

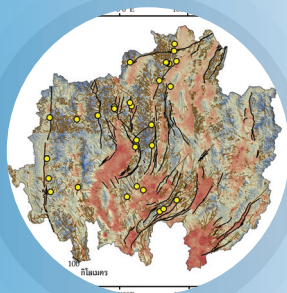
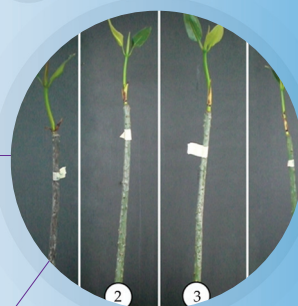
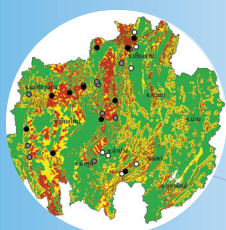


วารสาร มทร.อีสาน

ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ISSN 2672-9369 (Online)

ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 มกราคม - เมษายน 2564



วารสาร มทร.อีสาน ได้รับการประเมินคุณภาพให้อยู่ในฐานข้อมูลของ
ศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) กลุ่มที่ 2

RMUTI

วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

RMUTI JOURNAL Science and Technology

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

Rajamangala University of Technology Isan (RMUTI)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ด้านวิชาการ ด้านงานวิจัย และสิ่งประดิษฐ์ระหว่างนักวิชาการ และนักวิจัยกับผู้ที่สนใจทั่วไป
2. เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ ผลงานวิจัย และสิ่งประดิษฐ์ของนักวิชาการและนักวิจัยสู่สาธารณชน

หลักเกณฑ์การส่งบทความ

วารสาร มทร.อีสาน เน้นบทความทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ในสาขาวิชาดังต่อไปนี้

1. สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์
2. สาขาวิชาเกษตรศาสตร์
3. สาขาวิชาสหวิทยาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เป็นสาขาที่ศึกษาแนวความคิด ทฤษฎีและกฎเกณฑ์ทางวิทยาศาสตร์ ตั้งแต่ระดับอนุภาค ระดับโมเลกุลไปจนถึงทั้งจักรวาล ปฏิบัติทางเคมี ระหว่างอะตอมและโมเลกุล อันเชื่อมโยงถึงองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิต และวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต รวมถึงแนวความคิดพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีความสำคัญและมีส่วนเกี่ยวข้องต่อการดำเนินชีวิตในปัจจุบัน ตลอดจนศึกษาถึงประเด็นของการถกเถียงที่สำคัญๆ เกี่ยวกับพรมแดนแห่งความรู้ ระหว่างวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกับสังคม และสิ่งแวดล้อม

เจ้าของ

สถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

744 ถ.สุนทรารายณ์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

โทรศัพท์ 0 - 4423 - 3063 โทรสาร 0 - 4423 - 3064

E-mail : rmuti.journal@gmail.com

พิมพ์เผยแพร่ปีละ 3 ฉบับ

ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม - เดือนเมษายน

ฉบับที่ 2 ประจำเดือนพฤษภาคม - เดือนสิงหาคม

ฉบับที่ 3 ประจำเดือนกันยายน - เดือนธันวาคม

ทั้งนี้ ตั้งแต่ ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม - เดือนเมษายน 2558 เป็นต้นไป

ยกเลิกการตีพิมพ์รูปเล่มตั้งแต่ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม - เดือนเมษายน 2562 เป็นต้นไป

เผยแพร่ออนไลน์เท่านั้น

ลิขสิทธิ์

ต้นฉบับที่ได้รับการตีพิมพ์ ถือเป็นลิขสิทธิ์ของ วารสาร มทร.อีสาน และบทความในวารสารเป็นแนวคิดของผู้แต่ง มิใช่เป็นความคิดของคณะกรรมการจัดทำวารสาร และมิใช่เป็นความรับผิดชอบของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี RMUTI JOURNAL Science and Technology

ที่ปรึกษากองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ ลิ้มไขแสง

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ดร.อนิวรรณ ทาสุข

ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

รองศาสตราจารย์ ดร.วีรชัย พุทธวงศ์

ประธานหลักสูตรนิติวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์กิตติคุณอ่ำวง	เปรมปรีดี	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.พีระศักดิ์	ศรีนิเวศน์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ฤทธิ์	สมบัติสมภพ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.ตะวัน	สุชน้อย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
ศาสตราจารย์ ดร.ทวนทอง	จุฑาเกตุ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ	ชุติมา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์	เมนะเศวต	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.พิเชษฐ	ลิ้มสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล	เหล่าสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.เมธา	วรรณพัฒน์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.รัตติก	ยัมมณี	สถาบันวิทยสิริเมธี
ศาสตราจารย์ ดร.วินัย	ประมพท์กาญจน์	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
ศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย	ปทุมมากุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.สำเริง	จักรใจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ	ลิ้มกตัญญู	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ศาสตราจารย์ ดร.สมชาติ	โสภณธรรมฤทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.สุทธวัฒน์	เบญจกุล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์	นัยวิกุล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.กนกอร	อินทราพิเชฐ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รองศาสตราจารย์ ดร.กนต์ธร	ชำนาญประศาสน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
รองศาสตราจารย์ ดร.คงศักดิ์	ธาดาทอง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา	ธารีนุญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.นิรัช	สุดสังข์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต	กฤตาคม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์
รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา
รองศาสตราจารย์ ดร.มนัส
รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย
รองศาสตราจารย์ ดร.สรายุธ
รองศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์
รองศาสตราจารย์ ดร.สมพร
รองศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย
รองศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์
รองศาสตราจารย์ กาญจนา
รองศาสตราจารย์ อุดมศักดิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไกรสิทธิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติสุดา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักษดา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ศักดิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิพันธ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิตรา
ดร.จารุพงษ์
ดร.ชาคริต
ดร.เยาวพา
ดร.สุกัญญา
ดร.เดือนเพ็ญ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณรีย์

นางสาวอรุณรักษ์

กองบรรณาธิการ (ต่อ)

แพ่งคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
กอเจริญ	วิทยาลัยเทคโนโลยีจิตรลดา
ชัยจันทร์	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
สิงห์บุญชัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
เดชะปัญญา	มหาวิทยาลัยบูรพา
ดุสิตจินดาชาพร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ไชยะ	จังหวัดฉะเชิงเทรา
แสงอาทิตย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
อัครสุชี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ตันสุวรรณรัตน์	จังหวัดนครราชสีมา
สารินุตร	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
วสุเพ็ญ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
สมนา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ธำรงวุฒิ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
โยธา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
สมนา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
วงศ์สุทธาวาส	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อุ้นเรือน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
บรรเทา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
นวลฉิมพลี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ความหมั่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
คำทล้า	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
วงศ์สอน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

บรรณาธิการ

วงศ์ไตรรัตน์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ฝ่ายจัดการและธุรการ

ตีราชมัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

สารบัญ

บทความวิจัย

ผลกระทบของอุณหภูมิต่อการเร่งปฏิกิริยาการเลือกเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของโลหะออกไซด์ผสมคอปเปอร์-ซีเรียม	1
พรไพบุลย์ พุทธคุณ, คมกฤษ สว่างกาญจน์, มัลย์ วงศ์วรรณกานต์ และเอกรัตน์ วงษ์แก้ว	
การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการย่อยได้ของคาร์โบไฮเดรต และโปรตีนในอาหารเสริมกระเจียบเขียวของปลากาดำ	17
จุลทรรศน์ ศิริแสง, เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน, ชนกันต์ จิตมนัส, Hien Van Doan และสุดาพร ตงศิริ	
ผลของแบคทีเรียกลุ่มตรึงก๊าซไนโตรเจนแบบอิสระต่อการเจริญเติบโตของต้นกล้าโก่งกางใบใหญ่	28
สุภัณฑิต นิมิตรณ์, สุพรรณิ ช่อนกลิ่น และวีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย	
การพยากรณ์การรอดชีวิตของผู้ป่วยมะเร็งเต้านม	44
จารี ทองคำ และวาทีณี สุขมาก	
การเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กด้วยดาวเทียมฮิมาวาริ 8 ในภาคเหนือของประเทศไทย	55
กนกวรรณ ภูธรรม, ปรีชาดิ เวชยนต์ และนิธิวัฒน์ ชูสกุล	
การพัฒนาแผนที่ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ โดยข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวจากดาวเทียมระบบ MODIS ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย	68
ฤทัยชนก สายน้ำทิพย์, ปรีชาดิ เวชยนต์ และปิยพงษ์ เชนรัมย์	
แนวทางการจัดพื้นที่ภายในห้องเรียนเด็กปฐมวัยที่ส่งเสริมกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ	83
วิศณี ไชยรักษ์ และวิไลวรรณ พานทอง	
การพัฒนาแบบตรวจสอบย้อนกลับในห่วงโซ่อุตสาหกรรมถั่วลิสง ตามมาตรฐานเกษตรไทย มกษ. 4702-2557	103
ธิดาวัฒน์ ตาคำ, สุรพล ใจวงศ์ษา และจักรพงษ์ ชุ่มใจ	
การประเมินคุณค่าการใช้ประโยชน์พื้นที่ทุ่งสัมฤทธิ์ เพื่อการจัดการพืชเศรษฐกิจ	119
นพดล การดี, ฌกัทร น้อยน้ำใส และชัยสิทธิ์ ทองจู	

Table of Contents

Research Articles

Effect of Alumina to Catalytic Activity of CuO-CeO₂ for Selective CO Oxidation Reaction	1
<i>Pornpaiboon Phuthakoon, Komgrit Sawangkan, Malai Wongwonakan, and Akkarat Wongkeaw</i>	
Growth Performance, Carbohydrate and Protein Digestibility of <i>Labeo chrysophekadion</i> Fed with Okra Supplemented Feed	17
<i>Julatat Keereelang, Kriangsak Mangumphan, Chanagun Chitmanat, Hien Van Doan, and Sudaporn Tongsir</i>	
Effects of Non-Symbiotic Nitrogen Fixing Bacteria on Growth of Red Mangrove, <i>Rhizophora mucronata</i> Lam., Seedlings	28
<i>Subuntith Nimrat, Supanee Sonklin, and Verapong Vuthiphandchai</i>	
Predicting Breast Cancer Patient Survival	44
<i>Jaree Thomgkam and Vatinnee Sukmak</i>	
A Comparison of Methods for Estimating Fine Particulate Matter Concentrations from Himawari-8 Satellite Over Northern Thailand	55
<i>Kanokwan Putham, Parichat Wetchayont, and Nithiwatthn Choosakul</i>	
Development of Geothermal Potential Resources Map using Land Surface Temperature from MODIS in Northern Thailand	68
<i>Rutaichanok Sainarmtip, Parichat Wetchayont, and Piyaphong Chenrai</i>	
The Guidelines of Area Arrangement within the Early Childhood Classroom Supporting Child-Centered Learning	83
<i>Vitsanee Chaiyarak and Wilaiwan Phanthong</i>	
The Development of Traceability System in Peanut Industry Supply Chain with Thai Agricultural Standard: TAS 4702-2014	103
<i>Thitiwat Ta-Kham, Suraphon Chaiwongsar, and Jakkapong Chumjai</i>	
Evaluation of Thung Sumrit Area utilization for Economic Crops Management	119
<i>Noppadol Kande, Napat Noinumsai, and Chaisit Thongjoo</i>	

ผลกระทบของอลูมินาต่อการเร่งปฏิกิริยาการเลือกเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์
ของโลหะออกไซด์ผสมคอปเปอร์-ซีเรียม

Effect of Alumina to Catalytic Activity of CuO-CeO₂ for Selective CO Oxidation Reaction

พรไพบุณย์ พุทธคุณ¹ คมกฤษ สว่างกาญจน์¹ มาลัย วงศ์วรรณกานต์¹ และเอกรัตน์ วงษ์แก้ว^{1*}
Pornpaiboon Phutthakoon¹ Komgrit Sawangkan¹ Malai Wongwonakan¹ and
Akkarat Wongkeaw^{1*}

Received: September 7, 2020; Revised: March 9, 2021; Accepted: March 16, 2021

บทคัดย่อ

ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เจือปนอยู่ในเชื้อเพลิงไฮโดรเจนที่ผลิตจากกระบวนการรีฟอร์มมิ่งมีความเป็นพิษต่อขั้วไฟฟ้าในเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงลดลง จึงต้องกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ออกจากก๊าซไฮโดรเจนก่อนที่จะนำไปใช้งาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เจือปนในเชื้อเพลิงไฮโดรเจน โดยศึกษาผลกระทบของปริมาณอลูมินาต่อความว่องไวในการเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และการเลือกเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ในสถานะที่มีก๊าซไฮโดรเจนมากเกินพอของตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์ผสมคอปเปอร์-ซีเรียม ตัวเร่งปฏิกิริยาถูกเตรียมด้วยวิธีโซลเจล กำหนดปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์คงที่ที่ร้อยละ 40 และอลูมินาร้อยละ 6 9 12 และ 18 โดยน้ำหนักตามลำดับ ที่เหลือเป็นซีเรียมออกไซด์ จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน และการดูดซับก๊าซในโตรเจนเชิงกายภาพ พบว่าปริมาณอลูมินามีผลต่อขนาดผลึกของโลหะออกไซด์ โดยขนาดผลึกของคอปเปอร์ออกไซด์และซีเรียมออกไซด์ลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อปริมาณอลูมินาเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะมีค่าสูงขึ้น โดยที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของคอปเปอร์ออกไซด์:ซีเรียมออกไซด์:อลูมินาเป็น 40:48:12 ให้ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสูงสุดเป็น 170.4 ตารางเมตรต่อกรัม เมื่อทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาพบว่า ปริมาณอลูมินาที่เหมาะสมส่งผลต่อการเร่งปฏิกิริยา โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณของอลูมินาร้อยละ 9 โดยน้ำหนัก แสดงความสามารถ

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี

¹ Faculty of Engineering Burapha University, Chonburi

* Corresponding Author E - mail Address: akkarat@eng.buu.ac.th

ในการเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และปฏิกิริยาการเลือกเกิดการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในสภาวะที่มีก๊าซไฮโดรเจนมากเกินไปได้ดีที่สุด โดยค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าเท่ากับ 100 ที่อุณหภูมิ 140 - 180 องศาเซลเซียส และค่าร้อยละการเลือกเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าเท่ากับ 86 ที่ 140 องศาเซลเซียส และร้อยละ 60 ที่ 180 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ : โซลเจล; คอปเปอร์ออกไซด์; ซีเรียมออกไซด์; อลูมินา; การเลือกเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

Abstract

Trace amount of CO contaminating in H_2 fuels produced from steam reforming process poisons the anode of PEM fuel cell. It causes the degradation of PEMFC performance. Consequently, CO removal is needed. In this work, mixed oxide of copper and cerium catalysts was promoted with alumina in order to improve the catalytic properties and activities to CO oxidation and selective CO oxidation reactions. The effect of alumina loading in this catalyst was investigated. The amount of copper oxide was fixed at 40%wt. Alumina contents were set at 6, 9, 12 and 18%wt and the rest was cerium oxide. The catalysts were prepared by Sol-Gel method. XRD results showed that an increase in alumina contents slightly decreased an average crystallite size of oxides. On the other hand, N_2 adsorption-desorption method revealed an increase of specific surface area due to the presence of alumina in the sample. The catalyst containing $CuO:CeO_2:Al_2O_3$ of 40:48:12 has the highest specific surface area of $170.4\text{ m}^2/\text{g}$. Further increasing of alumina loading led to a decrease of specific surface area. Catalytic performance of the catalyst containing 9%wt alumina displayed the best activity to CO oxidation reaction. Likewise, in the presence of excess hydrogen, the same catalyst obtained 100 % CO conversion at 140 - 180 °C with the selectivity to CO oxidation reaction of 86 % at 140 °C and of 60 % at 180 °C.

Keywords: Sol-Gel; Copper Oxide; Cerium Oxide; Alumina; Selective CO Oxidation Reaction

บทนำ

ปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นตามจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น และปัญหามลพิษที่เกิดจากระบบคมนาคมขนส่งก่อให้เกิดปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน ดังนั้นพลังงานทางเลือกที่สะอาดจึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก วิธีการหนึ่งที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ถือว่าเป็นพลังงานสะอาดคือ การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell) โดยเซลล์เชื้อเพลิงมีหลักการทำงานคือ การเปลี่ยน

พลังงานเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยไม่ผ่านการเผาไหม้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ ได้แก่ ไฟฟ้า ความร้อน และน้ำ โดยเซลล์เชื้อเพลิงที่เหมาะสมในการนำมาใช้กับยานพาหนะ จะเป็นเซลล์เชื้อเพลิงประเภทเยื่อเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้ คือ ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) จากงานวิจัยพบว่าประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้จะลดลงอย่างมาก หากมีก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เพียง 100 ส่วนต่อล้านส่วนปะปนในเชื้อเพลิงไฮโดรเจน [1] โดยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มาจากกระบวนการผลิตไฮโดรเจนด้วยวิธีรีฟอร์มมิงสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด้วยไอน้ำ ซึ่งปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่พบประมาณร้อยละ 0.5 - 2 โดยปริมาตร [2] การกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปะปนมากับก๊าซไฮโดรเจนก่อนที่จะนำไปใช้กับเซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานให้กับเซลล์เชื้อเพลิง วิธีการกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในก๊าซไฮโดรเจนมีหลายวิธี วิธีที่มีประสิทธิภาพและได้รับความนิยมคือ การเติมก๊าซออกซิเจนเพื่อเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ผ่านปฏิกิริยาการเลือกเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน (Selective CO Oxidation) โดยวิธีการนี้ต้องเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่สามารถเร่งปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน ($CO + 0.5O_2 \rightarrow CO_2$) ได้ดีกว่าปฏิกิริยาไฮโดรเจนออกซิเดชัน ($H_2 + 0.5O_2 \rightarrow H_2O$) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้รับการศึกษาอย่างแพร่หลายคือ โลหะออกไซด์ผสมคอปเปอร์-ซีเรียม ($CuO-CeO_2$) [3] โดยกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ได้ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่า 150 องศาเซลเซียส และให้ค่าการเลือกเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์สูงกว่าร้อยละ 60 และมีราคาถูกกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้มีความไวต่อการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันในช่วงอุณหภูมิต่ำเป็นเพราะ CeO_2 มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ส่งผลให้การสูญเสียพื้นที่ผิวและเป็นการเพิ่มการกระจายตัวของโลหะที่ทำหน้าที่เป็นบริเวณเร่งปฏิกิริยา (Active Sites) และอีกคุณสมบัติที่สำคัญของ CeO_2 คือความสามารถในการกักเก็บออกซิเจนซึ่งเป็นผลดีต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน [4] โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดผ่านกลไก Mars and van Krevelen [5] ซึ่งอาศัยคุณสมบัติกักเก็บออกซิเจนของ CeO_2 เมื่อโมเลกุลของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ดูดซับทางเคมีบน Interface ระหว่างคอปเปอร์ออกไซด์และซีเรียมออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์จะทำปฏิกิริยากับแลตทิซออกซิเจนในซีเรียมออกไซด์ เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในสภาวะนี้ซีเรียมที่อยู่ในรูป Ce^{4+} จะถูกเปลี่ยนเป็น Ce^{3+} และ Ce^{3+} จะถูกเปลี่ยนกลับเป็น Ce^{4+} โดยก๊าซออกซิเจนในสายป้อนจากกลไกดังกล่าว พบว่าการเพิ่มปริมาณ Interface ระหว่าง CuO และ CeO_2 หรือการเพิ่มการกักเก็บออกซิเจนให้กับ CeO_2 จะส่งผลให้การเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยานี้ดีขึ้นได้ ทั้งนี้การลดขนาดผลึก CuO และ CeO_2 ให้มีขนาดเล็กหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ให้โลหะออกไซด์ทั้งสองมีกระจายตัวสูง (High Dispersion) เป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการพัฒนาความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยานี้

จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการเพิ่มความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของ $CuO-CeO_2$ สามารถทำได้ดังนี้ 1) การลดขนาดผลึก CuO และ CeO_2 2) การเพิ่มพื้นที่ผิวจำเพาะเพื่อเพิ่มการกระจายตัวของโลหะออกไซด์ทั้งสอง และ 3) การใช้สารโปรโมทเพื่อเพิ่มคุณสมบัติกักเก็บออกซิเจน โดยในเรื่องของการลดขนาดผลึกสามารถทำได้โดยปรับสัดส่วนปริมาณ CuO ในตัวเร่งปฏิกิริยาให้เหมาะสม Bae, C. M., Ko, J. B., and Kim, D. H. [6] พบว่า $CuO-CeO_2$ ที่มีปริมาณ CuO ร้อยละ 10 - 20 โดยน้ำหนักให้ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์สูง เนื่องจากที่ปริมาณนี้ CuO และ CeO_2 มีขนาดผลึกเล็ก ส่งผลให้ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวเร่งปฏิกิริยาสูง และทำให้มีตำแหน่งกัมมันต์มากขึ้นเอง ส่วน Cortés, A. G., Márquez, Y., Alatorre, J. A., and Díaz, G. [7] ได้ศึกษา

ผลกระทบของพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวเร่งปฏิกิริยา CuO-CeO_2 ต่อความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาการเลือกเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน โดยใช้เทคนิค Templating ในการเตรียม CeO_2 พื้นที่ผิวจำเพาะสูงเปรียบเทียบกับ CeO_2 เชิงพาณิชย์ พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงจะมีขนาดผลึก CuO และ CeO_2 เล็ก ส่งผลให้เร่งปฏิกิริยาได้ดีในช่วงอุณหภูมิต่ำ

ในส่วนของการใช้สารโปรโมท พบว่าการใช้อลูมินาร่วมกับซีเรียมออกไซด์ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการกักเก็บออกซิเจนของซีเรียม โดย Wei, Z., Li, H., Zhang, X., Yan, S., Lv, Z., Chen, Y., and Gong, M. [8] ได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อคุณสมบัติการกักเก็บออกซิเจนของซีเรียมออกไซด์-เซอร์โคเนียมออกไซด์ ($\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2$) พบว่า การเติมอลูมินา (Al_2O_3) ไม่เพียงแต่ทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้น ยังส่งผลให้คุณสมบัติการกักเก็บออกซิเจนเกิดได้ดี เพิ่มความแข็งแรงทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและเพิ่มความเสถียรให้กับ CeO_2 ซึ่งเป็นตัวรองรับไม่ให้มีการสูญเสียพื้นที่ผิวและอลูมินายังเป็น Diffusion Barrier ทำให้โลหะที่อยู่บนตัวรองรับไม่เกิดการ Sintering [9]

วิธีการเพิ่มการกระจายตัวของ CuO และ CeO_2 นอกจากทำได้โดยการเติมสารออกไซด์ที่เพิ่มความสามารถในการกักเก็บออกซิเจน และเพิ่มความแข็งแรงให้กับตัวเร่งปฏิกิริยาแล้ว ยังสามารถทำได้ด้วยการเลือกใช้วิธีการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม โดยวิธีการโซลเจล เป็นวิธีเตรียมโลหะออกไซด์ให้มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง [10] สำหรับวิธีโซลเจล จะใช้สารละลายโลหะอัลคอกไซด์ทำปฏิกิริยากับน้ำเรียกปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส จะได้ผลิตภัณฑ์ในรูปสารประกอบไฮดรอกไซด์ และสารประกอบไฮดรอกไซด์จะเกิดปฏิกิริยาควบแน่น เกิดเป็นโลหะออกไซด์ และแอลกอฮอล์ การเลือกใช้สภาวะกรดในปฏิกิริยาจะส่งผลให้เกิดโครงร่างตาข่ายของออกไซด์ของแข็งห่อหุ้มน้ำ ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายเจล เมื่อนำไปอบให้โมเลกุลของน้ำระเหยออกไปจากโครงร่างตาข่ายสามมิติ จะเหลือเป็นช่องว่างรูพรุนขนาดเมโซ เมื่อนำมาทำเป็นตัวรองรับให้กับโลหะ จึงส่งผลให้โลหะเกิดการกระจายตัวได้ดี วิธีนี้สามารถควบคุมขนาดรูพรุนได้ตามสภาวะการเตรียม [11] - [12] โดย Manasilp, A. and Gulari, E. [13] ศึกษาการเตรียมอลูมินาด้วยวิธีโซลเจลเพื่อใช้เป็นตัวรองรับให้กับโลหะแพลทินัม เพื่อใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในสภาวะที่มีก๊าซไฮโดรเจนในปริมาณมาก พบว่าพื้นที่ผิวจำเพาะของอลูมินาที่เตรียมด้วยวิธีโซลเจล สูงถึง 200 ตารางเมตรต่อกรัม เมื่อนำมาใช้เป็นตัวรองรับให้กับแพลทินัมทำให้แพลทินัมมีกระจายตัวดี (High Dispersion) โดยแพลทินัมมีขนาดผลึกเล็กกว่า 2 นาโนเมตร

จะเห็นได้ว่าการใช้ Al_2O_3 ร่วมกับ CuO-CeO_2 วิธีการโซลเจล น่าจะช่วยทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาผลกระทบของปริมาณอลูมินาในตัวเร่งปฏิกิริยา CuO-CeO_2 เพื่อใช้ในการเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และปฏิกิริยาการเลือกเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยใช้วิธีโซลเจล ในการเตรียม $\text{CeO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ และ Deposit CuO บน $\text{CeO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ ด้วยวิธีฟิงเคลือบ

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา

สารเคมีที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยด้วยวิธีโซลเจล ได้แก่ อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Aluminium Isopropoxide, 98%) ซีเรียมไนเตรด (Cerium(III)Nitrate

hexahydrate, 99%) และคอปเปอร์ไนเตรด (Copper(II)Nitrate trihydrate, 99%) โดยสารเคมีทั้งหมดซื้อจากบริษัท Sigma Aldrich การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีโซลเจล [13] เริ่มจากการให้ความร้อนกับน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส เติมนูมิเนียมไฮดรอกไซด์ลงในน้ำร้อน กวนสารละลาย 30 นาที เติมกรดไนตริก เพื่อให้สารละลายเปลี่ยนจากขุ่นเป็นใส แล้วกวนสารละลายต่อเป็นเวลา 30 นาที หยุดให้ความร้อน เติมซีเรียมไนเตรดในปริมาณตามที่กำหนด กวนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำสารละลายให้เป็นเจลด้วยความร้อน จากนั้นบ่มเจลเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง อบเจลที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 ชั่วโมง และเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นบดของแข็งที่ได้ให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช ได้เป็นตัวรองรับโลหะออกไซด์ผสมซีเรียม-อลูมิเนียม จากนั้นนำคอปเปอร์ไนเตรดเติมลงในตัวรองรับที่เตรียมได้ด้วยวิธีฝังเคลือบ (Incipient Impregnation) นำของแข็งที่ได้อบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง และเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมง นำไปบดผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช ของแข็งที่ได้เป็นตัวรองรับโลหะออกไซด์ผสมคอปเปอร์ ซีเรียม และอลูมิเนียม

2. การวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวเร่งปฏิกิริยา

นำตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์หาโครงสร้างและขนาดของผลึกโดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction, XRD) ด้วยเครื่อง XRD ของบริษัท Phillips รุ่น PW 1050 สแกนในช่วงมุม 2θ ตั้งแต่ 20 - 80 องศา ทำการคำนวณขนาดผลึกเฉลี่ยด้วยสมการเชอร์เรอร์ (Scherrer's Equation) วิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะของตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธีดูดซับเชิงกายภาพด้วยก๊าซไนโตรเจน (N_2 Adsorption) และใช้สมการ BET (Brunauer-Emmett-Teller) ในการคำนวณพื้นที่ผิวจำเพาะ การวิเคราะห์นี้จะใช้เครื่อง Autosorption-1 C ของบริษัท Quantachrome ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาประมาณ 100 - 150 มิลลิกรัม บรรจุลงในหลอดใส่ตัวอย่าง โดยก่อนทำการวิเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาจะถูกไล่ความชื้นด้วยก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ในส่วนของการวิเคราะห์ขนาดรูพรุนเฉลี่ยและปริมาตรรูพรุนจะใช้วิธี BJH (Barrett-Joyner-Halenda)

3. การทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา

ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เตรียมได้ทั้งหมดถูกทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แก้ว โดยอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาวัดได้จากเทอร์โมคัปเปิลชนิดเค ปฏิกิริยาที่ทดสอบ ได้แก่ ปฏิกิริยาการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และปฏิกิริยาการเลือกเกิดการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ซึ่งในการทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซผสมประกอบด้วย ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 1 โดยปริมาตร ก๊าซออกซิเจนร้อยละ 1 โดยปริมาตร และก๊าซซีเลียมร้อยละ 98 โดยปริมาตร อัตราการไหลเชิงปริมาตรรวม 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่ออนาที และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 80 มิลลิกรัม สำหรับปฏิกิริยาการเลือกเกิดการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซผสมประกอบด้วย ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ร้อยละ 1 โดยปริมาตร ก๊าซออกซิเจนร้อยละ 1 โดยปริมาตร ก๊าซไฮโดรเจนร้อยละ 50 โดยปริมาตร และก๊าซซีเลียมร้อยละ 48 โดยปริมาตร [7] อัตราการไหลเชิงปริมาตรรวม 40 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่ออนาที ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา 32 มิลลิกรัม คิดเป็นความเร็วสเปซ 75,000 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัมต่อชั่วโมง [14] ก๊าซผสมที่ทางเข้าและทางออกจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) ยี่ห้อ Varian รุ่น 3800 ดีเทคเตอร์แบบ Thermal Conductivity Detector (TCD) ใช้คอลัมน์ชนิด Molecular Sieve จะวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์

ออกซิเจน มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ จากการทดลองพบว่าไม่มีก๊าซมีเทนเกิดขึ้นเลย ดังนั้นสามารถคำนวณค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนมอนอกไซด์ (Conversion of CO, %) และร้อยละการเลือกเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO Selectivity, %) ได้ตามสมการที่ (1) และ (2)

$$\text{Conversion of CO\%} = \frac{[\text{CO}]_{\text{in}} - [\text{CO}]_{\text{out}}}{[\text{CO}]_{\text{in}}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{CO selectivity \%} = \frac{0.5([\text{CO}]_{\text{in}} - [\text{CO}]_{\text{out}})}{[\text{O}_2]_{\text{in}} - [\text{O}_2]_{\text{out}}} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ

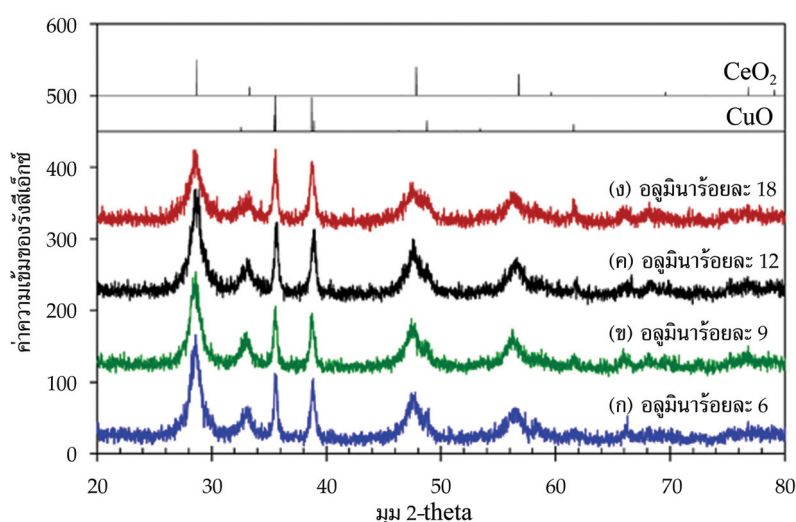
$[\text{CO}]_{\text{in}}$ และ $[\text{CO}]_{\text{out}}$ คือ ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ทางเข้าและทางออก ตามลำดับ

$[\text{O}_2]_{\text{in}}$ และ $[\text{O}_2]_{\text{out}}$ คือ ความเข้มข้นก๊าซออกซิเจนที่ทางเข้าและทางออก ตามลำดับ

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

1. การวิเคราะห์คุณสมบัติตัวเร่งปฏิกิริยา

1.1 การวิเคราะห์โครงสร้างและขนาดผลึกเฉลี่ย ในส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์โครงสร้างและขนาดผลึกเฉลี่ยของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ประกอบด้วยออกไซด์ 3 ชนิด ได้แก่ คอปเปอร์ออกไซด์ ซีเรียมออกไซด์ และอลูมินาโดยกำหนดปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์คงที่ที่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 รูปแบบ XRD ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราส่วนร้อยละของคอปเปอร์ออกไซด์ ซีเรียมออกไซด์ และอลูมินาออกไซด์ต่างๆ

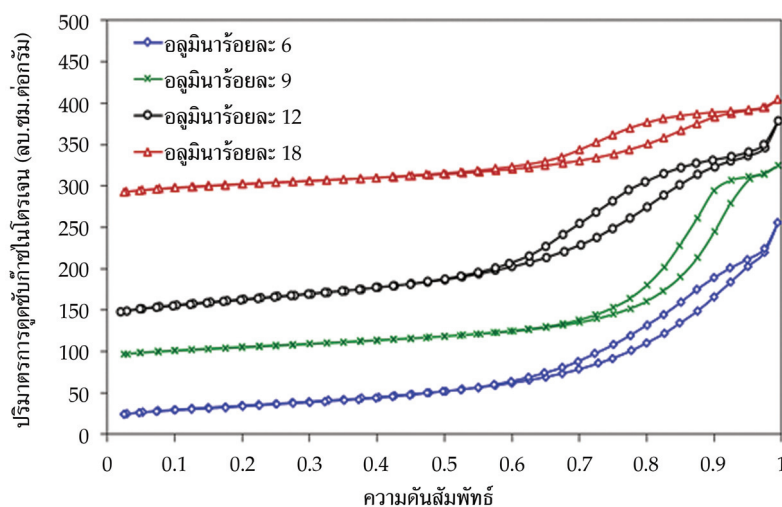
รูปแบบ XRD ของโลหะออกไซด์ผสมคอปเปอร์ออกไซด์ ซีเรียมออกไซด์ อลูมินา ที่สัดส่วนต่าง ๆ พบว่าในทุกตัวเร่งปฏิกิริยาปรากฏตำแหน่งพิกตำแหน่งเดียวกัน และตำแหน่งพิกนั้น ตรงตามตำแหน่งพิกมาตรฐานของ CuO ที่มีรูปแบบโครงสร้างผลึกเป็นแบบ Monoclinic โดยตำแหน่ง พิกเกิดขึ้นที่มุม 2θ เท่ากับ 35.6 38.9 48.8 และ 61.6 และตรงตามตำแหน่งพิกมาตรฐานของ CeO_2 มีรูปแบบ โครงสร้างผลึกเป็นแบบ Cubic โดยตำแหน่งพิกเกิดขึ้นที่มุม 2θ เท่ากับ 28.5 33.1 47.5 56.3 59.9 และ 69.4 ตามลำดับ โดยในทุกตัวเร่งปฏิกิริยาไม่ปรากฏพิกของอลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) อาจเนื่องมาจาก สัดส่วนของอลูมิเนียมออกไซด์ในโลหะออกไซด์ผสมมีเพียงเล็กน้อย จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถนำมา คำนวณขนาดผลึกเฉลี่ยของโลหะออกไซด์ได้จากสมการ Scherrer [15] ผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขนาดผลึกเฉลี่ยของ CuO และ CeO_2 ในตัวเร่งปฏิกิริยาต่าง ๆ

ตัวเร่งปฏิกิริยา	อัตราส่วน	ขนาดผลึก (นาโนเมตร)		
		CuO	CeO_2	Al_2O_3
CuO: CeO_2 : Al_2O_3	40:54:6	23.0	6.3	< 2
CuO: CeO_2 : Al_2O_3	40:51:9	20.1	7.2	< 2
CuO: CeO_2 : Al_2O_3	40:48:12	20.4	6.4	< 2
CuO: CeO_2 : Al_2O_3	40:42:18	19.5	5.8	< 2

จากผลการคำนวณขนาดผลึกของตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์ผสมคอปเปอร์ออกไซด์ ซีเรียมออกไซด์ อลูมิเนียมออกไซด์ ที่ปริมาณอลูมิเนียมออกไซด์ต่างกันพบว่า ขนาดผลึกของคอปเปอร์ ออกไซด์ในแต่ละตัวเร่งปฏิกิริยามีขนาดใกล้เคียงกันเนื่องจากปริมาณสัดส่วนของคอปเปอร์ออกไซด์ มีปริมาณเท่ากันที่ร้อยละ 40 โดยมวล ในขณะที่ขนาดผลึกของซีเรียมออกไซด์มีขนาดลดลงเนื่องจาก ปริมาณของอลูมิเนียมออกไซด์เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ปริมาณของซีเรียมออกไซด์มีลดลง โดยขนาดผลึก ของอลูมิเนียมออกไซด์มีขนาดเล็กกว่า 2 นาโนเมตรเป็นเพราะปริมาณที่น้อยของอลูมิเนียมออกไซด์ ในตัวเร่งปฏิกิริยา ทั้งนี้ขนาดผลึกของคอปเปอร์ออกไซด์จะใหญ่กว่าซีเรียมออกไซด์เสมอ เนื่องจากในวิธีการ เตรียมสารตั้งต้นซีเรียมถูกเติมลงไปในขณะที่ปฏิกิริยาควบแน่นกำลังดำเนินไป โครงร่างตาข่ายของ อลูมินาสารตั้งต้นซีเรียมจึงอยู่ในบริเวณรูพรุนของเจลร่วมกับโมเลกุลของน้ำ ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง ปริมาณอลูมินา รูพรุนจะยังคงมีขนาดเท่าเดิมตามสภาวะของการเตรียมด้วยวิธีโซลเจล [13], [16]

1.2 พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดรูพรุนเฉลี่ยและปริมาตรรูพรุน ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์ ผสมคอปเปอร์ออกไซด์ ซีเรียมออกไซด์ อลูมินาที่มีปริมาณอลูมินาต่างกัน ถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการดูดซับ เชิงกายภาพของก๊าซไนโตรเจน เพื่อวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดรูพรุนเฉลี่ยและปริมาตรรูพรุน ไอโซเทอม ของการดูดซับแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ไอโซเทอมการดูดซับเชิงกายภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราส่วนร้อยละของคอปเปอร์ออกไซด์ ซีเรียมออกไซด์ และอลูมินาต่าง ๆ

จากลักษณะไอโซเทอมดังรูปที่ 2 แสดงการดูดซับคายซับของก๊าซไนโตรเจนลงบนตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่า ค่าปริมาตรการดูดซับมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความดันสัมพัทธ์สูงขึ้นแสดงถึงการมีรูพรุนมากของตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งลักษณะของไอโซเทอมตรงกับลักษณะไอโซเทอมในรูปแบบที่ 4 แสดงว่าตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งหมดมีขนาดรูพรุนในระดับเมโซ (Mesoporous) เป็นรูพรุนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 2 - 50 นาโนเมตร โดยลักษณะกราฟที่ค่าความดันสัมพัทธ์มากกว่า 0.40 ปริมาตรการดูดซับและปริมาตรการคายซับจะมีค่าแตกต่างกันเกิดเป็นลักษณะ Hysteresis Loop ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์ผสมคอปเปอร์ออกไซด์ ซีเรียมออกไซด์ อลูมินา ที่ปริมาณอลูมินาร้อยละ 6 12 และ 18 มีลักษณะ Hysteresis Loop รูปแบบที่ H3 แสดงถึงลักษณะรูพรุนแบบ Slit-Shape ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณอลูมินาร้อยละ 9 มีลักษณะ Hysteresis Loop รูปแบบที่ H1 แสดงถึงรูพรุนลักษณะทรงกระบอก (Cylindrical Like Pore) [17] จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณอลูมินาส่งผลให้ลักษณะรูพรุนของโลหะออกไซด์ผสม โดยจากการวิเคราะห์การดูดซับของก๊าซไนโตรเจนสามารถคำนวณค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของโลหะออกไซด์ด้วยสมการ BET [17] วิเคราะห์ขนาดรูพรุนเฉลี่ยด้วยวิธี BJH ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดรูพรุนเฉลี่ย และปริมาตรรูพรุน

ตัวเร่งปฏิกิริยา	อัตราส่วน	พื้นที่ผิวจำเพาะ (ตารางเมตรต่อกรัม)	ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (นาโนเมตร)	ปริมาตรรูพรุน (ลบ.ซม.ต่อกรัม)
*CuO:CeO ₂	30:70	116	11.2	-
*CuO:CeO ₂	50:50	91	17.8	-
CuO:CeO ₂ :Al ₂ O ₃	40:54:6	123	8.1	0.0047

ตารางที่ 2 ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ ขนาดรูพรุนเฉลี่ย และปริมาตรรูพรุน (ต่อ)

ตัวเร่งปฏิกิริยา	อัตราส่วน	พื้นที่ผิวจำเพาะ (ตารางเมตรต่อกรัม)	ขนาดรูพรุนเฉลี่ย (นาโนเมตร)	ปริมาตรรูพรุน (ลบ.ซม.ต่อกรัม)
CuO:CeO ₂ :Al ₂ O ₃	40:51:9	153	8.1	0.0030
CuO:CeO ₂ :Al ₂ O ₃	40:48:12	171	8.1	0.0056
CuO:CeO ₂ :Al ₂ O ₃	40:42:18	113	8.2	0.0069

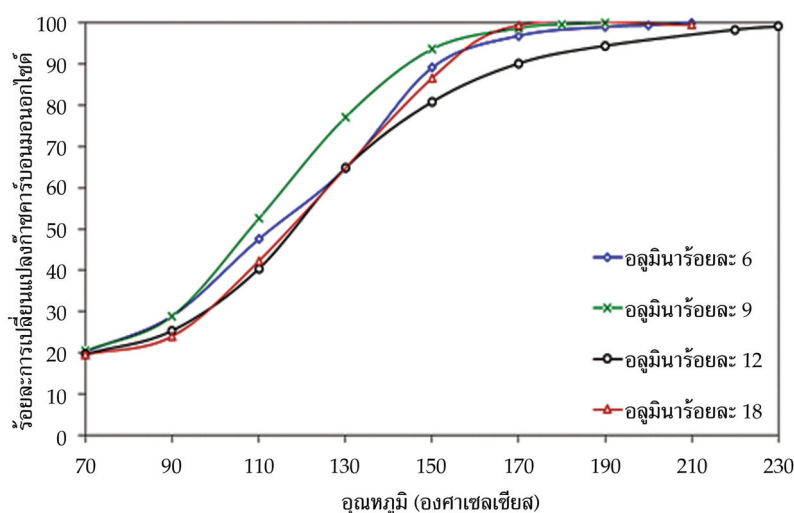
* ข้อมูลจาก Lou, M.-F., Ma, J.-M., Lu, J.-Q., Song, Y.-P., and Wang, Y.-J. [18] เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยวิธี Surfactant Template

จากตารางที่ 2 แสดงค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์ผสมคอปเปอร์ออกไซด์ ซีเรียมออกไซด์ อลูมินา ที่ปริมาณสัดส่วนของอลูมินาเป็นร้อยละ 6 9 12 และ 18 ตามลำดับเปรียบเทียบกับพื้นที่ผิวจำเพาะของ CuO-CeO₂ ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 30:70 และ 50:50 โดยน้ำหนัก โดยพบว่าการเติมอลูมินาส่งผลให้พื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้น และเมื่อปริมาณอลูมินาเพิ่มขึ้นค่าพื้นที่ผิวจำเพาะจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจนถึงปริมาณอลูมินาร้อยละ 18 ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะจึงมีค่าลดลง อาจเนื่องมาจากซีเรียมออกไซด์มีจุดหลอมเหลวสูงกว่าอลูมินาจึงสามารถทนอุณหภูมิได้ดีกว่า ดังนั้นในขณะที่ปริมาณของอลูมินาเพิ่มสูงขึ้นสัดส่วนของซีเรียมออกไซด์มีค่าลดลง ทำให้ความสามารถในการทนต่อความร้อนลดลง ส่งผลทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยามีพื้นที่ผิวลดลง [19] โดยตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์ผสมคอปเปอร์ออกไซด์ ซีเรียมออกไซด์ อลูมินา ที่ปริมาณสัดส่วนของอลูมินาเป็นร้อยละ 12 ให้ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสูงสุดที่ 170 ตารางเมตรต่อกรัม

2. การทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา

2.1 การเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

ตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 4 ถูกนำมาทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 3

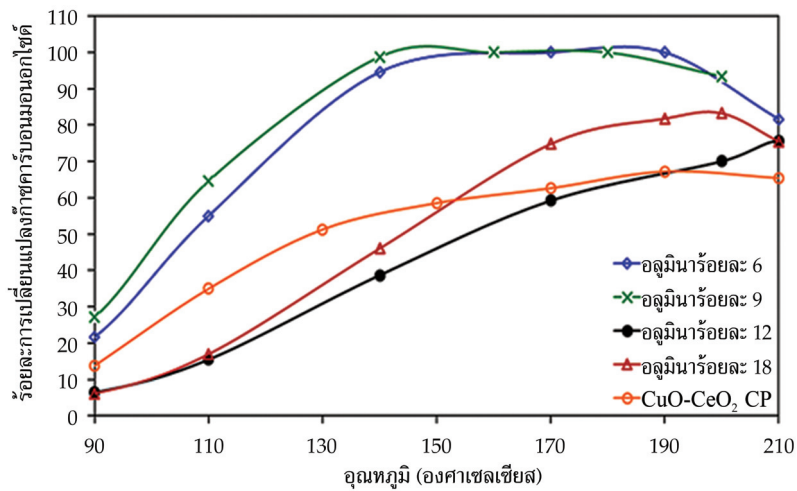


รูปที่ 3 ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราส่วนร้อยละของคอปเปอร์ออกไซด์ ซีเรียมออกไซด์ และอลูมินาต่าง ๆ

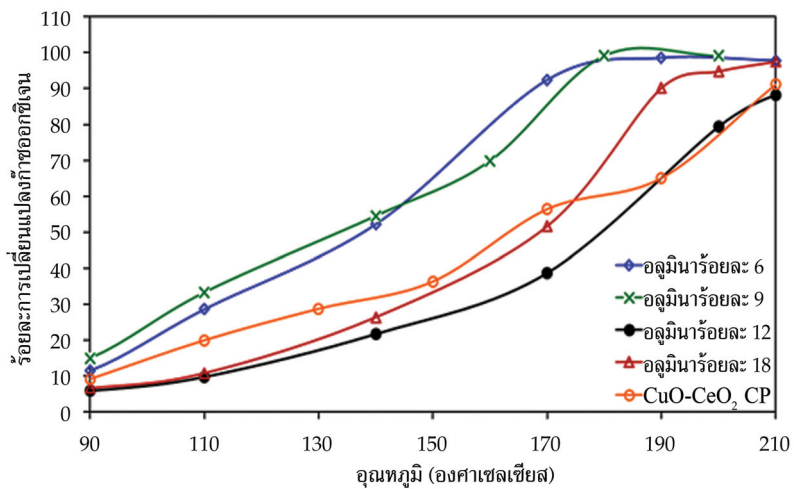
รูปที่ 3 แสดงผลการทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาการคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน แกนนอนแสดงอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา และแกนตั้งแสดงค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์พบว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราส่วน ร้อยละคอปเปอร์ออกไซด์ ซีเรียมออกไซด์ และอลูมินาเป็น 40:51:9 โดยน้ำหนัก แสดงความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาได้ดีที่สุด คือ สามารถเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาอื่น รองลงมาคือตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราส่วนร้อยละคอปเปอร์ออกไซด์ ซีเรียมออกไซด์ และอลูมินาเป็น 40:54:6 โดยน้ำหนัก ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราส่วนร้อยละคอปเปอร์ออกไซด์ ซีเรียมออกไซด์ และอลูมินาเป็น 40:42:18 โดยน้ำหนัก และตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราส่วนร้อยละคอปเปอร์ออกไซด์ ซีเรียมออกไซด์ และอลูมินาเป็น 40:48:12 โดยน้ำหนัก โดยมีค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นร้อยละ 100 ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาสองตัวสุดท้ายให้ผลการเร่งปฏิกิริยาใกล้เคียงกัน ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chen, Y. Z., Liaw, B. J., Wang, J. M., and Huang, C. T. [20] ที่ได้ศึกษาการเลือกเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuO/Ce}_x\text{Sn}_{1-x}\text{O}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ พบว่าความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของตัวเร่งปฏิกิริยาลดลง เมื่อปริมาณอลูมิเนียมออกไซด์ในตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น จากการทดลองอาจกล่าวได้ว่าการเติมอลูมิเนียมออกไซด์ลงไปในตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์ผสมคอปเปอร์-ซีเรียม เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับโครงสร้างของโลหะออกไซด์ โดยการลดปริมาณซีเรียมออกไซด์ไม่สามารถทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์ผสมคอปเปอร์-ซีเรียมเร่งปฏิกิริยาได้ดีขึ้น แสดงว่าปริมาณซีเรียมออกไซด์มีผลกระทบต่อความสามารถในการเร่งปฏิกิริยามากกว่าการกระจายตัวของโลหะออกไซด์ภายในตัวเร่งปฏิกิริยา [8]

2.2 ปฏิบัติการเลือกเกิดการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์ผสมถูกนำมาทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาการเลือกเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชันในสภาวะที่มีก๊าซไฮโดรเจนมากเกินไป ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4

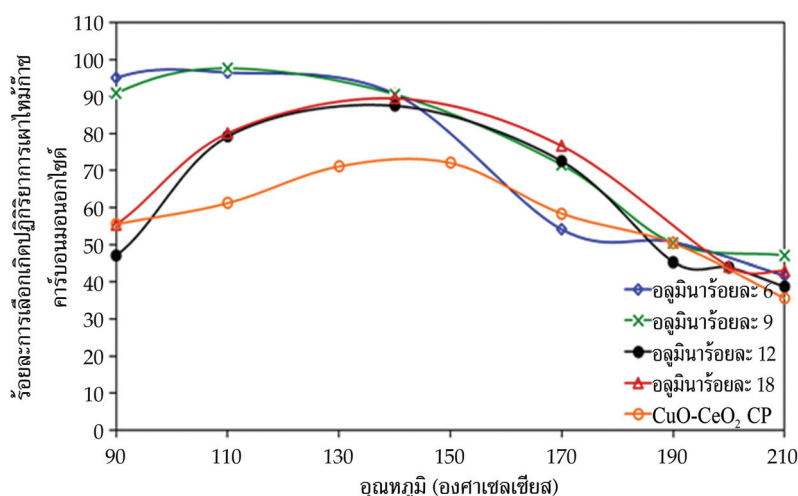


(ก) ร้อยละการเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์



(ข) ร้อยละการเปลี่ยนแปลงก๊าซออกซิเจน

รูปที่ 4 ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาการเลือกเกิดการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์



(ค) ร้อยละการเลือกเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

รูปที่ 4 ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาการเลือกเกิดการเผาไหม้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (ต่อ)

รูปที่ 4 แสดงผลการเร่งปฏิกิริยาการเลือกเกิดปฏิกิริยาการคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน โดยจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ รูปที่ 4(ก) แสดงค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิ ซึ่งพบว่าค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เมื่อถึงอุณหภูมิหนึ่งจะพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิต่อไปค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จะลดลง ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ด้วย GC พบว่า ไม่พบผลิตภัณฑ์อื่นเกิดขึ้นนอกจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ซึ่งหมายความว่าไม่เกิดปฏิกิริยาข้างเคียง คือ ปฏิกิริยาการเกิดมีเทน ($\text{CO} + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$) ดังนั้นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในเครื่องปฏิกรณ์จึงมีเพียง 2 ปฏิกิริยา คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน และไฮโดรเจนออกซิเดชัน ซึ่งมีการแข่งขันกันตลอดเวลา การคำนวณค่าร้อยละการเลือกเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชันจึงใช้การทำสมมูลมวลคาร์บอนได้ตามสมการที่ (2) [21] ผลการทดลองแสดงให้เห็นชัดเจนว่าที่อุณหภูมิสูงปฏิกิริยาไฮโดรเจนออกซิเดชันเกิดได้ดีกว่าปฏิกิริยาการคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชันนั่นเอง รูปที่ 4(ข) แสดงถึงการหายไปของก๊าซออกซิเจนซึ่งพบว่าก๊าซออกซิเจนถูกใช้ไปในปฏิกิริยาจนหมด โดยปริมาณการใช้จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ และรูปที่ 4(ค) แสดงถึงค่าร้อยละการเลือกเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชันเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิ โดยในเริ่มต้นค่าร้อยละการเลือกเกิดปฏิกิริยาการคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชันมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แสดงว่าปฏิกิริยาการคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชันเกิดได้ดีกว่าปฏิกิริยาไฮโดรเจนออกซิเดชัน (ถ้าค่านี้เท่ากับ 100 แสดงว่าก๊าซออกซิเจนที่หายไปทั้งหมดถูกนำไปใช้กับปฏิกิริยาการคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชันเท่านั้น ถ้าค่านี้เท่ากับ 50 แสดงว่าก๊าซออกซิเจนที่หายไปถูกนำไปใช้กับปฏิกิริยาทั้งสองอย่างละครึ่ง ๆ กัน และถ้าค่านี้เท่ากับ 0 แสดงว่าก๊าซออกซิเจนที่หายไป ถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาไฮโดรเจนออกซิเดชันเท่านั้น) ซึ่งกรณีนี้ไม่สามารถกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ได้ แต่กลับเสียก๊าซไฮโดรเจนที่เป็นเชื้อเพลิงหลัก) ดังนั้นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ดีควรจะให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และร้อยละการเลือกเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชันสูง

เมื่อพิจารณาผลการทดลองดังรูปที่ 4 พบว่ามีตัวเร่งปฏิกิริยา 2 ตัว คือ ที่อุณหภูมิ ร้อยละ 6 และร้อยละ 9 ที่ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และค่าร้อยละการเลือกเกิด คาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชันที่สูง โดยตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอุณหภูมิร้อยละ 6 ให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลง ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ 100 ที่ 150 - 190 องศาเซลเซียส ด้วยค่าร้อยละการเลือกเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ ออกซิเดชัน 78 ที่ 150 องศาเซลเซียส และ 50 ที่ 190 องศาเซลเซียส ในขณะที่ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอุณหภูมิ ร้อยละ 9 ให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ 100 ที่ 140 - 180 องศาเซลเซียส ด้วยค่าร้อยละการเลือกเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน 86 ที่ 140 องศาเซลเซียส และ 60 ที่ 180 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาอุณหภูมิค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และ ค่าร้อยละการเลือกเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอุณหภูมิร้อยละ 9 มีความเหมาะสมที่สุดในการนำมาใช้ในการกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในสภาวะที่มีก๊าซออกซิเจน ในปริมาณมากเกินพอ

นอกจากนี้แล้วผลการทดลองในรูปที่ 4(ข) สามารถนำมาใช้อธิบายความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีปริมาณอุณหภูมิสูงได้ดังนี้ ปริมาณอุณหภูมิส่งผลกระทบต่อการเร่ง ปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยพบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงก๊าซออกซิเจนหรือการใช้ออกซิเจนเกิดช้าลง เมื่อมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในโลหะออกไซด์ผสม คือ ก๊าซออกซิเจนถูกใช้ในปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงขึ้น สาเหตุ อาจเกิดได้จากปริมาณซีเรียมออกไซด์ที่ลดลง ทำให้การกักเก็บออกซิเจนลดลง การใช้ออกซิเจนในสถานะก๊าซ จึงลดน้อยลงไปด้วย ดังนั้นการเติมอุณหภูมิลงในตัวเร่งปฏิกิริยานี้ ส่งผลให้ตัวเร่งปฏิกิริยายังคงเร่งปฏิกิริยาได้ เพียงแต่การดำเนินไปของปฏิกิริยาจะถูกเลื่อนออกไปที่อุณหภูมิสูงขึ้น และเนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรเจน ออกซิเดชันเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูง [22] จึงทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะออกไซด์ผสมคอปเปอร์และซีเรียมที่มีการเติม อุณหภูมิในปริมาณมากกว่าร้อยละ 9 โดยนำหนักให้ค่าร้อยละการเลือกเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ก๊าซ คาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำ (ต่ำกว่าร้อยละ 50)

จากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยา CuO-CeO_2 ที่มี Al_2O_3 ร้อยละ 9 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมกับปฏิกิริยาการเลือกเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน โดยให้ค่าร้อยละ การเปลี่ยนแปลงคาร์บอนมอนอกไซด์ 100 ในช่วงอุณหภูมิ 140 - 180 องศาเซลเซียส และมีค่าร้อยละ การเลือกเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชันสูงกว่า 60 ถือว่าเป็นช่วงอุณหภูมิกว้างกว่ากรณีที่ใช้ตัวเร่ง ปฏิกิริยา CuO-CeO_2 [3], [23] - [24] ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ Al_2O_3 เพิ่มความแข็งแรงให้กับตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ CuO และ CeO_2 กระจายตัวได้ดี และแรงกระทำระหว่าง CeO_2 กับ Al_2O_3 ยังช่วยเพิ่ม Capacity ในการกักเก็บออกซิเจนของ CeO_2 อีกด้วย [8]

สรุปผล

การเติมอุณหภูมิในโลหะออกไซด์ผสมคอปเปอร์-ซีเรียม ส่งผลให้พื้นที่ผิวจำเพาะมีค่ามากขึ้น และขนาดผลึก ของโลหะออกไซด์ลดลงเพียงเล็กน้อย โดยโลหะออกไซด์ผสมคอปเปอร์ ซีเรียมและอุณหภูมิ ที่อัตราส่วน 40:48:12 ให้ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะสูงสุดเป็น 170.4 ตารางเมตรต่อกรัม เมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยาไปทดสอบ ความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชัน และปฏิกิริยาการเลือกเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์

ออกซิเดชัน พบว่าตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อัตราส่วนร้อยละ 40:51:9 โดยน้ำหนัก ให้ผลการเร่งปฏิกิริยาสูงสุด โดยให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เท่ากับ 100 ที่อุณหภูมิ 140 - 180 องศาเซลเซียส เป็นช่วงอุณหภูมิที่กว้าง และให้ค่าร้อยละการเลือกเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ออกซิเดชันสูงถึง 86 ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส และร้อยละ 60 ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าปริมาณโลหะออกไซด์ในตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา โดยตัวเร่งปฏิกิริยา $\text{CuO-CeO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ ที่อัตราส่วนร้อยละ 40:51:9 โดยน้ำหนัก เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาใช้ในการกำจัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในสภาวะที่มีก๊าซไฮโดรเจนมากเกินไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา เลขที่สัญญา 11/2553

References

- [1] Nepel, T. C. M., Lopes, P. P., Paganin, V. A., and Ticianelli, E. A. (2013). CO Tolerance of Proton Exchange Membrane Fuel Cells with Pt/C and PtMo/C Anodes Operating at High Temperatures: A Mass Spectrometry Investigation. **Electrochimica Acta**. Vol. 88, pp. 217-224. DOI: 10.1016/j.electacta.2012.10.039
- [2] Ayastuy, J. L., González-Marcos, M. P., González-Velasco, J. R., and Gutiérrez-Ortiz, M. A. (2007). MnOx/Pt/Al₂O₃ Catalysts for CO Oxidation in H₂-Rich Streams. **Applied Catalysis B: Environmental**. Vol. 70, pp. 532-541
- [3] Liu, Y., Fu, Q., and Stephanopoulos, M. F. (2004). Preferential Oxidation of CO in H₂ Over CuO-CeO₂ Catalysts. **Catalysis Today**. Vol. 93-95, pp. 241-246. DOI: 10.1016/j.cattod.2004.06.049
- [4] Gamarra, D., Belver, C., Fernández-García, M., and Martínez-Arias, A. (2007). Selective CO Oxidation in Excess H₂ Over Copper-Ceria Catalysts: Identification of Active Entities/Species. **Journal of the American Chemical Society**. Vol. 129, pp. 12064-12065. DOI: 10.1021/ja073926g
- [5] Polster, C. S., Nair, H., and Baertsch, C. (2009). Study of Active Sites and Mechanism Responsible for Highly Selective CO Oxidation in H₂ Rich Atmospheres on a Mixed Cu and Ce Oxide Catalyst. **Journal of Catalysis**. Vol. 266, Issue 2, pp. 308-319. DOI: 10.1016/j.jcat.2009.06.021
- [6] Bae, C. M., Ko, J. B., and Kim, D. H. (2005). Selective Catalytic Oxidation of Carbon Monoxide with Carbon Dioxide, Water Vapor and Excess Hydrogen on CuO-CeO₂ Mixed Oxide Catalysts. **Catalysis Communication**. Vol. 6, Issue 8, pp. 507-511. DOI: 10.1016/j.catcom.2005.04.017
- [7] Cortés, A. G., Márquez, Y., Alatorre, J. A., and Díaz, G. (2008). Selective CO Oxidation in Excess of H₂ Over High Surface Area CuO/CeO₂ Catalysts. **Catalysis Today**. Vol. 133-135, pp. 743-749. DOI: 10.1016/j.cattod.2007.12.083

- [8] Wei, Z., Li, H., Zhang, X., Yan, S., Lv, Z., Chen, Y., and Gong, M. (2008). Preparation and Property Investigation of $\text{CeO}_2\text{-ZrO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ Oxygen Storage Compounds. **Journal of Alloys and Compounds**. Vol. 455, pp. 322-326. DOI: 10.1016/j.jallcom.2007.01.060
- [9] Morikawa, A., Suzuki, T., Kanazawa, T., Kikuta, K., Suda, A., and Shinjo, H. (2008). A New Concept in High Performance Ceria-Zirconia Oxygen Storage Capacity Material with Al_2O_3 as a Diffusion Barrier. **Applied Catalysis B: Environmental**. Vol. 78, No. 3-4, pp. 210-221. DOI: 10.1016/j.apcatb.2007.09.013
- [10] Brinker, C. J. and Scherer, G. W. (1990). **Sol-Gel: the Physic and Chemistry of Sol-Gel Processing**. Elsevier's Science and Technology Rights Department in Oxford UK.
- [11] Cauqui, M. A. and Rodríguez-Izquierdo, J. M. (1992). Application of the Sol-Gel Methods to Catalyst Preparation. **Journal of Non-Crystalline Solids**. Vol. 147-148, pp. 724-738. DOI: DOI:10.1016/S0022-3093(05)80707-0
- [12] Ward, D. A. and Ko, E. L. (1995). Preparing Catalytic Materials by the Sol-Gel Method. **Industrial & Engineering Chemistry Research**. Vol. 34, pp. 421-433. DOI: 10.1021/ie00041a001
- [13] Manasilp, A. and Gulari, E. (2002). Selective Oxidation of Pt/alumina Catalysts for Fuel Cell Applications. **Applied Catalysis B: Environmental**. Vol. 37, Issue 1, pp.17-25. DOI: 10.1016/S0926-3373(01)00319-8
- [14] Sreethawong, T., Suzuki, Y., and Yoshikawa, S. (2009). Platinum-Loaded Mesoporous Titania by Single-Step Sol-Gel Process with Surfactant Template: Photocatalytic Activity for Hydrogen Evolution. **Comptes Rendus Chimie**. Vol. 9, pp. 307-314. DOI: 10.1016/j.crci.2005.05.015
- [15] Hargreaves, J. S. J. (2016). Some Considerations Related to the use of the Scherrer Equation in Powder X-Ray Diffraction as Applied to Heterogeneous Catalysts. **Catalysis, Structure & Reactivity**. Vol. 2, Issue 2-4, pp. 33-37. DOI: 10.1080/2055074X.2016.1252548
- [16] Hernandez, R. P., Cortes, A. G., Alatorre, J. A., Rojas, S., Mariscal, R., Fierro, J. L. G., and Díaz, G. (2005). SCR of NO by CH_4 on $\text{Pt/ZrO}_2\text{-TiO}_2$ Sol-Gel Catalysts. **Catalysis Today**. Vol. 107-108, pp. 149-159. DOI: 10.1016/j.cattod.2005.07.080
- [17] Sing, K. S. W. and Williams, R. T. (2004). Physisorption Hysteresis Loops and the Characterization of Nanoporous Materials. **Adsorption Science & Technology**. Vol. 22, Issue 10, pp. 773-782. DOI: 10.1260/0263617053499032
- [18] Lou, M.-F., Ma, J.-M., Lu, J.-Q., Song, Y.-P., and Wang, Y.-J. (2007). High-Surface Area CuO-CeO_2 Catalysts Prepared by a Surfactant-Templated Method for Low-Temperature CO Oxidation. **Journal of Catalysis**. Vol. 246, No. 1, pp. 52-59. DOI: 10.1016/j.jcat.2006.11.021
- [19] Fonseca, R. O., Rabelo-Neto, R. C., Simões, R. C. C., Mattos, L. V., and Noronha, F. B. (2020). Pt supported on doped $\text{CeO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ as Catalyst for Dry Reforming of Methane. **International Journal of Hydrogen Energy**. Vol. 45, Issue 8, pp. 5182-5191. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2019.09.207
- [20] Chen, Y. Z., Liaw, B. J., Wang, J. M., and Huang, C. T. (2008). Selective Removal of CO from Hydrogen Rich Stream Over $\text{CuO/Ce}_x\text{Sn}_{1-x}\text{O}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ Catalysts. **International Journal of hydrogen energy**. Vol. 33, No. 9, pp. 2389-2399. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2008.02.056

- [21] Lee, H. C. and Kim, D. H. (2008). Kinetics of CO and H₂ Oxidation Over CuO-CeO₂ Catalyst in H₂ Mixtures with CO₂ and H₂O. **Catalysis Today**. Vol. 132, No. 1-4, pp 109-116. DOI: 10.1016/j.cattod.2007.12.028
- [22] Moretti, E., Lenarda, M., Storaro, L., Talon, A., Montanari, T., Busca G., Rodriguez-Castellon, E., Jimenez-Lopez, A., Turco, M., Bagnasco, G., and Frattini, R. (2008). One-Step Synthesis of a Structurally Organized Mesoporous CuO-CeO₂-Al₂O₃ System for the Preferential CO Oxidation. **Applied Catalysis A: General**. Vol. 335, Issue 1, pp. 46-55. DOI: 10.1016/j.apcata.2007.11.009
- [23] Mariño, F., Schönbrod, B., Moreno, M., Jobbágy, M., Baronetti, G., and Laborde, M. (2008). CO Preferential Oxidation Over CuO-CeO₂ Catalysts Synthesized by the Urea Thermal Decomposition Method. **Catalysis Today**. Vol. 133-135, pp. 735-742. DOI: 10.1016/j.cattod.2007.12.019
- [24] Martínez-Arias, A., Hungria, A. B., Munuera, G., and Gamarra, D. (2006). Preferential Oxidation of CO in Rich H₂ Over CuO/CeO₂: Details of Selectivity and Deactivation Under the Reactant Stream. **Applied Catalysis B: Environmental**. Vol. 65, pp. 207-216. DOI: 10.1016/j.apcatb.2012.11.008

การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการย่อยได้ของคาร์โบไฮเดรต และโปรตีนใน
อาหารเสริมกระเจี๊ยบเขียวของปลากาดำ

Growth Performance, Carbohydrate and Protein Digestibility of *Labeo chrysophekadion* Fed with Okra Supplemented Feed

จุลทรรศน์ คีรีแลง¹ เกียรติศักดิ์ เม่งอำพัน¹ ชนกกันต์ จิตมนัส¹ Hien Van Doan² และสุดาพร ตงศิริ^{1*}

Julatat Keereelang¹ Kriangsak Mangumphan¹ Chanagun Chitmanat¹

Hien Van Doan² and Sudaporn Tongsi^{1*}

Received: April 10, 2020; Revised: September 12, 2020; Accepted: September 16, 2020

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการย่อยคาร์โบไฮเดรต และโปรตีนในวัตถุดิบ
และอาหารปลากาดำ และระดับที่เหมาะสมในการเสริมกระเจี๊ยบเขียวในอาหารปลากาดำ โดยทำการศึกษา
ในปลากาดำน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นเท่ากับ 3.11 ± 0.61 กรัม/ตัว และความยาวเริ่มต้นเฉลี่ยเท่ากับ
 7.05 ± 0.60 เซนติเมตร/ตัว วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยแบ่งกลุ่มทดลองเป็น 4 กลุ่ม
กลุ่มทดลองละ 3 ซ้ำ ได้แก่ ปลาที่ได้รับอาหารเสริมกระเจี๊ยบเขียวที่ระดับ 0 2 4 และ 6 % ตามลำดับ
โดยมีระดับโปรตีนในอาหารเท่ากับ 36.70 % ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์ จากการทดลอง
พบว่าประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตในแป้งสาลี และกระเจี๊ยบเขียว มีค่าสูงที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ
62.48 และ 48.67 $\mu\text{mol maltose/g feed/amylase activity}$ ($P < 0.05$) ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีน
มีค่าสูงในปลาป่น โดยมีค่าเท่ากับ 50.74 ± 2.47 $\mu\text{mol DL-alanine equivalent/g feed/trypsin}$
 activity ($P < 0.05$) สำหรับประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตในอาหารมีค่าสูงในอาหารเสริม
กระเจี๊ยบเขียวที่ระดับ 0 % ($P < 0.05$) และประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนมีค่าสูงในอาหารเสริม
กระเจี๊ยบเขียวที่ระดับ 2 - 6 % อัตราการเจริญเติบโตของปลากาดำที่ได้รับอาหารเสริมกระเจี๊ยบเขียว

¹ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

² คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

¹ Faculty of Fisheries Technology and Aquatic Resources, Maejo University, Chiang Mai

² Faculty of Agriculture, Chiang Mai University

* Corresponding Author E - mail Address: sudap2515@gmail.com

ที่ระดับ 2 % มีค่าสูงที่สุดทั้งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น การเจริญเติบโตจำเพาะและประสิทธิภาพการใช้โปรตีน ($P < 0.05$) สำหรับอัตราการรอดตาย และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อมีค่าไม่ต่างกันทางสถิติระหว่างกลุ่มทดลอง ($P > 0.05$) สามารถย่อยกระเจียบเขียวได้ดีสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเสริมในอาหารปลากาดำได้

คำสำคัญ : ปลากาดำ; กระเจียบเขียว; ประสิทธิภาพการย่อยได้; การเจริญเติบโต

Abstract

The aim of this study were to investigate on *in vitro* carbohydrate and protein digestibility in feedstuffs and feed of Black shark minnow and detect the optimal level of okra supplementation. Black shark minnow with an initial weight and length were 3.11 ± 0.61 g/fish and 7.05 ± 0.60 cm./fish respectively. The completely randomize design was arrange to 4 treatments with 3 replications. Fish fed okra supplement at 0, 2, 4 and 6 % with isonitrogenous diet at 36.70 % protein for 16 week. The results showed that wheat flour and okra have the highest carbohydrate digestibility as 62.48 and 48.67 μmol maltose/g feed/amylase activity ($P < 0.05$). Protein digestibility was the highest in fish meal as 50.74 ± 2.47 μmol DL-alanine equivalent/g feed/trypsin activity ($P < 0.05$). Carbohydrate digestibility was significantly in feed supplemented with okra at 0 % compared with other groups ($P < 0.05$). In addition, protein digestibility was significant highest in dietary supplemented with okra at 2 - 6 % compared with control group ($P < 0.05$). Growth performance and protein efficiency ratio of fish fed with supplemented okra at 2 % has higher than other groups ($P < 0.05$). On the other hand, survival rate and feed conversion ratio were not significant different among groups ($P > 0.05$).

