 1 กิโลเมตร และ H ยังประชิดกับ S โดยห่างกันเป็นระยะทาง 3 กิโลเมตร แต่ H ไม่ได้ประชิดกับจุดยอด L และ P

$u$	$v$	$w$
H	K	1
H	S	3
K	L	1
K	P	1
P	S	2

(ก) ตาราง

	H	K	L	P	S
H	0	1	0	0	3
K	1	0	1	1	0
L	0	1	0	0	0
P	0	1	0	0	2
S	3	0	0	2	0

(ข) เมทริกซ์ประชิด

ภาพที่ 1 รูปแบบของข้อมูลกราฟ

## 2.2 ทฤษฎีกราฟ

นิยามศัพท์ทางทฤษฎีกราฟและหลักการขององค์ประกอบกราฟ ที่เกี่ยวข้องในการทดลองวิจัย ดัง 2.2.1-2.2.3 โดยใช้ ตัวอย่างกราฟในภาพที่ 2 (ก)-(ง) มาพิจารณาประกอบคำอธิบาย (หมายเหตุ ภาพ (ค) และ (ง) เป็นกราฟถ่วงน้ำหนัก เช่นเดียวกับกราฟในภาพ (ข))

### 2.2.1 กราฟไม่มีทิศทาง (Undirected graph)

กราฟไม่มีทิศทาง  $G = (V, E)$  เป็นกราฟที่ประกอบด้วย  $V(G)$  ที่  $V$  แทน Vertices เป็นเซตของจุดยอด (vertices set) และ  $E(G)$  ที่  $E$  แทน Edges เป็นเซตของเส้นเชื่อม (edges set) ที่หนึ่งเส้นเชื่อม  $e$  แทนด้วย  $u \rightarrow v$  หรือ  $e_{uv} = \{u, v\}$  เชื่อมจากจุดยอด (vertex) ต้นทาง  $u$  ไปยังจุดยอดปลายทาง  $v$  โดยไม่คำนึงถึง ลำดับที่ของคู่จุดยอด (unordered vertex pair) ดังกราฟในภาพที่ 2 (ก) แสดงให้ทราบว่า  $V(G) = \{H, K, L, P, S\}$  มี 5 จุดยอด ( $|V(G)|=n=5$ ) และ  $E(G) = \{\{H,K\}, \{H,S\}, \{K,L\}, \{K,P\}, \{P,S\}\}$  ที่มี 5 เส้นเชื่อม ( $|E(G)|=m=5$ ) [7-10]

### 2.2.2 กราฟถ่วงน้ำหนัก (Weighted graph)

กราฟถ่วงน้ำหนักแบบไม่มีทิศทาง  $G = (V, E, W)$  เป็นกราฟที่ประกอบด้วย เซตของจุดยอด  $V(G)$  เซตของเส้นเชื่อม  $E(G)$  ที่ไม่คำนึงถึงลำดับของจุดยอดคู่ และเซตของน้ำหนัก (weight set) หรือ  $W(E^G)$  ที่  $W$  แทน Weight เป็นเซตของค่าระยะทางระหว่าง 2 จุดยอดที่กำกับด้วยน้ำหนัก  $w$  โดยเส้นหนึ่งๆ  $u \rightarrow v$  แทนด้วย  $(e^w_{uv}) = \{u, v, w\}$  เชื่อมจากจุด

ยอด  $u$  ไปยังจุดยอด  $v$  ด้วยระยะทาง  $w$  ดังกราฟในภาพที่ 2 (ข) แสดงให้ทราบว่า  $V(G) = \{H, K, L, P, S\}$  ส่วน  $E(G) = \{\{H,K,1\}, \{H,S,3\}, \{K,L,1\}, \{K,P,1\}, \{P,S,2\}\}$  อันไม่คำนึงถึง ลำดับที่ของคู่จุดยอด และ  $W(G) = \{1,2\}$  [8,10]

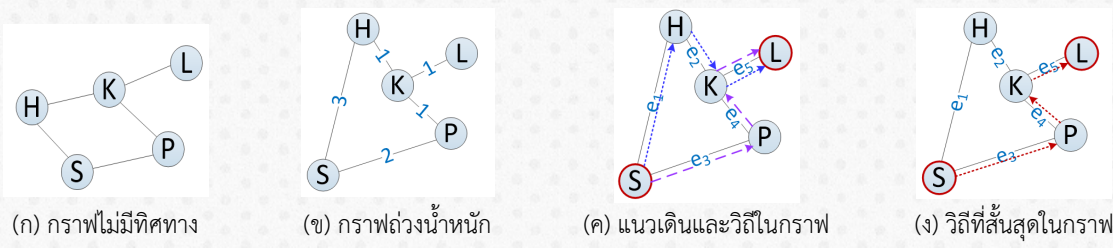
### 2.2.3 แนวเดิน (walk) และวิถี (path)

**แนวเดิน**  $u \rightarrow v \rightarrow z$  หมายถึง เส้นทางการเดินโดยเริ่มจากจุดยอด  $u$  ไปยังจุดยอดปลายทาง  $z$  โดยแนวเดินประกอบด้วยจุดยอดต้นทาง  $u$  ผ่านเส้นเชื่อม  $e_{uv}$  ต่อด้วยจุดยอดถัดไป  $v$  และผ่านเส้นเชื่อม  $e_{vz}$  ตามด้วยจุดยอดปลายทาง  $z$  ทั้งนี้อาจพบแนวเดินได้หลายแบบ ดังนั้น ผลลัพธ์แนวเดินที่เป็นไปได้สำหรับ  $S \rightarrow L$  ของกราฟในภาพที่ 2 (ค) จากจุดยอด  $S$  ไปยัง  $L$  มี 2 แนวเดิน ได้แก่  $\{S, e_3, P, e_4, K, e_5, L\}$ ,  $\{S, e_1, H, e_2, K, e_5, L\}$  (หมายเหตุว่า ยังมีแนวเดินในแบบอื่นๆ อีกมากมาย) [7]

**วิถี**  $u \rightarrow v \rightarrow z$  หมายถึง แนวเดินที่เริ่มจากจุดยอด  $u$  ไปยังจุดยอดปลายทาง  $z$  โดยแนวเดินนี้ประกอบด้วยจุดยอด ที่ต่างกันทั้งหมด แต่ทั้งนี้อาจพบวิถีได้หลายแบบ ดังนั้น ผลลัพธ์วิถีที่เป็นไปได้สำหรับ  $S \rightarrow L$  ของกราฟในภาพที่ 2 (ค) จากจุดยอด  $S$  ไปยัง  $L$  มี 2 วิถี ได้แก่  $\{S, e_3, P, e_4, K, e_5, L\}$ ,  $\{S, e_1, H, e_2, K, e_5, L\}$  พบว่าได้ผลลัพธ์เช่นเดียวกับแนวเดินทั้ง 2 แบบข้างต้น ไม่มีจุดยอดที่ซ้ำกันทั้งภายในแนวเดินแบบที่ 1 และแนวเดินแบบที่ 2 ดังนั้น แนวเดินทั้งสองสำหรับ  $S \rightarrow L$  จึงถือว่าเป็น วิถี อีกด้วย [7,10]

**ระยะทางรวมของวิถี** (D: Distance) คือ ผลรวมของน้ำหนัก  $w$  ทั้งหมดในวิถีที่ได้รับรวมสะสมไปตั้งแต่จุดยอดต้นทาง  $u$  ไปจนถึงจุดยอดปลายทาง  $v$

**วิถีที่สั้นที่สุด** (shortest path) หมายถึง วิถีแบบที่มีระยะทางรวมของวิถีน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับวิถีแบบอื่นๆ ดังกราฟภาพที่ 2 (ค) ค่า  $D_1$  ของวิถี  $S \rightarrow L$  แบบแรก ได้แก่  $\{S, e_3, P, e_4, K, e_5, L\}$  โดยระยะทาง  $w$  ของกราฟ (ค) มีค่าเท่ากับกราฟภาพ (ข) ดังนั้น  $D_1 = |e_3| + |e_4| + |e_5| = 2 + 1 + 1 = 4$  กิโลเมตร ส่วนค่า  $D_2$  ของอีกวิถี ได้แก่  $\{S, e_1, H, e_2, K, e_5, L\}$  นั้นมี  $D_2 = |e_1| + |e_2| + |e_5| = 3 + 1 + 1 = 5$  กิโลเมตร ฉะนั้น วิถีแบบแรกเป็นวิถีที่สั้นที่สุด [6-7,10]



ภาพที่ 2 ตัวอย่างกราฟ แนวเดิน วิถี และวิถีที่สั้นที่สุดในกราฟ อันเกี่ยวข้องกับการทดลองในงานวิจัยนี้

### 2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ใช้โปรแกรม Google map สำหรับสำรวจสถานที่ทั้ง 7 แห่ง รวมทั้งจุดอ้างอิงของสถานีรถไฟจำนวน 2 จุดดังกล่าว และประมาณการระยะทางมีหน่วยเป็นเมตร และเวลาเป็นนาทีก และใช้โปรแกรม Gephi 0.10 สำหรับสร้างและจัดการข้อมูลกราฟจุดจักร

### 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [6] ที่ได้วิเคราะห์เส้นทางเดินเที่ยวสถานที่เชิงประวัติศาสตร์ในเอเชียทีค และงานวิจัย [7] แสดงการหาเส้นทางที่เหมาะสมในการเดินเที่ยวจังหวัดลพบุรี โดยทั้งสองงานวิจัยนี้ได้นำทฤษฎีกราฟมาประยุกต์ใช้ในการหาเส้นทางที่สั้นที่สุด คณะผู้วิจัยได้นำมาเป็นแนวทางในการหาวิถีเดินเที่ยวเจ็ดสถานที่ในตลาดนัดจตุจักรและจุดท่องเที่ยว

บริเวณใกล้กันนี้ โดยแสดงข้อมูลด้วยภาพกราฟเส้นทางเดินเที่ยว เพื่อเป็นช่วยประหยัดเวลาในการสำรวจและค้นหาข้อมูลด้วยการใช้เส้นทางผลลัพธ์ที่สั้นสุดนี้ไปใช้วางแผนเดินเที่ยวย่านจตุจักร

### 3. ขอบเขตและเงื่อนไขในการวิจัย

ขอบเขต และเงื่อนไขของการทดลองวิจัย อธิบายใน 3.1-3.4 ดังนี้

#### 3.1 ขอบเขตของสถานที่ที่ใช้ในการทดลอง

สถานที่ในการวิเคราะห์วิถีในกราฟเที่ยวจตุจักร ได้แก่ ตลาดนัดจตุจักร และสถานที่ที่น่าสนใจบริเวณใกล้กันในเขตจตุจักร รวม 7 แห่ง ได้แก่ (1) ตลาดนัดจตุจักร (2) ตลาดต้นไม้ (3) สวนสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ฯ (4) สวนจตุจักร (5) ตลาดปลาจตุจักร (6) พิพิธภัณฑ์เด็กกรุงเทพมหานครแห่งที่ 1 และ (7) อุทยานผีเสื้อและแมลง ซึ่งการเรียงลำดับของสถานที่เที่ยวเหล่านี้ ได้เรียงตามคะแนนความนิยมจากเว็บไซต์ทริปแอดไวเซอร์ [2] ที่ใช้คะแนนการรีวิวจากผู้เยี่ยมชม (ข้อมูลสำรวจวันที่ 19 มกราคม 2565) รูปภาพและคำอธิบายจุดเที่ยวได้นำเสนอไว้ในตารางที่ 1

#### 3.2 เงื่อนไขในการเดินเที่ยว

กำหนดเงื่อนไขของการเดินเที่ยว 7 สถานที่ ไว้ว่า เดินเท้าเที่ยวให้ครบทั้ง 7 สถานที่ และต้องเดินไม่ซ้ำจุดเที่ยวที่เคยผ่านแล้ว นอกจากนี้ ระยะทางและเวลาที่ประมาณการในการทดลองนี้ ไม่รวมถึงการหยุดแวะเที่ยวชม

#### 3.3 เงื่อนไขของวิธีการเดินทางมาถึงและกลับจากจตุจักร

ในการทดลองสามารถเดินทางเริ่มต้นจากสถานีรถไฟฟ้า MRT สวนจตุจักรและ/หรือ สิ้นสุดที่ปลายทางสถานีรถไฟฟ้า BTS หมอชิต และทั้งขามาถึงและออกจากจตุจักร อาจเดินทางด้วยวิธีการเดียวกัน โดยรูปแบบของการเดินทางมี 4 ทางเลือก ดังนี้

ทางเลือกแบบที่ 1 มาด้วยรถไฟฟ้า MRT จากสถานีสวนจตุจักร เดินครบ 7 แห่ง กลับด้วยรถไฟฟ้า BTS ที่สถานีหมอชิต  
ทางเลือกแบบที่ 2 มาด้วยรถไฟฟ้า BTS จากสถานีหมอชิต เดินครบ 7 แห่ง กลับด้วยรถไฟฟ้า MRT ที่สถานีสวนจตุจักร  
ทางเลือกแบบที่ 3 มาด้วยรถไฟฟ้า MRT จากสถานีสวนจตุจักร เดินครบ 7 แห่ง กลับด้วยรถไฟฟ้า MRT ที่สถานีสวนจตุจักร  
ทางเลือกแบบที่ 4 มาด้วยรถไฟฟ้า BTS จากสถานีหมอชิต เดินครบ 7 แห่ง กลับด้วยรถไฟฟ้า BTS ที่สถานีหมอชิต

#### 3.4 วิธีการสำรวจสถานที่เที่ยวในจตุจักร

คณะผู้วิจัยได้ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวที่จัดลำดับไว้โดยทริปแอดไวเซอร์ ซึ่งสามลำดับแรกได้คะแนน 4.50 ลำดับที่ (4) ถึง (5) ได้คะแนน 4.00 และสองลำดับสุดท้ายได้คะแนน 3.50 จากคะแนนเต็ม 5.00 [2] เพื่อนำมาสรุปเป็นข้อมูลโดยย่อ สำรวจเก็บค่าระยะทาง (หน่วยเป็นเมตร) และค่าเวลาที่ใช้ในการเดินระหว่างคู่ของสถานที่ (หน่วยเป็นนาที) โดยประมาณการระยะทางและเวลาด้วยฟังก์ชันของโปรแกรม Google map นำเสนอเส้นทางเดินเท้าเที่ยวทุกจุดสถานที่ในการทดลองด้วยแผนที่ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แผนที่เส้นทางเดินเที่ยวจตุจักรที่ใช้ในการทดลอง

#### 4. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย วิเคราะห์กราฟจตุจักร มี 4 ขั้นตอน อธิบายใน 4.1-4.3

##### 4.1 สร้างข้อมูลกราฟจตุจักร

การสร้างข้อมูลกราฟแบบตาราง กราฟถ่วงน้ำหนัก และข้อมูลกราฟแบบเมทริกซ์และรายการประชิด ดัง 4.1.1-4.1.2

##### 4.1.1 กราฟจตุจักรแบบตาราง

จัดเก็บข้อมูลกราฟด้วยโปรแกรม Gephi ลงใน 2 ตารางที่เชื่อมโยงกัน ได้แก่ (1) ตารางจุดยอด (vertices table) บรรจุข้อมูลสถานที่ ได้แก่ Id แทนรหัสสถานที่ตัวเลข 0-8 (Ids จากเลข 1-7 เป็นรหัสสำหรับ 7 สถานที่เที่ยวในจตุจักร ส่วน Id เลข 0 และ 8 เป็นรหัส 2 สถานีรถไฟฟ้า) และชื่อสถานที่ (Label) ของจุดเที่ยว 7 แห่ง และชื่อสถานีรถไฟฟ้าทั้ง 2 จุด ข้อมูลในตารางนี้เรียงลำดับตามเลข Id จากน้อยไปมาก ดังภาพที่ 4 (ก) และ (2) ตารางเส้นเชื่อม (edges table) บรรจุข้อมูลเส้นเชื่อม 17 แถว โดยที่หนึ่งแถวรายการเส้นเชื่อม ประกอบด้วย ระยะทางการเดิน (distance) และเวลาที่ใช้ในการเดิน (time) จากจุดยอดต้นทาง (Source) ไปยังจุดยอดปลายทาง (Target) ซึ่งเรียงลำดับจากน้อยไปมากด้วยเลข Id จุดยอดต้นทาง แล้วตามด้วย Id จุดยอดปลายทาง ดังนำเสนอในภาพที่ 4 (ข)

Id	Label
0	Mrt สวนจตุจักร
1	ตลาดต้นไม้
2	ตลาดนัดจตุจักร
3	ตลาดปลาจตุจักร
4	พิพิธภัณฑ์เด็ก
5	สวนสมเด็จพระเจ้า
6	อุทยานผีเสื้อ
7	สวนจตุจักร
8	Bts หมอชิต

(ก) ตารางจุดยอด

Source	Target	distance	time	Type
0	1	900	5	Undirected
1	2	800	5	Undirected
2	3	1200	6	Undirected
3	4	350	2	Undirected
3	5	1400	8	Undirected
4	1	350	2	Undirected
4	2	600	4	Undirected
4	7	400	3	Undirected
4	8	550	7	Undirected
5	4	10	1	Undirected
5	6	100	1	Undirected
5	7	100	1	Undirected
6	7	500	3	Undirected
6	8	1100	7	Undirected
7	8	1000	1	Undirected
8	0	160	3	Undirected
8	1	700	9	Undirected

(ข) ตารางเส้นเชื่อม

ภาพที่ 4 กราฟจตุจักรแบบตาราง

#### 4.1.2 กราฟจุดจักรแบบเมทริกซ์

ข้อมูลกราฟจุดจักรแบบตารางที่สร้างไว้ข้างต้น นำมาสร้างกราฟในรูปแบบของเมทริกซ์ประชิด ดังแสดง

ในภาพที่ 5

	Mrt สวนจตุจักร	ตลาดต้นไม้	ตลาดนัดจตุจักร	ตลาดปลาจตุจักร	พืชรักบี้เด็ก ๆ	สวนสมเด็จ	อุทยานผีเสื้อ	สวนจตุจักร	Bts หมอชิต
Mrt สวนจตุจักร	0	900	0	0	0	0	0	0	160
ตลาดต้นไม้	900	0	800	0	350	0	0	0	700
ตลาดนัดจตุจักร	0	800	0	1200	600	0	0	0	0
ตลาดปลาจตุจักร	0	0	1200	0	350	1400	0	0	0
พืชรักบี้เด็ก ๆ	0	350	600	350	0	10	0	400	550
สวนสมเด็จ	0	0	0	1400	10	0	100	100	0
อุทยานผีเสื้อ	0	0	0	0	0	100	0	500	1100
สวนจตุจักร	0	0	0	0	400	100	500	0	1000
Bts หมอชิต	160	700	0	0	550	0	1100	1000	0

ภาพที่ 5 เมทริกซ์ประชิดนำเสนอระยะทางระหว่างสถานที่สำหรับกราฟจุดจักร

เมทริกซ์กราฟจุดจักรสร้างโดยใช้ขั้นตอนวิธี *Creating Adjacency Matrix* และหาจุดเที่ยวประชิดกับจุดเที่ยว  $u$  โดยใช้ขั้นตอนวิธี *Obtaining Adjacencies of a Vertex* ข้างล่างนี้

**Algorithm: *Creating Adjacency Matrix***  
**Input:**  $G=(V,E,W)$   
**Output:**  $\Delta[n][n]$ =adjacency matrix of  $G$

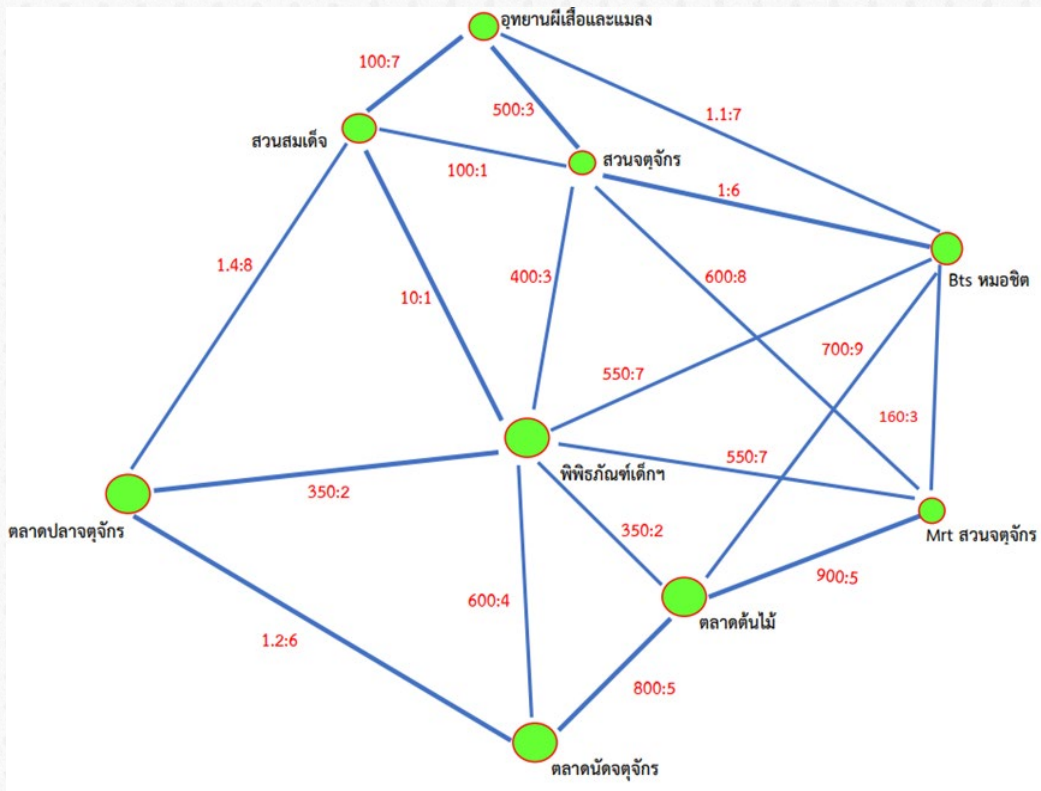
1. All elements of  $\Delta[n][n]=0$
2. For  $i=1$  To  $n$  Do
3.     for  $j=1$  to  $n$  do
4.          $\Delta[i][j]=w(e_{ij})$  of  $G$

Return  $\Delta[n][n]$

**Algorithm: *Obtaining Adjacencies of a Vertex***  
**Input:**  $A[n][n]$ =adjacency matrix of  $G=(V,E,W)$  and a vertex  $u$   
**Output:**  $Adj[u][n]$ =adjacencies of vertex  $u$

1. All elements of  $Adj[u][n]=0$
2. For  $j=1$  To  $n$  Do
3.     if  $A[u][j] \neq 0$  then
4.          $A[u][j] \rightarrow Adj[u][j]$
5.      $j+=1$

Return  $Adj[u][n]$



ภาพที่ 6 กราฟจตุจักรที่นำเสนอด้วยกราฟถ่วงน้ำหนัก

#### 4.2 นิยามกราฟจตุจักร

กำหนด กราฟจตุจักร ให้เป็น กราฟถ่วงน้ำหนักแบบไม่มีทิศทาง  $G = (V, E, W)$  นำเสนอข้อมูลระยะทางเดินระหว่างสถานที่ในกราฟจตุจักร ประกอบด้วย  $V(G) = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$  มี  $E(G) = \{\{0,1,900\}, \{1,2,800\}, \{2,3,1200\}, \{3,4,350\}, \{3,5,1400\}, \{4,1,350\}, \{4,2,600\}, \{4,7,400\}, \{4,8,550\}, \{5,4,10\}, \{5,6,100\}, \{5,7,100\}, \{6,7,500\}, \{6,8,1100\}, \{7,8,1000\}, \{8,0,160\}, \{8,1,700\}\}$  และ  $W(E^G) = \{10, 100, 160, 350, 400, 500, 550, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1400\}$  โดยที่  $e_{uv}^w = \{u,v,w\}$  เดินจาก  $u$  ไปยัง  $v$  ด้วยระยะทาง  $w$  อาทิเช่น  $e_{10}^{900} = \{0,1,900\}$  หมายถึง จาก MRT สถานีสวนจตุจักรไปยังตลาดคั่นไม้ มีระยะทางเดิน 900 เมตร โดยแสดงด้วยเมทริกซ์ในภาพที่ 5 และกราฟถ่วงน้ำหนัก ดังภาพที่ 6

#### 4.3 ทหาวีถึเดินที่สั้นสุดในกราฟจตุจักร

นำขั้นตอนวิธีของ Dijkstra [9] และขั้นตอนวิธี Breath First Search โดยใช้โครงสร้างข้อมูล Queue [8] มาประยุกต์ทหาวีถึเดินในกราฟจตุจักร ดังนำเสนอขั้นตอนวิธีด้วยชุดโค้ด *Finding Shortest Path* ในหน้าทึ่ 9 เริ่มจากจุดต้นทางหนึ่งไปย้งจุดปลายทางต่างๆ จนครบทุกสถานที่ โดยนำเข้าเมทริกซ์กราฟจตุจักร  $A[n][n]$  จุดต้นทางหนึ่ง (s) และจุดประชิดต่างๆ ของสถานที่  $u$  ดังตัวแปร  $Adj[u][\ ]$  ของเมทริกซ์ A การประมวลผลเริ่มต้นจากจุด s ไปจนครบทุกสถานที่ในกราฟด้วยการวนซ้ำบรรทัดที่ 6-26 ส่วนขั้นตอนวิธีที่วนซ้ำบรรทัดที่ 11-22 แสดงถึงผลลัพธ์วิถี paths ที่ได้มาจากแนวเดิน walks ต่างๆ และย้งแสดงถึงการผลลัพธ์ระยะทาง D ที่ได้มาจากผลบวกสะสมระยะทาง distances ของ walks ในแต่ละวิถี จากนั้นประมวลผลดังบรรทัดที่ 23-25 จึงได้ผลลัพธ์วิถีทั้งหมดด่งนำเสนอด้วยแถวลำดับ 2 มิติ  $Paths[visitedV][paths]$  และผลลัพธ์



ระยะทางของวิถีต่างๆ ด้วยแถวลำดับมิติเดียว Distances[distances] ซึ่งระยะทางของแต่ละวิถีสามารถอ้างอิงกันได้ด้วยดัชนีของแถวลำดับที่ตรงต่อกัน

---

**Algorithm: Finding Shortest Path**

---

**Input:**  $A[n][n]$  formed of  $G=(V,E,W)$ ,  $s$ =starting vertex and  $Adj[u][v]$

**Output:** Paths[visitedV][paths] and Distances[distances]

1. visitedV=  $\mathcal{V}$ ; paths=distances= $\emptyset$
2. D=0
3. All elements of Paths[][]=0
4. All elements of Distances[][]=0
5.  $s \rightarrow \text{Enqueue}(\mathcal{V})$
6. Repeat
  7. walks= $\emptyset$
  8. Dequeue( $\mathcal{V}$ ) $\rightarrow u_0$
  9. If ( $u_0 \notin \text{visitedV}$ ) Then
  10. |  $u_0 \rightarrow \text{Enqueue}(\mathcal{V})$
  11. While  $\mathcal{V} \neq \emptyset$  Do
  12. | Dequeue( $\mathcal{V}$ ) $\rightarrow u$
  13. |  $u \rightarrow \text{visitedV}$
  14. |  $u \rightarrow \text{walks}$
  15. | for each v of  $Adj[u][v]$  do
  16. | | if  $v \notin \text{visitedV}$  then
  17. | | |  $D += A[u][v]$
  18. | | |  $v \rightarrow \text{Enqueue}(\mathcal{V})$
  19. | | |  $v \rightarrow \text{visitedV}$
  20. | | |  $A[u][v] \rightarrow \text{walks}$
  21. | | walks $\rightarrow$ paths
  22. | | D $\rightarrow$ distances
  23. | distances $\rightarrow$ Distances[]
  24. | paths $\rightarrow$ Paths[][][paths]
  25. | visitedV $\rightarrow$ Paths[visitedV][][]
  26. Until  $\mathcal{V} = \emptyset$

Return Paths[visitedV][paths] and Distances[distances]

---

หลังจากนั้น นำผลลัพธ์ระยะทางรวม (Distances[distances]) ของวิถีต่างๆ (Paths[visitedV][paths]) มาแยกเป็น 4 กลุ่ม (ตามทางเลือก MRT/BTS) และจัดเรียงลำดับระยะทางรวมของวิถีจากน้อยไปมากในแต่ละกลุ่ม แล้วเลือกวิถีที่สั้นสุด 3 ลำดับแรกของแต่ละทางเลือก เพื่อนำเสนอผลลัพธ์

## 5. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ได้ผลลัพธ์วิถีเที่ยวจุดจตุจักรหลากหลายแบบ ซึ่งสามารถเดินได้ครบทั้ง 7 จุด โดยนำเสนอวิถีที่สั้นสุดจำนวน 3 ที่เดินด้วยวิถีทางเลือกแบบที่ 1 (MRT-BTS) แบบที่ 3 (MRT-MRT) และแบบที่ 4 (BTS-BTS) ดังแสดงในตารางที่ 2 แต่ทั้งนี้ทางเลือกแบบที่ 1 (MRT-BTS) อันมาถึงด้วย MRT จากสถานีสวนจตุจักร เดินครบ 7 แห่ง แล้วกลับด้วย BTS สถานีหมอชิต มีผลลัพธ์เช่นเดียวกับทางเลือกแบบที่ 2 อันมาด้วย BTS จากสถานีหมอชิต เดินครบ 7 แห่ง แล้วกลับด้วย MRT สถานีสวนจตุจักร (เพราะกราฟจุดจตุจักรนี้เป็นกราฟแบบไม่มีทิศทาง) จึงนำเสนอผลลัพธ์ไว้ด้วยกัน

