

กลุ่มที่ 3

บทความระดับชาติ

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กลุ่มย่อยที่ 1:

วิศวกรรมศาสตร์

การใช้ปัญญาประดิษฐ์พัฒนาภาพจำลองดวงตาของมนุษย์เพื่อการประยุกต์ใช้ ในการสร้างเทมเพลตการฝึกสอนสำหรับการตรวจหาวัตถุ

Utilizing Artificial Intelligence to Develop Simulated Human Eye Images for Practical Application in Creating Training Templates for Object Detection

จักรภัทร เวทศิลป์

สาขาวิชานวัตกรรม วิศวกรรมแพทย์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

E-mail: jakapat_top@hotmail.com

เจษฎา ตัณฑนุช

สาขาวิชาคณิตศาสตร์ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

E-mail: jessada@g.sut.ac.th

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีการตรวจหาวัตถุได้ถูกพัฒนาให้สามารถตรวจหาวัตถุและตำแหน่งที่ปรากฏในภาพถ่ายหรือวิดีโอที่บันทึกได้ งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้โปรแกรมปัญญาประดิษฐ์ 2 ชนิดได้แก่ โปรแกรม Midjourney และโปรแกรม Stylegan2-ADA-Pytorch เพื่อสร้างภาพจำลองดวงตาของมนุษย์เพื่อการประยุกต์ใช้ในการสร้างเทมเพลตการฝึกสอนสำหรับการตรวจหาวัตถุด้วย YOLOv5 เพื่อลดความยุ่งยากในการเก็บรูปดวงตาของมนุษย์โดยตรง ผลการวิจัยพบว่าสามารถสร้างภาพจำลองดวงตาของมนุษย์ได้หลากหลายแบบ เป็นจำนวน 1,000 ภาพ และเมื่อนำภาพเหล่านั้นมาใช้ฝึกสอนสำหรับการตรวจหาวัตถุแล้วนำมาทดสอบตรวจหาดวงตาจากภาพใบหน้าของมนุษย์ที่จัดเตรียมไว้จำนวน 3,161 ภาพ พบว่าการตรวจหาดวงตาจากภาพใบหน้าที่มีความถูกต้องในการตรวจหาเท่ากับ 0.8592 ค่าความแม่นยำเท่ากับ 0.9996 และค่าเรียกคืนเท่ากับ 0.8592

คำสำคัญ: ปัญญาประดิษฐ์, ภาพจำลองรูปดวงตาของมนุษย์, การตรวจหาวัตถุ, YOLOv5

ABSTRACT

The object detection technology has been developed to enable the detection and localization of objects appearing in digital photographs or videos. This research has applied two artificial intelligence software programs, Midjourney and Stylegan2-ADA-Pytorch, to generate simulated human eye images for practical application in creating training templates for object detection using YOLOv5, with the aim of reducing the complexity of directly capturing human eye images. The research findings show that various models of human eye simulations can be generated, 1,000 images, and when used for object detection training, it enables effective detection of eyes from 3,161 human facial images with accuracy = 0.8592, precision = 0.9996, and recall = 0.8592.

Keywords: artificial intelligence, simulated human eye image, object detection, YOLOv5

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

เทคโนโลยีการตรวจหาวัตถุ (object detection) ได้ถูกพัฒนาให้สามารถตรวจหาวัตถุและตำแหน่งที่ปรากฏในภาพถ่ายหรือวิดีโอที่บันทึกดิจิทัล (digital images or videos) ได้ อย่างไรก็ตามเพื่อให้การตรวจหาวัตถุเป็นไปได้ต้องมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องมีข้อมูลสำหรับการฝึกที่มีประสิทธิภาพและมีจำนวนมากพอสมควร ทั้งนี้หากต้องการใช้ข้อมูลดังกล่าวเพื่อทำวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับมนุษย์จำเป็นต้องมีการขอรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์อีกทั้งการเก็บข้อมูลอาจมีความยุ่งยาก เสียเวลา เสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก และหากมีข้อผิดพลาดในการเก็บข้อมูล จะเป็นความลำบากอย่างยิ่งที่จะเก็บข้อมูลใหม่เพื่อทดแทนข้อมูลที่เสียหาย เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้ได้พยายามพัฒนาการสร้างรูปดวงตาของมนุษย์โดยการใช้ปัญญาประดิษฐ์ (artificial intelligence-AI) เพื่อจัดทำเป็นฐานข้อมูลรูปภาพสำหรับใช้ในการฝึกระบบการตรวจหาวัตถุด้วยเทคโนโลยี YOLOv5 ทั้งนี้งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยนำร่องเพื่อจะพัฒนาระบบการตรวจหาวัตถุเพื่อใช้วิเคราะห์บุคลิกคนจากดวงตา ว่าอยู่ในภาวะโกหกหรือไม่

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อสร้างเทมเพลตของการสร้างภาพจำลองดวงตาของมนุษย์เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการฝึกระบบการตรวจหาวัตถุเพื่อตรวจหาดวงตาของมนุษย์จากภาพถ่าย

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญญาประดิษฐ์สำหรับการสร้างภาพเสมือนจริง (Artificial Intelligence for Photorealistic Image Generation)

ปัจจุบันมีการใช้ระบบปัญญาประดิษฐ์ในงานด้านต่าง ๆ มากมายรวมไปถึงการใช้ในการสร้างภาพเสมือนจริง ทั้งนี้ได้มีการพัฒนาการสร้างภาพเสมือนจริงในรูปแบบต่าง ๆ เช่น (Guinness, 2023)

- DALL-E 2 เป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาโดยบริษัท OpenAI สามารถเปลี่ยนข้อความ (text) ให้เป็นภาพได้อย่างสะดวกรวดเร็ว
- Imagen เป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาโดยบริษัท Google สามารถเปลี่ยนข้อความให้เป็นภาพได้เช่นกัน
- Adobe Photoshop (Firefly) เป็น โปรแกรมที่สามารถนำภาพที่พัฒนาขึ้นด้วยระบบ AI เข้าไปรวมกับภาพถ่ายดิจิทัลได้อย่างเสมือนจริง
- Midjourney เป็น โปรแกรมที่สามารถสร้างภาพเสมือนจริงได้ใกล้เคียงกับภาพถ่ายมากโดยสามารถให้รายละเอียดของแสง สีเงา ลายผิวได้เสมือนจริงมาก

หลักการการทำงานของ การใช้ AI สร้างภาพเสมือนจริงนั้น อาศัยหลักการของการเรียนรู้เครื่อง (Machine Learning) โดย AI จะถูกฝึกฝนด้วยชุดข้อมูลขนาดใหญ่ของภาพจริง จากนั้น AI จะเรียนรู้ที่จะระบุคุณสมบัติและความสัมพันธ์ของภาพต่าง ๆ ในชุดข้อมูลนั้น เมื่อ AI ได้รับข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องการสร้างภาพ AI จะสามารถสร้างภาพใหม่ขึ้นมาโดยใช้คุณสมบัติและความสัมพันธ์ที่เรียนรู้ไว้ สำหรับขั้นตอนวิธี (algorithm) ที่เป็นที่ยอมรับในการสร้างภาพเสมือนจริงด้วย AI ได้แก่ Convolutional Neural Networks (CNNs) Variational Autoencoders (VAEs) และ Generative Adversarial Networks (GANs) โดยแต่ละขั้นตอนวิธีมีหลักการงานเบื้องต้นดังนี้

- CNNs เป็นระบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบสังวัตนาการซึ่งเป็นตัวแบบการเรียนรู้ของเครื่องที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ภาพ โดย CNNs จะเรียนรู้คุณสมบัติของภาพจากข้อมูลที่ได้รับ จากนั้น CNNs สามารถใช้คุณสมบัติเหล่านี้เพื่อสร้างภาพใหม่ขึ้นมา

- VAEs เป็นตัวแบบการเรียนรู้ของเครื่องที่สามารถถอดรหัสอัตโนมัติแบบแปรผันได้ สามารถนำมาใช้สำหรับสร้างข้อมูลขึ้นมาใหม่ โดย VAEs จะสร้างภาพใหม่ขึ้นมาโดยอาศัยข้อมูลที่ได้รับ จากนั้น VAEs จะตรวจสอบว่าภาพที่สร้างขึ้นมานั้นสอดคล้องกับข้อมูลที่ได้รับหรือไม่

- GANs เป็นขั้นตอนวิธีที่เป็นที่นิยมที่สุดในปัจจุบันในการสร้างภาพเสมือนจริงด้วย AI โดย GANs ประกอบด้วยสองตัวแบบย่อยได้แก่ Generator และ Discriminator โดย Generator เป็นตัวแบบที่สร้างภาพขึ้นมาใหม่โดยอาศัยข้อมูลที่ได้รับจากผู้ใช้งาน และ Discriminator เป็นโมเดลที่ทำหน้าที่แยกแยะระหว่างภาพจริงกับภาพที่สร้างขึ้นใหม่ การทำงานของ GANs เริ่มต้นจาก Generator ที่สร้างภาพขึ้นมาใหม่ จากนั้น Discriminator จะตรวจสอบว่าภาพที่สร้างขึ้นมานั้นเหมือนภาพจริงหรือไม่ หาก Discriminator ตัดสินว่าภาพนั้นเหมือนภาพจริง Generator จะได้รับการแก้ไขให้ดีขึ้น เพื่อให้สามารถสร้างภาพใหม่ที่เหมือนภาพจริงมากขึ้น กระบวนการดังกล่าวจะถูกทำซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกว่า Generator จะสามารถสร้างภาพใหม่ที่เหมือนภาพจริงได้อย่างสมบูรณ์ (Goodfellow et al., 2014; Radford et al., 2015)

การตรวจหาวัตถุ (object detection)

การตรวจหาวัตถุเป็นการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการเรียนรู้เครื่องเพื่อระบุและจัดประเภทวัตถุในภาพหรือวิดีโอที่บันทึกดิจิทัล (digital video) การตรวจหาวัตถุช่วยในการทำงานทางด้าน การจดจำใบหน้า การระบุวัตถุในรถยนต์อัตโนมัติ การตรวจจับวัตถุอันตราย และการวิเคราะห์วิดีโอ เป็นได้ด้วยความสะดวกสบาย ขั้นตอนวิธีเบื้องต้นการตรวจจับวัตถุโดยทั่วไปจะทำงานดังนี้

1. แบ่งภาพหรือวิดีโอที่บันทึกดิจิทัลออกเป็นส่วนย่อย ๆ
2. ใช้เทคนิคการจดจำภาพเพื่อระบุวัตถุในแต่ละส่วนย่อย
3. รวบรวมผลลัพธ์จากแต่ละส่วนย่อยเพื่อระบุวัตถุทั้งหมดในภาพหรือวิดีโอที่บันทึก

ขั้นตอนวิธีการตรวจหาวัตถุที่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน ได้แก่

- **Region-based convolutional neural networks (R-CNNs)** ขั้นตอนวิธีนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นในปี 2014 โดย Ross Girshick และคณะ โดยขั้นตอนในการตรวจหาวัตถุประกอบด้วยการแบ่งภาพออกเป็นส่วนย่อย จากนั้นใช้ CNNs สำหรับการวิเคราะห์ภาพเพื่อระบุวัตถุในแต่ละส่วนย่อย (Girshick et al., 2014)

- **Faster R-CNNs** ขั้นตอนวิธีการตรวจจับวัตถุนี้ได้ถูกพัฒนาต่อออกจาก R-CNNs โดย Ross Girshick และคณะในปี 2015 ในขั้นตอนการทำงาน ได้ปรับปรุง R-CNNs โดยการใช้นิวเคลียสที่เรียกว่า region proposal network (RPN) เพื่อระบุส่วนย่อยที่มีแนวโน้มที่จะมีส่วนประกอบของวัตถุ จากนั้นยังคงใช้ CNNs สำหรับการวิเคราะห์ภาพเพื่อระบุวัตถุในแต่ละส่วนย่อยเช่นเดิม (Girshick, He, & Dollar, 2015)

- **YOLO (You Only Look Once)** เป็นขั้นตอนวิธีการตรวจหาวัตถุแบบทันที (real time) ที่พัฒนาโดย Joseph Redmon และ Farhadi ในปี 2016 YOLO เป็นระบบตรวจหาวัตถุที่มีความรวดเร็วในการทำงานพร้อมกับมีความแม่นยำที่ดี เนื่องด้วยใช้การประมวลผลโครงข่ายประสาทเทียมเดี่ยว (single neural network) ในการพยายามจำแนกวัตถุในภาพทั้งหมดในครั้งเดียว (single stage detector) YOLO เป็นขั้นตอนวิธีการตรวจหาวัตถุที่เป็นที่นิยมมากและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดย YOLO รุ่นที่เป็นที่นิยมมากในปัจจุบันคือ YOLOv5 (Redmon & Farhadi, 2016)

YOLOv5 (You Only Look Once V5)

Glenn Jocher และคณะ ได้พัฒนาระบบตรวจหาวัตถุ YOLOv5 ขึ้นในปี 2020 โดยต่อยอดแนวคิดมาจาก YOLO algorithm แบบดั้งเดิม ทั้งนี้ YOLOv5 ที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นใหม่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเดิมเป็นอย่างมาก ทำให้เป็นที่นิยมในการใช้ขั้นตอนวิธีดังกล่าวในการตรวจหาวัตถุทั้งจากภาพถ่ายและภาพวิดีโอที่สดๆ (Thuan, 2021)

กระบวนการทำงานของ YOLOv5 ประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1. ขั้นตอนการแบ่งภาพเป็นส่วนย่อย ระบบจะแบ่งภาพออกเป็นส่วนเล็ก ๆ เรียกว่า grid cells และใช้ CNN เพื่อตรวจหาวัตถุในแต่ละส่วนย่อยที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้
2. ขั้นตอนการสกัดคุณลักษณะของวัตถุ ในขั้นตอนนี้ใช้ CNN เพื่อสกัดคุณลักษณะของวัตถุจากส่วนย่อยที่ได้จากขั้นตอนที่ 1
3. ขั้นตอนการคาดเดาประเภทของวัตถุ ขั้นตอนนี้ใช้ชั้นเชื่อมต่อแบบสมบูรณ์ (fully-connected layer) ใน CNN เพื่อสร้างเวกเตอร์ที่บ่งชี้ประเภทของวัตถุ ซึ่งจะมีจำนวนมิติเท่ากับจำนวนประเภทที่ต้องการทำนาย
4. ขั้นตอนการคาดเดาค่าตำแหน่งของวัตถุ ในการคาดเดาค่าตำแหน่งจะใช้ชั้นเชื่อมต่อแบบสมบูรณ์เพื่อทำนายตำแหน่งของวัตถุ
5. ขั้นตอนการปรับปรุงผลลัพธ์ หลังการคาดเดาค่าตำแหน่งของวัตถุ ขั้นตอนนี้เกี่ยวกับการปรับปรุงผลลัพธ์ เช่น ลบข้อมูลไม่จำเป็นที่มีความน่าจะเป็นต่ำ ลบข้อมูลรบกวน เช่น ตัวอักษร และรวมกลุ่มวัตถุที่ใกล้เคียงกันเข้าเป็นวัตถุเดียว
6. ขั้นตอนการค้นหวัตถุในภาพ ในขั้นตอนนี้สุดท้ายนี้ระบบจะค้นหวัตถุและสร้างกรอบสี่เหลี่ยมรอบวัตถุที่ตรวจพบ รวมถึงแสดงข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับวัตถุ เช่น ชื่อและคะแนนความเชื่อมั่นว่าเป็นวัตถุนั้น

เครื่องมือในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ AI ที่ถูกพัฒนาขึ้นมานั้นมักใช้ เมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix) ซึ่งเป็นตารางขนาด 2x2 ที่นำมาใช้เป็นเครื่องมือวัดความสามารถของระบบ AI ในการทำนายผล ดังแสดงในรูปที่ 1

		Actual Values	
		Positive (1)	Negative (0)
Predicted Values	Positive (1)	TP	FP
	Negative (0)	FN	TN

รูปที่ 1 ภาพของเมทริกซ์ความสับสน

โดยค่าต่าง ๆ ที่ปรากฏในตารางมีความหมายดังนี้

True Positive (TP) คือ สิ่งที่ระบบ AI ทำนายว่า “จริง” และ สิ่งนั้นมีค่าเป็น “จริง”

True Negative (TN) คือ สิ่งที่ระบบ AI ทำนายว่า “ไม่จริง” และ สิ่งนั้นมีค่าเป็น “ไม่จริง”

False Positive (FP) คือ สิ่งที่ระบบ AI ทำนายว่า “จริง” แต่สิ่งนั้นมีค่าเป็น “ไม่จริง”

False Negative (FN) คือ สิ่งที่ระบบ AI ทำนายว่า “ไม่จริง” แต่มีค่าเป็น “จริง”

จากข้อมูลข้างต้นเราสามารถนำมาประมวลผลได้ค่าต่าง ๆ โดยผลการประมวลที่เป็นที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ AI มีดังนี้

ความถูกต้อง (Accuracy) เป็นค่าที่วัดความสามารถในการทำนายของระบบ AI ว่าสามารถทำนายเรื่องที่จริงและไม่จริงได้ถูกต้องแค่ไหน คำนวณโดย

$$\frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}$$

ความแม่นยำ (Precision) เป็นค่าที่วัดความสามารถของระบบ AI ในการทำนายสิ่งที่สนใจว่าจริงเป็นหลักกว่าทำนายได้ดีถูกต้องเพียงไหน คำนวณโดย

$$\frac{TP}{TP+FP}$$

ค่าเรียกคืน (Recall) หรือบางครั้งอาจเรียกว่าค่าความไว (Sensitivity) เป็นค่าที่วัดความสามารถระบบ AI ในแง่การยอมรับในความผิดพลาดในการทำนายสิ่งที่สนใจว่าจริงได้แค่ไหน เช่นในทางการแพทย์ หากทำนายผิดว่าผู้ที่เข้ามาตรวจเป็นโรคทั้ง ๆ ที่ไม่ได้เป็น (กรณี false positive) สามารถยอมรับได้มากกว่าการทำนายว่าผู้ที่เข้ามาตรวจไม่เป็นโรคทั้ง ๆ ที่เป็น (กรณี false negative) หรือทางด้านการทำนายธุรกรรมที่ผิดปกติ (fraud) หากว่าทำนายผิดว่าเป็นธุรกรรมที่ผิดปกติทั้ง ๆ ที่ไม่ใช่ (กรณี false positive) สามารถตรวจสอบซ้ำใหม่ทำให้เกิดความเสียหายไม่มาก แต่หากว่าเป็นธุรกรรมที่ผิดปกติ แต่ทำนายว่าไม่ใช่ (กรณี false negative) จะเกิดความเสียหายขึ้นมากกว่า คำนวณโดย

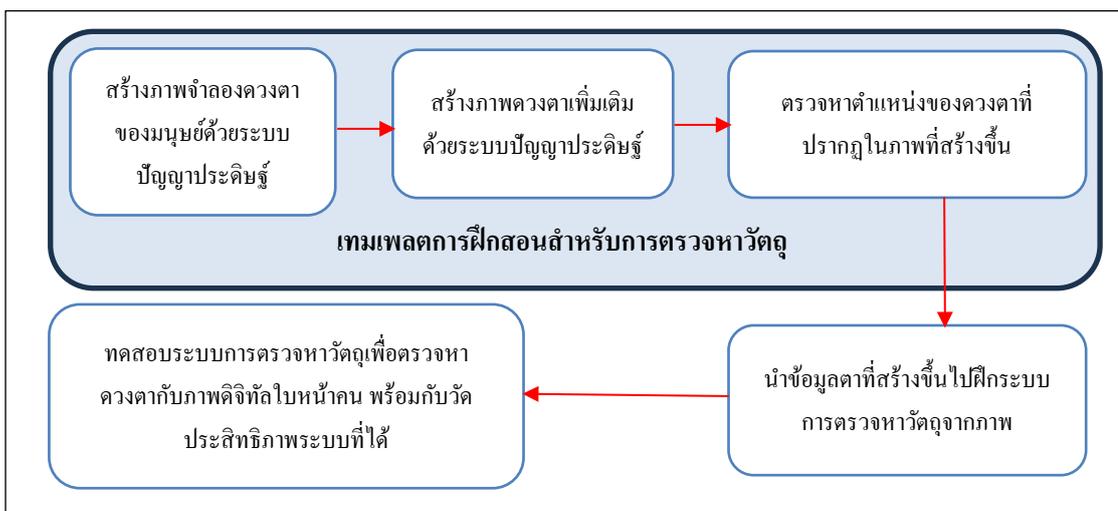
$$\frac{TP}{TP+FN}$$

ค่าทั้งสามที่กล่าวมาข้างต้นจะมีค่าเป็นจำนวนจริงตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยหากค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าระบบ AI ดังกล่าวมีประสิทธิภาพน้อยและหากค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าระบบ AI ดังกล่าวมีประสิทธิภาพที่ดี

3.2 สมมติฐานการวิจัย

ภาพดวงตาจำลองของมนุษย์ที่ถูกสร้างขึ้นด้วยระบบ AI สามารถถูกใช้ทดแทนข้อมูลของภาพดวงตามนุษย์จริงเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลรูปภาพสำหรับการฝึกระบบการตรวจหาวัตถุด้วยเทคโนโลยี YOLOv5 ได้

3.3 กรอบแนวคิดในการวิจัย



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 เครื่องมือวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ (desktop) ที่มีหน่วยประมวลผลกลาง CPU Intel Core i7 8700K ใช้แผงวงจรหลัก (mainboard) ในคอมพิวเตอร์รุ่น Gigabyte Z370 AORUS Gaming 5-CF หน่วยความจำ RAM ความจุ 32GB หน่วยประมวลผลกราฟิก GPU Nvidia GeForce GTX 1080 Ti หน่วยความจำ RAM ของหน่วยประมวลผลภาพความจุ 11GB ทำงานบนระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows 11
2. ซอฟต์แวร์ปัญญาประดิษฐ์เพื่อสร้างภาพเสมือนจริง โปรแกรม Midjourney รุ่น Model V5.0
3. ซอฟต์แวร์ปัญญาประดิษฐ์ปรับปรุงภาพ โปรแกรม StyleGAN2-ADA-Pytorch (Style Generative Adversarial Networks 2 with Adaptive Discriminator Augmentation) รุ่นปี 2021 ทำงานภายใต้ภาษา Python ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์สร้างภาพเสมือนจริงชนิด GANs
4. เว็บไซต์ <https://www.makesense.ai> เพื่อใช้ซอฟต์แวร์ในเว็บไซต์ทำการระบุป้าย (labeling) วัตถุที่สนใจ
5. ซอฟต์แวร์ตรวจหาวัตถุ YOLOv5
6. ภาพใบหน้าคนจากเว็บไซต์ <https://generated.photos/>

4.2 แบบแผนการวิจัย

ทำการสร้างภาพดวงตาโดยใช้ซอฟต์แวร์ Midjourney จากนั้นทำการเพิ่มจำนวนภาพโดยนำภาพที่ได้ข้างต้นเหล่านั้นมาทำปรับปรุงภาพต่อให้มีความแตกต่างกันโดยใช้ซอฟต์แวร์ StyleGAN2-ADA-Pytorch แล้วนำภาพที่ได้สร้างขึ้นทั้งหมดไปทำการฝึกฝน (train) ในซอฟต์แวร์ YOLOv5 เพื่อทำการสร้างระบบ AI ที่สามารถตรวจหาวัตถุซึ่งในที่นี้คือ ดวงตา จากภาพถ่ายดิจิทัลหน้าคนที่จัดเตรียมไว้ได้โดยต้องมีความถูกต้องในการตรวจหาไม่น้อยกว่า 0.8

4.3 การดำเนินการวิจัย

4.3.1 ทำการสร้างภาพดวงตาเสมือนจริงโดยใช้โปรแกรม Midjourney ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถสร้างภาพเสมือนจริงโดยทำการสร้างภาพจำนวนทั้งหมด 53 ภาพ การสร้างภาพดวงตาในขั้นตอนนี้ทำได้โดยกำหนดคำสั่งที่ Midjourney มีให้ในการสร้างภาพดวงตาต่าง ๆ ขึ้นมา



รูปที่ 2 ตัวอย่างภาพของดวงตาที่สร้างขึ้น โดย Midjourney

4.3.2 นำภาพทั้ง 53 ภาพที่ถูกสร้างขึ้นด้วยโปรแกรม Midjourney ไปทำการฝึกเพื่อทำการสร้างภาพเพิ่มเติมให้แตกต่างจากเดิมโดยใช้โปรแกรม StyleGAN2-ADA-Pytorch จนได้ภาพที่ผสมผสานระหว่างภาพดวงตาข้างต้น 53 ภาพจนกลายเป็นภาพใหม่จำนวน 1,000 ภาพ การสร้างภาพดวงตาในขั้นตอนนี้ทำได้โดยการกำหนด

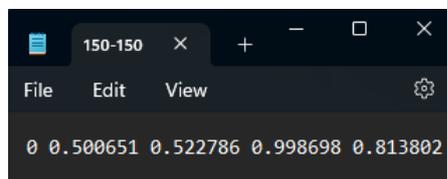
พารามิเตอร์ให้ทำการสร้างภาพแบบผสม (mixing) ข้อมูลภาพระหว่างแหล่งข้อมูล A (Source A) กับแหล่งข้อมูล B (Source B)



รูปที่ 3 ตัวอย่างภาพของดวงตาที่ถูกปรับปรุงขึ้นมาใหม่โดย Stylegan2-ADA-Pytorch

4.3.3 ในขั้นตอนถัดมานี้เป็นขั้นตอนการฝึกการตรวจจับวัตถุโดยใช้ซอฟต์แวร์ YOLOv5 ในการฝึกจะใช้รูปภาพที่ถูกสร้างขึ้นมาจำนวน 1,000 ภาพ ในขั้นตอนก่อนหน้า ขั้นตอนนี้มีขั้นตอนย่อยในการดำเนินการคือ

1) การระบุป้าย (labeling) ขั้นตอนย่อยนี้จะทำการระบุข้อมูลของวัตถุที่ปรากฏในภาพเพื่อใช้ในการฝึกระบบปัญญาประดิษฐ์ วัตถุที่ทำการระบุป้ายในขั้นตอนนี้เป็นส่วนของดวงตาที่ปรากฏในภาพ ในขั้นตอนนี้ได้ใช้เว็บไซต์ <https://www.makesense.ai> ซึ่งเป็นโปรแกรมแบบ Online ที่จะสามารถช่วยในการระบุป้ายวัตถุที่เราต้องการ โดยหลังจากที่ทำการระบุป้ายจะได้ข้อมูลไฟล์ออกมาในรูปแบบนามสกุล .txt โดยข้อมูลข้างในจะเป็นตัวเลขดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากการระบุป้ายโดยใช้เว็บไซต์ <https://www.makesense.ai>

จากรูปที่ 4 ค่าแต่ละค่าที่ปรากฏมีความหมายดังนี้ เลขตัวแรกสุดนับจากด้านซ้าย (เลข 0) แสดงถึงประเภทของวัตถุ โดยเลข 0 ในที่นี้จะหมายถึง วัตถุที่เป็นดวงตา สำหรับเลขตัวที่ 2 และ 3 ถัดมา (เลข 0.500651 และ 0.522786) จะหมายถึงตำแหน่งพิกัดตรงกลางของวัตถุในแนวแกน x และแกน y หากเทียบตามสัดส่วนในแนวความกว้างและสูงของรูปภาพเป็น 1 และเลขตัวที่ 4 และ 5 ถัดมา (เลข 0.998698 และ 0.813802) หมายถึงความกว้างและความสูงของวัตถุที่ปรากฏในรูปภาพ (เทียบตามสัดส่วนในแนวความกว้างและสูงของรูปภาพเป็น 1)



รูปที่ 5 ตัวอย่างการระบุป้ายโดยใช้ เว็บไซต์ <https://www.makesense.ai>

2) การฝึก (training) ขั้นตอนย่อยนี้จะทำการนำข้อมูลไฟล์ภาพพร้อมกับข้อมูลไฟล์ระบุป้ายที่ได้ในขั้นตอนก่อนหน้าไปทำการฝึกระบบการตรวจหาวัตถุ YOLOv5 โดยจะทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้
 ตั้งค่าจำนวนรอบของการฝึกฝน (epochs) อยู่ที่ 5,000 รอบ และ ตั้งค่าจำนวนรายการข้อมูลที่จะให้ Optimizer คำนวณในหนึ่งครั้ง (batch size) อยู่ที่ 64 โดยค่านี้จะมีผลโดยตรงกับความเร็วและแม่นยำในการคำนวณ

4.3.4 ในขั้นตอนสุดท้ายนี้เป็นขั้นตอนการนำภาพหน้าคนที่ เป็นภาพนิ่งดิจิทัลซึ่งถูกสร้างด้วย ปัญญาประดิษฐ์จากเว็บไซต์ <https://generated.photos/> มาคัดเลือกภาพที่เห็นดวงตาชัดเจน (ไม่ใช่แว่นตา ไม่หลับตา ไม่ก้มหน้า หรือเอียงหน้ามากเกินไป) จนได้ภาพที่จะใช้ทดสอบจำนวน 3,161 ภาพมาใช้ทดสอบ ประสิทธิภาพของระบบการตรวจหาวัตถุที่ได้



รูปที่ 6 ตัวอย่างของภาพใบหน้าสำหรับใช้ทดสอบประสิทธิภาพของระบบการตรวจหาวัตถุ

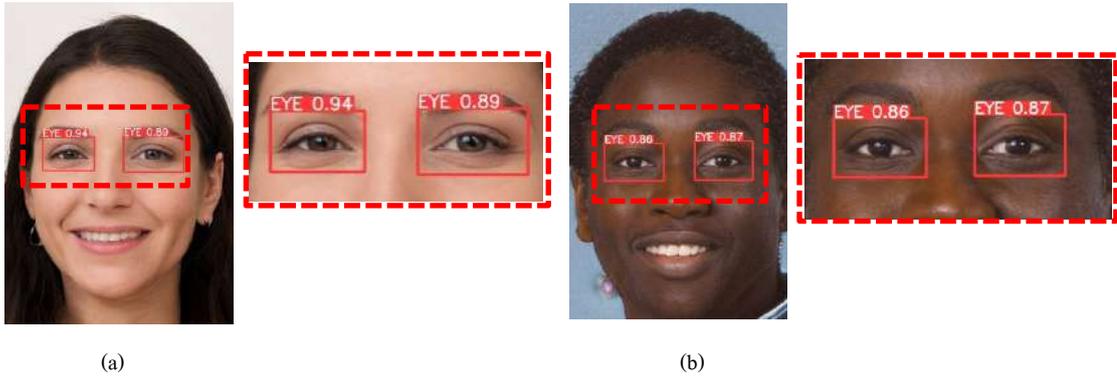
5. ผลการวิจัย

ผลจากการจัดทำเทมเพลตการฝึกสอนสำหรับการตรวจหาดวงตาที่สร้างขึ้น ทำให้การตรวจหาดวงตา โดยระบบการตรวจหาวัตถุ YOLOv5 จากภาพทดสอบที่เป็นภาพใบหน้าคนจำนวน 3,161 ภาพสามารถทำได้ดี แสดงผลการตรวจหาทั้งหมดดังตารางที่ 1 รวมถึงแสดงตัวอย่างการการตรวจหาดวงตาที่ถูกต้องในรูปที่ 7 และ ตัวอย่างการการตรวจหาดวงตาที่ผิดพลาดในรูปที่ 8

ตารางที่ 1 เมทริกซ์ความสับสนแสดงผลการตรวจหาดวงตาจากภาพถ่ายจำนวน $N=3,161$ ภาพ

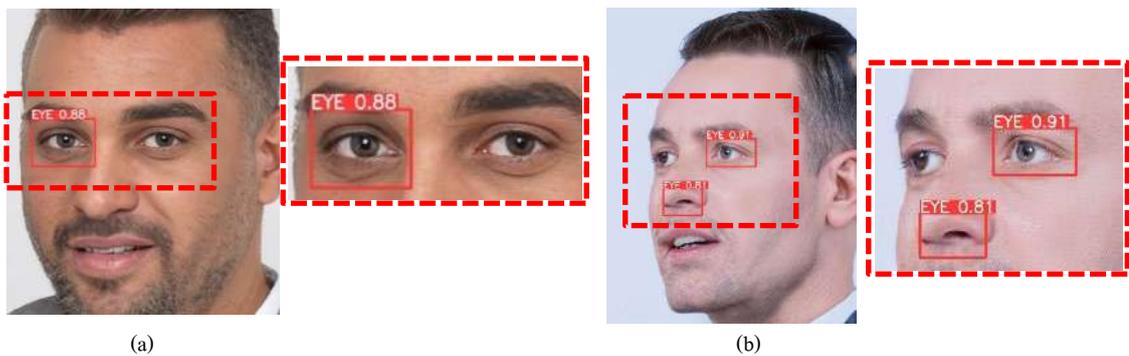
$TP = 2,715$	$FP = 1$
$TN = 0$	$FN = 445$

จากตารางที่ 1 พบว่าสามารถคำนวณค่าของความถูกต้องเท่ากับ 0.8592 ค่าความแม่นยำเท่ากับ 0.9996 และค่าเรียกคืนเท่ากับ 0.8592



รูปที่ 7 แสดงตัวอย่างการการตรวจหาดวงตาที่ถูกต้อง

- (a) ระบุความเชื่อมั่นในการตรวจหาว่าเป็นดวงตาของดวงตาข้างขวา 0.94 และดวงตาข้างซ้าย 0.89
(b) ระบุความเชื่อมั่นในการตรวจหาว่าเป็นดวงตาของดวงตาข้างขวา 0.86 และดวงตาข้างซ้าย 0.87

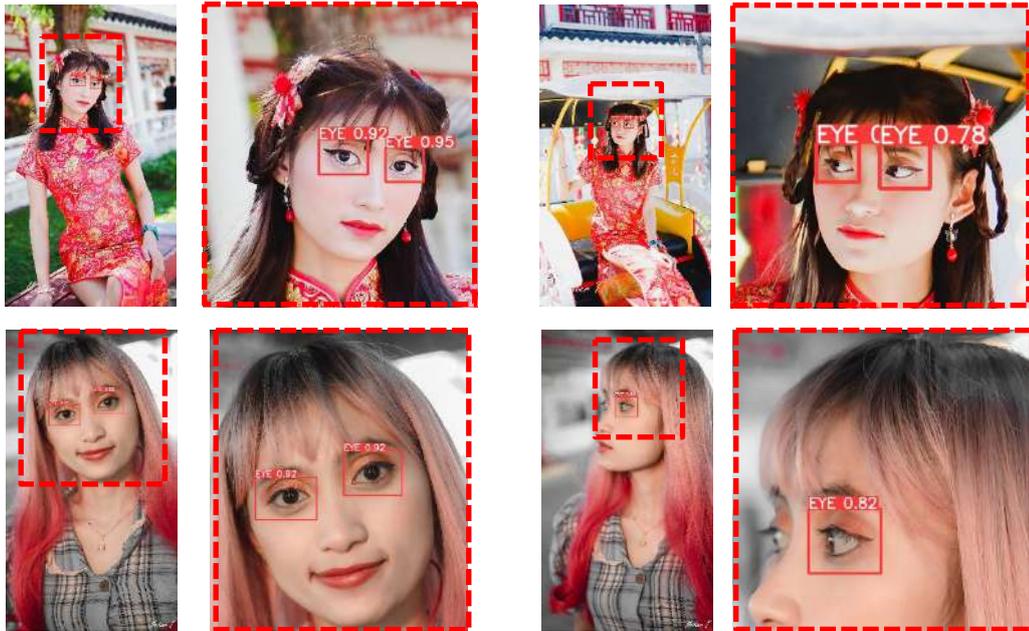


รูปที่ 8 แสดงตัวอย่างการการตรวจหาดวงตาที่ผิดพลาด

- (a) ตรวจหาไม่เจอดวงตาข้างซ้าย (b) ระบุว่าจะมุกเป็นดวงตา

6. อภิปรายผล

จากผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าการสร้างเทมเพลตการฝึกสอนสำหรับการตรวจหาดวงตาจากภาพถ่ายซึ่งประกอบไปด้วย 3 ส่วนได้แก่ ส่วนการสร้างภาพจำลองดวงตาของมนุษย์ต้นแบบด้วยโปรแกรม Midjourney ส่วนการสร้างภาพเพิ่มเติมให้แตกต่างจากเดิมโดยใช้โปรแกรม Stylegan2-ADA-Pytorch และส่วนการระบุข้อมูลของวัตถุที่ปรากฏในภาพโดยเว็บไซต์ <https://www.makesense.ai> สามารถนำมาใช้ฝึก YOLOv5 ในการตรวจหาดวงตามนุษย์จากภาพดิจิทัล ได้จริงและสามารถตรวจหาได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ดี แต่ก็อาจมีข้อผิดพลาดในบางจุด เช่น หากโครงสร้างภาพมุกในบางมุมมองอาจมีลักษณะแบบเดียวกับดวงตาทำให้เกิดการตรวจหาดวงตาที่ผิดพลาด และภาพใบหน้าที่น่ามาทดสอบไม่ใช่ใบหน้ามนุษย์จริง อาจมีบางครั้งที่การตรวจหาบริเวณดวงตาจากภาพใบหน้านั้นมีความคลาดเคลื่อน ดังนั้นสามารถอนุมานได้ว่าเทมเพลตการฝึกสอนที่สร้างขึ้นนำมาใช้ประโยชน์ในการสร้างภาพจำลองดวงตาของมนุษย์ทดแทนรูปภาพดวงตาจริงได้ และเมื่อนำภาพคนจริง ๆ มาใช้ทดสอบในการตรวจหาดวงตาเบื้องต้นก็พบว่าสามารถตรวจหาได้ถูกต้องดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ตรวจสอบดวงตาจากภาพถ่ายดิจิทัลที่ถ่ายจากบุคคลจริง

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

จากผลวิจัยที่ได้ทำให้ได้ต้นแบบการสร้างเทมเพลตการฝึกสอนสำหรับการตรวจหาดวงตาจากภาพถ่ายได้ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจหาอวัยวะอื่น ๆ จากภาพถ่ายได้อีกเช่น จมูก ปาก โดยไม่จำเป็นต้องนำภาพมนุษย์จริงมาเป็นส่วนหนึ่งของการทดลองในระยะแรก ทำให้ช่วยเร่งเวลาในการทำวิจัย นอกจากนี้ผลจากการฝึกสอนสำหรับการตรวจหาดวงตาจากภาพถ่ายได้ในงานวิจัยนี้ จะถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการพิจารณาภาวะการโกหกจากภาพถ่ายใบหน้าในงานวิจัยขั้นถัดไป

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

เพื่อให้การสร้างเทมเพลตการฝึกสอนสำหรับการตรวจหาดวงตาจากภาพถ่ายมีประสิทธิภาพมากขึ้น อาจต้องทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตรวจหาดวงตากับกรณีที่ใช้ซอฟต์แวร์ปัญญาประดิษฐ์อื่นในการสร้างภาพจำลองดวงตาของมนุษย์ รวมถึงการนำไปทดสอบใช้กับภาพดิจิทัลทั้งภาพนิ่งและภาพวิดีโอที่ถ่ายจากบุคคลจริงเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ความถูกต้องในการตรวจหาดวงตาจากภาพดิจิทัลนั้นต่อไป

8. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ทำวิจัยขอขอบพระคุณการสนับสนุนจาก สาขาวิชานวัตกรรม วิศวกรรมชีวการแพทย์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาคณิตศาสตร์ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ และศูนย์ความเป็นเลิศด้านชีวกลศาสตร์ทางการแพทย์ (Center of Excellence in Biomechanics Medicine) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และขอพระขอบคุณคุณวรรณศิริ คงถ้อยมั่น ในการอนุเคราะห์ภาพถ่ายสำหรับงานวิจัยและความช่วยเหลือในเรื่องอื่น ๆ

9. เอกสารอ้างอิง

- Girshick, R., Donahue, J., Darrell, T., & Malik, J. (2014). Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 580-587.
- Girshick, R., He, K., & Dollar, P. (2015). Fast R-CNN. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, 1440-1448.
- Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., Courville, A., & Bengio, Y. (2014). Generative Adversarial Nets. In Z. Ghahramani, M. Welling, C. Cortes, N. Lawrence, & K.Q. Weinberger (Eds.), *Advances in Neural Information Processing Systems* (27). Curran Associates, Inc.
- Guinness, H. (2023). The best AI image generators in 2023. *Zapier Blog.*, 17 July 2023, Retrieved from <https://zapier.com/blog/best-ai-image-generator/>
- Radford, A., Narasimhan, K., Salimans, T., & Sutskever, I. (2015). Unsupervised representation learning with deep convolutional generative adversarial networks. *International Conference on Machine Learning*, 105-114
- Redmon, J., & Farhadi, A. (2016). You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 779-788.
- Thuan, D. (2021). *Evolution of Yolo Algorithm and YOLOv5: The State-of-the-Art Object Detection Algorithm*. Bachelor's Thesis. Information Technology. Oulu University of Applied Sciences.

**การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการบริหารงานก่อสร้างของผู้รับเหมาช่วง
โครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่ ช่วงลพบุรี-ปากน้ำโพ**

**A Case study of Factors affecting the construction management of the
Subcontractor for the Construction of track Doubling Project
Lop Buri - Pak Nam Pho section**

นายจิรณนิน กันศิริวุฒิวังศ์

สาขาวิชาการตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร

E-mail: 6414770022@ru.ac.th

ผศ.ดร.วรรณท กงสง / อ.ดร.ธีรเดช สนองทวีพร / อ.ดร.ชัยวัฒน์ ภู่วรกุลชัย

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการบริหารงานก่อสร้างของผู้รับเหมาช่วง โครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่ ช่วงลพบุรี-ปากน้ำโพ จากปัจจัยด้านการบริหารจัดการขั้นพื้นฐาน โดยแบ่งเป็น 5 ด้านใหญ่ๆ ดังนี้ (1) ด้านบุคลากรที่เกี่ยวข้อง (2) ด้านการเงิน (3) ด้านเครื่องจักรในงานก่อสร้าง (4) ด้านวัสดุอุปกรณ์ก่อสร้าง และ (5) ด้านขั้นตอนวิธีการก่อสร้าง รวมถึงปัจจัยอื่นๆ เช่น ปัญหาจากการทำสัญญา รับเหมาก่อสร้างระหว่างผู้รับเหมาหลักและผู้รับเหมาช่วง ทำการจัดลำดับระดับผลกระทบและระดับความถี่ของปัญหาที่เกิดขึ้นในแต่ละด้านตั้งแต่มากที่สุดถึงน้อยที่สุดและหาแนวทางการแก้ไขปัญหา โดยใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงปริมาณ โดยประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นบุคลากรในโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่ ช่วงลพบุรี-ปากน้ำโพ จำนวนทั้งสิ้น 100 ท่าน

ผลการวิจัยพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการบริหารงานก่อสร้างของผู้รับเหมาช่วงทั้ง 5 ด้าน สรุปได้ ดังนี้ (1) ด้านบุคลากรที่เกี่ยวข้อง พบว่าด้านแรงงานไม่มีฝีมือทำให้ต้องแก้งานบ่อยครั้งส่งผลกระทบมากที่สุด และด้านการขาดแคลนแรงงานเนื่องจากสถานการณ์โรคระบาด เกิดความถี่ของปัญหามากที่สุด (2) ด้านการเงิน พบว่าด้านการขาดสภาพคล่องทางการเงินของผู้รับเหมา ส่งผลกระทบมากที่สุด และด้านการเบิกจ่ายเงินในงวดงานที่ได้เงินล่าช้าจากผู้รับเหมาหลัก เกิดความถี่ของปัญหามากที่สุด (3) ด้านเครื่องจักรในงานก่อสร้าง พบว่าด้านเครื่องจักรไม่เพียงพอ ส่งผลกระทบมากที่สุด และด้านอุปกรณ์ในการสำรวจมีไม่เพียงพอ/ช่างสำรวจไม่มี เกิดความถี่ของปัญหามากที่สุด (4) ด้านวัสดุอุปกรณ์ก่อสร้าง พบว่าด้านห่างไกลจากแหล่งวัสดุ/การจัดส่งวัสดุล่าช้า ส่งผลกระทบมากที่สุด และเกิดความถี่ของปัญหามากที่สุด (5) ด้านขั้นตอนวิธีการก่อสร้าง พบว่าด้านการส่งมอบพื้นที่/เข้าพื้นที่ก่อสร้างไม่ได้ ส่งผลกระทบมากที่สุด และด้านการส่งมอบพื้นที่/เข้าพื้นที่ก่อสร้างไม่ได้เกิดความถี่ของปัญหา มากที่สุด (6) ด้านอื่นๆ พบว่าด้านการทำสัญญาจ้างระหว่างผู้รับเหมาช่วงกับผู้รับเหมาหลักมีปัญหา ส่งผลกระทบมากที่สุด และด้านการทำสัญญาจ้างระหว่างผู้รับเหมาช่วงกับผู้รับเหมาหลักมีปัญหาเกิดความถี่ของปัญหามากที่สุด

คำสำคัญ : ผลกระทบ การบริหารงานก่อสร้าง ผู้รับเหมาช่วง

ABSTRACT

The objective of this research is to explore the factors that influence the construction management of the Subcontractor for the Construction of track Doubling Project Lop Buri - Pak Nam Pho section. The focus is on fundamental management aspects, categorized into five main areas: (1) Personnel-related factors, (2) Financial factors, (3) Machinery and equipment factors in construction, (4) Material and equipment factors, and (5) Construction process and methodology factors. Additionally, other factors such as issues arising from construction subcontract agreements between the main contractor and the subcontractor are also considered. The study aims to rank the impact levels and the frequency of problems in each of these areas, ranging from the most significant to the least significant. Furthermore, it seeks to provide recommendations for addressing these issues. The research employs a quantitative research approach and utilizes a questionnaire as the data collection tool. The study population consists of 100 individuals who are personnel involved in the dual-track railway construction project from Lopburi to Pak Nam Pho.

The research findings revealed that the factors impacting the construction management of the Subcontractor are as follows (1) Human Resources: It was found that the workforce lacked the necessary skills, leading to frequent rework, which had the most significant impact on construction project management. Additionally, labor shortages due to the prevailing epidemic situation resulted in the highest frequency of problems. (2) Financial Aspects: Regarding financial flexibility of the Subcontractor, it was observed that financial instability had the most substantial impact on construction project management. Delays in disbursement of funds from the main contractor were also a frequent issue. (3) Machinery in Construction: Insufficient machinery had the most considerable influence on construction project management for of the Subcontractor. Furthermore, inadequate equipment/tools for surveying, including the absence of surveyors, led to the highest frequency of problems. (4) Construction Materials and Equipment: Remote location of materials/sources and delayed material delivery had the most significant impact on construction project management for of the Subcontractor. This factor also had the highest frequency of issues. (5) Construction Procedures: Inability to access construction areas had the most substantial impact on construction project management for of the Subcontractor. Similarly, difficulties in delivering and accessing construction sites were highly problematic and occurred frequently. (6) Other Factors: Problems arising from subcontract agreements between of the Subcontractor and the main contractor were identified as having the most significant impact on construction project management. Issues with subcontract agreements occurred frequently.

Keywords: The factors impacting construction management Subcontractor

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

โครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่ ช่วงลพบุรี-ปากน้ำโพ เป็นโครงการที่ก่อสร้างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการขนส่งทางรถไฟ ลดระยะเวลาการเดินทางและประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงที่ใช้ในภาคการขนส่งของประเทศ ลดปัญหามลพิษที่มีต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่นี้จะพิจารณาในเส้นทางที่มีความถี่ในการ

เดินรถไฟสูง และต้องรอการสับหลักเป็นระยะเวลานาน ดำเนินการก่อสร้างจากทางเดียวให้เป็นทางคู่เพื่อลดระยะเวลาการเดินทางและจงใจให้ประชาชนหันมาใช้บริการระบบขนส่งทางรถไฟให้มากยิ่งขึ้น เนื่องจากโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่เป็นโครงการที่มีขนาดใหญ่และใช้งบประมาณในการก่อสร้างจำนวนมาก ซึ่งต้องมีบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างหลายฝ่าย ทำให้ในปัจจุบันผู้รับเหมาหลัก (Contractor) ได้มีการจัดจ้างผู้รับเหมาช่วง (Subcontractor) เข้ามารับงานก่อสร้างต่างๆภายในโครงการมากยิ่งขึ้น จากการควบคุมงานก่อสร้างของโครงการได้เห็นว่า การก่อสร้างในโครงการที่มีการจัดจ้างผู้รับเหมาช่วงเข้ามาดำเนินงานก่อสร้างนั้นเกิดปัญหาที่มีการปรับเปลี่ยนผู้รับเหมาช่วงมารับช่วงต่อของงานก่อสร้างเดิมอยู่ตลอดจึงทำให้งานก่อสร้างของโครงการไม่มีความคืบหน้าเกิดความล่าช้า ดำเนินการก่อสร้างไม่เป็นไปตามที่วางแผนไว้หรืออาจจะไม่แล้วเสร็จตามระยะเวลาที่กำหนด

ซึ่งในปัจจุบันมีปัจจัยภายนอกที่ส่งผลกระทบต่อการบริหารงานก่อสร้างของผู้รับเหมาช่วงในหลายปัจจัย เช่น สภาพเศรษฐกิจตกต่ำ ราคาน้ำมันเปลี่ยนแปลง สภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง สถานะโรคระบาดโควิด 19 ฯลฯ ซึ่งมีผลทำให้การดำเนินงานก่อสร้างไม่เป็นไปตามแผนที่วางไว้ อีกทั้งยังประกอบกับปัจจัยภายในต่างๆ ที่จำเป็นจะต้องอาศัยหลักการบริหารและการจัดการทรัพยากรที่มีความจำเป็นให้ได้อย่างเหมาะสมที่สุด โดยการบริหารจัดการขั้นพื้นฐานได้แบ่งเป็น 5 ด้านใหญ่ ๆ ดังนี้ (1) ด้านบุคลากรที่เกี่ยวข้อง (2) ด้านการเงิน (3) ด้านเครื่องจักรในงานก่อสร้าง (4) ด้านวัสดุอุปกรณ์ก่อสร้าง และ (5) ด้านขั้นตอนวิธีการก่อสร้าง รวมถึงปัจจัยอื่นๆ เช่น ปัญหาจากการทำสัญญารับเหมาก่อสร้างระหว่างผู้รับเหมาหลักและผู้รับเหมาช่วง ซึ่งในองค์กรแต่ละองค์กรล้วนมีความแตกต่างของปัญหาที่ไม่เหมือนกัน

จากเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาระดับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการบริหารงานก่อสร้างของผู้รับเหมาช่วงเพื่อเป็นแนวทางในการบริหารงานก่อสร้างและควบคุมงานก่อสร้างของโครงการให้สำเร็จลุล่วงตามที่วางแผนไว้รวมถึงแนวทางป้องกัน/ปรับปรุงแก้ไขปัญหาลุप्तสรรคในการบริหารงานก่อสร้างของโครงการต่างๆต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาระดับผลกระทบของปัจจัยต่อการบริหารงานก่อสร้างของผู้รับเหมาช่วงในโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่ ช่วงลพบุรี-ปากน้ำโพ
2. เพื่อศึกษาระดับความถี่ของปัจจัยต่อการบริหารงานก่อสร้างของผู้รับเหมาช่วงในโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่ ช่วงลพบุรี-ปากน้ำโพ

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์หาระดับผลกระทบและระดับความถี่ของปัจจัยต่อการบริหารงานก่อสร้างของผู้รับเหมาช่วง โครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่ ช่วงลพบุรี-ปากน้ำโพ ซึ่งโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่เป็นโครงการที่มีขนาดใหญ่และใช้งบประมาณในการก่อสร้างจำนวนมาก รวมถึงต้องมีบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างหลายฝ่าย ทำให้ในปัจจุบันผู้รับเหมาหลัก (Contractor) ได้มีการจัดจ้างผู้รับเหมาช่วง (Subcontractor) เข้ามารับงานก่อสร้างต่างๆภายในโครงการมากยิ่งขึ้น จากการควบคุมงานก่อสร้างของโครงการได้เห็นว่า การก่อสร้างในโครงการที่มีการจัดจ้างผู้รับเหมาช่วงเข้ามาดำเนินงานก่อสร้างนั้นเกิดปัญหาที่มีการปรับเปลี่ยนผู้รับเหมาช่วงมา

รับช่วงต่อของงานก่อสร้างเดิมอยู่ตลอดจึงทำให้งานก่อสร้างของโครงการไม่มีความคืบหน้าเกิดความล่าช้า
ดำเนินการก่อสร้างไม่เป็นไปตามที่วางแผนไว้หรืออาจจะไม่แล้วเสร็จตามระยะเวลาที่กำหนด จากเหตุผลดังกล่าว
นี้ทำให้มีปัจจัยหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการบริหารงานก่อสร้างของผู้รับเหมาช่วงของโครงการ

ดังนั้นบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่นำมาเป็นพื้นฐานหลักในการดำเนินการและการวิ
เคราะห์ข้อมูลของงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วย ทฤษฎีเกี่ยวกับการจัดการ แนวคิดและความสำคัญเกี่ยวกับการจัดการ
งานก่อสร้าง แนวคิดเกี่ยวกับปัจจัยหลักในการบริหารงานก่อสร้าง แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับผู้รับเหมาช่วง
รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบริหารโครงการก่อสร้างต่างๆ

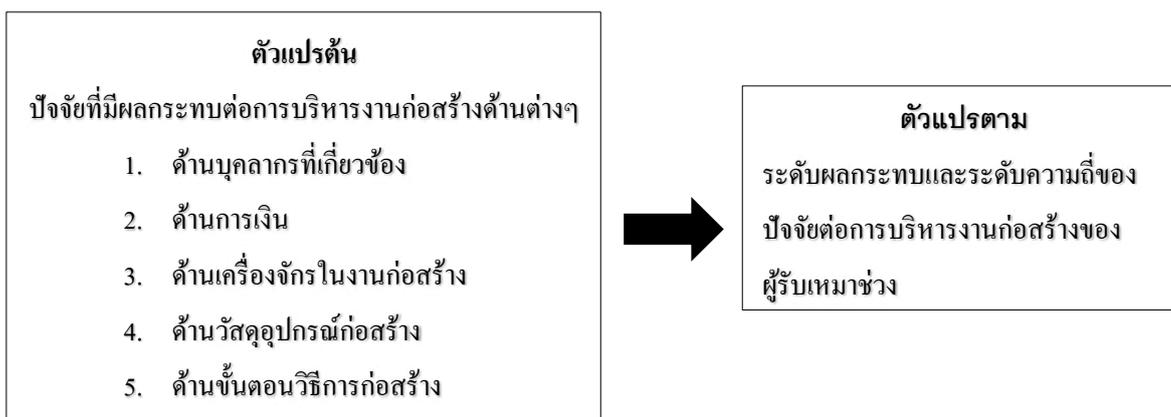
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จักรพงษ์ กิรติชัยเศรษฐ (2560) ได้จัดทำการศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อความสำเร็จของงาน
ระบบประกอบอาคารสูง โดยศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ในสายงานระบบขณะโครงการทำการก่อสร้าง ทำการจัดลำดับ
ความถี่ปัญหาและความเสียหายจากผลกระทบที่เกิดขึ้นตั้งแต่มาสุดถึงน้อยสุดและหาแนวทางการลดหรือแก้ไข
ปัญหา โดยใช้ระเบียบวิธีแบบผสม สำเร็จรูป พบว่าในสภาวะโดยรวมของโครงการระดับความถี่ของปัญหาที่เกิด
มากสุดในเรื่องของการประสานงานระหว่างผู้รับเหมาหลักกับที่ปรึกษา โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (X=2.8 3, S.D.=0.95)
ความเสียหายที่เกิดมากสุดในเรื่องเทคนิคการก่อสร้างปัญหาความชื้นชื้น โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (X=3.19, S.D.=0.87)
และในด้าน 5 ปัจจัยพื้นฐานที่กระทบที่ส่งผลกระทบต่อระบบความถี่และความเสียหายของปัญหาที่เกิดมากสุดในด้าน
การบริหารจัดการช่วงความถี่ของปัญหา (X=2.48 - 2.90), (X=2.64-3.09) ตามลำดับปัญหา

อลงกต เพ็ญศิริ (2560) ได้จัดทำการศึกษาปัจจัยความล่าช้าในงานก่อสร้าง โรงพยาบาล จากปัจจัยด้าน
การบริหารจัดการและปัจจัยตามประเภทของงาน โดยใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงปริมาณ ผลการศึกษาวิจัยพบว่า ปัจจัย
ของความล่าช้าด้านการบริหารจัดการ ที่ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาก่อสร้าง 5 อันดับแรกได้แก่ 1. ปัจจัยด้านการ
ไม่มีการวางแผนงาน 2. ปัจจัยด้านขาดแคลนแรงงาน 3. ปัจจัยด้านการจัดส่งวัสดุอุปกรณ์ล่าช้า 4. ปัจจัยด้าน
โครงการสรุปแบบให้ฝ่ายก่อสร้างล่าช้า และ 5. ปัจจัยด้านการแก้ไขเปลี่ยนแปลงรูปแบบ

เรือโทณัฐพล คำเจริญ (2558) ได้จัดทำการศึกษา (1) เพื่อศึกษาปัญหาสาเหตุความล่าช้าในการก่อสร้าง
อาคารของสำนักยุทธโยธาทหาร (2) เพื่อศึกษาปัญหาข้อเรียกร้องจากสาเหตุความล่าช้าในงานก่อสร้างอาคารและ
(3) เพื่อศึกษาวิธีการแก้ปัญหาที่เกิดจากกระบวนการในการเรียกร้อง เป็นการศึกษาวิจัยเชิงปริมาณ โดยใช้
แบบสอบถามเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล และใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อการวิจัย สำหรับการ
วิเคราะห์ผลการศึกษาค่าร้อยละ (Percentage) การแจกแจงความถี่ (Frequency) ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบน
มาตรฐาน (Standard Division) ผลการวิจัยพบว่า ปัญหาสาเหตุความล่าช้าในการก่อสร้างอาคารในภาพรวมมี
สาเหตุที่เกิดขึ้น ทั้งปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอก ซึ่งปัจจัยภายใน ได้แก่ ฐานะทางการเงิน ด้านบุคลากร ด้านการ
บริหารจัดการ ประกอบด้วย การวางแผนงาน การสำรวจและออกแบบ การควบคุมงาน ราคาวัสดุก่อสร้างและ
อัตราดอกเบี้ย ความรู้ความสามารถและประสบการณ์ของช่างผู้ควบคุมงานที่ไม่มีประสิทธิภาพอันเกิดจากการขาด
ความรู้ความเข้าใจในระเบียบ กฎหมายที่เกี่ยวข้องและหลักการบริหารงานก่อสร้างที่ดี ส่งผลให้เกิดปัญหาตามมา
นอกจากนี้ในด้านเครื่องจักรและอุปกรณ์ก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่เกิดส่งผลกระทบต่อดำเนินโครงการก่อสร้าง

3.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 รูปแบบการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงปริมาณ โดยใช้แบบสอบถาม (Questionnaire) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยจะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการบริหารงานก่อสร้างทางของผู้รับเหมาช่วง ในโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าทางคู่ ช่วงลพบุรี-ปากน้ำโพ และทำแบบสอบถามสำรวจความคิดเห็น ปัญหาโดยรวมภายในโครงการและปัญหาเฉพาะ 5 ด้านใหญ่ ๆ ดังนี้ (1) ด้านบุคลากรที่เกี่ยวข้อง (2) ด้านการเงิน (3) ด้านเครื่องจักรในงานก่อสร้าง (4) ด้านวัสดุอุปกรณ์ก่อสร้าง และ (5) ด้านขั้นตอนวิธีการก่อสร้าง และปัญหาอื่น ๆ เช่น ปัญหาจากการทำสัญญาจ้างเหมาก่อสร้างระหว่างผู้รับเหมาหลักและผู้รับเหมาช่วง

4.2 ประชากรและตัวอย่าง

ผู้วิจัยได้ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นบุคลากรในโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าทางคู่ ช่วงลพบุรี-ปากน้ำโพ ได้แก่ วิศวกรควบคุมงานก่อสร้าง ผู้ควบคุมงานก่อสร้างที่อยู่หน้างานของบริษัทผู้รับเหมาช่วง และเจ้าของบริษัทผู้รับเหมาช่วง รวมถึงวิศวกรโครงการ วิศวกรควบคุมงานโครงการ (วิศวกรผู้เชี่ยวชาญด้านบริหารงานก่อสร้างต่างๆ) โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง ประชากรรวมทั้งหมด 135 คน โดยใช้สูตรคำนวณ (พวงรัตน์ ทวีรัตน์ 2544: 284) ระดับความเชื่อมั่นเท่ากับร้อยละ 95 ค่าความคลาดเคลื่อนในการเลือกตัวอย่างร้อยละ 5 จะได้กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาทั้งสิ้นจำนวน 100 คน โดยกลุ่มตัวอย่างสามารถแยกเป็น 2 กลุ่มดังนี้ กลุ่มที่ 1 วิศวกรควบคุมงานก่อสร้าง ผู้ควบคุมงานก่อสร้างที่อยู่หน้างานของบริษัทผู้รับเหมาช่วง และเจ้าของบริษัทผู้รับเหมาช่วง จำนวน 75 คน กลุ่มที่ 2 วิศวกรโครงการ วิศวกรควบคุมงานโครงการ (ผู้เชี่ยวชาญด้านบริหารงานก่อสร้าง) จำนวน 60 คน

4.3 เครื่องมือวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างเป้าหมายมาวิเคราะห์ผล โดยแบบสอบถามได้ออกแบบมาจากการศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการบริหารงานก่อสร้างทางของผู้รับเหมาช่วง โดยจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 เป็นแบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามมีลักษณะเป็นแบบสำรวจรายการ

(Check List) ส่วนที่ 2 เป็นแบบสอบถามเพื่อวัดระดับของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการบริหารโครงการก่อสร้างของผู้รับเหมาช่วงในโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าทางคู่ ส่วนที่ 3 เป็นแบบสอบถามปลายเปิด (Open Ended Response Question Form) โดยให้ผู้ตอบแบบสอบถามแสดงความคิดเห็นได้อย่างอิสระ ข้อเสนอแนะหรือความเห็นอื่นๆ

4.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ ใช้วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลช่วงเวลาเดียว โดยผู้วิจัยเตรียมแบบสอบถามแจกให้กับประชากรและกลุ่มตัวอย่างด้วยตนเอง เพื่อให้ประชากรและกลุ่มตัวอย่างทำการแสดงมุมมองความคิดเห็นและประเมินคะแนนความพึงพอใจของปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลจากประชากรและกลุ่มตัวอย่างได้ตามเป้าหมายแล้ว ผู้วิจัยจะทำการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลตามแบบสอบถามที่แบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ส่วนที่ 2 การวิเคราะห์ระดับผลกระทบและระดับความถี่ของปัจจัยต่อการบริหารโครงการก่อสร้างของผู้รับเหมาช่วงในโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าทางคู่

ส่วนที่ 3 การวิเคราะห์ตัวเลขการประเมินความเสี่ยงจากตารางการประเมิน และจัดกลุ่มความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นที่มีผลกระทบต่อการบริหารโครงการก่อสร้างของผู้รับเหมาช่วงในโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าทางคู่ ช่วงลพบุรี-ปากน้ำโพ

5. ผลการวิจัย

สรุปผลการวิเคราะห์แบบสอบถามจากประชากรกลุ่มตัวอย่างรวมทั้งหมด 100 ท่าน โดยทั้งหมดแบ่งเป็นเพศชาย 83 ท่าน หญิง 15 ท่านและอื่นๆ 2 ท่าน และแบ่งแยกเป็นผู้รับเหมาช่วง 47 ท่าน ผู้รับเหมาหลัก 11 ท่าน เจ้าของโครงการ 2 ท่าน และผู้ควบคุมงานในโครงการ 40 ท่าน จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป โดยสามารถสรุประดับผลกระทบและระดับความถี่ของปัจจัยต่อการบริหารงานก่อสร้างของผู้รับเหมาช่วงสูงสุดแต่ละกลุ่มแยกได้ดังนี้

1. ด้านบุคลากรที่เกี่ยวข้อง พบว่าด้านแรงงานไม่มีฝีมือทำให้ต้องแก้งานบ่อยครั้ง ส่งผลกระทบมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=4.50, S.D.=0.68) รองลงมาได้แก่ การขาดแคลนแรงงานเนื่องจากสถานการณ์โรคระบาด มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=4.27, S.D.=0.83) แรงงานหยุดงานกลับภูมิลำเนาเนื่องจากช่วงเทศกาล มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=4.23, S.D.=0.68) ตามลำดับ และด้านการขาดแคลนแรงงานเนื่องจากสถานการณ์โรคระบาด เกิดความถี่ของปัญหามากที่สุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=3.90, S.D.=0.84) รองลงมาได้แก่ แรงงานไม่มีฝีมือทำให้ต้องแก้งานบ่อยครั้ง มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=3.70, S.D.=0.88) ขาดแคลนวิศวกร/ช่างเทคนิค มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=3.53, S.D.=0.94) ตามลำดับ

2. ด้านการเงิน พบว่าด้านการขาดสภาพคล่องทางการเงินของผู้รับเหมา ส่งผลกระทบมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=4.70, S.D.=0.53) รองลงมาได้แก่ งบประมาณก่อสร้างจำกัด มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=4.23, S.D.=0.73) การจ่ายค่าแรงล่าช้าไม่ตรงตามกำหนด มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=4.17, S.D.=0.79) ตามลำดับ และด้านการเบิกจ่ายเงินในงวดงานที่ได้เงินล่าช้าจากผู้รับเหมาหลัก เกิดความถี่ของปัญหามากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=3.93, S.D.=0.94) รองลงมาได้แก่ การขาดสภาพคล่องทางการเงินของผู้รับเหมา มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่

(Mean=3.83, S.D.=0.83) การใช้จ่ายเงินของผู้รับเหมาช่วงไม่เป็นไปตามแผนที่วางไว้ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=3.67, S.D.=0.96) ตามลำดับ

3. ด้านเครื่องจักรในงานก่อสร้าง พบว่าด้านเครื่องจักรไม่เพียงพอ ส่งผลกระทบมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=4.27, S.D.=0.84) รองลงมาได้แก่ และด้านอุปกรณ์ในการสำรวจมีไม่เพียงพอ/ช่างสำรวจไม่มี โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=3.60, S.D.=0.89) ผู้รับเหมาไม่มีเครื่องจักรประจำเป็นของตนเอง โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=3.87, S.D.=1.10) ตามลำดับ และด้านอุปกรณ์ในการสำรวจมีไม่เพียงพอ/ช่างสำรวจไม่มี เกิดความถี่ของปัญหามากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=3.60, S.D.=0.89) รองลงมาได้แก่ เครื่องจักรไม่เพียงพอ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=3.53, S.D.=0.82) ผู้รับเหมาไม่มีเครื่องจักรประจำเป็นของตนเอง มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=3.43, S.D.=1.01) ตามลำดับ

4. ด้านวัสดุอุปกรณ์ก่อสร้าง พบว่าด้านหางไกลจากแหล่งวัสดุ/การจัดส่งวัสดุล่าช้า ส่งผลกระทบมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=3.83, S.D.=0.87) รองลงมาได้แก่ ขาดความรู้เรื่องคุณสมบัติของวัสดุ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=3.80, S.D.=0.89) ราคาวัสดุที่ผันผวนตามกระแสเศรษฐกิจ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=3.73, S.D.=0.91) ตามลำดับ และพบว่าด้านหางไกลจากแหล่งวัสดุ/การจัดส่งวัสดุล่าช้า เกิดความถี่ของปัญหามากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=3.33, S.D.=0.96) รองลงมาได้แก่ ขาดความรู้เรื่องคุณสมบัติของวัสดุ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=3.10, S.D.=0.99) ราคาวัสดุที่ผันผวนตามกระแสเศรษฐกิจ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=3.07, S.D.=1.11) ตามลำดับ

5. ด้านขั้นตอนวิธีการก่อสร้าง พบว่าด้านการส่งมอบพื้นที่/เข้าพื้นที่ก่อสร้างไม่ได้ ส่งผลกระทบมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=4.37, S.D.=0.89) รองลงมาได้แก่ การวางแผนด้านเวลาการทำงานไม่เหมาะสม มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=4.23, S.D.=0.77) ความไม่เข้มงวดเรื่องความปลอดภัย มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=3.80, S.D.=1.03) ตามลำดับ และพบว่าด้านการส่งมอบพื้นที่/เข้าพื้นที่ก่อสร้างไม่ได้ เกิดความถี่ของปัญหาที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=3.50, S.D.=1.01) รองลงมาได้แก่ การวางแผนด้านเวลาการทำงานไม่เหมาะสม มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=3.50, S.D.=0.82) ความไม่เข้มงวดเรื่องความปลอดภัย มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=3.20, S.D.=0.96) ตามลำดับ

6. ด้านอื่นๆ พบว่าด้านการทำสัญญาจ้างระหว่างผู้รับเหมาช่วงกับผู้รับเหมาหลักมีปัญหา ส่งผลกระทบมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=4.27, S.D.=0.83) รองลงมาได้แก่ แบบก่อสร้างไม่ชัดเจน มีข้อขัดแย้ง ทำให้เกิดความล่าช้า มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=4.17, S.D.=0.87) ขาดการประสานงานระหว่างผู้รับเหมาช่วงกับผู้รับเหมาหลัก / ไม่มีผู้ควบคุมการทำงาน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=4.13, S.D.=1.07) ตามลำดับ และพบว่าด้านการทำสัญญาจ้างระหว่างผู้รับเหมาช่วงกับผู้รับเหมาหลักมีปัญหา เกิดความถี่ของปัญหาที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=3.60, S.D.=0.86) รองลงมาได้แก่ แบบก่อสร้างไม่ชัดเจน มีข้อขัดแย้ง ทำให้เกิดความล่าช้า มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=3.53, S.D.=0.86) ขาดการประสานงานระหว่างผู้รับเหมาช่วงกับผู้รับเหมาหลัก / ไม่มีผู้ควบคุมการทำงาน มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ (Mean=3.37, S.D.=0.76) ตามลำดับ

สรุปผล การวิเคราะห์การตอบสนองความเสี่ยงและการควบคุมความเสี่ยงสามารถแยกผลความเสี่ยงสูงสุดของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่องานก่อสร้างของผู้รับเหมาช่วงสรุปได้ดังนี้

1. ปัจจัยด้านบุคลากรที่เกี่ยวข้อง พบว่าด้านแรงงาน ไม่มีฝีมือทำให้ต้องแก้งานบ่อยครั้ง มีระดับความเสี่ยงสูงสุด เท่ากับ 20 รองลงมาคือ ขาดแคลนวิศวกร/ช่างเทคนิค การขาดแคลนแรงงานเนื่องจากสถานะการณ์โรคระบาด มีระดับความเสี่ยงรองลงมา เท่ากับ 16

2. ปัจจัยด้านการเงิน พบว่าด้านการขาดสภาพคล่องทางการเงินของผู้รับเหมา มีระดับความเสี่ยงสูงสุด เท่ากับ 20 รองลงมาคือ งบประมาณก่อสร้างจำกัด การเบิกจ่ายเงินในงวดงานที่ได้เงินล่าช้าจากผู้รับเหมาหลัก การใช้เงินของผู้รับเหมาช่วงไม่เป็นไปตามแผนที่วางไว้ การจ่ายค่าแรงล่าช้าไม่ตรงตามกำหนด มีระดับความเสี่ยง รองลงมา เท่ากับ 16

3. ปัจจัยด้านเครื่องจักรในงานก่อสร้าง พบว่าด้านเครื่องจักรไม่เพียงพอและอุปกรณ์ในการสำรวจมีไม่เพียงพอ/ช่างสำรวจไม่มี มีระดับความเสี่ยงสูงสุด เท่ากับ 16 รองลงมาคือ อุปกรณ์ขาดการบำรุงรักษา ขาดเครื่องมือทดสอบคุณภาพ เครื่องจักรเสียบ่อยครั้ง ผู้รับเหมาไม่มีเครื่องจักรประจำเป็นของตัวเอง มีระดับความเสี่ยงรองลงมา เท่ากับ 12

4. ปัจจัยด้านวัสดุอุปกรณ์ก่อสร้าง พบว่าด้านหางไกลจากแหล่งวัสดุ/การจัดส่งวัสดุล่าช้า ขาดความรู้เรื่องคุณสมบัติของวัสดุ และราคาวัสดุที่ผันผวนตามกระแสเศรษฐกิจ มีระดับความเสี่ยงสูงสุด เท่ากับ 12

5. ปัจจัยด้านขั้นตอนวิธีการก่อสร้าง พบว่าด้านการส่งมอบพื้นที่/เข้าพื้นที่ก่อสร้างไม่ได้และการวางแผนด้านเวลาการทำงานไม่เหมาะสม มีระดับความเสี่ยงสูงสุด เท่ากับ 16

6. ปัจจัยด้านอื่นๆ พบว่าด้านการทำสัญญาจ้างระหว่างผู้รับเหมาช่วงกับผู้รับเหมาหลักมีปัญหา แบบก่อสร้างไม่ชัดเจน มีข้อขัดแย้ง ทำให้เกิดความล่าช้า และขาดการประสานงานระหว่างผู้รับเหมาช่วงกับผู้รับเหมาหลัก / ไม่มีผู้ควบคุมการทำงาน มีระดับความเสี่ยงสูงสุด เท่ากับ 16

6. อภิปรายผล

1. ผลจากการศึกษาปัจจัยด้านบุคลากรที่เกี่ยวข้องพบว่าด้านแรงงานไม่มีฝีมือทำให้ต้องแก้งานบ่อยครั้ง ส่งผลกระทบต่อการบริหาร โครงการก่อสร้างผู้รับเหมาช่วงมากที่สุด ผู้วิจัยเห็นว่า ทางผู้รับเหมาช่วงสามารถป้องกันและแก้ไขได้โดยต้องให้ความรู้กับแรงงานฝึกฝนแรงงานในด้านที่ถนัดจัดคนให้เหมาะสมกับงาน และทางผู้รับเหมาช่วงต้องมีการควบคุมงานของแรงงานอย่างเคร่งครัดและควรมีการจัดหาหัวหน้างานที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญในการควบคุมงาน ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการวิจัย อลงกต เพ็ญศิริชร. (2560). การศึกษาปัจจัยความล่าช้าในงานก่อสร้างโรงพยาบาล จากผลการวิจัยพบว่า ปัญหาเรื่องคุณภาพของงานก่อสร้าง ซึ่งงานที่ดำเนินการแล้วไม่มีคุณภาพ แล้วต้องเข้าไปแก้ไขงานอีกครั้ง จะทำให้เสียเวลาในการทำงาน ในบางกรณีอาจทำให้งานอื่นๆ ที่แล้วเสร็จแล้วเสียหายตามไปด้วย ซึ่งจะต้องเน้นย้ำชุดช่างของผู้รับเหมา และผู้ควบคุมงาน ให้เน้นย้ำดำเนินงานให้มีคุณภาพงานที่ดี อาจให้มีการประชุมร่วมกันเพื่อกำหนดมาตรฐานในการทำงานที่ชัดเจน และจัดให้มีการอบรมพัฒนาฝีมือแรงงานของชุดช่างเป็นประจำ และจัดให้มีการทำห้องตัวอย่างหรือการทำชิ้นงานตัวอย่าง เพื่อให้ทุกฝ่ายได้ตรวจสอบฝีมือ ขั้นตอน วิธีการทำงานรวมถึงคุณภาพของงาน กับคุณภาพงานที่ปรากฏ

และในด้านการขาดแคลนแรงงานเนื่องจากสถานการณ์โรคระบาด ผู้วิจัยเห็นว่า เป็นเหตุการณ์ที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้หรือเหตุสุดวิสัยซึ่งส่งผลกระทบต่อการเนินการตามสัญญา ซึ่งผู้รับจ้างอาจยกเหตุผลนี้เพื่อขอขยายเวลาก่อสร้างได้

2. ผลจากการศึกษาปัจจัยด้านการเงิน พบว่าด้านการขาดสภาพคล่องทางการเงินของผู้รับเหมา ส่งผลกระทบต่อการบริหาร โครงการก่อสร้างผู้รับเหมาช่วงมากที่สุด ผู้วิจัยเห็นว่า ทางผู้รับเหมาช่วงต้องมีการบริหารการเงินเพื่อป้องกันการเงินติดขัดระหว่างก่อสร้าง ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการวิจัย เรือโทณัฐพล คำเจริญ. (2558). ปัญหาข้อเรียกร้องของผู้รับจ้างจากสาเหตุความล่าช้าในการก่อสร้างอาคารของสำนักยุทธโธธาทหารกองบัญชาการกองทัพไทย จากผลการวิจัยพบว่า ด้านงบประมาณพบปัญหามากที่สุดคือ ผู้รับจ้างขาดสภาพคล่อง

ทางการเงินยิ่งถ้างานมีหลายงวดและผู้รับจ้างเบิกงวดงานได้ล่าช้าก็จะส่งผลให้โครงการเกิดปัญหาในด้านการบริหารงานในส่วนต่าง ๆ ที่ได้วางแผนไว้ทั้งด้านแรงงานและวัสดุก่อสร้าง เป็นต้น

และในด้านการเบิกจ่ายเงินในงวดงานที่ได้เงินล่าช้าจากผู้รับเหมาหลัก ผู้วิจัยเห็นว่า มีทั้งในส่วนข้อตกลงสัญญาระหว่างผู้รับเหมาช่วงกับผู้รับเหมาหลักซึ่งทางผู้บริหารโครงการหรือผู้ควบคุมงานก่อสร้างไม่สามารถเข้าไปยุ่งเกี่ยวได้ แต่จะมีในส่วนที่เกี่ยวข้องที่ทางผู้รับเหมาช่วงสามารถทำได้คือต้องวางแผนการส่งเอกสารเบิกจ่ายเงินในแต่ละส่วนงานให้ผู้รับเหมาหลักให้ครบถ้วนตามข้อกำหนดหรือตามที่ได้กำหนดไว้ในวิธีการก่อสร้าง เพื่อให้การเบิกจ่ายเงินระหว่างผู้ว่าจ้างกับผู้รับเหมาหลักสามารถเบิกจ่ายได้ส่งผลให้ทางผู้รับเหมาช่วงได้รับค่าจ้างในการก่อสร้างส่วนนั้นๆต่อไป

3. ผลจากการศึกษาปัจจัยด้านเครื่องจักรในงานก่อสร้าง พบว่าด้านเครื่องจักรไม่เพียงพอ ส่งผลกระทบต่อการบริหารโครงการก่อสร้างผู้รับเหมาช่วงมากที่สุด ผู้วิจัยเห็นว่า ทางผู้รับเหมาช่วงควรมีการวางแผนงานการใช้เครื่องจักรในการก่อสร้างในแต่ละวันหรือวางแผนล่วงหน้าในแต่ละสัปดาห์เพื่อให้ไม่เกิดการติดขัดในการก่อสร้าง

และด้านอุปกรณ์ในการสำรวจมีไม่เพียงพอ/ช่างสำรวจไม่มี ผู้วิจัยเห็นว่า เป็นเหตุการณ์ที่สามารถควบคุมได้เป็นปัญหาที่ผู้รับเหมาช่วงแก้ไขได้โดยการจัดจ้างผู้เชี่ยวชาญหรือแรงงานที่มีความชำนาญเพิ่มเติมได้

4. ผลจากการศึกษาปัจจัยด้านวัสดุอุปกรณ์ก่อสร้าง พบว่าด้านช่างไกลจากแหล่งวัสดุ/การจัดส่งวัสดุล่าช้า ส่งผลกระทบต่อการบริหารโครงการก่อสร้างผู้รับเหมาช่วงมากที่สุด ผู้วิจัยเห็นว่า การจัดส่งวัสดุหรือการสั่งวัสดุเพื่อการก่อสร้าง ผู้รับเหมาช่วงสามารถวางแผนการจัดซื้อหรือขนส่งล่วงหน้าไว้ก่อนเพื่อให้เมื่อต้องการใช้สามารถทันตามแผนงานที่ได้วางแผนไว้ ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการวิจัย อลงกต เพ็ญศิริช. (2560). การศึกษาปัจจัยความล่าช้าในงานก่อสร้างโรงพยาบาล จากผลการวิจัยพบว่าปัญหาเรื่องวัสดุ ฝ่ายเจ้าของโครงการหรือฝ่ายผู้รับเหมาทุกรายจะต้องมีตรวจสอบขั้นตอนการทำงานพร้อมกับแผนการทำงานของผู้รับเหมาภายใน โครงการร่วมกัน เพื่อที่จะสั่งซื้อและนำส่งวัสดุ อุปกรณ์เข้ามาในหน่วยงานตรงตามเวลาที่กำหนดไว้ในแผนงาน ซึ่งถ้าหากส่งล่าช้าจะส่งผลทำให้เหลือเวลาในการทำงานน้อยลง หรืออาจจะเป็นการกีดขวางการทำงานของผู้รับเหมาอื่นเนื่องจากการรอกอวยวัสดุ

5. ผลจากการศึกษาปัจจัยด้านขั้นตอนวิธีการก่อสร้าง พบว่าด้านการส่งมอบพื้นที่เข้าพื้นที่ก่อสร้างไม่ได้ ส่งผลกระทบต่อการบริหารโครงการก่อสร้างผู้รับเหมาช่วงมากที่สุด ผู้วิจัยเห็นว่า งานในส่วนของผู้รับเหมาช่วงที่เกี่ยวกับพื้นที่ก่อสร้างนั้นเป็นทางผู้บริหารโครงการ ผู้ควบคุมงานและผู้รับเหมาหลัก จะเป็นผู้เข้าไปติดต่อประสานงานเร่งดำเนินการเพื่อให้สามารถเข้าทำงานได้ ทั้งนี้ในส่วนการเข้าพื้นที่ก่อสร้างไม่ได้เนื่องจากต้องรอการดำเนินการงานส่วนก่อนหน้าให้แล้วเสร็จ ผู้รับเหมาช่วงต้องติดต่อประสานงานกับผู้รับเหมาหลักเพื่อกำหนดระยะเวลาการส่งมอบพื้นที่ให้ เพื่อให้ทันตามแผนงานที่ผู้รับเหมาช่วงวางแผนไว้

6. ผลจากการศึกษาปัจจัยด้านอื่นๆ พบว่าด้านการทำสัญญาจ้างระหว่างผู้รับเหมาช่วงกับผู้รับเหมาหลักมีปัญหา ส่งผลกระทบต่อการบริหารโครงการก่อสร้างผู้รับเหมาช่วงมากที่สุด ผู้วิจัยเห็นว่า ทางผู้รับเหมาช่วงควรมีการปรึกษาผู้เชี่ยวชาญด้านสัญญาก่อสร้างก่อนทำการเซ็นสัญญาก่อสร้างเพื่อไม่ให้เกิดความขัดแย้งทั้งในเรื่องการเบิกจ่ายงวดงานหรือราคาค่าก่อสร้างตามที่เซ็นสัญญาไว้โดยควรมีการตรวจสอบสัญญาจ้างให้ชัดเจนก่อนทำสัญญาเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในอนาคต

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1. ปัญหาด้านบุคลากรที่เกี่ยวข้อง ด้านแรงงานที่ไม่มีฝีมือทำให้ต้องแก้งานบ่อยครั้งเป็นปัญหาที่พบอยู่ตลอดในโครงการก่อสร้างต่างๆ ซึ่งสามารถป้องกันและแก้ไขได้โดยต้องให้ความรู้กับแรงงานฝึกฝนแรงงานในด้านที่ถนัดรวมถึงต้องมีการควบคุมดูแลการทำงานของแรงงาน โดยผู้เชี่ยวชาญหรือผู้มีความรู้ในงานส่วนนั้นๆ เพื่องานที่ออกมาจะได้ไม่เกิดปัญหาตามมา

2. ปัญหาด้านการเงิน ควรมีการกำหนดระยะเวลาการเบิกจ่ายเงินระหว่างผู้รับเหมาหลักกับผู้รับเหมาช่วงโดยทำเป็นเอกสารลายลักษณ์อักษรรวมถึงการทำสัญญาแบ่งงวดงานให้ชัดเจนเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาจากการตรวจสอบและเบิกจ่ายเงินจึงจะช่วยแก้ไขการขาดสภาพคล่องทางการเงินของผู้รับเหมาช่วงได้

3. ปัญหาด้านเครื่องจักรในงานก่อสร้าง ผู้รับเหมาช่วงควรมีแผนงานการใช้เครื่องจักรเป็นรายสัปดาห์เพื่อป้องกันปัญหาการขาดเครื่องจักรเมื่อต้องการใช้งาน

4. ปัญหาด้านวัสดุอุปกรณ์ก่อสร้าง ผู้รับเหมาช่วงควรมีการวางแผนงานการสั่งซื้อวัสดุในการก่อสร้างเพื่อให้ไม่ให้เกิดความล่าช้าในการทำงาน รวมถึงการเตรียมการร่วมกับผู้รับเหมาหลักในงานต่างๆก่อนทำงานเพื่อให้ผู้รับเหมาหลักจะสามารถรับรู้ถึงแผนการจัดส่งวัสดุอุปกรณ์ให้ทางผู้รับเหมาช่วงตามที่ต้องการใช้ได้ตรงตามกำหนดเวลาและทันตามแผนงานก่อสร้าง

5. ปัญหาด้านขั้นตอนวิธีการก่อสร้าง ผู้รับเหมาช่วงควรมีการประชุมหรือและวางแผนการทำงานในแต่ละพื้นที่ร่วมกับผู้รับเหมาหลักก่อนเพื่อที่จะไม่ให้เกิดปัญหาระหว่างการก่อสร้างต่างๆ

6. ปัญหาด้านอื่นๆ ผู้รับเหมาช่วงควรมีการตรวจสอบสัญญาจ้างที่ทำขึ้นระหว่างผู้รับเหมาช่วงกับผู้รับเหมาหลักให้ชัดเจนก่อนที่จะทำการเซ็นสัญญาจ้างเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในอนาคต

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. จากปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการบริหารงานก่อสร้างของผู้รับเหมาช่วงในด้านต่างๆ ที่ทำให้เกิดปัญหาความล่าช้าในการก่อสร้างในโครงการนั้นๆ ยังขาดการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญต่างๆเพิ่มเติมหรือผู้เชี่ยวชาญด้านการบริหารสัญญาเพื่อให้ข้อมูลมีความชัดเจนถูกต้องมากยิ่งขึ้น

2. จากการประเมินความเสี่ยงการวิเคราะห์ตัวเลขการประเมินความเสี่ยงจากตารางการประเมิน และได้จัดกลุ่มความเสี่ยงที่เกิดขึ้นแล้ว พร้อมมีแนวทางการแก้ไขปัญหา ยังขาดการประเมินความเสี่ยงครั้งสุดท้าย (Final Risk Rating) เพื่อพิสูจน์ว่าความเสี่ยงในรายการความเสี่ยงเดิมนั้นได้ลดลงหรือไม่ หรือสามารถแก้ไขปัญหามาตามแต่ละปัจจัยได้หรือไม่

8. กิตติกรรมประกาศ

รายงานการค้นคว้าอิสระเรื่องปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการบริหารงานก่อสร้างของผู้รับเหมาช่วงโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่ ช่วงลพบุรี-ปากน้ำโพ ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรานนท์ คงสง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้ความกรุณาเมตตา สละเวลา ให้คำปรึกษาและชี้แนะทางการแก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ รวมทั้งอาจารย์ ดร.ธีรเดช สนองทวีพร และ อาจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ ภูวกรกุลชัย อาจารย์ทั้งสองท่านที่เป็นคณะกรรมการที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ จนทำให้งานวิจัยฉบับนี้มีความสมบูรณ์และบรรลุตามวัตถุประสงค์ได้ ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ และบุคลากรทุกท่าน เพื่อนร่วมสาขาวิชาการตรวจสอบและกฎหมาย วิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ที่ได้ให้คำปรึกษาต่างๆ รวมถึงข้อเสนอแนะข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยฉบับนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน ที่ได้ให้ความกรุณาในการตรวจความสอดคล้องระหว่างข้อความ กับวัตถุประสงค์กับแบบทดสอบ IOC รวมถึงขอขอบพระคุณ นายนิคม ชัยสุนทร โยธิน ผู้บังคับบัญชาของผู้ศึกษา ที่ให้คำแนะนำข้อคิดเห็นต่างๆ มาโดยตลอด และขอขอบคุณผู้ตอบแบบสอบถามทุกท่านที่ให้ความร่วมมือ เสียสละเวลา ในการทำแบบสอบถาม จึงทำให้การศึกษาวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงประสบความสำเร็จไปด้วยอย่างยิ่งเหนือสิ่งอื่นใดขอกราบขอบพระคุณ บิดาและมารดา ของผู้ศึกษาที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้าน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการจัดทำงานวิจัยครั้งนี้

9. เอกสารอ้างอิง

- จักรพงษ์ กิรติชัยเศรษฐ. (2560). *ปัจจัยที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อความสำเร็จของงานระบบประกอบอาคารสูง, วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (การตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรม), มหาวิทยาลัยรามคำแหง*
- อลงกต เพ็ญศิริธร. (2560). *การศึกษาปัจจัยความล่าช้าในงานก่อสร้าง โรงพยาบาล, วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (การตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรม), มหาวิทยาลัยรามคำแหง*
- เรือโทณัฐพล คำเจริญ. (2558). *ปัญหาข้อเรียกร้องของผู้รับจ้างจากสาเหตุความล่าช้าในการก่อสร้างอาคารของ สำนักยุทธโยธาทหาร กองบัญชาการกองทัพไทย, วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (การตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรม), มหาวิทยาลัยรามคำแหง*
- สิวกร หวังปักกลาง. (2555). *การศึกษาและวิเคราะห์ความเสี่ยงของการก่อสร้างอาคารสูงในเขตเทศบาลเมืองพัทยา, สาขาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี*
- ศรยุทธ กิจพจน์. (2545). *แนวคิดเกี่ยวกับปัจจัยหลักในการบริหารงานก่อสร้าง*

การลดเวลาปรับตั้งน้ำหนักขวดแก้วจากขั้นตอนการเปลี่ยนแบบงาน

Reducing the Time to Adjust the Weight of Glass Bottles

with the Process of Changing Work Designs

ปฤษฎี เทศอินทร์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

E-mail: Parit_t@mail_rmutt.ac.th

ปรกช สิริสุวรรณ

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

E-mail: porakoch.s@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาการปรับตั้งน้ำหนักขวดแก้วจากการเปลี่ยนแบบงาน โดยใช้เวลาการปรับตั้งน้ำหนักแต่ละครั้งไม่เกิน 1,200 วินาที ตามที่บริษัทกำหนดไว้และเพื่อปรับปรุงขั้นตอนการทำงานปรับตั้งน้ำหนักขวดแก้วให้พนักงานสามารถทำงานได้สะดวกมากขึ้น อีกทั้งเพื่อลดความสูญเปล่าจากการรอคอยของพนักงานขณะช่วงเวลามีการปรับตั้งน้ำหนักขวดแก้ว จากการศึกษาสภาพปัญหาพบว่าการปรับตั้งน้ำหนักขวดแก้วจากการเปลี่ยนแบบงานใช้เวลาเกินค่าเป้าหมายของบริษัทที่กำหนด ดังนั้นจึงเริ่มดำเนินงานวิจัยด้วยการศึกษาขั้นตอนการปรับตั้งเครื่องจักรทุกขั้นตอน เก็บรวบรวมข้อมูลเวลา และ ลักษณะการทำงานแต่ละกิจกรรม เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงและระบุแนวทางแก้ไขปัญหาเบื้องต้น ยิ่งไปกว่านั้นการบูรณาการระหว่างหลักการปรับตั้งเครื่องจักรอย่างรวดเร็ว กับหลักการลดเวลาสูญเปล่าด้วยเทคนิค ECRS ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อลดความสูญเปล่าในขั้นตอนการปรับตั้งน้ำหนักขวดแก้วจากการเปลี่ยนแบบงาน ผลจากการปรับปรุงโดยการประยุกต์ใช้หลักการเทคนิคการปรับตั้งเครื่องจักรอย่างรวดเร็ว และ ECRS ช่วยให้ลดเวลาการรอคอยการปรับตั้งน้ำหนักขวดแก้วจากการเปลี่ยนแบบงาน ลดเวลาการเคลื่อน ไหวที่ไม่จำเป็น และ ปรับปรุงขั้นตอนการทำงานให้พนักงานโดยลดขั้นตอนการและระยะทางทำงานโดยมีอุปกรณ์ช่วยให้สะดวกและลดเวลาให้เร็วยิ่งขึ้น ส่งผลให้สามารถลดเวลาการปรับตั้งน้ำหนักขวดแก้วใน 1 ครั้ง จากเดิมใช้เวลา 1,662 วินาที เหลือ 930 วินาที คิดเป็นเวลาที่ลดลง 737 วินาที

คำสำคัญ: การลดเวลา ปรับตั้งน้ำหนัก ขวดแก้ว ECRS

ABSTRACT

This research aims to reduce the time required to adjust the weight of glass bottles from changing work designs. The time for each weight adjustment should not exceed 1,200 seconds as specified by the company and for improvement. Work process for adjusting the weight of glass bottles so that employees can work more conveniently. To reduce waste from waiting for employees while adjusting the weight of glass bottles. From

studying the problems occurring in the factory in the case study, it was found that the problem of adjusting the weight of glass bottles from changing work designs took more time than the company's specified target values. Therefore, research work has also begun. Study every step of the machine adjustment process. Collect data on time and work characteristics of each activity in order to analyze the root cause and identify Basic troubleshooting guidelines Integration of principles for rapid machine adjustment with the principle of reducing wasted time using the ECRS technique, it was applied to reduce waste in the process of adjusting the weight of glass bottles from changing work designs as a result of improvements. By applying the principles of rapid machine adjustment techniques and ECRS, it helps to reduce the waiting time for adjusting the weight of glass bottles from changing work designs. Reduce unnecessary movement time and improve the work process for employees by reducing steps and working distances with equipment to help facilitate and reduce time faster. Resulting in being able to reduce the time for adjusting the weight of glass bottles in 1 time from the original time of 1,662 seconds to 930 seconds, representing a reduction of 737 seconds.