Keywords: Greater Black Shark; Okra; Digestibility; Growth Performance

บทนำ

ปลากาดำ (*Labeo chrysophekadion*) เป็นปลาพื้นเมืองของไทยตัวโตมีขนาด 5 - 8 กิโลกรัม พบทั้งในแหล่งน้ำนิ่ง และน้ำไหลทั่วประเทศ [1] มีพฤติกรรมว่ายทะเล็มตามหิน และชอบกัดเกล็ดของปลาอื่น กินตะไคร่น้ำ และซากพืชซากสัตว์เป็นอาหาร [2] เป็นปลาที่มีรสชาติดีนิยมบริโภคสดและเลี้ยงเป็นปลาสวยงาม ในภาคเหนือประชาชนนิยมนำมาประกอบอาหาร ราคาขายกิโลกรัมละ 80 - 180 บาท ขึ้นอยู่กับขนาด ปัจจุบันปลากาดำมีการเพาะเลี้ยงเพื่อจำหน่ายเป็นปลาสวยงามทั้งในและต่างประเทศ ปลาที่ผลิตได้จะส่งออก ในลักษณะปลาสวยงามเป็นส่วนใหญ่ โดยจะเป็นปลาที่มีขนาดเล็ก ส่วนปลาขนาดใหญ่ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ส่วนใหญ่เป็นปลาที่จับจากธรรมชาติ ซึ่งไม่เพียงพอต่อการบริโภคได้มีการทดลองเลี้ยงปลากาดำในบ่อดิน

โดยปล่อยที่ความหนาแน่น 2 ตัวต่อตารางเมตร โดยเลี้ยงเป็นระยะเวลา 9 เดือน ได้ปลาขนาดตัวละ 200 กรัม ได้ผลผลิต 290 กิโลกรัมต่อไร่ [3] ซึ่งผลผลิตที่ได้ค่อนข้างต่ำเนื่องจากปลามีการเจริญเติบโตค่อนข้างช้า ระยะเวลาที่ใช้เลี้ยงนาน จึงทำให้ต้นทุนในการเลี้ยงเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเลี้ยง สำหรับการเจริญเติบโตของปลาขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายด้าน เช่น อาหาร คุณภาพน้ำ พันธุกรรมของปลา และสุขภาพของปลา ซึ่งอาหารและสุขภาพของปลาถือเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของปลา อาหารมีความสัมพันธ์โดยตรงกับสุขภาพของปลาที่จะส่งผลให้ปลาโตเร็ว [4] การใช้สมุนไพร หรืออาหารเสริมช่วยให้ปลาสุขภาพดีขึ้น ส่งผลต่อการทำงานของระบบต่าง ๆ ในร่างกาย รวมถึงระบบย่อยอาหารให้ทำงานดีขึ้น ส่งผลต่อการใช้ประโยชน์จากอาหารได้มากขึ้น กระเจี๊ยบเขียวเป็นพืชที่มีสรรพคุณทางยาช่วยต้านอนุมูลอิสระ และช่วยในการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในลำไส้ ซึ่งจะช่วยลดปริมาณพิษที่ผลิตจากแบคทีเรียที่ไม่มีประโยชน์ที่อาศัยอยู่บริเวณลำไส้ [5] กระเจี๊ยบเขียวจัดเป็นพืชที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เนื่องจากมีเส้นใย วิตามินซี และโฟเลตสูง นอกจากนี้ยังมีสารต้านอนุมูลอิสระสูง และเป็นแหล่งของแคลเซียม และโพแทสเซียม [6] โดยในกระเจี๊ยบเขียวมีสารประกอบพวกโพลีแซคคาไรด์ ซึ่งมีความสำคัญต่อระบบย่อยอาหาร และระบบภูมิคุ้มกัน นอกจากนี้ในกระเจี๊ยบเขียวมีเบต้ากลูแคน ซึ่งด้านการทำงานของเซลล์มาโครฟาจ และเม็ดเลือดขาวชนิดเนเชอร์ล คิลเลอร์เซลล์ (Natural Killer Cells) [7] - [8] และมีความสำคัญต่อการควบคุมสารอนุมูลอิสระในร่างกาย การสร้างสารซ่อมแซมเซลล์ ทำปฏิกิริยาขจัดสารพิษที่เกิดในร่างกาย ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวจะส่งผลต่อการเสริมสุขภาพของปลาให้แข็งแรงขึ้น สามารถใช้ประโยชน์จากอาหารได้อย่างเต็มที่ ส่งผลต่อการเจริญเติบโตที่มีประสิทธิภาพและรวดเร็ว ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาถึงระดับที่เหมาะสมของการใช้กระเจี๊ยบเขียวในอาหาร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการย่อย และการใช้อาหาร และการเจริญเติบโตของปลากาดำ ซึ่งจะช่วยลดระยะเวลาในการเลี้ยงให้น้อยลง และได้อาหารที่มีต้นทุนต่ำในการเลี้ยงปลากาดำเชิงพาณิชย์ต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การศึกษากิจกรรมของเอนไซม์และประสิทธิภาพการย่อยได้ของวัตถุดิบและอาหาร การเตรียมตัวอย่างกระเพาะอาหารและลำไส้ปลา

นำตัวอย่างปลากาดำมาทำการสลับด้วยน้ำมันกานพลู (Clove Oil) จากนั้นทำการผ่าท้องปลาเพื่อเก็บตัวอย่างกระเพาะอาหาร และลำไส้เล็ก นำตัวอย่างกระเพาะอาหาร และลำไส้เล็กมาทำการบดละเอียดด้วยเครื่องบดละเอียด (Homogenizer) ขณะที่บดจะแช่ในอ่างน้ำแข็งแล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000 g นาน 20 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บส่วนใสที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส เพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์กิจกรรม และสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์อะไมเลส และโปรติเอสตามวิธีของ [9]

2. การศึกษาความสามารถในการย่อยวัตถุดิบ และอาหารทดลองด้วยเอนไซม์ย่อยอาหารที่สกัดจากทางเดินอาหารปลากาดำ

2.1 การหาค่า *in vitro* digestibility ในวัตถุดิบอาหาร

ทำการศึกษาความสามารถในการย่อยวัตถุดิบอาหารจำนวน 5 ชนิด ได้แก่ ปลาป่น แป้งสาลี กากถั่วเหลือง กากถั่ว และกระเจี๊ยบเขียว ตามวิธีของ [10] โดยนำวัตถุดิบอาหารไปบดด้วย Homogenizer แล้วนำวัตถุดิบแต่ละชนิดมาชั่งน้ำหนักประมาณ 10 มิลลิกรัม พร้อมทั้งบันทึกน้ำหนัก

ที่แน่นอน จากนั้นเติม 50 mM Phosphate buffer pH 7 ปริมาตร 20 ml แล้วผสมให้เข้ากันด้วย Vortex Mixer เติม 0.5 % Chloramphenical 100 μ l แล้วผสมให้เข้ากันด้วย Vortex Mixer นำไปบ่มในตู้บ่มเชื้อแบบเขย่าควบคุมอุณหภูมิ (Shaker Incubator) ที่ความเร็วรอบ 200 rpm อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แบ่งตัวอย่างเก็บไว้ 250 μ l เพื่อเป็นกลุ่มควบคุม จากนั้นนำส่วนที่เหลือมาเติมสารสกัดเอนไซม์จากปลากาต้าปริมาตร 250 μ l ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมสารละลาย (Vortex Mixer) นำไปบ่มในตู้บ่มเชื้อแบบเขย่าควบคุมอุณหภูมิ (Shaker Incubator) ที่ความเร็วรอบ 200 rpm อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บตัวอย่าง 1,000 μ l และตัวอย่างที่แบ่งไว้สำหรับเป็นกลุ่มควบคุม นำไปต้มในน้ำเดือดทันทีเป็นเวลา 10 นาที แล้วแช่แข็งทันทีที่อุณหภูมิ -80 °C (Digested Solution) เพื่อนำไปวิเคราะห์การย่อยโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตต่อไป

2.2 การศึกษาการย่อยโปรตีนในอาหาร

การศึกษาการย่อยโปรตีนในอาหารตามวิธีของ [10] โดยนำ Digested Solution ที่ละลายแล้วไปปั่นให้เข้ากันด้วย Vortex Mixer นำ Digested Solution 200 μ l มาเติม 50 mM Phosphate buffer pH 8.2 ปริมาตร 2 ml แล้วผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมสารละลาย (Vortex Mixer) เติม 0.1 % TNBS (ใน 50 mM Phosphate buffer pH 8.2) ปริมาตร 1 ml แล้วผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมสารละลาย (Vortex Mixer) จากนั้นนำไปบ่มในที่มืดที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หยุดปฏิกิริยาโดยการเติม 1 M HCl ปริมาตร 1 ml แล้วผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมสารละลาย (Vortex Mixer) ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้ววัดค่าการดูดแสงที่ 420 nm โดยหาค่าปริมาณ Free Amino Group โดยเปรียบเทียบกับ DL-Alanine Standard Curve

2.3 การศึกษาการย่อยคาร์โบไฮเดรตในอาหาร

การศึกษาการย่อยคาร์โบไฮเดรตในอาหารตามวิธีของ [10] โดยนำ Digested Solution ที่ละลายแล้วไปปั่นให้เข้ากันด้วย Vortex Mixer ที่ความเร็วรอบ 10,000 g เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นดูดตัวอย่างมา 250 μ l นำมาเติม 1 % DNS (ละลาย 2 M NaOH และ 0.6 % Sodium Potassium Tartrate) ปริมาตร 250 μ l แล้วผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมสารละลาย (Vortex Mixer) จากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที ปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง แล้วเติมน้ำกลั่นปริมาตร 2.5 ml แล้วผสมให้เข้ากันด้วย Vortex Mixer วัดค่าการดูดแสงที่ 540 nm หาค่าปริมาณ Reducing Sugar โดยเปรียบเทียบกับ Maltose Standard Curve

3. การศึกษาการเจริญเติบโตของปลากาต้า

3.1 การเตรียมปลาทดลอง

ปลากาต้าที่ใช้ในการศึกษาเป็นลูกปลาที่ได้จากการเพาะพันธุ์จากศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด จังหวัดแพร่ มีอายุประมาณ 2 เดือน นำมาเลี้ยงไว้ที่สาขาวิชาประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน ในถังไฟเบอร์กลาสขนาด 1 ตัน เพื่อปรับสภาพปลาให้คุ้นเคยกับการทดลองเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ และให้อาหารเม็ดสูตรควบคุม วันละ 2 มื้อ คือ มื้อเช้าเวลา 09.00 น. และมื้อเย็นคือ 16.00 น. ในระหว่างการเลี้ยงทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำ และดูดตะกอนทุก ๆ 2 วัน จนได้ลูกปลาน้ำหนักเฉลี่ย 3 กรัม

3.2 การเตรียมกระเจียบเขียว

นำผลกระเจียบเขียวมาทำการล้างน้ำให้สะอาด จากนั้นตัดเอาส่วนหัวทิ้งไปโดยเอา

เฉพาะส่วนที่เป็นผลกระเจียบเขียวมาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำไปตากแดดให้แห้ง จากนั้นนำกระเจียบเขียวที่แห้งแล้วมาทำการบดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น และนำไปใส่ไว้ในถุงซิปล โดยปิดให้สนิทแล้วนำไปเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยกระเจียบเขียวมีค่าองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ โปรตีน 2 % ความชื้น 90.19 % เยื่อใย 3.2 % ไขมัน 3.9 % และพลังงาน 33 kcal/100 กรัม

3.3 การเตรียมอาหารทดลอง

สูตรอาหารที่ใช้ได้ปรับปรุงมาจากสูตรของ [11] ซึ่งเป็นสูตรอาหารที่ใช้ศึกษาในปลาไน มาใช้เป็นสูตรอาหารชุดควบคุม (Control) โดยนำส่วนผสมทั้งหมดมาคลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นนำไปอัดเป็นเม็ดโดยใช้เครื่องอัดอาหารเม็ดลอย จากนั้นนำไปเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปใช้ทดลองต่อไปดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สูตรอาหาร และองค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลอง

Feed Stuff	Percentage of Okra (%)			
	0	2	4	6
Fishmeal	40.00	40.00	40.00	40.00
Wheat Flour	21.00	19.00	17.00	15.00
Soybean Meal	13.50	13.50	13.50	13.50
Wheat Gluten	5.50	5.50	5.50	5.50
Soybean Oil	6.00	6.00	6.00	6.00
Fish Oil	6.00	6.00	6.00	6.00
Minerals	3.00	3.00	3.00	3.00
Vitamins	2.00	2.00	2.00	2.00
Alpha - Starch	2.00	2.00	2.00	2.00
BHT	0.50	0.50	0.50	0.50
Antioxidant	0.50	0.50	0.50	0.50
Okra	0.00	2.00	4.00	6.00
Proximate Analysis (% dry weight)				
Moisture	7.78	8.24	8.41	8.99
Protein	36.70	35.71	35.59	34.46
Fat	11.13	2.33	2.85	2.21
Ash	3.48	6.49	6.02	5.59

หมายเหตุ: อาหารสูตรควบคุมปรับปรุงจาก [11]

4. วิธีการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design; CRD) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลอง แต่ละชุดการทดลองมี 3 ซ้ำดังนี้ ชุดการทดลองที่ 1 (ชุดควบคุม) อาหารที่ไม่มีกระเจียบเขียวเป็นส่วนผสม และชุดการทดลองที่ 2 - 4 อาหารที่มีกระเจียบเขียวเป็นส่วนผสม

2 4 และ 6 % ตามลำดับ ทดสอบอาหารโดยใช้ลูกปลากาต่าน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 3 กรัม เลี้ยงในตู้กระจกขนาด 36 x 16 x 18 นิ้ว จำนวน 12 ตู้ ใส่ปลาตู้ละ 30 ตัว ในระหว่างการเลี้ยงให้อาหาร 2 มื้อ (09.00 น. และ 16.00 น.) ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำ 50 % ทุกวัน ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการเก็บข้อมูล ทดสอบความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการย่อยได้ของอาหารและอัตราการเจริญเติบโตของปลาในแต่ละชุดการทดลอง โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One Way Analysis of Variance; ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธีการของ Duncan's Multiple Rang Test โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรต และโปรตีนในวัตถุดิบอาหาร ได้แก่ ปลาป่น กากถั่วเหลือง กากูเทน แป้งสาลี และกระเจียบเขียว ด้วยเอนไซม์ที่สกัดจากทางเดินอาหารปลากาต้าพบว่า ประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตในแป้งสาลี และกระเจียบเขียวมีค่าสูงที่สุด ($P < 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 43.96 - 48.86 $\mu\text{mol maltose/g feed/}$ amylase activity แต่เอนไซม์ในทางเดินอาหารปลากาต้ามีความสามารถในการย่อยโปรตีนในปลาป่นได้สูงที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ $50.74 \pm 2.47 \mu\text{mol DL-alanine equivalent/g feed/}$ trypsin activity (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรต และโปรตีนในวัตถุดิบอาหารด้วยเอนไซม์ที่สกัดได้จากทางเดินอาหารของปลากาต้า ใส่ "Nd"

Feedstuff	Apparent Digestibility	
	Carbohydrate ($\mu\text{mol maltose/g feed/}$ amylase activity)	Protein ($\mu\text{mol DL-alanine equivalent/g feed/}$ trypsin activity)
Fishmeal	15.05 ± 2.86^c	50.74 ± 2.47^a
Wheat flour	43.96 ± 2.96^a	38.77 ± 2.28^b
Soybean meal	22.47 ± 1.61^b	40.10 ± 0.38^b
Wheat gluten	44.56 ± 0.47^b	Nd
Okra	48.86 ± 1.30^a	36.66 ± 1.07^b
P - value	0.0001	0.0001

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามหลังด้วยตัวอักษรต่างกันตามแนวตั้งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95, Nd = ตรวจวัดไม่พบ (not detected)"

จากการศึกษาค่าประสิทธิภาพการย่อยได้ของอาหารทดลองที่มีการเสริมกระเจียบเขียวที่ระดับต่าง ๆ กัน (ตารางที่ 3) พบว่าประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตในอาหารกลุ่มควบคุมมีค่าดีที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 6.33 $\mu\text{mol maltose/g feed/}$ amylase activity แต่ในทางตรงกันข้ามประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนมีค่าต่ำที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 19.84 $\mu\text{mol DL-alanine equivalent/g feed/}$ trypsin activity

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรต และโปรตีนในอาหารทดลองด้วยเอนไซม์ที่สกัดได้จากทางเดินอาหารของปลากาดำ

Treatment	Apparent Digestibility	
	Carbohydrate (μmol maltose/ g feed/amylase activity)	Protein (μmol <i>DL</i> -alanine equivalent/g feed/trypsin activity)
control	6.33 $\pm$ 0.66 ^a	19.84 $\pm$ 0.32 ^b
Okra 2 %	2.11 $\pm$ 0.58 ^b	27.36 $\pm$ 1.77 ^a
Okra 4 %	2.66 $\pm$ 0.23 ^b	30.27 $\pm$ 0.40 ^a
Okra 6 %	3.50 $\pm$ 1.41 ^b	26.51 $\pm$ 0.88 ^a
P - value	0.0025	0.0022

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามหลังด้วยตัวอักษรต่างกันตามแนวตั้งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผลการศึกษาการเจริญเติบโตของปลากาดำที่ได้รับอาหารเสริมกระเจี๊ยบเขียวที่ระดับ 0 2 4 และ 6 % ตามลำดับ เป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์ พบว่ามีค่าการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนแตกต่างกันในแต่ละกลุ่มทดลอง ($P < 0.05$) ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลากาดำที่ได้รับอาหารเสริมกระเจี๊ยบเขียวที่ระดับต่าง ๆ เป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์

Parameter	Level of Okra Supplemented in Diet (%)				P-Value
	0	2	4	6	
Final weight (g/fish)	6.48 $\pm$ 0.09 ^b	7.50 $\pm$ 0.21 ^a	6.21 $\pm$ 0.22 ^b	6.28 $\pm$ 0.09 ^b	0.0014
Final length (cm/fish)	6.70 $\pm$ 0.14 ^c	8.33 $\pm$ 0.15 ^a	7.50 $\pm$ 0.28 ^b	7.25 $\pm$ 0.35 ^{bc}	0.0028
Weight gain (g/fish)	3.37 $\pm$ 0.09 ^b	4.39 $\pm$ 0.21 ^a	3.31 $\pm$ 0.40 ^b	3.34 $\pm$ 0.30 ^b	0.0081
Length gain (cm/fish)	0.36 $\pm$ 0.14 ^c	1.99 $\pm$ 0.15 ^a	1.16 $\pm$ 0.28 ^b	0.91 $\pm$ 0.35 ^{bc}	0.0028
Specific growth rate (%/day)	0.61 $\pm$ 0.01 ^b	0.73 $\pm$ 0.02 ^a	0.63 $\pm$ 0.04 ^b	0.58 $\pm$ 0.0 ^b	0.0049
Survival rate (%)	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00	100.00 $\pm$ 0.00	.
Feed conversion ratio	4.38 $\pm$ 0.08 ^a	4.06 $\pm$ 0.28 ^a	4.17 $\pm$ 0.12 ^a	4.01 $\pm$ 0.19 ^a	0.2999
Protein efficiency ratio	0.00 $\pm$ 0.00 ^b	0.01 $\pm$ 0.00 ^a	0.00 $\pm$ 0.00 ^b	0.00 $\pm$ 0.00 ^b	0.0103

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยตามหลังด้วยตัวอักษรต่างกันตามแนวนอนแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การเจริญเติบโตของปลากาดำทั้งน้ำหนัก และความยาวที่เพิ่มขึ้นของปลากาดำกลุ่มที่ได้รับอาหารเสริมกระเจี๊ยบเขียวที่ระดับ 2 % มีค่าสูงที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 4.39 $\pm$ 0.21 กรัม/ตัว และ

1.99±0.15 เซนติเมตร/ตัว ตามลำดับ รวมถึงการเจริญเติบโตจำเพาะที่มีค่าเท่ากับ 0.73±0.02 %/วัน สำหรับประสิทธิภาพการใช้อาหารโดยพิจารณาจากค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนพบว่า อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อในแต่ละกลุ่มทดลองมีค่าไม่ต่างกันทางสถิติในแต่ละกลุ่มทดลอง ($P > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 4.01 - 4.38 แต่ประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลากาต้าที่ได้รับอาหารเสริมกระเจียบเขียวที่ระดับ 2 % มีค่าสูงที่สุดโดยมีค่าเท่ากับ 0.01±0.00

สรุปและการอภิปรายผล

จากการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตในวัตถุดิบอาหารพบว่าเอนไซม์ที่สกัดได้จากทางเดินอาหารของปลากาต้าสามารถย่อยคาร์โบไฮเดรตในแป้งสาลี และกระเจียบเขียวได้ดีกว่าวัตถุดิบชนิดอื่น ทั้งนี้เนื่องจากปลากาต้าเป็นปลาที่กินทั้งพืชทั้งสัตว์ (Omnivorous) [1] - [2], [12] ซึ่งมีความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตได้ดีกว่าปลากินเนื้อ (Carnivorous) [13] ซึ่งจากวัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษานั้น แป้งสาลี และกระเจียบเขียว ซึ่งเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตจะมีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าวัตถุดิบชนิดอื่น จึงส่งผลต่อความสามารถในการย่อยคาร์โบไฮเดรตได้ดีกว่าวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ ส่วนประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนพบว่ามีค่าสูงในปลาป่น เนื่องจากปลากาต้าเป็นปลาที่กินทั้งพืชและสัตว์ (Omnivorous) ประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนจะมีค่าน้อยกว่าปลากินเนื้อ (Carnivorous) แต่จะมีค่าสูงกว่าในปลากินพืช (Herbivorous) [14] ซึ่งคล้ายกับปลานิลที่เป็นปลาที่กินทั้งพืชและสัตว์ (Omnivorous) เช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงส่งผลให้ปลากาต้าย่อยโปรตีนจากปลาป่นได้ดีกว่าโปรตีนจากแหล่งอื่น เนื่องจากปลาป่นเป็นแหล่งโปรตีนที่มีคุณภาพทั้งปริมาณโปรตีนที่สูง และโปรตีนในปลาป่นเป็นโปรตีนที่ย่อยง่ายกว่าโปรตีนที่พบในพืช [15] ดังนั้นจึงส่งผลให้ค่าการย่อยโปรตีนในปลาป่นสูงกว่าโปรตีนในพืช เมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตในสูตรอาหารที่เสริมกระเจียบเขียวที่ระดับต่าง ๆ พบว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่มีการเสริมกระเจียบเขียวมีค่าประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตสูงกว่ากลุ่มทดลองอื่น ทั้งนี้เนื่องจากการเสริมกระเจียบเขียวในสูตรอาหารจะแทนที่แป้งสาลีในสูตรอาหาร ทำให้การใช้แป้งสาลีในสูตรอาหารลดลง ส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพการย่อยได้ของคาร์โบไฮเดรตลดลงด้วย มื้อองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตกลุ่มเซลลูลูโลส และเฮมิเซลลูลูโลสสูง (67.5 และ 15.4 %) ส่วนเปอร์เซ็นต์ลิกนิน และแพคติน มีค่าเท่ากับ 3.4 % และ 7.1 % [16] ถึงแม้ว่าเมื่อศึกษาค่าประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตของกระเจียบเขียวจะมีค่าสูงกว่าวัตถุดิบชนิดอื่น แต่เมื่อนำมาเสริมในอาหารแล้วผสมกับวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ และมีการใช้แป้งสาลิลดลง จะส่งผลให้ระดับของคาร์โบไฮเดรตส่วนที่ไม่ละลายน้ำซึ่งเป็นส่วนที่ย่อยยาก [17] - [18] ในอาหารสูงขึ้น จึงทำให้ค่าประสิทธิภาพการย่อยคาร์โบไฮเดรตในอาหารที่มีการเสริมกระเจียบเขียวมีค่าต่ำกว่ากลุ่มควบคุมที่ไม่มีการเสริมกระเจียบเขียว สำหรับค่าประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนพบมีค่าสูงในอาหารเสริมกระเจียบเขียวทุกระดับ และมีค่าต่ำที่สุดในอาหารกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการเสริมกระเจียบเขียว ถึงแม้ว่าค่าประสิทธิภาพการย่อยโปรตีนของกระเจียบเขียวจะมีค่าต่ำที่สุดก็ตาม การย่อยโปรตีนเกิดจากการทำงานของเอนไซม์โปรติเอสซึ่งผลิตได้จากสัตว์น้ำเอง และอีกส่วนมาจากการผลิตของจุลินทรีย์ที่อยู่ในทางเดินอาหาร ด้วยคุณสมบัติของกระเจียบเขียวที่มีสารเมือกหรือเส้นใยที่ละลายน้ำได้ (พรีไบโอติก) เมื่อเคลื่อนที่ลงสู่ลำไส้จะช่วยให้การเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ ช่วยทำให้อาหารถูกย่อยในลำไส้ได้สะดวกมากยิ่งขึ้น [17] - [20] ด้วยคุณสมบัติของกระเจียบเขียวที่เป็นสารพรีไบโอติกช่วยในการเจริญเติบโต

ของโพรไบโอติก ทำให้มีปริมาณของโพรไบโอติกมากขึ้น มีการเจริญเติบโตและทำงานได้ดีขึ้นส่งผลต่อการทำงานในการย่อยโปรตีนในอาหารให้ดีขึ้นด้วย เนื่องจากเอนไซม์โปรติเอสในปลากินทั้งพืชและสัตว์ จะทำงานในสภาวะเป็นด่าง การทำงานของเอนไซม์จะเกิดที่ลำไส้เล็กร่วมกับการทำงานของโปรติเอสที่ผลิตได้จากจุลินทรีย์ในลำไส้ ดังนั้นการที่จำนวนหรือปริมาณของจุลินทรีย์กลุ่มดีที่มีมากขึ้นจากการเสริมกระเจี๊ยบเขียวที่มีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก จึงส่งผลให้การย่อยได้ของโปรตีนในอาหารกลุ่มที่เสริมกระเจี๊ยบเขียวมีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุม เมื่อพิจารณาการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลากาต้าที่ได้รับอาหารเสริมกระเจี๊ยบเขียวพบว่าการเสริมที่ระดับ 2 % มีผลต่อการเพิ่มการเจริญเติบโตของปลากาต้าได้ดีที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากปลาในกลุ่มนี้มีการใช้ประโยชน์จากโปรตีนได้ดีกว่ากลุ่มทดลองอื่น จึงส่งผลให้โปรตีนที่ได้รับถูกนำไปใช้ในการสร้างกล้ามเนื้อและส่วนต่าง ๆ ของร่างกายได้ดีกว่าปลาในกลุ่มทดลองอื่น เป็นเหตุให้ปลาในกลุ่มนี้มีการเจริญเติบโตที่ดีกว่า นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับค่าประสิทธิภาพการย่อยได้ของคาร์โบไฮเดรตของกระเจี๊ยบเขียวพบว่ามีค่าสูงกว่ากลุ่มทดลองอื่น ถึงแม้ว่าค่าประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนในกระเจี๊ยบเขียวจะต่ำกว่ากลุ่มทดลองอื่น แต่ค่าประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนในอาหารมีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุม และด้วยคุณสมบัติของกระเจี๊ยบเขียวที่มีองค์ประกอบของเยื่อใยที่ละลายน้ำสูง รวมถึงแร่ธาตุสำคัญ เช่น แมกนีเซียม แมงกานีส โพแทสเซียม วิตามินเค วิตามินซี โฟเลต วิตามินบี 1 และวิตามินบี 6 นอกจากนี้กระเจี๊ยบเขียวยังอุดมไปด้วยสารกลุ่มไบโอแอคทีฟคอมโพเนนต์ (Bioactive Components) เช่น ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) โดยเฉพาะเคอร์เซทิน (Quercetin) และไฟโตสเตอรอล (Phytosterols) [21] กระเจี๊ยบเขียวเป็นพืชที่มีสารต้านอนุมูลอิสระสูง และเป็นแหล่งของแคลเซียม และโพแทสเซียม [6] นอกจากนี้กระเจี๊ยบเขียวยังมีสารประกอบฟอสโฟลิพิดที่สำคัญต่อระบบย่อยอาหารและระบบภูมิคุ้มกัน [7] - [8] และมีความสำคัญต่อการควบคุมสารอนุมูลอิสระในร่างกาย การสร้างสารซ่อมแซมเซลล์ และทำปฏิกิริยาขจัดสารพิษที่เกิดในร่างกาย นอกจากนี้ในกระเจี๊ยบเขียวยังมีสารเมือกหรือเส้นใยที่ละลายน้ำได้ เมื่อลงสู่ลำไส้จะช่วยให้การเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ (พรีไบโอติก) [19] - [20] ด้วยคุณสมบัติของกระเจี๊ยบเขียวที่มีสารอาหารที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน และเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ทำให้ปลามีสุขภาพที่ดี แข็งแรง ส่งผลต่อการเจริญเติบโตที่ดีกว่า จึงทำให้ปลากาต้าที่ได้รับอาหารเสริมกระเจี๊ยบเขียวที่ระดับ 2 % มีค่าการเจริญเติบโตที่ดีกว่ากลุ่มทดลองอื่น แต่การเสริมกระเจี๊ยบเขียวที่ระดับสูงกว่านี้ จะมีผลให้การเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนลดลงเนื่องจากองค์ประกอบในกระเจี๊ยบเขียวส่วนใหญ่เป็นเซลล์ลูโลส 67.5 % เซมิเซลล์ลูโลส 15.4 % ลิกนิน 7.1 % แพคติน 3.4 % และในกระเจี๊ยบเขียวยังเต็มไปด้วยเส้นใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำ ซึ่งเป็นส่วนที่สัตว์น้ำไม่สามารถย่อยได้ นอกจากนี้ระดับเยื่อใยที่สูงจะส่งผลต่อการขัดขวางการดูดซึมสารอาหารและปริมาณอาหารที่ได้รับ ทำให้สัตว์น้ำอิ่มเร็วแต่ได้รับสารอาหารไม่เพียงพอกับความต้องการของร่างกาย ดังนั้นการเสริมกระเจี๊ยบเขียวที่ระดับไม่เหมาะสมจะส่งผลต่อการลดลงของการใช้ประโยชน์ของอาหารและการเจริญเติบโตของปลากาต้า จากการทดลองชี้ให้เห็นว่าปลากาต้าสามารถย่อยคาร์โบไฮเดรตในกระเจี๊ยบเขียวได้ดี ในขณะที่การย่อยโปรตีนในอาหารมีประสิทธิภาพดีเมื่อมีการเสริมกระเจี๊ยบเขียว และประสิทธิภาพการใช้โปรตีนของปลากาต้าสอดคล้องกับประสิทธิภาพการย่อยได้ของโปรตีนในอาหารที่มีการเสริมกระเจี๊ยบเขียว และส่งผลต่อการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้น และระดับที่เหมาะสมสำหรับการเสริมกระเจี๊ยบเขียวในอาหารปลากาต้าอยู่ที่ 2 %

References

- [1] Uk-katawewat, S. and Pongchawee, K. (2543). **Taxonomy of Ornamental Fish for Thailand Exports**. Bangkok: Fisheries Department
- [2] Vidthayanon, C. (2547). **Handbook of Freshwater Fishes**. Bangkok: Bangkoksarakadee Press
- [3] Ingram, B. A. and Lasasimma, O. (2008). Production of *Cirrhinus molitorella* and *Labeo chrysophekadion* for Culture Based Fisheries Development in Lao PDR. Part 1. Captive Spawning. **Aquaculture Asia**. Vol. 13, No. 2, pp. 24-31
- [4] Chitmanat, C. (2551). **Fish Disease Handbook**. Chiangmai: Maejo University Press
- [5] Shengjie, L., Renhui, H., Nagendra, P., Shah, X. T., Yonghua, X., and Hua, W. (2014). Antioxidant and antibacterial activities of exopolysaccharides from *Bifidobacterium bifidum* WBIN03 and *Lactobacillus plantarum* R315. **Journal of Dairy Science**. Vol. 97, Issue 12, pp. 7334-7343. DOI: 10.3168/jds.2014-7912
- [6] Kumar, D. S., Tony, D. E., Kumar, A. P., Kumar, K. A., Rao, D. B. S., and Nadendla, R. (2013). A REVIEW ON: *Abelmoschus esculentus* (OKRA). **International Research Journal of Pharmaceutical and Applied Sciences (IRJPAS)**. Vol. 3, No. 4, pp. 129-132
- [7] Mizuno, T., Wang, G., Zhang, J., Kawagishi, H., Nishitoba, T., and Li, J. (1995). *Ganoderma lucidum* and *Ganoderma tsugae*: Bioactive Substances and Medical Effects. **Food Reviews International**. Vol. 11, Issue 1, pp. 151-166. DOI: 10.1080/87559129509541025
- [8] Shyang, C. S. and Mei, H. L. (2012). Composition Analysis and Immuno-Modulatory Effect of Okra (*Abelmoschus esculentus* L.) Extract. **Food Chemistry**. Vol. 134, No. 4, pp. 1906-1911. DOI : 10.1016/j.foodchem.2012.03.110
- [9] Areekijseeree, M., Engkagul, A., Kovitvadhi, U., Thongpan, A., Mingmuang, M., Pakkong, P. and Torrisen, K. R. (2004). Temperature and pH Characteristics of Amylase and Proteinase of Adult Freshwater Pearl Mussel, *Hyriopsis (Hyriopsis) bialatus* Simpson 1900. **Aquaculture**. Vol. 234, No. 1-4, pp. 575-587
- [10] Rungruangsak, T. K., Moss, R., Andresen, L. H., Berg, A., and Waagbø, R. (2006). Different Expressions of Trypsin and Chymotrypsin in Relation to Growth in Atlantic Salmon (*Salmo Salar* L.). **Fish Physiol Biochem**. Vol. 32, No. 1, pp. 7-23. DOI: 10.1007/s10695-005-0630-5
- [11] Roghieh, S., Seyed, H., Hoseinifar, H. V. D., and Maryam, D. (2017). The Effects of Dietary Myrtle (*Myrtus communis*) on Skin Mucus Immune Parameters and mRNA Levels of Growth, Antioxidant and Immune Related Genes in Zebrafish (*Danio rerio*). **Fish Shellfish Immunol**. Vol. 66, pp. 264-269. DOI: 10.1016/j.fsi.2017.05.007
- [12] Rainboth, W. J. (1996). The Taxonomy, Systematics, and Zoogeography of *Hypsibarbus*, a New Genus of Large Barbs (Pisces, Cyprinidae) from the Rivers of Southeastern Asia. **Zoology**. Vol. 129, No. 1-13, pp. 1-199

- [13] Chuapoehuk, W. (2543). **Aquatic Animal Nutrition and Feeding**. 2nd ed. Bangkok: Kasetsart University Press
- [14] De Silva, S. S. and Anderson, T. A. (1994). **Fish Nutrition in Aquaculture**. London: Chapman & Hall
- [15] Halver, J. E. and Hardy, R. W. (2002). **Fish Nutrition**. 3rd ed. New York: Academic Press
- [16] Kumar, A., Baranwal, D. K., Aparna, J., and Srivastav, K. (2013). Combining Ability and Heterosis for Yield and its Contributing Characters in Okra (*Abelmoschus esculantus* (L.) Moench). **Madras Agricultural Journal**. Vol. 100, No. 1-3, pp. 30-35
- [17] Siriphat, D. (1998). **Red/Green Okra Taste and Value**. Access (7 October 2017). Available (<https://www.doctor.or.th/article/detail/2421>)
- [18] Pamornprawat, S. (2008). **Okra**. Access (7 October 2017). Available (<https://www.doctor.or.th/article/detail/1186>)
- [19] Thammarutwasik, P., Hongpattarakere, T., Chantachum, S., Kijroongrojana, K., Itharat, A., Reanmongkol, W., Tewtrakul, S., and Ooraikul, B. (2009). Prebiotics - A Review. **Songklanakarin Journal of Science and Technology**. Vol. 31, No. 4, pp. 401-408
- [20] Wichienchot, S., Hongpattarakere, P., Jongjareonrak, A., Chansuwan, W., Hmadhlu, P., Hongpattarakere, T., Itharat, A., and Ooraikul, B. (2011). Extraction and Analysis of Prebiotics from Selected Plants from Southern Thailand. *Songklanakarin Journal of Science and Technology (SJST)*. Vol. 33, No. 5, pp. 517-523
- [21] Bawa, S. N. and Badrie, N. (2016). Nutrient Profile, Bioactive Components, and Functional Properties of Okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench). Fruits, Vegetables, and Herbs. In: (Watson, R, and Preedy, V.). **Bioactive Foods in Health Promotion**. (1st ed). pp. 365-409. London: Academic Press

ผลของแบคทีเรียกลุ่มตรึงก๊าซไนโตรเจนแบบอิสระต่อการเจริญเติบโตของ
ต้นกล้าโกงกางใบใหญ่

Effects of Non-Symbiotic Nitrogen Fixing Bacteria on Growth of Red Mangrove, *Rhizophora mucronata* Lam., Seedlings

สุบัตติต นิมรัตน์^{1*} สุพรรณณี ช่อนกลิ่น¹ และวีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย¹

Subuntith Nimrat^{1*} Supanee Sonklin¹ and Verapong Vuthiphandchai¹

Received: May 26, 2020; Revised: September 17, 2020; Accepted: September 18, 2020

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของแบคทีเรียตรึงก๊าซไนโตรเจนที่เจริญแบบอิสระต่อคุณสมบัติของดินและการเจริญเติบโตของต้นกล้าโกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) การทดลองแบ่งออกเป็น 4 ชุดการทดลอง คือ 1) ชุดควบคุม (ไม่เติมแบคทีเรีย) 2) เติม *Bacillus* sp. SN1 3) เติม *Bacillus* sp. SN2 และ 4) เติมแบคทีเรียผสม SN1+SN2+SN3 จากการเพาะต้นกล้านาน 37 วัน พบว่าการเติม *Bacillus* sp. SN1 และ *Bacillus* sp. SN2 และแบคทีเรียผสม *Bacillus* sp. SN1+SN2+SN3 ช่วยเพิ่มความสูงและน้ำหนักต้นกล้าโกงกางใบใหญ่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) นอกจากนี้ปริมาณแอมโมเนียมในดินของชุดการทดลองที่เติม *Bacillus* sp. SN1 มีค่าสูงที่สุด (1.55 ± 0.02 พีพีเอ็ม) รองลงมาคือ *Bacillus* sp. SN2 และ *Bacillus* sp. SN1+SN2+SN3 โดยมีค่าเท่ากับ 0.93 ± 0.008 และ 0.45 ± 0.000 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ในขณะที่ดินในชุดควบคุมไม่พบแอมโมเนียมเลย ปริมาณฟอสฟอรัสในดินของชุดที่เติม *Bacillus* sp. SN2 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 1.04 ± 0.110 พีพีเอ็ม ซึ่งสูงกว่าชุดควบคุม (0.99 ± 0.005 พีพีเอ็ม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) การเติมแบคทีเรียทั้ง 3 รูปแบบ ไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณอินทรียวัตถุในดินที่ใช้เพาะต้นกล้าโกงกางใบใหญ่ การศึกษานี้สรุปได้ว่า *Bacillus* sp. SN1, *Bacillus* sp. SN2 และแบคทีเรียผสม *Bacillus* sp. SN1+SN2+SN3 มีศักยภาพในการใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพเพื่อเพิ่มการเจริญเติบโตของต้นกล้าพืชป่าชายเลน และลดการใช้ปุ๋ยเคมีไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

คำสำคัญ : โกงกางใบใหญ่; ไนโตรเจน; ฟอสฟอรัส; แบคทีเรีย; บาซิลลัส

¹ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี

¹ Faculty of Science, Burapha University, Chon Buri

* Corresponding Author E - mail Address: subunti@buu.ac.th

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effects of non-symbiotic nitrogen fixing bacteria on soil properties and growth of red mangrove (*Rhizophora mucronata*) seedlings. The experiment was divided into 4 treatments: 1) control (no bacterial inoculation), 2) addition of *Bacillus* sp. SN1, 3) addition of *Bacillus* sp. SN2, and 4) addition of a mixture of *Bacillus* sp. SN1+SN2+SN3. After planting seeds for 37 days, the addition of *Bacillus* sp. SN1, *Bacillus* sp. SN2 or mixed inoculum of *Bacillus* sp. SN1+SN2+SN3 significantly ($P < 0.05$) increased length and weight of seedlings. Additionally, the highest ammonium concentration was observed in *Bacillus* sp. SN1-treated soil (1.55 ± 0.02 ppm), followed by soil treated with *Bacillus* sp. SN2 (0.93 ± 0.008 ppm) and *Bacillus* sp. SN1+SN2+SN3 (0.45 ± 0.000 ppm), respectively while no ammonium was detected in the control. Concentration of available phosphorus in *Bacillus* sp. SN2-treated soil was 1.04 ± 0.110 ppm, which was significantly ($P < 0.05$) higher than that of the control (0.99 ± 0.005 ppm). Addition of the three forms of nitrogen-fixing *Bacillus* had no effects on pH and organic matter in the soil. In conclusion, *Bacillus* sp. SN1, *Bacillus* sp. SN2 and a mixture of *Bacillus* sp. SN1+SN2+SN3 had the potential use as biofertilizer to promote the growth of mangrove-tree seedlings and reduce the use of chemical NP fertilizers.

Keywords: *Rhizophora mucronata*; Nitrogen; Phosphorus; Bacteria; *Bacillus*

บทนำ

ป่าชายเลนเป็นสังคมพืชที่ประกอบด้วยพันธุ์ไม้หลายชนิดหลายสกุล เป็นพืชที่มีใบเขียวตลอดทั้งปี พบได้ทั่วไปตามพื้นที่ชายฝั่งทะเล ปากแม่น้ำ อ่าว ทะเลสาบและเกาะ ที่มีลักษณะน้ำทะเลท่วมถึงในช่วงที่น้ำทะเลขึ้นสูงสุดในประเทศต่าง ๆ แถบโซนร้อนในทวีปเอเชีย อเมริกาใต้และแอฟริกา เช่น อินโดนีเซีย มาเลเซีย อินเดีย ไทย บราซิล ในจีเรีย เป็นต้น [1] พื้นที่ป่าชายเลนในประเทศไทยอยู่กระจัดกระจายตามชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ภาคกลางและภาคใต้ รวม 23 จังหวัด เมื่อปี พ.ศ. 2539 ประเทศไทยมีพื้นที่ป่าชายเลนทั้งสิ้น 1,047,390 ไร่ [2] พันธุ์ไม้ป่าชายเลนในประเทศไทยประกอบด้วยพันธุ์ไม้ 168 ชนิด โดยพันธุ์ไม้ป่าชายเลนที่เป็นพันธุ์ไม้หลักส่วนใหญ่อยู่ในวงศ์ไม้โกงกาง (*Rhizophoraceae*) จำนวน 10 ชนิด ที่อยู่ในสกุลไม้โกงกาง ไม้พังกาหัวสุม ไม้โปรงและไม้รังกะแทะ และวงศ์เหิงอกปลาหม้อ (*Acanthaceae*) จำนวน 6 ชนิด รวมทั้งวงศ์ไม้ตะแบก (*Lythraceae*) [3]

โกงกางใบใหญ่เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางถึงใหญ่มีความสูงประมาณ 20 - 30 เมตร พบทั่วไปตามริมคลอง แม่น้ำและชายฝั่งทะเลที่มีน้ำเค็มท่วมถึง ไม้โกงกางได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์หลายด้าน อาทิเช่น การใช้ทำฟืนและถ่านที่ให้ความร้อนสูง เสาค้ำยัน เปลือกของไม้โกงกางนำมาสกัดสารแทนนินและฟีนอลธรรมชาติที่มีราคาถูก และยังสามารถนำมาใช้ทำเป็นสีย้อม สารฟอกหนัง กาวสำหรับติดไม้ เนื้อไม้โกงกาง

สามารถนำมาแปรรูปเพื่อใช้ในงานก่อสร้าง เฟอร์นิเจอร์และเครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ [4] การบุกรุกป่าชายเลนเพื่อใช้ประโยชน์จากไม้โกงกางและการใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์อื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็นการทำนาเกลือ ฟาร์มเลี้ยงกุ้งทะเล การประมง การท่องเที่ยวและที่พักอาศัย ทำให้พื้นที่ป่าชายเลนลดลงอย่างมากล่งผลกระทบต่อระบบนิเวศในวงกว้าง [5] ในปัจจุบันมีหน่วยงานราชการ กลุ่มนักร้องและประชาชนทั่วไปตื่นตัวกับปัญหานี้มากขึ้น มีการฟื้นฟูป่าชายเลนที่ถูกทำลายหลายแห่ง เช่น ศูนย์ศึกษาการพัฒนาอ่าวคุ้งกระเบนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดจันทบุรี และศูนย์ศึกษาธรรมชาติและอนุรักษ์ป่าชายเลนเพื่อการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ และสถานีวิจัยพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนที่ 5 จังหวัดชลบุรี เป็นต้น โดยการนำพันธุ์ต้นกล้าโกงกางใบใหญ่มาปลูกทดแทนเพื่อฟื้นฟูสภาพป่าชายเลนให้มีสภาพกลับมาสมบูรณ์เป็นพื้นที่แนวป้องกันชายฝั่ง เป็นแหล่งอาศัยของสัตว์น้ำนานาชนิด แต่อย่างไรก็ตามการเพาะพันธุ์ต้นโกงกางใบใหญ่มักประสบปัญหา คือ อัตราการรอดตายค่อนข้างต่ำและอัตราการเจริญเติบโตช้า

ระบบนิเวศป่าชายเลนเป็นระบบที่มีความซับซ้อนประกอบด้วย สิ่งมีชีวิตและพืชหลากหลายชนิดทำให้เกิดการหมุนเวียนของแร่ธาตุต่าง ๆ มากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งธาตุคาร์บอน แต่อย่างไรก็ตามป่าชายเลนมักมีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำ ไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืชป่าชายเลนปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการขาดแคลนไนโตรเจน คือ การสูญเสียจากการพัดพาของคลิ่น การเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) และลักษณะของดินป่าชายเลน [6] ดังนั้นการประยุกต์ใช้จุลินทรีย์ที่สามารถตรึงก๊าซไนโตรเจนมาช่วยในการปลูกกล้าพันธุ์พืชป่าชายเลนเพื่อเพิ่มธาตุอาหารชนิดนี้ลงในดินให้เพียงพอต่อความต้องการจึงมีความน่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง

แบคทีเรียกลุ่มตรึงก๊าซไนโตรเจนที่เจริญอยู่อย่างอิสระในธรรมชาติ (Non-Symbiotic Nitrogen Fixing Bacteria) พบได้ทั่วไปทั้งสภาวะที่มีออกซิเจน (Obligate Aerobe) เช่น *Archromobacter*, *Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Bacillus*, *Derxia*, *Mycobacterium* และ *Arthrobacter* สภาวะที่ไม่มีออกซิเจนเล็กน้อย (Facultative Anaerobe) เช่น *Aerobacter*, *Klebsiella* และ *Pseudomonas* และสภาวะไม่มีออกซิเจน เช่น *Clostridium*, *Chlorobium*, *Chromatium*, *Rhodomicrobium*, *Rhodopseudomonas*, *Rhodospirillum*, *Desulfovibrio* และ *Methanobacterium* [7] แบคทีเรียเหล่านี้มีความสามารถในการเปลี่ยนก๊าซไนโตรเจนในชั้นบรรยากาศที่มีประมาณ 78 % ให้อยู่ในรูปของแอมโมเนียด้วยกระบวนการตรึงไนโตรเจน (Nitrogen Fixation) โดยอาศัยกิจกรรมเอนไซม์กลุ่ม Nitrogenase Complex [8] - [9] แอมโมเนียที่เกิดขึ้นนี้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรง หรือละลายน้ำรวมกับไฮโดรเจนไอออนกลายเป็นแอมโมเนียมที่พืชสามารถนำไปสังเคราะห์กรดอะมิโนและโปรตีนได้ และแบคทีเรียสามารถใช้สารชนิดนี้และเปลี่ยนเป็นสารประกอบไนโตรเจนชนิดอื่นเพื่อเข้าสู่วัฏจักรไนโตรเจนต่อไป [10] จะเห็นได้ว่าการเพิ่มธาตุไนโตรเจนในดินด้วยแบคทีเรียกลุ่มตรึงไนโตรเจนเป็นการเพิ่มธาตุอาหารในดินที่มีประสิทธิภาพและยังเป็นการลดค่าใช้จ่ายจากปุ๋ยที่มีราคาแพงในการเพาะพันธุ์ต้นกล้าพืชป่าชายเลนได้อีกด้วย

การศึกษาในครั้งนี้จึงเป็นการศึกษาถึงความสามารถของแบคทีเรียกลุ่มตรึงก๊าซไนโตรเจนที่เจริญแบบอิสระ ได้แก่ *Bacillus* sp. SN1, SN2 และ SN3 ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าโกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora mucronata*) ซึ่งเป็นพันธุ์ไม้ป่าชายเลนที่มักนำต้นกล้ามาปลูกทดแทนเพื่อฟื้นฟูสภาพป่าชายเลนในหลายพื้นที่ของประเทศไทย รวมทั้งสถานีวิจัยพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนที่ 5 จังหวัดชลบุรี

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาเบื้องต้นก่อนหน้านี้ได้ศึกษาถึงความสามารถในการเจริญในน้ำทะเลความเค็ม 30 พีพีที ของแบคทีเรียกลุ่มตรึงก๊าซไนโตรเจนที่เจริญแบบอิสระจำนวน 4 สายพันธุ์ ได้แก่ *Bacillus* sp. SN1, SN2, SN3 และ SN4 ทั้งแบบหัวเชื้อเดี่ยวและหัวเชื้อผสมแบบ 2 3 และ 4 สายพันธุ์เข้าด้วยกันพบว่า *Bacillus* sp. SN1, SN2 และแบคทีเรียผสม *Bacillus* sp. SN1+SN2+SN3 มีการเจริญในน้ำทะเลได้ดีที่สุด ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงคัดเลือกแบคทีเรียดังกล่าวมาศึกษาความสามารถในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้าโกงกางใบใหญ่ที่มีขั้นตอนการวิจัยมีดังนี้

1. การเตรียมหัวเชื้อแบคทีเรีย ดัดแปลงจาก [11]

นำแบคทีเรียกลุ่มตรึงก๊าซไนโตรเจนทั้ง 3 สายพันธุ์ ได้แก่ *Bacillus* sp. SN1, SN2 และ SN3 ที่เก็บรักษาในห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยาสิ่งแวดล้อม ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา มาเลี้ยงบนอาหาร Alkaline Nitrogen-Free Agar ที่ประกอบด้วย (g/L) Glucose 2.0, Dipotassium Hydrogen Phosphate (K_2HPO_4) 1.0, Magnesium Sulphate ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) 0.5, Ferric Chloride ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$) 0.1, Calcium Carbonate ($CaCO_3$) 2.0 และ Agar 15.0 อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง แล้วถ่ายเชื้อลงใน 0.85 % NaCl Solution ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และปรับความเข้มข้นของหัวเชื้อให้มีความหนาแน่นเซลล์ 10^9 CFU/ml เพื่อเตรียมเป็นหัวเชื้อแบคทีเรียแบบเดี่ยว ส่วนการเตรียมหัวเชื้อแบคทีเรียแบบผสม (SN1, SN2 และ SN3) ให้นำสารแขวนลอยเซลล์ของแบคทีเรียแต่ละสายพันธุ์มาผสมกันในอัตราส่วน 1:1:1 จากนั้นนำสารแขวนลอยเซลล์ที่ได้นำไปใช้ในการทดลองต่อไป

2. การปลูกต้นโกงกางใบใหญ่

คัดเลือกฝักโกงกางที่มีคุณภาพดี ได้แก่ ฝักที่ไม่มีรอยแผลจากแมลงศัตรูพืชหรือรอยโรคจากเชื้อก่อโรคพืช (รูปที่ 1) บันทึกข้อมูลฝักโกงกาง ได้แก่ ความยาวและน้ำหนักเปียก แล้วนำฝักโกงกางใบใหญ่ไปปักชำต่อไป

นำดินจากป่าชายเลนบริเวณสถานีพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนที่ 5 จังหวัดชลบุรี บรรจุใส่ถุงเพาะชำชนิดเจาะรูขนาด 3×7 นิ้ว ถุงละ 500 กรัม อัดดินให้แน่นนำฝักโกงกางใบใหญ่ในส่วนของรากจุ่มในสารแขวนลอยเซลล์ทั้ง 4 ชนิด ที่มีปริมาณเชื้อประมาณ 10^9 CFU/ml นาน 30 นาที [12] ก่อนนำไปปักชำในดินที่เตรียมไว้ (1 ฝักต่อดิน 1 ถุง) โดยแบ่งเป็น 15 ต้นต่อชุดการทดลอง จากนั้นนำต้นกล้าไปไว้ในโรงเพาะชำที่คลุมด้วยตาข่ายพลาสติกแสงร้อยละ 50 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของโรงเพาะชำอยู่ระหว่าง 26 - 32 องศาเซลเซียส และร้อยละ 70 - 75 ตามลำดับ ในวันแรกหลังการปักฝักโกงกางประมาณ 30 นาที ให้รดน้ำด้วยน้ำทะเลความเข้มข้น 30 พีพีที หลังจากนั้นรดด้วยน้ำจืดทุกวันในปริมาณ 25 มิลลิลิตร ต่อ 1 ถุง และเติมสารแขวนลอยเซลล์ความเข้มข้นประมาณ 10^9 CFU/ml ตามชุดการทดลอง ถุงละ 10 มิลลิลิตร ทุก ๆ 7 วัน สำหรับชุดควบคุมเป็นฝักโกงกางที่ไม่ได้จุ่มลงในสารแขวนลอยเซลล์ แต่จุ่มลงใน 0.85 % NaCl Solution และทุก ๆ 7 วัน เติม 0.85 % NaCl Solution แทนการเติมสารแขวนลอยเซลล์ เมื่อครบกำหนดระยะเวลา 37 วัน นำต้นกล้าโกงกางใบใหญ่มาวัดการเจริญเติบโต ได้แก่ วัดความสูงและชั่งน้ำหนักเปียก



รูปที่ 1 ฝักโกงกางใบใหญ่ที่มีคุณภาพดี สมบูรณ์

3. การวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน

นำดินของแต่ละชุดการทดลอง ได้แก่ ดินสำหรับต้นกล้าโกงกางที่เดิมแบคทีเรียเดียวสายพันธุ์ SN1 และ SN2 และแบคทีเรียผสมสายพันธุ์ SN1, SN2 และ SN3 ในช่วงก่อนเพาะต้นกล้า 1 ชั่วโมง หลังเพาะต้นกล้า 30 นาที และดินในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 37) มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ดังนี้

3.1 แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ด้วยเทคนิค Colorimetric [13]

นำดิน 10 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมนิโตรเจนไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 2 นอร์มอล ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เขย่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปกรอง แล้วนำสารละลายที่ได้จากการกรองปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตร เติมนิโตรเจนไฮดรอกไซด์เข้มข้นและโซเดียมไฮโปคลอไรด์ปริมาตร 5 และ 3 มิลลิลิตร ตามลำดับ ปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นตั้งทิ้งไว้ 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร และคำนวณความเข้มข้นของแอมโมเนียมจากกราฟมาตรฐานแอมโมเนียมคลอไรด์

3.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง [13]

ชั่งดิน 10 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร เติมน้ำลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วควมให้เข้ากันก่อนวัดประมาณ 30 นาที ในระหว่างนั้นควรคนตัวอย่างดินเป็นระยะ ๆ และนำตัวอย่างไปวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่างที่ทำการสอบเทียบกับค่าสารละลายมาตรฐานที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7.0 และ 10.0 เรียบร้อยแล้ว บันทึกผลการทดสอบทั้ง 3 ซ้ำ นำค่าที่ได้หาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.3 ปริมาณอินทรีย์วัตถุด้วยวิธีการเผา (Loss on Ignition) [13]

ชั่งดินที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร จำนวน 10 กรัม ใส่ลงในถ้วยกระเบื้องขนาดเล็กที่จดบันทึกน้ำหนักแล้วไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ปลอ่ยให้เย็นในโถดูดความชื้น นำดินตัวอย่างไปอบอีกครั้งที่อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง แล้วนำถ้วยกระเบื้องออกมาทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น นำไปชั่งน้ำหนักหลังเผา แล้วคำนวณหาน้ำหนักที่หายไป และคำนวณค่า Organic Matter (%)

$$\text{Organic Matter (\%)} = (\text{น้ำหนักดินที่หายไป} / \text{น้ำหนักดินก่อนเผา}) \times 100$$

3.4 ปริมาณฟอสฟอรัสในรูปที่มีประโยชน์ (Available Phosphorus) ด้วยวิธีของ Olsen [13]

ซึ่งตัวอย่างดิน 5 กรัม ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.5 มิลลิเมตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิเมตร เติมน้ำยา 0.05 M NaHCO_3 (pH 8.5) ในอัตราส่วนดินต่อน้ำยาเท่ากับ 1:20 เขย่าให้เข้ากันเป็นระยะเวลา 30 นาที แล้วกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 คูณสารละลายที่กรองได้ปริมาตร 5 มิลลิเมตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิเมตร เติมน้ำละลายผสม (Ammonium Molybdate-Antimony Potassium Tartrate Solution, Ascorbic Acid Solution และ Sulfuric Acid) ปริมาตร 4 มิลลิเมตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิเมตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ 10 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 882 นาโนเมตร และคำนวณความเข้มข้นของฟอสฟอรัส โดยเปรียบเทียบกับกราฟสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส (Potassium Dihydrogen Phosphate)

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลมาคำนวณเป็นค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) โดยใช้ Analysis of Variance (ANOVA) แบบ One-Way ANOVA และเปรียบเทียบเชิงซ้อนด้วย Duncan's Multiple Range Test

ผลการทดลอง

1. การเจริญเติบโตของต้นกล้าโกงกางใบใหญ่

จากการเพาะกล้าโกงกางใบใหญ่ที่มีคุณภาพดีจากสถานีวิจัยพัฒนาทรัพยากรป่าชายเลนที่ 5 (ชลบุรี) ด้วยการเติมแบคทีเรียกลุ่มตรึงก๊าซไนโตรเจนแบบหัวเชื้อเดี่ยวและหัวเชื้อผสม พบว่าการเติม *Bacillus* sp. SN1 SN2 และ SN3 ทั้งแบบเดี่ยวและแบบผสมช่วยให้ต้นกล้าโกงกางใบใหญ่เจริญเติบโตได้ดีเมื่อต้นกล้าอายุได้ 7 วัน ฝักโกงกางใบใหญ่เริ่มมีการแตกหมวกใบ เมื่อเวลาผ่านไป 21 วัน ต้นกล้ามีการแตกใบคู่แรก และเมื่ออายุ 37 วัน ต้นกล้ามีความสูงเพิ่มขึ้น มีใบและยอดที่สมบูรณ์ (รูปที่ 2(ก)) จากการสังเกตรากของต้นกล้าโกงกางที่เติม *Bacillus* sp. SN1, SN2 และแบคทีเรียผสม *Bacillus* sp. SN1+SN2+SN3 มีการแตกแขนงและเจริญได้ดีกว่าต้นกล้าในชุดควบคุม (รูปที่ 2(ข))

ต้นกล้าโกงกางใบใหญ่ที่ได้รับ *Bacillus* sp. SN2 มีความสูงเพิ่มขึ้นสูงที่สุดเท่ากับ 8.70 ± 0.89 เซนติเมตร ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับต้นกล้าในชุดควบคุม (8.30 ± 1.01 เซนติเมตร) และ *Bacillus* sp. SN1 (8.24 ± 0.59 เซนติเมตร) ดังตารางที่ 1

ส่วนน้ำหนักของต้นกล้าโกงกางใบใหญ่เพิ่มขึ้นสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในชุดการทดลองที่เติม *Bacillus* sp. SN1 ที่มีค่าเท่ากับ 12.73 ± 1.93 กรัม รองลงมาคือ ต้นกล้าที่เติม *Bacillus* sp. SN1+SN2+SN3 และ *Bacillus* sp. SN2 ที่เพิ่มขึ้น 8.64 ± 2.67 และ 8.42 ± 2.54 กรัม ตามลำดับ ซึ่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นล้วนมากกว่าชุดควบคุม (7.80 ± 1.48 กรัม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ดังตารางที่ 1



(ก) ลำต้น ใบและยอดของต้นกล้าโกงกางใบใหญ่



(ข) รากของต้นกล้าโกงกางใบใหญ่

รูปที่ 2 ลักษณะต้นกล้าโกงกางใบใหญ่ใน (1) ชุดควบคุม (2) เติม *Bacillus* sp. SN1+SN2+SN3 (3) เติม *Bacillus* sp. SN2 และ (4) เติม *Bacillus* sp. SN1 ที่มีอายุ 37 วัน

ตารางที่ 1 ความสูงและน้ำหนักเปียกที่เพิ่มขึ้นของต้นกล้าโกงกางใบใหญ่ที่เติมหรือไม่เติมแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนแบบเชื้อเดี่ยวและแบบเชื้อผสมที่มีอายุ 37 วัน

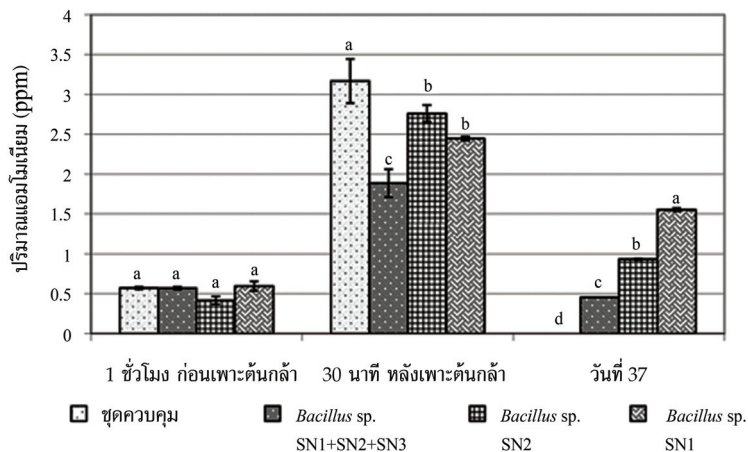
ชุดการทดลอง	ความสูงของต้นที่เพิ่มขึ้น (เซนติเมตร)	น้ำหนักเปียกของต้น ที่เพิ่มขึ้น (กรัม)
ชุดควบคุม	8.30 ± 1.01^a	7.80 ± 1.48^a
<i>Bacillus</i> sp. SN1+SN2+SN3	8.47 ± 0.17^{ab}	8.64 ± 2.67^b
<i>Bacillus</i> sp. SN2	8.70 ± 0.89^b	8.42 ± 2.54^b
<i>Bacillus</i> sp. SN1	8.24 ± 0.59^a	12.73 ± 1.93^c

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแนวดิ่งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

2. ปริมาณแอมโมเนียมในดิน

ปริมาณแอมโมเนียมในดินของทุกชุดการทดลองก่อนเพาะต้นกล้า 1 ชั่วโมง มีค่าอยู่ในช่วง 0.42 ± 0.049 - 0.59 ± 0.059 พีพีเอ็ม ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) หลังการเพาะต้นกล้าและรดด้วยน้ำทะเล 30 นาที ปริมาณแอมโมเนียมในดินของชุดควบคุมมีค่าสูงที่สุด (3.16 ± 0.277 พีพีเอ็ม) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดที่เติมแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนทั้ง 3 ชุดการทดลองแต่อย่างใดก็ตามในวันสุดท้ายของการทดลอง (วันที่ 37) ปริมาณแอมโมเนียมในดินของชุดการทดลองที่เติม *Bacillus* sp. SN1 มีค่าสูงที่สุด (1.55 ± 0.02 พีพีเอ็ม) รองลงมาคือ *Bacillus* sp. SN2 และ *Bacillus* sp.