ตารางที่ 2 สรุปผลลัพธ์ระยะทางรวมและระยะเวลารวมตลอดวิถี สำหรับรูปแบบการเดินทาง 4 ทางเลือกๆ ละ 3 วิถี

วิถีที่	รูปแบบของการเดินทาง 4 ทางเลือก	ระยะทาง (เมตร)	ระยะเวลา (นาที)
1	ทางเลือกแบบที่ 1: MRT-BTS	4,860	29
2	มาถึงด้วยรถไฟฟ้า MRT-สวนจตุจักร กลับด้วยรถไฟฟ้า BTS-หมอชิต	5,500	40
3	มาถึงด้วยรถไฟฟ้า BTS-หมอชิต กลับด้วยรถไฟฟ้า MRT-สวนจตุจักร	6,050	35
4	ทางเลือกแบบที่ 3: MRT-MRT	4,460	31
5	มาถึงและกลับด้วยรถไฟฟ้า MRT สถานีสวนจตุจักร	5,650	37
6		5,850	38
7	ทางเลือกแบบที่ 4: BTS-BTS	4,660	33
8	มาถึงและกลับด้วยรถไฟฟ้า BTS สถานีหมอชิต	4,760	34
9		5,850	39

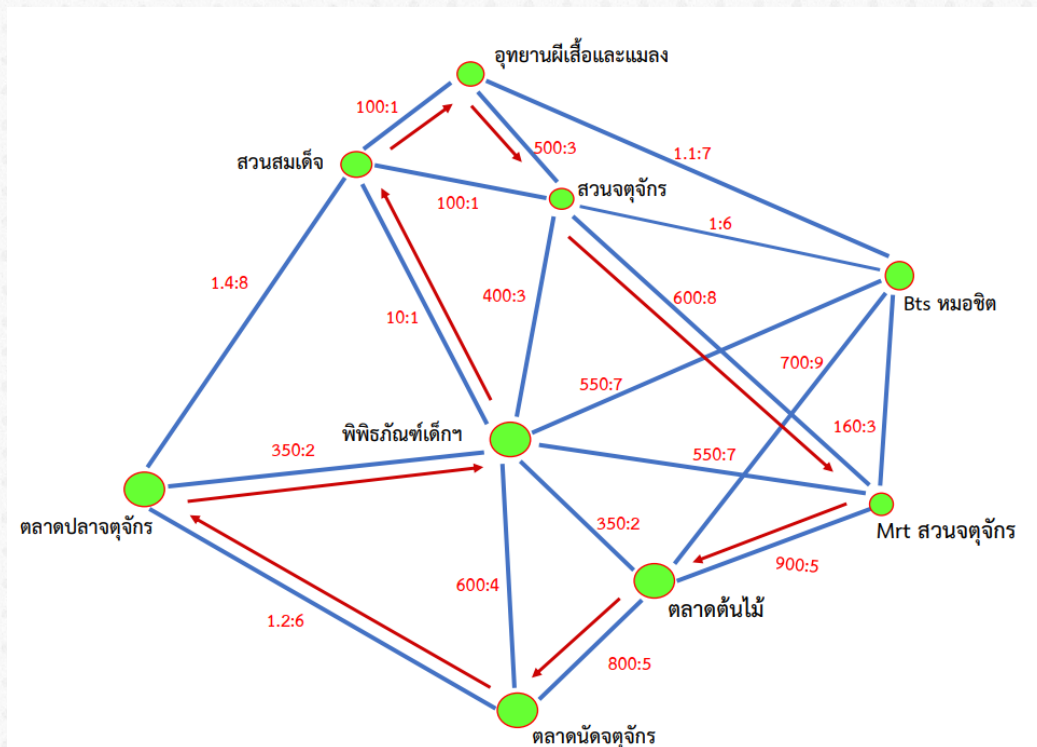
ผลลัพธ์วิถีจากตารางที่ 2 ปรากฏว่า วิถีที่ 4 เป็นวิถีที่สั้นสุด (ดูกราฟในภาพที่ 7 ประกอบ) โดยมีระยะทางรวม 4.46 กิโลเมตร ใช้ระยะเวลาเดินทางรวมตลอดวิถีประมาณ 31 นาที ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

### ทางเลือกแบบที่ 3 MRT-MRT

MRT สวนจตุจักร→ตลาดต้นไม้→ตลาดนัดจตุจักร→ตลาดกลางจตุจักร→พิพิธภัณฑ์เด็กฯ→สวนสมเด็จพระเจ้า→อุทยานผีเสื้อและแมลง  
แมลงฯ→สวนจตุจักร→MRT สวนจตุจักร

ระยะทางรวมตลอดวิถี = 900 + 800 + 1,200 + 350 + 10 + 100 + 500 + 600 = 4,460 เมตร

ใช้เวลาเดินทางตลอดวิถี = 5 + 5 + 6 + 2 + 1 + 1 + 3 + 8 = 31 นาที



ภาพที่ 7 กราฟจตุจักรด้วยวิถีที่ 4 โดยทางเลือกแบบที่ 3 (MRT-MRT)

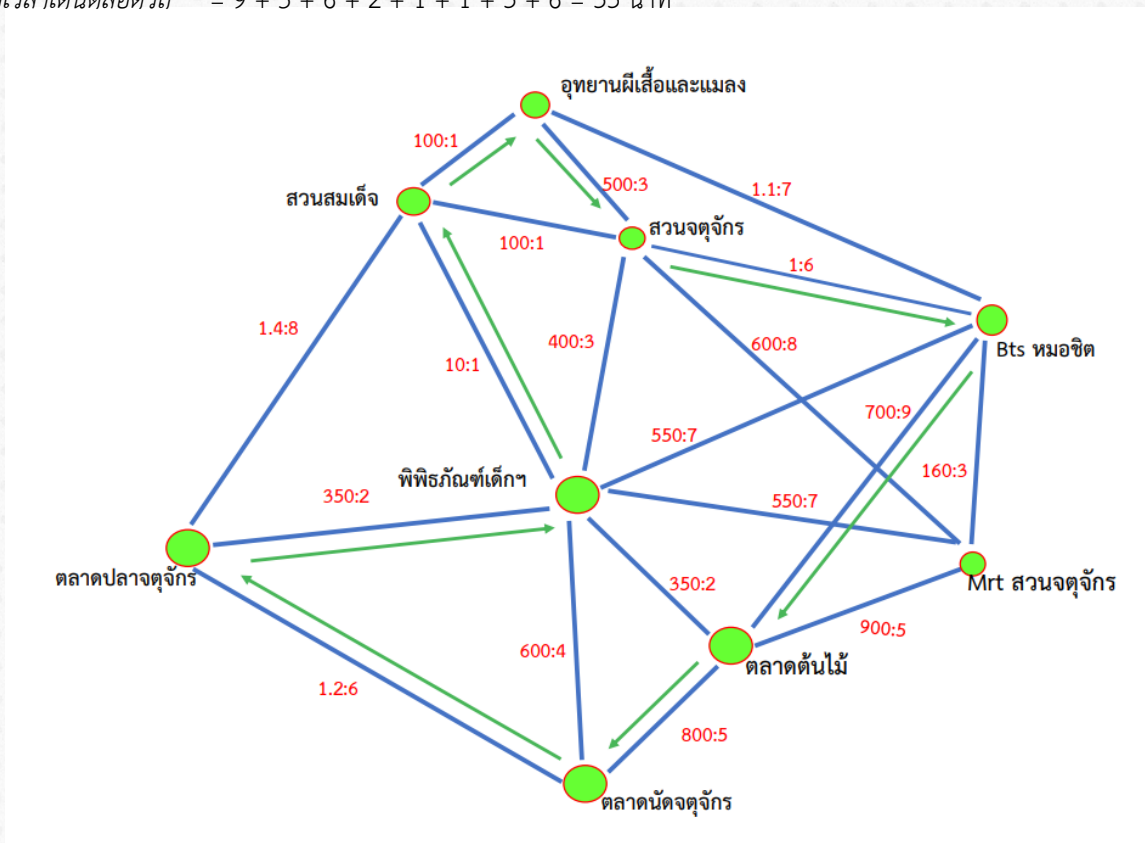
ผลลัพธ์วิธีดังตารางที่ 2 สรุปได้ว่า วิธีที่ 7 เป็นวิธีที่สั้นรองมาจาก วิธีที่ 4 ดังกล่าวข้างต้น โดยมีระยะทางรวม 4.66 กิโลเมตร ใช้ระยะเวลาเดินรวมตลอดวิธีประมาณ 33 นาที (ดูกราฟในภาพที่ 8 ประกอบ) ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

#### ทางเลือกแบบที่ 4 BTS-BTS

BTS หมอชิต→ตลาดต้นไม้→ตลาดนัดจตุจักร→ตลาดปลา→พิพิธภัณฑเด็กฯ→สวนสมเด็จพระเจ้า→อุทยานผีเสื้อและแมลงฯ→สวนจตุจักร→BTS หมอชิต

ระยะทางรวมตลอดวิธี =  $700 + 800 + 1,200 + 350 + 10 + 100 + 500 + 1,000 = 4,660$  เมตร

ใช้เวลาเดินตลอดวิธี =  $9 + 5 + 6 + 2 + 1 + 1 + 3 + 6 = 33$  นาที



ภาพที่ 8 กราฟจตุจักรด้วยวิธีที่ 7 โดยทางเลือกแบบที่ 4 (BTS-BTS)

พิจารณาผลลัพธ์ 3 วิธีสำหรับทางเลือกแบบที่ 1 MRT-BTS (และทางเลือกแบบที่ 2 BTS=MRT) จากตารางที่ 2 ทราบว่า วิธีที่ 1 เป็นวิธีที่สั้นกว่า โดยมีระยะทางรวม 4.86 กิโลเมตร ใช้ระยะเวลาเดินรวมตลอดวิธีประมาณ 29 นาที (ดูกราฟในภาพที่ 9 ประกอบ) ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

#### ทางเลือกแบบที่ 1 MRT-BTS

MRT สวนจตุจักร→ตลาดต้นไม้→ตลาดนัดจตุจักร→ตลาดปลาจตุจักร→พิพิธภัณฑเด็กฯ→สวนสมเด็จพระเจ้า→อุทยานผีเสื้อและแมลงฯ→สวนจตุจักร→BTS หมอชิต

ระยะทางรวม ของวิธีนี้ =  $900 + 800 + 1,200 + 350 + 10 + 100 + 500 + 1,000 = 4,860$  เมตร

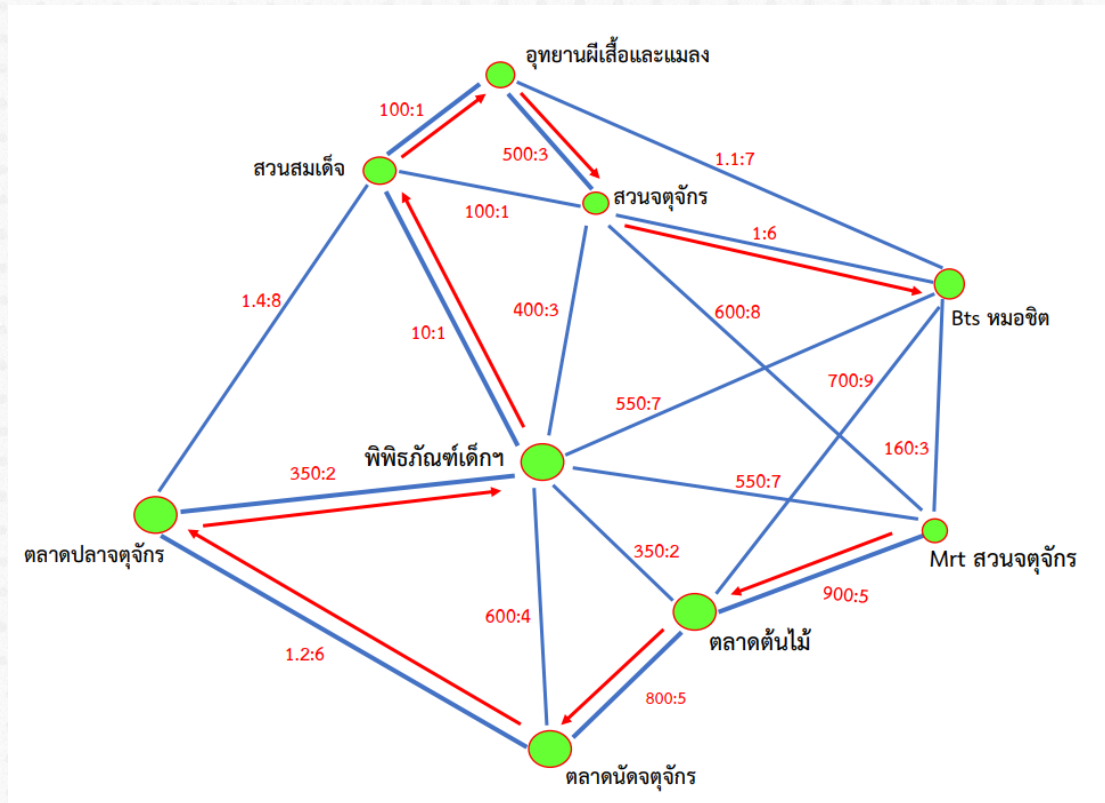
ใช้เวลาเดินตลอดวิธี =  $5 + 5 + 6 + 2 + 1 + 1 + 3 + 6 = 29$  นาที

### ทางเลือกแบบที่ 2 BTS=MRT

BTS หมอชิต→สวนจตุจักร→อุทยานผีเสื้อและแมลงฯ→สวนสมเด็จพระฯ→พิพิธภัณฑ์เด็กฯ→ตลาดปลาจตุจักร→ตลาดนัดจตุจักร  
 →ตลาดต้นไม้→MRT สวนจตุจักร

ระยะทางรวม ของวิธีนี้ = 1,000 + 500 + 100 + 10 + 350 + 1,200 + 800 + 900 = 4,860 เมตร

ใช้เวลาเดินตลอดวิธี = 6 + 3 + 1 + 1 + 2 + 6 + 5 + 5 = 29 นาที



ภาพที่ 9 กราฟจตุจักรด้วยวิธีที่ 1 โดยทางเลือกแบบที่ 1 (MRT-BTS) และแบบที่ 2 (BTS-MRT)

ถึงแม้ว่าทางเลือกแบบที่ 3 (วิธีที่ 4) และแบบที่ 4 (วิธีที่ 7) ซึ่งต่างเริ่มต้นและสิ้นสุดวิธีที่จุดโดยสารรถไฟฟ้า ณ สถานีเดียวกัน มีระยะทางรวมของวิธีที่สั้นกว่า วิธีที่ 1 ทางเลือกแบบที่ 1 และ 2 แต่วิธีที่ 1 นั้นใช้เวลาในการเดิน 29 นาที น้อยกว่าทั้งสองวิธี (ที่มีระยะทางสั้นกว่า) และหากนักท่องเที่ยวไม่ประสงค์ใช้รถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแบบเดียวกันทั้งขามาและกลับ ดังนั้น วิธีที่ 1 จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมในการเดินทาง

### 6. บทสรุปและแนวทางวิจัยในอนาคต

งานวิจัยนี้บรรลุตามวัตถุประสงค์ โดยได้นำเสนอวิธีเดินจำนวน 9 วิธีที่สั้นสุดในแต่ละกลุ่มทางเลือกทั้ง 4 แบบซึ่งสามารถเดินเที่ยวจตุจักรได้ครบทั้ง 7 แห่ง และไม่ได้เดินซ้ำจุดเที่ยวเดิม ตามนิยามของวิธีที่ใช้ในการทดลอง ผลลัพธ์ของวิธีที่สั้นสุดสำหรับทางเลือกต่างๆ นั้นคำนึงถึงระยะทางรวมเป็นหลัก ส่วนระยะเวลาการรวมในการเดินทางได้นำมาใช้ประกอบการอภิปรายผลลัพธ์เท่านั้น ผลการวิเคราะห์จากวิธีเหล่านั้น ทราบว่าวิธีที่สั้นที่สุด คือ ทางเลือกแบบที่เดินทางด้วยรถไฟฟ้าใต้ดิน MRT ทั้งขามาถึงและกลับจากจตุจักร ซึ่งวิธีนี้ ได้แก่ MRT สวนจตุจักร→ตลาดต้นไม้→ตลาดนัดจตุจักร→ตลาดปลาจตุจักร

→พิพิธภัณฑ์เด็กฯ→สวนสมเด็จพระเจ้า→อุทยานผีเสื้อและแมลงฯ→สวนจตุจักร→MRT สวนจตุจักร มีระยะทางเดินรวม 4.46 กิโลเมตร และใช้ระยะเวลาเดินรวม 31 นาที

นอกจากนี้ ยังมีวิธีแบบอื่น สำหรับนักท่องเที่ยวที่ไม่ประสงค์เดินทางด้วยรถไฟฟ้าสถานีเดียวกันทั้งขามาและกลับ ได้แก่ ทางเลือกแบบที่ 1 ด้วยวิธี MRT สวนจตุจักร→ตลาดต้นไม้→ตลาดนัดจตุจักร→ตลาดปลาจตุจักร→พิพิธภัณฑ์เด็กฯ→สวนสมเด็จพระเจ้า→อุทยานผีเสื้อและแมลงฯ→สวนจตุจักร→BTS หมอชิต หรือทางเลือกแบบที่ 2 เดินทางย้อนวิธี BTS หมอชิต→สวนจตุจักร→อุทยานผีเสื้อและแมลงฯ→สวนสมเด็จพระเจ้า→พิพิธภัณฑ์เด็กฯ→ตลาดปลาจตุจักร→ตลาดนัดจตุจักร→ตลาดต้นไม้→MRT สวนจตุจักร ใช้ระยะเวลาเดินรวม 29 นาที ดังนั้น ผู้เดินทางสามารถเลือกวิถีผลลัพธ์จากการทดลองนี้ ไปใช้ในการวางแผนการเดินทางแทนได้ ซึ่งเหตุผลของการเลือกใช้อาจมาจากปัจจัยอื่นๆ เฉพาะบุคคลมาประกอบด้วย เช่น ข้อจำกัดของเวลา สมรรถนะด้านสุขภาพของผู้เดิน ฯลฯ

งานวิจัยนี้สามารถพัฒนาต่อได้ในหลายแนวทาง อาทิเช่น อาจปรับปรุงการประมาณการระยะทาง ให้นำค่าเฉลี่ยจากการสำรวจหลายๆ ครั้งมาใช้ทำการทดลองเพื่อลดความคลาดเคลื่อน อาจปรับเงื่อนไขจำนวนสถานีในการเดินเที่ยวให้ครบทั้ง 7 จุด โดยลดจำนวนที่เที่ยววงและควรเดินเที่ยวตามลำดับที่จัดความนิยมไว้นั้น ตามความประสงค์ของนักเดินทาง กรณีที่มีเวลาจำกัด อาจนำเสนอวิธีเหล่านั้นด้วยเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อให้นักท่องเที่ยวสามารถนำไปใช้วางแผนการเดินทาง

## 7. กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์วิถีเดินเที่ยวจตุจักร ที่นำเสนอนี้ คณะผู้วิจัยได้สรุปมาจากโครงการวิทยากรข้อมูลและเทคโนโลยีสารสนเทศ ในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยากรข้อมูลและเทคโนโลยีสารสนเทศ ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้โอกาสได้เผยแพร่ผลงานวิจัย และสนับสนุนงบประมาณในการประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 7 นี้

## 8. เอกสารอ้างอิง

- [1] วิกิพีเดีย. ข้อมูลตลาดนัดจตุจักรและสถานที่เที่ยวในย่านจตุจักร. (9 มกราคม 2566). สืบค้นจาก <https://th.wikipedia.org/wiki/จตุจักร>.
- [2] เว็บไซต์ทริปแอดไวเซอร์. ภาพและข้อมูลการท่องเที่ยวในจตุจักร. (1 เมษายน 2566). สืบค้นจาก <https://th.tripadvisor.com/Attractions-g293916-Activities-zfn8308066-Bangkok.html>.
- [3] เว็บไซต์เอ็กซ์พีเดีย. ภาพสถานที่เที่ยวในจตุจักร. (1 เมษายน 2566). สืบค้นจาก <https://www.expedia.co.th/Bangkok-Chatuchak.dx6185325>.
- [4] ศันสนีย์ แสงศิลา. พฤติกรรมการเดินเท้าเพื่อเข้าใช้งานรถไฟฟ้าของชุมชนรอบสถานีรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน. งานวิจัยสาขาวิชาภูมิสถาปัตยกรรม, ภาควิชาการออกแบบและวางผังชุมชนเมือง, มหาวิทยาลัยศิลปากร. 2555.
- [5] ศุภราภรณ์ แต่งตั้งลำ. ปัจจัยที่ส่งผลต่อการท่องเที่ยวตลาดนัดสวนจตุจักรของนักท่องเที่ยวต่างชาติ. งานวิจัยคณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2562.
- [6] นภัสกร เอกปัสชา และคณะ. การวิเคราะห์เส้นทางเดินเท้าในเอเชียทีค. รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 6 (Nconsi 6), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, กรุงเทพฯ, 24 สิงหาคม 2566. 75-86.
- [7] S. Nisara, and T.Sukjit. A Walking Route to Travel in Lopburi City. Journal of Scientific and Technological Reports (AJSTR) (2022).

- [8] K. Thidawan. Analysis of Category Co-occurrence in Wikipedia Networks, PhD. Thesis, Computer Science, Birkbeck, University of London, UK. 2019.
- [9] J. A. Bondy and U.S.R. Murty. Graph Theory (Graduate Texts in Mathematics), 2008<sup>th</sup> Edition. Springer. 10 January 2008.
- [10] L. Seymour. Essential Computer Mathematics. McGraw-Hill. 1987.

## ระบบจัดการสัญญาออนไลน์ กรณีศึกษา บริษัท เคบี เจ แคปปิตอล จำกัด Online Contract Management System Case Studies of KB J Capital Co.,Ltd.

ชาญุฒิ พันธรัตน์โยธิน<sup>1</sup> ธนเดช ม่วงวงษ์<sup>1</sup> นิภาพร ปัญญา<sup>1\*</sup> ภัสสร สิงหธรรม<sup>1</sup> ธนาวุฒิ นิลมณี<sup>1</sup>  
ธิตาวรร คล้ายศรี<sup>1</sup> วีรวัฒน์ เขียวปัญญานันท์<sup>1</sup> อุดมเดชา พลเยี่ยม<sup>2</sup> ธนาพร บุญชู<sup>2</sup>  
อัญชญา ชัตติยะวงศ์<sup>2</sup> และ ดวงฤทัย นิคมรัฐ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

<sup>2</sup> ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

<sup>3</sup> สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถ.พิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กทม. 10800

\*E-mail: nipaporn.p@mutp.ac.th

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และออกแบบระบบจัดการสัญญาออนไลน์ กรณีศึกษา บริษัท เคบี เจ แคปปิตอล จำกัด และนำมาพัฒนาในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อให้ระบบมีความสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำ และมีความสะดวกสบายในการใช้งาน มีการทดสอบฟังก์ชันการทำงานของระบบจัดการสัญญาออนไลน์ กรณีศึกษา บริษัท เคบี เจ แคปปิตอล จำกัด เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพในการใช้งานให้มากที่สุด และกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการประเมินการวิจัยครั้งนี้ได้จากการคัดเลือกแบบสุ่มครึ่งใจจากแผนกที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการใช้งาน จำนวน 20 คน ได้ใช้โปรแกรมฟิกมา ในการออกแบบเว็บไซต์ เพื่อให้มีความสวยงาม สะดวกสบายต่อการทำงาน ใช้ไมโครซอฟท์ พาวเวอร์ แพลตฟอร์ม ซึ่งเป็นชุดของซอฟต์แวร์ที่ช่วยวิเคราะห์ข้อมูล สร้างกระบวนการยื่นคำขอและการอนุมัติ สร้างเว็บแอปพลิเคชัน และใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ในการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อระบบจัดการสัญญาออนไลน์ โดยการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เพื่อหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า ค่าเฉลี่ยมากที่สุดในด้านการใช้งานเว็บ คือ มีเมนูต่าง ๆ ใช้งานง่าย ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.90 รองลงมาในด้านการออกแบบ คือ เว็บมีการออกแบบที่สวยงาม ทันสมัย ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.80 ตามลำดับ

**คำสำคัญ:** เว็บแอปพลิเคชัน สัญญาออนไลน์ สินเชื่อ

### Abstract

The purpose of this research is to analyze and design an online contract management system. A case study of KBJ Capital Co., Ltd. and developed it in the form of a web application to ensure that the system has the ability to function accurately and is comfortable to use. The functionality of the online contract management system has been tested. Case study of KBJ Capital Co., Ltd. to make the system as efficient as possible. And the sample used in this research evaluation was obtained from voluntary selection from departments involved in the implementation. of 20 people who used Figma to design the website. To be beautiful Comfortable to work Use the Microsoft Power Platform, a suite of software that

helps analyze data. Create application and approval processes Create a web application and use statistical packages.

To evaluate user satisfaction with the development of an online contract management system by analyzing statistical data to find the mean and standard deviation. The results showed that the most average in terms of web usage is that there are various menus that are easy to use. The average value is 4.90, followed by the design of the website fashionable. The average value is 4.80 respectively.