Keywords: time reduction, weight setting, glass bottle, ECRS

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

บริษัทกรณีสึกษาได้จดทะเบียนและก่อตั้งเมื่อปี พ.ศ.2548 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อดำเนินการผลิตและจำหน่ายบรรจุภัณฑ์ขวดแก้ว ทำให้บริษัทสามารถผลิตบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ได้หลายประเภท เช่น ขวดแก้ว ขวดนมแก้ว และขวดโหล ซึ่งสามารถให้บริการสินค้าได้ตามที่ลูกค้าต้องการ บริษัทมีความมุ่งมั่นที่จะดำเนินการผลิตสินค้าที่มีคุณภาพตรงตามความต้องการของลูกค้า รวมถึง การส่งมอบที่ตรงเวลา

ในปัจจุบันของอุตสาหกรรมการผลิต ผู้ประกอบการจำเป็นต้องดำเนินการปรับปรุงประสิทธิภาพของการผลิตเพื่อลดต้นทุนความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตและเพิ่มความสามารถในการแข่งขัน เพิ่มคุณภาพการผลิตภัณฑ์ ได้มาตรฐาน มีความรวดเร็ว มีความผิดพลาดน้อย และส่งตรงเวลาเป็นที่น่าพอใจต่อลูกค้า โดยจากความต้องการสินค้าของลูกค้าที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ต้องลดความผิดพลาด ความสูญเสียที่จะเกิดขึ้นในการผลิตให้มากที่สุด ซึ่งต้องคำนึงถึงปัจจัยการผลิตโดยต้องยึดความต้องการของลูกค้ากำหนด และส่งมอบได้ทันเวลา โดยเฉพาะความสูญเปล่าที่เป็นสาเหตุสำคัญของปัจจัยป้อนเข้าที่มีอยู่ในโรงงานมีจำนวนมาก

ดังนั้นจึงเกิดการพัฒนาระบบการผลิตแบบลีน ซึ่งเป็นระบบที่ได้รับการยอมรับทั่วโลกว่าเป็นระบบการผลิตที่สามารถลดต้นทุนลดความสูญเปล่าและความสูญเสียโอกาสทางการผลิตได้ซึ่งความสูญเปลามีอยู่ 7 ประการด้วยกัน คือ 1) การผลิตมากเกินไป 2) การรอคอย 3) การเคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็น 4) การทำงานที่ไม่เกิดประโยชน์ 5) การเก็บสินค้าที่มากเกินไป 6) การเคลื่อนที่/เคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็น และ 7) ของเสีย ดังนั้นทุกบริษัทควรจะทำการลดความสูญเปล่าเหล่านี้ลงการลดความสูญเปล่า นอกจากจะเป็นการปรับปรุงการผลิต และสามารถเพิ่มผลผลิตแล้วยังเป็นการลดต้นทุนที่เกิดในบริษัทอีกด้วย

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อลดเวลาปรับตั้งน้ำหนักขวดแก้วจากการเปลี่ยนแบบงาน ให้ใช้เวลาการปรับตั้งเครื่องแต่ละครั้งไม่เกิน 1200 วินาที ที่บริษัทกำหนดไว้
- (2) เพื่อปรับปรุงขั้นตอนการทำงานชุดปรับตั้งน้ำหนักขวดแก้ว

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิทยานิพนธ์เรื่อง การลดเวลาปรับน้ำหนักก่อนแก้วสำหรับขึ้นรูปขวดแก้ว ได้ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

- (1) การปรับตั้งเครื่องจักรอย่างรวดเร็วโดยเทคนิค (SMED)
- (2) การลดเวลาสูญเสียเปล่า

3.1 การปรับตั้งเครื่องจักรอย่างรวดเร็วโดยเทคนิค Single Minute Exchange of Die (SMED)

คือ เทคนิคในการลดเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรซึ่งเทคนิคนี้ได้ถูกคิดค้น โดย Dr. Shingeo Shingo ซึ่งเป็นผู้ร่วมกับ Taiichi Ohno โดยจุดเริ่มต้นของการวัดเวลานั้นขึ้นอยู่กับองค์การว่าจะวัดอย่างไร เช่น นับตั้งแต่เครื่องจักรหยุดจนกระทั่งเครื่องจักรเริ่มปฏิบัติงาน แต่ผู้เขียนเห็นว่าการวัดแบบนี้ไม่เหมาะสมเพราะจะละเลยต่อการปรับงาน (Adjustment) และการทดลองผลผลิต (Trial run) ซึ่งทั้งสองส่วนนี้จะละเลยไม่ได้ แนวความคิดพื้นฐานของเทคนิค SMED) ประกอบด้วยดังนี้

- (1) กิจกรรมในการติดตั้งเครื่องจักรสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การตั้งเครื่องภายใน (Internal Setup) เป็นการปฏิบัติการที่ต้องการทำในขณะที่เครื่องจักรหยุดทำงาน และ การตั้งเครื่องภายนอก (External Setup) เป็นการปฏิบัติการที่สามารถทำได้ในขณะที่เครื่องจักรยังคงทำงานอยู่

- (2) เวลาที่ใช้ในการปรับเปลี่ยนเครื่องจักร สามารถลดลงได้โดยการแปลงการปฏิบัติการตั้งเครื่องภายในให้เป็นการปฏิบัติการตั้งเครื่องภายนอก เพื่อลดเวลาการหยุดของเครื่องจักรให้น้อยลง

- (3) การวิเคราะห์ขั้นตอนการติดตั้งเครื่องจักรเหตุผลหลักที่การติดตั้งเครื่องจักรแบบเก่าใช้เวลานานมากเนื่องจากการตั้งเครื่องภายใน และ การตั้งเครื่องภายนอกปะปนกันอยู่ กล่าวคือ มีขั้นตอน หลายอย่างที่สามารถทำได้ในขณะที่เครื่องจักรยังคงทำงานอยู่แต่กลับไม่ถูกทำจนกว่าเครื่องจักรจะหยุดทำงานก่อนที่จะเริ่มประยุกต์ใช้ SMED จึงจำเป็นต้องมีความเข้าใจอย่างแท้จริงถึงการติดตั้งเครื่องจักรในปัจจุบันว่ามีขั้นตอนอย่างไร และ แต่ละขั้นตอนใช้เวลานานเท่าใดซึ่งหลักการวิเคราะห์การติดตั้งเครื่องจักร นี้จะช่วยวางแผนวิธีการนำ SMED มาปรับปรุงการติดตั้งเครื่องจักรได้

- (4) ขั้นตอนในการทำปรับตั้งเครื่องจักรอย่างรวดเร็ว ทฤษฎีในตอนเริ่มแรกของ Dr. Shingo นั้น แยกงานภายในและงานภายนอกออกจากกันเป็นการแยกงานที่สามารถทำได้โดยไม่ต้องหยุดเครื่องจักร ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญในการทำ SMED เนื่องจากต้องมีการวิเคราะห์ที่แน่ชัดว่ากิจกรรมใดเป็นงานภายในหรือกิจกรรมใดเป็นงานภายนอกรวมทั้งเป็นการจำแนกกิจกรรมที่เพิ่มมูลค่าหรือไม่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตด้านเวลาที่เพิ่มขึ้นจากการลดกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าการแยกงานเหล่านี้ออกจากกันและเปลี่ยนมันให้เป็นงานภายนอกสามารถช่วยลดเวลาที่ใช้ในการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรลงได้ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ – 50 เปอร์เซ็นต์

3.2 การลดเวลาสูญเสีย

เป็นระบบกำจัดความสูญเสียและปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่องในกระบวนการผลิต เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกิจกรรมหรืองานที่ดำเนินการกระบวนการผลิตมักจะพบว่ามีสูญเสียต่าง ๆ แฝงอยู่ไม่มากนักน้อยเป็นเหตุให้ประสิทธิภาพและประสิทธิผลของกระบวนการต่ำกว่าที่ควรจะเป็น เช่น ใช้นเวลานานในการผลิตสินค้าคุณภาพต่ำต้นทุนสูง ดังนั้นจึงมีแนวคิดเพื่อพยายามจะลดความสูญเสียเหล่านี้เกิดขึ้นมากมายโดยการนำเอาเรื่องการลดความสูญเสียไปด้วยหลักการ ECRS หลักการ ECRS เป็นหลักการที่ประกอบด้วย การกำจัด การรวมกัน การจัดใหม่ และการทำให้ง่ายขึ้น ซึ่งเป็นหลักการง่าย ๆ ที่สามารถใช้ในการเริ่มต้นลดความสูญเสียหรือ MUDA ลงได้เป็นอย่างดี ในองค์กรธุรกิจทั่วไปจะสามารถแบ่งรูปแบบของกระบวนการหน่วยงานออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนของงานโรงงานและส่วนของงานสนับสนุนทั้ง 2 ส่วนนี้สามารถก่อให้เกิดความสูญเสียได้ ซึ่งอธิบายเป็นตัวอย่างได้ดังนี้ส่วนแรกคือส่วนโรงงานคือส่วนที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการผลิตสินค้าของบริษัทการลดความสูญเสียในการผลิตเป็นสิ่งจำเป็นและควรให้ความสำคัญเป็นอย่างมากเพราะความสูญเสียที่เกิดขึ้นจะหมายถึงต้นทุนของสินค้าที่เพิ่มสูงขึ้น หากสามารถลดความสูญเสียลงได้ก็จะส่งผลให้ประหยัดต้นทุนการผลิตลงด้วย ผลที่ตามมาคือมีความสามารถในการแข่งขันกับคู่แข่งสูงขึ้น โดยแนวทางการลด MUDA ลงสามารถทำได้โดยใช้หลักการ ECRS ดังนี้

(1) การกำจัด หมายถึง การพิจารณาการทำงานปัจจุบันและทำการกำจัดความสูญเสียทั้ง 7 ที่พบในการผลิตออกไป คือ การผลิตมากเกินไป การรอคอย การเคลื่อนที่/เคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็น การทำงานที่ไม่เกิดประโยชน์ การเก็บสินค้าที่มากเกินไป การเคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็น และ ของเสีย

(2) การรวมกัน สามารถลดการทำงานที่ไม่จำเป็นลดลงได้ โดยการพิสูจน์ว่าสามารถรวมขั้นตอนการทำงานให้ลดลงได้หรือไม่ เช่น จากเดิมเคยทำ 5 ขั้นตอนก็รวมบางขั้นตอนเข้าด้วยกันทำให้ขั้นตอนที่ต้องทำลดลงจากเดิมการผลิตก็จะสามารถทำได้เร็วขึ้น และ ลดการเคลื่อนที่ ระหว่างขั้นตอนลงอีก

(3) การจัดใหม่ คือ การจัดขั้นตอนการผลิตใหม่เพื่อให้ลดการเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็น หรือ การรอคอย

(4) การทำให้ง่าย หมายถึง การปรับปรุงการทำงานให้ง่ายและสะดวกขึ้นโยอาจออกเคเป็นจิ๊กหรือ เข้าช่วยในการทำงานเพื่อให้การทำงานสะดวกและแม่นยำมากขึ้นซึ่งสามารถลดของเสียลงได้ จึงเป็นการลดการเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็นและลดการทำงานที่ไม่จำเป็นได้ทำการศึกษาผลงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้ ECRS ในการลดความสูญเสียขั้นตอนการผลิตก่อนเชื้อเห็ดขอนขาว

3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง งานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีการนำเทคนิค SMED มาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาการใช้เวลาการปรับตั้งเครื่องจักร ได้แก่ Arun Abraham และ Vipin Kumar กับ Amit Bajaj ใช้เทคนิคการปรับตั้งค่าเครื่องจักรอย่างรวดเร็ว SMED เพื่อวิเคราะห์กระบวนการการลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรในภาคอุตสาหกรรมผลิตโดยงานวิจัยของวีชรากรใช้เทคนิคของการปรับตั้งค่าเครื่องจักรอย่างรวดเร็ว SMED เพื่อวิเคราะห์กระบวนการผลิตลดลงของเสียในกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกด้วยระบบสุญญากาศจากการวิเคราะห์พบข้อสรุปได้การปรับตั้งเครื่องจักรส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานจึงได้จำแนกขั้นตอนการทำงานของพนักงานออกเป็นงานภายในและงานภายนอก จากนั้นเปลี่ยนงานภายในเป็นงานภายนอกด้วยเทคนิค SMED เพื่อลดขั้นตอนการปรับตั้งเครื่องจักรสามารถลดระยะเวลาและขั้นตอนการปรับตั้งเครื่องจักรลง 6 ขั้นตอน โดยลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรจากเดิม 345 นาทีเหลือ 281 นาทีต่อครั้งต่อการผลิต 1,000 ชิ้น

4. วิจัยดำเนินการวิจัย

4.1 ดำเนินการปรับปรุงกระบวนการปรับน้ำหนัก

แยกกิจกรรมภายนอก และกิจกรรมภายใน โดยใช้เทคนิคการปรับตั้งเครื่องอย่างรวดเร็ว SMED ร่วมกับหลักการ ECRS งานบางอย่างสามารถทำได้สำเร็จก่อนที่เครื่องจะหยุดทำงานเพื่อเปลี่ยนการจัดเตรียม อุปกรณ์และเครื่องมือการเปลี่ยนแบบงาน เข้าใกล้จุดปฏิบัติงานและการปฏิบัติงานเหล่านี้เป็นการตั้งค่าภายนอก แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ใช้เทคนิคการปรับตั้งเครื่องอย่างรวดเร็ว (SMED) ร่วมกับหลักการ ECRS

Quick Changeover (QCO-SMED)						
Workstation Details						
Workstation or Equipment:						
เปลี่ยนรูปแบบการผลิตที่เครื่องขึ้นรูปแบบสูญญากาศ						
เปลี่ยนรูปแบบการผลิตกล่องบรรจุแปรงขัดฟัน						
Quick changeover analysis						
Initial State: หลังการปรับปรุง						
พนักงานทำงาน : 2 คน						
งานย่อย	รายละเอียดขั้นตอน	เวลา (วินาที)	ECRS	ประเภทของงาน	ระยะทาง (เมตร)	
1	เดินไปหยิบเครื่องมือสำหรับปรับรูปทรงก้อนแก้ว	32		งานภายนอก	15	
2	เดินไปหยิบพลั่วสำหรับชั่งน้ำหนัก	45	S	งานภายนอก	15	
3	ได้ไปหยิบตราชั่งสำหรับชั่งน้ำหนัก	55		งานภายนอก	20	
4	ขั้นตอนการนำ Scoop ออก	10		งานภายใน		
5	ขั้นตอนการนำกระบอกรับน้ำแก้วออก	10		งานภายใน		
6	ขั้นตอนการนำกรรไกรตัดก้อนแก้วออก	60		งานภายใน		
7	ขั้นตอนการหยุด Tube	30		งานภายใน		
8	ขั้นตอนการหยุด Plunger	50		งานภายใน		
9	ขั้นตอนการหยุดรอ โหลด Program	120		งานภายใน		
10	ขั้นตอนการเดินเครื่องจักร Tube	30		งานภายใน		
11	ขั้นตอนการเดินเครื่องจักร Plunger	50		งานภายใน		
12	ขั้นตอนการนำชุดกรรไกรเข้าเพื่อตัดน้ำแก้วให้เป็นก้อนแก้ว	60		งานภายใน		
13	ขั้นตอนการปรับรูปทรงก้อนแก้วที่ชั้น 2	180		งานภายใน		
14	ขั้นตอนการชั่งน้ำหนักก้อนแก้วที่ชั้น 2 และเดินไปปรับน้ำหนักก้อนแก้วที่ชั้น 3	300	S	งานภายใน	16	
15	ขั้นตอนการนำกระบอกรับน้ำแก้วเข้า	10		งานภายใน		
16	ขั้นตอนการนำ Scoop เข้า	10		งานภายใน		
17	ขั้นตอนการปรับรูปทรงก้อนแก้วที่ชั้น 2 และเดินไปปรับน้ำหนักก้อนแก้วที่ชั้น 3 ช่วงระหว่างรอให้อุณหภูมิถึงระดับตามที่ต้องการ	600	S	งานภายใน	16	
18	ปล่อยก้อนแก้วลงไปยังเครื่องขึ้นรูปขวดแก้ว	10		งานภายใน		
เวลาเฉลี่ยรวม (วินาที)					1,662 (วินาที)	
ระยะทาง (เมตร)					82 (เมตร)	
งานตั้งเครื่องภายใน					1,530 (วินาที)	
งานตั้งเครื่องภายนอก					132 (วินาที)	
การกำจัด Eliminate (E)						
การรวมกัน Combine (C)						

สรุปตารางที่ 1 ใช้เทคนิคการปรับตั้งเครื่องจักรอย่างรวดเร็ว (SMED) ร่วมกับหลักการ ECRS แยกงานภายในกับงานภายนอก ให้เหลือเฉพาะงานตั้งเครื่องภายในที่จะปฏิบัติงานเมื่อเครื่องจักรหยุดทำงานแล้วเท่านั้นคือเท่ากับ 1530 (วินาที) และใช้หลักการ (ECRS) ลดเวลาความสูญเปล่าลงยังคงเป็นงานภายในอยู่ คือขั้นตอนการซั่งน้ำหนัและการปรับตั้งน้ำหนั โดยมีชุดปรับตั้งน้ำหนัที่อยู่ทีจุดซั่งน้ำหนัและปรับรูปทรงก้อนแก้วซั่งทำให้ง่ายขึ้น

ตารางที่ 2 แนวทางแก้ไขด้วยหลักการ ECRS ใช้แก้ไขแต่ละขั้นตอนการทำงาน

รายละเอียดกระบวนการย่อย	สัญลักษณ์ กระบวนการ	เวลาเฉลี่ย (วินาที)	หลักการ ECRS
1. ขั้นตอนการจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับปรับรูปทรงก้อนแก้ว และอุปกรณ์สำหรับซั่งน้ำหนั			
1.1 เดินไปหยิบเครื่องมือสำหรับปรับรูปทรงก้อนแก้ว	➡●	32	
1.2 เดินไปหยิบปลั้วสำหรับซั่งน้ำหนั	➡●	45	
1.3 ได้ไปหยิบตราซั่งสำหรับซั่งน้ำหนั	➡●	55	
2. ขั้นตอนการหยุดเครื่องจักรเพื่อเปลี่ยนแบบงานขวดแก้ว			
2.1 ขั้นตอนการนำ Scoop ออก	○●	10	
2.2 ขั้นตอนการนำกระบอกรับน้ำแก้วออก	○●	10	
2.3 ขั้นตอนการนำกรรไกรตัดก้อนแก้วออก	○●	60	
2.4 ขั้นตอนการหยุด Tube	○●	30	
2.5 ขั้นตอนการหยุด Plunger	○●	50	
2.6 ขั้นตอนการหยุดรอ โหลด Program	○●	120	
3. ขั้นตอนการจัดตั้งอุปกรณ์ ปรับรูปทรงก้อนแก้วและ ปรับตั้งน้ำหนัก้อนแก้ว			
3.1 ขั้นตอนการเดินเครื่องจักร Tube	○●	30	
3.2 ขั้นตอนการเดินเครื่องจักร Plunger	○●	50	
3.3 ขั้นตอนการนำชุดกรรไกรเข้าเพื่อตัดน้ำแก้วให้เป็น ก้อนแก้ว	○●	60	
3.4 ขั้นตอนการปรับรูปทรงก้อนแก้วที่ซัน 2	○●	180	ไม่ดำเนินการ
3.5 ขั้นตอนการซั่งน้ำหนัก้อนแก้วที่ซัน 2 และเดินไป ปรับน้ำหนัก้อนแก้วที่ซัน 3	□●	300	ระยะเวลา 16 เมตร
3.6 ขั้นตอนการนำกระบอกรับน้ำแก้วเข้า	○●	10	
3.7 ขั้นตอนการนำ Scoop เข้า	○●	10	
3.8 ขั้นตอนการปรับรูปทรงก้อนแก้วที่ซัน 2 และเดินไป ปรับน้ำหนัก้อนแก้วที่ซัน 3 ช่วงระหว่างรอให้อุ่นทงูมิ ถึงระดับตามที่ต้องการ	□●	600	ระยะเวลา 16 เมตร ไม่ดำเนินการ
3.9 ปล่อยก้อนแก้วลงไปยังเครื่องซั่งรูปขวดแก้ว	D●	10	

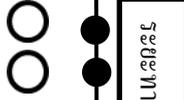
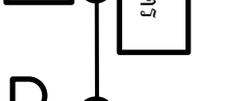
จากการวิเคราะห์พบว่าตารางที่ 2 ขั้นตอนการปรับตั้งน้ำหนักร่อนแก้วมีความสูญเสียเวลาในการเคลื่อนไหวในการชั่งน้ำหนักที่ชั้น 2 และเดินไปปรับน้ำหนักร่อนแก้วที่ชั้น 3 ซึ่งเป็นขั้นตอนให้เสียเวลาในการเปลี่ยนแบบงานขวดแก้วให้ได้ผลผลิตที่ช้า ซึ่งการปรับตั้งน้ำหนักร่อนแก้วสามารถทำให้ง่ายขึ้นโดยการจัดทำชุดปรับน้ำหนักร่อนแก้วที่ใกล้เคียงกับจุดปรับรูปทรงก่อนแก้วและปรับน้ำหนักร่อนแก้วเพื่อให้งานง่ายขึ้น และเร็วขึ้นสามารถสรุปสาเหตุ

5. ผลการวิจัย

ผลการปรับปรุงขั้นตอนการทำงาน โดยใช้เทคนิคการปรับตั้งเครื่องจักรอย่างรวดเร็ว SMED ร่วมกับหลักการลดความสูญเปล่า ECRS จากการวิเคราะห์ปัญหาการปรับตั้งเครื่องจักรใช้เวลาการปรับตั้งเกินเวลาที่บริษัทกำหนด สามารถปรับปรุงขั้นตอนการทำงานให้กับพนักงานเพื่อให้งานง่ายขึ้น และ สะดวกมากขึ้น โดยใช้เทคนิค SMED แยกขั้นตอนการทำงานให้เหลือเฉพาะงานภายในที่สามารถปรับตั้งเครื่องจักรได้ ต่อเมื่อเครื่องจักรหยุดทำงานแล้วเท่านั้นจากนั้นทำการจัดการทำงานให้ง่าย Simplify (S) โดยอาศัยหลักการ ECRS เรียงขั้นตอนการทำงานให้พนักงานทำงานตามที่ได้รับมอบหมายโดยแบ่งงานให้อย่างชัดเจน ให้สามารถทำงานแต่ละขั้นตอนไป พร้อมๆกันใช้เทคนิค SMED กับหลักการ ECRS แยกขั้นตอนการทำงานที่สามารถทำได้ในขณะที่เครื่องจักรยังทำงานอยู่กับขั้นตอนที่สามารถจัดเตรียมไว้ล่วงหน้าได้แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ขั้นตอนการปรับตั้งเครื่องจักร

รายละเอียดกระบวนการย่อย	สัญลักษณ์ กระบวนการ	เวลา เฉลี่ย (วินาที)	หลักการ SMED ECRS
1. ขั้นตอนการจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับปรับรูปทรงก่อนแก้วและอุปกรณ์สำหรับชั่งน้ำหนัก			
1.1 เดินไปหยิบเครื่องมือสำหรับปรับรูปทรงก่อนแก้ว	→ ●		32
1.2 เดินไปหยิบพลั่วสำหรับชั่งน้ำหนัก	→ ●		45
1.3 ได้ไปหยิบตราชั่งสำหรับชั่งน้ำหนัก	→ ●		55
2. ขั้นตอนการหยุดเครื่องจักรเพื่อเปลี่ยนแบบงานขวดแก้ว			
2.1 ขั้นตอนการนำ Scoop ออก	○ ●	10	
2.2 ขั้นตอนการนำกระบอกรับน้ำแก้วออก	○ ●	10	
2.3 ขั้นตอนการนำกรรไกรตัดก้อนแก้วออก	○ ●	60	
2.4 ขั้นตอนการหยุด Tube	○ ●	30	
2.5 ขั้นตอนการหยุด Plunger	○ ●	50	
2.6 ขั้นตอนการหยุดรอโหลด Program	○ ●	120	
3. ขั้นตอนการจัดตั้งอุปกรณ์ ปรับรูปทรงก่อนแก้วและปรับตั้งน้ำหนักร่อนแก้ว			
3.1 ขั้นตอนการเดินเครื่องจักร Tube	○ ●	30	
3.2 ขั้นตอนการเดินเครื่องจักร Plunger	○ ●	50	

3.3 ขั้นตอนการนำชุดกรรไกรเข้าเพื่อตัดน้ำแก้วให้เป็น ก้อนแก้ว		60	
3.4 ขั้นตอนการปรับรูปทรงก้อนแก้วที่ชั้น 2		180	
3.5 ขั้นตอนการชั่งน้ำหนักก้อนแก้วและปรับน้ำหนักที่ตู้ Control ที่ชั้น 2		120	180
3.6 ขั้นตอนการนำกระบอกรับน้ำแก้วเข้า		10	
3.7 ขั้นตอนการนำ Scoop เข้า		10	
3.8 ขั้นตอนการชั่งน้ำหนักก้อนแก้วและปรับน้ำหนักที่ตู้ Control ที่ชั้น 2 ช่วงระหว่างรอให้อุณหภูมิถึงระดับ ตามที่ต้องการ		180	420
3.9 ปล่อก้อนแก้วลงไปยังเครื่องขึ้นรูปขวดแก้ว		10	
เวลาขั้นตอนที่ต้องทำงานเฉลี่ยรวม (วินาที)	930 (วินาที)		
ระยะทาง (เมตร)	0 เมตร		
เวลารวมที่ลดลงของ SMED กับ ECRS (วินาที)			732 (วินาที)

จากตารางที่ 3 ขั้นตอนการปรับตั้งเครื่องจักร สามารถลดเวลาการปรับตั้งน้ำหนักก้อนแก้วจาก 1,662 วินาที เหลือ 930 วินาที ซึ่งต่ำกว่าเวลาที่ บริษัทกำหนดไว้ที่ 900 วินาที

6. อภิปรายผล

จากการศึกษาสภาพปัญหาและนำมาวิเคราะห์พบว่าบริษัทกรณีศึกษามีปัญหาเรื่องระยะเวลาในการเปลี่ยนแบบงานขวดแก้วเกินกว่าเป้าหมายที่บริษัทกำหนดการปรับตั้งน้ำหนักขวดแก้วซึ่งกำหนดให้ใช้เวลาปรับตั้งไม่เกิน 900 วินาทีต่อการเปลี่ยนแบบงาน 1 ครั้ง จากการศึกษาสภาพปัญหาแล้วนำมาวิเคราะห์ ด้วยเทคนิค SMED กับ ECRS เป็นการวิจัยโดยใช้วิธีการออกแบบอุปกรณ์ช่วยให้ง่ายต่อการทำงาน และ คิดหาวิธีการ จัดเรียงขั้นตอนการทำงานศึกษาขั้นตอนการปรับตั้งเครื่องจักรทุกขั้นตอนแล้วนำมาแยกภายในและ งานภายนอกให้ออกจากกันให้เหลือเฉพาะงานภายในที่สามารถปรับตั้งได้ในขณะที่เครื่องหยุดทำงาน และมีอุปกรณ์ที่ช่วยลดเวลาการทำงานที่นานและง่ายขึ้นขณะที่เครื่องหยุดทำงาน แล้วเท่านั้น โดยนำหลักการปรับตั้งน้ำหนักขวดแก้วอย่างรวดเร็ว SMED และ หลักการ ECRS เข้ามาปรับปรุงแก้ไขตามสาเหตุที่แท้จริง

จากผลการดำเนินงานวิจัยเพื่อลดความสูญเสียที่เกิดจากการปรับตั้งน้ำหนักขวดแก้วพบว่าสามารถลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรให้ต่ำกว่าเวลาที่บริษัทกำหนดได้และยังปรับปรุงขั้นตอนการทำงานให้พนักงานทำงานได้สะดวกและง่ายขึ้น สามารถสรุปผลการวิจัยได้ ดังนี้ เปรียบเทียบผลเวลาการปรับตั้งน้ำหนักก่อนการปรับปรุงกับหลังการปรับปรุงพบว่าสามารถลดเวลาการปรับตั้งน้ำหนักให้ใช้เวลาการปรับตั้งเครื่องแต่ละครั้งไม่ เกิน 1,200 วินาที ที่บริษัทกำหนดไว้โดยการเปรียบเทียบผลเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรก่อนการปรับปรุงกับหลังการปรับปรุงเปรียบเทียบผลของเวลาที่ลดลงดังนี้

ตารางที่ 4 ตารางเปรียบเทียบก่อนการปรับปรุง หลังการปรับปรุง

ขั้นตอน	เวลาก่อนการปรับปรุง (วินาที)	เวลาที่บริษัทกำหนด (วินาที)	เวลาที่ได้ทำการปรับปรุงแล้ว (วินาที)	ผลของเวลาที่ลดลง ก่อน ปรับปรุงกับหลังการปรับปรุง (วินาที)
การปรับตั้ง น้ำหนักขวดแก้ว	1,662	1,200	930	732

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

ควรมีการบำรุงรักษาเครื่องจักรตามแผนการปฏิบัติงานในการบำรุงรักษาเครื่องจักร และ อุปกรณ์อย่างจริงจัง เพื่อลดปัญหาการรอนานที่เกิดขึ้นจากเครื่องจักร และ อุปกรณ์ทำงาน ผิดปกติ

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

สามารถนำงานวิจัยนี้ไปศึกษาพัฒนาขั้นตอนการผลิตเพื่อลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรได้

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Unknown , Single Minute Exchange of Die (SMED) (Online), ปีที่พิมพ์ 2552. Available: <http://leanmanufacturing-tawatchai.blogspot.com> (19 พฤศจิกายน 2562).
- [2] เครื่องจักร Thermoforming Machine. Available: <https://www.plastics-technology.com>. (สืบค้นข้อมูลวันที่ 2 มกราคม 2562).
- [3] Karam A., Liviu M., Cristina V. และ Radu H, "ลดเวลาในการปรับเปลี่ยนของเครื่องบรรจุภัณฑ์ในอุตสาหกรรมยา", ปีที่พิมพ์ 2018.
- [4] Pawar Gaurav J , Reduction in setup change time of a machine in a bearing manufacturing plant using SMED and ECRS. International Journal of Research ปีที่พิมพ์ 2014.
- [5] Jamer P.womack, Danicl T.Jones, วิทยา สุหฤตดำรง, युพา กลอนกลาง (ผู้แปล), แนวคิด แบบลีน.สำนักพิมพ์ Free Press , 2007.
- [6] วิทยา อินทร์สอน,เทคนิคการเพิ่มผลผลิตโดยลดความสูญเสีย (Online), ปีที่พิมพ์ 2539. Available: www.thailandindustry.com . (30 สิงหาคม 2563).
- [7] Geoff, The Principle of Thermoforming (Online), ปีที่พิมพ์ 2559. Available:<http://www.euroextrusions.com/the-principle-of-thermoforming>. (1 ตุลาคม 2563).
- [8] Nutvipa, เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools) (Online), ปีที่พิมพ์ 29 กรกฎาคม 2559 Available: <http://econs.co.th/index.php> (สืบค้นข้อมูล 5 พฤศจิกายน 2562).

**ดัชนีและการประเมินโครงการก่อสร้างภูมิสถาปัตยกรรมอย่างยั่งยืน
กรณีศึกษา โครงการในรูปแบบของโรงแรม**

Index and Evaluation of Sustainable Landscape Architectural

Construction Projects: A Case Study of Hotel Project

ภูริทัต คุนุรัตน์

สาขาวิชาการออกแบบและวางแผนสิ่งแวดล้อม

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้

E-mail: pooritat@gmail.com

รศ.ดร.อรัญ มิ่งธิพล

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้

E-mail: Orathai@mju.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาดัชนีและวิธีการประเมินโครงการก่อสร้างภูมิสถาปัตยกรรมอย่างยั่งยืนในรูปแบบของโรงแรม จากการทบทวนวรรณกรรม งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และศึกษาการดำเนินงานโครงการก่อสร้างภูมิสถาปัตยกรรมของโครงการ Oxotel hostel และ โครงการ Anantara Koh Yao Yai resort & villas ที่ส่งผลกระทบต่อในมิติด้านเศรษฐกิจ สังคม และสภาวะแวดล้อม โดยพิจารณาดัชนีและวิธีการประเมินร่วมกับนักวิชาการ สถาปนิก นักออกแบบภูมิทัศน์ และผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบภูมิสถาปัตยกรรม ทำให้ได้ดัชนี 5 กลุ่มหลัก 23 ดัชนีย่อย ประกอบด้วย กลุ่มดัชนีด้านความเหมาะสมของพื้นที่ตั้งกับการเลือกดำเนินโครงการ การจัดสรรพื้นที่ใช้ประโยชน์ในโครงการ โดยคำนึงถึงสภาพแวดล้อม การคำนึงถึงผลกระทบทางเศรษฐกิจ การคำนึงถึงผลกระทบทางสังคม และการคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ผลการประเมินโครงการด้วยดัชนีที่พัฒนาขึ้นพบว่า Oxotel hostel เป็นโครงการที่มีความเหมาะสมอยู่ในระดับ Satisfactory (ร้อยละ 86.67) ทั้งในด้านความเหมาะสมของพื้นที่ย่านการค้า ทำให้มองเห็นโอกาสการเติบโตทางเศรษฐกิจในย่านถนนคนเดินวัลลาช โครงการมีการรักษาสภาพแวดล้อมเดิมทั้งรูปแบบอาคารเก่าและพื้นที่สีเขียวที่สอดคล้องกับกฎหมายผังเมือง และข้อบัญญัติท้องถิ่นเทศบาลเมืองเชียงใหม่ ส่วนโครงการ Anantara Koh Yao Yai resort & villas เป็นโครงการก่อสร้างที่พิกขนาดใหญ่ที่อยู่ในเกณฑ์การประเมิน ระดับ Unsatisfactory (ร้อยละ 66.67) เนื่องจากเงื่อนไขของพื้นที่โครงการที่อยู่บนเกาะขนาดใหญ่ มีความยากลำบากในการขนส่งวัสดุและอุปกรณ์ก่อสร้าง ปัญหาปริมาณน้ำที่ไม่เพียงพอ และการออกแบบพื้นที่โครงการที่ขาดความกลมกลืนไปกับสภาพแวดล้อม โดยรอบที่เป็นพื้นที่ธรรมชาติและแหล่งชุมชน สำหรับแนวทางการพัฒนาโครงการก่อสร้างภูมิสถาปัตยกรรมเพื่อให้เกิดความยั่งยืนต้องส่งเสริมการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจฐานรากของชุมชนโดยรอบพื้นที่โครงการเพื่อขับเคลื่อนไปสู่การพัฒนาคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นของคนในพื้นที่ การสร้างความสัมพันธ์กับชุมชนโดยรอบ และสร้างสภาวะแวดล้อมที่สมดุล

คำสำคัญ: ดัชนีและวิธีการประเมิน, โครงการก่อสร้างภูมิสถาปัตยกรรม, การออกแบบอย่างยั่งยืน

ABSTRACT

This research aimed to develop an index and a method for evaluating sustainable landscape architecture construction projects. The research process started from literature review, related research and study the operations of the landscape architecture construction projects of Oxotel hostel and Anantara Koh Yao Yai resort & villas project that affects economy, society and environment. Including the consideration of indexes and assessment methods together with academics, architects, landscape designers and landscape architecture design experts. The results of the study were indices of 5 main groups and 23 sub-indices, consisting of the appropriateness of the project site, allocation of space for use in the project by considering the environment, considering the economic impact, considering the social impact, and considering the surrounding environment. The result of the project evaluation with the developed index found that Oxotel hostel is a satisfactory project (86.67%) in terms of the suitability of the area in the commercial area with potential for economic growth in Wua Lai Walking Street area. The project has preserved the original environment, both old buildings and green spaces that comply with the city planning law and the Chiang Mai Municipality's local ordinances. The Anantara Koh Yao Yai resort & villas project was a large residential construction project that was assessed at the level of Unsatisfactory (66.67%) due to the conditions of the project area on Koh Yao Yai, causing difficulties in transporting construction materials and equipment, insufficient water supply, and lack of harmony with nature and community design. Guidelines for the development of landscape architecture construction projects to achieve sustainability must promote economic development both inside and outside the project area to drive towards improving the quality of life, building relationships with surrounding communities and create a balanced environment.

Keywords: Indexes and assessment methods, landscape architecture project, Sustainable design

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ภูมิสถาปัตยกรรมหรือการออกแบบและวางแผนกายภาพที่นำความรู้ทางศิลปะ ธรรมชาติ วิศวกรรมศาสตร์ เศรษฐศาสตร์ และสังคมวิทยาบูรณาการเพื่อแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับการจัดการพื้นที่ว่างให้เกิดความปลอดภัย ความผาสุกและสวัสดิภาพของมนุษย์ โดยยึดหลักการอยู่ร่วมกันของคน วัฒนธรรม และธรรมชาติ (อรรถน์ เศรษฐบุตร, 2551) ด้วยบทบาทของนักภูมิสถาปนิกที่เข้ามามีบทบาททางสังคมมากขึ้น โดยเฉพาะการมีส่วนร่วมร่วมกับหน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชนส่งเสริมนโยบายด้านการออกแบบสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนหรือการออกแบบภูมิทัศน์เมือง (Urban landscape design) ที่กำลังเป็นที่สนใจในปัจจุบัน กระบวนการออกแบบภูมิสถาปัตยกรรมจึงต้องเข้าใจภูมิทัศน์ วัฒนธรรม และระบบนิเวศที่แตกต่างกันเพื่อแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับการจัดการพื้นที่หลากหลายขนาด ตั้งแต่ระดับเมืองไปจนถึงระดับภายในอาคาร

ปัจจุบัน ปัญหาการออกแบบภูมิสถาปัตยกรรม คือ ความไม่เข้าใจสภาพแวดล้อมของธรรมชาติอย่างแท้จริง รวมไปถึงการออกแบบที่ดำเนินการเฉพาะในส่วนพื้นที่โครงการและกลุ่มอาคารย่อมไม่ได้เป็นการตอบโจทย์ที่แท้จริงด้วยเช่นกันเพราะงานออกแบบภูมิสถาปัตยกรรมต้องครอบคลุมไปถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นโดยรอบพื้นที่โครงการ ทั้งระบบการสัญจรที่ก่อให้เกิดความคล่องตัวของการเชื่อมต่อภายนอกพื้นที่ การออกแบบและ

วางแผนเพื่อป้องกันปัญหาด้านสภาวะแวดล้อมหรือการออกแบบสภาพแวดล้อมที่เป็นแรงจูงใจทางเศรษฐกิจที่สร้างรายได้ให้กับชุมชนในพื้นที่ การประเมินโครงการออกแบบภูมิสถาปัตยกรรมยังไม่ถูกนำมาใช้เพื่อการประเมินผลกระทบทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม โครงการขนาดใหญ่ใช้การประเมินผลกระทบจากโครงการพัฒนาที่มีต่อธรรมชาติ สังคม และสิ่งแวดล้อม (Environmental impact assessment: EIA) และโครงการขนาดเล็กมีเพียงการรายงานผลกระทบสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น (Initial environmental evaluation: IEE) เพื่อเป็นหลักในการพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การประเมินดังกล่าวเป็นการศึกษาผลกระทบทางบวกและทางลบของโครงการ เพื่อวางมาตรการป้องกันและลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้น ดังนั้น ดัชนีและการประเมินโครงการก่อสร้างภูมิสถาปัตยกรรมอย่างยั่งยืน กรณีศึกษา โครงการในรูปแบบของโรงแรม จึงมีความแตกต่างด้วยการประเมินผลกระทบทั้งในมิติของที่ตั้ง การจัดการพื้นที่ ผลกระทบต่อเศรษฐกิจ สังคม และสภาวะแวดล้อม โดยผลที่ได้จากการประเมินพร้อมนำเข้าสู่กระบวนการหาแนวทางการออกแบบภูมิสถาปัตยกรรมที่ยั่งยืนในอนาคต

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาดัชนีและวิธีการประเมินโครงการก่อสร้างภูมิสถาปัตยกรรมอย่างยั่งยืนของโครงการในรูปแบบโรงแรม จากการศึกษาแนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอย่างยั่งยืน และการวิเคราะห์โครงการก่อสร้างทางภูมิสถาปัตยกรรม

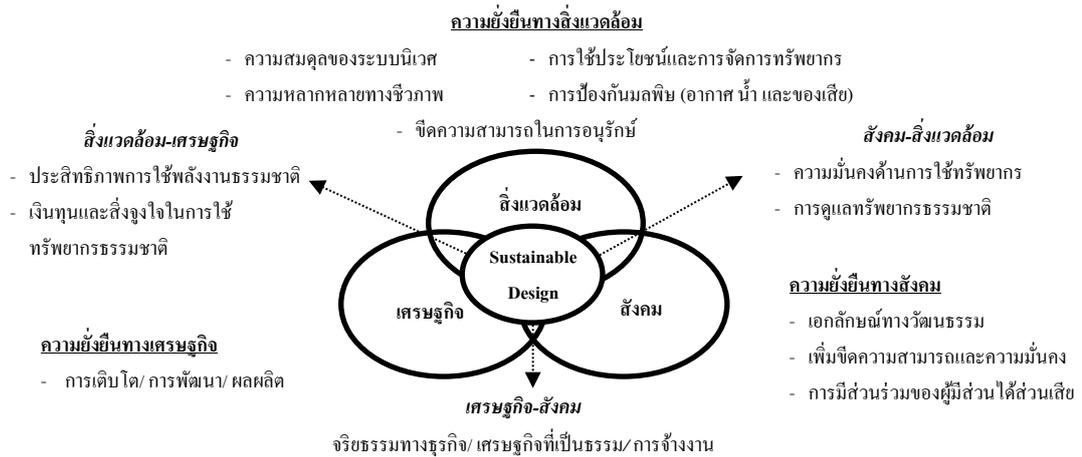
2.2 เพื่อหาแนวทางการออกแบบภูมิสถาปัตยกรรมอย่างยั่งยืนในมิติทางด้านเศรษฐกิจ สังคม และสภาวะแวดล้อมที่มีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 ภูมิสถาปัตยกรรมยั่งยืน เป็นศิลปะการออกแบบสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารให้เอื้อต่อความต้องการของผู้ใช้งาน ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน โดยจะต้องคำนึงถึงความสะดวกสบายต่อการใช้งาน วัสดุในการสร้างหรืออุปกรณ์ต่างๆ จะต้องมีความปลอดภัย และเหมาะสมเข้ากับสิ่งแวดล้อมโดยรอบ การออกแบบภูมิสถาปัตยกรรมนั้นไม่เพียงแต่สร้างสมดุลให้ผู้อยู่อาศัย แต่จะส่งต่อความสัมพันธ์ไปยังระบบเศรษฐกิจ สังคม และสภาพแวดล้อม สิ่งสำคัญที่นักภูมิสถาปัตยกรรมต้องมีความรู้และคำนึงถึงในการออกแบบ นั่นคือความเข้าใจองค์ประกอบของธรรมชาติและการทำงานร่วมกับหลายฝ่ายที่เกี่ยวข้องกับธรรมชาติ (Holling, 1973)

3.2 ภูมิทัศน์ยั่งยืน America society of landscape architect (2018) กล่าวถึงภูมิทัศน์ยั่งยืนว่าเป็นการรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดการมีส่วนร่วมในการพัฒนาชุมชน การฟื้นฟูที่อยู่อาศัยทางนิเวศ และสร้างคุณค่าเชิงเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม Keyes (2006) ภูมิทัศน์ยั่งยืนรวมถึงสภาพแวดล้อมที่น่าดึงดูดใจและใช้ทรัพยากรน้อยที่สุดในการดูแลรักษา โดยเริ่มตั้งแต่การออกแบบที่ใช้งานได้จริง การมีส่วนร่วมของผู้ใช้และผู้ดูแลสถานที่ เป้าหมายของภูมิทัศน์ยั่งยืน แบ่งเป็น 2 ระยะ คือ เป้าหมายระยะสั้นเพื่อลดต้นทุนการดูแลรักษา และเป้าหมายระยะยาวเน้นที่ระบบสามารถอยู่ได้ด้วยตัวเอง มีการใช้ทรัพยากรในการดูแลรักษาในน้อยที่สุด

3.3 การออกแบบอย่างยั่งยืน เป็นกระบวนการที่ผนวกแนวคิดด้านเศรษฐกิจและด้านสิ่งแวดล้อมเข้าไปในขั้นตอนการออกแบบ โดยเป้าหมายหลักของการออกแบบเพื่อให้การบริโภคทรัพยากรธรรมชาติพลังงาน และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยการพิจารณาตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่ขั้นการเกิดผลิตภัณฑ์ จนถูกทำลายหรือนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งแนวคิดนี้จะต้องอาศัยกลยุทธ์ในการพิจารณาการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมไปพร้อมๆ กัน ซึ่งจะส่งผลดีทั้งทางด้านธุรกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อม (ชาติชาย สุภักวินิช, 2553)



ภาพที่ 1 การออกแบบอย่างยั่งยืน

ที่มา: America society of landscape architect (2018)

3.4 ภูมิสถาปัตยกรรมเพื่อการรักษาระบบนิเวศน์สิ่งแวดล้อม เป็นการออกแบบโดยคำนึงถึงความยั่งยืนของธรรมชาติที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดและสร้างสภาพแวดล้อมที่น่าอยู่ มีผลดีต่อสุขภาพของผู้อยู่อาศัยโดยหลักการออกแบบ ได้แก่ 1) อนุรักษ์พลังงาน เพื่อให้ใช้พลังงานเชื้อเพลิงในการอยู่อาศัยให้น้อยที่สุด 2) สอดคล้องกับภูมิอากาศและแหล่งพลังงานธรรมชาติ 3) ใช้ทรัพยากรใหม่ให้น้อยที่สุดและเมื่อหมดอายุการใช้งานสามารถนำเอาทรัพยากรนั้นไปใช้กับที่อื่นได้อีก 4) ให้ความสำคัญกับผู้ใช้ เช่น สุขภาพของผู้อยู่อาศัย และคนงานก่อสร้าง หรือการมีส่วนร่วมในการออกแบบจากผู้ใช้อาคาร และคนในชุมชน และ 5) ให้ความสำคัญกับสถานที่ก่อสร้าง ผลกระทบต่อธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดหากต้องรื้อถอนออกไป ธรรมชาติก็ควรฟื้นฟูได้ในระยะเวลาสั้นๆ (Coaffee, 2008)

4. วิธีดำเนินการวิจัย

ทบทวนแนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานออกแบบภูมิสถาปัตยกรรม เพื่อคัดเลือกดัชนีที่สอดคล้องกับการดำเนินงานในพื้นที่โครงการ Oxotel hostel และ โครงการ Anantara Koh Yao Yai resort & villas ซึ่งเป็นโครงการก่อสร้างภูมิสถาปัตยกรรมที่ส่งผลกระทบต่อทั้งในมิติของเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณา ร่วมกับนักวิชาการ สถาปนิก นักออกแบบภูมิทัศน์ และผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบภูมิสถาปัตยกรรม เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบภูมิสถาปัตยกรรมอย่างยั่งยืน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1 ทบทวนแนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานภูมิสถาปัตยกรรม ได้แก่ ภูมิสถาปัตยกรรมยั่งยืน ภูมิทัศน์ยั่งยืน (Sustainable landscape) และการออกแบบอย่างยั่งยืน (Sustainable design) เป็นต้น

4.2 พิจารณาคัดเลือกจากโครงการในรูปแบบของโรงแรมที่ผู้วิจัยมีส่วนร่วมในการดำเนินงานตั้งแต่เริ่มดำเนินการก่อสร้างจนเสร็จสิ้น ซึ่งมีความแตกต่างของที่ตั้ง ขนาด วัตถุประสงค์ของเจ้าของโครงการ และผลกระทบต่อเศรษฐกิจ สังคม และสภาวะแวดล้อมของชุมชนโดยรอบพื้นที่โครงการ ทั้งนี้ เพื่อให้ได้ดัชนีเชิงพื้นที่ที่สามารถประเมินโครงการก่อสร้างที่มีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ผลการคัดเลือกโครงการ 2 แห่ง คือ 1) Oxotel hostel จังหวัดเชียงใหม่ ขนาดเนื้อที่ 1 ไร่ ดำเนินการในปีพ.ศ.2557 ตั้งอยู่ท่ามกลางพื้นที่เศรษฐกิจหรือย่านการค้าที่สำคัญของเมืองเชียงใหม่และยังอยู่ในเขตย่านอาคารเก่าที่มีความสำคัญทางสถาปัตยกรรมและการอนุรักษ์ และ 2) โครงการ Anantara Koh Yao Yai resort & villas จังหวัดพังงา ดำเนินการในปีพ.ศ.2560 เป็น

โครงการก่อสร้างโรงแรมระดับ 5 ดาว พื้นที่ 120 ไร่ ในเขตพื้นที่ส่งเสริมการท่องเที่ยวของเกาะยาวใหญ่ ที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ธรรมชาติริมชายหาดและล้อมรอบด้วยพื้นที่เกษตรกรรมและชุมชนดั้งเดิม จากนั้น วิเคราะห์โครงการ 2 แห่ง ดังนี้ 1) มิติทางเศรษฐกิจ ด้านการจ้างงาน การขยายตัวของธุรกิจ และเติบโตทางเศรษฐกิจชุมชน 2) มิติทางสังคม ด้านวิถีชีวิตดั้งเดิมของชุมชน การใช้พื้นที่ร่วมกัน การมีส่วนร่วมในการพัฒนาชุมชน และ 3) มิติทางสภาวะแวดล้อม ด้านความกลมกลืนของการสร้างภูมิทัศน์ และผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ สำหรับเหตุผลและความเป็นไปได้ในการใช้โครงการทั้ง 2 แห่ง เพื่อการศึกษาอภิปรายถึงความยั่งยืน เนื่องจากทั้งสองโครงการเป็นโครงการที่สร้างผลกระทบโดยตรงต่อการเติบโตเศรษฐกิจจากรากชุมชน สร้างความกลมกลืนและการอยู่ร่วมกันที่ดีกับชุมชนดั้งเดิม และสร้างสภาพแวดล้อมที่คำนึงถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะโครงการ Anantara Koh Yao Yai resort & villas ที่เกิดความผิดพลาดในการออกแบบภูมิสถาปัตยกรรมที่ผู้วิจัยต้องดำเนินการแก้ไขให้เกิดความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมทั้งในและนอกโครงการ

4.3 การประยุกต์ดัชนีและวิธีการประเมินโครงการออกแบบภูมิสถาปัตยกรรมอย่างยั่งยืน โดยนำดัชนีจากการทบทวนวรรณกรรมและดัชนีที่ได้จากการศึกษาวิเคราะห์โครงการ Oxotel hostel และ โครงการ Anantara Koh Yao Yai resort & villas ที่เกิดผลกระทบจากการก่อสร้างทั้งในมิติของเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม จากนั้นใช้เวทีสานเสวนาร่วมกับนักวิชาการ สถาปนิก นักออกแบบภูมิทัศน์ และผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบภูมิสถาปัตยกรรม เพื่อร่วมกันแสดงความคิดเห็น คัดเลือก และจัดกลุ่มดัชนีเพื่อใช้ประเมินโครงการก่อสร้างภูมิสถาปัตยกรรมอย่างยั่งยืนที่ รวมทั้ง พิจารณากำหนดค่าถ่วงน้ำหนักของกลุ่มดัชนีหลักและดัชนีย่อย (ตารางที่ 1)

สำหรับวิธีการประเมินแต่ละดัชนีได้กำหนดค่าข้อมูลที่แสดงผลเชิงคุณภาพ โดยนำผลจากการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นจริงจากการก่อสร้างโครงการ มาเทียบเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดและค่ามาตรฐานของค่าคะแนนแต่ละดัชนีใน 3 ระดับ ได้แก่ (ชรัยรัชฎ์, 2558)

3	หมายถึง	ผ่านเกณฑ์
2	หมายถึง	ไม่ผ่านเกณฑ์ แต่มีแนวทางที่สอดคล้องมากกว่าร้อยละ 30
1	หมายถึง	ไม่ผ่านเกณฑ์ หรือมีแนวทางที่สอดคล้องน้อยกว่าร้อยละ 30

จากนั้น นำค่าคะแนนที่ได้มาพิจารณาร่วมกับค่าถ่วงน้ำหนักที่กำหนดตามลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย แล้วนำมาปรับฐานคะแนนให้คะแนนเต็มเท่ากับ 100 เพื่อหาระดับความยั่งยืนของโครงการก่อสร้างภูมิสถาปัตยกรรม โดยกำหนดให้อักษรลำดับชั้นการให้คะแนนรวม ดังนี้

S (Satisfactory)	เท่ากับคะแนน ร้อยละ 80-100
U (Unsatisfactory)	เท่ากับคะแนน ร้อยละ 50-79
F (Failed)	เท่ากับคะแนนต่ำกว่า ร้อยละ 50

ตารางที่ 1 คัดนี้สำหรับประเมิน โครงการก่อสร้างภูมิสถาปัตยกรรมอย่างยั่งยืน

ปัจจัยหลัก	ปัจจัยรอง	น้ำหนัก
1. ความเหมาะสมของพื้นที่ตั้งกับการเลือกดำเนินโครงการ	การวิเคราะห์ความเหมาะสมของพื้นที่ที่จะดำเนินโครงการขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่มีความเหมาะสมต่างๆ ดังนี้	15
	1. สภาพภูมิประเทศ ต้องมีความเหมาะสมต่อการปลูกสร้างอาคารโครงการ โดยพื้นที่ที่จะต้องสามารถทำการก่อสร้าง และขนส่งวัสดุอุปกรณ์เข้าสู่พื้นที่โครงการ ได้โดยสะดวก	(2.5)
	2. มีแหล่งน้ำผิวดินและใต้ดิน เพื่อการใช้ประโยชน์ในพื้นที่โครงการ	(3)
	3. การคมนาคม ต้องมีความสะดวกสบาย เข้าถึงง่าย	(2)
	4. การใช้ประโยชน์ที่ดินโดยรอบ สภาพแวดล้อม และการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยรอบที่ตั้งโครงการเหมาะสมต่อวัตถุประสงค์และการใช้ประโยชน์ของพื้นที่โครงการ	(1.5)
	5. ความพร้อมของระบบสาธารณูปโภค จะต้องมียระบบสาธารณูปโภครองรับอย่างเพียงพอ	(2)
	5.1 ระบบไฟฟ้าและความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้า	
	5.2 ระบบน้ำประปา ปริมาณน้ำที่เพียงพอต่อความต้องการ	
	5.3 ระบบระบายน้ำ ทั้งรับระบายน้ำทางธรรมชาติ และโครงสร้างระบบระบายน้ำสาธารณะ	
	5.4 ระบบบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่ระบบระบายน้ำสาธารณะ	
	5.5 การจัดการขยะมูลฝอย	
	6. ความสอดคล้องกับกฎหมายที่เกี่ยวข้อง เช่น กฎหมายผังเมือง และข้อบัญญัติท้องถิ่น	(4)
2. การจัดสรรพื้นที่ใช้ประโยชน์ในโครงการ โดยคำนึงถึงสภาพแวดล้อมในพื้นที่	แนวคิดในการออกแบบโครงการโดยแยกคามปัจจัยทางเลือกในการออกแบบ 4 ปัจจัยหลักดังนี้	25
	1. ทางสัญจรภายในโครงการ การเชื่อมต่อเส้นทางสายหลัก-รองระหว่างภายนอกโครงการ	(5.5)
	2. พื้นที่ว่างและรูปแบบอาคาร พื้นที่เปิดโล่ง พื้นที่สีเขียว และการใช้พื้นที่สร้างกิจกรรมที่หลากหลาย	(6.5)
	3. การใช้ธรรมชาติให้เกิดประโยชน์ในโครงการ ได้แก่ ทิศทางแดด ทิศทางลม และการระบายอากาศ	(5)
	4. การอนุรักษ์พื้นที่สีเขียวเดิมและส่งเสริมให้มีการเพิ่มพื้นที่สีเขียวเพื่อรักษาระบบนิเวศ โดยมีพื้นที่สีเขียวปกคลุมมากกว่าร้อยละ 30 ของพื้นที่ทั้งหมด (รวมพื้นที่ฐานอาคาร)	(8)
3. การคำนึงถึงผลกระทบทางเศรษฐกิจ	ระบบเศรษฐกิจที่เกิดขึ้นกับชุมชนโดยรอบพื้นที่โครงการ การขยายตัวของธุรกิจ การเข้ามาลงทุนของผู้ประกอบการ เศรษฐกิจฐานราก และการจ้างงาน	20
	1. การจ้างงานเกิดขึ้นในช่วงระหว่างงานก่อสร้าง	(5.5)
	2. การส่งเสริมธุรกิจที่เกิดขึ้นจากการลงทุนของพื้นที่โดยรอบ เกิดการขยายตัวเชิงพาณิชย์ รายได้จากเศรษฐกิจท้องถิ่น	(6.5)
	3. การขยายตัวของเศรษฐกิจฐานรากของชุมชน การรวมตัวกันทำมาหากิน ทำมาค้าขาย สร้างรายได้ลดค่าใช้จ่าย	(8)
4. การคำนึงถึงผลกระทบทางสังคม	สร้างบรรยากาศการไม่เบียดเบียน การช่วยเหลือเกื้อกูลและเอื้อโอกาสในการพัฒนาคุณภาพชีวิตของคนในชุมชน	15
	1. วางแผนร่วมกับผู้อยู่อาศัยและผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในพื้นที่ และสนับสนุนจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง	(4)
	2. มีส่วนร่วมในการพัฒนาชุมชน และการบริการสาธารณะที่ช่วยส่งเสริมคุณภาพ วิถีชีวิตของชุมชนในพื้นที่โดยรอบโครงการ	(5.5)
	3. ส่งเสริมความเชื่อมโยงภูมิทัศน์ทางวัฒนธรรมของชุมชน ในรูปแบบของอาคารและสถาปัตยกรรม	(3)
	4. ความปลอดภัยของชุมชนตลอดเส้นทางของโครงการ	(2.5)
5. การคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรอบ	การรักษาสภาพแวดล้อมให้มีสภาพความสมบูรณ์ของระบบทรัพยากรและการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นจากการก่อสร้างโครงการ	25
	1. คุณภาพอากาศ ผลกระทบจากฝุ่นในกิจกรรมการก่อสร้าง ผลกระทบต่อชุมชนรอบข้าง	(4)
	2. เสียง จากกิจกรรมในโครงการโดยเฉพาะการทำฐานราก	(3.5)
	3. แร่งสั่นสะเทือน จากการก่อสร้างฐานการ	(4.5)
	4. การพังทลายของดิน จากโครงสร้างกายภาพเดิมและการปรับถมดินในงานออกแบบ	(2.5)
	5. แหล่งน้ำและการใช้น้ำสำหรับการก่อสร้าง ปริมาณน้ำที่เพียงพอต่อการใช้ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อชุมชน โดยมีพื้นที่รองรับปริมาณน้ำฝนมากกว่าร้อยละ 15 ของปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 2 ปี	(5)
6. การจัดการขยะมูลฝอยจากกิจกรรมการก่อสร้าง เช่น เศษปูน เศษทราย ภาชนะบรรจุภัณฑ์วัสดุอุปกรณ์ก่อสร้างต่างๆ และมูลฝอยจากกิจกรรมของคนงานก่อสร้าง	(5.5)	

5. ผลการวิจัย

5.1 โครงการก่อสร้างภูมิสถาปัตยกรรมที่ส่งเสริมเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม

5.1.1 โครงการ Oxotel hostel จังหวัดเชียงใหม่

โครงการ Oxotel hostel ตั้งอยู่บนถนนวัวลาย ตำบลหายยา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ในเขตชุมชนที่อยู่อาศัยดั้งเดิมที่เป็นแหล่งทำเครื่องเงินที่ใหญ่ที่สุดของจังหวัดเชียงใหม่ และกิจกรรมที่โดดเด่นของย่านถนนวัวลายคือ ถนนคนเดินคืนวันเสาร์ เป็นการรวมตัวซื้อขายสินค้าและอาหารทางวัฒนธรรมล้านนา เน้นไปในกลุ่มสินค้าที่เป็นเครื่องเงินล้านนา สินค้าพื้นเมือง และสินค้าท้องถิ่นที่แสดงออกถึงวัฒนธรรม ภูมิปัญญา และวิถีชีวิตของชาวเชียงใหม่ได้อย่างชัดเจน กลายเป็นย่านเศรษฐกิจที่สำคัญด้านการค้า การท่องเที่ยว และการบริการ

การออกแบบโครงการ Oxotel hostel ในพื้นที่เศรษฐกิจจึงมีแนวคิด 1) ใช้ศักยภาพพื้นที่ย่านการค้า ดึงดูดกลุ่มนักท่องเที่ยวให้เข้ามาพักอาศัยรวมกับการสร้างภูมิทัศน์ให้กลมกลืนกับวิถีชีวิตดั้งเดิมของชุมชน 2) สร้างความต่อเนื่องของถนนคนเดินวัวลายเพื่อดึงโอกาสทางเศรษฐกิจฐานรากของชุมชนในพื้นที่ เนื่องจากการเดินเที่ยวหรือจับจ่ายใช้สอยของนักท่องเที่ยวและผู้เข้ามาใช้บริการจึงกระจุกตัวอยู่เฉพาะบริเวณหัวตลาดที่มีระยะทางประมาณไม่เกิน 500 เมตร ทำให้บริเวณท้ายตลาดไม่ค่อยมีคนเข้ามาใช้บริการ จึงมีแนวคิดสร้างความต่อเนื่องของตลาดตลอดระยะทาง 1 กิโลเมตร โดยใช้การออกแบบพื้นที่โครงการที่เป็นสิ่งดึงดูดให้นักท่องเที่ยวเข้ามาใช้บริการและเกิดความถี่ครั้งของการจับจ่ายใช้สอยบริเวณท้ายตลาด 3) การออกแบบเพื่อรักษาภาพจำเดิมของอาคารภายในย่าน ซึ่งมีสภาพเป็น โกดังเก่า แต่เปลี่ยนฟังก์ชันที่ตอบโจทย์สำหรับคนรุ่นใหม่ เป็นการนำทรัพยากรที่มีอยู่มาใช้ให้เกิดคุณค่าโดยใช้หลักการอนุรักษ์อาคารที่มีรูปแบบทางสถาปัตยกรรมที่โดดเด่น และมีอายุการใช้งานต่อเนื่องยาวนานจนถึงปัจจุบัน



ภาพที่ 2 Oxotel hostel และตลาดถนนคนเดินวัวลาย

สำหรับผลกระทบจากการก่อสร้าง โครงการ Oxotel hostel ที่เห็นได้ชัดคือการเติบโตของธุรกิจ การบริการ เกิดแรงดึงดูดที่ก่อให้เกิดการเพิ่มโอกาสทางเศรษฐกิจ กลุ่มผู้ประกอบการ นักธุรกิจมองเห็นโอกาส และศักยภาพของพื้นที่ที่สามารถสร้างความมั่นคงทางธุรกิจด้านที่พัก ร้านอาหาร ร้านกาแฟ โดยใช้แนวคิดการออกแบบที่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงฟังก์ชันการใช้งานที่หลากหลาย ตอบโจทย์ลูกค้าหรือผู้ใช้บริการภายในย่าน ถนนวัวลาย นอกจากนี้ยังเกิดผลกระทบกับกิจกรรมถนนคนเดินวัวลาย คือ การกระจายกิจกรรมทางการค้า ร้านค้าที่เข้ามาให้บริการในถนนวัวลายมีจำนวนมากขึ้น โดยเฉพาะบริเวณส่วนท้ายของถนนคนเดิน กิจกรรมทางการค้าและการบริการที่เพิ่มขึ้นจึงเป็นแรงดึงดูดให้นักท่องเที่ยวใช้บริการในเส้นทางถนนคนเดินวัวลายตลอด 1 กิโลเมตร และความถี่ครั้งของการใช้จ่ายบริเวณท้ายตลาดเริ่มเห็นได้ชัดเมื่อผู้ใช้บริการเลือกที่จะเดินเที่ยวจากท้ายตลาดไปสู่ต้นทางของถนนคนเดินแทน และมีธุรกิจที่พุดเกิดขึ้นหลายแห่งเพื่อรองรับการเข้าพักของ

นักท่องเที่ยวที่เพิ่มขึ้น รวมทั้งเกิดการเติบโตของเศรษฐกิจฐานรากของชุมชน เกิดการมีส่วนร่วมของชุมชนในการคิดปรับปรุงตลาดถนนคนเดิน การลงมือปฏิบัติ และการรับผลประโยชน์ร่วมกัน

5.1.2 โครงการ Anantara Koh Yao Yai resort & villas จังหวัดพังงา

Anantara Koh Yao Yai resort & villas ขนาดพื้นที่ 120 ไร่ ตั้งอยู่บนเกาะยาวใหญ่ ตำบลเกาะยาวใหญ่ อำเภอเกาะยาว จังหวัดพังงา เดิมเป็นสวนปาล์มก่อนที่จะพัฒนาเป็นรีสอร์ทด้วยการเปิดพื้นที่กว่า 100 ไร่ ให้เป็นส่วนใช้สอยต่างๆ ของโครงการ การวางผังโครงการ ได้คำนึงถึงพื้นที่ธรรมชาติและสภาพแวดล้อมของชุมชน โดยรอบเป็นหลัก แนวคิดการออกแบบมุ่งผลตอบแทนทางเศรษฐกิจเป็นสิ่งสำคัญ โดยเป็นการออกแบบที่คำนึงถึงความคุ้มค่าต่อการลงทุน มีการประเมินจากกลุ่มที่ทำการตลาดกับลูกค้าระดับบนที่มีความสามารถในการใช้บริการห้องพักที่มีราคาสูง และกำหนดอัตราค่าห้องพักที่ 15,000-100,000 บาท ต่อคืน และมีจำนวนห้องพัก 200 ห้อง นอกจากนั้นนักลงทุนต้องการใช้การก่อสร้างที่เน้นเป็นวัสดุคอนกรีต มากถึง 85% จึงส่งผลกระทบต่อ 1) มุมมองด้านภูมิทัศน์ในพื้นที่โครงการที่ไม่ได้มีการออกแบบมาเพื่อให้เกิดความร่มรื่น สวยงาม และเชื่อมโยงกับสภาพแวดล้อมโดยรอบพื้นที่โครงการ การปรับแก้ไขงานด้านภูมิทัศน์จึงเกิดขึ้นขณะที่โครงการดำเนินการก่อสร้างไปแล้วกว่า 60% 2) วัสดุใช้ในการก่อสร้างต้องขนส่งมาจากบนฝั่งจึงเกิดความล่าช้าในการขนส่ง การก่อสร้าง รวมไปถึงงบประมาณที่สูงขึ้น โครงการเปิดตัวไม่ทันเวลาที่กำหนด และไม่สามารถคืนทุนได้ในระยะเวลาที่กำหนดไว้ในแผนธุรกิจ 3) เกิดภาวะขาดแคลนน้ำเพื่อใช้ในพื้นที่ยโครงการ เนื่องจากโครงการมีการจัดการน้ำที่ไม่มีประสิทธิภาพ ปัจจุบันระบบเก็บน้ำของโครงการสามารถเก็บน้ำได้เพียง 20,000 ลิตร ซึ่งจากการคำนวณปริมาณการใช้น้ำทั้งหมดของโครงการเพื่อรองรับผู้ให้บริการเท่ากับ 300,000 ลิตรต่อวัน ทำให้ในช่วงของการดำเนินการก่อสร้างจำเป็นต้องซื้อน้ำจากภายนอกโครงการมากกว่าวันละ 100,000 ลิตรต่อวัน ขณะเดียวกันผลกระทบทางเศรษฐกิจของที่ดินรอบโครงการปรับตัวสูงถึง 10 เท่าตัว ทั้งๆ ที่บริเวณนั้นยังไม่มีเปลี่ยนแปลงอะไรมากมายนัก แต่เนื่องจากประเด็นเรื่องของการ “เก็งกำไร” ทำให้หลายๆ คนพยายามไล่ซื้อที่ดินทำให้ราคาที่ดินปรับตัวสูงขึ้นกว่าระดับที่ควรจะเป็น เช่นเดียวกับ ผลกระทบทางสังคมที่เกิดการจ้างงานในพื้นที่



ภาพที่ 3 พื้นที่โครงการ Anantara Koh Yao Yai resort & villas ที่ใช้วัสดุคอนกรีตมากกว่าร้อยละ 85 ของพื้นที่

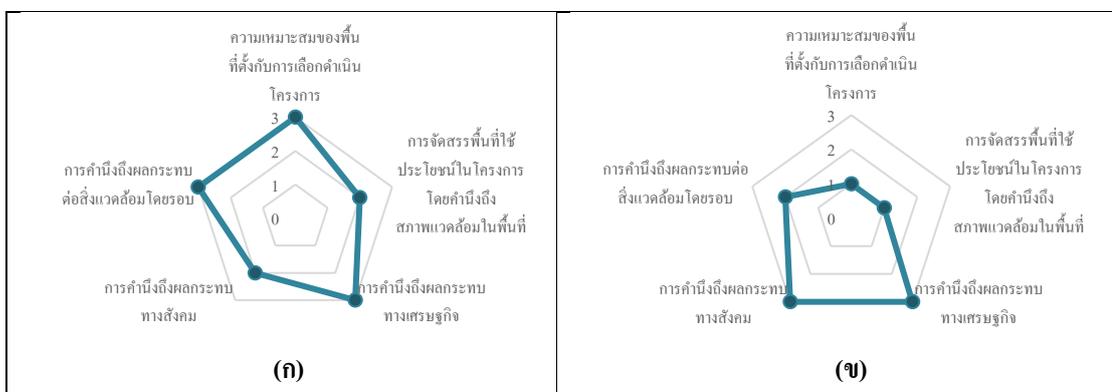


ภาพที่ 4 การปรับปรุงภูมิทัศน์สร้างสภาพแวดล้อมที่กลมกลืนกับธรรมชาติ

5.2 ผลการประเมินด้วยดัชนีและวิธีการประเมินโครงการออกแบบภูมิสถาปัตยกรรมอย่างยั่งยืน

Oxotel hostel เป็นโครงการที่มีความเหมาะสมอยู่ใน ระดับ Satisfactory (ร้อยละ 86.67) ทั้งในด้านของความเหมาะสมของพื้นที่โครงการที่อยู่ในย่านการค้า มองเห็นโอกาสของการเติบโตทางเศรษฐกิจจากนักท่องเที่ยวที่มีความต้องการเข้าพักอาศัย การก่อสร้างโครงการมีการรักษาสภาพแวดล้อมเดิมทั้งรูปแบบอาคารเก่าและพื้นที่สี

เขียว สำหรับการใช้พื้นที่สอดคล้องกับกฎหมายที่เกี่ยวข้อง เช่น กฎหมายผังเมือง และข้อบัญญัติท้องถิ่นเทศบาลเมืองเชียงใหม่ นอกจากนี้การดำเนินโครงการยังคำนึงถึงผลกระทบต่อทางเศรษฐกิจการค้าการลงทุนย่านถนนวิลาชัยที่ต้องการขยายพื้นที่ลาดตลอดเส้นทาง 1 กิโลเมตร เกิดการรวมตัวกันของผู้ประกอบการใหม่และเก่า ในส่วนของการคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรอบ โครงการ Oxotel hostel ได้คำนึงถึงสิ่งแวดล้อมโดยรอบชุมชนซึ่งเป็นที่อยู่อาศัยที่ต้องมีการควบคุมคุณภาพอากาศที่ส่งผลกระทบต่อฝุ่นในกิจกรรมการก่อสร้าง แหล่งน้ำและการใช้น้ำที่ไม่ส่งผลกระทบต่อชุมชน รวมไปถึงการจัดการขยะจากกิจกรรมการก่อสร้าง เป็นต้น นอกจากนี้โครงการได้มีการกำหนดรูปแบบของการก่อสร้างหรือปรับปรุงอาคาร ด้วยวัสดุและสีของอาคารที่สอดคล้องเชื่อมโยงกับอัตลักษณ์ของย่านด้วยข้อกำหนดด้านการอนุรักษ์สถาปัตยกรรมอาคารเก่า รักษารูปแบบทางสถาปัตยกรรมและโครงสร้างเดิมให้ได้มากที่สุด ขณะเดียวกันก็ไม่ขัดต่อโครงสร้างในการใช้งานเดิมของอาคารและการใช้สอยที่เกิดจากการก่อสร้างต้องไม่เป็นต้นเหตุให้เกิดความเสี่ยงต่อการทำลายอาคารเก่า



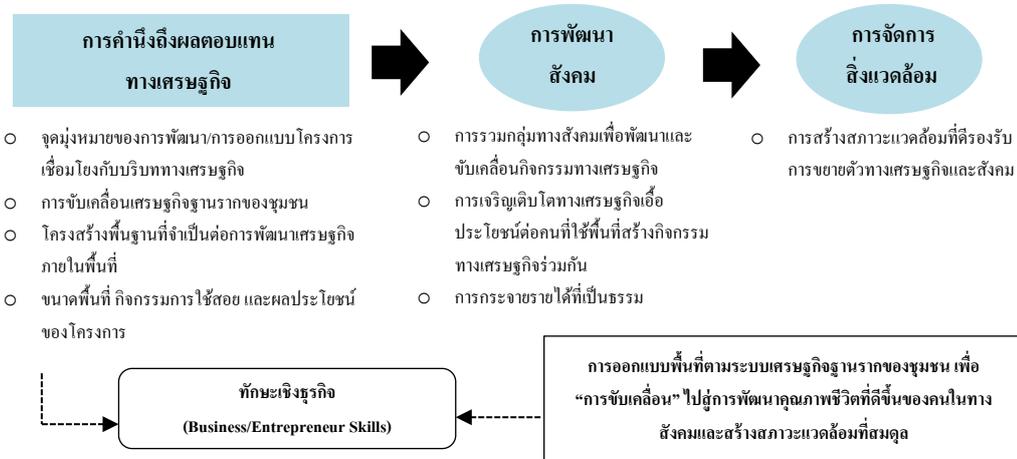
ภาพที่ 5 ผลการประเมิน โครงการ Oxotel hostel (ก) และ Anantara Koh Yao Yai resort & villas (ข)

โครงการ Anantara Koh Yao Yai resort & villas เป็นโครงการก่อสร้างที่พักขนาดใหญ่ที่อยู่ในเกณฑ์การประเมินใน ระดับ Unsatisfactory (ร้อยละ 66.67) เนื่องจากยังคงมีเงื่อนไขและปัญหาของการก่อสร้างในระยะแรกทั้งในเรื่องของความเหมาะสมของที่ตั้งต่อการปลูกสร้างอาคารที่อยู่บนเกาะยาวใหญ่ ซึ่งมีความยากลำบากในการขนส่งวัสดุและอุปกรณ์ก่อสร้างต่างๆ อีกทั้งยังมีปัญหาในเรื่องของปริมาณน้ำที่ไม่เพียงพอต่อการใช้เพื่อการก่อสร้าง รวมไปถึงปริมาณน้ำที่รองรับจำนวนนักท่องเที่ยวตามศักยภาพของจำนวนห้องพักทั้งหมด อีกทั้งการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยรอบเห็นพื้นที่ทางธรรมชาติและพื้นที่เกษตรกรรมของชุมชน ทำให้การออกแบบก่อสร้างในระยะแรกไม่สามารถสร้างความกลมกลืนไปกับสภาพแวดล้อมโดยรอบได้อย่างลงตัว โดยเฉพาะการจัดให้มีพื้นที่ว่างและรูปแบบอาคาร พื้นที่เปิดโล่ง พื้นที่สีเขียว และการใช้พื้นที่สร้างกิจกรรมที่หลากหลาย รวมไปถึงขาดการใช้ธรรมชาติให้เกิดประโยชน์ภายในโครงการ ได้แก่ ทิศทางแดด ทิศทางลม และการอนุรักษ์พื้นที่สีเขียวเดิมและส่งเสริมให้มีการเพิ่มพื้นที่สีเขียวเพื่อรักษาระบบนิเวศ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเป็นโครงการที่มีการก่อสร้างอยู่บนเกาะ ทำให้เกิดการจ้างแรงงานท้องถิ่นจำนวนมาก เป็นการส่งเสริมธุรกิจที่จะเกิดขึ้นจากการลงทุนของพื้นที่โดยรอบ เกิดการขยายตัวเชิงพาณิชย์ รายได้จากเศรษฐกิจท้องถิ่น และหากโครงการเสร็จสมบูรณ์จะสามารถสร้างการขยายตัวของเศรษฐกิจฐานรากของชุมชน การรวมตัวกันทำมาหากิน ทำมาค้าขาย สร้างรายได้ลดค่าใช้จ่ายให้กับคนในพื้นที่ นอกจากนี้ โครงการยังมีส่วนร่วมในการพัฒนาชุมชน และการบริการสาธารณะที่ช่วยส่งเสริมคุณภาพชีวิตของชุมชนในพื้นที่โดยรอบโครงการ เช่น การบริจาคเงินสมทบทุน การบริจาคเงินช่วยเหลือภัยพิบัติ การสร้างโรงเรียน หรือการเป็นอาสาสมัครในด้านต่างๆ เป็นต้น

5.3 แนวทางการการออกแบบภูมิสถาปัตยกรรมอย่างยั่งยืน

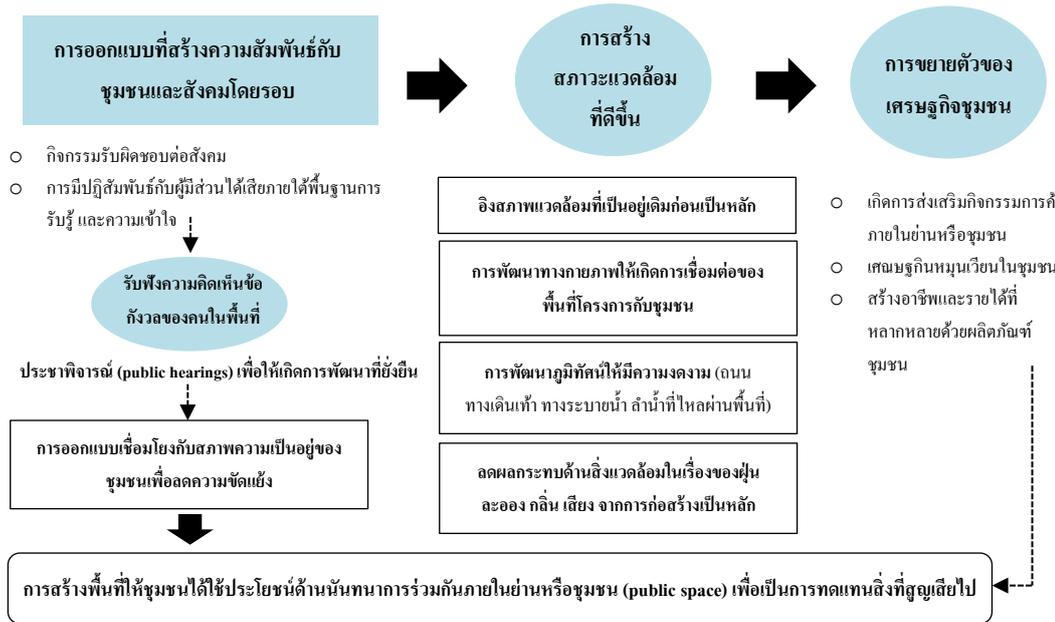
ผลการประเมินในพื้นที่โครงการ Oxotel hostel และ โครงการ Anantara Koh Yao Yai resort & villas ให้ความสอดคล้องกับผลกระทบที่เกิดขึ้นจริงจากการก่อสร้างโครงการ ผลการประเมินสะท้อนถึงผลกระทบจากการออกแบบโครงการที่สามารถนำมาปรับปรุงแก้ไขให้เกิดความยั่งยืน จากการพัฒนาட்சนและวิธีประเมินโครงการออกแบบภูมิสถาปัตยกรรมอย่างยั่งยืน เกิดมุมมองด้านการออกแบบที่ต้องคำนึงถึงเศรษฐกิจ สังคม และสถานะแวดล้อมที่มีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ดังนี้

5.3.1 การออกแบบภูมิสถาปัตยกรรมของโครงการที่ตั้งอยู่ท่ามกลางพื้นที่เศรษฐกิจหรือย่านการค้า การพัฒนาทางเศรษฐกิจและความหลากหลายทางเศรษฐกิจ เป็นองค์ประกอบสำคัญของความยั่งยืนของการออกแบบ เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีความพร้อมทั้งด้านทรัพยากร แรงงาน และการเข้าถึงพื้นที่ การออกแบบโครงการจึงต้องส่งเสริมการพัฒนาเศรษฐกิจฐานรากผ่านการร่วมกลุ่มทางเศรษฐกิจ (ภาพที่ 6)



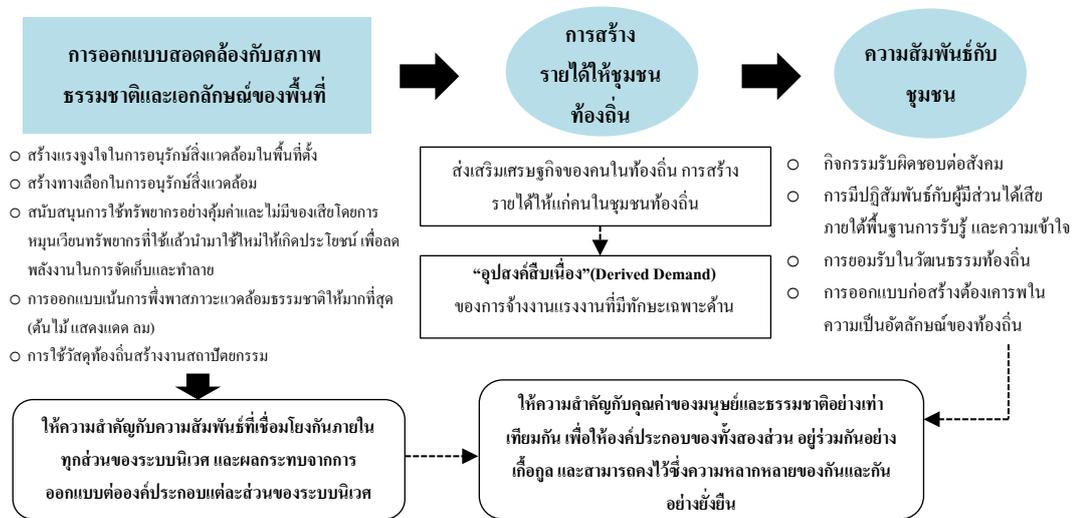
ภาพที่ 6 แนวทางการออกแบบโครงการที่ตั้งอยู่ท่ามกลางพื้นที่เศรษฐกิจหรือย่านการค้า

5.3.3 พื้นที่โครงการที่ล้อมรอบด้วยชุมชน ต้องมองมิติด้านสังคมเป็นหลักเพื่อสร้างความสัมพันธ์กับชุมชนโดยรอบ การเปิดรับความแตกต่างและความยุติธรรมทางสังคม การออกแบบเชื่อมโยงกับสภาพความเป็นอยู่ของชุมชนเพื่อลดความขัดแย้ง โดยเฉพาะผลกระทบต่อชุมชนระหว่างการดำเนินการก่อสร้าง ทั้งเสียงรบกวนจากการก่อสร้าง แรงสั่นสะเทือน ฝุ่นละออง ดังนั้น โครงการที่ล้อมรอบไปด้วยชุมชนจึงจำเป็นต้องมีการลงพื้นที่สำรวจพูดคุยกับชุมชนเพื่อรับฟังความคิดเห็น ข้อกังวลและปัญหา เพื่อนำมาเป็นตัวกำหนดแนวทางการก่อสร้างเพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบที่จะเกิดขึ้น และเป็นการสร้างความมั่นใจให้กับชุมชนว่าข้อกังวลของชุมชนจะไม่เกิดขึ้นหรือได้รับการแก้ไข (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 การออกแบบยั่งยืนของพื้นที่โครงการที่ล้อมรอบไปด้วยชุมชน

5.3.2 การออกแบบภูมิสถาปัตยกรรมของโครงการที่ล้อมรอบไปด้วยทรัพยากรธรรมชาติ ความหลากหลายทางชีวภาพต้องเน้นไปที่การกำหนด พื้นที่รักษา และปกป้องการทำลายและการพัฒนาเปลี่ยนแปลงเพื่อรักษาทรัพยากรดั้งเดิมให้คงอยู่ในสภาวะสมดุล (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 แนวทางการโครงการที่ล้อมรอบไปด้วยทรัพยากรธรรมชาติ

6. อภิปรายผล

ดัชนีและวิธีประเมินโครงการก่อสร้างภูมิสถาปัตยกรรมอย่างยั่งยืน เป็นกระบวนการหนึ่งที่จะช่วยให้ภูมิสถาปนิกเข้าใจในการออกแบบเพื่อสร้างความยั่งยืนทั้งในมิติทางเศรษฐกิจ สังคม และสภาวะแวดล้อม ตามแนวคิด ด้านการออกแบบอย่างยั่งยืน ของ American planning association (2006), Holling (1973), และ Klein et al., (2003) ที่การออกแบบทางภูมิสถาปัตยกรรมต้องสอดคล้องกับกฎทาง เศรษฐกิจ สังคม ตลอดจนการดำรงชีวิตอย่างยั่งยืน เพื่อให้เกิดผลกระทบในทางลบให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ทั้งยังพยายามเชื่อมโยงผู้คนเข้ากับ

สิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติให้มากที่สุด สร้างสภาพแวดล้อมที่นำอยู่ส่งผลดีต่อสุขภาพของผู้อยู่อาศัย ซึ่งมีการออกแบบภูมิสถาปัตยกรรมทำให้เกิดความสมดุลขึ้น 3 ด้าน ได้แก่ สภาพแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม (บุษยา พุทธิอินทร์, 2563) จากผลการประเมินโครงการ Oxotel hostel และ โครงการ Anantara Koh Yao Yai resort & villas ทำให้ทราบถึงผลกระทบจากก่อสร้างทางภูมิสถาปัตยกรรมในด้านต่างๆ ซึ่งสามารถนำมาหาแนวทางการปรับปรุงโครงการให้เกิดความยั่งยืนได้ในอนาคต โดยโครงการ Oxotel hostel ที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ย่านเศรษฐกิจและการท่องเที่ยวสำคัญของจังหวัดเชียงใหม่ และยังเป็นย่านชุมชนดั้งเดิม การปรับปรุงพื้นที่ต้องส่งเสริมการพัฒนาทางเศรษฐกิจทั้งในและนอกพื้นที่โครงการเพื่อการขับเคลื่อนไปสู่การพัฒนาคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น สร้างความสัมพันธ์กับชุมชนโดยรอบ และสร้างสภาวะแวดล้อมที่สมดุล การปรับปรุงฟังก์ชันการใช้งานของอาคารและพื้นที่ส่วนต่างๆ เพื่อการใช้ประโยชน์ในรูปแบบใหม่ และโครงการ Anantara Koh Yao Yai resort & villas ที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ธรรมชาติและแหล่งชุมชนบนเกาะยาวใหญ่ การปรับปรุงต้องคำนึงถึงแนวคิดการออกแบบสิ่งแวดล้อมยึดหลักด้านความเหมาะสมทางสุนทรียภาพที่ก่อให้เกิดสภาพของพื้นที่โครงการมีความสวยงามกลมกลืนกับสถาปัตยกรรมหรือรูปแบบอาคารด้วยการจัดขอบเขตอาณาบริเวณพื้นที่ (Zoning ordering) ที่เหมาะสม

7. ข้อเสนอแนะ

สำหรับการนำดัชนีและวิธีประเมินไปใช้ในการประเมินโครงการก่อสร้างภูมิสถาปัตยกรรมอื่นๆ อาจพิจารณาถึงการเรียงลำดับความสำคัญของดัชนีแต่ละกลุ่ม รวมไปถึงดัชนีย่อยแต่ละตัว เพื่อกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักตามลำดับความสำคัญภายใต้สถานการณ์ สภาวะแวดล้อมและการดำเนินกิจกรรมของพื้นที่โดยรอบ โครงการ เพื่อให้สอดคล้องกับบริบทเฉพาะของพื้นที่และลดผลกระทบต่อเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมโดยรอบโครงการได้อย่างแท้จริง

8. เอกสารอ้างอิง

- ชรัยชัยษฐ์ บวรวิวัฒนะ, (2558). *แนวทางการออกแบบและจัดการพื้นที่สีเขียวภายในมหาวิทยาลัยพายัพ*. ภาคนิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาการออกแบบและวางแผนสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ชาติชาย สุกักวนิช. (2563). *การออกแบบอาคารเพื่อความยั่งยืน (Sustainable design)*. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 4 กรกฎาคม 2564, จาก: <http://blog.thaiccontractors.com/chatchai.html>
- บุษยา พุทธิอินทร์. (2523). *ความเกี่ยวข้องระหว่าง มนุษย์ วัฒนธรรม และธรรมชาติ ในงานภูมิสถาปัตยกรรม*. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 23 เมษายน 2564, จาก: <https://theurbanis.com/environment/11/01/2022/5680>.
- อรรัตน์ เศรษฐบุตร. (2551). *สถาปัตยกรรมสีเขียว: การทำทนายเพื่อความยั่งยืน. วารสารสถาปัตยกรรมของสมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์ วารสารอาษา*, 10(51), 111-131.
- American Planning Association. (2006). *Planning and urban design standards*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Coaffee, J. (2008). Risk, resilience, and environmentally sustainable cities. *Energy Policy*, 36 (12), 4633–4638.
- Holling, C.S. (1973). Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematic*, 14(5), 1-23.
- Keyes, C. L. M. (2006). Social well-being. *Social Psychology Quarterly*, 61(2), 121–140.
- Klein, J.T., Nicholls, R.J., & Thomalla, F. (2003). Resilience to natural hazards: how useful is this concept. *Environmental Hazards*, 5(1-2), 35-45.

ผลการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาต่อความสามารถในการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง งานและพลังงาน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

The Effects of Learning Management by Stem Education on Work and Energy Concept Engineering Desing Ability of Grade 8 Students

สารวัตร คงทัน

ครุศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

E-mail: kongkhongthan@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบความสามารถในการออกแบบเชิงวิศวกรรมเรื่องงานและพลังงาน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่เรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา กลุ่มตัวอย่างนักเรียนนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 จำนวน 34 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 1) แผนการจัดการเรียนรู้ 4 แผน แต่ละแผนใช้เวลา 4 ชั่วโมง 2) แบบวัดความสามารถในการออกแบบเชิงวิศวกรรม จำนวน 2 สถานการณ์ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วย ค่าเฉลี่ย ร้อยละ ความถี่ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบสมมติฐานการวิจัยด้วยการทดสอบ t-test for one sample test และการทดสอบไคสแควร์

ผลการวิจัยพบว่า

1. นักเรียนที่เรียนด้วยการจัดการเรียนรู้สะเต็มศึกษา มีความสามารถในการออกแบบเชิงวิศวกรรมหลังเรียน ($\bar{x}=15.35$ คิดเป็นร้อยละ 77.00) สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70

2. นักเรียนที่เรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 (28 คน คิดเป็นร้อยละ 82.35) มีความสามารถในการออกแบบเชิงวิศวกรรมผ่านเกณฑ์คะแนนร้อยละ 70

คำสำคัญ: การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา, ความสามารถในการออกแบบเชิงวิศวกรรม

ABSTRACT

The purposes of this research were to study and compare engineering design process ability learning management by STEM education on work and energy concepts. The sample consisted of 34 grade 8 students, selected using the cluster random sampling technique. Research instruments included 1) 4 lesson plans of work and energy transformation using the engineering design process base on STEM Education learning management, each for 4 hours of learnings in a week; 2) an engineering design process ability test. The mean, frequency, standard division, and the percentage, were used for analysis; and the t-test for one sample test and the chi-square one - variable case were employed for testing hypotheses. The findings of this research found that:

1. The students' engineering design process ability after learning (\bar{x} = 15.35 or 77%) was higher than the criterion 70 percent

2. Not less than 80 percent of students who study in STEM education (N=28 or 82.35%) have an ability in engineering design passing the criterion 70 percent.

Keywords: learning management by STEM education, engineering design process ability

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

การรับรู้ถึงการเปลี่ยนแปลง และความจำเป็นที่จะพัฒนาทักษะใหม่ๆ ในการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 เป็นการเตรียมความพร้อม เพื่อสะท้อนความเป็นไปได้ในด้านต่าง ๆ ของการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 วิชาแกนหลักจะนำไปสู่กรอบแนวคิด และยุทธศาสตร์ในการจัดการเรียนรู้ ด้านเนื้อหาเชิงสหวิทยาการ (Interdisciplinary) โดยจะทำให้เกิดความเข้าใจในเนื้อหาวิชา และสอดคล้องทักษะแห่งศตวรรษที่ 21 เข้าไปในทุกวิชาแกนหลัก

การพัฒนานักเรียนให้มีความสามารถในการแก้ปัญหาและทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ถือเป็นเป้าหมายหนึ่งของการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ ซึ่งจากสภาพปัญหาดังกล่าว พบว่าการจัดการเรียนการสอนด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นปัจจัยสำคัญของการพัฒนาให้นักเรียนมีความสามารถในการแก้ปัญหา รวมทั้งส่งเสริมให้นักเรียนมีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นผสมผสานที่เป็นทักษะการคิดขั้นบูรณาการ (วรรณทิพา รอดแรงกล้า, 2542: ก) การจัดการเรียนการสอนที่เน้นกระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมเป็นหนึ่งในจัดการเรียนการสอน วิทยาศาสตร์ที่ใช้กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมเป็นแนวทางในการส่งเสริมให้นักเรียนนำ ความรู้ทางวิทยาศาสตร์มาใช้แก้ปัญหาโดยการสร้างสรรค์ผลงานต่างๆ ทั้งนี้กระบวนการ ออกแบบทางวิศวกรรมมีรูปแบบที่หลากหลาย ซึ่งในการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ที่เน้น กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมนี้จะประกอบด้วยขั้นตอน 6 ขั้นตอน คือ ขั้นที่ 1 ขั้นกำหนดปัญหา ขั้นที่ 2 ขั้นรวบรวมข้อมูล ขั้นที่ 3 ขั้นออกแบบและปฏิบัติการ ขั้นที่ 4 ขั้นทดสอบ ขั้นที่ 5 ขั้นปรับปรุงแก้ไข ขั้นที่ 6 ขั้นประเมินผล สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี [สสวท., 2557: 168]

การจัดการเรียนตามแนวคิดสะเต็มศึกษา (STEM Education) เป็นแนวทางการศึกษาที่ได้บูรณาการความรู้ระหว่างศาสตร์วิชาต่าง ๆ เช่น ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ ความรู้ทางด้านเทคโนโลยี ความรู้ทางด้านวิศวกรรม และความรู้ด้านคณิตศาสตร์ รวมเข้าด้วยกัน 1) ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เป็นวิชาที่ว่าด้วยการศึกษาปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในธรรมชาติ โดยอาศัยกระบวนการสืบเสาะทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Inquiry) 2) ความรู้ทางด้านเทคโนโลยี เป็นวิชาที่ว่าด้วยกระบวนการทำงานที่มีการประยุกต์ศาสตร์สาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องมาใช้ในการแก้ปัญหา ปรับปรุงแก้ไข หรือพัฒนาสิ่งต่าง ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการ หรือความจำเป็นของมนุษย์ 3) ความรู้ทางด้านวิศวกรรม เป็นวิชาที่เกี่ยวกับการสร้างสรรค์นวัตกรรม หรือสร้างสิ่งต่าง ๆ เพื่อมาอำนวยความสะดวกของมนุษย์ โดยอาศัยความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และกระบวนการทางเทคโนโลยี มาประยุกต์ใช้สร้างสรรค์ชิ้นงานนั้น ๆ และ 4) ความรู้ด้านคณิตศาสตร์ เป็นวิชาที่ว่าด้วยการศึกษาเกี่ยวกับการคำนวณ หรือวิชาที่เกี่ยวกับการคำนวณ เป็นพื้นฐานสำคัญในการศึกษา และต่อยอดทางวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อให้นักเรียนสามารถพัฒนาด้านการคิดตามกระบวนการวิทยาศาสตร์ ด้านสมรรถนะ ด้านคุณลักษณะอันพึงประสงค์ การคิดแก้ปัญหา และการออกแบบเชิงวิศวกรรมของนักเรียน

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบความสามารถในการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง งานและพลังงาน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่เรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

การจัดการกระบวนการเรียนรู้ของสะเต็มศึกษานำเน้นการแก้ปัญหา โดยผ่านกิจกรรมการเรียนรู้ แบบโครงงานเป็นฐาน หรือ กิจกรรมการเรียนรู้ แบบใช้ปัญหาเป็นฐาน มีหน่วยงานทางการศึกษา ผู้รู้ และนักการศึกษาหลายท่านได้กล่าวถึงแนวคิดและลักษณะของสะเต็มศึกษาไว้ดังนี้

กอนซาเลซ (Gonzalez, 2012: 1) ได้กล่าวถึงแนวคิดและลักษณะของสะเต็มศึกษาไว้ว่า สะเต็มศึกษาเป็นการสอนและการเรียนรู้ ในศาสตร์หลายแขนง คือ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี 15 วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ โดยการจัดกิจกรรมการศึกษาข้ามผ่านหลายระดับชั้น ทั้งใน ห้องเรียนและนอกห้องเรียน

สวทท. (2557: 4-6) ได้กล่าวถึงแนวคิดและลักษณะของสะเต็มศึกษาไว้ว่า การจัดการ เรียนรู้ แบบสะเต็มศึกษาเป็นการเรียนรู้ผ่านโครงงานหรือกิจกรรมที่บูรณาการวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และคณิตศาสตร์ โดยใช้แนวคิดการออกแบบทางวิศวกรรม เพื่อนำความรู้ ไปใช้แก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน รวมถึงการสร้างสรรค์เทคโนโลยีที่เป็นผลผลิตจากการออกแบบเชิงวิศวกรรม ซึ่ง กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรมมีขั้นตอนหลัก ดังนี้ 1) การระบุปัญหา 2) การค้นหาแนวคิดที่ เกี่ยวข้อง 3) การวางแผนและพัฒนา 4) การทดสอบและประเมินผล และ 5) การนำเสนอผลลัพธ์ส่วน การ บูรณาการแบ่งได้เป็น 4 ระดับ ดังนี้

1. การบูรณาการภายในวิชา เป็นการจัดการเรียนรู้ ที่ครูแต่ละวิชาจัดการเรียนรู้ตามรายวิชาของตนเองแยกกัน

2. การบูรณาการแบบพหุวิทยาการ เป็นการจัดการเรียนรู้ ที่มีข้อหลัก (Theme) ของ แต่ละวิชาร่วมกัน แต่การจัดการเรียนการสอนแยกกันในแต่ละรายวิชา ส่งผลให้นักเรียนเกิดการ เชื่อมโยงระหว่างวิชากับสิ่งที่อยู่รอบตัวได้

3. การบูรณาการแบบสหวิทยาการ เป็นการจัดการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงความสัมพันธ์ใน เนื้อหาสาระของ 2 วิชาขึ้นไป เพื่อให้นักเรียนได้เห็นความสอดคล้อง และเชื่อมโยงทักษะของแต่ละวิชา ได้

4. การบูรณาการแบบข้ามสาขาวิชา เป็นการจัดการเรียนรู้ ที่เชื่อมโยง วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ กับชีวิตจริง เพื่อให้นักเรียนได้ประยุกต์ใช้ความรู้ที่ได้จาก การเรียนไปแก้ปัญหาในชีวิตจริง โดยครูผู้สอนจะเป็นผู้ระบุปัญหาแล้วให้นักเรียนระบุปัญหาและ วิธีการแก้ปัญหา

กล่าวโดยสรุปได้ว่า การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดของสะเต็มศึกษา เป็น การบูรณาการความรู้ ในแต่ละสาขาวิชา โดยการบูรณาการแบ่งเป็น 4 ระดับ ได้แก่ การบูรณาการ ภายในวิชา การบูรณาการแบบพหุวิทยาการ การบูรณาการแบบสหวิทยาการ และการบูรณาการแบบ ข้ามสาขาวิชา ส่งเสริมให้นักเรียนได้เห็นความสอดคล้อง และเชื่อมโยงของเนื้อหาในแต่ละสาขาวิชา เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในชีวิตประจำวัน

แนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เป็นกิจกรรมการเรียนรู้ที่ช่วยพัฒนาทักษะ แห่งศตวรรษที่ 21 ตามกรอบแนวคิดของมาตรฐานในการเรียนรู้ (21st Century Standards) ประกอบด้วย ทักษะในการหาความรู้ด้วย

ตนเอง ทักษะการทำงานร่วมกัน ทักษะการคิดวิเคราะห์/แก้ปัญหา ทักษะการพัฒนา นวัตกรรม ทักษะการใช้ชีวิตที่มีค่า จนสร้างสรรค์เกิดเป็นนวัตกรรมใหม่ และมีการพัฒนารูปแบบการเรียนรู้หรือ โมเดลการเรียนรู้ตามการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาไว้ดังนี้

1. ระบุปัญหา ขั้นตอนนี้เริ่มต้นจากการที่ผู้แก้ปัญหาตระหนักถึงสิ่งที่เป็นปัญหาในชีวิตประจำวันและจำเป็นต้องหา วิธีการหรือสร้างสิ่งประดิษฐ์ เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ในการแก้ปัญหาในชีวิตจริงบางครั้ง คำถามหรือปัญหาที่ระบุน่าจะประกอบด้วยปัญหาย่อย ในขั้นตอนของการระบุปัญหาผู้แก้ปัญหามอง พิจารณาปัญหาหรือกิจกรรมย่อยที่ต้องเกิดขึ้นเพื่อประกอบเป็นวิธีการในการแก้ปัญหาใหญ่ด้วย

2. รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา หลังจากผู้แก้ปัญหาคำถามทำความเข้าใจปัญหาและสามารถระบุปัญหาย่อย ขั้นตอนต่อไปคือการรวบรวม ข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาดังกล่าว ในการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องผู้แก้ปัญหามองการ ดำเนินการ ดังนี้

2.1 การรวบรวมข้อมูล คือการสืบค้นว่าเคยมีใครหาวิธีแก้ปัญหาดังกล่าวนี้แล้วหรือไม่ และหากมีเขาแก้ปัญหาอย่างไร และมีข้อเสนอแนะใดบ้าง

2.2 การค้นหาแนวคิด คือ การค้นหาแนวคิดหรือความรู้ทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ หรือเทคโนโลยี ที่เกี่ยวข้องและสามารถประยุกต์ในการแก้ปัญหาได้ ในขั้นตอนนี้ ผู้แก้ปัญหามองพิจารณาแนวคิดหรือความรู้ ทั้งหมดที่สามารถใช้แก้ปัญหาและจดบันทึกแนวคิดไว้เป็นทางเลือก และหลังจากการรวบรวมแนวคิดเหล่านั้น แล้วจึงประเมินแนวคิดเหล่านั้น โดยพิจารณาถึงความเป็นไปได้ ความคุ้มค่า ข้อดีและจุดอ่อน และ ความเหมาะสมกับเงื่อนไขและขอบเขตของปัญหา แล้วจึงเลือกแนวคิดหรือวิธีการที่เหมาะสมที่สุด

3. ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา หลังจากเลือกแนวคิดที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาแล้วขั้นตอนต่อไป คือ การนำความรู้ที่ได้รวบรวมมา ประยุกต์เพื่อออกแบบวิธีการ กำหนดองค์ประกอบของวิธีการหรือผลผลิต ทั้งนี้ ผู้แก้ปัญหามองต้องอ้างอิงถึง ความรู้วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีที่รวบรวมได้ ประเมิน ตัดสินใจเลือกและใช้ความรู้ที่ได้มาใน การสร้างภาพร่างหรือกำหนดเค้าโครงของวิธีการแก้ปัญหา

4. วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา หลังจากที่ได้ออกแบบวิธีการและกำหนดเค้าโครงของวิธีการแก้ปัญหาแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการ พัฒนาด้านแบบ ของสิ่งที่ได้ออกแบบไว้ในขั้นตอนนี้ ผู้แก้ปัญหามองต้องกำหนดขั้นตอนย่อยในการ ทำงานรวมทั้งกำหนดเป้าหมายและระยะเวลาในการดำเนินการแต่ละขั้นตอนย่อยให้ชัดเจน

5. ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ไขปัญหามองหรือแก้ไขชิ้นงาน เป็นขั้นตอนทดสอบและประเมินการใช้งานต้นแบบเพื่อแก้ปัญหา ผลที่ได้จากการทดสอบและประเมิน อาจถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาผลลัพธ์ให้มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหามากขึ้น การทดสอบและ ประเมินผลสามารถเกิดขึ้น ได้หลายครั้งในกระบวนการแก้ปัญหา

6. นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน หลังจากการพัฒนา ปรับปรุงทดสอบและประเมินวิธีการแก้ปัญหาหรือผลลัพธ์จนมีประสิทธิภาพ ตามที่ต้องการแล้ว ผู้แก้ปัญหามองนำเสนอผลลัพธ์ต่อสาธารณชน โดยต้องออกแบบวิธีการนำเสนอข้อมูลที่ เข้าใจง่ายและน่าสนใจ

การออกแบบเชิงวิศวกรรม

สสวท. (2557) กล่าวว่า กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ใช้เป็นฐานในการดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้ในชั้นเรียนประกอบด้วย 5 ขั้นตอน โดยมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังนี้

1. การระบุปัญหา (identify a challenge) ขั้นตอนนี้เริ่มต้นจากการที่ผู้แก้ปัญหามองตระหนักถึงสิ่งที่เป็นปัญหาในชีวิตประจำวันและจำเป็นต้องหาวิธีการหรือสร้างสิ่งประดิษฐ์ (innovation) เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวใน

การแก้ปัญหาในชีวิตจริงบางครั้งคำถามหรือปัญหาที่เราจะบอกประกอบด้วยปัญหาย่อย ในขั้นตอนของการระบุปัญหา ผู้แก้ปัญหาต้องพิจารณาปัญหาหรือกิจกรรมย่อยที่ต้องเกิดขึ้นเพื่อประกอบเป็นวิธีการในการแก้ปัญหาใหญ่ด้วย

2. การค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้อง (explore ideas) หลังจากผู้แก้ปัญหาทำความเข้าใจปัญหาและสามารถระบุปัญหาย่อย ขั้นตอนต่อไปคือการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาดังกล่าว ในการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องผู้แก้ปัญหามักมีการดำเนินการ ดังนี้

2.1 การรวบรวมข้อมูล คือ การสืบค้นว่าเคยมีใครหาวิธีแก้ปัญหาดังกล่าวนี้แล้วหรือไม่ และหากมีเขาแก้ปัญหาอย่างไร และมีข้อเสนอแนะใดบ้าง

2.2 การค้นหาแนวคิด คือ การค้นหาแนวคิดหรือความรู้ทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ หรือเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องและสามารถประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาได้ ในขั้นตอนนี้ ผู้แก้ปัญหามักพิจารณาแนวคิดหรือความรู้ทั้งหมดที่สามารถใช้แก้ปัญหา แล้วจัดบันทึกแนวคิดไว้เป็นทางเลือก และหลังจากการรวบรวมแนวคิดเหล่านั้นแล้วจึงประเมินแนวคิดเหล่านั้น โดยพิจารณาถึงความเป็นไปได้ ความคุ้มค่า ข้อดีและจุดอ่อน และความเหมาะสมกับเงื่อนไขและขอบเขตของปัญหา แล้วจึงเลือกแนวคิดหรือวิธีการที่เหมาะสมที่สุด

3. การวางแผนและพัฒนา (plan and develop) หลังจากเลือกแนวคิดที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาลงขั้นตอนต่อไป คือการวางแผนการดำเนินงาน โดยผู้แก้ปัญหามักต้องกำหนดขั้นตอนย่อยในการทำงานรวมทั้งกำหนดเป้าหมายและระยะเวลาในการดำเนินการแต่ละขั้นตอนย่อยให้ชัดเจน ในขั้นตอนของการพัฒนา ผู้แก้ปัญหามักต้องวาดแบบและพัฒนาค้นแบบ (prototype) ของผลผลิตเพื่อใช้ในการทดสอบแนวคิดที่ใช้ในการแก้ปัญหา

4. การทดสอบและประเมินผล (test and evaluate) เป็นขั้นตอนทดสอบและประเมินการใช้งานต้นแบบเพื่อแก้ปัญหา ผลที่ได้จากการทดสอบและประเมินอาจถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาผลลัพธ์ให้มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหามากขึ้น การทดสอบและประเมินผลสามารถเกิดขึ้นได้หลายครั้งในกระบวนการแก้ปัญหา

5. การนำเสนอผลลัพธ์ (present the solution) หลังจากการพัฒนา ปรับปรุง ทดสอบและประเมินวิธีการแก้ปัญหาหรือผลลัพธ์จนมีประสิทธิภาพตามที่ต้องการแล้ว ผู้แก้ปัญหามักต้องนำเสนอผลลัพธ์นั้นต่อสาธารณชน โดยต้องออกแบบวิธีการนำเสนอข้อมูลที่เข้าใจง่ายและน่าสนใจ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

1.1 งานวิจัยภายในประเทศ

นัสรินทร์ บือชา (2558) ได้ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา (STEM Education) ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ชีววิทยา ความสามารถในการแก้ปัญหาและความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 พบว่า 1) นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็ม นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนชีววิทยา ความสามารถในการแก้ปัญหา หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน 2) นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา (STEM Education) อยู่ในระดับมาก

ศุภพล สืบสำราญ (2563) ได้ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา (STEM Education) ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาชีววิทยาและความสามารถในการแก้ปัญหา ของนักศึกษาคณะ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ พบว่า 1) นักศึกษาที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชา

ชีววิทยา หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน 2) นักศึกษาที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา มีระดับพัฒนาการทางการเรียนวิชาชีววิทยา อยู่ในระดับพัฒนาการ ระดับสูงมาก 3) นักศึกษาที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา มีความสามารถในการแก้ปัญหาทางการเรียนวิชาชีววิทยา หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

กมลฉัตร กล่อมอิม (2560) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการสะเต็มศึกษากับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 พบว่า 1) นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการสะเต็มศึกษามีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน 2) นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการสะเต็มศึกษามีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ

ปิยวรรณ ทศกาญจน์ (2561) ได้ศึกษาการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการสะเต็มศึกษา เรื่องบ้านพยากรณ์ เพื่อส่งเสริมทักษะการเรียนรู้และการสร้างสรรค์ชิ้นงาน สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 พบว่า 1) ความรู้ความเข้าใจวิชาวิทยาศาสตร์ของนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการ สะเต็มศึกษา เรื่องบ้านพยากรณ์ สูงกว่าก่อนเรียน 2) ทักษะการเรียนรู้และการสร้างสรรค์ชิ้นงานของนักเรียนหลังการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการสะเต็มศึกษา เรื่องบ้านพยากรณ์สูงกว่าก่อนเรียน

เสาวภาคย์ พรสุริวงศ์ (2563) ได้ศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาในรายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การเคลื่อนที่ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 พบว่า 1) นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน สูงกว่า ก่อนเรียน 2) นักเรียนมีความสามารถในการแก้ปัญหา สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน 3) นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัด กิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาอยู่ในระดับความพึงพอใจมากที่สุด

1.2 งานวิจัยต่างประเทศ

ลีเลีย (Lilia, 2560) ได้ศึกษาอิทธิพลของการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ที่มีผลต่อนักเรียน และทางเลือกในการทำงานในทางฟิสิกส์ พบว่า 1) นักเรียนมีความสามารถในการคิดแก้ปัญหาในรูปแบบ STEM และนักเรียนมีความสนใจในทางอาชีพทางฟิสิกส์เพิ่มมากขึ้น 2) นักเรียนจากโรงเรียนประจำมีความสามารถในการเชื่อมโยงและมีความสนใจอาชีพทาง STEM และฟิสิกส์ มากกว่าโรงเรียนของรัฐบาล

เบนัม (Benum, 2556) ได้ศึกษาการพัฒนาและประเมินการทำงานเป็นทีมของนักเรียน พบว่า 1) นักเรียนที่ทำงานเป็นทีมสามารถพัฒนาและประเมินกระบวนการในการเรียนรู้เป็นลำดับขั้นตอนได้ 2) นักเรียนสามารถพัฒนาเป้าหมายการเรียนรู้เป็นทีมเพื่อใช้ในอุดมศึกษาได้

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 แบบแผนการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการแบบแผนการทดลองขั้นต้น (Pre-experimental research design) ศึกษา 1 กลุ่ม วัดผลการทดลองก่อนและหลังการจัดกระทำด้วยนวัตกรรมการเรียนรู้

	O ₁	X	O ₂
โดย	O ₁ หมายถึง ทดสอบก่อนการจัดกระทำ/ก่อนเรียน		
	X หมายถึง การจัดกระทำด้วยนวัตกรรมการเรียนรู้		
	O ₂ หมายถึง ทดสอบหลังการจัดกระทำ/หลังเรียน		

4.2 ประชากรและตัวอย่าง

4.2.1 ประชากร

ประชากร คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนขนาดขยายโอกาส สำนักงานเขตพื้นที่ การศึกษาประถมศึกษาบึงกาฬ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 จำนวน 411 คน 12 ห้อง

4.2.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนขยายโอกาสแห่งหนึ่งใน อำเภอปากคาด สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาบึงกาฬ ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 จำนวน 34 คน ที่ได้มาจาก การสุ่มแบบกลุ่ม (cluster random sampling) โดยใช้ห้องเรียนเป็นหน่วยสุ่ม

4.3 เครื่องมือวิจัย

4.3.1 แผนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา จำนวน 4 แผนๆละ 4 ชั่วโมง รวม 16 ชั่วโมง

4.3.2 แบบวัดความสามารถในการออกแบบเชิงวิศวกรรม

4.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง และเก็บรวบรวมข้อมูลแบ่ง ตามลำดับขั้น เป็นก่อนเรียน ระหว่างเรียน หลังเรียน และหลังการทดลองดังนี้

4.4.1 ก่อนจัดกิจกรรมการเรียนรู้

ให้นักเรียนกลุ่มตัวอย่างทดสอบก่อนเรียนด้วยแบบทดสอบวัดความสามารถในการออกแบบเชิง วิศวกรรม แล้วนำแบบทดสอบที่นักเรียนทำแล้วมาตรวจให้คะแนนเป็นคะแนนก่อนเรียน

4.4.2 ระหว่างจัดกิจกรรม

ผู้วิจัยดำเนินการสอนนักเรียนกลุ่มตัวอย่างโดยใช้แผนการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง งาน และพลังงาน ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น จำนวน 4 แผน แผนละ 4 คาบเรียน เป็นเวลา 16 คาบเรียน โดยให้นักเรียน ได้เรียนรู้ และเรียนรู้ปฏิบัติกิจกรรมตามขั้นตอนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ หลังการจัดกิจกรรมแต่ละแผนผู้วิจัยได้ ทำการสัมภาษณ์นักเรียนกลุ่มตัวอย่างที่ยังตอบคำถามไม่ชัดเจน หรือไม่ตอบคำถามเพิ่มเติม

4.4.3 หลังจัดกิจกรรม

ให้นักเรียนกลุ่มตัวอย่างทำแบบทดสอบหลังเรียนด้วยแบบทดสอบความสามารถในการออกแบบ เชิงวิศวกรรม ซึ่งเป็นแบบทดสอบชุดเดียวกับแบบทดสอบก่อนเรียน แล้วนำแบบทดสอบที่นักเรียนทำแล้วมา ตรวจให้คะแนนเป็นคะแนนหลังเรียน

4.4.4 หลังการทดลอง

นำคะแนนทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของแบบทดสอบความสามารถในการออกแบบเชิง วิศวกรรม ไปวิเคราะห์และทดสอบสมมติฐานเป็นลำดับต่อไป

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำคะแนนการทดสอบความสามารถในการออกแบบเชิงวิศวกรรม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่ จัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา หลังเรียนมาหาค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าร้อยละ (%) ความถี่ ของนักเรียนที่ผ่าน เกณฑ์และเปรียบเทียบจำนวนนักเรียนที่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 ของคะแนนเต็มหลังเรียน

5. ผลการวิจัย

1. ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง งานและพลังงาน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่เรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา หลังเรียนกับเกณฑ์ร้อยละ 70

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบความสามารถในการออกแบบเชิงวิศวกรรม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ระหว่างหลังเรียนกับเกณฑ์ ด้วยการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

การทดสอบ	\bar{x}	S.D.	%	df	t	p
หลังเรียน	36.88	6.51	77.00	33	2.951*	.006
เกณฑ์ (70%)	14.00	-	70.00			

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างหลังเรียนกับเกณฑ์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่จัดการเรียนการสอน โดยใช้แนวคิดสะเต็มศึกษา พบว่าจากคะแนนเต็ม 48 คะแนน นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนเท่ากับ 36.88 คิดเป็นร้อยละ 77.00 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70 ด้วยสถิติทีกรณีกกลุ่มเดียว (One Sample t-test) พบว่านักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. ผลการเปรียบเทียบจำนวนนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 มีความสามารถในการออกแบบเชิงวิศวกรรม ผ่านเกณฑ์คะแนนร้อยละ 70 กับนักเรียนที่ไม่ผ่านเกณฑ์คะแนนร้อยละ 70

ตารางที่ 7 ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการออกแบบเชิงวิศวกรรม ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่เรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ผ่านเกณฑ์คะแนนร้อยละ 70

จำนวนตัวอย่างทั้งหมด (คน)	จำนวนนักเรียนที่ผ่าน/ไม่ผ่านเกณฑ์ ร้อยละ 70 (คน)		ค่าสถิติไคสแควร์ (X ²)	p
	ผ่าน	ไม่ผ่าน		
34	28(82.35%)	6(17.65%)	36.88	0.000

จากตารางที่ 7 ผลการทดสอบหลังเรียนจำนวนนักเรียนที่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 มีมากกว่านักเรียนที่ไม่ผ่านเกณฑ์ร้อยละ 70 (H₀) หรือ ไม่ ผลการทดสอบแสดงว่าหลังเรียนนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่เรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 มีความสามารถในการออกแบบเชิงวิศวกรรมผ่านเกณฑ์คะแนนร้อยละ 70

6. อภิปรายผล

จากการวิจัยครั้งนี้พบว่า นักเรียนที่เรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา มีความสามารถในการออกแบบเชิงวิศวกรรม หลังเรียนสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และการวิจัยครั้งนี้พบว่านักเรียนที่เรียนรู้ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 มีความสามารถในการออกแบบเชิงวิศวกรรมผ่านเกณฑ์คะแนนร้อยละ 70 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐาน เนื่องจากจากการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ซึ่งในการจัดกิจกรรมครั้งนี้ นักเรียนได้โจทย์ในการสร้างชิ้นงาน 4 ชิ้น ประกอบด้วย 1)สร้างอุปกรณ์ช่วยยกของ 2)สร้างอุปกรณ์ช่วยเคลื่อนย้ายสิ่งของโดยใช้หลักการของเครื่องกลอย่าง

ง่าย 3) สร้างแบบจำลองวงจรไฟฟ้าให้ใช้พลังงานในการเคลื่อนที่น้อยที่สุด 4) แหล่งกำเนิดไฟฟ้าแล้วนำไฟฟ้าที่ได้ต่อเข้ากับหลอดไฟ (4 แผนการจัดการเรียนรู้ แผนละ 1 ชั่วโมง) ซึ่งก่อนที่นักเรียนจะสร้างชิ้นงานแต่ละชิ้นนักเรียนได้รับการท้าทายด้วยการคิดหาวิธีการดำเนินการแก้ปัญหาที่สอดคล้องกับชีวิตประจำวันที่เกี่ยวข้องประเด็นที่ศึกษา ผ่านการคิดค้นหาวิธีการหรือแนวทางที่หลากหลายภายใต้กรอบเงื่อนไขของสถานการณ์ปัญหาที่เกิดขึ้น (กำหนดชิ้น) ผ่านการค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องและวิเคราะห์หาวิธีการที่เหมาะสมในการการแก้ไขปัญหาหรือการได้มาซึ่งชิ้นงานที่ต้องการ เมื่อนักเรียนได้เลือกวิธีการที่เหมาะสมที่จะนำมาแก้ปัญหาร่วมกัน จากนั้นได้ทำการวางแผนและพัฒนาสิ่งของเครื่องใช้ร่วมกันในงานวิจัยครั้งนี้แต่ละกลุ่มมีนักเรียนที่มีความสามารถในเชิงช่างเป็นผู้นำซึ่งส่วนใหญ่เป็นนักเรียนชายคอยกระตุ้นหรืออธิบายเกี่ยวกับวัสดุ อุปกรณ์ การทำงานของชิ้นงานที่จะเกิดขึ้น เมื่อได้สร้างชิ้นงานหรือสิ่งของเครื่องใช้แล้วจึงนำไปทดสอบถ้ามีข้อบกพร่องแล้วได้หาทางในการปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้สิ่งของเครื่องใช้ที่ต้องการนั้นทำงานอย่างมีประสิทธิภาพกระบวนการในขั้นนี้นักเรียนช่วยกันแก้ไขชิ้นงานอย่างกระตือรือร้นเพื่อให้ชิ้นงานของกลุ่มตนเองมีความแข็งแรงและทำงานได้ดีขึ้น ดังนั้นในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมจะช่วยให้นักเรียนได้ใช้องค์ความรู้จากหลายศาสตร์ เช่น วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยี หรือศาสตร์อื่น ๆ โดยนักเรียนได้ฝึกฝนการสื่อสารแนวคิดของตนเองให้ผู้อื่นเข้าใจ และคิดเชิงสังเคราะห์จากสถานการณ์ที่พบเห็นเพื่อนำมารวบรวมสังเคราะห์ข้อมูลจนได้แนวทางในการแก้ปัญหาหรือจนได้สิ่งของเครื่องใช้ที่ต้องการ กระบวนการดังกล่าวช่วยให้นักเรียนแต่ละคนสามารถมีความคิดที่แปลกใหม่ หลากหลาย สร้างสรรค์ และไม่ซ้ำแบบใคร โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อถึงขั้นตอนการเลือกวิธีการแก้ปัญหานักเรียนสามารถเลือกแนวทางที่เหมาะสม พร้อมสามารถออกแบบชิ้นงานมีความสร้างสรรค์แปลกใหม่ ไม่ซ้ำแบบกับงานคนอื่นมีความคิดสร้างสรรค์เป็นของตนเอง ทั้งรูปแบบชิ้นงาน วัสดุที่เลือกนำมาใช้ การทดสอบชิ้นงานเมื่อพบเจอปัญหาในการสร้างชิ้นงาน นักเรียนมีความพยายาม และมีความกระตือรือร้นที่จะแก้ไขปัญหให้ได้ จนชิ้นงานสามารถสร้างออกมาได้ตรงตามแบบที่ได้ออกแบบ และสามารถใช้แก้ปัญหได้จริง

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

7.1.1 ในการนำการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ไปใช้ในการประกอบการจัดการเรียนการสอน ควรกำหนดสถานการณ์ที่ใกล้ตัวและเป็นปัญหาในชุมชนของนักเรียน เพื่อที่ผู้เรียนจะได้เกิดความสนใจและตระหนักถึงปัญหารอบตัว และจะได้ทำความเข้าใจได้โดยง่ายในการค้นหาคำตอบในการแก้ปัญหา

7.1.2 ในการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาทุกครั้ง ครูผู้สอนควรวางแผนและจัดเตรียมอุปกรณ์ให้พร้อมและเพียงพอสำหรับนักเรียนนักการเลือกวัสดุอุปกรณ์ที่จะนำมาสร้างชิ้นงาน และเป็นอุปกรณ์ที่สามารถหาได้ในท้องถิ่น เพื่อให้ผู้เรียนสามารถหาอุปกรณ์มาสร้างชิ้นงานเพื่อแก้ปัญหในชีวิตประจำวันได้หลังการเรียนรู้

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

7.2.1 ควรมีการศึกษาผลของกระบวนการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมต่อความสามารถในการแก้ไขปัญหาอย่างสร้างสรรค์ (Creative Problem Solving) เนื่องจากในแต่ละขั้นตอนนักเรียนได้ฝึกการคิดสร้างสรรค์และทักษะการแก้ปัญหของผู้เรียนแต่ละบุคคล ตลอดจนได้สิ่งของเครื่องใช้หรือวิธีการที่ต้องการ

7.2.2 ควรมีการศึกษาผู้เรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา ที่มีผลต่อทักษะด้านอื่น ๆ เช่น ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะการคิดวิจารณ์ ทักษะการสร้างนวัตกรรม ทักษะการคิดวิเคราะห์ เพื่อส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดทักษะในด้านต่างๆ ที่มีความหลากหลาย

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.พัทธวัน นาใจแก้ว ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้เป็นไปได้ด้วยดี ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือ ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องพร้อมข้อเสนอแนะ

9. เอกสารอ้างอิง

- กมลฉัตร กล่อมอ้อม. (2560). การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่เรียนด้วยการ จัดการเรียนรู้อย่างบูรณาการสะเต็มศึกษากับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4. วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาหลักสูตรและการสอน มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.
- คนุพล สืบสำราญ. (2563). ผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา (STEM Education) ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาชีววิทยาและความสามารถในการแก้ปัญหา ของ นักศึกษาคู สาขาวิชาวิทยาศาสตร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ.
- นัสรินทร์ บือชา. (2558). ผลการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา (STEM Education) ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ชีววิทยา ความสามารถในการแก้ปัญหาและความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตร มหาบัณฑิต สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ปิยวรรณ ทศกาญจน์. (2561). การจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการสะเต็มศึกษา เรื่องบ้านพยากรณ์ เพื่อส่งเสริมทักษะการเรียนรู้และการสร้างสรรค์ชิ้นงาน สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1. วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาหลักสูตรและการสอน มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.
- ศิริเพ็ญ กิจระจำง. (2562). Results of Learning Experiences Emphasizing on Engineering Design Towards Science Process Skills and Creativity Skills of Pre-School Children. วารสารวิทยาการจัดการปริทัศน์, 2(2), ก
- Bloom, B. A. (1956). **Taxonomy of educational objective handbook I: Cognitive domain**. New York: David McKay.
- Bruner, L. S. (1969). **The process of education**. Massachusetts: Hayward University Press Cambridge.
- Gonzalez, H. B. & Kuenzi, J. J. (2012). **Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Education: A Primer**. Washington, DC: Congressional Research Service.
- Good, C. V. (1973). **Dictionary of education**. New York: McGraw Hill Book.

**การวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการประกอบกิจการของศูนย์การค้า
และโรงแรมขนาดใหญ่ในพื้นที่เมืองพัทยา กรณีศึกษา : ศูนย์การค้าเทอร์มินอล 21
พัทยาและโรงแรมแกรนด์ เซนเตอร์ พอยต์ พัทยา**

**Analysis on Greenhouse Gas Emissions of Shopping Centers and Hotels in
Pattaya Case Studies of : Terminal 21 Pattaya Shopping Mall and The Grande
Center Point Pattaya Hotel**

สุรียา แก้วเขียว

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

E-mail: Suriya.kaewk@ku.th

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุชีลา พลเรือง

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

E-mail: fengslpo@ku.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กรในธุรกิจศูนย์การค้าและโรงแรมขนาดใหญ่ในพื้นที่เมืองพัทยาในปี 2562-2564 กรณีศึกษา: ศูนย์การค้าเทอร์มินอล 21 พัทยา และ โรงแรม แกรนด์ เซนเตอร์ พอยต์ พัทยา ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของศูนย์การค้าเทอร์มินอล 21 พัทยา ในปี 2562-2564 มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในช่วง 9,289.59 - 16,433.44 tCO₂e โดยปี 2562 มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด เท่ากับ 16,433.44 tCO₂e และกิจกรรมที่ส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุดเกิดจากกิจกรรมการใช้ไฟฟ้า ซึ่งอยู่ในขอบเขตที่ 2 มีค่าการปลดปล่อยเท่ากับ 15,139.00 tCO₂e คิดเป็นสัดส่วน 92.12% และปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงแรมแกรนด์ เซนเตอร์ พอยต์ พัทยาในปี 2562-2564 มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ในช่วง 2,155.41 - 3,608.55 tCO₂e โดยปี 2562 มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด เท่ากับ 3,608.55 tCO₂e และกิจกรรมที่ส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุดเกิดจากกิจกรรมการใช้ไฟฟ้า ซึ่งอยู่ในขอบเขตที่ 2 มีค่าการปลดปล่อยเท่ากับ 3,465.11 tCO₂e คิดเป็นสัดส่วน 96.02%

คำสำคัญ: การปล่อยก๊าซเรือนกระจก, โรงแรม, ศูนย์การค้า

ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate the greenhouse gas emissions of organization in shopping center and hotel business in Pattaya city area during 2019-2021. Case study: The Terminal 21 Pattaya Shopping Center, and Grande Center Point Pattaya Hotel. The greenhouse gas emissions of Terminal 21 Pattaya Shopping Center during 2019-2021 were 9,289.59 to 16,433.44 tCO₂e. The highest emission was in 2019 (16,433.44 tCO₂e). The activity that affected the maximum greenhouse gas emissions in 2019 was power consumption (scope 2), where the emission was 15,139.00 tCO₂e and was contributed to 92.12% of the total emission. The greenhouse gas emissions of Grande Center Point Pattaya Hotel during 2019-2021 were 2,155.41 - 3,608.55 tCO₂e. The highest emission was in 2019 (3,608.55 tCO₂e). The activity that affected the maximum greenhouse gas emissions in 2019 was also power consumption (scope 2), where the emission was 3,465.11 tCO₂e and was contributed to 96.02% of the total emission.

Keywords: greenhouse gas emissions, hotels, shopping centers

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ประเทศไทยมีแนวโน้มการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มสูงขึ้นจากกิจกรรมการพัฒนาประเทศ จากข้อมูลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปี 2559 มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 354,357.61 GgCO₂e โดยภาคเศรษฐกิจที่มีสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือ ภาคพลังงาน มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 253,895.61 GgCO₂e รองลงมาคือ ภาคเกษตร ภาคกระบวนการทางอุตสาหกรรม และของเสีย (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2564) ประกอบกับการจัดลำดับขององค์กร Germanwatch ระบุว่าประเทศไทยเป็นประเทศ 1 ใน 10 ที่มีความเสี่ยงสูงต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระยะยาว (GermanWatch, 2021) และในพ.ศ. 2559-2578 กรมอุตุนิยมวิทยาคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของศูนย์ภูมิอากาศว่าประเทศไทยมีอุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้นและมีอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยมากกว่า 35 °C ในช่วงฤดูร้อน ปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ยเพิ่มมากขึ้น และจำนวนวันฝนตกในช่วงฤดูฝนและการกระจายตัวของฝนเพิ่มขึ้น ทำให้ส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำในแหล่งน้ำและมีภาวะเสี่ยงต่อการเกิดภัยแล้งและอุทกภัยในบางพื้นที่ ซึ่งกระทบต่อการจัดการน้ำของประเทศในภาคส่วนต่างๆ เช่น ภาคเกษตร และภาคเมือง ศูนย์การค้าและโรงแรม ซึ่งมีจำนวนมากในประเทศไทยเนื่องจากอุตสาหกรรมท่องเที่ยวและบริการถือเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมหลักที่เป็นตัวขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศในปี พ.ศ. 2560 การท่องเที่ยวภายในประเทศขยายตัวเฉลี่ย 7.49% ต่อปี จำนวนผู้เยี่ยมชมขยายตัว 8.30% เพิ่มขึ้นจากปีที่ผ่านมา ซึ่งขยายตัว 6.48% (สำนักงานปลัดกระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา, 2560) โดยกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในศูนย์การค้าและโรงแรมเหล่านี้มีส่วนทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจก ทั้งการใช้ทรัพยากร เช่น การใช้พลังงาน การใช้น้ำประปา การก่อให้เกิดของเสีย เช่น น้ำเสีย ขยะ ซึ่งมีทั้งการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงและทางอ้อม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร ในการวิเคราะห์ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของศูนย์การค้าและโรงแรมขนาดใหญ่ในพื้นที่เมืองพัทยา ซึ่งเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญในประเทศไทย และธุรกิจโรงแรมเป็นธุรกิจหนึ่งที่มีการใช้พลังงานเป็นจำนวนมาก เนื่องจากมีการให้บริการตลอด 24 hr โดยในการศึกษาครั้งนี้ จัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกให้กับกลุ่มธุรกิจศูนย์การค้าและโรงแรมต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) เพื่อประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กรในธุรกิจศูนย์การค้าขนาดใหญ่ในพื้นที่เมืองพัทยา กรณีศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ ศูนย์การค้าเทอร์มินอล 21 พัทยา

(2) เพื่อประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขององค์กรในธุรกิจโรงแรมขนาดใหญ่ในพื้นที่เมืองพัทยา กรณีศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ โรงแรม แกรนด์ เซนเตอร์ พอยต์ พัทยา

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พงษ์ชัย (2557) ศึกษาการกำหนดแนวทางการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรสำหรับโรงแรมขนาดกลาง และขนาดเล็กในประเทศไทย โดยใช้การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรตามแนวทางขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) จากการศึกษาพบว่า ปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์โดยรวมเฉลี่ยจากโรงแรมขนาดกลางและขนาดเล็ก ในปี 2556 มีค่าเท่ากับ 553 tCO₂e พิจารณาคาร์บอนฟุตพริ้นท์มาตรฐานเฉลี่ยต่อหนึ่งห้องพัก 18.81 kgCO₂e/room-night ต่อพื้นที่ ห้องพัก 221.16 kgCO₂e/m² และต่อจำนวนผู้เข้าพัก 11.65 kgCO₂e/person และพบว่า กิจกรรมที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด ในโรงแรมขนาดกลางและขนาดเล็กคือกิจกรรมการใช้ไฟฟ้า เฉลี่ยเท่ากับ 465 tCO₂e (83.60 %) และอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดตามลำดับคือ จากการใช้ เครื่องปรับอากาศ 60.09% จากเครื่องทำน้ำร้อน 17.64% จากอุปกรณ์แสงสว่าง 15.05 % และอื่นๆ 7.22%

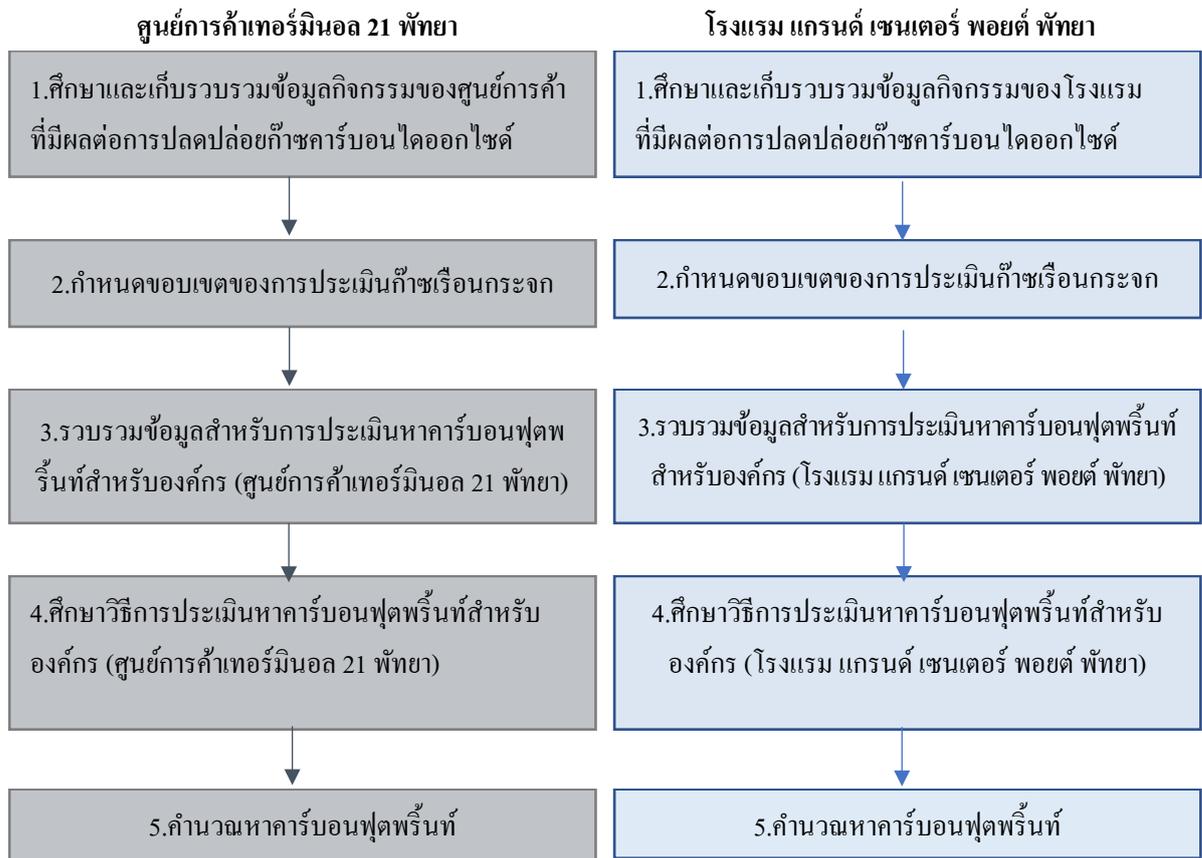
นุริน (2562) ศึกษาการประเมินและมาตรการเชิงวิศวกรรม เพื่อลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของโรงแรมขนาดใหญ่ มีจำนวนห้องพัก 242 ห้อง ตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานคร ซึ่งจำแนกกิจกรรมที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจก เป็น 3 ประเภท ได้แก่ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง ทางอ้อม (ไฟฟ้า) และทางอ้อมอื่น ๆ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกรวม 3 ประเภท 3,592.40 tCO₂e หรือเท่ากับ 34.47 kgCO₂e/room โดยการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นแหล่งสำคัญที่สุดในการสร้างก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 3,067.93 tCO₂e คิดเป็น 85.40% และเพื่อลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงแรม จึงได้ดำเนินมาตรการทั้งหมด 2 ด้าน คือ การควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ของระบบปรับอากาศ ให้เหมาะสมกับความต้องการในการทำความเย็น และการปรับเปลี่ยนหลอดไฟเป็นรุ่นที่ประหยัดพลังงาน (LED) และควบคุมการใช้งานระบบแสงสว่าง

ณัฐวดี (2562) ศึกษาการลดก๊าซเรือนกระจกจากการอนุรักษ์พลังงานและการจัดการขยะมูลฝอยของอาคาร : กรณีศึกษาอาคารศูนย์การค้า โดยใช้การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร เพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากมาตรการอนุรักษ์พลังงาน และการจัดการขยะมูลฝอย จากการศึกษาพบว่ากิจกรรมหลักที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกในทุกอาคารคือการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยปริมาณการใช้พลังงานมีความสอดคล้องกับขนาดของพื้นที่ กลุ่มอาคารประเภท ก พบว่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขอบเขตที่ 1 อยู่ในช่วง 14.20 ถึง 1,434.10 tCO₂e/y ขอบเขตที่ 2 อยู่ในช่วง 3,235.07 ถึง 19,489.82 tCO₂e/y และขอบเขตที่ 3 อยู่ในช่วง 1,178.67 ถึง 18,637.72 tCO₂e/y กลุ่มอาคารประเภท ข พบว่ามีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขอบเขตที่ 1 อยู่ในช่วง 5.93 ถึง 201.62 tCO₂e/y ขอบเขตที่ 2 อยู่ในช่วง 793.15 ถึง 1,503.08 tCO₂e/y และขอบเขตที่ 3 อยู่ในช่วง 351.05 ถึง 666.55 tCO₂e/y

4. วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัย

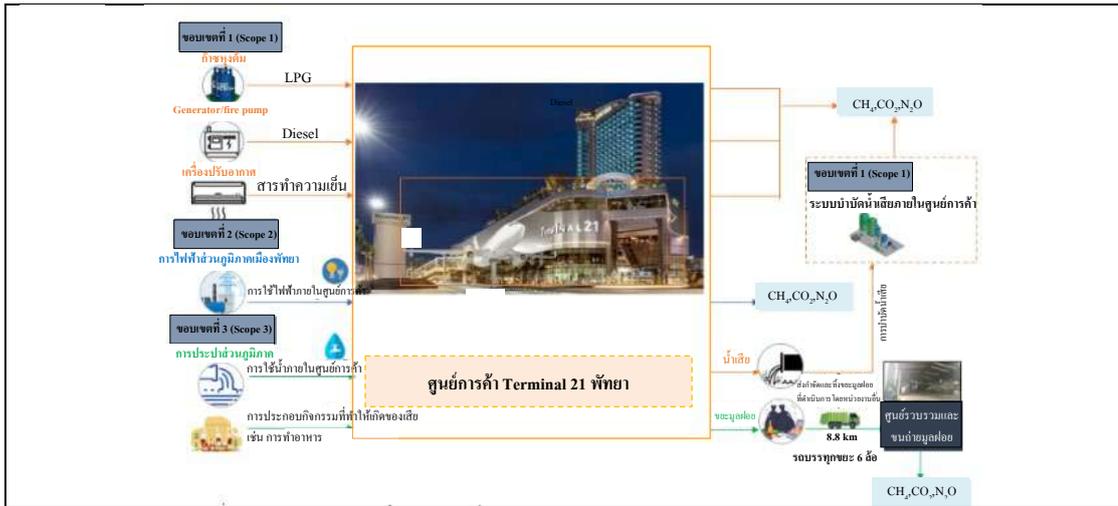
การประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของงานวิจัยในครั้งนี้ แบ่งการประเมินออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ การศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของศูนย์การค้าเทอร์มินอล 21 พัทยาและ โรงแรม แกรนด์ เซนเตอร์ พอยต์ พัทยา ปี 2562-2564 โดยมีขั้นตอนการวิจัยแสดงดัง แผนภาพที่ 1



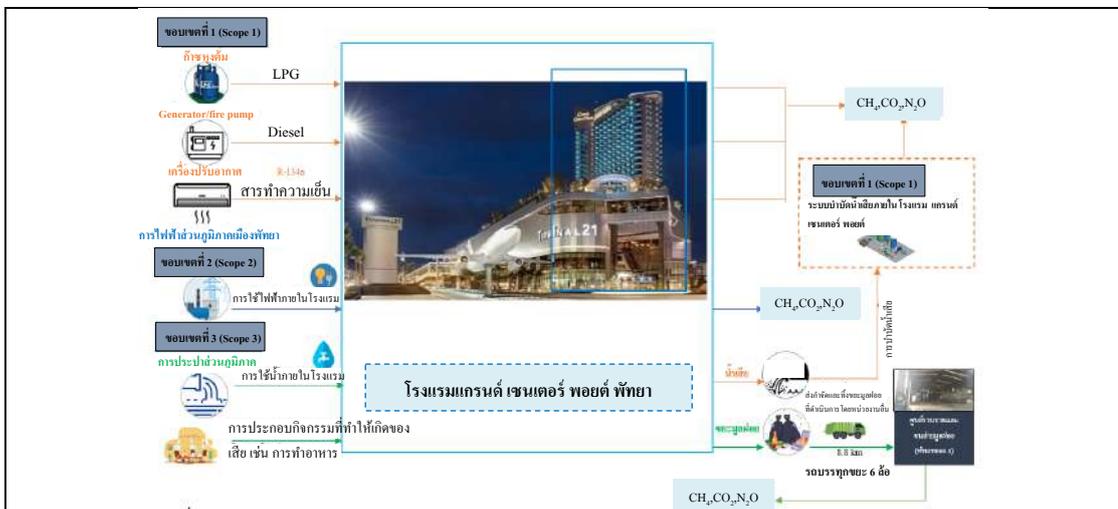
แผนภาพที่ 1 แสดงแผนภาพการดำเนินงาน

5.การกำหนดขอบเขตการศึกษากิจกรรมและการเก็บรวบรวมข้อมูลที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ขอบเขต	กิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	แหล่งที่มาข้อมูล
ขอบเขตที่ 1	การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจาก Generator (Diesel)	บันทึกของศูนย์การค้าและ โรงแรม
	การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการหุงต้ม (LPG)	บันทึกของศูนย์การค้าและ โรงแรม
	การรั่วไหลของสารทำความเย็นจากเครื่องปรับอากาศ	บันทึกของศูนย์การค้าและ โรงแรม
	การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบบำบัดน้ำเสีย (ปลดปล่อยโดยตรงสู่บรรยากาศ) ที่องค์กรเป็นผู้ดำเนินการ	บันทึกของศูนย์การค้าและ โรงแรม
ขอบเขตที่ 2	การซื้อไฟฟ้าของ โรงแรม	บันทึกของศูนย์การค้าและ โรงแรม
ขอบเขตที่ 3	การซื้อน้ำประปาของ โรงแรม	บันทึกของศูนย์การค้าและ โรงแรม
	การส่งกำจัดและทิ้งขยะมูลฝอย ที่ดำเนินการโดยหน่วยงานอื่น	บันทึกของศูนย์การค้าและ โรงแรม



แผนภาพที่ 2 แสดง flow chart ขอบเขตการศึกษาของศูนย์การค้า Terminal 21 พัทธยา



แผนภาพที่ 3 แสดง flow chart ขอบเขตการศึกษาของโรงแรมแกรนด์ เซนเตอร์ พอยต์ พัทธยา

ตารางที่ 1 วิธีการคำนวณกิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของศูนย์การค้าเทอร์มินอล 21 พัทธยาและ โรงแรมแกรนด์ เซนเตอร์ พอยต์ พัทธยา

ขอบเขต	กิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Activity data)(A)	ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) (B)	อ้างอิง (Emission Factor)	วิธีการคำนวณ (Activity data x Emission Factor) (A x B)
1	1.1 การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจาก Generator (Diesel), Fire pump	2.7078 kgCO ₂ eq/litre	IPCC Vol. 2 table 2. 2, DEDE	ปริมาณเชื้อเพลิงจาก Generator (Diesel), Fire pump x 2.7078 kgCO ₂ eq/litre
	1.2 การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการหุงต้ม (LPG)	3.1134 kgCO ₂ eq/kg	IPCC Vol. 2 table 2. 2, DEDE LPG 1 litre = 0.54 kg	ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการหุงต้ม (LPG) x 3.1134 kgCO ₂ eq/kg
	1.3 การรั่วไหลของสารทำความเย็นจากเครื่องปรับอากาศ	1,300kgCO ₂ eq/kg	IPCC 2013, AR5	ปริมาณสารทำความเย็น (R134a) x 1,300 kgCO ₂ eq/kg

ขอบเขต	กิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Activity data)(A)	ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) (B)	อ้างอิง (Emission Factor)	วิธีการคำนวณ (Activity data x Emission Factor)(A x B)
1 1.4	การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบบำบัดน้ำเสีย (ปลดปล่อยโดยตรงสู่บรรยากาศ) ที่องค์กรเป็นผู้ดำเนินการ	Reference IPCC (2006)	-	$\text{Emission} = \sum_{i,j} (U_i \times T_{ij} \times EF_j) \times (\text{TOW} - S) - R$ $\text{N}_2\text{O Emission} = N_{\text{eff}} \times EF_{\text{eff}} \times 44/28$ Reference IPCC (2006)
2 2.1	การใช้ไฟฟ้า	0.4999 kgCO ₂ eq/kWh	Thai National LCI Database, TIIS- MTEC- NSTDA (with TGO electricity 2016-2018)	ปริมาณการใช้ไฟฟ้า x 0.4999 kgCO ₂ eq/kWh
3 3.1	การใช้น้ำประปา	0.5410 kgCO ₂ eq/m ³	Thai National LCI Database, TIIS-MTEC- NSTDA (with TGO electricity 2016-2018)	ปริมาณการใช้น้ำประปา x 0.5410 kgCO ₂ eq/m ³
3.2	การจัดการขยะมูลฝอย จากศูนย์รวบรวมและขนถ่ายขยะไปยังศูนย์การคัดแอมินอล 21 พัทยา (No load)	0.4273 kgCO ₂ eq / km	คำนวณจาก Thai National LCI Database, TIIS-MTEC- NSTDA (with TGO electricity 2016-2018) โดยพิจารณาจากภาระบรรทุกเฉลี่ยจริง	จำนวนรอบการขนส่ง (trips/month) x ระยะทาง (km) x 0.4273 kgCO ₂ eq /km
	จากศูนย์การคัดแอมินอล 21 พัทยาไปยัง ศูนย์รวบรวมและขนถ่ายขยะ (มีน้ำหนักบรรทุก)	0.0920 kgCO ₂ eq /ton-km	คำนวณจาก Thai National LCI Database, TIIS-MTEC- NSTDA (with TGO electricity 2016-2018) โดยพิจารณาจากภาระบรรทุกเฉลี่ยจริง	น้ำหนักบรรทุก (ton/trips) x จำนวนรอบการขนส่ง (trips/month) x ระยะทาง (km) x 0.0920 kgCO ₂ eq / ton -km

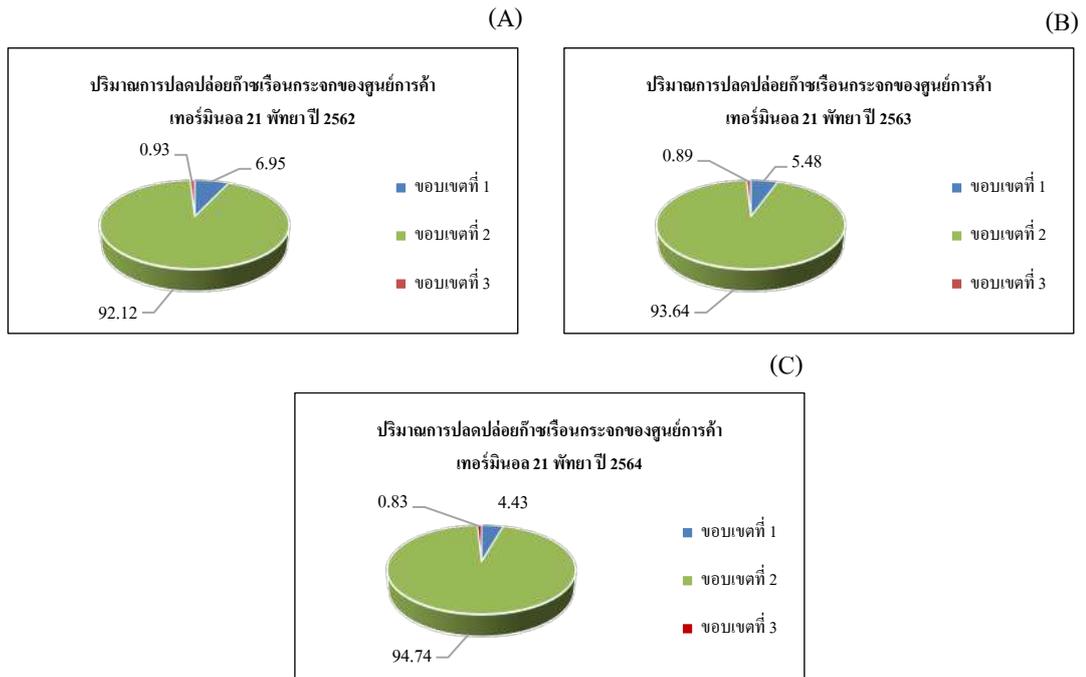
6. ผลการวิจัย

1.การประเมินก๊าซเรือนกระจกจากศูนย์การคัดแอมินอล 21 พัทยา ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากศูนย์การคัดแอมินอล 21 พัทยา ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของศูนย์การคัดแอมินอล 21 พัทยา ในปี 2562-2564 มีค่าเท่ากับ 16,433.44 tCO₂e, 11,549.01 tCO₂e และ 9,289.59 tCO₂e ตามลำดับ โดยค่าก๊าซเรือนกระจกของศูนย์การคัดแอมินอล 21 พัทยา ในช่วง 9,289.59 -16,433.44 tCO₂e เมื่อพิจารณาค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของศูนย์การคัดแอมินอล 21 พัทยา ในปี 2562-2564 ปี 2562 มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุดเท่ากับ 16,433.44 tCO₂e และกิจกรรมที่ส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุดเกิดจากกิจกรรมการใช้ไฟฟ้า ซึ่งอยู่ในขอบเขตที่ 2 มีค่าการปลดปล่อยเท่ากับ 15,139.00 tCO₂e คิดเป็นสัดส่วน 92.12% รองลงมาเกิดจาก

กิจกรรมการหุงต้ม ซึ่งอยู่ในขอบเขตที่ 1 มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 1,135.83 tCO₂e คิดเป็นสัดส่วน 6.91% แสดงดัง แผนภาพที่ 4

ตารางที่ 2 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของศูนย์การค้าเทอร์มินอล 21 พัทยา ในปี 2562-2564

ขอบเขต	กิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	2562		2563		2564	
		tCO ₂ eq	%	tCO ₂ eq	%	tCO ₂ eq	%
1	การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจาก Generator (Diesel) ,Fire pump	1.41	0.01	1.76	0.02	4.44	0.05
	การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการหุงต้ม (LPG)	1,135.83	6.91	628.81	5.44	405.80	4.36
	การรั่วไหลของสารทำความเย็นจากเครื่องปรับอากาศ	-	0	-	0	-	0
	การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบบำบัดน้ำเสีย (ปลดปล่อยโดยตรงสู่บรรยากาศ) ที่องค์กรเป็นผู้ดำเนินการ	4.13	0.03	1.77	0.02	0.99	0.01
รวมขอบเขตที่ 1		1,141.37	6.95	632.35	5.48	411.23	4.43
2	การใช้ไฟฟ้าจากอุปกรณ์ต่างๆ (ไม่รวมไฟฟ้าในการเดินระบบบำบัดน้ำเสีย)	14,899.73	90.67	10,614.23	91.91	8,632.80	92.93
	การใช้ไฟฟ้าในการเดินระบบบำบัดน้ำเสีย	239.27	1.46	199.76	1.73	168.24	1.81
รวมขอบเขตที่ 2		15,139.00	92.12	10,813.99	93.64	8,801.04	94.74
3	การใช้น้ำประปา	149.96	0.91	100.23	0.87	75.40	0.81
	การจัดการขยะมูลฝอย	3.11	0.02	2.44	0.02	1.93	0.02
รวมขอบเขตที่ 3		153.07	0.93	102.67	0.89	77.33	0.83
รวม		16,433.44	100.00	11,549.01	100.00	9,289.59	100.00



แผนภาพที่ 4 กราฟแสดงสัดส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของศูนย์การค้าเทอร์มินอล 21 พัทยาปี 2562 (A),ปี 2563 (B) และปี 2564 (C)

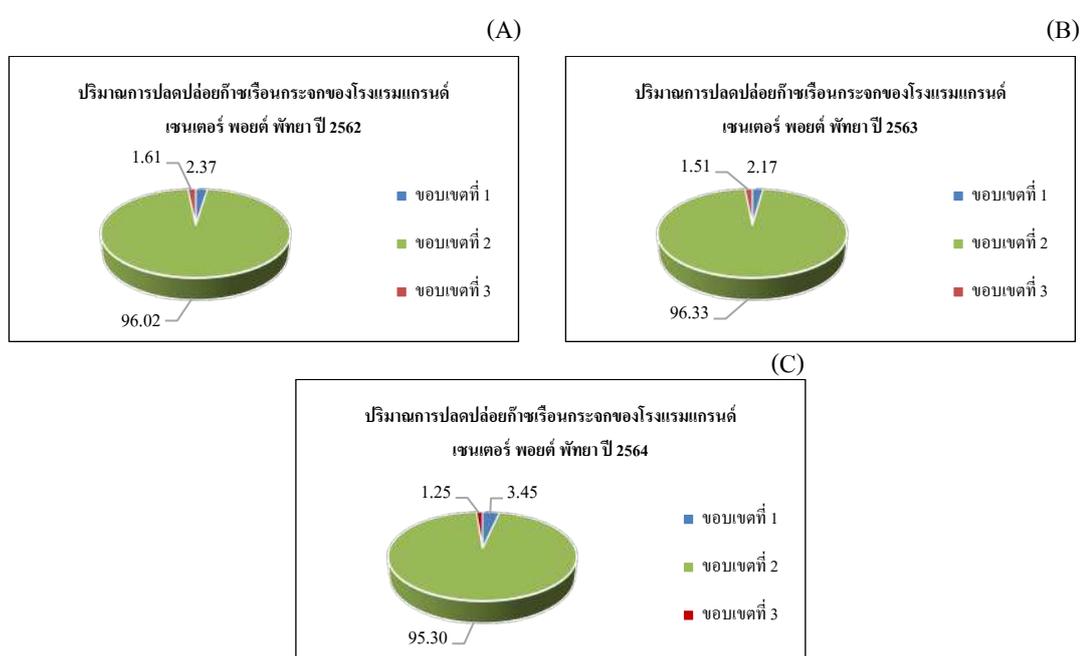
การประเมินก๊าซเรือนกระจกจากโรงแรมแกรนด์ เซนเตอร์ พอยต์ พัทยา

ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงแรมแกรนด์ เซนเตอร์ พอยต์ พัทยาในปี 2562-2564 มีค่าเท่ากับ 3,608.55 tCO₂e, 2,454.83 tCO₂e และ 2,155.41 tCO₂e ตามลำดับ โดยค่าก๊าซเรือนกระจกของศูนย์การค้าอยู่ในช่วง 2,155.41 - 3,608.55 tCO₂e จากการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงแรมแกรนด์ เซนเตอร์ พอยต์ พัทยา ในปี 2562-2564 พบว่าปี 2562 มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด เท่ากับ 3,608.55 tCO₂e และกิจกรรมที่ส่งผลต่อการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุดเกิดจากกิจกรรมการใช้ไฟฟ้า ซึ่งอยู่ในขอบเขตที่ 2 มีค่าการปลดปล่อยเท่ากับ 3,465.11 tCO₂e คิดเป็นสัดส่วน 96.02% รองลงมาเกิดจากกิจกรรมการหุงต้ม ซึ่งอยู่ในขอบเขตที่ 1 มีค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 82.19 tCO₂e คิดเป็นสัดส่วน 2.28% แสดงดังแผนภาพที่ 5

ตารางที่ 3 ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงแรมแกรนด์ เซนเตอร์ พอยต์ พัทยา ในปี 2562-2564

ขอบเขต	กิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	2562		2563		2564	
		tCO ₂ eq	%	tCO ₂ eq	%	tCO ₂ eq	%
1	การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจาก Generator (Diesel) ,Fire pump	2.82	0.08	3.20	0.13	4.44	0.21
	การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการหุงต้ม (LPG)	82.19	2.28	49.32	2.01	68.74	3.19
	การรั่วไหลของสารทำความเย็นจากเครื่องปรับอากาศ	-	0	-	0	-	0
	การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบบำบัดน้ำเสีย (ปลดปล่อยโดยตรงสู่บรรยากาศ) ที่องค์กรเป็นผู้ดำเนินการ	0.50	0.01	0.65	0.03	1.24	0.06
รวมขอบเขตที่ 1		85.51	2.37	53.16	2.17	74.42	3.45

ขอบเขต	กิจกรรมการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	2562		2563		2564	
		tCO ₂ eq	%	tCO ₂ eq	%	tCO ₂ eq	%
2	การใช้ไฟฟ้าจากอุปกรณ์ต่างๆ (ไม่รวมไฟฟ้าในการเดินระบบบำบัดน้ำเสีย)	3,346.24	92.73	2,292.97	93.41	2,015.88	93.53
	การใช้ไฟฟ้าในการเดินระบบบำบัดน้ำเสีย	118.87	3.29	71.64	2.92	38.20	1.77
รวมขอบเขตที่ 2		3,465.11	96.02	2,364.62	96.33	2,054.08	95.30
3	การใช้น้ำประปา	55.21	1.53	34.50	1.41	24.42	1.13
	การจัดการขยะมูลฝอย	2.72	0.08	2.55	0.10	2.49	0.12
รวมขอบเขตที่ 3		57.93	1.61	37.05	1.51	26.91	1.25
รวม		3,608.55	100.00	2,454.83	100.00	2,155.41	100.00



แผนภาพที่ 5 กราฟแสดงสัดส่วนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโรงแรมแกรนด์ เซนเตอร์ พอยด์ พัทยาปี 2562 (A),ปี 2563 (B) และปี 2564 (C)

7. อภิปรายผล

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลปี 2562-2564 ของศูนย์การค้าและ โรงแรมแกรนด์ เซนเตอร์ พอยด์ พัทยา พบว่าปี 2562 มีการใช้ไฟฟ้าในปริมาณสูงสุด เนื่องจากมีปริมาณผู้ใช้บริการเป็นจำนวนมากที่สุด และมีแนวโน้มลดลง โดยตั้งแต่เดือนเมษายนปี 2563 เป็นต้นมาเริ่มมีการระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา และจากนโยบายควบคุมการระบาดของโรค ได้มีมาตรการหยุดการดำเนินกิจการของศูนย์การค้าชั่วคราว ทางศูนย์การค้าหยุดดำเนินการเพื่อปฏิบัติตามนโยบาย ทำให้ในช่วงดังกล่าวไม่มีผู้ใช้บริการ มีการใช้ไฟฟ้าลดลง และส่งผลให้การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีแนวโน้มลดลง แต่ในปี 2564 สถานะการเริ่มดีขึ้น เริ่มมีการผ่อนปรนจากสถานการณ์โควิด และล่าสุดได้มีการเปิดดำเนินการปกติ คาดว่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเสนอมาตรการและแนวทางที่สามารถช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของศูนย์การค้าและ โรงแรม โดยแบ่งเป็นมาตรการด้านพลังงาน เช่น หาแหล่งพลังงานทดแทนมาตรการด้านการจัดการของเสีย

ลดการเกิดของเสียให้เหลือน้อยที่สุด โดยทำให้ปริมาณขยะมูลฝอยที่จะต้องนำไปกำจัดเหลือน้อยที่สุด และสามารถนำมูลฝอยมาใช้ประโยชน์ได้

8. ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาของงานวิจัยในครั้งนี้และงานวิจัยที่นำมาเปรียบเทียบส่วนใหญ่พบว่าก๊าซเรือนกระจกส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมการใช้ไฟฟ้า หากมีการศึกษาในอนาคต ควรมีการประเมินเพิ่มเติมและลงรายละเอียดของกิจกรรมการใช้ไฟฟ้า ในการใช้งานอุปกรณ์แต่ละชนิดว่าส่งผลต่อการเกิดก๊าซปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นสัดส่วนมากน้อยเท่าไร ทำให้ได้ข้อมูลที่มีความละเอียด และเป็นผลประโยชน์ต่อการวิจัยได้มากขึ้น โดยผลการศึกษาอาจนำไปเป็นฐานข้อมูลสำหรับการศึกษากการใช้พลังงานในอาคารศูนย์การค้า และ โรงแรมต่อไป

9. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์การค้าเทอร์มินอล 21 พัทยาและ โรงแรมแกรนด์ เซนเตอร์ พอยต์ พัทยาที่ให้ข้อมูลสำหรับการประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจก และขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำปรึกษา เพื่อการดำเนินงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

10. เอกสารอ้างอิง

- พงษ์ชัย พงษ์สวัสดิ์. (2557). *การกำหนดแนวทางการลดคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร สำหรับโรงแรมขนาดกลาง และขนาดเล็กในประเทศไทย โดยใช้การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรตามแนวทางขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน)*. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- นุรีน ทรงศิริ. (2562). *การประเมินและมาตรการเชิงวิศวกรรม เพื่อลดปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของ โรงแรมขนาดใหญ่*. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ณัฐวดี ปลื้มชิงชัย. (2562). *การลดก๊าซเรือนกระจกจากการอนุรักษ์พลังงานและการจัดการขยะมูลฝอยของอาคาร : กรณีศึกษาอาคารศูนย์การค้า*. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต,จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักงานปลัดกระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา. (2560). *รายงานสถิติการท่องเที่ยวประเทศไทย*. กรุงเทพมหานคร.
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). (2565). *ข้อกำหนดในการคำนวณและรายงานคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร*. กรุงเทพมหานคร.
- IPCC. (2019) . *2019 Refinement to the 2006 Ipcc Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. 2019 Refinement to the 2006 Ipcc Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
- GermanWatch. (2559). *ดัชนีความเสี่ยงด้านสภาพภูมิอากาศทั่วโลก 2560: ใครได้รับผลกระทบมากที่สุดจากสภาพอากาศแบบสุดขั้ว สถานการณ์ความสูญเสียที่เกี่ยวกับสภาพอากาศ* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 13 กรกฎาคม 2566,จาก : <https://thaipublica.org/2021/04/complex-world-prasart01>.
- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2564). *การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 13 กรกฎาคม 2566,จาก : <https://climate.onep.go.th/th/topic/database/ghg-inventory/>.

**ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการควบคุมงานก่อสร้าง
ของบริษัทที่ปรึกษาควบคุมงาน**
**Factors affecting construction supervision efficiency
 of a construction supervision consulting company.**

นายนิคม ชัยสุนทรโยธิน

E-mail: nikom_c@team.co.th

ผศ. ดร.วรานนท์ คงสง

ดร.ธีรเดช สนองทวีพร

ดร.ชัยวัฒน์ ภู่วรกุลชัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการควบคุมงานก่อสร้างของบริษัทที่ปรึกษาควบคุมงาน กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นวิศวกรของบริษัทที่ปรึกษาที่ปฏิบัติงานควบคุมงานก่อสร้างในโครงการของหน่วยงานภาครัฐ จำนวน 78 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเป็นแบบสอบถาม สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ดัชนีความสำคัญสัมพัทธ์ และการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ ผลการวิจัยนี้พบว่า ระดับผลกระทบต่อประสิทธิภาพการควบคุมงานก่อสร้างในระดับมากที่สุด ด้านคุณภาพ คือ การตรวจสอบและควบคุมผลงานของผู้รับจ้าง ด้านเวลา คือสถานะทางการเงินของผู้รับจ้าง จำนวนและคุณภาพแรงงาน ส่วนด้านต้นทุน ปัจจัยส่วนใหญ่มีระดับผลกระทบมาก ลำดับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพควบคุมงาน ด้านคุณภาพ ลำดับที่ 1 คือการตรวจสอบและควบคุมผลงานของผู้รับจ้าง ลำดับที่ 2 คือ ผู้บริหารของผู้รับจ้าง ด้านเวลา ลำดับที่ 1 คือจำนวนและคุณภาพแรงงาน ลำดับที่ 2 คือสถานะทางการเงินของผู้รับจ้างและด้านต้นทุน ลำดับที่ 1 คือ สถานะทางการเงินของผู้รับจ้าง ลำดับที่ 2 คือ ผู้บริหารของผู้รับจ้าง ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลกับประสิทธิภาพการควบคุมงาน ระดับการศึกษาของวิศวกรที่ปรึกษา มีความสัมพันธ์กับ ผู้บริหารโครงการของผู้ว่าจ้าง ทั้ง 3 ด้านคือด้านคุณภาพ ด้านเวลาและด้านต้นทุน ส่วนประสบการณ์ควบคุมงานของวิศวกรที่ปรึกษา มีความสัมพันธ์ กับ ศักยภาพผู้รับจ้าง ในด้านต้นทุน

คำสำคัญ: การควบคุมงานก่อสร้าง / บริษัทที่ปรึกษาควบคุมงาน

ABSTRACT

This research has the objective to study the factors affecting construction supervision efficiency of a construction supervision consulting company. The sample group used in this study consisted of 78 engineers from a consulting company that supervise construction work in government agency projects. The research instrument was a questionnaire. Statistics used in data analysis include percentages, averages, relative importance index and

correlation analysis. The results of this research found that the highest level of impact on the efficiency of construction control is the quality aspect, which is the inspection and control of the contractor's work. The time aspect is the financial status of the contractor and the number and quality of workers. In terms of cost, most factors have a high degree of impact. The order of factors that affect the efficiency of controlling work in terms of quality. Number 1 is the inspection and control of the work of the contractor. Number 2 is the contractor's management in terms of time. Number 1 is the number and quality of labor. Number 2 is the status. The contractor's finances and costs. Number 1 is the contractor's financial status. Number 2 is the contractor's management. As for the relationship between personal factors and work control efficiency. Educational level of consulting engineer have is a relationship with the project manager of the employer in all 3 aspects: quality, time and cost aspects. As for the work supervision experience of consulting engineers have is a relationship with the contractor's potential in terms of costs.

Keywords: the construction supervision., the construction supervision consulting company.

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ปัจจุบันประเทศไทยได้ดำเนินการขับเคลื่อนประเทศตามแผนแม่บทภายใต้ยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2561 - 2580) โดยประเด็นการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานนั้น ถือเป็นปัจจัยสนับสนุนที่สำคัญประการหนึ่งในการสร้างความสามารถในการแข่งขันของประเทศ เนื่องจากจะช่วยให้เกิดการพัฒนาด้อยออกจากฐานทรัพยากรและกิจกรรมทางเศรษฐกิจในพื้นที่และยังจะช่วยกระตุ้นให้เกิดการสร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจในส่วนภูมิภาคยกระดับผลิตภาพของภาคการผลิตและบริการ ลดต้นทุนการผลิตและบริการที่แข่งขันได้ในระดับสากล

งานด้านการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านคมนาคมและระบบโลจิสติกส์ เป็นโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ ที่มีหน่วยงานภาครัฐรับผิดชอบ เช่น การรถไฟแห่งประเทศไทย(รฟท.) การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย(รฟม.) และการประปานครหลวง(กปน.) เป็นต้น ซึ่งในแต่ละโครงการใช้งบประมาณจำนวนมาก หน่วยงานภาครัฐ จำเป็นต้องดำเนินการให้เป็นไปตามแผนงานก่อสร้างให้เสร็จตามกรอบของเวลา อีกทั้งต้องคำนึงถึงคุณภาพของงานก่อสร้าง ด้วยซึ่งส่วนใหญ่หน่วยงานภาครัฐจะจัดจ้างที่ปรึกษาให้ดำเนินการควบคุมงานก่อสร้างแทน สาเหตุอาจเนื่องมาจากบุคลากรในหน่วยงานมีไม่เพียงพอหรือขาดบุคลากรที่มีความชำนาญในเรื่องเฉพาะด้านนั้นๆ

ปัจจุบันการจัดจ้างที่ปรึกษาควบคุมงานของหน่วยงานภาครัฐ เริ่มมีการแข่งขันกันระหว่างบริษัทที่ปรึกษากันเองมากขึ้น ดังนั้นบริษัทที่ปรึกษาควบคุมงานจำเป็นต้องเน้นเรื่องบุคลากร และการบริหารจัดการโครงการ ภายใต้งบประมาณที่ได้รับ โดยต้องศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพควบคุมงานของบริษัทตนเองเพื่อปรับปรุงแก้ไข สร้างความได้เปรียบในเชิงธุรกิจ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาที่ผ่านมาของ เชมชาติ อินทร์แก้ว (2522) ที่ได้ศึกษาแนวทางการจัดการด้านคุณภาพ งานก่อสร้างของบริษัทที่ปรึกษาควบคุมงาน ผ่านการดำเนินการ 4 กิจกรรม ประกอบด้วย กิจกรรมการขออนุมัติวัสดุ กิจกรรมการขออนุมัติแบบก่อสร้าง กิจกรรมการขออนุมัติวิธีการทำงาน และกิจกรรมกำหนดวิธีการทดสอบวัสดุ/งาน และการบันทึกผล

ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาว่าการควบคุมงานก่อสร้างขนาดใหญ่ที่ควบคุมงาน โดยบริษัทที่ปรึกษา แทนหน่วยงานภาครัฐ มีผลกระทบเรื่องใดบ้างและเกิดผลกระทบด้านใดมากที่สุดอีกทั้งก่อให้เกิดประสิทธิภาพในการควบคุมงานก่อสร้างของบริษัทที่ปรึกษาอย่างไร

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการควบคุมงานก่อสร้างของบริษัทที่ปรึกษาควบคุมงาน

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวความคิดเกี่ยวกับสาขาวิชาการตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรม

กรมบัญชีกลาง (2546) ได้กล่าวว่า ในการสรุปการตรวจสอบ ต้องสรุปข้อตรวจพบให้ครบองค์ประกอบ โดยต้องชี้ให้เห็นข้อเท็จจริงว่าพบอะไร สภาพที่เกิดเป็นอย่างไร (Statement of Condition) สิ่งที่ตรวจพบต่างจากข้อกำหนด กฎหมาย หรือสิ่งที่ควรจะเป็นอย่างไร (Audit Criteria) สิ่งที่ตรวจพบมีผลอย่างไรบ้าง (Effect) ทำให้ไม่จริงเกิดขึ้นได้ (Cause) และจะแก้ไขได้อย่างไร และสภาวิศวกร (2564) มีหลักการเพื่อควบคุม กลั่นกรอง และติดตามดูแลการประกอบวิชาชีพวิศวกรรมของผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อชีวิต ร่างกาย และทรัพย์สินของประชาชน ประกอบกับองค์กรวิชาชีพวิศวกรได้ก่อตั้งมานานสมควรให้ผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมรวมตัวกันเป็นองค์กรเข้ามามีส่วนช่วยในการควบคุมดูแลเพื่อให้เกิดผลดียิ่งขึ้น รวมถึง ประเทศไทยต้องเปิดเสรีทางการค้าและบริการสมควรให้ภาครัฐและภาคเอกชนได้มีการร่วมมือกันอย่างใกล้ชิดในการส่งเสริมคุณภาพการประกอบวิชาชีพวิศวกรรมเพื่อให้พร้อมที่จะแข่งขันกับต่างประเทศได้

สอดคล้องกับหลักการสาขาวิชาการตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรม โดยกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยนี้ ทุกคนเป็นวิศวกร ต้องปฏิบัติตามวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม และงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการสำรวจข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้น โดยใช้แบบสอบถาม ถามความคิดเห็นของวิศวกรของบริษัทที่ปรึกษาควบคุมงาน ว่ามีปัจจัยใดบ้าง ที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพควบคุมงาน ในโครงการ และเมื่อได้ผลสำรวจมาแล้วก็นำมาวิเคราะห์หาสาเหตุที่เกิดขึ้น ว่าปัญหาที่เกิดขึ้นเกิดจากภาคส่วนใดเป็นหลัก ที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการควบคุมงานของบริษัทที่ปรึกษาควบคุมงาน เพื่อที่จะหาวิธีการแก้ไขปัญหาและการป้องกัน ในอนาคต

แนวความคิดเกี่ยวกับประสิทธิภาพ

มานะ พิจุลย์ (2554) ได้ให้ความหมายของคำว่า ประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานนั้น คือ การที่บุคคลตั้งใจปฏิบัติงานอย่างถูกวิธีเต็มความสามารถมุ่งหวังถึงผลสำเร็จ โดยใช้เทคนิคการทำงานที่จะสร้างผลงานได้มากและคุณภาพงานเป็นที่น่าพอใจและถูกต้อง โดยการใช้ทรัพยากรน้อยที่สุด และการดำเนินการเป็นไปอย่างประหยัด ไม่ว่าจะเป็นทุนค่าใช้จ่าย แรงงาน พลังงานและเวลาน้อย มีความพอใจที่จะเพิ่มพูนคุณภาพและปริมาณของผลงาน คิดค้น คัดแปลงวิธีการทำงานให้ได้ผลดียิ่งขึ้นเสมอ ซึ่ง วิทยา ด้านธำรงกุล (2534) ให้ความหมายของคำว่า ประสิทธิภาพ ในรูปแบบของต้นทุนหรือจำนวนทรัพยากรที่ใช้ไปเมื่อเทียบกับผลงานหรือผลผลิตที่ได้ เช่น ต้นทุน แรงงาน เวลาที่ใช้ต่อผลตอบแทนจากการลงทุน ส่วน สมพิศ สุขแสน (2546) จะกล่าวถึงลักษณะของคนที่มีประสิทธิภาพว่าเป็นคนที่มีความฉับไว มีการใช้เวลาอย่างดีที่สุด รวดเร็ว ความถูกต้องแม่นยำ มีความรู้ มีประสบการณ์ มีความคิดสร้างสรรค์(Creative) มีการคิดริเริ่ม สิ่งใหม่ๆ มุมมองแปลกใหม่ ที่เรียกว่า "นวัตกรรม

(Innovation)" มาใช้ในองค์กร คนที่มีประสิทธิภาพจึงเป็นคนที่ชอบคิด หรือเก่งคิด หรือมองไปข้างหน้าตลอดเวลาที่เราเรียกว่า "วิสัยทัศน์ (Vision)"

ส่วนในความเห็นผู้วิจัยมีความเห็นว่า ประสิทธิภาพ หมายถึงการกระทำกิจกรรมใดๆ เพื่อให้บรรลุผลตามที่ต้องการและที่ตั้งเป้าหมายไว้ โดยใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์มากที่สุด และลดการสูญเสียของทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดในการดำเนินกิจกรรมให้ได้มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ที่จะพิจารณา ประสิทธิภาพการควบคุมงานของบริษัทที่ปรึกษา ในด้านคุณภาพ ด้านเวลาและด้านต้นทุน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

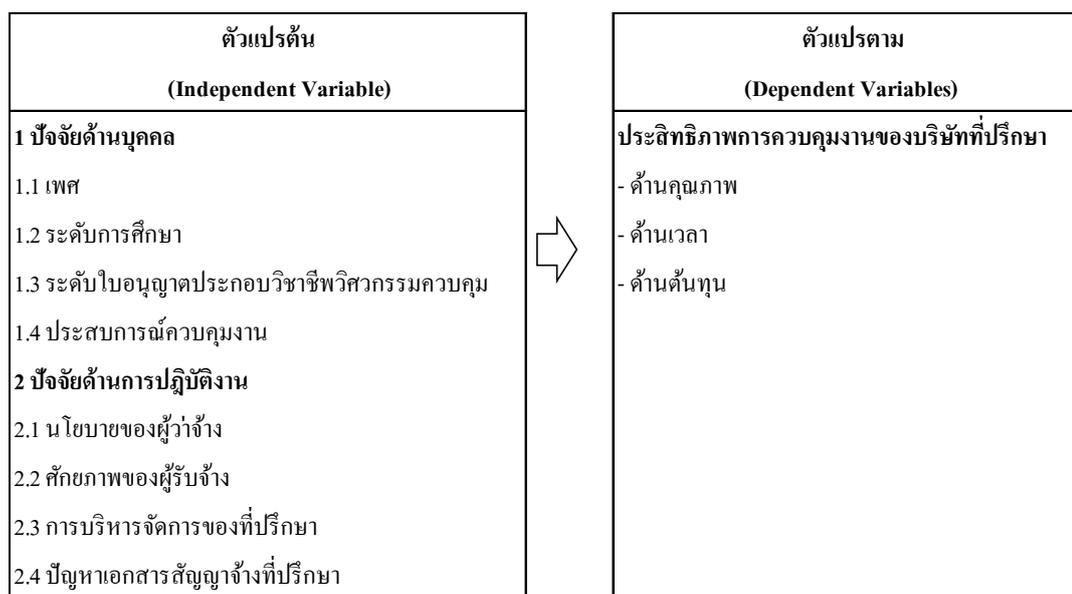
กิตติธัช เข็นใจ (2564) ได้ศึกษาผลกระทบต่อการควบคุมงานก่อสร้างของผู้ควบคุมงานในหน่วยงานภาครัฐที่ไม่เป็นวิศวกร กรณีศึกษาโรงเรียนมัธยมศึกษาในพื้นที่ อำเภอพะเยา จังหวัดพะเยา โดยใช้กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย จำนวน 162 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเป็นแบบสอบถาม สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ร้อยละ ค่าฐานนิยม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและดัชนีชี้วัดลำดับความสำคัญ โดยปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การควบคุมงานก่อสร้างของผู้ควบคุมงานในหน่วยงานภาครัฐที่ไม่เป็นวิศวกร ด้านคุณภาพ คือ การตรวจสอบแผนอนุมัติและนำเข้าวัสดุอยู่ในระดับมาก ด้านเวลา คือ เกิดเหตุการณ์ที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ล่วงหน้าอยู่ในระดับมากที่สุด ด้านต้นทุน คือ การเกิดเหตุการณ์ที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ล่วงหน้า โดยแนวทางการดำเนินการ เมื่อมีปัญหาหรือข้อสงสัยของผู้ควบคุมงานควรปรึกษากับวิศวกรเพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ชัดเจน ในขั้นตอนการก่อสร้าง และด้านปฏิบัติงานเรื่องปัจจัยด้านภัยธรรมชาติ ควรติดตามสภาพอากาศเพื่อวางแผนกำหนดระยะเวลาในการปฏิบัติงานให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นรวมไปถึงปรากฏการณ์ธรรมชาติที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น สถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 เป็นต้น

เกรียงชัย เรือง โชติเสถียร (2557) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการควบคุมงานก่อสร้างถนน กรณีศึกษาองค์การบริหารจังหวัดสุรินทร์ ตามความคิดเห็นของผู้ควบคุมงานและศึกษาความพึงพอใจของกรรมการตรวจการจ้างที่มีต่อผู้ควบคุมงานก่อสร้างตามความคิดเห็นของกรรมการตรวจการจ้าง ซึ่งมีแบบสอบถาม 3 แบบ ใช้ผู้ตอบแบบสอบถามเป็นผู้ควบคุมงานฝ่ายเจ้าของงาน (ภาคราชการ) และฝ่ายผู้รับจ้าง (ภาคเอกชน) จำนวน 28 คน ผู้ตอบแบบสอบถามเป็นกรรมการตรวจการจ้าง จำนวน 26 คน โดยนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS ผลจากการศึกษาสรุปได้ว่า ผู้ควบคุมงานให้ความสำคัญใน การทำความเข้าใจแบบรูปและรายการข้อกำหนดต่างๆที่เกี่ยวข้องรวมทั้งสัญญาอย่างละเอียดถี่ถ้วนล่วงหน้าก่อนที่จะเริ่มการก่อสร้างมากที่สุด ส่วนปัจจัยที่มีผลกระทบต่อหน้าที่ต่าง ๆ ในการควบคุมงานก่อสร้างมากที่สุด คือปัจจัยด้านบุคคล ส่วนข้อที่พบว่าผลกระทบมากที่สุดคือ การควบคุมงานมีปัญหาที่ต้องใช้ความรู้ทางวิศวกรรมในการแก้ปัญหา