SN1+SN2+SN3 ที่มีค่าเท่ากับ 0.93 ± 0.008 และ 0.45 ± 0.000 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ในขณะที่ดินในชุดควบคุมไม่พบแอมโมเนียมไนโตรเจนในดินเลย (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 ปริมาณแอมโมเนียมไนโตรเจนในดินที่ใช้เพาะชำต้นกล้าโก่งกางใบใหญ่ที่เดิมหรือไม่เดิมแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนแบบเชื้อเดี่ยวและแบบเชื้อผสมตลอดระยะเวลา 37 วัน

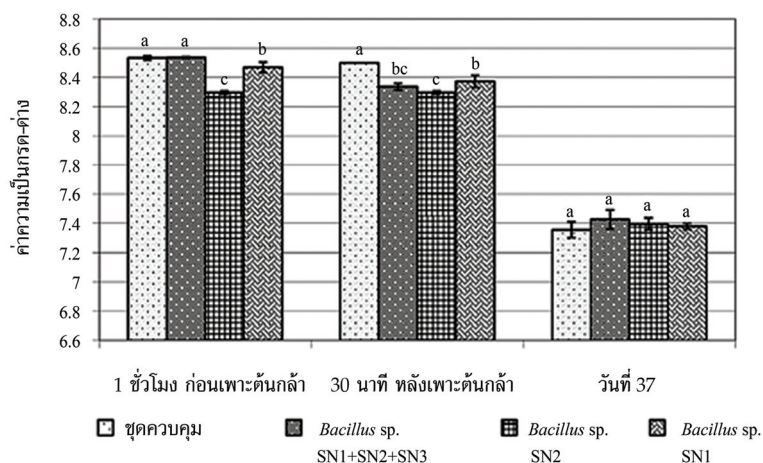
ตัวอักษรภาษาอังกฤษแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง

3. ค่าความเป็นกรด-ด่างในดิน

ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินก่อนเพาะต้นกล้า 1 ชั่วโมง มีความเป็นด่าง โดยดินในชุดควบคุมและชุดที่เติม *Bacillus* sp. SN1+SN2+SN3 มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8.53 ± 0.015 และ 8.54 ± 0.006 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าชุดการทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) หลังการเพาะต้นกล้า 30 นาที ค่าความเป็นกรด-ด่างในดินของทุกชุดการทดลองลดลงเล็กน้อยอยู่ในช่วง 8.30 ± 0.012 - 8.50 ± 0.000 และในวันที่ 37 ของการเพาะกล้า ตัวอย่างดินในทุกชุดการทดลองมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่เป็นกลางมากขึ้นอยู่ในช่วง 7.36 ± 0.055 - 7.43 ± 0.065 และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังรูปที่ 4

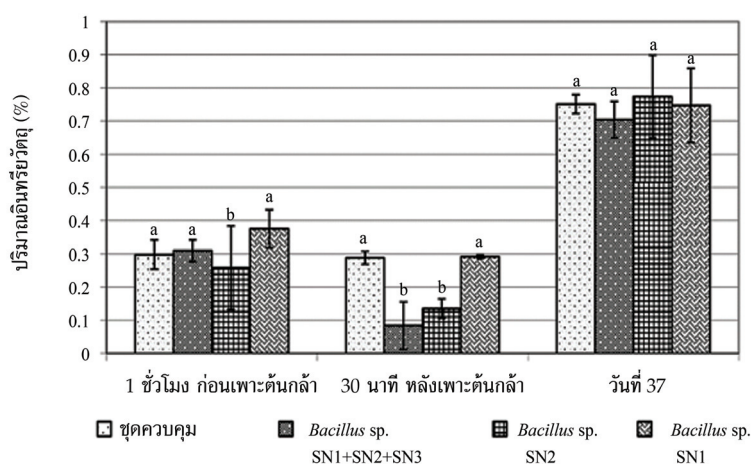
4. ปริมาณอินทรีย์วัตถุ

ก่อนการเพาะต้นกล้าโก่งกางใบใหญ่ ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินของชุดควบคุม ชุดที่เติม *Bacillus* sp. SN1+SN2+SN3 และ *Bacillus* sp. SN1 มีค่าใกล้เคียงกันในช่วง 0.298 ± 0.044 - 0.375 ± 0.050 % ซึ่งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) และมีค่าลดลงเล็กน้อยหลังการเพาะและร่นน้ำทะเล 30 นาที ส่วนในวันที่ 37 ของการทดลอง ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินของทุกชุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยมีค่าเท่ากับ 0.704 ± 0.055 - 0.774 ± 0.125 % และไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ระหว่างกันดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินที่ใช้เพาะชำต้นกล้าโก่งกางใบใหญ่ที่เดิมหรือไม่เดิมแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน แบบเชื้อเดี่ยวและแบบเชื้อผสมตลอดระยะเวลา 37 วัน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง



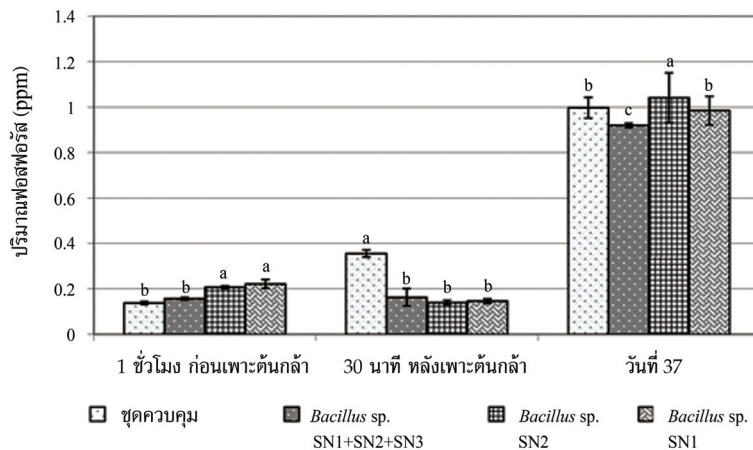
รูปที่ 5 ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินที่ใช้เพาะชำต้นกล้าโก่งกางใบใหญ่ที่เดิมหรือไม่เดิมแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนแบบเชื้อเดี่ยวและแบบเชื้อผสมตลอดระยะเวลา 37 วัน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง

5. ปริมาณฟอสฟอรัสในดิน

ก่อนการเพาะต้นกล้าโก่งกางใบใหญ่ ปริมาณฟอสฟอรัสในดินของชุดที่เดิม *Bacillus* sp. SN2 และ *Bacillus* sp. SN1 มีค่าใกล้เคียงกันเท่ากับ 0.21 ± 0.006 และ 0.22 ± 0.019 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าดินในชุดควบคุมและชุดที่เดิมแบคทีเรียผสมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) หลังการเพาะกล้า 30 นาที ปริมาณฟอสฟอรัสในดินของชุดควบคุมเพิ่มขึ้นเป็น 0.36 ± 0.016 พีพีเอ็ม และแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดที่เดิมแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนทั้ง 3 กลุ่ม และในวันที่ 37 ของการทดลอง

ปริมาณฟอสฟอรัสในดินของชุดที่เติม *Bacillus* sp. SN2 มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 1.04 ± 0.110 พีพีเอ็ม ซึ่งสูงกว่าชุดควบคุม (0.99 ± 0.005 พีพีเอ็ม) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ปริมาณฟอสฟอรัสในดินที่ใช้เพาะชำต้นกล้าโก่งกางใบใหญ่ที่เติมหรือไม่เติมแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนแบบเชื้อเดี่ยวและแบบเชื้อผสมตลอดระยะเวลา 37 วัน

ตัวอักษรภาษาอังกฤษแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ระหว่างชุดการทดลอง

อภิปรายผลการทดลอง

1. การเจริญเติบโตของต้นกล้าโก่งกางใบใหญ่

จากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการเพาะต้นกล้าโก่งกางใบใหญ่ด้วยเทคนิค Root Dipping คือจุ่มปลายฝักโก่งกางใบใหญ่ในสารแขวนลอยเซลล์ และเติมเซลล์แขวนลอยของแบคทีเรียตรึงก๊าซไนโตรเจนชนิดต่าง ๆ ทุก 7 วัน สามารถเพิ่มความสูงและน้ำหนักของต้นกล้าโก่งกางใบใหญ่ได้ โดยการเติม *Bacillus* sp. SN2 ทำให้ความสูงของต้นกล้าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และการเติม *Bacillus* sp. SN1+SN2+SN3, *Bacillus* sp. SN1 และ *Bacillus* sp. SN2 ทำให้น้ำหนักต้นกล้าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) การส่งเสริมการเจริญเติบโตด้วยการใช้แบคทีเรียประสมผลสำเร็จในพืชหลายชนิด ยกตัวอย่างเช่น การเติมแบคทีเรียตรึงไนโตรเจน 3 ชนิด คือ *Azotobacter chroococcum*, *A. virelandii* และ *A. beijerinckii* แบบหัวเชื้อเดี่ยวช่วยเพิ่มการเจริญเติบโต ได้แก่ น้ำหนักราก ความยาวราก น้ำหนักต้นกล้า พื้นที่ใบและการผลิตสารรงควัตถุ (คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์) ของต้นกล้าโก่งกางใบเล็ก (*R. apiculata*) และโก่งกางใบใหญ่ได้อย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับต้นกล้าที่ไม่ได้รับแบคทีเรีย [14] ผลการทดลองคล้ายกันนี้รายงานโดย Rahman, M. M., Sabir, A. A., Mukta, J. A., Khan, M. M. A., Mohi-Ud-Din, M., Miah, M. G., Rahman, M. M., and Islam, M. T. [11] ที่พบว่าการเติม *Bacillus amyloliquefaciens* BChi1 และ *Paraburkholderia fungorum* BRRh-4 สามารถเพิ่มการเจริญเติบโตและผลผลิตของสตรอว์เบอร์รี่ได้เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังมีรายงานความสำเร็จในการเพิ่มน้ำหนักรากและการงอกของเมล็ดด้วยการเติมหัวเชื้อผสมระหว่าง *Rhizobium*, *B. subtilis* OSU-142 และ *B. megaterium* M-3 ในการเพาะถั่วลูกไก่ (Chickpea) [15]

ผลการศึกษาในครั้งนี้ยังแสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียสกุล *Bacillus* ที่มีความสามารถในการตรึงก๊าซไนโตรเจน สายพันธุ์ที่ใช้ในการศึกษานี้อาจมีบทบาททางตรงและทางอ้อมในการเพิ่มความยาวและน้ำหนักของต้นกล้าโกงกางใบใหญ่ โดยปกติแล้วแบคทีเรียที่เติมลงไปนั้นสามารถเพิ่มปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ [16] สอดคล้องกับผลการศึกษาในครั้งนี้ที่พบว่าดินในชุดควบคุมไม่หลงเหลือแอมโมเนียมในดินเลย ในขณะที่ชุดการทดลองที่เติมหัวเชื้อเดี่ยวคือ *Bacillus* sp. SN1 และ *Bacillus* sp. SN2 และหัวเชื้อผสม *Bacillus* sp. SN1+SN2+SN3 ดินมีปริมาณแอมโมเนียมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในวันสุดท้ายของการทดลอง และการเติม *Bacillus* sp. SN2 สามารถเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสในดินอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม การเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารทั้งสองกลุ่มอาจเป็นปัจจัยโดยตรงที่ทำให้ความสูงและน้ำหนักของต้นกล้าโกงกางใบใหญ่เพิ่มขึ้น

นอกเหนือจากการเพิ่มไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในรูปที่พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้แล้ว แบคทีเรียที่เติมลงในดินอาจเพิ่มการเจริญเติบโตของต้นกล้าโกงกางใบใหญ่ด้วยการสังเคราะห์สารที่มีประโยชน์ต่าง ๆ ได้แก่ Indole Acetic Acid และซีเดอร์โรฟอ์ เป็นต้น [9] โดย Indole Acetic Acid เป็นฮอร์โมนพืชกลุ่มออกซินที่มีบทบาทเร่งการเจริญเติบโตของพืช เช่น การเพิ่มความสูง การเพิ่มพื้นที่ผิวและความยาวของราก และบทบาทต่อกระบวนการหลั่งสารเคมีที่เกี่ยวข้องกับการยึดเกาะของจุลินทรีย์และโครงสร้างกลุ่มจุลินทรีย์บริเวณรากพืช [17] ส่วนซีเดอร์โรฟอ์จัดเป็นสารชีวโมเลกุลที่ผลิตจากแบคทีเรีย สารชนิดนี้สามารถจับกับเหล็กในรูปเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) ได้ดีและถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปเฟอร์รัส (Fe^{2+}) ที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ [18] แบคทีเรียสกุล *Bacillus* หลายชนิดมีความสามารถในการผลิต Indole Acetic Acid และซีเดอร์โรฟอ์ เช่น *Bacillus* sp., *B. subtilis* และ *B. amyloliquefaciens* เป็นต้น [19] - [21] การเติมแบคทีเรียยังมีบทบาทในการปรับโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของรากพืช เพิ่มการดูดซึมธาตุอาหารหลัก อาหารรองและอาหารเสริมต่าง ๆ และช่วยกระตุ้นการแสดงออกของยีนส์ในพืชที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต [16], [22] จากกลไกเหล่านี้จึงทำให้พืชได้รับสารอาหารได้ง่ายขึ้นและครบถ้วนตามความต้องการและส่งผลให้การเจริญเติบโตเพิ่มสูงขึ้นนั่นเอง แต่อย่างไรก็ตามความสามารถในการผลิตสารที่มีประโยชน์และความสัมพันธ์ระหว่าง *Bacillus* sp. SN1, *Bacillus* sp. SN2 และแบคทีเรียผสม *Bacillus* sp. SN1+SN2+SN3 กับรากต้นกล้าโกงกางใบใหญ่ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตควรมีการศึกษาต่อไปในอนาคต

การศึกษาในครั้งนี้ยังแสดงให้เห็นว่าการเติมหัวเชื้อผสม *Bacillus* sp. SN1+SN2+SN3 มีประสิทธิภาพต่ำกว่าการเติมหัวเชื้อเดี่ยว คือ *Bacillus* sp. SN1 และ *Bacillus* sp. SN2 สังเกตได้จากน้ำหนักและความสูงต้นกล้าโกงกาง รวมถึงปริมาณแอมโมเนียมในดิน ซึ่งจากการศึกษาของ Yu, X., Liu, X., Zhu, T. H., Liu, G. H., and Mao, C. [23] ได้พบว่าการเติมแบคทีเรียผสมสองกลุ่มมีผลต่อความสูงของลำต้น ความยาวและน้ำหนักราก และปริมาณฟอสฟอรัสและไนโตรเจนในดินที่ใช้เพาะกล้าอลันท์ (*Juglans regia* L.) แตกต่างกัน โดยพบว่าแบคทีเรียผสมระหว่าง *Pseudomonas chlororaphis* และ *Arthrobacter pascens* มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มธาตุอาหาร แต่ในขณะที่แบคทีเรียผสมระหว่าง *B. megaterium* และ *A. pascens* ไม่มีผลการเจริญเติบโตและธาตุอาหาร ผลการศึกษาดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าการใช้แบคทีเรียผสมในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชอาจมีความสัมพันธ์แบบเกื้อกูลกัน (Synergistic Activity) หรือความสัมพันธ์แบบปฏิปักษ์ (Antagonistic Activity) ก็ได้ [23]

ดังนั้นคาดว่าปฏิสัมพันธ์ของแบคทีเรียผสม *Bacillus* sp. SN1+SN2+SN3 อาจจะเกือบลูกกันในระดับหนึ่ง แต่ยังมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเชื้อเดี่ยว คือ *Bacillus* sp. SN1 และ SN2

2. คุณสมบัติของดิน

ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินในทุกชุดการทดลองก่อนเพาะต้นกล้าและหลังเพาะต้นกล้าในวันแรกของการทดลองมีความเป็นด่างใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 8.30 ± 0.012 - 8.54 ± 0.006 และเมื่อเพาะต้นกล้าโกองกางใบใหญ่นาน 37 วัน ดินมีความเป็นกลางเพิ่มมากขึ้น โดยมีค่าระหว่าง 7.36 ± 0.055 - 7.43 ± 0.065 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะดินที่ใช้เพาะกล้าเป็นดินป่าชายเลนและมีการรดด้วยน้ำทะเลหลังปักฝักโกองกางใบใหญ่ ตามปกติแล้วน้ำทะเลส่วนมากมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 8 [24] แต่หลังจากนั้นรดต้นกล้าด้วยน้ำจืดทุกวันตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยน้ำจืดที่ใช้รดต้นกล้าในครั้งนี้มีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 7.4 ค่าความเป็นกรด-ด่างของดินเพาะต้นกล้าโกองกางใบใหญ่ที่มีความเป็นกลางมากขึ้นน่าจะส่งผลทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินเพิ่มสูงขึ้น เช่น การตรึงก๊าซไนโตรเจนเพื่อเปลี่ยนมาเป็นแอมโมเนียมและการละลายฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ ดังที่สังเกตได้จากผลการทดลองในครั้งนี้ จนส่งผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินที่เพิ่มสูงขึ้นในวันที่ 37 ของการเพาะต้นกล้าโกองกางใบใหญ่นอกจากนี้ผลการศึกษาในครั้งนี้ยังสังเกตได้ว่าปริมาณแอมโมเนียมในดินหลังการปักชำของทุกชุดการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ทั้งนี้อาจเกิดจากการรดต้นกล้าหลังการปักชำด้วยน้ำทะเล ซึ่งเป็นการรดด้วยน้ำทะเลเพียงครั้งเดียว หลังจากนั้นรดด้วยน้ำจืดทุกวันตลอดระยะเวลาการทดลอง จึงอาจทำให้ปริมาณแอมโมเนียมสะสมในดินค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเวลาอื่นของการทดลอง สอดคล้องกับคุณภาพน้ำทะเลพื้นที่ชายฝั่งบริเวณอ่าวชลบุรีถึงบางแสนที่สำรวจโดยกรมควบคุมมลพิษ ในปี พ.ศ. 2562 พบว่าปริมาณแอมโมเนียมรวมมีค่าอยู่ระหว่าง 8.6 - 332 ไมโครกรัม-ไนโตรเจน/ลิตร [25]

ความสัมพันธ์ระหว่างพืชกับจุลินทรีย์มีการศึกษามากมายแพร่หลายและยาวนาน แต่การนำจุลินทรีย์มาใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพเพื่อปรับปรุงคุณภาพดินสำหรับการเพาะต้นกล้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชป่าชายเลนยังมีการศึกษาน้อยมาก การใช้จุลินทรีย์ปรับปรุงคุณภาพดินถือเป็นวิธีที่มีความเหมาะสมเนื่องจากการใช้ปุ๋ยเคมีบางชนิดไม่มีประสิทธิภาพ พืชไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ เช่น ปุ๋ยฟอสฟอรัส ประมาณ 75 - 90 % ของปริมาณที่เติมลงในดินมักจับตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับธาตุโลหะในดินและถูกตรึงอยู่กับอนุภาคดิน [26] การศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า *Bacillus* sp. SN1, *Bacillus* sp. SN2 และแบคทีเรียผสม *Bacillus* sp. SN1+SN2+SN3 มีศักยภาพในการเพิ่มธาตุไนโตรเจนให้กับต้นกล้าโกองกางใบใหญ่ สอดคล้องกับการศึกษาของ Sharma, S. B., Sayyed, R. Z., Trivedi, M. H., and Gobi, T. A. [27] ที่รายงานว่า *B. polymyxa* สายพันธุ์ BcP26 ช่วยปรับปรุงคุณภาพดินที่ขาดธาตุอาหารให้มีธาตุอาหารไนโตรเจนเพิ่มสูงขึ้นจึงส่งผลให้ข้าวโพดเจริญเติบโตได้ดีและดูดซึมธาตุอาหารไนโตรเจนมาใช้ได้อย่างเพียงพอ นอกจากนี้ Elkoca, E., Kantar, F., and Sahin, F. [15] พบว่าการเติมแบคทีเรียตรึงก๊าซไนโตรเจน คือ *Rhizobium* และ *B. subtilis* OSU-142 ร่วมกับแบคทีเรียละลายฟอสเฟต คือ *B. megaterium* M-3 แบบหัวเชื้อเดี่ยว แบคทีเรียผสมสองชนิดและแบคทีเรียผสมทั้งสามชนิดสามารถเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนในดิน ส่งผลให้ค่าสูง ความยาวราก ปริมาณคลอโรฟิลล์ น้ำหนักปมราก และผลผลิตของถั่วลูกไก่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักลำดับที่สองต่อจากไนโตรเจนที่มักมีในปริมาณจำกัดในดินทั้ง ๆ ที่ธาตุอาหารชนิดนี้พบได้ทั่วไปทั้งในรูปสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ [28] การที่ธาตุอาหารชนิดนี้มีปริมาณอย่างจำกัดสำหรับพืช เนื่องจากฟอสฟอรัสมักอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ ในขณะที่พืชสามารถใช้ฟอสฟอรัสในรูปละลายน้ำเพียงสองชนิดเท่านั้น ได้แก่ รูปโมโนเบสิกไอออน (H_2PO_4^-) และไดเบสิกไอออน (HPO_4^{2-}) ขึ้นอยู่กับค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน กล่าวคือ พืชจะใช้ฟอสเฟตในรูปไดเบสิกไอออนเมื่อดินมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูง [29] - [30] นอกจากนี้หากดินมีสภาพเป็นกรดต่ำกว่า 6.5 จะทำให้ฟอสฟอรัสเกาะติดกับอะลูมิเนียมและแร่เหล็ก แต่ถ้าดินมีความเป็นด่างสูงจะทำให้ฟอสฟอรัสเกาะติดกับแคลเซียม ทำให้พืชดูดซึมฟอสฟอรัสไปใช้ไม่ได้ แม้ว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่วัดได้จะมีค่าสูงก็ตาม [10] ดังนั้นการเติมจุลินทรีย์จึงเป็นการเพิ่มฟอสฟอรัสในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยอาศัยกิจกรรมการละลายฟอสเฟตของจุลินทรีย์และยังช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมีได้อีกด้วย จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่า *Bacillus* sp. SN2 สามารถเพิ่มฟอสเฟตในดินในระหว่างการเพาะกล้าโกงกางใบใหญ่ ส่งผลให้ความยาวและน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ สอดคล้องกับการศึกษาของ Sharma, S. B., Sayyed, R. Z., Trivedi, M. H., and Gobi, T. A. [27] ที่พบว่า *B. polymyxa* สายพันธุ์ BcP26 ช่วยเพิ่มฟอสฟอรัสในดินที่ขาดธาตุอาหารส่งผลให้ข้าวโพดดูดซึมธาตุอาหารฟอสฟอรัสได้มากขึ้นและเจริญเติบโตได้ตามปกติแล้วแบคทีเรียหลายสกุลมีความสามารถในการละลายฟอสฟอรัสให้อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น *Bacillus*, *Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Burkholderia*, *Enterobacter*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Microbacterium*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* และ *Serratia* เป็นต้น [30] การศึกษาความสามารถในการละลายฟอสฟอรัสของ *Bacillus* sp. SN1 และ *Bacillus* sp. SN2 และหัวเชื้อผสม *Bacillus* sp. SN1+SN2+SN3 จึงควรมีการศึกษาต่อไป

สรุปผลการทดลอง

การเติมแบคทีเรียแบบหัวเชื้อเดี่ยว คือ *Bacillus* sp. SN1 และ *Bacillus* sp. SN2 และหัวเชื้อผสม *Bacillus* sp. SN1+SN2+SN3 ช่วยเพิ่มความสูงและน้ำหนักของต้นกล้าโกงกางใบใหญ่ นอกจากนี้การเติมแบคทีเรียทั้ง 3 รูปแบบยังช่วยเพิ่มแอมโมเนียมในดินได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) รวมทั้งการเติม *Bacillus* sp. SN2 สามารถเพิ่มฟอสฟอรัสในรูปที่พืชใช้ประโยชน์ได้ในดินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ดังนั้นการศึกษานี้สรุปได้ว่า *Bacillus* sp. SN1, *Bacillus* sp. SN2 และแบคทีเรียผสม *Bacillus* sp. SN1+SN2+SN3 มีศักยภาพในการใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพเพื่อเพิ่มการเจริญเติบโตของต้นกล้าพืชป่าชายเลนและลดการใช้ปุ๋ยเคมีในโตรเจนและฟอสฟอรัส ทำให้มีต้นกล้าโกงกางใบใหญ่ที่แข็งแรงสำหรับการส่งเสริมและแจกจ่ายกลุ่มนักอนุรักษ์และประชาชนทั่วไปที่มีความสนใจในการปลูกป่าชายเลนเพื่ออนุรักษ์ระบบนิเวศที่มีความสำคัญให้คงอยู่กับประเทศไทยต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ในการวิจัย ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่อนุเคราะห์เรือนเพาะชำ

สำหรับการเพาะต้นกล้า รวมทั้งขอบคุณ คุณเกษม รัตนศิริ และเจ้าหน้าที่สถานีวิจัยนาทรายกร ป่าชายเลนที่ 5 จังหวัดชลบุรี ที่ให้ความเอื้อเฟื้อดินป่าชายเลน และฝึกกองกางใบใหญ่สำหรับการทดลอง

References

- [1] Aksornkoae, S. (1998). **Ecology of Mangrove Forest**. 2nd ed. Bangkok: Kasetsart University
- [2] Charupatt, T. and Charupatt, J. (1997). Application of Geographical Information from Landsat-5 TM for Monitoring the Change in Mangrove Forest Areas in Thailand. In **Proceeding of the 10th National Conference of Mangrove Forest Ecosystem**. pp. 1-8. National Research Council of Thailand: Bangkok
- [3] Bunyavejvchewin, S. and Buasalee, R. (2011). **Mangrove Forest: Ecosystem and Plant Species**. Bangkok: Department of National Park, Wildlife and Plant Conservation
- [4] Yeesun, S. and Tateh, S. (2018). Effect of During Different Immersing in Sea Water on First Cople Sprout of Pod (*Rhizophora apiculata*). In **Proceeding of the 10th Rajamangala University of Technology National Conference**. pp. 756-763. Trang: Research and Development Institute, Rajamangala University of Technology Srivijaya
- [5] Reis, C. R. G., Nardoto, G. B., and Oliveira, R. S. (2017). Global Overview on Nitrogen Dynamics in Mangroves and Consequences of Increasing Nitrogen Availability for These Systems. **Plant and Soil**. Vol. 410, No. 1-2, pp. 1-19. DOI: 10.1007/s11104-016-3123-7
- [6] Reef, R., Feller, I. C., and Lovelock, C. E. (2010). Nutrition of Mangroves. **Tree Physiology**. Vol. 30, Issue 9, pp. 1148-1160. DOI: 10.1093/treephys/tpq048
- [7] Rao, N. S. S. (1995). **Soil Microorganisms and Plant Growth**. 3rd ed. New Delhi: Oxford & IBH Publishing
- [8] Kim, J. and Ress, D. C. (1994). Nitrogenase and Biological Nitrogen Fixation. **Biochemistry**. Vol. 33, No. 2, pp. 389-397. DOI: 10.1021/bi00168a001
- [9] Ahemad, M. and Kibret, M. (2014). Mechanisms and Applications of Plant Growth Promoting Rhizobacteria: Current Perspective. **Journal of King Saud University - Science**. Vol. 26, Issue 1, pp. 1-20. DOI: 10.1016/j.jksus.2013.05.001
- [10] Nimrat, S. (2006). **Soil Microbiology**. Bangkok: Odeon Store
- [11] Rahman, M. M., Sabir, A. A., Mukta, J. A., Khan, M. M. A., Mohi-Ud-Din, M., Miah, M. G., Rahman, M. M., and Islam, M. T. (2018). Plant Probiotic Bacteria *Bacillus* and *Paraburkholderia* Improve Growth, Yield and Content of Antioxidants in Strawberry Fruit. **Scientific Reports**. Vol. 8, No. 1, pp. 1-11. DOI: 10.1038/s41598-018-20235-1
- [12] Khan, S. and Pariari, A. (2012). Effect of N-Fixing Biofertilizers on Growth, Yield and Quality of Chilli (*Capsicum annuum* L.). **The Bioscan**. Vol. 7, No. 3, pp. 481-482
- [13] Attanandana, T. and Chanchareonsook, J. (1999). **Soil and Plant Analysis**. 7th ed. Bangkok: Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University

- [14] Ravikumar, S., Kathiresan, K., Maria Ignatiammal, S. T., Selvam, M. B., and Shanthi, S. (2004). Nitrogen-Fixing Azotobacters from Mangrove Habitat and Their Utility as Marine Biofertilizers. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**. Vol. 312, Issue 1, pp. 5-17. DOI: 10.1016/j.jembe.2004.05.020
- [15] Elkoca, E., Kantar, F., and Sahin, F. (2008). Influence of Nitrogen Fixing and Phosphorus Solubilizing Bacteria on the Nodulation, Plant Growth, and Yield of Chickpea. **Journal of Plant Nutrition**. Vol. 31, Issue 1, pp. 157-171. DOI: 10.1080/01904160701742097
- [16] Glick, B. R. (2012). Plant Growth-Promoting Bacteria: Mechanisms and Applications. **Hindawi Publishing Corporation Scientifca**. Vol. 2012, pp. 1-15. Article ID 963401, DOI: 10.6064/2012/963401
- [17] Spaepen, S., Das, F., Luyten, E., Michiels, J., and Vanderleyden, J. (2009). Indole-3-Acetic Acid-Regulated Genes in *Rhizobium etli* CNPAF512. **FEMS Microbiology Letters**. Vol. 291, Issue 2, pp. 195-200. DOI: 10.1111/j.1574-6968.2008.01453.x
- [18] Gopalakrishnan, S., Sathya, A., Vijayabharathi, R., Varshney, R. K., Gowda, C. L. L., and Krishnamurthy, L. (2015). Plant Growth Promoting Rhizobia: Challenges and Opportunities. **3 Biotech**. Vol. 5, pp. 355-377. DOI: 10.1007/978-3-319-64982-5_7
- [19] Zaidi, A., Khan, M. S., Saif, S., Rizvi, A., Ahmed, B., and Shahid, M. (2017). Role of Nitrogen-Fixing Plant Growth-Promoting Rhizobacteria in Sustainable Production of Vegetables: Current Perspective. In: **Zaidi A., Khan M. (eds) Microbial Strategies for Vegetable Production**. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-54401-4_3
- [20] Sharma, S. K., Ramesh, A., and Johri, B. N. (2013). Isolation and Characterization of Plant Growth Promoting *Bacillus amyloliquefaciens* Strain sks_bnj_1 and Its Influence on Rhizosphere Soil Properties and Nutrition of Soybean (*Glycine max* L. Merrill). **Journal of Virology and Microbiology**. Vol. 2013, Article ID 446006, DOI: 10.5171/2013.446006
- [21] Szilagyi-Zecchin, V. J., Ikeda, A. C., Hungria, M., Adamoski, D., KavaCordeiro, V., Glienke, C., and Galli-Terasawa, L. V. (2014). Identification and Characterization of Endophytic Bacteria from Corn (*Zea mays* L.) Roots with Biotechnological Potential in Agriculture. **AMB Express**. Vol. 4, pp. 2-9. DOI: doi: 10.1186/s13568-014-0026-y
- [22] Costa, J. M. and Loper, J. E. (1994). Characterization of Siderophore Production by the Biological Control Agent *Enterobacter cloacae*. **Molecular Plant-Microbe Interactions: MPMI (USA)**. Vol. 7, Issue 4, pp. 440-448
- [23] Yu, X., Liu, X., Zhu, T. H., Liu, G. H., and Mao, C. (2012). Co-Inoculation with Phosphate-Solubilizing and Nitrogen-Fixing Bacteria on Solubilization of Rock Phosphate and Their Effect on Growth Promotion and Nutrient Uptake by Walnut. **European Journal of Soil Biology**. Vol. 50, pp. 112-117. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2012.01.004
- [24] Department of Marine and Coastal Resources. (2018). **pH Value of Seawater**. Access (3 April 2020). Available (<https://www.dmcr.go.th/detailAll/23961/nws/141>)

- [25] Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment. (2019). **Marine Water Quality along the Coastline of Thailand in 2019**. Access (31 August 2020). Available (http://www.pcd.go.th/info_serv/water.html)
- [26] Egamberdiyeva, D. (2007). The Effect of Plant Growth Promoting Bacteria on Growth and Nutrient Uptake of Maize in Two Different Soils. **Applied Soil Ecology**. Vol. 36, pp. 184-189. DOI: DOI: 10.1016/j.apsoil.2007.02.005
- [27] Sharma, S. B., Sayyed, R. Z., Trivedi, M. H., and Gobi, T. A. (2013). Phosphate Solubilizing Microbes: Sustainable Approach for Managing Phosphorus Deficiency in Agricultural Soils. **SpringerPlus**. Vol. 2, DOI: 10.1186/2193-1801-2-587
- [28] Khan, M. S., Zaidi, A., Wani, P. A., and Oves, M. (2009). Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in the Remediation of Metal Contaminated Soils. **Environmental Chemistry Letters**. Vol. 7, Issue 1, pp. 319-350
- [29] Mala, T. (2003). **Organic Fertilizer and Bio-Fertilizer**. Bangkok: Kasetsart University
- [30] Bhattacharyya, P. N. and Jha, D. K. (2012). Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR): Emergence in Agriculture. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**. Vol. 28, pp. 1327-1350. DOI: 10.1007/s11274-011-0979-9

การพยากรณ์การรอดชีวิตของผู้ป่วยมะเร็งเต้านม Predicting Breast Cancer Patient Survival

จारी ทองคำ^{1*} และวาทีณี สุขมาก²

Jaree Thomgkam^{1*} and Vatinee Sukmak²

Received: June 30, 2020; Revised: December 4, 2020; Accepted: December 4, 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์การรอดชีวิตของผู้ป่วยมะเร็งเต้านมซึ่งเป็นมะเร็งที่พบบ่อยมากในเพศหญิงเป็นอันดับที่สองรองจากมะเร็งรังไข่ ข้อมูลเก็บรวบรวมจากฐานข้อมูล SEER ในปี ค.ศ. 2004 ถึง 2014 จำนวน 115,184 ระเบียบ การวิจัยนี้ใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลพื้นฐาน คือ เทคนิคนาอ์ฟเบย์ เทคนิคส่วนของรายการตัดสินใจ เทคนิคเพอร์เซปตรอนหลายชั้น และเทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน ในการสร้างแบบจำลองเปรียบเทียบกับแบบจำลองดังกล่าวร่วมกับเทคนิคการห่อเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการพยากรณ์ คณะผู้วิจัยใช้หลักการ 10-โฟลด์ครอสวาเลชันในการแบ่งชุดข้อมูลเป็นชุดข้อมูลฝึกสอนและชุดข้อมูลทดสอบ โดยใช้ค่าความไว ความจำเพาะ และความถูกต้องวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง ผลทดลองพบว่า เทคนิคส่วนของรายการตัดสินใจร่วมกับเทคนิคการห่อสามารถสร้างแบบจำลองการพยากรณ์การรอดชีวิตของผู้ป่วยมะเร็งเต้านมที่มีความถูกต้องสูงสุดที่ร้อยละ 98.89

คำสำคัญ : มะเร็งเต้านม; การรอดชีวิต; เทคนิคแบบรวม; เหมืองข้อมูล

¹ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

² คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

¹ Faculty of Informatics, Mahasarakham University

² Faculty of Nursing Mahasarakham University

* Corresponding Author E - mail Address: jaree.thongkam@gmail.com

Abstract

The objective of this research is to develop the effective model for predicting the survival of patients with breast cancer. Breast cancer is the second most common cancer in women. Data were collected from the SEER database in 2004 to 2014. It has up to 115,184 records. The prediction models were modeled with the basic techniques including Naive Bayes, PART decision list, MultiLayer Perceptron and Support Vector Machine. Moreover, the research team adopted Bagging technique to combine with these basic techniques in order to increase performance of the built prediction models. 10-fold cross-validation has been used to divide the dataset into training and testing sets. Sensitivity, specificity and accuracy values were used to compare the performance of models. The experiment result shows that that PART combine with bagging technique can construct breast cancer survival models with the highest accuracy of 98.89 %.

Keywords: Breast Cancer; Survival; Ensemble Technique; Data Mining

บทนำ

มะเร็งเต้านมเป็นมะเร็งที่พบบ่อยที่สุด และเป็นสาเหตุอันดับสองของการเสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งสำหรับเพศหญิง [1] การรอดชีวิตของผู้ป่วยมะเร็งเต้านมมีมากขึ้นเมื่อมีการตรวจพบแต่เนิ่น ๆ รวมถึงการรักษา ยังเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้โอกาสการรอดชีวิตสูงขึ้นอีกด้วย มะเร็งเต้านมสามารถแบ่งออกเป็น 4 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1 เป็นระยะที่เซลล์มะเร็งมีขนาดค่อนข้างเล็กและมีอยู่ภายในอวัยวะที่มะเร็งเริ่มก่อตัว ระยะนี้เป็นระยะที่มะเร็งมีความรุนแรงน้อยที่สุด ระยะที่ 2 เป็นระยะที่มะเร็งเต้านมมีขนาดใหญ่กว่าในระยะที่ 1 แต่เซลล์มะเร็งเต้านมยังไม่เริ่มแพร่กระจายไปยังเนื้อเยื่อรอบ ๆ ระยะที่ 3 เป็นระยะที่มะเร็งเต้านมมีขนาดใหญ่ขึ้นอาจเริ่มแพร่กระจายไปยังเนื้อเยื่อรอบ ๆ และมีเซลล์มะเร็งเต้านมในต่อมน้ำเหลืองในบริเวณนั้น ระยะที่ 4 เป็นระยะที่เซลล์มะเร็งแพร่กระจายไปจากตำแหน่งที่เริ่มเป็นอวัยวะอื่น ๆ ซึ่งเรียกว่า มะเร็งระยะแพร่กระจายหรือมะเร็งระยะลุกลาม [2] อัตราการรอดชีวิตของผู้ป่วยมะเร็งเต้านมโดยทั่วไปใช้การพิจารณาจากการรอดชีวิตในระยะ 5 ปี โดยเฉพาะผู้ป่วยในระยะที่ 3 จะมีการเสียชีวิตในระยะก่อน 5 ปี ที่ร้อยละ 72 ดังนั้นอายุรแพทย์ด้านมะเร็งวิทยาได้อธิบายเกี่ยวกับอัตราการรอดชีวิตของมะเร็งเต้านม โดยใช้คำว่าอัตราการรอดชีวิตระยะ 5 ปี [3] ในทศวรรษที่ผ่านมาการรอดชีวิตระยะ 5 ปี ของผู้ป่วยมะเร็งเต้านมมีมากขึ้น เนื่องจากผู้ป่วยมาพบแพทย์เร็วขึ้นและการรักษาที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น [1] ในอดีตการวิเคราะห์การรอดชีวิตของผู้ป่วยมะเร็งโดยส่วนใหญ่ใช้การวิเคราะห์ถดถอย (Regression Analysis) [4] ปัจจุบันการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูลเข้ามามีบทบาทในการพยากรณ์และใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งเทคนิคเหมืองข้อมูลสามารถนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์เกิดโรค [5] และการพยากรณ์การรอดชีวิตของผู้ป่วยมะเร็ง [6] ซึ่งแบบจำลองนี้สามารถนำไปใช้ในการพยากรณ์ทางการแพทย์และการเฝ้าระวังโรค

เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล (Data Mining Techniques) นิยมนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์ เช่น เทคนิคนาอิวเบย์ (Naive Bayes: NB) เทคนิคส่วนของรายการตัดสินใจ (PART Decision List: PART) เทคนิคเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (MultiLayer Perceptron: MLP) และเทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine: SVM) เป็นต้น โดยเทคนิค NB เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการสร้างแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์เมื่อข้อมูลมีลักษณะเป็น 2 ตัวเลือก (Binary) [7] และการทำเหมืองข้อความ (Text Mining) [8] - [9] เทคนิค PART เป็นเทคนิคที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองแบบกฎ (Rule-Based) ซึ่งง่ายต่อการแปลความหมายและมีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ [10] - [11] ส่วนเทคนิค MLP เป็นเทคนิคที่นิยมนำมาใช้ในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการรู้จำ หรือการพยากรณ์ข้อมูลรูปภาพที่มีจำนวนข้อมูลไม่มากนักแต่มีตัวแปรจำนวนมาก [12] และเทคนิค SVM เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการสร้างแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์ที่ใช้กับข้อมูลที่มีขนาดเล็กและข้อมูลขนาดกลาง [13] [14]

เทคนิค Bagging เป็นเทคนิคแบบรวม (Ensemble) ที่ใช้ในการแก้ปัญหาแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบจำลองที่ใช้เทคนิคพื้นฐาน หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Weak Classifier [15] โดยใช้หลักการ Bootstrap ในการสุ่มข้อมูลแบบกลับมาใช้ใหม่ให้แก่แบบจำลองที่ใช้เทคนิคพื้นฐาน [16]

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์การรอดชีวิตของผู้ป่วยมะเร็งเต้านม โดยใช้เทคนิคพื้นฐานในการทำเหมืองข้อมูล 4 เทคนิค คือ NB, PART, MLP และ SVM ร่วมกับเทคนิค Bagging นอกจากนั้นคณะผู้วิจัยยังใช้หลักการ 10-Fold Cross-Validation ในการแบ่งข้อมูลออกเป็นชุดข้อมูลฝึกสอนใช้ในการสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิคพื้นฐาน และชุดข้อมูลทดสอบเพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการพยากรณ์ของแบบจำลองด้วยค่าความไว (Sensitivity) ค่าความจำเพาะ (Specificity) และค่าความถูกต้อง (Accuracy)

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนตามวิธีการทำเหมืองข้อมูลของ Han, J. W. and Kamber, M. [17] ดังนี้คือ ขั้นตอนการเตรียมข้อมูล ขั้นตอนก่อนการสร้างแบบจำลอง ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง และการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง

1. ขั้นตอนการเตรียมข้อมูล เป็นขั้นตอนในการทำความเข้าใจข้อมูล คณะผู้วิจัยทำการรวบรวมข้อมูลผู้ป่วยในกลุ่มการวินิจฉัยโรคมะเร็งเต้านมจากฐานข้อมูล SEER ซึ่งข้อมูลอยู่ในรูปแบบแฟ้มข้อความ (Text File) โดยมีตัวแปรทั้งหมด 74 ตัวแปร จำนวน 547,920 ระเบียน เมื่อทำการตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูลพบว่า ข้อมูลมีปัญหาเกี่ยวกับข้อมูลซ้ำซ้อนและข้อมูลไม่สมบูรณ์ในอัตรามากกว่าร้อยละ 50 ของข้อมูลทั้งหมด โดยข้อมูลจากเดือนมกราคม ค.ศ. 2004 ถึงเดือนธันวาคม ค.ศ. 2014 เป็นข้อมูลที่มีความสมบูรณ์มากที่สุดจำนวน 193,053 ระเบียน

2. ขั้นตอนก่อนการสร้างแบบจำลอง เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญต่อการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง ซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอนดังนี้

- 2.1 กำจัดข้อมูลที่ซ้ำกันออกจากชุดข้อมูล

- 2.2 กำจัดข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ออก และค่านิ่งถึงตัวแปรที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

2.3 กำหนดระยะเวลาการเสียชีวิต แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่มหรือคลาส คลาส 0 คือ ข้อมูลของผู้ป่วยที่เสียชีวิต ก่อนระยะ 5 ปี และคลาส 1 คือ ข้อมูลของผู้ป่วยที่รอดชีวิตมากกว่าระยะ 5 ปี หลังจากวันที่ได้รับการวินิจฉัยโรค

2.4 ทำการตรวจจับข้อมูลที่ผิดปกติ (Outliers) ออกจากชุดข้อมูล ด้วยเทคนิค C4.5 หลังจากคณะผู้วิจัยได้ดำเนินการตามทั้ง 4 ขั้นตอนข้างต้นแล้วมีข้อมูลคงเหลือ 115,184 ระเบียบ โดยประกอบด้วยคลาส 0 จำนวน 92,720 และคลาส 1 จำนวน 22,464 มีตัวแปรทั้งสิ้นจำนวน 10 ตัวแปร แบ่งออกเป็นตัวแปรต้นจำนวน 9 ตัวแปร และตัวแปรตามจำนวน 1 ตัวแปร ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวแปรในงานวิจัย

ลำดับ	รายละเอียด	รหัสตัวแปร	ชนิดของข้อมูล
1	Marital Status	MAR_STAT	Nominal
2	Race	RAC_REC	Nominal
3	Age at Diagnosis	AGE	Number
4	Primary Site	PRIMSITE	Nominal
5	Lateral	LATERAL	Nominal
6	Cancer Grade	GRADE	Nominal
7	Tumor Size	CSTUMSIZ	Nominal
8	Stage	DSS2000S	Nominal
9	Surgery of Primary Site	SURGPRIF	Nominal
10	Survival Class	Class	Nominal

3. ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง การสร้างแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์การรอดชีวิตของผู้ป่วยมะเร็งเต้านม ด้วยเทคนิคเหมือนข้อมูลที่มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ที่เป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย ประกอบด้วยเทคนิคเหมือนข้อมูลพื้นฐาน คือ เทคนิค Naive Bayes, PART, MLP และ SVM ร่วมกับเทคนิค Bagging

3.1 เทคนิคนาอิวเบย์ (Naive Bayes) [18] เป็นเทคนิคที่ใช้หลักการของความน่าจะเป็นมาแก้ปัญหา โดยการสร้างแบบจำลองจาก Bayes' Theorem และสมมติฐานที่ถูกต้องขึ้นจากการเกิดของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการพยากรณ์

3.2 เทคนิคส่วนของรายการตัดสินใจ (PART) [11] เป็นเทคนิคที่ใช้ในการสร้างกฎการตัดสินใจ โดยการนำเอาหลักการของต้นไม้การตัดสินใจ และการสร้างกฎการตัดสินใจจากใบที่ดีที่สุด (Best Leave) ในการพยากรณ์ ถึงแม้ว่าเทคนิคนี้จะคล้ายกับต้นไม้ตัดสินใจ แต่เทคนิค PART ได้หลีกเลี่ยงการสร้างต้นไม้เต็มรูปแบบทำให้ลดเวลาในการสร้างกฎการตัดสินใจ (Decision Rule)

3.3 เทคนิคเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (MLP) เป็นเทคนิคที่ใช้แนวคิดที่ได้มาจากการจำลองการทำงานของเซลล์สมองของมนุษย์ ซึ่งมีโครงสร้างประกอบด้วย ชั้นข้อมูลนำเข้า (Input Layer) ชั้นข้อมูลแฝง (Hidden Layer) และชั้นข้อมูลออก (Output Layer) โดยมีหน่วยย่อยเรียกว่า Perceptron ซึ่งเทียบเท่ากับเซลล์สมองของมนุษย์หนึ่ง Neuron โดยหลักการของ Neural Network จะมีการกำหนด

ค่าน้ำหนักและเกณฑ์ให้แก่ข้อมูลนำเข้าแต่ละตัวโดยใช้ Back-propagation Algorithm ในการคำนวณ ในการสร้างแบบจำลอง และให้ผลการพยากรณ์ได้อย่างแม่นยำ [19]

3.4 เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (SVM) [20] เป็นเทคนิคที่ได้จากทฤษฎีการเรียนรู้จากสถิติ เป็นการใช้หลักการลดค่าความเสี่ยงเชิงโครงสร้างให้ต่ำที่สุด (Structural Risk Minimized) เพื่อลดค่าความผิดพลาดของการทำนาย (Minimization Error) พร้อมกับเพิ่มระยะการแบ่งให้มากที่สุด (Maximized Margin) ในการพยากรณ์

3.5 เทคนิคการท้อ (Bagging) [21] เป็นเทคนิคแบบรวมที่ใช้หลักการของ Bootstrap ในการสุ่มข้อมูลแบบกลับไปใช้ใหม่ ซึ่งเป็นเทคนิคที่เพิ่มประสิทธิภาพให้กับเทคนิคพื้นฐาน ในงานวิจัยนี้ได้นำเอาเทคนิค Bagging รวมกับเทคนิค Naive Bayes เทคนิค PART เทคนิค MLP และเทคนิค SVM ตามลำดับ

4. การวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง ในงานวิจัยนี้เทคนิค 10-Fold Cross-Validation ได้ถูกนำมาใช้ในการแยกข้อมูลออกเป็นชุดข้อมูลฝึกสอน และชุดข้อมูลทดสอบ จำนวน 10 รอบ ซึ่งหลักการนี้จะช่วยลดความแตกต่าง และเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการทดลอง ในการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง คณะผู้วิจัยใช้ค่าความไว (Sensitivity) ค่าจำเพาะ (Specificity) และค่าความถูกต้อง (Accuracy) ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (1) - (3)

$$\text{Sensitivity} = \frac{TP}{TP + FN} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Specificity} = \frac{TN}{TN + FP} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ

TP (True Positive) หมายถึง จำนวนข้อมูลที่แบบจำลองสามารถพยากรณ์ได้อย่างถูกต้องในกลุ่มผู้ป่วยที่เสียชีวิตก่อนระยะ 5 ปี นับจากวันที่ได้ตรวจพบมะเร็งเต้านมถึงวันที่เสียชีวิต

FP (False Positive) หมายถึง จำนวนข้อมูลที่แบบจำลองที่ไม่สามารถพยากรณ์ได้อย่างถูกต้องในกลุ่มผู้ป่วยที่เสียชีวิตก่อนระยะ 5 ปี นับจากวันที่ได้ตรวจพบมะเร็งเต้านมถึงวันที่เสียชีวิต

TN (True Negative) หมายถึง จำนวนข้อมูลที่แบบจำลองสามารถพยากรณ์ได้อย่างถูกต้องในกลุ่มผู้ป่วยที่เสียชีวิตหลังระยะ 5 ปี นับจากวันที่ได้ตรวจพบมะเร็งเต้านมถึงวันที่เสียชีวิต

FN (False Negative) หมายถึง จำนวนข้อมูลที่แบบจำลองที่ไม่สามารถพยากรณ์ได้อย่างถูกต้องในกลุ่มผู้ป่วยที่เสียชีวิตหลังระยะ 5 ปี นับจากวันที่ได้ตรวจพบมะเร็งเต้านมถึงวันที่เสียชีวิต

ผลการทดลอง

จากการสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิคเหมือนข้อมูลพื้นฐาน ผลการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง ดังนี้

1. ค่าความไว (Sensitivity) ของแบบจำลองการพยากรณ์การรอดชีวิตของผู้ป่วยมะเร็งเต้านมระยะ 5 ปี จากการทดลอง 10 รอบ ด้วยเทคนิคเหมือนข้อมูลพื้นฐาน และเทคนิค Bagging ร่วมกับเทคนิคเหมือนข้อมูลพื้นฐาน แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าความไวของแบบจำลอง

Rounds	Basic (%)				Bagging (%)			
	NB	PART	MLP	SVM	NB	PART	MLP	SVM
1	97.37	99.26	95.25	96.24	97.30	99.33	95.49	96.37
2	97.55	99.10	95.05	96.10	97.40	99.29	95.77	96.24
3	97.22	99.25	95.70	96.62	97.16	99.42	95.97	96.75
4	97.82	99.10	96.07	96.31	97.50	99.23	95.86	96.47
5	97.04	99.35	95.65	96.52	97.27	99.36	95.72	96.69
6	97.39	99.10	95.98	96.53	97.48	99.42	96.01	96.78
7	97.72	99.19	95.46	96.17	97.58	99.36	95.79	96.40
8	97.55	99.26	95.61	96.34	97.63	99.61	95.85	96.47
9	97.56	99.37	96.35	96.58	97.62	99.49	95.80	96.74
10	97.88	99.08	96.04	96.04	97.69	99.37	96.10	96.14
Average	97.51	99.21	95.72	96.34	97.46	99.39	95.84	96.50
SD.	0.25	0.10	0.38	0.20	0.17	0.10	0.16	0.22

จากตารางที่ 2 แสดงค่าความไวของแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์การรอดชีวิตของผู้ป่วยมะเร็งเต้านม ที่สร้างจากเทคนิคพื้นฐาน NB PART MLP และ SVM พบว่า ทุกเทคนิคสามารถสร้างแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพได้ในระดับที่ดีมากกล่าวคือ มากกว่าร้อยละ 90.00 โดยเทคนิค PART จะให้ค่าความไวสูงสุดถึงร้อยละ 99.21 รองลงมาคือเทคนิค NB SVM และ MLP ตามลำดับ เมื่อนำเทคนิค Bagging ร่วมกับเทคนิคพื้นฐานพบว่า ค่าความไวของแบบจำลอง Bagging ร่วมกับ PART MLP และ SVM มีค่าความไวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (น้อยกว่า 1 %) แต่ค่าความไวของแบบจำลอง Bagging ร่วมกับ NB มีค่าลดลงเล็กน้อย

2. ค่าจำเพาะ (Specificity) ของแบบจำลองการพยากรณ์การรอดชีวิตของผู้ป่วยมะเร็งเต้านมระยะ 5 ปี พบว่า มีค่าจำเพาะของแบบจำลอง ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าจำเพาะของแบบจำลอง

Rounds	Basic (%)				Bagging (%)			
	NB	PART	MLP	SVM	NB	PART	MLP	SVM
1	28.39	96.88	87.18	71.78	29.02	97.33	89.59	71.65
2	29.19	95.91	89.85	71.07	30.13	96.57	89.36	70.72
3	32.53	97.20	88.16	71.38	32.80	97.15	89.54	71.25
4	29.82	97.20	87.54	72.41	32.27	97.37	90.25	71.74
5	32.55	96.71	88.56	71.86	31.30	97.02	89.76	71.59
6	30.63	96.88	89.31	72.71	29.16	96.71	90.74	72.04
7	29.74	96.17	87.31	71.42	31.70	95.99	88.56	70.44
8	31.61	96.30	88.60	72.17	30.99	96.57	89.18	71.64
9	30.37	97.02	85.26	71.59	30.81	96.35	90.69	71.06
10	27.29	96.75	85.57	74.00	28.54	97.46	89.54	73.86
Average	30.21	96.70	87.74	72.04	30.67	96.85	89.72	71.60
SD.	1.62	0.42	1.41	0.81	1.36	0.46	0.64	0.89

จากตารางที่ 3 แสดงค่าจำเพาะของแบบจำลองสร้างจากเทคนิคพื้นฐาน คือ NB PART MLP และ SVM และแบบจำลองที่สร้างจากเทคนิคพื้นฐานร่วมกับเทคนิค Bagging พบว่าเทคนิค PART ร่วมกับเทคนิค Bagging ให้ค่าจำเพาะสูงสุดถึงร้อยละ 96.85 อย่างไรก็ตามเมื่อตรวจสอบรายละเอียดพบว่าเทคนิค Bagging สามารถเพิ่มค่าจำเพาะของแบบจำลองที่ใช้เทคนิค NB และ PART ขึ้นเพียงเล็กน้อยและสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ใช้เทคนิค MLP และ SVM มากกว่า 1 % นอกจากนี้เทคนิค Bagging ยังลดค่า SD. ให้แก่เทคนิค NB และ MLP ซึ่งหมายถึงมีความเสถียรของแบบจำลองในการพยากรณ์เพิ่มขึ้น

3. ค่าความถูกต้อง (Accuracy) ของแบบจำลองการพยากรณ์การรอดชีวิตของผู้ป่วยมะเร็งเต้านมระยะ 5 ปี ซึ่งสามารถแสดงค่าความถูกต้องได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าความถูกต้องของแบบจำลอง

Rounds	Basic				Bagging			
	NB	PART	MLP	SVM	NB	PART	MLP	SVM
1	83.91	98.79	93.68	91.47	83.98	98.94	94.34	91.54
2	84.22	98.48	94.04	91.21	84.28	98.76	94.52	91.26
3	84.60	98.85	94.23	91.70	84.61	98.98	94.71	91.78
4	84.56	98.73	94.41	91.65	84.77	98.87	94.77	91.65
5	84.47	98.84	94.27	91.71	84.41	98.91	94.56	91.80
6	84.37	98.67	94.68	91.88	84.16	98.89	94.98	91.95

ตารางที่ 4 ค่าความถูกต้องของแบบจำลอง (ต่อ)

Rounds	Basic				Bagging			
	NB	PART	MLP	SVM	NB	PART	MLP	SVM
7	84.47	98.60	93.87	91.34	84.74	98.71	94.38	91.34
8	84.69	98.68	94.24	91.63	84.63	99.02	94.55	91.63
9	84.46	98.91	94.19	91.71	84.59	98.88	94.81	91.73
10	84.11	98.63	94.00	91.74	84.21	99.00	94.82	91.80
Average	84.39	98.72	94.16	91.60	84.44	98.89	94.64	91.65
SD.	0.23	0.12	0.27	0.19	0.26	0.10	0.20	0.21

จากตารางที่ 4 แสดงค่าความถูกต้องของแบบจำลองสร้างจากเทคนิคพื้นฐาน NB PART MLP และ SVM และแบบจำลองที่สร้างจากเทคนิคพื้นฐานร่วมกับเทคนิค Bagging พบว่า เทคนิค PART ให้ค่าความถูกต้องสูงสุดถึงร้อยละ 98.72 รองลงมาคือ เทคนิค MLP ให้ค่าความถูกต้องสูงสุดร้อยละ 94.16 เทคนิคที่ให้ค่าความถูกต้องต่ำที่สุด คือ เทคนิค NB เมื่อนำเทคนิค Bagging มาร่วมกับเทคนิคพื้นฐาน สามารถเพิ่มค่าความถูกต้องของแบบจำลองพื้นฐานขึ้นเพียงเล็กน้อย ยิ่งไปกว่านั้น เทคนิค Bagging สามารถเพิ่มความเสถียรให้แก่การพยากรณ์ด้วยเทคนิค PART และเทคนิค MLP มากขึ้นด้วย

จากผลการทดลองข้างต้น เทคนิค PART เป็นเทคนิคที่พยากรณ์การรอดชีวิตของผู้ป่วยมะเร็งเต้านมที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด สามารถนำมาสร้างกฎการตัดสินใจได้ถึง 810 กฎ ซึ่งคณะผู้วิจัยได้แสดงตัวอย่างของกฎการตัดสินใจการพยากรณ์การรอดชีวิตของผู้ป่วยมะเร็งเต้านมในรูปแบบของกฎการตัดสินใจ 6 กฎ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตัวอย่างกฎการตัดสินใจจากการพยากรณ์การรอดชีวิตของผู้ป่วยมะเร็งเต้านมด้วยเทคนิค PART

Rule Number	PART Models	Prediction Result
Rule 1	AGE > 62 AND GRADE = 3 AND CSTUMSIZ <= 989:	0
Rule 2	AGE > 62 AND GRADE = 2 AND CSTUMSIZ <= 820:	0
Rule 3	AGE > 62 AND GRADE = 1 AND CSTUMSIZ <= 23:	0
Rule 4	GRADE = 4 AND AGE <= 85 AND CSTUMSIZ <= 20 AND SURGPRIF = 2 AND MAR_STAT = 2	1
Rule 5	RAC_REC_Y = 2 AND GRADE = 4 AND SURGPRIF = 2 AND AGE <= 64 AND MAR_STAT = 1	1
Rule 6	RAC_REC_Y = 2 AND GRADE = 4 AND SURGPRIF = 2 AND AGE <= 64 AND MAR_STAT = 1	1

จากตัวอย่างกฎการตัดสินใจการพยากรณ์การรอดชีวิตของผู้ป่วยมะเร็งเต้านม ในกฎข้อที่ 1 ถ้าผู้ป่วยมีอายุมากกว่า 62 ปี มีเซลล์มะเร็งอยู่ใน $\text{GRADE} = 3$ ซึ่งหมายถึง ระยะที่เซลล์มะเร็งมีการกระจายเร็วมากแต่ไม่สามารถแยกความแตกต่างของเซลล์มะเร็งได้ และไม่ทราบขอบเขตของขนาดก้อนมะเร็งแบบจำลองกฎการตัดสินใจจะพยากรณ์ว่าผู้ป่วยจะเสียชีวิตก่อนระยะ 5 ปี หลังจากวินิจฉัยว่าเป็นมะเร็งเต้านมร้อยละ 100 ซึ่งหมายความว่าถ้าผู้ป่วยเข้าเกณฑ์กฎข้อที่ 1 ผู้ป่วยจะเสียชีวิตทั้งหมดในก่อนระยะ 5 ปี กฎข้อที่ 4 สามารถนำไปพยากรณ์ได้คือ ถ้าผู้ป่วยเป็นมะเร็งใน $\text{GRADE} = 4$ ซึ่งหมายถึงเซลล์มะเร็งมีการเปลี่ยนรูปร่างแตกต่างจากเซลล์ต้นกำเนิด ผู้ป่วยมีอายุน้อยกว่า 85 ปี ขนาดของมะเร็งน้อยกว่า 20 มิลลิเมตร ได้รับการรักษาด้วยการผ่าตัดเอาเฉพาะเซลล์มะเร็งออกไปแล้ว และสถานภาพสมรส กฎการตัดสินใจจะพยากรณ์ว่าผู้ป่วยสามารถมีชีวิตรอดในระยะ 5 ปี ดังนั้นจากแบบจำลองและกฎการตัดสินใจการพยากรณ์การรอดชีวิตของผู้ป่วยมะเร็งเต้านม สามารถนำไปพัฒนาเป็นระบบเฝ้าระวังโรคให้แก่ผู้ป่วยและแพทย์ได้นำการพยากรณ์มาใช้ในการคัดกรองความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตของผู้ป่วยในเบื้องต้นต่อไป

สรุปผลและการอภิปราย

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำข้อมูลผู้ป่วยที่ได้รับการวินิจฉัยด้วยโรคมะเร็งเต้านมและเสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งเต้านมจากฐานข้อมูล SEER ระหว่างปี ค.ศ. 2004 - 2014 จำนวน 115,184 ราย มาทำการสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิคพื้นฐาน NB PART MLP และ SVM และแบบจำลองที่สร้างร่วมกับเทคนิค Bagging

จากผลการทดลองพบว่า เทคนิค PART มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์สูงสุดโดยให้ค่าความไวเฉลี่ยร้อยละ 99.21 ค่าจำเพาะเฉลี่ยร้อยละ 96.70 และค่าความถูกต้องเฉลี่ยร้อยละ 96.72 เมื่อนำเทคนิค Bagging มาเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่เทคนิคพื้นฐานพบว่า เทคนิค Bagging สามารถเพิ่มค่าความไวให้กับเทคนิค PART MLP และ SVM โดยเพิ่มค่าจำเพาะให้กับเทคนิค NB PART และ MLP และสามารถเพิ่มค่าความถูกต้องให้กับแบบจำลอง NB PART MLP และ SVM นอกจากนั้นเทคนิค Bagging ยังสามารถเพิ่มความเสถียรให้แก่แบบจำลองโดยให้ค่าความถูกต้องในการพยากรณ์การรอดชีวิตของผู้ป่วยมะเร็งเต้านมด้วยเทคนิค PART และเทคนิค MLP เพิ่มขึ้นอีกด้วย

ผลการวิเคราะห์ข้างต้นแสดงให้เห็นว่าเทคนิค PART ร่วมกับ Bagging มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองเนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงที่สุดโดยมีค่าความไว ค่าจำเพาะ และค่าความถูกต้องสูงถึงร้อยละ 99.39 ร้อยละ 96.85 และร้อยละ 98.89 ตามลำดับ และจากกฎที่สร้างจากเทคนิค PART สามารถนำไปพัฒนาเป็นระบบเฝ้าระวังโรคให้แก่ผู้ป่วย และแพทย์ได้นำการพยากรณ์ในการคัดกรองโรคเบื้องต้น

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเว็บไซต์ SEER ที่ให้ข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์แบบจำลอง เพื่อการพยากรณ์การรอดชีวิตของผู้ป่วยมะเร็งเต้านม และขอขอบคุณคณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ทุนในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

References

- [1] Siegel, R., Miller, K., and Jemal, A. (2018). Cancer Statistics, 2018. **CA: A Cancer Journal Clinic**. Vol. 68, Issue 1, pp. 7-30. DOI: 10.3322/caac.21442
- [2] Cancer Research UK. **Stages of Cancer**. Access (12 April 2020). Available (<http://www.cancerresearchuk.org/about-cancer/what-is-cancer/stages-of-cancer#types>)
- [3] HD Editorial Department. **Breast Cancer, Stage 3, Treatment and Survival Rate**. Access (13 January 2020). Available (<https://www.honestdocs.co/stage-3-breast-cancer>)
- [4] Delen, D. and Patil, N. (2006). Knowledge Extraction from Prostate Cancer Data. In **Proceeding of the 39th Annual Hawaii International Conference on System Sciences**. pp. 92b-92b. USA: IEEE Publisher
- [5] Umezu, T., Shibata, K., Kajiyama, H., Yamamoto, E., Mizuno, M., and Kikkawa, F. (2012). Prognostic Factors in Stage IA-IIA Cervical Cancer Patients Treated Surgically: Does the Waiting Time to the Operation Affect Survival?. **Archives of Gynecology and Obstetrics**. Vol. 285, No. 2, pp. 493-497. DOI: 10.1007/s00404-011-1966-y
- [6] Poum, A., Kamsa-ard, S., and Promthet, S. (2012). Survival Rates of Breast Cancer: a Hospital-Based Study from Northeast of Thailand. **Asian Pacific Journal of Cancer Prevention**. Vol. 13, Issue 3, pp. 791-794. DOI: 10.7314/APJCP.2012.13.3.791
- [7] Zhang, Y.-C. and Sakhanenko, L. (2019). The Naive Bayes Classifier for Functional Data. **Statistics & Probability Letters**. Vol. 152, pp. 137-146. DOI: 10.1016/j.spl.2019.04.017
- [8] Liu, B., Blasch, E., Chen, Y., Shen, D., and Chen, G. (2013). Scalable Sentiment Classification for Big Data Analysis using Naïve Bayes Classifier. In **Proceeding of the International Conference on Big Data**. pp. 99-104. USA: IEEE Publisher
- [9] Khunsuk, T. and Thongkam, J. (2020). Feature Selection Method for Improving Customer Reviews Classification. **RMUTI JOURNAL Science and Technology**. Vol. 13, No. 1, pp. 132-145
- [10] Mazid, M. M., Ali, A. B. M. S., and Tickle, K. S. (2009). A Comparison Between Rule Based and Association Rule Mining Algorithms. In **Proceeding of the Third International Conference on Network and System Security**. pp. 452-455. Australia: IEEE Publisher
- [11] Frank, E. and Witten, I. H. (1998). Generating Accurate Rule Sets Without Global Optimization. In **Proceeding of the 15th International Conference on Machine Learning**. pp. 144-151. USA: DBLP Publisher
- [12] Mendes Souza, G. C. and Moreno, R. L. (2018). Netlab MLP - Performance Evaluation for Pattern Recognition in Myoelectric Signal. **Procedia Computer Science**. Vol. 130, pp. 932-938. DOI: 10.1016/j.procs.2018.04.092
- [13] Sun, N., Sun, B., Lin, J., and Wu, M. Y. -C. (2018). Lossless Pruned Naive Bayes for Big Data Classifications. **Big Data Research**. Vol. 14, pp. 27-36. DOI: DOI: 10.1016/j.bdr.2018.05.007

- [14] Tapak, L., Shirmohammadi-Khorram, N., Amini, P., Alafchi, B., Hamidi, O., and Poorolajal, J. (2019). Prediction of Survival and Metastasis in Breast Cancer Patients using Machine Learning Classifiers. **Clinical Epidemiology and Global Health**. Vol. 7, Issue 3, pp. 293-299. DOI: 10.1016/j.cegh.2018.10.003
- [15] Traganitis, P. A., Pagès-Zamora, A., and Giannakis, G. B. (2017). Learning from Unequally Reliable Blind Ensembles of Classifiers. In **2017 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP)**. Montreal, QC, Canada. pp. 106-110. DOI: 10.1109/GlobalSIP.2017.8308613
- [16] Zhang, D., Jiao, L., Bai, X., Wang, S., and Hou, B. (2018). A Robust Semi-Supervised SVM via Ensemble Learning. **Applied Soft Computing**. Vol. 65, No. C, pp. 632-643. DOI: 10.1016/j.asoc.2018.01.038
- [17] Han, J. W. and Kamber, M. (2006). **Data Mining Concepts and Techniques**. New York: Morgan Kaufmann
- [18] John, G. H. and Langley, P. (1995). Estimating Continuous Distributions in Bayesian Classifiers. In **Proceeding of the 7th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence**. San Mateo: ACM Publisher. pp. 338-345
- [19] Zhan, Q., Motlicek, P., Du, S., Shan, Y., Ma, S., and Xie, X. (2019). Cross-lingual Automatic Speech Recognition Exploiting Articulatory Features. In **Proceedings of APSIPA Annual Summit and Conference 2019**. pp. 1912-1916
- [20] Chang, C.-C. and Lin, C.-J. (2001). **LIBSVM - A Library for Support Vector Machines**. Access (20 August 2019) Available (<http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm/>)
- [21] Breiman, L. (1996). Bagging Predictors. **Machine Learning**. Vol. 24, pp. 123-140

การเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กด้วยดาวเทียมฮิมาวารี 8
ในภาคเหนือของประเทศไทย

A Comparison of Methods for Estimating Fine Particulate Matter Concentrations from Himawari-8 Satellite Over Northern Thailand

กนกวรรณ ภูธรรม^{1*} ปรีชาติ เวชยนต์¹ และนิธิวัฒน์ ชูสกุล²

Kanokwan Putham^{1*} Parichat Wetchayont¹ and Nithiwatthn Choosakul²

Received: August 6, 2020; Revised: October 14, 2020; Accepted: November 2, 2020

บทคัดย่อ

ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมโครเมตร (PM_{2.5}) สามารถตรวจวัดด้วยเครื่องมือที่ติดตั้งในสถานีวัดภาคพื้นดิน แต่เนื่องจากสถานีวัดภาคพื้นดินมีจำนวนไม่มากพอที่จะให้ข้อมูลครอบคลุมในทุกพื้นที่ได้ ปัจจุบันจึงมีการประยุกต์เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลใช้ในการตรวจวัด PM_{2.5} ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่า PM_{2.5} ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression: MLR) และวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียม (Principal Component Analysis - General Regression Neural Network: PCA-GRNN) เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมในการประเมินค่า PM_{2.5} โดยใช้ข้อมูลความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองในอากาศ (Aerosol Optical Depth: AOD) จากดาวเทียมฮิมาวารี 8 และข้อมูลภาพถ่าย ได้แก่ แบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข ดัชนีพืชพรรณ และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในเดือนมกราคม - ธันวาคม ปี พ.ศ. 2561 และทำการสอบเทียบความถูกต้องด้วยข้อมูล PM_{2.5} จากสถานีวัดภาคพื้นดิน การศึกษาพบว่า วิธี PCA-GRNN มีค่า RMSE เท่ากับ 17.76 และ R² เท่ากับ 0.566 และวิธี MLR มีค่า RMSE เท่ากับ 33.90 และ R² เท่ากับ 0.012 ดังนั้น วิธี PCA-GRNN สามารถประเมินค่า PM_{2.5} ได้ใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดจากสถานีวัดภาคพื้นดินมากกว่าวิธี MLR จึงเหมาะสมนำมาใช้ในการประมาณค่า PM_{2.5} ในพื้นที่ภาคเหนือได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : PM_{2.5}; การสำรวจระยะไกล; ดาวเทียมฮิมาวารี 8; PCA-GRNN; การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ

¹ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร

² คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี

¹ Faculty of Social Sciences, Srinakharinwirot University, Bangkok

² Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani

* Corresponding Author E - mail Address: kanokwan.putham@g.swu.ac.th

Abstract

Particulate Matter 2.5 micrometres and smaller (PM2.5) could be measured by an instrument at ground-based observatory. But the ground-based observatory cannot provide the data covering wide area. Currently, remote sensing is used to be an application to estimate PM2.5. To address capability of PM2.5 estimation method, the study carried out comparing two methods for estimating PM2.5 concentrations between Multiple Linear Regression (MLR) and Principal Component Analysis - General Regression Neural Network: PCA-GRNN. By using Aerosol Optical Depth (AOD) from Himawari-8 satellite and physical data such as the Digital Elevation Model (DEM), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and meteorological data during January to December 2018. The estimation results from those two methods were evaluated by PM2.5 concentration from ground-bases measuring. The evaluated results show that the PCA-GRNN obtained the root mean square error (RMSE) of 17.76 and R^2 of 0.566, while the MLR obtained RMSE of 33.90 and R^2 of 0.012. Therefore, it is indicated that PCA-GRNN is an appropriate method to estimate PM2.5 concentration over Northern Thailand more than the MLR.