**Keywords:** Application, Online contract, Loan

## 1. บทนำ

การจัดทำ และการจัดเก็บเอกสารสัญญาต่าง ๆ แต่เดิมนั้นจะต้องเขียนเอกสารต่าง ๆ ด้วยลายมือทั้งสิ้น ไม่ว่าจะเป็นการทำสัญญาว่าจ้างงาน การแจ้งข่าวสาร รวมไปถึง การประกาศต่าง ๆ จำเป็นที่จะต้องได้รับการดูแล จัดการ จัดเก็บ เพื่อให้เอกสารสัญญาต่าง ๆ สามารถถูกเรียกขึ้นมาใช้งาน การค้นหาเอกสารสามารถทำได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว สิ่งเหล่านี้จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้ทั้งคน เวลา และสถานที่ในการจัดเก็บ ดังนั้น ในโครงการวิจัยนี้ จึงได้มีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบเทคโนโลยีสารสนเทศขึ้นมาช่วยในการทำงาน จากเดิมที่ทำงานในรูปแบบของกระดาษ ไปเป็นการทำงานในรูปแบบของไฟล์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อช่วยให้การจัดการงานทางด้านเอกสาร สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีความสะดวกรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

การจัดการเอกสาร ให้มีความพร้อมต่อการนำออกมาใช้งาน ง่ายต่อการค้นหา เป็นสิ่งสำคัญกับทุกๆ บริษัท หรือทุกๆ ธุรกิจ เนื่องจากเอกสารนั้นเป็นสิ่งที่ใช้ในการ จัดเก็บข้อมูล ข่าวสารต่าง ๆ ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องมีการจัดการกับเอกสารที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก การนำเอาเทคโนโลยีและสารสนเทศเข้ามาช่วยประยุกต์ใช้งาน ในการจัดเก็บเอกสารให้อยู่ในรูปแบบของเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ และเป็นศูนย์กลางในการจัดเก็บ รวบรวม และกระจาย ข้อมูลข่าวสาร ที่มีประสิทธิภาพ

ปัจจุบันทางแผนกกำกับธุรกิจและกฎหมาย (Compliance & Legal) แผนกบัญชีและบริหารการเงิน (Accounting & Treasury) ของบริษัท เคบี เจ แคปปิตอล มีการจัดทำสัญญาด้วยเอกสารเป็นจำนวนมาก แต่การจัดเก็บเอกสารยังคงเป็นแบบเดิม ทำให้การค้นหา เป็นไปด้วยความล่าช้า และอาจเกิดข้อผิดพลาดในการค้นหาเอกสารไม่พบได้ จากประเด็นปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีความต้องการที่จะปรับปรุงแก้ไข กระบวนการจัดเก็บข้อมูลเอกสารสัญญาของแผนกต่าง ๆ ภายในบริษัท ของแต่ละแผนก เช่น ข้อมูลสัญญา วันที่สิ้นสุดสัญญา และไฟล์สัญญาที่ได้ทำการเซ็นเอกสารแล้ว เพื่อให้เอกสารต่าง ๆ มีการจัดเก็บอย่างเป็นระบบ สร้างการค้นหาข้อมูลสัญญา และการเชื่อมโยงเอกสารต่าง ๆ สามารถตรวจสอบและแจ้งเตือนสัญญาที่กำลังจะหมดอายุหรือหมดอายุแล้วได้

## 2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

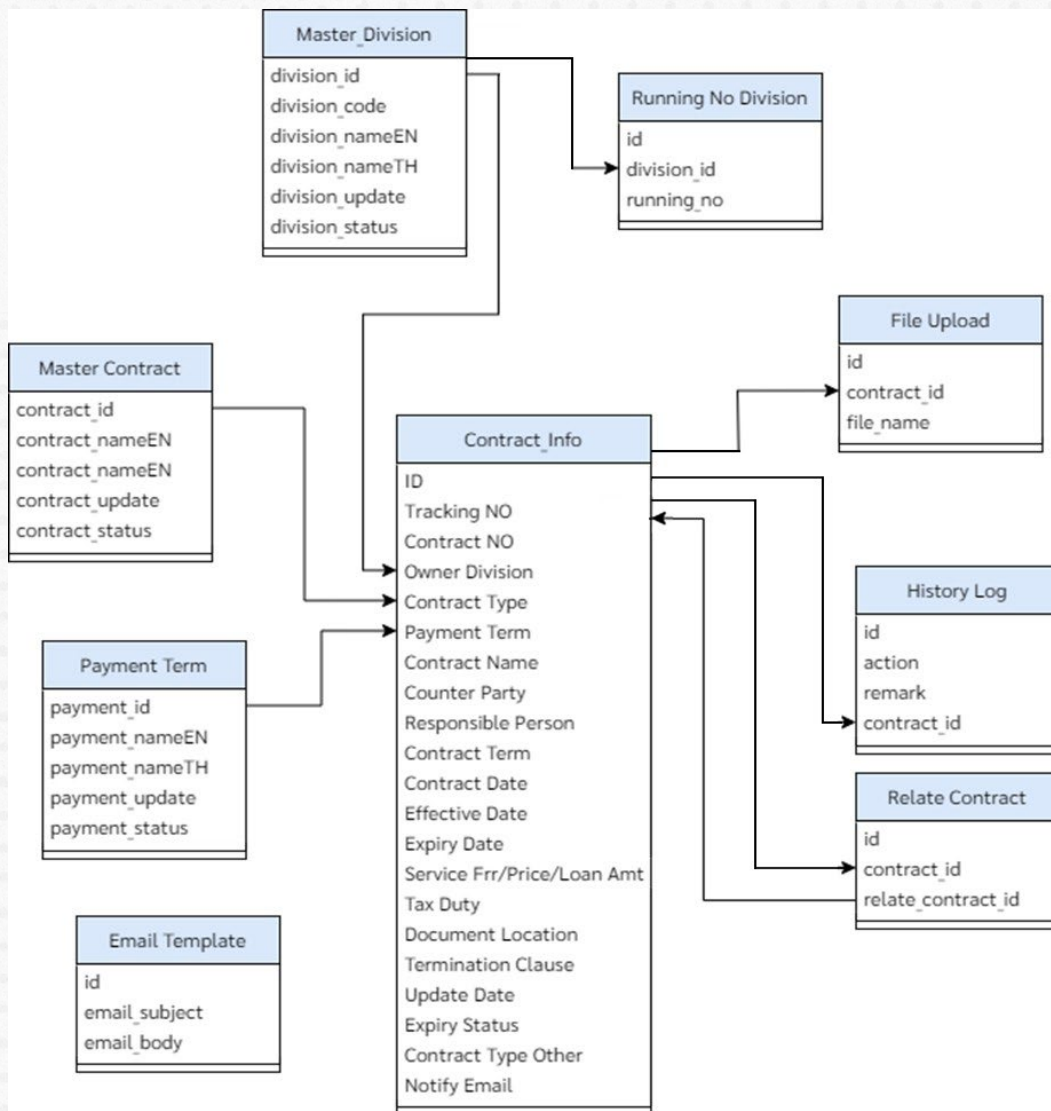
ระบบจัดการสัญญาออนไลน์ [1] หรือที่เรียกว่า (e-Contract) เป็นระบบที่จะช่วยให้องค์กรสัมพันธ์โลกใหม่แบบไร้กระดาษและก้าวเข้าสู่ยุคดิจิทัล โดยสามารถดำเนินการเพิ่มสัญญาผ่านทางออนไลน์ได้อย่างสะดวก รวดเร็วและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานมากยิ่งขึ้น ช่วยลดกระบวนการทำงานที่ซ้ำซ้อนระหว่างแผนกหรือในแผนกเดียวกัน อีกทั้งยังช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็น เช่น ค่ากระดาษ ค่าการพิมพ์ ค่าการรับ-ส่งเอกสาร เป็นต้น โดยระบบจัดการสัญญาออนไลน์เป็นกระบวนการตั้งแต่การจัดทำและนำส่งเอกสารในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ การเซ็นสัญญาด้วยการลงลายมือชื่อดิจิทัล ซึ่งมีหลักฐานดิจิทัลต่าง ๆ ที่กฎหมายรองรับไว้ในตัวสัญญา หลักการของการออกแบบ Web-based Application [2] เป็นขั้นตอนที่จะนำข้อมูลและแผนที่วางไว้ไปปฏิบัติ ด้วยการจัดพิมพ์เนื้อหา กำหนดการเชื่อมโยงและคุณลักษณะอื่นที่ต้องใช้ในเว็บ การออกแบบจะเน้นที่การจัดหน้าจอของเว็บให้สอดคล้องกันอีกทั้งยังไม่ลืมความสวย และระมัดระวังปัญหาต่าง ๆ ในการ



ออกแบบ เลือกเครื่องมือที่จะใช้พัฒนา หลักสำคัญในการออกแบบและสร้างเว็บคือ กำหนดจุดประสงค์เว็บไซต์ โดยวางเป้าหมายของตามจุดประสงค์ที่ต้องการของผู้ใช้งาน วางโครงสร้างเว็บไซต์ กำหนดโครงสร้างว่าทั้งหมดมีกี่เว็บเพจ แต่ละเว็บเพจมีเนื้อหาอะไรบ้าง ควรเขียนเป็นแผนผังเว็บไซต์ออกมาบนกระดาษหรือซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการออกแบบ เพื่อง่ายต่อการนำไปใช้งานในขั้นตอนถัดไป ออกแบบหน้าตาเว็บ เป็นขั้นตอนในการลงมือสร้างเว็บเพจแต่ละหน้าตามที่ได้ออกแบบไว้คือนำแนวคิดที่วางไว้มาออกแบบเว็บไซต์ (Concept to Concept Design) ไม่ว่าจะเป็นการเลือกธีม (Theme) แนวไหน คำาโครง (Layout) แบบไหน การเลือกโทนสีจำนวนสีที่ออกแบบแม้กระทั่งการเลือก ชนิด ขนาด สีของตัวอักษร เป็นต้น

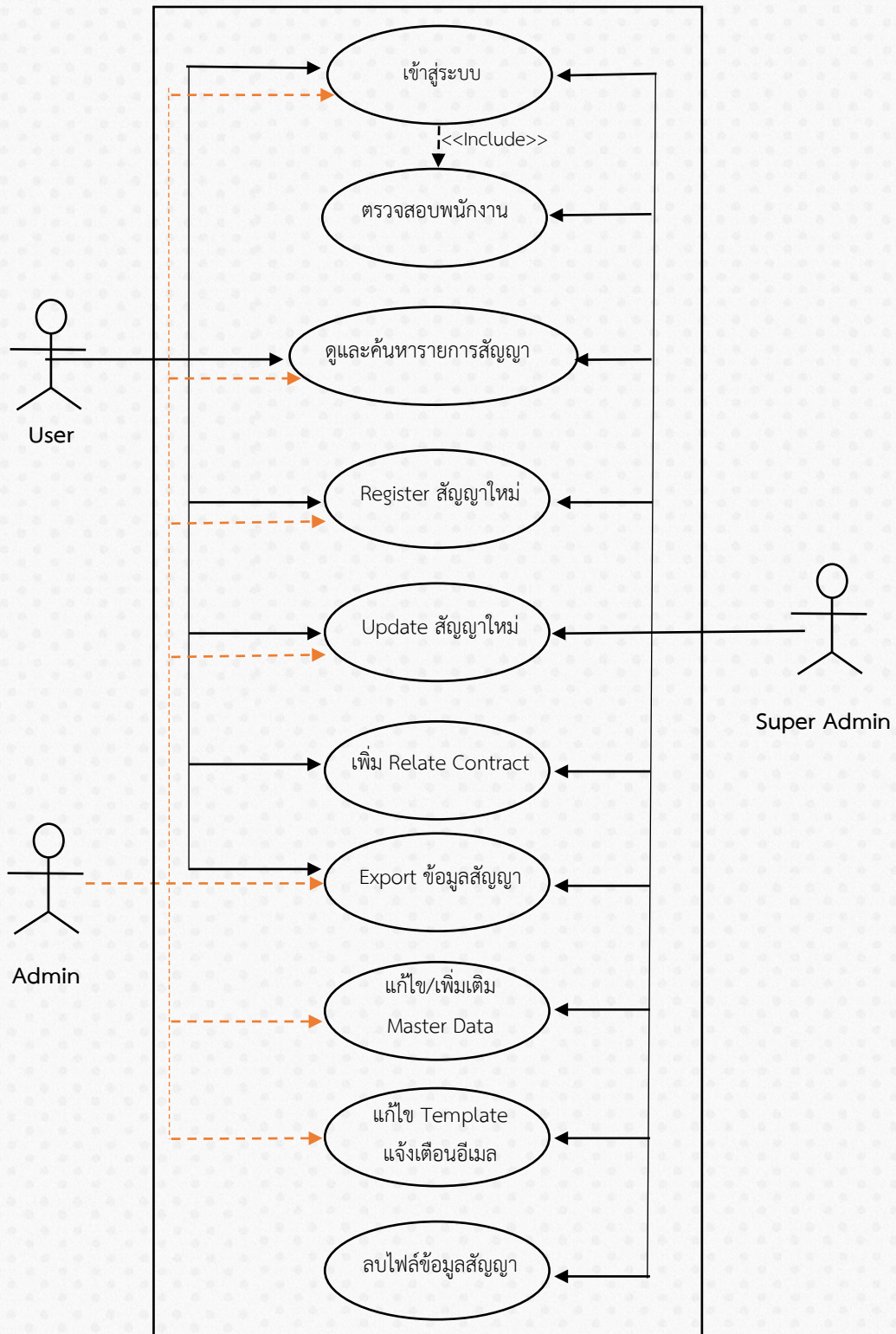
## 2.1 โครงสร้างของคลาสไดอะแกรม

คณะผู้วิจัยได้รวบรวมความต้องการของผู้ใช้งานที่เกี่ยวข้อง นำมาวิเคราะห์และออกแบบระบบเพื่อการพัฒนาและออกแบบส่วนติดต่อประสานงานกับผู้ใช้งานระบบ โดยแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของคลาสไดอะแกรมอินเตอร์เฟซ (Interface) และความสัมพันธ์ (Relationship) ระหว่างคลาสต่าง ๆ ซึ่งแผนภาพที่แสดงนี้ เป็นแผนภาพที่สัญลักษณ์ของคลาสไดอะแกรม ที่จะอธิบายถึงคุณสมบัติ (Attribute) และการดำเนินการ (Operation/Method) ของระบบจัดการสัญญาออนไลน์ กรณีศึกษา บริษัท เคบี เจ แคปปิตอล จำกัด



ภาพที่ 1 ภาพแสดงคลาสไดอะแกรมระบบจัดการสัญญาออนไลน์  
กรณีศึกษา บริษัท เคบี เจ แคปปิตอล จำกัด

จากภาพที่ 1 สามารถอธิบายถึงกระบวนการทำงานต่าง ๆ ระบบจัดการสัญญาออนไลน์ กรณีศึกษา บริษัท เคบี เจ แคมป์ตอล จำกัด เพื่อแสดงโครงสร้างของระบบ



ภาพที่ 2 แผนภาพยูสเคสไดอะแกรมระบบจัดการสัญญาออนไลน์  
กรณีศึกษา บริษัท เคบี เจ แคมป์ตอล จำกัด

## 2.2 คุณสมบัติเว็บแอปพลิเคชัน

ความเป็นมิตรกับผู้ใช้ (User-Friendly) การอำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้ที่เข้ามาใช้งาน หากเว็บไซต์ของเรามีความซับซ้อนมากเกินไป ก็มีโอกาสสูงที่ผู้ใช้งานของเราจะไม่ถูกนำมาใช้งาน ถ้าคุณต้องการให้เว็บไซต์ของคุณใช้งานง่าย คุณต้องวางโครงสร้างเว็บไซต์ให้เป็นระเบียบ จัดหมวดหมู่ให้ชัดเจนหลังจากทำเว็บไซต์แล้ว ลองทดสอบเว็บไซต์ แบ่งให้คนในทีมหรือคนรอบข้างดู และนำคำแนะนำที่ได้มาพัฒนาและปรับใช้ เพื่อให้ได้เว็บแอปพลิเคชันจัดการสัญญาออนไลน์ที่ใช้งานง่ายที่สุด

2.2.1 ระบบค้นหา (Search & Filter) ถือเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับระบบจัดการสัญญาออนไลน์ เพราะเนื่องจากสัญญาจำนวนมาก พีเจอร์นี้จะช่วยให้ผู้ใช้งานตามหาสัญญาที่ต้องการในเว็บไซต์ได้ง่ายและรวดเร็วมากขึ้น

2.2.2 การแจ้งเตือนผ่านอีเมล เป็นอีกหนึ่งฟังก์ชันที่สำคัญในระบบจัดการสัญญาออนไลน์ เพราะเรื่องของเวลามักจะเกี่ยวข้องกับสัญญาเสมอ หากสัญญาที่กำลังจะหมดอายุ หรือสัญญาที่หมดอายุแล้วต้องมีการแจ้งเตือนไปที่อีเมลของผู้ใช้งานเว็บไซต์เพื่อให้ผู้ใช้งานได้ทราบถึงปัญหาอย่างทันถ่วงที

2.2.3 การเพิ่ม/แก้ไขสัญญา หากไม่มีฟังก์ชันนี้จะไม่สามารถเกิดเป็นระบบจัดการสัญญาออนไลน์ ได้เลยเพราะเว็บไซต์ที่เกี่ยวกับสัญญานั้นจะต้องมีฟังก์ชันนี้เพื่อให้บรรลุตามจุดประสงค์ของเว็บไซต์นั่นเอง

2.2.4 ระบบการล็อกอิน (Log-in) เป็นฟังก์ชันที่สามารถระบุตัวพนักงานที่เข้ามาใช้งานเว็บไซต์ได้เพื่อให้ง่ายต่อการตรวจสอบหากเกิดปัญหาหรือการแก้ไข

## 2.3 เทคโนโลยีที่นำมาใช้

2.3.1 ไมโครซอฟท์ พาวเวอร์แอป (Microsoft PowerApps) [3] คือ ซอฟต์แวร์เครื่องมือในการพัฒนาแอปพลิเคชัน ทำงานร่วมกับพาวเวอร์ ออโตเมท (Power Automate), พาวเวอร์ บีไอ (Power BI) เป็นส่วนหนึ่งในไมโครซอฟท์ พาวเวอร์แพลตฟอร์ม (Microsoft Power Platform)

2.3.2 ไมโครซอฟท์ แชร์พอยท์ (Microsoft SharePoint) [3] เป็นแพลตฟอร์มในรูปแบบของเว็บไซต์ ที่ใช้สื่อสารแลกเปลี่ยน ของคนทำงานร่วมกันในองค์กร ทำหน้าที่ทั้งเชื่อมต่อระบบการจัดการ (Content Management System) ซึ่งทำหน้าที่เป็นเสมือนฐานข้อมูล (Database) และยังมีเอกสารที่บริหารจัดการไฟล์และโฟลเดอร์ต่าง ๆ และยังแชร์และกำหนดสิทธิ์ในการใช้งานได้อีกด้วย

2.3.3 ไมโครซอฟท์ พาวเวอร์ ออโตเมท (Microsoft Power Automate) [3] เป็นซอฟต์แวร์กลุ่ม (Robotic Process Automation: RPA) เป็น (Cloud-Native RPA) ใช้สำหรับสร้างและพัฒนาบอทด้วยเทคโนโลยี (Low-Code Platform) ทำงานได้ดีกับไมโครซอฟท์ 365 พร้อม API และ AI Builder ยังสามารถสร้างงานอัตโนมัติ (Automation) เชื่อมโยงกับแอปพลิเคชัน, เซอร์วิส และ API ต่าง ๆ เพื่อควบคุม สั่งการ ตามกระบวนการที่กำหนด ตามช่วงเวลาที่ต้องการได้

2.3.4 ฟิกมา (Figma) [4] เป็นเครื่องมือออกแบบเว็บไซต์ หรือ แอปพลิเคชันต่าง ๆ ช่วยออกแบบ (UX/UI) โดยสามารถใช้งานได้ผ่านทางเว็บเบราว์เซอร์ ช่วยให้ทำงานได้ง่ายขึ้น

## 3. ผลการดำเนินงานวิจัยและอภิปรายผล

ผลการดำเนินงานวิจัยและประเมินผลระบบจัดการสัญญาออนไลน์ อภิปรายในหัวข้อ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ ดังนี้

### 3.1 ผลการดำเนินงานระบบจัดการสัญญาออนไลน์

การออกแบบระบบจัดการสัญญาออนไลน์ กรณีศึกษา บริษัท เคบี เจ แคปปิตอล จำกัด การใช้งานของระบบจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้ User, Admin และ Super Admin ซึ่งแต่ละส่วนจะมีรายละเอียดในการเข้าไปใช้งาน ดังต่อไปนี้

### ส่วนที่ 1 ส่วนการทำงานสำหรับ User

- สามารถดูและค้นหารายการสัญญาภายในระบบจัดการสัญญาออนไลน์ (ภายในแผนกตนเอง)
- สามารถลงทะเบียนสัญญาเข้าไปในระบบ (Registration)
- สามารถอัปเดตข้อมูลสัญญา (Update)
- สามารถเพิ่มสัญญาที่เกี่ยวข้อง (Relate)
- สามารถส่งออกข้อมูลสัญญาจากหน้า “Contract List” (Export)

### ส่วนที่ 2 ส่วนการทำงานสำหรับ Admin

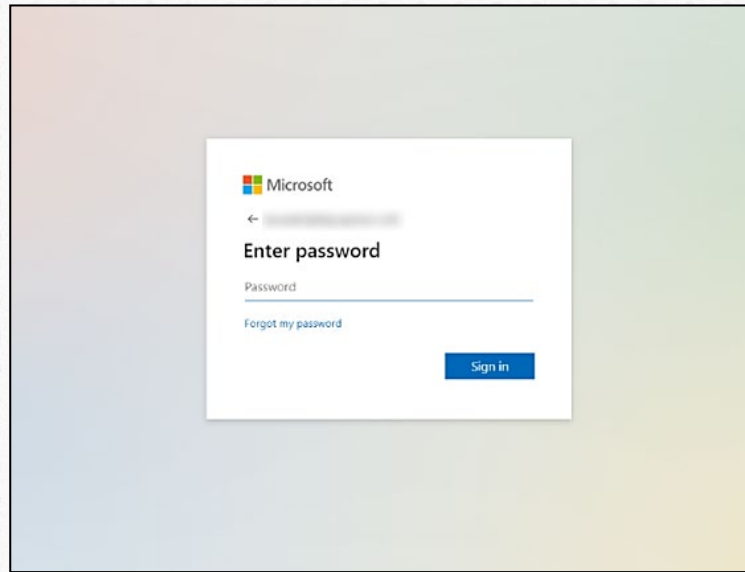
- สามารถดูและค้นหารายการสัญญาภายในระบบจัดการสัญญาออนไลน์ (ทั้งหมดภายในระบบ)
- สามารถลงทะเบียนสัญญาเข้าไปในระบบ (Registration)
- สามารถอัปเดตข้อมูลสัญญา (Update)
- สามารถเพิ่มสัญญาที่เกี่ยวข้อง (Relate)
- สามารถส่งออกข้อมูลสัญญาจากหน้า “Contract List” (Export)
- สามารถแก้ไข/เพิ่มเติม Master Data ( Payment Term , Owner Division , Contract Type )
- สามารถแก้ไขเพิ่มเติมแจ้งเตือนอีเมลสำหรับสัญญาหมดอายุและใกล้หมดอายุ

### ส่วนที่ 3 ส่วนการทำงานสำหรับ Super Admin

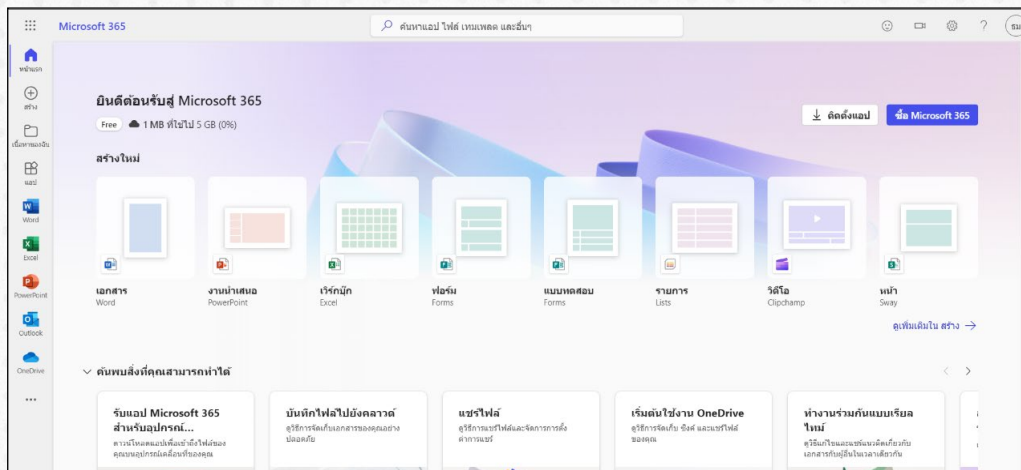
- สามารถดูและค้นหารายการสัญญาภายในระบบจัดการสัญญาออนไลน์ (ทั้งหมดภายในระบบ)
- สามารถลงทะเบียนสัญญาเข้าไปในระบบ (Registration)
- สามารถอัปเดตข้อมูลสัญญา (Update)
- สามารถเพิ่มสัญญาที่เกี่ยวข้อง (Relate)
- สามารถส่งออกข้อมูลสัญญาจากหน้า “Contract List” (Export)
- สามารถแก้ไข/เพิ่มเติม Master Data ( Payment Term , Owner Division , Contract Type )
- สามารถแก้ไขเพิ่มเติมแจ้งเตือนอีเมลสำหรับสัญญาหมดอายุและใกล้หมดอายุ
- สามารถลบข้อมูลสัญญาในระบบ

โปรแกรมที่ใช้ในการดำเนินโครงการระบบจัดการสัญญาออนไลน์ ได้แก่ Figma, Draw.io, Microsoft Power Platform ได้แก่ Power Apps, Share Point, Automate

เนื่องด้วยระบบจัดการสัญญาออนไลน์ถูกพัฒนาขึ้นบน Microsoft Power Apps ผู้ใช้งานจึงต้องเข้าสู่ระบบ (Sign in) ผ่าน Microsoft Office 365 เพื่อใช้งานระบบการจัดการสัญญาออนไลน์ซึ่งผู้ใช้งานจะต้องเป็นพนักงานบริษัท เคบี เจ แคมป์ทอล จำกัด



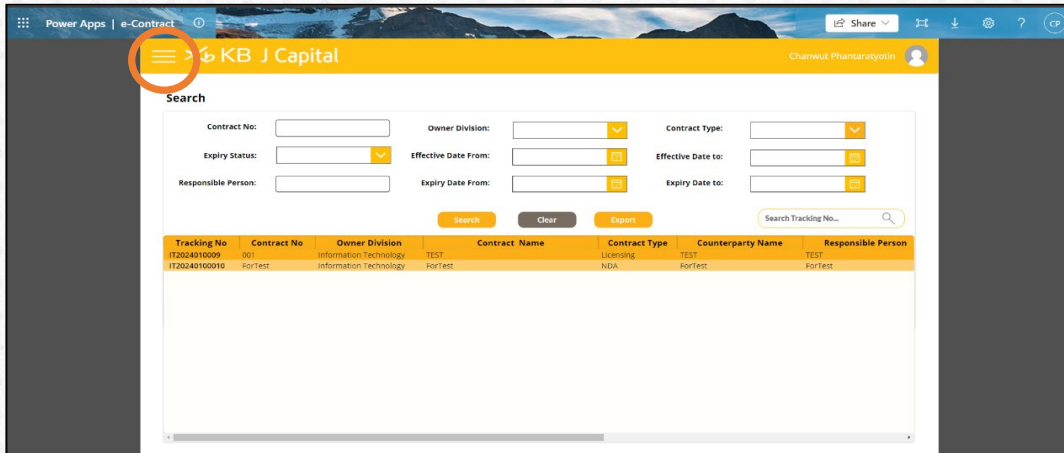
ภาพที่ 3 ภาพหน้าจอ การเข้าสู่ระบบ



ภาพที่ 4 หน้าหลักของไมโครซอฟท์ 365

การเข้าใช้งานระบบจัดการสัญญาออนไลน์ผ่านไมโครซอฟท์ 365 หากเข้าสู่ระบบไม่ได้มีสาเหตุ 2 อย่าง สาเหตุแรก ไม่มีอีเมลที่เป็นของบริษัท สามารถทำการแก้ไขด้วยการแจ้งเรื่องทางฝ่ายไอที เพื่อขออีเมลพนักงานสำหรับใช้งาน หรืออีกสาเหตุหนึ่ง คือลิมิตรหัสในอีเมลของพนักงาน สามารถทำการแก้ไขด้วยการแจ้งเรื่องทางฝ่ายไอทีขอเปลี่ยนรหัสอีเมล เนื่องจากการลิมิตรหัสผ่าน ฝ่ายไอทีจะส่งลิงค์ในการเข้าใช้งานระบบจัดการสัญญาออนไลน์มาทางอีเมล และผู้ใช้งานจะต้องเข้าสู่ระบบไมโครซอฟท์ 365 ให้เรียบร้อยจึงจะเข้าใช้งานระบบจัดการสัญญาออนไลน์ได้

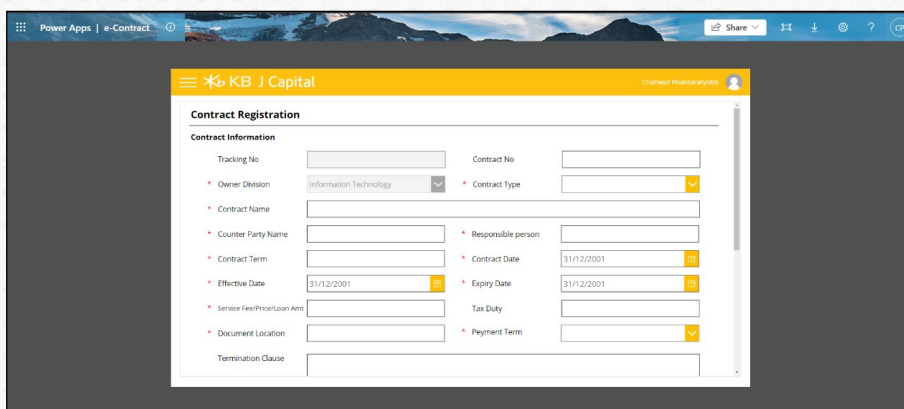
## ส่วนที่ 1 ส่วนการทำงานสำหรับ User



## ภาพที่ 5 หน้าหลักของระบบจัดการสัญญาออนไลน์

หน้าหลักของระบบจัดการสัญญาออนไลน์จะแสดงรายการสัญญาโดยมีรายละเอียด

1. รันนัมเบอร์ของสัญญา (Tracking No)
2. หมายเลขสัญญา (Contract No)
3. แผนกเจ้าของสัญญา (Owner Division)
4. ชื่อประเภทสัญญา (Contract Name)
5. ประเภทสัญญา (Contract Type)
6. ชื่อคู่สัญญา (Counterparty Name)
7. ชื่อผู้รับผิดชอบสัญญา (Responsible Person)
8. วันที่ทำสัญญา (Contract Date)
9. วันที่เริ่มต้นสัญญา (Effective Date)
10. วันที่สิ้นสุดสัญญา (Expire Date)
11. จำนวนเงินที่ทำสัญญา (Service fee/Price/Loan)
12. เงื่อนไขการชำระเงิน (Payment Term)
13. สถานะของสัญญา (Expiry Status)

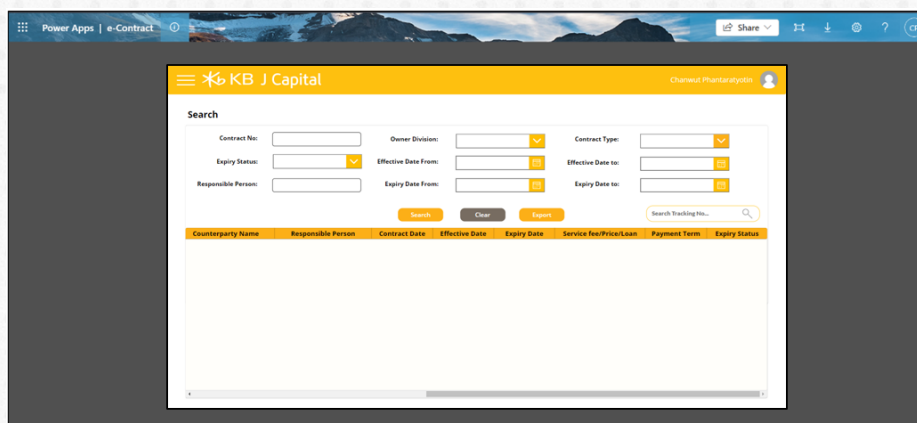


## ภาพที่ 6 การลงทะเบียนระบบสัญญาใหม่

ระบบแสดง Tracking No, Contract No, Owner Division, Contract Type, Contract Name, Contract Party Name, Responsible Person, Contract Term, Contract Date, Effective Date, Expiry Date, Service fee/Price/Loan Amt, Tax Duty, Document Location, Payment Term, Termination Clause และที่ Upload ไฟล์รูปภาพ เมื่อกรอกข้อมูลเรียบร้อยแล้ว เลือกตัวเลือก Save