เจมชาติ อินทร์แก้ว (2552) ได้ศึกษาแนวทางการจัดการด้านคุณภาพงานก่อสร้างของบริษัทที่ปรึกษาควบคุมงาน โดยคุณภาพถือเป็นวัตถุประสงค์หลักของงานก่อสร้างโดยทั่วไป โดยบริษัทที่ปรึกษาควบคุมงาน มีหน้าที่ในการจัดการให้งานก่อสร้างมีคุณภาพ โดยเก็บข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ ได้แก่ ขั้นตอนการดำเนินการ บทบาทหน้าที่ของแต่ละฝ่าย ข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้สำหรับบริษัทที่ปรึกษาควบคุมงาน งานสำคัญที่บริษัทที่ปรึกษาควบคุมงานต้องดำเนินการ และปัญหาที่บริษัทที่ปรึกษาควบคุมงานมักพบในการดำเนินการกิจกรรมนั้นๆ นอกจากนี้ยังได้เก็บข้อมูลเพิ่มเติม ถึงระดับความถี่และความรุนแรงของรายการปัญหาที่รวบรวมได้ เพื่อสรุปปัญหาที่มีความรุนแรงมากที่สุดในแต่ละกิจกรรม ผลการวิจัยที่ได้สามารถใช้เป็นแนวทางในการจัดการงานด้านคุณภาพสำหรับบริษัทที่ปรึกษาควบคุมงานได้ นอกจากนี้ยังทำให้ฝ่ายต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้ทราบ และเข้าใจถึงมุมมองของบริษัทที่ปรึกษาควบคุมงานที่มีต่อสิ่งต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมด้านคุณภาพด้วย

เบญจ พาทูร์ตัน (2562) ได้ศึกษาความคิดเห็นต่อปัญหาการควบคุมงานก่อสร้างอาคารตามกฎหมายควบคุมอาคาร ของพื้นที่องค์การบริหารส่วนตำบลสนามชัย อำเภอบางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล โดยการวิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลประชากรและกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีจำเพาะเจาะจง ได้แก่เจ้าพนักงานท้องถิ่นที่ปฏิบัติ ด้านงานควบคุมอาคาร ผู้บริหารงานท้องถิ่นฝ่ายข้าราชการประจำ และฝ่ายข้าราชการการเมือง ผู้ครอบครองอาคาร ผู้ควบคุมงานก่อสร้าง ผู้รับเหมาก่อสร้างอาคาร และผู้พักอาศัยในพื้นที่ ผลการศึกษาวิจัยพบว่า ปัญหาเกี่ยวกับสาเหตุของปัญหาการควบคุมงานก่อสร้างอาคารตามกฎหมายควบคุมอาคาร อันดับแรก คือ ปัญหาโครงการก่อสร้างคลองระบายน้ำหลาก บางไทร-บางบาล สำหรับแนวทางการแก้ไข ที่ความต้องการมากที่สุด คือการจัดเจ้าหน้าที่ลงพื้นที่ให้ความรู้กฎหมายควบคุมอาคาร

3.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

3.3 สมมติฐานการวิจัย

- (1) ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการควบคุมงานก่อสร้างของบริษัทที่ปรึกษาควบคุมงาน
- (2) ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลกับประสิทธิภาพการควบคุมงาน

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 แบบแผนการวิจัย

รูปแบบวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) อาศัยข้อมูลจากการใช้แบบสอบถาม (Questionnaire) เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล รวบรวมข้อคิดเห็นที่เกิดจากการปฏิบัติงานจริงในภาคสนาม ทำการวิเคราะห์ตามหลักสถิติเพื่อให้การเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างทฤษฎีและข้อมูล

4.2 ประชากรและตัวอย่าง

ประชากร ได้แก่ วิศวกรของบริษัทที่ปรึกษา จำนวน 84 คน รวม 3 โครงการ ที่ควบคุมงานภาครัฐ 3 หน่วยงาน คือการรถไฟฟ้าแห่งประเทศไทย(รฟท.) การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย(รฟม.) และการประปานครหลวง(กปน.) เท่านั้น

ตัวอย่าง ใช้วิธีการของ Taro Yamane(Yamane, 1973) ได้ 70 คนแต่ผู้วิจัยได้แจกแบบสอบถามทั้ง 84 คน มีผู้ตอบกลับ 78 คน ซึ่งมากกว่าที่คำนวณ

4.3 เครื่องมือวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเป็นการสร้างแบบสอบถาม แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

(1) แบบสอบถามปัจจัยส่วนบุคคล เป็นข้อมูลของกลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ เพศ ระดับการศึกษา ระดับใบประกอบวิชาชีพและประสบการณ์ในการทำงาน

(2) เป็นแบบสอบถามปัจจัยด้านการปฏิบัติงานที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพควบคุมงาน ประกอบด้วย

1) นโยบายของผู้ว่าจ้าง มี 3 ปัจจัย ได้แก่ ผู้บริหาร โครงการของผู้ว่าจ้าง การแทรกแซงของผู้มีอำนาจนอกโครงการและการบริหารงบประมาณของหน่วยงาน

2) ศักยภาพของผู้รับจ้าง มี 5 ปัจจัย ได้แก่ สถานะทางการเงินของผู้รับจ้าง ผู้บริหารของผู้รับจ้างจำนวนและคุณภาพแรงงาน จำนวนและคุณภาพเครื่องจักรและแผนการจัดการวัสดุ/อุปกรณ์ ที่ใช้ในโครงการ

3) การบริหารจัดการของที่ปรึกษา มี 7 ปัจจัย ได้แก่ ผู้บริหารโครงการของที่ปรึกษา การบริหารบุคคลากรของที่ปรึกษา การประสานงานกับหน่วยงานภายนอก การประสานงานกับหน่วยงานภายในโครงการ การตรวจสอบและควบคุมผลงานของผู้รับจ้าง การจัดการงานเปลี่ยนแปลงงานก่อสร้างและความรู้ความเข้าใจด้านกฎหมายควบคุมอาคาร

4) ปัญหาเอกสารสัญญาจ้างที่ปรึกษา มี 3 ปัจจัย ได้แก่ ปัญหาความไม่เข้าใจในภาษาและคำจำกัดความการเบิกจ่ายค่าบริการของที่ปรึกษา และการระงับข้อพิพาทและการอนุญาโตตุลาการ

โดยจะให้ชุดคำถาม ทั้ง 4 หัวข้อดังกล่าวให้ผู้ตอบแบบสอบถามให้คะแนนเป็น 5 ระดับ โดยคิดว่าปัจจัยใน ข้อใด มีผลกระทบมากที่สุดมากที่สุด ให้ 5 คะแนน มีผลกระทบมาก ให้ 4 คะแนน มีผลกระทบปานกลาง ให้ 3 คะแนน มีผลกระทบน้อย ให้ 2 คะแนน และไม่มีผลกระทบ ให้ 1 คะแนน

กำหนดเกณฑ์วัดผล โดยเอาค่าเฉลี่ยเป็นตัวชี้วัดโดยค่าเฉลี่ย 4.21-5.00 หมายถึง ระดับผลกระทบมากที่สุด ค่าเฉลี่ย 3.41-4.20 หมายถึง ระดับผลกระทบมาก ค่าเฉลี่ย 2.61-3.40 หมายถึง ระดับผลกระทบปานกลาง ค่าเฉลี่ย 1.81-2.60 หมายถึง ระดับผลกระทบน้อย และค่าเฉลี่ย 1.00-1.80 หมายถึง ระดับผลกระทบน้อยที่สุด

(3) แบบสอบถามเพื่อเป็นข้อเสนอแนะ โดยเป็นคำถามรูปแบบปลายเปิด(open ended question)

4.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

(1) ศึกษาแนวคิดในทฤษฎีและงานวิจัยต่าง ๆ และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องจากแหล่งข้อมูลขั้นทุติยภูมิ ของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรในงานวิจัย เพื่อกำหนดกรอบแนวคิดและความหมายของตัวแปรให้สอดคล้องกับตัวแปรและแนวคิดทฤษฎี

(2) กำหนดรูปแบบและแนวคิดในการวิจัยให้สอดคล้องตรงตามวัตถุประสงค์

(3) กำหนดรูปแบบสอบถาม โดยผู้วิจัยสร้างแบบสอบถามจากการทบทวนทฤษฎีและ งานวิจัยต่าง ๆ และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง เพื่อหาข้อจุดแข็งและจุดอ่อนของการกำหนดรูปแบบสอบถาม

(4) ผู้วิจัยนำแบบสอบถามที่ออกแบบแล้วเสร็จนำเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อขอคำแนะนำและการตรวจสอบเบื้องต้น

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

(1) ใช้การหาค่าร้อยละ (Percentage) เพื่ออธิบายข้อมูลปัจจัยด้านบุคลิกของกลุ่มประชากรที่ใช้ในการศึกษา

(2) ใช้สถิติค่าเฉลี่ย (Mean) ในการวิเคราะห์ระดับผลกระทบต่อประสิทธิภาพความคุมงานของปัจจัยส่วนการจัดลำดับปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการควบคุมงานก่อสร้าง จะใช้การวิเคราะห์ดัชนีความสำคัญสัมพันธ์ Relative Importance Index (RII) โดยใช้สูตรการคำนวณ ดังนี้

$$RII = \frac{\sum_{i=1}^5 W_i X_i}{A \times N}$$

โดยที่ W_i = เกณฑ์การวัดระดับผลกระทบ มีค่าตั้งแต่ 1-5

X_i = เกณฑ์ของการตอบในแต่ละเกณฑ์

A = เกณฑ์การวัดที่สูงสุดคือ 5

N = จำนวนแบบสอบถามทั้งหมด

(3) ใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) หากระดับ หรือขนาดของความสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปร 2 ตัวแปร

5. ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ส่วนที่ 1 ปัจจัยด้านบุคลิกของผู้ตอบแบบสอบถาม

ตารางที่ 1 จำนวนร้อยละของปัจจัยด้านบุคลิก (จำนวน 78 คน)

ปัจจัยส่วนบุคคล		จำนวน	ร้อยละ
1. เพศ	1.1 ชาย	66	84.62
	1.2 หญิง	12	15.38
2. ระดับการศึกษา	2.1 ปริญญาตรี	48	61.54
	2.2 ปริญญาโท	27	34.62
	2.3 ปริญญาเอก	3	3.85
3. ระดับใบ กว.	3.1 ภาคิ	45	57.69
	3.2 สามัญ	27	34.62
	3.3 วุฒิ	6	7.69
4. ประสบการณ์คุมงานก่อสร้าง	4.1 น้อยกว่า 5 ปี	16	20.51
	4.2 ช่วง 5-10 ปี	18	23.08
	4.3 ช่วง 11-15 ปี	8	10.26
	4.4 มากกว่า 15 ปี	36	46.15

จากตารางที่ 1 พบว่า วิศวกรที่ปรึกษาส่วนใหญ่เป็นเพศชาย (84.62%) จบการศึกษาระดับปริญญาตรี (61.54%) มีใบ กว. ระดับภาคิ (57.69 %) และมีประสบการณ์ควบคุมงานก่อสร้าง มากกว่า 15 ปี (46.15%)

ผลการวิเคราะห์ส่วนที่ 2 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการควบคุมงานก่อสร้าง

ตารางที่ 2 ระดับผลกระทบต่อประสิทธิภาพการควบคุมงานก่อสร้าง

ปัจจัยด้านปฏิบัติงาน	ด้านคุณภาพ		ด้านเวลา		ด้านต้นทุน	
	ค่าเฉลี่ย	ระดับ	ค่าเฉลี่ย	ระดับ	ค่าเฉลี่ย	ระดับ
1. นโยบายของผู้ว่าจ้าง						
1.1 ผู้บริหาร โครงการของผู้ว่าจ้าง	3.99	มาก	4.04	มาก	4.08	มาก
1.2 การแทรกแซงของผู้มีอำนาจนอกโครงการ	3.56	มาก	3.63	มาก	3.63	มาก
1.3 การบริหารงบประมาณของหน่วยงาน	3.88	มาก	3.77	มาก	3.94	มาก
2. สักยภาพของผู้รับจ้าง						
2.1 สถานะทางการเงินของผู้รับจ้าง	4.17	มาก	4.22	มากที่สุด	4.14	มาก
2.2 ผู้บริหารของผู้รับจ้าง	4.18	มาก	4.19	มาก	4.10	มาก
2.3 จำนวนและคุณภาพแรงงาน	4.17	มาก	4.26	มากที่สุด	4.08	มาก
2.4 จำนวนและคุณภาพเครื่องจักร	4.05	มาก	4.14	มาก	3.95	มาก
2.5 แผนการจัดการวัสดุ/อุปกรณ์ ที่ใช้ในโครงการ	3.92	มาก	4.19	มาก	3.92	มาก
3. การบริหารจัดการของที่ปรึกษา						
3.1 ผู้บริหาร โครงการของที่ปรึกษา	3.97	มาก	3.81	มาก	3.69	มาก
3.2 การบริหารบุคลากรของที่ปรึกษา	4.00	มาก	3.83	มาก	3.76	มาก
3.3 การประสานงานกับหน่วยงานภายนอก	3.22	ปานกลาง	3.86	มาก	3.42	มาก
3.4 การประสานงานกับหน่วยงานภายในโครงการ	3.81	มาก	3.82	มาก	3.45	มาก
3.5 การตรวจสอบและควบคุมผลงานของผู้รับจ้าง	4.28	มากที่สุด	3.88	มาก	3.63	มาก
3.6 การจัดการงานเปลี่ยนแปลงงานก่อสร้าง	3.65	มาก	4.04	มาก	3.95	มาก
3.7 ความรู้ความเข้าใจด้านกฎหมายควบคุมอาคาร	3.60	มาก	3.44	มาก	3.35	ปานกลาง
4. ปัญหาเอกสารสัญญาจ้างที่ปรึกษา						
4.1 ปัญหาความไม่เข้าใจในภาษาและคำจำกัดความ	3.56	มาก	3.42	มาก	3.35	ปานกลาง
4.2 การเบิกจ่ายค่าบริการของที่ปรึกษา	3.58	มาก	3.58	มาก	3.60	มาก
4.3 การระงับข้อพิพาทและการอนุญาโตตุลาการ	3.22	ปานกลาง	3.55	มาก	3.41	มาก

จากตารางที่ 2 พิจารณาปัจจัยที่มีผลกระทบระดับมากที่สุด พบว่า

- (1) ด้านคุณภาพ ข้อ 3.5 ตรวจสอบและควบคุมผลงานของผู้รับจ้าง มีระดับผลกระทบต่อประสิทธิภาพการควบคุมงานก่อสร้าง ในระดับมากที่สุด
- (2) ด้านเวลา ข้อ 2.1 สถานะทางการเงินของผู้รับจ้าง และข้อ 2.3 จำนวนและคุณภาพแรงงานปัจจัย มีระดับผลกระทบต่อประสิทธิภาพการควบคุมงานก่อสร้าง ในระดับมากที่สุด
- (3) ด้านต้นทุน ปัจจัยส่วนใหญ่มีระดับผลกระทบต่อประสิทธิภาพการควบคุมงานก่อสร้างในระดับมาก

ผลการวิเคราะห์ส่วนที่ 3 การจัดลำดับปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการควบคุมงานก่อสร้าง

ตารางที่ 3 ลำดับปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการควบคุมงานก่อสร้าง

ปัจจัยด้านปฏิบัติงาน	ด้านคุณภาพ		ด้านเวลา		ด้านต้นทุน	
	RII	ลำดับ	RII	ลำดับ	RII	ลำดับ
1. นโยบายของผู้ว่าจ้าง						
1.1 ผู้บริหาร โครงการของผู้ว่าจ้าง	79.74%	1	80.77%	1	81.54%	1
1.2 การแทรกแซงของผู้มีอำนาจนอกโครงการ	71.28%	3	72.56%	3	72.56%	3
1.3 การบริหารงบประมาณของหน่วยงาน	77.69%	2	75.38%	2	78.72%	2
2. ศักยภาพของผู้รับจ้าง						
2.1 สถานะทางการเงินของผู้รับจ้าง	83.33%	2	84.36%	2	82.82%	1
2.2 ผู้บริหารของผู้รับจ้าง	83.59%	1	83.85%	3	82.05%	2
2.3 จำนวนและคุณภาพแรงงาน	83.33%	2	85.13%	1	81.54%	3
2.4 จำนวนและคุณภาพเครื่องจักร	81.03%	4	82.82%	5	78.97%	4
2.5 แผนการจัดการวัสดุ/อุปกรณ์ ที่ใช้ในโครงการ	78.46%	5	83.85%	3	78.46%	5
3. การบริหารจัดการของที่ปรึกษา						
3.1 ผู้บริหาร โครงการของที่ปรึกษา	79.49%	3	76.15%	6	73.85%	3
3.2 การบริหารบุคลากรของที่ปรึกษา	80.00%	2	76.67%	4	75.13%	2
3.3 การประสานงานกับหน่วยงานภายนอก	64.36%	7	77.18%	3	68.46%	6
3.4 การประสานงานกับหน่วยงานภายในโครงการ	76.15%	4	76.41%	5	68.97%	5
3.5 การตรวจสอบและควบคุมผลงานของผู้รับจ้าง	85.64%	1	77.69%	2	72.56%	4
3.6 การจัดการงานเปลี่ยนแปลงงานก่อสร้าง	73.08%	5	80.77%	1	78.97%	1
3.7 ความรู้ความเข้าใจด้านกฎหมายควบคุมอาคาร	72.05%	6	68.72%	7	66.92%	7
4. ปัญหาเอกสารสัญญาจ้างที่ปรึกษา						
4.1 ปัญหาความไม่เข้าใจในภาษาและคำจำกัดความ	71.28%	2	68.46%	3	66.92%	3
4.2 การเบิกจ่ายค่าบริการของที่ปรึกษา	71.54%	1	71.54%	1	72.05%	1
4.3 การระงับข้อพิพาทและการอนุญาโตตุลาการ	64.36%	3	71.03%	2	68.21%	2

จากตารางที่ 3 พิจารณาในส่วนลำดับปัจจัยที่ 1 และ 2 พบว่า

- (1) ด้านคุณภาพ ลำดับที่ 1 คือ 3.5 ตรวจสอบและควบคุมผลงานของผู้รับจ้าง มีค่า RII = 85.64%
ลำดับที่ 2 คือ 2.2 ผู้บริหารของผู้รับจ้าง มีค่า RII = 83.59%
- (2) ด้านเวลา ลำดับที่ 1 คือ 2.3 จำนวนและคุณภาพแรงงาน มีค่า RII = 85.13%
ลำดับที่ 2 คือ 2.1 สถานะทางการเงินของผู้รับจ้าง มีค่า RII = 84.36%
- (3) ด้านต้นทุน ลำดับที่ 1 คือ 2.1 สถานะทางการเงินของผู้รับจ้าง มีค่า RII = 82.82%
ลำดับที่ 2 คือ 2.2 ผู้บริหารของผู้รับจ้าง มีค่า RII = 82.05%

ผลการวิเคราะห์ส่วนที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลกับประสิทธิภาพการควบคุมงาน

ปัจจัยด้านบุคคล	ประสิทธิภาพการควบคุมงาน	หัวข้อหลัก	หัวข้อย่อย	Correlation	P-Value
เพศ	ด้านคุณภาพ	3. การบริหารจัดการของที่ปรึกษา	3.5 การตรวจสอบและควบคุมผลงานของผู้รับจ้าง	-0.308	0.006
ระดับการศึกษา	ด้านคุณภาพ	1. นโยบายของผู้ว่าจ้าง	1.1 ผู้บริหารโครงการของผู้ว่าจ้าง	0.295	0.009
	ด้านเวลา	1. นโยบายของผู้ว่าจ้าง	1.1 ผู้บริหารโครงการของผู้ว่าจ้าง	0.250	0.027
	ด้านต้นทุน	1. นโยบายของผู้ว่าจ้าง	1.1 ผู้บริหารโครงการของผู้ว่าจ้าง	0.296	0.009
ประสบการณ์ควบคุมงาน	ด้านคุณภาพ	2. ศักยภาพของผู้รับจ้าง	2.2 ผู้บริหารของผู้รับจ้าง	0.224	0.048
	ด้านเวลา	2. ศักยภาพของผู้รับจ้าง	2.5 แผนการจัดการวัสดุ/อุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการ	0.255	0.024
	ด้านต้นทุน	2. ศักยภาพของผู้รับจ้าง	2.1 สถานะทางการเงินของผู้รับจ้าง	0.227	0.046
		2. ศักยภาพของผู้รับจ้าง	2.2 ผู้บริหารของผู้รับจ้าง	0.230	0.043
		2. ศักยภาพของผู้รับจ้าง	2.3 จำนวนและคุณภาพแรงงาน	0.234	0.040
		2. ศักยภาพของผู้รับจ้าง	2.4 จำนวนและคุณภาพเครื่องจักร	0.226	0.047
		2. ศักยภาพของผู้รับจ้าง	2.5 แผนการจัดการวัสดุ/อุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการ	0.274	0.015

จากตารางที่ 4 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลกับประสิทธิภาพการควบคุมงาน พบว่า

(1) เพศ ของวิศวกรที่ปรึกษา มีความสัมพันธ์ กับข้อ 3.5 การตรวจสอบและควบคุมผลงานของผู้รับจ้าง ด้านคุณภาพ

(2) ระดับการศึกษาของวิศวกรที่ปรึกษา มีความสัมพันธ์ กับข้อ 1.1 ผู้บริหารโครงการของผู้ว่าจ้าง ด้านคุณภาพ ด้านเวลาและด้านต้นทุน

(3) ระดับใบ กว. ไม่มีความสัมพันธ์ กับประสิทธิภาพการควบคุมงานก่อสร้าง ด้านคุณภาพ ด้านเวลา และต้นทุน (P-Value > 0.05 ไม่ได้แสดงในตาราง)

(4) ประสบการณ์ควบคุมงานของวิศวกรที่ปรึกษา มีความสัมพันธ์ กับข้อ 2.2 ผู้บริหารของผู้รับจ้างใน ด้านคุณภาพ และประสบการณ์ควบคุมงานของวิศวกรที่ปรึกษา มีความสัมพันธ์ กับข้อ 2.5 แผนการจัดการวัสดุ/อุปกรณ์ ที่ใช้ในโครงการ ด้านเวลา และประสบการณ์ควบคุมงานของวิศวกรที่ปรึกษา มีความสัมพันธ์ ข้อ 2.1 สถานะทางการเงินของผู้รับจ้าง ข้อ 2.2 ผู้บริหารของผู้รับจ้าง ข้อ 2.3 จำนวนและคุณภาพแรงงาน ข้อ 2.4 จำนวนและคุณภาพเครื่องจักรและ ข้อ 2.5 แผนการจัดการวัสดุ/อุปกรณ์ ที่ใช้ในโครงการ ในด้านต้นทุน

6. อภิปรายผล

ผลการวิจัยปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพควบคุมงานก่อสร้างของบริษัทที่ปรึกษาควบคุมงาน

(1) ระดับผลกระทบต่อประสิทธิภาพการควบคุมงานก่อสร้างในระดับมากที่สุด ด้านคุณภาพ คือการตรวจสอบและควบคุมผลงานของผู้รับจ้าง ด้านเวลา คือสถานะทางการเงินของผู้รับจ้าง จำนวนและคุณภาพแรงงาน ส่วนด้านต้นทุน ปัจจัยส่วนใหญ่มีระดับผลกระทบมาก

(2) ลำดับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพควบคุมงาน ด้านคุณภาพ ลำดับที่ 1 คือการตรวจสอบและควบคุมผลงานของผู้รับจ้าง ลำดับที่ 2 คือ ผู้บริหารของผู้รับจ้าง ด้านเวลา ลำดับที่ 1 คือจำนวนและคุณภาพแรงงาน ลำดับที่ 2 คือสถานะทางการเงินของผู้รับจ้างและด้านต้นทุน ลำดับที่ 1 คือ สถานะทางการเงินของผู้รับจ้าง ลำดับที่ 2 คือ ผู้บริหารของผู้รับจ้าง

จากข้อ (1) และ (2) การตรวจสอบและควบคุมผลงานของผู้รับจ้าง ระดับผลกระทบมากที่สุดและเป็นลำดับปัจจัยที่ 1 ด้านคุณภาพ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการบริหารจัดการของที่ปรึกษา สอดคล้องกับที่ เชมชาติ อินทร์แก้ว (2552) ที่กล่าวว่า คุณภาพเป็นวัตถุประสงค์ซึ่งนำมาซึ่งความขัดแย้งของแต่ละฝ่ายมากที่สุด ที่ปรึกษาควบคุมงาน มีหน้าที่จัดการอาคารที่มีคุณภาพตามต้องการ ส่วนด้านเวลา ระดับผลกระทบมากที่สุดและเป็นลำดับปัจจัยที่ 1 คือจำนวนและคุณภาพแรงงาน สอดคล้องกับ วรานนท์ คงสงและคณะ(2562) ผลการวิจัยมูลเหตุของความล่าช้าโดยรวม อันดับ 1 คือ ปัญหาการขาดแคลนแรงงาน

(3) ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคลกับประสิทธิภาพการควบคุมงาน ระดับการศึกษาของวิศวกรที่ปรึกษา มีความสัมพันธ์ กับ ผู้บริหาร โครงการของผู้รับจ้าง ทั้ง 3 ด้านคือด้านคุณภาพ ด้านเวลาและด้านต้นทุน ส่วนประสิทธิภาพควบคุมงานของวิศวกรที่ปรึกษา มีความสัมพันธ์ กับ ศักยภาพผู้รับจ้าง ในด้านต้นทุน

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

- (1) การคัดเลือกบริษัทที่ปรึกษาของภาครัฐ ควรเลือกบริษัทที่ให้ความสำคัญด้านคุณภาพงานเป็นหลัก
- (2) การคัดเลือกผู้รับจ้างของหน่วยงานภาครัฐ ควรเลือกบริษัทที่มีสถานะทางการเงินที่ดี มีจำนวนและคุณภาพแรงงานไม่ขาดแคลน และต้องให้ความสำคัญกับตำแหน่งผู้บริหารของผู้รับจ้างด้วย
- (3) ควรส่งเสริมให้มีการพัฒนาวิศวกรของบริษัทที่ปรึกษา เพื่อเน้นคุณภาพงาน

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ควรมีการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพควบคุมงานก่อสร้าง ของบริษัทที่ปรึกษาควบคุมงานที่ควบคุมงานกับภาคเอกชน เปรียบเทียบกับควบคุมงานกับหน่วยงานภาครัฐ

8. กิตติกรรมประกาศ

รายงานการค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความกรุณาของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรานนท์ คงสง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา โดยท่านคอยให้คำปรึกษาและชี้แนะทางการแก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่อง รวมทั้งอาจารย์ ดร.ธีรเดช สนองทวีพรและอาจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ กุวรกุลชัย อาจารย์ทั้งสองท่านที่คอยเสนอแนะความรู้เพิ่มเติมเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษา รวมถึงผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาแบบสอบถามทั้งสามท่าน ได้แก่ คุณพงษ์ธร กุศลจิตต์ คุณเจน บุญชื้อและคุณชูศักดิ์ ไส่สกุลพงษ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ รวมถึงพี่ เพื่อนและน้องรวม ทั้งที่สาขาวิชาการตรวจสอบและกฎหมาย วิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหงและที่บริษัทที่ข้าพเจ้าทำงานอยู่ ที่ให้คำปรึกษา เสนอแนะข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการวิจัยมาโดยตลอด

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดาและครอบครัวของข้าพเจ้า ที่ให้กำลังใจช่วยผลักดันให้งานวิจัย ครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดี

9. เอกสารอ้างอิง

กฎกระทรวง กำหนดสาขาวิชาชีพวิศวกรรมและวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม พ.ศ.2565.(2565). ราชกิจจานุเบกษา 139(42ก), 18-20.

กรมบัญชีกลาง, กลุ่มงานมาตรฐานด้านการตรวจสอบภายใน (2546). แนวปฏิบัติการตรวจสอบภายใน.

กรุงเทพฯ: ผู้แต่ง

กิตติธัช เย็นใจ. (2564). ผลกระทบต่อการควบคุมงานก่อสร้างของผู้ควบคุมงานในหน่วยงานภาครัฐที่ไม่เป็น วิศวกร กรณีศึกษาโรงเรียนมัธยมศึกษาในพื้นที่อำเภอพะเยา จังหวัดพะเยา. การค้นคว้าอิสระ

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาการตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรม, มหาวิทยาลัยรามคำแหง

เกษมชาติ อินทร์แก้ว. (2552). การศึกษาแนวทางการจัดการด้านคุณภาพงานก่อสร้างของบริษัทที่ปรึกษา

ควบคุมงาน. วิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

เบญจ พาหุรัตน์. (2562). ความคิดเห็นต่อปัญหาการควบคุมงานก่อสร้างอาคารตามกฎหมายควบคุมอาคารของ

พื้นที่องค์การบริหารส่วนตำบลสนามชัย อำเภอบางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. การค้นคว้าอิสระ

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาการตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรม, มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

มานะ พิจุลย์. (2554). ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพและคุณภาพการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ความปลอดภัย

ในการทำงาน ระดับวิชาชีพในโรงงานอุตสาหกรรม จังหวัดพระนครศรีอยุธยา.

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา.

วิทยา ด่านธำรงค์กุล. (2546). การบริหาร. กรุงเทพฯ: เอิร์ดเวย์ เอ็ดดูเคชั่น.

วรานนท์ คงสงและคณะ(2562). มูลเหตุของความล่าช้าในโครงการ โดยการวิเคราะห์ดัชนีความสำคัญสัมพัทธ์.

วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 29(2), 270-281.

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. (2553). ขอบเขตและหน้าที่การให้บริการวิชาชีพ

การบริหารงานก่อสร้าง. กรุงเทพฯ.

สภาวิศวกร.(2564). พระราชบัญญัติวิศวกร พ.ศ.2542.พิมพ์ครั้งที่ 16.กรุงเทพฯ.

สมพิศ สุขแสน. (2546). เอกสารประกอบการบรรยายเรื่องเทคนิคการทำงานให้มีประสิทธิภาพแก่

พนักงานส่วนตำบลองค์การบริหารส่วนจังหวัดอุตรดิตถ์.

Yamane, T. (1973). *Statistics: An Introductory Analysis*. (3rd ed.). New York: Harper and Row Publication.

การวิเคราะห์เทคโนโลยีและเศรษฐศาสตร์ของการผลิตอะซีโตนและเอทิลีน จากไบโอเอทานอล

Techno-economic analysis of acetone and ethylene production from bioethanol

ชญญ์ธรรม์ เนื่องจำนงค์

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

E-mail: 6370128721@student.chula.ac.th

ผศ.ดร.พงศ์ธร เจริญสุขภินมิตร

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

E-mail: pongtorn.ch@chula.ac.th

บทคัดย่อ

การใช้งานหลักของไบโอเอทานอล คือการเป็นส่วนผสมในน้ำมันเบนซินหรือเรียกว่า “น้ำมันแก๊สโซฮอล์” ซึ่งช่วยลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงธรรมชาติ อีกทั้งเป็นการลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศ และเป็น การสนับสนุนภาคการเกษตร เนื่องจากวัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอเอทานอล คือมันสำปะหลัง และอ้อย ปัจจุบัน ประเทศไทยมีแนวโน้มการเติบโตของปริมาณรถยนต์ไฟฟ้า (EVs) อย่างต่อเนื่องจากมาตรการของรัฐบาล สำหรับ รถยนต์ไฟฟ้าที่มีการผลิตภายในประเทศ และบริษัทที่มีแผนในการจัดตั้งฐานการผลิตในประเทศ ทำให้ไบโอเอทานอลในประเทศกำลังเผชิญความท้าทายหลายประการ เช่น ความต้องการที่ลดลงจากแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของ รถยนต์ไฟฟ้า อย่างไรก็ตามจากความต้องการใช้ไบโอเอทานอลที่มีแนวโน้มลดลง ดังนั้นการเพิ่มมูลค่าของไบโอเอทานอลโดยการเปลี่ยนเป็นสารเคมีชนิดอื่น เช่น อะซีโตน และเอทิลีน ซึ่งมีราคาสูงกว่าไบโอเอทานอล อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมที่หลากหลาย และสามารถตอบสนองความต้องการที่เพิ่มขึ้นในอนาคต งานวิจัย จะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างการผลิตอะซีโตนจากไบโอเอทานอลและการผลิตอะซีโตนและเอทิลีนจากไบโอเอทานอล โดยการเปรียบเทียบของทั้งสองกระบวนการผลิตนี้จะเป็นการเปรียบเทียบความเป็นไปได้ทาง เศรษฐศาสตร์ และ สถานะการทำงานในกระบวนการการผลิตอะซีโตน และเอทิลีนตามลำดับ จากไบโอเอทานอล โดยใช้โปรแกรม AspenPlus V11

คำสำคัญ: ไบโอเอทานอล, อะซีโตน, เอทิลีน, การจำลองกระบวนการ

ABSTRACT

Bioethanol is primarily blended with gasoline to produce "gasohol." This blend not only reduces dependence on fossil fuels but also cuts down on crude oil imports and bolsters the agricultural sector by creating a market for crops and their residues. Currently, Thailand is witnessing a growing trend towards electric vehicles (EVs). This trend is largely driven by government subsidies for domestic EV manufacturing and plans by overseas companies to establish manufacturing bases within the country. As a result, the bioethanol industry in Thailand

is grappling with challenges, chief among them being the decreasing demand for its product. Nonetheless, any bioethanol surplus can be repurposed as raw material for value-added chemical compounds like acetone and ethylene. These compounds can be further refined into high-value products with a wide range of applications across various industries, potentially meeting the rising demand in the future. This study will compare the production of ethylene and acetone from bioethanol in two scenarios: the first focuses solely on acetone production, while the second encompasses both acetone and ethylene. The processes for both scenarios will be simulated using AspenPlus V11 to assess operational conditions and economic viability.

Keywords: bioethanol, acetone, ethylene, process simulation

บทนำ

แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของรถยนต์ไฟฟ้า (EVs) [1] มีผลโดยตรงต่อปริมาณความต้องการใช้ไบโอเอทานอลลดลง ทำให้มีผลกระทบโดยตรงต่อภาคการเกษตรภายในประเทศโดยเฉพาะอย่างยิ่งอ้อย และมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นพืชหลักที่ใช้ในการผลิตไบโอเอทานอล[2] ดังนั้น อะซีโตน และเอทิลีน โดยมีไบโอเอทานอลเป็นสารตั้งต้น จึงเป็นสารที่มีความน่าสนใจ และถือเป็นผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มมูลค่า ในฐานะผลิตภัณฑ์ที่มีวัตถุดิบหลักมาจากชีวภาพกล่าวคือ อะซีโตน และเอทิลีน มีมูลค่าทางการตลาดมากกว่าไบโอเอทานอล อีกทั้งยังมีปริมาณความต้องการเพิ่มขึ้นทุกปี [3,4] ในการผลิตอะซีโตน และเอทิลีนจากไบโอเอทานอล สามารถใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา(catalyst) และสภาวะการทำงาน(Operating Conditions)ที่ต่างกันดังตารางที่ 1.

ตารางที่ 1. ตัวเร่งปฏิกิริยาและสภาวะการทำงานในการผลิตอะซีโตนและเอทิลีนจากไบโอเอทานอล

ลำดับ	ตัวเร่งปฏิกิริยา	สภาวะการทำงาน	อัตราการเปลี่ยนแปลงของเอทานอล	ปริมาณการเปลี่ยนเป็นอะซีโตนจากเอทานอล	ปริมาณการเปลี่ยนเป็นเอทิลีนจากเอทานอล	อ้างอิง
1.	ZnO-CaO (9:1)	400°C 1 atm	100%	91%	9%	[5]
2.	ZnO	400°C 1 atm	98.6%	40%	50%	[5]
3.	CZA-ZrO ₂ (1:2)	400°C 1 atm	88%	43.7%	-	[6]
4.*	ZnFe ₂ O ₄	400°C	100%	94%	-	[7]
5.	CZA-CeZr	-	74%	60%	5%	[8]
6.**	Cu/La ₂ Zr ₂ O ₇	400°C 1 atm	62%	72%	-	[9]
7.	La _{0.7} Sr _{0.3} Mn	476°C 1 atm	99%	80%	-	[9]
8.	20 mol% CuO/CeO ₂ 0.5 g	300°C 1 atm	95.7%	35.9%	-	[10]
9.	ZnO-CoO/Al ₂ O ₃	400°C 1 atm	97%	45%	Not specify	[11]
10.	Fe ₂ O ₃ : CaO	450°C	90%	52%	Not specify	[12]

* The life of a catalyst is less than 24 hours. ** The life of a catalyst is less than 200 minutes.

จากตารางที่ 1 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของเอทานอล สูงสุดคือ 100% ประกอบด้วย ZnO-CaO และ ZnFe₂O₄ แต่เนื่องจากอายุการใช้งานของตัวเร่งปฏิกิริยา ZnFe₂O₄ น้อยกว่า 24 ชั่วโมง กล่าวคือ

ประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยา $ZnFe_2O_4$ จะลดลง เมื่อเวลาผ่านไปน้อยกว่า 24 ชั่วโมง ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยา $ZnO-CaO$ มีความน่าสนใจมากที่สุดในการผลิตอะซีโตน ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพรองลงมาจากอัตราการเปลี่ยนแปลงเอทานอลคือ $La_{0.7}Sr_{0.3}MnO_3$ โดยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงเอทานอลที่ 99% แต่เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้ไม่มีการจัดจำหน่ายในท้องตลาดทำให้ต้องสังเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้ขึ้นมาเอง อีกทั้งแลนทานัม(La)และสตรอนเตียม(Sr) มีราคาค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่นๆ ที่มีธาตุเป็นองค์ประกอบในราคาไม่สูงมาก นอกจากนี้จาก ปริมาณการเปลี่ยนเป็นอะซีโตนจากเอทานอลแสดงให้เห็นว่าผลผลิตของอะซีโตนจากตัวเร่งปฏิกิริยา $ZnO-CaO$ สูงกว่าวัสดุเร่งปฏิกิริยา $La_{0.7}Sr_{0.3}MnO_3$ ทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการผลิตอะซีโตน ตัวเร่งปฏิกิริยา $ZnO-CaO$ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพถัดมาคือ ZnO โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงเอทานอลอยู่ที่ 98.6% และสามารถผลิตของอะซีโตนและเอทิลีนที่ 40% และ 50% ตามลำดับโดยตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้สามารถเปรียบเทียบกับตัวเร่งปฏิกิริยา $ZnO-CaO$ เนื่องจากทั้งสองตัวเร่งปฏิกิริยาต่างมีจัดจำหน่ายในท้องตลาด[13,14] ทำให้มีความสะดวกในการใช้งาน โดยการเปรียบเทียบในเชิงเทคโนโลยีการผลิตและความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ของทั้งสองตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถแบ่งออกเป็นสองกรณี คือ กรณีแรกตัวเร่งปฏิกิริยา $ZnO-CaO$ สำหรับผลิตอะซีโตนจากเอทานอล ในขณะที่กรณีที่สองตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO สำหรับผลิตอะซีโตน และเอทิลีนจากเอทานอล

วัตถุประสงค์

ประเมินความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐศาสตร์ และเทคโนโลยีในการผลิตอะซีโตน และเอทิลีนจากไปโอเอทานอลในระดับโรงงาน จากการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกันสองชนิด คือ $ZnO-CaO$ และ ZnO ตามลำดับ ผ่านการใช้โปรแกรม AspenPlus V11

การออกแบบและการจำลองกระบวนการผลิต (Process modelling and simulation)

การศึกษาโดยการเปรียบเทียบของทั้งสองกรณี (การผลิตเอทิลีนและอะซีโตนจากไปโอเอทานอลด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน) ได้ถูกออกแบบและจำลองกระบวนการผลิตโดยใช้โปรแกรม Aspen Plus V11 เพื่อวิเคราะห์สภาวะการทำงานต่างๆ และความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์สำหรับทั้งสองกรณี โดยกรณีแรกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ $ZnO-CaO$ และกรณีที่สองตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO ตามลำดับ เพื่อทำให้สามารถเปรียบเทียบทั้งสองกรณีได้ จึงมีการควบคุมปริมาณสารตั้งต้นของทั้งสองกรณีให้มีปริมาณเท่ากัน กล่าวคือในการผลิตอะซีโตนจากเอทานอลปริมาณ 50,000 ตันต่อปี ในกรณีแรกโดยใช้ $ZnO-CaO$ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จะต้องใช้ปริมาณวัตถุดิบ 242,095.07 ตันต่อปี โดยประกอบด้วย เอทานอล 36 wt% และ น้ำ 64 wt% ส่วนในกรณีที่สองการผลิตอะซีโตนและเอทิลีนจะมีการใช้ปริมาณวัตถุดิบและอัตราส่วนของน้ำ-เอทานอล เท่ากับกรณีแรก เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบทั้งเทคโนโลยีการผลิตและความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

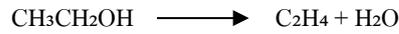
ปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้อง (Process Chemistry)

ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตอะซีโตน และเอทิลีนจากไปโอเอทานอลแสดงดังสมการเคมีที่ 1. ถึง 4. โดยในกรณีแรกของการศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยา คือ $ZnO-CaO$ โดยมีอัตราส่วนการผสมอยู่ที่ 9:1 โดยโมลผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น คืออะซีโตน โดยหน้าที่ของแคลเซียมออกไซด์(CaO) คือการควบคุมการเกิดดีไฮเดรชันที่เกิดบริเวณผิวของซิงค์ออกไซด์(ZnO)ที่มีความเป็นกรด ส่วนในกรณีที่สองเป็นการศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยา คือ ZnO

1.ปฏิกิริยาดีไฮโดรจิเนชันของเอทานอลเป็นแอซีทัลดีไฮด์และไฮโดรเจน [15]



2.ปฏิกิริยาดีไฮเดรชันของเอทานอลเป็นเอทิลีนและน้ำ [15]



3.ปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอซีทัลดีไฮด์เป็นกรดอะซิติกและไฮโดรเจน [15]

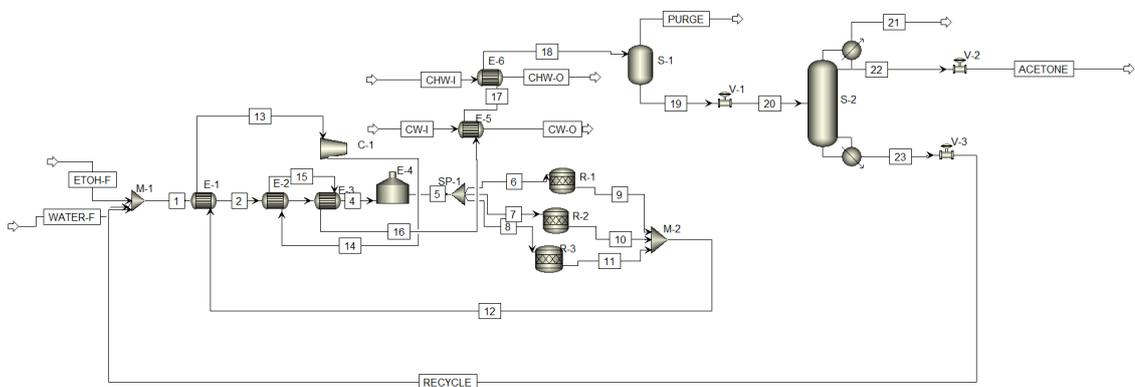


4.ปฏิกิริยาดีออกซิเดชันของกรดอะซิติกเป็นอะซิโตน คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ [15]



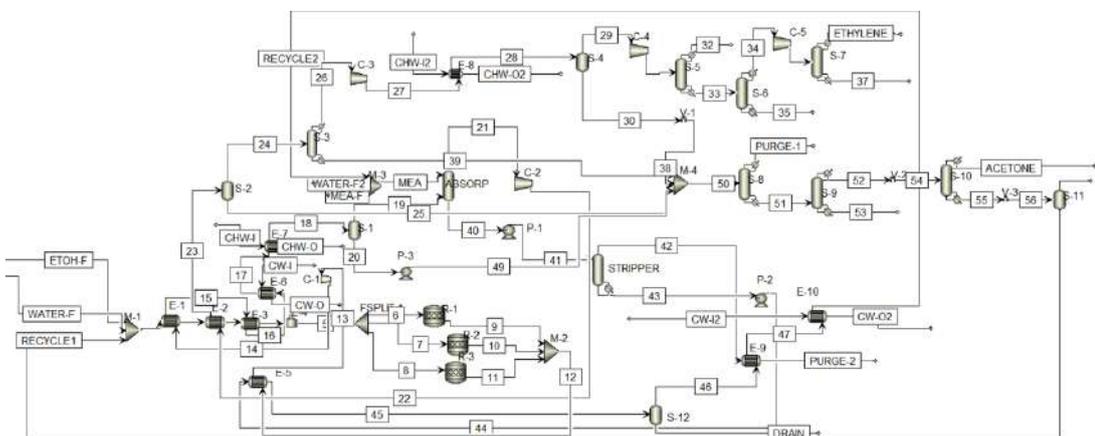
รายละเอียดกระบวนการผลิต (Process Description)

ในกระบวนการผลิตของทั้งสองกรณีมีเอทานอลและน้ำเป็นวัตถุดิบที่ปริมาณเท่ากัน โดยมีผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่างกันกล่าวคือในรูปที่ 1. แสดงกระบวนการผลิตอะซิโตนจากไบโอเอทานอลโดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา คือ ZnO-CaO เอทานอล(ETOH-F)น้ำ(WATER-F)และสาย recycle(RECYCLE) มีการผสมกัน(M-1)จนเหลือเพียงหนึ่งสาย โดยมีปริมาณเอทานอลอยู่ที่ 87,154.23 ตันต่อปีและน้ำ 154,940.84 ตันต่อปี เพื่อให้สามารถผลิตอะซิโตน 50,000 ตันต่อปี และเข้าสู่กระบวนการเพิ่มความร้อน (pre-heat) ผ่าน E-1, E-2, E-3 และ E-4 ตามลำดับ ก่อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์(R-1,R-2,R-3)โดยใช้ RStoic และมีสภาวะการทำงาน, อัตราการเปลี่ยนแปลงของเอทานอล, ปริมาณการเปลี่ยนแปลงเป็นอะซิโตนและเอทิลีน โดย สภาวะการทำงานอยู่ที่ 400 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 บรรยากาศ อัตราการเปลี่ยนแปลงของเอทานอลที่ 100% ปริมาณการเปลี่ยนแปลงเป็นอะซิโตนและเอทิลีน 91% และ 9% ตามลำดับ ในกระบวนการเพิ่มความร้อนอุณหภูมิก่อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์อยู่ที่ 400°C และภายในเครื่องปฏิกรณ์ประกอบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO-CaO เนื่องจากอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาภายในเครื่องปฏิกรณ์ คือ 400°C ทำให้หลังจากการเกิดปฏิกิริยา สารทั้งหมดจะอยู่ในสถานะไอ (vapor phase) โดยองค์ประกอบของสารที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิและความดันปกติประกอบด้วยสารที่มีสถานะของเหลว (liquid phase) และสถานะไอ (vapor phase) เพื่อให้สามารถแยกสาร ณ อุณหภูมิ และความดันปกติอยู่ในสถานะของเหลวจึงมีการเพิ่มความดันผ่านคอมเพลสเซอร์(C-1) และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน(E-1,E-2,E-3)เพื่อทำการลดอุณหภูมิ โดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะทำการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสายวัตถุดิบก่อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์ และน้ำหล่อเย็น(CH-I, CHW-I) ตามลำดับ ทำให้สารหลังผ่านคอมเพลสเซอร์และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจะอยู่ในสถานะของเหลวและไอ (binary phase) เข้าสู่เครื่องแยกสถานะ(S-1)เพื่อทำหน้าที่แยกสารทั้งสองสถานะออกจากกัน โดยสารในสถานะของเหลวจะเข้าสู่หอกลั่น(S-2) เพื่อทำให้อะซิโตนมีความบริสุทธิ์เพียงพอสำหรับการขายที่ 95%



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตอะซิโตนจากไบโอเอทานอลโดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา คือ ZnO-CaO

จากรูปที่ 2 แสดงกระบวนการผลิตอะซีโตน และเอทิลีนจากไบโอเอทานอลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ ZnO เอทานอล(ETOH-F)น้ำ(WATER-F)และสาย recycle(RECYCLE) มีการผสมกัน(M-1)จนเหลือเพียงหนึ่งสายโดยมีปริมาณเอทานอลอยู่ที่ 87,154.23 ตันต่อปี และน้ำ 154,940.84 ตันต่อปี เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบเชิงความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของทั้งสองกรณีได้โดยสามารถผลิต เอทิลีน 26,676.92 ตันต่อปี และ ผลิตอะซีโตน 22,212.09 ตันต่อปี และเข้าสู่กระบวนการเพิ่มความร้อน (pre-heat) ผ่าน E-1, E-2, E-3 และ E-4 ตามลำดับก่อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์(R-1,R-2,R-3) โดยใช้ RStoic และมีสภาวะการทำงาน, อัตราการเปลี่ยนแปลงของเอทานอล, ปริมาณการเปลี่ยนเป็นอะซีโตนและเอทิลีนจากเอทานอล โดยสภาวะการทำงานอยู่ที่ 400 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 บรรยากาศ อัตราการเปลี่ยนแปลงของเอทานอลที่ 98.6% ปริมาณการเปลี่ยนเป็นอะซีโตน,เอทิลีนและแอซีทาลดีไฮด์ 40% ,50%และ 8% ตามลำดับ และในกระบวนการเพิ่มความร้อนอุณหภูมิก่อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์อยู่ที่ 400°C และภายในเครื่องปฏิกรณ์จะประกอบด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO เนื่องจากอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาภายในเครื่องปฏิกรณ์คือ 400°C ทำให้หลังจากการเกิดปฏิกิริยาสารทั้งหมดจะอยู่ในสถานะไอ (vapor phase) โดยองค์ประกอบของสารที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิและความดันปกติประกอบด้วยสารที่มีสถานะของเหลว (liquid phase) และสถานะไอ (vapor phase) เพื่อให้สามารถแยกสาร ณ อุณหภูมิ และความดันปกติอยู่ในสถานะของเหลวจึงมีการใช้คอมเพลสเซอร์(C-1) และ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน(E-15,E-1,E-3,E-6,E-7)เพื่อเพิ่มความดันและลดอุณหภูมิ โดยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จะทำการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสายวัตถุดิบก่อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์ และน้ำหล่อเย็น(CH-I, CHW-I) ตามลำดับ ทำให้สารหลังผ่านคอมเพลสเซอร์และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอยู่ในสถานะของเหลวและไอ (binary phase) เข้าสู่เครื่องแยกสถานะ(S-1)เพื่อทำการแยกสารทั้งสองสถานะออกจากกัน โดยหอดูดซึม(ABSORP) ทำหน้าที่แยกคาร์บอนไดออกไซด์ โดยมีสารละลายโมโนเอทานอลามีน(MEA) ป้อนบริเวณส่วนบนของหอดูดซึมและแก๊สจากเครื่องแยกสถานะป้อนบริเวณส่วนล่างของหอดูดซึมโดยสารละลายโมโนเอทานอลามีนจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้ยอดของหอดูดซึมมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ค่อนข้างต่ำและบริเวณก้นของหอดูดซึมจะเข้าสู่หอกลั่นแยกส่วน(STRIPPER)เพื่อแยกนำสารละลายโมโนเอทานอลามีนกลับมาใช้อีกครั้งในหอดูดซึมและเรียกสายนี้ว่า “recycle2” ณ บริเวณยอดของหอดูดซึมจะเข้าคอมเพลสเซอร์(C-2) และ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน(E-2)เพื่อเพิ่มความดันและลดอุณหภูมิ ก่อนเข้า เครื่องแยกสถานะ(S-2)เพื่อแยกสารทั้งสองสถานะกล่าวคือ แก๊สและของเหลวออกจากกัน ที่สถานะแก๊สจะเข้าสู่ การกลั่นที่อุณหภูมิต่ำ (S-3,S-5,S-6,S-7)เพื่อทำการแยกเอทิลีนให้มีความบริสุทธิ์เพื่อเพียงพอต่อการขายที่99% ส่วนของเหลวจาก เครื่องแยกสถานะจะเข้าสู่ หอกลั่น(S-8,S-9,S-10)เพื่อทำให้อะซีโตนมีความบริสุทธิ์เพียงพอสำหรับการขายที่ 95%



รูปที่ 2 กระบวนการผลิตอะซีโตนและเอทิลีนจากไบโอเอทานอลโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ ZnO

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ (Economic Analysis)

ในด้านการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ จะประกอบด้วยการเปรียบเทียบ 2 กรณี คือ การผลิตอะซีโตนจากไบโอเอทานอลโดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา คือ ZnO-CaO และ การผลิตอะซีโตน และเอทิลีนจากไบโอเอทานอลโดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา คือ ZnO โดยในกรณีแรกราคาวัตถุดิบของเอทานอลและน้ำ คือ 1.0497 USD/กิโลกรัมและ 0.6944 USD/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ในส่วนของกรณีที่สองจะมีการใช้วัตถุดิบเอทานอลและน้ำที่ราคาเดียวกับกรณีแรก โดยจะมีการสารละลายโมโนเอทานอลามีนเพิ่มขึ้นมาโดยสารละลายโมโนเอทานอลามีนที่เพิ่มขึ้นมานี้จะมีราคาอยู่ที่ 2.4592 USD/กิโลกรัม โดยราคาของผลิตภัณฑ์ในกรณีแรก คือ อะซีโตนที่ความบริสุทธิ์ 95% โดยมีราคาอยู่ที่ 2.9114 USD/กิโลกรัม ส่วนในกรณีที่สองผลิตภัณฑ์ที่ได้คืออะซีโตน และเอทิลีน ในส่วนของราคาอะซีโตนนั้นจะมีราคาเท่ากับราคาอะซีโตน ในกรณีแรก และ เอทิลีนที่ 99% โดยจะมีราคาอยู่ที่ 111.5955 USD/ลูกบาศก์เมตร โดยปริมาณความร้อนและปริมาณไฟฟ้า (Thermal duty) และปริมาณไฟฟ้า (Electrical duty) ที่ใช้ในแต่ละกระบวนการผลิตดังตารางที่ 2 และราคาของระบบสนับสนุนกระบวนการผลิต (utility system) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ปริมาณความร้อนและปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละหน่วยการผลิต

กระบวนการผลิต	ปริมาณความร้อน (MW)	ปริมาณไฟฟ้า (MW)
ตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO-CaO	5.72	2.22
ตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO	87.48	1.37

ตารางที่ 3 ราคาของระบบสนับสนุนกระบวนการผลิต (utility system)

ลำดับที่	utility	หน่วย	ราคา	
			ตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO-CaO	ตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO
1.	Electricity	USD/kWH	0.06	0.06
2.	Cooling Water	USD/m ³	0.0148	0.0148
3.	Chilled water	USD/kg	0.000185	0.000185
4.	Steam	USD/ton	17.91	17.91
5.	Refrigerant (C1/C2/C3)	USD/GJ	-	135
6.	Refrigerant (C ₃ H ₆)	USD/GJ	-	43.2

ผลลัพธ์และการอภิปรายผล (Result and Discussion)

1. การวิเคราะห์เชิงประสิทธิภาพ (Performance Analysis) ความซับซ้อนของกระบวนการผลิตในกรณีแรกหรือการผลิตอะซีโตน จากไบโอเอทานอลโดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา คือ ZnO-CaO มีความซับซ้อนน้อยกว่ากระบวนการผลิตกรณีที่สองหรือการผลิตอะซีโตนและเอทิลีนจากไบโอเอทานอลโดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา คือ ZnO โดยในกระบวนการผลิตกรณีแรกมีการใช้ หอกลิ้นเพียงหนึ่งหอในการทำให้ผลิตภัณฑ์มีความบริสุทธิ์เพียงพอต่อความต้องการในท้องตลาดแต่ในกระบวนการผลิตกรณีที่สองซึ่งเป็นการผลิตอะซีโตนและเอทิลีนจากไบโอเอทานอลจะต้องมี หอคูดซิมและหอกลิ้นแยกส่วนและหอกลิ้นที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อให้เอทิลีนมีความบริสุทธิ์เพียงพอต่อ

ความต้องการในท้องตลาด โดยใน หอคูดซิมและหอกลับแยกส่วน จะต้องมีการเติมสารละลายโมโนเอทานอลามีนกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ ที่มีอยู่ในระบบและนำสารละลายโมโนเอทานอลามีนที่มากเกินไปกลับมาใช้ใหม่ ใน หอคูดซิมและเนื่องจากเอทิลีนโดยทั่วไปอยู่ในสถานะแก๊สการทำให้เอทิลีนมีความบริสุทธิ์เพียงพอต่อความต้องการในท้องตลาดจึงจำเป็นต้องใช้หอกลับที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งจำเป็นจะต้องใช้ระบบสนับสนุนคือสารหล่อเย็น ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง และในส่วนของการทำงานให้อะซิโตน มีความบริสุทธิ์เพียงพอต่อความต้องการในท้องตลาดที่ 95% จะต้องใช้ หอกลับถึง 3 หอเนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO มีเอทานอลและแอสีทาลดีไฮด์ เกิดขึ้น ดังตารางที่ 4. ทำให้การกลั่นเพื่อให้อะซิโตนมีความบริสุทธิ์เพียงพอที่ 95% จึงจำเป็นต้องผ่านหอกลับมากกว่ากรณีที่ 1 ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO-CaO ดังนั้นการผลิตอะซิโตนจากไบโอเอทานอลโดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา คือ ZnO-CaO จึงมีความซับซ้อนและต้นทุนที่ถูกกว่าการผลิตอะซิโตนและเอทิลีนจากไบโอเอทานอลโดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา คือ ZnO

ตารางที่ 4 อัตราการไหลของมวลสาร (mass flowrate) หลังเกิดปฏิกิริยา

สาร	อัตราการไหลของมวลสาร (kg/hr)	
	ตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO-CaO	ตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO
เอทานอล	-	126.28
น้ำ	14,734.77	17,095.30
แอสีทาลดีไฮด์	-	680.34
ไฮโดรเจน	718.32	350.24
สาร	อัตราการไหลของมวลสาร (kg/hr)	
	ตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO-CaO	ตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO
อะซิโตน	5,173.94	2,298.48
คาร์บอน ไดออกไซด์	3,920.52	1,741.66
เอทิลีน	494.33	2,761.98

2. การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์และการลงทุน การประมาณต้นทุนการผลิตสำหรับทั้งสองกรณีได้แสดงในตารางที่ 5 โดยกรณีที่สอง (การผลิตอะซิโตน และเอทิลีนจากไบโอเอทานอลโดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา คือ ZnO ซึ่งมีความซับซ้อนมากกว่ากรณีแรก หรือการผลิตอะซิโตนจากไบโอเอทานอลโดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา คือ ZnO-CaO โดยหน้าที่ของแคลเซียมออกไซด์(CaO) คือการควบคุมการเกิดดีไฮเดรชันที่เกิดบริเวณผิวของซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ที่มีความเป็นกรด ทำให้ต้นทุนเริ่มต้นของกรณีที่สองสูงกว่ากรณีแรก โดยในกรณีแรกวัตถุดิบคือเอทานอลและน้ำ ในขณะที่ กรณีที่สองมีสารละลายโมโนเอทานอลามีนเพิ่มขึ้นมาและการใช้หอกลับที่อุณหภูมิต่ำเพื่อให้เอทิลีนมีความบริสุทธิ์เพียงพอต่อความต้องการในท้องตลาดจะต้องใช้หน่วยสนับสนุนการผลิต (utility system) ที่มีราคาค่อนข้างสูง และจากตารางที่ 6 แสดงการวิเคราะห์ความน่าสนใจในการลงทุนแสดงให้เห็นว่า กรณีที่หนึ่ง (การผลิตอะซิโตน จากไบโอเอทานอลโดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา คือ ZnO-CaO) มีความน่าสนใจในการลงทุนมากกว่ากรณีที่สอง (การผลิตอะซิโตน และเอทิลีนจากไบโอเอทานอลโดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา คือ ZnO) เนื่องจากในกรณีที่หนึ่งมีความสามารถในการคืนทุนอยู่ที่ 5 ปี 5 เดือน ในขณะที่ ในกรณีที่สองไม่สามารถคืนทุนได้

ตารางที่ 5 ราคาในกระบวนการผลิตของแต่ละกรณี

รายการ	ตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO-CaO	ตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO
ระยะเวลาการคืนทุน(Payback period)	5 ปี 5 เดือน	มากกว่า 20 ปี

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ความน่าสนใจในการลงทุน

รายการ	ตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO-CaO	ตัวเร่งปฏิกิริยา ZnO
	Annual cost (USD/year)	
Capital Cost	1,397,282.54	2,585,513.30
Total Raw Material Cost	93,871,764.55	216,568,148.90
Total Product Sales	136,491,000.00	147,289,000.00
Total Utilities Cost	6,910,833.91	34,176,321.36
Total Operating Labor Cost	883,486.00	1,255,480.00
Total Maintenance Cost	194,036.00	260,396.00

ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์และเทคโนโลยีในการผลิตอะซีโตนและเอทิลีนเปรียบเทียบระหว่างสองกรณี โดยในกรณีแรกคือการผลิตอะซีโตนจากไบโอเอทานอลโดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา คือ ZnO-CaO และกรณีที่สองคือการผลิตอะซีโตนและเอทิลีนจากไบโอเอทานอลโดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา คือ ZnO) กระบวนการผลิตในกรณีแรกมีความซับซ้อนและมีต้นทุนในการผลิตน้อยกว่ากรณีที่สอง เนื่องจากในกรณีแรกมีการใช้ distillation column เพียงหนึ่งหอ เพื่อที่จะทำให้อะซีโตนมีความบริสุทธิ์เพียงพอต่อความต้องการในท้องตลาดโดยใช้เพียงเอทานอลและน้ำเป็นสารตั้งต้น แต่ในกรณีที่สองจะต้องมีการใช้หอดูดซึม, หอกั่นแยกส่วนและหอกั่นที่อุณหภูมิต่ำเพื่อที่จะทำให้อเอทิลีนมีความบริสุทธิ์เพียงพอต่อความต้องการในท้องตลาดและจะต้องใช้สารละลายโมโนเอทานอลามีนและ หน่วยสนับสนุนการผลิต(utility) ในส่วนหอกั่นที่อุณหภูมิต่ำที่มีราคาค่อนข้างสูงทำให้ต้นทุนการผลิตสูงกว่ากรณีที่หนึ่งค่อนข้างมากและในกรณีที่สองนั้นในการทำให้อะซีโตนมีความบริสุทธิ์เพียงพอต่อความต้องการในท้องตลาดจะต้องใช้หอกั่นถึง 3 หอ ทำให้การลงทุนในกระบวนการผลิตในกรณีที่สองไม่สามารถคืนทุนได้(ระยะเวลาในการคืนทุนมากกว่า 20 ปี)

หากพิจารณากระบวนการผลิตในกรณีที่สองการใช้หอกั่นที่อุณหภูมิต่ำอาจไม่เหมาะสมเนื่องจากในการใช้ หอกั่นที่อุณหภูมิต่ำมีค่าใช้จ่ายในส่วนของหน่วยสนับสนุนการผลิต(utilities)ค่อนข้างสูงทำให้การลงทุนในกรณีที่สองไม่สามารถคืนทุนได้ อาจจะต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมว่าในกระบวนการทำให้อเอทิลีนมีความบริสุทธิ์ มีวิธีการใดอีกบ้างที่จะสามารถทำให้มีความน่าสนใจในการลงทุนเพิ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. Rachot Leingchan. (2565). รถไฟฟ้า: ความต้องการปะละโอกาสที่กำลังมาถึง [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 10 กรกฎาคม 2566, จาก: <https://www.krungsri.com/th/research/research-intelligence/ev-survey-22>
2. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน. (2566). การส่งเสริมและสถานภาพการใช้เอทานอลในปัจจุบัน [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 10 กรกฎาคม 2566, จาก: https://oldwww.dede.go.th/ewt_dl_link.php?nid=61816
3. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2566) การส่งเสริมและสถานภาพการใช้เอทานอลในปัจจุบัน [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 19 กรกฎาคม 2566, จาก: https://www.dede.go.th/ewt_dl_link.php?nid=60639
4. ธนาคารกรุงศรีอยุธยา. (2566) THAILAND INDUSTRY OUTLOOK 2023-2025 [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 23 กรกฎาคม 2566, จาก: <https://www.krungsri.com/en/research/industry/summary-outlook/industry-outlook-2023-2025>
5. Tsuyoshi Nakajima, et.al. (1989). Conversion of ethanol to acetone over zinc oxide-calcium oxide catalyst: Optimization of Catalyst Preparation and Reaction Conditions and Deduction of Reaction Mechanism. Applied Catalysis, 1989 (52), 237-248.
6. Charissa P., et.al. (2013). Chemicals from ethanol—The acetone one-pot synthesis. Applied Catalysis, 2013 (458), 111-118.
7. Tsuyoshi Nakajima, et.al. (1994). A highly active and highly selective oxide catalyst for the conversion of ethanol to acetone in the presence of water vapour. J.MATER.CHEM, 1994 (6), 853-858.
8. Clarissa P. Rodrigues, et.al. (2017). Chemicals from ethanol: the acetone synthesis from ethanol employing $Ce_{0.75}Zr_{0.25}O_2ZrO_2$ and Cu/ZnO/Al₂O₃, 2017, 11-30.
9. J. Bussi, et.al. (1998). Catalytic transformation of ethanol into acetone using copper-pyrochlore catalysts. Applied Catalysis, 1998 (172), 117-129.
10. Toshiya Nishiguchi, et.al. (2005). Catalytic steam reforming of ethanol to produce hydrogen and acetone. Applied Catalysis, 2005 (279), 273-277.
11. Malik M. Mohammed, et.al. (2021). Synthesis of ZnO-CoO/Al₂O₃ nanoparticles and its application as a catalyst in ethanol conversion to acetone. Results in Chemistry, 2021 (3), 100-249
12. R. Sreerama Murthy, et.al. (1988). Conversion of ethanol to Acetone over Promoted Iron Oxide Catalysis. Journal of Catalysis, 1988 (109), 298-302.
13. Made-in-China. (2566) ZnO catalyst price [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 27 กรกฎาคม 2566, จาก: <https://shorturl.asia/vtyNc>
14. Indiamart. (2566) CaO catalyst price [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 27 กรกฎาคม 2566, จาก: <https://shorturl.asia/GJ0uP>
15. Muhammad Mahfuzur Rahman, et.al., Effect of Water on Ethanol Conversion over ZnO. Topics in Catalysis, 2015(59),37-45

**การจำลองและการประเมินสมรรถนะด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์
ของระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริด บนเกาะฮัง จังหวัดกระบี่**

**The Modelling and Techno-Economics Performance Evaluation
of a Microgrid Power Generation System on Hang Island of Krabi, Thailand**

นางสาวเยาวพา นาเกลือ¹, รองศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ แวศักดิ์²,
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รวมพร นิคม³, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โชคชัย เหมือนมาศ³

¹นิสิตปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมพลังงาน
มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง, จังหวัดพัทลุง 93210 ประเทศไทย

²อาจารย์และนักวิจัย ศูนย์วิจัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง, จังหวัดพัทลุง 93210 ประเทศไทย

³อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมพลังงาน
มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง, จังหวัดพัทลุง 93210 ประเทศไทย

E-mail: joom.energy@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการจำลองและประเมินสมรรถนะด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริด บนเกาะฮัง ตำบลเกาะศรีบอยา อำเภอเหนือคลอง จังหวัดกระบี่ ซึ่งเป็นพื้นที่ห่างไกลจากสายส่งไฟฟ้าหลักและขาดแคลนระบบไฟฟ้าที่มีเสถียรภาพ โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดแบบไฮบริดจากพลังงานหมุนเวียนบนเกาะสมุย ภาคใต้ของประเทศไทย, ระบบผลิตไฟฟ้าแบบไฮบริด บนเกาะมอญประเทศบังกลาเทศ, ระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดจากพลังงานหมุนเวียนที่เหมาะสมบนเกาะกาด็อกโด ประเทศเกาหลีใต้ หรือระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบไฮบริดในพื้นที่ชนบทของรัฐคาร์นาตาका ประเทศอินเดีย เป็นต้น งานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือจำลองระบบด้วยคอมพิวเตอร์ที่ชื่อว่า HOMER Pro® (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources Pro®) ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดขนาดกำลังผลิตรวมทั้งระบบที่ 4,000 kW ต่อวัน ของการใช้งานไฟฟ้าจากประชากร 161 ครัวเรือน จำนวน 508 คน

จากผลการวิจัย สามารถสรุปได้ว่า สถานการณ์จำลองระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดที่ดีที่สุด สำหรับการใช้งานไฟฟ้าบนเกาะฮัง จังหวัดกระบี่ คือระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดจากพลังงานแสงอาทิตย์ 1,000 kW พลังงานลม 3,000 kW แบตเตอรี่ 4,000 kWh เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล 500 kW และเครื่องควบคุมการชาร์จ 500 kW ที่มีการเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าหลัก โดยมีค่าใช้จ่ายต้นทุนปัจจุบันสุทธิ อยู่ที่ 233.45 ล้านบาท ต้นทุนพลังงานที่ปรับระดับน้อยที่สุด อยู่ที่ 6.05 บาท/kWh และมีค่าการปล่อยก๊าซ CO₂ ทั้งสิ้นอยู่ที่ 190,078 kg/ปี

คำสำคัญ: ไมโครกริด, ไฮบริด, HOMER Pro®, ต้นทุนปัจจุบันสุทธิ, ต้นทุนด้านพลังงาน

ABSTRACT

This research paper presents the Modelling and Technical- Economics performance evaluation of a Microgrid Power Generation System. Researcher has selected the case study area from Koh Hang village, Koh Sriboya subdistrict, Nuea Khlong district, Krabi province, Thailand that far from the main grid transmission line and lack of the stable electricity system. For this development concept, Researcher found in related field of research papers such as A paper of Microgrid Hybrid Renewable Energy Power Generation System in Koh Samui; Southern of Thailand, A Case Study of Monpura Island in Bangladesh; Sizing of an Island Standalone Hybrid System, The independent optimal renewable power generation systems at Gadeokdo Island in South Korea or Modelling and optimization of an off- grid hybrid renewable energy system for electrification in a rural areas of Karnataka city; India and etc. This research uses a computer system simulation tool called HOMER Pro® (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources Pro®). The researcher has set the total system production capacity at 4,000 kW per day for electricity usage from a population of 161 households, 508 people

This research results can be concluded that The best scenario for electricity usage on Hang Island, Krabi is a microgrid system from 1,000 kW solar power / 3,000 kW wind power / 4,000 kWh batteries / 500 kW diesel generator and 500 kW charge controller with connected to the main grid. The net present cost is 233.45 million baht, the levelized cost of energy is 6.05 baht/kWh and the CO₂ emissions are 190,078 kg/year.

Keywords: Microgrid, Hybrid, HOMER Pro®, Net Present Cost, Levelized Cost of Energy

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

เกาะฮัง ตั้งอยู่ในเขตบริเวณฝั่งทะเลอันดามัน ห่างจากชายฝั่งภาคพื้นดินของตำบลเกาะศรีบอยา อำเภอเหนือคลอง จังหวัดกระบี่ ในระยะ 1 กิโลเมตร มีขนาดพื้นที่ 9,647.16 ไร่ (ประมาณ 15.44 ตารางกิโลเมตร) ซึ่ง 1 ใน 3 ของพื้นที่ทั้งหมดเป็นผืนป่าธรรมชาติ และส่วนที่เหลือคือพื้นที่อยู่อาศัย โดยพิกัดของเกาะฮังตั้งอยู่ในละติจูดที่ 7.864817 หรือ 7° 46' 50" ของทิศเหนือ และลองจิจูดที่ 99.01914 หรือ 98° 58' 60" ของทิศตะวันออก ชุมชนบ้านเกาะฮัง มีจำนวนครัวเรือนโดยประมาณ 161 ครัวเรือน โรงเรียน 1 แห่ง มัสยิด 1 แห่ง และที่พักสงฆ์ 1 แห่ง รวมจำนวนประชากรทั้งหมดประมาณ 508 คน

ผู้วิจัยได้เลือกเกาะฮังเป็นพื้นที่กรณีศึกษา เนื่องจากปัจจุบันผู้วิจัยกำลังปฏิบัติงานในตำแหน่งวิศวกรของสำนักงานพลังงานจังหวัดกระบี่ และได้สำรวจพื้นที่ขาดแคลนระบบไฟฟ้าในจังหวัดกระบี่ จึงได้พบว่าชุมชนบ้านเกาะฮัง มีจำนวนประชากรที่ค่อนข้างน้อย เป็นเพียงพื้นที่เกาะที่มีการอยู่อาศัยของคนท้องถิ่นทั่วไป ไม่ใช่พื้นที่เกาะสำหรับการท่องเที่ยว ทำให้การพิจารณาเดินระบบสายส่งไฟฟ้าถูกจัดลำดับความสำคัญรองลงมาจากพื้นที่เกาะอื่นๆ ดังนั้น แม้ว่าในอนาคต พื้นที่เกาะฮังแห่งนี้อาจได้รับการสนับสนุนสายส่งไฟฟ้าหลักเข้ามาแล้ว แต่การใช้พลังงานทางเลือกก็สามารถช่วยแก้ไขปัญหาคาดแคลนระบบไฟฟ้าได้อย่างมั่นคงและยั่งยืน ยกเว้นคุณภาพชีวิตความเป็นอยู่ของประชากรที่ดีขึ้น และเข้าถึงสิทธิขั้นพื้นฐานของประชาชนคนไทยอย่างเท่าเทียม

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อจำลองระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริด ที่จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานไฟฟ้าให้กับประชากรของบ้านเกาะฮัง ตำบลเกาะศรีบอยา อำเภอเหนือคลอง จังหวัดกระบี่ จำนวน 161 ครัวเรือน ได้อย่างเพียงพอต่อความต้องการใช้งานขั้นพื้นฐานของแต่ละครัวเรือน และสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.2 เพื่อประเมินสมรรถนะด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริด ที่ได้จากการจำลองขึ้นในรูปแบบต่างๆ อย่างมีประสิทธิภาพและเชื่อถือได้

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 พลังงานหมุนเวียนที่สนใจ

การศึกษาและประเมินประสิทธิภาพของพลังงานหมุนเวียนที่สนใจนำมาใช้งานสำหรับการผลิตไฟฟ้า เริ่มจากการสำรวจแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในพื้นที่ องค์กรประกอบทางเทคนิคต่างๆ ที่ต้องใช้ในการออกแบบระบบ รวมไปถึงตัวแปรทางเศรษฐศาสตร์ที่มีผลกระทบด้วย ได้แก่ ต้นทุนด้านพลังงาน ต้นทุนปัจจุบันสุทธิทั้งหมดที่ใช้ในการผลิต ค่าบำรุงดูแลรักษา ระบบ เป็นต้น เพื่อสามารถวิเคราะห์และจำลองระบบที่มีประสิทธิภาพและคุ้มค่าที่สุด ซึ่งจากการรวบรวมข้อมูลศักยภาพพลังงานหมุนเวียนทั้งหมดในพื้นที่ เกาะฮังนั้น ผู้วิจัยจึงได้เลือกพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลม มาเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่ใช้ในการจำลองระบบผลิตไฟฟ้านี้ เนื่องจากเกาะฮังเป็นพื้นที่เปิดโล่ง สามารถรับรังสีจากแสงอาทิตย์และแรงลมได้อย่างเต็มที่ ส่วนพลังงานหมุนเวียนอื่นๆ เช่น พลังงานชีวมวล หรือพลังงานก๊าซชีวภาพ ในเขตเกาะฮังยังมีปริมาณค่อนข้างน้อย ไม่มากพอที่จะนำมาใช้งานได้

3.1.2 ระบบไมโครกริด (Microgrid)

ระบบไมโครกริดแบบมีการใช้พลังงานสุทธิตั้งเป็นศูนย์ (NZE Microgrid) คือ ระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก ซึ่งรวมระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน ระบบกักเก็บพลังงาน ระบบเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร และระบบควบคุมอัตโนมัติเข้าไว้ด้วยกัน โดยสามารถรองรับปริมาณการใช้พลังงานในบริเวณพื้นที่ที่กำหนดได้ ทั้งนี้ องค์ประกอบสำคัญของระบบ NZE Microgrid มีดังนี้

(1) ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบกระจายศูนย์ (Distributed Generation; DG) เป็นระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าขนาดเล็ก ทำหน้าที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้กับโหลดภายในระบบไมโครกริด (Microgrid) ซึ่งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบกระจายศูนย์แบบทั่วไป อาจเป็นได้ทั้งแหล่งพลังงานจากฟอสซิลและแหล่งพลังงานหมุนเวียน แต่ในระบบ NZE Microgrid นั้น การผลิตพลังงานไฟฟ้าต้องมาจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนหรือแหล่งพลังงานสะอาดเท่านั้น และต้องสามารถผลิตพลังงานได้มากกว่าความต้องการใช้พลังงานในรอบ 1 ปี

(2) ระบบกักเก็บพลังงาน (Energy Storage System; ESS) ทำหน้าที่เก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินในช่วงที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าการใช้งานในระบบไมโครกริด และทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้ากลับคืนสู่ระบบในช่วงที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อการใช้งานและในช่วงที่ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ เพื่อการบริหาร การใช้พลังงาน รักษาคุณภาพ และเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าภายในขอบเขตของไมโครกริด

(3) ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (Distribution System) ในระบบไมโครกริดนั้น ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ทำหน้าที่ในการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบกระจายศูนย์ ระบบกักเก็บ

พลังงานไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าหรือโหลด โดยปัจจุบันมีการใช้เทคโนโลยีทางด้าน ICT มาช่วยในการตรวจวัด บริหารจัดการ รวมไปถึงตรวจสอบความผิดปกติของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

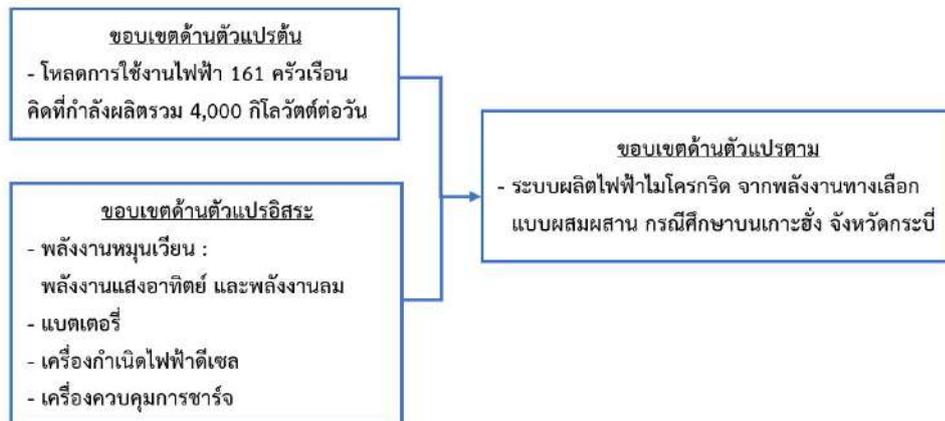
(4) ระบบป้องกัน (Protection System) เป็นระบบที่ป้องกันการดำเนินงานที่ผิดพลาด และการชำรุดเสียหายของวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งในสถานการณ์ปกติ หรือผิดปกติ ซึ่งอยู่ในเกือบทุกองค์ประกอบของระบบไมโครกริด

(5) ระบบควบคุมไมโครกริด (Microgrid Controller) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของส่วนประกอบต่างๆ ให้ประสานสอดคล้องกัน เพื่อควบคุมการแลกเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าภายในไมโครกริดนั้นๆ กับโครงข่ายไฟฟ้าหลักอย่างสมดุล

(6) ระบบสื่อสาร (Communication System) คือ หัวใจหลักในการบริหารจัดการระบบไมโครกริด โดยมีการติดต่อสื่อสาร รับ-ส่ง และบันทึกข้อมูล รวมถึงนำข้อมูลที่ได้อาวิเคราะห์การใช้งานร่วมกับระบบควบคุมและประมวลผลแบบรวมศูนย์ ผ่านการรับ-ส่งข้อมูลจากมิเตอร์อัจฉริยะทำให้เกิดสถานะการสื่อสารแบบสองทิศทาง (Two-way communications) เพื่อเป็นช่องทางให้สามารถส่งสัญญาณควบคุมปริมาณทางไฟฟ้าของแหล่งผลิตพลังงานให้สมดุลกับการใช้งานโหลดต่อไป

(7) ผู้ใช้ไฟฟ้าหรือโหลด (Electricity User or Electrical Load) ผู้ใช้ไฟฟ้าในระบบไมโครกริดสามารถจำแนกได้เป็น ผู้ใช้ไฟฟ้าภาคครัวเรือน ภาคอุตสาหกรรม เกษตรกรรม ภาคธุรกิจ หรือภาครัฐ เป็นต้น ซึ่งในการบริหารโหลด ต้องจัดลำดับความสำคัญ เพื่อเป็นปัจจัยหลักในการบริหาร และการสั่งการของระบบควบคุมทั้งในภาวะปกติ และภาวะฉุกเฉิน เพื่อให้สามารถจ่ายไฟฟ้า สอดประสานกันระหว่างแหล่งกำเนิดพลังงาน ระบบกักเก็บพลังงาน และโหลดในภาพรวมได้อย่างมั่นคง และมีประสิทธิภาพ

3.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

3.3 กรณีศึกษาวิจัย

ผู้วิจัยได้กำหนดกรณีศึกษาวิจัยของระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริด แบ่งเป็น 2 กรณีหลัก ได้แก่

3.3.1 ระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดจากพลังงานทางเลือกแบบผสมผสาน ในรูปแบบที่มีการเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าหลัก (Grid-connected) ซึ่งได้ออกแบบใน 3 สถานการณ์ ดังนี้

1) ระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดจากพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม แบตเตอรี่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และเครื่องควบคุมการชาร์จ ที่มีการเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าหลัก

2) ระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดจากพลังงานแสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และเครื่องควบคุมการชาร์จ ที่มีการเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าหลัก

3) ระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดจากพลังงานลม แบตเตอรี่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และเครื่องควบคุมการชาร์จ ที่มีการเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าหลัก

3.3.2 ระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดจากพลังงานทางเลือกแบบผสมผสาน ในรูปแบบใช้งานนอกโครงข่ายไฟฟ้าหลักอย่างเป็นอิสระ (Stand-alone หรือ Off-grid) ซึ่ง ได้ออกแบบใน 3 สถานการณ์ ดังนี้

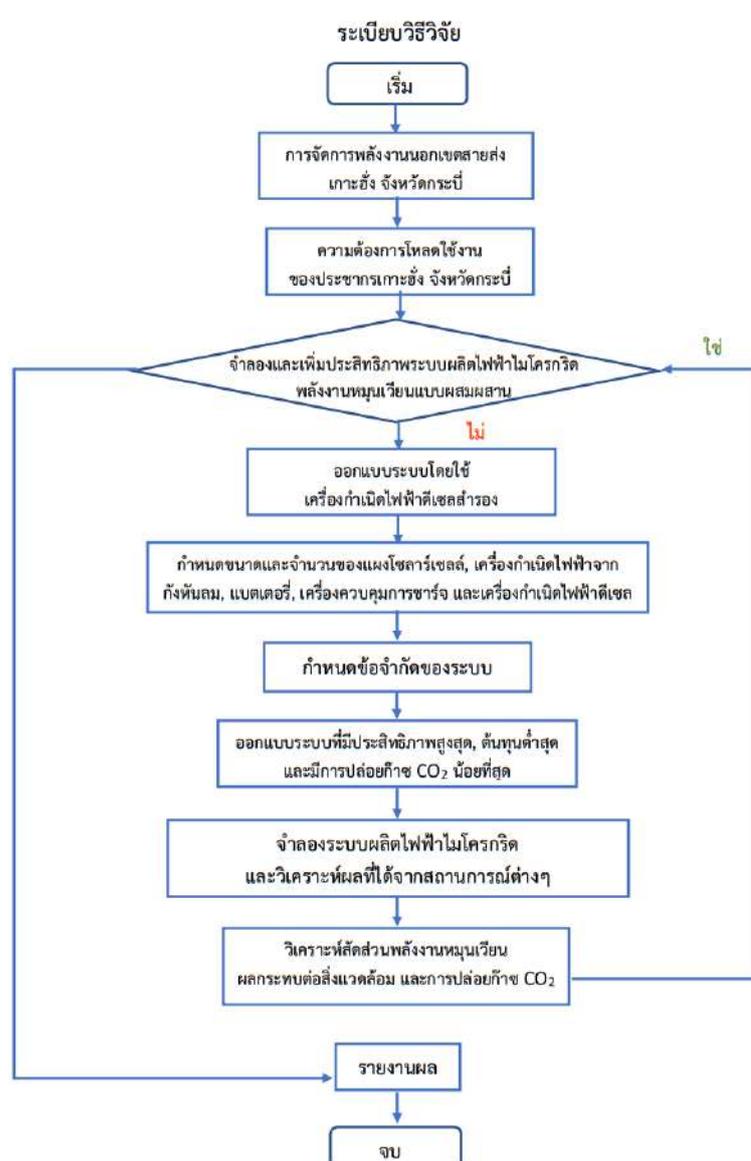
1) ระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดจากพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม แบตเตอรี่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และเครื่องควบคุมการชาร์จ โดยไม่มีการเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าหลัก

2) ระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดจากพลังงานแสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และเครื่องควบคุมการชาร์จ โดยไม่มีการเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าหลัก

3) ระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดจากพลังงานลม แบตเตอรี่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และเครื่องควบคุมการชาร์จ โดยไม่มีการเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าหลัก

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 แบบแผนการวิจัย



4.2 ประชากรและตัวอย่าง

ประชากรของบ้านเกาะฮัง จำนวน 161 ครัวเรือน รวมจำนวนประชากรทั้งหมด 508 คน

4.3 เครื่องมือวิจัย : HOMER Pro®

ผู้วิจัยได้เลือกใช้เครื่องมือวิจัยทางคอมพิวเตอร์ ชื่อ HOMER Pro® เนื่องจากเป็น โปรแกรมที่ถูกพัฒนา และรับรองผลโดยห้องปฏิบัติการพลังงานทดแทนแห่งชาติ ประเทศสหรัฐอเมริกา (National Renewable Energy Laboratory, USA) และเป็นที่ยอมรับของนักวิจัยทั่วโลกในการใช้จำลองระบบผลิตไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม และแม่นยำ รวมไปถึงประเมินผลทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบ โดย HOMER Pro® จะออกแบบ ขนาด จำนวน ปริมาณตามความต้องการโหลดใช้งานของระบบ พร้อมคำนวณค่าใช้จ่ายที่สำคัญของระบบ เช่น ค่าต้นทุนพลังงานที่ปรับระดับน้อยที่สุด (Levelized Cost of Energy : LCOE) หรือค่าต้นทุนปัจจุบันสุทธิ (Net Present Cost : NPC) ซึ่ง HOMER Pro® จะจำลองสถานการณ์ที่เลือกใช้แหล่งผลิตไฟฟ้าต่างๆของระบบ ให้เกิดสมดุลพลังงานของแต่ละชั่วโมงในช่วงรายวัน และรายเดือนของปี และสามารถรองรับความต้องการโหลด ทั้งหมดได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 2 เครื่องมือจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ HOMER Pro®

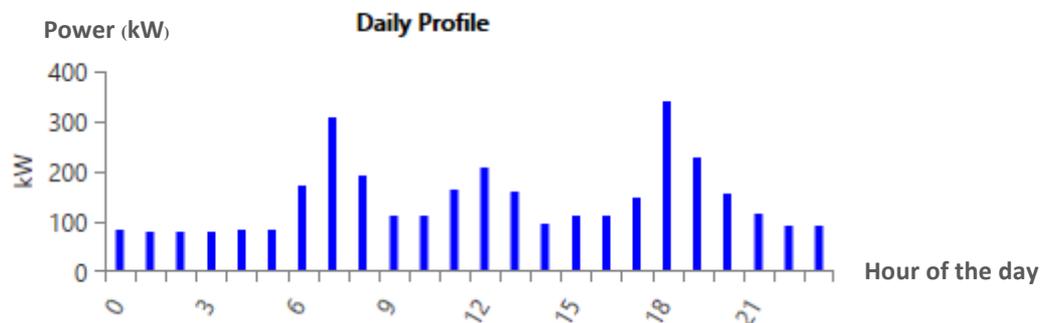
4.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ลงพื้นที่สำรวจและเก็บข้อมูลความต้องการโหลดใช้งานจากประชากรในพื้นที่บ้านเกาะฮัง และได้ประสานขอข้อมูลจำนวนประชากรจากทางองค์การบริหารส่วนตำบลเกาะศรีบอยา หน่วยงานผู้ดูแลพื้นที่ อีกหนึ่งชุดข้อมูล

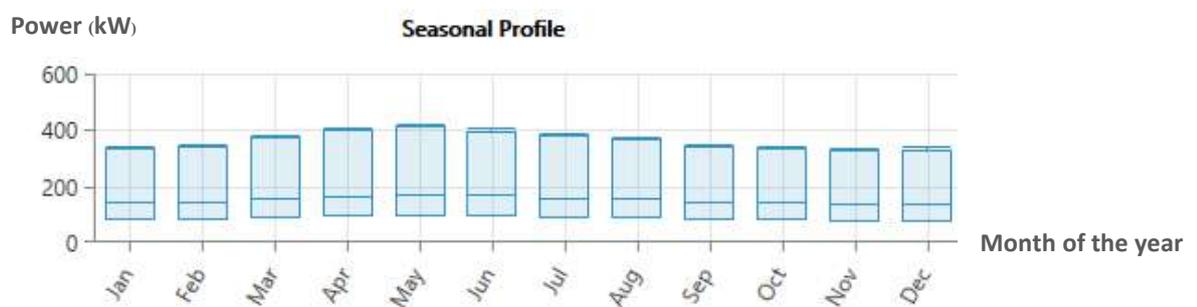
4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ออกแบบระบบโดยเลือกการใช้พลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานที่เหมาะสมในพื้นที่บ้านเกาะฮัง ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม ทั้งยังมีได้เลือกใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและแบตเตอรี่เพื่อสำรอง และเสริมกำลังการผลิตไฟฟ้าให้มีเสถียรภาพยิ่งขึ้น โดยแบบจำลองที่ได้จะถูกนำมาประเมินสมรรถนะด้านเทคนิค และเศรษฐศาสตร์ ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดปัจจัยควบคุมที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ อายุโครงการอยู่ที่ 20 ปี, การขาดแคลนกำลังการผลิตสูงสุดต่อปี (Annual capacity shortage) ที่ 5%, อัตราคิดลด (Discount rate) ที่ 2.5%, และอัตราเงินเฟ้อ (Inflation rate) ที่คาดไว้ที่ 6% โดยอ้างอิงข้อมูลล่าสุดในรอบปี พ.ศ. 2565 จากธนาคารกลางแห่งประเทศไทย : Bank of Thailand

ดังนั้น ระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดที่ได้จากการจำลองผ่านเครื่องมือวิจัย : HOMER Pro® จะต้องสามารถผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าครอบคลุมทั่วถึงทั้งหมด 161 ครัวเรือน และเพียงพอต่อความต้องการใช้งานขั้นพื้นฐานของแต่ละครัวเรือน โดยกำหนดกำลังผลิตรวมทั้งระบบที่ 4,000 kW ต่อวัน



ภาพที่ 3 ความต้องการโหลดใช้งานรายวัน ของประชากรบ้านเกาะฮัง ต่อ 1 ครัวเรือน



ภาพที่ 4 ความต้องการโหลดใช้งานรายเดือน ของประชากรบ้านเกาะฮัง ต่อ 1 ครัวเรือน

5. ผลการวิจัย

5.1 ระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดจากพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม แบตเตอรี่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และเครื่องควบคุมการชาร์จ ที่มีการเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าหลัก

ตารางที่ 1 การจำลองตามขนาดของอุปกรณ์ที่ปรับให้เหมาะสม และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นของระบบในข้อ 5.1

สถาน การณ ที่	ขนาดของอุปกรณ์					เชื่อมต่ กริดหลัก	ค่าใช้จ่าย		การปล่อย ก๊าซ CO ₂ (kg/ปี)
	โซลาร์ (kW)	กังหันลม (kW)	ดีเซล (kW)	แบตเตอรี่ (kWh)	เครื่องชาร์จ (kW)		NPC (บาท)	LCOE (บาท/kWh)	
1	2000	2000	500	4000	500	มี	264.95M	6.53	183,385
2	1000	3000	500	4000	500	มี	233.45M	6.05	190,078
3	3000	1000	500	4000	500	มี	313.95M	7.62	208,278

5.2 ระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดจากพลังงานแสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และเครื่องควบคุมการชาร์จ ที่มีการเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าหลัก

ตารางที่ 2 การจำลองตามขนาดของอุปกรณ์ที่ปรับให้เหมาะสม และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นของระบบในข้อ 5.2

สถานการณ์ที่	ขนาดของอุปกรณ์					เชื่อมต่อกับกริดหลัก	ค่าใช้จ่าย		การปล่อยก๊าซ CO ₂ (kg/ปี)
	โซลาร์ (kW)	กังหันลม (kW)	ดีเซล (kW)	แบตเตอรี่ (kWh)	เครื่องชาร์จ (kW)		NPC (บาท)	LCOE (บาท/kWh)	
1	2000	2000	500	4000	500	ไม่มี	689.5M	22.72	291,223
2	1000	3000	500	4000	500	ไม่มี	745.5M	24.16	293,624
3	3000	1000	500	4000	500	ไม่มี	686M	22.57	359,690

5.3 ระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดจากพลังงานลม แบตเตอรี่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และเครื่องควบคุมการชาร์จ ที่มีการเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าหลัก

ตารางที่ 3 การจำลองตามขนาดของอุปกรณ์ที่ปรับให้เหมาะสม และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นของระบบในข้อ 5.3

สถานการณ์ที่	ขนาดของอุปกรณ์					เชื่อมต่อกับกริดหลัก	ค่าใช้จ่าย		การปล่อยก๊าซ CO ₂ (kg/ปี)
	โซลาร์ (kW)	กังหันลม (kW)	ดีเซล (kW)	แบตเตอรี่ (kWh)	เครื่องชาร์จ (kW)		NPC (บาท)	LCOE (บาท/kWh)	
1	4000	0	500	4000	500	ไม่มี	784M	25.15	594,902
2	3000	0	500	4000	500	ไม่มี	756M	24.41	610,010
3	2000	0	500	4000	500	ไม่มี	738.5M	23.94	640,315

5.4 ระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดจากพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม แบตเตอรี่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และเครื่องควบคุมการชาร์จ โดยไม่มีการเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าหลัก

ตารางที่ 4 การจำลองตามขนาดของอุปกรณ์ที่ปรับให้เหมาะสม และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นของระบบในข้อ 5.4

สถานการณ์ที่	ขนาดของอุปกรณ์					เชื่อมต่อกับกริดหลัก	ค่าใช้จ่าย		การปล่อยก๊าซ CO ₂ (kg/ปี)
	โซลาร์ (kW)	กังหันลม (kW)	ดีเซล (kW)	แบตเตอรี่ (kWh)	เครื่องชาร์จ (kW)		NPC (บาท)	LCOE (บาท/kWh)	
1	4000	0	500	4000	500	มี	388.5M	10.16	402,194
2	3000	0	500	4000	500	มี	357M	9.85	412,899
3	2000	0	500	4000	500	มี	330.05M	9.73	432,095

5.5 ระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดจากพลังงานแสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และเครื่องควบคุมการชาร์จ โดยไม่มีการเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าหลัก

ตารางที่ 5 การจำลองตามขนาดของอุปกรณ์ที่ปรับให้เหมาะสม และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นของระบบในข้อ 5.5

สถาน การณ์ ที่	ขนาดของอุปกรณ์					เชื่อมต่อ กริดหลัก	ค่าใช้จ่าย		การปล่อย ก๊าซ CO ₂ (kg/ปี)
	โซลาร์ (kW)	กังหันลม (kW)	ดีเซล (kW)	แบตเตอรี่ (kWh)	เครื่องชาร์จ (kW)		NPC (บาท)	LCOE (บาท/kWh)	
1	0	4000	500	4000	500	ไม่มี	861M	27.08	385,303
2	0	3000	500	4000	500	ไม่มี	780.5M	24.99	404,303
3	0	2000	500	4000	500	ไม่มี	724.5M	23.54	456,902

5.6 ระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดจากพลังงานลม แบตเตอรี่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และเครื่องควบคุมการชาร์จ โดยไม่มีการเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าหลัก

ตารางที่ 6 การจำลองตามขนาดของอุปกรณ์ที่ปรับให้เหมาะสม และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นของระบบในข้อ 5.6

สถาน การณ์ ที่	ขนาดของอุปกรณ์					เชื่อมต่อ กริดหลัก	ค่าใช้จ่าย		การปล่อย ก๊าซ CO ₂ (kg/ปี)
	โซลาร์ (kW)	กังหันลม (kW)	ดีเซล (kW)	แบตเตอรี่ (kWh)	เครื่องชาร์จ (kW)		NPC (บาท)	LCOE (บาท/kWh)	
1	0	4000	500	4000	500	มี	267.75M	6.10	269,973
2	0	3000	500	4000	500	มี	285.6M	6.57	279,392
3	0	2000	500	4000	500	มี	304.85M	7.46	302,668

6. อภิปรายผล

งานวิจัยฉบับนี้ ได้ทำการออกแบบและจำลองระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริด บนเกาะฮัง จังหวัดกระบี่ พร้อมประเมินสมรรถนะด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบ ในแต่ละสถานการณ์และข้อจำกัดที่แตกต่างกัน จากผลการจำลอง พบว่า ในสถานการณ์ที่ 1 – 3 ซึ่งเป็นระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดที่มีการเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าหลัก จะมีค่าใช้จ่ายต้นทุนปัจจุบันสุทธิ (NPC) อยู่ในช่วงระหว่าง 233.45 – 388.5 ล้านบาท ต้นทุนพลังงานที่ปรับระดับน้อยที่สุด (LCOE) อยู่ในช่วงระหว่าง 6.05 – 10.16 บาท/kWh และมีการปล่อยก๊าซ CO₂ อยู่ในช่วงระหว่าง 183,385 – 432,095 kg/ปี เปรียบเทียบกับสถานการณ์ที่ 4 – 6 ซึ่งเป็นระบบที่แยกตัวเป็นอิสระจากโครงข่ายไฟฟ้าหลัก จะมีค่าใช้จ่ายต้นทุนปัจจุบันสุทธิ (NPC) อยู่ในช่วงระหว่าง 686 – 861 ล้านบาท ต้นทุนพลังงานที่ปรับระดับน้อยที่สุด (LCOE) อยู่ในช่วงระหว่าง 22.57 – 27.08 บาท/kWh และมีการปล่อยก๊าซ CO₂ อยู่ในช่วงระหว่าง 291,223 – 640,315 kg/ปี ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า ต้นทุนของระบบที่มีการเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าหลัก จะมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่า ระบบที่แยกตัวเป็นอิสระจากโครงข่ายไฟฟ้าหลัก เนื่องด้วยค่าดำเนินการและบำรุงรักษาของระบบนอกโครงข่าย จำเป็นต้องลงทุนเพิ่มมากกว่าระบบในโครงข่ายเดิมที่มีความเสถียรอยู่แล้ว ส่วนการปล่อยก๊าซ CO₂ ของระบบ ขึ้นกับขนาดของอุปกรณ์และเทคโนโลยีพลังงานที่แตกต่างกัน โดยพบว่าระบบที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานลมมากกว่า จะมีการปล่อยก๊าซ CO₂ ที่น้อยกว่า ระบบที่มีสัดส่วนการใช้พลังงาน

แสงอาทิตย์ เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์มีปัจจัยความเสื่อมสภาพของแผงที่ได้รับรังสี UV ซึ่งอาจทำให้เกิดสถานะเรือนกระจกได้ ต่างจากพลังงานลมที่ขึ้นกับความเร็วแรงลม ไม่ค่อยได้รับผลกระทบจากรังสีเหล่านั้น

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) งานวิจัยนี้ ได้ใช้ข้อมูลความต้องการโหลดใช้งานของประชากรบ้านเกาะซึ่งจากการลงสำรวจพื้นที่ด้วยตัวเองประกอบกับข้อมูลจากหน่วยงานผู้ดูแลพื้นที่ จึงสามารถออกแบบระบบได้ใกล้เคียงการใช้งานจริง

(2) งานวิจัยนี้ สามารถเป็นแนวทางต้นแบบให้กับผู้สนใจการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดสำหรับพื้นที่เกาะหรือพื้นที่ห่างไกลจากสายส่งไฟฟ้าหลัก ที่จำเป็นต้องมีแหล่งพลังงานทางเลือกใหม่ไว้ใช้งาน

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

(1) ควรทำการเปรียบเทียบผลการวิจัยที่ได้จากการออกแบบใน HOMER Pro® กับข้อมูลการผลิตไฟฟ้าจริงของแผงโซลาร์เซลล์ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันลม เพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือของแบบจำลองและนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

(2) ควรออกแบบสมมติฐานของระบบผลิตไฟฟ้าไมโครกริดจากสถานการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นจริงหรือมีความเป็นไปได้ทั้งหมด ก่อนจะมาประเมินสมรรถนะด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ รวมไปถึงความคุ้มค่าของระบบที่ดีที่สุดต่อไป

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ กระทรวงพลังงาน ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร.จอมภพ แวศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยหลัก ที่ได้กรุณาช่วยเหลือ แนะนำ ให้คำปรึกษา ตลอดจนระยะเวลาการดำเนินงานวิจัยนี้ รวมถึงผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รวมพร นิคม และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โชคชัย เหมือนมาศ ที่ได้กรุณาถ่ายทอดความรู้ แนวคิด วิธีการ คำแนะนำ และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ยิ่ง ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

อนึ่ง ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยฉบับนี้จะประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้องอยู่ไม่มากไม่น้อย โดยคุณค่าทั้งหลายที่ได้รับ ผู้วิจัยขอมอบความกตัญญูกตเวทิตาคุณ แต่บิดา มารดา บุรพจารย์ที่เคยอดรมสั่งสอนตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

9. เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2562). *คู่มือการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ การถ่ายทอดและเผยแพร่การใช้พลังงานแสงอาทิตย์* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 20 กรกฎาคม 2566. จาก https://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/คู่มือ%20การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์%20BLN_0.pdf

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2563). *รายงานความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ย้อนหลัง ประจำปี พ.ศ. 2563* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 22 กรกฎาคม 2566. จาก <http://www.irradiancedata.dede.go.th>

กรมอุตุนิคมวิทยา (2565). *ภูมิอากาศจังหวัดกระบี่* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 23 กรกฎาคม 2566. จาก

<http://www.marine.tmd.go.th/thai/krabi>

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (2564). *คู่มือเปิดโลกอัจฉริยะ Smart Grid* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 30 กรกฎาคม 2566.