Keywords: PM2.5; Remote Sensing; Himawari-8 Satellite; PCA-GRNN; Multi Linear Regression

บทนำ

มลพิษทางอากาศ เป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของชาวไทยอย่างต่อเนื่อง ก่อให้เกิดการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรประมาณ 50,000 คนต่อปี [1] จากสถิติการร้องเรียนด้านมลพิษ ในหลายปีที่ผ่านมาพบว่า มลพิษทางอากาศได้รับการร้องเรียนมากที่สุด โดยเฉพาะฝุ่นละอองในอากาศ [2] สารมลพิษหลักที่เป็นภัยคุกคามร้ายแรงที่สุดต่อสุขภาพ คือ ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมโครเมตร (Particulate Matter 2.5 micrometres and smaller: PM2.5) ซึ่งเป็นฝุ่นละเอียดที่สามารถผ่านจมูก เข้าสู่ร่างกายได้ง่าย ทำให้เกิดความเสี่ยงที่จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่ จากการตรวจวัด PM2.5 ปี พ.ศ. 2559 ในพื้นที่ 12 จังหวัดในประเทศไทยพบว่า หลายจังหวัดในภาคเหนือ มีค่า PM2.5 สูงเกินมาตรฐาน และจากการจัดอันดับดัชนีคุณภาพอากาศ หรือ Air Quality Index (AQI) เมื่อวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2562 จะพบว่าจังหวัดเชียงใหม่อยู่อันดับที่ 1 ของพื้นที่ที่ค่า AQI สูงถึง 232 ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพมาก [3] โดยสาเหตุหลักของการเกิด PM2.5 มาจากไฟป่าและการเผาพื้นที่การเกษตร ทำให้พื้นที่ภาคเหนือเป็นพื้นที่วิกฤตด้านปัญหาฝุ่นละออง

ปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่กระจายของ PM2.5 ในอากาศ ได้แก่ ปริมาณและชนิดของสารมลพิษ ที่ถูกระบายออกจากแหล่งกำเนิด สภาพทางอุตุนิยมวิทยา (Meteorology) และสภาพภูมิประเทศ (Topography) จะเป็นตัวกำหนดความเข้มข้นของสารมลพิษที่เจือปนอยู่ในอากาศสำหรับพื้นที่ที่อยู่ไกล ออกไปจากแหล่งกำเนิด [4] จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา Guo, J., Xia, F., Zhang, Y., Liu, H., Li, J., Kanokwan Putham, Parichat Wetchayont, and Nithiwatthn Choosakul
ISSN 2672-9369 (Online)

Lou, M., He, J., Yan, Y., Wang, F., Min, M., and Zhai, P. [5] มีการศึกษาผลกระทบจากความแปรปรวนของปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยาต่อความสัมพันธ์ระหว่าง PM2.5 กับ AOD ในประเทศจีน ผลการศึกษาพบว่า PM2.5 มีค่าสูงสุดในช่วงเช้าและลดลงในช่วงบ่าย เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของพลังงานแสงอาทิตย์ทำให้ PM2.5 มีการแพร่กระจายอย่างรวดเร็ว ความสัมพันธ์ระหว่าง PM2.5 และ AOD จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพื้นที่และฤดูกาล อีกทั้งพบว่าเมฆและความชื้นสัมพัทธ์มีผลทำให้ความสัมพันธ์ระหว่าง PM2.5 และ AOD มีค่าลดลง และ Zhang, W., Xu, H., and Zheng, F. [6] การประมาณค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร (Particulate Matter 1 micrometres and smaller: PM1) ซึ่งขนาดอนุภาคเล็กกว่า PM2.5 ในประเทศจีน โดยใช้ข้อมูลดาวเทียมและปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ (Surface Relative Humidity: RH) อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature: TEMP) ความเร็วลม (Wind Speed: WS) ความกดอากาศ (Surface Pressure: SP) และความสูงของชั้นบรรยากาศ (Boundary Layer Height: BLH) ผลการศึกษาพบว่าข้อมูล AOD และปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่มีความสัมพันธ์กับ PM1 ดังนั้นจะเห็นว่าปัจจัยด้านอุตุนิยมวิทยาและลักษณะภูมิประเทศ เป็นปัจจัยที่สำคัญในการอธิบายการแพร่กระจายของ PM2.5 ในอากาศ และนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้

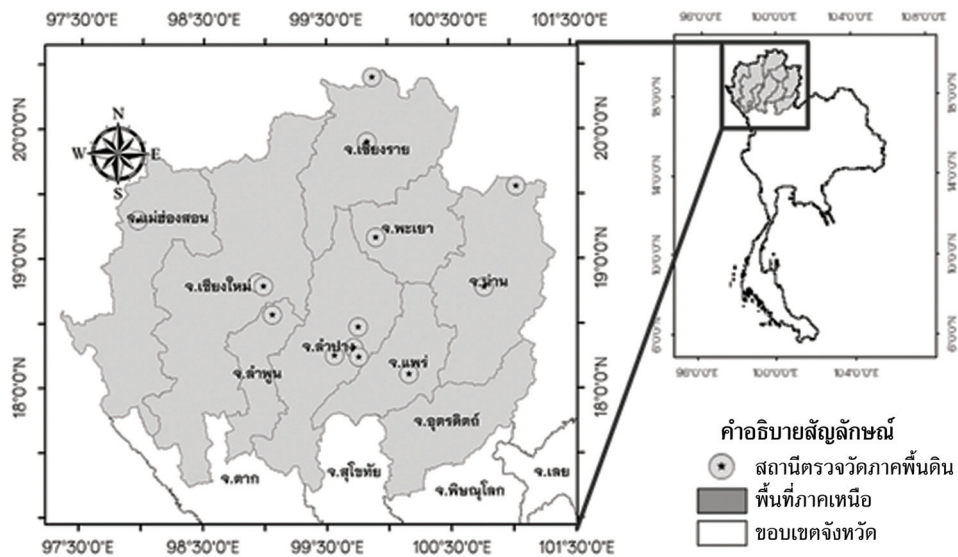
การตรวจวัดคุณภาพอากาศและ PM2.5 ในพื้นที่ภาคเหนือ มีการตรวจวัดเป็นรายสถานีวัดที่มีความถูกต้องและความละเอียดเชิงเวลารายชั่วโมง แต่เนื่องจากการตรวจวัดเป็นแบบจุดทำให้ความละเอียดเชิงพื้นที่ยังไม่เพียงพอต่อการติดตามและเฝ้าระวัง PM2.5 ได้ ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลในการตรวจวัด PM2.5 มากขึ้น เพราะสามารถให้ข้อมูลที่มีความละเอียดทั้งเชิงพื้นที่และเชิงเวลา เช่น ข้อมูลความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองในอากาศ (Aerosol Optical Depth: AOD) เป็นต้น แต่ข้อเสียของการตรวจวัดระยะไกล คือ ข้อมูลที่ได้มีความคลาดเคลื่อน ดังนั้น การศึกษานี้จึงทำการเปรียบเทียบการประมาณค่า PM2.5 ด้วย 2 วิธี คือ วิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression: MLR) และการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียม (Principal Component Analysis - General Regression Neural Network: PCA-GRNN) โดยใช้ข้อมูล AOD จากดาวเทียมอิมาวารี 8 และลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ภาคเหนือ เพื่อหาวิธีการให้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้อง และใกล้เคียงกับค่า PM2.5 ที่ตรวจวัดจากสถานีวัดภาคพื้นดิน สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการติดตาม PM2.5 ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้ได้เลือกศึกษาในพื้นที่ภาคเหนือ ประเทศไทย โดยมี 9 จังหวัด ได้แก่ เชียงราย เชียงใหม่ น่าน พะเยา แพร่ แม่ฮ่องสอน ลำปาง ลำพูน และอุดรดิตถ์ (รูปที่ 1) ซึ่งภาคเหนือมีลักษณะภูมิประเทศเป็นทิวเขายาวจากเหนือลงมาได้ มีลักษณะภูมิอากาศอยู่ในเขตร้อน โดยมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,200 มิลลิเมตรต่อปี และอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 25 องศาเซลเซียส

พื้นที่ภาคเหนือ ประเทศไทย

รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษาและที่ตั้งสถานีตรวจวัดค่าความเข้มข้น PM_{2.5} ในภาคเหนือของประเทศไทย

2. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลในเดือนมกราคม - ธันวาคม ปี พ.ศ. 2561 (ตารางที่ 1) ดังนี้

2.1 ข้อมูลดาวเทียม

ข้อมูลดาวเทียมที่ใช้ในการศึกษาค้างนี้ มี 3 ข้อมูล ดังนี้

1) ข้อมูล AOD จากดาวเทียมฮิมาวาริ 8

ข้อมูล AOD เป็นผลิตภัณฑ์ระดับที่ 3 มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 5 x 5 กิโลเมตร และความละเอียดเชิงเวลารายชั่วโมง พัฒนาขึ้นโดยกรมอุตุนิยมวิทยาของญี่ปุ่น (Japan Meteorological Agency: JMA) ถูกปล่อยขึ้นสู่วงโคจรเมื่อปี พ.ศ. 2557 (จากเว็บไซต์ <http://www.eorc.jaxa.jp/ptree/index.html>) ซึ่งมีการตอบสนองทางสเปกตรัมในช่วงคลื่น 0.455 0.645 1.61 และ 2.26 ไมโครเมตร เป็นช่วงคลื่นที่ใช้ในการคำนวณค่า AOD

2) ดัชนีพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) ข้อมูลมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 500 x 500 เมตร และความละเอียดเชิงเวลารายวัน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความอุดมสมบูรณ์ของพืช โดยคำนวณจากข้อมูลการสะท้อนพื้นผิว (Surface Reflectance) หรือ MOD09GA ซึ่งเป็นข้อมูลผลิตภัณฑ์ระดับที่ 2 ของเซ็นเซอร์ MODIS ดาวเทียม Terra จาก National Aeronautics and Space Administration (NASA) (จากเว็บไซต์ <https://modis.gsfc.nasa.gov/>) ดังสมการที่ (1)

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

เมื่อ

NIR คือ ข้อมูลการสะท้อนพื้นผิวในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

RED คือ ข้อมูลการสะท้อนพื้นผิวในช่วงคลื่นสีแดง

3) แบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM) ที่ความละเอียดเชิงพื้นที่ 30 x 30 เมตร เป็นข้อมูลที่บอกถึงความสูงต่ำของแต่ละพื้นที่ ซึ่งได้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ ASTER ดาวเทียม Terra จาก NASA (จากเว็บไซต์ <https://lpdaac.usgs.gov/>)

2.2 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ในการศึกษานี้ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความกดอากาศ จาก European Centre for Medium - Range Weather Forecasts (ECMWF) โดยข้อมูลมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 0.125 x 0.125 องศา และความละเอียดเชิงเวลาเป็นราย 6 ชั่วโมง (จากเว็บไซต์ <https://apps.ecmwf.int/datasets/ERA-Interim>) ผลของข้อมูลที่ได้มาจากการนำข้อมูลจากการสำรวจทางอุตุนิยมวิทยาทั้งในอดีตและปัจจุบัน ผสมเข้ากับโมเดลพยากรณ์ โดยใช้เทคนิคกลสมกลืนข้อมูล (Data Assimilation) ซึ่งในปัจจุบันได้รับการยอมรับและใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะการศึกษาปรากฏการณ์ทางอากาศและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

2.3 ข้อมูล PM2.5

ข้อมูล PM2.5 จากเครื่องตรวจวัดสถานีวัดภาคพื้นดินของกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งในพื้นที่ภาคเหนือ มีจำนวนทั้งหมด 14 สถานี ได้แก่ โรงเรียนยุพราชวิทยาลัยจังหวัดเชียงใหม่ ศูนย์ราชการจังหวัดเชียงใหม่ การประปาส่วนภูมิภาคแม่มาแจ้งจังหวัดลำปาง สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดลำปาง โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลท่าสี่จังหวัดลำปาง โรงพยาบาลเฉลิมพระเกียรติจังหวัดน่าน สำนักงานเทศบาลเมืองน่าน สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดแพร่ สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดแพร่ สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดเชียงราย สำนักงานสาธารณสุขแม่สายจังหวัดเชียงราย สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดแม่ฮ่องสอน สถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดลำพูน และอุทยานการเรียนรู้ องค์การบริหารส่วนจังหวัดพะเยา โดยมีการติดตามและตรวจสอบความถูกต้องของระบบและข้อมูลอย่างสม่ำเสมอ เพื่อจัดทำเป็นรายงานดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย พร้อมทั้งมีการเผยแพร่ข้อมูลสถานการณ์และคุณภาพอากาศรายชั่วโมงและรายวัน

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ชุดข้อมูล	ตัวแปร	แหล่งข้อมูล	หน่วย	ความละเอียดเชิงเวลา	ความละเอียดเชิงพื้นที่
ข้อมูลดาวเทียม	AOD	Himawari-8	ไม่มีหน่วย	รายชั่วโมง	5 x 5 กิโลเมตร
	NDVI	MODIS	ไม่มีหน่วย	รายวัน	500 x 500 เมตร
	DEM	ASTER	เมตร	-	30 x 30 เมตร

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา (ต่อ)

ชุดข้อมูล	ตัวแปร	แหล่งข้อมูล	หน่วย	ความละเอียดเชิงเวลา	ความละเอียดเชิงพื้นที่
ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา	อุณหภูมิอากาศ	ECMWF	องศา-เซลเซียส	ราย 6 ชั่วโมง	0.125 x 0.125°
	ความชื้นสัมพัทธ์	ECMWF	เปอร์เซ็นต์	ราย 6 ชั่วโมง	0.125 x 0.125°
	ความเร็วลม	ECMWF	เมตรต่อวินาที	ราย 6 ชั่วโมง	0.125 x 0.125°
	ความกดอากาศ	ECMWF	ปาสกาล	ราย 6 ชั่วโมง	0.125 x 0.125°
ข้อมูล PM2.5	ฝุ่นละออง	กรมควบคุม	ไมโครกรัมต่อ	รายชั่วโมง	-
	ขนาดเล็กกว่า	มลพิษ	ลูกบาศก์เมตร		
	2.5 ไมโครเมตร		(มกก./ลบ.ม.)		
	(PM2.5)				

3. การจับคู่ข้อมูลด้วยวิธี Spatio-Temporal Collocation Method

จากตารางที่ 1 เนื่องจากข้อมูลแต่ละชุดมีความละเอียดเชิงพื้นที่และเชิงเวลาที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องจับคู่ข้อมูลทั้งหมดเพื่อเตรียมข้อมูลสำหรับขั้นตอนการวิเคราะห์ต่อไป ด้วยวิธี Spatio-Temporal Collocation Method [7] โดยทำการจับคู่ข้อมูลทุกชุด ณ ตำแหน่งสถานีวัดภาคพื้นดินที่และเวลาเดียวกันเป็นรายชั่วโมง

4. การประมาณค่า PM2.5

การศึกษานี้ทำการประมาณค่า PM2.5 ด้วย 2 วิธี ดังนี้

4.1 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression: MLR)

เป็นการวิเคราะห์ถดถอยเพื่อหาความสัมพันธ์แบบเส้นตรงระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรต้น ดังสมการที่ (2) [8]

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + ... + e \tag{2}$$

เมื่อ

- Y คือ ตัวแปรตาม
- b_0 คือ ค่าคงที่ หรือจุดตัดแกน Y
- b_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรต้น x_i
- x_i คือ ค่าตัวแปรต้นแต่ละตัว
- e คือ ค่าความคลาดเคลื่อน

4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียม (Principal Component Analysis - General Regression Neural Network: PCA-GRNN)

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียมแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1) การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis: PCA)

การวิเคราะห์องค์ประกอบสำคัญ โดยใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์หลายเทคนิค ซึ่งสามารถนำมาจัดการกับข้อมูลผสมหลายชนิด เพื่อวิเคราะห์รูปแบบของข้อมูล อีกทั้งยังช่วยลดความซับซ้อนและมิติของข้อมูล ผลการวิเคราะห์ทำให้ได้มิติของข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันสูง ซึ่งในการศึกษานี้เลือกใช้ องค์ประกอบสำคัญของข้อมูลที่มีค่าความแปรปรวนมากกว่า 0.9 [9] โดยปัจจุบัน PCA มีการนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับ GRNN เพื่อลดจำนวนมิติของข้อมูลนำเข้า และทำให้ GRNN สามารถวิเคราะห์ผลลัพธ์ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2) โครงข่ายประสาทเทียมแบบ General Regression Neural Network (GRNN)

เป็นโครงข่ายประสาทเทียมประเภทหนึ่งที่มีการประมาณค่าตัวแปรแบบต่อเนื่อง ทั้งแบบเชิงเส้น (Linear) และไม่ใช่เชิงเส้น (Nonlinear) และใช้ฟังก์ชันความน่าจะเป็นที่มีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) ดังสมการที่ (3) [10]

$$Y(X) = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i e^{\left(\frac{-D_i^2}{2\sigma^2}\right)}}{\sum_{i=1}^n e^{\left(\frac{-D_i^2}{2\sigma^2}\right)}} \quad (3)$$

เมื่อ

$Y(X)$ คือ ผลลัพธ์ที่ได้

Y_i คือ ผลลัพธ์ของตัวอย่าง i

$-D_i^2$ คือ ระยะทางระหว่าง Training Data กับข้อมูลนำเข้าของตัวอย่าง i สามารถคำนวณได้ จากสมการที่ (4)

$$-D_i^2 = (x - x_i)^T (x - x_i) \quad (4)$$

σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นตัวแปรอิสระที่ต้องกำหนด โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เหมาะสมสามารถตรวจสอบได้จากผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องมากที่สุด

n คือ จำนวนตัวอย่างทั้งหมด

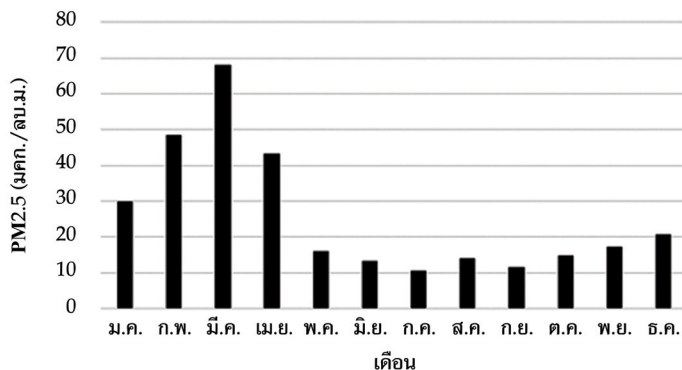
5. การประเมินผลทางสถิติ

การประเมินผลการประมาณค่า PM2.5 จะใช้ 2 วิธี คือ 1) สัมประสิทธิ์การกำหนด (The Coefficient of Determination: R^2) บ่งบอกความสัมพันธ์ของผลลัพธ์การประมาณค่า PM2.5 กับ PM2.5 จากสถานีวัดภาคพื้นดิน และ 2) รากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Squared Error: RMSE) ใช้ประเมินความแม่นยำของผลลัพธ์จากค่าผิดพลาดของผลลัพธ์

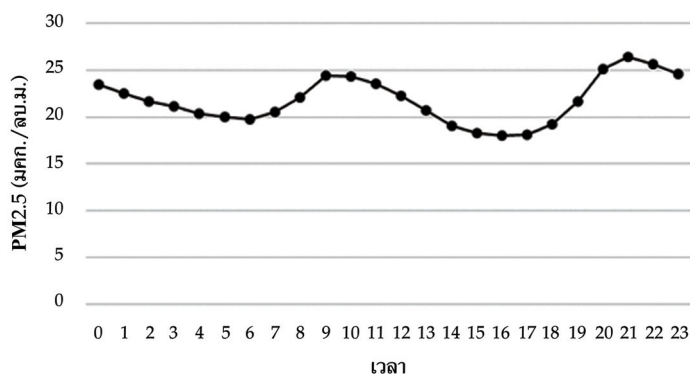
ผลการวิจัย

1. ความผันแปรของค่า PM2.5 ในเชิงเวลา

จากการวิเคราะห์ความผันแปรของค่า PM2.5 จากสถานีวัดภาคพื้นดิน บริเวณภาคเหนือ โดยใช้ข้อมูลในช่วงเดือนมกราคม - ธันวาคม ปี พ.ศ. 2561 พบว่า ค่าเฉลี่ย PM2.5 รายเดือนสูงสุดในเดือนมีนาคมเท่ากับ 68.111 มคก./ลบ.ม. รองลงมาคือ เดือนกุมภาพันธ์ เมษายน และเดือนมกราคม มีค่าเท่ากับ 48.541 43.156 และ 29.875 มคก./ลบ.ม. ตามลำดับ โดยช่วงเดือนพฤษภาคม - ธันวาคม จะมีค่า PM2.5 น้อยกว่า 20 มคก./ลบ.ม. ดังรูปที่ 2(ก) ส่วนค่าเฉลี่ย PM2.5 รายชั่วโมง จะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงเช้า เวลา 07.00 - 10.00 น. และค่อย ๆ ลดลงเมื่อเวลา 11.00 - 16.00 น. และเพิ่มขึ้นในช่วงเย็น เวลา 17.00 น. และมีค่าสูงสุดในเวลา 21.00 น. จากนั้นลดลงในเวลากลางคืนตั้งแต่เวลา 22.00 น. ถึงช่วงเช้า 06.00 น. ดังรูปที่ 2(ข)



(ก) ค่าเฉลี่ย PM2.5 รายเดือน บริเวณพื้นที่ภาคเหนือ



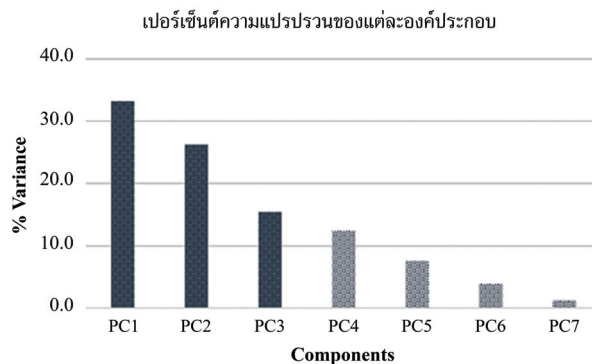
(ข) ค่าเฉลี่ย PM2.5 รายชั่วโมง บริเวณพื้นที่ภาคเหนือ

รูปที่ 2 ค่าเฉลี่ย PM2.5 รายเดือนและรายชั่วโมง จากสถานีวัดภาคพื้นดิน ในปี พ.ศ. 2561 บริเวณภาคเหนือ

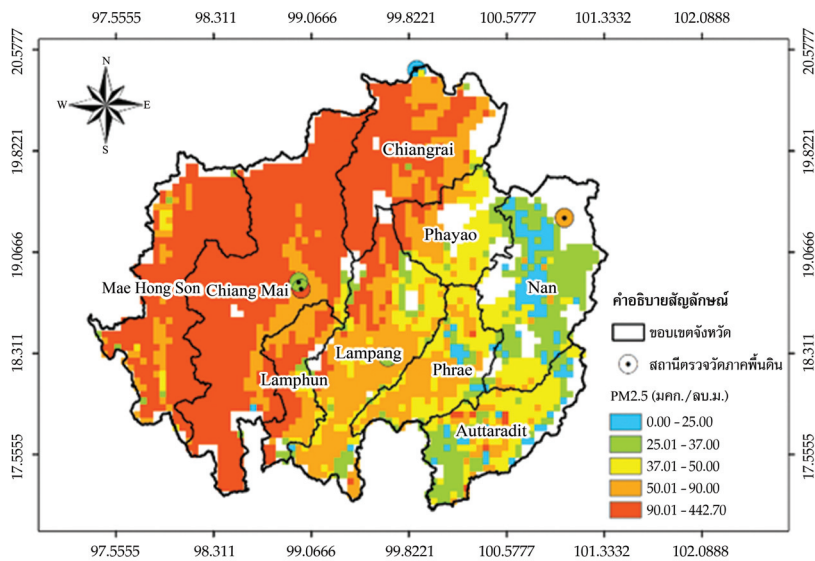
2. ผลการประมาณค่า PM2.5 ในเชิงพื้นที่

จากการประมาณค่า PM2.5 โดยใช้ข้อมูล PM2.5 จากสถานีวัดภาคพื้นดิน และข้อมูลดาวเทียม ได้แก่ ข้อมูล AOD NDVI และ DEM ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศ (TEMP) ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ความกดอากาศ (SP) และความเร็วลม (WS) ด้วย 2 วิธี คือ 1) วิธี MLR ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (5) และ 2) วิธี PCA-GRNN ซึ่งใช้ PCA ในการลดมิติและความซ้ำซ้อนของข้อมูลทั้งหมดที่นำมาใช้ในการศึกษาผ่านการวิเคราะห์องค์ประกอบของแต่ละข้อมูล (Component: PCs) ในรูปแบบสหสัมพันธ์ ทำให้ได้องค์ประกอบทั้งหมด 7 องค์ประกอบ โดยการวิเคราะห์จะพิจารณาองค์ประกอบหลักที่สำคัญที่มีค่าความแปรปรวนมากกว่า 0.9 ผลลัพธ์พบว่า มีจำนวน 3 องค์ประกอบ ได้แก่ PC1 PC2 และ PC3 ซึ่งองค์ประกอบหลักที่ 1 (PC1) จะสามารถอธิบายข้อมูลได้มากที่สุด รองลงมาคือ องค์ประกอบที่ 2 (PC2) และองค์ประกอบที่ 3 (PC3) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแปรปรวนคือ PC1 เท่ากับ 33.23 % PC2 เท่ากับ 26.20 % และ PC3 เท่ากับ 15.44 % (ดังรูปที่ 3) จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ข้อมูลทั้ง 2 วิธี ทำให้พบว่าค่า PM2.5 และ AOD มีความสัมพันธ์ในเชิงบวก กล่าวคือค่า PM2.5 เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่า AOD เพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นดังกล่าวจะมีความสัมพันธ์กับปัจจัยทางกายภาพของพื้นที่ โดยเมื่อ PM2.5 และ AOD มีค่าเพิ่มขึ้น ในพื้นที่ที่มีความสูงลดลง ความหนาแน่นของพืชพรรณน้อยลง มีอุณหภูมิและความเร็วลมลดลง แต่มีความชื้นสัมพัทธ์และความกดอากาศเพิ่มขึ้น โดยผลลัพธ์จากการประมาณค่า PM2.5 ในเชิงพื้นที่ดังตัวอย่างรูปที่ 4 ซึ่งเป็นข้อมูลในวันที่ 8 มีนาคม พ.ศ. 2561 เวลา 13.00 น. จะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จากวิธี PCA-GRNN มีความสอดคล้องกับตำแหน่งสถานีวัดภาคพื้นดินที่แสดงระดับคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษมากกว่าวิธี MLR

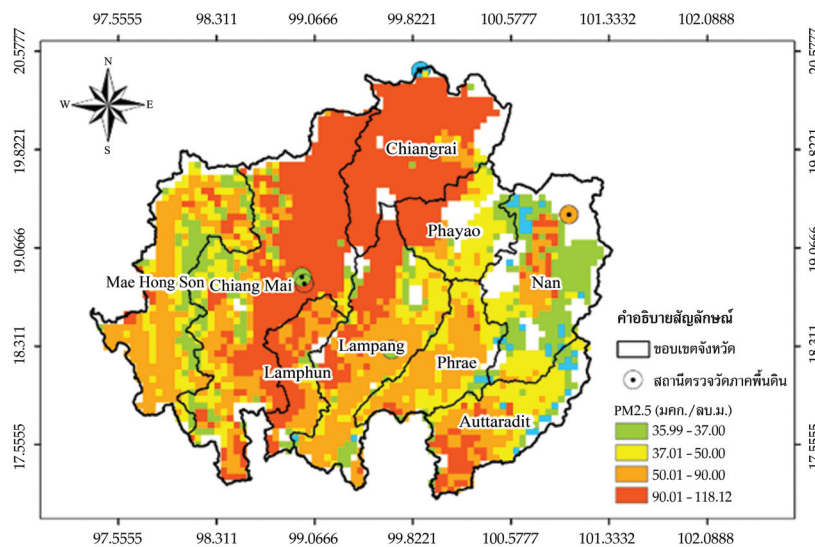
$$\text{PM2.5(MLR)} = -794.33 + 27.58\text{AOD} + 0.23\text{DEM} - 33.58\text{NDVI} - 1.04\text{RH} + 0.01\text{SP} + 1.80\text{TEMP} - 2.24\text{WS} \quad (5)$$



รูปที่ 3 ความแปรปรวนของแต่ละองค์ประกอบ

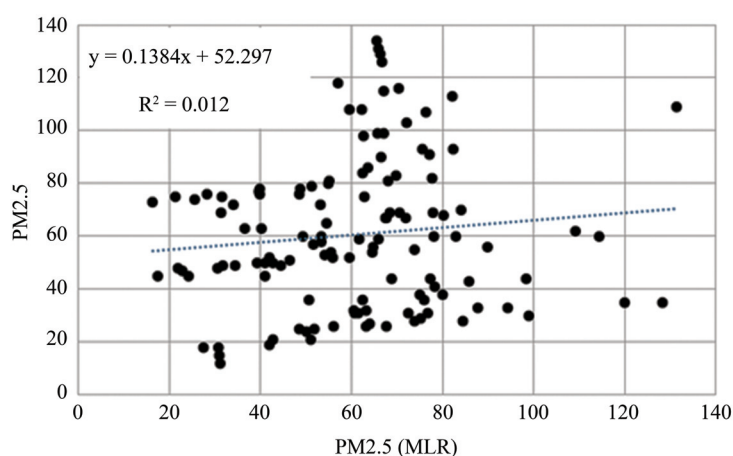


(ก) ผลลัพธ์การประมาณค่า PM2.5 ด้วยวิธี MLR

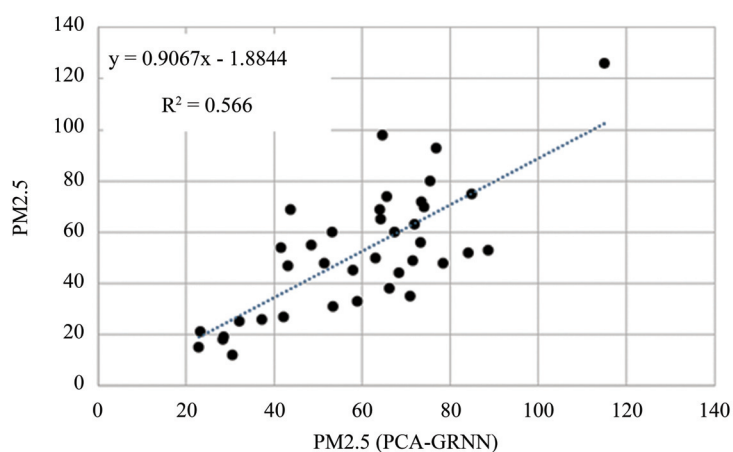


(ข) ผลลัพธ์การประมาณค่า PM2.5 ด้วยวิธี PCA-GRNN

รูปที่ 4 ผลลัพธ์การประมาณค่า PM2.5 แบบ MLR และ PCA-GRNN โดยเปรียบเทียบกับข้อมูล PM2.5 จากสถานีวัดภาคพื้นดิน วันที่ 8 มีนาคม พ.ศ. 2561 เวลา 13.00 น. บริเวณพื้นที่ภาคเหนือ



(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์การประมาณค่า PM2.5 กับ PM2.5 จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน (MLR)



(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์การประมาณค่า PM2.5 กับ PM2.5 จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน (PCA-GRNN)

รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ของผลลัพธ์การประมาณค่า PM2.5 แบบ MLR และ PCA-GRNN กับข้อมูล PM2.5 จากสถานีวัดภาคพื้นดิน

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์การสอบเทียบความแม่นยำของผลลัพธ์

วิธีการ	จำนวนคู่ที่ใช้ สร้างสมการ	จำนวนคู่ที่ใช้ ทดสอบสมการ	R ²	RMSE (มก./ลบ.ม.)	ค่าความแตกต่าง (มก./ลบ.ม.)
MLR	87	37	0.01	33.90	22.22
PCA-GRNN	87	37	0.57	17.76	0.58

3. การสอบเทียบความแม่นยำของผลลัพธ์

ผลลัพธ์การสอบเทียบผลลัพธ์การประมาณค่า PM_{2.5} ด้วยการจับคู่ข้อมูลผลลัพธ์การประมาณค่า PM_{2.5} กับค่า PM_{2.5} จากสถานีวัดภาคพื้นดิน ณ ตำแหน่งและเวลาเดียวกัน จำนวนทั้งหมด 37 คู่ โดยการประเมินความแม่นยำของผลลัพธ์ด้วยค่า RMSE พบว่าวิธี MLR มีค่า RMSE เท่ากับ 33.90 มกก./ลบ.ม. ส่วนวิธี PCA-GRNN มีค่า RMSE เท่ากับ 17.76 มกก./ลบ.ม. และการทดสอบความสัมพันธ์ของผลลัพธ์การประมาณค่า PM_{2.5} กับ PM_{2.5} จากสถานีวัดภาคพื้นดิน ด้วย R² พบว่าวิธี MLR มีค่า R² เท่ากับ 0.01 และวิธี PCA-GRNN มีค่า R² เท่ากับ 0.57 ดังรูปที่ 5 ซึ่งผลการคำนวณความแตกต่างของค่า PM_{2.5} จากสถานีวัดภาคพื้นดินกับผลลัพธ์จากวิธีทั้งสอง พบว่าผลลัพธ์จากวิธี MLR มีค่าเฉลี่ยความแตกต่างระหว่างผลลัพธ์การประมาณค่า PM_{2.5} กับ PM_{2.5} จากสถานีวัดภาคพื้นดินเท่ากับ 22.22 มกก./ลบ.ม. และ PCA-GRNN มีค่าเฉลี่ยความแตกต่างระหว่างผลลัพธ์การประมาณค่า PM_{2.5} กับ PM_{2.5} จากสถานีวัดภาคพื้นดินเท่ากับ 0.58 มกก./ลบ.ม. ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าวิธี PCA-GRNN มีความแม่นยำมากกว่าวิธี MLR (ดังตารางที่ 2)

อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลในการประมาณค่า PM_{2.5} หลายวิธีโดยการศึกษาวิจัยส่วนใหญ่จะใช้ข้อมูล AOD จากดาวเทียม และข้อมูลที่ทำให้ทราบถึงลักษณะการเกิดและแพร่กระจายของ PM_{2.5} ได้แก่ แหล่งกำเนิด PM_{2.5} และปัจจัยทางกายภาพของพื้นที่ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวนี้มีความแตกต่างกันทั้งรูปแบบและช่วงค่าของข้อมูล จึงจำเป็นต้องมีการทดสอบหาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการประมาณค่า PM_{2.5} สำหรับการศึกษาที่มีการใช้ข้อมูล AOD จากดาวเทียมฮิมาวาริ 8 และข้อมูลกายภาพ ประกอบด้วย DEM NDVI และข้อมูลอุณหภูมิตามเวลา และเปรียบเทียบผลลัพธ์จาก 2 วิธี คือ การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression: MLR) และวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักร่วมกับโครงข่ายประสาทเทียม (Principal Component Analysis - General Regression Neural Network: PCA-GRNN) ผลการศึกษาทำให้พบว่าวิธี PCA-GRNN เป็นวิธีการที่เหมาะสมในการประมาณค่า PM_{2.5} ในพื้นที่ภาคเหนือมากกว่าวิธี MLR โดยมีความสอดคล้องกับรูปแบบการเกิด PM_{2.5} ในเชิงเวลา และมีผลลัพธ์จากการสอบเทียบความแม่นยำด้วยค่า RMSE เท่ากับ 17.76 และผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของผลลัพธ์การประมาณค่า PM_{2.5} กับข้อมูล PM_{2.5} จากสถานีวัดภาคพื้นดินด้วยค่า R² เท่ากับ 0.57 แต่ทั้งนี้ผลลัพธ์การประมาณค่า PM_{2.5} บางส่วนยังมีความคลาดเคลื่อน สำหรับแนวทางการศึกษาต่อไปควรมีการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งกำเนิด PM_{2.5} ด้วยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและ Hotspot รวมถึงเพิ่มช่วงเวลาของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา เพื่อให้เข้าใจรูปแบบการแพร่กระจายของ PM_{2.5} มากยิ่งขึ้น

References

- [1] Greenpeace. (2016). **Right to Clean Air**. Access (5 March 2019). Available (<http://www.greenpeace.org/seasia/th/>)
- [2] Pollution Control Department. (2005). **Situation and Management of Air and Noise Pollution Problems in 2004**. He's Company Limited Publishers. (in Thai)

- [3] Air Visual. (2018). **World AQI Ranking**. Access (6 March 2019). Available (<https://www.airvisual.com>)
- [4] Pollution Control Department. (2011). **Know About Air Pollution, Pessons Concepts and Management**. Kochakorn Publishing Publishers. (in Thai)
- [5] Guo, J., Xia, F., Zhang, Y., Liu, H., Li, J., Lou, M., He, J., Yan, Y., Wang, F., Min, M., and Zhai, P. (2016). Impact of Diurnal Variability and Meteorological Factors on the PM_{2.5} - AOD Relationship: Implications for PM_{2.5} Remote Sensing. **Environmental Pollution**. Vol. 221, pp. 94-104. DOI: 10.1016/j.envpol.2016.11.043
- [6] Zhang, W., Xu, H., and Zheng, F. (2018). Aerosol Optical Depth Retrieval Over East Asia Using Himawari-8/AHI Data. **Remote Sensing**. Vol. 10, Issue 137, pp. 1-19. DOI: 10.3390/rs10010137
- [7] Hirtl, M., Mantovani, S., Kruger, B. C., Triebnig, G., Flandorfer, C., Bottoni, M., and Cavicchi, M. (2014). Improvement of Air Quality Forecasts with Satellite and Ground Gased. **Atmospheric Environment**. Vol. 84, pp. 20-27. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2013.11.027
- [8] Wiratchai, N. (2010). **Multiple Linear Regression**. Sukhothai Thammathirat Open University Publishers. (in Thai)
- [9] Zang, L., Mao, F., Guo, J., Wang, W., and Pan, X. (2018). Estimating Hourly PM₁ Concentrations from Himawari-8 Aerosol Optical Depth in China. **Environmental Pollution**. Vol. 241, pp. 654-663. DOI: 10.1016/j.envpol.2018.05.100
- [10] Al-Mahasneh, A. J., Anavatti, S., Garratt, M., and Pratama, M. (2018). Applications of General Regression Neural Networks in Dynamic Systems. **Digital Systems**. pp. 133-154. DOI: 10.5772/intechopen.80258

การพัฒนาแผนที่ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ โดยข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิว
จากดาวเทียมระบบ MODIS ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย

Development of Geothermal Potential Resources Map using Land Surface Temperature from MODIS in Northern Thailand

ฤทัยชนก สายน้ำทิพย์^{1*} ปรัชติ เวชยนต์¹ และปิยพงษ์ เชนรัมย์²

Rutaichanok Sainarmtip^{1*} Parichat Wetchayont¹ and Piyaphong Chenrai²

Received: August 6, 2020; Revised: October 30, 2020; Accepted: November 2, 2020

บทคัดย่อ

พลังงานความร้อนใต้พิภพเป็นพลังงานความร้อนภายใต้โลกที่สามารถพัฒนาขึ้นมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งในหลายประเทศได้นำเทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลมาประยุกต์ใช้ในการสำรวจแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียมในช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนมาประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิว และวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลอื่น ๆ เพื่อประเมินพื้นที่ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพเบื้องต้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงนำข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิว (Land Surface Temperature; LST) จากดาวเทียมระบบ MODIS มาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลชนิดดิน และรอยเลื่อน เพื่อวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์การซ้อนทับข้อมูลแบบกำหนดค่าน้ำหนัก จากการวิเคราะห์ทางสถิติหาค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สันระหว่างตัวแปร พบว่าชนิดดินมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิพื้นผิวมากที่สุด (0.587) รองลงมาคือ ระยะห่างจากรอยเลื่อน (-0.410) และความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิว (-0.376) ตามลำดับ แผนที่ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ ศักยภาพสูง ศักยภาพปานกลาง และศักยภาพต่ำ คิดเป็นร้อยละ 12.29 36.32 และ 51.39 ตามลำดับ เมื่อสอบเทียบความถูกต้องระหว่างตำแหน่งและระดับอุณหภูมิของแหล่งน้ำพุร้อนที่ปรากฏในพื้นที่กับระดับศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพที่ได้จากการศึกษาพบว่ามีความถูกต้องร้อยละ 53.3 อยู่ในระดับปานกลาง

คำสำคัญ : พลังงานความร้อนใต้พิภพ; อุณหภูมิพื้นผิว; การรับรู้จากระยะไกล; ดาวเทียมระบบ MODIS

¹ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร

² คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร

¹ Faculty of Social Sciences, Srinakharinwirot University, Bangkok

² Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok

* Corresponding Author E - mail Address: rutaichanok.sainarmtip@g.swu.ac.th

Abstract

Geothermal energy is heat energy within the earth's interior that can be developed to produce electricity continuously. In many countries, remote sensing technology is applied to explore geothermal energy sources. Using the thermal infrared satellite data and associated with other data estimated and analyzed the land surface temperature for assessing the area of initial geothermal potential. In this study, Land Surface Temperature (LST) data from MODIS satellite is analyzed with rock and fault data, which are analyzed geothermal potential using the weighted overlay analysis technique in Northern Thailand. The results of the statistical analysis, the Pearson correlation between variables shown that the rock types was most closely related to the hot water temperature at the surface (0.587), distance from faults (-0.410), and land surface temperature anomaly (-0.376), respectively. The geothermal potential map was classified into 3 levels as follows high, moderate and low were 12.29, 36.32 and 51.39 %, respectively. The accuracy between the position and temperature level of the hot springs that appear in the area and the geothermal potential level obtained from the study found that 53.3 % accuracy, which classified as a moderate level.

Keywords: Geothermal Energy; Land Surface Temperature; Remote Sensing; MODIS

บทนำ

พลังงานความร้อนใต้พิภพ (Geothermal Energy) เป็นพลังงานความร้อนตามธรรมชาติที่เกิด กักเก็บ และสะสมตัวอยู่ใต้ผิวโลก ซึ่งถูกนำพา และถ่ายเทขึ้นมาสู่ผิวโลกผ่านรอยแตกหรือช่องว่างภายในหิน [1] และเป็นพลังงานหมุนเวียนชนิดหนึ่งที่สามารถพัฒนามาใช้ประโยชน์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง ช่วยลดปัญหามลพิษ หรือการปล่อยก๊าซเรือนกระจก แต่ด้วยขั้นตอนการสำรวจแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ ประกอบไปด้วย หลายขั้นตอนที่ต้องใช้เวลาและจำนวนบุคลากรในการเข้าสำรวจค่อนข้างมาก และมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าใช้จ่ายในการเจาะสำรวจภาคสนาม ซึ่งถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญเพื่อประเมินศักยภาพของแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ การรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing) จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการสำรวจแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ ข้อดีของการรับรู้จากระยะไกลคือ ช่วยลดระยะเวลา จำนวนบุคลากรในการทำงาน ค่าใช้จ่าย อีกทั้งสามารถสำรวจในพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง และบริเวณที่เข้าถึงยาก ซึ่งในช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมาจึงมีงานวิจัยในหลายประเทศ [2] - [6] ได้นำการรับรู้จากระยะไกล โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียมในช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนมาประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิว (Land Surface Temperature; LST) และวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลอื่น ๆ เพื่อประเมินพื้นที่แหล่งศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพเบื้องต้น เป็นแนวทางในการตัดสินใจและวางแผนการเจาะสำรวจต่อไป

ดาวเทียมที่ถูกนำมาศึกษาอุณหภูมิพื้นผิวนั้น ได้แก่ ดาวเทียม Landsat 7 ETM+ ดาวเทียม Landsat 8 และดาวเทียม Terra ระบบ MODIS (MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer) เป็นต้น

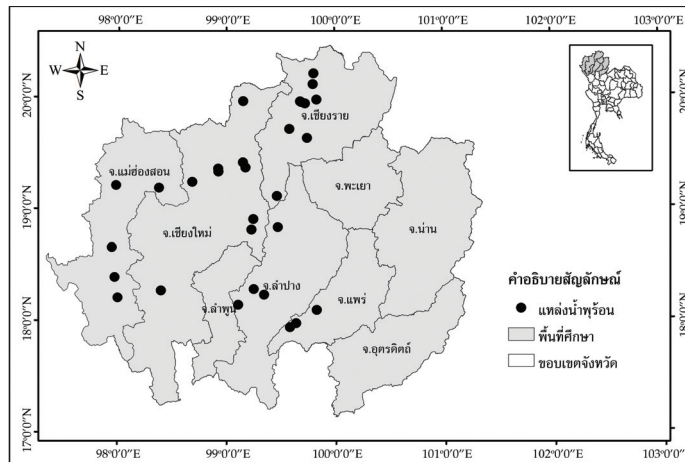
โดยดาวเทียมระบบ MODIS ได้รับความนิยมและยอมรับว่ามีความแม่นยำสูงในปัจจุบัน [2], [4] - [6] เนื่องจากมีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง คือ 1×1 กิโลเมตร แต่เนื่องจากการรับรู้จากระยะไกล เป็นการตรวจวัดจากการสะท้อนแสงที่พื้นผิวโลก ซึ่งมีสิ่งปกคลุมผิวพื้นที่หลากหลาย บางพื้นที่ความร้อนจากใต้พิภพอาจไม่สามารถส่งมายังพื้นผิวได้โดยตรง อีกทั้งข้อจำกัดทางสภาพกายภาพของพื้นที่ เช่น สภาพภูมิประเทศที่เป็นเทือกเขาสูงชันหรือมีชั้นหินหรือตะกอนปิดทับอยู่ด้านบน เป็นต้น ทำให้การใช้ข้อมูลเพียงชนิดเดียวไม่สามารถบ่งชี้การมีอยู่ของพลังงานความร้อนใต้พิภพได้ชัดเจน จึงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลอื่นที่สัมพันธ์กับพลังงานความร้อนใต้พิภพ เช่น [5] ศึกษาอุณหภูมิพื้นผิวจากดาวเทียม Landsat 7 ETM+ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย พบค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์กับแนวรอยเลื่อน เมื่อนำแผนที่มาสอบเทียบกับตำแหน่งน้ำพุร้อนที่ปรากฏและตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจความร้อนใต้พิภพ พบว่าให้ค่าสัมพันธ์เชิงพื้นที่สูง เช่นเดียวกับ [6] ได้ศึกษาความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวจากดาวเทียม Landsat 8 ในประเทศเอธิโอเปีย พบค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวสัมพันธ์กับตำแหน่งน้ำพุร้อนหรือแก๊สพุร้อนในพื้นที่ และเมื่อนำผลลัพธ์มาพิจารณาร่วมกับแผนที่ธรณีวิทยาแล้วพบว่ามีความสัมพันธ์กันในระดับสูงกับแนวรอยเลื่อน

การวิเคราะห์และพัฒนาแผนที่ศักยภาพพลังงานใต้พิภพจากข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวร่วมกับข้อมูลกายภาพอื่นดังที่กล่าวมา พบว่ายังไม่มีการศึกษาในประเทศไทย ดังนั้น การศึกษารังนี้จึงนำข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวจากดาวเทียมระบบ MODIS มาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลชนิดหิน และรอยเลื่อน เพื่อกำหนดเกณฑ์บ่งชี้ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย และพัฒนาแผนที่ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย เพื่อเป็นแนวทางการวางแผนการสำรวจภาคสนามต่อไป พร้อมทั้งสอบเทียบความถูกต้อง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้คือ พื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย โดยการแบ่งเขตการปกครองตามราชบัณฑิตยสถาน ประกอบไปด้วย 9 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ น่าน พะเยาแพร่ แม่ฮ่องสอน ลำปาง ลำพูน และอุตรดิตถ์ (รูปที่ 1) จากข้อมูลการสำรวจแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไทยโดยกรมทรัพยากรธรณี [7] พบว่า ประเทศไทยมีแหล่งน้ำพุร้อนกระจายอยู่ทั่วไปตามภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศ ซึ่งเป็นลักษณะปรากฏที่บ่งชี้การมีพลังงานความร้อนอยู่ลึกกลงไปได้ผิวดินกระจายอยู่ทั่วประเทศ โดยพบในบริเวณภาคเหนือมากที่สุด อีกทั้งยังเป็นที่ตั้งของโรงไฟฟ้าที่ใช้พลังงานความร้อนใต้พิภพเพียงแห่งเดียวคือ โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนใต้พิภพฝาง จึงมีความเหมาะสมที่จะเป็นพื้นที่ศึกษาในครั้งนี้



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษาและแหล่งน้ำพุร้อน ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย

2. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูล 4 ประเภท ประกอบด้วย

2.1 ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิว (Land Surface Temperature; LST) เป็นผลิตภัณฑ์ระดับ 3 เวกอร์ชัน 6 รหัสผลิตภัณฑ์ MOD11A1 ของดาวเทียม Terra ระบบ MODIS ซึ่งถูกคำนวณจากวิธีการที่ชื่อว่า Generalized-Split Window Algorithm (GSW) มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 1×1 กิโลเมตร และความละเอียดเชิงเวลารายวัน ซึ่งผ่านพื้นที่ศึกษาช่วงเวลา 10.00 - 11.00 น. (จากเว็บไซต์ <https://lpdaacsvc.cr.usgs.gov/appears/>) ทำการดาวน์โหลดข้อมูลในช่วงเดือนมกราคมถึงธันวาคม ปี พ.ศ. 2561 โดยจะนำข้อมูลที่ทำการดาวน์โหลดทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ยได้เป็นข้อมูล LST เฉลี่ยรายปี (LST_{mean}) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิว ($LST_{anomaly}$) ดังสมการที่ (1) [4]

$$LST_{anomaly} = LST - LST_{mean} \quad (1)$$

เมื่อ

LST คือ ค่าอุณหภูมิพื้นผิวที่ปรากฏตำแหน่งที่ $i = 1$ ถึง n

LST_{mean} คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิวในช่วงเดือนมกราคมถึงธันวาคม ปี พ.ศ. 2561

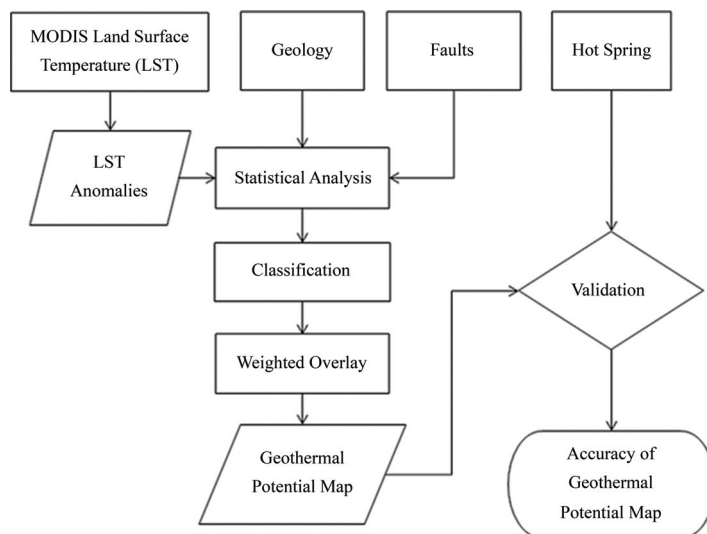
2.2 ข้อมูลธรณีวิทยาและธรณีวิทยาโครงสร้าง มาตราส่วน 1:250,000 ได้รับความอนุเคราะห์จากกรมทรัพยากรธรณี ซึ่งเป็นการประมวลผลข้อมูลจากการรวบรวมข้อมูลที่มีอยู่ การแปลความหมายภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายดาวเทียม และการตรวจสอบในภาคสนามเมื่อปี พ.ศ. 2546

2.3 ข้อมูลกลุ่มรอยเลื่อนมีพลังในประเทศไทย เป็นข้อมูลการสำรวจโดยกรมทรัพยากรธรณี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 - 2555 กระจายตัวบริเวณภาคเหนือ ภาคตะวันออก และภาคใต้ จำนวน 14 กลุ่มรอยเลื่อน [8] ซึ่งมีรอยเลื่อนกระจายตัวบริเวณภาคเหนือจำนวน 11 กลุ่มรอยเลื่อน

2.4 ข้อมูลแหล่งน้ำพุร้อนเป็นข้อมูลที่บ่งชี้การมีพลังงานความร้อนใต้พิภพอยู่ลึกลงไปใต้ผิวดิน ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากกรมทรัพยากรธรณี ใช้สำหรับสอบเทียบความถูกต้องกับผลการวิจัย โดยทำการคัดเลือกแหล่งน้ำพุร้อนบริเวณภาคเหนือที่มีค่าอุณหภูมิน้ำร้อนบริเวณที่ผิวดิน 40 - 100 องศาเซลเซียส ได้จำนวนทั้งสิ้น 30 แหล่ง

3. การวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ

การวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้ โดยมีแผนภาพสรุปขั้นตอนการศึกษาในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภาพสรุปขั้นตอนการวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยโดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวจากดาวเทียมระบบ MODIS ร่วมกับชนิดหิน และรอยเลื่อน

3.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างตัวแปร (Statistical Analysis)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างตัวแปร เป็นการวิเคราะห์เพื่อต้องการทราบ ว่า ตัวแปรที่จะนำมาวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ ได้แก่ ความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิว ชนิดหิน และระยะห่างจากรอยเลื่อน มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดินของแหล่งน้ำพุร้อนหรือไม่ โดยค่าของชุดตัวแปรทั้งหมดเป็นค่า ณ ตำแหน่งพิกัดเดียวกับค่าอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดินจากแหล่งน้ำพุร้อนในพื้นที่ศึกษา ดังนั้น ข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์จะประกอบไปด้วย (1) ค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวจำนวน 30 ค่าตัวแปร (2) ชนิดหินจำนวน 30 ค่าตัวแปร (3) ระยะห่างจากรอยเลื่อนจำนวน 30 ค่าตัวแปร และ (4) ค่าอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดินจากแหล่งน้ำพุร้อนจำนวน 30 ค่าตัวแปร นำข้อมูลทั้งหมดไปคำนวณทางสถิติหาค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Correlation) เพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร หลังจากนั้นจะนำค่าสหสัมพันธ์ที่ได้มาใช้เป็นค่าถ่วงน้ำหนัก

3.2 การกำหนดเกณฑ์ของตัวแปร (Classification)

นอกจากการหาความสัมพันธ์เพื่อใช้บ่งชี้ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ ในการศึกษารั้งนี้ได้กำหนดเกณฑ์ของแต่ละตัวแปร และแบ่งระดับคะแนนเป็น 5 ระดับ มีรายละเอียดดังนี้

1) ความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิว ค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวเป็นค่าที่บ่งชี้อุณหภูมิพื้นผิวที่สูงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิพื้นผิวบริเวณรอบข้าง จากงานวิจัยที่ศึกษาในต่างประเทศได้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิว 4 - 10 องศาเซลเซียส [2] มาเป็นเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มตัวแปร ซึ่งหมายความว่าหากบริเวณใดมีอุณหภูมิพื้นผิวสูงผิดปกติระหว่าง 4 - 10 องศาเซลเซียส บริเวณนั้นบ่งชี้ศักยภาพพลังงานความร้อนได้พิภพ จึงแบ่งระดับคะแนนดังนี้ อุณหภูมิพื้นผิวสูงผิดปกติ น้อยกว่า 2 องศาเซลเซียส ให้ค่าคะแนนเท่ากับ 1 อุณหภูมิพื้นผิวสูงผิดปกติ 2 - 4 องศาเซลเซียส ให้ค่าคะแนนเท่ากับ 2 อุณหภูมิพื้นผิวสูงผิดปกติ 4 - 6 องศาเซลเซียส ให้ค่าคะแนนเท่ากับ 3 อุณหภูมิพื้นผิวสูงผิดปกติ 6 - 8 องศาเซลเซียส ให้ค่าคะแนนเท่ากับ 4 และอุณหภูมิพื้นผิวสูงผิดปกติมากกว่า 8 องศาเซลเซียส ให้ค่าคะแนนเท่ากับ 5

2) ชนิดหิน เนื่องจากลักษณะหน่วยหินทางธรณีวิทยาบริเวณภาคเหนือค่อนข้างซับซ้อน และประกอบด้วยหินยุคต่าง ๆ [9] ผู้ศึกษาจึงทำการแบ่งกลุ่มตามประเภทของชนิดหินได้เป็น 6 ประเภท และให้ค่าคะแนนตามความสัมพันธ์อุณหภูมิความร้อนของแหล่งน้ำพุร้อนที่พบบริเวณหินแต่ละประเภทดังนี้ (1) ตะกอนที่ยังไม่แข็งตัวค่าคะแนนเท่ากับ 1 (2) หินแปร และหินตะกอนที่มีหินแปรปะปนอยู่ค่าคะแนนเท่ากับ 2 (3) หินตะกอนค่าคะแนนเท่ากับ 3 (4) หินอัคนีค่าคะแนนเท่ากับ 4 และ (5) หินแกรนิตค่าคะแนนเท่ากับ 5

3) ระยะห่างจากรอยเลื่อน โครงสร้างรอยเลื่อนเป็นช่องทางให้น้ำร้อนไหลขึ้นมาปรากฏบนพื้นผิวโลก ซึ่งหมายความว่าบริเวณที่อยู่ใกล้แนวรอยเลื่อนนั้นมีโอกาสเป็นพื้นที่ศักยภาพพลังงานความร้อนได้พิภพ ในการศึกษาครั้งนี้ผู้ศึกษาได้ใช้เกณฑ์การแบ่งระยะห่างจากรอยเลื่อนตาม [10] โดยทำการสร้างแนวกันชน (Buffer) จากแนวรอยเลื่อนเป็นระยะทางทุก ๆ 400 เมตร และให้ค่าระดับคะแนนดังนี้ ระยะห่างจากรอยเลื่อนมากกว่า 1,600 เมตร ให้ค่าคะแนนเท่ากับ 1 ระยะห่างจากรอยเลื่อน 1,200 - 1,600 เมตร ให้ค่าคะแนนเท่ากับ 2 ระยะห่างจากรอยเลื่อน 800 - 1,200 เมตร ให้ค่าคะแนนเท่ากับ 3 ระยะห่างจากรอยเลื่อน 400 - 800 เมตร ให้ค่าคะแนนเท่ากับ 4 และระยะห่างจากรอยเลื่อน 0 - 400 เมตร ให้ค่าคะแนนเท่ากับ 5