และมีปุ่มในการค้นหา (Search), เคลียร์รายละเอียดในการค้นหา (Clear) และการส่งออกข้อมูลสัญญาไปที่เมล (Export) หากผู้ใช้งานต้องการลงทะเบียนสัญญาใหม่กดปุ่มบนซ้ายจากนั้นเลือกเมนู “Contract Registration” มีช่องที่ใช้ในการค้นหาสัญญาโดยสามารถค้นหาผ่านตัวกรองได้แก่

1. หมายเลขสัญญา (Contract No)
2. แผนกเจ้าของสัญญา (Owner Division)
3. ประเภทสัญญา (Contract Type)
4. สถานะของสัญญา (Expiry Status)
5. เริ่มต้นวันที่เริ่มต้นสัญญา (Effective Date From)
6. สิ้นสุดวันที่เริ่มต้นสัญญา (Effective Date to)
7. ชื่อผู้รับผิดชอบสัญญา (Responsible Person)
8. เริ่มต้นวันที่สิ้นสุดสัญญา (Expiry Date From)
9. สิ้นสุดวันที่สิ้นสุดสัญญา (Expiry Date to)



ภาพที่ 7 ภาพแสดง Storyboard การดู ค้นหาและ Export รายการสัญญา

ระบบแสดงรายการสัญญา ได้แก่ Tracking No, Contract No, Owner Division, Contract Name, Contract Type, Counterparty Name, Responsible Person, Contract Date, Effective Date, Expiry Date, Service fee/Price/Loan, Payment Term, Expiry Status และค้นหารายการผ่าน Filter ได้แก่ Contract No, Owner Division, Contract Type, Expiry Status, Effective Data From, Effective Date to, Responsible Person, Expiry Date From, Expiry Date To อีกทั้งยังมีปุ่ม Export เพื่อ Export รายการสัญญาที่ต้องการ

☰ \* KB J Capital
Chanwut Phantarayotin

### Contract Update

**Contract Information**

Tracking No	<input type="text" value="waiting"/>	Contract No	<input type="text"/>
* Owner Division	<input type="text" value="IT"/>	* Contract Type	<input type="text"/>
* Contract Name	<input type="text"/>		
* Counter Party Name	<input type="text"/>	* Responsible Person	<input type="text"/>
* Contract Term	<input type="text"/>	* Contract Date	<input type="text" value="20/01/2024"/>
* Effective Date	<input type="text" value="20/01/2024"/>	* Expiry Date	<input type="text" value="20/02/2024"/>
* Service Fee/Price/Loan Amt	<input type="text"/>	Tax Duty	<input type="text"/>
* Document Location	<input type="text"/>	* Payment Term	<input type="text"/>
Termination Clause	<input type="text"/>		

**Related Contract**

+ Choose

Tracking No	Contract No	Contract Name	Delete

**File Upload**

+ Choose

File Name	Delete
test.png	

Remark:

Update
Cancel

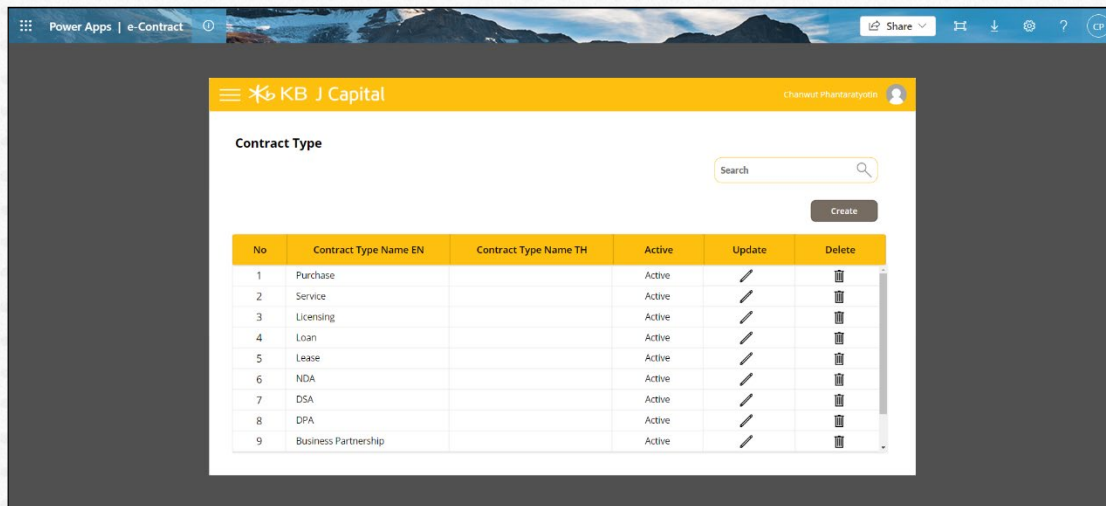
ภาพที่ 8 หน้าจอแสดง Storyboard การ Update Contract, การเพิ่ม Relate Contract และการเพิ่มไฟล์ Upload

ระบบแสดงรายละเอียดสัญญาที่สามารถแก้ไขได้ แสดงช่องการเพิ่ม Relate Contract กดปุ่ม Choose เพื่อเลือกรายการสัญญาที่ต้องการนำมาเพิ่ม Relate Contract กับสัญญาที่ผู้ใช้งานเลือกและแสดงช่องการเพิ่ม File Upload กดปุ่ม Choose เพื่อเลือกไฟล์ที่ต้องการ Upload เพิ่มเติม



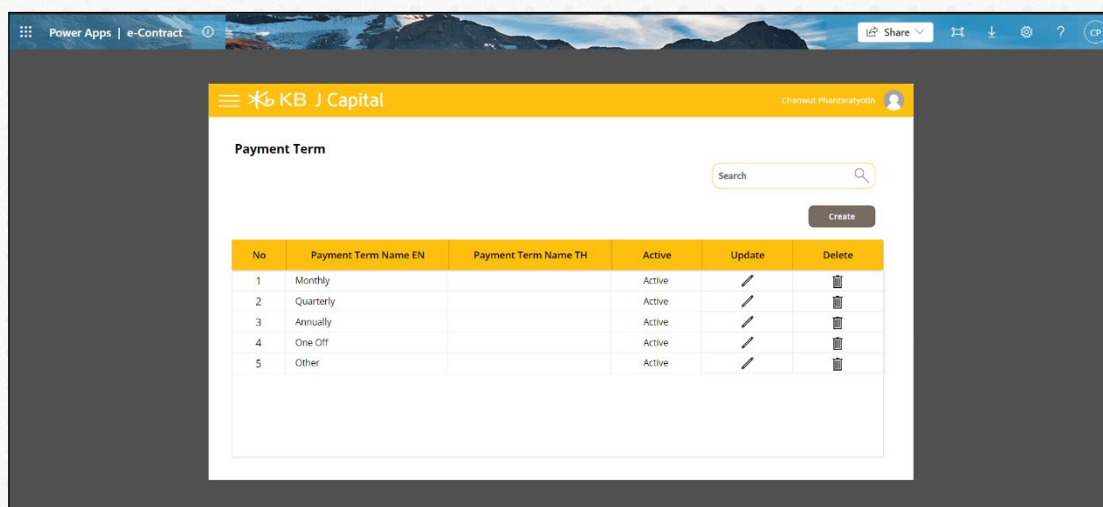
## ส่วนที่ 2 ส่วนการทำงานสำหรับ Admin

แอดมินสามารถแก้ไขข้อมูล Master Data” 4 รายการได้แก่ ประเภทของสัญญา (Contract Type), เงื่อนไขการชำระเงิน (Payment term), อีเมลเทมเพลต (Email Template), ดิวิชั่น (Division) โดยสามารถแก้ไขเลือกที่เมนูซ้ายบนตาม ภาพที่ 5 หน้าหลักของระบบจัดการสัญญาออนไลน์ จากนั้นเลือกหัวข้อที่ต้องการแก้ไข



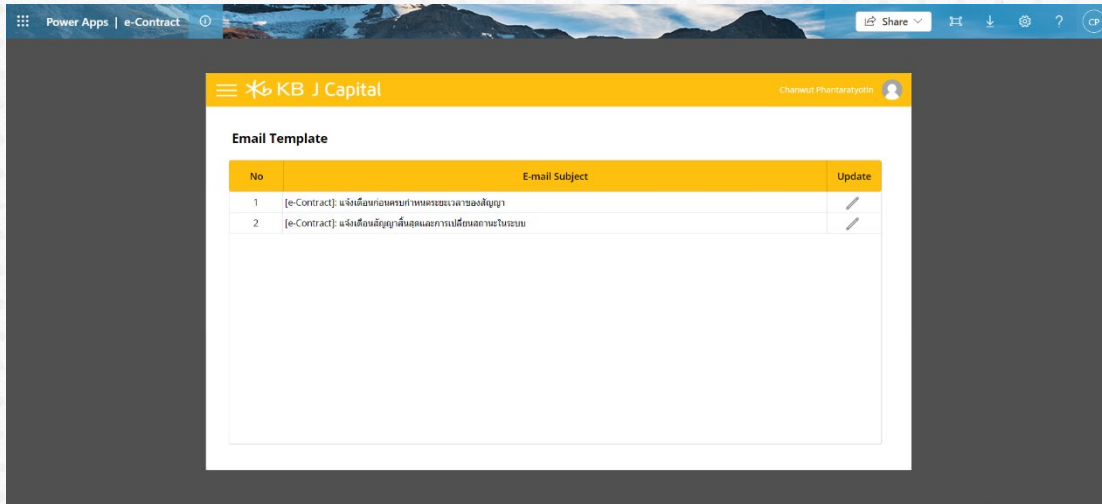
ภาพที่ 9 หน้าจอการทำงาน แก้ไข/ลบ ข้อมูล Master Data (“Contract Type”)

ระบบแสดงรายการ Contract Type ช่อง Search เพื่อค้นหา Contract Type ที่ต้องการแก้ไข หรือ ลบ แสดงปุ่ม Create เพื่อสร้าง Contract Type ใหม่ แสดงไอคอนดินสอเพื่อทำการแก้ไข Contract Type และแสดงไอคอนถังขยะ เพื่อทำการลบข้อมูล Contract Type



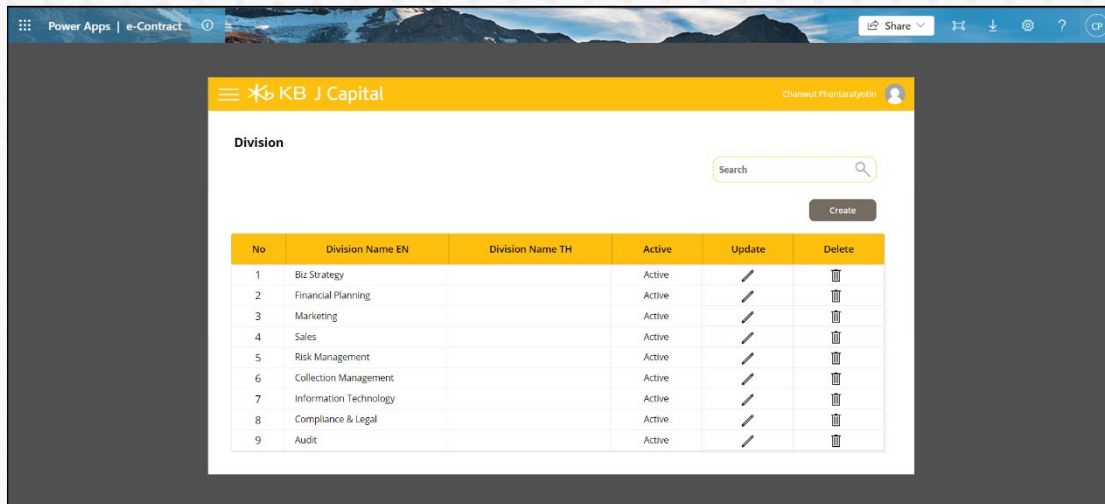
ภาพที่ 10 หน้าจอการทำงาน Master Data (“Payment Term”)

ระบบแสดงรายการ Payment Term ช่อง Search เพื่อค้นหา Payment Term ที่ต้องการลบหรือแก้ไข แสดงปุ่ม Create เพื่อสร้าง Payment Term ใหม่ แสดงไอคอนดินสอเพื่อแก้ไข Payment Term และแสดงไปจนถึงขยยะเพื่อลบ Payment Term



ภาพที่ 11 หน้าจอการทำงาน Master Data (“Email Term”)

ระบบแสดงรายการ Email Template และแสดงไอคอนดินสอเพื่อแก้ไข Template แจ้งเตือน Email สำหรับสัญญาใกล้หมดอายุ หรือหมดอายุสัญญาแล้ว



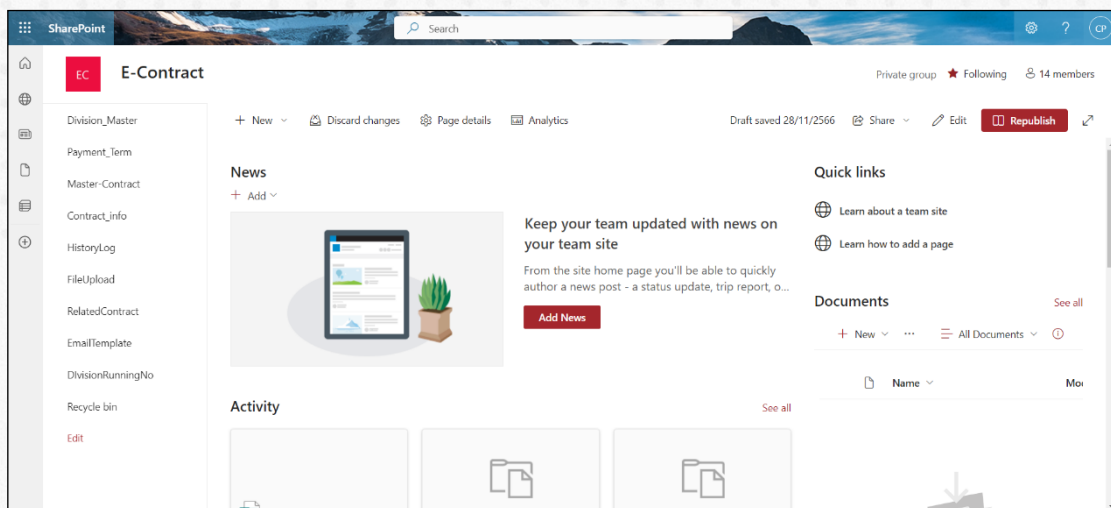
ภาพที่ 12 หน้าจอการทำงาน Master Data (“Division”)

ระบบแสดงรายการ Division ช่อง Search เพื่อค้นหา Division ที่ต้องการลบหรือแก้ไข แสดงปุ่ม Create เพื่อสร้าง Division ใหม่ แสดงไอคอนดินสอเพื่อแก้ไข Division และแสดงไปจนถึงขยยะเพื่อลบ Division

### ส่วนที่ 3 ส่วนการทำงานสำหรับ Super Admin

การใช้งานระบบระบบจัดการสัญญาออนไลน์ กรณีศึกษา บริษัท เคบี เจ แคปปิตอล จำกัด ผู้ใช้จะไม่สามารถลบรายการสัญญาได้ จะมีเพียงซูเปอร์แอดมินที่สามารถลบรายการสัญญา และรายการอื่น ๆ ได้ ผ่านไมโครซอฟท์ แชร์พอยต์ โดยรายการที่ซูเปอร์แอดมินลบได้มีดังนี้

1. ดิวิชัน (Division\_Master)
2. เงื่อนไขการชำระเงิน (Payment\_term)
3. ประเภทของสัญญา (Master\_Contract)
4. รายการสัญญา (Contract\_info)
5. ประวัติการดำเนินการ (HistoryLog)
6. ไฟล์ที่ผู้ใช้งานอัปโหลด (FileUpload)
7. สัญญาที่เกี่ยวข้อง (RelateContract)
8. เทมเพลตอีเมล (EmailTemplate)
9. รันนัมเบอร์ของแต่ละแผนก (DivisionRunningNo)



ภาพที่ 13 ภาพหน้าแชร์พอยต์สำหรับลบรายการสัญญา และรายการอื่นๆ

### 3.2 ประเมินผลระบบการจัดการสัญญาออนไลน์

ผลคะแนนความพึงพอใจในการใช้ระบบจัดการสัญญาออนไลน์ กรณีศึกษา บริษัท เคบี เจ แคปปิตอล จำกัด ของผู้ใช้งานที่ตอบแบบสอบถาม ด้านการใช้งาน ด้านประสิทธิภาพการทำงาน ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ดังรายละเอียดในตารางที่ 1 ตารางที่ 2 ตารางที่ 3 และตารางที่ 4 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้ระบบจัดการสัญญาออนไลน์ ด้านการใช้งาน

ด้านการใช้งาน	$\bar{x}$	S.D.	แปลผล
1. เมนูต่าง ๆ ใช้งานง่าย	4.90	0.30	มากที่สุด
2. ระบบของเว็บใช้งานง่าย	4.80	0.41	มากที่สุด
3. เว็บใช้งานได้ราบรื่นต่อเนื่อง	4.65	0.47	มากที่สุด
4. สามารถใช้งานเว็บนี้ได้ด้วยตนเองไม่ต้องขอความช่วยเหลือจากผู้อื่น	4.60	0.50	มากที่สุด
<b>เฉลี่ยรวม ด้านการใช้งาน</b>	<b>4.73</b>	<b>0.44</b>	<b>มากที่สุด</b>

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้ระบบจัดการสัญญาออนไลน์ ด้านประสิทธิภาพการทำงาน

ด้านประสิทธิภาพการทำงาน	$\bar{x}$	S.D.	แปลผล
1. ความรวดเร็วในการตอบสนอง	4.70	0.47	มากที่สุด
2. ความง่ายของการใช้งาน	4.75	0.44	มากที่สุด
3. ความแม่นยำและการแสดงผลข้อมูล	4.70	0.47	มากที่สุด
<b>เฉลี่ยรวม ด้านประสิทธิภาพการทำงาน</b>	<b>4.71</b>	<b>0.45</b>	<b>มากที่สุด</b>

ตารางที่ 3 ผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้ระบบจัดการสัญญาออนไลน์ ด้านปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง	$\bar{x}$	S.D.	แปลผล
1. ด้านการใช้งาน	4.73	0.44	มากที่สุด
2. ด้านการออกแบบ	4.67	0.47	มากที่สุด
3. ด้านประสิทธิภาพการใช้งาน	4.71	0.45	มากที่สุด
<b>เฉลี่ยรวม ด้านปัจจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>4.70</b>	<b>0.45</b>	<b>มากที่สุด</b>

ตารางที่ 4 ผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้ระบบจัดการสัญญาออนไลน์ ด้านการออกแบบ

ด้านการออกแบบ	$\bar{x}$	S.D.	แปลผล
1. เว็บมีการออกแบบที่สวยงาม ทันสมัย	4.80	0.41	มากที่สุด
2. ขนาดของตัวอักษรมีความเหมาะสมกับหน้าจอ	4.70	0.47	มากที่สุด
3. สีของตัวอักษรและพื้นหลังเหมาะสมกัน	4.70	0.47	มากที่สุด
4. แบบตัวอักษรมีความเหมาะสม และง่ายต่อการอ่าน	4.55	0.51	มากที่สุด
5. การจัดวางองค์ประกอบแต่ละส่วนมีความเหมาะสม	4.60	0.50	มากที่สุด
<b>เฉลี่ยรวม ด้านการออกแบบ</b>	<b>4.67</b>	<b>0.47</b>	<b>มากที่สุด</b>

#### 4. บทสรุป

ระบบการจัดการสัญญาออนไลน์ กรณีศึกษา บริษัท เคบี เจ แคปิตอล จำกัด โดยการจัดการเอกสารอิเล็กทรอนิกส์ เป็นระบบที่ช่วยสนับสนุนระบบการทำงาน การจัดทำเอกสาร ให้สามารถจัดการกับเอกสาร การสั่งงาน การส่งงาน การจ่ายเงิน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวดเร็ว ถูกต้อง และสามารถค้นหาเพื่อนำมาใช้งานได้โดยง่าย ลดความผิดพลาดจากการทำงานของพนักงาน และเป็นที่น่าสนใจของพนักงาน สอดคล้องกับงานวิจัยที่ได้พัฒนาจากโปรแกรม Power Apps [5] จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบจัดการสัญญาออนไลน์ กรณีศึกษา บริษัท เคบี เจ แคปิตอล จำกัด พบว่าค่าเฉลี่ยมากที่สุดในการใช้งานเว็บ คือ มีเมนูต่าง ๆ ใช้งานง่าย ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.90 รองลงมาในด้านการออกแบบ คือ เว็บมีการออกแบบที่สวยงาม ทันสมัย ค่าที่ได้คือ 4.80 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับที่น่าสนใจ และเนื่องด้วยตัวอักษรที่แสดงผลบนระบบการจัดการสัญญาออนไลน์ มีขนาดเล็ก ทำให้ด้านการออกแบบ แบบตัวอักษรมีความเหมาะสม และง่ายต่อการอ่าน มีค่าเฉลี่ย 4.55 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุด คณะผู้วิจัยจึงขอรับไว้เพื่อนำไปพัฒนาต่อไป

#### 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] บริษัท ดิทโต้ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน). (2563). ลดต้นทุนกระดาษปกป้องคุ้มครองเข้าสู่ดิจิทัลด้วย E-Document เอกสารอิเล็กทรอนิกส์. สืบค้นเมื่อวันที่ 10 ธันวาคม 2566. จาก <https://www.dittothailand.com/ditto/news/e-document/>
- [2] Rattayagon Thaiphon. (2563). การออกแบบและพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน. สืบค้นเมื่อวันที่ 13 ธันวาคม 2566. จาก <https://anyflip.com/sday/lnre/basic>
- [3] Microsoft. (2567) คู่มือ Microsoft Power Apps. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ธันวาคม 2566. จาก <https://learn.microsoft.com/th-th/power-apps/powerapps-overview>
- [4] Tinnapat Teesuwan. (2565). Figma คืออะไร? ทำไมนักออกแบบ UX/UI ถึงนิยมใช้กัน. สืบค้นเมื่อวันที่ 17 พฤศจิกายน 2566. จาก <https://dev.classmethod.jp/articles/whats-about-figma/>
- [5] ฐานข้อมูลงานวิจัยมหาวิทยาลัยสยาม. (2564). การพัฒนาระบบคืนสินค้าของลูกค้าโดยใช้โปรแกรม Power App. สืบค้นเมื่อวันที่ 13 ธันวาคม 2566. จาก <https://e-research.siam.edu/kb/developing-customer-product-return-system/>

# การประเมินคุณภาพน้ำดิบสำหรับการผลิตน้ำประปาในแหล่งน้ำดิบฝั่งตะวันตก โดยใช้แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์

## Evaluation of Raw Water Quality for Water Treatment Process in the Western Raw Water Resource Using Randomized Complete Block Design

ชวณี สุภริรัตน์<sup>1\*</sup> กิตติยศ ตั้งสัจจวงศ์<sup>1</sup> สุนิสา สายอุปราชา<sup>1</sup> และ ปิยธิดา พันธุ์นะ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพฯ 10800

\*E-mail: chawanee.s@rmutp.ac.th

### บทคัดย่อ

น้ำดิบ เป็นน้ำที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาจากแหล่งน้ำดิบฝั่งตะวันตก (แม่น้ำแม่กลอง) เมื่อมีความแตกต่างระหว่างฤดูกาล และจุดเก็บตัวอย่างน้ำ โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากจุดเก็บตัวอย่าง 7 จุด ครอบคลุม 3 ฤดูกาล และวิเคราะห์คุณภาพน้ำดิบจาก 5 พารามิเตอร์ ประกอบด้วย ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ค่าพีเอช (pH) ค่าความเค็ม (Salinity) ค่าความขุ่น (Turbidity) และค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS) จากผลการศึกษาพบว่า ฤดูร้อน มีค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำดิบสูงที่สุดทั้ง 5 พารามิเตอร์ และเมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของคุณภาพน้ำดิบ ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) พบว่า ความแตกต่างระหว่างฤดูกาลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำดิบในพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา ได้แก่ ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ค่าความขุ่น (Turbidity) และค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ (Multiple Comparisons) ด้วยวิธีของ Scheffé พบว่า ฤดูร้อน และฤดูฝน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้า (EC) ไม่แตกต่างกัน แต่มากกว่าฤดูหนาว สำหรับค่าความขุ่น ฤดูร้อนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นมากที่สุด รองลงมาเป็นฤดูหนาว และฤดูฝนตามลำดับ และค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS) ฤดูร้อน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS) มากที่สุด ส่วนฤดูหนาว และฤดูฝน มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงไม่แตกต่างกัน

**คำสำคัญ:** การวิเคราะห์ความแปรปรวน แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ ของแข็งละลายน้ำ ความเค็ม น้ำประปา

### Abstract

Raw water is used in the process of producing water supply from previous times to now. This research aimed to compare the quality of raw water used in the production of water supply from the western raw water resource (Mae Klong River) when the seasons and sampling points are different. The water samples were collected from seven sampling points, under three seasons. Five parameters of this research are Electrical Conductivity (EC), pH, Salinity, Turbidity, and Total Dissolved Solids (TDS). The result shows that the summer has the highest average for all five parameters. The analysis of variance is a

statistical method used to compare the raw water quality. The results indicate that the difference between seasons influences changing the raw water quality in three parameters with a statistically significant level of 0.05 including the EC, Turbidity, and TDS. Afterward, the comparison of multiple comparisons by Scheffé's method showed that the summer and rainy seasons have a similar influence on EC changes, greater than the winter. For turbidity, Summer has the greatest effect on changes, followed by the winter and rainy seasons, respectively. In addition to TDS, the summer has the greatest effect on changes, but the winter and rainy seasons have a similar influence.