จอมภพ แววศักดิ์ (2558). *เทคโนโลยีพลังงานลม*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ธนาคารกลางแห่งประเทศไทย : Bank of Thailand (2566) *Interest Rates in Financial Market (2005- present)*

[ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 12 ตุลาคม 2566. จาก

https://app.bot.or.th/BTWS_STAT/statistics/BOTWEBSTAT.aspx?reportID=223&language=ENG

วีรสักดิ์ ไชยชาญ และคณะ (2565), *การเพิ่มประสิทธิภาพของไฮบริดแบบสแตนด์โตนและแบบเชื่อมต่อกริดผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์/ลม/เซลล์เชื้อเพลิง: ประยุกต์ใช้สำหรับเกาะสมุย ภาคใต้ของประเทศไทย* ScienceDirect วารสารพลังงาน ฉบับที่ 8 (2565) หน้า 480–493

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (2566). *องค์ประกอบสำคัญของระบบ NZE Microgrid*

[ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 29 สิงหาคม 2566. จาก

<https://www.eppo.go.th/index.php/th/component/k2/item/19788-netzero-02>

Eunil Park และคณะ (2559), *การพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนแบบแยกตัวอิสระที่ดีที่สุดบนเกาะ*

ภาคีโอกโศ ประเทศเกาหลีใต้, ScienceDirect วารสารเมืองและสังคมที่ยั่งยืน ฉบับที่ 23 (2559)

หน้า 114–118

Tamal Chowdhury และคณะ (2565), *กรณีศึกษา: การกำหนดขนาดของระบบไฮบริดแบบสแตนด์โตนของเกาะ*

โดยพิจารณาจากพารามิเตอร์ทางเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม, Energies 2022,15, 5940

UL Solutions HOMER Software team (2022). *HOMER Pro®* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 5 สิงหาคม 2566. จาก

<https://www.homerenergy.com>

Vendoti Suresh และคณะ (2563), *การสร้างแบบจำลองและการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบพลังงานหมุนเวียน*

แบบไฮบริดนอกเครือข่ายสำหรับการผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ชนบท, ScienceDirect วารสารพลังงาน ฉบับที่

6 (2563) หน้า 594-604

การออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการประกอบเบาะรถยนต์

Design of Experiments for Quality Improvement in Automotive

Seats Assembly Process

เอกนุกูล สายดาบแก้ว

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

E-mail: aeknukun.said@kmutt.ac.th

ช่อแก้ว จตุรานนท์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

E-mail: chorkaew.jat@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความฝืดของการปรับเลื่อนที่พนักศีรษะเบาะรถยนต์และบรรจุเป้าหมายค่าความฝืดที่กำหนดไว้ 20-40 นิวตัน โดยการประยุกต์ใช้หลักการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง ซึ่งมีปัจจัยหลัก 3 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความฝืด คือ ขนาดของ Bracket เฟรมเบาะรถยนต์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขาที่พนักศีรษะเบาะรถยนต์ และการใช้สารหล่อลื่นในขั้นตอนการประกอบที่พนักศีรษะ การทดลองนี้มีจำนวน 32 การทดลอง และทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 96 การทดลอง เพื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้จากการทดลองเพื่อหาปัจจัยและระดับของปัจจัยที่เหมาะสม ผลการทดลองพบว่า ปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่อยู่ใน การทดลองมีอิทธิพลต่อค่าความฝืดที่เกิดขึ้นในกระบวนการ ผลการวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการ พบว่า ปัจจัยขนาดของ Bracket เฟรมเบาะรถยนต์ที่ระดับ 18.7 มิลลิเมตร ปัจจัยขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของ ขาที่พนักศีรษะที่ระดับ 13.7 มิลลิเมตร และไม่ใช้สารหล่อลื่นในขั้นตอนการประกอบที่พนักศีรษะ เป็นสภาวะที่ เหมาะสมที่สุด จากการนำผลการวิเคราะห์มาปรับใช้กับกระบวนการผลิตจริง พบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าความฝืดที่ เกิดขึ้นในกระบวนการลดลงจาก 61.37 นิวตัน เป็น 30.05 นิวตัน ซึ่งบรรลุเป้าหมายค่าความฝืดที่กำหนดไว้

คำสำคัญ: กระบวนการประกอบเบาะรถยนต์/ การออกแบบการทดลอง/ การปรับปรุงคุณภาพ

ABSTRACT

The objective of this research was to identify the factors and their respective levels that impact the friction characteristics during adjustments to the car seat headrest shift. The goal was to achieve a targeted friction range of 20-40 Newtons through the application of experimental design and analysis. Three primary factors were determined which significantly affect stiffness values: the dimensions of the car seat frame bracket, the diameter

of the car seat headrest leg, and the utilization of lubricants in the headrest assembly process. The experimental setup involved conducting 32 unique experiments, with replicated three times, resulting in a total of 96 experiments for subsequent statistical analysis. Through analysis of variance the experimental data, suitable factors and factor levels were determined. The results of the experiments revealed that the main effect and interaction effect exhibited P-values below 0.05, indicating their substantial influence on stiffness during the process. Optimal process conditions revealed that the optimal size for the car seat frame bracket was 18.7 mm, the preferred diameter for the headrest leg was 13.7 mm, and without lubricant in the headrest assembly process proved to be the most favorable configuration. After implementing the optimal value into real process, the results showed that average friction during the process, decreased from 61.37 Newtons to 30.05 Newtons. This achievement effectively met the target friction objectives.

Keywords: Seat Assembly Process/ Experimental Design/ Quality Improvement

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

อุตสาหกรรมยานยนต์ในปัจจุบัน โรงงานประกอบรถยนต์ต่างให้ความสำคัญในการคัดเลือกชิ้นส่วนเพื่อส่งเข้าสู่กระบวนการผลิต สิ่งสำคัญของชิ้นส่วนที่ต่างๆ คือ คุณภาพของชิ้นงาน เบาะรถยนต์นั้นเป็นชิ้นส่วนหนึ่งภายในห้องโดยสารรถยนต์ นอกจากให้ความสวยงามแล้วเบาะรถยนต์ยังให้ความสะดวกสบายลดความเมื่อยล้าขณะขับขี่ด้วยการออกแบบให้เหมาะสมกับสรีระของผู้ขับขี่ อีกทั้งยังมีการออกแบบระบบความปลอดภัยของผู้ขับขี่และผู้โดยสารเมื่อเกิดอุบัติเหตุอีกด้วย จากการเปลี่ยนแปลงตามยุคสมัยของผู้บริโภค การออกแบบผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการเปลี่ยนแปลง ทำให้กระบวนการประกอบเบาะรถยนต์ปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษา พบปัญหาการปรับเดือนที่พักระยะของเบาะรถยนต์มีความผิด ปัจจุบันมีการควบคุมค่าความผิดอยู่ที่ 19.8 ถึง 69.8 นิวตัน ซึ่งค่าความผิดที่พบในปัจจุบันอยู่ที่ 55.4 ถึง 69.4 นิวตัน ถึงแม้ว่าค่าความผิดที่เกิดขึ้นในปัจจุบันยังอยู่ในค่าควบคุม แต่ไม่สามารถสร้างความสะดวกในการใช้งานที่พักระยะของผู้ขับขี่ได้ บริษัทกรณีศึกษาจึงได้มีการทบทวนและกำหนดค่าควบคุมใหม่ขึ้นมาที่ 20 ถึง 40 นิวตัน เพื่อลดความผิดที่เกิดขึ้น ความสำคัญของการใช้งานนี้เป็นการออกแบบมาเพื่อรองรับสรีระของผู้ขับขี่ ทำให้เกิดความความสะดวกสบายและลดความเมื่อยล้าขณะขับขี่รวมถึงความปลอดภัยของผู้ขับขี่จากอุบัติเหตุที่ไม่คาดคิด ปัญหาจึงมีความสำคัญและจำเป็นต้องเร่งดำเนินการแก้ไข

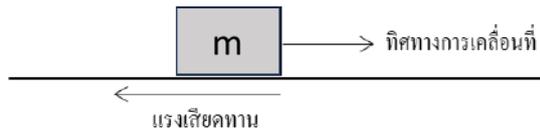
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อหาปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความผิดของการปรับเดือนที่พักระยะเบาะรถยนต์
- (2) เพื่อลดค่าความผิดของการปรับเดือนที่พักระยะเบาะรถยนต์ให้อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ 20-40 นิวตัน

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แรงเสียดทาน (Friction)

อุดมวิทย์ กาญจนวงศ์ (2546) แรงเสียดทานหรือความผิด (Friction) หมายถึงแรงต้านทานซึ่งเกิดจากการเสียดสีระหว่างผิวสัมผัสของวัตถุสองชิ้น ขณะที่วัตถุกำลังจะเคลื่อนที่หรือเคลื่อนที่อยู่ โดยแรงเสียดทานจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ทิศทางของแรงเสียดทาน

ประเภทของแรงเสียดทานสามารถแบ่งตามลักษณะการเกิดแรงได้ 2 ประเภท ได้แก่

(1) **แรงเสียดทานสถิต (Static Friction)** คือแรงเสียดทานที่เกิดจากการพยายามจะเคลื่อนที่ของวัตถุจากเดิมที่วัตถุหยุดนิ่ง แรงเสียดทานสถิตสูงสุดมักจะเกิดขึ้นเมื่อวัตถุกำลังเริ่มจะเคลื่อนที่

(2) **แรงเสียดทานจลน์ (Kinetic Friction)** คือแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในขณะที่วัตถุมีการเคลื่อนที่ โดยทั่วไปแล้วแรงเสียดทานจลน์จะมีค่าน้อยกว่าแรงเสียดทานสถิตของวัตถุนั้นโดยประมาณ 20 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์

3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ขวัญชนก พิมเพ็ชร (2558) ได้ปรับปรุงกระบวนการตอกหมายเลขแซสซีเพื่อลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการ โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3^k ซึ่งมีปัจจัยหลักที่ อยู่ในการทดลอง คือ ระยะห่างของตัวตอกกับชิ้นงาน แรงดันลม และความเร็วในการตอก ผลการทดลอง พบว่า ปัจจัยหลักทั้งสามปัจจัยและปัจจัยร่วมมีอิทธิพลทำให้แบบแซสซีไม่ชัดเจน จากการวิเคราะห์สภาวะกระบวนการที่เหมาะสม พบว่า กระบวนการต้องกำหนดระยะห่างระหว่างหัวตอกกับชิ้นงาน 3.5 มิลลิเมตร แรงดันลม 6 บาร์ และความเร็วในการตอก 30 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ได้ความลึกของตัวหนังสือบนแซสซีตามที่มาตรฐานกำหนดไว้ 0.25 – 0.28 มิลลิเมตร หลังจากประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตจริงสามารถลดของเสียประเภทหมายเลขแซสซีไม่ชัดเจนได้ถึง 75.81 เปอร์เซ็นต์

จตุรวิทย์ คงเขียว (2557) ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิต Surface Mount Technology (SMT) เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตด้วยวิธีการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์การทดลอง 2^k โดยมี 2 ปัจจัยที่อยู่ในการทดลอง คือ แรงกดและความเร็ว และมีระดับของปัจจัย 3 ระดับ ผลการทดลอง พบว่า ปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียในกระบวนการผลิต และผลการวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการพบว่า แรงกดของ Squeegee printing เท่ากับ 10 kgf/cm^2 และความเร็วในการปาดของ Squeegee printing เท่ากับ 60 mm/s สามารถลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการจาก 52 เปอร์เซ็นต์ เหลือเพียง 1.4 เปอร์เซ็นต์

ฉันทน สุระมาศ (2556) ได้ปรับปรุงกระบวนการเชื่อมแบบจุดของคานประตูรถกระบะเพื่อลดปริมาณข้อบกพร่องประเภทขนาดนักเกตรอยเชื่อมไม่ได้มาตรฐาน โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรมเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการ โดยมีปัจจัยในการทดลอง 3 ปัจจัย คือ กระแสไฟที่ใช้ในการเชื่อม เวลาที่ใช้ในการเชื่อมและแรงกดของหัวทูปเครื่องเชื่อม ผลการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการคือ กระแสไฟที่ใช้ในการเชื่อมเท่ากับ 11,600 แอมแปร์ เวลาที่ใช้ในการเชื่อมเท่ากับ 15 ไซเคิลและแรงกดของหัวทูปเครื่องเชื่อมเท่ากับ 2,200 นิวตัน ซึ่งหลังจากปรับปรุงกระบวนการไม่พบผลิตภัณฑ์บกพร่องอีกเลย

ชัชชัย เติงชัยภูมิ (2556) ได้ปรับปรุงกระบวนการขึ้นรูปโลหะรถยนต์เพื่อลดสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทคืบเบิ้ลไลน์และการยึดตัวของวัสดุที่ไม่ได้มาตรฐาน โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรม และทำการศึกษาก่อนที่ส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์จำนวน 3 ปัจจัย คือ ปริมาณน้ำมันหล่อลื่น ความเร็วที่ใช้ใน

การผลิตและแรงกดของ Cushion ผลการทดลองพบว่าสถานะที่เหมาะสมในกระบวนการ คือ ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ความเร็วที่ใช้ในการผลิตเท่ากับ 10 ชั้นต่อนาที และแรงกดของ Cushion เท่ากับ 190 KN ต่อตารางเมตร หลังจากปรับปรุงกระบวนการพบว่า สามารถลดจำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องได้ 64.74 เปอร์เซ็นต์

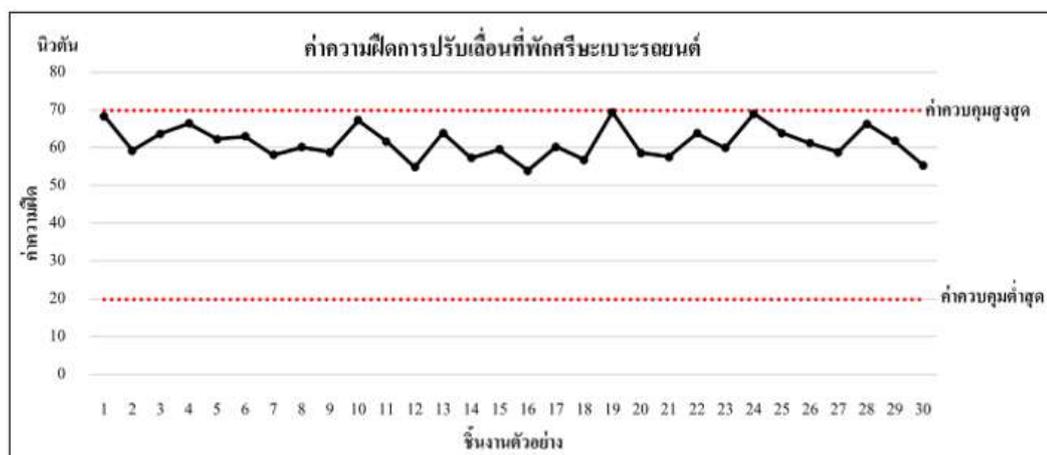
ณัฐจิภรณ์ แยมเพียร (2560) ได้ทำการศึกษากระบวนการล้างตัวเรือนเครื่องประดับพลอยประเภทพลอยเนื้อแข็ง White CZ เพื่อลดของเสียในกระบวนการ โดยประยุกต์การออกแบบการทดลองแบบ General Factorial Design เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องอุตสาหกรรมโซนิคในกระบวนการล้างชิ้นงาน โดยมีปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย คือ เวลา อุณหภูมิ และกระแสไฟ ซึ่งในแต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ ผลการทดลองพบว่า สามารถลดของเสียจากร้อยละ 2.19 เหลือร้อยละ 0.50

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 ศึกษาสภาพปัจจุบัน

การศึกษากระบวนการประกอบเบาะรถยนต์เป็นขั้นตอนแรกในการดำเนินงานวิจัยเพื่อระบุกลไกการเกิดปัญหาค่าความฝืดสูงที่เกิดขึ้นในกระบวนการ

การออกแบบผลิตภัณฑ์มีการกำหนดค่าควบคุมความฝืดของการปรับเลื่อนที่พิกัดระยะเบาะรถยนต์อยู่ที่ 19.8 - 69.8 นิวตัน เมื่อทำการวัดค่าความฝืดของชิ้นงานปัจจุบัน โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง พบว่าฟังก์ชันการปรับเลื่อนที่พิกัดระยะมีความฝืดอยู่ที่ 55.4 - 69.4 นิวตัน จะเห็นได้ว่าค่าความฝืดของชิ้นงานปัจจุบันนั้นเข้าใกล้ค่าควบคุมสูงสุดของมาตรฐานที่กำหนดไว้ ดังรูปที่ 1

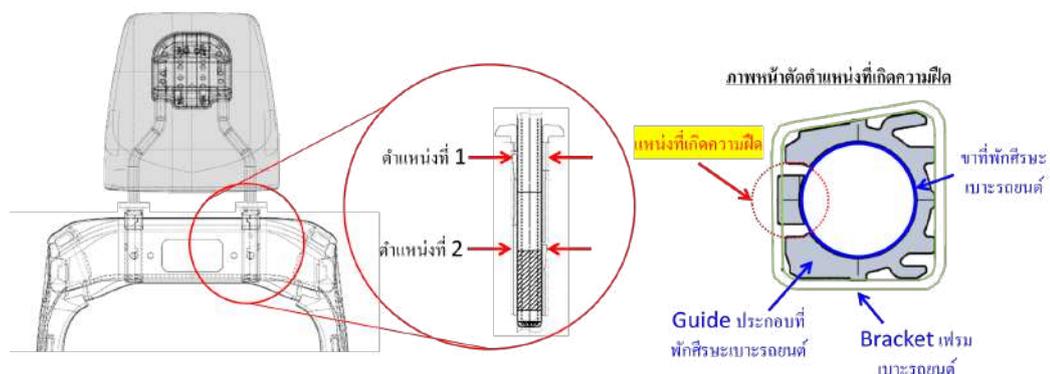


รูปที่ 2 ค่าความฝืดของการปรับเลื่อนที่พิกัดระยะเบาะรถยนต์ในปัจจุบัน

4.2 การวิเคราะห์กลไกการเกิดความฝืดของการปรับเลื่อนที่พิกัดระยะเบาะรถยนต์

กระบวนการประกอบเบาะรถยนต์ของบริษัทกรณีศึกษา พบว่าขั้นตอนการประกอบที่พิกัดระยะเบาะรถยนต์นั้นประกอบไปด้วยชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 3 ชิ้นส่วน ได้แก่ Bracket เฟรมเบาะรถยนต์ ขาของที่พิกัดระยะเบาะรถยนต์ และ Guide ประกอบที่พิกัดระยะ โดยชิ้นส่วนแต่ละชิ้นจะมีฟังก์ชันการทำงานที่สัมพันธ์กัน เมื่อประกอบทั้ง 3 ชิ้นส่วนเข้าด้วยกันแล้ว Bracket ของเฟรมเบาะรถยนต์จะทำหน้าที่บีบ Guide ประกอบที่พิกัดระยะ

ขณะเดียวกันเมื่อ Guide ประกอบที่ฟักศิระจะถูกบีบก็จะเกิดการกดอัดระหว่าง Guide กับขาที่ฟักศิระ จึงเกิดความฝืด (Friction) ระหว่าง Guide ประกอบที่ฟักศิระกับขาของที่ฟักศิระขึ้น ดังรูปที่ 2



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์กันของชิ้นส่วนที่ทำให้เกิดความฝืด

จากกลไกการเกิดความฝืดดังกล่าวได้มีการตรวจสอบสถานะปัจจุบันของกระบวนการ ซึ่งประกอบไปด้วยการตรวจสอบขนาดของชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับกลไกการเกิดความฝืดนี้และการตรวจสอบวิธีการประกอบที่ฟักศิระเบาะรถยนต์ในปัจจุบัน ซึ่งสามารถแสดงผลการตรวจสอบ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการตรวจสอบสถานะปัจจุบันของกระบวนการ

ปัจจัย	มาตรฐานการควบคุม	ผลการตรวจสอบ
ขนาด Bracket เฟรมเบาะรถยนต์	18.6 – 18.9 mm.	18.6 mm.
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขาที่ฟักศิระ	13.7 – 14.0 mm.	13.9 mm.
Guide ประกอบที่ฟักศิระ	2.55 – 2.75 mm.	2.65 mm.
การใช้สารหล่อลื่นในการประกอบที่ฟักศิระเบาะรถยนต์	ไม่มีการควบคุม	ใช้สารหล่อลื่น

4.3 การออกแบบการทดลอง

จากการกำหนดปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้น สรุปได้ว่ารูปแบบการทดลองนี้จะเป็นลักษณะการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล (General Factorial Design) เนื่องจากปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความฝืดมี 2 ลักษณะ คือ ลักษณะตัวเลขและลักษณะข้อความ โดยมีค่าตัวแปรตอบสนอง (y; Response) คือ ค่าความฝืดของการปรับเลื่อนที่ฟักศิระของเบาะรถยนต์ โดยมีหน่วยเป็นนิวตัน (N)

4.4 การกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง

ความหนาของ Guide ประกอบที่ฟักศิระเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ เนื่องจากการปรับเปลี่ยนค่าความหนาของชิ้นงานมีต้นทุนสูง รวมไปถึงผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นกับโรงงานอื่นๆ ที่ใช้ชิ้นส่วนนี้ในการประกอบเบาะรถยนต์ ในการออกแบบการทดลองนี้จึงกำหนดการบล็อกปัจจัยความหนาของ Guide ประกอบที่ฟักศิระ เพื่อความแม่นยำในการทดลอง

จากการศึกษาข้อกำหนดต่างๆ ในกระบวนการประกอบเบาะรถยนต์ พบว่าการกำหนดระดับของปัจจัยในการทดลองสามารถกำหนดได้ภายใต้ข้อกำหนดของการออกแบบผลิตภัณฑ์และข้อกำหนดของกระบวนการผลิตชิ้นส่วน สามารถสรุปปัจจัยและระดับปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปัจจัยและระดับปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง

ปัจจัย	ระดับของปัจจัย				หน่วย
ขนาด Bracket เฟรมเบาะรถยนต์	18.6	18.7	18.8	18.9	mm.
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขาที่ปักศีรษะ	13.7	13.8	13.9	14.0	mm.
สารหล่อลื่น	ใช่	ไม่ใช่	-	-	-

4.5 การตั้งสมมติฐาน

การออกแบบการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความฝืดของการปรับเลื่อนที่ปักศีรษะเบาะรถยนต์ โดยค่าความฝืดที่ได้จากการทดลองจะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ซึ่งมีรูปแบบการวิเคราะห์ค่าตัวแปรตอบสนอง สมมติฐานการทดลองนี้ ประกอบไปด้วยสมมติฐานการทดสอบปัจจัยหลัก (Test of Main Factor) จำนวน 3 สมมติฐาน และสมมติฐานการทดสอบปัจจัยร่วม (Test of Interaction Effect) จำนวน 4 สมมติฐาน

4.6 ผลการดำเนินการทดลอง

จากการออกแบบการทดลอง ซึ่งเป็นการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ General Factorial Design โดยมีตัวแปรอิสระ 3 ตัวแปรที่ทำการศึกษา ประกอบไปด้วย ขนาดของ Bracket เฟรมเบาะรถยนต์ เส้นผ่านศูนย์กลางของขาที่ปักศีรษะ และการใช้สารหล่อลื่นในกระบวนการประกอบ โดยมีตัวแปรตอบสนอง คือ ค่าความฝืดของการปรับเลื่อนที่ปักศีรษะเบาะรถยนต์ ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองและตรวจสอบสภาวะของกระบวนการให้ตรงตามลำดับการทดลอง (Run order) ที่กำหนดไว้ ซึ่งประกอบด้วยการทดลองจำนวน 32 การทดลอง และทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 ครั้ง (3 Replicates) รวมทั้งสิ้น 96 การทดลอง โดยมีการกำหนดค่านัยสำคัญไว้ที่ 0.05 ตัวอย่างผลการบันทึกคำตอบจากการทดลอง 30 ลำดับแรก แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวอย่างผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ General Factorial Design

Std. Order	Run Order	ปัจจัย			ค่าความผิด (นิวตัน)	Std. Order	Run Order	ปัจจัย			ค่าความผิด (นิวตัน)
		Bracket	Stay Headrest	Lubricant				Bracket	Stay Headrest	Lubricant	
93	1	18.9	13.9	ใช่	23.8	67	16	18.6	13.8	ใช่	39.2
65	2	18.6	13.7	ใช่	26.6	69	17	18.6	13.9	ใช่	58.7
84	3	18.8	13.8	ไม่ใช่	31.8	94	18	18.9	13.9	ไม่ใช่	30.8
71	4	18.6	14	ใช่	68.9	78	19	18.7	13.9	ไม่ใช่	49.7
79	5	18.7	14	ใช่	57.6	82	20	18.8	13.7	ไม่ใช่	22.7
68	6	18.6	13.8	ไม่ใช่	53.1	81	21	18.8	13.7	ใช่	15.9
95	7	18.9	14	ใช่	28.3	86	22	18.8	13.9	ไม่ใช่	40.3
72	8	18.6	14	ไม่ใช่	79.8	76	23	18.7	13.8	ไม่ใช่	39.6
85	9	18.8	13.9	ใช่	28.1	90	24	18.9	13.7	ไม่ใช่	15.9
80	10	18.7	14	ไม่ใช่	64.9	75	25	18.7	13.8	ใช่	27.5
89	11	18.9	13.7	ใช่	15.9	73	26	18.7	13.7	ใช่	22.3
96	12	18.9	14	ไม่ใช่	38.7	83	27	18.8	13.8	ใช่	23.4
70	13	18.6	13.9	ไม่ใช่	68.3	91	28	18.9	13.8	ใช่	15.9
88	14	18.8	14	ไม่ใช่	43.0	66	29	18.6	13.7	ไม่ใช่	43.1
77	15	18.7	13.9	ใช่	37.9	74	30	18.7	13.7	ไม่ใช่	27.6

หมายเหตุ :
 1. Bracket หมายถึง ขนาด Bracket เฟรมเบาะรถยนต์
 2. Stay Headrest หมายถึง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขาที่ปักศีรษะ
 3. Lubricant หมายถึง การใช้สารหล่อลื่นในขั้นตอนการประกอบ

4.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยใช้โปรแกรม Minitab Statistical Software ซึ่งมีการพิจารณาผลกระทบของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมที่มีอิทธิพลต่อค่าความผิดที่เกิดขึ้น ในกระบวนการที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลอง

ปัจจัย	P-Value
Blocks	0.525
Bracket	0.000
Stay Headrest	0.000
Lubricant	0.000
Bracket*Stay Headrest	0.000
Bracket*Lubricant	0.000
Stay Headrest*Lubricant	0.000
Bracket*Stay Headrest*Lubricant	0.000

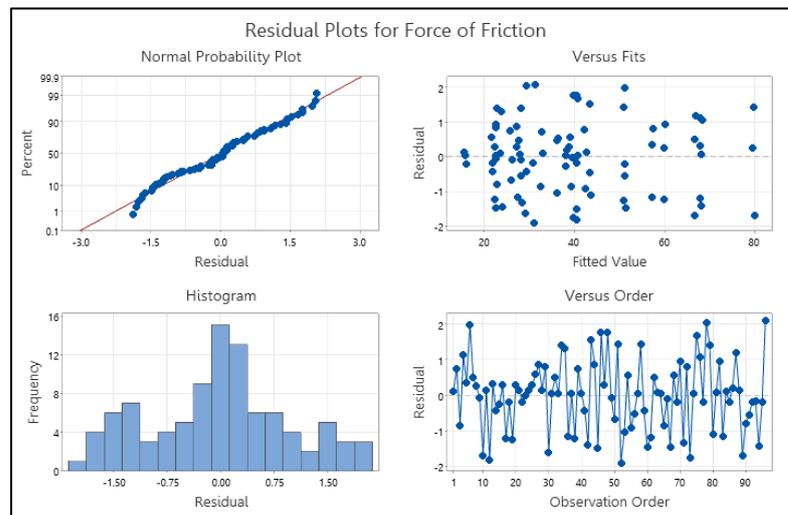
S = 1.21747 R-sq = 99.67% R-sq(adj) = 99.50% R-sq(pred) = 99.22%

เนื่องจากการทดลองนี้มีการบล็อกปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมในการทดลองได้ คือ ค่าความหนาของ Guide ประกอบที่פקศิระเบาะรถยนต์ เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองนี้ พบว่า ค่า P-Value ของ Blocks มีค่ามากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ค่าความหนาของ Guide ประกอบที่פקศิระเป็นปัจจัยที่ไม่มีความสำคัญสำหรับการทดลองนี้

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง พบว่า ค่า P-Value ของปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัย มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัยมีอิทธิพลต่อค่าความฝืดที่เกิดขึ้นในกระบวนการ และค่า P-Value ของปัจจัยมีค่าน้อยกว่า 0.05 เช่นกัน จึงกล่าวได้ว่า ทั้งปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อค่าความฝืดที่เกิดขึ้นในการปรับเลื่อนที่פקศิระเบาะรถยนต์ การพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ พบว่า ค่า R-sq(adj) เท่ากับ 99.50% ซึ่งใกล้เคียงกับค่า R-sq แสดงว่าปัจจัยต่างๆ ที่อยู่ในการทดลองสามารถอธิบายความผันแปรของกระบวนการได้ดี

4.8 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง

การตรวจสอบรูปแบบของค่าส่วนตกค้าง ดังแสดงในรูปที่ 3 พบว่า ค่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรงซึ่งแสดงถึงการกระจายตัวแบบปกติของข้อมูล สำหรับการตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล พบว่า การกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างไม่สามารถประมาณรูปแบบที่แน่นอนได้แสดงให้เห็นถึงความเป็นอิสระของค่าส่วนตกค้าง ในส่วนของการตรวจสอบเสถียรภาพของความแปรปรวน พบว่า ข้อมูลมีการกระจายตัวรอบๆ เส้นศูนย์โดยมีความผันแปรที่ไม่แตกต่างกัน และไม่พบารูปแบบการกระจายตัวของส่วนตกค้างจะมีลักษณะเป็นแบบกรวยปลายเปิดหรือเป็นรูปลำโพง แต่อย่างไรก็ตาม จึงกล่าวได้ว่า ข้อมูลชุดนี้มีความเสถียรของความแปรปรวน



รูปที่ 4 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง

4.9 การตรวจสอบอำนาจการทดสอบข้อมูล

การดำเนินการตรวจสอบอำนาจการทดสอบข้อมูลของการทดลองนี้ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า ค่า Power เท่ากับ 0.992624 หรือประมาณร้อยละ 99.26 ซึ่งอยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้ จึงกล่าวได้ว่าจำนวนตัวอย่างที่นำมาทำการทดลองนี้มีความน่าเชื่อถือและมีความเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์

4.10 การวิเคราะห์สภาวะกระบวนการที่เหมาะสม

จากวัตถุประสงค์ของการทดลองครั้งนี้เพื่อให้บรรลุเป้าหมายค่าความผิดในกระบวนการประกอบที่พัคสิริยะเบาะรถยนต์ที่มีการกำหนดไว้ที่ 20 ถึง 40 นิวตัน ซึ่งมีค่ากึ่งกลางของมาตรฐานที่ 30 นิวตัน จากการวิเคราะห์ผลการทดลองสามารถทำนายผลค่าความผิดได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{ค่าความผิด} &= 37.607 + 3.880 \text{ Bracket}_{18.7} - 13.861 \text{ Stay Headrest}_{13.7} + 4.801 \text{ Lubricant_No} - \\ & 2.009 \text{ Bracket}_{18.7} * \text{Stay Headrest}_{13.7} + 0.453 \text{ Bracket}_{18.7} * \text{Lubricant_No} - 0.972 \\ & \text{Stay Headrest}_{13.7} * \text{Lubricant_No} - 0.532 \text{ Bracket}_{18.7} * \text{Stay Headrest}_{13.7} * \\ & \text{Lubricant_No} \\ & = 29.36 \text{ นิวตัน} \end{aligned}$$

จากผลการวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการที่ส่งผลต่อค่าความผิดที่เกิดขึ้นในการปรับเลื่อนที่พัคสิริยะ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการนั้นต้องกำหนดขนาดของ Bracket เฟรมเบาะรถยนต์ที่ 18.7 มิลลิเมตร กำหนดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของขาที่พัคสิริยะที่ 13.7 มิลลิเมตร และไม่จำเป็นต้องใช้สารหล่อลื่นในกระบวนการประกอบ โดยมีค่าคาดหวัง (Fit) ของค่าความผิดที่ 29.36 นิวตัน ซึ่งใกล้เคียงกับค่ากลางของมาตรฐานที่กำหนด

4.11 การทดสอบและยืนยันผลการทดลอง

การทดสอบและยืนยันผลการทดลองได้นำสภาวะของกระบวนการที่ได้จากการวิเคราะห์ไปทดลองซ้ำเพื่อยืนยันผลการทดลองจำนวน 30 ข้อมูล พบว่า ที่สภาวะก่อนการปรับปรุงของกระบวนการค่าความผิดที่เกิดขึ้นมีค่าเฉลี่ยที่ 61.37 นิวตัน ในขณะที่ค่าความผิดที่เกิดขึ้นของสภาวะหลังการปรับปรุงมีค่าเฉลี่ยที่ 30.05 นิวตัน ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการจากการทดลอง

5. ผลการวิจัย

จากการทดลองพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าความผิดที่เกิดขึ้น คือ ขนาดของ Bracket เฟรมเบาะรถยนต์ ที่ระดับ 18.6, 18.7, 18.8 และ 18.9 มิลลิเมตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในส่วนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขาที่พัคสิริยะที่ระดับ 13.7, 13.8, 13.9 และ 14.0 มิลลิเมตร ก็พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน และการใช้สารหล่อลื่นในกระบวนการประกอบก็พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญสำหรับการใช้และไม่ใช้สารหล่อลื่นในการประกอบ

จากผลการทดลองสามารถวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมหรือระดับของปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการประกอบที่พัคสิริยะเบาะรถยนต์ ซึ่งผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแสดงผลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการประกอบที่พัคสิริยะเบาะรถยนต์

ปัจจัย	ระดับปัจจัยที่เหมาะสม
ขนาดของ Bracket เฟรมเบาะรถยนต์	18.7 mm.
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขาที่พัคสิริยะ	13.7 mm.
การใช้สารหล่อลื่นในกระบวนการประกอบ	ไม่ใช้สารหล่อลื่น

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) จากผลการวิเคราะห์ระดับปัจจัยที่เหมาะสม พบว่า ระดับที่เหมาะสมของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขาที่ปักศีรษะอยู่ในระดับค่าความคมต่ำสุด ซึ่งมีโอกาสที่จะหลุดออกนอกการควบคุม จึงจำเป็นต้องติดตามข้อมูลของกระบวนการอย่างสม่ำเสมอ

(2) การไม่ใช้สารหล่อลื่นในกระบวนการประกอบ ไม่สามารถรับประกันการใช้งานระยะยาวได้ว่าค่าความฝืดจะเพิ่มขึ้นหรือไม่ ควรมีการศึกษาผลกระทบของการไม่ใช้สารหล่อลื่นเพิ่มเติม

(3) ความหนาของ Guide ประกอบที่ปักศีรษะซึ่งไม่ถูกนำมาทำการทดลอง ควรมีการติดตามพารามิเตอร์อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากมีความเกี่ยวข้องกับกลไกการเกิดความฝืดในการปรับเลื่อนที่ปักศีรษะเบาะรถยนต์เช่นกัน

(4) บริษัทกรณีศึกษาสามารถพิจารณาผลการวิเคราะห์ระดับปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อให้สอดคล้องกับสภาพปัจจุบันของกระบวนการได้ โดยพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ในโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ให้ผลลัพธ์ทางเลือก (Solution) รองลงมา

9. เอกสารอ้างอิง

- ขวัญชนก พิมเพ็ชร. (2558). การลดปริมาณของเสียในกระบวนการตอกหมายเลขแชสซีโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง. สารนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ อุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- จตุรวิทย์ คงเขียว. (2557). การลดของเสียในกระบวนการผลิตด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง กรณีศึกษากระบวนการผลิต Surface Mount Technology. สารนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- นันทนกร สุระมาส. (2556). การออกแบบการทดลองเพื่อลดปริมาณข้อบกพร่องในกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุดของคานประตูรถกระบะ. โครงการวิจัยอุตสาหกรรมปัญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและระบบการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ชัชชัย เติงชัยภูมิ. (2556). การออกแบบการทดลองเพื่อลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องในกระบวนการบ่มขึ้นรูปโลหะรถยนต์. การค้นคว้าอิสระปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและระบบการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ณัฐจิราภรณ์ เข้มเพียร. (2560). การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องอัลตราโซนิคในขั้นตอนการล้างโดยใช้การออกแบบการทดลอง. การค้นคว้าอิสระปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและระบบการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อุดมวิทย์ กาญจนวรงค์. (2546). กลศาสตร์วิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: บริษัท สกายบุ๊กส์ จำกัด.

การประเมินโครงสร้างอาคารเดิมสำหรับปรับปรุงอาคาร

Assessment of the existing building structure for building renovation

ภาคภูมิ มงคลสังข์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธาสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

E-mail: phakphum@siam.edu.

จิววิทย์ พึ่งน้อย

One Engineering Consultants Co., Ltd.

E-mail: jiravit@one-engineer.com.

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแนวทางการตรวจสอบอาคารเดิมสำหรับปรับปรุงอาคาร โดยใช้วิธีการทดสอบแบบไม่ทำลายและกึ่งทำลาย ประกอบกับข้อมูลทางกายภาพของโครงสร้างทั้งด้านคุณสมบัติวัสดุ รายละเอียดทางวิศวกรรม ทางด้านวิศวกรรมธรณีเทคนิค และน้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มขึ้น นำมาวิเคราะห์ประเมินเสถียรภาพของโครงสร้าง จากการศึกษาพบว่า การตรวจสอบ วิเคราะห์และประเมินเสถียรภาพของโครงสร้างก่อนจะทำให้สามารถรู้แนวทางการปรับปรุงซ่อมแซมเพื่อให้โครงสร้างมีความปลอดภัยในการใช้งานต่อไป

คำสำคัญ: อาคารเดิม ปรับปรุงอาคาร การทดสอบแบบไม่ทำลาย

ABSTRACT

This paper presents the results of inspecting existing buildings for building renovations using nondestructive and semi-destructive testing methods together with the physical data of the structure, both in terms of material properties details in engineering, geotechnical engineering and increased live load to be analyzed to assess the stability of the structure. The study found that the inspection, analysis and assessment of the stability of the structure beforehand will enable us to know the way to improve the repair in order to make the structure safe for further use.

Keywords: Existing building, Building renovation, Non-destructive testing.

1. บทนำ

อาคารเก่าในปัจจุบันที่ต้องการปรับปรุงรูปแบบการใช้งานดังรูปที่ 1 หรือเปลี่ยนแปลงการใช้งาน เช่น ปรับปรุงเปลี่ยนบ้านเก่าเป็นบูติกโฮเต็ล หรืออาคารพาณิชย์ ดังรูปที่ 2 โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อน้ำหนักบรรทุกที่ต้องเพิ่มขึ้นทั้งน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรตามกฎกระทรวง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้างหลักอย่างแน่นอน ประกอบกับอาคารเก่าโดยส่วนใหญ่แบบเดิม

จะไม่มี จึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบประเมินโครงสร้างเดิมว่าสามารถรับน้ำหนักบรรทุกจรที่เพิ่มขึ้น ได้หรือไม่ โดยการตรวจสอบส่วนใหญ่จะเป็นการตรวจสอบโดยวิธีไม่ทำลาย (NDT) และแบบกึ่งทำลาย จะทำให้ทราบถึงค่ากำลังของวัสดุ ณ ปัจจุบันของโครงสร้าง เพื่อนำไปประกอบการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักของโครงสร้าง ณ ปัจจุบัน



รูปที่ 1 สภาพอาคารเดิมก่อนการปรับปรุง

2. วัตถุประสงค์

2.1 ศึกษาแนวทางการตรวจสอบโครงสร้างอาคารเก่าที่ต้องการปรับปรุงหรือตัดแปลงการใช้งาน
โครงสร้าง

2.2 ศึกษาวิธีตรวจสอบโครงสร้างด้วยเครื่องมือทดสอบแบบไม่ทำลาย แบบการสุ่มตำแหน่งการทดสอบ
โดยวิศวกรผู้เชี่ยวชาญ เพื่อให้ทราบถึงข้อมูลที่ประกอบการวิเคราะห์ทั้งหมดของโครงสร้าง เช่น ข้อมูล
รายละเอียดทางกายภาพ รูปแบบโครงสร้าง แบบโครงสร้าง รายละเอียดทางด้านวิศวกรรม คุณสมบัติของวัสดุ
กำลังของวัสดุ และผลทางวิศวกรรมธรณีเทคนิค คุณสมบัติของชั้นดิน รูปแบบและขนาดของฐานรากของ
โครงสร้าง รูปแบบระดับความเสียหายของโครงสร้าง

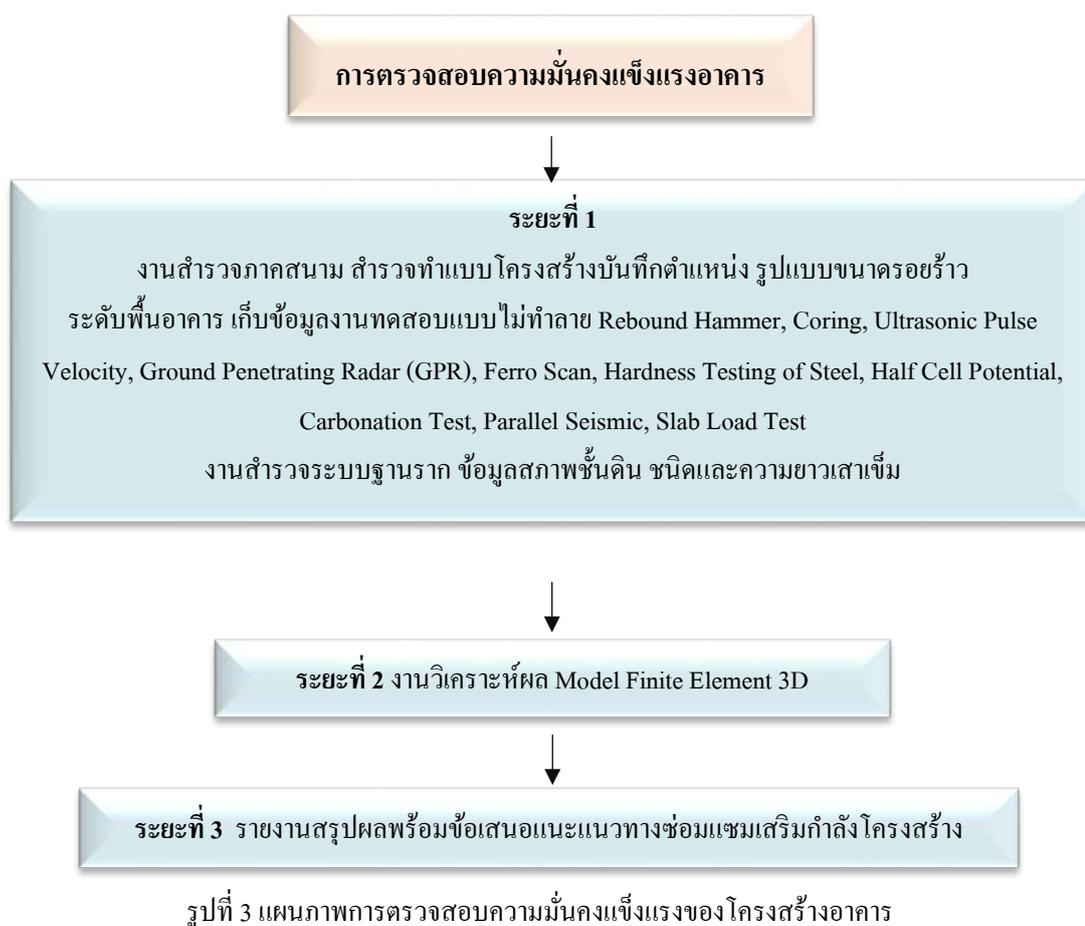
2.3 ศึกษาการวิเคราะห์ประเมินความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างอาคารเดิม



รูปที่ 2 สภาพอาคารหลังการปรับปรุง

3. ขอบเขตการดำเนินงาน

การตรวจสอบความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างอาคารเชิงลึกสามารถแบ่งงานได้ออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ระยะเวลาที่ 1 งานสำรวจภาคสนาม เพื่อเก็บข้อมูลขนาดโครงสร้างเดิมเพื่อจัดทำแบบเพื่อการวิเคราะห์ งานทดสอบโครงสร้างทางวิศวกรรมแบบไม่ทำลายเพื่อนำไปประกอบการวิเคราะห์โครงสร้างเดิม ระยะเวลาที่ 2 งานวิเคราะห์โครงสร้างขึ้น โมเดล 3D ด้วยโปรแกรม Finite Element โดยใส่ค่าของน้ำหนักบรรทุกที่ต้องการปรับปรุงตามกฎหมาย แรงลม แรงแผ่นดินไหว (กรณีเข้าข่าย) รวมถึงรูปแบบการปรับปรุงใหม่ เพื่อหาแรงภายในต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างเดิม อาทิเช่น แรงเฉือน โมเมนต์ดัด น้ำหนักลงฐานราก งานระยะเวลาที่ 3 การจัดทำรายงานสรุปผล ข้อเสนอแนะแนวทางซ่อมแซมเสริมกำลังโครงสร้าง แสดงได้ดังรูปที่ 3



4. วิธีกรดำเนินงาน

4.1 งานสำรวจโครงสร้างทางกายภาพ

สำรวจรายละเอียดขนาดของโครงสร้างอาคารเพื่อจัดทำแบบโครงสร้าง รายละเอียดแปลน รูปตัดอาคาร ตรวจสอบสภาพโครงสร้างทางกายภาพด้วยสายตา (Visual inspection) เพื่อตรวจสอบสภาพการเสื่อมสภาพของวัสดุ ตำแหน่งของการแตกร้าว รูปแบบของการแตกร้าว ค่าระดับแนวราบ การเอียงตัวในแนวดิ่ง ของอาคาร เป็นต้น

4.2 การสำรวจทางวิศวกรรมโครงสร้าง

4.2.1 ทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีต (f'_c) โดยใช้วิธี Rebound Hammer-Schmidt เพื่อประเมินค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีต ณ สภาพปัจจุบัน มาตรฐานการทดสอบ ASTM C805 – 97 “Rebound Number of Hardened Concrete”

4.2.2 ทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีต (f'_c) โดยใช้วิธีเจาะเก็บตัวอย่างแท่งคอนกรีตด้วยวิธี coring ดังรูปที่ 4 และนำไปทดสอบในห้องปฏิบัติการ ตามมาตรฐาน ASTM C42/C 42M “Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete”



รูปที่ 4 เจาะเก็บตัวอย่างแท่งคอนกรีตด้วยวิธี coring

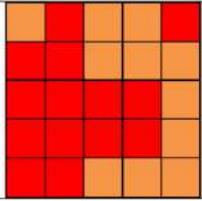
4.2.3 ทดสอบความต่อเนื่องของคอนกรีต โดยเครื่องอัลตราโซนิก โดยวิธี Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ของคอนกรีตโครงสร้างดังรูปที่ 5 ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C597-97: “Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete”



รูปที่ 5 ทดสอบความต่อเนื่องของคอนกรีต โดยวิธี Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)

4.2.4 การทดสอบขนาด จำนวนและตำแหน่งเหล็กเสริม โดยวิธี Ground Penetrating Radar (GPR)

4.2.5 ทดสอบความเป็นไปได้การเกิดสนิมในเหล็กเสริมโครงสร้างด้วย Half Cell Potential ดังรูปที่ 6 อ้างอิงมาตรฐาน ASTM C 876

Half-Cell (mV)		Risk of Active Reinforcement Corrosion
Min	Max	
-399	-325	 <p>Greater than 90% probability of corrosion activity</p>

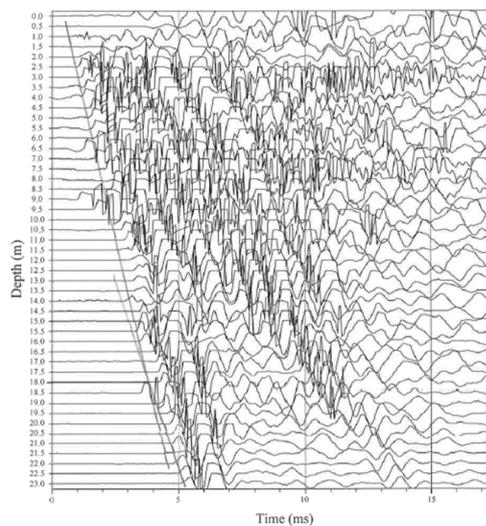
รูปที่ 6 ตัวอย่างผลการทดสอบ Half Cell Potential

4.2.6 ทดสอบคุณสมบัติทางเคมี โดย pH Value Test, Chloride Content Test, Sulfate Content Test อ้างอิงมาตรฐาน ASTM A 751, ASTM C1152/C1152M-04

4.2.7 งานสำรวจระบบฐานราก ดังรูปที่ 7 เจาะสำรวจสภาพชั้นดิน (Soil Investigation) และผลการทดสอบหาความยาวเสาเข็ม โดยวิธี Parallel Seismic แสดงผลดังรูปที่ 8



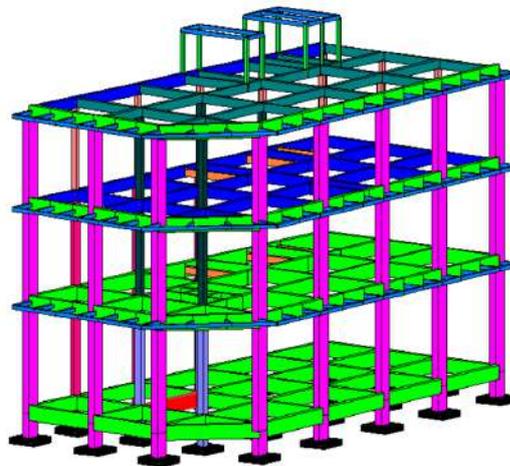
รูปที่ 7 ขุดฐานรากดูจำนวน และขนาดเสาเข็ม



รูปที่ 8 ผลการทดสอบหาความยาวเสาเข็ม

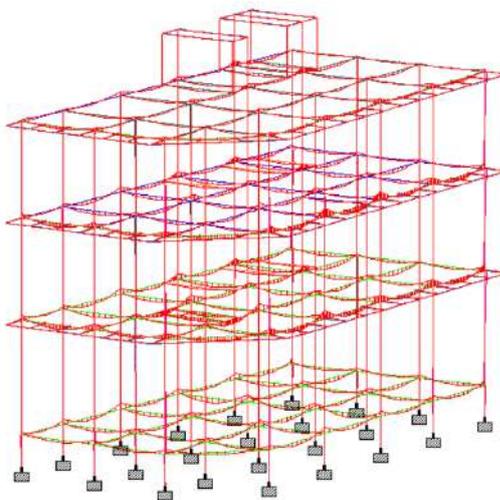
5. วิเคราะห์ความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างอาคาร

นำผลที่ได้จากงานสำรวจในสนาม ข้อมูลการปรับปรุงตามแบบแปลนอาคารใหม่ นำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้างทั้งหมด ไปวิเคราะห์และประเมินความมั่นคงแข็งแรงของโครงสร้างโดยใช้โปรแกรม Finite Element 3D ในการขึ้นแบบจำลองอาคาร ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 แบบจำลองอาคาร Finite Element 3D

วิเคราะห์หาหน่วยแรงต่างๆที่เกิดขึ้นจริงเปรียบเทียบกับกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้าง ณ ปัจจุบัน (Moment, Shear, Torsion, Axial force, Stress) ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ผลวิเคราะห์หน่วยแรงในโครงสร้าง

6. การซ่อมแซมเสริมกำลังโครงสร้าง

กรณีเหล็กเสริมเกิดสนิมเหล็กในโครงสร้างคอนกรีตและสนิมขยายตัวดันคอนกรีตแตก ซ่อมแซมโดยวิธี Concrete Repair ตามมาตรฐานปฏิบัติในการซ่อมแซมคอนกรีต (มยผ. 1901-51) ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 การซ่อมแซมโดยวิธี Concrete Repair

กรณีกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้างไม่เพียงพอต้องการการเสริมกำลังสามารถทำได้หลายวิธี อาทิเช่น เสริมเหล็กรูปพรรณ ขยายหน้าตัดโครงสร้าง หรือใช้วัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใย FRP ตามมาตรฐานการเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใย (มยผ. 1508-51) ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 การซ่อมแซมโดยวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใย CFRP

7. บทสรุป

6.1 อาคารเก่าที่มีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงการใช้งานต้องมีการสำรวจทางกายภาพ เพื่อตรวจสอบการเสื่อมสภาพของ โครงสร้าง ระดับความรุนแรงและสาเหตุของความเสียหาย ประเมินรูปแบบ วิธีการซ่อมแซม เพื่อให้โครงสร้างมีความมั่นคงแข็งแรงพร้อมใช้งานอย่างปลอดภัย

6.2 การทดสอบแบบ Non-destructive Testing สามารถประเมินกำลังของวัสดุโครงสร้างอาคาร ณ ปัจจุบัน และนำไปประกอบการประเมินความมั่นคงแข็งแรงอาคารเพื่อนำไปตรวจสอบความปลอดภัยตามหลักวิศวกรรมสำหรับการใช้งานในอนาคตต่อไป

6.3 การจำลองรูปแบบของโครงสร้างด้วยโปรแกรม Finite Element 3D ช่วยทำให้สามารถหาค่าแรงภายในที่เกิดขึ้น (Moment, Shear, Axial force, Stress) และนำไปประเมินเปรียบเทียบกับผลการตรวจสอบกำลังรับน้ำหนักที่ยอมรับของโครงสร้างปัจจุบัน (Strength)

6.4 ในกรณีโครงสร้างเดิมไม่สามารถรับน้ำหนักรูปแบบโครงสร้างที่ปรับปรุงใหม่ได้ ต้องมีการเสริมกำลังของโครงสร้าง (Strengthening) ด้วยเพื่อให้สามารถใช้งานโครงสร้างได้อย่างปลอดภัยต่อไป

8. กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินงานของบทความนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีนั้นเนื่องจากการได้รับการสนับสนุนข้อมูลจาก บริษัท One Engineering Consultants Co., Ltd.

9. เอกสารอ้างอิง

ACI Committee 228.2R – 98, Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures, ACI Annual of Concrete Practice, Farmington Hills, MI, American Concrete Institute.

ASTM C805-02, Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete. Annual Book of ASTM Standards, Vol.04.02, ASTM, West Conshohocken, PA, American Society for Testing and Materials, 2003.

ASTM C42/C42M-03, Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete. Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, PA, American Society for Testing and Materials, 2003.

ASTM C597, Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete. Annual Book of ASTM Standards, Vol.04.02, ASTM, West Conshohocken, PA, American Society for Testing and Materials, 2003.

ASTM D6432, Standard Guide for Using the Surface Ground Penetrating Radar Method for Subsurface Investigation, Annual Book of ASTM Standards, ASTM, West Conshohocken, PA, American Society for Testing and Materials.

ASTM C876, Standard Test Method for Half – Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete. Annual Book of ASTM Standards, Vol.03.02, ASTM, West Conshohocken, PA, American Society for Testing and Materials, 2003.

ASTM A751, Standard Test Method, Practices, and Terminology for Chemical Analysis of Steel Products. Annual Book of ASTM Standards, Vol.03.02, ASTM, West Conshohocken, PA, American Society for Testing and Materials, 2007.

ASTM C1152/C1152M-04, Standard Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete. Annual Book of ASTM Standards, Vol.04.02, ASTM, West Conshohocken, PA, 2012.

การทดสอบระบบบริการบัตรเครดิตและสินเชื่อแบบอัตโนมัติ

Automation testing of Credit card and loan service system

พิมลอร สอนโพนงาม¹ และ สุวรรณีย์ อัสวกุลชัย²

¹บัณฑิตวิทยาลัย กลุ่มวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีการเงิน

คณะบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

² คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย²

E-mail: pimolon.son@gmail.com^{1*}, suwannee_ads@utcc.ac.th²

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาขั้นตอนการทดสอบ และพัฒนาการทดสอบระบบบริการบัตรเครดิตและสินเชื่อแบบอัตโนมัติ เพื่อให้การทดสอบซอฟต์แวร์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและสามารถตอบสนองความต้องการของการพัฒนาซอฟต์แวร์ได้อย่างเหมาะสม โดยพัฒนาตามกระบวนการ Software Testing Life Cycle (STLC) ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ได้แก่ การวางแผน การวิเคราะห์ การออกแบบการทดสอบ การทดสอบรายงานผล และสิ้นสุดการทดสอบ ในการพัฒนาใช้ข้อมูลการวางแผนทดสอบซอฟต์แวร์แบบ Manual ของหน่วยงานมาวิเคราะห์และปรับปรุง โดยเป็นข้อมูลกรณีทดสอบ จำนวน 10 กรณีทดสอบ เพื่อหารูปแบบที่เหมาะสม ผลการศึกษา พบว่า การทดสอบซอฟต์แวร์แบบอัตโนมัติด้วยเครื่องมือ Robot Framework สามารถลดระยะเวลาในการทดสอบได้ดีกว่าระบบในปัจจุบันร้อยละ 69.83 โดยผู้ทดสอบรันสคริปต์และวิเคราะห์ผลการทดสอบของข้อมูล กรณีทดสอบจำนวน 10 กรณีทดสอบ ใช้เวลาทั้งสิ้น 30 นาที 10 วินาที นอกจากนี้การใช้เครื่องมือ Robot Framework ยังเหมาะสำหรับผู้ทดสอบที่ไม่จำเป็นต้องมีพื้นฐานทางด้าน การเขียนโปรแกรมหรือมีความรู้เพียงเล็กน้อย ก็สามารถทดสอบแบบอัตโนมัติด้วย Robot Framework เนื่องจากมี Library ให้ใช้งานจำนวนมาก

คำสำคัญ: ทดสอบระบบอัตโนมัติ, STLC, Robot Framework, บัตรเครดิต, สินเชื่อ

ABSTRACT

This research aims to explore and investigate the testing process and to develop the testing of automated credit card and loan service systems. The objective is to ensure efficient software testing and the capability to effectively meet the requirements of software development. This is achieved by following the Software Testing Life Cycle which consists of 6 stages: Test Planning, Test Analysis, Test Design, Test Execution, Test Reporting, and Test Closure. During the development, manual software testing data from the organization is used for analysis and improvement, utilizing a sample of 10 test cases to identify appropriate patterns and test designs. The study found that automated software testing using the Robot Framework tool can reduce testing time by 69.83% compared to the current system, with testers running scripts and analyzing test results for 10 test cases, taking a

total of 30 minutes and 10 seconds. The Robot Framework is well-suited for testers initiating automated testing, as it doesn't require an extensive programming background. Additionally, the Robot Framework offers a wide range of libraries for various functions.

Keywords: Automate testing, STLC, Robot Framework, credit card, loan

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ปัจจุบันการทดสอบซอฟต์แวร์ของหน่วยงาน ซึ่งดูแลรับผิดชอบเกี่ยวกับระบบการบริการข้อมูลบัตรเครดิตและสินเชื่อของลูกค้าผ่านระบบโทรศัพท์และช่องทางอื่นๆ โดยผู้ใช้บริการมีทั้งภายในและภายนอกองค์กร ใช้วิธีการทดสอบเป็นแบบ Manual ซึ่งปัญหาที่พบคือ การทดสอบซอฟต์แวร์ใช้เวลาในการทดสอบนาน เนื่องจากผู้ทดสอบทำการทดสอบและตรวจสอบผลลัพธ์เองทุกขั้นตอน รวมไปถึงปัญหาที่เกิดจากการทดสอบซอฟต์แวร์ที่มีการแก้ไขหรือปรับปรุงโค้ดหรือฟีเจอร์ เพื่อตรวจสอบว่าการเปลี่ยนแปลงไม่มีผลกระทบต่อส่วนอื่นของระบบ ผู้ทดสอบจึงจำเป็นต้องทำการทดสอบซอฟต์แวร์ซ้ำ (Regression test) นอกจากนี้ ยังพบปัญหาการวางแผนการทดสอบที่ไม่ครอบคลุม ไม่ชัดเจน ทำให้ผลการทดสอบบางจุดได้ ดังนั้นการทำการทดสอบระบบแบบอัตโนมัติ ช่วยลดขั้นตอนการทำงานที่มีความซับซ้อน ลดเวลาและข้อผิดพลาดในกระบวนการทดสอบ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการทดสอบ ให้หน่วยงานสามารถส่งมอบซอฟต์แวร์ให้แก่ผู้ใช้งานได้อย่างมีคุณภาพ ประสิทธิภาพอีกด้วย

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อศึกษาปัญหาการทดสอบระบบบริการบัตรเครดิตและสินเชื่อในปัจจุบัน
- (2) เพื่อพัฒนาการทดสอบระบบบริการบัตรเครดิตและสินเชื่อแบบอัตโนมัติ

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 การทดสอบซอฟต์แวร์แบบ Acceptance Test-Driven Development (ATDD)

เป็นกระบวนการที่เน้นการทดสอบและความเข้าใจความต้องการของผู้ใช้งานก่อนที่พัฒนาซอฟต์แวร์มีขั้นตอนสำคัญได้ดังนี้

- (1) เข้าใจความต้องการของผู้ใช้งาน เพื่อสร้างการทดสอบการยอมรับที่สอดคล้องกับความต้องการ
- (2) กำหนดรายละเอียดของการทดสอบการยอมรับ เป็นข้อความอธิบายการทำงานที่คาดหวังจากซอฟต์แวร์ เช่น "เมื่อผู้ใช้งานกดปุ่มเพิ่มสินค้าลงในตะกร้า ต้องมีสินค้าถูกเพิ่มลงในตะกร้า"
- (3) เขียนสคริปต์การทดสอบที่สามารถทำงานตามเงื่อนไขของการทดสอบการยอมรับ การทดสอบแบบบอทเมติกช่วยในการตรวจสอบความถูกต้องและประสิทธิภาพของซอฟต์แวร์
- (4) การทดสอบแบบบอทเมติกเพื่อตรวจสอบว่าซอฟต์แวร์ทำงานตามคาดหวังหรือไม่ หากพบข้อผิดพลาด เขาแก้ไขรหัสของซอฟต์แวร์ให้ถูกต้อง
- (5) ปรับปรุงและพัฒนาเพิ่มเติม เช่น ความต้องการของผู้ใช้งานเปลี่ยนแปลง ทีมพัฒนาปรับปรุงการทดสอบและซอฟต์แวร์ตามความเปลี่ยนแปลง

ATDD เน้นให้การพัฒนาซอฟต์แวร์มีการทดสอบเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการ เพื่อให้มั่นใจในความถูกต้องและความพร้อมใช้งาน ด้วยความเน้นที่การทดสอบการยอมรับ ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจและเชื่อมั่นในความสามารถของซอฟต์แวร์ในการทำงานตามความต้องการของผู้ใช้เป็นสำคัญ

3.1.2 Robot framework

Robot Framework เป็น Open Source Framework ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับการทดสอบอัตโนมัติ (Test Automation Framework) ที่ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถเขียน Script การทดสอบได้อย่างง่ายและมีความยืดหยุ่นสูง โดย Robot Framework เหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการทำการทดสอบ โปรแกรมหรือแอปพลิเคชันอัตโนมัติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับผู้ที่ไม่มีความรู้หรือประสบการณ์ในการเขียนโปรแกรมหรือ Script ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สามารถใช้งานได้อย่างง่าย หรือผู้ที่ต้องการใช้งานเครื่องมือที่สามารถทำงานร่วมกับหลายภาษาโปรแกรม เช่น การเขียน Script ด้วยภาษา Python ซึ่งเป็นภาษาที่นิยมใช้งานในการพัฒนาซอฟต์แวร์ และยังสามารถเขียน Script ด้วยภาษาอื่น ๆ ได้ด้วย เช่น Java, C# และ Ruby เป็นต้น เพื่อให้เหมาะสมกับการทำงานที่ต้องใช้งานกับภาษาโปรแกรมต่างๆ ได้อย่างสมบูรณ์แบบ

การใช้ Robot Framework เขียน Script การทดสอบ ช่วยให้ในการจัดการ Test Suite, Test Cases, และ Test Data ง่ายขึ้น และสามารถนำไปใช้กับหลายแพลตฟอร์มและเครื่องมือต่างๆ ได้ เช่น สามารถใช้งานได้ทั้งบน Windows, Mac, Linux ได้ นอกจากนี้ Robot Framework ยังมี Library สำหรับการทำงานต่าง ๆ เช่น Selenium Library สำหรับการทำงานกับเว็บไซต์, Database Library สำหรับการทำงานกับฐานข้อมูล เป็นต้น

3.1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

David S. Janzen and Hossein Saiedian (2549) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบของการพัฒนาโดยใช้เทคนิค Test-Driven Development (TDD) ต่อการออกแบบซอฟต์แวร์ โดยเทคนิค TDD เป็นการเขียนการทดสอบก่อนเขียนโค้ด โดยผู้เขียนบทความได้วิเคราะห์ว่า TDD สามารถช่วยให้การออกแบบซอฟต์แวร์ดีขึ้นโดยส่งเสริมความมีความเป็นโมดูล ความกระชับ และความยืดหยุ่นของซอฟต์แวร์ โดยอ้างอิงจากงานวิจัยต่างๆ เกี่ยวกับ TDD ซึ่งผู้วิจัยได้สรุปว่า TDD สามารถช่วยให้การออกแบบซอฟต์แวร์ดีขึ้นได้โดยการบังคับนักพัฒนาให้คิดเกี่ยวกับการออกแบบโค้ดก่อนเขียน และ TDD ยังช่วยจัดการกับข้อผิดพลาดในการออกแบบได้ตั้งแต่เริ่มต้นของกระบวนการพัฒนา ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายในการแก้ไขข้อผิดพลาดดังกล่าวในภายหลังได้

Sajad Jalali, Mirosław Staron, และ Maria Sjöberg (2564) ได้ทำการวิจัยที่เกี่ยวกับการทดสอบเว็บไซต์โดยใช้เครื่องมือ Robot Framework โดยมุ่งเน้นการสกัดและวิเคราะห์ข้อมูล ผลจากการวิจัยพบว่า Robot Framework เป็นเครื่องมือที่มีความนิยมในการทดสอบเว็บไซต์อัตโนมัติ เนื่องจากมีความสามารถในการสร้างสคริปต์การทดสอบอย่างรวดเร็วและง่ายดาย รวมถึงความสามารถในการทำงานร่วมกับเครื่องมืออื่นๆ เช่น Selenium และ Appium เป็นต้น

สกรณีย์ นุษยง (2556) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการสร้างกรณีทดสอบสำหรับการทดสอบระดับรวมหน่วยแบบเพิ่มทีละหน่วยอัตโนมัติจากกรณีทดสอบระดับหน่วย งานวิจัยนี้มีสองส่วนหลัก คือ การทดสอบการแจกแจงโครงสร้างความสัมพันธ์ระหว่างโมดูล และการทดสอบการสร้างกรณีทดสอบระดับรวมหน่วย ผลการวิจัย พบว่าเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นสามารถช่วยลดเวลาในการสร้างกรณีทดสอบระดับรวมหน่วยได้ เมื่อเทียบกับการสร้างกรณีทดสอบแบบดั้งเดิม และการทดสอบระบุว่า การแจกแจงโครงสร้างความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลถูกต้อง มีความสำคัญในการตรวจสอบคุณภาพและความถูกต้องของโครงสร้างซอฟต์แวร์และการสร้างกรณีทดสอบระดับ

รวมหน่วยในกระบวนการพัฒนาซอฟต์แวร์ อีกทั้งช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพและคุณภาพของกระบวนการทดสอบและการออกแบบของซอฟต์แวร์อีกด้วย

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 แบบแผนการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้เก็บรวบรวมขอบเขตและข้อมูลการวางแผนทดสอบซอฟต์แวร์ โดย เน้นฟังก์ชันหรือความสามารถตามความต้องการของธุรกิจ และการทำงานของซอฟต์แวร์ในสถานการณ์ปกติ-ผิดปกติ รวมถึงการสัมภาษณ์ผู้ทดสอบ เพื่อให้ทราบถึงปัญหาที่ทีมทดสอบเจอในการทดสอบซอฟต์แวร์ ซึ่งกรณีศึกษาได้ใช้ข้อมูลการวางแผนทดสอบแบบ Manual จากหน่วยงาน จำนวน 10 กรณีทดสอบ และพัฒนาตามกระบวนการ STLC (Software Testing Life Cycle) ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน คือ 1) การวิเคราะห์ความต้องการ (Requirement Analysis) 2) การวางแผน (Test Planning) 3) การออกแบบทดสอบ (Test Design) 4) การเตรียมสภาพแวดล้อมทดสอบ (Test Environment Setup) 5) การทดสอบและดำเนินการทดสอบ (Test Execution) 6) การรายงานผล (Test Reporting) โดยมุ่งเน้นการดำเนินการพัฒนาในขั้นตอน การวางแผน (Test Planning) การออกแบบทดสอบ (Test Design) การทดสอบและดำเนินการทดสอบ (Test Execution) และการรายงานผล (Test Reporting)

4.2 เครื่องมือวิจัย

(4.2.1) Robot Framework

(4.2.2) Visual Studio Code

(4.2.3) Python

4.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การรวบรวมขอบเขตของซอฟต์แวร์และกำหนดขอบเขตของการทดสอบ เพื่อให้การออกแบบกรณีทดสอบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและสามารถอธิบายการทำงานของซอฟต์แวร์ได้อย่างชัดเจน เช่น การเน้นไปที่ฟังก์ชันหรือความสามารถของซอฟต์แวร์ในแต่ละส่วนตามที่กำหนดไว้ตามความต้องการของลูกค้า การทำงานของซอฟต์แวร์ในสถานการณ์ปกติ การทำงานของซอฟต์แวร์ในสถานการณ์ผิดปกติ การทำงานของซอฟต์แวร์เมื่อมีการปรับเปลี่ยนการกำหนดค่าต่าง ๆ และการสัมภาษณ์จากทีมทดสอบซอฟต์แวร์ โดยมุ่งเน้นที่ปัญหาที่ทีมทดสอบเจอในการทดสอบซอฟต์แวร์ ฯลฯ เป็นต้น ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลการวางแผนทดสอบซอฟต์แวร์แบบ Manual ของหน่วยงานมาวิเคราะห์และปรับปรุง

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์แผนการทดสอบเดิม พบว่า มีข้อบกพร่องหลายจุด ได้แก่ การระบุเป้าหมายในการทดสอบไม่ชัดเจน เช่น การตั้งชื่อกรณีทดสอบที่เหมือนกันในหลายๆ การทดสอบ ไม่มีการระบุลำดับความสำคัญของฟังก์ชันหรือคุณสมบัติที่ต้องทดสอบ แผนการทดสอบที่ไม่ครอบคลุมทุกส่วนของซอฟต์แวร์ ข้อบกพร่องดังกล่าวข้างต้น ทำให้ไม่สามารถนำแผนการทดสอบนี้ไปใช้กับการทดสอบแบบอัตโนมัติได้ทันที จำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงก่อน โดยการปรับปรุงการวางแผนการทดสอบนี้ ผู้ศึกษาได้ออกแบบให้รองรับการทำ Automated Test โดยใช้ Robot Framework และให้สามารถทดสอบซอฟต์แวร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

5. ผลการวิจัย

การทดสอบอัตโนมัติด้วย Robot Framework ตามกระบวนการ Software Testing Life Cycle มีดังนี้

5.1 การวางแผน (Test Planning)

จากผลการวิเคราะห์แผนการทดสอบเดิม สรุปความสำคัญของการปรับปรุงแผนการทดสอบได้ดังนี้

(1) ความชัดเจนและเข้าใจง่าย การออกแบบตารางแผนการทดสอบให้มีรายละเอียดที่ชัดเจนและเข้าใจง่าย ช่วยให้ทีมทดสอบเข้าใจในแต่ละกรณีการทดสอบ ช่วยลดความกังวลและความสับสนในการทำ Test Script สรุปหัวข้อที่สำคัญในการออกแบบแผนทดสอบใหม่ แสดงในตารางที่ 1

(2) ความครอบคลุม การออกแบบตารางแผนการทดสอบให้ครอบคลุมทุกกรณีทดสอบที่จำเป็น ช่วยให้เห็นภาพรวมของกรณีทดสอบที่มีทั้งหมด ลดข้อผิดพลาดในการเว้นกรณีทดสอบที่สำคัญ ทีมทดสอบจึงสามารถมั่นใจได้ว่าทุกกรณีทดสอบได้ถูกตรวจสอบและทดสอบอย่างครบถ้วน ข้อมูลการวางแผนการทดสอบ (Test Planning) แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 หัวข้อสำคัญสำหรับการวางแผนการทดสอบ

หัวข้อ	คำอธิบาย
Test Case	ชื่อของกรณีการทดสอบ ใช้หมายเลขหรือรหัสเพื่อระบุแต่ละกรณีการทดสอบในตาราง
Description	รายละเอียดกรณีการทดสอบนั้น ๆ อธิบายวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายของกรณีการทดสอบ
Request Payload	ข้อมูลที่ส่งในคำขอ (request) ไปยัง API ในรูปแบบ JSON หรือรูปแบบอื่น ๆ เพื่อทดสอบ
Test Steps	ขั้นตอนที่ต้องดำเนินการในกรณีการทดสอบ ใช้ Keyword ของ Robot Framework เพื่อส่งคำขอ ตรวจสอบผลลัพธ์ และอื่น ๆ
Expected Response	ผลลัพธ์ที่คาดหวังหลังจากส่งคำขอไปยัง API เป็นรหัสสถานะและเนื้อหาหรือข้อมูลอื่น ๆ
Expected Result	คำสั่งหรือ Keyword ของ Robot Framework ในการตรวจสอบผลลัพธ์ที่คาดหวังว่าเท่ากับค่าที่กำหนดหรือไม่
Status	สำหรับสถานะของรายการทดสอบ เช่น Pass = ผ่าน, Fail = ไม่ผ่าน
Date	สำหรับวันที่ดำเนินการทดสอบสำเร็จ
Remark	สำหรับระบุข้อความหรือคำอธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับรายการทดสอบ หรืออื่นๆ

ตารางที่ 2 ข้อมูลการวางแผนการทดสอบ (Test Planning)

Test Case	Description	Request Data	Test Steps	Expected Http Status	Expected Result	Status	Date	Remark
TC001	Test successful request with valid input	{ "channel_id": "001", "user_id": "usertest_automate", "intention": "5920284e1e4811eeb e560242ac120002" }	1.Prepare Request From File T001.json 2.Send POST request to Get Token 3.Verify response with HTTP Status Code 4.Verify response body when success 5. Verify token from database	200	{ "meta": { "code": "00", "message": "success" }, "data": { "url": "https://mockurtermandcorn.cpm/update/b6386ff1-21de-4d97-a48f-33d729c604f0", "token": "b6386ff1-21de-4d97-a48f-33d729c604f0", "version_latest": "N" } }			

5.2 การออกแบบทดสอบ (Test Design)

จากข้อมูลแผนการทดสอบที่ได้ออกแบบไว้ แปลงเป็น Test Script ในรูปแบบของ Robot Framework กำหนดข้อมูลและคำสั่งในการทดสอบของแต่ละรายการทดสอบ ออกแบบ Test Script ให้มีการแยกคำสั่ง Keyword และข้อมูลการตั้งค่าต่างๆ ที่เรียกใช้บ่อย ถูกเก็บข้อมูลเป็นประเภทตัวแปร โดยมีรายละเอียด ดังนี้

- ไฟล์ Test Suite เป็นไฟล์ที่ใช้เก็บรวบรวม Test Cases ที่ใช้ในกระบวนการทดสอบของโปรแกรม เพื่อตรวจสอบว่าระบบทำงานถูกต้องตามความต้องการ ซึ่งใน Test Case ระบุขั้นตอนหรือข้อมูลที่ต้องการทดสอบ แสดงในภาพที่ 1

```
*** Settings ***
Documentation  This is a test suite for the API Get Token.
Resource      ../variables.robot
Resource      ../keyword.robot

*** Test Cases ***
TC001: Test successful request with valid input
[Documentation]  Test successful request with valid input
[Tags]          API Get Token
${request_body}= Prepare request from file : T001.json
${response}=    Send POST request to Get Token  ${request_body}
${response_token}= Set Variable  ${response.json()[data][token]}
${user_id}=     Set Variable  ${response.json()[data][user_id]}
Verify response with HTTP Status Code  ${response}  200
Verify response body when success  ${response}
Verify token from database  ${response_token}  ${user_id}

*** Keywords ***
Prepare request from file : T001.json
${result}  Prepare request from file  resources/data/TC001_data.json
[Return]   ${result}

Prepare request from file : T002.json
${result}  Prepare request from file  resources/data/TC002_data.json
[Return]   ${result}
```

ภาพที่ 1 สคริปต์ส่วนของการกำหนด Test Case

จากภาพที่ 1 ในการออกแบบทดสอบ (Test Design) ต้องมีการกำหนด (setting) test case ในภาพ แสดง Test successful request with valid input การสร้าง keywords และ เตรียม file ในรูปแบบ json

- ไฟล์ Variable เป็นไฟล์ที่ใช้เก็บตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการทดสอบของโปรแกรม ในที่นี้เป็นตัวแปรที่ใช้ในระหว่างการทำงานของ Test Cases และ Keywords ใน Test Suite เพื่อให้กระบวนการทดสอบเป็นไปได้อย่างยืดหยุ่นและง่ายต่อการปรับปรุง โดยใช้ไฟล์นามสกุล .robot ซึ่งเป็นไฟล์ข้อความที่มีรูปแบบเฉพาะในการเก็บตัวแปรในรูปแบบของตัวแปร (Variables) ในโค้ดของ Robot Framework สามารถกำหนดตัวแปรหรือค่าคงที่ที่ต้องการนำไปใช้ในการทดสอบในไฟล์ Variable นี้ แสดงสคริปต์ส่วนของการกำหนดตัวแปร สำหรับเรียกใช้งานใน Test Suite แสดงในภาพที่ 2

```
*** Variables ***
${API_URL}      http://localhost:3001
${DB_HOST}      localhost
${DB_PORT}      5432
${DB_NAME}      demo_robot
${DB_USER}      postgres
${DB_PASSWORD}  P@ssw0rd
```

ภาพที่ 2 สคริปต์ส่วนของการกำหนดตัวแปร สำหรับเรียกใช้งานใน Test Suite

- ไฟล์ Keywords เป็นไฟล์ที่ใช้เก็บ Keywords ที่นิยามขึ้นเพื่อให้สามารถนำไปใช้ใน Test Suite หรือ Test Cases ต่าง ๆ ในกระบวนการทดสอบของโปรแกรม สามารถนำคีย์เวิร์ดเดียวกันมาใช้ซ้ำได้ในหลาย Test Cases แสดงในภาพที่ 3

```
*** Keywords ***
Send POST request to Get Token
[Arguments]    ${data}
Create Session    api    ${API_URL}
${headers}=    Create Dictionary    Content-Type=application/json
${response}=    POST On Session    api    /rest/api/endpoint
...    json=${data}
...    headers=${headers}
...    expected_status=anything
[Return]    ${response}

Verify response with HTTP Status Code
[Arguments]    ${response}    ${expected_status_code}
Should Be Equal As Integers    ${response.status_code}    ${expected_status_code}

Prepare request from file
[Arguments]    ${file_name}
${file}=    Get File    ${file_name}
${request_body}=    Evaluate    json.loads('${file}')
[Return]    ${request_body}
```

ภาพที่ 3 สคริปต์ส่วนของการกำหนด Keyword สำหรับเรียกใช้งานใน Test Suite

จากภาพที่ 3 นำเข้าไฟล์ Keywords นี้ลงใน Test Suite หรือ Test Cases ที่ต้องการใช้งาน แสดงสคริปต์ส่วนของการกำหนด Keyword สำหรับเรียกใช้งานใน Test Suite

5.3 การทดสอบและดำเนินการทดสอบ (Test Execution)

การเริ่มการทดสอบโปรแกรมตาม Test Cases โดยการเปิด Test Cases ที่ต้องการทดสอบและระบุชื่อของ Test Suite หรือ Test Cases ที่ต้องการรันเพื่อกำหนดขอบเขตการทดสอบ หากการทดสอบไม่สำเร็จ สามารถตรวจสอบสาเหตุและปรับปรุง Test Cases หรือแก้ไขปัญหที่อาจเกิดขึ้นในระบบหรือโปรแกรม หากการทดสอบสำเร็จสามารถเริ่มการทดสอบในรอบถัดไปหรือต่อไปกับ Test Cases อื่น ๆ แสดงในภาพที่ 4

```
PS D:\demo_robot> robot tests\GetToken\getToken.robot
=====
getToken :: This is a test suite for the API Get Token.
TC001: Test successful request with valid input :: Test successful... | PASS |
TC002: Test request with missing 'channel_id' field :: Test reques... | PASS |
=====
getToken :: This is a test suite for the API Get Token. | PASS |
2 tests, 2 passed, 0 failed
=====
Output: D:\demo_robot\output.xml
Log: D:\demo_robot\log.html
Report: D:\demo_robot\report.html
PS D:\demo_robot>
```

ภาพที่ 4 การใช้คำสั่งในการรัน Test Cases

5.4 การรายงานผล (Test Reporting)

หลังจากการรัน Test Cases ตรวจสอบผลลัพธ์ของการทดสอบและสรุปผลการทดสอบได้โดยอัตโนมัติ โดยแสดงผลการทดสอบที่ผ่านหรือไม่ผ่านของการทดสอบทั้งหมดใน Test Suite ที่รัน แสดงในภาพที่ 5