3.3 การวิเคราะห์และสร้างแผนที่ศักยภาพพลังงานความร้อนได้พิภพ

ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยการซ้อนทับข้อมูลแบบกำหนดค่าน้ำหนัก (Weighted Overlay) โดยนำ AHP Method [11] มาประยุกต์ใช้ ซึ่งในการวิเคราะห์ครั้งนี้จะใช้ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weighting) ที่ได้จากค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สันคูณกับระดับคะแนน (Rating) ของตัวแปรแต่ละประเภท ทำการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบ Raster จัดแบ่งชั้นข้อมูลใหม่ (Reclassify) ให้เป็นไปตามเกณฑ์และระดับคะแนนที่ได้กำหนดไว้ จากนั้นจึงนำตัวแปรที่ได้มาวิเคราะห์ผ่านฟังก์ชัน Map Algebra ด้วยเครื่องมือ Raster Calculator โดยใช้สมการที่ (2)

$$S = \sum_{i=1}^n (W_i \times R_i) \quad (2)$$

เมื่อ

S คือ ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

W_i คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของตัวแปรที่ $i = 1$ ถึง n

R_i คือ ค่าระดับคะแนนของตัวแปรที่ $i = 1$ ถึง n

นำผลลัพธ์ที่ได้มาแบ่งระดับศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพออกเป็น 3 ระดับ คือ ศักยภาพสูง ศักยภาพปานกลาง และศักยภาพต่ำ ด้วยการแบ่งช่วงชั้นแบบอันตรภาคชั้น (Class Interval) ดังสมการที่ (3)

$$\text{อันตรภาคชั้น} = \frac{\text{ค่าคะแนนสูงสุด} - \text{ค่าคะแนนต่ำสุด}}{\text{จำนวนหรือระดับช่วงชั้น}} \quad (3)$$

4. การสอบเทียบความถูกต้อง

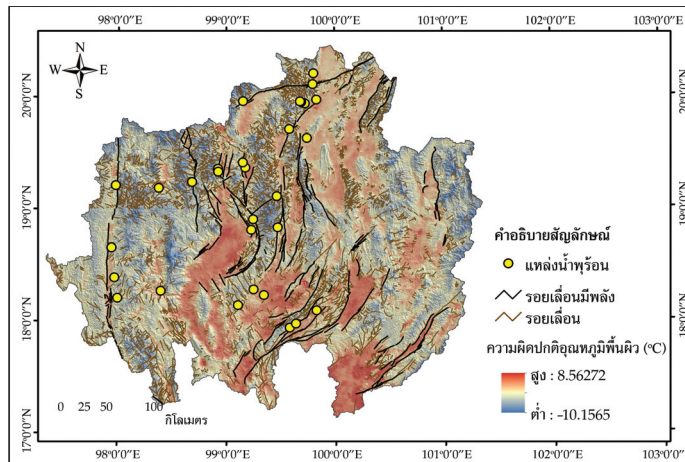
การสอบเทียบความถูกต้องใช้วิธีการซ้อนทับระหว่างข้อมูลแหล่งน้ำพุร้อนที่ปรากฏในพื้นที่กับแผนที่ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพที่ได้จากการศึกษา โดยพิจารณาจากอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดิน แหล่งน้ำพุร้อน แบ่งออกเป็น (1) แหล่งน้ำพุร้อนที่มีอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดินมากกว่า 80 องศาเซลเซียส บ่งบอกเป็นแหล่งน้ำพุร้อนศักยภาพสูง (2) แหล่งน้ำพุร้อนที่มีอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดิน 60 - 80 องศาเซลเซียส บ่งบอกเป็นแหล่งน้ำพุร้อนศักยภาพปานกลาง และ (3) แหล่งน้ำพุร้อนที่มีอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดิน 40 - 60 องศาเซลเซียส บ่งบอกเป็นแหล่งน้ำพุร้อนศักยภาพต่ำ [12] ร้อยละความถูกต้องของแผนที่ทำได้จากสมการที่ (4)

$$\text{ร้อยละความถูกต้อง} = \frac{\text{ผลรวมจำนวนแหล่งน้ำพุร้อนที่ถูกต้องแต่ละระดับ} \times 100}{\text{จำนวนแหล่งน้ำพุร้อนทั้งหมด}} \quad (4)$$

ผลการวิจัย

1. ความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิว

ค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวเป็นค่าที่บ่งชี้อุณหภูมิพื้นผิวที่สูงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิพื้นผิวบริเวณรอบข้าง เมื่อหาค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวในพื้นที่ภาคเหนือพบว่า มีค่าตั้งแต่ -10.16 ถึง 8.56 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 3 จะเห็นว่าค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวที่สูงจะกระจายตัวอยู่บริเวณที่เป็นแอ่งที่ราบลุ่ม ซึ่งเป็นพื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ลุ่ม รวมถึงพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง ในทางกลับกัน ค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวที่ต่ำจะพบบริเวณที่เป็นภูเขาที่มีป่าไม้ปกคลุม เมื่อเปรียบเทียบค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวกับตำแหน่งน้ำพุร้อนที่ปรากฏพบว่า ค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวแสดงทั้งค่าที่สูงและต่ำกว่าอุณหภูมิพื้นผิวบริเวณรอบข้าง คือ อยู่ระหว่าง -2.42 ถึง 4.64 องศาเซลเซียส สาเหตุที่มีการแสดงค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวต่ำเนื่องจากแหล่งน้ำพุร้อนในพื้นที่ภาคเหนือส่วนใหญ่จะพบบริเวณที่เป็นภูเขาที่มีต้นไม้ขึ้นปกคลุมมากกว่าบริเวณที่ราบ ทำให้ค่าอุณหภูมิพื้นผิวที่วัดได้นั้นไม่ใช่ค่าจากพื้นผิวดินโดยตรง และจะเห็นว่าแนวรอยเลื่อนโดยเฉพาะแนวรอยเลื่อนมีพลัง ซึ่งเป็นโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่สำคัญที่ให้น้ำร้อนไหลซึมขึ้นมาสู่ผิวดิน มีความสัมพันธ์กับความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวบริเวณใกล้ภูเขาและขอบแอ่งที่ราบลุ่ม ดังนั้น การวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพในพื้นที่ภาคเหนือด้วยการใช้ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวเพียงอย่างเดียวอาจไม่ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง



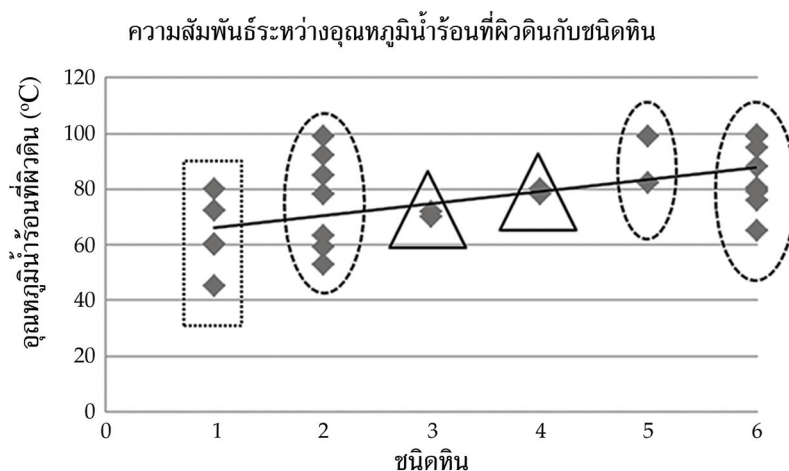
รูปที่ 3 แผนที่ความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย

2. ความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างตัวแปร

เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่จะนำมาวิเคราะห์ ได้แก่ ความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิว ชนิดหิน และระยะทางจากรอยเลื่อนกับอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดินของแหล่งน้ำพุร้อน ด้วยวิธีการคำนวณทางสถิติหาค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Correlation) จากผลการวิเคราะห์ที่แสดงไว้ในตารางที่ 1 พบว่าชนิดหินมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.587 ซึ่งมีค่าสูงที่สุด แสดงให้เห็นว่ามีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดินมากที่สุด (รูปที่ 4) และเมื่อพิจารณาแต่ละกลุ่มจะพบว่ามีความสัมพันธ์ที่ต่างกันคือ (กลุ่มที่ 1) ชนิดหินที่อยู่ในกรอบสี่เหลี่ยม คือ ตะกอนที่ยังไม่แข็งตัว น้ำพุร้อนมีอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดิน 45 - 80 องศาเซลเซียส ซึ่งส่วนใหญ่มีอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดินต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียส (กลุ่มที่ 2) ชนิดหินที่อยู่ในกรอบสามเหลี่ยม คือ หินแปร และหินตะกอนที่มีหินแปรปะปนอยู่ น้ำพุร้อนมีอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดิน 70 - 80 องศาเซลเซียส และ (กลุ่มที่ 3) ชนิดหินที่อยู่ในกรอบวงรี คือ หินตะกอน หินอัคนี และหินแกรนิต น้ำพุร้อนมีอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดิน 53 - 99 องศาเซลเซียส ส่วนใหญ่มีอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดินสูงกว่า 80 องศาเซลเซียส ในขณะที่ความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิว และระยะทางจากรอยเลื่อนมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ -0.376 และ -0.410 แสดงว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดินระดับต่ำ และเป็นความสัมพันธ์แบบผกผันหมายความว่า ถ้าอุณหภูมิน้ำร้อนผิวดินเพิ่มสูงขึ้น ค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวจะลดต่ำลง และถ้าอุณหภูมิน้ำร้อนผิวดินเพิ่มสูงขึ้น ระยะทางจากรอยเลื่อนจะลดลง หรือกล่าวอีกนัยคือ อุณหภูมิน้ำร้อนผิวดินจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อบริเวณนั้นอยู่ใกล้แนวรอยเลื่อนนั่นเอง ในการศึกษานี้ค่าสหสัมพันธ์แบบเพียร์สันที่แสดงในตารางที่ 1 จะนำมาใช้เป็นค่าถ่วงน้ำหนัก (Weighting) ในการวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานความร้อนได้ต่อไป

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างตัวแปร

		อุณหภูมิน้ำร้อน ที่ผิวดิน (°C)	ชนิดหิน	ความผิดปกติ อุณหภูมิพื้นผิว (°C)	ระยะห่าง จากรอยเลื่อน (เมตร)
อุณหภูมิ น้ำร้อนที่ผิวดิน	ค่าสหสัมพันธ์	1	0.587	-0.376	-0.410
	แบบเพียร์สัน				
	จำนวนค่าตัวแปร	30	30	30	30



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดินกับชนิดหิน

3. ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ

การวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ ในการศึกษารั้งนี้ดำเนินการศึกษาด้วย 3 ตัวแปร ได้แก่ ความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิว ชนิดหิน และระยะห่างจากรอยเลื่อน โดยนำตัวแปรเหล่านี้ มาหาค่าความสัมพันธ์หรือค่าถ่วงน้ำหนักตัวแปร กำหนดเกณฑ์และระดับคะแนนของตัวแปร ผลลัพธ์ที่ได้ มีรายละเอียดดังแสดงไว้ในตารางที่ 2 จัดแบ่งชั้นข้อมูลตัวแปรใหม่ให้เป็นไปตามเกณฑ์และระดับคะแนน ที่ได้กำหนดไว้ แสดงดังรูปที่ 5 จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพด้วยการ ซ้อนทับข้อมูลผ่านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ แบ่งระดับศักยภาพเป็น 3 ระดับ คือ ศักยภาพสูง ศักยภาพ ปานกลาง และศักยภาพต่ำ แผนที่จากการวิเคราะห์ดังปรากฏในรูปที่ 6 พบว่า ภาคเหนือของประเทศไทย ส่วนใหญ่มีพื้นที่ศักยภาพต่ำ แสดงว่าในพื้นที่ภาคเหนือมีความเป็นไปได้ที่จะมีแหล่งศักยภาพพลังงาน ความร้อนใต้พิภพต่ำซึ่งคิดเป็นร้อยละ 51.39 ของพื้นที่ทั้งหมด รองลงมาคือ พื้นที่ศักยภาพปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 36.32 และพื้นที่ศักยภาพสูง คิดเป็นร้อยละ 12.29 รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3 จากการพิจารณาผลการวิเคราะห์ของแผนที่กับแต่ละตัวแปรที่นำมาใช้วิเคราะห์พบว่า ที่ระดับศักยภาพสูง มีพื้นที่เป็นหินแกรนิต บางส่วนเป็นหินตะกอนและหินอัคนี และมีแนวรอยเลื่อนปรากฏอยู่ ซึ่งสอดคล้องกับ เกณฑ์และระดับคะแนนที่กำหนด แต่ในทางตรงกันข้ามพบว่า ที่ระดับศักยภาพสูงนี้มีค่าความผิดปกติ

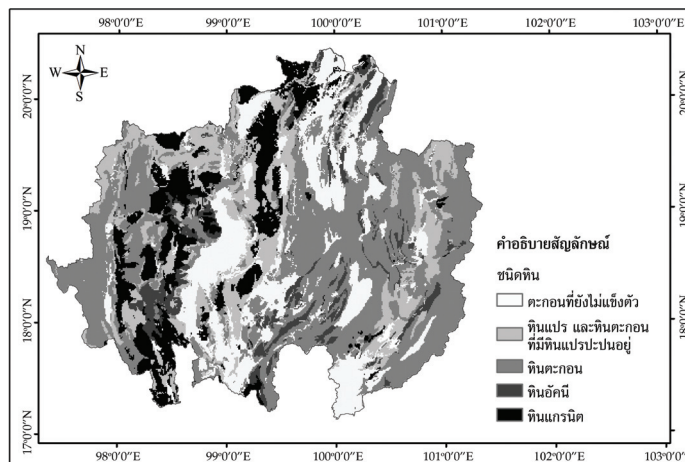
อุณหภูมิพื้นผิวดำ ซึ่งไม่เป็นไปตามเกณฑ์และระดับคะแนนที่กำหนด แสดงว่าแผนที่ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพในภาคเหนือของประเทศไทยนั้นสัมพันธ์กับชนิดหินและรอยเลื่อนมากกว่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิว

ตารางที่ 2 เกณฑ์และระดับคะแนนของตัวแปรที่ใช้วิเคราะห์ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ

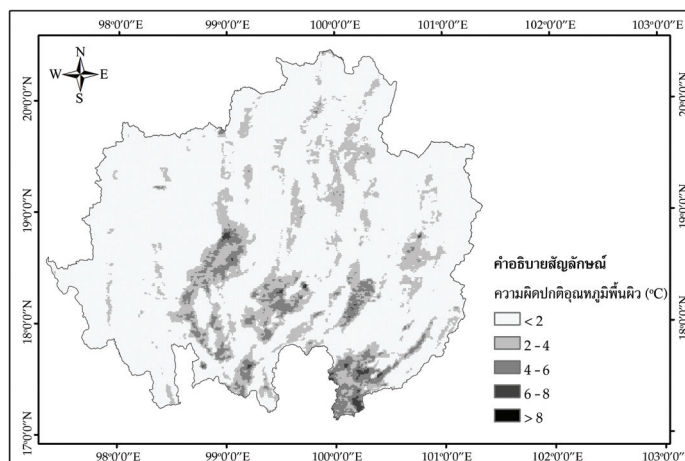
ตัวแปร	ประเภทตัวแปร	ค่าถ่วงน้ำหนัก	ระดับคะแนน
ชนิดหิน	ตะกอนที่ยังไม่แข็งตัว	0.587	1
	หินแปร และหินตะกอนที่มีหินแปรปะปนอยู่		2
	หินตะกอน		3
	หินอัคนี		4
	หินแกรนิต		5
ความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิว	< 2 องศาเซลเซียส	0.376	1
	2 - 4 องศาเซลเซียส		2
	4 - 6 องศาเซลเซียส		3
	6 - 8 องศาเซลเซียส		4
	> 8 องศาเซลเซียส		5
ระยะห่างจากรอยเลื่อน	> 1,600 เมตร	0.410	1
	1,200 - 1,600 เมตร		2
	800 - 1,200 เมตร		3
	400 - 800 เมตร		4
	0 - 400 เมตร		5

ตารางที่ 3 จำนวนพื้นที่แสดงศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย

ระดับศักยภาพ	พื้นที่ (ตารางกิโลเมตร)	ร้อยละ
ศักยภาพสูง	11,783	12.29
ศักยภาพปานกลาง	34,824	36.32
ศักยภาพต่ำ	49,281	51.39
รวม	95,888	100.00

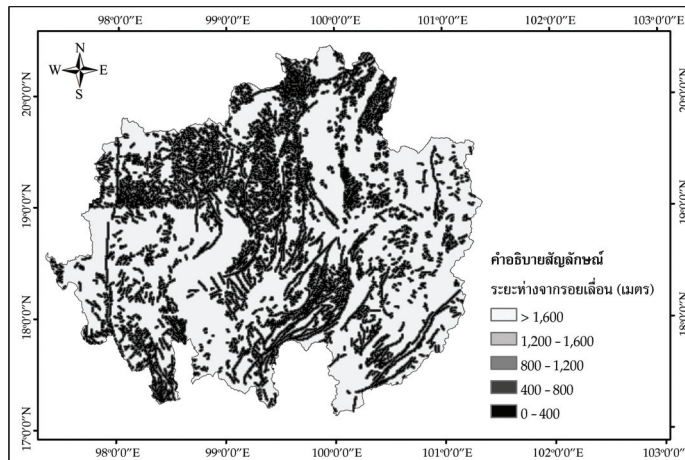


(ก) แผนที่ชนิดดิน



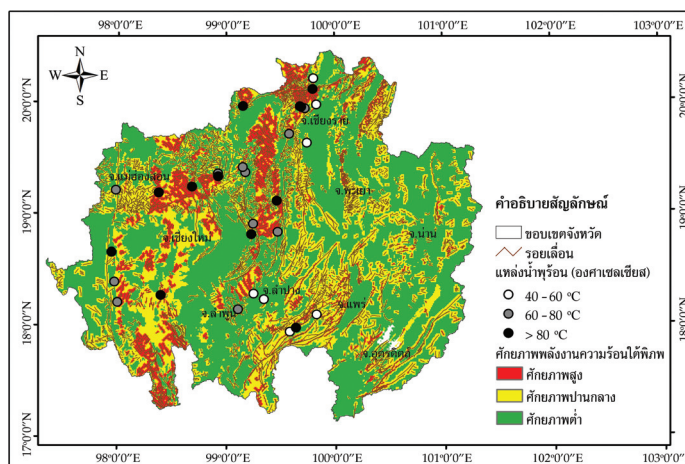
(ข) แผนที่ความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิว

รูปที่ 5 แผนที่ตัวแปรที่ได้กำหนดเกณฑ์ที่ใช้วิเคราะห์ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ



(ค) แผนที่ระยะห่างจากรอยเลื่อน

รูปที่ 5 แผนที่ตัวแปรที่ได้กำหนดเกณฑ์ที่ใช้วิเคราะห์ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ (ต่อ)



รูปที่ 6 แผนที่ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย

4. ผลการสอบเทียบความถูกต้อง

การสอบเทียบความถูกต้องแผนที่ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ ด้วยการจับคู่ข้อมูลตำแหน่งและระดับอุณหภูมิของแหล่งน้ำพุร้อนกับระดับศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพที่ได้จากการศึกษา ณ ตำแหน่งเดียวกัน ทั้งหมดจำนวน 30 คู่ ด้วยวิธีซ้อนทับข้อมูล จากตารางที่ 4 แสดงผลการศึกษา โดยแหล่งน้ำพุร้อนที่มีอุณหภูมิร้อนที่ผิวดินมากกว่า 80 องศาเซลเซียส เทียบเท่ากับระดับศักยภาพสูงจำนวน 11 แหล่ง พบว่ามีตำแหน่งปรากฏในแผนที่ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพในพื้นที่ที่มีระดับศักยภาพสูง 6 แหล่ง คิดเป็นความถูกต้องร้อยละ 54.5 ซึ่งอีก 5 แหล่งปรากฏอยู่บริเวณที่มีศักยภาพปานกลางแหล่งน้ำพุร้อนที่มีอุณหภูมิร้อนที่ผิวดิน 60 - 80 องศาเซลเซียส เทียบเท่ากับระดับศักยภาพปานกลาง จำนวนทั้งหมด 12 แหล่ง พบว่ามีตำแหน่งปรากฏในแผนที่บริเวณที่มีระดับศักยภาพ

ปานกลางตรงกัน 4 แหล่ง อีก 8 แหล่งปรากฏในบริเวณที่มีศักยภาพสูง 3 แหล่ง และบริเวณที่มีศักยภาพต่ำ 5 แหล่ง คิดเป็นความถูกต้องร้อยละ 33.3 และแหล่งน้ำพุร้อนที่มีอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดิน 40 - 60 องศาเซลเซียส เทียบเท่ากับระดับศักยภาพต่ำ จำนวนทั้งหมด 7 แหล่ง ปรากฏบนแผนที่ในบริเวณที่มีระดับศักยภาพต่ำตรงกันจำนวน 6 แหล่ง อีก 1 แหล่งปรากฏในบริเวณที่มีศักยภาพปานกลาง คิดเป็นความถูกต้องร้อยละ 85.7 โดยรวมจากจำนวนแหล่งน้ำพุร้อนทั้งหมด 30 แหล่ง ปรากฏตำแหน่งบนแผนที่ที่มีระดับศักยภาพตรงกันจำนวนทั้งสิ้นจำนวน 16 แหล่ง โดยมีค่าความผิดพลาดอุณหภูมิพื้นผิวอยู่ระหว่าง -2.42 ถึง 4.64 องศาเซลเซียส ซึ่งต่างจากค่าความผิดพลาดอุณหภูมิพื้นผิวที่นำมาเป็นเกณฑ์คือ 4 - 10 องศาเซลเซียส [2] แต่เมื่อพิจารณาความถูกต้องระหว่างแนวรอยเลื่อนกับแผนที่ที่ได้จากการศึกษา (รูปที่ 6) พบว่า แนวรอยเลื่อนวางตัวอยู่บนพื้นที่ศักยภาพสูงและพื้นที่ศักยภาพปานกลาง แสดงว่าบริเวณที่มีศักยภาพสูงและปานกลางจะมีความสัมพันธ์กับแนวรอยเลื่อนด้วย จากการคำนวณร้อยละความถูกต้องของแผนที่ตามสมการที่ (4) พบว่า แผนที่ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพบริเวณภาคเหนือของประเทศไทยที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ มีค่าความถูกต้องร้อยละ 53.3 แสดงว่าการวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพด้วยตัวแปร 3 ตัวแปร ได้แก่ ความผิดพลาดอุณหภูมิพื้นผิว ชนิดหิน และระยะห่างจากรอยเลื่อน ให้ค่าความถูกต้องอยู่ในระดับปานกลาง

ตารางที่ 4 ผลลัพธ์การสอบเทียบความถูกต้องของแผนที่ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ

ระดับศักยภาพ พลังงานความร้อนใต้พิภพ	อุณหภูมิน้ำร้อน ที่ผิวดิน (°C)	จำนวนแหล่ง น้ำพุร้อน	จำนวนแหล่งน้ำพุร้อน ที่มีตำแหน่งตรงกับแผนที่ศักยภาพ
ศักยภาพสูง	> 80 °C	11	6
ศักยภาพปานกลาง	60 - 80 °C	12	4
ศักยภาพต่ำ	40 - 60 °C	7	6
รวมทั้งสิ้น		30	16
คิดเป็น %		100 %	53.3 %

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลถูกนำมาประยุกต์ใช้กับงานด้านต่าง ๆ รวมถึงการวิเคราะห์เพื่อหาพื้นที่ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ ซึ่งในงานศึกษาส่วนใหญ่จะใช้ข้อมูลจากดาวเทียมในช่วงคลื่นอินฟราเรด ความร้อนมาประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวหรือใช้ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวที่ได้จากดาวเทียม เพื่อบ่งชี้แหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ แต่เนื่องจากอุณหภูมิพื้นผิวเป็นค่าการสะท้อนแสงที่พื้นผิวโลก ซึ่งมีสิ่งปกคลุมผิวพื้นที่หลากหลาย หรือในบางพื้นที่ความร้อนจากใต้พิภพอาจอยู่ลึกจนไม่สามารถส่งผ่านความร้อนมายังพื้นผิวได้โดยตรง การศึกษาแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพด้วย อุณหภูมิพื้นผิวเพียงอย่างเดียว อาจส่งผลให้ผลการศึกษาก่อเกิดความผิดพลาดได้ สำหรับการศึกษานี้มีการใช้ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวจากดาวเทียมระบบ MODIS หาค่าความผิดพลาดอุณหภูมิพื้นผิว เพื่อนำมาวิเคราะห์ศักยภาพพลังงานความร้อนใต้พิภพ เมื่อเปรียบเทียบความผิดพลาดอุณหภูมิพื้นผิวกับแนวรอยเลื่อน ผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า

ความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวมีความสัมพันธ์กับแนวรอยเลื่อนบริเวณใกล้ภูเขาและขอบแอ่งที่ราบลุ่มมากกว่าบริเวณแอ่งที่ราบลุ่มซึ่งแสดงค่าความผิดปกติที่สูง และเมื่อพิจารณาความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวกับตำแหน่งน้ำพุร้อนพบว่า มีความสัมพันธ์กันค่อนข้างต่ำ กล่าวคือ ค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวบริเวณแหล่งน้ำพุร้อนมีทั้งค่าที่ต่ำและสูงกว่าบริเวณรอบข้าง ซึ่งไม่มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน ต่างจากการศึกษาของ Chan, H.-P., Chang, C.-P., and Dao, P. D. [5] และ Darge, Y. M., Hailu, B. T., Muluneh, A. A., and Kidane, T. [6] ที่พบว่าค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวมีความสัมพันธ์กับแนวรอยเลื่อนและตำแหน่งน้ำพุร้อนในพื้นที่ แผนที่ศักยภาพพลังงานความร้อนได้พิภพในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยในครั้งนี้ใช้ค่าความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิวและข้อมูลทางกายภาพ ได้แก่ ชนิดหิน และรอยเลื่อน มาวิเคราะห์ผ่านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยการซ้อนทับข้อมูล มีการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก และระดับคะแนน ให้กับตัวแปรทั้งสาม การให้ค่าถ่วงน้ำหนักทำได้หลายวิธีในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้ค่าความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างตัวแปรมากำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นข้อเท็จจริงของข้อมูลที่สัมพันธ์กัน ณ ตำแหน่งพิกัดเดียวกัน จากการศึกษาพบว่าตัวแปรที่มีความสำคัญมากที่สุดต่อศักยภาพพลังงานความร้อนได้พิภพในพื้นที่ภาคเหนือคือ ชนิดหิน รองลงมาคือ ระยะห่างจากรอยเลื่อน และความผิดปกติอุณหภูมิพื้นผิว ซึ่งเป็นข้อยืนยันได้ว่าหากใช้ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวเพียงอย่างเดียวอาจได้ผลลัพธ์ที่ไม่ถูกต้อง สำหรับการกำหนดเกณฑ์และระดับคะแนนของตัวแปรนั้น เนื่องจากยังไม่เคยมีงานวิจัยในประเทศไทย การศึกษานี้จึงอ้างอิงจากงานวิจัยต่างประเทศเป็นหลัก เมื่อทำการวิเคราะห์และสอบเทียบความถูกต้องของแผนที่ศักยภาพพลังงานความร้อนได้พิภพในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย พบว่ามีค่าความถูกต้องร้อยละ 53.3 อยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าตำแหน่งน้ำพุร้อนที่ปรากฏในแผนที่บริเวณที่มีระดับศักยภาพศักยภาพสูงทั้ง 6 แหล่ง พบว่ามีความใกล้เคียงกับแหล่งน้ำพุร้อนที่กรมทรัพยากรน้ำบาดาลคัดเลือก [13] ที่มีแนวโน้มว่าจะเป็นแหล่งพลังงานความร้อนได้พิภพที่เหมาะสมจำนวน 3 แหล่ง ได้แก่ น้ำพุร้อนเมืองแปง จังหวัดแม่ฮ่องสอน น้ำพุร้อนฝาง จังหวัดเชียงใหม่ และน้ำพุร้อนแม่จัน จังหวัดเชียงราย และสอดคล้องกับงานศึกษาจากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ [12] จำนวน 5 แหล่ง ได้แก่ น้ำพุร้อนยางผาเคียว น้ำพุร้อนแม่จัน จังหวัดเชียงราย น้ำพุร้อนสันกำแพง น้ำพุร้อนฝาง จังหวัดเชียงใหม่ และน้ำพุร้อนเมืองแปง จังหวัดแม่ฮ่องสอน สำหรับแนวทางการศึกษาต่อไปควรนำข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เข้ามาร่วมในการวิเคราะห์ รวมไปถึงข้อมูลการสำรวจทางด้านธรณีฟิสิกส์ ซึ่งเป็นการสำรวจโครงสร้างภายในโลก และควรมีการสำรวจภาคสนามเพื่อนำมาปรับปรุงเกณฑ์และระดับคะแนนของตัวแปรให้สัมพันธ์กับพื้นที่เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

References

- [1] Department of Mineral Resources. (1986). **Exploration of Geothermal Resources in Northern Thailand**. Complete Report. (in Thai)
- [2] Qin, Q., Zhang, N., Nan, P., and Chai, L. (2011). Geothermal Area Detection Using Landsat ETM+ Thermal Infrared Data and its Mechanistic Analysis - A Case Study in Tengchong, China. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. Vol. 13, Issue 4, pp. 552-559. DOI: 10.1016/j.jag.2011.02.005

- [3] Zhang, N., Qin, Q., He, L., and Jiang, H. (2012). Remote Sensing and GIS based Geothermal Exploration in Southwest Tengchong, China. In **Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2012 IEEE International**. Munich, Germany. pp. 5364-5367. DOI: 10.1109/IGARSS.2012.6352395
- [4] Tian, B., Wang, L., Kashiwaya, K., and Koike, K. (2015). Combination of Well- Logging Temperature and Thermal Remote Sensing for Characterization of Geothermal Resources in Hokkaido, Northern Japan. **Remote Sensing**. Vol. 7, Issue 3, pp. 2647-2667. DOI: 10.3390/rs70302647
- [5] Chan, H.-P., Chang, C.-P., and Dao, P. D. (2017). Geothermal Anomaly Mapping Using Landsat ETM+ Data in Ilan Plain, Northeastern Taiwan. **Pure and Applied Geophysics**. Vol. 175, Issue 1, pp. 303-323. DOI: 10.1007/s00024-017-1690-z
- [6] Darge, Y. M., Hailu, B. T., Muluneh, A. A., and Kidane, T. (2019). Detection of Geothermal Anomalies Using Landsat 8 TIRS Data in Tulu Moya Geothermal Prospect, Main Ethiopian Rift. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. Vol. 74, pp. 16-26. DOI: 10.1016/j.jag.2018.08.027
- [7] Raksaskulwong, M. (2013). **Geothermal in Thailand: Alternative Energy**. Technical Report. Bangkok: Department of Mineral Resources. (in Thai)
- [8] Department of Mineral Resources. (2012). **Earthquakes Thailand**. Prachinburi: Thurakan Charoen Kit Co., Ltd. (in Thai)
- [9] Department of Mineral Resources. (2007). **Geology of Thailand (Second Edition)**. Bangkok: Dokbia Publishers. (in Thai)
- [10] Mwaura, D. and Kada, M. (2017). Developing a Web-Based Spatial Decision Support System for Geothermal Exploration at the Olkaria Geothermal Field. **International Journal of Digital Earth**. Vol. 10, Issue 11, pp. 1118-1145. DOI: 10.1080/17538947.2017.1284909
- [11] He, H., Hu, D., Sum, Q., Zhu, L., and Liu, Y. (2019). A Landslide Susceptibility Assessment Method Based on GIS Technology and AHP-Weighted Information Content Method: A Case Study of Southern Anhui, China. **International Journal of Geo-Information**. Vol. 8, Issue 6, pp. 1-23. DOI: 10.3390/ijgi8060266
- [12] Chiang Mai University. (2006). **Potential Assessment of Hot Springs in Thailand**. Final Report. Access (4 October 2018). Available (<http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/Content.pdf>)
- [13] Department of Groundwater Resources. (2020). **Groundwater and Geothermal Energy**. Access (9 October 2020). Available (<http://www.dgr.go.th/th/download/23?page=31>)

แนวทางการจัดพื้นที่ภายในห้องเรียนเด็กปฐมวัยที่ส่งเสริมกิจกรรมการเรียนรู้
ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ

The Guidelines of Area Arrangement within the Early Childhood Classroom Supporting Child-Centered Learning

วิศณี ไชยรักษ์^{1*} และวิไลวรรณ พานทอง¹

Vitsanee Chaiyarak^{1*} and Wilaiwan Phanthong¹

Received: October 14, 2020; Revised: March 1, 2021; Accepted: March 5, 2021

บทคัดย่อ

บทความวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการจัดพื้นที่ภายในห้องเรียนและแนวทางการจัดพื้นที่ภายในห้องเรียนเด็กปฐมวัยที่ส่งเสริมกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ กลุ่มเป้าหมายโรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน จังหวัดนครราชสีมา จำนวน 3 แห่ง ได้แก่ โรงเรียนบ้านกระทุ่มราย โรงเรียนบ้านหนองเคี่ยน และโรงเรียนหนองตะคลอง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แบบสอบถาม แบบประเมิน แบบสังเกต และแบบสัมภาษณ์ สถิติที่ใช้ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ค่าร้อยละ ผลการวิจัยพบว่า 1) ปัจจัยที่มีผลต่อการจัดพื้นที่ภายใน ห้องเรียนเด็กปฐมวัยที่ส่งเสริมกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญประกอบด้วย กิจกรรมเคลื่อนไหว และจังหวะ กิจกรรมเสริมประสบการณ์ กิจกรรมศิลปะสร้างสรรค์ กิจกรรมเสรีหรือเล่นตามมุม และกิจกรรมเกมการศึกษา การจัดวางผังภายในห้องเรียนแบ่งพื้นที่ 4 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 พื้นที่ครู ส่วนที่ 2 พื้นที่เก็บของส่วนตัวเด็ก ส่วนที่ 3 พื้นที่สำหรับกิจกรรมเสรีหรือเล่นตามมุมที่จัดวางมุมประสบการณ์และส่วนที่ 4 ที่ว่างกลางห้อง เป็นพื้นที่นั่งเรียน นอน รับประทานอาหาร กิจกรรมเคลื่อนไหวและจังหวะ และลักษณะเครื่องเรือนควรมีน้ำหนักเบา เลือกใช้วัสดุที่ปลอดภัยต่อเด็กทำจากวัสดุไม้อัดปิดผิวลามิเนตหลากสีสนั้ ไม้ธรรมชาติ และวัสดุที่มีในท้องถิ่นใช้ประกอบกิจกรรมการเรียนรู้ โต๊ะเรียนขนาดและรูปแบบที่เหมาะสม เคลื่อนย้ายได้สะดวก และ 2) แนวทางการจัดพื้นที่ภายในห้องเรียนเด็กปฐมวัยที่ส่งเสริมกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ

¹ คณะศิลปกรรมและออกแบบอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

¹ Faculty of Fine Art and Industrial Design, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima

* Corresponding Author E - mail Address: cvitsanee19@yahoo.com

ออกแบบให้มีผนังกันแบ่งพื้นที่กลางห้องลักษณะปรับเปลี่ยนเปิดและปิดได้เพื่อรองรับกิจกรรมการเรียนรู้ของชั้นเรียน 2 ระดับ คือ อนุบาล 2 และอนุบาล 3 การกันห้องไม่เน้นปิดกันเสียงแต่เป็นการปิดมุมมองในบางกิจกรรม พื้นที่ภายในห้องทั้ง 2 ระดับชั้น การจัดวางคล้ายกันคือมีพื้นที่โล่งตอนกลางห้องโดยพื้นที่มีพื้นที่มุมประสบการณ์ของกิจกรรมเสรีหรือเล่นตามมุมเป็นพื้นที่สำคัญที่สุดกับการเรียนส่งเสริมกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ

คำสำคัญ : การจัดพื้นที่ภายในห้องเรียน; เด็กปฐมวัย; การเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ

Abstract

This research aimed to study the factors affecting area arrangement and the guidelines of area arrangement within the early childhood classroom supporting child-centered learning. There were three schools under the Office of the Basic Education Commission, Nakhon Ratchasima Province, involved in this study, i.e. Ban Krathum Rai School, Ban Nong Doen School and Ban Nong Takhlung School. Research tools include questionnaires, evaluation, observation and interview form. Statistical analysis were means ($\bar{X}$), standard deviations (S.D.) and percentage. The research found that 1) Factors affecting area arrangement within the early childhood classroom consisted of movement and rhythm activities, experience enhancing activities, creative arts activities, free activities or play corners and educational game activities. The space in the classroom was divided into four parts. The first part was provided for the teachers while the second part was for students' personal storage. The third part was the area for play corner activities. The fourth part was the space at the center of the room as the area for learning, sleeping, eating, movement and rhythm activities. The furniture in the classroom should be lightweight, natural and safe for children made of colorful laminate plywood, natural wood and local materials for learning activities. The desks should be in appropriate size and structure and easy to move. 2) The guidelines of area arrangement within the early childhood classroom supporting child-centered learning were that the center of classroom was separated by movable partitions to support the activities for Kindergarten 2 and 3. The partitions did not block the sound, but the vision for some activities. The area for both classrooms was organized in the same arrangement, the empty space at the center of the classroom as the area for free activity experiences or play corner activities. This was considered as the significant area to support child-centered learning.

Keywords: Area Arrangement within Classroom; Early Childhood; Child-Centered Learning

บทนำ

การจัดการศึกษาสำหรับเด็กปฐมวัยนับเป็นพื้นฐานการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์เด็กปฐมวัยเป็นช่วงอายุสามารถพัฒนาความ พร้อมทั้งทางร่างกาย อารมณ์จิตใจ สังคม และสติปัญญาได้อย่างเต็มที่ ถ้าได้รับการส่งเสริมพัฒนาการที่ถูกต้องจะเป็นผู้ที่มีคุณภาพที่ดีในอนาคต จึงต้องมุ่งที่จะพัฒนาให้มีการเจริญเติบโตทุกด้านมีความพร้อม มีจิตใจที่เข้มแข็ง รับผิดชอบช่วยเหลือคนได้อย่างเหมาะสมกับวัย มีความสามารถในการคิดแก้ปัญหา จินตนาการและความคิดสร้างสรรค์ตามพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 [1] การจัดการศึกษาต้องยึดหลักเด็กทุกคนมีความสามารถเรียนรู้และพัฒนาด้วยตนเองได้ ซึ่งถือว่าเด็กมีความสำคัญที่สุดกระบวนการจัดการศึกษาต้องส่งเสริมให้เด็กสามารถพัฒนาตามธรรมชาติและเต็มตามศักยภาพ [2] การจัดสภาพแวดล้อมที่ดีในสถานศึกษาปฐมวัยเพื่อพัฒนาให้เกิดการเรียนรู้ภายในโรงเรียนโดยใช้สิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมจะช่วยให้เด็กมีโอกาสพัฒนาความสามารถในการปรับตัวพัฒนาตนเองเต็มตามศักยภาพเด็กปฐมวัยโดยการจัดสิ่งแวดล้อมทั้งภายในและภายนอกห้องเรียน ความปลอดภัยการจัดมุมประสบการณ์ภายในบริเวณพื้นที่ต่าง ๆ ในห้องเรียน [3] แนวทางการจัดพื้นที่ภายในห้องเรียนเด็กปฐมวัยที่ส่งเสริมกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ จึงนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อกระบวนการจัดการเรียนการสอนพัฒนาการเด็กปฐมวัยมีคุณภาพ ศักยภาพและมาตรฐานตามวัยของเด็กปฐมวัยที่สอดคล้องกับความต้องการของท้องถิ่นคำนึงถึงศิลปะ ภูมิปัญญาท้องถิ่น และวัฒนธรรมอันดีงาม

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ปัจจัยที่มีผลต่อการจัดพื้นที่ภายในห้องเรียนเด็กปฐมวัยที่ส่งเสริมกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ
2. แนวทางการจัดพื้นที่ภายในห้องเรียนเด็กปฐมวัยที่ส่งเสริมกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. ทฤษฎีจิตวิทยาพัฒนาการเด็กปฐมวัย

ลักษณะทั่วไปของเด็กวัยตอนต้นเป็นวัยที่ต้องการอิสระ อยากเป็นตัวของตัวเอง อยากช่วยเหลือตัวเอง ชอบปฏิเสธและหัวดื้อ ไม่ชอบตามใคร จึงได้สมญาว่า “วัยช่างปฏิเสธ” โดยพฤติกรรมของเด็กจะชอบเล่นของเล่น ชอบสำรวจ อยากรู้ อยากเห็น ชอบเลียนแบบผู้ที่โตกว่าและแสดงความคิดสร้างสรรค์ในขณะที่เล่น

1.1 ความต้องการวัยเด็กตอนต้น [4] ดังนี้

- 1.1.1 เด็กต้องการความรัก ต้องการให้คนอื่นรักและรักคนอื่น เด็กที่ได้รับการรักจะทำให้เด็กอบอุ่นใจ อารมณ์แจ่มใสมั่นคง ไม่มีความรู้สึกแหว่งแหว่งหรืออิจฉาริษยาเด็กอื่น
- 1.1.2 เด็กต้องการความปลอดภัย
- 1.1.3 เด็กต้องการตำแหน่งในสังคม ให้เพื่อนรับรู้ว่าเป็นส่วนหนึ่งของสังคม
- 1.1.4 เด็กต้องการความอิสระ เล่นอย่างมีอิสระภาพตามความสามารถ ความถนัดของตน
- 1.1.5 ต้องการเรียนรู้โลกรอบตัว จะช่างซักถามเลียนแบบผู้ใหญ่ที่โตกว่า

1.1.6 ต้องการเวลาพักผ่อนที่เพียงพอ

1.1.7 ต้องการให้ผู้ใหญ่ยอมรับและส่งเสริมให้ทำกิจกรรมต่าง ๆ ด้วยตนเอง

1.1.8 ต้องการความอ่อนโยนในลักษณะที่ได้รับจากแม่และจากโรงเรียนอนุบาล

1.2 ลักษณะเฉพาะของเด็กปฐมวัยที่มีช่วงอายุประมาณ 2 - 6 ปี [5] ดังนี้

1.2.1 วัยของการสำรวจค้นคว้า คือ ช่วงเวลาของการค้นคว้าสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เพราะเมื่อเด็กอายุ 2 ขวบขึ้นไปแล้ว เด็กเริ่มมีความสามารถควบคุมการทำงานของร่างกายได้ จึงทำให้เด็กพอใจที่จะสำรวจสิ่งแปลกใหม่ว่าสิ่งที่เห็นคืออะไร มีชื่อว่าอะไร มีความรู้สึกเป็นอย่างไร

1.2.2 วัยของการเกิดปัญหา คือเป็นพฤติกรรมที่แตกต่างไปจากวัยทารก เช่น เด็กมีลักษณะไม่ยอมเชื่อฟังชอบปฏิเสธมีความหวาดกลัวและริษยา

1.2.3 วัยที่ชอบเล่นของเล่น คือเด็กมีความชอบในการเล่นของเล่นมากและความสนใจจะลดลงหลังจากเข้าโรงเรียน

1.2.4 วัยของการเตรียมตัวเข้ากลุ่มเพื่อน นักจิตวิทยาพบว่าวัยของการเตรียมตัวเข้ากลุ่มเพื่อนจัดเป็นช่วงเวลาที่สำคัญเพราะถ้าเด็กมีการเรียนรู้พื้นฐานต่าง ๆ ตามพฤติกรรมทางสังคม การเตรียมตัวจะช่วยให้เด็กสามารถจัดระบบในชีวิตของตนตามสังคมเพื่อให้สามารถปรับตัวในสังคมได้ต่อไป

1.2.5 วัยของการเตรียมตัวเข้าสู่โรงเรียน คือเด็กในวัยนี้เป็นวัยที่ต้องเตรียมตัวเข้าสู่โรงเรียน แต่ในความเป็นจริงเด็กบางคนเข้าโรงเรียนสำหรับเด็กเล็ก เด็กบางคนอยู่บ้านและมีการเตรียมตัวที่จะไปโรงเรียน จึงทำให้เด็กได้รับความกดดันและคาดหวังให้มีการเรียนรู้ในสิ่งต่าง ๆ ที่มีความแตกต่างไปจากโรงเรียนซึ่งเด็กต้องเข้ารับการศึกษาต่อไป

1.2.6 วัยที่ไม่น่ารัก คือพ่อแม่มักให้ความช่วยเหลือเด็กปฐมวัยน้อยลง เด็กมีความรู้สึกต่อต้านความช่วยเหลือจากพ่อแม่และบุคคลอื่นที่มีอายุมากกว่าเด็กไม่ยอมรับการแสดงออกในเรื่องความรัก ทำให้เด็กลดความน่ารักลงไป

1.2.7 วัยแห่งการสร้างสรรค์ คือเด็กจะมีความคิดสร้างสรรค์ในการเล่นซึ่งสามารถพบได้โดยการสังเกต

1.2.7 วัยแห่งการเลียนแบบ คือเด็กวัยนี้ชอบเลียนแบบผู้ที่โตกว่า เช่น คำพูด กิริยา ท่าทาง นิสัยของผู้ใหญ่

2. การเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง

การเรียนรู้การสอนโดยยึดผู้เรียนเป็นสำคัญ [6] คือการเรียนรู้ที่ผู้เรียนมีบทบาทสำคัญที่สุด ผู้เรียนเป็นผู้มีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ ทั้งทางร่างกายสติปัญญา สังคมและอารมณ์ ได้มีโอกาสแสวงหาความรู้ ข้อมูล คิดวิเคราะห์และสร้างความหมาย ความเข้าใจในสาระและกระบวนการต่าง ๆ ด้วยตนเอง รวมทั้งลงมือปฏิบัติจัดการกระทำและนำความรู้ไปประยุกต์ในชีวิตประจำวัน

หลักการจัดประสบการณ์การเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ เพื่อให้การเรียนรู้เป็นไปอย่างได้ผล การจัดประสบการณ์การเรียนรู้ควรยึดหลัก [7] ดังนี้

2.1 การเรียนรู้เป็นกระบวนการที่ควรเป็นไปอย่างมีชีวิตชีวาผู้เรียนจึงควรมีบทบาทความรับผิดชอบต่อการเรียนรู้ของตนเองและมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนการสอน

2.2 การเรียนรู้เกิดขึ้นได้จากแหล่งต่าง ๆ มิใช่มาจากแหล่งใดแหล่งหนึ่งเพียงแหล่งเดียว ประสบการณ์ความรู้สึกนึกคิดของแต่ละบุคคลถือว่าเป็นแหล่งการเรียนรู้ที่สำคัญ

2.3 การเรียนรู้ที่ดีจะต้องเป็นการเรียนรู้ที่เกิดจากการสร้างความรู้ และความเข้าใจด้วยตนเอง จึงจะช่วยให้ผู้เรียนจดจำและสามารถใช้การเรียนรู้ให้เป็นประโยชน์ได้ เป็นการค้นพบด้วยตนเอง เกิดความเข้าใจลึกซึ้งจดจำได้ดี

2.4 การเรียนรู้กระบวนการที่มีความสำคัญ ผู้เรียนเข้าใจและมีทักษะเรื่องกระบวนการเรียนรู้ แล้วจะสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการแสวงหาความรู้และคำตอบต่าง ๆ ที่ตนต้องการได้

2.5 การเรียนรู้ที่มีความหมายแก่ผู้เรียนคือ การเรียนรู้ที่ผู้เรียนสามารถนำไปใช้ใน ชีวิตประจำวันได้

3. การจัดสภาพแวดล้อมห้องเรียน

การจัดสภาพแวดล้อมห้องเรียน [8] ที่เหมาะสมเด็กปฐมวัยเป็นสิ่งสำคัญเพราะสามารถส่งผลต่อการพัฒนาการด้านต่าง ๆ ของเด็กการจัดสภาพแวดล้อมสำหรับเด็กคือ การส่งเสริมให้เด็กได้เจริญเติบโต ในบรรยากาศที่เหมาะสมมีความมั่นคงทางอารมณ์และจิตใจ

3.1 หลักการออกแบบสภาพแวดล้อมสำหรับเด็ก [9] ดังนี้

3.1.1 หลักการออกแบบและจัดสภาพแวดล้อมของห้องเรียนเด็กมีผลต่อการเรียน ของเด็กมาก เด็กอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่สบาย การจัดสภาพแวดล้อมภายในห้องเรียนเด็ก ต้องทำให้เด็ก เคลื่อนไหวได้อย่างอิสระ มีเครื่องเรือนที่ได้สัดส่วนกับร่างกายของเด็กความยืดหยุ่นในการจัดห้อง และ พื้นที่ตอบสนองประโยชน์ใช้สอยอย่างเต็มที่ซึ่งส่งผลให้เด็กมีพัฒนาการสร้างสรรค์ทุกด้าน

3.1.2 การจัดพื้นที่ห้องเรียน หรือห้องกิจกรรมหากแบ่งเป็นพื้นที่แต่ละกิจกรรมเป็น มุมนั้น ส่งเสริมให้เด็กได้ค้นหาศึกษาและตั้งใจทำงานของเขามากขึ้น และทำให้เด็กได้เคลื่อนย้ายจาก กิจกรรมหนึ่งไปยังกิจกรรมหนึ่งได้คล่องตัวมากยิ่งขึ้นเด็กสามารถเดินผ่านไปไ้รอบ ๆ ห้อง โดยไม่รบกวน กลุ่มกิจกรรมอื่นทำให้ลดความขัดแย้งของการใช้พื้นที่อุปกรณ์ของแต่ละกิจกรรม ควรวางไว้ในที่เห็นได้ชัด และแยกประเภทไว้ไม่ให้ปะปนกัน เด็กได้เดินไปมาเพื่อเลือกกิจกรรมที่เขาชอบได้อย่างคล่องตัว เครื่องเรือน ภายในห้องกิจกรรมไม่ควรมีความสูงมาก ผู้ดูแลสามารถดูแลเด็กอย่างทั่วถึงโดยชั้นหนังสือหรือชั้นวาง ของต่าง ๆ ควรมีความสูงไม่เกิน 1.20 เมตร

3.1.3 ขนาดพื้นที่ห้องเรียน หรือห้องกิจกรรม ควรมีความกว้างพอที่เด็กจะเล่น ได้อย่างสบายและปลอดภัยโดยเด็ก 1 คน จะใช้พื้นที่ในการเล่นหรือการทำกิจกรรมประมาณ 40 - 60 ตารางฟุต หรือ 3.72 - 5.57 ตารางเมตร ขนาดห้องเรียนตามกำหนดที่เหมาะสมคือ 5 x 7 เมตร มีค่าเท่ากับ 35 ตารางเมตร หรือ 6 x 6 เมตร หรือ 7 x 9 เมตร ต้องคำนึงถึงจำนวนเด็กอย่าให้มากหรือน้อยเกินไป หากมากเกินไป เกิดปัญหาการแย่งพื้นที่ ถ้าน้อยเกินไปทำให้จัดพื้นที่ใช้สอยที่น่าสนใจได้ยากเด็กเกิดความสับสนในการใช้พื้นที่

3.1.4 วัสดุห้องเรียนหรือห้องกิจกรรม พื้นที่ภายในห้องเรียนของเด็กวัยก่อนเรียน มักจะมีอุบัติเหตุการทำพื้นเปียกเกิดขึ้นเสมอ การเลือกวัสดุพื้นควรมีคุณสมบัติที่แห้งเร็ว ถูกสุขลักษณะ ทำความสะอาดง่ายทนทานและปลอดภัย โดยปกติเด็กนิยมเล่นและทำกิจกรรมบนพื้น พื้นควรสะอาดและ มีความยืดหยุ่นในตัววัสดุ

3.1.5 การใช้สีของห้องเรียน

- คำนึงถึงความต้องการของร่างกายและจิตใจของผู้เรียน ไม่ควรให้สีตัดกัน หรือสว่างเกินไปจนระคายเคืองตาหรืออึดอัด รุ่มร้อน เด็กเล็กควรใช้สีอุ่นใส

- ขนาดและลักษณะของห้อง ถ้าเป็นห้องสี่เหลี่ยมจัตุรัสควรทำให้ห้องดูยาวขึ้นด้วยการทาสีด้านหน้าและด้านหลัง เป็นโทนสีเย็นเพื่อให้ผนังด้านหน้าและด้านหลังดูห่างกันออกไป ห้องที่ยาวเกินไปควรทาสีโทนอุ่นที่ผนังด้านหน้าและด้านหลังเพื่อดึงให้ผนังดูใกล้เข้ามา
- ทิศทางของห้อง ห้องที่อยู่ทิศใต้และทิศตะวันตกมักถูกรับแสงแดดส่องและความร้อนในช่วงบ่ายอยู่เสมอควรใช้โทนสีเย็น
- สภาพดินฟ้าอากาศ ประเทศเมืองร้อนนิยมใช้สีโทนเย็น ประเทศเมืองหนาวนิยมใช้สีโทนอุ่น ประเทศที่แห้งแล้งจัดนิยมใช้สี เย็นสดใสให้ชีวิตชีวา เช่น ฟ้ายคราม เขียว ม่วงคราม
- ทศนียภาพโดยรอบมีสีโทนอุ่นมาก เช่น ตัวอาคาร ผนัง หลังคาสีโทนอุ่น ควรใช้สีโทนเย็นมาช่วยลดความรู้สึก
- อุปกรณ์ วัสดุภัณฑ์ ควรเลือกสีที่มีความเข้มและระดับกลาง ๆ เพื่อไม่ให้สัดกับพื้นผนังจนขัดตาถ้าห้องเล็กแคบมีนักเรียนค่อนข้างแน่น ของใช้ควรเป็นสีอ่อน ๆ ค่อนข้างเย็นถ้าเป็นไปได้ อาจใช้สีธรรมชาติของไม้หรือทำให้สีอ่อนลงจะช่วยให้ห้องสว่างขึ้น

3.2 การจัดพื้นที่ภายในเพื่อพัฒนาเด็กปฐมวัย พื้นที่สำหรับการทำกิจกรรมภายในห้องเรียน เพื่อพัฒนาเด็กปฐมวัย หลักการจัดสภาพแวดล้อมภายในห้องเรียน [10] ดังนี้

3.2.1 ห้องเรียนระดับก่อนประถมศึกษาจะต้องสะดวก มีแสงสว่างเพียงพอ ปลอดภัย และกว้างได้สัดส่วนกับจำนวนเด็ก มีพื้นที่กว้างเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 1 ตารางเมตร ต่อเด็ก 1 คน

3.2.2 วัสดุภัณฑ์ภายในห้องเรียน เช่น โต๊ะ เก้าอี้ ตู้เก็บเครื่องใช้ส่วนตัว ชั้นวางของ มีขนาดเหมาะสมและเพียงพอกับจำนวนเด็ก เลือกใช้สีอ่อนหรือสีธรรมชาติ

3.2.3 สื่อและเครื่องเล่นออกกำลังกายมีจำนวนเพียงพอ ปลอดภัยอยู่ในสภาพที่ใช้ได้ สอดคล้องกับหลักการจัดการศึกษา

3.2.4 การจัดแบ่งพื้นที่ในท้องเรียน ควรดำเนินการจัดมุมประสบการณ์ต่าง ๆ อย่างน้อย 4 มุม เช่น มุมบล็อก มุมหนังสือ มุมวิทยาศาสตร์ มุมดนตรี เด็กสามารถเคลื่อนที่จากมุมประสบการณ์ต่าง ๆ อย่างอิสระโดยไม่รบกวนเด็กคนอื่น

3.2.5 การกำหนดพื้นที่สำหรับจัดกิจกรรมให้เหมาะสมกับการจัดกิจกรรมรายบุคคล กิจกรรมกลุ่มย่อยและกลุ่มใหญ่ให้ชัดเจนช่วยส่งเสริมพัฒนาการเด็กให้เกิดพฤติกรรมที่พึงประสงค์ตามหลักสูตร

3.2.6 การจัดสภาพแวดล้อมทั่วไปในห้องเรียน ควรจัดให้มีสภาพและบรรยากาศอบอุ่น เหมือนบ้านเพื่อสร้างความสนใจให้เด็กอยากมาโรงเรียนและสามารถใช้ประโยชน์จากห้องเรียนได้หลายด้าน เช่น ห้องรับประทานอาหาร พักผ่อน เป็นต้น

3.2.7 การจัดป้ายนิเทศ ควรคำนึงถึงความเหมาะสมของกิจกรรมในห้องเรียนและส่งเสริมให้เกิดประโยชน์กับเด็กโดยตรงความสูงและขนาดควรอยู่ในระดับสายตาเด็ก

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยแนวทางการจัดพื้นที่ภายในห้องเรียนเด็กปฐมวัยที่ส่งเสริมกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ วิธีดำเนินการวิจัยดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเรียนรู้ และทฤษฎีแนวทางการจัดพื้นที่ภายในห้องเรียนเด็กปฐมวัยที่ส่งเสริมกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ โรงเรียนสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน จังหวัดนครราชสีมา เครื่องมือที่ใช้ ได้แก่ แบบสอบถาม แบบประเมินแบบสังเกต และแบบสัมภาษณ์ ดังตารางที่ 1

2. สํารวจและเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสัมภาษณ์ แบบสอบถาม แบบสังเกต แบบประเมิน โรงเรียนจัดการเรียนการสอนระดับปฐมวัย สังกัดสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน จังหวัดนครราชสีมา จำนวน 3 แห่ง ได้แก่ โรงเรียน หนองตะคลอง โรงเรียนบ้านกระทุ่มราย และโรงเรียนบ้านหนองเค็ง ตามลำดับ ดังรูปที่ 1 บรรยายภาพในท้องเรียนเป็นช่วงของการทำกิจกรรมประจำวัน เช่น กิจกรรมเสริมประสบการณ์ และกิจกรรมเสรี โรงเรียนหนองตะคลอง และโรงเรียนกระทุ่มราย จะมีโต๊ะเรียนให้เด็กได้นั่งทำกิจกรรมตามที่ครูจัดไว้ ในด้านกิจกรรมเคลื่อนไหวและจังหวะเด็กจะใช้พื้นที่ว่างของห้องในการเล่นฮูลาฮูป และกิจกรรมการนอนพักผ่อนใช้พื้นที่ว่างกลางห้องเป็นพื้นนอนโดยเด็ก ๆ ทียบเบาที่เก็บในชั้นวางในตำแหน่งประจำที่ครูทำเครื่องหมายไว้

ตารางที่ 1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

แบบสอบถาม	1. ข้อมูลทั่วไปผู้ตอบแบบสอบถาม ได้แก่ เพศ ตำแหน่งหน้าที่ อายุ วุฒิการศึกษา 2. การจัดพื้นที่กิจกรรมภายในห้องเรียนการจัดพื้นที่ภายในห้องเรียนระดับปฐมวัย 3. ความคิดเห็นครูต่อสิ่งแวดล้อมภายในห้องเรียน ได้แก่ ลักษณะความเหมาะสมการจัดโต๊ะเรียน 4. คำถามปลายเปิดและข้อเสนอแนะ
แบบประเมิน	1. ผังพื้นที่ภายในห้องเรียนแสดงความสัมพันธ์ของตำแหน่งการจัดวางเครื่องเรือน อุปกรณ์การจัดกิจกรรมที่สอดคล้องกับการเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ 2. จำนวนเครื่องเรือนและอุปกรณ์ 3. ผังตำแหน่งดวงไฟและผ้าเพดาน
แบบสังเกต	1. ข้อมูลทั่วไปของโรงเรียน ได้แก่ ชื่อโรงเรียน ตำแหน่งที่ตั้ง จำนวนนักเรียน 2. ผังพื้นที่ภายในห้องเรียน แสดงความสัมพันธ์ การจัดวางเครื่องเรือน อุปกรณ์การจัดกิจกรรม 3. จำนวนเครื่องเรือนและอุปกรณ์ที่ใช้ในห้องเรียน 4. ผังตำแหน่งดวงไฟและผ้าเพดานภายในห้องเรียน
แบบสัมภาษณ์	1. สัมภาษณ์แบบไม่เป็นทางการกับผู้บริหาร ครู ที่เกี่ยวข้องการจัดการเรียนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ



(ก) ห้องเรียนโรงเรียนบ้านหนองตะคลอง



(ข) ห้องเรียนโรงเรียนบ้านกระทุ่มราย

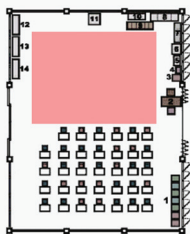
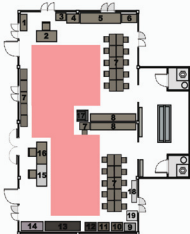
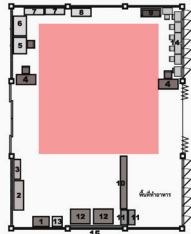
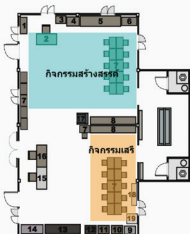
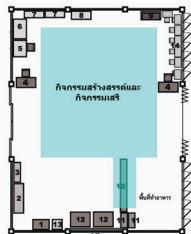
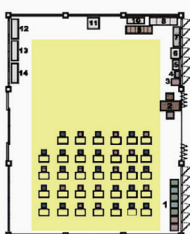
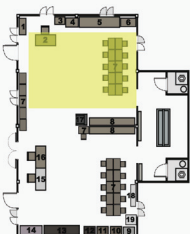
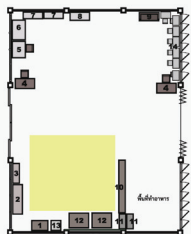
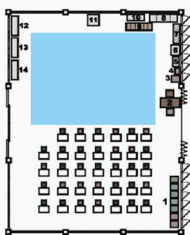
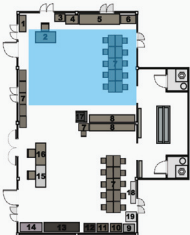
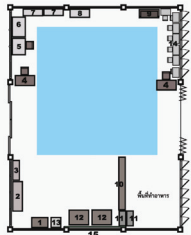


(ค) ห้องเรียนโรงเรียนบ้านหนองเด่น

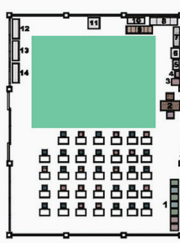
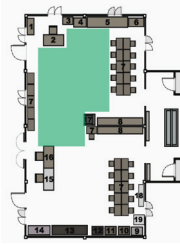
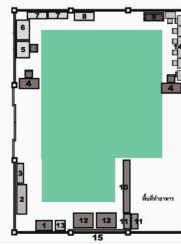
รูปที่ 1 สํารวจและเก็บรวบรวมข้อมูล

3. วิเคราะห์องค์ประกอบแนวทางการจัดการเรียนการสอนของเด็กปฐมวัย พฤติกรรม กิจกรรม การเรียนการสอนครูและเด็กปฐมวัยความคิดเห็นและทัศนคติผู้บริหาร ครูที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียน การสอน และการวิเคราะห์เปรียบเทียบการใช้พื้นที่ของกิจกรรมในห้องเรียนเด็กปฐมวัย ดังตารางที่ 2 ขนาดพื้นที่ใช้สอยภายในห้องเรียนความสัมพันธ์การวิเคราะห์ สภาพแวดล้อมภายในห้องเรียนเด็กปฐมวัย ดังตารางที่ 3

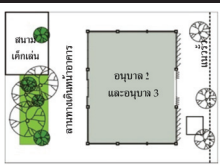
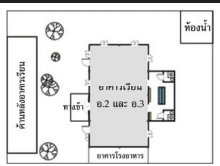
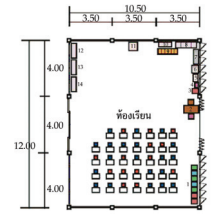
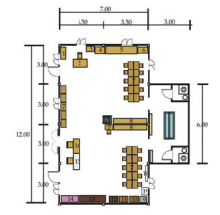
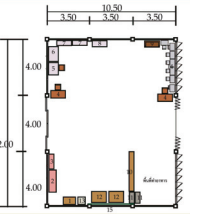
ตารางที่ 2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบการใช้พื้นที่ของกิจกรรมในห้องเรียนเด็กปฐมวัย

โรงเรียน	หนองตะคลอง	บ้านกระทุ่มราย	บ้านหนองเคี่ยน
เคลื่อนไหวและจังหวะ			
ขนาดพื้นที่	30 ตรม.	26 ตรม.	47 ตรม.
กิจกรรมศิลปะ และสร้างสรรค์			
ขนาดพื้นที่ กิจกรรมสร้างสรรค์ กิจกรรมเสรี	37 ตรม. 6 ตรม.	24.50 ตรม. 12.50 ตรม.	พื้นที่เดียวกัน 51 ตรม.
กิจกรรม เสริมประสบการณ์			
ขนาดพื้นที่	63 ตรม.	24.50 ตรม.	25 ตรม.
กิจกรรมกลางแจ้ง	นอกห้องเรียน	นอกห้องเรียน	นอกห้องเรียน
กิจกรรมเกมการศึกษา			
ขนาดพื้นที่	24 ตรม.	24.50 ตรม.	47 ตรม.

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบการใช้พื้นที่ของกิจกรรมในห้องเรียนเด็กปฐมวัย (ต่อ)

โรงเรียน	หนองตะคลอง	บ้านกระทุ่มราย	บ้านหนองเคี่ยน
กิจกรรมการนอนกลางวัน			
ขนาดพื้นที่	20 ตรม.	19 ตรม.	87 ตรม.