**Keywords:** Analysis of variance, Randomized complete block design, Total dissolved solids, Salinity, Water supply

## 1. บทนำ

น้ำเป็นสิ่งจำเป็นในการดำเนินชีวิต และใช้เป็นส่วนหนึ่งของกิจกรรมเกือบทุกภาคส่วนของสังคมและประเทศ น้ำประปา (Water Supply) เป็นสาธารณูปโภคที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่ง ที่ใช้ในการบริโภคและอุปโภค สำหรับการดำเนินชีวิตประจำวัน เช่น ทำอาหาร อาบน้ำ ซักผ้า ทำความสะอาด เป็นต้น น้ำประปาที่ใช้กันอยู่ในทุกวันนี้มาจากกระบวนการผลิตซึ่งในบางพื้นที่มีคุณภาพที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำดิบที่นำมาผลิต จึงทำให้หน่วยงานที่มีความรับผิดชอบในการผลิตน้ำประปานั้น ต้องตระหนักถึงคุณภาพน้ำประปาที่ส่งจ่ายให้กับประชาชน

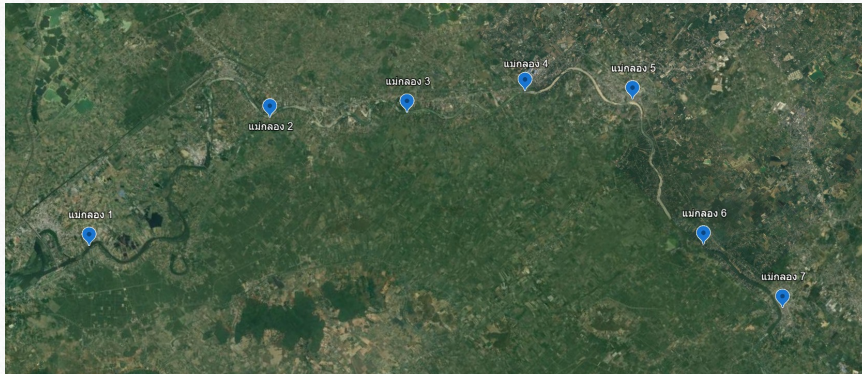
น้ำดิบ (Raw Water) [1] เป็นน้ำที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ได้แก่ น้ำในแม่น้ำ ห้วย หนอง คลอง บึง ต่าง ๆ แต่ในพื้นที่ที่ห่างไกลแหล่งน้ำธรรมชาติ สามารถใช้น้ำบาดาลในการผลิตน้ำประปาได้ สำหรับน้ำดิบในแหล่งน้ำธรรมชาติ หน่วยงานที่รับผิดชอบได้ทำการป้องกันคุณภาพน้ำดังกล่าวเพื่อไม่ให้มีการปนเปื้อนสารมลพิษทุกชนิดลงสู่น้ำดิบ อย่างไรก็ตามสารอินทรีย์ในธรรมชาติ (Natural Organic Matter: NOM) ส่วนใหญ่ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำผิวดิน (Surface Water) ซึ่งมีรูปแบบต่าง ๆ เช่น สารอินทรีย์แขวนลอย สารอินทรีย์ละลายน้ำ และสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างอะโรมาติก เป็นต้น สารเหล่านี้เมื่อทำปฏิกิริยากับคลอรีนที่เติมในกระบวนการผลิตน้ำประปาก็อาจทำให้เกิดสารตกค้างประเภทต่าง ๆ เช่น สารก่อมะเร็ง เป็นต้น อีกทั้งความเค็ม (Salinity) หรือ ความขุ่น (Turbidity) ก็เป็นสารตั้งต้นหนึ่งซึ่งอาจทำให้เกิดสารที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพได้เช่นเดียวกัน

ปัจจุบันน้ำดิบที่นำมาผลิตน้ำประปาในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล (นนทบุรีและสมุทรปราการ) นำมาจากแหล่งน้ำดิบฝั่งตะวันตกและแหล่งน้ำดิบฝั่งตะวันออก (แม่น้ำแม่กลองและแม่น้ำเจ้าพระยา) สำหรับงานวิจัยนี้จะเป็นการเก็บตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำดิบฝั่งตะวันตก (แม่น้ำแม่กลอง) เพื่อนำมาประเมินคุณภาพน้ำดิบ ซึ่งจะมีการผันแปรตลอดเวลาตามฤดูกาลจึงมีความจำเป็นอย่างมากที่ควรจะนำมาศึกษาวิเคราะห์ เพื่อเป็นข้อมูลที่จะใช้ในการเดินระบบผลิตน้ำประปา (Operate) ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และศึกษาเพื่อให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำจากค่าพารามิเตอร์ [2, 3] ที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำดิบที่จะนำมาผลิตน้ำประปา ได้แก่ ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ค่าพีเอช (pH) ค่าความเค็ม (Salinity) ค่าความขุ่น (Turbidity) และค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสารปนเปื้อนในน้ำดิบจะส่งผลต่อสุขภาพ เช่น โรคระบาดในวงกว้าง เป็นต้น และจะช่วยให้สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ในธรรมชาติได้ ว่าช่วงเวลาใดในแต่ละปี จะเป็นช่วงภาวะวิกฤตของคุณภาพน้ำดิบสำหรับนำมาผลิตน้ำประปา ด้วยการนำเทคนิควิธีการทางสถิติคือการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) [4, 5] มาใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำตามฤดูกาลต่าง ๆ (ฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน) และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ (Multiple Comparisons) ด้วยวิธีของ Scheffé [5, 6] ซึ่งวิธีทางสถิติดังกล่าวจะทำให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น และอาจเป็นประโยชน์ในการขยายหรือต่อยอด

งานวิจัยต่อไป เช่น ศึกษาแหล่งน้ำดิบฝั่งตะวันออก (แม่น้ำเจ้าพระยา) เป็นต้น เพื่อจะเป็นประโยชน์ในการจัดการคุณภาพน้ำดิบสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปาที่จะส่งต่อไปยังผู้ใช้น้ำปลายทางได้อย่างเหมาะสมต่อไป

## 2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เก็บข้อมูลน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปาในแหล่งน้ำดิบในฝั่งตะวันตก (แม่น้ำแม่กลอง) ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งได้มีการกำหนดจุดเก็บตัวอย่างในแม่น้ำแม่กลองมีทั้งหมด 7 จุด



ภาพที่ 1 แหล่งน้ำดิบฝั่งตะวันตก (แม่น้ำแม่กลอง) และจุดเก็บตัวอย่าง 7 จุด

จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 7 จุด แต่ละจุดมีระยะทางห่างกันประมาณ 10 กิโลเมตร ดังนี้

แม่กลอง 1 - ต.วังศาลา อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี

แม่กลอง 2 - ต.แสนตอ อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี

แม่กลอง 3 - ต.พงตึก อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี

แม่กลอง 4 - ต.ท่าผา อ.บ้านโป่ง จ.ราชบุรี

แม่กลอง 5 - เทศบาลเมือง อ.บ้านโป่ง จ.ราชบุรี

แม่กลอง 6 - ต.คลองตากต อ.โพธาราม จ.ราชบุรี

แม่กลอง 7 - ทาดทรายโพธาราม อ.โพธาราม จ.ราชบุรี

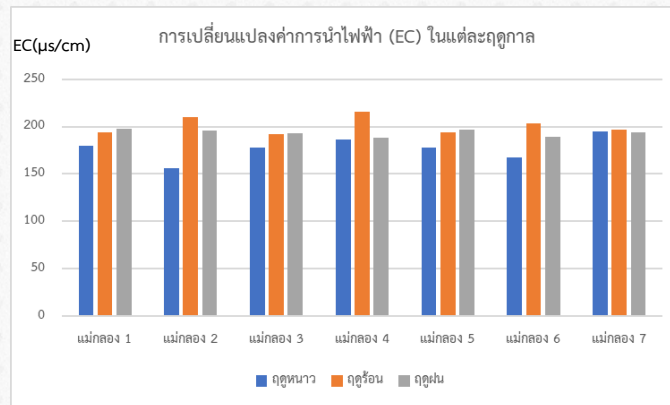
ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำดิบแบ่งออกเป็น 3 ฤดู ได้แก่ ฤดูหนาว (เดือนพฤศจิกายน 2566 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2567) ฤดูร้อน (เดือนมีนาคม ถึงเดือนพฤษภาคม 2567) และฤดูฝน (เดือนมิถุนายน 2567) จากนั้นนำตัวอย่างน้ำมาวัดหาค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการศึกษา [7] ได้แก่ ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) ค่าพีเอช (pH) ความเค็ม (Salinity) ความขุ่น (Turbidity) และของแข็งละลายน้ำ (Total Dissolved Solids, TDS) เพื่อประเมินคุณภาพน้ำดิบสำหรับการผลิตน้ำประปา

จากนั้นทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำดิบจากแหล่งน้ำดิบฝั่งตะวันตก (แม่น้ำแม่กลอง) ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับทดสอบความแตกต่างฤดูกาลที่มีผลต่อคุณภาพน้ำดิบที่ใช้สำหรับการผลิตน้ำประปา โดยใช้แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) ซึ่งตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่างน้ำ (Station) ถูกกำหนดเป็นบล็อก (Block) ของการทดลอง รวมทั้งหากมีความแตกต่างระหว่างฤดูกาล จะทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ (Multiple Comparison) ด้วยวิธีของ Scheffé

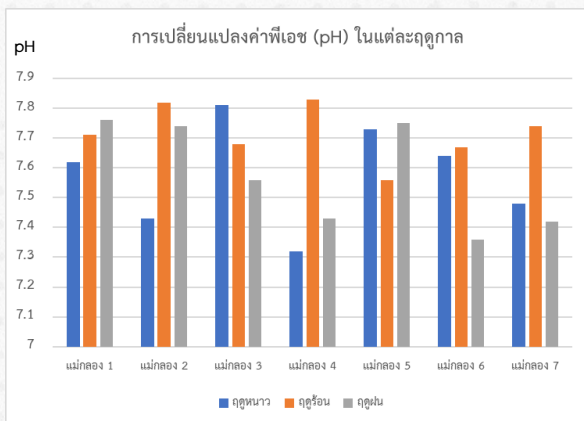


### 3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

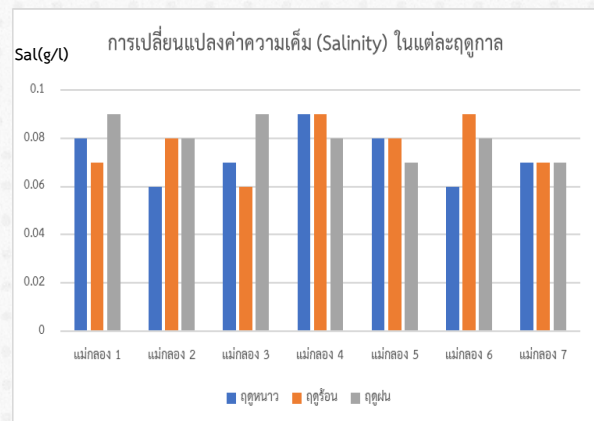
การวิจัยครั้งนี้เก็บตัวอย่างน้ำจากแหล่งน้ำดิบฝั่งตะวันตก (แม่น้ำแม่กลอง) เพื่อเป็นตัวแทนในแต่ละฤดูกาล ซึ่งครอบคลุมทั้ง 3 ฤดูกาลที่ทำการศึกษ ได้แก่ ฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน (ช่วงเดือนพฤศจิกายน 2566 ถึง เดือนมิถุนายน 2567) และจุดเก็บตัวอย่างน้ำทั้งหมด จำนวน 7 จุด สำหรับเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงของดัชนีคุณภาพน้ำ หรือพารามิเตอร์ทั้ง 5 ที่ทำการศึกษ ได้ผลการศึกษาดังแสดงในภาพที่ 2 - 6



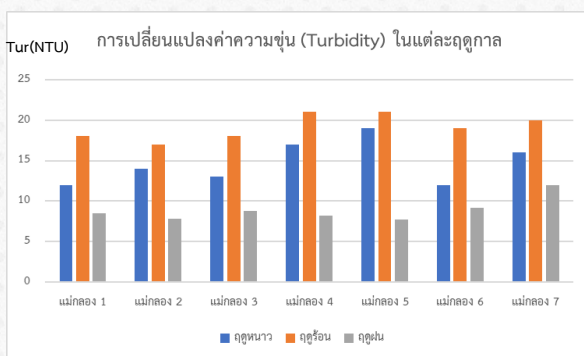
ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า (EC)



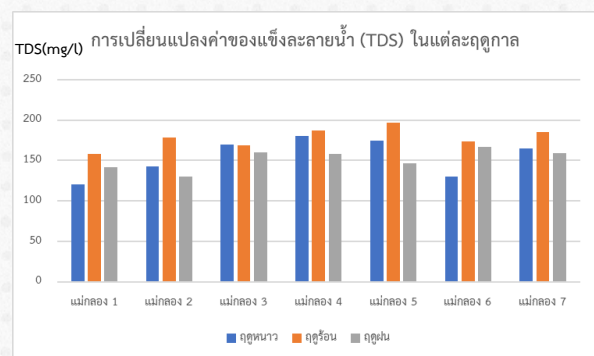
ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช (pH)



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงค่าความเค็ม (Salinity)



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่น (Turbidity)



ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS)

ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำจากแหล่งน้ำดิบฝั่งตะวันตก (แม่น้ำแม่กลอง) ทั้ง 7 จุด เบื้องต้นพบว่า ค่าการนำไฟฟ้า (EC) มีค่าสูงที่สุดในฤดูร้อน และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 200.86  $\mu\text{s}/\text{cm}$  ดังแสดงในภาพที่ 2 การตรวจวัดค่าพีเอช (pH) ฤดูร้อน มีค่าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 7.72 แต่มีค่าใกล้เคียงกันในฤดูหนาวและฤดูฝน ดังแสดงในภาพที่ 3 ตัวชี้วัดค่าความเค็ม (Salinity) ฤดูหนาวและฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกัน เท่ากับ 0.009 g/l และมีค่าน้อยที่สุดในฤดูฝน ดังแสดงในภาพที่ 4 สำหรับค่าความขุ่น (Turbidity) ฤดูร้อนจะมีค่าเฉลี่ยของความขุ่นมากที่สุด เท่ากับ 19.14 NTU. และจะมีค่าน้อยที่สุดในฤดูฝน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 8.89 NTU. ดังแสดงในภาพที่ 5 ส่วนค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS) ฤดูร้อนยังคงมีค่าเฉลี่ยสูงสุดคือเท่ากับ 178.29 mg/l และมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันในฤดูหนาวและฤดูฝน ดังแสดงในภาพที่ 6

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าพารามิเตอร์ที่สนใจศึกษาในแหล่งน้ำดิบฝั่งตะวันตก (แม่น้ำแม่กลอง) ได้แก่ ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ค่าพีเอช (pH) ค่าความเค็ม (Salinity) ค่าความขุ่น (Turbidity) และค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS) ภายใต้ฤดูกาล และจุดเก็บตัวอย่างน้ำที่แตกต่างกัน จะใช้วิธีการทางสถิติ ได้แก่ การวิเคราะห์การแปรปรวนโดยใช้แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) ทดสอบว่า ความแตกต่างระหว่างฤดูกาลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์แต่ละค่าหรือไม่ และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ (Multiple Comparisons) ด้วยวิธีของ Scheffé หากมีความแตกต่างกัน ซึ่งได้ผลดังแสดงในตารางที่ 1 - 5

**ตารางที่ 1** ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในแต่ละฤดูกาล (เดือนพฤศจิกายน 2566 ถึงเดือนมิถุนายน 2567)

ฤดูกาล	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าสถิติทดสอบ F	ค่า P-value
ฤดูหนาว	177.14±12.63 <sup>a</sup>	9.85	0.003*
ฤดูร้อน	200.86±9.17 <sup>b</sup>		
ฤดูฝน	193.57±3.87 <sup>b</sup>		

หมายเหตุ a, b เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธีของ Scheffé ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตารางที่ 1 สรุปได้ว่า ความแตกต่างระหว่างฤดูกาลจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า (EC) ที่แตกต่างกัน ( $F = 9.85$  ;  $p < 0.05$ ) และเมื่อทำการทดสอบรายคู่โดยวิธีของ Scheffé จะเห็นว่า ฤดูหนาว จะมีค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า (EC) แตกต่างกับฤดูร้อน และฤดูฝน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยฤดูร้อน และฤดูฝน จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้า (EC) ไม่แตกต่างกัน แต่จะมากกว่าการเปลี่ยนแปลงในฤดูหนาว ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของ วิณา และคณะ [3] ที่พบว่า ฤดูร้อน จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้า (EC) น้อยที่สุด และจะมีค่าเพิ่มขึ้นในฤดูหนาว และฤดูฝน

**ตารางที่ 2** ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช (pH) ในแต่ละฤดูกาล (เดือนพฤศจิกายน 2566 ถึงเดือนมิถุนายน 2567)

ฤดูกาล	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าสถิติทดสอบ F	ค่า P-value
ฤดูหนาว	7.58±0.17	1.76	0.215
ฤดูร้อน	7.72±0.09		
ฤดูฝน	7.57±0.17		

**ตารางที่ 3** ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงค่าความเค็ม (Salinity) ในแต่ละฤดูกาล (เดือนพฤศจิกายน 2566 ถึงเดือนมิถุนายน 2567)

ฤดูกาล	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าสถิติทดสอบ F	ค่า P-value
ฤดูหนาว	0.073±0.01	0.80	0.471
ฤดูร้อน	0.077±0.11		
ฤดูฝน	0.080±0.01		

จากตารางที่ 2 และตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่า ความแตกต่างระหว่างฤดูกาลไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของค่าพีเอช (pH) ( $F = 1.76$  ;  $p > 0.05$ ) และการเปลี่ยนแปลงของค่าความเค็ม ( $F = 0.80$  ;  $p > 0.05$ ) ตามลำดับ

**ตารางที่ 4** ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่น (Turbidity) ในแต่ละฤดูกาล (เดือนพฤศจิกายน 2566 ถึงเดือนมิถุนายน 2567)

ฤดูกาล	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าสถิติทดสอบ F	ค่า P-value
ฤดูหนาว	14.71±2.69 <sup>a</sup>	66.00	< 0.0001*
ฤดูร้อน	19.14±1.57 <sup>b</sup>		
ฤดูฝน	8.89±1.47 <sup>c</sup>		

หมายเหตุ a, b, c เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธีของ Scheffé ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตารางที่ 4 สรุปได้ว่า ความแตกต่างระหว่างฤดูกาลจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความขุ่นที่แตกต่างกัน ( $F = 66.00$  ;  $p < 0.05$ ) และเมื่อทำการทดสอบรายคู่โดยวิธีของ Scheffé จะเห็นว่า ค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นจะมีความแตกต่างกันในทุกฤดูกาล อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยฤดูร้อนจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นมากที่สุด รองลงมาเป็นฤดูหนาว และฤดูฝนจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นน้อยที่สุด ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของ วิธมา และคณะ [3] ที่พบว่า ฤดูร้อน จะมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความขุ่นน้อยที่สุด และจะมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นในฤดูหนาว และฤดูฝน ตามลำดับ

**ตารางที่ 5** ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS) ในแต่ละฤดูกาล (เดือนพฤศจิกายน 2566 ถึงเดือนมิถุนายน 2567)

ฤดูกาล	ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าสถิติทดสอบ F	ค่า P-value
ฤดูหนาว	154.71±23.61 <sup>a</sup>	7.76	0.007*
ฤดูร้อน	178.29±12.83 <sup>b</sup>		
ฤดูฝน	151.86±12.80 <sup>a</sup>		

หมายเหตุ a, b เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธีของ Scheffé ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตารางที่ 5 สรุปได้ว่า ความแตกต่างระหว่างฤดูกาลจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS) ที่แตกต่างกัน ( $F = 7.76$  ;  $p < 0.05$ ) และเมื่อทำการทดสอบรายคู่โดยวิธีของ Scheffé จะเห็นว่า ฤดูร้อน จะมีค่าเฉลี่ย

ของการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS) แตกต่างกับฤดูหนาว และฤดูฝน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยฤดูร้อนจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS) มากที่สุด สำหรับฤดูหนาว และฤดูฝน จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS) ไม่แตกต่างกัน ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของ วิมา และคณะ [3] ที่พบว่า ฤดูหนาว จะมีการเปลี่ยนแปลงของค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS) มากที่สุด จากนั้นจะลดลงในฤดูร้อน และจะมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นอีกในฤดูฝน

#### 4. บทสรุป

ผลการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ทั้ง 5 พารามิเตอร์ ได้แก่ ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ค่าพีเอช (pH) ค่าความเค็ม (Salinity) ค่าความขุ่น (Turbidity) และค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS) เมื่อฤดูกาลแตกต่างกัน การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นโดยใช้ค่าเฉลี่ยของจุดเก็บตัวอย่างน้ำทั้ง 7 จุดในแต่ละฤดูกาล สรุปได้ว่า ฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำสูงที่สุดทั้ง 5 พารามิเตอร์ เมื่อเทียบกับฤดูหนาว และฤดูฝน ดังนั้น การผลิตน้ำประปาในช่วงฤดูร้อน อาจจะต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ อีกทั้งในช่วงฤดูร้อนเป็นช่วงที่มีโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินอาหาร เช่น โรคท้องร่วง หรืออาหารเป็นพิษซึ่งเกิดจากแบคทีเรีย ไวรัส ที่เจริญเติบโตได้รวดเร็ว เป็นต้น การผลิตน้ำประปา จึงมีการเพิ่มปริมาณคลอรีนในระบบผลิตและจ่ายน้ำประปามากขึ้นจากปกติเล็กน้อย แต่จะไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน

ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำดิบจากแหล่งน้ำดิบฝั่งตะวันตก (แม่น้ำแม่กลอง) โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนภายใต้แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ เพื่อวิเคราะห์ว่า ความแตกต่างระหว่างฤดูกาล และตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่างน้ำส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยจากทั้ง 5 พารามิเตอร์ที่สนใจศึกษา แตกต่างกันหรือไม่ พบว่า ความแตกต่างระหว่างตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่างน้ำที่แตกต่างกันทั้ง 7 จุดนั้น ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำดิบ ในการศึกษาครั้งต่อไปอาจใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์แทน สำหรับความแตกต่างระหว่างฤดูกาล มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำดิบในพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้แก่ ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ค่าความขุ่น และค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS) เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วยวิธีของ Scheffé พบว่า ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ในช่วงฤดูหนาวมีความแตกต่างกันกับฤดูร้อนและฤดูฝน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยฤดูร้อน และฤดูฝน จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้า (EC) ไม่แตกต่างกัน แต่จะมากกว่าการเปลี่ยนแปลงในฤดูหนาว ส่วนค่าความขุ่น แต่ละฤดูกาลมีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยฤดูร้อนจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นมากที่สุด รองลงมาเป็นฤดูหนาว และฤดูฝนจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความขุ่นน้อยที่สุด และสำหรับค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS) ในช่วงฤดูร้อน มีความแตกต่างกันกับฤดูหนาวและฤดูฝน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยฤดูร้อนจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS) มากที่สุด สำหรับฤดูหนาว และฤดูฝน จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งละลายน้ำ (TDS) ไม่แตกต่างกัน ซึ่งวิธีทางสถิติดังกล่าวเป็นผลแสดงให้เห็นว่า การวิเคราะห์ประเมินคุณภาพน้ำดิบจากแหล่งน้ำดิบฝั่งตะวันตก (แม่น้ำแม่กลอง) นั้น สามารถนำข้อมูลมาใช้ประโยชน์เป็นแนวทางการประกอบการพิจารณาในกระบวนการเดินระบบผลิตน้ำประปาของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้ และการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เป็นประโยชน์ในการพิจารณาช่วงฤดูกาลที่จะผลิตน้ำประปาซึ่งส่งผลต่อคุณภาพน้ำดิบ นอกจากนี้การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสารปนเปื้อนในน้ำดิบนั้น สามารถบ่งบอกถึงคุณภาพน้ำที่ส่งผลต่อสุขภาพของประชาชน และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจะได้ดำเนินการเตรียมความพร้อมวางแผนหาแนวทางป้องกันสถานการณ์ล่วงหน้าได้

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินกองทุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ปราโมทย์ เขียวชาญ. 2566. ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำ (WATER TREATMENT PLANT), สืบค้นเมื่อ วันที่ 11 กรกฎาคม 2566. จาก. [https://www.stou.ac.th/Schools/Shs/booklet/1\\_2551/Enronment.htm](https://www.stou.ac.th/Schools/Shs/booklet/1_2551/Enronment.htm)
- [2] S. Priya, S. Sam Manohar Das, K. Vareethiah. Analysis of Water Quality in Selected Stations along River, Tambaraparani Kanyakumari District, Tamilnadu, India. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, vol. 3 Issue 8(2016) 319 – 323.
- [3] วิภา ร่องจะโปะ สิริภรณ์ โพธิวิชยานนท์ และรุจิรัตน์ กิจเลิศพรไพโรจน์. การศึกษาคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมี และชีวภาพในบริเวณพื้นที่ปกปักทรัพยากร อพ.สธ. – กฟผ. เขื่อนสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี. *สำนักวิชาสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี*. 2562.
- [4] ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2560. หลักสถิติ. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ.พรี้นติ้ง.
- [5] บุญอ้อม โฉมที. 2549. สถิติการวางแผนการทดลอง: ทฤษฎีและการวิเคราะห์ด้วย SAS. ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [6] Montgomery, D.C. 2013. Design and Analysis of Experiments. 8th edition. John Wiley & Sons, New York.
- [7] มั่นสิน ตันทุลเวศน์. 2545. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

## การพัฒนาเครื่องขัดล้างเมือกกาแฟแกนขัดแบบแนวนอน Development of Horizontal Polishing Shaft Coffee Mucilage Removing Machine

นายทวี ทองคำ<sup>1</sup> นายอธิบดี กลับสูงเนิน<sup>1</sup> และ ว่าที่ ร.ต.หญิงวัชรินทร์ กลับสูงเนิน<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

\*E-mail: Watcharin@tistr.or.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเครื่องขัดล้างเมือกกาแฟแกนขัดแบบแนวนอน เครื่องประกอบด้วยแกนหมุนในแนวนอน โดยมีซี่ติดล้อมรอบ 72 ซี่ มีน้ำไหลผ่านระหว่างชุดแกนหมุนกับถังตะแกรง เพื่อช่วยล้างและลำเลียงเมล็ดกาแฟออกจากห้องขัดล้างเมือก ซึ่งกำหนดอัตราการนำป้อนคงที่ ที่ 5 ลิตรต่อนาที โดยใช้ต้นกำลังมอเตอร์ 2 แรงม้า และทำการทดสอบลักษณะแกนซี่ที่ชนิดต่างๆ ทั้งหมด 3 ชนิด คือ แกนซี่แบบกลม แกนซี่แบบเหลี่ยม และแกนซี่แบบกลมผสมแบบเหลี่ยม เพื่อหาชนิดของแกนซี่ขัดที่เหมาะสมกับการขัดเมือกกาแฟที่ดีที่สุด และต้องไม่ทำให้เมล็ดกาแฟที่ได้จากการขัดแตกหรือเปลือกกะลาหลุด ทำการทดสอบความเร็วรอบในการหมุนแกนขัดล้างเมือกที่ 5 ระดับ คือ 300, 350, 400, 450, และ 500 รอบต่อนาที ผลการทดสอบความเร็วรอบที่เหมาะสมที่สุดจากการทดสอบอยู่ที่ 400 รอบต่อนาที และการใช้ซี่ขัดชนิดกลมมีประสิทธิภาพการทำงานที่เหมาะสมที่สุด โดยมีกำลังการผลิต 200 กิโลกรัมต่อชั่วโมง การแตกของกะลากาแฟหลังการขัดล้างเฉลี่ยร้อยละ 1.52 พลังงานไฟฟ้าทั้งระบบ 1.95 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง

**คำสำคัญ:** กาแฟ กระบวนการผลิตกาแฟ เครื่องขัดล้างเมือกกาแฟ

### Abstract

This research is the development of a horizontal coffee mucus cleaning machine. The machine consists of a horizontal spindle with 72 ribs surrounding it. Water flows between the spindle assembly and the sieve tank. To help wash and transport the coffee beans out of the room, scrub away the mucus. which sets a constant feed water rate of 5 L/min. using a motor power of 2 hp. and tests the characteristics of 3 different types of spokes, namely round spokes, square spokes. and a combination of round and square spokes. To determine the most suitable type of brush spindle for cleaning coffee mucilage without causing damage to the coffee beans or removing the coffee parchment, the study tested five different rotation speeds of the washing drum: 300, 350, 400, 450, and 500 rpm. The results showed that the optimal rotation speed was 400 rpm. Among the brush types tested, round brushes provided the most effective performance, with a production capacity of 200 kg/h. The average coffee parchment breakage after washing was 1.52%, and the total power consumption was 1.95 kW-h.