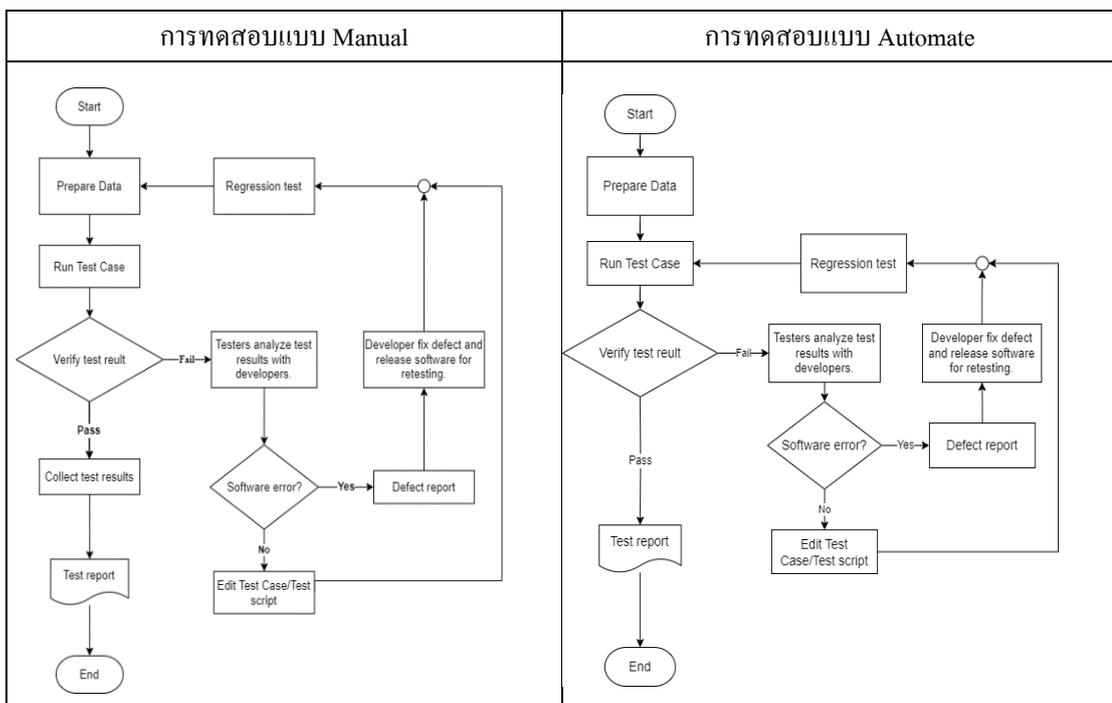
ภาพที่ 5 ตัวอย่างรายงานไฟล์ report.html

จากภาพที่ 5 การรายงานผล (Test Reporting) ของ Robot Framework มี 3 ไฟล์ คือ

- Output Report เป็นไฟล์ XML สำหรับการนำข้อมูลการแสดงผลการทดสอบทั้งหมดใน Test Suite ไปใช้ต่อในระบบอื่น ๆ
- Log File: เป็นไฟล์ HTML ที่แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับขั้นตอนการทำงานของ Test Cases ระบุสถานะการทำงานแต่ละขั้นตอนใน Test Cases ว่าสำเร็จหรือไม่สำเร็จ
- Report File: เป็นไฟล์ HTML ที่สรุปผลการทดสอบในรูปแบบกราฟและสถิติ ซึ่งแสดงข้อมูลเกี่ยวกับจำนวน Test Cases ที่ผ่านหรือไม่ผ่านการทดสอบ และสรุปสถิติเกี่ยวกับผลการทดสอบทั้งหมดใน Test Suite ทดสอบ

5.5 เปรียบเทียบระหว่างการทดสอบแบบ Manual และแบบ Automate

การทดสอบซอฟต์แวร์เป็นกระบวนการที่สำคัญในการพัฒนาซอฟต์แวร์ เพื่อให้แน่ใจว่าซอฟต์แวร์ทำงานได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน แสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบแบบ Manual และแบบ Automate

จากภาพที่ 6 ขั้นตอนการในการดำเนินการทดสอบแบบ Manual ดังนี้

(1) ผู้ทดสอบเตรียมข้อมูล (Prepare Data) สำหรับการทดสอบ ตัวอย่างเช่น ข้อมูลลูกค้า ข้อมูลผลิตภัณฑ์สินค้า หรือข้อมูลอื่นๆ ที่จำเป็นสำหรับการทดสอบ

(2) ผู้ทดสอบทำการรันกรณีทดสอบ โดยกรอกข้อมูลตามที่ได้เตรียมไว้

(3) ผู้ทดสอบตรวจสอบผลการรันกรณีทดสอบว่าผลถูกต้อง ตรงตามความต้องการ หรือไม่

- กรณีทดสอบไม่ผ่าน ผู้ทดสอบและนักพัฒนาร่วมกันวิเคราะห์หาสาเหตุ เมื่อพบว่าเกิดข้อผิดพลาดเกิดจากซอฟต์แวร์ ผู้ทดสอบทำรายงานข้อบกพร่องที่พบ เพื่อให้ให้นักพัฒนาคำเนินการแก้ไขเป็นลำดับถัดไป หากพบว่าข้อบกพร่องไม่ได้เกิดจากซอฟต์แวร์ ผู้ทดสอบทำการตรวจสอบว่ากรณีทดสอบนั้นเป็นไปตาม Requirement หรือไม่ เมื่อตรวจสอบและทำการแก้ไขกรณีทดสอบแล้ว ทำการทดสอบ โดยเริ่มการทดสอบตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 อีกครั้ง เนื่องจากว่าบางกรณีทดสอบไม่สามารถใช้ข้อมูลชุดเดิมมาทดสอบซ้ำได้

- กรณีทดสอบผ่าน ผู้ทดสอบทำการ Capture Screen ที่ทดสอบ เพื่อเก็บผลทดสอบของกรณีทดสอบนั้นๆ

(4) หลังจากที่นักพัฒนาได้แก้ไขข้อบกพร่องของซอฟต์แวร์ตามที่ได้รับแจ้งเรียบร้อยแล้วก็ปล่อยซอฟต์แวร์เวอร์ชันใหม่ เพื่อให้ผู้ทดสอบได้ทดสอบซ้ำอีกครั้ง

(5) ผู้ทดสอบทำการทดสอบใหม่ โดยเริ่มการทดสอบตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 อีกครั้ง

(6) เมื่อผู้ทดสอบได้ทดสอบครบทุกกรณีทดสอบตามที่ได้วางแผนแล้ว ทำการรวบรวมผลทดสอบทั้งหมดและสรุปเป็นรายงาน เพื่อใช้สำหรับยืนยันผลก่อนการส่งมอบซอฟต์แวร์ให้แก่ผู้เกี่ยวข้องต่อไป

สรุป Flow การทดสอบแบบ Manual พบว่า ผู้ทดสอบต้องทำการเตรียมข้อมูล (Prepare Data) ทุกครั้งเมื่อมีการทดสอบซ้ำ รวมไปถึงการเก็บผลทดสอบ (Collect test results) ซึ่งทั้ง 2 ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ต้องใช้เวลาในการดำเนินการ ความชำนาญและความเข้าใจในกระบวนการทำงานของซอฟต์แวร์ในระดับดี

ในขณะที่การทดสอบแบบ Automate เมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนการดำเนินการทดสอบแบบ Manual พบว่า สามารถลดขั้นตอนได้ 2 ขั้นตอน ได้แก่

(1) การเตรียมข้อมูล (Prepare Data) เนื่องจากการเตรียมข้อมูลทดสอบ ผู้ทดสอบสามารถเพิ่มเป็นการเตรียมข้อมูลเป็นหนึ่งขั้นตอนใน Test Script ของกรณีทดสอบนั้นๆ ได้ เช่น การ Insert ข้อมูลลูกค้าเข้าสู่ฐานข้อมูล หรือการสร้างฟังก์ชันสำหรับสร้าง Unique id เพื่อใช้ในการทดสอบ เป็นต้น ซึ่งถูกวิเคราะห์และวางแผนไว้ตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบกรณีทดสอบแล้ว ทำให้ผู้ทดสอบไม่จำเป็นต้องทำการเตรียมข้อมูลใหม่ทุกครั้ง หากต้องการทดสอบซ้ำ

(2) การเก็บผลทดสอบ (Collect test results) เนื่องจากผู้ทดสอบไม่ต้อง Capture Screen เพื่อเก็บผลทดสอบ เนื่องจากรายงานของ Robot framework มีการเก็บผลทดสอบที่ละเอียด และครบถ้วนแล้ว

5.6 ผลการทดสอบแบบ Automate

การปรับเปลี่ยนขั้นตอนการทำงานทั้ง 2 ขั้นตอน โดยใช้เครื่องมือและสคริปต์มาใช้งาน เพื่อให้การดำเนินการทดสอบซอฟต์แวร์เป็นแบบอัตโนมัติมากที่สุด แสดงผลการทดสอบแบบ Automate ในภาพที่ 7

จากภาพที่ 7 การทดสอบซอฟต์แวร์แบบอัตโนมัติด้วยเครื่องมือ Robot Framework โดยผู้ทดสอบรันสคริปต์และวิเคราะห์ผลการทดสอบของข้อมูล กรณีทดสอบจำนวน 10 กรณีทดสอบ ใช้เวลาทั้งสิ้น 30 นาที 10 วินาที สามารถลดระยะเวลาในการทดสอบได้ดีกว่าระบบในปัจจุบันร้อยละ 69.83 รวมไปถึงการลดปัญหาต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้

Name	Documentation	Tags	Status	Message	Elapsed	Start / End
GetToken: TC001: Test successful request with valid input	Test successful request with valid input	API Get Token	PASS		00:00:00.130	20230723 04:53:05.019 20230723 04:53:06.049
GetToken: TC002: Test request with missing 'channel_id' field	Test request with missing 'channel_id' field	API Get Token	PASS		00:00:00.025	20230723 04:53:06.051 20230723 04:53:06.076
GetToken: TC003: Test request with missing 'user_id' field	Test request with missing 'user_id' field	API Get Token	PASS		00:00:00.022	20230723 04:53:06.079 20230723 04:53:06.101
GetToken: TC004: Test request with missing 'intention' field	Test request with missing 'intention' field	API Get Token	PASS		00:00:00.022	20230723 04:53:06.102 20230723 04:53:06.124
GetToken: TC005: Test request with empty request body	Test request with empty request body	API Get Token	PASS		00:00:00.029	20230723 04:53:06.126 20230723 04:53:06.155
GetToken: TC006: Test request with user not found	Test request with user not found	API Get Token	PASS		00:00:00.024	20230723 04:53:06.156 20230723 04:53:06.180
GetToken: TC007: Test request with channel id not found	Test request with channel id not found	API Get Token	PASS		00:00:00.021	20230723 04:53:06.181 20230723 04:53:06.202
GetToken: TC008: Test request with intention not found	Test request with intention not found	API Get Token	PASS		00:00:00.026	20230723 04:53:06.203 20230723 04:53:06.229
GetToken: TC009: Test request with backend error	Test request with backend error	API Get Token	PASS		00:00:00.032	20230723 04:53:06.231 20230723 04:53:06.263
GetToken: TC010: Test request with call other service time out	Test request with call other service time out	API Get Token	PASS		00:00:10.025	20230723 04:53:06.263 20230723 04:53:16.288

ภาพที่ 7 ผลการทดสอบและดำเนินการทดสอบของชุดทดสอบ จำนวน 10 กรณีทดสอบ

6. อภิปรายผล

จากการศึกษาขั้นตอนและกระบวนการดำเนินการทดสอบซอฟต์แวร์แบบ Manual ทำให้เข้าใจถึงปัญหาที่เกิดขึ้น ซึ่งการปรับเปลี่ยนวิธีการทดสอบซอฟต์แวร์มาเป็นแบบอัตโนมัติช่วยให้ลดปัญหาต่างๆ ได้ และช่วยพัฒนาการดำเนินงานของทีมทดสอบ รวมไปถึงการเพิ่มประสิทธิภาพในการทดสอบซอฟต์แวร์อีกด้วย จากการทดสอบ เมื่อเปรียบเทียบการทดสอบซอฟต์แวร์แบบ Manual และการทดสอบแบบอัตโนมัติ โดยใช้ Robot framework ด้วยกรณีทดสอบจำนวน 10 รายการ พบว่าการทดสอบแบบ Manual ใช้เวลาในการทดสอบรวมถึงการเก็บผลทดสอบทั้งหมด 1 ชั่วโมง 40 นาที เฉลี่ยเป็น 10 นาทีต่อ 1 กรณีทดสอบ และการทดสอบแบบอัตโนมัติ ใช้ทั้งหมด 30 นาที เฉลี่ยเป็น 3 นาทีต่อ 1 กรณีทดสอบ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบในกรณีที่ต้องทำการทดสอบมากกว่า 1 รอบหรือการทดสอบที่จำเป็นต้องทำซ้ำ เมื่อมีการปรับปรุงซอฟต์แวร์ เห็นว่าการทดสอบแบบอัตโนมัตินั้นประหยัดเวลา นอกจากนี้ยังลดความเสี่ยงของผู้ทดสอบทำผิดพลาดหรือพลาดการทดสอบสถานการณ์ที่ซับซ้อนได้ และเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการพัฒนาซอฟต์แวร์ต่อเนื่อง (Continuous Integration) ซึ่งช่วยในการสนับสนุนการส่งมอบซอฟต์แวร์ให้ได้เร็วขึ้นและมีคุณภาพสูงขึ้น

อย่างไรก็ตาม การทดสอบซอฟต์แวร์แบบอัตโนมัติไม่สามารถแทนที่การทดสอบด้วยมนุษย์ได้ทั้งหมด และการทดสอบด้วยมนุษย์ยังเป็นสิ่งที่จำเป็นในบางกรณี เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้งานที่แตกต่าง ดังนั้นการทดสอบซอฟต์แวร์แบบอัตโนมัติจึงเป็นเพียงเครื่องมือเสริมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทดสอบซอฟต์แวร์ และช่วยให้หน่วยงานสามารถส่งมอบซอฟต์แวร์ที่มีคุณภาพและประสิทธิภาพได้

7. ข้อเสนอแนะ

การทดสอบซอฟต์แวร์แบบอัตโนมัติ มีข้อเสนอแนะ เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุง ดังนี้

(1) การวางแผนและออกแบบสคริปต์ทดสอบที่เหมาะสมสำหรับซอฟต์แวร์ประเภท Voice Bot ซึ่งเป็นระบบการสื่อสารด้วยเสียงกับบอทอีกประเภทของระบบ Contact Center

(2) การวางแผนและออกแบบสคริปต์ทดสอบที่เหมาะสมกับซอฟต์แวร์ เพื่อให้แน่ใจว่าสคริปต์ทดสอบครอบคลุมฟังก์ชันที่สำคัญและสถานการณ์ที่ซับซ้อนที่อาจเกิดขึ้น

(3) การใช้ความสามารถในการสร้างรายงาน เช่น การใช้ Built-in Report หรือ Plugins ที่สามารถสร้างรายงานแบบที่กำหนดเองได้ เพื่อให้เป็นไปตามความต้องการของหน่วยงาน

(4) การผสมผสาน Robot Framework กับกระบวนการ Continuous Integration เพื่อให้การทดสอบเกิดขึ้นโดยอัตโนมัติเมื่อมีการส่งมอบซอฟต์แวร์ จะช่วยในการตรวจสอบความถูกต้องในขณะที่กำลังพัฒนา

(5) การสร้างเทมเพลตสคริปต์ทดสอบเพื่อใช้ซ้ำในโปรเจกต์อื่น ๆ หรือในส่วนของฟังก์ชันที่คล้ายกัน เพื่อประหยัดเวลาและทรัพยากรในการทดสอบ

8. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระเรื่องนี้สำเร็จและสมบูรณ์ได้ ต้องขอขอบพระคุณหน่วยงาน IT Solution and Operation technology contact center ที่ให้ความอนุเคราะห์เกี่ยวกับข้อมูลแผนการทดสอบซอฟต์แวร์ เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ขอบคุมติทดสอบที่ช่วยสนับสนุนและร่วมหารือเกี่ยวกับแนวทางการทดสอบซอฟต์แวร์ ทำให้การศึกษาค้นคว้าฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์

9. เอกสารอ้างอิง

สกรณ บุษบง (2556). การสร้างกรณีทดสอบสำหรับการทดสอบระดับรวมหน่วยแบบเพิ่มทีละหน่วย โดย

อัตโนมัติจากกรณีทดสอบระดับหน่วย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Bui Xuân Hiên (2566). V Model In Software Engineering: Ultimate Guideline for 2023[ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 18

มีนาคม 2566, จาก : <https://shorturl.at/jCMZ4>

Elisabeth Hendrickson(2553).Introduction to Acceptance Test Driven Development 2023[ออนไลน์]. ค้นเมื่อ

18/3/2566, จาก : <https://shorturl.at/anyKM>

Janzen, D. S., & Saiedian, H. (2549). On the influence of test-driven development on software design. Paper presented at the Software Engineering Education and Training, 2006. Proceedings.

Myers, G. J., Sandler, C., & Badgett, T. (2554). The art of software testing (3rd ed.). John Wiley & Sons.

Pressman, R. S., & Maxim, B. R. (2563). Software engineering: A practitioner's approach (9th ed.). McGraw-Hill Education.

Sajad Jalali, Mirosław Staron, และ Maria Sjöberg (2564). A systematic literature review on automated web testing using Robot Framework. IEEE Xplore.

การพัฒนาระบบถ่ายภาพไฮเปอร์สเปกตรัมและการพัฒนาขั้นตอนวิธีในการประมวลผล
ภาพไฮเปอร์สเปกตรัมเพื่อตรวจหารอยขีดของสาละพันธ์เอเชีย
The Development of Hyperspectral Imaging System and
The Development of Hyperspectral Image Processing Algorithms for Bruise
Detection of Asian Pear

พลกฤษณ์ ทุนคำ, วรุฒม์ เจริญจันทร์, สิริวัฒน์ สุภารัตน์, เกริกเกียรติ ศศิวิมลฤทธิ,

ณัฐกานต์ กันกา และ สุนงกช โตไพบุลย์

สาขาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

E-mail: pollakrit.t@rmu.ac.th, varut_jo65@live.rmu.ac.th

บทคัดย่อ

เทคนิคการถ่ายภาพไฮเปอร์สเปกตรัมถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการตรวจสอบคุณภาพในงานอุตสาหกรรม เช่น การหารอยขีดของผลไม้จากภาพถ่ายที่ได้ อย่างไรก็ตามภาพไฮเปอร์สเปกตรัมที่ได้มักเกิดการบิดรูปและเกิดรูปแบบของสัญญาณรบกวนในขณะที่ทำการบันทึกภาพทำให้การตีความภาพด้วยมนุษย์และการนำเครื่องคอมพิวเตอร์มาช่วยในการวินิจฉัยนั้นเป็นไปได้ค่อนข้างลำบาก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการปรับปรุงคุณภาพของภาพและทำการลดทอนสัญญาณรบกวนเหล่านั้นออกไปก่อนจะนำภาพดังกล่าวไปดำเนินการในขั้นตอนต่อไป งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอการพัฒนากระบวนการถ่ายภาพไฮเปอร์สเปกตรัมและการพัฒนาขั้นตอนวิธีในการประมวลผลภาพไฮเปอร์สเปกตรัมเพื่อตรวจหารอยขีดของสาละพันธ์เอเชีย โดยงานวิจัยได้ดำเนินการโดยเริ่มจากการเทียบมาตรฐานและการได้มาของภาพไฮเปอร์สเปกตรัม การกรองสัญญาณรบกวน การแยกวัตถุออกจากพื้นหลัง การตรวจจ็รอยขีด และการระบุตำแหน่งรอยขีดตามลำดับ การประเมินสมรรถนะของขั้นตอนวิธีที่ได้พัฒนาขึ้นมานี้จะเปรียบเทียบกับภาพทดสอบและภาพของรอยขีดที่เกิดขึ้นในสาละพันธ์เอเชียจริง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบและขั้นตอนวิธีที่ได้พัฒนาขึ้นมานี้สามารถตรวจจ็และหาขนาดของรอยขีดได้ใกล้เคียงกับรอยขีดที่เกิดขึ้นจริง

คำสำคัญ: การถ่ายภาพไฮเปอร์สเปกตรัม, การประมวลผลสัญญาณภาพดิจิทัล, แอ็กทีฟคอนทัวร์

ABSTRACT

Hyperspectral imaging techniques has been widely used in industrial inspection such as find out the bruise of fruits from the obtained images. However, the presence of image distortion and noise pattern during recording makes human interpretation and computer-aided hyperspectral image inspection a highly difficult task. It is thus necessary to enhance the image distortion and remove the noise pattern of those images before they are

further processed. This research paper proposes the development of hyperspectral imaging system and the development of hyperspectral image processing algorithms for bruise detection of Asian pear. The paper is organized as follows: calibration and acquisition of hyperspectral imaging system, noise pattern reduction, background segmentation, bruise detection, and bruise localization, respectively. The performance evaluation of the processed images obtained from the developed algorithm is compared with the test images and real bruise images. The experimental results indicate that such developed system and algorithm can detect and locate the bruise size close to the actual damage.

Keywords: hyperspectral imaging, digital image processing, active contour

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ผลไม้เป็นสินค้าเกษตรกรรมที่สำคัญของประเทศซึ่งในปัจจุบันมียอดการส่งออกสู่ตลาดทั้งในและต่างประเทศ ปัจจัยสำคัญในการส่งออกผลไม้เหล่านี้คือ คุณภาพของผลไม้ซึ่งได้แก่ ขนาด น้ำหนัก ความสุก สี เนื้อสัมผัส โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความชื้นของผลไม้ ซึ่งอาจจะเกิดจากการกดทับ การกระทบ การสัมผัสที่อื่นตั้งแต่กระบวนการเก็บเกี่ยว กระบวนการขนส่ง และกระบวนการคัดบรรจุ ซึ่งในปัจจุบันกระบวนการในการคัดกรองคุณภาพความชื้นของผลไม้จะใช้การสังเกตด้วยตาเปล่าโดยผู้ที่มีประสบการณ์และความชำนาญในการคัดแยกคุณภาพของผลไม้ นั้น ๆ แต่ในกรณีของผลไม้ที่มีเปลือกค่อนข้างแข็งและหนานั้นอาจจะไม่สามารถสังเกตเห็นความชื้นได้ด้วยตาเปล่าได้ อย่างไรก็ตามจากหลาย ๆ งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าธรรมชาติของเนื้อเยื่อของผิวที่เกิดรอยขีดข่วนมีคุณสมบัติของการเกิดปฏิสัมพันธ์กับแสงในลักษณะเฉพาะทำให้ปริมาณแสงที่สะท้อนกลับออกมามีความแตกต่างกันไปตามความยาวคลื่นที่ต่างกันออกไป ดังนั้นจึงได้มีการนำกล้องไฮเปอร์สเปกตรัมซึ่งเป็นกล้องที่สามารถตรวจจับความยาวคลื่นทั้งในย่านมองเห็น (visible range) และย่านอินฟราเรด (infrared) มาใช้ในการตรวจหารอยขีดข่วนซึ่งยังเป็นการหลีกเลี่ยงการสัมผัสโดยตรงกับผลไม้โดยใช้สายตามนุษย์ในการสังเกต หรือการหยิบผลไม้มาบีบทดสอบอาจทำให้เกิดรอยขีดข่วนมากขึ้น ดังนั้นการใช้เทคนิคในการรับภาพของเครื่อง (machine vision) จึงเหมาะสำหรับการนำไปตรวจสอบหรือคัดเลือกผลไม้บนสายพานการผลิตที่มีผลไม้จำนวนมากและมีโอกาสเกิดรอยขีดข่วนได้ง่าย โดยกล้องไฮเปอร์สเปกตรัมที่นำมาใช้ในการถ่ายภาพจะมีความสามารถในการถ่ายภาพในช่วงความยาวคลื่น 400 – 1000 nm ซึ่งสามารถครอบคลุมในช่วงความยาวคลื่นที่สายตามนุษย์มองเห็นและมองไม่เห็นได้ (Baranowski *et al.*, 2016) ดังนั้นทางทีมวิจัยจึงได้เล็งเห็นถึงความสามารถของกล้องไฮเปอร์สเปกตรัมที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในการตรวจหารอยขีดข่วนในสาลีพันธุ์เอเชียได้ อย่างไรก็ตามเมื่อเรศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมในเชิงลึกจะพบว่าภาพที่ได้จากกล้องไฮเปอร์สเปกตรัมนั้นมักเกิดการบิดรูป (distortion) และเกิดรูปแบบของสัญญาณรบกวน (noise pattern) ในขณะที่การบันทึกภาพเนื่องจากกล้องไฮเปอร์สเปกตรัมจะทำการสแกนรับค่าแสงในแต่ละความยาวคลื่นในแต่ละพื้นที่ตามแนววางของการเคลื่อนที่ ดังนั้นจึงต้องมีการออกแบบและพัฒนาระบบช่วยถ่ายภาพไฮเปอร์สเปกตรัมสำหรับการจับเคลื่อนสายพานลำเลียงต้นแบบเพื่อให้ได้ภาพที่ผิดเพี้ยนน้อยที่สุด และทำการพัฒนาขั้นตอนวิธีการประมวลผลภาพไฮเปอร์สเปกตรัมเพื่อตรวจหารอยขีดข่วนของสาลีพันธุ์เอเชีย โดยงานวิจัยได้ดำเนินการโดยเริ่มจาก การเทียบมาตรฐานและการได้มาของภาพไฮเปอร์สเปกตรัม การกรองสัญญาณรบกวน การแยกวัตถุออกจากพื้นหลัง การตรวจจับรอยขีดข่วน และการระบุ

ตำแหน่งรอยชำตามลำดับ จากนั้นจึงจะทำการประเมินสมรรถนะของขั้นตอนวิธีที่ได้พัฒนาขึ้นมาเปรียบเทียบกับภาพทดสอบและภาพของรอยชำที่เกิดขึ้นในสไลด์พื้นฐ่อเอเชียจริงต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อศึกษากระบวนการได้มาซึ่งภาพถ่ายย่านอินฟราเรดโดยใช้กล้องไฮเปอร์สเปกตรัม
- (2) เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบช่วยถ่ายภาพต้นแบบด้วยกล้องไฮเปอร์สเปกตรัม
- (3) เพื่อศึกษาและพัฒนาขั้นตอนวิธีในการตัดสินใจการคัดแยกรอยชำของสไลด์พื้นฐ่อเอเชีย
- (4) เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบการประมวลผลภาพไฮเปอร์สเปกตรัมในการหาขนาดบริเวณที่เกิดรอยชำบนผิวสไลด์พื้นฐ่อเอเชียได้

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

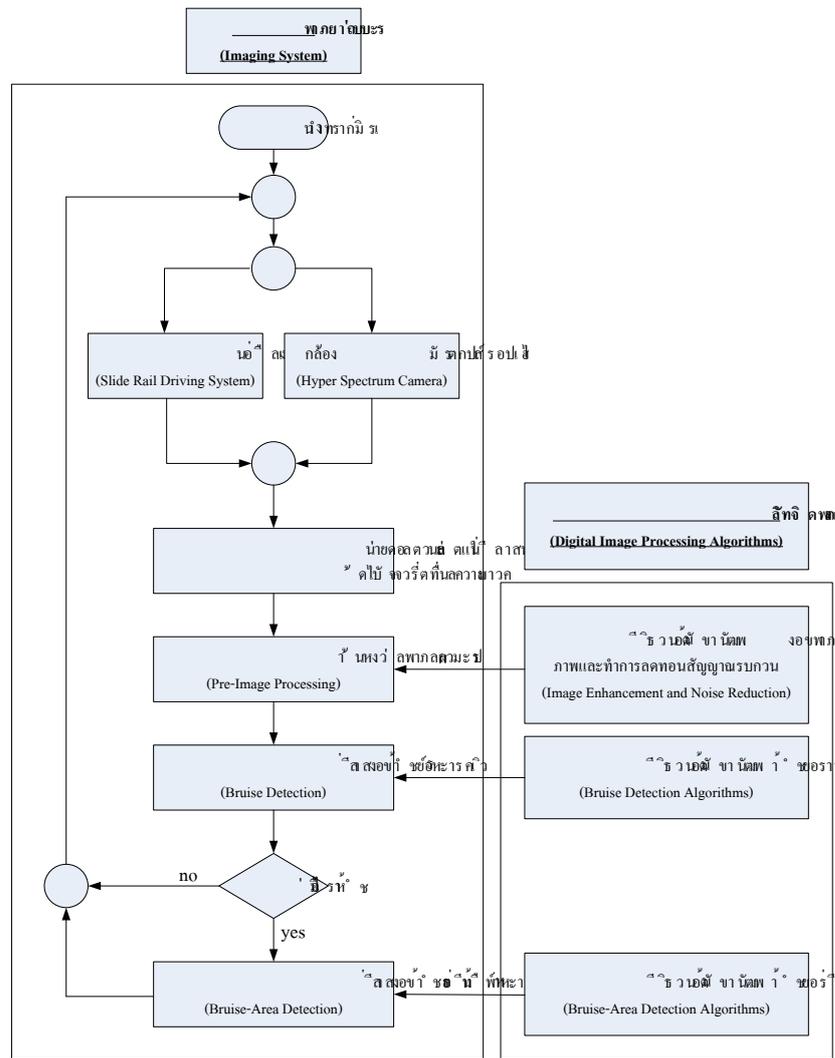
3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษางานวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาแนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่มีเนื้อหาเกี่ยวข้องและใกล้เคียงกับการศึกษาในครั้งนี้ โดยเริ่มจากในงานวิจัยของ Li *et al.* (2013) ได้ศึกษาการตรวจสอบความเสียหายทางกายภาพของสไลด์โดยใช้แถบสเปกตรัมย่านใกล้อินฟราเรด (Near Infrared: NIR) โดยพบว่าช่วงคลื่นย่าน NIR ที่ดีที่สุดสำหรับการเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจบบรอยชำอยู่ที่ 950–1650 nm โดยจะใช้ไฟฮาโลเจน 150W จำนวน 2 หลอดในการให้ความสว่างแบบทางตรง และใช้กล้องดิจิทัลในการถ่ายภาพเพื่อให้เห็นพื้นที่รอยชำจากพื้นผิวของสไลด์ จากนั้นในปี 2014 ในงานวิจัยของ Nayeli *et al.* (2014) ได้ศึกษาการตรวจสอบความเสียหายทางกลของมะม่วงเพื่อหาวิธีการประเมินคุณสมบัติและตรวจสอบความเสียหายที่มองไม่เห็น โดยใช้ระบบ NIR hyper spectral ที่ช่วงความยาวคลื่น 650–1100 nm และพบว่าช่วงคลื่นแสงที่สามารถตรวจสอบความเสียหายของมะม่วงคือช่วงความยาวคลื่นแสงในย่าน 700–780, 890–900, 1070–1080 nm จากนั้นในปี 2015 ในงานวิจัยของ Wenqian Huang *et al.* (2015) ได้ทำการพัฒนาระบบการถ่ายภาพมัลติสเปกตรัมสำหรับการตรวจจบบรอยชำบนแอปเปิ้ลโดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือเพื่อพัฒนาระบบถ่ายภาพต้นแบบหลายสเปกตรัมสำหรับการตรวจจบบรอยชำบนแอปเปิ้ลโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis: PCA) บนภาพไฮเปอร์สเปกตรัมในย่านความยาวคลื่น 450–1000 nm, 450–780 nm, และ 780–1000 nm ตามลำดับและเปรียบเทียบภาพองค์ประกอบหลักที่เป็นผลลัพธ์ออกมา และในปี 2019 ในงานวิจัยของ Quoc Thien Pham *et al.* (2019) ได้ทำการตรวจหาข้อบกพร่องของผิวสตาร์แอปเปิ้ล โดยใช้ภาพไฮเปอร์สเปกตรัม โดยพบว่าเป็นการยากที่จะระบุข้อบกพร่องของผิวโดยการตรวจสอบด้วยสายตาหรือการมองเห็นด้วยเครื่องเนื่องจากสีของสตาร์แอปเปิ้ลมีสีแดงม่วงหรือสีม่วงเข้มที่มีคึกเกินไป ในงานวิจัยได้มีการใช้เทอร์โมกราฟฟิคเพื่อตรวจหาตัวอ่อนของมอดในแอปเปิ้ล และมีการใช้แมชชีนวิชั่นในการคัดแยกและคัดเกรด นอกจากนี้ระบบแมชชีนวิชั่นที่ได้พัฒนาขึ้นมายังสามารถตรวจจบบข้อบกพร่องของผิวผลไม้สำเร็จ อย่างไรก็ตามระบบดังกล่าวยังไม่สามารถระบุข้อบกพร่องของผิวของผลไม้ที่มีผิวสีเข้มอย่างเช่นสตาร์แอปเปิ้ลสีม่วงเข้มได้ จึงต้องมีการพัฒนาต่อยอดต่อไป

3.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย

งานวิจัยนี้จะเริ่มจากการพัฒนาระบบถ่ายภาพ (imaging system) ด้วยกล้องไฮเปอร์สเปกตรัมและการพัฒนาขั้นตอนวิธีในการประมวลผลภาพดิจิทัล (digital image processing algorithm) เพื่อนำภาพไฮเปอร์

สเปกตรัมที่ได้ไปประมวลผลเพื่อหาขนาดของรอยช้ำบนสาลีพันธุ์เอเชียโดยแผนผังกรอบแนวคิดในการวิจัยได้แสดงไว้ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

3.3 สมมติฐานการวิจัย

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าแสงย่านใกล้อินฟราเรด (Near Infrared: NIR) ที่มีความยาวคลื่นที่แตกต่างกันจะมีคุณสมบัติในการสะท้อนกลับพื้นผิวของผลไม้ที่มีรอยช้ำและไม่มีรอยช้ำได้แตกต่างกัน ดังนั้นจึงมีแนวทางในการนำหลักการดังกล่าวมาพัฒนาระบบถ่ายภาพไฮเปอร์สเปกตรัมและการพัฒนาขั้นตอนในวิธีการประมวลผลภาพไฮเปอร์สเปกตรัมเพื่อตรวจหารอยช้ำของสาลีพันธุ์เอเชีย และคัดกรองผลของสาลีที่ช้ำและไม่ช้ำออกจากกันก่อนการส่งออกหรือจัดจำหน่าย

4. วิธีดำเนินการวิจัย

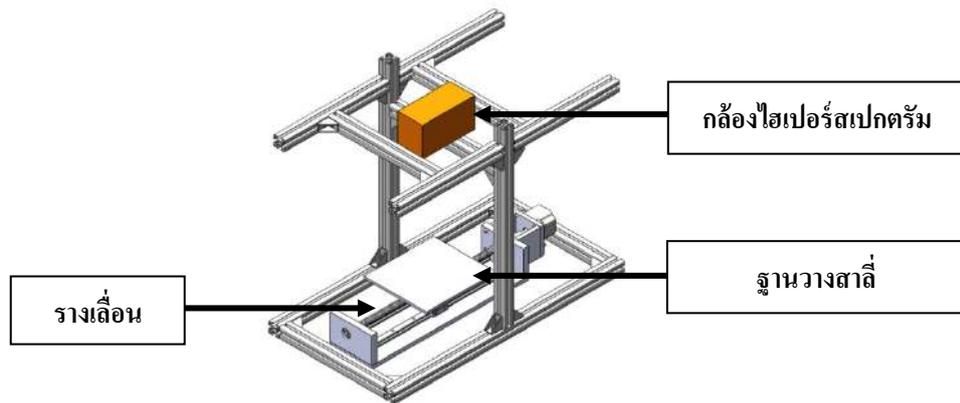
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบถ่ายภาพไฮเปอร์สเปกตรัมและการพัฒนาขั้นตอนในวิธีการประมวลผลภาพไฮเปอร์สเปกตรัมเพื่อตรวจหารอยช้ำของสาลีพันธุ์เอเชีย โดยมีวิธีดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

4.1 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

เริ่มจากการจัดเตรียมผลสาธิตพันธุ์เอเซียนำมาทำความสะอาด จัดเตรียมสถานที่ทดลองที่มีสภาพแสงเหมาะสมกับการถ่ายภาพด้วยกล้องไฮเปอร์สเปกตรัมเพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้กล้องถูกรบกวนจากแหล่งแสงต่าง ๆ การสร้างรอยขีดข่วนผิวสาธิตจะทำโดยการทดสอบปล่อยสายลึงกระทุงสู่พื้น (impact test) ในแนวตั้งจากระดับความสูง 30 เซนติเมตร จากพื้นให้ด้านข้างของสายลึงกระทุงแตกกับพื้นหินแกรนิตแบบเรียบ ก่อนทำการกำหนดจุดที่สายลึงกระทุงแตก ทำแบบเดียวกันกับสาธิตลู่อื่น ๆ เพื่อจำลองรอยขีดที่เกิดจากการตกกระแทกกับสิ่งอื่น

4.2 การเตรียมชุดช่วยถ่ายภาพ

การถ่ายภาพด้วยกล้องไฮเปอร์สเปกตรัมนั้นเป็นการถ่ายภาพที่เก็บเอาข้อมูลสเปกตรัมกับข้อมูลเชิงพื้นที่ โดยบันทึกข้อมูลเป็นเส้นต่อเส้น ซึ่งเป็นการเคลื่อนสาธิตเข้าหาหน้ากล้อง จึงต้องใช้รางสไลด์ที่ต่อกับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ในการเลื่อนฐานรองตัวอย่าง โดยได้ออกแบบชุดช่วยถ่ายภาพของกล้องไฮเปอร์สเปกตรัมดังแสดงในรูปที่ 2 ส่วนการควบคุมตัวรางเลื่อนนั้น ตัวรางเลื่อนจะต่อเข้ากับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ที่ควบคุมบน โปรแกรม LabVIEW ผ่านบอร์ด Arduino ซึ่งสามารถกำหนดความเร็วของรางเลื่อนและระยะเวลาเคลื่อนที่ของรางเลื่อนได้ในหน้า front panel โดยการใช้งาน โปรแกรมควบคุมตัวรางเลื่อนนั้นจะทำงานแยกกับ โปรแกรมที่บันทึกภาพของกล้องไฮเปอร์สเปกตรัม เนื่องจากตัวโปรแกรม LabVIEW ไม่รองรับกล้องที่นำมาใช้งาน



รูปที่ 2 โครงสร้างชุดช่วยถ่ายภาพ

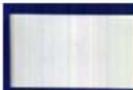
4.3 การควบคุมกล้องไฮเปอร์สเปกตรัม

ในการควบคุมการทำงานของกล้องไฮเปอร์สเปกตรัมนั้น จะสามารถกำหนดค่าอัตราเฟรม (frame rate) ได้ตั้งแต่ 1 – 200 fps ซึ่งค่าอัตราเฟรมที่กำหนดนี้เป็นค่าพารามิเตอร์สำคัญในการเกิดการยืดหรือหดของภาพ โดยการถ่ายภาพด้วยกล้องไฮเปอร์สเปกตรัมนั้นเป็นการถ่ายภาพที่เก็บเอาข้อมูลสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 400–1000 nm กับข้อมูลเชิงพื้นที่ โดยบันทึกข้อมูลเป็นเส้นต่อเส้น จากนั้นจึงนำเอาเส้นของข้อมูลที่เก็บมาได้มาเรียงกัน จึงได้ข้อมูลที่เรียกว่าไฮเปอร์คิวบ์ (hypercube) ซึ่งคล้ายกับการถ่ายภาพแบบ 3 มิติที่ต้องการการเคลื่อนที่เพื่อการกวาดตัววัตถุให้ครอบคลุม โดยความเร็วของอัตราเฟรมในการถ่ายภาพกับความเร็วในการเคลื่อนที่ที่จะต้องมีความสัมพันธ์กัน โดยถ้าหากค่าพารามิเตอร์ทั้งสองไม่สอดคล้องกันจะทำให้เกิดการบิดเบี้ยวของภาพในแนวแกนการเคลื่อนที่ซึ่งจะส่งผลให้การวิเคราะห์ขนาดของรอยขีดข่วนผิวสาธิตด้วยกระบวนการประมวลผลสัญญาณภาพดิจิทัลมีความคลาดเคลื่อน รูปที่ 3 แสดงการทดสอบการถ่ายภาพของวัตถุทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 5 x 5 เซนติเมตร โดย R คืออัตราส่วนของขนาดวัตถุในภาพที่ได้ในแกน X ต่อแกน Y รูปที่ 4 แสดงกราฟขนาดของวัตถุ

ทดสอบตัวอย่างโดยใช้เทคนิคในการวิเคราะห์แบบถดถอยเชิงเส้น (linear regression) ในการสร้างแบบจำลองข้อมูล ซึ่งจะทำให้เราได้สมการที่ได้จากการพล็อตกราฟคือ

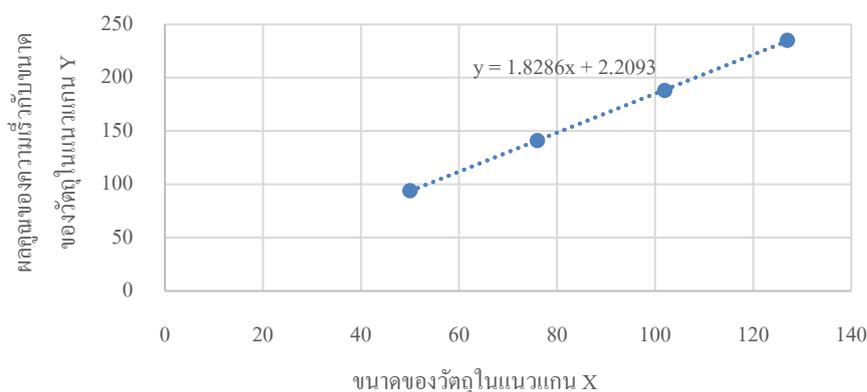
$$y = 1.8286x + 2.2093 \quad (1)$$

และเมื่อนำผลที่ได้มาคำนวณค่าอัตราเฟรมของการถ่ายภาพกับคำนวณหาความเร็วในเคลื่อนที่ของฐานตัวอย่างในการถ่ายภาพพบว่าการใช้งานที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของฐานตัวอย่างเท่ากับ 9.4 mm/s ซึ่งมีอัตราเฟรมเท่ากับ

อัตราเฟรม \ ความเร็ว	10 fps	15 fps	20 fps	25 fps
4.7 mm/s	 R = 1.352	 R = 0.89	 R = 0.666	 R = 0.532
7.05 mm/s	 R = 1.878	 R = 1.362	 R = 1.02	 R = 0.812
9.4 mm/s	 R = 2.78	 R = 1.815	 R = 1.352	 R = 1.086
11.75 mm/s	 R = 3.45	 R = 2.262	 R = 1.682	 R = 1.359

รูปที่ 3 ตัวอย่างแสดงการยืดหดของภาพด้วยชุดถ่ายภาพไฮเปอร์สเปกตรัม

27 จะได้ภาพตัวอย่างที่มีความบิดเบี้ยวน้อยที่สุดและเมื่อนำผลที่ได้มาคำนวณค่าอัตราเฟรมของการถ่ายภาพกับคำนวณหาความเร็วในเคลื่อนที่ของฐานตัวอย่างในการถ่ายภาพพบว่าการใช้งานที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของฐานตัวอย่างเท่ากับ 9.4 mm/s ซึ่งมีอัตราเฟรมเท่ากับ 27 จะได้ภาพตัวอย่างที่มีความบิดเบี้ยวน้อยที่สุด



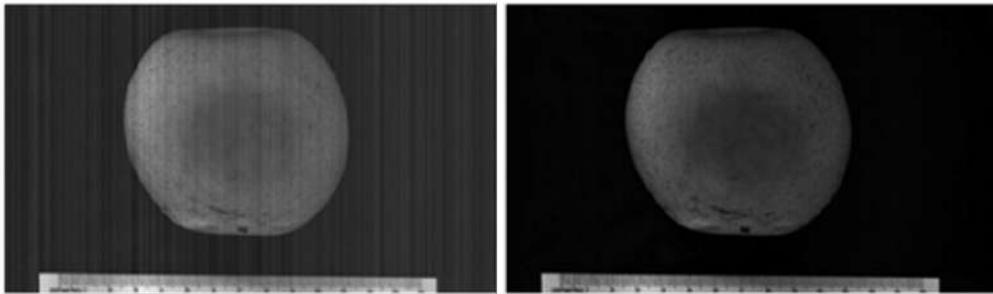
รูปที่ 4 กราฟแสดงขนาดของวัตถุทดสอบตัวอย่าง

4.4 การลดทอนสัญญาณรบกวน (noise reduction)

ในการถ่ายภาพนั้นได้ทำการถ่ายภาพสาธิตภายในห้องปิดไฟมืดสนิท ตัวอย่างสาธิตที่ถูกถ่ายจะถูกลงบนฐานที่เคลื่อนที่เข้าหาตัวกล้อง ซึ่งการถ่ายภาพด้วยกล้องไฮเปอร์สเปกตรัมจะสแกนความถี่ของวัตถุเป็นเส้นทีละเส้น ดังนั้นการถ่ายภาพของกล้องนั้น จะบันทึกเอาข้อมูลในทุกย่านความยาวคลื่นที่อยู่ภายในมุมมองของกล้อง (Field of View; FOV) การกรองเอาสัญญาณรบกวนในกระบวนการไฮเปอร์สเปกตรัมนั้นจะต่างจากการกรองเอาสัญญาณรบกวนในกระบวนการประมวลผลภาพแบบปกติ โดยจะใช้วิธีการที่เรียกว่า white and dark reference เนื่องจากความเข้มของแหล่งกำเนิดแสงมีลักษณะที่ไม่สม่ำเสมอในแถบความยาวคลื่นต่าง ๆ จึงทำให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้น ดังนั้นการถ่ายภาพด้วยกล้องไฮเปอร์สเปกตรัมจึงต้องได้รับการปรับเทียบด้วยการอ้างอิงสีขาวและสีดำ (white and dark reference) ซึ่งจะทำให้การถ่ายภาพแบบปิดชัตเตอร์ของกล้องเพื่อตัดแหล่งแสงที่จะเข้าไปเป็นตัวทำ dark reference และถ่ายภาพเทพลอน 99% เป็นตัวทำ white reference (Yao and Lewis, 2010) จากนั้นนำ white and dark reference ที่ได้มาหาอัตราส่วนของความแตกต่างในสมการที่ 2 จึงจะทำให้ได้ภาพไฮเปอร์สเปกตรัมที่ถูกลดทอนสัญญาณรบกวนออกไป

$$R = \frac{R_{img} - R_{dark}}{R_{ref} - R_{dark}} \quad (2)$$

เมื่อ R_{img} คือ รูปต้นแบบ R_{ref} คือ รูป white reference และ R_{dark} คือ รูป dark reference



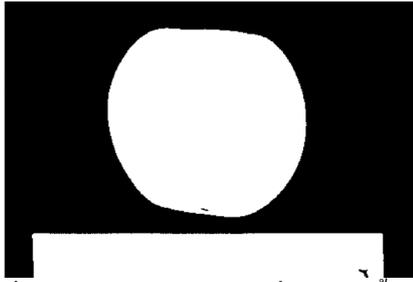
รูปที่ 5 ภาพก่อนและหลังการทำ white and dark reference

4.5 การแยกวัตถุออกจากพื้นหลัง (background segmentation)

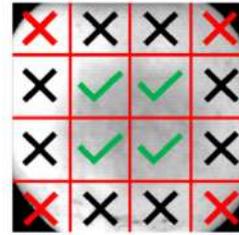
เป็นวิธีการแบ่งส่วนใดส่วนหนึ่งของภาพที่สนใจออกมาจากภาพที่ต้องการ ซึ่งการแบ่งส่วนภาพนี้โดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นขั้นตอนเบื้องต้นและสำคัญอย่างมากของการประมวลผลภาพทางไฮเปอร์สเปกตรัม เนื่องจากภาพทางไฮเปอร์สเปกตรัมที่ได้จากกล้องไฮเปอร์สเปกตรัมนั้น โดยปกติมักจะมีองค์ประกอบอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้เคียงหรือแม้กระทั่งสัญญาณรบกวน (noise) ที่เกิดขึ้นในขณะที่ถ่ายภาพ ด้วยเหตุนี้การวิเคราะห์เฉพาะส่วนที่ต้องการนั้นก็คือผลของสาธิตดังแสดงในรูปที่ 6

4.6 การตัดแบ่งส่วนการตัดสินใจรอยขีด (partition for bruise decision)

การแบ่งส่วนตัดสินใจ เป็นการแบ่งส่วนรูปภาพออกเป็นหลายๆ ส่วนก่อนนำไปสู่กระบวนการต่อไป การแบ่งส่วนนั้นจะช่วยระบุรอยขีดในแต่ละรูปที่แบ่งออกมา โดยแต่ละรูปได้ที่ทำการแบ่งส่วนจะถูกนำไปพิจารณาหาส่วนของรอยขีดภายในรูปนั้น ซึ่งความละเอียดในการแบ่งนั้นสามารถกำหนดได้ แต่หากกำหนดมากไปก็เป็นการเพิ่มการทำงานของโปรแกรมไปในตัว ปัญหาของการแบ่งส่วนรูปภาพเพื่อทำการตัดสินใจนั้นคือการที่ขอบของออกเป็น 16 ส่วน โดยตัดรูปที่เป็นมุมสี่มุมออก บนซ้าย บนขวา ล่างซ้าย ล่างขวา เนื่องจากมุมทั้งสี่มุมนั้นเป็นมุมที่



รูปที่ 6 ภาพหลังจากแยกผลสาลีออกจากพื้นหลัง



รูปที่ 7 ตัวอย่างการตัดแบ่งส่วนการตัดสินใจรอยขีด

เป็นขอบของลูกสาลี ที่เป็นส่วนโค้งของสาลี ดังแสดงในรูป 7 ทำให้ในรูปที่แบ่งออกมานั้นมีพื้นหลังที่เป็นสีดำ โมเดลที่ออกแบบจะมองว่าเป็นรอยขีด จึงต้องทำการตัดออกซึ่งเป็นเพียงส่วนน้อยของรูปสาลี หากรอยขีดในรูปมีมากกว่า 1 จะมองว่ารูปนั้นมีรอยขีดพร้อมจะเข้าสู่กระบวนการระบุขนาดรอยขีด ซึ่งในกระบวนการนี้เป็นการลดขั้นตอนการทำงานของ โปรแกรมเนื่องจากไม่จำเป็นต้องระบุรอยขีดของลูกสาลีทุกลูกที่เข้าสู่กระบวนการ

4.7 การระบุบริเวณรอยขีด (bruise detection)

การระบุบริเวณรอยขีดของภาพสาลีพันธุ์เอเชียในงานวิจัยนี้เป็นการนำเอาแอ็กทิฟคอนทัวร์ของ Chan-Vese (2001) หรือ snake โดยพื้นฐานของ snake model จะใช้การลดลงของพลังงานของรูปภาพแบบต่อเนื่อง ภายใต้อิทธิพลแรงของภาพ (image forces) โดยสิ่งสำคัญในการทำแอ็กทิฟคอนทัวร์คือต้องการไหลผ่านของ เวกเตอร์เกรเดียนต์ (Gradient Vector Flow) ภายในรูป ซึ่งเป็นแรงที่เป็นเวกเตอร์มีขนาดและทิศทางของตัวเอง ซึ่งแรงภายในนี้เองเป็นตัวทำตัวคอนทัวร์เคลื่อนที่โดยตัวคอนทัวร์จะเคลื่อนที่ไปยังทิศทางตรงกันข้ามของ Gradient Vector Flow หรือเคลื่อนที่สวนทิศทางกับเวกเตอร์ ซึ่งในการระบุขนาดของรอยขีดจะนำแอ็กทิฟคอนทัวร์ไปวางที่เส้นทรอยด์ของบริเวณพื้นที่ที่ถูกตัดสินใจว่าเป็นรอยขีด (seed point) แล้วให้จุดคอนทัวร์ขยายไปตามแรง Gradient Vector Flow ภายในรูป โดยอัลกอริทึมนี้อิงตามระดับที่พัฒนาช้า ๆ เพื่อลดพลังงานลง จะถูกกำหนดโดยผลรวมความเข้มของค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันจากค่าเฉลี่ยนอกพื้นที่ที่แบ่งส่วน แอ็กทิฟคอนทัวร์ของ Chan-Vese มีพารามิเตอร์ที่สำคัญอยู่ 2 ตัว ได้แก่ ค่า SmoothFactor ซึ่งเป็นค่าระดับความเรียบเนียนของคอนทัวร์ ซึ่งหากใส่ค่ามากกว่า 1 คอนทัวร์จะมีโอกาสกินขอบของรูปเข้าไป โดยค่าพื้นฐานที่เริ่มต้นจะอยู่ที่ 0 ส่วนค่าพารามิเตอร์อีกตัวหนึ่งคือค่า ContractionBias หมายถึงแนวโน้มของรูปร่างคอนทัวร์ที่จะขยายออกไปด้านนอกหรือหดตัวเข้าด้านใน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความแรงของ Gradient Vector Flow ดังแสดงในรูปที่ 8

SmoothFactor 0 : ∞ ContractionBias 1 : -1	0 (default)	0.2	0.4	0.8	1.6
-0.66					
-0.33					
0(default)					
0.33					
0.66					

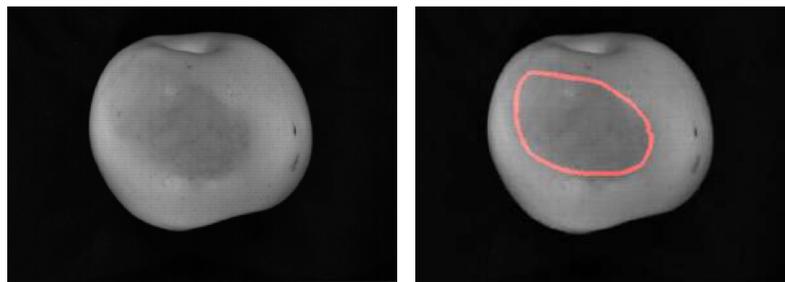
รูปที่ 8 รูปเปรียบเทียบการปรับใช้ค่าพารามิเตอร์ ContractionBias กับ SmoothFactor

5. ผลการวิจัย

การหาพื้นที่บริเวณรอยช้ำนั้นสามารถทำได้โดยการคำนวณหาจำนวนพิกเซลต่อหนึ่งเซ็นติเมตรภายในเส้นคอนทัวร์เปรียบเทียบกับพื้นที่รอยช้ำจริง โดยในส่วนของพื้นที่รอยช้ำจริงได้ทำการปกปิดแล้วทำการวงบริเวณที่เกิดรอยช้ำบนกระดาษสำหรับเปรียบเทียบรอยว่าระบบสามารถตรวจรอยช้ำได้ตรงตามที่เกิดขึ้นจริงมากน้อยเพียงใด จากนั้นจึงได้นำพื้นที่ของทั้งสองมาเปรียบเทียบหาร้อยละความผิดพลาดในการระบุรอยช้ำ จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าบริเวณพื้นที่เกิดรอยช้ำจากระบบมีขนาดใกล้เคียงกับพื้นที่รอยช้ำจริงโดยมีความถูกต้องมากที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 99.13 และมีความถูกต้องที่น้อยที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 92.02 ซึ่งร้อยละความถูกต้องที่ผู้วิจัยรับได้จะต้องมีความถูกต้องมากกว่าร้อยละ 90 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตรวจพบพื้นที่รอยช้ำได้ค่อนข้างแม่นยำตามที่ผู้วิจัยได้ตั้งไว้โดยภาพตัวอย่างสาธิตที่ผ่านกระบวนการประมวลผลภาพเพื่อตรวจหารอยช้ำแสดงในรูปที่ 9

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบพื้นที่รอยช้ำจริงกับรอยช้ำที่ตรวจพบจากระบบ

ตัวอย่าง	รอยช้ำจริง (ตารางเซ็นติเมตร)	รอยช้ำจากระบบ (ตารางเซ็นติเมตร)	เปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาด
1	28.81	29.84	3.61
2	26.39	24.77	6.13
3	25.66	23.89	6.93
4	19.19	19.36	0.87
5	21.19	19.24	7.98
6	25.31	23.55	6.95
7	17.79	18.68	5.01
8	24.54	22.78	7.16
9	23.17	21.31	5.58
10	17.06	15.08	7.44



รูปที่ 9 ภาพตัวอย่างสาส์ที่ผ่านกระบวนการประมวลผลภาพเพื่อตรวจหารอยขีด

6. อภิปรายผล

จากผลการทดลองพบว่าชุดภาพไฮเปอร์สเปกตรัมที่บันทึกได้จะมีความคิดเห็นของรูปภาพตามแนวการเคลื่อนที่ของสายพานลำเลียงซึ่งสัมพันธ์กับอัตราเฟรมของกล้องที่เราได้ตั้งค่าไว้ ทั้งนี้เมื่อนำข้อมูลความสัมพันธ์ของความเร็วในการเคลื่อนที่และอัตราเฟรมมาหาค่าที่เหมาะสมโดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบถดถอยเชิงเส้นและนำมาที่ได้จากการคำนวณไปใช้งานพบว่าขนาดของวัตถุทดสอบภายในภาพจะมีค่าใกล้เคียงกับขนาดของวัตถุจริง นอกจากนี้ยังพบว่าชุดภาพไฮเปอร์สเปกตรัมที่บันทึกได้จะมีรูปแบบของสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นภายในภาพซึ่งรูปแบบของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นนี้ไม่สามารถใช้ตัวกรองมาตรฐานแบบต่าง ๆ อาทิเช่น ตัวกรองเฉลี่ย ตัวกรองมัชฐาน หรือตัวกรองแบบปรับตัวได้มาใช้ลดทอนสัญญาณรบกวนภายในภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามเมื่อนำกระบวนการ white and dark reference มาใช้ลดทอนสัญญาณรบกวนภายในภาพไฮเปอร์สเปกตรัมพบว่าสามารถลดทอนรูปแบบของสัญญาณรบกวนได้ดีกว่าวิธีการอื่น ๆ นอกจากนี้ยังพบว่าแสงที่ความยาวคลื่นที่ 967 nm มีประสิทธิภาพในการระบุรอยขีดที่พื้นผิวบนลูกสาส์พันธุ์เอเชียได้ดีที่สุด โดยการควบคุมแสงสว่างให้กับกล้องนั้นถือว่าเป็นสิ่งสำคัญโดยแสงที่ส่องเข้ามาในแต่ละตำแหน่งของพื้นที่ถ่ายภาพควรมีความเข้มของสเปกตรัมและการตอบสนองที่เท่ากัน ไม่ควรมีเงาหรือแสงสะท้อนในบริเวณที่แสงส่องถึง ดังนั้นจึงควรใช้แหล่งกำเนิดแสงจากหลาย ๆ แหล่ง และสุดท้ายระบบที่ได้พัฒนาขึ้นมานี้มีประสิทธิภาพในการตรวจหารอยขีดของสาส์พันธุ์เอเชียโดยมีอัตราความแม่นยำสูงสุดที่ 99.13% และขั้นต่ำที่ 92.02% ดังนั้นจึงสามารถใช้เป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและการนำไปประยุกต์ใช้ในเชิงอุตสาหกรรมได้ต่อไป

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

งานวิจัยที่ได้พัฒนาขึ้นมานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในเกษตรเชิงพาณิชย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดแยกผลสาส์ที่ไม่เกิดรอยขีดกับที่เกิดรอยขีด อย่างไรก็ตามการนำไปใช้งานมีความจำเป็นต้องควบคุมสภาพแสงให้มีความสม่ำเสมอเนื่องจากจะส่งผลกระทบต่อการบินภาพในบริเวณที่มีรอยขีด

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ในการพัฒนาต่อๆไปควรมีระบบบันทึกภาพในหลากหลายมุมมองหรือมีระบบฐานรองตัวอย่างแบบหมุนเพื่อเพิ่มความสามารถในการตรวจสอบรอยขีดได้เพิ่มขึ้น

8. เอกสารอ้างอิง

- H. Yao, D. Lewis. (2010). "Spectral Preprocessing and Calibration Techniques". *Hyperspectral Imaging for Food Quality Analysis and Control*, 45-78
- Li JB, Huang WQ, Zhao CJ, Zhang BH. (2013). "A comparative study for the quantitative determination of soluble solids content, pH and firmness of pears by Vis/NIR spectroscopy". *Journal of Food Engineering*, 116(2), 324–332
- Nayeli Vélez Rivera, Juan Gómez-Sanchis, Jorge Chanona-Pérez, Juan José Carrasco, Mónica Millán-Giraldo, Delia Lorente, Sergio Cubero, José Blasco. (2014). "Early detection of mechanical damage in mango using NIR hyperspectral images and machine learning". *Biosystems Engineering*, 122, 91-98
- Pham, Quoc Thien and Liou, Nai-Shang. (2019). "Detecting skin defects of star apple by using hyperspectral images". *Journal of Physics: Conference Series*, 1198(4), 1-6
- Piotr Baranowski, Wojciech Mazurek, Joanna Wozniak, Urszula Majewska. (2012). "Detection of early bruises in apples using hyperspectral data and thermal imaging". *Journal of Food Engineering*, 110(3), 345-355
- Specim FX10 - User Manual 2.2, SPECIM, 2018, pp. 1-51
- T. F. Chan and L. A. Vese. (2001) "Active contours without edges," *IEEE Transactions on Image Processing*, 10(2), 266-277
- Wenqian Huang, Jiangbo Li, Qingyan Wang, Liping Chen. (2015). "Development of a multispectral imaging system for online detection of bruises on apples". *Journal of Food Engineering*, 146, 62–71
- Yu Tang, Shengjie Gao, Jiajun Zhuang, Chaojun Hou, Yong He, Xuan Chu, Aimin Miao, Shaoming Luo. (2020). "Apple Bruise Grading Using Piecewise Nonlinear Curve Fitting for Hyperspectral Imaging Data". *IEEE Access*, 8, 147494-147506

**การทำนายพฤติกรรมการรับแรงเฉือนของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก
เสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็กภายในโดยใช้แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์
Prediction of the shear behavior of reinforced concrete beams
strengthened with internal steel plates using finite element models**

ทรงศักดิ์ พิณีเลิศสกุล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์โยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: dg.songsak@gmail.com

รศ.ดร.สายันต์ สิริมนตรี

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์โยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: ssayan@engr.tu.ac.th

ผศ.ดร. ชนะชัย ทองโฉม

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์โยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: Tchanach@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

การออกแบบหน้าตัดคานเพื่อต้านแรงเฉือนจะประกอบด้วยส่วนที่ต้านโดยคอนกรีตและเหล็กปลอก ในกรณีที่คานต้องรับแรงเฉือนสูงแต่ขนาดหน้าตัดคานถูกจำกัด ทำให้กำลังต้านแรงเฉือนที่รับโดยคอนกรีตถูกจำกัด ดังนั้นจึงต้องทำการเพิ่มเหล็กปลอกเพื่อช่วยต้านแรงเฉือนดังกล่าว มาตรฐาน ACI ได้มีการจำกัดกำลังต้านแรงเฉือนของเหล็กปลอกไว้ หากเสริมเหล็กปลอกเพิ่มขึ้นก็ไม่ทำให้กำลังต้านแรงเฉือนเพิ่มขึ้น เนื่องจากคอนกรีตจะถูกอัดแตกด้วยการอัดในแนวทแยงทำให้คอนกรีตและเหล็กปลอกไม่สามารถทำงานร่วมกันได้อีก ในบางกรณีผู้ออกแบบได้มีการเสริมกำลังรับแรงเฉือนด้วยการเสริมแผ่นเหล็กภายในคานในบริเวณที่ต้องรับแรงเฉือนแต่ก็ยังไม่เป็นที่สงสัยว่าการเสริมดังกล่าวจะทำให้กำลังต้านแรงเฉือนของคานเป็นไปตามเจตนาของผู้ออกแบบหรือไม่ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการทำนายพฤติกรรมการรับแรงเฉือนของคานคอนกรีตเสริมเหล็กเสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็กผ่านการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยผลจากการเปรียบเทียบแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กับผลการทดสอบอ้างอิงพบว่ามีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดี จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ผลของพารามิเตอร์อื่น ๆ ได้แก่ กำลังอัดประลัยของคอนกรีต ความหนาและจำนวนแผ่นเหล็ก ได้ถูกศึกษาในแบบจำลอง ผลการศึกษาพบว่าการเพิ่มกำลังอัดประลัยของคอนกรีตและการเพิ่มความหนาแผ่นควบคู่กับจำนวนแผ่นช่วยเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนได้อย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: เสริมกำลังด้วยแผ่นเหล็ก แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ กำลังรับแรงเฉือน การเสริมกำลัง คอนกรีต

ABSTRACT

The design of beam cross-sections to resist shear forces consist of components resisting by concrete and stirrups. In cases where the beam must resist high shear forces but the cross-section of the beam is limited, the shear force capacity of the concrete is limited. Therefore, additional stirrups are added to resist the aforementioned shear forces. ACI standards have set limits on the shear strength of the stirrups. The ability of the beam to endure shear is not improved by adding more stirrups since the stirrups become detached from the concrete by the beam cracks under diagonal tension stress. In some cases, designers have increased the beam's ability to withstand shear forces by adding a steel plate inside the beam where high shear stress are expected. However, it remains uncertain whether such reinforcement aligns with the designer's intent. Thus, this research aims to study the predictive behaviour of shear resistance in reinforced concrete beams strengthened with steel plates using finite element models. The results of the analysis are compared with test results. The result showed that the relationship between load and deflection relationships are good agreeable with the test results. Additionally, the effect of other variables, such as concrete compression strength, plate thickness, and the number of plates, is studied in the model. The study found that increasing the concrete compression strength, along with the thickness of the plates and the number of plates, significantly increases the shear resistance capacity.

Keywords: Shear reinforcement, steel plate strengthening, shear resistance capacity, strengthening, concrete.

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ในมาตรฐานออกแบบ ACI 318 มีการระบุให้ปริมาณสูงสุดของเหล็กเสริมต้านทานแรงเฉือนได้ไม่เกิน 4 เท่าของความสามารถในการต้านทานแรงเฉือนของหน้าตัดคอนกรีต เพื่อป้องกันการเกิดวิบัติแบบแรงเฉือนและแรงอัด (Shear-compression) ซึ่งจะเกิดการวิบัติทันทีเมื่อคานต้องรับน้ำหนักเกินกว่าพิกัดใช้งาน (Hassoun, 2015) จึงต้องขยายหน้าตัดคานซึ่งจะเพิ่มสติเฟนขององค์อาคารส่วนนี้ทำให้รับแรงเพิ่มขึ้น (Khem Fei Chai, 2023) ดังนั้นจึงมีการศึกษาหาวิธีเพิ่มความสามารถรับแรงเฉือนของคานโดยไม่เพิ่มขนาดหน้าตัด เช่น การฝังแผ่นเหล็กในคานหรือการเพิ่มเหล็กปลอกมากกว่าข้อกำหนด (Rendy T., 2023) การเสริมแผ่นเส้นใยคาร์บอน (Haya H. et al., 2019) การเสริมแถบแผ่นเหล็ก (Thamrin and Wahyuni, 2023) ต่อมาได้พบว่ามีงานศึกษาวิจัยด้วยการทดสอบในห้องปฏิบัติการของการเสริมกำลังรับแรงเฉือนด้วยการเสริมแผ่นเหล็กตามยาวในคานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดย Buppakorn A. et al. (2019) ซึ่งเป็นวิธีที่ก่อสร้างได้ง่ายและมีราคาไม่แพง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการรับแรงเฉือนของคานคอนกรีตเสริมเหล็กปลอกและแผ่นเหล็กใน ด้วยการประยุกต์ใช้แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) แทนการทดสอบจริงเนื่องจากมีความแม่นยำสูงเป็นที่ยอมรับในงานวิชาการและช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงเฉือนของคานคอนกรีตที่มีแผ่นเหล็กฝังในเนื้อคาน (1) โดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ปรับเทียบ (Calibrate) กับผลทดสอบคานในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่

เหมาะสม และ (2) ศึกษาพารามิเตอร์อื่นๆ ที่ช่วยเพิ่มกำลังรับแรงเฉือน เช่น กำลังอัดประลัยของคอนกรีต หรือ จำนวนกับความหนาแผ่นเหล็ก

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

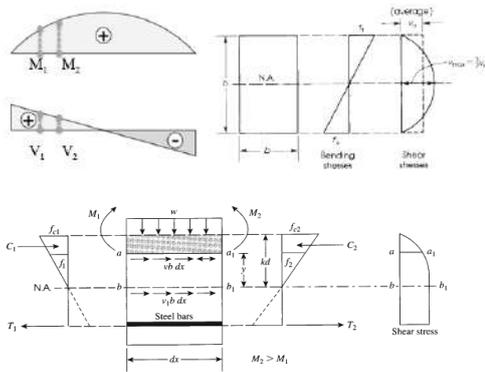
3.1 พฤติกรรมแรงเฉือนในคานคอนกรีต

กรณีที่หน้าตัดคานทำด้วยวัสดุเนื้อเดียวกัน มีคุณสมบัติในการรับแรงเหมือนกันทุกทิศทาง และหน้าตัดไม่เกิดการแตกร้าว (Homogeneous, Isotropic and Uncracked) จากทฤษฎีกลศาสตร์วัสดุภายใต้โมเมนต์ M และแรงเฉือน V ที่ตำแหน่งต่างๆ จะเกิดหน่วยแรงดัดฉาก f และหน่วยแรงเฉือน v คำนวณได้จากสมการที่ (1) และ (2)

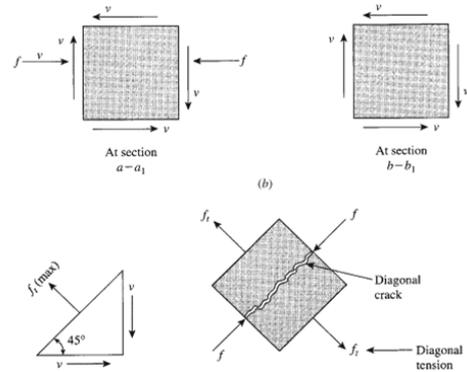
$$f = \frac{My}{I} \quad (1) \quad \text{เมื่อ } y \text{ คือ ระยะจากแกนสะเทินของหน้าตัด}$$

$$v = \frac{VQ}{Ib} \quad (2) \quad \begin{array}{l} Q \text{ คือ โมเมนต์ของพื้นที่ซึ่งระนาบของหน่วยแรงเฉือนตัดผ่าน} \\ I \text{ คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด} \end{array}$$

ภาพที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของพฤติกรรมแรงเฉือนและโมเมนต์ในหน้าตัดคานคอนกรีตที่เกิดการถ่ายเทระหว่างแรงอัดกับแรงเฉือนเพื่อให้คานอยู่ในสภาวะสมดุลแรงอัด โดยหน่วยแรงอัดที่กึ่งกลางคานจะมีค่าสูงกว่าฐานรองรับ เมื่อทำการจำลองชิ้นส่วนคอนกรีตเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ ที่ระนาบ $b-b_1$ ซึ่งอยู่ในแกนสะเทินมีแรงเฉือนในระนาบและความเค้นอัดตั้งฉากกระทำตามรูปภาพที่ 2 จะพบว่าจะมีเฉพาะหน่วยแรงเฉือนบนขอบทั้งสี่ด้านโดยมีขนาดเท่ากันและทิศทางตรงกันข้ามเพื่อรักษาสสมดุล ชิ้นส่วนเหล่านี้ชิ้นส่วนเหล่านี้จะค่อยๆ บิดทำมุมตามตำแหน่งของคานไปจนถึงตำแหน่งที่ทำมุม 45 องศาเป็นตำแหน่งที่เกิดหน่วยแรงดึงและแรงอัดสูงสุดโดยเกิดจากการโน้มเอียงของแรงรวมเข้าเป็นความเค้นดึงและอัดเรียกว่าหน่วยแรงหลักในแนวแกน (Principal Stresses) ซึ่งจะมีค่าเท่ากับหน่วยแรงเฉือน ส่งผลให้เกิดแรงดึงทแยง (Diagonal Tension) และรอยร้าวทแยง (Diagonal crack) ของคอนกรีตในแนวที่ตั้งฉากกับหน่วยแรงดึง



ภาพที่ 1 กลไกของแรงเฉือน (Hassoun, 2015)

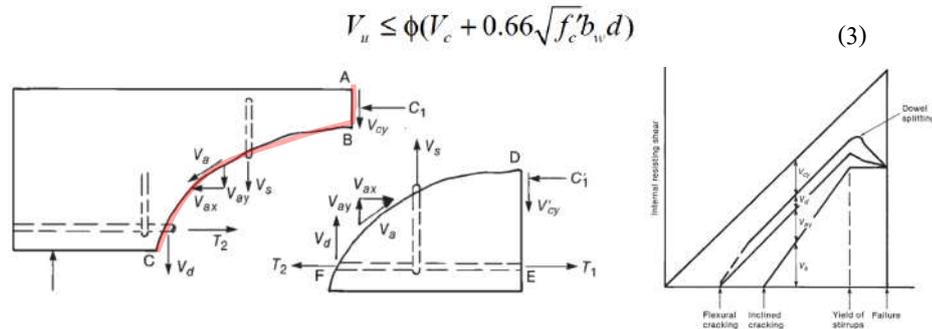


ภาพที่ 2 ชิ้นส่วนคอนกรีตและหน่วยแรง (Hassoun, 2015)

3.2 กลไกความต้านทานแรงเฉือนในคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

แรงเฉือนจะต้านทานโดยแรงดึงในเหล็กปลอก (V_p) และแรงอัดในแนวรอยร้าวของโค้งเอียง ABC ดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งกลไกการต้านทานแรงเฉือนภายในคานคอนกรีตจะประกอบด้วย ผลของแรงต้านของหน้าตัดคอนกรีตที่ไม่แตกร้าว (V_{cy}), แรงจากการขัดกันของมวลรวม (V_{ay}), แรงเฉือนขาดของเหล็กเสริมตามยาว (V_d) โดยพบว่าเหล็กปลอกจะเริ่มทำงานหลังจากคอนกรีตเกิดรอยร้าวและยังคงทำงานได้ดีแม้รอยร้าวจะมีความกว้างมากขึ้นจนถึงจุดครากแต่ยังไม่วิบัติ ส่งผลให้รอยร้าวเพิ่มขนาดทันทีรวมถึงเป็นตัวเร่งให้แรงต้านทานอื่นๆ ลดลงอย่าง

รวดเร็วดังนั้นในการออกแบบทาง ACI 318 ได้มีแนะนำให้นำไม่พิจารณา V_{ay} และ V_d รวมถึงมีการกำหนดให้การรับแรงเฉือนในคานคอนกรีตเสริมเหล็กมีค่าไม่เกินสมการที่ (3) เมื่อ f_c' คือกำลังอัดประลัยของคานคอนกรีต (MPa), b_w คือความกว้างเอวคาน (m) และ d คือความลึกหน้าตัดคาน (m) เพื่อป้องกันการวิบัติแบบทันที



ภาพที่ 3 กลไกในการต้านทานแรงเฉือนในคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใส่เหล็กปลอก (Macgregor, 2012)

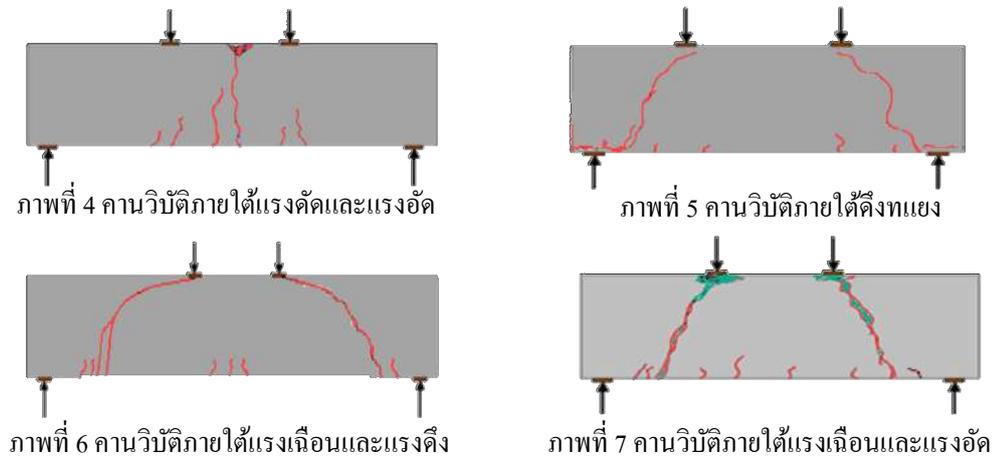
3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Yousif Lafta (2016) ได้ศึกษาชนิดของรอยร้าวของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก (คสล.) ที่วิบัติด้วยแรงเฉือนแบ่งออกเป็น 4 ประเภทคือ (1) รอยร้าวของคานวิบัติภายใต้แรงดัดและแรงอัด (Flexural compression failure) ลักษณะรอยร้าวจะเริ่มจากแนวเหล็กรับแรงดัดที่ท้องคานควบคู่กับเกิดการอัดแตก (Crushing) ของคอนกรีตบริเวณเหล็กรับแรงอัดดังแสดงในภาพที่ 4 (2) รอยร้าวของคานวิบัติภายใต้แรงดัดทแยง (Diagonal-tension failure) มีลักษณะเป็นรอยร้าวทแยงต่อเนื่องจากแนวรอยร้าวเนื่องจากแรงดัด ไก่งทแยงเข้าหาเข้าหาจุดให้น้ำหนักดังแสดงในภาพที่ 5 (3) รอยร้าวของคานวิบัติภายใต้แรงเฉือนและแรงดัด (Shear-tension failure) รอยร้าวจะมีการผสมผสานของแรงดัดและแรงเฉือน โดยจะเริ่มจากแนวเหล็กเสริมรับแรงดัดซึ่งจะไปลดการยึดเกาะ (Bond) ของเหล็กกับคอนกรีต ทำให้เกิดการลื่นไถลของเหล็กเสริมตามยาวส่งผลให้รอยร้าวโน้มเอียงเข้าสู่แนวแรงอัดในหน้าตัดคอนกรีตแสดงดังภาพที่ 6 (4) รอยร้าวของคานวิบัติภายใต้แรงเฉือนและแรงอัด (Shear-compression failure) ลักษณะรอยร้าวจะทำมุม 45 องศา (Web-shear crack) ก่อนที่จะเกิดรอยร้าวเนื่องจากแรงดัดย่อย ๆ ตามมาและพบการอัดแตก (Crushing) ของคอนกรีตรอบบริเวณตัวให้น้ำหนักดังแสดงในภาพที่ 7 เพื่อใช้เป็นแนวทางในการระบุประเภทของคานตามพฤติกรรมการวิบัติจากผลของแรงเฉือน

ทั้งนี้ก็ได้มีงานวิจัยศึกษาถึงการใส่แผ่นเหล็กทดแทนเหล็กปลอกเสริมกำลังรับแรงเฉือนแทนที่เหล็กปลอกที่สามารถหล่อไปพร้อมคาน โดยพบว่าสามารถเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนและแรงดัดได้ดีขึ้นแต่จะต้องคำนึงถึงการลื่นไถลของแผ่นเหล็กกับคอนกรีต (A. M. Ibrahim et al., 2015; Khem Fei Chai et al., 2023) ต่อมาได้มีการศึกษาถึงระบบเสริมกำลังรับแรงเฉือนภายหลังการหล่อคานด้วยการเสริมแผ่น CFRP โอบรัดคาน ซึ่งพบว่าการติดแบบตัวจะช่วยเพิ่มกำลังอัดประลัยของคอนกรีตโดยการโอบรัด ซึ่งจะช่วยเพิ่มกำลังต้านแรงเฉือนได้ดีกว่าการติดแบบแถบเอียงทำมุม 45 องศา (Haya H. et al., 2019; Khem Fei Chai et al., 2022) และการเสริมแถบเหล็กเป็นช่วงๆ สามารถรับแรงมากกว่าเหล็กปลอกแบบมีนัยสำคัญ (Thamrin and Wahyuni, 2023)

อย่างไรก็ตามการติดตั้งแผ่น CFRP มีค่าใช้จ่ายสูงดังนั้นการเสริมแผ่นเหล็กในคานคอนกรีตจึงเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากกว่าเพราะติดตั้งได้ง่ายและไม่ต้องคำนึงการเกิดสนิมหรือการทนไฟ ในเบื้องต้นได้มีการกำหนดให้แผ่นเหล็กรับแรงเฉือนได้ไม่เกินร้อยละ 45 ของแรงเฉือนประลัย (Code of Practice for the Structural Use of Steel, 2005; Jongvivatsakul et al., 2019) และควรติดตั้งสลับรับแรงเฉือนเพื่อให้การถ่ายความเค้นเฉือน

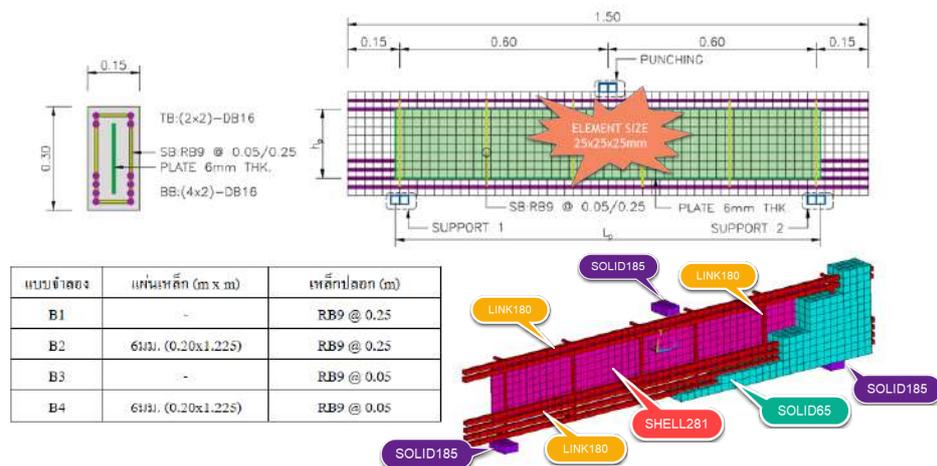
เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพป้องกันการลื่นไถลของแผ่นเหล็กและเหล็กเสริมตามยาว (Jongvivatsakul et al., 2019; Linh Van Hong Bui et al., 2022)



4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 ชนิดเอลิเมนต์ของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

งานวิจัยนี้สร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม Ansys mechanical 19.0 R3 student ในการวิเคราะห์กำลังต้านทานแรงเฉือนของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมแผ่นเหล็กกริดร้อน โดยมีการกำหนดประเภทของเอลิเมนต์แต่ละวัสดุในแบบจำลองดังนี้ คอนกรีต (Solid65) เหล็กเสริมตามยาวและเหล็กปลอก (Link180) แผ่นเหล็ก (Shell281) ฐานรองรับและจุดให้แรง (Solid185) โดยมีการให้น้ำหนักที่กึ่งกลางคานผ่านจุด (Load on node) แบบ 3 ตำแหน่งดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ข้อมูลทางเรขาคณิตและกายภาพของแบบจำลอง

4.2 คุณสมบัติของวัสดุ (Materials)

พฤติกรรมของความเครียดบนความเค้นอัดใดๆ จะใช้แบบจำลองคอนกรีต (Concrete Model) ของ Hognestad (1955) ดังแสดงในภาพที่ 9 โดยมีกำลังอัดประลัยของคอนกรีตทรงกระบอกเท่ากับ 30 MPa ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ 25,750 MPa ค่าอัตราส่วนปัวซองเท่ากับ 0.20 โดยค่าสัมประสิทธิ์ถ่ายแรงเฉือนแบบร่นแรง (Open shear transfer) กับค่าสัมประสิทธิ์ถ่ายแรงเฉือนแบบราบเรียบ (Closed shear transfer) ในงานวิจัยนี้จะมีค่า 0.30

กับ 0.50 ในแบบจำลอง B1, B2 (ระยะห่างเหล็กปดล็อก 0.25 m) และ 0.50 กับ 0.70 ในแบบจำลอง B3, B4 (ระยะห่างเหล็กปดล็อก 0.05 m) ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์กำหนดพฤติกรรมในการถ่ายแรงเฉือนบริเวณรอยร้าว โดยค่าเท่ากับ 0 หมายถึงไม่ถ่ายแรงเฉือนที่หน้าตัดแตกร้า และ 1 หมายถึงถ่ายแรงเฉือนผ่านหน้าตัดแตกร้าได้สมบูรณ์ ภาพที่ 10 จะเป็นการกำหนดค่าคุณลดกำลังความเค้นแตกร้าหลังจากเกิดรอยร้าวแรกมีค่าแนะนำเท่ากับ 0.60

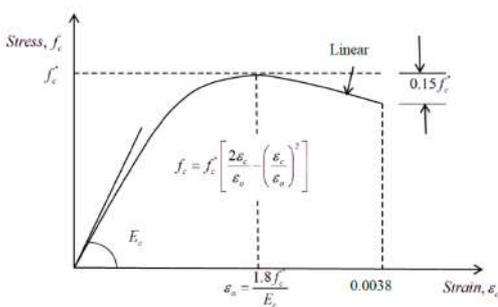
เหล็กเสริมตามยาวและเหล็กปดล็อกในแบบจำลองจะกำหนดให้มีพฤติกรรมรับแรงดึงและอัดเท่านั้น มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเท่ากับ 200,000 MPa ค่าอัตราส่วนปัวซองเท่ากับ 0.30 และมีความเค้น ณ จุดครากและจุดวิบัติเท่ากัน (Elastic-perfectly plastic) ดังภาพที่ 11 เหล็กกลม RB9 ชั้นคุณภาพ SR24 มีความเค้นที่จุดครากเท่ากับ 235 MPa และเหล็กข้ออ้อย DB16 ชั้นคุณภาพ SD40 มีความเค้นที่จุดคราก 390 MPa

การสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์จำเป็นต้องมีการปรับค่าการลื่นไถล (Slip) ของเหล็กเสริมตามยาวและแผ่นเหล็กกับเนื้อคอนกรีต โดยจะใช้เอลิเมนต์ Combin14 ที่มีพฤติกรรมเป็นสปริงมาจำลองพฤติกรรมการยึดเกาะผ่านค่าตีเฟนส (Van Hong Bui et al., 2022; M. Z. Naser et al., 2021; Nie et al. 2004) เพื่อลดปัญหาการแบ่งเอลิเมนต์ (Mesh) ที่ละเอียดเกินไปซึ่งจะไปเพิ่มค่าการยึดเกาะ (Bond) คำนวณได้จากสมการที่ 4 สำหรับเหล็กเสริมตามยาวรับแรงดึงและสมการที่ 5 กับ 6 สำหรับแผ่นเหล็ก (Van Hong Bui et al., 2022; M. Z. Naser et al., 2021; Nie et al. 2004) เมื่อ \square คือระยะที่ห่างกันของเหล็กเสริมรับแรงดึง, \square_0 คือเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเส้น (mm), \square_0 คือจำนวนเส้นของเหล็กเสริม, \square_1 และ \square_2 คือความยาวของเกลียวของสองเอลิเมนต์ (mm), \square_0 คือจำนวนของสลักถ่ายแรงเฉือน, \square_0 คือกำลังรับแรงดึงประลัยของสลักรับแรงเฉือน (MPa), \square_{00} คือความเค้นอัดประลัยของคอนกรีตทรงกระบอก (MPa), \square_{00} คือ Mean secant modulus ของคอนกรีต (GPa), และ \square_0 คือตัวคูณลดค่าของสลักถ่ายแรงเฉือนซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 ในงานวิจัยนี้

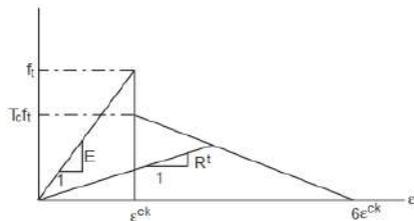
$$k_r = \frac{\pi}{S_u} \rho d_r N_r \tau_u \left((L_1 + L_2) / 2 \right) \quad (4)$$

$$P_{max} = 0.80 k_t f_u \left(\pi d^2 / 4 \right) \leq 0.29 k_t d_s^2 \sqrt{f_{ck} E_{cm}} \quad (5)$$

$$k_p = 0.66 N_s P_{max} \quad (6)$$

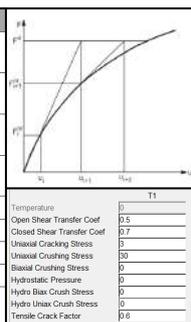


ภาพที่ 9 แบบจำลองคอนกรีตรับแรงอัดของ Hognestad (MacGregor, 2012) ในโปรแกรม FEM



ภาพที่ 10 กำลังของคอนกรีตหลังแตกร้า

PROPERTIES	DESCRIPTION	USE
Open Shear Transfer Coef.	สัมประสิทธิ์การถ่ายแรงเฉือนวิบัติแบบราบเรียบ (ก่อนการแตกร้า)	0.30, 0.50
Closed Shear Transfer Coef.	สัมประสิทธิ์การถ่ายแรงเฉือนวิบัติแบบรุนแรง (หลังการแตกร้า)	0.50, 0.70
Uniaxial Cracking Stress	ความเค้นแตกร้าของคอนกรีตแกนเดียว	0.62 - 0.70 * (f'c) ^{0.50}
Uniaxial Crushing Stress	ความเค้นกำลังอัดประลัยของคอนกรีต แกนเดียว	30MPa (REF.)
Biaxial Crushing Stress	ไม่พิจารณา	0
Hydrostatic Pressure	ไม่พิจารณา	0
Hydro Bi-ax Crush Stress	ไม่พิจารณา	0
Hydro Uni-ax Crush Stress	ไม่พิจารณา	0
Tensile Crack Factor	ตัวคูณลดค่าของคอนกรีตเมื่อเกิดการร้า (Softening)	0.60



ภาพที่ 11 พฤติกรรม Elastic-perfectly Plastic

4.3 การศึกษาพารามิเตอร์

การศึกษาพารามิเตอร์จะเลือกใช้คาน B2 และ B4 ที่เป็นตัวแทนของคานคอนกรีตเสริมแผ่นเหล็กที่มีการเสริมเหล็กปลอกชั้นต่ำและมากกว่าข้อกำหนดของ ACI318M-11 ตามลำดับ โดยทำการศึกษาพารามิเตอร์ กำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (f_c') ทั้ง 2 แบบจำลอง ส่วนความหนาแผ่นเหล็ก (t_p) จำนวนแผ่นเหล็ก (N_p) จะใช้แบบจำลอง B4 ดังแสดงในตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2

ตารางที่ 1 กำลังอัดประลัยของคอนกรีต

PURPOSE	ULTIMATE COMPRESSIVE STRENGTH CYLINDER (MPa)	ELASTIC MODULUS (MPa)
normal strength	25	23,500
Reference model	30 (Reference model)	25,500
normal strength	35	27,800
high strength	50	33,250
high strength	60	36,400
high strength	70	39,300