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายในห้องเรียนเด็กปฐมวัย

	บ้านหนองตะคลอง	บ้านกระทุ่มราย	บ้านหนองเคี่ยน
ผังห้องเรียน			
ลักษณะห้องเรียน			
ลักษณะอาคาร	อาคารโรงฝึกงาน ห้องเรียน ลักษณะก่ออิฐฉาบปูนชั้นเดียว	ก่ออิฐฉาบปูนชั้นเดียว	ก่ออิฐฉาบปูนชั้นเดียว
พื้นที่	10.50 x 12.00 = 126 ตรม.	7.00 x 12.00 = 96.00 ตรม.	10.50 x 12.00 = 126 ตรม.
ความสูงห้อง	3 ม.	3 ม.	3 ม.
พื้น	กระเบื้องขนาด 0.30 x 0.30 ม. สีน้ำตาลลายไม้	กระเบื้องขนาด 0.30 x 0.30 ม. สีโทนครีมสลับขาวลายเส้นกลม	กระเบื้องขนาด 0.30 x 0.30 ม. สีขาวฟ้าลายแกรนิต
ผนัง	ก่ออิฐฉาบปูนทาสีขาว	ก่ออิฐทาสีขาว	ก่ออิฐทาสีเขียวและผนัง ด้านทิศ 1 ด้าน มีวาดภาพ ระบายสีวิวทิวทัศน์
เพดาน	ไม่มีเพดานหลังคากระเบื้อง	ฝ้าทีบาร์ มีลายแปดเหลี่ยม	ไม่มีฝ้ามองเห็นโครงหลังคาเหล็ก
ประตู	กระงกบานเลื่อนและ แบบบานพับเหล็กแนวตั้ง	ไม้อัดทาสีขาว 2 บาน และประตูกระงกใสบานเปิดคู่	บานเหล็กมีฉนวนเก็บด้านบน
หน้าต่าง	บานเปิดเหล็กทาสีฟ้า/ ไม่มีม่าน	ไม้ทาสีโอ๊กเข้ม/ไม่มีม่าน	บานเหล็กทาสีขาว/ไม่มีม่าน

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายในห้องเรียนเด็กปฐมวัย (ต่อ)

	บ้านหนองตะคลอง	บ้านกระทุ่มราย	บ้านหนองเคี่ยน
ช่องแสง	กระจกและตะแกรงลวดโปร่ง	ช่องแสงอิฐบล็อก	กระจกใสสลัตะแกรงลวด
ระบบส่องสว่าง	ฟลูออเรสเซนต์ 2 จุด	ฟลูออเรสเซนต์ 4 จุด	ฟลูออเรสเซนต์ 1 จุด
เครื่องเรือน	เครื่องเรือนแบบติดริมผนัง ลักษณะลอยตัว วัสดุทำจากและ ไม้อัด ไม้อัด และชุดสำเร็จ แบบตู้ชั้นเตี้ยที่มีช่อง ใส่ของลิ้นชัก	เครื่องเรือนทำจากไม้อัด พลาสติกเป็นลักษณะ ตู้เตี้ยแบบมีช่องใส่ของ มีแบบตู้สูงบานเปิดกระจกใส วางชิดผนัง	เครื่องเรือนทำจากไม้อัด ไม้จริงทำสี ชุดคู่สำเร็จรูป ลักษณะตู้เตี้ยแบบมีช่องใส่ของ แบบเป็นบานเปิดตั้งอยู่ บริเวณริมผนังรอบห้อง

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลมิติของการประเมินสภาพห้องเรียนที่ส่งเสริมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ มีดังนี้ ด้านการจัดพื้นที่กิจกรรมพบว่า พื้นที่และการจัดประสบการณ์ภายในห้องเรียนที่มีความสอดคล้องกับหลักสูตรที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ คือ มุมประสบการณ์คิดเป็นร้อยละ 94.40 ลักษณะการจัดพื้นที่ส่วนกิจกรรมเสรีหรือการเล่ตามมุมพบว่า การจัดแบบกลุ่มย่อยตามมุมห้องที่ครูจัดให้มีระเบียบคิดเป็นร้อยละ 66.7 การจัดพื้นที่ส่วนกิจกรรมบล็อก/มุมประสบการณ์และทางสัญจร การจัดพื้นที่ส่วนกลางเป็นส่วนนอกประสงค์สามารถปรับเปลี่ยนกิจกรรมได้ เช่น ใช่วางโต๊ะเรียน นอนและบริเวณรอบห้องมีชั้นเก็บอุปกรณ์คิดเป็นร้อยละ 52.80 การจัดพื้นที่ส่วนกิจกรรมเสริมประสบการณ์ แบบเป็นนั่งพื้นครึ่งวงกลมคิดเป็นร้อยละ 47.20 ภายในห้องเรียนที่สามารถปรับเปลี่ยนสร้างสภาพแวดล้อมภายในห้องเรียนเพื่อช่วยบรรยากาศของห้องเรียนสอดคล้องกับการเรียนแบบเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญพบว่า มุมประสบการณ์ เช่น มุมหนังสือ มุมบล็อก คิดเป็นร้อยละ 94.40 โดยสิ่งแวดล้อมภายในห้องเรียนที่จะกระตุ้นให้ครูและเด็กนักเรียนรู้สึกมีชีวิตชีวพบว่า ที่มุมประสบการณ์และเรื่องความสะอาดมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 83.30 รองลงมาคือ ความมีระเบียบเรียบร้อยคิดเป็นร้อยละ 58.30 ส่วนจัดนิทรรศการที่ปรับเปลี่ยนตามฤดูกาลคิดเป็นร้อยละ 58.30 การจัดการเรียนการสอนคิดเป็นร้อยละ 55.00

4. ออกแบบการจัดพื้นที่ภายในห้องเรียนเด็กปฐมวัยที่สอดคล้องกับธรรมชาติและชุมชน ในท้องถิ่นพัฒนาเด็กปฐมวัยเต็มตามศักยภาพด้านร่างกาย อารมณ์ สังคมจิตใจ และสติปัญญา

5. นำผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแนวทางการจัดการเรียนการสอนของเด็กปฐมวัยนำข้อมูลไปใช้ แนวทางการจัดพื้นที่ภายในห้องเรียนเด็กปฐมวัยที่ส่งเสริมกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการวิจัย

1. ปัจจัยที่มีผลต่อการจัดพื้นที่ภายในห้องเรียนเด็กปฐมวัยที่ส่งเสริมกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ

1.1 กิจกรรมประจำวันที่ครูผู้สอนต้องจัดประสบการณ์เรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ เด็กนักเรียนมีส่วนร่วมในการวางแผนกิจกรรมสามารถปฏิบัติด้วยตนเองและมีส่วนร่วมในการประเมินผล ครูต้องลดบทบาทในห้องเรียนลงแต่อำนวยความสะดวก ในการเข้าถึงการเรียนรู้ให้กับ

เด็กนักเรียน และกิจกรรมเด็กใช้ประสาทสัมผัสทั้ง 5 ได้แก่ การสัมผัส มองเห็น ชิมรส การฟังและดมกลิ่น เด็กได้เคลื่อนไหวอิสระอย่างมีความสุข ซึ่งทุกกิจกรรมหลักตามหลักสูตรปฐมวัย ประกอบด้วย กิจกรรมเคลื่อนไหวและจังหวะ กิจกรรมเสริมประสบการณ์ กิจกรรมศิลปะสร้างสรรค์ กิจกรรมเสรีหรือเล่นตามมุม และกิจกรรมเกมการศึกษา สามารถจัดประสบการณ์เรียนรู้ตามลักษณะการเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญได้ทุกกิจกรรม โดยมีกิจกรรมเสรีหรือเล่นตามมุมเป็นกิจกรรมที่เด็กได้แสดงตัวตนและเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญมากที่สุด

1.2 การจัดวางผังพื้นที่ภายในห้องเรียนต้องมีความสอดคล้องและสัมพันธ์กับกิจกรรมการเรียนรู้ โดยสามารถรองรับมุมประสบการณ์ของกิจกรรมเสรีหรือเล่นตามมุม และกิจกรรมการเรียนรู้ตามหลักสูตรปฐมวัยแบ่งพื้นที่ได้เป็น 4 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1 พื้นที่ครูประกอบด้วย โต๊ะทำงานครู 2 ท่าน พร้อมทั้งชั้นวางอุปกรณ์เอกสารการสอน อยู่บริเวณใกล้ทางเข้าห้องเรียน ชั้นเก็บงานเด็ก รวมประมาณ 4 ชั้น บอร์ดเคลื่อนที่ รวมใช้พื้นที่ประมาณ 6.50 ตารางเมตร (คิดจากพื้นที่ทำงานครูต่อคน 0.36 ตารางเมตร รวมพื้นที่สัญญาณ 0.10 ตารางเมตร $\times 2$ คน = 0.46 ตารางเมตร และรวมพื้นที่ชั้นเก็บของประมาณ 1.80 ตารางเมตร รวมเป็น 6.50 ตารางเมตร)

ส่วนที่ 2 พื้นที่เก็บของส่วนตัวเด็ก (คิดจากชั้นเก็บกระเป๋าเครื่องเรือน 0.40 ตารางเมตร $\times 3$ ชั้น = 1.20 ตารางเมตร) รวมทางสัญญาณ และพื้นที่คิมน้ำรวมเป็น 3 ตารางเมตร

ส่วนที่ 3 พื้นที่สำหรับกิจกรรมเสรีหรือเล่นตามมุมที่จัดวางมุมประสบการณ์ต่าง ๆ มีความสัมพันธ์มากที่สุดกับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อตอบสนองพัฒนาการตามวัยที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ มุมประสบการณ์ที่ควรมีภายในห้องเรียนอย่างน้อย 5 มุม คือ 1) มุมหนังสือเป็นมุมสำหรับการอ่านหนังสือที่เหมาะสมกับวัยหรือหนังสือนิทานท้องถิ่น โดยชั้นวางหนังสือมีลักษณะวางแบบไขว้หน้าปกและความสูงระดับเด็กเลือกหยิบอ่านได้ ภายในมุมประกอบด้วย ส่วนนั่งอ่านอิสระ 2) มุมบล็อกสำหรับการเล่นของเล่นไม้บล็อกและอุปกรณ์ประกอบการเล่น ซึ่งวัสดุอาจประยุกต์ทำได้จากท้องถิ่นการจัดวางบนชั้นวางให้เด็กเลือกเล่นตามความสนใจ 3) มุมบ้านสมมติ/บทบาทสมมติสำหรับการเล่นของเด็ก ลักษณะเหมือนเล่นอยู่ในบ้าน โดยสมมติว่าตนเองเป็นบุคคลในครอบครัวมีอุปกรณ์ของเล่นให้เลือกเล่น เช่น บ้านเล่นสมมติ ตุ๊กตา เครื่องครัวจำลอง เสื้อผ้า 4) มุมดนตรีสำหรับที่จัดวางเครื่องดนตรี ประเภทเคาะ ตี ด สี เป่า เด็กเลือกหยิบเล่นอย่างอิสระโดยต้องจัดมุมให้อยู่ไกลจากมุมที่ไม่ใช่เสียงเพราะเวลาเล่นจะเกิดเสียงรบกวน 5) มุมเกมการศึกษา/เครื่องเล่นสัมผัส โดยพื้นที่สำหรับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของเด็กมีอัตราส่วน 2 ตารางเมตรต่อเด็ก 1 คน เป็นอย่างน้อยโดยในแต่ละมุมจะใช้พื้นที่ประมาณ 1 ตารางเมตร (คิดจากชั้นจำนวน 2 ชั้น $0.40 \times 0.90 \times 2 = 0.72$ บวกทางสัญญาณ $0.36 = 1.08$ ตารางเมตร) ดังนั้น 5 มุมจะใช้พื้นที่ประมาณ 8 ตารางเมตร การจัดวางมุมเครื่องเรือนประสบการณ์สามารถวางแบบขวางเพื่อให้เกิดมุมพื้นที่

ส่วนที่ 4 คือที่ว่างกลางห้อง ซึ่งเป็นพื้นที่นั่งเรียน นอน รับประทานอาหาร และจัดกิจกรรมการเรียนรู้ คือ กิจกรรมเคลื่อนไหวและจังหวะ กิจกรรมเสริมประสบการณ์ กิจกรรมศิลปะสร้างสรรค์ และกิจกรรมเกมการศึกษา ใช้พื้นที่ประมาณ 72 ตารางเมตร (คิดจากจำนวนเด็ก 36 คน ใช้คนละ 2 ตารางเมตร รวมพื้นที่สัญญาณ)

1.3 ลักษณะเครื่องเรือน ควรเป็นเครื่องเรือนลักษณะลอยตัวทั้งหมดมีขนาดเหมาะสมกับเด็ก น้ำหนักเบาและปลอดภัยเลือกวัสดุที่ปลอดภัยต่อเด็ก ส่วนใหญ่ทำจากวัสดุไม้อัดปิดผิวลามิเนตทาสีกันและไม้ธรรมชาติทาสีกันสนิม เช่น ฟ้า ชมพู เขียว และวัสดุที่มีในท้องถิ่นมาใช้ประกอบกิจกรรมการเรียนรู้ เครื่องเรือนหลักมีดังนี้

1) โต๊ะเรียนเด็กต้องมีขนาดและรูปแบบที่เหมาะสมกับเด็ก โดยมีน้ำหนักเบาเคลื่อนย้ายได้สะดวกสามารถจัดเป็นกลุ่มตามความเหมาะสมของกิจกรรม สรุปลักษณะโต๊ะเรียนสำเร็จรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบกลุ่ม 6 ที่นั่ง กว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 120 - 150 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร เก้าอี้มีขนาดกว้าง 25 เซนติเมตร ยาว 28 เซนติเมตร ความสูงระยะนั่ง 26 - 30 เซนติเมตร และพนักพิง 64 เซนติเมตร กระดานสามารถเคลื่อนที่อิสระตามกิจกรรมการเรียนรู้ได้

2) เครื่องเรือนประเภทชั้นวางที่นอนและอุปกรณ์ ไม่ควรมีเหลี่ยมและมุม น้ำหนักเบาสามารถเคลื่อนย้ายปรับเปลี่ยนตำแหน่งได้สะดวก สอดคล้องกับกิจกรรมการเรียนรู้พัฒนาการเด็กปฐมวัย ลักษณะชั้นเป็นช่องเปิดโล่งไม่มีบานปิดทึบ เด็กหยิบเก็บมองเห็นอุปกรณ์ที่ใช้ในชั้นได้ ความกว้างประมาณ 30-50 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 120-150 เซนติเมตร ความสูงประมาณ 90 เซนติเมตร หรือไม่เกินความสูงระดับขอบล่างของหน้าต่าง ชั้นเก็บกระเป๋าลักษณะช่องเก็บ 16 ช่อง ขนาดความกว้างประมาณ 40 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 180 เซนติเมตร ความสูงประมาณ 80 - 120 เซนติเมตร

3) ตู้เก็บเอกสารสำหรับการสอนของครูวัสดุทำจากเหล็ก ลักษณะบานเลื่อนกระจกใสและแบบบานเลื่อนทึบ และตู้เก็บเอกสารแบบบานทึบ ความสูงตั้งแต่ 80 - 180 เซนติเมตร และโต๊ะ เก้าอี้ทำงานครูเป็นเครื่องเรือนสำเร็จทำจากไม้

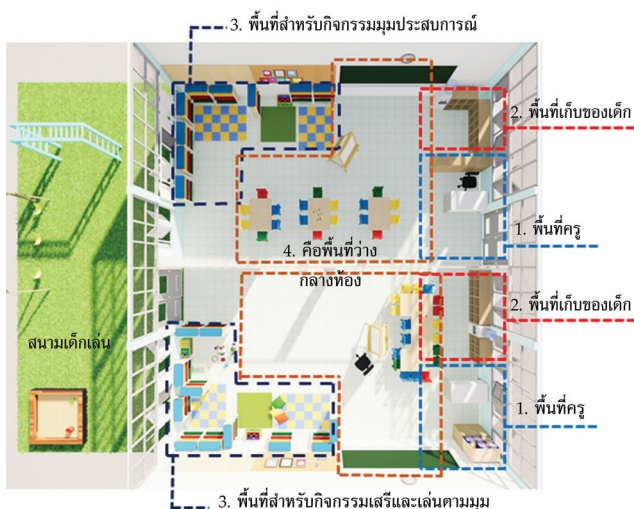
2. แนวทางการจัดพื้นที่ภายในห้องเรียนเด็กปฐมวัยที่ส่งเสริมกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ

2.1 การจัดพื้นที่ภายในห้องเรียนเด็กปฐมวัยที่ส่งเสริมกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียน

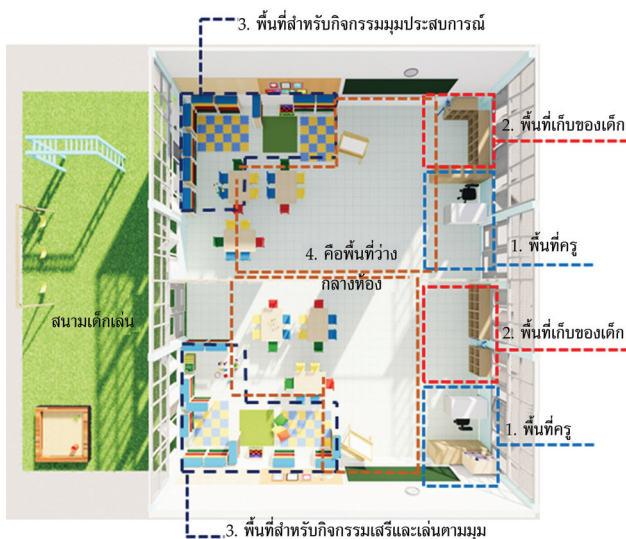
ลักษณะห้องเรียนเด็กปฐมวัยเพื่อใช้ในการออกแบบสถาปัตยกรรมภายใน จากการศึกษากรณีศึกษาขนาดห้องเรียนจริงของโรงเรียนจำนวน 3 แห่ง พบว่าทั้ง 3 โรงเรียนมีห้องเรียนขนาดความกว้าง 7.00 - 10.50 เมตร ความยาว 12 เมตร ลักษณะเป็นอาคารอเนกประสงค์ ซึ่งใช้การเรียนรวม 2 ชั้นปี ระดับอนุบาล 2 จำนวนนักเรียน 18 คน และระดับอนุบาล 3 จำนวนนักเรียน 18 คน รวมจำนวน 36 คน จากการศึกษาพบว่า นักเรียนแต่ละชั้นปีไม่เกิน 20 คน ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงสรุปเป็นห้องเรียนรูปแบบอาคารที่ดัดแปลงจากอาคารอเนกประสงค์ของโรงเรียน ขนาดกว้าง 10.50 เมตร ยาว 12 เมตร ห้องมีทางเข้าออก 2 ทาง โดยเป็นทางเข้าหลักและทางออกสู่สนามเด็กเล่นและห้องน้ำอยู่ตรงข้ามกันมีหน้าต่างอยู่ 2 ด้านของผนังข้าง ประตู และมีผนังทึบ 2 ด้าน ห้องมีความสูง 3 เมตร ตามลำดับ

เสนอแนวทางการจัดพื้นที่ภายในห้องเรียนเด็กปฐมวัยไว้ 1 แนวทางที่สามารถปรับการใช้พื้นที่ให้สอดคล้องกับกิจกรรมประจำวันได้ โดยการออกแบบให้มีผนังกันแบ่งพื้นที่กลางห้องลักษณะปรับเลื่อนเปิดและปิดได้เพื่อรองรับกิจกรรมการเรียนรู้ของชั้นเรียน 2 ระดับ คือ อนุบาล 2 และ อนุบาล 3 การกันห้องไม่เน้นปิดกั้นเสียงแต่เป็นการปิดมุมมองในบางกิจกรรม พื้นที่ภายในห้องทั้ง 2 มีการจัดวางคล้ายกัน คือ มีพื้นที่โล่งตอนกลางห้องและตำแหน่งโต๊ะครูทั้งอนุบาล 2 และ 3 อยู่ใกล้ประตูทางเข้ามีส่วนอุปกรณ์ครูและถัดไปเป็นส่วนเก็บกระเป๋าและเครื่องนอนของเด็ก โดยตรงข้ามพื้นที่ดังกล่าวจัดเป็นมุมประสบการณ์ของกิจกรรมเสรีหรือเล่นตามมุมที่ออกแบบให้สามารถปรับสร้างพื้นที่มุมจำลองประสบการณ์ได้และชั้นวางสื่ออุปกรณ์ควรมีน้ำหนักเบาเคลื่อนย้ายปรับเปลี่ยนตำแหน่งที่ตั้งให้เกิดมุมกิจกรรมสอดคล้องกับการเรียนรู้ที่หลากหลายรูปแบบ ซึ่งข้อดีของแนวทางที่เสนอเป็นการจัดพื้นที่สอดคล้องกับลำดับของพฤติกรรมการเรียนรู้ประจำวันของเด็กและทำให้มีความต่อเนื่องกับการใช้งานของครูต่อการปรับเปลี่ยนบรรยากาศและทำให้ง่ายต่อการจัดมุมประสบการณ์ โดยแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2

เป็นฟังก์ชันเดียวกันที่นำเสนอการจัดพื้นที่ภายใน เน้นให้ปรับเปลี่ยนตำแหน่งเครื่องเรือนลอยตัวประเภท โต๊ะเรียน และบอร์ดเคลื่อนที่ได้สะดวกเพื่อรองรับกิจกรรมการเรียนรู้การสอนและเกิดความเหมาะสมกับการจัดกิจกรรมรายบุคคลกิจกรรมกลุ่มย่อยและกลุ่มใหญ่



(ก) ตัวอย่างการจัดผังห้องเรียนแบบที่ 1



(ข) ตัวอย่างการจัดผังห้องเรียนแบบที่ 2

รูปที่ 2 ฟังก์ชันเรียนที่สามารถจัดพื้นที่ให้สอดคล้องต่อกิจกรรมหลากหลายรูปแบบ

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบลักษณะกิจกรรมต่อการใช้พื้นที่ของห้องเรียนและแนวทางการจัดพื้นที่ภายในห้องเรียนเด็กปฐมวัยที่ส่งเสริมกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ

กิจกรรม	ลักษณะกิจกรรมและการใช้พื้นที่ของห้องเรียนปัจจุบัน	ลักษณะห้องเรียนปฐมวัยที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ ภาพเสนอแนะแนวทางการออกแบบ
1. กิจกรรมเคลื่อนไหวและจังหวะ	 ห้องเรียนมีการจัดวางเครื่องเรือนกีดขวางกิจกรรมเคลื่อนไหวและจังหวะทำให้บางครั้งเกิดความไม่คล่องตัว	 ออกแบบมีพื้นที่ว่างกลางห้องเพื่อรองรับกับกิจกรรมการเคลื่อนไหวของเด็ก นำเครื่องเรือนมาจัดวางตำแหน่งไว้ริมผนังทั้งหมดเด็กนักเรียนนำเดินตามจังหวะหรือบทเพลง และอาจมีอุปกรณ์อื่น ๆ เสริมกับกิจกรรม เช่น เครื่องดนตรีประกอบ
2. กิจกรรมเสริมประสบการณ์	 ลักษณะห้องเรียนร่วม 2 ระดับชั้นทำให้ครูผู้สอนจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบนั่งเรียนรวมกัน ซึ่งอาจเกิดปัญหาในเรื่องความสนใจต่อผู้สอน	 ใช้พื้นที่ว่างกลางห้อง หรือมุมในห้อง โดยส่วนใหญ่เด็กนั่งพื้นเป็นครึ่งวงกลม ครูใช้กระดานเคลื่อนที่ประกอบการเล่าหรือกรณีครูสนทนาพร้อมสาธิตโดยใช้โต๊ะเตี้ยประกอบ ปรับการนั่งให้สอดคล้องกับพื้นที่กิจกรรม เช่น เล่านิทาน ท่องกลอน ทดลองหรือสนทนาประสบการณ์

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบลักษณะกิจกรรมต่อการใช้พื้นที่ของห้องเรียนและแนวทางการจัดพื้นที่ภายในห้องเรียนเด็กปฐมวัยที่ส่งเสริมกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ (ต่อ)

กิจกรรม	ลักษณะกิจกรรมและการใช้พื้นที่ของห้องเรียนปัจจุบัน	ลักษณะห้องเรียนปฐมวัยที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ ภาพเสนอแนะแนวทางการออกแบบ
3. กิจกรรมศิลปะสร้างสรรค์	 เด็กทำกิจกรรมศิลปะที่พื้น และบนโต๊ะ ในบริเวณกลางและนั่งริมห้อง ลักษณะแยกเดี่ยวและนั่งเป็นกลุ่มตามโจทย์ที่ครูให้ลักษณะงานมีทั้งวาดภาพ ระบายสี ปั้นดินน้ำมัน และประดิษฐ์ เป็นต้น	 ออกแบบห้องเน้นให้เหมาะกับกิจกรรมสร้างสรรค์ คือ เด็กสามารถนั่งทำงานด้วยตนเองบนพื้น หรือบนโต๊ะที่มีน้ำหนักเหมาะสมกับการปรับตำแหน่งจัดวางเป็นกลุ่มเด็ก ๆ ร่วมกันถามตอบ สัมผัสของจริงโดยใช้ประสาทสัมผัสทั้ง 5 คิดผลงานการสอนที่บอร์ดหรือผนังผลงานศิลปะของเด็กได้ทุกชั้น
4. กิจกรรมเสรีหรือเล่นตามมุม	 ภายในห้องเรียนไม่มีการจัดวางเครื่องเรือนให้เกิดมุมประสบการณ์ มีชั้นวางริมผนังที่เคลื่อนย้ายไม่สะดวกทำให้ไม่เกิดมุมส่วนตัวและสอดคล้องกับการเล่นตามมุม	 ช่วงกิจกรรมเกมการศึกษาที่มีกติกาง่าย ๆ เช่น เกมจับคู่ เกมแยกประเภท เรียงลำดับโดมิโน ลอตโต ภาพตัดต่อ เป็นต้น เด็กสามารถนั่งเล่นเกม บนโต๊ะหรือนั่งบนพื้นได้ โดยเล่นคนเดียวหรือเป็นกลุ่ม

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบลักษณะกิจกรรมต่อการใช้พื้นที่ของห้องเรียนและแนวทางการจัดพื้นที่ภายในห้องเรียนเด็กปฐมวัยที่ส่งเสริมกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ (ต่อ)

กิจกรรม	ลักษณะกิจกรรมและการใช้พื้นที่ของห้องเรียนปัจจุบัน	ลักษณะห้องเรียนปฐมวัยที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ ภาพเสนอแนะแนวทางการออกแบบ
5. กิจกรรมเกมการศึกษา	 เด็กร่วมทำกิจกรรมการเล่น เกม ทั้งบนพื้นและบนโต๊ะ แต่ขนาดและลักษณะโต๊ะอาจไม่เหมาะสมรองรับกับกิจกรรมเพื่อเป็นทางเลือกในการนั่ง เนื่องจากเกมสามารถนั่งเล่นทั้งบนโต๊ะและบนพื้นได้	 ออกแบบให้มีมุมสำหรับจัดวางชั้นวางประสบการณ์ให้เกิดพื้นที่เล่น โดยเป็นกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้เด็กสามารถเลือกเล่นอย่างอิสระเสรีตามความสนใจ ลักษณะเล่นบทบาทสมมติแบบรายบุคคลและเป็นกลุ่ม โดยมุมที่จัดวางจะอยู่บริเวณริมผนังสามารถนำชั้นวางจัดวางกันให้เกิดพื้นที่ส่วนตัวของมุมประสบการณ์ ควรมีป้ายระบุชื่อมุมและประดับตกแต่งด้วยวัสดุที่สอดคล้องกับสภาพท้องถิ่น

จากตารางที่ 4 พบลักษณะกิจกรรมประจำวันของครูผู้สอนที่มีความสามารถในการใช้พื้นที่สอนตามสภาพแวดล้อมในห้อง แต่เนื่องจากการจัดวางเครื่องเรือนยังมีความไม่สอดคล้องกับการใช้พื้นที่ และเกิดความทับซ้อนในการเรียนร่วมของนักเรียน สองระดับชั้น จึงเสนอแนวทางการออกแบบภายในห้องเรียนเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการจัดการเรียนการสอนโดยการปรับวางตำแหน่งของเครื่องเรือนเพื่อให้สอดคล้องกับกิจกรรมเสนอแนะให้ผนังส่วนกลางสามารถเลื่อนได้เพื่อสะดวกในการใช้พื้นที่ของสองระดับชั้น แต่การปรับยังใช้หลักของการแบ่งพื้นที่เป็น 4 ส่วนคือ พื้นที่ครู พื้นที่เก็บของ ส่วนตัวเด็ก พื้นที่กิจกรรมเสรีและเล่นตามมุมที่จัดวางมุมประสบการณ์ และพื้นที่ว่างกลางห้องโดยเสนอแนวทางการจัดพื้นที่ตาม 5 กิจกรรม ของการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ ออกแบบให้ห้องมีความโปร่งโล่งระบายอากาศได้ดีโดยจัดเน้นวางเครื่องเรือนไว้รอบริมห้องส่วนผนังที่ติดกระดานดำและบอร์ดที่ติดโชว์ผลงานของเด็ก และมีกระดานเคลื่อนที่เพื่อปรับเปลี่ยนตำแหน่งการสอนให้เข้ากับกิจกรรมที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ

อภิปรายผล

การจัดพื้นที่ภายในห้องเรียนเด็กปฐมวัยที่ส่งเสริมกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญจะกระตุ้นความสนใจและการเรียนรู้ประสบการณ์ในสิ่งแวดล้อมภายในห้องเรียนสม่ำเสมอ เด็กได้มีปฏิสัมพันธ์กับ

สิ่งแวดล้อมหลากหลายสร้างบรรยากาศสถานการณ์เรียนรู้ท้าทายไม่จำเจ โดยใช้เครื่องเรือนที่เคลื่อนย้ายปรับเปลี่ยนตำแหน่งได้เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ เน้นพัฒนาการ และธรรมชาติของเด็กพัฒนาผู้เรียนด้านร่างกายอารมณ์ สังคมจิตใจ และสติปัญญา ลักษณะโต๊ะเรียนน้ำหนักเบา เคลื่อนย้ายได้ และการปรับเปลี่ยนตำแหน่งสะดวกสามารถจัดเป็นกลุ่มย่อยและกลุ่มใหญ่ ลักษณะการจัดวางหลากหลายรูปแบบตามความเหมาะสมของกิจกรรม ลักษณะโต๊ะรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบกลุ่ม 6 ที่นั่ง มีขนาดกว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 120 - 150 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร เก้าอี้มีขนาดกว้าง 25 เซนติเมตร ยาว 28 เซนติเมตร ความสูงระยะนั่ง 26 - 30 (64 เซนติเมตร พนักพิง) [11] และอาจเสริมด้วยโต๊ะเตี้ยแบบนั่งพื้นสภาพห้องเรียนที่เอื้อต่อการเรียนรู้ลักษณะการเรียนการสอนบรรยากาศภายในการเรียนมีความสะดวกยืดหยุ่นต่อการใช้งานด้วยโต๊ะเก้าอี้แบบเบาสะดวกต่อการเคลื่อนย้าย ด้านบรรยากาศภายในห้องเรียนควรสะอาดปลอดภัยและดูเป็นมิตรมีชีวิตชีวา โทนสีภายในห้องควรเป็นโทนสีอ่อนแนวสีธรรมชาติ นอกห้องเรียนมีพื้นที่ว่างรองรับกิจกรรมการเคลื่อนไหว เพื่อรองรับกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ การเลือกวัสดุที่ประกอบกิจกรรมการเรียนรู้ และวัสดุตกแต่งควรเน้นธรรมชาติปลอดภัยและมีในท้องถิ่นใช้ [12] การจัดสภาพภายในห้องเรียนต้องมีมุมประสบการณ์ของกิจกรรมอย่างน้อย 4 มุม ขึ้นวางอุปกรณ์จัดวาง ลักษณะแบบเปิดเป็นช่องโล่งไม่มีบานปิดทึบ สามารถหยิบเก็บและมองเห็นอุปกรณ์ที่ใช้ในชั้นได้ ชั้นควรมีน้ำหนักเบา เคลื่อนย้ายสะดวกความสูงประมาณ 90 - 120 เซนติเมตร มุมประสบการณ์ ได้แก่ มุมบล็อก มุมบ้านสมมติหรือมุมบทบาทสมมติ มุมหนังสือ มุมดนตรี เป็นต้น ครูและเด็กมีปฏิสัมพันธ์ร่วมกันเพื่อให้การพัฒนาการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญเต็มศักยภาพการสร้างและจัดหาอุปกรณ์เครื่องเล่น เครื่องสนามจากทรัพยากรธรรมชาติท้องถิ่นวัสดุเหลือใช้อย่างมีคุณภาพ

บทสรุป

แนวทางการจัดพื้นที่ภายในห้องเรียนเด็กปฐมวัยที่ส่งเสริมกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ การจัดวางผังพื้นที่ภายในห้องเรียนมีความสอดคล้องและสัมพันธ์กับกิจกรรมการเรียนรู้เสนอไว้ 1 แนวทาง เป็นลักษณะที่สามารถปรับเปลี่ยนผังภายในห้องให้สอดคล้องกับกิจกรรมประจำวันทั้ง 5 กิจกรรม โดยแบ่งพื้นที่ 4 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 พื้นที่ครู ขึ้นวางอุปกรณ์เอกสารการสอนพื้นที่ประมาณ 6.50 ตารางเมตร ส่วนที่ 2 พื้นที่เก็บของส่วนตัวเด็กประมาณ 7 ตารางเมตร และพื้นที่คั่นน้ำ 3 ตารางเมตร ส่วนที่ 3 พื้นที่สำหรับกิจกรรมเสรี และเล่นตามมุมที่จัดวางมุมประสบการณ์ต่าง ๆ มีความสัมพันธ์มากที่สุดกับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อตอบสนองพัฒนาการตามวัยที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ พื้นที่ประมาณ 7.50 ตารางเมตร และส่วนที่ 4 ที่ว่างกลางห้อง พื้นที่นั่งเรียน นอน รับประทานอาหาร จัดกิจกรรมการเรียนรู้และกิจกรรมเคลื่อนไหวและจังหวะ กิจกรรมเสริมประสบการณ์ กิจกรรมศิลปะสร้างสรรค์ กิจกรรมเกมการศึกษา พื้นที่ประมาณ 72 ตารางเมตร ลักษณะเครื่องเรือนลอยตัว ขนาดเหมาะสมกับเด็ก น้ำหนักเบา และปลอดภัยเลือกวัสดุที่ปลอดภัยต่อเด็กส่วนใหญ่ทำจากวัสดุไม้อัดปิดผิวลามิเนตหลากหลายสีและไม้ธรรมชาติทาสีสนสไต และวัสดุที่มีในท้องถิ่นมาใช้ประกอบกิจกรรมการเรียนรู้ โต๊ะเรียน ขนาดและรูปแบบที่เหมาะสม น้ำหนักเบาเคลื่อนย้ายได้สะดวกจัดเป็นกลุ่มตามความเหมาะสมของกิจกรรม กระดานสามารถเคลื่อนที่อิสระ เครื่องเรือนประเภทชั้นวางที่นอน และอุปกรณ์ไม่ควรมีเหลี่ยม และมุมน้ำหนักเบา สามารถเคลื่อนย้ายปรับเปลี่ยนตำแหน่งได้ง่ายสะดวก สอดคล้องกับกิจกรรมการเรียนรู้

พัฒนาเด็กปฐมวัย ลักษณะห้องเรียนเด็กปฐมวัยเพื่อใช้การออกแบบสถาปัตยกรรมภายในในกรณีศึกษา ขนาดห้องเรียนจริงของโรงเรียน จำนวน 3 แห่ง พบว่าทั้ง 3 โรงเรียนมีห้องเรียนขนาดกว้าง 7.00 - 10.50 เมตร ยาว 12.00 เมตร ลักษณะเป็นอาคารอเนกประสงค์ ห้องเรียนรูปแบบอาคารดัดแปลง อาคารอเนกประสงค์โรงเรียน ขนาดกว้าง 10.50 เมตร ยาว 12.00 เมตร ห้องมีทางเข้า ออก 2 ทาง โดยเป็นทางเข้าหลักและทางออกสู่สนามเด็กเล่น และห้องน้ำอยู่ตรงข้ามกันมีหน้าต่างอยู่ 2 ด้านของผนังข้าง ประตูมีผนังทึบ 2 ด้าน เสนอแนวทางการจัดพื้นที่ภายในห้องเรียนโดยการออกแบบให้มีผนังกันแบ่งพื้นที่ กลางห้องลักษณะปรับเปลี่ยนเปิดและปิดได้เพื่อรองรับกิจกรรมการเรียนรู้ของชั้นเรียน 2 ระดับ คือ อนุบาล 2 และอนุบาล 3 การกันห้องไม่เน้นปิดกันเสียงแต่เป็นการปิดมุมมองในบางกิจกรรม พื้นที่ภายในห้องทั้ง 2 ระดับชั้น การจัดวางคล้ายกันคือ มีพื้นที่โล่งตอนกลางห้อง

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะจากวิจัยพบว่าควรพัฒนาและปรับปรุงสภาพแวดล้อมภายในห้องเรียนด้านพื้นที่ให้เหมาะสม กับการจัดกิจกรรมห้องเรียน จัดหาโต๊ะ เก้าอี้ที่ไม่มีลักษณะเหลี่ยมมุม อันตรายต่อเด็ก และเหมาะสมกับ ระดับขนาดเด็กปฐมวัย วัสดุการเรียนการสอนที่สอดคล้องกับหลักสูตรส่งเสริมความร่วมมือกับชุมชน ในท้องถิ่น ควรจัดกิจกรรมการเรียนรู้สอดคล้องกับสภาพท้องถิ่น เด็กได้มีโอกาสฝึกฝนด้วยตนเองเหมาะสม การจัดกิจกรรมการเรียนรู้เข้าร่วมกับ 5 กิจกรรมประจำวันเพื่อพัฒนาการเรียนรู้ ความสัมพันธ์ของ สภาพแวดล้อมภายในและภายนอกห้องเรียนให้ส่งเสริมการจัดกิจกรรมที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ เพื่อพัฒนาร่างกายอารมณ์ สังคม จิตใจ และสติปัญญาเด็กปฐมวัยเต็มตามศักยภาพ และการศึกษา สภาพแวดล้อมภายในห้องเรียน ลักษณะการใช้วัสดุท้องถิ่นจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ความสัมพันธ์ระหว่าง สภาพแวดล้อมภายในกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและพัฒนาการแต่ละด้านของศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น

References

- [1] Ministry of Education. (1999). **National Education Act B.E. 2542 and Revision (Second Revision) B.E. 2545**. Bangkok: Kurusapa Ladprao Printing Press
- [2] Pinyoanuntapong, S. (2002). **Environment for Early Childhood**. Bangkok: Curriculum and Instruction Department, Srinakharinwirot University; Prasanmitr
- [3] Vorakitphokatorn, S. and Maungmasl, R. (2010). **The Manual of Ayatana 6 Development in Early Childhood**. Bangkok: National Institute for Child and Family Development, Mahidol University
- [4] Chan-aim, S. (1998). **General Psychology**. Bangkok: Thai Wattana Panit Press
- [5] Suankaew, P. (1993). **Development Psychology and Early Childhood Care**. Bangkok: Duangkamol
- [6] Khammanee, T. (1999). Learning Management Based on Student-Centered Learning: CIPPA MODEL. **Journal of Education Studies**. Vol. 27, No. 3, pp. 1-17

- [7] Ra-Ngubtook, W. (1999). **The Lesson Plan of a Student-Centered Approach**. Bangkok: L.T. Press
- [8] Sattayatham, P. (2008). **Child Mental Health**. 7th Edition. Bangkok: Chulalongkorn University Press
- [9] Chitsing, S. (2007). **A Physical Interior Environment Design Guideline for Pre-School Babies' Home in Bangkok and Metropolitan Area**. A Thesis for the Degree of Master of Architecture, Interior Architecture, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
- [10] The Office of the National Primary Education Commission. (1998). **The Study of Classroom Arrangement within Media and Playing Center for Pre-Elementary Education**. Bangkok: Ministry of Education
- [11] Thaithani, P. (2007). **Nature of the Learners**. Nakhon Ratchasima: Faculty of Education, Nakhon Ratchasima Rajabhat University
- [12] Thorarit, K. (2008). **Environmental Interior Design of Art School for Early Childhood in Commercial Building**. A Thesis for the Degree of Master of Architecture, Interior Architecture, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

การพัฒนาระบบตรวจสอบย้อนกลับในห่วงโซ่อุตสาหกรรมถั่วลิสง
ตามมาตรฐานเกษตรไทย มกษ. 4702-2557

The Development of Traceability System in Peanut Industry Supply Chain with Thai Agricultural Standard: TAS 4702-2014

ธิติวัดน์ ตาคำ^{1*} สุรพล ใจวงศ์ษา² และจักรพงษ์ ชุ่มใจ³

Thitiwat Ta-Kham^{1*} Suraphon Chaiwongsar² and Jakkapong Chumjai³

Received: October 14, 2020; Revised: January 8, 2021; Accepted: January 13, 2021

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอผลการพัฒนาระบบตรวจสอบย้อนกลับถั่วลิสง ตามมาตรฐาน มกษ. 4702-2557 ของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ ใช้วิธีการวิจัยและพัฒนาซึ่งมีผู้ให้ข้อมูลจำนวน 10 ท่าน ประกอบด้วย เกษตรกร ผู้ประกอบการ นักวิชาการและเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร คัดเลือกผู้ให้ข้อมูล โดยวิธีการสุ่มแบบเฉพาะเจาะจง ใช้แบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล และใช้วิธีการเชิงคุณภาพในการวิเคราะห์และตีความหมาย ผลการศึกษาพบว่า ห่วงโซ่อุปทานในอุตสาหกรรมถั่วลิสง แบ่งได้เป็น 3 ระยะ คือ 1) การจัดการแหล่งผลิตถั่วลิสง 2) การรวบรวมและการตรวจสอบคุณภาพถั่วลิสง และ 3) การแปรรูปและการจำหน่ายถั่วลิสง ซึ่งจำแนกข้อมูลตามการใช้งานเป็น 7 กลุ่มข้อมูลคือ 1) แหล่งผลิตเมล็ดพันธุ์ 2) เกษตรกร 3) แหล่งรวบรวมผลผลิตถั่วลิสง 4) โรงงานกะเทาะถั่วลิสง 5) โรงงานแปรรูป 6) ห้องปฏิบัติการตรวจสอบสารอะฟลาทอกซิน และ 7) ผู้จำหน่ายผลิตภัณฑ์ การพัฒนาต้นแบบระบบ

¹ คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง

² คณะวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง

³ แผนกวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ วิทยาลัยเทคนิคลำปาง

¹ Faculty of Business Administration and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Lanna, Lampang

² Faculty of Sciences and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Lampang

³ Department of Information Technology, Lampang Technical College, Lampang

* Corresponding Author E - mail Address: Aj_Thitiwat@rmutl.ac.th

ตรวจสอบย้อนกลับในอุตสาหกรรมถั่วลิสง ดำเนินการตามวงจรการพัฒนาาระบบสารสนเทศ ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์และออกแบบระบบด้วยแผนภาพบริบท แผนภาพกระแสข้อมูล การประเมินผลการพัฒนาระบบโดยผู้มีส่วนเกี่ยวข้องจำนวน 37 ท่าน พบว่ามีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจต่อการใช้ระบบอยู่ในระดับมาก ซึ่งระบบสามารถช่วยตรวจสอบและติดตามข้อมูลผลิตภัณฑ์ถั่วลิสงตามมาตรฐาน มกษ. 4702-2557 ได้

คำสำคัญ : ระบบตรวจสอบย้อนกลับ; ถั่วลิสง; ห่วงโซ่อุปทาน; การพัฒนาระบบสารสนเทศ

Abstract

This research article presents the results of the development of the peanut traceability system according to TAS 4702-2014, the standard of National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standards. This study using research and development method and the key informants were 10 of farmers, entrepreneurs, academic and agricultural extension officers. The key informants were selected from the purposive sampling method, data were analyzed by using a semi-structured interview and a qualitative method to analyze and interpret the results. The finding pointed out that the peanut supply chain is divided into 3 chains: 1) peanut farm management 2) peanut collection and quality inspection 3) peanut processing and distribution. Meanwhile, the data to support peanut industry supply chain is classified into 7 groups: 1) source of peanut seeds 2) farmers 3) peanut gathering 4) peanut bark factory 5) processing factory 6) laboratory and 7) retailers. The system analysis and design are presented by context diagram and data flow diagram. The system was evaluated by 37 stakeholders so the outcome evaluation provides average at a high level. The results of the system development, which assessed 37 stakeholders, found that the average level of satisfaction with the system was at a high level. The traceability system can be traced and tracked information of peanut production according to TAS 4702-2014.

Keywords: Traceability System; Peanut; Supply Chain; Information System Development

บทนำ

ถั่วลิสงเป็นสินค้าเกษตรที่บริโภคมากในประเทศ โดยการแปรรูปเป็นอาหารขบเคี้ยว ทั้งแบบถั่วลิสงสด เปลือกต้ม และถั่วลิสงอบแห้งทั้งเปลือกนำมาเป็นส่วนประกอบอาหาร และแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ถั่วลิสงคั่ว ถั่วลิสงปั่น เนยถั่วลิสง น้ำมันถั่วลิสง [1] ทั้งนี้ผลการประเมินความเสี่ยงของผู้บริโภคไทยจากสารพิษอะฟลาทอกซิน พบว่าผู้บริโภคมีความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งตับในระดับสูง โดยปริมาณอะฟลาทอกซินทั้งหมดที่ผู้บริโภคไทยได้รับมาจากถั่วลิสงและผลิตภัณฑ์มากถึง 92% ซึ่งอะฟลาทอกซินจัดเป็นสารพิษที่เกิดจากเชื้อราในกลุ่ม *Aspergillus flavus* และ *Aspergillus parasiticus* ที่ก่อให้เกิดมะเร็งตับชนิดปฐมภูมิในมนุษย์ ดังนั้น องค์การอนามัยโลกจึงจัดให้อะฟลาทอกซินเป็นสารก่อมะเร็ง

ที่ร้ายแรงมากที่สุดชนิดหนึ่ง เพราะว่าปริมาณของอะฟลาทอกซินเพียง 1 ไมโครกรัม สามารถทำให้เกิดการกลายพันธุ์ของแบคทีเรีย และทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลองได้ ทั้งนี้ข้อมูลผลการศึกษาก่อนหน้านี้ สารอะฟลาทอกซินในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ถั่วลิสงที่วางจำหน่ายในกรุงเทพมหานคร [2] และต่างจังหวัด [3] พบว่ากลุ่มตัวอย่างที่ตรวจสอบมีปริมาณสารอะฟลาทอกซินในระดับสูงกว่าที่กำหนด ซึ่งสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยากำหนดให้มีอะฟลาทอกซินทุกชนิดในอาหารทั่วไปได้ไม่เกิน 20 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ดังนั้นถั่วลิสงที่วางจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาด ซึ่งไม่มีการตรวจสอบคุณภาพ จึงมีโอกาสเพิ่มความเสี่ยงต่อโรคมะเร็งในผู้บริโภคได้ นอกจากนี้ยังมีโอกาสถูกปนเปื้อนจากประเทศคู่ค้าที่มีข้อกำหนดการปนเปื้อนอะฟลาทอกซินที่เข้มงวดกว่าประเทศไทยได้ จากปัญหาดังกล่าวคณะกรรมการมาตรฐานสินค้าเกษตร จึงได้จัดทำมาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่อง เมล็ดถั่วลิสง: ข้อกำหนดปริมาณอะฟลาทอกซินขึ้น เพื่อการคุ้มครองผู้บริโภคอย่างมีประสิทธิภาพ และให้ผู้ประกอบการตระหนักถึงความสำคัญของการผลิตต่อความปลอดภัย และคุณภาพของเมล็ดถั่วลิสง โดยกำหนดปริมาณและมาตรการควบคุมอะฟลาทอกซินในเมล็ดถั่วลิสงที่นำมาใช้เป็นอาหารขึ้น เช่น เมล็ดถั่วลิสงที่ผลิตเพื่อจำหน่าย ส่งออก หรือนำเข้าต้องมีอะฟลาทอกซินทั้งหมด (Total Aflatoxins) ไม่เกิน 20 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ผู้ประกอบการโรงกะเทาะ ผู้รวบรวม ผู้บรรจุหีบห่อ และคลังสินค้า ต้องตรวจสอบปริมาณ อะฟลาทอกซินในเมล็ดถั่วลิสงก่อนส่งออกจำหน่าย หรือระหว่างเก็บรักษา และเก็บบันทึกข้อมูลผลการตรวจสอบไว้เพื่อการตรวจประเมิน เป็นต้น ทั้งนี้มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ได้จัดทำโครงการเตรียมความพร้อมเพื่อปฏิบัติตามมาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่อง เมล็ดถั่วลิสง: ข้อกำหนดปริมาณอะฟลาทอกซิน ในปี พ.ศ. 2557 และในปี พ.ศ. 2560 ได้ดำเนินโครงการพัฒนาเทคโนโลยีในการลดปริมาณอะฟลาทอกซินในห่วงโซ่การผลิตเมล็ดถั่วลิสง ตั้งแต่แปลงปลูกถั่วลิสง การเก็บเกี่ยว การเก็บรักษาฝักถั่วลิสง การกะเทาะ การคัดแยกเมล็ด และการบรรจุภัณฑ์ ดังนั้นการนำเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาช่วยสนับสนุนการดำเนินงานเพื่อให้ผู้ผลิต เจ้าหน้าที่ และผู้บริโภคสามารถตรวจสอบย้อนกลับได้ตลอดห่วงโซ่อุปทานของการผลิตที่เป็นไปตามมาตรฐาน มกษ. 4702-2557 จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะสามารถช่วยทำให้เกิดความเชื่อมั่นในระบบการผลิตและคุณภาพของถั่วลิสงที่ปลอดภัยสู่ผู้บริโภคได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาการเชื่อมโยงของข้อมูลในอุตสาหกรรมถั่วลิสงตลอดห่วงโซ่อุปทาน
2. พัฒนาระบบตรวจสอบย้อนกลับในอุตสาหกรรมถั่วลิสงตามมาตรฐาน มกษ. 4702-2557

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. มาตรฐาน มกษ. 4702-2557

คณะกรรมการมาตรฐานสินค้าเกษตรกำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร เรื่อง เมล็ดถั่วลิสง: ข้อกำหนดปริมาณอะฟลาทอกซิน เป็นมาตรฐานบังคับ เพื่อการคุ้มครองผู้บริโภคอย่างมีประสิทธิภาพ และให้ผู้ประกอบการตระหนักถึงความสำคัญของการผลิตต่อความปลอดภัยและคุณภาพของเมล็ดถั่วลิสง โดยกำหนดปริมาณและมาตรการควบคุม อะฟลาทอกซินในเมล็ดถั่วลิสงแห้งดิบที่นำมาใช้เป็นอาหาร [4] ดังนี้

- 1) เมล็ดถั่วลิสงที่ผลิตเพื่อจำหน่าย ส่งออก หรือนำเข้าต้องมีอะฟลาทอกซินทั้งหมด (Total Aflatoxins) ไม่เกิน 20 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม
- 2) มาตรการควบคุมการผลิต ได้แก่

2.1) คัดแยกเมล็ดขึ้นรา เมล็ดแตกหัก เมล็ดเสียหาย และสิ่งแปลกปลอมก่อนส่งจำหน่าย และบันทึกข้อมูลไว้เป็นหลักฐาน

2.2) เพื่อให้มั่นใจว่าเมล็ดถั่วลิสงก่อนส่งจำหน่ายมีปริมาณอะฟลาทอกซินไม่เกิน 20 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม ($\mu\text{g/kg}$) ผู้ประกอบการโรงกะเทาะ ผู้รวบรวม ผู้บรรจุหีบห่อ และคลังสินค้า ต้องตรวจสอบปริมาณอะฟลาทอกซินในเมล็ดถั่วลิสงก่อนส่งออกจำหน่าย หรือระหว่างเก็บรักษา และเก็บบันทึกข้อมูลผลการตรวจสอบไว้เพื่อการตรวจประเมิน

3) ผู้เกี่ยวข้องที่ต้องปฏิบัติตามมาตรฐานนี้ คือ

3.1) ผู้นำถั่วลิสงแห้งทั้งเปลือกมากะเทาะเป็นเมล็ดถั่วลิสงเพื่อการค้า จะต้องขออนุญาตเป็นผู้ผลิต รวมถึงต้องได้รับใบรับรองว่าขั้นตอนการคัดแยกเมล็ดมีประสิทธิภาพ และมีการตรวจสอบหาปริมาณอะฟลาทอกซินทั้งหมดก่อนส่งจำหน่ายในแต่ละรุ่น

3.2) ผู้รวบรวม ผู้บรรจุหีบห่อ และคลังสินค้าเมล็ดถั่วลิสงเพื่อการค้าจะต้องขออนุญาตเป็นผู้ผลิตรวมถึงต้องได้รับรับรองว่าขั้นตอนการคัดแยกเมล็ดที่มีประสิทธิภาพ และมีการสุ่มตรวจปริมาณอะฟลาทอกซินในเมล็ดถั่วลิสงที่อยู่ระหว่างการเก็บรักษา

3.3) ผู้ส่งออกเมล็ดถั่วลิสงดิบต้องขออนุญาตเป็นผู้ส่งออก พร้อมทั้งแสดงหลักฐานว่าเมล็ดถั่วลิสงผลิตจากผู้ผลิตที่ได้รับใบอนุญาตและใบรับรองตามมาตรฐาน พร้อมผลการตรวจสอบปริมาณอะฟลาทอกซินที่ไม่เกินมาตรฐานของประเทศคู่ค้า

3.4) ผู้นำเข้าเมล็ดถั่วลิสงดิบต้องขออนุญาตเป็นผู้นำเข้า พร้อมทั้งแสดงหลักฐานว่าเมล็ดถั่วลิสงผลิตมาจากผู้ผลิตที่มีมาตรการควบคุมการผลิตตามมาตรฐานนี้ และมีผลการตรวจสอบอะฟลาทอกซินจากหน่วยงานการที่มีอำนาจหน้าที่ หรือห้องปฏิบัติการที่เป็นที่ยอมรับ

2. การตรวจสอบย้อนกลับ (Traceability)

ระบบการตรวจสอบย้อนกลับ [5] หมายถึง ระบบที่จัดทำขึ้นเพื่อให้ผู้บริโภค เกิดความมั่นใจในการซื้อสินค้าว่าสินค้าที่ซื้อไม่มีสิ่งปนเปื้อนและมีความปลอดภัย โดยสามารถตรวจสอบเส้นทางของอาหารนั้น ๆ ได้ และช่วยลดความเสี่ยงในการเรียกคืนสินค้าของบริษัทผู้ผลิตให้เรียกคืนได้อย่างถูกต้อง แม่นยำและรวดเร็ว ซึ่งในระบบการตรวจสอบย้อนกลับ จะประกอบด้วยกระบวนการที่สำคัญ 2 กระบวนการ คือ 1) กระบวนการติดตาม (Following) คือ ระบบที่ใช้ในการติดตามสินค้านั้นว่าไปอยู่ที่ตำแหน่งใด ในขณะที่ทำการตรวจสอบ เช่น ผู้ผลิตสินค้าพบว่ามั่วฉกฉวยในการผลิตสินค้าล็อตนั้นมีปัญหา มีความจำเป็นต้องเรียกสินค้าล็อตนั้นกลับคืนมา (Recall) แต่สินค้านั้นได้ส่งต่อไปจำหน่ายเรียบร้อยแล้ว ดังนั้นผู้ผลิตจึงต้องติดตามเส้นทางการผลิตและการจัดจำหน่าย เพื่อที่จะทราบได้ว่าสินค้าที่มีปัญหานั้น มีวางจำหน่ายที่ไหนบ้างเพื่อที่จะสามารถเรียกคืนได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว ซึ่งเป็นการค้นหาปลายทางของสินค้าที่มีปัญหา และ 2) กระบวนการตรวจสอบย้อนกลับ (Tracking) คือ ความสามารถในการสืบย้อนกลับว่า สินค้าที่มีปัญหานั้น ผลิตขึ้นเมื่อใด จากกิจกรรมใดบ้าง วัตถุประสงค์ที่ใช้ผลิตมาจากไหน เป็นต้น เพื่อค้นหาว่าจุดใดที่ก่อให้เกิดปัญหาและมีการผลิตสินค้าไปมากน้อยเพียงใด โดยสามารถตรวจสอบข้อมูลรายละเอียดกรรมวิธีการผลิตเพื่อติดตามสินค้าคืนได้อย่างถูกต้อง ซึ่งเป็นการค้นหาต้นทางของสินค้าที่มีปัญหานั้น [5] ทั้งนี้ระบบตรวจสอบย้อนกลับที่ดีจะช่วยลดปริมาณการผลิตและการจำหน่ายสินค้าที่ไม่ปลอดภัยและไม่ได้คุณภาพ ซึ่งช่วยทำให้โอกาสในการเผยแพร่สินค้าที่ไม่ดี สินค้าที่มีความบกพร่อง และสินค้าที่ต้องเรียกคืนมีจำนวนลดลง ปัจจุบันระบบการติดตามอาหารเพียงอย่างเดียวไม่สามารถรับประกันได้ว่าอาหารเป็นของแท้

มีคุณภาพดีและปลอดภัย [6] ทั้งนี้องค์ประกอบสำคัญที่ใช้สำหรับการติดตามสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ คือ รหัสที่ใช้สำหรับการบ่งชี้หรือการระบุตัวตน (Identification) โดยในงานตรวจสอบย้อนกลับสินค้า ตามมาตรฐานสากลของสถาบันรหัสสากล (GS1 System of Standard) สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย จำแนกประเภทการระบุตัวตนออกเป็น 3 ประเภท [7] ได้แก่ 1) การระบุตัวตนของสถานที่ตั้ง ซึ่งใช้หมายเลขประจำตัวตำแหน่งที่ตั้งสากล (GLN: EAN·UCC Global Location Number) เป็นรหัสเลข 13 หลัก เพื่อใช้ในการบ่งชี้ตัวตนขององค์กร บริษัทหรือโรงงาน 2) การระบุตัวตนของสินค้า ใช้เลขหมายประจำตัวรายการทางการค้าสากล (GTIN: Global Trade Item Number) ประกอบด้วยเลขหมายประจำตัวตำแหน่งสากล และชุดรหัสที่ผู้ใช้งานเป็นผู้กำหนดเองเมื่อได้รับการอนุมัติเลขหมายประจำตัวบริษัทแล้ว โดยบริษัทจะเป็นผู้กำหนดเลขหมายประจำตัวสินค้าให้กับสินค้าแต่ละชนิด เพื่อใช้บ่งชี้เฉพาะรายการทางการค้า ที่ใช้ในการทำธุรกรรมทางการค้าได้ทั่วโลก และ 3) การระบุตัวตนของบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่ง ใช้เลขหมายลำดับบรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่ง (SSCC: Serial Shipping Container Code) เป็นเลขหมาย สำหรับการบ่งชี้เฉพาะหน่วยเพื่อการขนส่ง และ/หรือการจัดเก็บที่เกี่ยวข้องกับระบบโลจิสติกส์ ซึ่งจะเข้ารหัสในรูปแบบของบาร์โค้ด สำหรับช่วยในการติดตามและตรวจสอบย้อนกลับได้ จากคุณสมบัติข้างต้น จึงทำให้แนวคิดเกี่ยวกับระบบการตรวจสอบย้อนกลับและเทคโนโลยีการระบุตัวตนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ เพื่อช่วยลดความเสี่ยงจากความเสียหาย ช่วยลดภาระค่าใช้จ่ายจากการเรียกสินค้ากลับคืน และช่วยรับประกันคุณภาพและความปลอดภัยของสินค้า ตลอดจนสร้างความเชื่อมั่นแก่ผู้บริโภคได้

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คณะผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบย้อนกลับสินค้าเกษตรทั้งในและต่างประเทศ ดังนี้

1) การพัฒนาระบบตรวจสอบย้อนกลับโดยเทคโนโลยี QR - Code และบรรจุภัณฑ์การค้ำปลึก สำหรับส้มโอในจังหวัดนครปฐม [8] ซึ่งผู้วิจัยพัฒนาระบบด้วยภาษา PHP เชื่อมต่อกับฐานข้อมูล MySQL ให้บริการในรูปแบบเว็บไซต์แอปพลิเคชัน ผลวิจัยพบว่า ผู้ใช้งานระบบมีความพึงพอใจต่อการใช้งาน QR - Code ในระดับมาก โดยเกษตรกรผู้ปลูก ส้มโอมีความต้องการใช้ระบบตรวจสอบย้อนกลับเพื่อเพิ่มความเชื่อถือให้กับผู้บริโภค 2) การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความปลอดภัยของผักและผลไม้สดที่จำหน่ายในประเทศและข้อเสนอมาตรการเพื่อควบคุมความปลอดภัย [9] โดยคณะผู้วิจัยแบ่งห่วงโซ่อุปทานผักและผลไม้เพื่อศึกษาความปลอดภัยออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงต้นน้ำ คือ การเพาะปลูก ช่วงกลางน้ำ คือ จุลกรรรมและการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว และช่วงปลายน้ำ คือ การแปรรูป การกระจายและจำหน่าย โดยมาตรการควบคุมความปลอดภัยของผักและผลไม้ช่วงต้นน้ำและกลางน้ำกรณีเป็นสินค้าสำหรับการส่งออก มีการกำหนดมาตรฐาน GAP และ GMP ภาคสมัครใจ ผลการวิจัยมีข้อค้นพบที่สำคัญคือ การใช้มาตรฐาน GAP และ GMP แบบสมัครใจ ไม่สัมพันธ์กับการพบการตกค้างของสารเคมีในตัวอย่างผักและผลไม้ และพบว่ากลุ่มตัวอย่างที่มีข้อมูลสำหรับการตรวจสอบย้อนกลับมีแนวโน้มจำนวนตัวอย่างที่ตกมาตรฐานน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่มีข้อมูล 3) การพัฒนาระบบตรวจสอบย้อนกลับสำหรับห่วงโซ่อุปทานปลาทูน่า [10] ซึ่งให้ความสำคัญกับการตรวจสอบข้อมูลเกี่ยวกับอุณหภูมิ สารฮิสตามีน (Histamine) จำนวน TPC แบคทีเรียและจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค สุขอนามัยของแรงงาน การใช้เครื่องมือและกระบวนการทำงานต่าง ๆ โดยนำระบบเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาช่วยบริหารจัดการข้อมูลเพื่อการตรวจสอบย้อนกลับตลอดห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมปลาทูน่าในประเทศอินโดนีเซีย 4) การพัฒนาระบบตรวจสอบ

ย้อนกลับสำหรับห่วงโซ่อุตสาหกรรมข้าวในอินโดนีเซีย [11] คณะผู้วิจัยใช้วงจรการพัฒนากระบวนการ (System Development Life Cycle) เป็นกรอบในการพัฒนาระบบสารสนเทศ โดยพบว่าผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องตลอดห่วงโซ่อุปทานข้าว ตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำ ประกอบด้วย เกษตรกร ผู้ประกอบการ (Processing Industries) ผู้กระจายสินค้า (Distributions) ตัวแทนขนส่งสินค้าหรือบูล็อก (Bulog: Indonesian logistics Agency) และผู้ค้าปลีก (Retailers) ผู้วิจัยได้อธิบายสถาปัตยกรรมและการออกแบบระบบด้วยแผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram) การพัฒนาต้นแบบระบบซึ่งแสดงให้เห็นถึงความต้องการการทำงานของผู้มีส่วนได้เสียในการติดตามกระบวนการผลิตและช่วยการตัดสินใจได้

ผลจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยดังกล่าวได้แสดงให้เห็นถึงประโยชน์และความจำเป็นในการพัฒนาระบบตรวจสอบย้อนกลับ เพื่อใช้สร้างความเชื่อมั่นในคุณภาพของถั่วลิสงที่ปลอดภัย สามารถตรวจสอบข้อมูลได้ตลอดห่วงโซ่อุปทาน ตั้งแต่แหล่งที่มาของถั่ว กระบวนการแปรรูป การตรวจสอบคุณภาพตามมาตรฐาน มกษ. 4702-2557 การจำหน่ายและการกระจายถั่วลิสงไปยังแหล่งต่าง ๆ โดยใช้เทคโนโลยี QR - Code ร่วมกับเว็บแอปพลิเคชันในการบริการข้อมูลสารสนเทศที่เกี่ยวข้อง ซึ่งเกษตรกร ผู้ประกอบการ เจ้าหน้าที่ และผู้บริโภคสามารถบันทึกและตรวจสอบข้อมูลได้อย่างสะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

1. เครื่องมือการวิจัย

1.1 แบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง (Semi-Structured Interview) ความต้องการระบบสารสนเทศการตรวจสอบย้อนกลับในอุตสาหกรรมถั่วลิสง

1.2 ต้นแบบ (Prototype) ระบบสารสนเทศการตรวจสอบย้อนกลับในอุตสาหกรรมถั่วลิสง

1.3 แบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบ

2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ผู้วิจัยกำหนดประชากรในการศึกษา ได้แก่ ผู้มีส่วนได้เสียเกี่ยวกับอุตสาหกรรมถั่วลิสง ในจังหวัดลำปาง ประกอบด้วย เกษตรกรผู้ปลูกถั่วลิสง ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมถั่วลิสง ผู้ใช้ผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสง และเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร กลุ่มตัวอย่างคือ เกษตรกรผู้ปลูกถั่วลิสง ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมถั่วลิสง ผู้ใช้ผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสง และเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร จำนวน 37 คน ซึ่งได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จำนวน 37 ราย โดยใช้เงื่อนไขในการคัดเลือกคือเป็นผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการผลิต การแปรรูป การใช้ และการส่งเสริมอุตสาหกรรมถั่วลิสงมาแล้วไม่ต่ำกว่า 3 ปี

3. ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยดำเนินการโดยประยุกต์ขั้นตอนของวงจรการพัฒนากระบวนการและการสร้างต้นแบบ [12] เพื่อให้เหมาะสมกับบริบทในการทำงานที่มีข้อจำกัดด้านเวลา ขั้นตอนมีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การวางแผนและการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น (Project Planning and Study) โดยรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับมาตรฐานการผลิตเมล็ดถั่วลิสง การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับถั่วลิสง (Good Agricultural Practices) เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบย้อนกลับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรอื่น ๆ และสภาพบริบทของการผลิตถั่วลิสงในพื้นที่จังหวัดลำปาง ความพร้อมด้านบุคลากรและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาและการใช้งานระบบตรวจสอบย้อนกลับถั่วลิสง

ขั้นตอนที่ 2 การวิเคราะห์ (System Analysis) การวิเคราะห์กระบวนการทำงาน จากเอกสารที่รวบรวมได้ในขั้นตอนแรก ขอบเขตของระบบ การไหลของข้อมูล ความต้องการสารสนเทศจากบุคลากร และผู้ที่เกี่ยวข้องกับระบบ โดยใช้แบบสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง (Semi-Structured Interview) เป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล ข้อมูลที่ได้ทั้งหมดนำมาวิเคราะห์และสรุปเป็นแผนภาพการไหลของข้อมูล (Data Flow Diagram) พจนานุกรมข้อมูล (Data Dictionary)