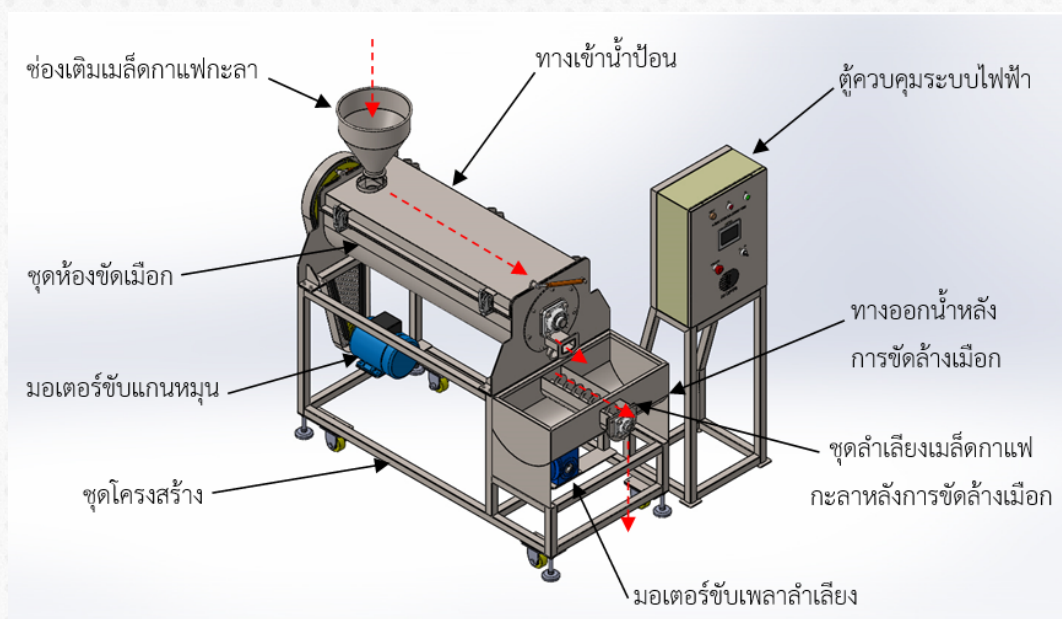
**Keywords:** Coffee, Coffee Processing, Coffee Mucilage Removal Machine

## 1. บทนำ

การขัดล้างเมือกกาแฟเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญของการผลิตเมล็ดสารกาแฟในกระบวนการผลิตแบบเปียก ปัจจุบันเกษตรกรใช้วิธีการหมักกาแฟในบ่อหมักเพื่อสลายเมือกซึ่งต้องใช้เวลาหมักนานประมาณ 36-72 ชั่วโมง นับเป็นวิธีการที่จำเป็นต้องปฏิบัติที่ถูกต้อง หากหมักไม่ถูกวิธีหรือใช้เวลาในการหมักนานเกินไป จะทำให้กาแฟเกิดกลิ่นจากการหมัก ความหอมและรสชาติของกาแฟจะเสียไป การพัฒนาเครื่องขัดล้างเมือกกาแฟแกนขัดแบบแวนอน เป็นส่วนหนึ่งในการนำเครื่องจักรกลมาประยุกต์ใช้ และมีส่วนช่วยให้ขั้นตอนการล้างเมือกแบบวิธีหมักธรรมชาติง่ายขึ้น ช่วยลดต้นทุนการผลิต เช่น น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต เวลาในการหมัก แรงงาน และอุปกรณ์ ลดขั้นตอนในการปฏิบัติงานเพื่อให้ได้กาแฟที่มีคุณภาพ การแปรรูปกาแฟที่นิยมสำหรับกาแฟอาราบิก้า นิยมใช้กรรมวิธี 2 แบบ คือ กรรมวิธีแบบเปียก (Wet Method or Parchments Method) ทำให้ได้สารกาแฟที่มีคุณภาพดีกว่าวิธีแบบแห้ง (Dry Method or Natural Method) ในการแปรรูปกาแฟโดยกรรมวิธีแบบเปียกเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องจากไม่ทำให้กาแฟเสียรสชาติ แต่ด้วยวิธีการเดิมคือการนำเมล็ดกาแฟหมักตามธรรมชาติในบ่อหมัก ซึ่งต้องทำอย่างถูกวิธีหากหมักไม่ถูกวิธีหรือใช้เวลาในการหมักที่มากเกินไป จะส่งผลให้เมล็ดกาแฟที่ได้เกิดกลิ่นจากการหมัก ความหอม และรสชาติของกาแฟจะเสียไป และอีกสิ่งที่สำคัญในกระบวนการคือ การใช้น้ำในปริมาณมากจากวิธีการหมักและล้างนี้ ทำให้เกิดกลิ่น น้ำเป็นสีน้ำตาลขุ่น จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นจึงมีแนวคิดในการพัฒนาเครื่องขัดล้างเมือกกาแฟแกนขัดแบบแวนอน เพื่อลดปริมาณการใช้น้ำ ลดแรงงาน และเวลา กาแฟที่ได้มีคุณภาพดี งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเครื่องขัดล้างเมือกกาแฟแกนขัดแบบแวนอน หลักการทำงานโดยการให้เมล็ดกาแฟกะลาเกิดการเคลื่อนที่ในแวนอน โดยมีแกนและซี่ขัด ซึ่งในระหว่างการเคลื่อนที่จะเกิดการขัดสีกันระหว่างเมล็ดกาแฟกะลาด้วยกัน หรือเมล็ดกาแฟกะลากับผนังและซี่ขัด จากแรงเหวี่ยงและความเร็วรอบในการเคลื่อนที่ของแกนเพลลา ซี่ขัดจะมีความสามารถในการตีขัดล้างเมือกเมล็ดกาแฟกะลาได้ จึงทำการพัฒนาเครื่องขัดล้างเมือกกาแฟแกนขัดแบบแวนอน เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิต สำหรับกลุ่มผู้ผลิตกาแฟในภาคเหนือ และเป็นการนำเทคโนโลยีไปใช้เป็นเครื่องมือในการผลิตกาแฟคุณภาพ ลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมในชุมชน

## 2. วิธีการออกแบบและทดลอง

### 2.1 การออกแบบเครื่องขัดล้างเมือกกาแฟแกนขัดแบบแวนอน



ภาพที่ 1 แบบ 3D เครื่องขัดล้างเมือกกาแฟแกนขัดแบบแวนอน



ภาพที่ 2 ต้นแบบเครื่องขัดล้างเมือกกาแฟแกนขัดแบบแนวนอน

## 2.2 ขั้นตอนการทดสอบเครื่องขัดล้างเมือกกาแฟแกนขัดแบบแนวนอน

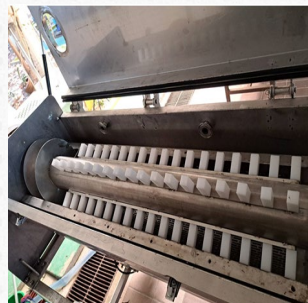
1. ทดสอบเครื่องจักรที่อัตราป้อนเมล็ดกาแฟติดเมือกครั้งละ 20 กิโลกรัม ที่อัตราน้ำป้อนคงที่ 5 ลิตรต่อนาที เก็บผลการทดสอบ จับเวลาการทดสอบ
2. ทดสอบปรับชนิดซีซีขัดพลาสติก POM ทั้ง 3 แบบ ที่ 72 ซี เพื่อหาแกนขัดที่เหมาะสม ดังตารางที่ 1
3. ทำการปรับและทดสอบความเร็วรอบในการขัดล้างเมือกที่ระดับความเร็ว 1 ถึง 5 เพื่อหาความเร็วรอบในการใช้งานที่เหมาะสม ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด 15 ตัวอย่าง

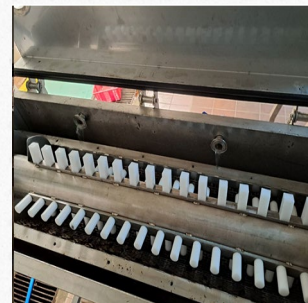
ชนิดซีซีขัดพลาสติก POM	ระดับความเร็ว				
	1	2	3	4	5
	ความเร็วรอบในการขัดล้างเมือก (รอบต่อนาที)				
กลม	300	350	400	450	500
เหลี่ยม	300	350	400	450	500
กลมผสมเหลี่ยม	300	350	400	450	500



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 3 ชนิดซีซีขัดพลาสติก POM (ก) กลม, (ข) เหลี่ยม และ (ค) กลมผสมเหลี่ยม

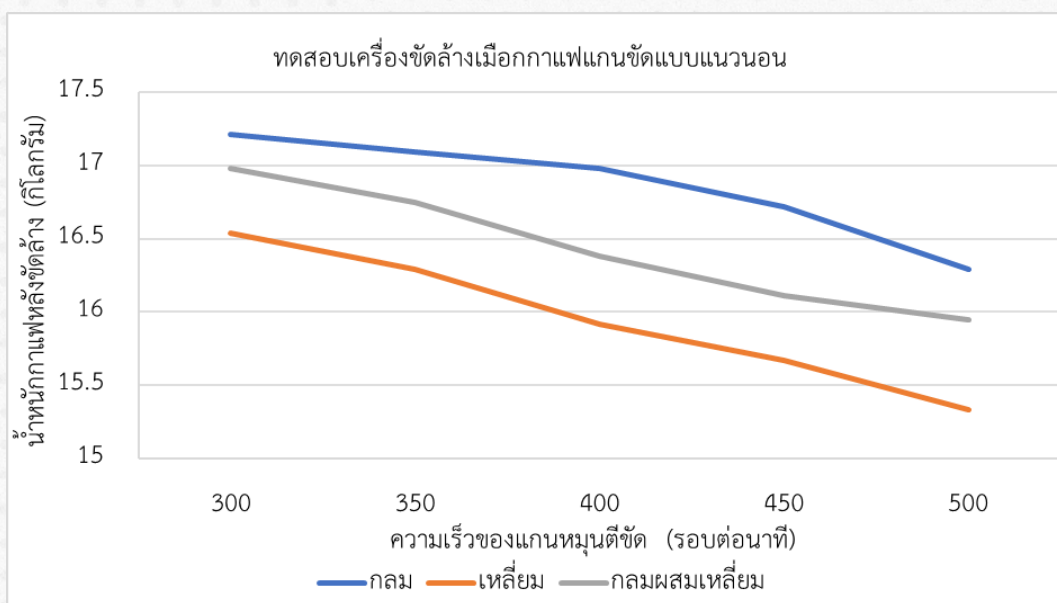
เพื่อทดสอบและหาประสิทธิภาพการทำงานที่เหมาะสมกับเครื่องจักร โดยเน้นให้แกนซีซีหน้าทีในการตีขัดทำให้เกิดการเสียดสีระหว่างถึงตะแกรงรอบนอก ลดความเสียหายของเมล็ดกาแฟ



### 3 ผลการทดลองและอภิปรายผล

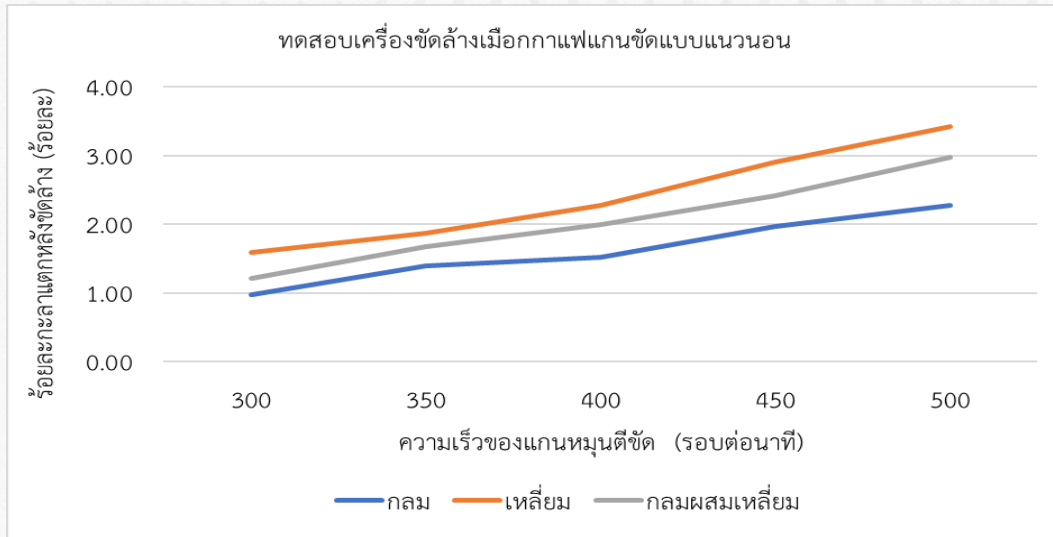
ตารางที่ 2 ผลการทดสอบเครื่องขัดล้างเมื่อกาแฟแกนขัดแบบแวนอนที่อัตราน้ำป้อนคงที่ 5 ลิตรต่อนาที

ชนิดซีซีพลาสติก	ความเร็วของแกน	น้ำหนักกาแฟ	น้ำหนักกาแฟ	ร้อยละกาแฟ	เวลาทำงานของ
(ชนิด)	หมุนต่อนาที	ก่อนขัดล้าง	หลังขัดล้าง	(ร้อยละ)	เครื่องขัดล้าง
	(รอบต่อนาที)	(กิโลกรัม)	(กิโลกรัม)		(นาที)
POM	300		17.21	0.98	6.38
	350		17.09	1.40	6.12
	400	20	16.98	1.52	5.98
	450		16.72	1.97	5.74
	500		16.29	2.28	5.63
เหลี่ยม	300		16.54	1.59	6.59
	350		16.29	1.87	6.33
	400	20	15.92	2.27	6.15
	450		15.67	2.91	6.02
	500		15.33	3.42	5.67
กลมผสมเหลี่ยม	300		16.98	1.21	6.42
	350		16.75	1.68	6.17
	400	20	16.38	1.99	6.01
	450		16.11	2.42	5.83
	500		15.95	2.98	5.59



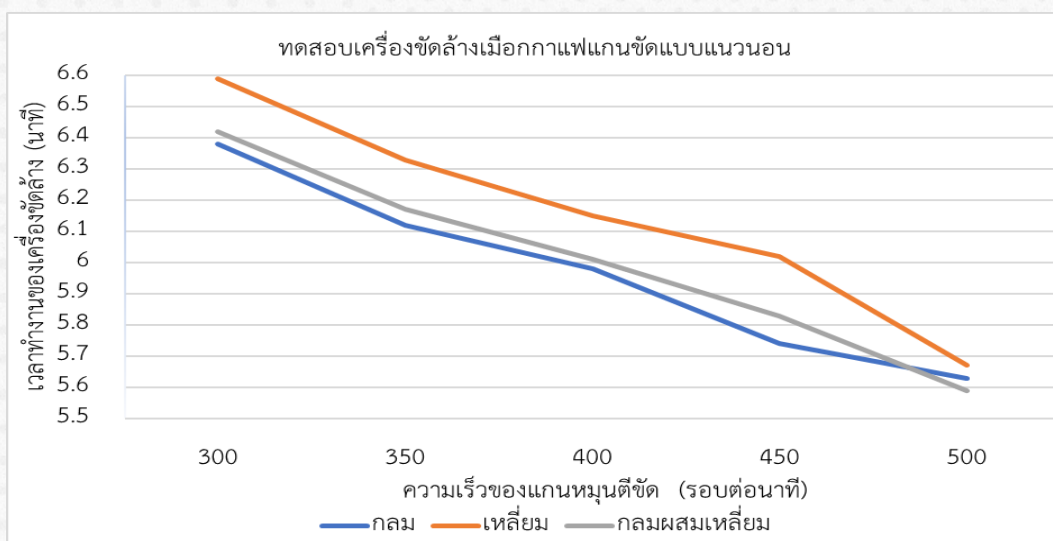
ภาพที่ 4 กราฟผลการทดสอบเครื่องขัดล้างเมื่อกาแฟแกนขัดแบบแวนอน (น้ำหนักกาแฟหลังขัดล้าง)

จากภาพที่ 4 ผลการทดสอบพบว่าเครื่องขัดล้างเมื่อกาแฟแกนขัดแบบแวนอน โดยชนิดแกนซี่ขัดแบบต่างๆ จากการทดสอบพบว่าแกนซี่ขัดแบบชนิดกลมที่ความเร็วรอบในการหมุนตีขัด 300 รอบต่อนาที ซึ่งมีน้ำหนักหลังการขัดล้างมากที่สุดเท่ากับ 17.21 กิโลกรัม เมื่อเทียบกับแกนซี่ชนิดเหลี่ยม และกลมผสมเหลี่ยม



ภาพที่ 5 กราฟผลการทดสอบเครื่องขัดล้างเมื่อกาแฟแกนขัดแบบแวนอน (ร้อยละการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักหลังการขัดล้าง)

จากภาพที่ 5 ผลการทดสอบพบว่าเครื่องขัดล้างเมื่อกาแฟแกนขัดแบบแวนอน โดยชนิดแกนซี่ขัดแบบต่างๆ ซึ่งทำการแยกของเสีย หรือร้อยละการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักหลังการขัดล้างเมื่อกาแฟพบว่า แกนซี่ขัดแบบชนิดกลมที่ความเร็วรอบในการหมุนตีขัด 300 รอบต่อนาที ร้อยละการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักหลังการขัดล้างเมื่อกาแฟน้อยที่สุดเท่ากับร้อยละ 0.98 เมื่อเทียบกับแกนซี่ชนิดเหลี่ยม และกลมผสมเหลี่ยม



ภาพที่ 6 กราฟผลการทดสอบเครื่องขัดล้างเมื่อกาแฟแกนขัดแบบแวนอน (เวลาทำงานของเครื่องขัดล้าง)

จากภาพที่ 6 ผลการทดสอบพบว่าเครื่องขัดล้างเมื่อกาแฟแกนขัดแบบแนววน โดยชนิดแกนขัดแบบต่างๆ เมื่อเทียบเวลาทำงานของเครื่องขัดล้างพบว่า แกนขัดชนิดกลมผสมเหลี่ยมที่ความเร็วรอบในการหมุนตีขัด 500 รอบต่อนาที ใช้เวลาในการขัดล้างเมื่อกาแฟน้อยที่สุดเท่ากับ 5.59 นาที เมื่อเทียบกับแกนขัดชนิดกลม และชนิดเหลี่ยม

#### 4. บทสรุป

เครื่องขัดล้างเมื่อกาแฟแกนขัดแบบแนววนที่พัฒนาขึ้นมีความสามารถและประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีที่สุดคือการใช้ซี่แกนขัดที่เป็นพลาสติก POM ชนิดกลม เนื่องจากเมื่อเมล็ดกาแฟภายในห้องขัดล้างเคลื่อนที่จะเกิดการขัดสีกันระหว่างเมล็ดกาแฟด้วยกัน เมล็ดกาแฟกับผนัง และเมล็ดกาแฟกับซี่ขัด จากแรงเหวี่ยงและความเร็วรอบในการเคลื่อนที่ของแกนเพลทำให้เกิดการเสียหายน้อยกว่า แบบซี่เหลี่ยม และแบบซี่กลมผสมเหลี่ยม อีกทั้งยังสามารถขัดล้างเมื่อกาแฟที่ติดอยู่กับเมล็ดกาแฟได้สะอาดกว่าซี่แกนชนิดอื่นๆ โดยมีกำลังการผลิตที่ 200 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (คำนวณจาก 60 นาที ทารด้วยเวลาทำงานของเครื่องขัดล้างแกนขัดแบบแนววน ชนิดซี่กลม ที่ความเร็วรอบในการหมุนตีขัด 400 รอบต่อนาที คือ 5.98 นาที คูณด้วยน้ำหนักกาแฟก่อนการขัดล้าง 20 กิโลกรัม เท่ากับ 200.66 กิโลกรัมต่อชั่วโมง) การแตกของกะลากาแฟหลังการขัดล้างเฉลี่ยร้อยละ 1.52 ที่ความเร็วรอบแกนขัดล้างที่ดีที่สุดจากการทดสอบ 400 รอบต่อนาที พลังงานไฟฟ้าทั้งระบบ 1.95 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง หรือคำนวณเป็นค่าไฟฟ้าที่ 8.78 บาทต่อชั่วโมง (คำนวณที่ราคาค่าไฟฟ้า 4.5 บาทต่อหน่วย) และปริมาณน้ำ 0.00176 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม (1.76 ลิตรต่อกิโลกรัม) สามารถขัดล้างได้สะอาดเมื่อตรวจด้วยสายตาและสัมผัสด้วยมือเป็นที่ยอมรับได้ เมื่อนำมาตากแดดจะไม่มีคราบสีน้ำตาลให้เห็นชัด

จากการลงสำรวจพื้นที่ผลิตกาแฟ เกษตรกรเก็บผลกาแฟเสร็จในช่วงเย็นจึงสะดวกที่จะลอกเปลือกหรือสีสดโดยไม่หมัก หรือหมักในบ่อหมัก 1 คืน จึงทำการขัดล้างในช่วงเช้าแล้วนำออกตากแดดในวันถัดไป เป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องขัดล้างเมื่อกาแฟแกนขัดแบบแนววนที่ใช้แรงในการขัดล้างน้อยลงโดยสามารถลดต้นทุนทางด้านแรงงาน ต้นทุนในการใช้น้ำ การเกิดกลิ่นและน้ำเสียในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก โดยโครงการต่อเนื่องจะทำการวิจัยในส่วนของการนำน้ำที่ผ่านกระบวนการผลิตนั้น เพื่อนำมาใช้ซ้ำ ลดปัญหาการปล่อยน้ำเสียทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (ววน.) ปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 – 2568

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] พุทธิพันธ์ จารุวัฒน์. การออกแบบและพัฒนาเครื่องลอกเมื่อกาแฟ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2546.
- [2] พิมล วุฒิสินธุ์. การพัฒนาเครื่องลอกเปลือกสดพร้อมขัดเมื่อกาแฟขนาดที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มเกษตรกรและผู้ประกอบการ กรมวิชาการเกษตร กรุงเทพฯ. 2553.
- [3] พงษ์ศักดิ์ อังกสิทธิ์ และบัณฑิต วาฤทธิ. การปลูกและผลิตกาแฟอาราบิก้าที่สูง. ศูนย์วิจัยและพัฒนา. 2542.
- [4] กรมวิชาการเกษตร. กาแฟ. เอกสารวิชาการ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. ลำดับที่ 17 ปี พ.ศ. 2547. 80 หน้า.
- [5] คณะเกษตรศาสตร์. กาแฟบนที่สูง. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่. 229 หน้า.

- [6] เพิ่มพูน ศักดิ์เกษม. กาแฟ. ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตร กรุงเทพฯ. 46 หน้า
- [7] Bui Hai Nhi. Coffee Quality Improvement. Lam dong Province Vietnam. 1997.
- [8] Gitimu, C.W. Better coffee farming. Coffee processing. J. Kenya – Coffee. 1995.
- [9] Clarke. R.J. and Macrae. R (eds). Vincent 1989 Green coffee processing. In Coffee Volume 2 Technology  
Clarke. Elsevier Applied Science Publishers Ltd. pp. 1 – 33

# ผลของพันธุ์ถั่วเหลืองที่มีต่อคุณภาพการแปรรูปถั่วเหลืองผงด้วยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย

## Effect of Soybean Varieties on Soybean Powder Processing Quality with Spray Drying Method

ปัทมพร วาสนาเจริญ<sup>1\*</sup> สุพรรณณิ เป็งคำ<sup>1</sup> และ ละอองดาว แสงหล้า<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

\*E-mail: pvpattamaporn8@gmail.com

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของพันธุ์ถั่วเหลืองต่อคุณภาพการแปรรูปถั่วเหลืองผงด้วยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ 5 กรรมวิธี คือ พันธุ์ถั่วเหลือง ได้แก่ พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 60 พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 7 พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 2 พันธุ์กวก. สจ 5 และพันธุ์กวก.สุโขทัย 3 ทำการทดสอบ โดยนำน้ำนมถั่วเหลืองแต่ละพันธุ์ที่ความเข้มข้นอัตราส่วนเมล็ดต่อน้ำ 1:3 (กิโลกรัมต่อลิตร) ที่เติมสารมอลโตสเด็กซ์ตรินปริมาณ 10 กรัมต่อน้ำ 350 มิลลิลิตร มาทำให้แห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิร้อนขาเข้า 180 องศาเซลเซียส พบว่า ถั่วเหลืองพันธุ์กวก. เชียงใหม่ 2 เหมาะสำหรับแปรรูปเป็นถั่วเหลืองผงมากที่สุด โดยมีคุณค่าทางโภชนาการและปริมาณผงถั่วเหลืองที่ได้สูงสุด ปริมาณโปรตีนสูงสุด 39.45 กรัมต่อผง 100 กรัม น้ำตาลรวมสูงสุด 89.4 กรัมต่อผง 100 กรัม ไขมัน 15.86 กรัมต่อผง 100 กรัม น้ำหนักแห้งผงที่ความชื้นร้อยละ 5 สูงสุด 406.3 กรัมต่อ 1 ลิตร และความชื้นผงต่ำสุดร้อยละ 4.1 พันธุ์ที่เหมาะสมรองลงมา ได้แก่ พันธุ์กวก. สุโขทัย 3 พันธุ์กวก. สจ 5 พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 7 และพันธุ์กวก. เชียงใหม่ 60 ตามลำดับ

**คำสำคัญ:** ถั่วเหลือง ถั่วเหลืองผง การอบแห้งแบบพ่นฝอย

### Abstract

This research was to study the effect of soybean varieties on soybean powder processing quality by spray drying method. The experiment was planned using the Completely Randomized Design (CRD) method with 4 replicates and 5 treatments of soybean varieties, including with DOA. Chiang Mai 60, DOA. Chiang Mai 7, DOA. Chiang Mai 2, DOA. SJ 5, DOA. Chiang Mai 2 and DOA. Sukhothai 3, was tested by using soy milk solution of each variety to be dried with a spray dryer according to the method soybean milk solution with a seed-to-water ratio 1:3 (Kg/l), amount of maltose dextrin 10 g/ 350 ml. at an inlet hot air temperature of 180 °C. The results showed that soybean variety DOA. Chiang Mai 2 was suitable for processing into soybean powder. It has the highest nutritional value and the highest amount of soybean powder. It had the highest protein of 39.45 g/100 g, the highest total sugar of 89.4 g/100 g, the highest fat of 15.86 g/100 g, the highest powder dry weight at 5% moisture content was 406.3 g/liter, and the lowest

powder moisture content of 4.1%, followed by: DOA. Sukhothai 3, DOA. SJ 5, DOA. Chiang Mai 7, and DOA. Chiang Mai 60 varieties, respectively.

**Keywords:** soybean, soybean powder, spray dry

## 1. บทนำ

น้ำมันถั่วเหลืองเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปมาจากถั่วเหลืองที่ให้คุณค่าทางอาหารที่สูง มีปริมาณโปรตีนที่สูงใกล้เคียงกับน้ำมันสัตว์แต่มีปริมาณไขมันน้อยกว่าและได้รับความนิยมจากผู้บริโภคเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะกลุ่มผู้บริโภคเพื่อสุขภาพ [1] การแปรรูปน้ำมันถั่วเหลืองเพื่อการบริโภคและจำหน่ายในท้องตลาดในปัจจุบันโดยทั่วไปอยู่ในรูปของเหลวบรรจุในภาชนะขวดพลาสติกหรือขวดแก้วที่มีการฆ่าเชื้อแล้วซึ่งมีน้ำหนักและปริมาณมากไม่สะดวกและเพิ่มค่าใช้จ่ายในการขนส่ง เมื่อเปิดรับประทานแล้วต้องบริโภคให้หมดและต้องแช่ในตู้เย็นเพื่อป้องกันการบูดเสียที่เกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ ดังนั้นวิธีการยืดอายุผลิตภัณฑ์จึงเป็นสิ่งสำคัญในกระบวนการผลิตและจำหน่าย [2] ซึ่งการแปรรูปน้ำมันถั่วเหลืองอยู่ในสภาพที่เป็นผงเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษา รักษาคุณภาพโปรตีนในผลิตภัณฑ์แปรรูปให้คงสภาพได้นานขึ้น เทคโนโลยีการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying) เป็นที่นิยมใช้ในเชิงอุตสาหกรรมเนื่องจากเป็นวิธีการอบแห้งที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงทำให้น้ำระเหยออกจากอาหารได้เร็ว ระยะเวลาที่ใช้ในการทำแห้งสั้นมากจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพคงเดิมหรือใกล้เคียงกับสภาพสดมาก [3] เมื่อนำมาใช้ในการผลิตเป็นผงถั่วเหลืองทำให้ได้ผงที่ไม่มีกลิ่นถั่วที่ฉุนและไม่มีรสชาติคาวของถั่วเหลือง อีกทั้งยังคงคุณค่าทางโภชนาการไว้อย่างครบถ้วน สามารถนำมาแปรรูปเป็นน้ำมันถั่วเหลืองชนิดผงหรือใช้เป็นส่วนประกอบในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารได้หลายรูปแบบ ความนิยมในการบริโภคผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองของผู้บริโภคทั่วไปจะพิจารณาถึงลักษณะทางกายภาพ รสชาติ เนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการร่วมด้วย ในถั่วเหลืองแต่ละพันธุ์จะมีลักษณะทางกายภาพและคุณค่าทางโภชนาการที่แตกต่างกัน เช่น ถั่วเหลืองพันธุ์กวก, เชียงใหม่ 60 พันธุ์กวก, เชียงใหม่ 7 เป็นกลุ่มพันธุ์ที่มีปริมาณโปรตีนและไขมันในเมล็ดสูง ในขณะที่พันธุ์กวก, เชียงใหม่ 2 พันธุ์กวก, สจ 5 และ พันธุ์กวก, สุโขทัย 3 มีปริมาณโปรตีนในเมล็ดต่ำกว่า [4] เมื่อนำมาแปรรูปเป็นถั่วเหลืองผงปริมาณโปรตีน ไขมัน น้ำตาล ในเมล็ดถั่วเหลืองแต่ละพันธุ์จะทำให้ได้ผงถั่วเหลืองที่มีคุณค่าทางโภชนาการและลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันไปย่อมทำให้ความเหมาะสมในการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน และที่ผ่านมายังไม่มีการศึกษาถึงพันธุ์ถั่วเหลืองที่มีผลต่อคุณภาพของถั่วเหลืองผง ดังนั้นแล้วงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกพันธุ์ถั่วเหลืองที่เหมาะสมสำหรับนำไปแปรรูปเป็นถั่วเหลืองผงที่มีคุณภาพทางโภชนาการที่สูง คุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ดี เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เพื่อเป็นการเพิ่มคุณค่าของผลิตภัณฑ์แปรรูปจากถั่วเหลืองและเพิ่มความหลากหลายให้แก่ผู้บริโภค สะดวกต่อการพกพานำไปใช้ประโยชน์ และกระจายผลิตภัณฑ์ไปสู่ผู้บริโภคที่อยู่ในสถานที่ต่างๆ ได้ง่าย ตลอดจนสามารถพัฒนาต่อไปเป็นธุรกิจชุมชนและระดับประเทศได้

## 2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

### 2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

1. ถั่วเหลืองจำนวน 5 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์กวก, เชียงใหม่ 60 พันธุ์กวก, เชียงใหม่ 7 พันธุ์กวก, เชียงใหม่ 2 พันธุ์กวก, สจ 5 และพันธุ์กวก, สุโขทัย 3
2. อุปกรณ์สำหรับเตรียมน้ำมันถั่วเหลือง
3. อุปกรณ์สำหรับทำแห้งแบบพ่นฝอย
4. อุปกรณ์สำหรับตรวจสอบคุณภาพ

## 2.2 วิธีดำเนินการวิจัย

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ 5 กรรมวิธี คือ พันธุ์ถั่วเหลือง จำนวน 5 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 60 พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 7 พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 2 พันธุ์กวก. สจ 5 และพันธุ์กวก. สุโขทัย 3 ทำการทดสอบโดยเตรียมน้ำนมถั่วเหลืองที่อัตราส่วนเมล็ดต่อน้ำ 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 3 ลิตร ที่เติม มอลโตสเด็กซ์ตริน 10 กรัมต่อน้ำนมถั่วเหลือง 350 มิลลิลิตร ตัวอย่างละ 350 มิลลิลิตร จากนั้นนำน้ำนมถั่วเหลืองมาทำให้แห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิร้อนขาเข้า 180 องศาเซลเซียส โดยกำหนดค่าคงที่ของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีอุณหภูมิร้อนขาออก 80 องศาเซลเซียส อัตราการป้อนสารละลายช่วง 14-17 มิลลิลิตรต่อนาที ในระหว่างการทำให้แห้งตัวอย่างสารละลายน้ำนมถั่วเหลืองในอ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พร้อมคนเพื่อช่วยให้การเคลื่อนที่ของสารละลายน้ำนมถั่วเหลืองเข้าเครื่องอย่างสม่ำเสมอ ตามวิธีของปัทมพร วาสนาเจริญ และคณะ [2]

## 2.3 การบันทึกผล

1. ปริมาณโปรตีนในน้ำนมถั่วเหลืองและผงถั่วเหลือง โดยวิธี Kjeldahl Method [5]
2. ปริมาณไขมันในน้ำนมถั่วเหลืองและผงถั่วเหลือง โดยวิธี Acid Hydrolysis และ Solvent Extraction Method [5]
3. ปริมาณน้ำตาลรวมในน้ำนมถั่วเหลืองและผงถั่วเหลือง โดยวิธี HPLC Method [5]
4. ค่าของแข็งในสารละลาย โดยใช้เครื่อง Refractometer (Brix) [5]
5. ความชื้นผงถั่วเหลือง โดยวิธี Drying Method [5]
6. น้ำหนักแห้งที่ความชื้นร้อยละ 5 ของผงถั่วเหลือง โดยวิธี Drying Method [5]
7. ค่าการละลายในน้ำร้อนของผงถั่วเหลือง โดยวิธีของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม [6]
8. สีผงถั่วเหลือง โดยการใช้แผ่นเทียบมาตรฐานสีตัวอย่างพีช (RHS Colour Chart)