ตารางที่ 2 จำนวนและความหนาของแผ่นเหล็ก

PLATE LAYER (S)	PLATE THICKNESS (mm)
1 (Reference model)	6
2	6
3	6
2	9
3	9

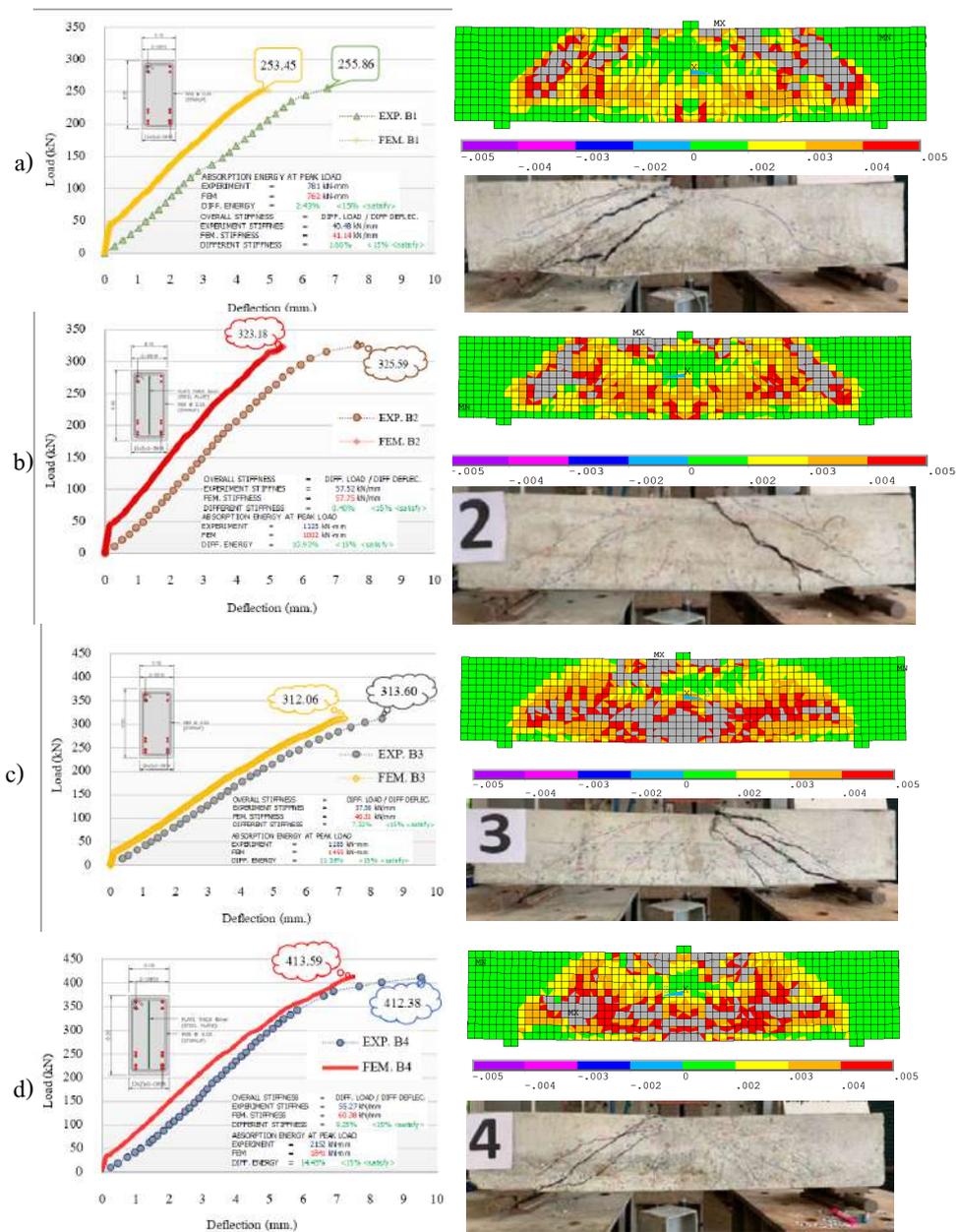
5. ผลการวิจัย

5.1 การเปรียบเทียบแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

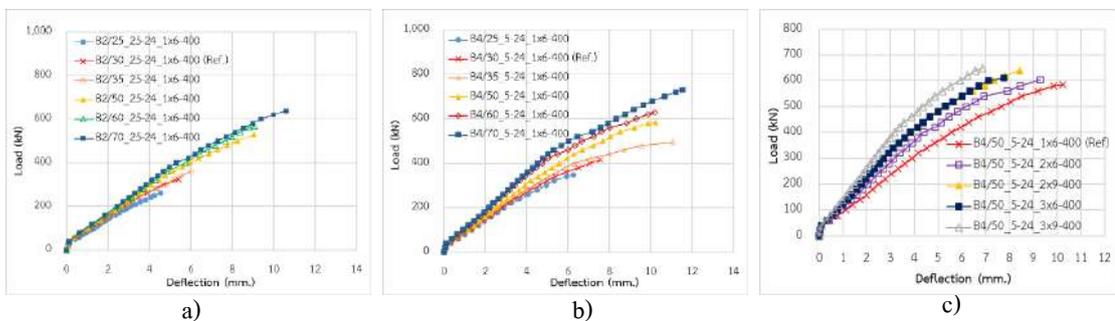
ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์เปรียบเทียบกับผลการทดสอบคานให้ห้องปฏิบัติการ แสดงดังภาพที่ 14 โดยจะทำการตรวจสอบความถูกต้องด้วย (1) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการแอ่นตัวที่กึ่งกลางคาน (Load-Deflection) ความชันของกราฟบ่งบอกถึงสติฟเนสคาน (Stiffness) โดยพบว่าแบบจำลองจะแสดงค่าสติฟเนสคานเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกก่อนคานแตกเรียกว่าค่าสติฟเนสจากโปรแกรมมากกว่าผลการทดสอบ และช่วงที่ 2 หลังคานแตกเรียกว่าค่าสติฟเนสจากโปรแกรมและผลการทดสอบใกล้เคียงกันจนกระทั่งคานวิบัติภายใต้แรงเฉือน โดยสติฟเนสช่วงหลังการแตกร้าของคาน B1, B2, B3 และ B4 เท่ากับ 41.14, 57.75, 40.31 และ 60.38 kN/mm ตามลำดับ และข้อมูลที่ยังอิงมีค่าเท่ากับ 40.48, 57.52, 37.56 และ 55.27 kN/mm โดยมีความแตกต่างกันอยู่ที่ 1.63, 0.40, 7.32 และ 9.25 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (2) ความสามารถในการดูดซับพลังงาน ณ แรงสูงสุดซึ่งคำนวณได้จากพื้นที่ใต้กราฟของแรงกับการแอ่นตัวที่กึ่งกลางคาน ซึ่งพบว่าผลจากแบบจำลองมีค่าเท่ากับ 762, 1,002, 1,285 และ 1,841 kN-mm และผลจากคานอ้างอิงเท่ากับ 781, 1,125, 1,450 และ 2,152 kN-mm ซึ่งมีความแตกต่างของข้อมูลอยู่ที่ 2.43, 10.93, 11.38 และ 14.45 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ รวมถึงรอยร้าวจากการวิบัติจากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ทั้งหมดสอดคล้องกันกับผลการทดสอบอ้างอิง โดยในตารางที่ 3 แสดงผลสรุปค่าความเค้นของวัสดุในแต่ละแบบจำลองซึ่งสามารถสรุปได้ว่า คาน B1 กับ B2 มีโหมดการวิบัติภายใต้แรงเฉือน ส่วนคาน B3 กับ B4 วิบัติภายใต้แรงเฉือนแรงอัดซึ่งพบการอัดแตก (Crushing) ของคอนกรีตเป็นหลัก

ตารางที่ 3 ค่าความเค้นของของวัสดุในแบบจำลอง ณ โหลดสูงสุด

BEAM MODEL	TOP REBAR	BOT. REBAR	STIRRUP	STEEL PLATE	CONCRETE	CONCRETE
	VON-MISES	VON-MISES	VON-MISES	VON-MISES	MAX	MAX
	STRESS	STRESS	STRESS	STRESS	TENSILE STRESS	COMP. STRESS
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
B1	319.46	259.61	235 (Yield)	-	4.45 > 3.85	27.39
B2	376.21	296.12	235 (Yield)	92.01	5.58 > 3.85	29.31
B3	390 (Yield)	353.48	185.00	-	7.50 > 3.00	31.34 > $f_c' = 30$
B4	390 (Yield)	292.00	177.22	250 (Yield)	5.90 > 3.00	33.77 > $f_c' = 30$



ภาพที่ 14 การตรวจสอบโมเดลของแบบจำลอง a) B1 b) B2 c) B3 d) B4 e)



ภาพที่ 15 load-displacement a) คาน B2 ที่ศึกษาผลของ f_c' b) คาน B4 ที่ศึกษาผลของ f_c'
c) คาน B2 ที่ที่ศึกษา ผลของ t_p และ N_p

5.2 การศึกษาพารามิเตอร์

ภาพที่ 15a) และ 15b) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการแอ่นตัวที่กึ่งกลางคาน เมื่อปรับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต (f_c') เท่ากับ 25, 30 (อ้างอิง), 35, 50, 60, และ 70 MPa รับแรงสูงสุดได้ 262, 326, 360, 529, 580 และ 637 kN ในคาน B2 กับ 347, 414, 496, 585, 627 และ 730 kN ในคาน B4 ตามลำดับ โดยพบว่าสตีฟเนสของคานเพิ่มสูงขึ้น หรือภายใต้น้ำหนักบรรทุกเดียวกันจะมีค่าการแอ่นตัวลดลง

ภาพที่ 15c) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับการแอ่นตัวที่กึ่งกลางคาน เมื่อความหนาแผ่นเหล็ก (t_p) เท่ากับ 6, 9 มม. และจำนวนแผ่นเหล็ก (N_p) เท่ากับ 1, 2, 3 แผ่น ซึ่งในการวิเคราะห์จะใช้แบบจำลองคาน B4 ที่ f_c' เท่ากับ 50 MPa แบบจำลองไปด้วย 1xPL6 mm (อ้างอิง), 2xPL6 mm, 2xPL9 mm, 3xPL6 mm และ 3xPL9 mm รับแรงสูงสุดได้เท่ากับ 587, 604, 640, 612 และ 650 kN ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์พบว่า การเพิ่มความหนาของแผ่นเพียงอย่างเดียวไม่ส่งผลต่อกำลังรับแรงเฉือน แต่การเพิ่มจำนวนแผ่นควบคู่กับความหนาแผ่นมีอิทธิพลต่อการเพิ่มความสามารถในการต้านทานแรงเฉือน ปริมาณหน้าตัดเหล็กที่เพิ่มขึ้นไม่แปรผันตรงกับกำลังการรับแรงเฉือนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะเพิ่มสตีฟเนสคานรวมถึงลดจำนวนและความกว้างของรอยร้าวได้ดียิ่งขึ้น

6. สรุปผล

- (1) แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถทำนายพฤติกรรมการรับแรงเฉือนคานคอนกรีตเสริมด้วยแผ่นเหล็กที่ร้อนได้อย่างแม่นยำ สอดคล้องกันดีกับแรงและการแอ่นตัว ที่ได้จากผลทดสอบคานในห้องปฏิบัติการ
- (2) การเพิ่มเหล็กปลอกเกินกว่าขีดจำกัดเหล็กเสริมที่ระบุใน ACI 318 มีอิทธิพลต่อการเพิ่มกำลังรับแรงเฉือน ซึ่งจะเปลี่ยนโหมดการวิบัติจากการวิบัติจากภายใต้แรงเฉือนและแรงดึง เป็นแบบแรงเฉือนและแรงอัด
- (3) การเพิ่มกำลัง f_c' จะเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนและสตีฟเนสของคาน B2 และ B4 ได้แบบมีนัยสำคัญ
- (4) การเพิ่มความหนาของแผ่นเหล็กไม่ทำให้คาน B2 และ B4 เพิ่มกำลังรับแรงเฉือนขึ้นได้แบบมีนัยสำคัญ เนื่องจากการถ่ายแรงเฉือนของคอนกรีตกับแผ่นเหล็กเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์
- (5) การเพิ่มจำนวนและความหนาแผ่นเหล็กเพิ่มกำลังรับแรงสูงสุดขึ้น แต่พฤติกรรมการวิบัติจะเป็นไปอย่างฉับพลัน จึงจำเป็นต้องเสริมเหล็กปลอกและสลักถ่ายแรงเฉือนระหว่างแผ่นเหล็กกับเนื้อคอนกรีตให้เพียงพอ ป้องกันการเคลื่อนแยกตัวออกจากกัน (Slip)

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถทำนายพฤติกรรมคานคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดาและมีแผ่นเหล็กฝังในเนื้อคานได้อย่างแม่นยำ และข้อมูลเชิงประจักษ์พบว่า การเพิ่มกำลังอัดประลัยของคอนกรีต หรือเพิ่มขนาดหน้าตัดแผ่นเหล็ก สามารถเพิ่มกำลังต้านทานแรงเฉือนได้

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

การศึกษาผลของตัวแปรอื่นๆที่มีอิทธิพลต่อการเพิ่มความสามารถรับแรงเฉือน ได้แก่ การใช้เหล็กปลอกหรือแผ่นเหล็กที่มีกำลังครากสูงขึ้น การเพิ่มปริมาณเหล็กเสริมรับแรงอัดควบคู่กับการเพิ่มกำลังอัดประลัยของคอนกรีต ด้วยการทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการหรือสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อทำนายพฤติกรรมคานที่เสริมกำลังรับแรงเฉือนต่อไป

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาและทีมวิจัยทุกท่านที่มีส่วนผลักดันงานวิจัยจนแล้วเสร็จด้วยดี

9. เอกสารอ้างอิง

- ACI Committee. (2011). 318M-11: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary Technical Documents
- Buildings Department. (2005). Code of Practice for the Structural Use of Steel 2005, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region
- Buppakorn A., Kritsakorn S., and Wara S. (2019). Shear strength of RC beam strengthened by internal steel plate. Bachelor of Engineering (Civil Engineering), Thammasat University, Thailand
- Hassoun, M. Nadim. (2015). Structural concrete: theory and design. 6th ed. South Dakota State University; Akthem Al-Manaseer, San Jose State University
- Haya H. Mhanna, Rami A. Hawileh, and Jamal A. Abdalla. (2019). Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beams Using CFRP Wraps. *Procedia Structural Integrity*, 17
- Hognestad E, Hanson NW, McHenry D (1955). Concrete stress distribution in ultimate strength design. *ACI Journal Proceedings* 1955;52(12):455–479
- Jongvivatsakul, P., Bui, L. V. H., Koyekaewphring, T., Kunawisarut, A., Hemstapat, N., and Stitmannaitum, B. (2019). Using Steel Fiber-Reinforced Concrete Precast Panels for Strengthening in Shear of Beams: An Experimental and Analytical Investigation. *Advances in Civil Engineering*
- Khem Fei Chai, Kai Siong Woon, Jee Khai Wong, Jee Hock Lim, Foo Wei Lee, and Yee Ling Lee. (2023). Experimental and Numerical Study of the Strength Performance of Deep Beams with Perforated Thin Mild Steel Plates as Shear Reinforcement. *Applied Sciences*, 13(14)
- Linh Van Hong Bui, Chanachai Thongchom, Sayan Sirimontree, Phuoc Trong Nguyen, Thanh-Truong Nguyen, Suraparb Keawsawasvong, Peem Nuaklong, and Pitcha Jongvivatsakul. (2022). Experimental, numerical, and analytical study of concrete beams reinforced with steel stirrups and embedded with functional plates. *Structures*, 39, 293-309
- Macgregor, James G and Wight, James K. (2012). Reinforced concrete mechanics and design. 6th ed. Prentice Hall
- Rawan Al-Shamayleh, Huda Al-Saoud, Mu'tasim Abdel-Jaber, and Maha Alqam. (2022). Shear and flexural strengthening of reinforced concrete beams with variable compressive strength values using externally bonded carbon fiber plates. *Results in Engineering*, 14
- Rendy Thamrin, Zaidir, and Aisya Wahyuni. (2023). Shear capacity of reinforced concrete beams strengthened with web bonded steel bars or steel plates. *Results in Engineering*, 17

การเปลี่ยนแปลงและผลกระทบของเศษพลาสติกชีวภาพต่อการบำบัดน้ำเสีย

CHANGING AND EFFECTS OF BIO-PLASTIC FRAGMENTS IN WASTEWATER TREATMENT

นางสาวพฤตษา เจริญทรัพย์

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: prutta.c@gmail.com

รศ.ดร. สันญา สิริวิทยาปกรณ

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: fengsys@ku.ac.th

บทคัดย่อ

การใช้พลาสติกชีวภาพในชีวิตประจำวันเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่การศึกษาและการรายงานผลการเปลี่ยนแปลงของเศษพลาสติกชีวภาพในระบบบำบัดน้ำเสียยังมีจำกัด งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงของเศษพลาสติกชีวภาพ และศึกษาผลของเศษพลาสติกชีวภาพต่อระบบบำบัดเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor, SBR) โดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 4 ชุด ได้แก่ ชุดที่ 1 ชุดใส่เศษพลาสติกชีวภาพในน้ำกลั่น (BP) ชุดที่ 2 ชุดใส่เศษพลาสติกชีวภาพในน้ำเสีย (BPW) ชุดที่ 3 ชุดใส่น้ำเสียและกากตะกอนจากระบบบำบัดชีวภาพแต่ไม่ใส่เศษพลาสติกชีวภาพ (WS) และชุดที่ 4 ชุดใส่น้ำเสีย กากตะกอนจากระบบบำบัดชีวภาพ และใส่เศษพลาสติกชีวภาพ (BPWS) ผลการศึกษา พบว่า ไม่มีการสลายตัวของเศษพลาสติกชีวภาพเป็นชิ้นเล็กและผิวสัมผัสเรียบและลื่นมากขึ้น ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แสดงให้เห็นผิวที่เรียบขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากการก่อตัวของชั้นฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) มีผลให้น้ำหนักของเศษพลาสติกชีวภาพเพิ่มขึ้นในชุดที่ 2 และชุดที่ 4 และปัจจัยการเติมตะกอนจุลินทรีย์ลงในชุดที่ 3 ส่งผลให้เพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดมากกว่าชุดที่ 2 ทั้งนี้ การใส่เศษพลาสติกชีวภาพลงในระบบในชุดที่ 2 3 และ 4 ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดอย่างมีนัยสำคัญ แต่จะส่งผลต่อปริมาณไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดที่เกิดจากการสลายตัวของไนโตรเจนในเศษพลาสติกชีวภาพ

คำสำคัญ: พลาสติกชีวภาพ ฟิล์มชีวภาพ ไนโตรเจน ระบบเอสบีอาร์

ABSTRACT

The use of bioplastics in daily life is continuously increasing. However, there has been a limited number of reports on changes of bioplastics and their effects in wastewater treatment systems. This research aimed to study the changes in bioplastic fragments and their effects in the Sequencing Batch Reactor (SBR) treatment system. There were 4 sets of experiments; Set 1: adding bioplastic to distilled water (BP), Set 2: adding bioplastic fragments to wastewater (BPW), Set 3: adding wastewater and sludge from biological wastewater treatment system but no bioplastic added (WS), and Set 4: adding water, sludge from biological wastewater treatment

system, and bioplastic fragments (BPWS). The study found that there was no visible degradation of the bioplastic fragments to smaller size and the surface become smoother. The observation under microscope also revealed a smoother surface. This could be the results from biofilm accumulation on the surface of the bioplastic fragments, causing the weight of bioplastic fragments increased in set 3 and set 4 experiments. The addition of sludge to the set 3 experiment resulted in the higher treatment efficiency in comparison to that of the set 2 experiment. However, the addition of bioplastic fragments into the SBR system in the set 2, 3, and 4 experiments did not significantly affect the treatment efficiency. Nonetheless, the added fragments did increase the amount of nitrogen in the treatment system caused by the decomposition of bioplastic fragments that released nitrogen into the water.

Keywords: biofilm, bioplastics, nitrogen, Sequencing Batch Reactor (SBR)

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ปัจจุบันมีการคิดค้นผลิตภัณฑ์ที่สามารถทดแทนการใช้พลาสติกจากปิโตรเคมี โดยมีการใช้พลาสติกชีวภาพทดแทนมากยิ่งขึ้น ซึ่งพลาสติกชีวภาพนั้นสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบทางการเกษตร อาทิ มันสำปะหลัง ข้าวโพด ข้าวสาลี อ้อย เป็นต้น เนื่องจากวัตถุดิบเหล่านี้มีส่วนประกอบของแป้ง น้ำตาล และเส้นใย ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในการนำมาผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพ จึงทำให้สามารถย่อยสลายได้เร็วในธรรมชาติ โดยอาศัยกระบวนการทำงานของจุลินทรีย์ และปัจจัยที่ช่วยทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพด้วยเหตุนี้ จึงทำให้ในปัจจุบันมีแนวโน้มปริมาณการใช้พลาสติกชีวภาพเพิ่มสูงขึ้น ประกอบกับหลายหน่วยงานมีการศึกษาและพัฒนาพลาสติกชีวภาพเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่ปัจจุบันการศึกษและการรายงานผลการเปลี่ยนแปลงของเศษพลาสติกชีวภาพในระบบบำบัดน้ำเสียเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor; SBR) ยังมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นการศึกษานี้จึงทำการศึกษการเปลี่ยนแปลงและผลกระทบของเศษพลาสติกชีวภาพต่อการบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor; SBR) ภายใต้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงของเศษพลาสติกชีวภาพในระบบเอสบีอาร์
- (2) เพื่อศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงของเศษพลาสติกชีวภาพต่อระบบเอสบีอาร์

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการสังเคราะห์ Polylactic acid (PLA) ทางชีวภาพจะอาศัยเชื้อจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักของวัตถุดิบทางการเกษตร โดยเริ่มจากการเปลี่ยนแป้งให้เปลี่ยนเป็นน้ำตาล (Glucose) โดยกระบวนการหมักอาศัยจุลินทรีย์ที่มีลักษณะเฉพาะแบบไม่ใช้อากาศ และเปลี่ยนน้ำตาลให้กลายเป็นกรดแลกติก (Lactic acid) โดยอาศัยกระบวนการไฮโดรไลซิส เพื่อให้ได้กรดไพรูวิก และเปลี่ยนกรดไพรูวิกไปเป็นแลคเตต จากนั้นทำให้โครงสร้างดังกล่าวเปลี่ยนเป็นวงแหวน เรียกว่า Lactide แล้วจึงนำไปให้ความร้อนจนกลายเป็นพอลิเมอร์สายยาวของ Lactide เรียกว่า Polylactic acid (PLA) และนำมาปรับปรุงสมบัติของ PLA โดยการผสมพอลิเมอร์ชนิดอื่น ๆ เพื่อให้ง่ายต่อการขึ้นรูปต่อไป (Gerometta และคณะ, 2019) และ (Murariu และ Dubois, 2016)

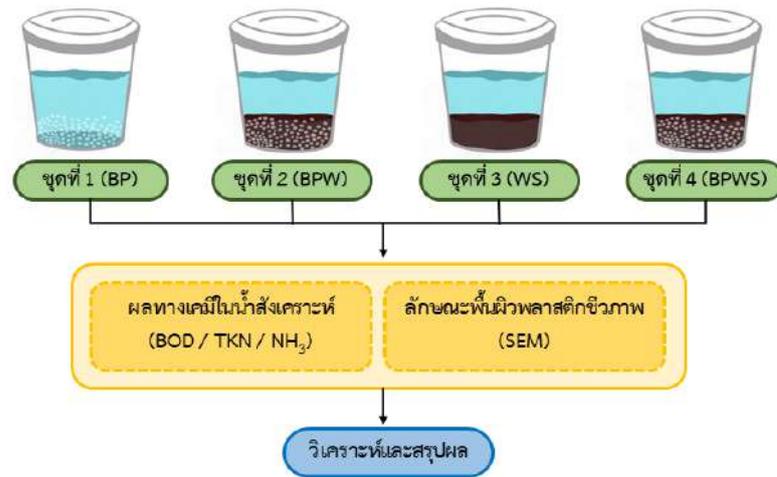
ภัทรนันท์ และคณะ (2020) ได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการย่อยสลายพลาสติกชีวภาพ ประกอบด้วย 5 ปัจจัย ได้แก่ 1) การย่อยสลายได้โดยแสงและรังสี UV 2) การย่อยสลายด้วยแรงกล โดยการแตกออกเป็นชิ้นเล็ก 3) การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยการเติมสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์เพื่อลดความเสถียร 4) การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส โดยจะทำปฏิกิริยากับน้ำ และ 5) การย่อยสลายทางชีวภาพ โดยอาศัยกระบวนการทำงานของจุลินทรีย์

Abraham และคณะ (2021) ได้ศึกษาและรวบรวมกลไกการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพโดยอาศัยจุลินทรีย์ที่พบได้ทั่วไปตามธรรมชาติภายใต้สภาวะเดิมอากาศ โดยจุลินทรีย์จะใช้แหล่งคาร์บอนจากสายพอลิเมอร์สำหรับการเจริญเติบโต และจะถูกย่อยสลายให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และชีวมวล ซึ่งวัดประสิทธิภาพการย่อยสลายได้จากปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำหนักของพอลิเมอร์ที่หายไปของพลาสติกชีวภาพ โดยมีกระบวนการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพ 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การเสื่อมสภาพทางชีวภาพ 2) การแยกชิ้นส่วนทางชีวภาพ และ 3) การดูดซึมของจุลินทรีย์ ซึ่งอัตราการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพขึ้นอยู่กับจำนวนจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ และการทำให้เกิดการสูญเสียโครงสร้าง อาทิ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ แสง สารเคมี เป็นต้น โดยหากมีอุณหภูมิสูงจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายพลาสติกชีวภาพได้ ทั้งนี้ การย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกชีวภาพ และกลุ่มแบคทีเรียที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการย่อยสลายได้ดียิ่งขึ้นด้วย

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 แบบแผนการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 4 ชุด ได้แก่ ชุดที่ 1 ชุดใส่เศษพลาสติกชีวภาพในน้ำกลั่น (BP) ชุดที่ 2 ชุดใส่เศษพลาสติกชีวภาพในน้ำเสีย (BPW) ชุดที่ 3 ชุดใส่น้ำเสียและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ แต่ไม่ใส่เศษพลาสติกชีวภาพ (WS) และชุดที่ 4 ชุดใส่น้ำเสีย กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพและใส่เศษพลาสติกชีวภาพ (BPWS) โดยเศษพลาสติกชีวภาพที่ใส่ลงในชุดการทดลองนั้นเป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร (จาน) ที่มีขนาด 7 นิ้ว ผลิตขึ้นจากวัตถุดิบจากข้าวโพด โดยนำมาตัดให้มีขนาด 2 x 2 เซนติเมตร ใส่ลงในชุดการทดลองที่ 1 2 และ 4 จำนวนชุดละ 20 ชิ้น มีน้ำหนักเริ่มต้น 1.6335 1.6337 และ 1.6483 กรัม ตามลำดับ และดำเนินการเปรียบเทียบชุดการทดลองภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกัน โดยวิเคราะห์ผลการทดลองทางเคมี และผลเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวเศษพลาสติกชีวภาพ แสดงดังแผนภาพที่ 1



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

4.2 วิธีการวิเคราะห์

ดำเนินการนำหัวเชื้อจากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพมาเติมลงในถังปฏิกรณ์ และเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้สารเคมี แสดงดังตารางที่ 1 โดยให้มีปริมาตรรวมแต่ละชุดการทดลอง 1 ลิตร ใช้ระยะเวลาการทำปฏิกรณ์แบบสลับเป็นกะ 1 วงจร แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การเติมน้ำ ระยะเวลา 30 นาที 2) การทำปฏิกรณ์ ระยะเวลา 17 ชั่วโมง 3) การตกตะกอน ระยะเวลา 4 ชั่วโมง 4) การถ่ายน้ำออก ระยะเวลา 2 ชั่วโมง และ 5) การพัก ระยะเวลา 30 นาที รวมใช้ระยะเวลาทั้งสิ้น 24 ชั่วโมง แสดงรายละเอียด ตารางที่ 2 ทั้งนี้ ขั้นตอนการเติมน้ำเสียสังเคราะห์จะเติมน้ำให้มีปริมาตรรวมในถังปฏิกรณ์จำนวน 1 ลิตร และถ่ายน้ำออกโดยการค่อย ๆ ตักออกจนเหลือปริมาตรภายในถังปฏิกรณ์จำนวน 200 มิลลิลิตร พร้อมตรวจวัด พารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ pH อุณหภูมิ Biochemical Oxygen Demand (BOD) ที่เกิดขึ้น (Total Kjeldahl Nitrogen) และแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Ammonia Nitrogen) โดยแสดงรายละเอียดวิธีการวิเคราะห์และความถี่ในการวิเคราะห์ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

สารเคมี	ปริมาณ (กรัม/ลิตร)
Phosphate buffer solution	
- Monobasic potassium phosphate (KH_2PO_4)	8.5
- Dibasic potassium phosphate (K_2HPO_4)	21.75
- Dibasic sodium phosphate ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	33.4
- Ammonium chloride (NH_4Cl)	1.7
Magnesium sulfate solution	
- Magnesium Sulfate Heptahydrate ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	22.5
Calcium chloride solution	
- Calcium chloride (CaCl_2)	27.5
Ferric chloride solution	
- Ferric chloride hexahydrate ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	0.25

ตารางที่ 2 ระยะเวลาของระบบปฏิบัติการสลับเป็นกะ 1 วงจร (24 ชั่วโมง)

ขั้นตอน	การเติมอากาศ	ระยะเวลา (ชั่วโมง)
เติมน้ำ	ไม่มี	0.5
ทำปฏิกิริยา	มี	17
ตกตะกอน	ไม่มี	4
ถ่ายน้ำออก	ไม่มี	2
พัก	ไม่มี	0.5

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	ความถี่
pH	Litmus Paper	ทุกสัปดาห์
อุณหภูมิ	Thermometer	ทุกสัปดาห์
Biochemical Oxygen Demand (BOD)	Azide Modification of Iodometric Method	1 สัปดาห์/ครั้ง
ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen)	Kjeldahl Method	วันสุดท้ายของระบบ
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Ammonia Nitrogen)	Preliminary Distillation and Titrimetric Method	วันสุดท้ายของระบบ

ทั้งนี้ เมื่อดำเนินการตรวจวัดพารามิเตอร์ทางเคมีเรียบร้อยแล้วจึงนำเศษพลาสติกชีวภาพในชุดการทดลองที่ 1 2 และ 4 ไปอบจนสนิทแห้งพร้อมชั่งน้ำหนักรวมสุดท้าย และนำมาวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวเศษพลาสติกชีวภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ต่อไป

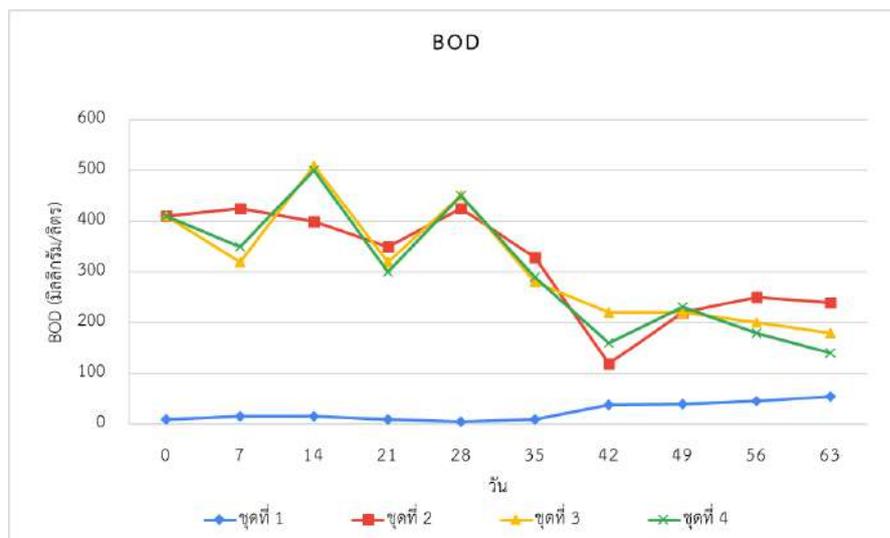
5. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ผลการวิเคราะห์ทางเคมีในน้ำเสียสังเคราะห์

- ผลการวิเคราะห์ BOD₅

จากการวิเคราะห์ค่า BOD₅ ในชุดการทดลองทั้ง 4 ชุด ตลอดระยะเวลา 63 วัน โดยเมื่อเปรียบเทียบทุกชุดการทดลอง พบว่า ชุดที่ 1 มีแนวโน้มค่า BOD₅ เพิ่มสูงขึ้น ส่วนในชุดที่ 2 3 และ 4 มีแนวโน้มค่า BOD₅ ลดลง โดยลดลงมากที่สุดชุดที่ 4 3 และ 2 ตามลำดับ ทำให้สามารถตั้งข้อสังเกตได้ว่าเศษพลาสติกชีวภาพอาจเกิดการละลายขึ้นในระบบ ซึ่งค่า BOD₅ ที่คำนวณได้นั้นเป็นค่า BOD₅ ที่รวมค่าการละลายของเศษพลาสติกชีวภาพออกมาด้วย เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพ BOD₅ สุทธิของชุดการทดลองที่ 2 3 และ 4 พบว่า ชุดที่ 4 มีประสิทธิภาพสุทธิสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 82.8 รองลงมาเป็นชุดที่ 3 และ ชุดที่ 2 คิดเป็นร้อยละ 74.8 และ 62.8 ตามลำดับ จึงสามารถสรุปได้ว่าเศษพลาสติกชีวภาพที่ใส่ลงในชุดการทดลองที่ 2 และ 4 ทำให้ประสิทธิภาพสุทธิของระบบเพิ่มสูงขึ้นแต่ไม่มีนัยสำคัญ

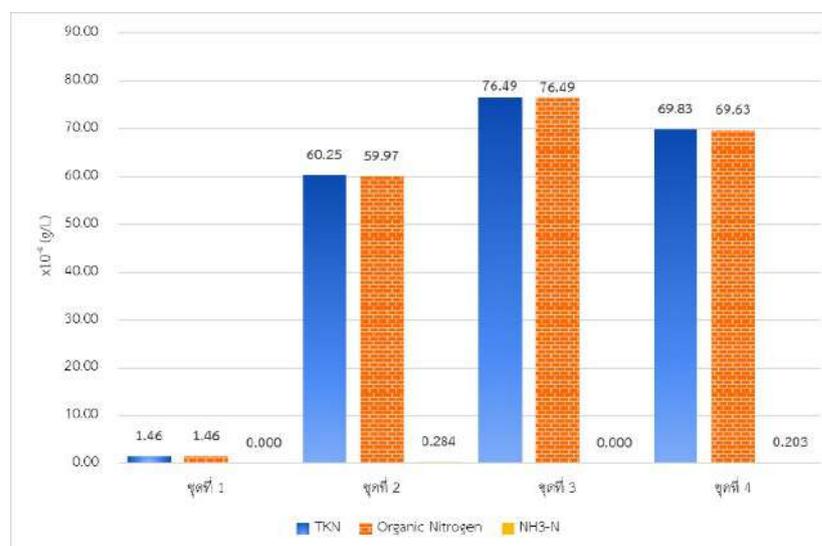
เมื่อเปรียบเทียบชุดการทดลองที่ใส่กากตะกอนจากระบบบำบัดชีวภาพในชุดที่ 3 กับชุดการทดลองที่ไม่ใส่กากตะกอนจากระบบบำบัดชีวภาพในชุดที่ 2 พบว่า ชุดที่ 3 ใส่กากตะกอนจากระบบบำบัดชีวภาพนั้น มีประสิทธิภาพสุทธิในการบำบัดมากกว่าชุดที่ 2 ไม่ใส่กากตะกอนจากระบบบำบัดชีวภาพอย่างชัดเจน ดังนั้น ปัจจัยกากตะกอนจากระบบบำบัดชีวภาพที่ใส่ในชุดการทดลองจึงมีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย โดยมีจุลินทรีย์เป็นตัวช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด แสดงรายละเอียดผังแผนภาพที่ 2



แผนภาพที่ 2 ผลการตรวจวัด BOD₅ (มิลลิกรัม/ลิตร)

- ผลการวิเคราะห์ TKN และ NH₃ ในน้ำเสียสังเคราะห์

เมื่อพิจารณาปริมาณไนโตรเจนที่เติมลงไป ในน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาณ 0.44 กรัม/ลิตร กับชุดการทดลองที่มีการเติมเศษพลาสติกชีวภาพ ได้แก่ ชุดที่ 2 ชุดใส่เศษพลาสติกชีวภาพในน้ำเสีย (BPW) และชุดที่ 4 ชุดใส่น้ำเสีย กากตะกอนจากระบบบำบัดชีวภาพ และใส่เศษพลาสติกชีวภาพ (BPWS) พบว่า มีปริมาณไนโตรเจนเกิดขึ้นลดลง และเมื่อเปรียบเทียบชุดที่ 2 และชุดที่ 4 กับชุดที่ 1 ที่มีการเติมเศษพลาสติกชีวภาพในน้ำกลั่น (WP) พบว่า ชุดที่ 1 ไม่มีปริมาณไนโตรเจนเกิดขึ้นเลย รวมทั้งเปรียบเทียบชุดที่ 3 น้ำเสียสังเคราะห์ และกากตะกอนจากระบบบำบัดชีวภาพ (WS) กับ ชุดที่ 4 ชุดใส่น้ำเสีย กากตะกอนจากระบบบำบัดชีวภาพ และใส่เศษพลาสติกชีวภาพ (BPWS) พบว่า ชุดที่ 3 ไม่พบปริมาณไนโตรเจน แต่ชุดที่ 4 มีปริมาณไนโตรเจนเกิดขึ้น ดังนั้น อาจคาดการณ์ได้ว่าปริมาณไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในระบบเกิดจากการสลายตัวของไนโตรเจนในเศษพลาสติกชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบบำบัด

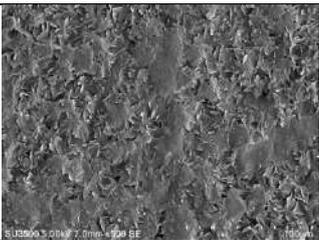
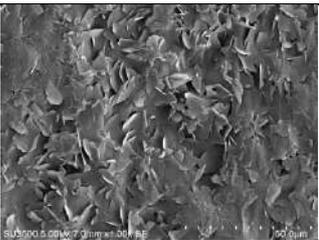
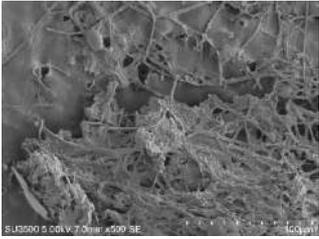
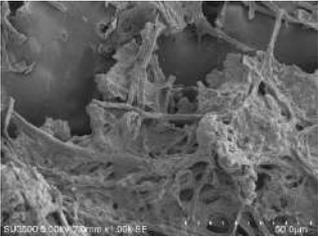
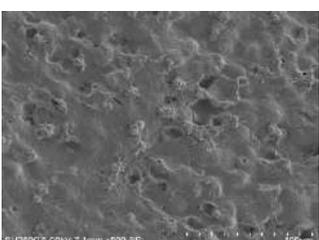
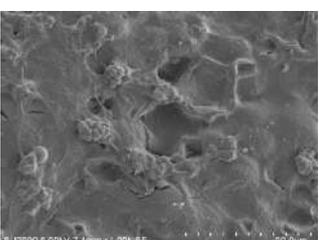
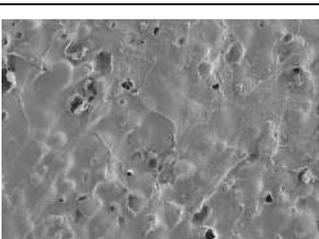
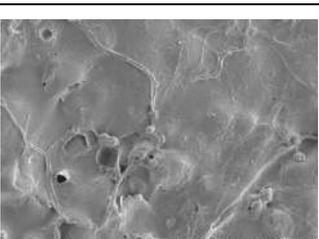


แผนภาพที่ 3 ผลการวิเคราะห์ TKN และ NH₃ (มิลลิกรัม/ลิตร)

2. ผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวเศษพลาสติกชีวภาพ

ลักษณะพื้นผิวเศษพลาสติกชีวภาพอยู่ภายในชุดการทดลองทั้ง 3 ชุด พบว่า เศษพลาสติกชีวภาพในทุกชุดการทดลองไม่มีเกิดการแตกหักหรือสลายตัวเป็นชิ้นเล็กกลอง โดยในชุดที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับชุดที่ 2 และ 4 และเมื่อนำเศษพลาสติกชีวภาพมาส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่า เศษพลาสติกชีวภาพก่อนนำมาทดลองมีลักษณะพื้นผิวเป็นเกร็ดอย่างสม่ำเสมอ ส่วนในชุดที่ 1 มีลักษณะพื้นผิวเรียบสม่ำเสมอและมีการเกาะตัวเป็นกลุ่มก้อนของเส้นใย ส่วนในชุดที่ 2 และชุดที่ 4 มีลักษณะผิวที่ไม่สม่ำเสมอ แต่เมื่อสัมผัสจะเรียบและลื่น โดยสันนิษฐานว่าอาจมีฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) มาเกาะบนพื้นผิวเศษพลาสติกชีวภาพเป็นกลุ่มก้อนอย่างชัดเจน ซึ่งฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) นี้ อาจเป็นตัวช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยากับจุลินทรีย์ แสดงดังแผนภาพที่ 4

เมื่อพิจารณาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของเศษพลาสติกชีวภาพแสดงดังตารางที่ 4 พบว่า ชุดที่ 2 และ ชุดที่ 4 มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากการก่อตัวของชั้นฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) ขึ้น โดยชุดที่ 4 มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากที่สุด ดังนั้น จึงสามารถยืนยันได้ว่าการเกิดฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) ของกลุ่มจุลินทรีย์บนผิวตัวกลางของเศษพลาสติกชีวภาพที่ใส่ในชุดการทดลอง หากเพิ่มระยะเวลาในการทดลองอาจเห็นการย่อยสลายของเศษพลาสติกชีวภาพได้

ตัวอย่าง	กำลังขยาย 500 เท่า	กำลังขยาย 1,000 เท่า
พลาสติกชีวภาพก่อนนำมาทดลอง		
ชุดที่ 1 (BP) เศษพลาสติกชีวภาพในน้ำกลั่น		
ชุดที่ 2 (BPW) เศษพลาสติกชีวภาพในน้ำเสีย		
ชุดที่ 4 (BPWS) เศษพลาสติกชีวภาพ น้ำเสีย กากตะกอน จากระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพ		

แผนภาพที่ 4 ลักษณะพื้นผิวเศษพลาสติกชีวภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ตารางที่ 4 แสดงน้ำหนักแห้งรวมของเศษพลาสติกชีวภาพ

ชุดการทดลอง	น้ำหนักก่อน (กรัม)	น้ำหนักหลัง (กรัม)	น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง (กรัม)
ชุดที่ 1	1.63350	1.64780	0.01430
ชุดที่ 2	1.63365	2.26350	0.62985
ชุดที่ 4	1.64825	2.58150	0.93325

6. อภิปรายผล

จากผลการศึกษาการลักษณะเปลี่ยนแปลงของเศษพลาสติกชีวภาพในระบบบำบัดทั้ง 4 ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดที่ 1 ชุดใส่เศษพลาสติกชีวภาพในน้ำกลั่น (BP) ชุดที่ 2 ชุดใส่เศษพลาสติกชีวภาพในน้ำเสีย (BPW) ชุดที่ 3 ชุดใส่น้ำเสียและกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ แต่ไม่ใส่เศษพลาสติกชีวภาพ (WS) และ ชุดที่ 4 ชุดใส่น้ำเสีย กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพและใส่เศษพลาสติกชีวภาพ (BPWS) ผลการศึกษาพบว่า น้ำหนักของเศษพลาสติกชีวภาพที่เพิ่มขึ้นในชุดการทดลองที่ 2 และ 4 เกิดจากกลุ่มจุลินทรีย์เกาะบนผิวของเศษพลาสติกชีวภาพทำให้เกิดเป็นชั้นฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) ขึ้น และการเติมกากตะกอนจากระบบบำบัดชีวภาพ

ลงในชุดการทดลองทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Maslon และ Tomaszek (2015) ที่ดำเนินการศึกษาการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ผ่านระบบเอสบีอาร์ โดยใช้ตัวกลางชนิดไบโอบอลซึ่งพบว่า ประสิทธิภาพของระบบส่งผลโดยตรงกับปัจจัยการเติมตะกอนเร่ง และกลุ่มจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตบนพื้นผิวของไบโอบอลนั้นส่งผลให้น้ำหนักของไบโอบอลเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน หรือการศึกษาของกิตติชนม์ เรืองศรี ภัทรนาวิก (2561) ที่ศึกษาการกำจัดธาตุอาหารในระบบบำบัดโดยใช้ตัวกลางเส้นใยกรองพบว่าเส้นใยกรองในถังปฏิกรณ์ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวให้จุลินทรีย์มายึดเกาะเป็นกลุ่มก้อนทำให้มีพื้นผิวไม่สม่ำเสมอและมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ การศึกษาเปลี่ยนแปลงของเศษพลาสติกชีวภาพต่อระบบเอสบีอาร์ยังพบว่าปริมาณไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดอาจเกิดจากการสลายตัวของไนโตรเจนในเศษพลาสติกชีวภาพ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Yang และคณะ (2022) ที่ดำเนินการศึกษาคุณสมบัติของพลาสติกชีวภาพที่ผลิตจากวัตถุดิบแป้งข้าวโพด ซึ่งมีความสามารถในการละลายน้ำมากกว่าพลาสติกชนิดอื่นมากถึงร้อยละ 15.93 หรือการศึกษาของ Marichelvam, M.K. *et al.* (2019) พบว่า มีความสามารถในการละลายน้ำร้อยละ 12 และเศษพลาสติกชีวภาพที่ใส่ลงในชุดการทดลองนั้นมีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด BOD อย่างไม่มีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ สุริยะกิจ และคณะ (2564) ที่ดำเนินการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรโดยใช้ระบบเอสบีอาร์และใช้ยางรถยนต์เป็นตัวกลางช่วยในการบำบัด พบว่า การใส่ยางรถยนต์ลงไปในระบบนั้นทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัด BOD เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งหากผู้วิจัยเพิ่มระยะเวลาในการทำการทดลองอาจทำให้เห็นแนวโน้มการลดลงของ BOD ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) ผลการศึกษาจะช่วยทำให้ทราบถึงผลของการเปลี่ยนแปลงของเศษพลาสติกชีวภาพในระบบบำบัดน้ำเสีย และประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเมื่อใส่เศษพลาสติกชีวภาพ ซึ่งหากเพิ่มระยะเวลาในการทดลองให้มากขึ้น จะเห็นการเปลี่ยนแปลงของเศษพลาสติกชีวภาพในระบบมากยิ่งขึ้น

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

(1) ควรวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในชุดการทดลองระยะยาว เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน

8. เอกสารอ้างอิง

กิตติชนม์ เรืองศรี ภัทรนาวิก. (2561). การกำจัดธาตุอาหารในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยระบบ Sequencing Batch Reactor (SBR) โดยใช้ตัวกลางเส้นใยที่ไม่เคลื่อนที่. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ภัทรนันท์ ทวดอาจ และ ศรีัญญา มณีทอง. (2563). พลาสติกชีวภาพ: วัสดุทางเลือก. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ

20 กุมภาพันธ์ 2566, จาก <http://blog.bru.ac.th/wp-content/uploads/bp-attachments/43589/%E0%B8%9E%E0%B8%A5%E0%B8%B2%E0%B8%AA%E0%B8%95%E0%B8%B4%E0%B8%81%E0%B8%8A%E0%B8%B5%E0%B8%A7%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%9E>

- สุริยะกิจ ย่อมมี, กิตติชนม์ เรืองศรี ภัทรนาวิก, และ อรรถนุรณี วิฑูวิทยา. (2564). การบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกร โดยใช้ระบบเอสบีอาร์ที่ใช้อย่างในของขารถยนต์บรรทุกขนาดใหญ่ที่ใช้แล้วเป็นตัวกลางเคลื่อนที่. *วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 13, 168-198.
- Abraham, A., Park, H., Choi, O. and Sang, B. I. (2021). Anaerobic co-digestion of bioplastics as a sustainable mode of waste management with improved energy production - A review. *Bioresour Technology*, 322, 124537.
- Gerometta, M., Jeancarlo, R., Domenek, S. and Karbowski, T. (2019). Physical and Chemical Stability of PLA in Food Packaging. *Reference Module in Food Science*, 10, 10-16
- Yang, J., Dong, X., Wang, J., Ching, Y.C., Liu, J. and li, C. (2022). Synthesis and properties of bioplastics from corn starch and citric acid-epoxidized soybean oil oligomers. *Journal of materials research and technology*, 20, 373-380.
- Marichelvam, M.K., Jawaid, M. and Asim, M. (2019). Corn and Rice Starch-Based Bio-Plastics as Alternative Packaging Materials. *Fibers*, 7(4), 32.
- Murariu, M., and Dubois, P. (2016). PLA composites: From production to properties. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 107, 17-46.
- Maslon, A. and Tomaszek, J.A. (2015). A study on the use of the BioBall as a bifilm carrier in a sequencing batch reactor. *Bioresour Technology*, 196, 577-585.

กลุ่มย่อยที่ 2:

วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี (1)

**การวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์ให้ปุ๋ยเพื่อ
ส่งเสริมด้านการเกษตรสำหรับเกษตรกรผู้เพาะปลูกกาแฟ**

**Research and Development in Ergonomics Enhancement of Fertilizer Equipment
for Coffee Farmers**

อภิสร่า ชัยศิริ

หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมทางการแพทย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: chaisiriapisara@gmail.com

เกษรา รักษ์พงษ์ศิริ

รองศาสตราจารย์ ภาควิชากายภาพบำบัด

คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: kedsara.r@allied.tu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อพัฒนาอุปกรณ์ให้ปุ๋ยเพื่อส่งเสริมด้านการเกษตรสำหรับเกษตรกรผู้เพาะปลูกกาแฟ และ 2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์ให้ปุ๋ยเพื่อส่งเสริมด้านการเกษตรสำหรับเกษตรกรผู้เพาะปลูกกาแฟ ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา คือ เกษตรกรผู้เพาะปลูกกาแฟ บ้านน้ำทิ อำเภอน้ำท่าวังผา จังหวัดน่าน จำนวน 30 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคล แบบประเมินความเสี่ยงโดยวิธีการประเมินทั่วทั้งร่างกาย (Rapid Entire Body Assessment, REBA) วิดีโอบันทึกท่าทางการปฏิบัติงานของเกษตรกรในการให้ปุ๋ยกาแฟ โปรแกรม Kinovea ใช้ในการวิเคราะห์วิดีโอที่บันทึกท่าทางการปฏิบัติงานของเกษตรกร และแบบประเมินความต้องการอุปกรณ์และความพึงพอใจต่อการใช้อุปกรณ์ช่วยให้ปุ๋ยและอุปกรณ์ต้นแบบ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ การแจกแจงความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการศึกษา พบว่า 1) จากการประเมินความต้องการอุปกรณ์ช่วยให้ปุ๋ย พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ต้องการอุปกรณ์ช่วยให้ปุ๋ยต้องมีขั้นตอนการใช้งานที่ง่าย ไม่ซับซ้อน ซ่อมบำรุงง่าย ทำความสะอาดง่าย ช่วยให้ทำงานได้เร็วขึ้น หาอะไหล่ได้ง่าย ราคาเป็นมิตรกับผู้ใช้งาน มีขนาดเหมาะสมกับการใช้งาน และต้องลดแรงกดที่ไหล่และหลังได้ 2) ผลการประเมิน REBA หลังการใช้ต้นแบบอุปกรณ์ช่วยให้ปุ๋ยส่วนใหญ่อยู่ในระดับความเสี่ยงน้อย คิดเป็น ร้อยละ 86.7 ลดลงจากก่อนการทดลองใช้ต้นแบบอุปกรณ์ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในระดับความเสี่ยงสูง คิดเป็นร้อยละ 86.7 ส่งผลให้เกษตรกรมีความพึงพอใจต่อการใช้อุปกรณ์ช่วยให้ปุ๋ยอยู่ในระดับมาก ข้อเสนอแนะจากการศึกษา ควรเพิ่มขอบเขตในการศึกษาให้ครอบคลุมถึงประเด็นเรื่องปุ๋ยและปุ๋ยพืวิทยาปรับปรุงเครื่องช่วยให้ปุ๋ยให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

คำสำคัญ: การวิจัยและพัฒนา อุปกรณ์ให้ปุ๋ยเพื่อส่งเสริมด้านการเกษตร เกษตรกรผู้เพาะปลูกกาแฟ

ABSTRACT

This study is in regards to research and development. The objectives were 1) Develop an ergonomically enhanced fertilization device for coffee plantations and 2) Assess the effectiveness of an ergonomically enhanced fertilization device for coffee plantations. The samples used in the study were 30 coffee farmers in Ban Nam Ki, Nam Tha Wang Pha District, Nan Province. The research tools were personal data questionnaires based on Rapid Entire Body Assessment (REBA). The Kinovea program was used to analyze the video recording of the fertilization device performance and a questionnaire to assess equipment needs and satisfaction. Statistics from the prototype equipment used in data analysis were frequency distribution, percentage, average, and standard deviation. The results of the study were as follows: 1) From the assessment of the need for fertilization equipment, it was found that most of the samples required fertilizer equipment which easy to use, easy to maintain, easy to clean, improves efficiency, easy to find equipment parts, appropriate size and affordability price. 2) The results of the REBA assessment after using the prototype showed that most of the fertilizers were at a low risk level, representing 86.7%, a decrease from before the trial of the prototype, which was mostly in the low-risk level. At a high risk level representing 86.7 percent. As a result, the sample study indicated that the farmers were satisfied with the use of the prototype device at a high level. Based on the results the scope of the study should be expanded to include fertilization issues and agronomics to improve results.

Keywords: Research and development, Fertilization equipment for ergonomics enhancement, Coffee farmers

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ในปัจจุบันพบว่าอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อหรือบางครั้งเรียกโดยรวมว่า อาการความผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูก โครงร่าง (Musculoskeletal disorders, MSDs) ซึ่งเป็นกลุ่มอาการที่ทำให้เกิดโรคที่เกี่ยวข้องกับข้อต่อกล้ามเนื้อเอ็นกล้ามเนื้อเอ็นข้อต่อเส้นประสาทและเนื้อเยื่ออ่อนอื่นๆ จัดว่าเป็นปัญหาสุขภาพที่สำคัญในหลากหลายอาชีพ (อรรถพล แก้วนวน และคณะ, 2560) โดยอาการผิดปกติของระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อเป็นความเจ็บป่วยที่เกี่ยวข้องเนื่องจากการทำงานพบได้มากในกลุ่มเกษตรกร เนื่องจากมีลักษณะงานที่ต้องใช้แรงงาน โดยเฉพาะเกษตรกรในพื้นที่ชนบทที่มีความเสี่ยงมากกว่าผู้ปฏิบัติงานในกลุ่มอาชีพอื่น (ประกาศิต ทอนช่วย และภคินี สุตะ, 2563) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า เกษตรกรปลูกพืชไร่จังหวัดหนองบัวลำภูพบความชุกของการเจ็บป่วยสูงสุด คือ กลุ่มโรคทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ (ร้อยละ 21.73) รองลงมาคือ โรคเหตุทางกายภาพ (ร้อยละ 5.15) และโรคผิวหนังจากการทำงาน (ร้อยละ 1.51) (สุนิสา ชายเกลี้ยงและสัญญา พิงสร้างแป้น, 2562) และคนงานรับจ้างฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชมีความชุกของอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างในช่วง 12 เดือน และ 7 วันที่ผ่านมา ร้อยละ 88.2 และร้อยละ 81.8 ตามลำดับ (เสาวรส พัวพลเทพ และอัมรินทร์ คงทวีเลิศ, 2559) และพบว่าความผิดปกติของกล้ามเนื้อและกระดูกในผู้เก็บเกี่ยวกาแฟสูงในบริเวณข้อไหล่ คอ บริเวณข้อมือ หลังส่วนบน และหลังส่วนล่าง ปัจจัยสำคัญในการศึกษาครั้งนี้ได้แก่ อายุ การสูบบุหรี่ เครียด บิดตัว แบกของหนัก ยกแขนสูง ไหล่ (Songsaeng, W., & Siriwong, W., 2018) และในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเก็บเกี่ยวผลกาแฟ ผู้คนที่ทำงานในงานเหล่านี้มีความเสี่ยงด้านสรีระศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเนื่องจากสภาพทางกายภาพ โดยคนงานต้องยืนเกือบทั้งวันและยกของหนักด้วยมือโดยปราศจากเครื่องทุ่นแรงและการใช้ท่าทางที่ไม่

สบาย โดยส่วนต่างๆของร่างกายที่มีระดับความเสี่ยงสูงสุด คือ ส่วนคอและส่วนข้อมือ/มือ รองลงมาคือส่วนหลัง ส่วนไหล่/แขน และส่วนข้อมือ/มือ (Muñoz, et al., 2022)

กาแฟถือได้ว่าเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมแพร่หลายไปทั่วโลก ประชาชนนิยมบริโภคในชีวิตประจำวัน ส่งผลให้ปริมาณความต้องการใช้กาแฟของโลกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และกาแฟเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของไทย ที่ทำรายได้ให้เกษตรกรปีละประมาณ 2 พันล้านบาท (กรมพัฒนาธุรกิจ, 2562) บ้านน้ำก้อ อำเภอท่าม่วง จังหวัดน่าน เป็นพื้นที่หนึ่งที่ประชากรประกอบอาชีพเพาะปลูกกาแฟ จากการประเมินความเสี่ยงด้านการเกษตรกลุ่มเกษตรกรผู้เพาะปลูกกาแฟในพื้นที่ พบว่า กลุ่มเกษตรกรมีลักษณะการทำงานที่ต้องยืนทำงานตลอดเวลา มีท่าทางการทำงานแบบซ้ำๆ มีการเอื้อมหยิบ มีการบิดและเอี้ยวตัว มีการก้มหลังในขณะที่ทำงาน และยังพบว่าไม่มีวิธีการให้ปุ๋ยกาแฟโดยไม่มีเครื่องมือหรืออุปกรณ์ช่วยในการทำงาน ซึ่งอาจทำให้เกิดอาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อได้

ข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าเกษตรกรกำลังเผชิญกับปัญหาสุขภาพ เกิดความเสี่ยงและการเจ็บป่วยจากการทำงานเพิ่มมากขึ้น และปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาวิจัยเพื่อออกแบบอุปกรณ์ช่วยให้น้อยสำหรับเกษตรกรผู้เพาะปลูกกาแฟโดยเฉพาะ ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ช่วยให้น้อยสำหรับเกษตรกรผู้เพาะปลูกกาแฟ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพื่อพัฒนาอุปกรณ์ให้น้อยเพื่อส่งเสริมด้านการเกษตรสำหรับเกษตรกรผู้เพาะปลูกกาแฟ และเพื่อประเมินประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์ให้น้อยเพื่อส่งเสริมด้านการเกษตรสำหรับเกษตรกรผู้เพาะปลูกกาแฟ เพื่อลดความเมื่อยล้าจากการทำงานและเสี่ยงจากการบาดเจ็บเกี่ยวกับระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่าง ของเกษตรกรผู้เพาะปลูกกาแฟต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อออกแบบและพัฒนาด้านการเกษตรของอุปกรณ์ช่วยให้น้อยสำหรับเกษตรกรผู้เพาะปลูกกาแฟ
- 2) เพื่อลดเสี่ยงด้านการเกษตรของเกษตรกรผู้เพาะปลูกกาแฟ บ้านน้ำก้อ อำเภอท่าม่วง จังหวัดน่าน

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

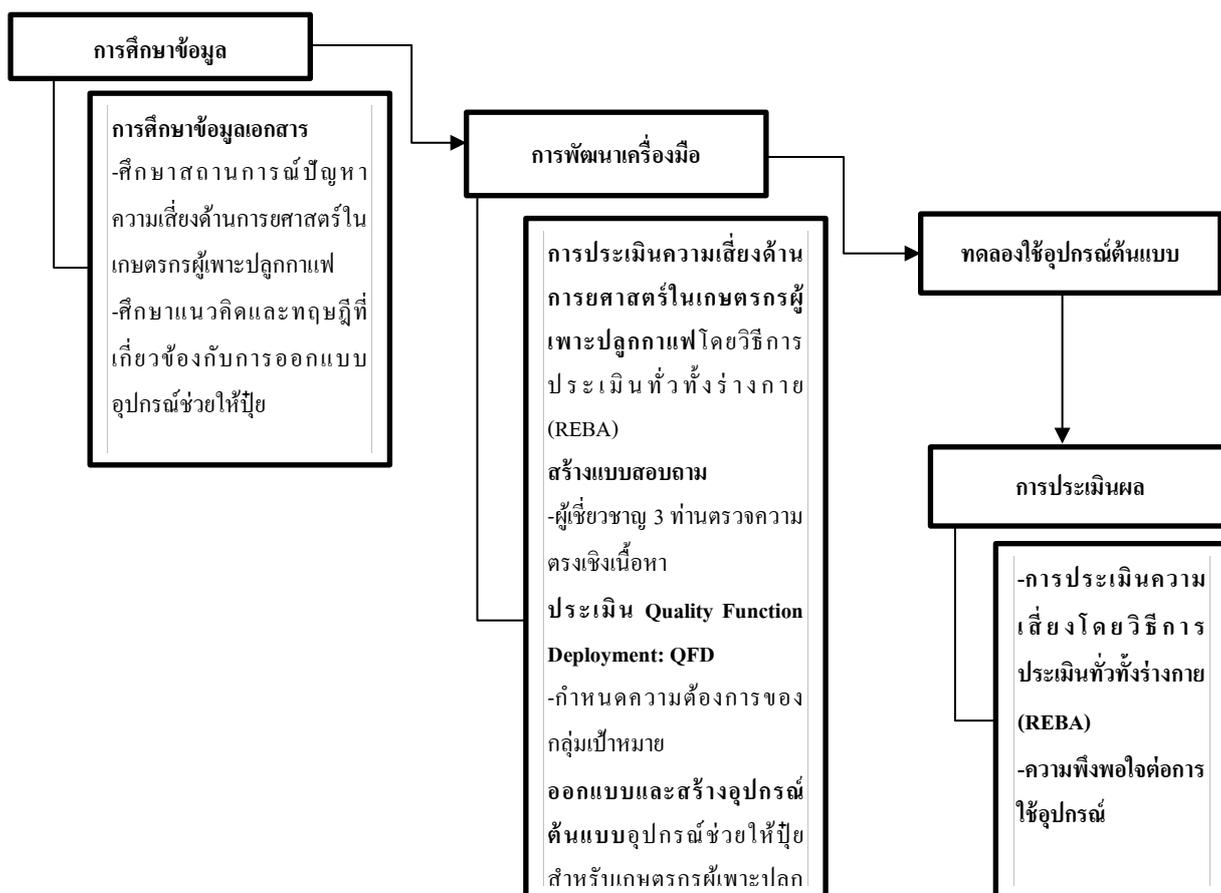
3.1 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ที่ดีย่อมเกิดจากกระบวนการผลิตที่ดี นักออกแบบควรคำนึงถึงหน้าที่การใช้สอย ความปลอดภัย ความแข็งแรง ความสะดวกสบายในการใช้งาน ความสวยงาม ราคา การซ่อมแซมง่าย วัสดุและวิธีการผลิต รวมถึงการขนส่งด้วย ซึ่งจะส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ดี (เสาวภาคนู เทียนสว่าง และนิรันดรี ทองดี, 2553)

การเกษตร หมายถึงเป็น การประยุกต์ศาสตร์เบื้องต้นในหลายสาขา นำมาใช้ประโยชน์ โดยนำวิธีการ และข้อมูลจากหลายสาขาวิชา อันได้แก่ จิตวิทยา กายวิภาคศาสตร์ สรีรวิทยา ชีวกลศาสตร์ ขนาดของร่างกายมนุษย์ และวิศวกรรมระบบอุตสาหกรรม เพื่อที่จะออกแบบและพัฒนาระบบทางด้านวิศวกรรมที่มีคนบังคับ ปฏิบัติ หรือเกี่ยวข้องในขณะที่ทำงานตั้งแต่อุปกรณ์ขั้นต้น ไปจนถึงเครื่องมือที่ใช้เทคโนโลยีซับซ้อนในการทำงาน โดยการนำปัจจัยต่างๆทางด้านมนุษย์มาประยุกต์เพื่อออกแบบสิ่งแวดล้อม ทั้งสิ่งแวดล้อมทั่วไปและสิ่งแวดล้อมในการทำงาน อันจะทำให้เกิดความเข้าใจง่าย สะดวก ปลอดภัย และเพื่อความเป็นอยู่ที่ดีของมนุษย์(กาญจนา นาถะพินธุ, 2551)

ชวนากร เครือแก้ว และสุนิสา ชายเกลี้ยง (2566) ศึกษาความรู้สึกไม่สบายของระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อและความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของเกษตรกรชาวสวนยาง ผลการศึกษาพบว่า เกษตรกรมีความรู้สึกไม่สบายสูงสุดที่บริเวณแขนท่อนล่าง ร้อยละ 83.30 รองลงมาที่บริเวณ หัวไหล่ และมือและข้อมือร้อยละ 81.70 และบริเวณหลังส่วนบน ร้อยละ 80.00 ตามลำดับ มีระดับความเสี่ยงทางการยศาสตร์สูงสุดที่ระดับสูงมาก ร้อยละ 45.00 หมายถึง การทำงานมีความเสี่ยงสูงมากต้องการการตรวจสอบและปรับเปลี่ยนท่าทางการทำงานในทันที และพบว่าระดับความรู้สึกไม่สบายทางระบบ โครงร่างและกล้ามเนื้อมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับระดับความเสี่ยงทางการยศาสตร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ ($R=0.879$, $p\text{-value}<0.001$)

3.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 แบบแผนการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาอุปกรณ์ช่วยให้น้ปุ๋ยเพื่อส่งเสริมด้านการยศาสตร์สำหรับเกษตรกรผู้เพาะปลูกกาแฟ และเพื่อประเมินประสิทธิผลของอุปกรณ์ช่วยให้น้ปุ๋ยเพื่อส่งเสริมด้านการยศาสตร์สำหรับเกษตรกรผู้เพาะปลูกกาแฟ บ้านน้ำก่ อำเภอน้ำตาวังผา จังหวัดน่าน

4.2 ประชากรและตัวอย่าง

1. ข้อมูลการออกแบบความเหมาะสมด้านวิศวกรรม และความปลอดภัยเบื้องต้นของอุปกรณ์ ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรม จำนวน 3 ท่าน และการประเมินความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ ได้แก่ อาจารย์ผู้เชี่ยวชาญด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย จำนวน 3 ท่าน

2. ประชากรที่ใช้ในการศึกษา คือ เกษตรกรผู้เพาะปลูกกาแฟ บ้านน้ำกิ อำเภอน้ำทาวังผา จังหวัดน่าน จำนวน 42 คน คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจงจำนวน 30 คน (Boston University, 2016). การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างมีเกณฑ์พิจารณาดังนี้

เกณฑ์การคัดเลือก (Inclusion criteria)

- อายุ 25 – 50 ปี ไม่จำกัดเพศ
- เป็นเกษตรกร ผู้เพาะปลูกกาแฟ หมู่บ้านน้ำกิ อำเภอน้ำทาวังผา จ.น่าน
- ไม่เคยประสบอุบัติเหตุ หรือเป็นโรคที่ส่งผลกระทบต่อระบบโครงร่างกล้ามเนื้อ
- ไม่เคยผ่านการผ่าตัดใหญ่
- ไม่มีโรคประจำตัวที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพร่างกายและการมองเห็น
- สามารถสื่อสารภาษาไทยได้

4.3 เครื่องมือวิจัย

1. แบบประเมินความเสี่ยงโดยวิธีการประเมินทั่วทั้งร่างกาย (Rapid Entire Body Assessment, REBA)

2. แบบสอบถามข้อมูลทั่วไป ได้แก่ เพศ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง โรคประจำตัว ระยะเวลาที่ประกอบอาชีพเพาะปลูกกาแฟ ขนาดพื้นที่เพาะปลูก ลักษณะพื้นที่ การมีอุปกรณ์ช่วยให้ปฏิกิริยา ประเภทของปฏิกิริยาที่ใช้ วิธีการลำเลียงปุ๋ย น้ำหนักของอุปกรณ์ให้ปุ๋ยที่ใช้ ความถี่และระยะเวลาในการให้ปุ๋ย และแบบสอบถามความต้องการอุปกรณ์ช่วยให้ปุ๋ยสำหรับเกษตรกรผู้เพาะปลูกกาแฟ (รวมเป็นชุดเดียวกันเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลครั้งที่ 1)

3. วิธีโอบนทีการทำทางการปฏิบัติงานของเกษตรกรในการเพาะปลูกกาแฟ

4. แบบประเมินความพึงพอใจต่อการใช้อุปกรณ์ของเกษตรกรผู้เพาะปลูกกาแฟ

5. เครื่องมือต้นแบบอุปกรณ์ช่วยให้ปุ๋ยสำหรับเกษตรกรผู้เพาะปลูกกาแฟ

4.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ มีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังนี้

1. ผู้วิจัยศึกษาข้อมูลเบื้องต้นจากการทบทวนวรรณกรรม เกี่ยวกับการประเมินความเสี่ยงและความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ของเกษตรกรผู้เพาะปลูกกาแฟ การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ช่วยให้ปุ๋ยกาแฟ และออกแบบร่างต้นแบบอุปกรณ์ช่วยให้ปุ๋ย

2. ผู้วิจัยส่งโครงร่างการศึกษาเพื่อขอรับการพิจารณาจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคนของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์ พิจารณาให้ความเห็นชอบในการดำเนินการศึกษาวิจัย

3. กำหนดเกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างที่มีคุณสมบัติครบตามเกณฑ์กำหนด และเตรียมเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

4. ดำเนินการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างที่มีคุณสมบัติครบตามเกณฑ์กำหนด จำนวน 30 คน โดยให้กลุ่มตัวอย่างตอบแบบสอบถามข้อมูลทั่วไป ประเมินความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ด้วยวิธีการประเมินทั่วทั้งร่างกาย (Rapid Entire Body Assessment, REBA) และบันทึกวิดีโอท่าทางการก่อนการออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบ

5. กลุ่มตัวอย่างทำแบบประเมินความต้องการอุปกรณ์ช่วยให้น้ำหนักสำหรับเกษตรกรผู้เพาะปลูกกาแฟ เพื่อการศึกษาความต้องการของกลุ่มเป้าหมายเพื่อนำความต้องการนี้ไปพิจารณาปรับเปลี่ยนเป็นคุณสมบัติของอุปกรณ์ในการออกแบบเชิงวิศวกรรม

6. ผู้วิจัยนำข้อมูลความเสี่ยงด้านการยศาสตร์และความต้องการอุปกรณ์ช่วยให้น้ำหนักสำหรับเกษตรกรผู้เพาะปลูกกาแฟ มาใช้ในการออกแบบและพัฒนาปรับปรุงต้นแบบอุปกรณ์ช่วยให้น้ำหนักสำหรับเกษตรกรผู้เพาะปลูกกาแฟ และนำอุปกรณ์ต้นแบบไปให้ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมและด้านอาชีวอนามัยฯ ตรวจสอบความปลอดภัยและประเมินความเสี่ยงโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการยศาสตร์ก่อนนำไปให้กลุ่มอาสาสมัครทดลองใช้งาน

7. นำต้นแบบอุปกรณ์ช่วยให้น้ำหนักสำหรับเกษตรกรผู้เพาะปลูกกาแฟไปให้เกษตรกรทดลองใช้ กลุ่มตัวอย่างเดิม จำนวน 30 คน ใช้เวลาคนละ 10-15 นาที จากนั้นทำการประเมินความเสี่ยงโดยวิธีการประเมินทั่วทั้งร่างกาย (Rapid Entire Body Assessment, REBA) และการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้อุปกรณ์ของกลุ่มตัวอย่าง เพื่อนำข้อมูล ไปวิเคราะห์ และสรุปผลต่อไป

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่

1. โปรแกรม Kinovea ใช้ในการวิเคราะห์วิดีโอที่บันทึกท่าทางการปฏิบัติงานของเกษตรกร
2. สถิติพรรณนา ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้แบบสอบถาม การประเมินความเสี่ยงโดยวิธีการประเมินทั่วทั้งร่างกาย (Rapid Entire Body Assessment, REBA) และการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้อุปกรณ์ของกลุ่ม

5. ผลการวิจัย

5.1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

พบว่า กลุ่มตัวอย่าง ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 20 คน ร้อยละ 66.7 อายุเฉลี่ย 48.90 ปี (S.D.=11.26 ปี) ส่วนใหญ่ไม่มีโรคประจำตัวร้อยละ 70.0 ระยะเวลาประกอบอาชีพเพาะปลูกกาแฟ เฉลี่ย 14.40 ปี (S.D.=7.74 ปี) ขนาดของพื้นที่เพาะเฉลี่ย 5.46 ไร่ (S.D.=3.00 ไร่) ลักษณะพื้นที่เป็นพื้นที่คอก ร้อยละ 100.0 ทำหน้าที่ให้น้ำต้นกาแฟ ร้อยละ 100.0 กลุ่มตัวอย่างทั้งหมดไม่มีอุปกรณ์ช่วยในการให้น้ำต้นกาแฟ

5.2 ผลการประเมินความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ก่อนการใช้งานต้นแบบอุปกรณ์ช่วยให้น้ำหนัก

การประเมินความเสี่ยง โดยวิธีการประเมินทั่วทั้งร่างกาย (Rapid Entire Body Assessment, REBA) ก่อนการใช้ต้นแบบอุปกรณ์ช่วยให้น้ำหนัก พบว่า ส่วนใหญ่อยู่ในระดับความเสี่ยงสูง ควรวินิจฉัยเพิ่มเติมและปรับปรุง จำนวน 26 ราย ร้อยละ 86.7 ความเสี่ยงปานกลาง ควรวินิจฉัยเพิ่มเติมและได้รับการปรับปรุง จำนวน 3 ราย ร้อยละ 10.0 และความเสี่ยงสูงมาก ต้องปรับปรุงโดยด่วน จำนวน 1 ราย ร้อยละ 3.3 ตามลำดับ



รูปภาพที่ 1 การประเมินความเสี่ยงโดยวิธีการประเมินทั่วทั้งร่างกาย (Rapid Entire Body Assessment, REBA) ก่อนการใช้ดินแบบอุปกรณ์ช่วยให้นุ้ย

5.3 การออกแบบและการทดสอบใช้งานดินแบบอุปกรณ์ช่วยให้นุ้ย

จากการประเมินความต้องการอุปกรณ์ช่วยให้นุ้ย พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ต้องการอุปกรณ์ช่วยให้นุ้ยต้องมีขั้นตอนการใช้งานที่ง่าย ชับซ้อน ซ่อมบำรุงง่าย ทำความสะอาดง่าย ช่วยให้งานได้เร็วขึ้น หออะไหล่ ง่าย ราคาเป็นมิตรกับผู้ใช้งาน มีขนาดเหมาะสมกับการใช้งาน และต้องลดแรงกดที่ไหล่และหลังได้ ตามลำดับ

ผลที่ได้จากการประเมินความต้องการอุปกรณ์ช่วยให้นุ้ย ผู้วิจัยได้นำข้อมูลมาใช้ในการออกแบบพัฒนา ดินแบบอุปกรณ์ให้นุ้ยกาแฟโดยมีหลักการการทำงาน คือ

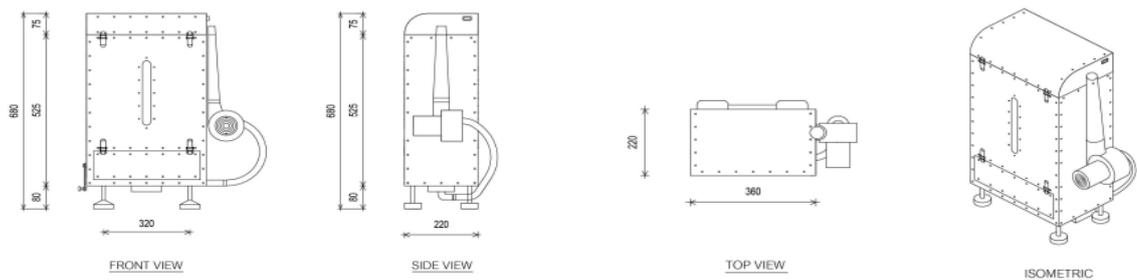
1) อุปกรณ์ดินแบบนี้ช่วยให้เกษตรกรสามารถใส่ปุ๋ย สำหรับเกษตรกรผู้เพาะปลูกกาแฟได้ใน ระยะทางที่ไกลขึ้น โดยใช้หลักการกระจายน้ำหนัก โดยการใช้สะพานและจำกัดปริมาณปุ๋ยในการบรรจุให้อยู่ใน เกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด ลดแรงที่กดบนกระดูกสันหลังจากการแบกหรือลากกระสอบปุ๋ยโดยตรง ทำให้เกษตรกร มีท่าทางการทำงานที่เหมาะสม ลดความเสี่ยงด้านการยศาสตร์

2) เป็นอุปกรณ์ให้นุ้ยโดยใช้หลักการ Volumetric Dosing System โดยปุ๋ยจะเคลื่อนตัวจากด้านบนที่ บรรจุลงไปตามแรงโน้มถ่วงโลกไปสู่จุดปล่อยกระจายปุ๋ยด้านล่างของตัวเครื่อง ทั้งนี้ เป็นระบบที่ช่วยในการจ่าย เมล็ดปุ๋ยด้วยอัตราและปริมาตรคงที่ อย่างต่อเนื่อง ณ เวลาที่กำหนดเองของผู้ใช้งาน

3) ใช้แกนมือจับหมุนเป็นตัวปล่อยปุ๋ย ไปสู่ท่อหน้าและหัวพ่นปุ๋ยตามลำดับ

4) ใช้แบตเตอรี่ลิเทียม ไอออนฟอสเฟต 2.4 โวลต์ เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับระบบหัวพ่นปุ๋ย โดย สามารถปรับระดับความแรงได้

หลังจากผลิตดินแบบอุปกรณ์ ผู้วิจัยได้ส่งร่างดินแบบอุปกรณ์ให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินความเหมาะสม ด้านวิศวกรรม และความปลอดภัยเบื้องต้นของอุปกรณ์ ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรม จำนวน 3 ท่าน และการ ประเมินความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ ได้แก่ อาจารย์ผู้เชี่ยวชาญด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย จำนวน 3 ท่าน จึงนำดินแบบอุปกรณ์ไปให้กลุ่มตัวอย่างทำการทดลองใช้อุปกรณ์



รูปภาพที่ 2 ภาพร่างต้นแบบอุปกรณ์ช่วยให้น้ำพุ่ม

5.4 ผลการดำเนินงานหลังการใช้งานต้นแบบอุปกรณ์ช่วยให้น้ำพุ่ม

ผลการประเมินความเสี่ยงโดยวิธีการประเมินทั่วทั้งร่างกาย (Rapid Entire Body Assessment, REBA) หลังการใช้งานต้นแบบอุปกรณ์ช่วยให้น้ำพุ่ม พบว่า ส่วนใหญ่อยู่ในระดับความเสี่ยงน้อย ยังต้องมีการปรับปรุง จำนวน 26 คน ร้อยละ 86.7 ความเสี่ยงปานกลาง ควรวิเคราะห์เพิ่มเติมและได้รับการปรับปรุง จำนวน 4 คน ร้อยละ 13.3 ตามลำดับ



รูปภาพที่ 3 การประเมินความเสี่ยงโดยวิธีการประเมินทั่วทั้งร่างกาย (Rapid Entire Body Assessment, REBA) หลังการใช้งานต้นแบบอุปกรณ์ช่วยให้น้ำพุ่ม

5.5 การประเมินความพึงพอใจต่อการใช้อุปกรณ์ช่วยให้น้ำพุ่ม

การประเมินความพึงพอใจต่อการใช้อุปกรณ์ของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า หลังการใช้งานต้นแบบอุปกรณ์ช่วยให้น้ำพุ่ม พบว่า หลังการใช้งานต้นแบบอุปกรณ์ช่วยให้น้ำพุ่มคะแนนความพึงพอใจภาพรวมอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ย 3.76 คะแนน (S.D. = 0.56)

6. อภิปรายผล

ผลการศึกษานี้พบว่า ต้นแบบอุปกรณ์ช่วยให้น้ำพุ่มกาแพ่ที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นมาในการศึกษานี้เกิดจากการประยุกต์ใช้หลักการทางกายศาสตร์ โดยมีหลักในการออกแบบเพื่อให้อุปกรณ์มีระบบกลไกที่สามารถช่วยในการเคลื่อนย้ายวัสดุที่มีภาระไหลไปได้ระยะไกล และเป็นอุปกรณ์ที่สามารถช่วยกระจายภาระไหลลด จัดทำทางการทำงานให้ถูกต้อง โดยปรับปรุงท่าทางการทำงานจากการที่เกษตรกรต้องใช้แรงลากกระสอบปุ๋ยซึ่งมีน้ำหนักมากไปตามพื้นที่การเพาะปลูกโดยไม่มีอุปกรณ์ช่วยทุ่นแรง อีกทั้งลักษณะงานที่ทำให้เกิดการก้มและบิดลำตัว ทำให้ท่าทางการทำงานไม่เหมาะสม โดยอุปกรณ์นี้มีน้ำหนัก 11 กิโลกรัม บรรจุปุ๋ยชนิดเม็ดไม่เกิน

20 กิโลกรัมในเพศชาย และไม่เกิน 14 กิโลกรัมในเพศหญิง ซึ่งน้ำหนักรวมไม่เกินอัตราที่กฎหมายกำหนด เกษตรกรสามารถสพพหลัง และให้ปุ๋ยกาแฟได้โดยไม่ต้องก้มและบิดลำตัว ซึ่งโดยทั่วไปนั้นร่างกายของคน ที่ทำงานจำเป็นจะต้องอยู่ในลักษณะท่าทางที่มั่นคงและสบายไม่ขัดหรือฝืนไปในทางที่ไม่ปกติ โดยเฉพาะขณะที่ มีการออกแรง ดังนั้น หากมีการคำนึงถึงการรักษาท่าทางของการเคลื่อนไหวในการทำงานให้มีมาตรฐานที่ดีได้ ก็จะช่วยลดการเกิดอุบัติเหตุและอันตรายจากการทำงานลงได้ (จันทร์จรี เกตุมาโร, 2553)

ก่อนการใช้ต้นแบบอุปกรณ์ช่วยให้ปุ๋ยส่วนใหญ่อยู่ในระดับความเสี่ยงสูง ควรวิเคราะห์เพิ่มเติมและปรับปรุง จำนวน 26 ราย ร้อยละ 86.7 ความเสี่ยงปานกลาง ควรวิเคราะห์เพิ่มเติมและได้รับการปรับปรุง จำนวน 3 ราย ร้อยละ 10.0 และความเสี่ยงสูงมาก ต้องปรับปรุงโดยด่วน จำนวน 1 ราย ร้อยละ 3.3 ตามลำดับ และหลังการใช้ต้นแบบอุปกรณ์ช่วยให้ปุ๋ยส่วนใหญ่อยู่ในระดับความเสี่ยงน้อย ยังต้องมีการปรับปรุง จำนวน 26 คน ร้อยละ 86.7 ความเสี่ยงปานกลาง ควรวิเคราะห์เพิ่มเติมและได้รับการปรับปรุง จำนวน 4 คน ร้อยละ 13.3 ตามลำดับ อาจเกิดเนื่องจากอุปกรณ์ช่วยให้ปุ๋ยที่นำหลักการด้านการยศาสตร์มาใช้ในการออกแบบนั้น ช่วยให้เกษตรกรมีท่าทาง การทำงานที่เหมาะสมขึ้น ลดการก้มคอ และลำตัว ลดการใช้แรงแขน โดยประโยชน์ของหลักการด้านการยศาสตร์ ต่อการปฏิบัติงานนั้น ทำให้ผู้ประกอบการมีความปลอดภัย ลดการเกิดอุบัติเหตุ ทำงานมีประสิทธิภาพขึ้น เช่น การออกแบบเครื่องมือและอุปกรณ์ให้มีความสะดวกต่อการทำงาน การจัดทำทางการปฏิบัติงานให้ถูกต้อง (ธีร วิโรจน์ เทศกะทิก, 2553) ส่งผลให้เกษตรกรมีความพึงพอใจต่อการใช้อุปกรณ์ช่วยให้ปุ๋ยในระดับมาก ค่าเฉลี่ย 3.76คะแนน (S.D. = 0.56) อาจเนื่องมาจากการนำหลักการด้านการยศาสตร์มาใช้ในการจัดสภาพของงานต่าง ๆ นั้น เป็นการลดความเครียดที่อาจเกิดขึ้นทั้งทางด้านร่างกายและจิตใจของคนทำงานได้ (จันทร์จรี เกตุมาโร, 2553)

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1. ควรมีการอบรมการใช้อุปกรณ์ และหลักการยศาสตร์สำหรับเกษตรกรก่อนใช้อุปกรณ์
2. ควรมีการประสานกับผู้ผลิตในการจัดเตรียมอะไหล่หรือการบริการซ่อมแซมอุปกรณ์แก่

เกษตรกร

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ควรมีการศึกษาการเปรียบเทียบวัสดุของอุปกรณ์ ผลด้านการใช้งาน ความปลอดภัย การบำรุงรักษา และ ความคุ้มค่าต่อไป

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาสาสมัครทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้และขอขอบพระคุณ ผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้คำแนะนำและตรวจสอบความสมบูรณ์ของเครื่องมือในการวิจัย

9. เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาธุรกิจการค้า. (2562). ธุรกิจผลิตกาแฟ บทวิเคราะห์ธุรกิจ ประจำปีเดือน มกราคม 2562. ออนไลน์.

สืบค้นเมื่อ 28 มกราคม 2564. แหล่งที่มา: https://www.dbd.go.th/download/document_file/Statistic/2562/T26/T26_201901.pdf.

- กวิศกรารินทร์ คณะพันธ์ และไพโรสุวรรณ คณะพันธ์. (2562). การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์และความเมื่อยล้าจากการทำงานของคนงานตัดอ้อยและลำเลียงอ้อยขึ้นรถบรรทุกในอำเภอภูพาน จังหวัดอุดรธานี. วารสารราชธานีนวัตกรรมทางสังคมศาสตร์, 3(1), 63-74.
- กาญจนา นาละพินธุ. (2551). อาชีวอนามัยและความปลอดภัย. ขอนแก่น: ภาควิชาวิทยาศาสตร์อนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- จันทร์จารี เกตุมาโร. (2553). อาชีวอนามัย. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง
- ชวนากร เครือแก้ว และสุนิสา ชายเกลี้ยง. (2566). ความรู้สึกไม่สบายทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อและความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของเกษตรกรชาวสวนยาง. วารสารวิจัย มข. (ฉบับบัณฑิตวิทยาลัย), 23(2), 147-158.
- ชาคริต ณ ตะกั่วทุ่ง และ ปิยวัฒน์ คิลกัมพันธ์. (2564). การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ในคนงานทำไม้ในสวนป่าไม้สักจังหวัดแพร่. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 10(2), 223-233.
- ประกาศิต ทอนช่วย และภคินี สุตตะ. (2563). ปัจจัยเสี่ยงทางการยศาสตร์ต่ออาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อจากการปลูกข้าวโพดของเกษตรกรกลุ่มชาติพันธุ์ จังหวัดเชียงราย. วารสารสำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 7 ขอนแก่น, 27(1), 27-98.
- สุนิสา ชายเกลี้ยง และสัญญา พิงสร้างแป้น. (2562). ความชุกและความรุนแรงของโรคจากการทำงานในเกษตรกรปลูกพืชไร่จังหวัดหนองบัวลำภู. วารสารสำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 7 ขอนแก่น, 26(1), 77-86.
- เสาวรส พัวพลเทพ และคณะ. (2562). อาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างในคนงานรับจ้างฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชแบบสะพายหลัง ในผู้ที่มีประสบการณ์ทำงานไม่เกิน 10 ปี. วารสารสุขศึกษา. 42(1), 106-118.
- อนามัย (ธีรวิโรจน์) เทศกะทีก. (2549). อาชีวอนามัยและความปลอดภัย. กรุงเทพฯ: โอ.เอส. พรินติ้ง เฮาส์.
- อรรถพล แก้วนวล และคณะ. (2560). ความชุกของความคิดผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างที่เกี่ยวข้องเนื่องจากการทำงานในอาชีพต่างๆ. วารสารสาธารณสุขมหาวิทยาลัยบูรพา, 12(2), 53-64.
- Boston University. (2016). "The Central Limit Theorem."
https://sphweb.bumc.bu.edu/otlt/mphmodules/bs/bs704_probability/BS704_Probability12.html
- Estrada Muñoz, Carla & Madrid-Casaca, Héctor & Salazar, Guido & Contreras-Barraza, Nicolás & Iturra-González, José & Vega, Alejandro. (2022). Musculoskeletal Symptoms and Assessment of Ergonomic Risk Factors on a Coffee Farm. Applied Sciences. 12. 7703. 10.3390/app12157703.
- Songsaeng, W., & Siriwong, W. (2018). Work-related musculoskeletal disorders among coffee harvesters in Chiang Rai, Thailand: Prevalence, severity, and risk factors. Journal of Health Research, 32(Suppl.1), S112-S120. Retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/jhealthres/article/view/164688>.

การสังเคราะห์ปุ๋ยสตรูไวท์จากน้ำเสียชุมชนสำหรับเสริมไนโตรเจนและฟอสฟอรัสใน ระบบการเพาะปลูกแบบไฮโดรโปนิกส์

Synthesis of Struvite Fertilizer from Domestic Wastewater as Nitrogen and Phosphorus Supplement for Hydroponics Cultivation

ศุภณัฐ เทียบคุณ , พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: supanut.thie@ku.th , fengpsn@ku.ac.th

ธารินี สาลีโกษณ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: fscitna@ku.ac.th

สุเมธ วงศ์เขียว

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

E-mail: Sumeth.W@chula.ac.th

บทคัดย่อ

ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่มีปริมาณมากในน้ำเสียชุมชนถ้าต้องการบำบัดก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นคณะผู้วิจัยได้ศึกษาการนำไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำเสียกลับมาใช้ในรูปของสตรูไวท์จากการตกผลึกของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำเสียชุมชน และนำมาใช้ผสมปุ๋ยสำหรับปลูกผักกาด (Lactuca sativa) ในระบบไฮโดรโปนิกส์ จากผลการวิเคราะห์ปริมาณสารอาหารของสตรูไวท์ พบว่ามีองค์ประกอบของ ฟอสฟอรัส ไนโตรเจน และแมกนีเซียม ที่ 20, 15.45 ,17.1 เปอร์เซ็นต์โดยมวลตามลำดับ จากการทดลองในระบบที่มีการกำหนดปริมาณสตรูไวท์ที่แตกต่างกัน 2 แบบ คือ ปริมาณ 0.5 และ 1.0 กรัมต่อน้ำหมุนเวียน 1 ลิตร ระยะเวลา 30 วัน พบว่าสามารถเพิ่มสารอาหารของฟอสเฟตได้ประมาณ 10 และ 15 เท่าตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณของแอมโมเนียมและไนเตรตลดลง จากเดิมเนื่องจากพืชดูดซึมเพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโต พบว่ามีปริมาณแมกนีเซียมค่อนข้างคงที่ เนื่องจากเป็นธาตุอาหารที่ช่วยในการเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัสในพืชซึ่งเป็นธาตุอาหารเสริม นอกจากนี้พบว่าสามารถเพิ่มน้ำหนักต่อหัวโคนเฉลี่ยประมาณ 13.3 % แสดงให้เห็นว่าการนำธาตุอาหารกลับคืนจากน้ำเสียชุมชน โดยนำมาเป็นสตรูไวท์สามารถนำมาใช้ระดับธาตุฟอสฟอรัสในระบบไฮโดรโปนิกส์ในระดับที่มีธาตุอาหารเริ่มต้นต่ำ เพื่อเพิ่มผลผลิตในระยะยาว

คำสำคัญ: การตกผลึก, ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, สตรูไวท์, ไฮโดรโปนิกส์

ABSTRACT

Nitrogen and phosphorus are essential nutrients that are present in high quantities in community wastewater. Treating them before releasing them into the environment can be costly. Therefore, a team of researchers studied the extraction of nitrogen and phosphorus from community wastewater and converted them into a substance known as struvite. They then used this struvite as part of a fertilizer mix for cultivating *Lactuca sativa* (green oak lettuce) in a hydroponic system. From the analysis of the nutrient content of the struvite, it was found to contain phosphorus, nitrogen, and magnesium at percentages of 20%, 15.45%, and 17.1% by weight, respectively, in that order. Through experiments conducted in a system with different struvite application rates, specifically 0.5 and 1.0 g/L of circulating water over a 30-day period, it was discovered that the levels of phosphates could be increased by approximately 10 % and 15 %, respectively. Meanwhile, the amounts of ammonium and nitrate decreased, primarily because plants absorbed these nutrients for growth. Magnesium levels remained relatively stable, as it is an essential nutrient that aids in the movement of phosphorus within plants, serving as a secondary nutrient. Additionally, it was observed that the average head weight of the lettuce increased by approximately 13.3%. Therefore, nutrient recovery as struvite from domestic wastewater could be used as nutrient supplementation of other fertilizers enhancement to increase plant production in hydroponics.