ขั้นตอนที่ 3 การออกแบบและพัฒนาต้นแบบระบบ (System Design and Develop Prototype) โดยนำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์มาออกแบบรายงานและการนำเข้าข้อมูล ออกแบบระบบฐานข้อมูล และพัฒนาเป็นต้นแบบระบบในลักษณะเว็บแอปพลิเคชันและโมบายแอปพลิเคชัน ที่ใช้เทคโนโลยี QR - Code สำหรับการระบุตัวตนของเกษตรกร ผู้ประกอบการ และการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ถั่วลิสงที่ปลอดภัยจากอะฟลาทอกซิน

ขั้นตอนที่ 4 การติดตั้งและทดลองใช้งานต้นแบบ (Implement and Use Prototype) โดยทำการอัปโหลดระบบไว้บนเซิร์ฟเวอร์ (Server) เพื่อให้กลุ่มตัวอย่างสามารถใช้งานได้ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยสามารถเข้าใช้งานระบบได้ที่ www.peanutthailand.com จากนั้นได้จัดทำคู่มือการใช้งานระบบ ประชุมกลุ่มตัวอย่างเพื่อแนะนำการใช้งานระบบ โดยให้กลุ่มตัวอย่างเข้าใช้และประเมินผลหลังจากทดลองใช้เก็บข้อมูล ผลการประเมินด้วยแบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบ

ขั้นตอนที่ 5 การปรับปรุงและบำรุงรักษา (Maintenance) นำผลจากแบบประเมินความพึงพอใจที่ได้มาทำการวิเคราะห์ ออกแบบและปรับปรุงต้นแบบระบบให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้ เพื่อให้ได้ต้นแบบระบบตรวจสอบย้อนกลับในอุตสาหกรรมถั่วลิสงที่ปลอดภัยต่อสารอะฟลาทอกซินต่อไป

ผลการศึกษา

1. ผลการศึกษากระบวนการดำเนินงานในห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมถั่วลิสง

จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลการผลิตถั่วลิสงตลอดห่วงโซ่อุปทาน ในพื้นที่จังหวัดลำปาง มาทำการวิเคราะห์และออกแบบระบบสืบค้นย้อนกลับ พบว่าการเชื่อมโยงข้อมูลเพื่อการตรวจสอบย้อนกลับข้อมูลระหว่างจุดภายในห่วงโซ่อุปทาน (External Traceability) และภายในของแต่ละจุดของห่วงโซ่อุปทาน (Internal Traceability) แสดงได้ดังรูปที่ 1 อธิบายได้ดังนี้

การดำเนินงานในช่วงต้นน้ำ ได้แก่ การจัดการแหล่งผลิตถั่วลิสง แหล่งจำหน่ายเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสง เป็นแหล่งข้อมูลด้านการผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสง มีหน้าที่พัฒนาและจัดหาถั่วลิสงสายพันธุ์ที่มีคุณภาพดีเพื่อจำหน่ายให้กับเกษตรกร โดยเกษตรกรจะทำการซื้อเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงมาทำการเพาะปลูกในแต่ละฤดูการผลิต ซึ่งเกษตรกรจะต้องทำการบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งที่มาของเมล็ดพันธุ์ การปลูก การจัดการแปลง การเก็บเกี่ยว และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว

การดำเนินการในช่วงกลางน้ำ ได้แก่ การรวบรวมและการตรวจสอบคุณภาพถั่วลิสง โดยสหกรณ์หรือแหล่งรวบรวมผลผลิตถั่วลิสงจากสหกรณ์ จะทำหน้าที่รวบรวมโดยการรับซื้อถั่วลิสงจากเกษตรกร มาทำการบรรจุและออกรหัส QR - Code เพื่อติดตามถั่วลิสงในแต่ละรุ่น (Lot) จากเกษตรกรแต่ละราย เพื่อนำส่ง โรงกะเทาะ ซึ่งจะต้องบันทึกข้อมูลการรับซื้อถั่วลิสง อาจมาจากสหกรณ์หรือผู้นำเข้าถั่วลิสงจาก

ต่างประเทศ โดยต้องทำการบันทึกข้อมูลการนำเข้าถั่วลิสงมาสู่กระบวนการผลิตของโรงงานทุกครั้ง ทั้งนี้ในกระบวนการผลิตของโรงกะเทาะ และกระบวนการย่อยภายในโรงงาน ซึ่งต้องมีการจัดการและบันทึกข้อมูลเพื่อติดตามตรวจสอบย้อนกลับได้ทุกขั้นตอน เช่น การตาก การกะเทาะ การบรรจุกระสอบ เป็นต้น โดยมีการกำหนดรุ่น (Lot) การผลิตเพื่อติดตามถั่วลิสงได้ทุกขั้นตอน จนถึงการจัดจำหน่ายให้กับผู้จำหน่ายรายย่อยหรือโรงงานแปรรูปที่รับซื้อเมล็ดถั่วลิสงไปทำผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ต่อไป โดยในระหว่างกระบวนการของโรงกะเทาะ จะมีการสุ่มตรวจเมล็ดถั่วลิสงที่ทำการกะเทาะเปลือกแล้ว เพื่อวัดปริมาณสารอะฟลาทอกซิน โดยห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะนำเมล็ดถั่วลิสงในแต่ละรุ่นไปตรวจและบันทึกผลการตรวจสอบผ่านระบบ ซึ่งผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถรับทราบผลการตรวจ และติดตามผลตรวจของเมล็ดถั่วลิสงในแต่ละรุ่นผ่านระบบได้

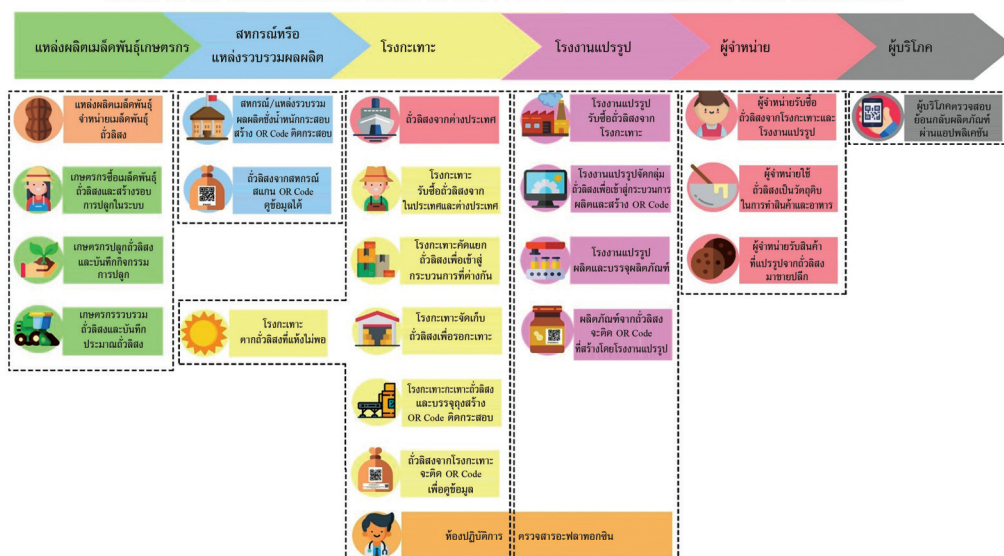
การดำเนินการในช่วงปลายน้ำ ได้แก่ การแปรรูปและการจำหน่ายถั่วลิสง ซึ่งโรงงานแปรรูปและร้านค้าผู้จำหน่าย จะรับซื้อถั่วลิสงจากโรงงานกะเทาะมาเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ หรือใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์อาหารที่จำหน่าย ซึ่งต้องบันทึกข้อมูลการรับซื้อเมล็ดถั่วลิสง การแปรรูปผลิตภัณฑ์ในแต่ละรุ่น จากเมล็ดถั่วลิสงที่รับซื้อ และการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ถั่วลิสง ซึ่งจะต้องออกรหัส QR - Code เพื่อการตรวจสอบย้อนกลับข้อมูลการผลิตถั่วลิสงและข้อมูลผลิตภัณฑ์ไว้บนฉลาก เพื่อให้ผู้บริโภคได้ตรวจสอบผ่านระบบได้

2. ผลการออกแบบและพัฒนาระบบการตรวจสอบย้อนกลับในอุตสาหกรรมถั่วลิสง

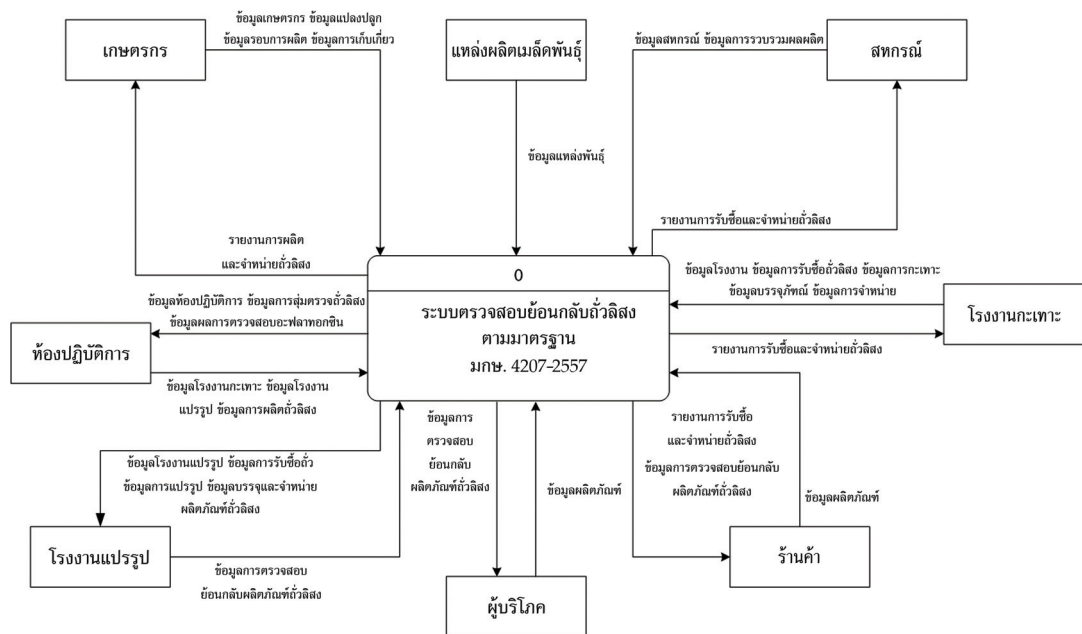
จากการศึกษารายละเอียดการทำงานเกี่ยวกับระบบสืบค้นย้อนกลับตลอดห่วงโซ่อุปทานในอุตสาหกรรมถั่วลิสงในพื้นที่จังหวัดลำปาง ดังกล่าวข้างต้น ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ขอบเขตการทำงานของระบบ ความสัมพันธ์ของเอนทิตี (Entity) และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบ โดยนำเสนอในรูปแบบแผนภาพบริบท (Context Diagram) ซึ่งเป็นแผนภาพแสดงภาพรวมของระบบทั้งหมด [13] ดังรูปที่ 2

ขั้นตอนการทำงานระบบตรวจสอบย้อนกลับถั่วลิสง

โครงการการพัฒนาแนวทางการลดปริมาณสารอะฟลาทอกซินในห่วงโซ่การผลิตเมล็ดถั่วลิสง



รูปที่ 1 การเชื่อมโยงกิจกรรมของระบบตรวจสอบย้อนกลับในอุตสาหกรรมถั่วลิสงตลอดห่วงโซ่อุปทาน

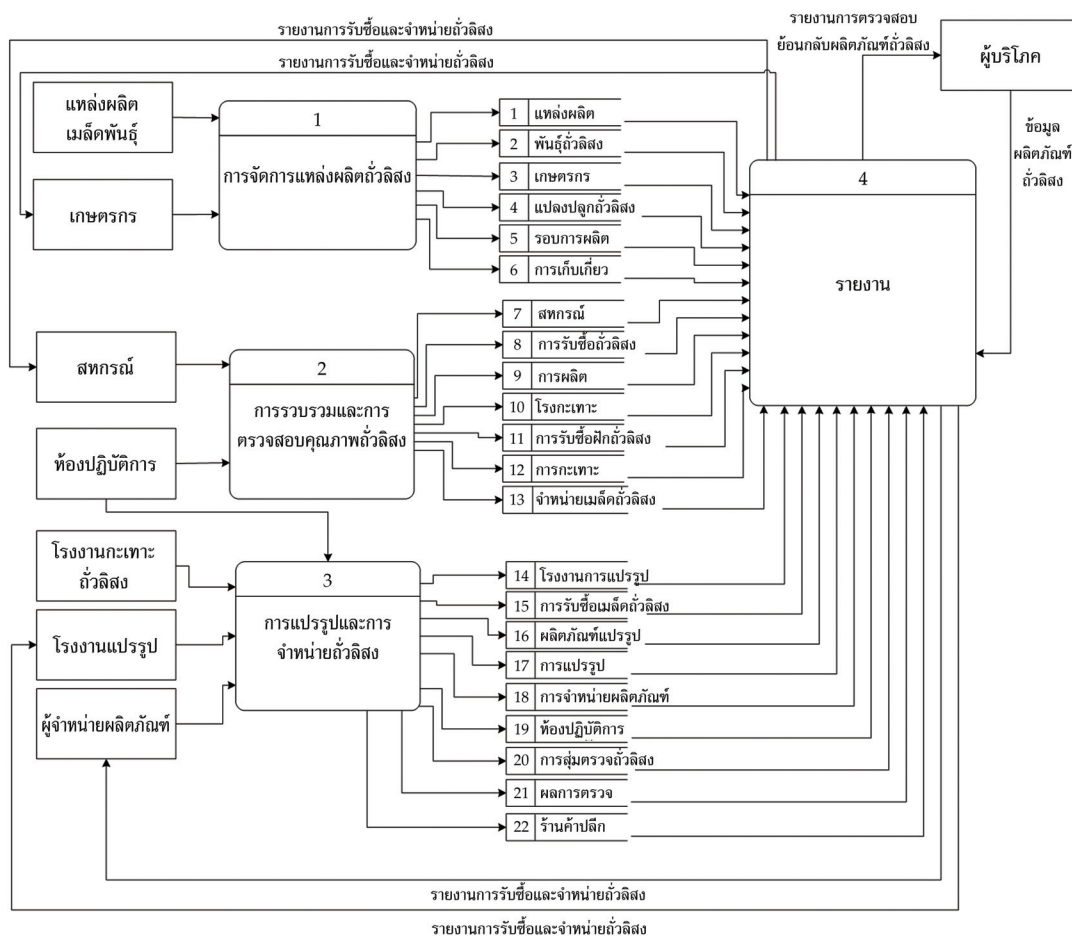


รูปที่ 2 แผนภาพบริบท ระบบตรวจสอบย้อนกลับถั่วลิสงตามมาตรฐาน มกษ. 4702-2557

จากรูปที่ 2 เอนทิตีภายนอกที่มีความสัมพันธ์กับระบบมีจำนวน 8 เอนทิตี ได้แก่ 1) แหล่งผลิตเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสง คือสถานที่ซึ่งพัฒนาและผลิตเมล็ดพันธุ์ มีข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบ ได้แก่ ข้อมูลแหล่งผลิตเมล็ดพันธุ์ ข้อมูลพันธุ์ถั่วลิสง 2) เกษตรกร คือ บุคคลที่นำเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสงมาเพาะปลูก มีข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบ ได้แก่ ข้อมูลเกษตรกร ข้อมูลแปลงปลูกถั่วลิสง และข้อมูลกิจกรรมการปลูก 3) สหกรณ์หรือผู้รวบรวมผลผลิต คือ สถานที่หรือบุคคลที่เป็นผู้รวบรวมหรือรับซื้อถั่วลิสงจากเกษตรกร มาตากและจัดเก็บเพื่อการจำหน่าย มีข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบ ได้แก่ ข้อมูลสหกรณ์หรือผู้รวบรวม ข้อมูลการรวบรวม ข้อมูลรับซื้อหรือข้อมูลการนำเข้าถั่วลิสงจากต่างประเทศ 4) โรงงานกะเทาะถั่วลิสง คือ สถานที่รับซื้อถั่วลิสง เพื่อนำมากะเทาะเอาเมล็ดแล้วนำไปใส่บรรจุภัณฑ์เพื่อการจำหน่ายในรูปเมล็ดถั่วลิสง มีข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบ ได้แก่ ข้อมูลโรงงานกะเทาะ ข้อมูลการรับซื้อถั่วลิสง ข้อมูลการกะเทาะ ข้อมูลการบรรจุกระสอบ และข้อมูลการจำหน่ายเมล็ดถั่วลิสง 5) โรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์ถั่วลิสง คือ สถานที่รับซื้อเมล็ดถั่วลิสงมาทำการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของถั่วลิสงในลักษณะต่าง ๆ มีข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบ ได้แก่ ข้อมูลโรงงานแปรรูป ข้อมูลผลิตภัณฑ์ ข้อมูลการรับซื้อเมล็ดถั่วลิสงที่บรรจุกระสอบ ข้อมูลการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากเมล็ดถั่วลิสง และข้อมูลการจำหน่ายผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสง 6) ห้องปฏิบัติการตรวจสอบสารอะพลาทอกซิน คือสถานที่ซึ่งมีอำนาจและหน้าที่ในการตรวจสอบหาสารอะพลาทอกซิน ตามมาตรฐาน มกษ. 4702-2557 มีข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบ ได้แก่ ข้อมูลห้องปฏิบัติการ ข้อมูลการสุ่มตรวจถั่วลิสง และข้อมูลผลการตรวจหาสารอะพลาทอกซินในเมล็ดถั่วลิสงและผลิตภัณฑ์ 7) ร้านจำหน่ายผลิตภัณฑ์ถั่วลิสง คือ สถานที่ซึ่งรับผลิตภัณฑ์ถั่วลิสงแปรรูปหรือเมล็ดถั่วลิสงมาจำหน่าย มีข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบ ได้แก่ ข้อมูลร้านค้า ข้อมูลผลิตภัณฑ์ และข้อมูลการรับซื้อผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสง หรือข้อมูลการรับซื้อเมล็ดถั่วลิสงบรรจุกระสอบ และ 8) ผู้บริโภค คือ

บุคคลที่ใช้ระบบในการตรวจสอบข้อมูลย้อนกลับของผลิตภัณฑ์ถั่วลิสง เพื่อทราบเส้นทางการผลิตและผลการตรวจสอบหาปริมาณสารอะฟลาทอกซิน โดยนำเข้ารหัส QR-Code จากตัวผลิตภัณฑ์เพื่อตรวจสอบข้อมูลจากระบบได้

จากแผนภาพบริบทซึ่งแสดงภาพรวมระหว่างความสัมพันธ์ของเอนทิตีภายนอกกับระบบ สามารถนำมาแสดงรายละเอียดของกระบวนการทำงานหลักของระบบ เพื่อแสดงทิศทางการไหลเวียนของข้อมูลในระบบ การประสานงานรับ-ส่งข้อมูลและสารสนเทศกับเอนทิตีภายนอก รวมถึงแสดงการเชื่อมโยงการทำงานระหว่างกระบวนการทำงาน การจัดเก็บและค้นหาข้อมูลจากแหล่งจัดเก็บข้อมูลต่าง ๆ โดยนำเสนอในรูปแบบของแผนภาพกระแสข้อมูลระดับบนสุด (Data Flow Diagram: Level 0) ซึ่งเป็นแผนภาพแสดงองค์ประกอบของกระบวนการทำงานหลักของระบบ [13] ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนภาพกระแสข้อมูลระดับบนสุด หรือ Data Flow Diagram: Level 0

จากแผนภาพกระแสข้อมูลระดับบนสุดข้างต้น อธิบายได้ว่ากระบวนการทำงานของระบบตรวจสอบย้อนกลับมีเอนทิตีภายนอกที่มีปฏิสัมพันธ์กับระบบผ่านกระบวนการทำงาน ซึ่งจำแนกตามระยะ

การดำเนินงานของห่วงโซ่อุปทานในอุตสาหกรรมถั่วลิสง ดังนี้ 1) การจัดการแหล่งผลิตถั่วลิสง 2) การรวบรวม และการตรวจสอบคุณภาพถั่วลิสง 3) การแปรรูปและการจำหน่ายถั่วลิสง และ 4) รายงาน โดยมีแหล่งจัดเก็บข้อมูล (Data Store) จำนวน 22 แหล่งข้อมูล สำหรับจัดเก็บและใช้ประมวลผลเพื่อนำเสนอในรูปแบบของรายงานสารสนเทศในกระบวนการจัดทำรายงานการตรวจสอบย้อนกลับต่อไป

การพัฒนาต้นแบบระบบการตรวจสอบย้อนกลับในอุตสาหกรรมถั่วลิสงแบ่งเป็น 2 แพลตฟอร์ม ได้แก่

1) เว็บแอปพลิเคชัน พัฒนาโดยใช้โปรแกรมภาษา PHP ในการเขียนโปรแกรมใช้โปรแกรม MySql สำหรับบริการจัดการฐานข้อมูล คิดตั้งระบบให้ผู้ใช้สามารถบริหารจัดการและตรวจสอบข้อมูลที่เกี่ยวข้องได้ที่เว็บไซต์ www.peanutthailand.com ประกอบด้วย เมนูการทำงานตามบทบาทของผู้ใช้ดังนี้

- (1) แหล่งเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสง ได้แก่ ข้อมูลแหล่งผลิตเมล็ดพันธุ์ และข้อมูลพันธุ์ถั่วลิสง
- (2) เกษตรกร ได้แก่ ข้อมูลเกษตรกร ข้อมูลแปลงปลูกถั่วลิสง และข้อมูลกิจกรรมการปลูกถั่วลิสง
- (3) สหกรณ์/ตัวแทนรับซื้อหรือนำเข้าถั่วลิสง/ผู้รวบรวมผลผลิต ได้แก่ ข้อมูลสหกรณ์/ผู้รวบรวมข้อมูล การรวบรวม/รับซื้อ/นำเข้าถั่วลิสง และข้อมูลการกำหนดรหัสถั่วลิสง (QR - Code)
- (4) โรงกะเทาะเปลือกถั่วลิสง ได้แก่ ข้อมูลโรงกะเทาะ ข้อมูลการรับซื้อถั่ว ข้อมูลการกะเทาะ ข้อมูลการกำหนดรหัสถั่วลิสง (QR - Code) ข้อมูลการบรรจุกระสอบ และข้อมูลการจำหน่ายถั่วลิสง
- (5) ห้องปฏิบัติการตรวจสอบสารอะฟลาทอกซิน ได้แก่ ข้อมูลห้องปฏิบัติการ ข้อมูลการสุ่มตรวจถั่วลิสง และข้อมูลผลการตรวจ
- (6) โรงงานแปรรูป ได้แก่ ข้อมูลโรงงานแปรรูป ข้อมูลผลิตภัณฑ์ ข้อมูลการรับซื้อถั่วลิสง บรรจุกระสอบ ข้อมูลการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสง ข้อมูลการกำหนดรหัสผลิตภัณฑ์ (QR - Code) และข้อมูลการจำหน่ายผลิตภัณฑ์
- (7) ร้านค้าจำหน่ายผลิตภัณฑ์จากถั่ว ได้แก่ ข้อมูลร้านค้า ข้อมูลผลิตภัณฑ์ และข้อมูลการรับซื้อผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสง/ข้อมูลการรับซื้อถั่วลิสงบรรจุกระสอบ

นอกจากนี้ เว็บไซต์ยังจัดแสดงและให้บริการความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตถั่วลิสง ซึ่งเกษตรกรผู้ประกอบการและผู้สนใจทั่วไปสามารถใช้บริการได้ตลอดเวลา เช่น คลังความรู้ กระดานข่าว เป็นต้น ตัวอย่างการทำงานของแต่ละกระบวนการ ดังรูปที่ 4 - 7

2) โมบายแอปพลิเคชัน พัฒนาโดยใช้โปรแกรม Android Studio เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึง และสืบค้นย้อนกลับข้อมูลในอุตสาหกรรมถั่วลิสงได้จากโทรศัพท์มือถือ โดยการติดตั้งแอปพลิเคชันลงในเครื่องโทรศัพท์และเมื่อต้องการใช้งาน เช่น การตรวจสอบที่มาของผลิตภัณฑ์ถั่วลิสง การรับรองความปลอดภัยจากสารอะฟลาทอกซินจากห้องปฏิบัติการ เป็นต้น ผู้ใช้สามารถเปิดแอปพลิเคชันจากโทรศัพท์แล้วสแกน QR - Code เพื่อตรวจสอบผลการดำเนินงานจากระบบได้ ดังรูปที่ 8

แก้ไขข้อมูลส่วนตัว

รหัสเกษตรกร: 1529900725917

ชื่อ: [Field] นามสกุล: [Field]

ชื่อจริง: [Field] นามสกุล: [Field]

บ้านเลขที่: 153 [Field] ชื่อหมู่บ้าน: [Field]

หมู่ที่: 08 [Field] ตำบล: [Field]

อำเภอ: [Field] จังหวัด: [Field]

เลขหมาย: [Field] อำเภอ: [Field]

หมายเลขโทรศัพท์: 0932305750 [Field] อีเมล: torch88tt@gmail.com

และจุด: 18.12124 [Field] รหัสจุด: 99.20583

[ปุ่ม: แก้ไข]

รูปที่ 4 การจัดการข้อมูลเกษตรกร

เพิ่มแปลงปลูก

รหัสแปลงปลูก: 1529900725917-2 [Field] ขนาด(ไร่): 20 [Field]

พิกัด(ละติจูด): 18.12124 [Field] พิกัด(ลองจิจูด): 99.20583 [Field]

[ปุ่ม: เพิ่มแปลงปลูก]

รูปที่ 5 การจัดการข้อมูลแปลงปลูกถั่วลิสง

ข้อมูลการปลูกถั่วลิสง

แปลงปลูก: 1529900725917-1 พื้นที่ปลูก (ไร่): 10 วันที่ปลูก: 18/09/2018 เมล็ดพันธุ์ที่ใช้ปลูก: ไทนาณ9 (ศูนย์วิจัยพัฒนาเมล็ดพันธุ์) **สร้างรอบการปลูก**

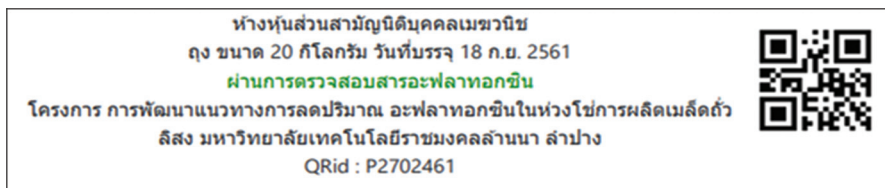
แปลงที่ 1529900725917-1 รอบที่ 1/2561



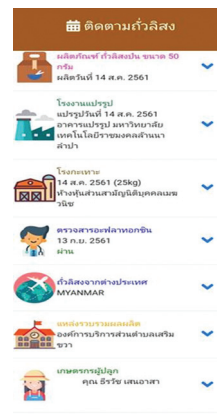
วันที่	รายการ	รายละเอียด	ค่าใช้จ่าย
2018-02-01	ไถพรวน	ค่ารถไถ ชั่วโมงละ 500 บาท 6 ชั่วโมง	3000
2018-02-05	ปลูก	ค่าแรงงาน 300 บาท 5 คน	1500
2018-02-28	ฉีดพ่นสารเคมี	ยาคุมหญ้า 1 แกลอน 500 บาท ค่าแรงงาน 300 บาท	800
2018-04-07	เก็บเกี่ยวผลผลิต	ค่าแรง 300 บาท 7 คน	2100
รวมค่าใช้จ่าย			7400

บันทึกกิจกรรมการปลูก

รูปที่ 6 การจัดการข้อมูลกิจกรรมการปลูกถั่วลิสง



รูปที่ 7 การพิมพ์ QR - Code ติดถุงถั่วลิสงของโรงกะเทาะเปลือกถั่วลิสง



(ก) หน้าแรกของโมบายแอปพลิเคชัน

(ข) การตรวจสอบ QR-Code จากกระป๋อง

(ค) ผลการตรวจสอบข้อมูลจาก QR-Code

รูปที่ 8 ตัวอย่างการตรวจสอบข้อมูลผลิตภัณฑ์ถั่วลิสงจากโมบายแอปพลิเคชันและการแสดงผลการตรวจสอบ

3. ผลการประเมินความพึงพอใจของการใช้ระบบสืบค้นย้อนกลับในอุตสาหกรรมถั่วลิสง

ผลของการประเมินความพึงพอใจของการใช้ระบบสืบค้นย้อนกลับในอุตสาหกรรมถั่วลิสง หลังฟังคำแนะนำและทดลองใช้งานด้วยตนเองแล้ว พบว่า 1) ผู้ใช้งานระบบจำนวน 37 คน จำแนกกลุ่มตามบทบาทการใช้งานได้เป็น เกษตรกร 27 คน ผู้ประกอบการ 1 คน เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตร/นักวิชาการเกษตร 4 คน ผู้ใช้ผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสง 5 คน คิดเป็นร้อยละ 72.98 2.70 10.81 และ 13.51 ตามลำดับ โดยพบว่าระบบที่พัฒนามีรูปแบบลักษณะที่ตรงกับความต้องการอยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.27 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.27 ความพึงพอใจต่อการจัดการข้อมูลและสารสนเทศที่ได้รับจากระบบอยู่ในระดับมากมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.35 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.96 ระบบมีการใช้งานง่าย สะดวกและรวดเร็ว อยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.40 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.85 และระบบมีการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลที่ดีอยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.32 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.57 และ 2) ข้อสังเกตและข้อเสนอแนะจากการให้ผู้ทดลองใช้ระบบพบว่า ผู้ใช้ส่วนใหญ่ที่เป็นเกษตรกรซึ่งมีอายุมากจะทำงานได้ช้าเนื่องจากยังไม่คุ้นชินกับการใช้งาน บางส่วนไม่กล้าบันทึกข้อมูลหรือกดปุ่มเมนูคำสั่ง เพราะเกรงว่าจะก่อให้เกิดความผิดพลาด จึงต้องใช้เจ้าหน้าที่ช่วยให้คำแนะนำการใช้งาน ดังนั้น เพื่อให้สามารถนำระบบไปใช้งานจริงได้อย่างเต็มรูปแบบ จึงควรต้องมีการฝึกอบรมการใช้งานระบบและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องแก่เกษตรกรอย่างต่อเนื่อง ในส่วนของความพึงพอใจต่อการใช้ระบบจะพบว่าผู้ใช้ส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบสืบค้นย้อนกลับถั่วลิสงในระดับอย่างมากถึงมากที่สุด เช่น การที่ระบบมีเมนูนำทางที่ชัดเจน การจัดวางตำแหน่งของข้อความ รูปภาพ ปุ่มคำสั่งและเมนู เป็นต้น ส่วนที่ต้องปรับปรุง ได้แก่ เรื่องของขนาดตัวอักษร เนื่องจากผู้ใช้ส่วนใหญ่เป็นผู้ใหญ่ซึ่งอาจมีปัญหาเรื่องสายตา จึงควรต้องมีการปรับขนาดตัวอักษรให้เหมาะสมต่อไป

สรุปผลและการอภิปรายผล

จากผลการศึกษาวิจัยมีประเด็นที่ค้นพบสามารถอภิปรายผลตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยดังนี้ ระบบสืบค้นย้อนกลับในอุตสาหกรรมถั่วลิสง เป็นระบบที่สามารถตรวจสอบข้อมูลได้ตลอดทุกระยะของกิจกรรมการผลิต เริ่มตั้งแต่การปลูก การรวบรวมผลผลิต การแปรรูป การจำหน่าย จนผู้บริโภคสุดท้าย ซึ่งระบบมีการบริหารจัดการข้อมูลตลอดห่วงโซ่อุปทาน โดยแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ 1) การจัดการแหล่งผลิตถั่วลิสง ได้แก่ ข้อมูลเกี่ยวกับที่มาของเมล็ดพันธุ์ถั่วลิสง เช่น แหล่งผลิตเมล็ดพันธุ์ เกษตรกร การปลูกถั่วลิสง เป็นต้น 2) การรวบรวมและการตรวจสอบคุณภาพถั่วลิสง ได้แก่ การรวบรวมผลผลิตถั่วลิสง การรับซื้อฝักถั่วลิสง การกะเทาะเมล็ด การตรวจสอบสารอะฟลาทอกซิน เป็นต้น และ 3) การแปรรูปและการจำหน่ายถั่วลิสง ได้แก่ การแปรรูปและจำหน่ายผลิตภัณฑ์จากถั่วลิสง ซึ่งมีการจัดการข้อมูลการรับซื้อเมล็ดถั่วลิสง การแปรรูปผลิตภัณฑ์ในแต่ละรุ่น (Lot) จากเมล็ดถั่วลิสงที่รับซื้อ และการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ถั่วลิสง ซึ่งจะต้องออก QR - Code เพื่อให้สามารถสืบย้อนกลับข้อมูลได้ทุกขั้นตอนในกิจกรรมตลอดห่วงโซ่อุปทาน และข้อมูลผลการตรวจสอบหาสารอะฟลาทอกซินจากห้องปฏิบัติการช่วยให้ ผู้บริโภคได้รับทราบและเกิดความมั่นใจในความปลอดภัยของการบริโภคถั่วลิสงมากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Parinyasiri, T. et al. [9] ที่พบว่าระบบการตรวจสอบย้อนกลับตลอดห่วงโซ่อุปทานและการมีภาคบังคับ

ที่ต้นน้ำหรือกลางน้ำจะเป็นปัจจัยที่ทำให้ผักและผลไม้มีความปลอดภัยเพิ่มมากขึ้น ประเด็นด้านการพัฒนาระบบในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันและโมบายแอปพลิเคชันที่ให้บริการผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้เกิดความสะดวกในการเข้าใช้งานระบบด้วยอุปกรณ์ที่ทันสมัยต่าง ๆ เช่น โทรศัพท์มือถือ โน้ตบุ๊ก เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับข้อเสนอแนะจากงานวิจัยของ Kaewthakulpong, K. et al. [14] และงานวิจัยของ Sukchareonpong, S., and Thammasiri, D. [8] ที่พบว่าการใช้เทคโนโลยี QR - Code ในระบบการตรวจสอบย้อนกลับผลิตภัณฑ์สินค้าเกษตร ผู้ใช้งานควรมีความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีเบื้องต้น ด้านการใช้งานโปรแกรมการอ่าน QR - Code และการใช้งานอุปกรณ์ประเภทสมาร์ทโฟน ดังนั้นก่อนการใช้งานระบบสืบค้นย้อนกลับอย่างเต็มรูปแบบ จึงต้องมีการฝึกอบรมเพื่อสร้างความเข้าใจและทักษะในการใช้เทคโนโลยีทั้งที่เป็นอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ (Hardware) และซอฟต์แวร์ (Software) ที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยเรื่องการพัฒนาแนวทางการลดปริมาณอะฟลาทอกซินในห่วงโซ่การผลิตเมล็ดถั่วลิสง ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) ปีงบประมาณ 2560

References

- [1] Jogloy, S., Pakuthai, W., Krasuaythong, T., Kesmala, T., Pongbut, D., Jongrunklang, N., Wongkaew, S., and Sansyawichai, T. (2011). **An Analysis to Determine the Standard of Food and Agricultural Products: The Mandatory Standards for Peanuts**. National Bureau of Agricultural Commodity and Food, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Thailand.
- [2] Thitipetchrakul, S., Somyoonsup, K., Sattarin, K., Boonyaprapapan, P., and Mekha, N. (2015). Fungus & Aflatoxin Contamination in Ready to Eat Nuts Products. **Bulletin of the Department of Medical Sciences**. Vol. 57, No. Sub 2, pp. 244-253
- [3] Chalad, C. and Khongsai, S. (2012). Microorganisms and Aflatoxin in Food Sold in Trang Province. **RMUTSV Research Journal**. Vol. 4, No. 2, pp. 56-69
- [4] Thailand Agricultural Standard. (2014). **Peanut Kernel: Maximum Level of Aflatoxin**. National Bureau of Agricultural Commodity and Food, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Thailand
- [5] Noitubtim, A. and Sukkajornwong, K. (2013). Application of Traceability System in Food Industry. **Princes of Naradhiwas University Journal**. Special Issue, pp. 206-215
- [6] Aung, M. M. and Chang, Y. S. (2014). Traceability in a Food Supply Chain: Safety and Quality Perspectives. **Food Control**. Vol. 39, pp. 172-184

- [7] Office of the National Digital Economy and Society Commission. (2017). **Guidelines for Link of Product Data and Traceability Processes (Traceability)**. Ministry of Digital Economy and Society, Bangkok, Thailand
- [8] Sukjaromphong, S. and Thamsiri, D. (2018). The Development of Traceability System Using QR Code Technology and Retail Packing of Pomelos in Nakhon Pathom Province. **Journal of Management Science Nakhon Pathom Rajabhat University**. Vol. 5, No. 1, pp. 67-78
- [9] Parinyasiri, T., Manoonphon, K., Wimonverapattana, W. and Butryee, C. (2018). Study on Factors Involving Safety of Fresh Fruits and Vegetables sold in Domestic Market and Recommendation on Control Measures for Ensuring Safety of Vegetables and Fruits. **Thai Food and Drug Journal**. Vol. 25, No. 2, pp. 29-38
- [10] Kresna, B. A., Seminar, K. B., and Marimin, M. (2017). Developing a Traceability System for Tuna Supply Chains. **International Journal of Supply Chain Management**. Vol. 6, No. 3, pp. 52-61
- [11] Purwandoko, P. B., Seminar, K. B., Sutrisno, S., and Sugiyanta, S. (2019). Development of a Smart Traceability System for the Rice Agroindustry Supply Chain in Indonesia. **Information (Switzerland)**. Vol. 10, No. 10, pp. 1-15. DOI: 10.3390/info10100288
- [12] Tantatsanawong, P. (2011). **Information Technology System Analysis and Design: A Managerial Perspective**. Bangkok: Faculty of Sciences, Silpakorn University
- [13] Prechapanit, A. (2014). **System Analysis and Design**. IDC Premier, Nonthaburi
- [14] Kaewthakulpong, K., Jedsadathumsathit, S., Sermsak, R., Phaosang, T., Boonkorkaew, P., Anussornnitisarn, P., and Intaravichai, S. (2010). **The Study and Development of Information Management System for Agricultural Logistic with Traceability System**. Case Study: Logistic of Kluay Khai Banana for Exportation. Department of Farm Mechanics and Agricultural System Technology, Kasetsart University, Thailand

การประเมินคุณค่าการใช้ประโยชน์พื้นที่ทุ่งสัมฤทธิ์ เพื่อการจัดการพืชเศรษฐกิจ

Evaluation of Thung Sumrit Area utilization for Economic Crops Management

นพดล การดี^{1*} ณภัทร น้อยน้ำใส¹ และชัยสิทธิ์ ทองजू¹

Noppadol Kandeel^{1*} Napat Noinumsai¹ and Chaisit Thongjoo¹

Received: June 4, 2020; Revised: October 5, 2020; Accepted: October 6, 2020

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การใช้ประโยชน์พื้นที่ทุ่งสัมฤทธิ์ การจัดการดินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชเศรษฐกิจ และประเมินการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินต่อการปลูกพืชเศรษฐกิจ โดยดำเนินการในพื้นที่ที่เหมาะสมน้อยสำหรับการปลูกข้าว (S3) เขตพื้นที่ทุ่งสัมฤทธิ์ จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Randomize Complete Block Design, RCBD) มี 6 คำรับการทดลองจำนวน 4 ซ้ำ ผลการทดลองพบว่า การปลูกข้าวและปลูกมันสำปะหลัง มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดิน ค่า pH ของดินอยู่ในระดับกรดจัดถึงกรดรุนแรง ค่า EC ของดินอยู่ระดับเค็มน้อยถึงเค็มปานกลาง ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม อยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมาก การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวพบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีผลผลิตของข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 274 กิโลกรัมต่อไร่ และผลผลิตของมันสำปะหลังสูงที่สุดเท่ากับ 4,680 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อเปรียบเทียบกับคำรับควบคุม การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพกับวิธีเกษตรกรมีผลให้การกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 0.30 ในการปลูกข้าว และร้อยละ 0.86 ในการปลูกมันสำปะหลัง ส่วนการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แปลงปลูกข้าว และแปลงปลูกมันสำปะหลังมีค่าใกล้เคียงกัน กล่าวคือ 559.45 ppm และ 524.83 ppm ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สำหรับรายได้สุทธิของการปลูกข้าวทุกคำรับมีค่าเชิงลบ (ขาดทุน) กล่าวคือ ต้นทุนมากกว่ารายได้จากการขายผลผลิต โดยพบว่ารายได้สุทธิของการปลูกข้าวคำรับควบคุมคิดลบ (ขาดทุน) น้อยที่สุดเท่ากับ -932.00 บาทต่อไร่ สำหรับรายได้สุทธิของการปลูกมันสำปะหลังทุกคำรับมีทั้งค่าเชิงบวก (กำไร) และค่าเชิงลบ (ขาดทุน) โดยการปลูกมันสำปะหลัง คำรับที่ 6 ในการใส่ปุ๋ยตาม

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา นครราชสีมา

¹ Faculty of Science and Technology, Nakhon Ratchasima Rajabhat University, Nakhon Ratchasima

* Corresponding Author E - mail Address: pom_pum007@hotmail.com

ค่าวิเคราะห์ดินร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีผลให้รายได้สุทธิมากที่สุดเท่ากับ 3,854.80 บาทต่อไร่ และค่ารับควบคุมเท่ากับ 49.20 บาทต่อไร่ ซึ่งค่ารับที่ 6 รายได้สุทธิสูงกว่าค่ารับควบคุมมากที่สุด ส่วนค่ารับที่เหลือให้รายได้สุทธิเป็นลบ (ขาดทุน) ทั้งหมด

คำสำคัญ : การใช้ประโยชน์ที่ดิน; ข้าว; มันสำปะหลัง; การกักเก็บคาร์บอน; การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Abstract

The objective of this study is to analyze the use of Tungsamrit area for soil management on growth and the production of economic crops, as well as to assess carbon dioxide emissions and soil organic carbon sequestration for economic crops proceeding in the low suitable area for rice growing (S3), Thung Samrit area at Nakhon Ratchasima Province. The Randomize Complete Block Design (RCBD) experiment was designed with 6 experimental treatments, 4 replications. The results showed that rice and cassava planting affect the chemical properties of the soil. Soil pH was acidic to severe acidic. EC of the soil was evaluated as low to moderate salinity. Quantity of organic matter and nutrients, phosphorus and potassium were in the range of low to very low. Regarding the growth and the production of rice, it was found that chemical fertilizer application according to soil analysis values together with organic fertilizer, gypsum, and bio-extract; the highest yield of rice was 274 kilograms per rai, and the highest cassava yield was 4,680 kilograms per rai. When compared to the control recipe using fertilizer application according to soil analysis values together with gypsum, bio-extract through farmer methods; resulting for the highest organic carbon storage in the soil, equaled to 0.30 percent for rice cultivation and 0.86 percent for cassava plantation. For carbon dioxide emission, both rice and cassava cultivation had similar values which as 559.45 ppm, and 524.83 ppm, respectively which were not statistically different at the 95 percent confidence level. Net income for rice cultivation of all recipe had negative income (a loss), the net income of the control recipe was the lowest as -932.00 baht per rai. Some recipe of cassava cultivation had either positive or negative income. The recipe by application of fertilizer according to soil analysis values together with fertilizer, gypsum and bio-extract would result as the highest net income of 3,854.80 bath per rai compared to the control recipe as the net income was 49.20 bath per rai. The rest recipe of cassava cultivation had negative income (a loss).

Keywords: Land Use; Rice; Cassava; Carbon Sequestration; Carbon Dioxide Emission

บทนำ

พื้นที่ทุ่งสัมฤทธิ์ในจังหวัดนครราชสีมา ครอบคลุม 10 อำเภอ 48 ตำบล มีเนื้อที่ประมาณ 1.04 ล้านไร่ [1] มีการใช้ประโยชน์ที่ดินที่หลากหลายในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สามารถแบ่งการใช้ที่ดินดังนี้ ภาคการเกษตร ป่าไม้ พื้นที่เบ็ดเตล็ด พื้นที่ชุมชน และพื้นที่น้ำ จากสภาพปัญหาพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เพาะปลูกข้าว ซึ่งมีผลผลิตและคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐาน สภาพดินที่เป็นปัญหาดินเค็ม และปลูกพืชไม่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ดิน โดยพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่เหมาะสมน้อยสำหรับการปลูกข้าว (S3) และพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าว (N) แต่เกษตรกรก็ยังปลูกข้าวในพื้นที่ที่เหมาะสมน้อยหรือปลูกข้าวในพื้นที่ที่ไม่เหมาะสม และพบว่ายังมีเกษตรกรทำนาในพื้นที่ดอน และมีการจัดการดินที่ไม่ถูกต้อง จึงทำให้ได้ผลผลิตต่ำต้นทุนการผลิตสูง ไม่คุ้มทุนต่อการปลูกข้าว จึงควรมีการปรับเปลี่ยนปลูกพืชให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่การปลูกพืชทุกชนิด นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกในปัจจุบัน ส่งผลถึงปัญหาของสภาวะโลกร้อน โดยในกลุ่มก๊าซเรือนกระจกนั้น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) มีการปลดปล่อยมากที่สุด [2] ซึ่งมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในอุตสาหกรรม ชุมชน และเกษตรกรรมบางประเภท เช่น การย่อยสลายของซากพืช ซากสัตว์ เป็นต้น ส่วนการปลูกพืชเป็นส่วนหนึ่งของการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จึงช่วยลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อย่างไรก็ตามพืชชนิดต่างกันมีการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่างกัน จึงมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บ้าง ซึ่งประเด็นเกี่ยวกับสภาวะโลกร้อนและพืชที่ปลูกเป็นประเด็นรองมากกว่าประเด็นหลักที่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม เกิดการเสื่อมโทรมของดินส่งผลให้สมบัติทางกายภาพ เคมีของดินเปลี่ยนแปลง ยังส่งผลต่อการสูญเสียคาร์บอนในดินซึ่งเป็นตัวชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของดิน รวมทั้งชนิดพืชที่ปลูกเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอินทรีย์คาร์บอนในดิน [3] ดังนั้น ควรมีการจัดการดินในการเพาะปลูก เนื่องจากดินเป็นทรัพยากรที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยดินแต่ละชนิดมีศักยภาพการผลิตที่แตกต่างกันและส่งผลกระทบต่อเจริญเติบโตของพืชและผลผลิตที่ต่างกันด้วยเช่นกัน และมีผลต่อรายได้และความเป็นอยู่ของเกษตรกร ถ้าดินมีศักยภาพในการผลิตต่ำจะทำให้เกษตรกรไม่สามารถผลิตพืชให้มีรายได้เพียงพอต่อการยังชีพ ดังนั้นเพื่อให้เกษตรกรในพื้นที่ทุ่งสัมฤทธิ์มีรายได้จากผลผลิตข้าว และมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาเพื่อประเมินคุณค่าการใช้ประโยชน์พื้นที่ทุ่งสัมฤทธิ์ และช่วยฟื้นฟูทรัพยากรดินให้ดีขึ้น มีการใช้ประโยชน์ที่ดินให้เหมาะสมกับการปลูกพืชในแต่ละชนิด ให้มีศักยภาพสูงสุด เกษตรกรได้มีส่วนร่วมในการจัดการดินและการปลูกพืชตั้งแต่เริ่มจนถึงการเก็บเกี่ยวผลผลิต รวมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์พื้นที่ในการทำเกษตรเขตพื้นที่ทุ่งสัมฤทธิ์ จังหวัดนครราชสีมาได้อย่างยั่งยืน

วิธีดำเนินการวิจัย

อุปกรณ์

1. แปลงของเกษตรกรผู้ปลูกข้าว และปลูกมันสำปะหลัง ในพื้นที่ความเหมาะสมน้อยสำหรับการปลูกข้าว (S3) เขตทุ่งสัมฤทธิ์ จังหวัดนครราชสีมา
2. พืชที่ปลูกข้าว พันธุ์ข้าวหอมมะลิ 105 และมันสำปะหลัง พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50
3. ปุ๋ยเคมีที่ใช้
 - 3.1 ข้าว ได้แก่ ปุ๋ยเคมี (46-0-0) ปุ๋ยเคมีสูตร (16-20-0) และปุ๋ยเคมีสูตร (0-0-60)

3.2 มันท่ำปะหลัง ได้แก่ ปุ๋ยเคมีสูตร (15-15-15) ปุ๋ยเคมีสูตร (15-7-8) ปุ๋ยเคมีสูตร (18-46-0)

4. ชุดเก็บตัวอย่างดินแบบไม่ทำลายโครงสร้าง (Soil Core Samplers) ได้แก่ วงแหวนเก็บตัวอย่างดิน

5. สารปรับสภาพดิน ได้แก่ ยิปซัม

6. ปุ๋ยอินทรีย์ ได้แก่ ปุ๋ยหมัก และพืชปุ๋ยสด (ถั่วพุ่มดำ)

7. น้ำหมักชีวภาพที่หมักจากสับปะรด

8. อุปกรณ์ในการเก็บตัวอย่างพืช ได้แก่ มีดสำหรับเก็บตัวอย่างพืช ถังพลาสติกสำหรับเก็บตัวอย่างพืช ตลับเมตร ไม้เมตรสำหรับวัดความสูง และเครื่องชั่งน้ำหนักพืชในสนาม

9. เครื่องวัดเปอร์เซ็นต์แป้ง

10. เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ดินทางเคมี

11. เครื่องมือวัดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบพกพา Testo 535

วิธีการ

1. วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Randomize Complete Block Design: RCBD) ประกอบด้วย 6 คำรับการทดลอง จำนวน 4 ซ้ำ ตามคำรับการทดลองดังนี้

คำรับการทดลองที่ 1 แปลงควบคุม (Control)

คำรับการทดลองที่ 2 แปลงวิธีเกษตรกร

คำรับการทดลองที่ 3 แปลงวิธีเกษตรกรร่วมกับยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ

คำรับการทดลองที่ 4 แปลงใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ

คำรับการทดลองที่ 5 แปลงใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ

คำรับการทดลองที่ 6 แปลงใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับแปลงใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ

2. ขั้นตอนการดำเนินงาน

2.1 คัดเลือกพื้นที่แปลงทดลอง

คัดเลือกพื้นที่ปลูก กลุ่มชุดดินที่ 20 ชุดดินทุ่งสัมฤทธิ์ ณ แปลงของเกษตรกร ตำบลโคกกลาง อำเภอบึงสามพัน จังหวัดนครราชสีมา ปลูกข้าวพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าวเหนียว (S3) และปลูกมันสำปะหลังในพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการปลูกข้าวเหนียว (S3) ในพื้นที่ดินเค็มระดับน้อย เขตทุ่งสัมฤทธิ์ จังหวัดนครราชสีมา (รูปที่ 1)

แผนผังการทดลองการปลูกข้าว

แผนผังการทดลองการปลูกมันสำปะหลัง

T1R4	T3R2	T6R1	T5R4	T1R3	T4R1	T3R1	T2R1	T4R1	T6R1	T5R1	T1R1
T3R3	T2R1	T5R3	T3R1	T6R3	T6R2	T4R2	T1R1	T3R2	T5R2	T6R2	T2R2
T4R4	T3R4	T2R2	T2R3	T5R2	T5R1	T1R3	T4R3	T2R3	T5R2	T5R3	T6R3
T4R2	T2R4	T6R4	T1R1	T1R2	T4R3	T5R4	T2R4	T1R4	T6R4	T4R4	T3R4

รูปที่ 1 แผนผังการทดลองการปลูกข้าวและมันสำปะหลัง

ความหมายของ T คือ คำรับการทดลอง, R คือ จำนวนซ้ำ

2.1 คัด

2.2 ขนาดของแปลงทดลอง

2.2.1 ข้าวทำการปรับพื้นที่ให้เหมาะสมสำหรับปลูกข้าวแล้วแบ่งพื้นที่เป็นแปลงย่อย มีขนาด 5 x 5 เมตร จำนวน 24 แปลง

2.2.2 มันสำปะหลังทำการไถเตรียมแปลงแล้วแบ่งวัดขนาดแปลงย่อย 5 x 8 เมตร จำนวน 24 แปลง

2.3 การปลูก

2.3.1 ข้าวการเตรียมเมล็ดพันธุ์ข้าวพันธุ์ข้าวหอมมะลิ 105 โดยแช่เมล็ดพันธุ์ข้าว ในน้ำหมักชีวภาพอัตรา 20 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตรต่อเมล็ดข้าว 20 กิโลกรัม การปลูกข้าวหอมมะลิ 105 โดยการหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวในแปลงที่เตรียมไว้ อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่

2.3.2 มันสำปะหลังการเตรียมท่อนพันธุ์มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 โดยแช่ ท่อนพันธุ์มันสำปะหลังในน้ำหมักชีวภาพอัตรา 20 มิลลิลิตรต่อน้ำ 20 ลิตร ใช้รถแทรกเตอร์ยกร่อง ความยาวท่อนพันธุ์ 20 - 25 เซนติเมตร ใช้ระยะปลูกระหว่างร่อง 100 เซนติเมตร ระหว่างต้น 80 เซนติเมตร

2.4 การบำรุงดูแลรักษา

2.4.1 การให้น้ำหมักชีวภาพ

2.4.1.1 ข้าวการให้น้ำหมักชีวภาพใช้อัตรา 4 ช้อนโต๊ะ ผสมน้ำ 20 ลิตร ในตำรับการทดลองที่ 3 4 5 และ 6 โดยการฉีดพ่นลงในแปลงข้าว ช่วงอายุข้าว 30 50 และ 60 วัน

2.4.1.2 มันสำปะหลังการให้น้ำหมักชีวภาพ ใช้อัตรา 4 ช้อนโต๊ะ ผสมน้ำ 20 ลิตร ในตำรับการทดลองที่ 3 4 5 และ 6 โดยการฉีดพ่นลงในแปลงมันสำปะหลัง ช่วงอายุ 30 60 และ 90 วัน

2.4.2 การใส่ปุ๋ยหมักใช้อัตรา 2 ตันต่อไร่ และการใส่ปุ๋ยสด (ถั่วพุ่มดำ) ใช้อัตรา 8 กิโลกรัมต่อไร่

2.4.3 การใช้สารปรับสภาพดิน ได้แก่ ยิปซัม อัตราการใช้ 320 กิโลกรัมต่อไร่

2.4.4 การใส่ปุ๋ยเคมี โดยมีการใส่ตามตำรับการทดลอง ดังนี้

2.4.4.1 ข้าว

ก. ตำรับการทดลองที่ 2 วิถีเกษตรกร มีการใส่ปุ๋ยสูตร 46-0-0 รองพื้นอัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ แต่งหน้าและสร้างรวงอย่างละ 15 กิโลกรัมต่อไร่ ปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ในการรองพื้น

ข. ตำรับการทดลองที่ 3 วิถีเกษตรกรกับน้ำหมักชีวภาพ มีการใส่ ปุ๋ยสูตร 46-0-0 รองพื้นอัตรา 10 กิโลกรัมต่อไร่ แต่งหน้าและสร้างรวงอย่างละ 15 กิโลกรัมต่อไร่ ปุ๋ยสูตร 16-20-0 อัตรา 20 กิโลกรัมต่อไร่ในการรองพื้น และใส่ยิปซัม 320 กิโลกรัมต่อไร่

ค. ตำรับการทดลองที่ 4 คำนวณจากการใส่ปุ๋ยเคมี (ตามค่า วิเคราะห์ดิน) กับน้ำหมักชีวภาพ และใส่ยิปซัม 320 กิโลกรัมต่อไร่

ง. ตำรับการทดลองที่ 5 การใช้ปุ๋ยอินทรีย์กับน้ำหมักชีวภาพ มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ ใส่ถั่วพุ่ม 8 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่ยิปซัม 320 กิโลกรัมต่อไร่

จ. ดำรับการทดลองที่ 6 การใช้ปุ๋ยเคมี (ตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์กับน้ำหมักชีวภาพ มีการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ ใส่ถั่วพุ่ม 8 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่ยิปซัม 320 กิโลกรัมต่อไร่

2.4.4.2 มั่นสำปะหลัง

ก. ดำรับการทดลองที่ 2 วิถีเกษตรกรรมมีการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่

ข. ดำรับการทดลองที่ 3 วิถีเกษตรกรรมกับน้ำหมักชีวภาพ มีการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 46-0-0 อัตรา 25 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่ยิปซัม 320 กิโลกรัมต่อไร่

ค. ดำรับการทดลองที่ 4 คำนแนะนำจากการใส่ปุ๋ยเคมี (ตามค่าวิเคราะห์ดิน) กับ น้ำหมักชีวภาพ และใส่ยิปซัม 320 กิโลกรัมต่อไร่

ง. ดำรับการทดลองที่ 5 การใช้ปุ๋ยอินทรีย์กับน้ำหมักชีวภาพ มีการใส่ปุ๋ยหมัก อัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ ใส่ถั่วพุ่ม 8 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่ยิปซัม 320 กิโลกรัมต่อไร่

จ. ดำรับการทดลองที่ 6 การใช้ปุ๋ยเคมี (ตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์กับน้ำหมักชีวภาพ มีการใส่ปุ๋ยหมักอัตรา 2,000 กิโลกรัมต่อไร่ ใส่ถั่วพุ่ม 8 กิโลกรัมต่อไร่ และใส่ยิปซัม 320 กิโลกรัมต่อไร่

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. การเก็บข้อมูลของดิน การศึกษาสมบัติของดินในแปลงทดลองก่อนและหลังการปลูกพืช

1.1 การเตรียมตัวอย่างดินเก็บตัวอย่างดินจากแปลงทดลองที่ระดับความลึก 0 - 30 เซนติเมตร นำดินมาบดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 และ 0.5 มิลลิเมตร เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน

1.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของดิน

1.2.1 ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) วัดโดยใช้ pH meter อัตราส่วนระหว่างดินต่อน้ำเท่ากับ 1:1

1.2.2 ค่าการนำไฟฟ้า (EC_e) โดยวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายดินที่สกัดจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Extract) วัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่อง Electrical Conductivity Meter

1.2.3 Organic Matter โดยวิธี Walkley and Black Titration

1.2.4 ทาค่า Available P โดยวิธี Bray II และทาค่า Exchangeable K สกัดดินด้วยสารละลาย 1 N. NH₄ CH₃COO pH 7 แล้วนำไปวัดปริมาณด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

2. การเก็บข้อมูลของพืช

2.1 ข้าว

ก. วัดการเจริญเติบโตของข้าว ได้แก่ ความสูงของต้นข้าว และจำนวนต้นตอกออกที่อายุ 30 50 60 และ 90 วัน

ข. เก็บผลผลิตข้าวที่อายุประมาณ 120 วัน ได้แก่ พื้นที่เก็บเกี่ยว 1 x 1 เมตร

2.2 มนสำปะหลัง

2.2.1 วัดการเจริญเติบโตของมนสำปะหลัง ได้แก่ ความสูงต้นมนสำปะหลังที่อายุ 36 และ 8 เดือน

2.2.2 เก็บผลผลิตมนสำปะหลังที่อายุประมาณ 12 เดือน โดยใช้มีดตัดต้นเหนือระดับพื้นดินประมาณ 30 เซนติเมตร โดยใช้รถแทรกเตอร์เก็บเกี่ยวผลผลิต พื้นที่เก็บเกี่ยวผลผลิต ขนาด 3 x 6 เมตร และจำนวนหัวต่อต้น

3. การเก็บข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝน

4. สุ่มเก็บตัวอย่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้เครื่อง Testo 535 แบบพกพา เก็บแปลงละหนึ่งจุด จุดละ 15 นาที ในกล่องพื้นที่ 1 ตารางเมตร วัดหลังจากเก็บผลผลิตเพื่อวัดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินสู่บรรยากาศ

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลธาตุอาหารพืชในดินโดยการนำตัวอย่างดินมาวิเคราะห์ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH) ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน (OM) ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน (OC) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (P) และโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในดิน (K)

การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ทางสถิติจะนำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช การวิเคราะห์ทางสถิติ จะนำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง การวิเคราะห์ธาตุอาหารพืช คุณสมบัติทางเคมีของดินก่อนและหลังการทดลอง มาหาค่าความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of Variance) ค่าเฉลี่ย ร้อยละ และ F-test พร้อมทั้งค่าสถิติสำหรับเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธี LSD (Least Significant Difference) และคำนวณผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ การวิเคราะห์ผลตอบแทนในการผลิตข้าว และมนสำปะหลัง ตัวชี้วัด คือ รายได้สุทธิ (Net Revenue หรือ Net Income) ที่เกิดจากการผลิตข้าว และมนสำปะหลังในแต่ละแปลงทดลอง ทั้งนี้รายได้สุทธิเกิดจากส่วนแตกต่างระหว่างรายได้รวม (Total Revenue) จากการขายผลผลิต และค่าใช้จ่ายผันแปรในการผลิต [4]

ผลการวิจัย

การประเมินคุณค่าการใช้ประโยชน์พื้นที่ทุ่งสัมฤทธิ์เพื่อการจัดการพืชเศรษฐกิจ

1. การเจริญเติบโต และผลผลิตของพืชเศรษฐกิจ

1.1 การเจริญเติบโต และผลผลิตของข้าวพันธุ์หอมมะลิ 105 ความสูงต้น ภายหลังจากการใส่ปุ๋ยตามค่ารับการทดลองต่าง ๆ มีผลให้ความสูงต้นของข้าวที่อายุ 30 50 60 และ 90 วันหลังปลูกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 1) กล่าวคือ ช่วงข้าวอายุ 30 และ 50 วัน ค่ารับการทดลองที่มีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ร่วมกับยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีผลให้ความสูงต้นของข้าวมากที่สุดเท่ากับ 10.07 เซนติเมตร และ 17.40 เซนติเมตร เมื่อช่วงข้าวอายุ 60 และ 90 วัน ค่ารับการทดลองใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีผลให้ความสูงของต้นข้าวมากที่สุดเท่ากับ 21.35 เซนติเมตร และ 23.97 เซนติเมตร

ตารางที่ 1 ความสูงของข้าวพันธุ์หอมมะลิ 105 ที่ระยะต่าง ๆ น้ำหนักรวม และผลผลิต

คำรับทดลอง	ความสูง (ซม.)				น้ำหนักรวม (กรัม/ 1 ตารางเมตร)	ผลผลิต (กรัม/ 1 ตารางเมตร)	ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)
	30 วัน	50 วัน	60 วัน	90 วัน			
การทดลองที่ 1	7.57 ^{bc}	10.57 ^b	12.35 ^b	13.22 ^b	335.00	105.00 ^c	168.00 ^c
การทดลองที่ 2	7.30 ^{bc}	10.82 ^b	12.17 ^b	13.40 ^b	415.00	121.25 ^{bc}	194.00 ^{bc}
การทดลองที่ 3	7.25 ^{bc}	11.4 ^b	13.7 ^b	15.05 ^b	445.00	158.75 ^{ab}	254.00 ^{ab}
การทดลองที่ 4	7.02 ^c	11.00 ^b	12.95 ^b	13.75 ^b	445.00	143.75 ^{abc}	230.00 ^{abc}
การทดลองที่ 5	10.07 ^a	17.40 ^a	20.87 ^a	23.67 ^a	392.50	160.00 ^{ab}	256.00 ^{ab}
การทดลองที่ 6	8.62 ^b	15.50 ^{ab}	21.35 ^a	23.97 ^a	477.50	171.25 ^a	274.00 ^a
ค่าเฉลี่ย	7.97	12.78	15.56	17.17	418.33	143.00	229.33
F-test	**	**	**	**	ns	*	*
CV (%)	8.51	18.61	17.23	18.97	26.47	19.83	19.83

* หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

a, b ตัวอักษรเหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธี LSD

น้ำหนักรวม และผลผลิตของข้าว น้ำหนักรวมของข้าวที่ระยะเก็บเกี่ยว พบว่าน้ำหนักรวมไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 1) กล่าวคือ วิธีการใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีค่าน้ำหนักรวมมากที่สุดเท่ากับ 477.50 กรัม

ผลผลิตของข้าว มีผลทำให้ผลผลิตของข้าว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 1) กล่าวคือ วิธีการใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีผลให้ผลผลิตของข้าวมากที่สุดเท่ากับ 274.00 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่คำรับควบคุม (Control) มีผลให้ผลผลิตของข้าวต่ำที่สุดเท่ากับ 168 กิโลกรัมต่อไร่

1.2 การเจริญเติบโต และผลผลิตของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ความสูงของ มันสำปะหลัง ภายหลังจากการใส่ปุ๋ยตามคำรับทดลองต่าง ๆ มีผลให้ความสูงของต้นมันสำปะหลัง ที่อายุ 3 6 และ 8 เดือนหลังปลูก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2) กล่าวคือ วิธีการใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีผลต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังโดยมีค่าความสูงต้นของมันสำปะหลังเท่ากับ 113.50 193.12 และ 228.50 เซนติเมตร ตามลำดับ ขณะที่คำรับควบคุม (Control) มีผลให้ความสูงต้นของมันสำปะหลังต่ำที่สุด ทุกระยะการเจริญเติบโต

ตารางที่ 2 ความสูงที่ระยะต่าง ๆ จำนวนหัวต่อต้น และค่าอัตราส่วนร้อยละของแป้งมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50

ตำรับทดลอง	ความสูง (ซม.)			จำนวนหัวต่อต้น	อัตราส่วนร้อยละของแป้ง
	3 เดือน	6 เดือน	8 เดือน		
การทดลองที่ 1	64.80 ^c	99.42 ^b	122.50 ^c	8	23.97 ^{cd}
การทดลองที่ 2	74.87 ^{bc}	127.50 ^b	146.37 ^c	9	23.52 ^d
การทดลองที่ 3	73.77 ^{bc}	110.00 ^b	129.25 ^c	9	24.35 ^{bcd}
การทดลองที่ 4	82.72 ^b	165.50 ^a	192.12 ^b	9	26.00 ^a
การทดลองที่ 5	82.70 ^b	125.65 ^b	148.00 ^c	11	25.20 ^{ab}
การทดลองที่ 6	113.50 ^a	193.12 ^a	228.50 ^a	13	25.10 ^{abc}
ค่าเฉลี่ย	82.06	136.86	161.12	10	24.52
F-test **	**	**	ns	**	
CV (%)	10.98	14.76	13.55	19.98	3.22

** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

a, b ตัวอักษรเหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธี LSD

จำนวนหัวต่อต้นของมันสำปะหลังที่ระยะเก็บเกี่ยว พบว่าจำนวนหัวต่อต้น ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 2) กล่าวคือวิธีการใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีค่าจำนวนหัวมากที่สุดเท่ากับ 13 หัวต่อต้น