## 3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ตารางที่ 1 ปริมาณโปรตีน ไขมัน น้ำตาลรวม และค่าของแข็งในสารละลาย ของน้ำนมถั่วเหลืองพันธุ์กวก. เชียงใหม่ 60 พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 7 พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 2 พันธุ์กวก. สจ 5 และพันธุ์กวก. สุโขทัย 3

กรรมวิธี	โปรตีน (กรัม/100 กรัม)	ไขมัน (กรัม/100 กรัม)	น้ำตาลรวม (กรัม/100 กรัม)	ค่าของแข็งในสารละลาย (%)
น้ำนมถั่วเหลือง กวก. ซม 60	4.62	0.56	0.50	13.86 <sup>b</sup>
น้ำนมถั่วเหลือง กวก. ซม 7	4.01	1.40	0.79	15.02 <sup>a</sup>
น้ำนมถั่วเหลือง กวก. ซม 2	4.11	0.46	0.80	15.17 <sup>a</sup>
น้ำนมถั่วเหลือง กวก. สจ 5	4.56	0.48	1.01	13.27 <sup>c</sup>
น้ำนมถั่วเหลือง กวก. สท 3	4.36	0.48	0.65	14.84 <sup>a</sup>
เฉลี่ย	4.33	0.73	0.78	14.43
F-Test				**

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในสมมติเดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่ต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณโปรตีน ไขมัน น้ำตาลรวม และค่าของแข็งในสารละลายของน้ำนมถั่วเหลืองพันธุ์กวก. เชียงใหม่ 60 พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 7 พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 2 พันธุ์กวก. สจ 5 และพันธุ์กวก. สุโขทัย 3 พบว่า

ปริมาณโปรตีนในน้ำมันถั่วเหลืองสูงสุดในพันธุ์กวก. เชียงใหม่ 60 เท่ากับ 4.62 กรัมต่อผง 100 กรัม รองลงมา ได้แก่ พันธุ์กวก. สจ 5 พันธุ์กวก. สุโขทัย 3 พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 2 และ พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 7 เท่ากับ 4.56 4.36 4.11 และ 4.01 กรัมต่อผง 100 กรัม ตามลำดับ ปริมาณโปรตีนเฉลี่ยในน้ำมันถั่วเหลืองเท่ากับ 4.33 กรัมต่อต่อผง 100 กรัม

ปริมาณไขมันในน้ำมันถั่วเหลืองสูงสุดในพันธุ์กวก. เชียงใหม่ 7 เท่ากับ 1.04 กรัมต่อผง 100 กรัม รองลงมา ได้แก่ พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 60 พันธุ์กวก. สจ 5 พันธุ์กวก. สุโขทัย 3 และพันธุ์กวก. เชียงใหม่ 2 เท่ากับ 0.56 0.48 0.48 และ 0.46 กรัมต่อผง 100 กรัม ตามลำดับ ปริมาณไขมันเฉลี่ยในน้ำมันถั่วเหลืองเท่ากับ 0.73 กรัมต่อต่อผง 100 กรัม

ปริมาณน้ำตาลรวมในน้ำมันถั่วเหลืองสูงสุดในพันธุ์กวก. สจ 5 เท่ากับ 1.01 กรัมต่อผง 100 กรัม รองลงมา ได้แก่ พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 2 พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 7 พันธุ์กวก. สุโขทัย 3 และ พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 60 เท่ากับ 0.80 0.79 0.65 และ 0.50 กรัมต่อผง 100 กรัม ตามลำดับ ปริมาณน้ำตาลรวมเฉลี่ยในน้ำมันถั่วเหลืองเท่ากับ 0.78 กรัมต่อต่อผง 100 กรัม

ค่าของแข็งในสารละลายของน้ำมันถั่วเหลืองที่อัตราส่วนเมล็ดต่อน้ำ 1:3 (กิโลกรัมต่อลิตร) ในถั่วเหลืองจำนวน 5 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ค่าของแข็งในสารละลายอยู่ระหว่างร้อยละ 13.27-15.17 คิดเป็นค่าของแข็งในสารละลายเฉลี่ย เท่ากับ ร้อยละ 14.43 โดยน้ำมันถั่วเหลืองพันธุ์กวก. เชียงใหม่ 2 มีค่าของแข็งในสารละลายสูงสุด เท่ากับ ร้อยละ 15.17 รองลงมา ได้แก่ พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 7 พันธุ์กวก. สุโขทัย 3 พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 60 และพันธุ์กวก. สจ 5 เท่ากับ ร้อยละ 15.02 14.84 13.86 และ 13.27 ตามลำดับ โดยพันธุ์กวก. เชียงใหม่ 7 พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 2 และพันธุ์กวก. สุโขทัย 3 มีค่าของแข็งในสารละลายน้ำมันถั่วเหลืองอยู่ในระดับสูง ระหว่างร้อยละ 15.17-14.84 ในส่วนของพันธุ์กวก. เชียงใหม่ 60 และ พันธุ์กวก. สจ 5 มีค่าน้อยกว่าอยู่ระหว่างร้อยละ 13.86-13.27 และมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ย

**ตารางที่ 2** ปริมาณโปรตีน ไขมัน น้ำตาลรวม และสีของผงถั่วเหลืองพันธุ์กวก. เชียงใหม่ 60 พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 7 พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 2 พันธุ์กวก. สจ 5 และพันธุ์กวก. สุโขทัย 3 หลังการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

กรรมวิธี	โปรตีน	ไขมัน	น้ำตาลรวม	สี
	(กรัม/100 กรัม)	(กรัม/100 กรัม)	(กรัม/100 กรัม)	
ผงถั่วเหลือง กวก. ชม 60	36.72	18.57	8.7	WHITE GROUP NN155 D
ผงถั่วเหลือง กวก. ชม 7	37.52	19.56	9.26	WHITE GROUP NN155 D
ผงถั่วเหลือง กวก. ชม 2	42.25	14.83	12.01	WHITE GROUP NN155 B
ผงถั่วเหลือง กวก. สจ 5	39.45	15.86	9.54	WHITE GROUP NN155 D
ผงถั่วเหลือง กวก. สท 3	39.7	16.01	9.67	GREYED-WHITE GROUP 156 C-D
เฉลี่ย	39.13	16.96	9.84	

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณโปรตีน ไขมัน น้ำตาลรวม และสีของผงถั่วเหลืองพันธุ์กวก. เชียงใหม่ 60 พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 7 พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 2 พันธุ์กวก. สจ 5 และพันธุ์กวก. สุโขทัย 3 หลังการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย พบว่า

ปริมาณโปรตีนในผงถั่วเหลืองสูงสุดในพันธุ์กวก. เชียงใหม่ 2 เท่ากับ 42.25 กรัมต่อผง 100 กรัม รองลงมา ได้แก่ พันธุ์กวก. สุโขทัย 3 พันธุ์กวก. สจ 5 พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 7 และพันธุ์กวก. เชียงใหม่ 60 เท่ากับ 39.70 39.45 37.52 และ 36.72 กรัมต่อผง 100 กรัม ปริมาณโปรตีนเฉลี่ยในผงถั่วเหลือง เท่ากับ 39.13 กรัมต่อต่อผง 100 กรัม



ปริมาณไขมันผงั่วเหลืองสูงสุดในพันธุ์กวก. เชียงใหม่ 7 เท่ากับ 19.56 กรัมต่อผง 100 กรัม รองลงมา ได้แก่ พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 60 พันธุ์กวก. สุโขทัย 3 พันธุ์กวก. สจ 5 และพันธุ์กวก. เชียงใหม่ 2 เท่ากับ 18.57 16.01 15.86 และ 14.83 กรัมต่อผง 100 กรัม ปริมาณไขมันเฉลี่ยในผงั่วเหลือง เท่ากับ 16.96 กรัมต่อผง 100 กรัม

ปริมาณน้ำตาลรวมในน้ำนมผงั่วเหลืองสูงสุดในพันธุ์เชียงใหม่ 2 เท่ากับ 12.01 กรัมต่อผง 100 กรัม รองลงมา ได้แก่ พันธุ์กวก. สุโขทัย 3 พันธุ์กวก. สจ 5 พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 7 และ พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 60 เท่ากับ 9.67 9.54 9.26 และ 8.70 กรัมต่อผง 100 กรัม

การทำแห้งโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอยมีผลให้ปริมาณโปรตีนในผงั่วเหลืองสูงกว่าในน้ำนมผงั่วเหลืองจำนวน 9 เท่า ปริมาณโปรตีนเฉลี่ยในผงั่วเหลือง เท่ากับ 39.13 กรัมต่อผง 100 กรัม ในขณะที่ แต่ในผงั่วเหลือง พบว่า พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 2 มีปริมาณโปรตีนในผงั่วเหลืองสูงสุด เท่ากับ 42.25 กรัมต่อผง 100 กรัม ปริมาณไขมันในผงั่วเหลืองสูงกว่าในน้ำนมผงั่วเหลืองจำนวน 23 เท่า ปริมาณไขมันเฉลี่ยในผงั่วเหลือง เท่ากับ 16.96 กรัมต่อผง 100 กรัม ในขณะที่ปริมาณไขมันเฉลี่ยในน้ำนมผงั่วเหลืองเท่ากับ 0.73 กรัมต่อผง 100 กรัม ปริมาณน้ำตาลรวมในผงั่วเหลืองสูงกว่าในน้ำนมผงั่วเหลืองจำนวน 12.6 เท่า ปริมาณน้ำตาลรวมเฉลี่ยในผงั่วเหลือง เท่ากับ 9.84 กรัมต่อผง 100 กรัม ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลรวมเฉลี่ยในน้ำนมผงั่วเหลืองเท่ากับ 0.78 กรัมต่อผง 100 กรัม

**ตารางที่ 3** ความชื้น น้ำหนักแห้งที่ความชื้นร้อยละ 5 และค่าการละลายในน้ำร้อนของผงั่วเหลืองในถั่วเหลืองผงพันธุ์กวก. เชียงใหม่ 60 พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 7 พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 2 พันธุ์กวก. สจ 5 และพันธุ์กวก. สุโขทัย 3

กรรมวิธี	ความชื้น (%)	น้ำหนักแห้งที่ความชื้น 5% (กรัม/350 มล.)	น้ำหนักแห้งที่ความชื้น 5% (กรัม/1000 มล.)	ค่าการละลายในน้ำร้อน (%)
ผงั่วเหลือง กวก. ชม 60	5.5 <sup>c</sup>	109.88 <sup>d</sup>	313.95 <sup>d</sup>	65.53 <sup>bc</sup>
ผงั่วเหลือง กวก. ชม 7	5.8 <sup>d</sup>	100.15 <sup>d</sup>	286.13 <sup>e</sup>	63.84 <sup>c</sup>
ผงั่วเหลือง กวก. ชม 2	4.1 <sup>a</sup>	142.20 <sup>a</sup>	406.27 <sup>a</sup>	64.83 <sup>bc</sup>
ผงั่วเหลือง กวก. สจ 5	4.5 <sup>b</sup>	115.07 <sup>c</sup>	328.76 <sup>c</sup>	69.30 <sup>a</sup>
ผงั่วเหลือง กวก. สท 3	4.5 <sup>b</sup>	134.66 <sup>b</sup>	384.73 <sup>b</sup>	67.97 <sup>ab</sup>
เฉลี่ย	4.9	120.39	343.97	66.29
F-Test	**	**	**	*

**หมายเหตุ** ค่าเฉลี่ยในสัณฐานเดียวกันที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน ไม่ต่างกันทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT

ตารางที่ 3 แสดงค่าความชื้น น้ำหนักแห้งที่ความชื้นร้อยละ 5 และค่าการละลายในน้ำร้อนของผงั่วเหลืองในถั่วเหลืองผง พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 60 พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 7 พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 2 พันธุ์กวก. สจ 5 และพันธุ์กวก. สุโขทัย 3 พบว่า

ความชื้นของผงั่วเหลืองที่ได้จำนวน 5 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง พบว่า ความชื้นผงั่วเหลืองอยู่ระหว่างร้อยละ 4.1-5.8 คิดเป็นความชื้นผงั่วเหลืองเฉลี่ย เท่ากับ ร้อยละ 4.9 โดยถั่วเหลืองพันธุ์กวก. เชียงใหม่ 2 มีปริมาณความชื้นผงั่วต่ำสุด เท่ากับ ร้อยละ 4.1 รองลงมา ได้แก่ พันธุ์กวก. สุโขทัย 3 พันธุ์กวก. สจ 5 พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 60 และพันธุ์กวก. เชียงใหม่ 7 เท่ากับ ร้อยละ 4.5 4.5 5.5 และ 5.8 ตามลำดับ โดยความชื้นผงั่วเหลือง

ต่ำสุดอยู่ระหว่างร้อยละ 4.1-4.5 ในพันธุ์กวก. เชียงใหม่ 2 พันธุ์กวก. สุโขทัย 3 และพันธุ์กวก. สจ 5 แต่ในพันธุ์ กวก. เชียงใหม่ 60 และพันธุ์กวก. เชียงใหม่ 7 มีปริมาณความชื้นผงสูงกว่า ระหว่างร้อยละ 5.5-5.8 และสูงกว่าค่าเฉลี่ย

น้ำหนักแห้งที่ความชื้นร้อยละ 5 ของผงถั่วเหลือง จำนวน 5 พันธุ์ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง น้ำหนักแห้งของผงถั่วเหลืองที่ความชื้นร้อยละ 5 อยู่ระหว่าง 286.13-406.27 กรัมต่อ 1 ลิตร คิดเป็นน้ำหนักแห้งผงที่ความชื้นร้อยละ 5 เฉลี่ย เท่ากับ 343.97 กรัมต่อ 1 ลิตร โดยถั่วเหลืองพันธุ์กวก. เชียงใหม่ 2 มีน้ำหนักแห้งที่ความชื้น ร้อยละ 5 ของผงถั่วเหลืองสูงสุด เท่ากับ 406.27 กรัมต่อ 1 ลิตร รองลงมา ได้แก่ พันธุ์กวก. สุโขทัย 3 พันธุ์กวก. สจ 5 พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 60 และพันธุ์กวก. เชียงใหม่ 7 เท่ากับ 384.73 328.76 313.95 และ 286.13 กรัมต่อ 1 ลิตร ตามลำดับ หลังการทำแห้ง พบว่า พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 2 และพันธุ์กวก. สุโขทัย 3 ให้น้ำหนักแห้งผงอยู่ในระดับสูงระหว่าง 406-385 กรัมต่อ 1 ลิตร รองลงมาเป็นพันธุ์กวก. เชียงใหม่ 7 และพันธุ์กวก. สจ 5 อยู่ระหว่าง 328-314 กรัมต่อ 1 ลิตร และพันธุ์กวก. เชียงใหม่ 60 ให้ปริมาณผงต่ำสุดและมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ย

ค่าการละลายในน้ำร้อนของผงถั่วเหลืองจำนวน 5 พันธุ์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ค่าการละลายในน้ำร้อนของผงถั่วเหลืองอยู่ระหว่างร้อยละ 63.84-69.30 คิดเป็นค่าเฉลี่ย ร้อยละ 66.29 โดย ถั่วเหลืองพันธุ์กวก. สจ 5 มีค่าการละลายในน้ำร้อนของผงถั่วเหลืองสูงสุด เท่ากับ ร้อยละ 69.30 รองลงมา ได้แก่ พันธุ์กวก. สุโขทัย 3 พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 60 พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 2 และพันธุ์กวก. เชียงใหม่ 7 เท่ากับ ร้อยละ 67.97 65.53 64.86 และ 63.84 ตามลำดับ ค่าการละลายในน้ำร้อนของผงถั่วเหลืองอยู่ในระดับสูงในพันธุ์กวก. สจ 5 และพันธุ์กวก. สุโขทัย 3 อยู่ระหว่างร้อยละ 68-69 และสูงกว่าค่าเฉลี่ย ในขณะที่พันธุ์เชียงใหม่ 60 พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 2 และพันธุ์กวก. เชียงใหม่ 7 มีค่าการละลายในน้ำร้อนอยู่ในระดับที่ต่ำกว่า ระหว่างร้อยละ 64-66 และมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 1 ลักษณะสีของผงถั่วเหลืองพันธุ์กวก. เชียงใหม่ 60 พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 7 พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 2 พันธุ์กวก. สจ 5 และพันธุ์กวก. สุโขทัย 3 หลังทำแห้งแบบพ่นฝอย

ภาพที่ 1 แสดงสีของผงถั่วเหลืองจำนวน 5 พันธุ์ สามารถแบ่งได้เป็นจำนวน 3 กลุ่ม คือ 1) สีขาว รหัสสี WHITE GROUP NN115 ที่ความเข้มสีระดับ B ได้แก่ พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 2 2) สีขาว รหัสสี WHITE GROUP NN115 ที่ความเข้มสี ระดับ D ได้แก่ พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 7 พันธุ์กวก. เชียงใหม่ 60 และพันธุ์กวก. สจ 5 และ 3) สีเทา-ขาว รหัสสี GREYED-

WHITE GROUP 156 ความเข้มข้นระดับ C-D ได้แก่ พันธุ์กวก, สุโขทัย 3 ที่มีลักษณะเปลือกหุ้มเมล็ดสีดำจึงทำให้ผงที่ได้มีสีออกขาว-เทา

จากการศึกษาผลของพันธุ์ถั่วเหลืองที่มีต่อคุณภาพการแปรรูปถั่วเหลืองผงดด้วยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย พบว่า เทคนิคการทำแห้งโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอยมีผลให้คุณค่าทางโภชนาการของผงถั่วเหลืองที่ได้มีคุณค่าทางโภชนาการอยู่ในระดับสูงเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์แบบน้ำ แต่ในกระบวนการทำแห้งอุณหภูมิและปริมาณมอลโทสเด็กซ์ตรินจะมีผลต่อคุณภาพและปริมาณของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้โดยความร้อนมีผลให้เกิดการเสื่อมสภาพของปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์ได้

ปริมาณโปรตีนในผงถั่วเหลืองพันธุ์กวก, เชียงใหม่ 2 มีปริมาณโปรตีนในผงถั่วเหลืองสูงสุดเท่ากับร้อยละ 42.25 ในขณะที่พันธุ์กวก, เชียงใหม่ 60 ที่มีปริมาณโปรตีนในน้ำนมถั่วเหลืองปริมาณสูงสุด แต่เมื่อนำมาแปรรูปเป็นผงถั่วเหลืองมีปริมาณโปรตีนในผงถั่วเหลืองเพียงร้อยละ 36.72 ซึ่งต่ำกว่าทุกพันธุ์ เนื่องจากถั่วเหลืองพันธุ์กวก, เชียงใหม่ 60 มีสัดส่วนของปริมาณโปรตีนและปริมาณไขมันในเมล็ดที่สูงกว่าถั่วเหลืองพันธุ์อื่น ๆ เมื่อเข้าสู่กระบวนการทำแห้งมีผลให้เกิดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการที่สูงกว่า ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Fennema และคณะ [7] ที่รายงานว่าความร้อนที่ใช้ในกระบวนการทำให้แห้งในผลิตภัณฑ์อาหารที่สูงมีผลต่อการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ โดยในขั้นตอนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีการเติมมอลโทสเด็กซ์ตรินนั้นในขั้นตอนการละลายมอลโทสเด็กซ์ตรินต้องใช้ความร้อนช่วยในการละลายโดยการแช่ภาชนะบรรจุน้ำนมถั่วเหลืองในอ่างควบคุมอุณหภูมิระหว่าง 60 องศาเซลเซียส ตลอดช่วงระยะเวลาการทำแห้งประกอบกับในกรรมวิธีที่มีปริมาณสารมอลโทสเด็กซ์ตรินที่สูงต้องใช้เวลาในการละลายที่นานขึ้นและระยะเวลาในการทำแห้งที่นานทำให้เกิดการเสื่อมสภาพและสลายตัวของโปรตีนในผงถั่วเหลืองเพิ่มขึ้น

การเติมสารมอลโทสเด็กซ์ตรินที่ปริมาณเพิ่มขึ้นสามารถช่วยเพิ่มปริมาณผงที่ได้ โดยมีผลให้ปริมาณน้ำตาลรวมเพิ่มขึ้นและมีผลต่อเนื้อให้ค่าของแข็งในสารละลายเพิ่มขึ้นตามจึงทำให้พันธุ์กวก, เชียงใหม่ 2 และพันธุ์กวก, เชียงใหม่ 7 ซึ่งมีปริมาณน้ำตาลรวมในน้ำนมถั่วเหลืองที่สูงอยู่แล้วมีปริมาณเพิ่มขึ้นตาม แต่ก็มียางว่าการเติมสารมอลโทสเด็กซ์ตรินมีผลให้ปริมาณไขมันในผงถั่วเหลืองลดลงเมื่อเทียบกับการไม่เติมมอลโทสเด็กซ์ตริน โดยปัทมพร และคณะ [2] รายงานว่าการเติมสารมอลโทสเด็กซ์ตรินในปริมาณที่เพิ่มขึ้นมีผลให้น้ำนมถั่วเหลืองที่จะนำไปทำแห้งมีความชื้นและมีความหนืดสูงทำให้การดูดสารละลายเข้าเครื่องทำได้ยาก อัตราการไหลของสารละลายต่ำ และใช้ระยะเวลาในการทำแห้งนานขึ้นและเกิดการสูญเสียปริมาณผงในกระบวนการทำแห้งได้ โดยปริมาณมอลโทสเด็กซ์ตรินที่สูงมีผลให้ solid recovery ลดลง เกิดการสูญเสียของผงที่ตกค้างมากขึ้น เนื่องมาจากส่วนผสมมีความชื้นเหนียวมากเกินไปเกิดเป็นคราบเหนียวแห้งและแข็งเกาะในห้อยอบแห้ง [8-10] ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผงถั่วเหลืองที่ได้จากพันธุ์ กวก, เชียงใหม่ 7 มีปริมาณน้อยกว่าพันธุ์ กวก, เชียงใหม่ 2 แม้ว่าจะมีไขมันสูงกว่าและปริมาณโปรตีนและน้ำตาลรวมในปริมาณที่ใกล้เคียงกับพันธุ์ กวก, เชียงใหม่ 2

#### 4. บทสรุป

ถั่วเหลืองพันธุ์กวก, เชียงใหม่ 2 เหมาะสำหรับแปรรูปเป็นผงถั่วเหลือง โดยมีคุณค่าทางโภชนาการและปริมาณผลผลิตผงถั่วเหลืองที่ได้สูงสุด มีปริมาณโปรตีนสูงสุด 39.45 กรัมต่อผง 100 กรัม น้ำตาลรวมสูงสุด 89.4 กรัมต่อผง 100 กรัม ไขมัน 15.86 กรัมต่อผง 100 กรัม ความชื้นผงต่ำสุดร้อยละ 4.1 และน้ำหนักแห้งผงที่ความชื้นร้อยละ 5, สูงสุด 406.3 กรัมต่อ 1 ลิตร รองลงมา ได้แก่ พันธุ์กวก, สุโขทัย 3 พันธุ์กวก, สจ 5 พันธุ์กวก, เชียงใหม่ 7 และพันธุ์กวก, เชียงใหม่ 60 ตามลำดับ ในการวิจัยด้านการแปรรูปผลิตภัณฑ์ผงถั่วเหลืองด้วยวิธีอบแห้งโดยใช้ลมร้อนปริมาณสารอาหารในเมล็ดมีความสัมพันธ์กับปริมาณมอลโทสเด็กซ์ตรินและอุณหภูมิที่ใช้ซึ่งจะมีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการโดยเฉพาะการใช้อุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลานานมีผลทำให้โปรตีนเกิดการเสื่อมคุณภาพ ดังนั้นในการทำแห้งโดยใช้ลมร้อนควรมีการควบคุมอุณหภูมิไม่ให้สูงเกินค่าที่กำหนดเพื่อลดการสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกรมวิชาการเกษตร และสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (สกสว.) ที่ให้การสนับสนุนบุคลากร และงบประมาณในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ถิรนนท์ คุณานพรัตน์, มณฑิรา นพรัตน์, สุวิช ศิริวัฒนาโยธิน, และวลัยพร ศรีชุมพวง. การประเมินความเป็นไปได้ทางเทคโนโลยีและทางเศรษฐศาสตร์ในการพัฒนากระบวนการผลิตนมถั่วเหลืองผงสำเร็จรูป. *อาหาร*: 33(4)(2546) 299-307.
- [2] ปัทมพร วาสนาเจริญ, สุพรรณณี เป็งคำ, และ โสพิศ ใจपालะ. ผลของอุณหภูมิและปริมาณมอลโตสเด็กซ์ทรินต่อคุณภาพถั่วเหลืองผงด้วยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย. รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 2 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์, เพชรบูรณ์. 2566. 457-466.
- [3] มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์, กรุณา วงษ์กระจ่าง, นิสากร มีจั่น, สยมพร ใจดี, และสุวิสาส กาญจนพิมล. การผลิตเครื่องดื่มผงจากถั่วเหลืองและงาดำที่ผ่านการเพาะงอก. รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 14 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 6, ประจวบคีรีขันธ์. 2556. 545-550.
- [4] สถาบันวิจัยพืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน. พันธุ์พืชไร่และพืชทดแทนพลังงาน 2563. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ. 2563.
- [5] Association of Official Analytical Chemists (AOAC). *Official Method of Analysis of Association of Official Analytical Chemists. 18<sup>th</sup> (ed.)*, The Association of Official Analytical Chemists, Washington D.C. Gaithersburg, MD, USA. 2005.
- [6] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงาน. มาตรฐานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ชุมชน มะตูมผงสำเร็จรูป มอช., กรุงเทพฯ. 2556.
- [7] O. R. Fennema. *Principles of Food Science Part 1: Food Chemistry*, Marcel Dekker Inc., New York, 1976.
- [8] M. Fazaeli, Z. E mam-Djomeh, A.K. Ashtari, M. Omid, Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food and bioproducts processing*. 90(4)(2012) 667-675.
- [9] R. V., Tonon, C. Brabet, M. D. Hubinger, Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*. 88(3)(2008) 411-418.
- [10] S. Y. Chong, C.W. Wong, Production of Spray-Dried Sapodilla (*M anilkara zapota*) Powder from Enzyme-Aided Liquefied Puree. *Journal of Food Processing and Preservation*. 39(6)(2015) 2604-2611.

การศึกษาความหลากหลายชนิดและความชุกชุมของโรติเฟอร์ คลาโดเซอแรน  
และโคพีพอด ในอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำหวาน จังหวัดเลย

Species Diversity and Abundance of Rotifers, Cladocerans and Copepods  
in Huai Nam Man Reservoir, Loei Province

รพี พรหมดี<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>หลักสูตรชีววิทยาสำหรับครู ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

\*E-mail: rapee.promdee@kkumail.com

**บทคัดย่อ**

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากหลายชนิดและความชุกชุมของโรติเฟอร์ คลาโดเซอแรนและโคพีพอดในอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำหวาน จังหวัดเลย โดยใช้เป็นตัววัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพ เก็บตัวอย่างเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ โดยใช้ถุงลากแพลงก์ตอนขนาดตา 60 ไมโครเมตรจากแหล่งน้ำจำนวน 6 สถานี ในช่วงฤดูฝน (เดือนสิงหาคม 2563) และฤดูแล้ง (เดือนมีนาคม 2564) พบโรติเฟอร์ทั้งสิ้น 7 สปีชีส์ โรติเฟอร์ที่พบบ่อย ได้แก่ *Keratella cochleris* โดยพบทุกสถานีเก็บตัวอย่าง รองลงมาได้แก่ *Keratella javana* และ *Bachionus falcatus* เมื่อพิจารณาความหลากหลายในแต่ละฤดู พบว่ามีความหลากหลายไม่แตกต่างกัน เนื่องจากในช่วงเก็บตัวอย่างมีฝนตกอย่างต่อเนื่องทั้งสองฤดูและมีกระแสน้ำที่ไหลเชี่ยว ผลการศึกษาความหลากหลายของคลาโดเซอแรน พบทั้งหมด 1 สปีชีส์ คือ *Daphnia similis* โดยปริมาณที่พบมีจำนวนไม่แตกต่างกันทั้งสองฤดู

**คำสำคัญ** แพลงก์ตอนสัตว์ โรติเฟอร์ คลาโดเซอแรน โคพีพอด

**Abstract**

The objective of this research is to study the variety and abundance of rotifers, Cladocerans and copepods in Huai Nam Man Reservoir, Loei Province, qualitative and quantitative samples were collected. Using bags to drag plankton with diameter of 60 micrometers from water sources at 6 stations during the rainy season (August 2020) and the summer season (March 2021), a total of 7 species of rotifers were found. Common rotifers including *Keratella cochleris*, found at every sampling station. Next were *Keratella javana* and *Bachionus falcatus* when considering seasonal diversity. It was found that there was not difference in diversity. This is because during the sampling period there was continuous rain in both seasons and there was a rapid flow of water. The results of the study of the diversity of cladoceran species found a total of 1 species, *Daphnia similis*. The amount found was not different in both seasons.