ค่าอัตราส่วนร้อยละของแป้งมันสำปะหลังภายหลังจากการทดลองพบว่า ค่าอัตราส่วนร้อยละของแป้งมันสำปะหลังระยะเก็บเกี่ยว มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3) กล่าวคือวิธีการใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีผลต่อค่าอัตราส่วนร้อยละของแป้งมันสำปะหลังมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 26 ขณะที่วิธีการกรรมมีผลให้ค่าอัตราส่วนร้อยละของแป้งมันสำปะหลังต่ำที่สุดเท่ากับร้อยละ 23.52

น้ำหนักลำต่อพื้นที่เก็บเกี่ยว พบว่าน้ำหนักลำของมันสำปะหลัง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3) กล่าวคือแปลงใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีน้ำหนักลำของมันสำปะหลังมากที่สุดเท่ากับ 35.57 กิโลกรัมต่อพื้นที่เก็บเกี่ยว ขณะที่วิธีการกรรม ร่วมกับยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ น้ำหนักลำของมันสำปะหลังต่ำที่สุดเท่ากับ 12.75 กิโลกรัมต่อพื้นที่เก็บเกี่ยว

ผลผลิตของมันสำปะหลัง ภายหลังจากการใส่ปุ๋ยตามตำรับการทดลองต่าง ๆ พบว่าผลผลิตของมันสำปะหลังมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 3) กล่าวคือ วิธีการใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีผลให้ผลผลิตของมันสำปะหลังมากที่สุดเท่ากับ 4,680 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่ตำรับควบคุม (Control) มีผลผลิตของมันสำปะหลังต่ำที่สุดเท่ากับ 1,640 กิโลกรัมต่อไร่

ตารางที่ 3 น้ำหนักลำ และผลผลิตของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ที่ระยะเก็บเกี่ยว

ตำรับทดลอง	น้ำหนักลำ (กิโลกรัม/พื้นที่เก็บเกี่ยว)	ผลผลิต (กิโลกรัม/16ตารางเมตร)	ผลผลิต (กิโลกรัม/ไร่)
การทดลองที่ 1	13.25 ^b	16.40 ^c	1,640.00 ^c
การทดลองที่ 2	23.55 ^b	18.90 ^{bc}	1,890.00 ^{bc}
การทดลองที่ 3	12.75 ^b	21.30 ^{bc}	2,130.00 ^{bc}
การทดลองที่ 4	21.82 ^b	30.45 ^b	3,045.00 ^b
การทดลองที่ 5	20.00 ^b	21.65 ^{bc}	2,165.00 ^{bc}
การทดลองที่ 6	35.57 ^a	46.8 ^a	4,680.00 ^a
ค่าเฉลี่ย	21.15	25.91	1811.66
F-test	*	**	**
CV (%)	37.41	32.09	32.09

* หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

a, b ตัวอักษรเหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธี LSD

2. คุณสมบัติทางเคมีของดิน

2.1 สมบัติทางเคมีของดินก่อน และหลังการทดลองการปลูกข้าว

ตารางที่ 4 สมบัติทางเคมีของดินก่อน และหลังการทดลองการปลูกข้าว

ตำรับ การทดลอง	ก่อนการทดลอง					หลังการทดลอง				
	pH	EC (ds/m ⁻¹)	OM (ร้อยละ)	P (mg/kg ⁻¹)	K (mg/kg ⁻¹)	pH	EC (ds/m ⁻¹)	OM (ร้อยละ)	P (mg/kg ⁻¹)	K (mg/kg ⁻¹)
การทดลองที่ 1	4.5 ^a	0.02 ^c	0.49 ^{ab}	1 ^a	1 ^c	4.5 ^b	0.12 ^b	0.43 ^b	0.25 ^c	10.75 ^{cd}
การทดลองที่ 2	4 ^b	0.03 ^{bc}	0.19 ^c	1 ^a	4 ^a	4.5 ^{ab}	0.11 ^b	0.52 ^a	0.25 ^c	11.00 ^c
การทดลองที่ 3	4.8 ^a	0.04 ^b	0.5 ^{ab}	1 ^a	1 ^c	4.4 ^b	0.13 ^b	0.29 ^d	0.25 ^c	9.00 ^d
การทดลองที่ 4	4.5 ^a	0.02 ^c	0.4 ^b	0 ^b	5 ^{ab}	4.6 ^a	0.14 ^b	0.52 ^a	3.75 ^a	11.25 ^c
การทดลองที่ 5	4.7 ^a	0.06 ^a	0.54 ^a	1 ^a	1 ^c	4.6 ^a	0.43 ^a	0.35 ^c	1.75 ^b	15.00 ^b
การทดลองที่ 6	4.5 ^a	0.02 ^c	0.4 ^b	1 ^a	2 ^{bc}	4.4 ^b	0.35 ^a	0.37 ^c	0.50 ^c	18.00 ^a
ค่าเฉลี่ย	4.5	0.03	0.42	0.83	2.33	4.5	0.21	0.41	0.52	12.5
F-test	**	**	**	**	**	*	**	**	**	**
CV (%)	5.08	33.62	20.98	7.82	54.23	3.25	31.35	3.98	52.8	8.7

* หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 99

a, b ตัวอักษรเหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธี LSD

ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของดิน ภายหลังจากการทดลองต่าง ๆ มีค่าแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4) กล่าวคือ การใช้แบบวิธีเกษตรกร ร่วมกับยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ และการใช้วิธีการใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีผลให้ค่า pH ของดิน เป็นกรดรุนแรง (pH 4.4) ขณะที่การใช้วิธีการใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ และการใช้วิธีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ร่วมกับยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพมีผลให้ ค่า pH ของดินเป็นกรดจัด (pH 4.6) อย่างไรก็ตาม เมื่อใช้เกณฑ์การประเมินจาก [5] มาพิจารณาร่วมด้วย พบว่า ทุกคำรับทดลองมีผลให้ค่า pH ของดินอยู่ในระดับเป็นกรดรุนแรงถึงกรดจัด (pH 4.4 - 4.6)

ค่าการนำไฟฟ้า (EC_e) ของดิน (ดิน:น้ำ = 1:5) ภายหลังจากการทดลอง มีผลแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4) กล่าวคือ การใช้แบบวิธีใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ร่วมกับยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีผลให้ค่า EC_e ของดินเท่ากับ 0.43 dS/m (เค็มปานกลาง) ขณะที่การใช้แบบวิธีเกษตรกรมีผลให้ค่า EC_e ของดินเท่ากับ 0.11 dS/m (ไม่เค็ม) เมื่อนำเกณฑ์การประเมินจาก [5] มาพิจารณาร่วมด้วยพบว่า คำรับทดลองที่ 5 และคำรับการทดลองที่ 6 มีผลให้ค่า EC_e ของดินอยู่ระหว่าง 0.31 - 0.60 dS/m (อยู่ในระดับเค็มปานกลาง) นั่นคือ มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช และคำรับการทดลองที่ 1 2 3 และ 4 มีผลให้ค่า EC_e ของดินเท่ากับ <0.15 dS/m (อยู่ในระดับที่ไม่เค็ม) นั่นคือ ไม่มีผลกระทบ กระตุ้นต่อการเจริญเติบโตของพืช หรือพืชที่ไวต่อความเค็มอาจมีการเจริญเติบโตลดลงบ้าง

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ภายหลังจากการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4) กล่าวคือ การใช้วิธีเกษตรกร และการใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีผลต่อปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 0.52 เมื่อใช้เกณฑ์การจาก [5] มาพิจารณาร่วมด้วย พบว่าคำรับทดลองที่ 1 3 5 และ 6 มีผลต่อปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ในระดับต่ำมาก (<ร้อยละ 0.5)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ภายหลังจากการทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4) กล่าวคือ การใช้วิธีการใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมากที่สุด (3.75 mg/kg) ขณะที่คำรับการทดลองที่ 1 2 และ 3 มีผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำที่สุด (0.25 mg/kg) ไม่แตกต่างกับ คำรับการทดลองที่ 6 เมื่อใช้เกณฑ์การประเมินจาก [5] มาพิจารณาร่วมด้วยพบว่า ทุกคำรับทดลอง มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำมาก (<7 mg/kg)

ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ ภายหลังจากการทดลองมีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4) กล่าวคือ การใช้วิธีการใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีผลต่อปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมากที่สุด (18.00 mg/kg) ขณะที่การใช้วิธีเกษตรกร ร่วมกับยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีผลต่อปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินน้อยที่สุด (9.00 mg/kg) เมื่อใช้เกณฑ์การประเมินจาก [5] มาพิจารณาร่วมด้วย พบว่าคำรับทดลองที่ 6 การใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีผลต่อปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินอยู่ในระดับต่ำ (16 - 30 mg/kg) และคำรับการทดลองที่ 1 2 3 4 และ 5 มีผลต่อปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินอยู่ในระดับต่ำ (<16 mg/kg)

2.2 สมบัติทางเคมีของดินก่อน และหลังการทดลองการปลูกมันสำปะหลัง

ตารางที่ 5 สมบัติทางเคมีของดินก่อนและหลังการทดลองปลูกมันสำปะหลัง

ลำดับ การทดลอง	ก่อนการทดลอง					หลังการทดลอง				
	pH	EC (ds/m ⁻¹)	OM (ร้อยละ)	P (mg/kg ⁻¹)	K (mg/kg ⁻¹)	pH	EC (ds/m ⁻¹)	OM (ร้อยละ)	P (mg/kg ⁻¹)	K (mg/kg ⁻¹)
การทดลองที่ 1	4.7 ^{ab}	0.01	0.45 ^{ab}	1	7 ^a	4.6 ^a	0.10 ^d	1.13 ^b	4.50 ^b	27.00 ^a
การทดลองที่ 2	4.5 ^b	0.02	0.4 ^{bc}	1	5 ^c	4.2 ^b	0.16 ^{cd}	0.50 ^f	3.50 ^b	12.50 ^c
การทดลองที่ 3	4.8 ^a	0.01	0.35 ^c	1	6 ^b	4.6 ^a	0.49 ^a	1.49 ^a	0.30 ^c	22.00 ^b
การทดลองที่ 4	4.7 ^{ab}	0.01	0.48 ^a	1	7 ^a	4.0 ^b	0.44 ^{ab}	0.63 ^c	4.50 ^b	9.00 ^d
การทดลองที่ 5	4.5 ^b	0.02	0.42 ^{ab}	1	5 ^c	4.5 ^a	0.23 ^c	0.69 ^d	3.80 ^b	13.00 ^c
การทดลองที่ 6	4.7 ^{ab}	0.01	0.45 ^{ab}	1	7 ^a	4.6 ^a	0.40 ^b	0.97 ^c	23.25 ^a	22.00 ^b
ค่าเฉลี่ย	4.65	0.01	0.42	1	6.16	4.41	0.3	0.9	6.64	17.58
F-test *	ns	**	ns	**	**	**	**	**	**	**
CV (%)	3.07	63.25	9.39	4.47	1.62	2.94	12.91	1.67	9.9	4.72

* หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 99

a, b ตัวอักษรเหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธี LSD

ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของดิน ภายหลังจากการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 5) กล่าวคือ การใช้แบบวิธีเกษตรกร ร่วมกับยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ การใช้วิธีการใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ และค่ารับควบคุม (Control) มีผลให้ค่า pH ของดินเป็นกรดจัด (pH 4.6) ไม่แตกต่างกับการใช้วิธีการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ร่วมกับยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ และแปลงใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพมีผลให้ค่า pH ของดินเป็นกรดรุนแรง (pH 4.0) อย่างไรก็ตาม เมื่อใช้เกณฑ์การประเมินจาก [5] มาพิจารณาร่วมด้วยพบว่า ทุกค่ารับทดลองมีผลให้ค่า pH ของดินอยู่ในระดับเป็นกรดรุนแรงถึงกรดจัด (pH 4.0 - 4.6)

ค่าการนำไฟฟ้า (EC_e) ของดิน (ดิน:น้ำ = 1:5) ภายหลังจากการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 5) กล่าวคือ การใช้วิธีเกษตรกร ร่วมกับยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีผลให้ค่า EC_e ของดินเค็มปานกลาง (0.49 dS/m) ไม่แตกต่างกับวิธีการใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ ขณะที่ค่ารับควบคุม (Control) มีผลให้ค่า EC_e ของดินไม่เค็ม (0.10 dS/m) อย่างไรก็ตาม เมื่อนำเกณฑ์การประเมินจาก [5] มาพิจารณาร่วมด้วยพบว่า ค่ารับการทดลองที่ 3 4 และ 6 มีผลให้ค่า EC_e ของดินอยู่ในระดับเค็มปานกลาง (0.31 - 0.60 dS/m) นั่นคือ มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช ค่ารับการทดลองที่ 5 มีผลให้ค่า EC_e ของดินอยู่ในระดับเค็มน้อยมาก (0.15 - 0.30 dS/m) และค่ารับการทดลองที่ 1 และ 2 มีผลให้ค่า EC_e ของดินอยู่ในระดับ

ไม่เค็ม (<0.15 dS/m) นั่นคือ ไม่มีผลกระทบกระเทือนต่อการเจริญเติบโตของพืช หรือพืชที่ไวต่อความเค็มอาจมีการเจริญเติบโตลดลงบ้าง

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ภายหลังจากการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 5) กล่าวคือ การใช้วิธีเกษตรกร ร่วมกับยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ในดินสูงที่สุดร้อยละ 1.49 และการใช้วิธีเกษตรกรมีผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินต่ำที่สุดร้อยละ 0.50 เมื่อใช้เกณฑ์จาก [5] มาพิจารณาร่วมด้วย พบว่าค่ารับทดลองที่ 1 2 4 5 และ 6 มีผลให้ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ในระดับต่ำ (ร้อยละ 0.5 - 1.0)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ภายหลังจากการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 5) กล่าวคือ แปลงใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินมากที่สุด (23.25 mg/kg) ขณะที่วิธีเกษตรกร ร่วมกับยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินต่ำที่สุด (0.30 mg/kg) เมื่อใช้เกณฑ์การประเมินจาก [5] มาพิจารณาร่วมด้วย พบว่าค่ารับทดลองที่ 1 2 3 4 และ 5 มีผลให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำมาก (<7 mg/kg)

ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ภายหลังจากการทดลอง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 5) กล่าวคือ ค่ารับควบคุม (Control) มีผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินมากที่สุด (27.00 mg/kg) ขณะที่การใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินน้อยที่สุด (9.00 mg/kg) เมื่อใช้เกณฑ์การประเมินจากคู่มือ [5] มาพิจารณาร่วมด้วย พบว่าค่ารับทดลองที่ 1 3 และ 6 มีผลให้ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินอยู่ในระดับต่ำ (16 - 30 mg/kg) และค่ารับทดลองที่ 2 4 และ 5 ผลปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินอยู่ในระดับต่ำ (<16 mg/kg)

3. การกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

3.1 การกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินในการปลูกข้าว พบว่าการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 6) กล่าวคือ วิธีการใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ และวิธีเกษตรกร มีค่าการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนมากที่สุดร้อยละ 0.30 ขณะที่วิธีการเกษตรกรร่วมกับยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีค่าการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนต่ำที่สุดร้อยละ 0.17

3.2 การกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินในการปลูกมันสำปะหลัง พบว่าการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดิน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 6) กล่าวคือ วิธีเกษตรกร ร่วมกับยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีค่าการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนมากที่สุดร้อยละ 0.86 ขณะที่วิธีเกษตรกรมีค่าการกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนต่ำที่สุด ร้อยละ 0.35

3.3 การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แปลงข้าว และแปลงมันสำปะหลัง พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 การกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดิน และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หลังการปลูกพืช

ตำรับทดลอง	ข้าว		มันสำปะหลัง	
	อินทรีย์	การปลดปล่อย	อินทรีย์คาร์บอน	การปลดปล่อย
	คาร์บอนในดิน (ร้อยละ)	CO ₂ (ppm)	ในดิน (ร้อยละ)	CO ₂ (ppm)
การทดลองที่ 1	0.25 ^b	563.25	0.65 ^b	525.25
การทดลองที่ 2	0.30 ^a	563.00	0.30 ^f	521.75
การทดลองที่ 3	0.17 ^d	555.25	0.86 ^a	527.75
การทดลองที่ 4	0.30 ^a	568.75	0.37 ^c	528.00
การทดลองที่ 5	0.20 ^c	551.00	0.40 ^d	523.50
การทดลองที่ 6	0.22 ^c	555.50	0.56 ^c	522.75
ค่าเฉลี่ย	0.24	559.45	0.52	524.83
F-test	**	ns	**	ns
CV (%)	4.19	2.89	1.92	0.92

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

a, b ตัวอักษรเหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธี LSD

4. ผลตอบแทนในการผลิตพืช

4.1 ข้าว ภายหลังจากการทดลอง ทุกตำรับให้รายได้สุทธิเชิงลบ (กล่าวคือ ต้นทุนมากกว่า ราคาผลผลิตที่ขายได้หรือขาดทุน) ทั้งนี้ทุกตำรับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 7) กล่าวคือ ตำรับควบคุม (Control) มีรายได้สุทธิเชิงลบน้อยที่สุด (-932.00 บาทต่อไร่) ขณะที่ตำรับวิธีการใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีรายได้สุทธิเชิงลบมากที่สุด -2,696.00 บาทต่อไร่ นอกจากนี้ ทุกตำรับการทดลองไม่มีรายได้สุทธิเหนือตำรับควบคุม

4.2 มันสำปะหลัง ภายหลังจากการทดลองบางตำรับให้รายได้สุทธิเชิงบวก (กล่าวคือ ต้นทุนน้อยกว่าราคาผลผลิตที่ขายได้ หรือกำไร) และบางตำรับให้รายได้สุทธิเชิงลบ (กล่าวคือ ต้นทุนมากกว่าราคาผลผลิตที่ขายได้ หรือขาดทุน) และรายได้สุทธิของการปลูกมันสำปะหลังตำรับต่าง ๆ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 7) กล่าวคือ ใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีรายได้สุทธิมากที่สุด (3,854.80 บาทต่อไร่) ขณะที่วิธีเกษตรกร ร่วมกับยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีผลให้รายได้สุทธิเชิงลบมากที่สุด (ขาดทุน) -1,526.70 บาทต่อไร่ นอกจากนี้วิธีการใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ ยังมีรายได้สุทธิเหนือตำรับควบคุมมากที่สุด (3,805.60 บาทต่อไร่) ขณะที่วิธีเกษตรกร ร่วมกับยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีผลให้รายได้สุทธิเชิงลบซึ่งเท่ากับอยู่ใต้ตำรับควบคุมกล่าวคือ -1,477.50 บาทต่อไร่

ตารางที่ 7 การวิเคราะห์รายได้สุทธิ (Net Revenue) ของการปลูกพืชเศรษฐกิจ

พืช	ตัวรับการทดลอง	ต้นทุนการผลิต (บาท/ไร่)					ผลผลิตและมูลค่าที่เกษตรกรได้รับ (บาท/ไร่)					รายได้สุทธิเหนือค่ารับควบคุม (บาท/ไร่)	
		ปุ๋ยหมักชีวภาพ	น้ำหมัก	ปุ๋ยพืชสด (ถั่วพุ่ม)	ปุ๋ยเคมี	ยิปซัม	ค่าแรงและค่าวัสดุอื่นๆ	ต้นทุนการผลิตทั้งหมด (TVC)	ผลผลิตกิโลกรัม/ไร่	ราคาขาย (กิโลกรัม)	ได้เงินจากการขาย		
													(Q)
ข้าว	การทดลองที่ 1	-	-	-	-	-	3,200.00	3,200.00	168	13.5	2,268.00	-932.00 ^a	-
	การทดลองที่ 2	-	-	-	720	-	3,200.00	3,920.00	194	13.5	2,619.00	-1,301.00 ^b	-369
	การทดลองที่ 3	-	75	-	720	840	3,200.00	4,835.00	254	13.5	3,429.00	-1,406.00 ^c	-474
	การทดลองที่ 4	-	75	-	510	840	3,200.00	4,625.00	230	13.5	3,105.00	-1,520.00 ^d	-588
	การทดลองที่ 5	1,650.00	75	120	-	840	3,200.00	5,885.00	256	13.5	3,456.00	-2,429.00 ^e	-1,497.00
	การทดลองที่ 6	1,650.00	75	120	510	840	3,200.00	6,395.00	274	13.5	3,699.00	-2,696.00 ^f	-1,764.00
F-test													
CV (%)													
มันสำปะหลัง	การทดลองที่ 1	-	-	-	-	-	4,100.60	4,100.60	1,640.00	2.53	4,149.20	49.20 ^c	-
	การทดลองที่ 2	-	-	-	1,900.00	-	4,100.60	6,000.60	1,890.00	2.53	4,781.70	-1,218.90 ^d	-1,169.70
	การทดลองที่ 3	-	75	-	1,900.00	840	4,100.60	6,915.60	2,130.00	2.53	5,388.90	-1,526.70 ^f	-1,477.50
	การทดลองที่ 4	-	75	-	1,200.00	840	4,100.60	6,215.60	3,045.00	2.53	7,703.85	1,488.25 ^b	1,439.05
	การทดลองที่ 5	1,650.00	75	120	-	840	4,100.60	6,785.60	2,165.00	2.53	5,477.45	-1,308.15 ^e	-1,258.95
	การทดลองที่ 6	1,650.00	75	120	1,200.00	840	4,100.60	7,985.60	4,680.00	2.53	11,840.40	3,854.80 ^a	3,805.60
F-test													
CV (%)													
18.25													

หมายเหตุ ** หมายถึง มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99
a, b ตัวอักษรเหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติโดยวิธี LSD

สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาการประเมินคุณค่าการใช้ประโยชน์พื้นที่ทุ่งสัมฤทธิ์ เพื่อการจัดการพืชเศรษฐกิจ สามารถสรุปผลการวิจัย และอภิปรายผลการใช้ประโยชน์พื้นที่ทุ่งสัมฤทธิ์เพื่อการจัดการดินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชเศรษฐกิจ ได้ดังนี้

1. พืชที่ปลูกข้าวพันธุ์หอมมะลิ 105 ภายหลังการทดลองมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินโดยภาพรวมดังนี้ คือ ค่า pH ของดินอยู่ในระดับกรดจัด ค่า EC ของดินอยู่ในระดับเค็มปานกลาง ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ระดับต่ำถึงต่ำมาก ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับต่ำมาก และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินอยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมาก ความสูงของต้นข้าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์ ร่วมกับยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีผลให้ความสูงต้นสูงที่สุด ช่วงอายุ 30 และ 50 วัน และช่วงอายุ 60 และ 90 วัน การใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ ผลให้ความสูงต้นสูงที่สุดสอดคล้องกับ [6] การใช้พืชตระกูลถั่วที่มีปริมาณไนโตรเจนสูงจะช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช วิธีการใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพมีให้ผลผลิตของข้าวสูงที่สุดเท่ากับ 274.00 กิโลกรัมต่อไร่ การใช้วิธีเกษตรกร และการใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีผลให้การกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินได้สูงที่สุด ขณะที่วิธีเกษตรกร ร่วมกับยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีผลให้การกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินต่ำที่สุด สอดคล้องกับ [7] เกิดจากการร่อนของดินทำให้ปริมาณคาร์บอนในดินลดลง และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใกล้เคียงกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ค่ารับควบคุม (Control) มีผลให้รายได้สุทธิเชิงลบ (ขาดทุน) น้อยที่สุดเท่ากับ -932.00 บาทต่อไร่ ขณะที่การใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีผลให้รายได้สุทธิเชิงลบ (ขาดทุน) มากที่สุดเท่ากับ -2,696.00 บาทต่อไร่ และยังมีผลให้รายได้สุทธิต่างจากรับควบคุมมากที่สุด (-1,764 บาทต่อไร่)

2. พืชที่ปลูกมันสำปะหลัง พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ภายหลังจากการใส่ปุ๋ยตามค่ารับทดลองต่าง ๆ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินโดยภาพรวมดังนี้ คือ ค่า pH ของดินอยู่ในระดับกรดจัดถึงกรดรุนแรง ค่า EC ของดินอยู่ในระดับเค็มน้อยมากถึงเค็มปานกลาง ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำถึงต่ำ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ในดินอยู่ในระดับปานกลางถึงต่ำมาก และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ในดินอยู่ในระดับต่ำถึงต่ำมาก สอดคล้องกับ [8] การเปลี่ยนแปลงด้านกายภาพ เคมี ชีวภาพ และความสามารถ ในการกักเก็บน้ำของดิน เป็นกระบวนการเกิดความเสื่อมโทรมของดิน ความสูงต้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือการใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพมีผลให้ความสูงต้นสูงที่สุด แต่จำนวนหัวต่อต้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ การใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีผลให้ค่าอัตราส่วนร้อยละของแป้งมันสำปะหลังสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับค่ารับควบคุม (Control) ซึ่งมีผลให้ค่าอัตราส่วนร้อยละของแป้งมันสำปะหลังต่ำที่สุด การใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีผลให้น้ำหนักลำที่ระยะเก็บเกี่ยวสูงที่สุด และมีผลให้ผลผลิตของมันสำปะหลังสูงที่สุดเท่ากับ 4,680 กิโลกรัมต่อไร่ เมื่อเปรียบเทียบกับค่ารับควบคุม (Control) ซึ่งมีผลให้ผลผลิตของมันสำปะหลังต่ำที่สุด สอดคล้องกับ [6] การใส่ปุ๋ย

ตามค่าวิเคราะห์ดินเป็นปริมาณธาตุปุ๋ยที่พืชต้องการสำหรับดินและพืชที่คาดว่าจะได้ผลผลิตสูงสุด และการใช้ปุ๋ยหมักลงอาจไม่เพียงพอต้องใช้ร่วมกับการใส่ปุ๋ยเคมีซึ่งสอดคล้องกับ [9] การใช้วิธีเกษตรกรร่วมกับยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีผลให้การกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินได้สูงที่สุด ขณะที่วิธีเกษตรกรมีผลให้การกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินต่ำที่สุด และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใกล้เคียงกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ การใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีผลให้รายได้สุทธิมากที่สุดเท่ากับ 3,854.80 บาทต่อไร่ ขณะที่วิธีเกษตรกร ร่วมกับยิปซัม ร่วมกับน้ำหมักชีวภาพ มีผลให้รายได้ขาดทุนมากที่สุดเท่ากับ -1,526.70 บาทต่อไร่ นอกจากนี้ การใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ มีผลให้รายได้สุทธิเหนือค่ารับควบคุมมากที่สุด ขณะที่วิธีเกษตรกร ร่วมกับยิปซัม ร่วมกับน้ำหมักชีวภาพมีผลให้รายได้สุทธิต่างจากค่ารับควบคุมน้อยที่สุด

จากผลการศึกษาครั้งนี้เกษตรกรผู้ปลูกข้าวในพื้นที่ไม่เหมาะสมหรือเหมาะสมน้อยทำให้ได้ผลผลิตน้อย ไม่คุ้มทุน จึงให้เกษตรกรปรับเปลี่ยนปลูกมันสำปะหลัง เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ โดยคำนึงถึงทรัพยากรดิน ทำให้ได้รับผลตอบแทนสูงสุด มีรายได้ที่หลากหลาย ช่วยเพิ่มผลผลิต เพิ่มคุณภาพลดต้นทุนในการผลิต และช่วยรักษาสสิ่งแวดล้อมได้อีกทาง วิธีการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปลูกมันสำปะหลังคือ ค่ารับการทดลองที่ 6 การใส่ปุ๋ยเคมี (ใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน) ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ ยิปซัม และน้ำหมักชีวภาพ แต่ทั้งนี้ควรพิจารณาความพร้อม และการยอมรับของเกษตรกรในพื้นที่เป็นหลักด้วยเช่นกัน หากมีการนำไปใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลายอาจส่งผลให้ราคาเพิ่มสูงขึ้นและมีปริมาณไม่มากพอต่อความต้องการได้

References

- [1] Land Development Department. (2011). **Thung Samrit Area Map Nakhon Ratchasima Province**. Modified from Area 3 Land Development Department, Land Development Department Ministry of Agriculture and Cooperatives.
- [2] Jones, P. D. and Briffa, K. R. (1992). Global Surface Air Temperature Variations During the Twentieth Century: Part 1, Spatial, Temporal and Seasonal Details. **The Holocene**. Vol. 2, Issue 2, pp. 165-179. DOI: 10.1177/095968369200200208
- [3] Jobbagy, E. G. and Jackson, R. B. (2000). The Vertical Distribution of Soil Organic Carbon and Its Relation to Climate and Vegetation. **Ecological Applications**. Vol. 10, Issue 2, pp. 423-436. DOI: 10.2307/2641104
- [4] Pabpom, S. (1987). **Principles and Methods of Farm Business Management**. Bangkok: Odeon Store
- [5] Land Development Department. (2004). **Manual for Analyzing Soil Samples, Water, Fertilizer, Soil Improvement Materials and Analysis for Product Standard Certification Book 1**. Organic Agriculture Project in Office of Science for Land Development Department of Land Development Ministry of Agriculture and Cooperatives

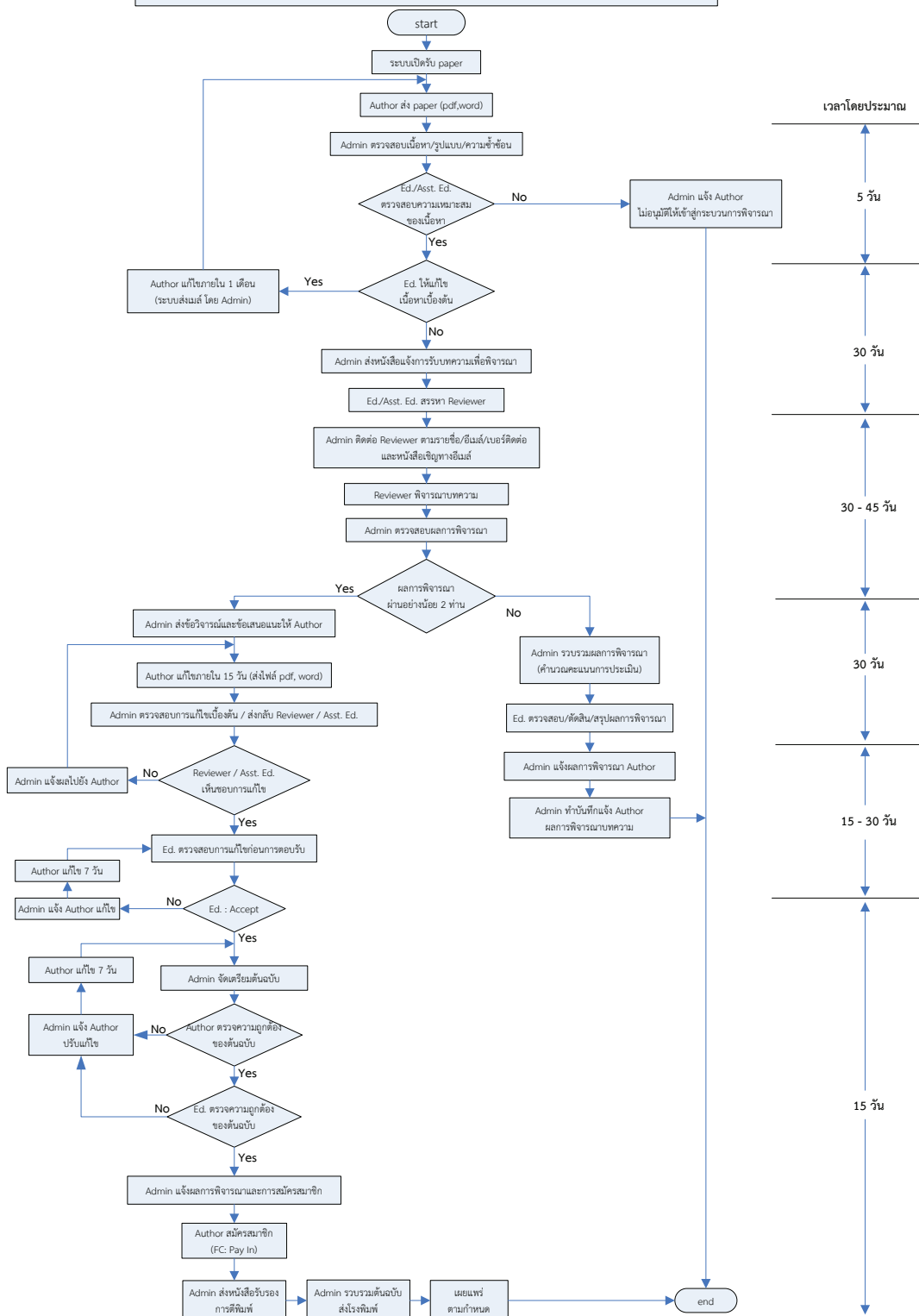
- [6] Land Development Department. (2010). **Handbook of Speakers, Young Doctors**. Organic Farming Project in Schools and Young Earth Doctor Year (2010). Department of Land Development Ministry of Agriculture and Cooperatives.
- [7] Merchant, T. (2012). **Greenhouse Gas Emissions from Fermentation in the Digestive System and Manure Management of Livestock Farms In Phayao Province**. Master of Science Natural Resources and Environmental Management Program Phayao University. 120 hrs.
- [8] Land Development Department. (2015). **Land Development Guide For Volunteer Soil Doctors and Farmers**. Department of Land Development Ministry of Agriculture and Cooperatives.
- [9] Mala, T. (2003). **Organic and Bio-Fertilizer: Production Techniques and Utilization**. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kamphaengsaen, Kasetsart University. Kamphaeng Saen Campus, Nakhon Pathom.



คำแนะนำสำหรับผู้เขียน

RMUTI
ราชมงคลอีสาน

ผังการดำเนินงานวารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
RMUTI JOURNAL Science and Technology

1. ประเภทของบทความที่ตีพิมพ์

- 1.1 บทความวิจัย (Research article) เป็นบทความที่ได้จากงานวิจัย

- 1.2 บทความวิชาการ (**Academic article**) เป็นบทความที่มีลักษณะดังนี้

1. เป็นบทความจากการทบทวนเอกสาร ซึ่งเป็นผลมาจากการวิจัยหลาย ๆ ครั้ง ถือเป็นบทความที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง

2. เป็นบทความนำเสนอกระบวนการในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ การทดสอบภาคสนาม รวมถึงไปถึงเทคนิคการวิเคราะห์ใหม่ ๆ

3. เป็นบทความที่มาจากประสบการณ์ หรือความชำนาญของผู้เขียน

4. เป็นบทความเกี่ยวกับนโยบายด้านต่าง ๆ ของหน่วยงาน

2. รูปแบบการพิมพ์บทความ

การตั้งค่านำกระดาษ

- **ระยะขอบ**

ขอบบน (Top Margin)	2.54 ซม.	ขอบล่าง (Bottom Margin)	2.54 ซม.
ขอบขวา (Right Margin)	2.54 ซม.	ขอบซ้าย (Left Margin)	3.17 ซม.

- ระยะห่างบรรทัด 1 เท่า

- | | | |
|------------------|---------------------|-----------------|
| - รูปแบบตัวอักษร | บทความภาษาไทยใช้ | TH SarabunPSK |
| | บทความภาษาอังกฤษใช้ | Times New Roman |

- การย่อหน้า 7 ตัวอักษร พิมพ์ตัวที่ 8

- จำนวนหน้า 12 หน้า แต่ไม่ควรเกิน 15 หน้า

- ชื่อบทความ ภาษาไทย ขนาดตัวอักษร 20 ตัวหนา

- ภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 18 ตัวหนา

- ชื่อผู้เขียน ภาษาไทย ขนาดตัวอักษร 16 และจัดชิดซ้าย

- ภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 14 และจัดชิดซ้าย

- ตัวเลขยก (ต่อท้ายนามสกุล) ขนาดตัวอักษร 14

- ท่อยู่ ภาษาไทย ขนาดตัวอักษร 13

- ภาษาไทย และภาษาอังกฤษ 11

- ชื่อหัวเรื่องหลักในบทความ เช่น “บทคัดย่อ” “คำสำคัญ” “วิธีดำเนินการ” “ผลการวิจัย”

“สรุปผลการวิจัย” “กิตติกรรมประกาศ” “เอกสารอ้างอิง” จัดชิดซ้ายหน้ากระดาษ

- กรณีบทความภาษาไทย ขนาดตัวอักษร 18 ตัวหนา

- กรณีบทความภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 16 ตัวหนา

- ชื่อหัวเรื่องรอง จัดชิดซ้ายหน้ากระดาษ

- กรณีบทความภาษาไทย ขนาดตัวอักษร 14 ตัวหนา

- กรณีบทความภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 11 ตัวหนา

- เนื้อหาในส่วนต่าง ๆ และคำสำคัญ

กรณีบทความภาษาไทย ขนาดตัวอักษร 14

กรณีบทความภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 11

- ชื่อตาราง

กรณีบทความภาษาไทย ชื่อความ “ตารางที่ x” ใช้ขนาดตัวอักษร 14 ตัวหนา
วางด้านบน ขีดซ้ายหน้ากระดาษ ตามด้วยชื่อตารางที่เป็นตัวอักษรขนาด 14 ไม่หนา

กรณีบทความภาษาอังกฤษ ชื่อความ “Table x” ใช้ขนาดตัวอักษร 11 ตัวหนา
วางด้านบน ขีดซ้ายหน้ากระดาษ ตามด้วยชื่อตารางที่เป็นตัวอักษรขนาด 11 ไม่หนา

- ชื่อรูปภาพ

กรณีบทความภาษาไทย ชื่อความ “รูปที่ x” ใช้ขนาดตัวอักษร 14 ตัวหนา
วางด้านล่างจัดขีดซ้ายหน้ากระดาษ ตามด้วยคำชื่อรูปที่เป็นตัวอักษรขนาด 14 ไม่หนา

กรณีบทความภาษาอังกฤษ ชื่อความ “Figure x” ใช้ขนาดตัวอักษร 11 ตัวหนา
วางด้านล่างจัดขีดซ้ายหน้ากระดาษ ตามด้วยคำชื่อรูปที่เป็นตัวอักษรขนาด 11 ไม่หนา

3. ส่วนประกอบของบทความแต่ละประเภท

3.1 บทความวิจัย จะประกอบไปด้วย

ก. ส่วนปก

1. ชื่อบทความ (Title) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรกระชับรัด ไม่ยาวเกินไป
บทความภาษาไทยชื่อเรื่องต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ บทความภาษาอังกฤษชื่อเรื่องไม่ต้องมี
ภาษาไทย

2. ชื่อผู้เขียน (Authors) ชื่อเต็ม - นามสกุลเต็ม ของผู้เขียนทุกคน โดยให้รายละเอียด
ต้นสังกัดของผู้เขียนไว้ที่บรรทัดล่างสุดของหน้าแรก พร้อมทั้งระบุชื่อผู้เขียนประสานงาน (Corresponding
Author) ด้วยการระบุ E-mail address ที่สามารถติดต่อได้ และให้ใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) ด้วย
กำกับไว้ต่อท้ายนามสกุล และตัวเลขยก ให้เขียนไว้ต่อท้ายนามสกุล เพื่อระบุที่อยู่ของผู้เขียน

3. บทคัดย่อ (Abstract) ควรสั้น ตรงประเด็น ครอบคลุมสาระสำคัญของการศึกษา
ประกอบไปด้วยเนื้อหา ได้แก่ วัตถุประสงค์ วิธีการ ผลการวิจัย และการอภิปรายผล เป็นต้น โดยเขียน
ลงใน 1 ย่อหน้า ถ้าบทความเป็นภาษาไทย จะต้องมีบทคัดย่อภาษาไทย 1 ย่อหน้า และภาษาอังกฤษ
1 ย่อหน้า โดยให้ภาษาไทยขึ้นก่อน เนื้อความในบทคัดย่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษต้องมีความหมาย
เดียวกัน ความยาวของบทคัดย่อภาษาอังกฤษ กำหนดให้มีความยาวได้ไม่เกิน 300 คำ

4. คำสำคัญ (Key words) เป็นการกำหนดคำสำคัญที่สามารถไปใช้เป็นคำสืบค้น
ในระบบฐานข้อมูล หากเป็นบทความภาษาไทยต้องมีคำสำคัญ 2 ภาษา คือภาษาไทยและภาษาอังกฤษที่มี
ความหมายตรงกัน ส่วนกรณีของบทความภาษาอังกฤษให้มีเพียงคำสำคัญในรูปแบบภาษาอังกฤษเท่านั้น
จำนวนคำสำคัญที่กำหนดให้มีความสำคัญได้น้อย 3 คำ แต่ไม่เกิน 5 คำ

****หมายเหตุ :** เนื้อหาส่วนปกจะต้องเขียนให้อยู่ในกระดาษจำนวน 1 หน้า เท่านั้น

ข. ส่วนเนื้อหา

1. บทนำ (**Introduction**) เพื่ออธิบายถึงความสำคัญของปัญหา และวัตถุประสงค์ของการวิจัย รวมถึงการทบทวนวรรณกรรม และเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ (**Materials and Methods**) / วิธีดำเนินการวิจัย (**Research Methodology**) อธิบายเครื่องมือและวิธีการดำเนินการวิจัยให้ชัดเจน

3. ผลการวิจัย (**Results**) เสนอผลการทดลองอย่างชัดเจน ตรงประเด็น ควรมีรูปภาพ และ/หรือ ตารางประกอบการอธิบายผลในตารางและรูปภาพ ต้องไม่ซ้ำซ้อนกัน รูปภาพและตารางของบทความที่เป็นภาษาไทย ให้บรรยายเป็นภาษาไทย รูปภาพและตารางของบทความที่เป็นภาษาอังกฤษ ให้บรรยายเป็นภาษาอังกฤษ

4. การอภิปรายผล (**Discussion**) เป็นการอภิปรายผลการวิจัย เพื่อให้ผู้อ่านมีความเห็น คล้อยตาม เพื่อเปรียบเทียบกับผลการวิจัยของผู้อื่น พร้อมทั้งเสนอแนวทางที่จะนำไปใช้ประโยชน์ผลการวิจัย และการอภิปรายผล (Results and Discussion) อาจนำมาเขียนตอนเดียวกันได้

5. บทสรุป (**Conclusion**) สรุปประเด็น และสาระสำคัญของการวิจัย

6. กิตติกรรมประกาศ (**Acknowledgements**) เพื่อแสดงความขอบคุณแก่ผู้ให้ความช่วยเหลือในการวิจัย อาจมีหรือไม่มีก็ได้

7. เอกสารอ้างอิง (**References**) เป็นรายการเอกสารที่ถูกอ้างไว้ในส่วนของเนื้อเรื่อง เพื่อใช้เป็นหลักในการค้นคว้าวิจัย จำนวนเอกสารที่นำมาอ้างอิงตอนท้ายต้องมีจำนวนตรงกับที่ถูกอ้างไว้ในส่วนของเนื้อเรื่องที่ปรากฏในบทความเท่านั้น การจัดเรียงให้เรียงตามลำดับการอ้างอิงในเนื้อหาโดยให้ยึดถือรูปแบบการเขียนเอกสารอ้างอิงตามที่ทางวารสาร มทร.อีสาน กำหนด และต้องเขียนในรูปแบบภาษาอังกฤษเท่านั้น

3.2 บทความวิชาการ จะประกอบไปด้วย

ก. ส่วนปก

มีส่วนประกอบเหมือนบทความวิจัย และเขียนให้อยู่ในกระดาษ จำนวน 1 หน้า เท่านั้น

ข. ส่วนเนื้อหา

1. บทนำ (**Introduction**) เป็นส่วนของที่มาของมูลเหตุของการเขียนบทความ

2. วิธีการศึกษา/วิธีดำเนินการ (**Method**) (ถ้ามี) เป็นการอธิบายวิธีการศึกษา หรือ การดำเนินการตามประเภทของบทความวิชาการ

3. ผลการศึกษา/ผลการดำเนินการ (**Results**) เป็นการเสนอผลอย่างชัดเจน ตามประเด็น โดยลำดับตามหัวข้อที่ศึกษาหรือดำเนินการ

4. สรุป (**Conclusion**) สรุปประเด็น และสาระสำคัญที่ได้จากการศึกษา

5. เอกสารอ้างอิง (**References**) ใช้รูปแบบที่วารสารกำหนด รายการการอ้างอิง ต้องเขียนในรูปแบบภาษาอังกฤษเท่านั้น

4. การอ้างอิงเอกสารในเนื้อเรื่องของบทความ (In-text Citations)

การอ้างอิงเอกสารในเนื้อเรื่องใช้รูปแบบ IEEE ระบบตัวเลข (**Numerical System**) เท่านั้น โดยรายการอ้างอิงเอกสารให้จัดชิดซ้ายหน้ากระดาษ หมายเลขลำดับของเอกสารอ้างอิงในเครื่องหมาย

วงเล็บกรอบสี่เหลี่ยม ตัวอย่างเช่น [1] เป็นต้น หากเป็นการอ้างอิงเอกสารหลายฉบับในเวลาเดียวกัน ให้ใส่หมายเลขอ้างอิงเรียงตามลำดับ จากนั้นย่อไปหามาก เช่น [1] - [3] หรือ [1], [2], [5] เป็นต้น

การเขียนรายการเอกสารอ้างอิง (Reference list)

1) หนังสือ

[X] ผู้แต่ง.// (ปีที่พิมพ์).// ชื่อหนังสือ.// ครั้งที่พิมพ์(ถ้ามี).// เมืองที่พิมพ์:/: สำนักพิมพ์.

ตัวอย่างเช่น

- [1] Herren, Ray V. (1994). **The Science of Animal Agriculture**. Albany, N.Y. : Delmar Publishers.

2) หนังสือแปล

[X] ผู้แต่ง.// (ปีที่พิมพ์).// ชื่อเรื่องของหนังสือแปล// แปลจาก(ชื่อเรื่องในภาษาเดิม).// โดย/ ชื่อผู้แปล.// ครั้งที่พิมพ์(ถ้ามี).// เมืองที่พิมพ์:/: สำนักพิมพ์

ตัวอย่างเช่น

- [2] Grmek, Mirko D. (1990). **History of AIDS : Emerging and Origin of a Modern Pandemic**. Translated by Russell C. Maulitz, and Jacalyn Duffin. Princeton, N.J.: University Press

3) บทความหรือบทในหนังสือ

[X] ผู้เขียนบทความ.// (ปีที่พิมพ์).// ชื่อบทความ./ชื่อเรื่อง./ ชื่อบรรณาธิการหรือผู้รวบรวม(ถ้ามี).// หน้า/เลขหน้า.// สถานที่พิมพ์:/: สำนักพิมพ์

ตัวอย่างเช่น

- [3] McTaggart, J. M. E. (1993). The Unreality of Time. **Philosophy of Time**. Robin Le Poidevin, and Murray MacBeath, eds. pp. 23-34. Oxford : Oxford University Press

4) บทความในหนังสือรายงานประชุมทางวิชาการ/สัมมนาทางวิชาการ

[X] ผู้เขียนบทความ.// (ปีที่พิมพ์).// ชื่อบทความ./ ชื่อบรรณาธิการ(ถ้ามี).// ชื่อเรื่องรายงานการประชุม.// หน้า/เลขหน้า.// สถานที่พิมพ์:/: สำนักพิมพ์

ตัวอย่างเช่น

- [4] Beales, P. F. (1980). The Status of Malaria in Southeast Asia. **Proceedings of the Third Asian Congress of Pediatrics**. Aree Valyasevi, and Vidhaya Mekanandha, eds. pp. 52-58. Bangkok : Bangkok Medical Publisher

5) วารสาร

[X] ผู้เขียนบทความ.// (ปีที่พิมพ์).// ชื่อบทความ./ ชื่อวารสาร.// ปีที่.// ฉบับที่.// หน้า/เลขหน้า

ตัวอย่างเช่น

- [5] Vitsanusat, A. and Phachirarat, S. (2015). Measurement of Radon in Drinking Water at Amphur Meaung, Khonkhaen Province with Ionization chamber. **RMUTI Journal Science and Technology**. Vol. 8, No. 2, pp. 12-20

6) บทความในหนังสือพิมพ์

[X] ชื่อผู้เขียน.// (ปี./วัน./เดือน).// ชื่อบทความ./ใน/ชื่อหนังสือพิมพ์./หน้า/เลขหน้า
ตัวอย่างเช่น

- [6] Vitit Muntarbhorn. (1994. 21. March). **The Sale of Children as a Global Dilemma.**
Bangkok Post. p. 4

7) บทความในสารานุกรม

[X] ชื่อผู้เขียนบทความ.// (ปีที่พิมพ์).// ชื่อบทความ./ใน/ชื่อสารานุกรม.// เล่มที่:/ หน้า/เลขหน้า-เลขหน้า
ตัวอย่างเช่น

- [7] Morrow, Blaine Victor. (1993). Standards for CD-Rom Retrieval. **Encyclopedia of Library and Information Science.** Vol. 51, pp. 380-389

8) วิทยานิพนธ์

[X] ผู้เขียนวิทยานิพนธ์.// (ปีที่พิมพ์).// ชื่อวิทยานิพนธ์./ระดับวิทยานิพนธ์/ชื่อสาขา/คณะ/
มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างเช่น

- [8] Phillips, O. C., Jr. (1962). **The Indfluence of Ovidd on Lucan's Bellum Civil.** Ph.D.
Dissertation University of Chicago

9) สื่ออิเล็กทรอนิกส์ (สื่ออิเล็กทรอนิกส์) : www

[X] ผู้เขียน.//ปี./ชื่อบทความ./ชื่อวารสารหรือนิตยสาร./ปีที่(เดือนหรือฉบับที่):/เลขหน้า(ถ้ามี).//
เข้าถึงเมื่อ (วัน เดือน ปีที่ค้นข้อมูล)/เข้าถึงได้จาก (ที่อยู่ของบทความหรือสื่ออิเล็กทรอนิกส์ URL)

ตัวอย่างเช่น

- [9] Department of the Environment and Heritage. (1999). **Guide to Department and Agency Libraries.** Access (17 November 2000). Available (<http://www.erin.gov.au/library/guide.html>)

10) ผู้แต่งเป็นหน่วยงาน

[X] ชื่อหน่วยงาน.// (ปีที่พิมพ์)./ชื่อหนังสือ/เล่มที่(ถ้ามี).//ครั้งที่พิมพ์(ถ้ามี).//เมืองที่พิมพ์:/
สำนักพิมพ์

ตัวอย่างเช่น

- [10] Prince of Songkla University. (2009). **Annual Report 2008.** Songkhla: Prince of
Songkla University

11) มีเฉพาะชื่อบรรณาธิการเป็นผู้รวบรวม

[X] ชื่อบรรณาธิการ หรือผู้รวบรวม หรือผู้เรียบเรียง.// (ปีที่พิมพ์)./ชื่อหนังสือ./เล่มที่ (ถ้ามี)//
ครั้งที่พิมพ์(ถ้ามี)/เมืองที่พิมพ์:/สำนักพิมพ์

ตัวอย่างเช่น

- [11] Rueangwit Limpanat. (2000). **Local - India.** Chonburi: Department of History
Faculty of Humanities And social science Burapa university

5. รูปแบบการใส่รูปภาพในเนื้อหาบทความ

- 1) ชื่อรูปภาพห้ามขึ้นต้นด้วยคำว่า “แสดง”
- 2) รูปภาพที่แสดงต้องมีคำอธิบายอยู่ในเนื้อหาบทความที่มีการระบุถึงรูปภูษนั้น ๆ
- 3) คำอธิบายรูปภาพ ให้เขียนไว้ใต้รูปภาพแต่ละรูปภาพ โดยจัดรูปภาพไว้กึ่งกลางหน้ากระดาษ และคำอธิบายจัดชิดซ้ายหน้ากระดาษ
- 4) ไฟล์ของรูปภาพต้องเป็นไฟล์ที่มีนามสกุล .jpg, .png, .tiff หรือ .eps เท่านั้น ความละเอียดไม่ต่ำกว่า 300 dpi
- 5) ลายเส้นที่ปรากฏบนรูปภาพต้องมีความคมชัด กรณีที่เป็นรูปภาพ ต้องระบุชื่อแกนต่าง ๆ ให้ครบถ้วน
- 6) กรณีที่มีรูปภษย่อย ควรจัดให้รูปภษย่อยทั้งหมดอยู่ในหน้าเดียวกัน สำหรับบทความภาษาไทย ให้เขียนคำบรรยายใต้ชื่อรูปย่อยแต่ละรูป และกำหนดลำดับของรูปภาพด้วยตัวอักษร ตัวอย่างเช่น



(ก) รูปย่อยที่ 1



(ข) รูปย่อยที่ 2

รูปที่ 1 ตัวอย่างการเขียนคำอธิบายรูปภาพ

- สำหรับบทความภาษาอังกฤษ ให้ใช้อักษร (a), (b),... แทนการกำหนดรูปภาพย่อย
- 7) การเว้นระยะบรรทัด ก่อนรูปภาพ ให้เว้น 1 บรรทัด และหลังจากชื่อรูปภาพ ให้เว้น 1 บรรทัด
 - 8) การใช้ภาพสี อาจทำให้เกิดความสวยงาม แต่ให้คำนึงถึงการสื่อความหมายกรณีที่มีการจัดพิมพ์เอกสารแบบขาวดำเพื่อให้ผู้อ่านสามารถเข้าใจได้ กรณีที่เป็นกราฟควรกำหนดลักษณะเส้นที่แตกต่างกันเพื่อให้สามารถเข้าใจได้ เมื่อมีการจัดพิมพ์แบบขาว - ดำ
 - 9) ขนาดของรูปต้องไม่ใหญ่เกินกว่าความกว้างของหน้ากระดาษที่กำหนดไว้
 - 10) หากเป็นการคัดลอกรูปภาพมาจากที่อื่น ผู้เขียนควรมีการอ้างอิงแหล่งที่มาให้ถูกต้อง

6. รูปแบบการใส่ตารางในเนื้อหาบทความ

- 1) ชื่อตารางห้ามขึ้นต้นด้วยคำว่า “แสดง”
- 2) ตารางที่แสดงต้องมีคำอธิบายอยู่ในเนื้อหาบทความที่มีการระบุถึงตารางนั้น ๆ
- 3) คำอธิบายตาราง ให้เขียนไว้ด้านบนของตาราง โดยจัดคำอธิบายไว้ชิดขอบด้านซ้ายของหน้ากระดาษ และตารางอยู่กึ่งกลางหน้ากระดาษ ควรจัดเนื้อหาตารางให้อยู่บนหน้าเดียวกัน กรณีที่ตารางมีความยาวเกินหน้ากระดาษ ให้ใส่ชื่อตาราง “ตารางที่ x” ไว้ที่ด้านบนของตารางในหน้าแรก และใส่ชื่อตาราง “ตารางที่ x (ต่อ)” ไว้ที่ด้านบนของตารางในหน้าถัดไป
- 4) ขนาดของตารางต้องไม่ใหญ่เกินกว่าความกว้างของหน้ากระดาษที่กำหนดไว้
- 5) การเว้นระยะบรรทัด ก่อนชื่อตาราง ให้เว้น 1 บรรทัด และหลังสิ้นสุดตาราง ให้เว้น 1 บรรทัด
- 6) การกำหนดเส้นขอบตาราง ให้กำหนดเฉพาะเส้นด้านบน และด้านล่างของบรรทัด ดังตัวอย่าง

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการนำเสนอตาราง

Table Head	Table Column Head	
	Subhead (unit)	Subhead (unit)
xxx	123	456
xxx	321	654

7. รูปแบบการใส่สมการในเนื้อหาบทความ

- 1) จัดตำแหน่งของสมการไว้กึ่งกลางหน้ากระดาษ
- 2) พิมพ์สมการด้วยโปรแกรม MathType โดยใช้รูปแบบตัวอักษร Times New Roman ขนาด 11
- 3) ระบุเลขลำดับสมการโดยเขียนไว้ในวงเล็บ จัดตำแหน่งเลขสมการชิดขวาของหน้ากระดาษ เช่น

$$y = ax + b \quad (1)$$

- 4) ทุกสมการต้องมีการอ้างถึงในเนื้อหา ให้ระบุเลขและเขียนไว้ในวงเล็บ เช่นเดียวกับที่ปรากฏในสมการ
- 5) การเว้นระยะบรรทัด ก่อนสมการ ให้เว้น 1 บรรทัด และหลังสมการ ให้เว้น 1 บรรทัด

8. การดำเนินงานของกองบรรณาธิการ

- 1) บทความที่ส่งเข้าวารสาร ต้องส่งผ่านระบบออนไลน์ที่ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/rmutjo/index> โดยดำเนินการสมัครสมาชิก และชำระค่าสมาชิกจำนวน 1,000 บาท ซึ่งจะมีอายุสมาชิก 1 ปี
- 2) บทความที่ถูกส่งเข้ามายังระบบ กองบรรณาธิการจะพิจารณาบทความเบื้องต้นเกี่ยวกับความถูกต้องของรูปแบบทั่วไป บทความที่ไม่ดำเนินการตามรูปแบบที่กำหนดจะไม่รับเข้าสู่กระบวนการพิจารณา โดยผู้ทรงคุณวุฒิ และจะส่งกลับเพื่อทำการแก้ไข ดังนั้น เพื่อให้เกิดความรวดเร็วในเข้าสู่กระบวนการพิจารณาผล ผู้เขียนควรดำเนินการจัดทำวารสารให้ถูกต้องตามรูปแบบที่กำหนดอย่างเคร่งครัด
- 3) เมื่อบทความผ่านการพิจารณาให้ตีพิมพ์ลงในวารสาร และผู้เขียนได้ดำเนินการจัดเตรียมเอกสารต่าง ๆ อย่างถูกต้อง ครบถ้วนตามข้อกำหนดของวารสารเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ผู้เขียนจะได้รับหนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความเพื่อเป็นการยืนยัน
- 4) หากทางวารสารตรวจพบว่าบทความที่ถูกส่งเข้ามามีการคัดลอก หรือเผยแพร่ในที่อื่น ๆ ก่อนหน้า หรือมีการดำเนินการใด ๆ อันเป็นการกระทำที่ผิดจรรยาบรรณของนักวิจัย ทางวารสารจะดำเนินการทำหนังสือแจ้งไปยังหน่วยงานต้นสังกัด และระงับการพิจารณาและรับบทความจากผู้เขียนบทความนั้นเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 5 ปี



หมายเลขสมาชิก

.....
(สำหรับเจ้าหน้าที่)

แบบฟอร์มการส่งบทความ
วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วันที่.....

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว)

ระดับการศึกษาสูงสุด ตำแหน่งทางวิชาการ

หน่วยงาน

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก.....

โทรศัพท์.....โทรสาร.....โมบาย.....

e-mail.....

ขอส่ง ☐ บทความวิจัย ☐ บทความวิชาการ ☐ บทความจากวิทยานิพนธ์/สารนิพนธ์

ชื่อบทความ (ภาษาไทย)

.....

(ภาษาอังกฤษ)

.....

ชื่อผู้เขียนร่วม

1.

2.

3.

4.

สาขาหลักของบทความ (กรุณาเลือก)

☐ วิศวกรรมศาสตร์ ENG ☐ เกษตรศาสตร์ AGR ☐ สหวิทยาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสถิติ IG

สาขารองของบทความ (สามารถเลือกได้มากกว่า 1 ข้อ)

- | | | |
|--|--|--|
| ☐ ไฟฟ้า | ☐ อิเล็กทรอนิกส์ | ☐ คอมพิวเตอร์ |
| ☐ สื่อสาร-โทรคมนาคม | ☐ ลัทธิศาสตร์ | ☐ ศิลปะและการออกแบบ |
| ☐ วัสดุและโลหะ | ☐ โยธา-สำรวจ | ☐ สิ่งแวดล้อม |
| ☐ พลังงาน | ☐ สถาปัตยกรรม | ☐ พืชไร่ |
| ☐ พืชสวน | ☐ วิทยาศาสตร์การอาหาร | ☐ ICT |
| ☐ อุตสาหการ | ☐ เคมี | ☐ คณิตศาสตร์ |
| ☐ สถิติประยุกต์ | ☐ เครื่องกล | ☐ โภชนศาสตร์ |
| ☐ ฟิสิกส์ | ☐ อื่น ๆ | |

ขอเสนอชื่อผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้อง

1. ชื่อ-สกุลตำแหน่งทางวิชาการ.....

คุณวุฒิ.....สาขาที่เชี่ยวชาญ.....

หน่วยงานที่สังกัด.....

ที่อยู่สำหรับส่งเอกสาร.....

.....

หมายเลขโทรศัพท์.....Email.....

2. ชื่อ-สกุลตำแหน่งทางวิชาการ.....

คุณวุฒิ.....สาขาที่เชี่ยวชาญ.....

หน่วยงานที่สังกัด.....

ที่อยู่สำหรับส่งเอกสาร.....

.....

หมายเลขโทรศัพท์.....Email.....

หมายเหตุ

1. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องมีตำแหน่งทางวิชาการ ระดับ ผศ. ขึ้นไป หรือจบการศึกษาระดับปริญญาเอก และต้องไม่สังกัดหน่วยงานเดียวกับผู้ประพันธ์

2. กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการเป็นผู้พิจารณาคัดเลือกผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อพิจารณาผลงานทางวิชาการ

3. เจ้าของบทความที่ผ่านการพิจารณาให้ตีพิมพ์ลงในวารสาร จะต้องสมัครสมาชิกวารสาร มทร.อีสาน อย่างน้อย 1 ปี เพื่อเป็นการยืนยันการตีพิมพ์บทความลงในวารสาร

ข้าพเจ้าได้รับทราบและยินดีปฏิบัติตามเงื่อนไขและข้อกำหนดต่าง ๆ ในแบบฟอร์มแนบท้าย ซึ่งมีรายละเอียดอยู่ใน “คำแนะนำผู้เขียน” ที่ทางกองบรรณาธิการ วารสาร มทร.อีสาน ได้กำหนดขึ้น และยินดีให้กองบรรณาธิการมีสิทธิ์ที่จะไม่รับพิจารณา หากไม่จัดรูปแบบตามที่กำหนด ยินยอมให้มีสิทธิ์ในการเลือกสรรหาผู้กลั่นกรองโดยอิสระเพื่อพิจารณาดำเนินการที่ข้าพเจ้า (และผู้แต่งร่วม) ส่งมา ยินยอมให้กองบรรณาธิการสามารถตรวจแก้ไขต้นฉบับดังกล่าวได้ตามที่เห็นสมควร และข้าพเจ้า “ขอรับรองว่า บทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน ไม่อยู่ระหว่างการพิจารณาจากวารสารอื่น และยินยอมว่าบทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสารวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน”

หากข้าพเจ้ามีความประสงค์ในการขอยกเลิกการพิจารณาบทความหลังจากวันที่ได้รับหนังสือยืนยันการรับบทความ ข้าพเจ้ายินดีรับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานที่มหาวิทยาลัยฯ ดำเนินการตามกระบวนการของวารสาร มทร.อีสาน ตามที่จ่ายจริง

ลงชื่อ.....

(.....)



หนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความ
วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ขอรับรองว่าบทความ.....

เรื่อง
.....
โดย
.....

ได้ผ่านการประเมินจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
และตีพิมพ์ในวารสาร มทร.อีสาน
ปีที่..... ฉบับที่.....(.....-..... พ.ศ.....)

(.....)
บรรณาธิการ วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน



ใบสมัครสมาชิก
วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

หมายเลขสมาชิก

.....
(สำหรับเจ้าหน้าที่)

วันที่สมัคร.....

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....

ที่อยู่

.....โทรศัพท์.....

ออกใบเสร็จในนาม ชื่อ.....

ที่อยู่.....

มีความประสงค์เป็นสมาชิก

☐ วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน (1 ปี มี 3 ฉบับ 1,000 บาท)

โดย ☐ สมัครเป็นสมาชิกใหม่ จำนวน ปี เริ่มตั้งแต่ปีที่ ฉบับที่

☐ ต่ออายุสมาชิก จำนวน ปี เริ่มตั้งแต่ปีที่ ฉบับที่

พร้อมกันนี้ได้ส่งค่าสมาชิก จำนวน.....บาท

(ตัวอักษร).....

ซึ่งได้ชำระเงินผ่านทางบัญชีกองทุนสนับสนุนการวิจัย ธนาคารกรุงไทย สาขาม.เทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา ชื่อบัญชี “กองทุนสนับสนุนการวิจัย มทร.อีสาน” บัญชีออมทรัพย์ เลขที่ 980-9-74231-2

หมายเหตุ กรุณาส่งหลักฐานการจ่ายเงินและใบสมัครสมาชิก มายังสถาบันวิจัยและพัฒนาที่ E-mail : rmuti.journal@gmail.com พร้อมเขียนชื่อ-นามสกุล ให้ชัดเจน การสมัครสมาชิกจะมีผลสมบูรณ์ เมื่อทางวารสารได้มีการตรวจสอบเอกสารต่าง ๆ อย่างถูกต้องแล้วเท่านั้น

ลงชื่อ.....ผู้สมัคร
(.....)



หนังสือยืนยันการถอนบทความ
วารสาร มทร.อีสาน ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....
สังกัดหน่วยงาน
มีความประสงค์ขออนการพิจารณาบทความเรื่อง
.....
.....
ที่ได้ส่งเข้ามายังวารสาร มทร.อีสาน เมื่อวันที่..... และยินยอม
รับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการดำเนินการตามกระบวนการของวารสาร มทร.อีสาน เป็นจำนวนเงิน บาท
(.....) โดยชำระเงินผ่านทางบัญชีกองทุนสนับสนุนการวิจัย
ธนาคารกรุงไทย สาขาม.เทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา ชื่อบัญชี “กองทุนสนับสนุนการวิจัย
มทร.อีสาน” บัญชีออมทรัพย์ เลขที่ 980-9-74231-2

หมายเหตุ กรุณาส่งหลักฐานการชำระเงินและหนังสือยืนยันการถอนบทความ มายังสถาบันวิจัยและพัฒนาที่
E-mail : rmuti.journal@gmail.com พร้อมเขียนชื่อ-นามสกุล ให้ชัดเจน ข้อมูลการชำระเงิน
จะมีผลสมบูรณ์ เมื่อทางวารสารได้มีการตรวจสอบเอกสารต่าง ๆ อย่างถูกต้องแล้วเท่านั้น

ลงชื่อ.....ผู้ถอนบทความ
(.....)



RMUTI
ราชมงคลอีสาน



RMUTI JOURNAL

Science and Technology

Vol. 14 No. 1 January - April 2021



Institute of Research and Development

Rajamangala University of Technology Isan

744 Suranarai Road, Meuang, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand

Tel. (66) 4423 3063 Fax. (66) 4423 3064

E-mail : rmuti.journal@gmail.com <http://ird.rmuti.ac.th/2015>