**Keywords:** Zooplankton, Rotifer Cladoceran Copepod

## 1. บทนำ

จังหวัดเลย เป็นจังหวัดที่มีลักษณะภูมิประเทศเป็นแอ่งกระทะ มีภูเขาล้อมรอบ ผู้คนส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ซึ่งจะต้องอาศัยน้ำสำหรับการเกษตร น้ำที่ใช้นั้นมาจากแหล่งน้ำธรรมชาติ และแหล่งน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้น จากข้อมูลของสำนักงานชลประทานจังหวัดเลย พบว่า แหล่งน้ำในจังหวัดเลย ส่วนใหญ่มีการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อ่างเก็บน้ำ ซึ่งเป็นแหล่งกักเก็บน้ำที่สำคัญอย่างหนึ่งมีความสำคัญในด้านการเกษตร การประมง และการอุปโภคบริโภคในชีวิตประจำวัน อีกทั้งยังเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำ ในพื้นที่ของเขตเทศบาลเมืองเลย มีการใช้ประโยชน์จากอ่างเก็บน้ำที่สำคัญ คือ อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำหมาน อ่างเก็บน้ำดังกล่าวมีพื้นที่ติดกับบริเวณบ้านเรือน และยังมีพื้นที่ติดกับพื้นที่ป่า มีการใช้ประโยชน์จากอ่างเก็บน้ำสำหรับการอุปโภค บริโภค ผลิตน้ำประปา และยังเป็นแหล่งจับสัตว์น้ำของชุมชนอีกด้วย อีกทั้งแหล่งน้ำยังเป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำขนาดเล็ก และแพลงก์ตอน ที่เป็นอาหารสำคัญของสัตว์น้ำด้วย [1]

จากการศึกษาคุณภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำหมาน โดยกรมควบคุมมลพิษ พบว่า ในช่วงฤดูฝนจะมีการปนเปื้อนสารพิษในกลุ่มของสารกำจัดแมลง และสารกำจัดวัชพืช แต่ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำมีค่าที่สูง เมื่อเข้าสู่ฤดูแล้ง คุณภาพน้ำของน้ำจะมีปริมาณของสารอินทรีย์ละลายอยู่สูง ทำให้แหล่งน้ำไม่เหมาะต่อการอุปโภค [2]

แพลงก์ตอน เป็นกลุ่มของสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็ก ดำรงชีวิตแบบลอยอยู่ในน้ำ ไม่สามารถเคลื่อนที่ต้านกระแสได้ [3] สามารถแบ่งกลุ่มแพลงก์ตอนได้เป็น 2 ประเภท คือ กลุ่มของแพลงก์ตอนพืช และกลุ่มของแพลงก์ตอนสัตว์ โดยกลุ่มของแพลงก์ตอนพืชนั้น มีความสำคัญในด้านการเป็นผู้ผลิตในระบบนิเวศแหล่งน้ำ และยังเป็นอาหารให้กับสัตว์น้ำขนาดเล็กหรือแพลงก์ตอนสัตว์อีกด้วย ซึ่งระบบนิเวศแหล่งน้ำ ยังมีแพลงก์ตอนสัตว์เป็นองค์ประกอบด้วย [4] โดยแพลงก์ตอนสัตว์เป็นอาหารที่สำคัญให้กับสัตว์น้ำในระยะตัวอ่อนหรือสัตว์น้ำอื่นๆ ด้วย เช่น ปู หอย กุ้ง เป็นต้น [5]

แพลงก์ตอนสัตว์ มีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม และการปนเปื้อนสารพิษได้ดี เนื่องจากมีวงชีวิตสั้น [6] ในการศึกษาแพลงก์ตอนสัตว์ ทำให้ทราบได้ว่าแหล่งน้ำที่มีการศึกษามีการเปลี่ยนแปลงตัวชี้คุณภาพไปมากน้อยเพียงใด เช่น ความสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ การปนเปื้อนสารพิษ สภาวะธาตุอาหารในน้ำกรณีทีแพลงก์ตอนมีการเปลี่ยนแปลงไปแพลงก์ตอนบางชนิดมีปริมาณเพิ่มขึ้น หรือเข้ามาแทนที่แพลงก์ตอนที่เคยอยู่เดิม ดังนั้น จึงสามารถสะท้อนคุณภาพ และลักษณะของแหล่งน้ำได้ [7]

แพลงก์ตอนสัตว์ นอกจากจะเป็นอาหารให้กับสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำแล้ว ยังสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพของน้ำได้อีกด้วย โดยมีการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำ และยังมีมีการปล่อยสารปนเปื้อนต่างๆ ลงสู่แหล่งน้ำ จากรายงานของกรมควบคุมมลพิษ พบว่า แหล่งน้ำส่วนใหญ่ถูกรบกวนจากมนุษย์ ด้วยการปล่อยน้ำเสีย หรือสารเคมีต่างๆ ลงสู่แหล่งน้ำ ไม่ว่าจะเป็นแหล่งน้ำธรรมชาติ และแหล่งน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้น ส่งผลให้แพลงก์ตอนที่อยู่ในแหล่งน้ำมีการสะสมสารปนเปื้อนต่างๆ เข้าไป และยังสามารถถ่ายทอดไปตามห่วงโซ่อาหารได้ด้วย [8] ดังนั้น การศึกษาความหลากหลายชนิดและความชุกชุมของไรติเฟอร์ คลาโดเซอแรน และโคพีพอด ในอ่างเก็บน้ำช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งจะทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลของสังคมแพลงก์ตอนสัตว์ ตลอดจนทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำกับแพลงก์ตอนสัตว์ในอ่างเก็บน้ำห้วยน้ำหมาน และยังสามารถใช้ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยเป็นตัวชี้วัดทางชีวภาพของแหล่งน้ำในการศึกษาได้

## 2. วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย

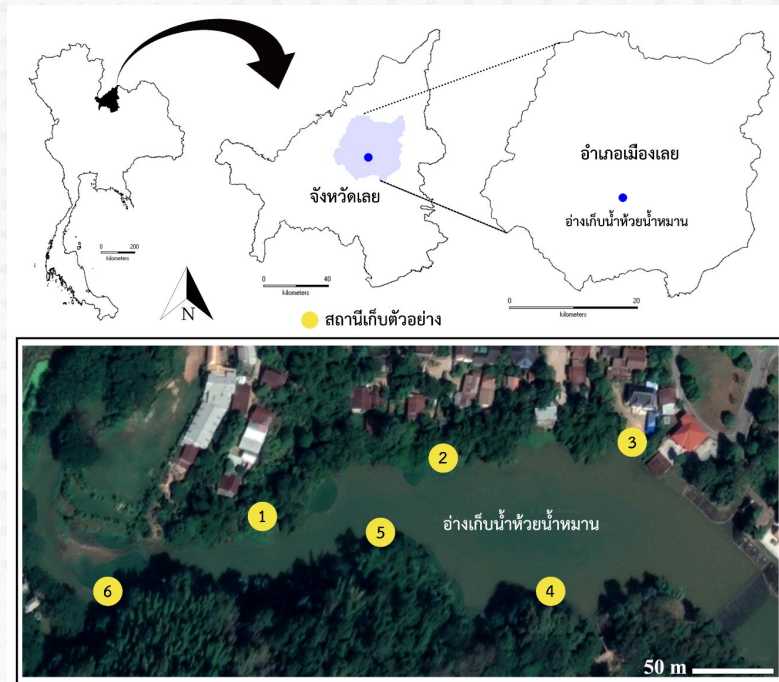
### 2.1 พื้นที่ศึกษา

อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำหมาน ตั้งอยู่ที่บ้านท่าแพ ตำบลเมือง อำเภอมะหาเมืองเลย จังหวัดเลย อยู่ในการดูแลของสำนักชลประทานจังหวัดเลย สามารถกักเก็บน้ำได้ทั้งสิ้น 1.624 ล้านลูกบาศก์เมตร รับน้ำมาจากห้วยน้ำหมาน ซึ่งมีต้นกำเนิดมาจากภูผาหมาน ในเขตรวนอุทยานหริรักษ์ มีพื้นที่ 1.464 ตารางกิโลเมตร พื้นที่โดยรอบอ่างเก็บน้ำประกอบด้วย 2 บริเวณ

คือ บริเวณแรกมีบ้านเรือนและปลูกสร้างริมตลิ่ง และบริเวณที่ติดกับพื้นที่ป่า ในช่วงฤดูฝนจะมีปริมาณน้ำไหลเข้าเฉลี่ย 166.78 ล้านลูกบาศก์เมตร ขณะที่ช่วงฤดูแล้งนั้นจะมีปริมาณน้ำไหลเข้าเฉลี่ย 12.97 ล้านลูกบาศก์เมตร มีปริมาณน้ำฝนอยู่ในช่วง 900 – 1,300 มิลลิเมตร [9] นอกจากนี้ อ่างเก็บน้ำยังพบพืชเด่น ได้แก่ บัวสาย จอกหูหนู ผักตบชวา และบอน [10]

## 2.2. การเก็บตัวอย่าง

### 2.2.1 เก็บตัวอย่างจากสถานีเก็บทั้งหมด 6 สถานี ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนที่อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำหมาน และสถานีเก็บตัวอย่าง 6 จุด

ตารางที่ 1 พิกัดทางภูมิศาสตร์สถานีเก็บตัวอย่างและลักษณะของสถานีเก็บตัวอย่าง 6 จุด

สถานี	พิกัดทางภูมิศาสตร์	ความสูงจากระดับน้ำทะเล (เมตร)	ลักษณะสถานีเก็บตัวอย่าง
1	17°29'22.6"N 101°42'12.6"E	259	ติดชุมชน มีบ้านเรือนอาศัยอยู่เบาบาง
2	17°29'23.3"N 101°42'15.7"E	255	ติดชุมชน มีบ้านเรือนอาศัยอยู่หนาแน่น และมีการปล่อยน้ำเสีย
3	17°29'23.6"N 101°42'19.3"E	251	ติดชุมชน มีบ้านเรือนอาศัยติดริมน้ำ
4	17°29'20.6"N 101°42'18.7"E	260	ติดพื้นที่ป่า ไม่มีผู้คนอาศัย
5	17°29'21.8"N 101°42'14.8"E	263	ติดพื้นที่ป่า มีพืชน้ำขึ้นหนาแน่น ไม่ถูกรบกวนจากมนุษย์
6	17°29'20.6"N 101°42'09.0"E	263	ติดพื้นที่ป่า อยู่ตรงข้ามบ้านเรือน มีผักตบชวาหนาแน่น

### 2.2.2 ลักษณะทั่วไปของสถานีเก็บตัวอย่าง

สถานีที่ 1 มีลักษณะทั่วไปมีตลิ่งที่ไม่ชัน มีบ้านเรือนตั้งอยู่ติดแหล่งน้ำจำนวน 10 หลังคาเรือน น้ำมีลักษณะขุ่น มีเศษใบไม้และกิ่งไม้ลอยเป็นจำนวนมาก แสงแดดส่องถึงได้น้อย เนื่องจากมีกอไผ่ขึ้นอยู่ใกล้กับบริเวณตลิ่งริมฝั่งน้ำ

สถานีที่ 2 มีบ้านเรือนอาศัยอยู่หนาแน่น มีท่อระบายน้ำเสียจากแหล่งชุมชนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ น้ำมีลักษณะขุ่นและมีสีดำ มีเศษขยะลอยอยู่ในแหล่งน้ำจำนวนมาก ไม่มีพืชน้ำอยู่ในแหล่งน้ำ

สถานีที่ 3 มีที่ตั้งอยู่ติดกับชุมชน น้ำมีลักษณะขุ่น มีบัวสายและหญ้าขจรชขึ้นอยู่เป็นจำนวนมาก มีท่อระบายน้ำเสียปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ แสงส่องถึงแหล่งน้ำได้มาก ไม่มีต้นไม้อื่นๆขึ้นอยู่ริมตลิ่ง

สถานีที่ 4 มีที่ตั้งติดอยู่กับพื้นที่ ไม่มีบ้านเรือนอยู่ริมตลิ่ง ในแหล่งน้ำมีผักตบชวาและหญ้าขจรชขึ้นอยู่เป็นจำนวนมาก แสงแดดส่องถึงได้มาก ไม่มีต้นไม้อื่นๆขึ้นที่ริมตลิ่ง

สถานีที่ 5 เป็นพื้นที่ที่เข้าถึงยาก ไม่มีทางเดินเท้าริมตลิ่ง มีหญ้าขจรชขึ้นอยู่ในแหล่งน้ำปริมาณมาก แสงแดดส่องถึงได้น้อย ริมตลิ่งมีต้นไม้อื่นๆขึ้นหนาแน่น ตลิ่งมีลักษณะชัน มีเศษใบไม้และกิ่งไม้ลอยอยู่เป็นจำนวนมาก

สถานีที่ 6 มีอาคารสูบน้ำของการประปาตั้งอยู่ริมตลิ่ง มีผักตบชวาอยู่เป็นจำนวนมาก แสงแดดส่องถึงได้น้อย มีต้นจามจุรีขนาดใหญ่อยู่ริมตลิ่ง พบทางเดินเท้าของมนุษย์ และมีปลาอาศัยอยู่ชุกชุม ในบริเวณใกล้กันมีประตุน้ำของกรมชลประทาน มีเศษกิ่งไม้และใบไม้ลอยอยู่เป็นจำนวนมาก บริเวณตลิ่งมีก้อนหินขนาดใหญ่จำนวนมาก

**2.3 เก็บตัวอย่างแพลงก์ตอนสัตว์เชิงคุณภาพ** โดยใช้ถุงลากแพลงก์ตอน ขนาดตาข่าย 60 ไมครอน โดยลากถุงแพลงก์ตอนผ่านมวลน้ำ เป็นระยะทาง 5 เมตร จากนั้นรักษาสภาพด้วยฟอร์มาลินความเข้มข้นร้อยละ 4 เก็บตัวอย่างในช่วงฤดูฝน และฤดูแล้ง จำนวน 2 ครั้ง ในเดือนสิงหาคม 2564 และ เมษายน 2565 เพื่อใช้เป็นตัวแทนในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งตามลำดับ และตรวจวัดคุณสมบัติทางด้านกายภาพและทางเคมีบางประการของน้ำจากแหล่งน้ำที่ศึกษา จำนวน 5 ตัวแปร ก่อนทำการเก็บแพลงก์ตอนสัตว์ ดังแสดงในตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** การตรวจวัดสมบัติทางด้านกายภาพและทางเคมีบางประการของน้ำจากแหล่งน้ำที่ศึกษาก่อนทำการเก็บตัวอย่างไรติเฟอร์ โคพีพอดและคลาโรเชอแรน

ตัวแปรที่ตรวจวัด	หน่วย	วิธี/เครื่องมือที่ใช้ตรวจวัด
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (dissolved oxygen)	มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L)	ไทเทรตด้วยวิธี azide modification of iodometric method (AOAC, 1984)
ความเป็นกรด-เบสของน้ำ (pH)	-	multi-parameter
ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity)	ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	multi-parameter
อุณหภูมิของน้ำ (water temperature)	องศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ )	เทอร์โมมิเตอร์
ความโปร่งใสของน้ำ (transparency)	เซนติเมตร (cm)	จานวัดความโปร่งใส (secchi disc)



### 3. การวิเคราะห์ตัวอย่างแพลงก์ตอนสัตว์ในห้องปฏิบัติการ

3.1 ใช้หลอดหยดดูดตัวอย่างแพลงก์ตอนสัตว์ที่อยู่ในขวดเก็บตัวอย่างใสในงานหลุมแก้ว เติมน้ำกลั่นเล็กน้อยเพื่อให้ความเข้มข้นของฟอร์มาลินเจือจางลง จากนั้นใช้เข็มเขี่ยแยกตะกอนให้ออกจากตัวอย่างแพลงก์ตอนสัตว์ และใช้หลอดคาปิลลาไรท์ที่ผ่านการให้ความร้อนที่ปลายและดึงส่วนปลายให้แหลมดูดตัวอย่างที่ต้องการ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงชนิดเลนส์ประกอบที่กำลังขยาย 40 และ 100 เท่า จากนั้นเป่าลงบนสไลด์ที่หยดกลีเซอริน 1 หยดไว้ แล้วปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ และหนูนด้วยดินน้ำมันทั้ง 4 มุม เพื่อป้องกันการกระดทับจนเสียรูปทรง

3.2 จำแนกชนิดของแพลงก์ตอนสัตว์ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 100 และ 400 เท่า โดยใช้เอกสารประกอบการระบุชนิด (key) ของโรติเฟอร์ คลาโรเซอแรน และโคพีพอด [11-15]

### 4. ผลการทดลองและอภิปรายผล

#### 4.1 ผลการทดลอง

##### 4.1.1 คุณภาพน้ำทางกายภาพและทางเคมี

ผลการวิจัยพบว่า คุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ปกติทั้งสองครั้งของการเก็บตัวอย่าง ระดับอุณหภูมิของบริเวณต่าง ๆ ที่ทำการศึกษามีค่าใกล้เคียงกันตลอดการศึกษา โดยอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่  $28.9 \pm 0.11 - 31.2 \pm 0.57$  องศาเซลเซียส อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยอยู่ที่  $26.1 \pm 0.17 - 28.6 \pm 0.72$  องศาเซลเซียส ค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเฉลี่ยอยู่ที่  $7.8 \pm 0.2 - 8.2 \pm 0.55$  มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง  $6.7 \pm 0.26 - 7.3 \pm 0.42$  และค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่  $287 \pm 0.23 - 384 \pm 0.37 \mu\text{S}$

##### 4.1.2 ความหลากหลายและความชุกชุมของแพลงก์ตอนสัตว์

จากการศึกษาพบแพลงก์ตอนสัตว์ 7 สปีชีส์ คือ *Brachionus falcatus*, *Brachionus quadridentus*, *Keratella cochleris*, *Keratella javana*, *Lecan luna*, *Platenus patulus*, *Polyathra vulgaris* และ *Daphnia similis* โดยชนิดที่พบมากที่สุด คือ *Keratella cochleris* โดยพบในทุกสถานีเก็บตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 78.69

##### 4.1.3 ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ

จากการศึกษาพบว่า ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพทั้ง 3 ค่า ที่มีการศึกษามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง โดยค่าดัชนีความหลากหลาย Shannon-Weiner's index มีค่าน้อยสุดที่สถานีที่ 4 ( $0.28 \pm 0.06$ ) ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพและค่าความมากชนิดในแต่ละสถานีมีค่าไม่แตกต่างกันในทางสถิติ

#### 4.2 วิจัยารณ์ผลการศึกษา

จากผลการศึกษา พบว่าแพลงก์ตอนในแต่ละสถานีมีความหลากหลายไม่สูงมาก เนื่องจากมีปัจจัยเกี่ยวกับกระแสน้ำที่ไหลเชี่ยวที่เป็นผลมาจากฝนตกหนักในช่วงเวลาของการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ครั้ง มาเกี่ยวข้อง เป็นผลให้แพลงก์ตอนถูกพัดพาไปตามกระแสน้ำ และแพลงก์ตอนสัตว์ที่เป็นกลุ่มเด่น คือ กลุ่มโรติเฟอร์ โดยเฉพาะสปีชีส์ *Keratella cochleris* อาจมีสาเหตุมาจากการโรติเฟอร์เป็นแพลงก์ตอนสัตว์ที่มีรูปแบบการดำรงชีวิตที่หลากหลาย [16] ปัจจัยที่มีการทำให้ในแต่ละสถานีมีการกระจายตัวของแพลงก์ตอนสัตว์ที่ไม่แตกต่างกันเป็นผลมาจากปัจจัยทางกายภาพและทางเคมีของแต่ละสถานีนั้นไม่มีความแตกต่างกัน แต่ในสถานีเก็บตัวอย่างที่มีค่าการนำไฟฟ้าที่น้อย จะพบโรติเฟอร์ชนิด *Polyathra vulgaris* เป็นจำนวนมากกว่าสถานีเก็บตัวอย่างอื่น ๆ อีกทั้งโรติเฟอร์ชนิดนี้ยังมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของรัชนิกร แรมลี [17] เกี่ยวกับความสัมพันธ์ของโรติเฟอร์ในพื้นที่ชุ่มน้ำ จังหวัดขอนแก่น พบว่า

*Polyathra vulgaris* มีความสัมพันธ์ของบวกับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ และยังมีการพบโคฟีพอดวัยอ่อนเป็นจำนวนมากในแต่ละสถานี ส่วนการแพร่กระจายของคลาโดเซอแรนในแหล่งน้ำนั้น พบเพียง 1 สปีชีส์ คือ *Daphnia similllis* ซึ่งเป็นผลมาจากแหล่งน้ำนั้นมีพืชน้ำปกคลุมอยู่น้อย โดยสภาพดังกล่าวนี้ส่งผลต่อการพบคลาโดเซอแรน [18] ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดคลาโดเซอแรนกับปัจจัยทางกายภาพและเคมีบางประการของน้ำ ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่าอุณหภูมิ น้ำ ความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และความขุ่น เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่กระจายในเชิงบวกของคลาโดเซอแรน *Daphnia similllis* ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับการศึกษาของ สาวิตรี นาไชย และลลอสรี เสนาะเมือง [19] ที่ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของคลาโดเซอแรนกับ ปัจจัยทางกายภาพและเคมีของน้ำบางประการในกลุ่มแม่น้ำสงคราม พบว่าอุณหภูมิ และความเป็นกรด-ด่าง มีผลต่อการ แพร่กระจายของชนิดคลาโดเซอแรน และวราภรณ์ เรืองรัตน์ [20] ซึ่งได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของคลาโดเซอแรนกับ ปัจจัยทางกายภาพและเคมีของน้ำบาง ในเขต 5 จังหวัดในภาคกลางและภาคใต้ของประเทศไทยก็พบพหุชาในช่วงหลังมรสุม พบว่า ความเป็นกรด-ด่าง การนำไฟฟ้า และอุณหภูมิของน้ำมีผลต่อการแพร่กระจายของคลาโดเซอแรนเช่นกัน

## 5. บทสรุป

จากการศึกษาพบว่าแพลงก์ตอนสัตว์ที่มีความหลากหลายมากที่สุดคือกลุ่มโรติเฟอร์ สปีชีส์ที่มีพบจำนวนมากที่สุดคือ *Keratella cochleris* โดยความหลากหลายชนิดนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยทางกายภาพและทางเคมีของน้ำ แต่ในช่วงที่มีการเก็บตัวอย่างนั้นมีฝนตกชุกและมีกระแสน้ำไหลเชี่ยวจึงทำให้มีความหลากหลายชนิดของแพลงก์ตอนสัตว์ที่น้อย และความหลากหลายชนิดของแพลงก์ตอนสัตว์ของฤดูในการเก็บตัวอย่างทั้งสองฤดูนั้นไม่แตกต่างกัน

## 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์เป็นอย่างดีได้ด้วยความช่วยเหลือ และการให้คำปรึกษาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ได้แก่ รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภิภรณ์ อธิบาย และอาจารย์ในหลักสูตรชีววิทยาสำหรับครูที่ให้คำแนะนำ ในทุกขั้นตอนที่ได้ทำการศึกษารายวิชาวิทยานิพนธ์การวางแผนการศึกษาทั้งหลักสูตรขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์อนุกรมวิธานประยุกต์ ที่ช่วยเก็บตัวอย่าง ตลอดจนเจ้าหน้าที่ภาควิชาชีววิทยาทุกท่าน ที่เอื้อความสะดวกในการใช้วัสดุอุปกรณ์ตลอดการทำวิจัย ขอขอบคุณผู้อำนวยการโรงเรียนเลยพิทยาคม จังหวัดเลย ที่อนุญาตให้มาศึกษาในช่วงฤดูร้อน และอนุเคราะห์การใช้อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการชีววิทยาและสุดท้ายขอขอบคุณบิดามารดา ญาติพี่น้อง และคุณสมทัศน์ อย่างสุข ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดการศึกษาระดับมหาบัณฑิต

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์, สถานการณ์และภาพรวมงานวิจัยเพื่อพัฒนาและแก้ปัญหาในจังหวัดเลย. กรุงเทพฯ: สำนักงาน. 2563.
- [2] กรมควบคุมมลพิษ. รายงานสถานการณ์ของเสียในชุมชน. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2564.
- [3] พรรณา วันชวง, และ ลลอสรี เสนาะเมือง. ความหลากหลายชนิดของแพลงก์ตอนสัตว์น้ำจืดกลุ่มโรติเฟอร์คลาโดเซอแรนและโคฟีพอดในแหล่งน้ำชั่วคราวในเขตจังหวัดอุบลราชธานี. (รายงานการวิจัยในโครงการ BRT ปี 2549). กรุงเทพฯ: จีรวัฒน์ เอ็กซ์เพรส จำกัด. 2549.
- [4] ลลอสรี เสนาะเมือง. ความหลากหลายของแพลงก์ตอนสัตว์น้ำจืดในประเทศไทย. ในรายงานการวิจัยในโครงการ BRT 2544. หน้า 1-16. จัดพิมพ์โดยโครงการ BRT. บริษัทจีรวัฒน์ เอ็กซ์เพรส จำกัด. กรุงเทพฯ. 2544.

- [5] ละออศรี เสนาะเมือง และศิริชัย ไผ่ทองคำ. ความหลากหลายของคลาโดเซอราและโคพีพอดในพื้นที่บึงทามบริเวณลุ่มน้ำมูล. วารสารวิจัย มข. 10(2)(2548) 106-113.
- [6] พรรณา วันชวง, และ ละออศรี เสนาะเมือง. ความหลากหลายชนิดของแพลงก์ตอนสัตว์น้ำจืดกลุ่มโรติเฟอร์คลาโดเซอราและโคพีพอดในแหล่งน้ำชั่วคราวในเขตจังหวัดอุบลราชธานี. (รายงานการวิจัยในโครงการ BRT ปี 2549). กรุงเทพฯ: จีรวัดน์ เอ็กซ์เพรส จำกัด. 2549.
- [7] Jaramillo, J.C., & Pinto-Coelho, R.M. Interaction between *Hexarthra intermedia* (Rotifera) and *Bosmina longirostris* (Cladocera): A case of opportunistic nutrition or interference competition?. *Journal of Plankton Research*, 32(6) (2010) 961-966.
- [8] กรมควบคุมมลพิษ. รายงานสถานการณ์ของเสียในชุมชน. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2564.
- [9] รายงานสภาพภูมิอากาศประจำปี. กรุงเทพฯ: กรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม. 2564.
- [10] สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดเลย. รายงานสภาพแวดล้อมจังหวัดเลย. เลย: สำนักงาน. 2562.
- [11] Koste, W., & Shiel, R.J. Rotifera from Australian inland waters VIII: Trichocercidae (Monogononta). *Transactions of The Royal Society of South Australia*, 116(1) (1992) 1-27.
- [12] Segers, H. Rotifera Volume 2: The Lecanidae (Monogononta). Guides to the identification of the microinvertebrates of the continental water of the world 6. The Hague: SPB Academic Publishing. 1995.
- [13] Williamson, C.E. Copepoda. Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates. Academic Press, Inc., San Diego. 1991. Pp. 787-822.
- [14] Maiphae, S. A taxonomic guide to the common cladocerans in peninsular of Thailand. Songkla: Princess Maha Chakri Sirindhorn natural museum, Faculty of Science, Prince of Songkla University. 2014.
- [15] ภูริพงศ์ เมฆสุวรรณ. ชีววิทยาของโรติเฟอร์และโรติเฟอร์ในประเทศไทย. ภูเก็ต. โมเดิร์นเทรดดิ้ง. 2565.
- [16] หัตถยา ธรบ. การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและความชุกชุมของแพลงก์ตอนสัตว์ บริเวณปากแม่น้ำบางปะกง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. กรุงเทพฯ:จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2530.
- [17] รัชนิกร แรมลี และละออศรี เสนาะเมือง. ความหลากหลายของโรติเฟอร์ในพื้นที่ชุ่มน้ำ หนองละเลิงเค็ง จังหวัดขอนแก่น. ในงานประชุมบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น ครั้งที่ 18. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2560. หน้า 532-541.
- [18] Stanley I. Dodson & Dodson Silva-Briano. Crustacean zooplankton species richness and associations in reservoirs and ponds of Aguascalientes State, Mexico. *Hydrobiologia*. Volume 325, 1991. pages 163-172.
- [19] สาวิตรี นาไชย และละออศรี เสนาะเมือง. ความหลากหลายชนิดและการแพร่กระจายของคลาโดเซอแรนในเขตลุ่มแม่น้ำสงคราม. การนำเสนอผลงานวิทยานิพนธ์ของนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 8 กลุ่มวิทยาศาสตร์ชีวภาพ. 2549. หน้า 129-139.
- [20] วราภรณ์ เรืองรัตน์. การแปรผันตามฤดูกาลของแพลงก์ตอนสัตว์บริเวณป่าชายเลนบ้านบากันเคย และหาดทรายบ้านหาดทรายยาวที่ชายฝั่ง จังหวัดสตูล. วิทยานิพนธ์. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2547.



**คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**  
**มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร**  
**FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**  
**Rajamangala University of Technology Phra Nakhon**

โทร. 02-836-3000 ต่อ 4159, 4155 [WWW.SCIR.MUTP.AC.TH/NCONSCI7](http://WWW.SCIR.MUTP.AC.TH/NCONSCI7)