Keywords: Hydroponics, Nitrogen, Phosphorus, Precipitation, Struvite

1. บทนำ

ปัจจุบันการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องของประชากรและต้นทุนการผลิตอาหารทำให้มีความต้องการในการใช้ปุ๋ยสำหรับการเกษตรและการผลิตพืชอาหารมากขึ้น หนึ่งในนั้นคือ ประเทศไทยซึ่งมีประชากรประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก มีการผลิตเพื่อบริโภคเองภายในประเทศและมีการส่งออกสินค้าทางเกษตรเป็นอันดับต้น ๆ ของโลก แต่ประเทศไทยยังมีปัญหาด้านการผลิตปุ๋ยเคมีเพื่อใช้เองภายในประเทศไม่ได้ ต้องมีการนำเข้าวัตถุดิบ รวมถึงเทคโนโลยีการผลิตจากต่างประเทศ ทำให้ราคาของปุ๋ยภายในประเทศมีราคาค่อนข้างสูง โดยปุ๋ยที่ใช้ในการเกษตรประกอบด้วยแร่ธาตุสำคัญที่ใช้เพื่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม จากการสำรวจแร่ธาตุฟอสฟอรัสจากธรรมชาติซึ่งเป็นทรัพยากรที่ใช้แล้วหมดไปไม่สามารถหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ได้ กำลังมีปริมาณที่ลดลงและหมดไปในอีก 50 ถึง 100 ปีข้างหน้า (Jasinski, 2006) จากหลาย ๆ ปัจจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้น รวมถึงการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจ และการผลิตพืชผลทางการเกษตร ด้วยเหตุนี้การนำธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำเสียชุมชนกลับมาใช้ใหม่จากการตกผลึกด้วยสารเคมีจึงเป็นวิธีหนึ่งในการแก้ไขปัญหาการขาดแคลนฟอสฟอรัส อีกทั้งการลดการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสปล่อยออกสู่แหล่งน้ำ ส่งผลทำให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันลดลงและทำให้คุณภาพน้ำที่ปล่อยทิ้งดีขึ้นอาจจะนำไปใช้แหล่งน้ำดิบเพื่อการอุปโภคบริโภคได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำแร่ธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสกลับมาจากน้ำเสียเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้และป้องกันปัญหามลพิษทางน้ำ (Kemacheevakul et al., 2011) การนำธาตุอาหารจากน้ำเสียชุมชนมาใช้ในการเกษตร จึงมีศักยภาพที่จะนำกลับทรัพยากรธาตุอาหารสู่ระบบเศรษฐกิจหมุนเวียน อีกทั้งยังลดมลภาวะในสิ่งแวดล้อม

วิธีการกู้คืนแร่ธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมีหลากหลายวิธี ซึ่งวิธีการตกผลึกสตรูไวท์จากน้ำเสียชุมชน เป็นกระบวนการนำแร่ธาตุ เช่น แอมโมเนียม และฟอสฟอรัส ที่มีอยู่ในน้ำเสียชุมชนมาใช้ตกผลึกเป็นสตรู

ไวท์ โดยเติมแมกนีเซียมในอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยโครงสร้างของผลึกสตรูไวท์เป็นผลึกของแข็งที่อะตอม โมเลกุลหรือไอออนถูกจัดเรียงอย่างสอดคล้องกันและมีรูปแบบเฉพาะของแต่ละองค์ประกอบ ซึ่งการเกิดผลึกสตรูไวท์จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่ออัตราส่วน โมลของ แมกนีเซียม แอมโมเนียม และฟอสเฟต มีอัตราใกล้เคียงกัน หรือ 1:1:1 (Jaffer et al., 2001) 1 และค่าความเข้มข้นเกินค่าคงที่สมดุลของการละลายตัว (K_{sp}) โดยลักษณะของผลึกมีลักษณะ สีขาวปนเหลืองหรือน้ำตาลอ่อน ขนาดของผลึกมีขนาดหลากหลายเล็กใหญ่ ปุ๋ยสตรูไวท์ถือว่าเป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับการนำแร่ธาตุกลับมาใช้ใหม่ เนื่องจากเป็นปุ๋ยที่ละลายช้าและมีคุณสมบัติเป็นปุ๋ยเคมี (รอบรู้ รั้งสิ เวค, 2560) โดยสามารถนำมาใช้ในการเพาะปลูกพืช

การนำน้ำเสียชุมชนซึ่งเป็นน้ำเสียกลับมาใช้ประโยชน์อีกครั้งจึงเป็นวิธีการที่น่าสนใจโดยน้ำปัสสาวะซึ่งเป็นของเหลวที่ปล่อยขับถ่ายออกมาจากร่างกาย มีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำประมาณร้อยละ 95 ยูเรียร้อยละ 2 โดยยูเรียมีส่วนประกอบสำคัญ คือ ไนโตรเจน อยู่ในรูปสารประกอบแอมโมเนียม จึงเป็นผลดีในการนำมาใช้ผลิตปุ๋ย ดังนั้นจึงเป็นที่น่าสนใจในการนำปุ๋ย สตรูไวท์ซึ่งมีคุณสมบัติละลายช้ามาใช้ควบคู่กับปุ๋ยเคมี เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เป็นไปได้ในการลดการใช้ปุ๋ยที่สังเคราะห์จากสารเคมีสำหรับการปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ ซึ่งเป็นผลดีในด้านของสุขภาพที่จะได้รับสารเคมีเข้าสู่ร่างกายน้อยลง และยังเป็นปุ๋ยที่น่าสนใจในการผลิตจำหน่ายในประเทศไทยซึ่งมีการมีทำการเกษตรเป็นแหล่งหลักอีกด้วย

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการนำธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชจากน้ำเสียชุมชนกลับมาใช้ใหม่ คือ แอมโมเนียม และ ฟอสเฟต
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบอัตราส่วนที่เหมาะสมในการใช้ปุ๋ยเคมีมาตรฐาน A/B ร่วมกับสตรูไวท์สำหรับปลูกผักไฮโดรโปนิคส์
3. เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของพืชเมื่อใช้ปุ๋ยเคมีมาตรฐาน A/B ร่วมกับสตรูไวท์สำหรับปลูกผักไฮโดรโปนิคส์

3. อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 การตกผลึกสตรูไวท์

ทำการตกตะกอนผลึกสตรูไวท์จากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยสตรูไวท์ปริมาณ 10 กรัม เตรียมโดยใช้สารเคมี K_2HPO_4 , $(NH_4)_2SO_4$, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ปริมาณ 7.179 , 4.401 , 10.312 กรัม ตามลำดับ โดยคิดเป็นอัตราส่วนโมล $Mg^{+2}:NH_4^+:PO_4^{-3}$ เป็น 1:1.6:1 (Stratful et al ,2001) จากนั้นทำการปรับพีเอชเป็น 9 แล้วนำไปกวนเร็วด้วยเครื่อง Jar test ด้วยความเร็ว 300 rpm เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นกวนช้าด้วยความเร็ว 30 rpm เป็นเวลา 30 นาทีจากนั้นทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมารองผ่านกระดาษกรองยี่ห้อ Whatman เบอร์ 1 แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส และวิเคราะห์เชิงโครงสร้าง โดยใช้เครื่อง X-ray diffraction (XRD) เพื่อหาลักษณะเชิงผลึกของธาตุในตัวอย่างสตรูไวท์ ตามลำดับ

3.2 การปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิคส์และการเพิ่มระดับธาตุอาหารด้วยสตรูไวท์

ทำการปลูกผักกรีนโอ๊ค (*Lactuca sativa*) ด้วยระบบไฮโดรโปนิคส์แบบน้ำลึก (Deep Flow Technique, DFT) โดยประกอบด้วย 4 ชั้นปลูกแสดงในภาพที่ 1 แบ่งเป็น 2 ชั้นต่อ 1 ชุดการทดลอง ($n = 2$) โดยทำการทดลองทั้งหมด 2 ชุดการทดลองดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 ทำการปลูกผักกรีน โอ๊ค โดยใช้สารละลายมาตรฐาน A/B เพื่อเป็นชุดควบคุม

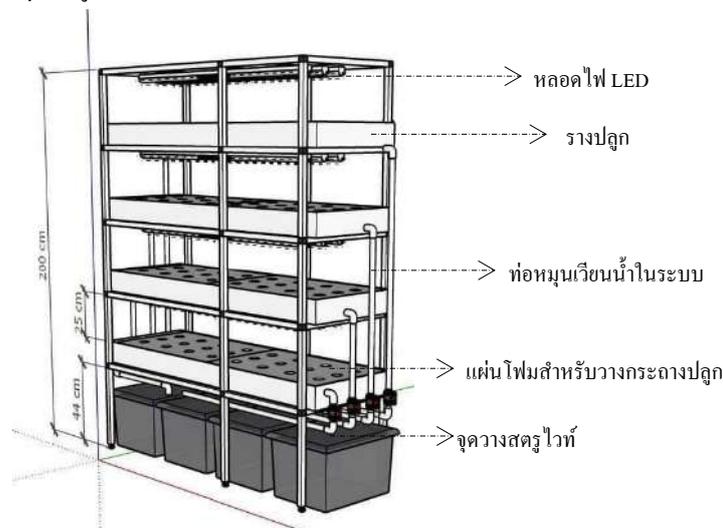
1.1 ชุดควบคุมธาตุอาหารระดับต่ำ อัตราส่วนสารละลายมาตรฐาน A/B ที่อัตราส่วนต่อน้ำ 1 mL: 1L การใช้ชุดควบคุมที่ธาตุอาหารต่ำ (low-nutrient-level control) ซึ่งเป็นระดับที่ต่ำกว่าระดับที่ใช้ในการปลูกจริง มีไว้เปรียบเทียบความแตกต่างของการใช้สตรูไวท์เพื่อเพิ่มธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิคส์ที่ความเข้มข้นของธาตุอาหารต่ำ เทียบหาประสิทธิภาพการเพิ่มผลผลิต ยกระดับธาตุอาหาร และประเมินถึงความสามารถในการใช้สตรูไวท์เพื่อทดแทนธาตุอาหารเดิมในระบบ

1.2 ชุดควบคุมธาตุอาหารระดับสูง อัตราส่วนสารละลายมาตรฐาน A/B ที่อัตราส่วนต่อน้ำ 2 mL: 1L การใช้ชุดควบคุมที่ธาตุอาหารสูง (high-nutrient-level control) มีไว้ใช้เป็นตัวเทียบประสิทธิภาพของสตรูไวท์ในการเพิ่มระดับธาตุอาหารกับระดับที่เทียบเท่ากับระดับไฮโดรโปนิคส์ที่ใช้จริง

ชุดการทดลองที่ 2 ทำการปลูกผักกรีน โอ๊ค โดยใช้สารละลายมาตรฐาน A/B ต่อสตรูไวท์จากการตกตะกอนน้ำเสียสังเคราะห์ โดยการทดลองเน้นไปที่การเติมสตรูไวท์เพื่อเพิ่มระดับธาตุอาหารในชุดควบคุมสารอาหารระดับต่ำ (low-nutrient-level control) จากชุดการทดลองที่ 1.1 จากนั้น จึงนำไปเทียบกับชุดควบคุมในข้อ 1.1 และ 1.2

2.1 สตรูไวท์ 0.5 กรัม/น้ำ 1 ลิตร + ชุดควบคุมธาตุอาหารระดับต่ำ ใช้อัตราส่วนสารละลายมาตรฐาน A/B อัตราส่วนต่อปุ๋ยสตรูไวท์ต่อน้ำ 1 มิลลิลิตร: 0.5 กรัม : 1 ลิตร

2.2 สตรูไวท์ 1.0 กรัม/น้ำ 1 ลิตร + ชุดควบคุมธาตุอาหารระดับต่ำ ใช้อัตราส่วนสารละลายมาตรฐาน A/B อัตราส่วนต่อปุ๋ยสตรูไวท์ต่อน้ำ 1 มิลลิลิตร: 1.0 กรัม : 1 ลิตร



ภาพที่ 1 ระบบไฮโดรโปนิคส์แบบน้ำลึก (Deep Flow Technique, DFT)

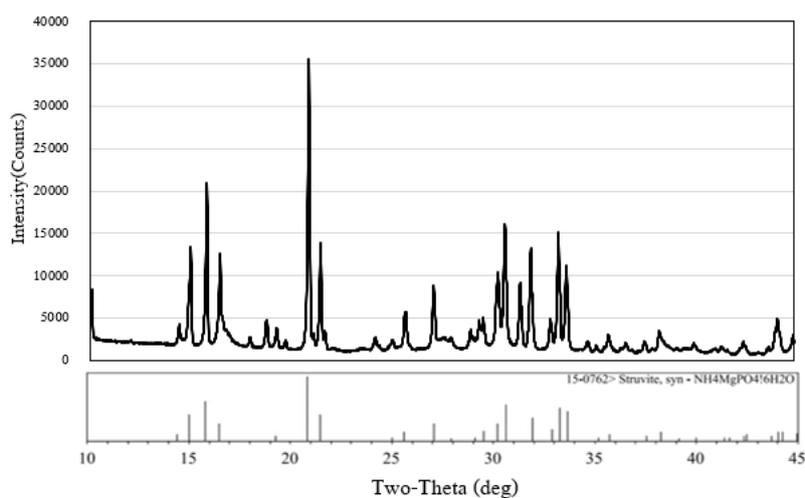
การเตรียมต้นกล้าผักกรีน โอ๊ค โดยทำการเพาะเมล็ดในฟองน้ำขนาด 1×1 นิ้ว จำนวน 1 เมล็ดต่อฟองน้ำ 1 ชั้น รดให้ความชื้นอย่างสม่ำเสมอจนอายุครบ 14 วัน จากนั้นเลือกต้นกล้าที่มีความสมบูรณ์ลงสู่ชั้นปลูกโดย 1 ชั้นปลูกมี 12 ต้น ซึ่งเตรียมธาตุอาหารในระบบก่อน 1-2 วันก่อนนำต้นกล้ามาลง โดยการทดลองที่มีสตรูไวท์ นำสตรูไวท์ที่ตกตะกอนได้จากการสังเคราะห์ไปทำการทุบให้ละเอียดแล้วใส่ลงตาข่าย จากนั้นนำไปติดตั้งไว้บริเวณท่อน้ำหมุนเวียนเพื่อให้เกิดความปั่นป่วนให้ผลึกสตรูไวท์ค่อย ๆ ละลาย โดยจะควบคุมค่าพีเอชของน้ำหมุนเวียนที่ 6.5-7.0 มีการให้แสงสว่างโดยไฟ LED เป็นเวลา 12 ชั่วโมง/วัน ทำการทดลองทั้งหมด 2 ซ้ำ ทำการบันทึก

พารามิเตอร์ ได้แก่ ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณออกซิเจนในน้ำ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณแอมโมเนีย ฟอสเฟต แมกนีเซียม และไนเตรตตลอดระยะเวลาการทดลอง ตั้งแต่ต้นกล้าลงปลูกในระบบจนเจริญเติบโตครบอายุเก็บเกี่ยวที่ 30 วัน หลังจากนั้นทำการวัดผลผลิตได้แก่ น้ำหนักสด ปริมาณฟอสฟอรัส และไนโตรเจนในรูปโปรตีนของต้นพืช โดยรักษาปริมาณน้ำในระบบให้อยู่ที่ 93 ลิตร/ชั้นปลูก จากนั้น นำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง 1 และ 2 มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เพื่อหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่นัยสำคัญร้อยละ 5 ด้วย one-way ANOVA

4. ผลและการวิจารณ์

4.1 ผลการสังเคราะห์สตรูไวท์

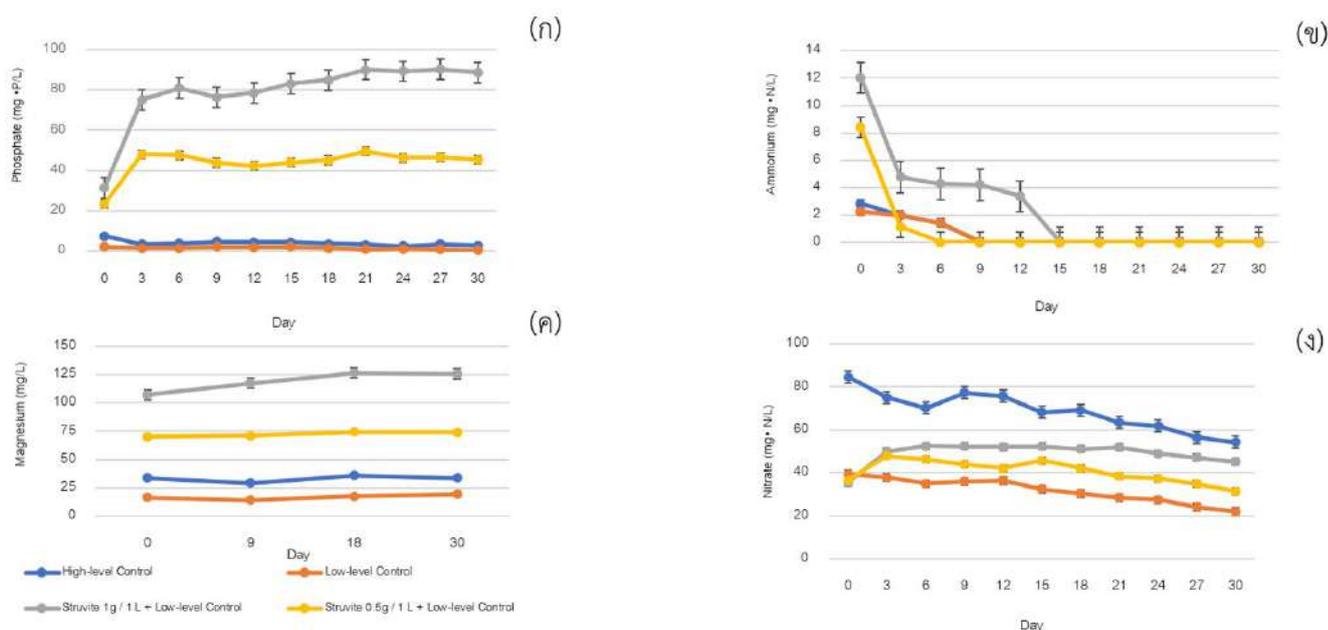
การวิเคราะห์เชิงโครงสร้างโดย XRD ของสตรูไวท์ที่ได้จากการตกผลึกจากน้ำเสียสังเคราะห์และปรับอัตราส่วนโดยโมลของแมกนีเซียมต่อฟอสเฟตเท่ากับ 1:1 ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 9 มีความเป็นผลึกของสารประกอบระหว่างแมกนีเซียม แอมโมเนียม และฟอสเฟต พบว่า ผลึกของสารที่สังเคราะห์ได้มีมุมเลี้ยวเบนที่ความใกล้เคียงกับผลึกของสตรูไวท์จากมุมเลี้ยวเบนอ้างอิง (ภาพที่ 2) เช่น ที่ตำแหน่ง 2-theta 15.1, 15.8, 16.5, 20.9, 21.5, 27.2, 30.7, 31.9, 33.3 และ 33.73 องศา ดังนั้น การตกผลึกนี้ ให้สารที่มีความใกล้เคียงกับสตรูไวท์



ภาพที่ 2 แสดงเฟสและความเป็นผลึกสตรูไวท์จากน้ำเสียสังเคราะห์

4.2 ระดับธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิคส์

ภาพที่ 3 แสดงถึง ระดับของธาตุอาหารใน (1) ชุดควบคุมธาตุอาหารระดับต่ำ (low-level control) (2) ชุดควบคุมธาตุอาหารระดับสูง (high-level control) (3) สตรูไวท์ 0.5 กรัม/น้ำ 1 ลิตร ร่วมกับ ชุดควบคุมธาตุอาหารระดับต่ำ (struvite 0.5 g/L + low-level control) และ (4) สตรูไวท์ 1.0 กรัม/น้ำ 1 ลิตร ร่วมกับ ชุดควบคุมธาตุอาหารระดับต่ำ (struvite 1g/L + low-level control)



ภาพที่ 3 ระดับธาตุอาหารในระบบไฮโดรโปนิคส์ตลอดระยะเวลา 30 วัน

(ก) ฟอสเฟต (ข) แอมโมเนียม (ค) แมกนีเซียม (ง) ไนเตรต

4.2.1 ปริมาณฟอสเฟต

ผลการตรวจวัดคุณภาพ น้ำที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักกรีน โอ๊คทั้ง 4 ชุดการทดลอง พบว่า ปริมาณของฟอสเฟตที่ตรวจวัดในช่วงเริ่มต้นของชุดควบคุมธาตุอาหารระดับสูง และชุดควบคุมธาตุอาหารระดับต่ำ นั้นมีค่า 7.4 มิลลิกรัม ฟอสเฟต/ลิตร และ 2.1 มิลลิกรัม ฟอสเฟต/ลิตร ตามลำดับ จากนั้น มีความเข้มข้นลดลงไปจนครบระยะเวลาเก็บเกี่ยว 2.8 และ 0.4 มิลลิกรัม ฟอสเฟต/ลิตร ตามลำดับ ในทางกลับกัน ในชุดการทดลอง สตรูไวท์ 0.5 กรัม ต่อ น้ำ 1 ลิตร ร่วมกับธาตุอาหารระดับต่ำ และ สตรูไวท์ 1.0 กรัม ต่อ น้ำ 1 ลิตร ร่วมกับธาตุอาหารระดับต่ำ

ในช่วงเวลาเดียวกันกลับพบความเข้มข้นของฟอสเฟตที่ 23.5 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส/ลิตร และ 31.5 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าชุดควบคุมทั้งสองอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และมีปริมาณเพิ่มขึ้นถึง 10 เท่า และ 15 เท่า และ ตามลำดับ อีกทั้งพบว่าปริมาณความเข้มข้นของฟอสเฟตมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น หลังจากผ่านวันที่ 3 ของการทดลอง แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการละลายซ้ำของสตรูไวท์ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Rech et al., 2018) พบว่าสตรูไวท์มีร้อยละการละลายต่ำในตัวอย่างที่ พีเอช 7.5 ถึง 8 และจะเห็นถึงความคงที่ของฟอสเฟตตลอดจนครบระยะเวลาเก็บเกี่ยวที่ 30 วัน แสดงได้ดังภาพที่ 3 (ก)

4.2.2 ปริมาณแอมโมเนียม

ผลการตรวจวัดคุณภาพแอมโมเนียม ภาพที่ 3 (ข) เริ่มวันที่ 0 ปริมาณความเข้มข้นของชุดการทดลอง สตรูไวท์ 0.5 กรัม และ 1.0 กรัม ต่อ น้ำ 1 ลิตร มีค่าแอมโมเนียม 8.4 มิลลิกรัม ไนโตรเจน/ลิตร และ 12.4 มิลลิกรัม ไนโตรเจน/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าเมื่อเทียบกับชุดควบคุมธาตุอาหารระดับสูงและชุดควบคุมธาตุอาหารระดับต่ำอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) หลังจากนั้น ความเข้มข้นของแอมโมเนียมลดลง โดยชุดการทดลอง สตรูไวท์ 0.5 และ 1.0 กรัม ต่อ น้ำ 1 ลิตร ตรวจไม่พบความเข้มข้นของแอมโมเนียหลังจากระยะเวลาผ่านไป 6 และ 15

วัน ตามลำดับ โดยไนโตรเจนที่ลดลงคาดว่าเกิดจากพืชดูดซึมเพื่อนำไปใช้ในการเจริญเติบโต และเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 30 วัน พบว่าปริมาณความเข้มข้นของแอมโมเนียของทั้ง 4 ชุดการทดลองไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) เนื่องจากสัดส่วนของแอมโมเนียในสตรูโวที่มีปริมาณน้อย ซึ่งสอดคล้องกับวิจัยของ (สุธา ขาวเชิร, 2555) พบว่า ในตะกอนสตรูโวที่ 100 กรัม มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด 14.24 กรัม และมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 1.47 กรัม

4.2.3 ปริมาณแมกนีเซียม

ผลการตรวจวัดคุณภาพ จากภาพ ภาพที่ 3 (ค) ทั้ง 4 ชุดการทดลองพบความเข้มข้นของแมกนีเซียมในช่วงเริ่มต้น พบว่าปริมาณของแมกนีเซียมที่ตรวจวัดในช่วงเริ่มต้นของชุดควบคุมธาตุอาหารระดับสูง และชุดควบคุมธาตุอาหารระดับต่ำนั้นมีค่า 33.8 มิลลิกรัม/ลิตร และ 16.7 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ในส่วนของชุดการทดลองที่ใช้สตรูโวที่ปริมาณ 0.5 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตรร่วมกับธาตุอาหารระดับต่ำ และ 1 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตรร่วมกับธาตุอาหารระดับต่ำ มีค่า 70.37 และ 107.37 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยปริมาณความเข้มข้นของแมกนีเซียมเปลี่ยนแปลงไปต่อเวลาค่อนข้างคงที่ เนื่องจากเป็นธาตุอาหารที่ช่วยในการเคลื่อนย้ายฟอสฟอรัสในพืชซึ่งเป็นธาตุอาหารเสริม (โสระชา ร่วมรังษี, 2544)

4.2.4 ปริมาณไนเตรต

ผลการตรวจวัดคุณภาพไนเตรต แสดงดังภาพที่ 3 (ง) พบว่าชุดควบคุมธาตุอาหารระดับสูงมีปริมาณความเข้มข้นของไนเตรตสูงที่สุดตลอดระยะเวลาการทดลองโดยในเริ่มต้นการทดลอง มีค่า 84.6 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร และวันที่ 30 มีค่า 54.4 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร แต่ชุดควบคุมธาตุอาหารระดับต่ำนั้นมีความเข้มข้นของไนเตรตใกล้เคียงกับชุดการทดลองสตรูโวที่ 0.5 กรัม/น้ำ 1 ลิตร และ สตรูโวที่ 1.0 กรัม/น้ำ 1 ลิตร ($p > 0.05$) แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปจะเห็นได้ว่าชุดควบคุมธาตุอาหารระดับต่ำจะมีปริมาณไนเตรต ลดลงอย่างต่อเนื่อง แต่ชุดการทดลองที่เติมสตรูโวที่ทั้ง 2 ชุดมีการรักษาระดับของปริมาณไนเตรตที่สูงกว่าชุดควบคุมธาตุอาหารระดับต่ำ ($p < 0.05$) เป็นผลมาจากการละลายตัวของสตรูโวที่ โดยพืชสามารถดูดซึมไนโตรเจนในรูปไนเตรตและแอมโมเนียมาใช้ในการเจริญเติบโตซึ่งพืชใช้ไนโตรเจนในการสร้าง กรดนิวคลีอิก กรดอะมิโน โปรตีน และน้ำตาล เพราะฉะนั้นไนโตรเจนจึงเป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก ดังนั้นไนโตรเจนมักจะเป็นตัวกำหนดการเจริญเติบโตของพืช (ปัทมา วิทยากร แรมโบ, 2557)

4.3 ค่าพารามิเตอร์ด้านสภาพแวดล้อมของการเดินระบบของไฮโดรโปนิคส์

ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำตั้งแต่เริ่มต้นปลูกผักกึ้นไอ้จนถึงระยะเก็บเกี่ยว โดยรักษาระดับออกซิเจนละลายน้ำค่าสภาพการนำไฟฟ้า และระดับพีเอช ให้อยู่ค่าที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช พบว่าปริมาณของออกซิเจนที่ละลายในน้ำตลอดระยะเวลาการทดลองอยู่ที่ 6.7-6.9 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งบ่งบอกถึงน้ำที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ในการตรวจวัดค่า สภาพการนำไฟฟ้า หรือ Electrical Conductivity (EC) พบว่าสตรูโวที่ 1.0 กรัม/น้ำ 1 ลิตร มีค่า EC เฉลี่ยสูงที่สุดคือ 1.3 mS/cm (1.1-1.3 mS/cm) มากกว่าชุดควบคุมธาตุอาหารระดับสูง ที่ 1.2 mS/cm (1.2-1.4 mS/cm) ซึ่งบ่งบอกถึงปริมาณความเข้มข้นของสารละลายธาตุอาหารที่อยู่ในน้ำ ส่วนสตรูโวที่ 0.5 กรัม ต่อน้ำ 1 ลิตรมีค่าเฉลี่ย 1.1 mS/cm (0.9 -1.1 mS/cm) ทำให้มีความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำสตรูโวที่ มาทดแทนการใช้สารละลายมาตรฐาน A/B ได้ดีกว่าการพึ่งพาปุ๋ยเคมี A/B แบบดั้งเดิมเพียงอย่างเดียว ส่วนชุดที่มีค่าน้อยที่สุด คือ ชุดควบคุมธาตุอาหารต่ำอยู่ที่ 0.9 mS/cm (0.8-0.9 mS/cm) เป็นผลมาจากในชุดการทดลองมีเพียงสารละลายมาตรฐาน A/B เพียงแค่ครั้งเดียวของปกติเท่านั้น สำหรับการตรวจวัดค่าพีเอช อยู่ในช่วง 6.4-7.0 ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมทั้งในการเจริญเติบโตของพืชและการละลายตัวของปุ๋ยสตรูโวที่ โดยจากงานวิจัย

ของ (รอบรู้ รั้งสิเวก, 2560) สตรูไวท์จะละลายตัวได้ดีในช่วงพีเอช ต่ำกว่า 8.5 โดยพีเอชในระบบไฮโดรโปนิคส์ที่เหมาะสมสำหรับพืชจะอยู่ในช่วง 5.5-6.5

4.4 ผลผลิตที่ได้จากระบบไฮโดรโปนิคส์

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักผักเฉลี่ยต่อหัว ปริมาณฟอสฟอรัส และไนโตรเจนเฉลี่ยต่อน้ำหนักสดในระบบ

Experiments	Plant weight per head (g)	Phosphorus and nitrogen in plants	
		Phosphorus (mg/100 g)	Nitrogen as protein (g/100g)
Low-level Control	64.37 (30.6-124.58)	41.13 (39.27-42.65)	1.14 (1.00-1.28)
High-level Control	76.21 (35.76-147.72)	39.77 (37.46-41.17)	1.12 (0.99-1.24)
Struvite 0.5g / 1 L + Low-level Control	75.48 (30.84-132.86)	37.45 (37.41-37.5)	1.09 (1.06-1.12)
Struvite 1g / 1 L + Low-level Control	75.08 (34.36-150.99)	50.73 (44.54-56.92)	1.30 (1.25-1.37)

จาก ตารางที่ 1 น้ำหนักผักกรีนโอ๊ค (สด) เฉลี่ยสูงสุด คือ ชุดควบคุมธาตุอาหารระดับสูงที่ 76.2 กรัม โดยชุดการทดลองสตรูไวท์ 0.5 กรัม ต่อน้ำ 1 ลิตร และ สตรูไวท์ 1.0 กรัม ต่อน้ำ 1 ลิตร มีน้ำหนักเฉลี่ยแตกต่างกันเพียงร้อยละ 0.5 บ่งบอกได้ว่าปริมาณของการเพิ่มสัดส่วนของสตรูไวท์ที่ไม่ส่งผลต่อน้ำหนักของผลผลิต แม้ความเข้มข้นของธาตุอาหารในน้ำจะมีความแตกต่างกันดังแสดงใน ภาพที่ 3 ทำให้การนำสตรูไวท์มาทดแทนสารละลายมาตรฐาน A/B ที่ลดลงได้ จากค่าฟอสฟอรัสและไนโตรเจนในผักกรีนโอ๊ค พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในและไนโตรเจนในรูปโปรตีนสูงสุด อยู่ในชุดการทดลอง สตรูไวท์ 1.0 กรัม ต่อน้ำ 1 ลิตร มากที่สุด ที่ 50.7 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และ 1.3 กรัมต่อ 100 กรัม แสดงให้เห็นว่าการนำสตรูไวท์มาใช้ทดแทนสารละลายมาตรฐาน A/B ที่ลดลงไปนั้นมีประสิทธิภาพและยังสามารถนำไปปลูกผักสลัดชนิดอื่นได้ เช่น เรดโอ๊ค บัตเตอร์เฮด ผักสลัดคอสมอส เนื่องจากเป็นพืชที่ต้องการสารอาหารที่ไม่แตกต่างกันมากนัก

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

การนำไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ในรูปแบบของสตรูไวท์นั้นเป็นวิธีการเพิ่มมูลค่าของทรัพยากรที่มีศักยภาพ และให้ความสำคัญต่อทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไป ซึ่งจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า สามารถนำสตรูไวท์ที่ตกตะกอนมาจากน้ำเสียสังเคราะห์นั้นมาใช้ทดแทนสารละลายมาตรฐาน A/B ที่ลดลงไปได้ โดยแม้ว่าปริมาณของธาตุอาหารจะแตกต่างกันแต่ก็เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของพืช จะเห็นได้ว่าน้ำหนักของผักสดนั้น ไม่แตกต่างกัน จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำสตรูไวท์ที่ตกตะกอนจากน้ำเสียชุมชนมาใช้ในการทดลองปลูกพืชในระบบไฮโดรโปนิคส์

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณทุนอุดหนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนทุนวิจัยตลอด โครงการวิจัย และยังทำให้คณะผู้วิจัยสามารถนำผลงานที่ได้ไปต่อยอดเพื่อพัฒนาแนว

ทางการนำกลับของธาตุอาหารจากระบบบำบัดน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ และคณะผู้วิจัยคาดว่าน่าจะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบและเดินระบบของระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อกำจัดไนโตรเจนของเมืองไทยในอนาคต

7. เอกสารอ้างอิง

- ปีทมา วิตยากร แรมโบ. (2557). ความอุดมสมบูรณ์ของดินและโภชนาการพืช[ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 21 มกราคม 2566. จาก https://ag2.kku.ac.th/eLearning/132351/Doc/132351_Lec_10-2_Nitrogen-57.pdf
- รอบรู้ รังสิเวศ. (2560). การผลิตปุ๋ยสตรูไวท์จากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากโรงงานเกษตรอุตสาหกรรมและฟาร์มสุกร. งานวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- สุธา ชาวเขียว. 2555. การบำบัดธาตุอาหารของพืชที่ปนเปื้อนในน้ำเสียและการนำกลับมาใช้ใหม่ด้วยกระบวนการทางเคมี. ในการสัมมนาเผยแพร่ ผลงานวิจัย. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, เชียงราย.
- โสธรยา ร่วมรังษี. (2544). การผลิตพืชสวนแบบไม่ใช้ดิน. โอเดียนสโตร์: กรุงเทพฯ.
- I. Stratful, M. D. S. a. J. N. L. (2001). Condition influencing the precipitation of magnesium ammonium phosphate. *Water Research*, 35(17), 4191-4199
- Ioná Rech, Paul J. A. Withers, Davey L. Jones, & Pavinato, P. S. (2018). Solubility, Diffusion and Crop Uptake of Phosphorus in Three Different Struvites. *Sustainability*, 11.
- Jaffer.Y, Clark.T.A, & Pearce.P. (2001). Potential phosphorus recovery by struvite formation. *Water Research*, 36, 1834-1842.
- Jasinski S.M. (2006). In mineral commodity summaries. US Geological Survey: Virginia.
- Kemacheevakul, P., Polprasert, C., & Shimizu, Y. (2011). Phosphorus recovery from human urine and anaerobically treated wastewater through pH adjustment and chemical precipitation. *Environ Technol*, 32(7-8), 693-698. doi:10.1080/09593330.2010.510537

การศึกษาผลของน้ำหมักและเอนไซม์จาก *Bacillus Subtilis* BTK07 และ
Paenibacillus Polymyxa BTK01 ต่อการงอกและเจริญของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊ค
Study on The Effect of Fermented Broth and Enzymes from *Bacillus Subtilis*
BTK07 and *Paenibacillus Polymyxa* BTK01 on Germination and Growth of
Green Oak Lettuce

กัญญารัตน์ กสิณศักดิ์

สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: kanyarat.kasi@dome.tu.ac.th

สุดาทิพย์ จันทร

สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: sudathip@tu.ac.th

บทคัดย่อ

ผักสลัดกรีนโอ๊ค (*Lactuca sativa* Var. *Crispa* L) เป็นผักกินใบชนิดหนึ่ง มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในประเทศไทย โดยมีปัญหาด้านการเพาะกล้าคือเมล็ดมีขนาดเล็ก รูปร่างเรียวยาวแบน และน้ำหนักเบา ส่งผลให้อัตราการงอกต่ำ การศึกษาการผลิตเอนไซม์และฮอร์โมนพืชจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 พบว่า BTK07 ผลิตแมนแนนเนส 0.444 ± 0.126 U/mg และ IAA 0.37 mg/l และ BTK01 ผลิตไซลลันเนส 0.193 ± 0.015 U/mg และ IAA 0.27 mg/l การศึกษาผลของเอนไซม์และน้ำหมักต่อการงอกและเจริญของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊ค โดยวิธีการแช่เมล็ดประกอบด้วย 5 ทริตเมนต์ ดังนี้ 1) น้ำกลั่น 2) เอนไซม์ BTK01 3) เอนไซม์ BTK07 4) น้ำหมัก BTK01 และ 5) น้ำหมัก BTK07 ในสภาวะการเพาะเมล็ดในที่มืด ที่สว่างและสลบสภาวะ ผลการทดลองพบว่าแช่เมล็ดในน้ำหมัก BTK07 แล้วเพาะเมล็ดในที่มืดสลบที่สว่าง ส่งผลให้ร้อยละของการงอก ความเร็วในการงอก และความยาวรากสูงสุดร้อยละ 100 ± 0.00 3.93 ± 0.00 ดัน/วัน และ 74.23 ± 2.40 มิลลิเมตร ตามลำดับ

คำสำคัญ: ผักสลัดกรีนโอ๊ค, *Bacillus subtilis* BTK07, *Paenibacillus polymyxa* BTK01, การงอกของเมล็ด

ABSTRACT

Green oak lettuce (*Lactuca sativa* Var. *Crispa* L) is a leaf vegetable that has economic importance in Thailand. Green oak lettuce seed had a problem; the seeds are small, flat in shape, and light weight, resulting in low germination. The study of enzymes and plant hormone production in *Bacillus subtilis* BTK07 and *Paenibacillus polymyxa* BTK01 found that BTK07 produced mannanase 0.444 ± 0.126 U/mg and IAA 0.37 mg/l and BTK01 produced xylanase 0.193 ± 0.015 U/mg. and IAA 0.27 mg/l. The study effects of enzymes and

fermented broth on the germination and growth of green oak seeds. The seed soaking method consists of 5 treatments as follows: 1) distilled water, 2) BTK01 enzyme, 3) BTK07 enzyme, 4) BTK01 fermented broth, and 5) BTK07 fermented broth cultivation in the dark, light and alternating conditions. The results showed that the seeds were soaked in BTK07 fermented broth and then seeding in alternating dark and light. As a result, the percentage of germination, speed of germination and root length were maximum $100\pm 0.00\%$, 3.93 ± 0.00 plants/day, and 74.23 ± 2.40 mm, respectively.

Keywords: green oak lettuce, *Bacillus subtilis* BTK07, *Paenibacillus polymyxa* BTK01, seed germination

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ผักสลัดกรีนโอ๊ค (*Lactuca sativa* Var. *Crispa* L) จัดอยู่ในวงศ์ *Asteraceae* มีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชียและยุโรป ในประเทศไทยนิยมปลูกและบริโภคกันมากกว่าผักสลัดชนิดอื่น ๆ ใบมีลักษณะอ่อนนุ่ม รูปทรงน่ารับประทาน สามารถรับประทานสดโดยไม่ต้องปรุงแต่งอาหาร จึงนิยมนำไปประกอบเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ เนื่องจากอุดมไปด้วยแคลเซียม วิตามินเอ วิตามินซี และวิตามินอี นอกจากนี้ยังมีรงควัตถุ เช่น คลอโรฟิลล์ และแคโรทีนอยด์ ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยป้องกันโรคหัวใจ โรคเบาหวาน และช่วยลดความเสี่ยงจากโรคมะเร็ง (Tae-Rang et al., 2011) ผักสลัดกรีนโอ๊คยังปลูกได้ตลอดทั้งปี และมีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น จึงเป็นพืชที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจที่สามารถสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกร แต่ปัญหาที่พบคือการเพาะกล้าเนื่องจากเมล็ดพันธุ์กรีนโอ๊คมีขนาดเล็ก รูปร่างแบน และน้ำหนักเบา จึงทำให้ต้องนำเข้าเมล็ดพันธุ์จากต่างประเทศส่งผลให้เมล็ดพันธุ์มีราคาสูงและต้นทุนการผลิตสูงขึ้นตาม การแช่เมล็ดเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถส่งเสริมการงอกของเมล็ดโดยอาศัยหลักการการนำพาสารออกฤทธิ์ให้ติดไปกับเมล็ดพันธุ์ (Deshmukh et al., 2020) โดยการใช้ประโยชน์จากแบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช หรือ Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) มีคุณสมบัติเป็นผู้ย่อยสลายอินทรีย์วัตถุให้เป็นธาตุอาหารอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์แก่พืช การตรึงไนโตรเจน การผลิตฮอร์โมนพืช การผลิตสารปฏิชีวนะยับยั้งเชื้อรา และการผลิตเอนไซม์หลายชนิด (Glick, 2014) เช่น แมนนเนส (mannanase) กาแลคโตซิเดส (galactosidase) แมนโนซิเดส (mannosidase) และไซลันเนส (xylanase) ซึ่งส่งเสริมการคลายตัวของผนังเซลล์พืช และการอ่อนตัวของเอนโดสเปิร์มระหว่างการงอกของเมล็ดผักกาดหอม (Zhu et al., 2012) ดังนั้นการประยุกต์ใช้น้ำหมักที่ประกอบไปด้วยเซลล์แบคทีเรียและเอนไซม์จาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 เพื่อส่งเสริมการงอกของเมล็ดพันธุ์จึงสนับสนุนกับนโยบาย BCG Economy หรือเศรษฐกิจชีวภาพ เศรษฐกิจหมุนเวียน และเศรษฐกิจสีเขียว (Bio-Circular-Green Economy) เป็นโมเดลเศรษฐกิจสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน ที่มุ่งเน้นการนำความรู้ด้านเทคโนโลยีชีวภาพมาใช้เพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรเพื่อผลผลิตที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคและลดต้นทุนการผลิตของเกษตรกร

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาคุณสมบัติของน้ำหมักและเอนไซม์จาก *B. subtilis* BTK07 และ *P. polymyxa* BTK01 และประสิทธิภาพในการส่งเสริมการงอกและการเจริญของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊ค

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 ผักสลัดกรีนโอ๊ค

ผักสลัดกรีน โอ๊คมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Lactuca sativa* Var. *Crispa* L อยู่ในวงศ์ *Asteraceae* ลักษณะโดยทั่วไปใบมีสีเขียวอ่อนหรือเขียวเข้ม ขอบใบหยัก ลำต้นอวบสั้น ช่วงข้อถี่ใบเจริญจากข้อเป็นกลุ่ม มีระบบรากแก้ว อายุการเก็บเกี่ยวสั้น เจริญเติบโตง่ายทนต่อสภาพอากาศร้อน ในประเทศไทยนิยมปลูกมากกว่าสายพันธุ์อื่น ๆ แต่เนื่องจากเมล็ดผักสลัดกรีน โอ๊คมีขนาดเล็ก รูปร่างแบน น้ำหนักเบาเนื่องจากอาหารสะสมในเมล็ดน้อย แสดงดังภาพที่ 1 การเพาะเมล็ดผักสลัดจึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการผลิต ซึ่งวิธีการแช่เมล็ดสามารถนำพาสารออกฤทธิ์ชนิดต่าง ๆ ที่มีความจำเป็นต่อการงอกให้ติดไปกับเมล็ดพันธุ์ได้ เช่น แบคทีเรียส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช ธาตุอาหารพืช สารป้องกันโรคและแมลง และสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช เป็นต้น (Deshmukh et al., 2020) ส่งผลให้เมล็ดมีความงอกสม่ำเสมอ ไม่เกิดโรคในระยะต้นกล้าตลอดจนได้ต้นกล้าที่แข็งแรงสำหรับการเพาะปลูก



ภาพที่ 1 ลักษณะใบและเมล็ดของผักสลัดกรีน โอ๊ค

3.2 แบคทีเรียที่ใช้ในงานวิจัย

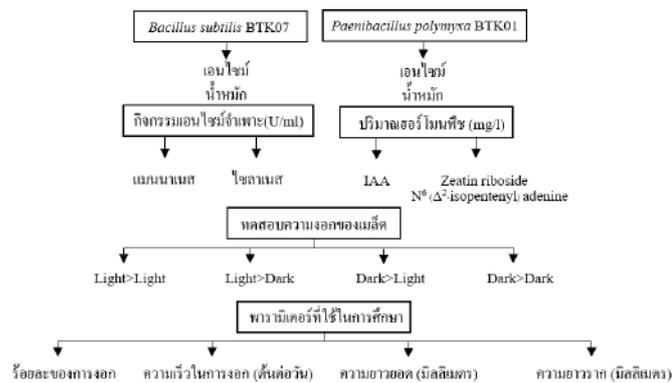
3.2.1 *Bacillus subtilis* BTK07

เป็นแบคทีเรียแกรมบวกรูปร่างแท่งมี flagella อยู่รอบเซลล์ ไม่ก่อโรคทั้งในคนและสัตว์ สามารถสร้างเอนโดสปอร์ ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต จากงานวิจัยของ Chantorn et al., (2021) คัดแยกแบคทีเรียดังกล่าวได้จากดินในนาข้าวอินทรีย์ พบว่าสามารถผลิตเอนไซม์แมนนาเนส 0.440 ± 0.000 หน่วยต่อมิลลิลิตร จากงานวิจัย Abbasdokht and Gholami (2010) มีการประยุกต์ใช้ *Bacillus* sp. เป็นปุ๋ยชีวภาพเนื่องจากความสามารถในการผลิตสารส่งเสริมการเจริญของพืช เช่น ออกซิน (auxin) จิบเบอเรลลิน (gibberellin) ไซโตไคนิน (cytokinin) และซิดอร์โรเฟอร์ (siderophore) และจากงานวิจัยของ Ataei Somagh et al., (2017) พบว่า *B. subtilis* ผลิตไซโตไคนินส่งผลให้ร้อยละของการงอก ความยาวราก และดัชนีความแข็งแรงของต้นผักกาดก้านขาว (*Brassica napus* L.) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

3.2.2 *Paenibacillus polymyxa* BTK01

เป็นแบคทีเรียแกรมบวกรูปร่างแท่ง ไม่ก่อโรคในคนและสัตว์ สามารถสร้างเอนโดสปอร์ เจริญเติบโตได้ในสภาวะที่มีออกซิเจน และไม่มีออกซิเจน พบได้ใน ดิน พืช ตะกอนในทะเล หรือแม้แต่ในตัวอ่อนของแมลง จากงานวิจัยของ Chantorn et al., (2021) คัดแยกแบคทีเรียดังกล่าวได้จากดินในนาข้าวอินทรีย์ พบว่าสามารถผลิตเอนไซม์เซลแลเนส 0.905 ± 0.016 หน่วยต่อมิลลิลิตร สอดคล้องกับงานวิจัยของ Eastman et al (2014) พบว่า *P. polymyxa* E681 คัดแยกได้จากดินบริเวณรอบรากพืชสามารถเพิ่มการละลายฟอสฟอรัส ผลิต indole acetic acid (IAA) เอนไซม์ และสารต้านจุลชีพได้ และงานวิจัยของ Kandasamy et al., (2019) พบว่า *P. polymyxa* ส่งผลให้เกิดความหลากหลายของจุลินทรีย์ในดินที่สนับสนุนการเจริญของพืชทั้งด้านความยาวยอดและน้ำหนักของรากในข้าวสาลีให้เพิ่มขึ้น

3.3 กรอบแนวคิดในการวิจัย



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

3.4 สมมติฐานการวิจัย

น้ำหมักและเอนไซม์จาก *B. subtilis* BTK07 และ *P. polymyxa* BTK01 มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมการงอกและการเจริญของเมล็ดพืชผักสลัดกรีนโอ๊ค

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวิจัย

- 4.1 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Metertech SP-830 Plus, Taipei, Taiwan)
- 4.2 เครื่อง High-Performance Liquid Chromatography (HPLC) (Shimadzu, Kyoto, Japan)
- 4.3 เวอร์เนียร์คาลิเปอร์
- 4.4 เมล็ดพืชผักสลัดกรีนโอ๊ค (HI-Q AGRICULTURAL, Bangkok, Thailand)

4.2 การเตรียมกล้าเชื้อ

นำเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01 เพาะเลี้ยงในอาหารเหลว nutrient broth (NB) 100 มิลลิลิตร บ่มในเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง เพื่อใช้เป็นกล้าเชื้อสำหรับการผลิตน้ำหมักและเอนไซม์

4.3 การผลิตน้ำหมักและเอนไซม์

นำกล้าเชื้อจากข้อ 4.2 ถ่ายลงในอาหารที่ประกอบได้โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 4.0 กรัม โพแทสเซียมคลอไรด์ 0.2 กรัม แมกนีเซียมซัลเฟต 1.0 กรัม เฟอร์รัสซัลเฟต 0.02 กรัม คากมะพร้าว 10.0 กรัม และกากถั่วเหลือง 12.9 กรัม สำหรับ *B. subtilis* BTK07 ฟางข้าว 15.0 กรัม และกากถั่วเหลือง 17.2 กรัม สำหรับ *P. polymyxa* BTK01 (Chantorn et al, 2021) ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร บ่มในเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 30 และ 37 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เป็นเวลา 20 ชั่วโมง แยกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเก็บสารละลายเพื่อใช้เป็นน้ำหมัก ส่วนที่ 2 นำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที เทส่วนตะกอนเซลล์ทิ้งเก็บเฉพาะส่วนใสเพื่อใช้เป็นเอนไซม์

4.4 การวิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์จำเพาะ

วิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์โดยหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี 3,5-dinitrosalicylic acid (DNS) (Miller, 1959) โดยเติมน้ำหมักหรือเอนไซม์จากข้อ 4.3 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ลงใน 0.5 มิลลิลิตร สารละลาย

ฟอสเฟตบัพเฟอร์พีเอช 7.0 ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ที่มีโลคัสบินกัม (locust bean gum) เป็นสารตั้งต้นสำหรับแมนแนนส และ เบิร์ชวู้ดไซแลน (birchwood xylan) เป็นสารตั้งต้นสำหรับไซแลนส บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส 10 นาที แล้ววัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้น กำหนดให้ 1 หน่วยของเอนไซม์คือปริมาณเอนไซม์ที่ใช้ย่อยสารตั้งต้นแล้วได้ผลิตภัณฑ์ 1 ไมโครโมลต่อนาที ภายใต้สภาวะที่ทดสอบ

วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนด้วยวิธีฟอลิน-โลว์รี (Folin-Lowry method) (OH, 1951) โดยเติมน้ำหมักหรือเอนไซม์จากข้อ 4.3 ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ลงใน 0.5 มิลลิลิตร สารละลาย alkali copper ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 10 นาที เติม 0.5 มิลลิลิตร Folin-Ciocalteu reagent ผสมให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร คำนวณปริมาณโปรตีนจากกราฟมาตรฐาน bovine serum albumin (BSA) แล้วคำนวณเป็นกิจกรรมเอนไซม์จำเพาะ ดังแสดงในสมการที่ 1

$$\text{กิจกรรมเอนไซม์จำเพาะ (หน่วยต่อมิลลิกรัมโปรตีน)} = \left(\frac{\text{กิจกรรมของเอนไซม์}}{\text{ปริมาณโปรตีน}} \right) \quad (1)$$

4.5 การวิเคราะห์ปริมาณฮอร์โมนพืช

วิเคราะห์ปริมาณฮอร์โมนพืช indole-3-acetic acid (IAA) และไซโตไคนิน (cytokinin, CK) ในรูป N⁶ (Δ^2 -isopentenyl) adenine และ zeatin riboside ด้วยเครื่อง High-performance liquid chromatography (HPLC) โดยคอลัมน์ C 18 (150 mm x 4.6 mm) และคอลัมน์ Poroshell 120, EC-C18 (100 mm x 4.6 mm) ใช้เครื่องตรวจวัดสารชนิด fluorescence (RF-20A) และ diode array (CTO-20AC) ตรวจสอบค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 285 และ 260 นาโนเมตร สำหรับ IAA และ CK ตามลำดับ

4.6 การศึกษาการงอกและการเจริญของเมล็ด

เมล็ดผักสลัดกรีน ไอคแซ่ข้ามคืนในน้ำหมักและเอนไซม์จากข้อ 4.3 จากนั้นทดสอบความงอกโดยวิธี top of paper (TP) ตามกฎของการทดสอบความงอกสากล (ISTA, 2016) ในภาชนะที่มีฝาปิดสนิท ในตู้เพาะเมล็ดอุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 80 ความเข้มแสง 90 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ทดสอบการงอกในสภาวะต่าง ๆ เป็นเวลา 7 วัน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การวางแผนการทดลองการงอกของเมล็ดด้วยวิธีการแช่เมล็ด

Treatment ของเมล็ดผักสลัดกรีนไอคแซ่	สภาวะที่ใช้ในการทดสอบการงอก			
	สว่าง 7 วัน (Light>Light)	สว่าง 4 วันมืด 3 วัน (Light>Dark)	มืด 4 วันสว่าง 3 วัน (Dark>Light)	มืด 7 วัน (Dark>Dark)
1. น้ำกลั่น	30	30	30	30
2. เอนไซม์ <i>Paenibacillus polymyxa</i> BTK01	30	30	30	30
3. เอนไซม์ <i>Bacillus subtilis</i> BTK07	30	30	30	30
4. น้ำหมัก <i>Paenibacillus polymyxa</i> BTK01	30	30	30	30
5. น้ำหมัก <i>Bacillus subtilis</i> BTK07	30	30	30	30
จำนวนเมล็ด	150	150	150	150

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษามีดังนี้

(1) ร้อยละของการงอก

ตรวจนับจำนวนเมล็ดที่งอกเป็นต้นกล้าปกติหลังการเพาะเป็นเวลา 7 วัน แล้วนำมาประเมินผลตามหลักการงอกสากล (ISTA, 2016) ดังแสดงในสมการที่ 2

$$\text{ร้อยละของการงอก} = \left(\frac{\text{จำนวนเมล็ดที่งอกเป็นต้นกล้าปกติ}}{\text{จำนวนเมล็ดที่เพาะ}} \right) \times 100 \quad (2)$$

(2) ความเร็วในการงอก (ต้นต่อวัน)

ตรวจนับจำนวนเมล็ดที่งอกหลังการเพาะวันที่ 4 วัน (first count) และ 7 วัน (final count) แล้วนำมาประเมินผลตามหลักการงอกสากล (ISTA, 2016) ดังแสดงในสมการที่ 3

$$\text{ความเร็วในการงอก (ต้นต่อวัน)} = \left(\frac{\text{จำนวนต้นกล้าปกติ 4 วันหลังเพาะ}}{\text{จำนวนวันที่ตรวจนับครั้งแรก (4 วัน)}} + \frac{\text{จำนวนต้นกล้าปกติ 7 วันหลังเพาะ}}{\text{จำนวนวันที่ตรวจนับครั้งสุดท้าย (7 วัน)}} \right) \quad (3)$$

(3) ความยาวยอด (มิลลิเมตร)

ตรวจวัดความยาวยอด เมื่อต้นกล้าอายุ 7 วัน ทำการสุ่มต้นกล้าหลังจากการเพาะจำนวน 10 ต้นต่อซ้ำ จากนั้นใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์วัดความยาวตั้งแต่โคนต้นจนถึงส่วนยอด

(4) ความยาวราก (มิลลิเมตร)

ตรวจวัดความยาวราก เมื่อต้นกล้าอายุ 7 วัน ทำการสุ่มต้นกล้าหลังจากการเพาะจำนวน 10 ต้นต่อซ้ำ จากนั้นใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์วัดความยาวตั้งแต่โคนต้นจนถึงปลายราก

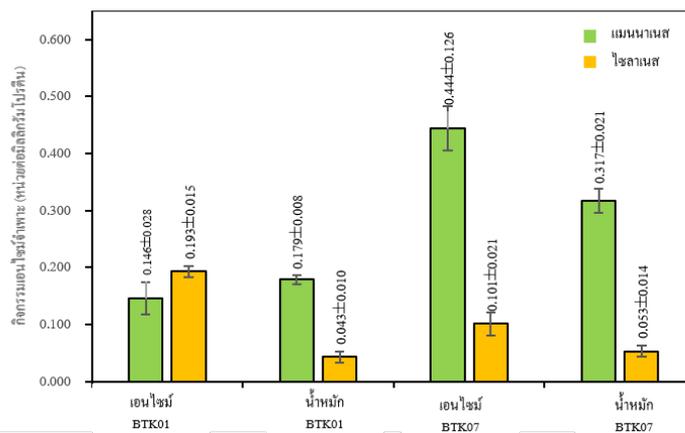
4.7. การประเมินผลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบค่าทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Tukey's HSD Test และ Duncan ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) โดยโปรแกรม SPSS V.17.0

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

5.1 ผลการวิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์จำเพาะ

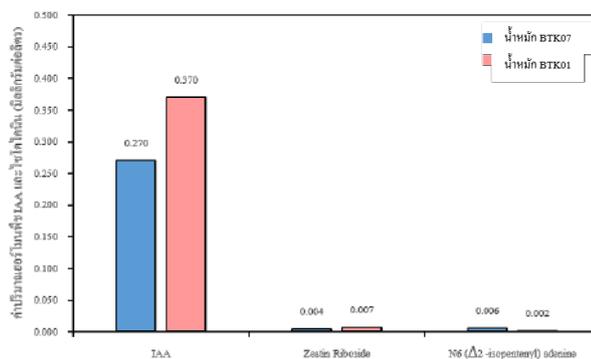
ผลการวิเคราะห์กิจกรรมเอนไซม์จำเพาะในเอนไซม์และน้ำหมักจาก *B. subtilis* BTK07 และ *P. polymyxa* BTK01 พบว่า เอนไซม์ BTK07 แสดงกิจกรรมแมนนาเนสจำเพาะสูงสุด 0.444 ± 0.126 หน่วยต่อมิลลิกรัม โปรตีน รองลงมาคือน้ำหมัก BTK07 น้ำหมัก BTK01 และ เอนไซม์ BTK01 คือ 0.317 ± 0.021 , 0.179 ± 0.008 และ 0.146 ± 0.028 หน่วยต่อมิลลิกรัม โปรตีน ตามลำดับ และเอนไซม์ BTK01 แสดงกิจกรรมไซลานเนสจำเพาะสูงสุด 0.193 ± 0.015 หน่วยต่อมิลลิกรัม โปรตีน รองลงมาคือ เอนไซม์ BTK07 น้ำหมัก BTK07 และ น้ำหมัก BTK01 คือ 0.101 ± 0.021 , 0.053 ± 0.014 และ 0.043 ± 0.010 หน่วยต่อมิลลิกรัม โปรตีน ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 1 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแบคทีเรียทั้ง 2 สายพันธุ์สามารถผลิตเอนไซม์แมนนาเนสและไซลานเนสที่มีคุณสมบัติในการละลายตัวของผนังเซลล์พืชและการอ่อนตัวของเอนโดสเปิร์มระหว่างการงอกของเมล็ดผักกาดหอม (Zhu et al., 2012) นอกจากนี้การผลิตเอนไซม์โดยแบคทีเรียเป็นหนึ่งในกลไกทางอ้อมของ PGPR เพื่อใช้ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช โดยเอนไซม์ดังกล่าวสามารถย่อยสลายส่วนที่เป็นโครงสร้างเฮมิเซลลูโลสในพืชและเกิดการปลดปล่อยธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์แก่พืช เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน แอมโมเนียม ฟอสเฟต โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม กำมะถัน ทองแดง สังกะสี เหล็ก แมงกานีส โบรอน และ โมลิบดินัม (Chang et al., 2007)



ภาพที่ 1 ค่ากิจกรรมเอนไซม์จำเพาะของน้ำหมักและเอนไซม์จาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01

5.2 ผลการวิเคราะห์ฮอร์โมนพืช

ผลการวิเคราะห์ฮอร์โมนพืชได้แก่ IAA และ ไซโตไคนินในน้ำหมักจาก *B. subtilis* BTK07 และ *P. polymyxa* BTK01 พบว่า น้ำหมัก BTK01 แสดงปริมาณ IAA และไซโตไคนินในรูปของ zeatin riboside และ N^6 (Δ^2 -isopentenyl) adenine 0.37, 0.007 และ 0.002 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำหมัก BTK07 แสดงปริมาณ IAA และไซโตไคนินในรูปของ zeatin riboside และ N^6 (Δ^2 -isopentenyl) adenine 0.270, 0.004 และ 0.006 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในภาพที่ 2 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการผลิตฮอร์โมนพืชโดยแบคทีเรียเป็นหนึ่งในกลไกทางตรงของ PGPR เพื่อใช้ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช สำหรับ IAA มีคุณสมบัติกระตุ้นการแบ่งเซลล์และยึดตัวของเซลล์ สารในกลุ่มไซโตไคนินโดยทั่วไปในธรรมชาติจะพบในรูปของ trans-zeatin และ N^6 -(Δ^2 -isopentenyl)-adenine มีคุณสมบัติในการส่งเสริมหรือยับยั้งการพัฒนารากเมื่อมีไซโตไคนินมีปริมาณต่ำจะส่งผลให้เกิดการพัฒนาราก แต่เมื่อมีไซโตไคนินปริมาณสูงจะส่งผลในการยับยั้งการพัฒนาราก (Sakakibara, 2006) กล่าวคือการทำงานร่วมกันระหว่าง IAA และไซโตไคนินสามารถกำหนดให้เกิดการพัฒนาเซลล์ของพืชในส่วนยอดและรากได้



ภาพที่ 2 ปริมาณ Indole-3-acetic acid (IAA) และไซโตไคนินในรูป zeatin riboside และ N^6 (Δ^2 -isopentenyl) adenine ในน้ำหมักจาก *Bacillus subtilis* BTK07 และ *Paenibacillus polymyxa* BTK01

5.3 ผลการทดสอบการงอกและเจริญของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊ค

ผลของน้ำหมักและเอนไซม์จาก *B. subtilis* BTK07 และ *P. polymyxa* BTK01 ต่อการงอกและเจริญของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊ค พบว่าร้อยละของการงอกและความเร็วในการงอกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญไม่ว่าจะเพาะเมล็ดในที่มืด สว่างหรือสลบสภาวะ เมื่อพิจารณาที่ค่าเฉลี่ยพบว่า การเพาะเมล็ดในที่มืด 4 วันและที่สว่าง 3 วัน (Dark>Light) มีร้อยละของการงอกและความเร็วในการงอกสูงสุดคือร้อยละ 99.40 และ 3.84 ต้นต่อวัน ตามลำดับ จากผลความยาวยอดพบว่า การแช่เมล็ดร่วมกับน้ำหมัก BTK07 (T5) แล้วเพาะเมล็ดในที่มืด 7 วัน (Dark>Dark) มีความยาวยอดสูงสุด 26.20 มิลลิเมตรแตกต่างกับทรีตเมนต์อื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงดังตารางที่ 5 เนื่องจากการเพาะเมล็ดในที่มืดกระบวนการงอกของเมล็ดเรียกว่า skotomorphogenesis ในช่วงนี้ต้นอ่อนจะยึดส่วนของลำต้นที่อยู่ใต้ใบเลี้ยง (hypocotyl) เข้าหาแสง การปรับตัวนี้ส่งผลให้เกิดการยืดยาวของลำต้น จากผลความยาวรากพบว่า การแช่เมล็ดร่วมกับเอนไซม์ BTK07 (T3) และน้ำหมัก BTK07 (T5) แล้วเพาะเมล็ดในที่มืด 4 วันและที่สว่าง 3 วัน (Dark>Light) มีความยาวรากสูงสุด 74.60 และ 74.20 มิลลิเมตร ตามลำดับ แตกต่างกับทรีตเมนต์อื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แสดงดังตารางที่ 4 เนื่องจากการเพาะเมล็ดในที่มืดนั้นเป็นการจำลองสภาวะเมื่อเมล็ดอยู่ในดินระยะนี้เมล็ดจะเกิดกระบวนการทางชีววิทยาที่จำเป็นสำหรับการงอก (Ahmed and Khan., 2010) เมื่อสลบไปให้แสงส่งผลให้รากเจริญได้ดีเนื่องจากเมล็ดผักสลัดเป็นเมล็ดที่ต้องการแสงในการงอก (positively photoblastic seed) (Bradbeer, 2013) และเมื่อพิจารณาการแช่เมล็ดในน้ำหมัก BTK07 (T5) พบว่า ความยาวยอดและความยาวรากแตกต่างจากทรีตเมนต์อื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากมีสารส่งเสริมการเจริญของพืชในน้ำหมักได้แก่ เซลล์แบคทีเรีย เอนไซม์ และฮอร์โมนพืชที่อาจติดไปกับเมล็ดพันธุ์ส่งผลให้ต้นอ่อนการเจริญได้ดีเมื่อเทียบกับการแช่ในน้ำกลั่น สอดคล้องกับ Baset et al. (2010) พบว่า PGPR ส่งเสริมการแบ่งเซลล์เนื้อเยื่อชั้นในสุดของคอร์เทกซ์ (cortex) บริเวณรากพืชส่งผลให้ความยาวรากเมล็ดข้าวโพดและข้าวสาลีเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2 การเพาะเมล็ดในที่สว่างเป็นเวลา 7 วัน (Light>Light)

Treatment ของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊ค	ร้อยละของการงอก	ความเร็วในการงอก (ต้นต่อวัน)	ความยาวยอด (มิลลิเมตร)	ความยาวราก (มิลลิเมตร)
1. น้ำกลั่น	100.00±0.00 ^a	3.26±0.00 ^a	10.30±1.14 ^a	60.30±4.15 ^a
2. เอนไซม์ <i>Paenibacillus polymyxa</i> BTK01	97.00±5.77 ^a	3.85±0.14 ^a	9.30±3.37 ^a	61.50±9.45 ^a
3. เอนไซม์ <i>Bacillus subtilis</i> BTK07	93.00±5.77 ^a	3.70±0.39 ^a	9.60±1.45 ^a	65.40±5.26 ^a
4. น้ำหมัก <i>Paenibacillus polymyxa</i> BTK01	100.00 ±0.00 ^a	3.63±0.18 ^a	10.40±0.35 ^a	63.90±2.32 ^a
5. น้ำหมัก <i>Bacillus subtilis</i> BTK07	100.00 ±0.00 ^a	3.80±0.13 ^a	8.90±0.78 ^a	70.70±5.18 ^a
F-test	ns	ns	ns	ns

หมายเหตุ: ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ, * หมายถึง แตกต่างกันทางสถิติในระดับ 0.05

ตัวอักษรที่กำกับในแต่ละคอลัมน์ แสดงความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยการใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

ตารางที่ 3 การเพาะเมล็ดในที่สว่างเป็นเวลา 4 วันและที่มืดเป็นเวลา 3 วัน (Light>Dark)

Treatment ของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊ค	ร้อยละของการงอก	ความเร็วในการงอก (ต้นต่อวัน)	ความยาวยอด (มิลลิเมตร)	ความยาวราก (มิลลิเมตร)
1. น้ำกลั่น	97.00±5.77 ^a	3.60±0.14 ^a	24.20±1.54 ^a	42.00±2.12 ^{bc}
2. เอนไซม์ <i>Paenibacillus polymyxa</i> BTK01	100.00±0.00 ^a	3.93±0.00 ^a	24.10±0.95 ^a	54.30±5.28 ^a
3. เอนไซม์ <i>Bacillus subtilis</i> BTK07	97.00±5.77 ^a	3.76±0.14 ^a	23.80±2.17 ^a	36.60±1.42 ^c
4. น้ำหมัก <i>Paenibacillus polymyxa</i> BTK01	100.00 ±0.00 ^a	3.88±0.08 ^a	24.40±1.15 ^a	48.60±2.30 ^{ab}
5. น้ำหมัก <i>Bacillus subtilis</i> BTK07	100.00 ±0.00 ^a	3.93±0.00 ^a	24.70±1.53 ^a	52.10±6.22 ^a
F-test	ns	ns	ns	*

หมายเหตุ: ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ, * หมายถึง แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05

ตัวอักษรที่กำกับในแต่ละคอลัมน์ แสดงความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยการใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

ตารางที่ 4 การเพาะเมล็ดในที่มืดเป็นเวลา 4 วันและที่สว่างเป็นเวลา 3 วัน (Dark>Light)

Treatment ของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊ค	ร้อยละของการงอก	ความเร็วในการงอก (ต้นต่อวัน)	ความยาวยอด (มิลลิเมตร)	ความยาวราก (มิลลิเมตร)
1. น้ำกลั่น	100.00±0.00 ^a	3.63±0.08 ^a	9.50±0.49 ^a	57.67±5.01 ^b
2. เอนไซม์ <i>Paenibacillus polymyxa</i> BTK01	100.00±0.00 ^a	3.93±0.00 ^a	11.30±1.33 ^a	55.83±5.93 ^b
3. เอนไซม์ <i>Bacillus subtilis</i> BTK07	100.00 ±0.00 ^a	3.80±0.13 ^a	9.30±0.87 ^a	74.60±1.56 ^a
4. น้ำหมัก <i>Paenibacillus polymyxa</i> BTK01	97.00±5.77 ^a	3.93±0.00 ^a	10.30±1.27 ^a	57.93±2.01 ^b
5. น้ำหมัก <i>Bacillus subtilis</i> BTK07	100.00 ±0.00 ^a	3.93±0.00 ^a	9.80±0.62 ^a	74.23±2.40 ^a
F-test	ns	ns	ns	*

หมายเหตุ: ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ, * หมายถึง แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05

ตัวอักษรที่กำกับในแต่ละคอลัมน์ แสดงความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยการใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

ตารางที่ 5 การเพาะเมล็ดในที่มืดเป็นเวลา 7 วัน (Dark>Dark)

Treatment ของเมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊ค	ร้อยละของการงอก	ความเร็วในการงอก (ต้นต่อวัน)	ความยาวยอด (มิลลิเมตร)	ความยาวราก (มิลลิเมตร)
1. น้ำกลั่น	97.00±5.77 ^a	3.38±0.08 ^a	21.30±2.87 ^b	36.70±4.45 ^b
2. เอนไซม์ <i>Paenibacillus polymyxa</i> BTK01	100.00±0.00 ^a	3.85±0.14 ^a	21.30±1.90 ^b	53.20±3.01 ^a
3. เอนไซม์ <i>Bacillus subtilis</i> BTK07	100.00 ±0.00 ^a	3.85±0.14 ^a	21.80± 1.61 ^b	48.30±5.39 ^a
4. น้ำหมัก <i>Paenibacillus polymyxa</i> BTK01	97.00±5.77 ^a	3.80±0.13 ^a	23.80±0.25 ^{ab}	52.10±1.08 ^a
5. น้ำหมัก <i>Bacillus subtilis</i> BTK07	100.00 ±0.00 ^a	3.93±0.00 ^a	26.20±0.86 ^a	51.10±6.05 ^a
F-test	ns	ns	*	*

หมายเหตุ: ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ, * หมายถึง แตกต่างทางสถิติในระดับ 0.05

ตัวอักษรที่กำกับในแต่ละคอลัมน์ แสดงความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยการใช้ Duncan's Multiple Range Test (DMRT)

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

การขยายพันธุ์ในเชิงพาณิชย์การแช่เมล็ดร่วมกับน้ำหมักจาก *B. subtilis* BTK07 แล้วเพาะเมล็ดในที่มีดี 4 วัน แล้วจึงเปิดรับแสง 3 วัน ก่อนนำไปเพาะปลูกส่งผลให้เมล็ดผักสลัดกรีนโอ๊คเจริญได้ดีในด้านร้อยละของการงอก ความเร็วในการงอกและความยาวราก

6.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ในการศึกษาครั้งต่อไปอาจศึกษาประสิทธิภาพของน้ำหมักจาก *B. subtilis* BTK07 ต่อการส่งเสริมการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊คในแปลงเพาะปลูกต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนบัณฑิตเรียนดีตามสัญญาเลขที่ ทบ. 10/2563 เพื่อศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

8. เอกสารอ้างอิง

- Abbasdokht, H., and Gholami, A. (2010). The effect of seed inoculation (*Pseudomonas putida*+ *Bacillus lentus*) and different levels of fertilizers on yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *World Acad. Sci. Eng. Technol*, 68, 979-983
- Ahmed, M. Z., and Khan, M. A. (2010). Tolerance and recovery responses of playa halophytes to light, salinity and temperature stresses during seed germination. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 205(11), 764-771.
- Ataei Somagh, H., Mousavi, S. M., Omid, H., Mohammadian, E., and Hemmati, M. (2017). Canola seed germination and seedling growth in response to saline condition and bio-priming. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 7(4), 2149-2156.
- Baset, M. M., Shamsuddin, Z., Wahab, Z., and Marziah, M. (2010). Effect of plant growth promoting rhizobacterial (PGPR) inoculation on growth and nitrogen incorporation of tissue-cultured 'musa' plantlets under nitrogen-free hydroponics condition. *Australian Journal of Crop Science*, 4(2), 85-90.
- Bradbeer, J. (2013). *Seed dormancy and germination*: Springer Science & Business Media.
- Chang, E.-H., Chung, R.-S., and Tsai, Y.-H. (2007). Effect of different application rates of organic fertilizer on soil enzyme activity and microbial population. *Soil Science and Plant Nutrition*, 53(2), 132-140.
- Chantorn, S., Aekkawatchai, N., Chunya, P., Oontawee, S., Khumphai, P., and Charoenrat, T. (2021). Lignocellulolytic bacteria isolated from organic rice field soils for enzyme production using agricultural wastes: Screening, medium optimization, and co-culture. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 33, 101988.
- Deshmukh, A. J., Jaiman, R. S., Bambharolia, R. P., and Patil, V. A. (2020). Seed biopriming-a review. *International Journal of Economic Plants*, 7(1), 038-043.

- Eastman, A. W., Heinrichs, D. E., and Yuan, Z.-C. (2014). Comparative and genetic analysis of the four sequenced *Paenibacillus polymyxa* genomes reveals a diverse metabolism and conservation of genes relevant to plant-growth promotion and competitiveness. *BMC genomics*, 15(1), 1-22.
- Glick, B. R. (2014). Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world. *Microbiological research*, 169(1), 30-39.
- ISTA (2016). International Rules for Seed Testing, International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland.
- Kandasamy, S., Liu, E. Y. R., Patterson, G., Saldias, S., Ali, S., and Lazarovits, G. (2019). Introducing key microbes from high productive soil transforms native soil microbial community of low productive soil. *Microbiologyopen*, 8(10), e895.
- Miller, G. (1959). Modified DNS method for reducing sugars. *Anal Chem*, 31(3), 426-428.
- OH, L. (1951). Lowry method, a modification of the Folin method based on the presence of tyrosine and tryptophan in proteins. *J Biol Chem*, 193, 265-266.
- Sakakibara, H. (2006). Cytokinins: activity, biosynthesis, and translocation. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 57, 431-449.
- Tae-Rang, K., Bu-Chul, C., Sung-Ae, J., and Eun-Hee, K. (2011). *Evaluation of nitrate contents of organic and conventional farming vegetables in Korea*. Paper presented at the International Conference on Chemical, Biological and Environment Sciences (ICCEBS'2011).
- Zhu, X. F., Shi, Y. Z., Lei, G. J., Fry, S. C., Zhang, B. C., Zhou, Y. H., ... and Zheng, S. J. (2012). XTH31, encoding an in vitro XEH/XET-active enzyme, regulates aluminum sensitivity by modulating in vivo XET action, cell wall xyloglucan content, and aluminum binding capacity in *Arabidopsis*. *The Plant Cell*, 24(11), 4731-4747.

การสกัดโอลิโกแซ็กคาไรด์จากถั่วชิกพีสายพันธุ์กานูลี

The extraction oligosaccharides from kabuli chickpea

นীরนารา ปานเด

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: indianceranara@hotmail.com

สุดาทิพย์ จันท

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: csudatip1@gmail.com

บทคัดย่อ

ถั่วชิกพีเป็นแหล่งของโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่มีสมบัติเป็นสารพรีไบโอติก ซึ่งเป็นหนึ่งในอาหารฟังก์ชันที่กำลังได้รับความนิยมสูงเป็นอย่างมากในปัจจุบัน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดโอลิโกแซ็กคาไรด์จากถั่วชิกพีกานูลี โดยวิธีสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลและวิธีสกัดด้วยน้ำร้อน และนำสารสกัดที่ได้วิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดด้วยวิธีทางเคมีโดยวิธีฟินอล-กรดซัลฟิวริก วิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธีกรดไดโนโตรซาลิก ผลการวิจัยพบว่าปริมาณโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่สกัดได้จากถั่วชิกพีกานูลี เมื่อสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลที่อัตราส่วนถั่วต่อเอทานอล 1:5 (กรัมน้ำหนักแห้งต่อมิลลิลิตร) ความเข้มข้นเอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์และระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด 60 นาที ให้ปริมาณโอลิโกแซ็กคาไรด์สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เท่ากับ 6.89 ± 0.52 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในขณะที่ปริมาณโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่สกัดได้จากถั่วชิกพีกานูลี โดยวิธีการสกัดด้วยน้ำร้อนที่อัตราส่วนถั่วต่อน้ำกลั่นที่ 1:5 (กรัมน้ำหนักแห้งต่อมิลลิลิตร) อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสและระยะเวลาในการสกัด 15 นาที ให้ปริมาณโอลิโกแซ็กคาไรด์สูงสุดเท่ากับ 0.31 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ดังนั้นการสกัดโอลิโกแซ็กคาไรด์จากถั่วชิกพีกานูลีด้วยตัวทำละลายเอทานอลให้ปริมาณโอลิโกแซ็กคาไรด์สูงกว่าการสกัดด้วยน้ำร้อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คำสำคัญ: ถั่วชิกพีกานูลี, โอลิโกแซ็กคาไรด์, การสกัด

ABSTRACT

Chickpeas are a good source of oligosaccharides that have properties as prebiotics. It is one of the most popular functional foods nowadays. This research aimed to determine the optimal condition for oligosaccharides extraction from kabuli chickpea using an ethanol solvent and hot water extraction. The sugars extracted from chickpeas were analyzed for their composition and sugar profile by chemical methods, including the phenol-sulfuric acid method and the 3,5-dinitrosalicylic acid method. The results showed that the amount of oligosaccharide produced from kabuli chickpea with ethanol solvent extraction at a ratio of chickpea and ethanol of 1:5 (w/v) in 50 % ethanol concentration for 60 min had the highest significantly affected oligosaccharides

content ($p < 0.05$) of 6.89 ± 0.52 mg. Meanwhile, the oligosaccharides content using hot water extraction of 1:5 (w/v) at 40°C for 15 min from kabuli chickpea with the highest significance to oligosaccharides content ($p < 0.05$) of 0.31 ± 0.00 mg. Therefore, the oligosaccharides extraction from kabuli chickpea with ethanol solvent had oligosaccharides content higher than hot water extraction significantly.

Keywords: Kabuli chickpea, Oligosaccharides, Extraction method

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ในปัจจุบันผู้บริโภคหันมาสนใจที่จะดูแลสุขภาพมากยิ่งขึ้น ทั้งในกลุ่มผู้สูงอายุ วัยทำงาน รวมถึงวัยรุ่น การเลือกบริโภคอาหารและเครื่องดื่มที่มีประโยชน์ของผู้บริโภคมุ่งเน้นไปที่ผลิตภัณฑ์อาหารเสริมเพื่อสุขภาพ หรือที่รู้จักกันในนามอาหารฟังก์ชัน (functional foods) ได้รับความนิยมน้อยแต่มีแนวโน้มว่าตลาดอาหารและเครื่องดื่มฟังก์ชันจะเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งอาหารฟังก์ชันที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก คือ กลุ่มของอาหารที่มีการเติมสารโพรไบโอติก (probiotics) (Al-Sheraji et al., 2013; Monica & Ioan, 2019) ซึ่งเป็นสารอาหารที่ไม่ถูกย่อยและดูดซึมในระบบทางเดินอาหารส่วนบน แต่สามารถถูกย่อยด้วยจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในร่างกายบริเวณลำไส้หรือจุลินทรีย์โพรไบโอติก (probiotic) เช่น *Bifidobacterium* และ *Lactobacillus* และมีส่วนส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค โดยช่วยปรับสมดุลและกระตุ้นการสร้างสารเมตาบอไลต์ (metabolite) ที่มีประโยชน์ เช่น กรดไขมันสายสั้น (short chain fatty acid) (สุชาติพิชญ์ จันทร, 2564) สารโพรไบโอติกที่ได้รับความนิยมและเป็นที่ยอมรับในการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารส่วนใหญ่เป็นกลุ่มของสารประกอบโอลิโกแซ็กคาไรด์ (oligosaccharide) เช่น ฟรุคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ (fructooligosaccharide; FOS) หรือกาแลคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ (galactooligosaccharide; GOS) เป็นต้น (Ibrahim, 2018) วิธีการสกัดเพื่อให้ได้โอลิโกแซ็กคาไรด์มีหลายวิธี เช่น วิธีสกัดโดยตรงจากแหล่งวัตถุดิบตามธรรมชาติ วิธีสกัดโดยใช้เอนไซม์ และวิธีทางเคมี เช่น การสกัดด้วยเมทานอล เอทานอล และน้ำ เป็นต้น (Puri et al., 2012)

งานวิจัยนี้จึงเล็งเห็นถึงความสำคัญที่จะหาแหล่งวัตถุดิบ เพื่อนำมาใช้ในการผลิตโอลิโกแซ็กคาไรด์ โดยงานวิจัยสนใจเมล็ดพืชตระกูลถั่วอย่างถั่วชิกพี (*Cicer arietinum* L.) เนื่องจากถั่วชิกพีเป็นถั่วที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและอุดมไปด้วยสารอาหารหลายชนิด เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน วิตามินบี วิตามินอี สังกะสี ใยอาหาร พลังงานสูงและมีไขมันต่ำ (Wallace et al., 2016) นอกจากนี้ถั่วชิกพียังมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจ และเป็นหนึ่งในถั่วที่มีความต้องการมากถึงอันดับ 3 ของโลก โดยมีการผลิตมากถึง 15.08 ล้านตัน และในปี 2020 มีผลผลิตโดยเฉลี่ยสูงถึง 1.01 ตันต่อเฮกตาร์ (Arriagada et al., 2022) อีกทั้งการศึกษาถั่วชิกพีในประเทศไทยยังเป็นที่รู้จักไม่มากนัก จึงน่าสนใจที่จะนำมาศึกษา การที่ถั่วชิกพีอุดมไปด้วยสารอาหารมากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตและใยอาหารในปริมาณสูง (Klongklaew et al., 2022) ซึ่งกำลังเป็นที่นิยมในการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารฟังก์ชัน ทั้งนี้ชนิดของถั่วชิกพีที่นำมาใช้ในการศึกษาคือถั่วชิกพีพันธุ์ กาบูลิ เนื่องจากการศึกษาพบว่าการสกัดโอลิโกแซ็กคาไรด์จากถั่วชิกพีพันธุ์ กาบูลิ ให้ปริมาณ โอลิโกแซ็กคาไรด์สูงกว่าพันธุ์เดซี โดยโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่สามารถสกัดได้โดยตรงจากถั่วชิกพีคือ ราฟฟิโนสโกลิโกแซ็กคาไรด์ (raffinose oligosaccharides; RFOs) (Johansen et al., 1996) ซึ่งโอลิโกแซ็กคาไรด์ชนิดนี้มีความน่าสนใจที่จะนำมาศึกษาสมบัติความเป็นโพรไบโอติกต่อไป

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญในส่วนนี้ที่จะศึกษาการสกัดโพลิโกแซกคาไรด์จากถั่วชิกพีกาบูลิ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการประยุกต์ใช้สารสกัดที่ได้จากถั่วชิกพีต่อไปในอนาคต

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาวิธีการสกัดโพลิโกแซกคาไรด์จากถั่วชิกพีด้วยตัวทำละลายเอทานอลและวิธีสกัดด้วยน้ำร้อน โดยวิเคราะห์น้ำตาลทั้งหมดด้วยวิธี Phenol-sulfuric acid และวิเคราะห์น้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี 3,5-dinitrosalicylic acid (DNS)

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 ถั่วชิกพี

ถั่วชิกพี มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Cicer arietium* เป็นพืชตระกูลถั่วที่สำคัญชนิดหนึ่งที่ปลูกกันอย่างแพร่หลายในหลายประเทศ โดยในแถบตะวันออกกลางและอินเดียนิยมนำถั่วชิกพีมาประกอบอาหาร ในประเทศไทยรู้จักกันในนาม “ถั่วลูกไก่” มีรูปร่างคล้ายหยดน้ำขนาดใหญ่หรือรูปร่างคล้ายลูกไก่ มีจะงอยแหลมด้านบนของเมล็ด ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของถั่วชิกพีได้ 2 ชนิด คือ ถั่วชิกพีกาบูลิ และถั่วชิกพีเดซี

ถั่วชิกพีกาบูลิ มีขนาดของเมล็ดประมาณ 0.2-0.6 กรัมต่อเมล็ด เชื้อหุ้มเมล็ดบางและส่วนใหญ่เป็นสีครีมหรือสีเบจ บางครั้งอาจเป็นสีขาวและไม่มีการสร้างแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ถั่วชนิดนี้นิยมปลูกมากในทวีปเอเชียตะวันตก แอฟริกาเหนือ อเมริกาเหนือและยุโรป ส่วนถั่วชิกพีเดซี มีขนาดเล็กประมาณ 0.1-0.3 กรัมต่อเมล็ด เชื้อหุ้มเมล็ดจะหนาและมีสีแตกต่างกัน เช่น ครีม เหลือง น้ำตาล ดำ หรือเขียวและลำต้นอาจมีสีคล้ำเพราะมีการผลิตแอนโทไซยานิน นิยมปลูกในทวีปเอเชียและแอฟริกา (Rasool et al., 2015) ถั่วชิกพีมีคุณค่าทางโภชนาการและส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญ คือ อุดมไปด้วย คาร์โบไฮเดรต โปรตีน เส้นใย วิตามินบี วิตามินอี สังกะสี และพลังงานสูง นอกจากนี้ถั่วชิกพียังมีไขมันต่ำ (Wallace et al., 2016) จึงเหมาะต่อการนำมาศึกษาผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสุขภาพสำหรับมนุษย์ต่อไป

ถั่วชิกพีอุดมไปด้วยสารอาหารหลายชนิดจึงทำให้ถั่วชนิดนี้มีประโยชน์ต่อร่างกายและอาจช่วยรักษาโรคบางประการได้ เช่น (1) ควบคุมน้ำหนัก ถั่วชิกพีมีปริมาณเส้นใยอาหารสูงและแคลอรีต่ำ จึงมีความน่าสนใจที่จะนำมาใช้เป็นอาหารควบคุมน้ำหนัก (2) ลดการก่อโรคมะเร็ง การบริโภคถั่วชิกพีประมาณ 200 กรัมต่อวันของผู้สูงอายุที่มีสุขภาพดี พบว่าแบคทีเรียในลำไส้ของผู้สูงอายุสามารถผลิตกรดไขมันสายสั้นที่สำคัญอย่างบิวทิเรต (butyrate) ได้ประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ของกรดไขมันระเหยทั้งหมด สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งได้ และ (3) ช่วยเรื่องระบบขับถ่าย เมื่อบริโภคอาหารที่มีถั่วชิกพีเป็นองค์ประกอบ ใยอาหารที่มีในถั่วชิกพีนั้นช่วยปรับปรุงสุขภาพของลำไส้ให้มีความถี่ในการถ่ายอุจจาระเพิ่มขึ้นและเพิ่มความอ่อนนุ่มของอุจจาระ (Wallace et al., 2016)

3.2 โพลิโกแซกคาไรด์

โพลิโกแซกคาไรด์ ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 2-10 โมเลกุล เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก โดยโพลิโกแซกคาไรด์สามารถละลายน้ำได้ (Ibrahim, 2018) และให้ความหวานประมาณ 0.3-0.6 เท่าของน้ำตาลซูโครส โพลิโกแซกคาไรด์จัดเป็นสารพรีไบโอติกที่ช่วยส่งเสริมการเจริญของ *Bifidobacterium* ในลำไส้ใหญ่ และช่วยให้เกิดความสมดุลภายในระบบทางเดินอาหาร (ยุทธชัย เพชรรัตน์ไพศาล, 2557) ซึ่งราฟไฟโนสโพลิโกแซกคาไรด์จัดเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้ ประกอบขึ้นจากโมเลกุลของน้ำตาลกาแลคโตสต่ออยู่กับน้ำตาลซูโครส

เกิดพันธะแอลฟา 1,6 โกลโคซิดิก (α -1,6 glycosidic) กับน้ำตาลซูโครส จำนวนหน่วยของกาแลคโตสที่เข้าต่อกับซูโครสนั้นมีตั้งแต่ 1-9 โมเลกุล สามารถจัดให้ราฟฟิโนสโอลิโกแซ็กคาไรด์อยู่ในกลุ่มกาแลคโตโอลิโกแซ็กคาไรด์ ซึ่งประกอบไปด้วยน้ำตาลที่สำคัญ 3 ชนิด คือ ราฟฟิโนส สตาซิโอซ และเวอร์บาสโคส (Martinez-Villaluenga et al., 2005) โดยราฟฟิโนสโอลิโกแซ็กคาไรด์เป็นโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่สามารถสกัดได้โดยตรงจากถั่วชิกพีและมีความน่าสนใจที่จะนำมาศึกษาสมบัติความเป็นพรีไบโอติกต่อไป

สำหรับวิธีการสกัดเพื่อให้ได้โอลิโกแซ็กคาไรด์มีหลายวิธี เช่น วิธีสกัดโดยตรงจากแหล่งวัตถุดิบตามธรรมชาติ วิธีสกัดโดยใช้เอนไซม์ และวิธีทางเคมี เช่น การสกัดด้วยเมทานอล เอทานอล และน้ำ เป็นต้น การสกัดเป็นหนึ่งในขั้นตอนที่สำคัญในการแยกสารออกจากวัตถุดิบที่สนใจวิธีการสกัดที่ได้นั้นตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดควรมีปริมาณน้อย ให้สารสกัดในปริมาณสูงและที่สำคัญควรใช้เวลาในการสกัดสั้น

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ถั่วชิกพีกานูลิที่ใช้ในการทดลอง นำเข้ามาจากประเทศอินเดียโดยบริษัทบานูนัท (ไทยแลนด์) จำกัด ถูกบดด้วยเครื่องบดสมุนไพรร (DXFILL, ขนาด 300 กรัม, รุ่น DXM-300) ให้ละเอียดและอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนแห้ง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 60 mesh และนำไปอบแห้งอีกครั้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน

4.2 การสกัดโอลิโกแซ็กคาไรด์จากถั่วชิกพี

4.2.1 การสกัดโอลิโกแซ็กคาไรด์จากถั่วชิกพีด้วยตัวทำละลายเอทานอล

การสกัดโอลิโกแซ็กคาไรด์จากถั่วชิกพีกานูลิด้วยตัวทำละลายเอทานอล ดัดแปลงวิธีการสกัดจาก Xiaoli et al. (2008) โดยศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการสกัด 3 ปัจจัย คือ การศึกษาอัตราส่วนถั่วต่อเอทานอล (1:1, 1:5, 1:10 และ 1:15 กรัม น้ำหนักแห้งต่อมิลลิลิตร) การศึกษาความเข้มข้นของเอทานอล (30, 40, 50, 60, 70 และ 80 เปอร์เซ็นต์) และการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด (15, 30, 60, 90 และ 120 นาที) นำไปเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที ณ อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ต่อมานำส่วนใสที่ได้ไปประเหยเพื่อกำจัดเอทานอลด้วยเครื่องระเหยแบบสูญญากาศ และบันทึกปริมาตรสารสกัดที่ได้ เก็บรักษาสารสกัดที่ได้ไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

4.2.2 การสกัดโอลิโกแซ็กคาไรด์จากถั่วชิกพีด้วยน้ำร้อน

การสกัดโอลิโกแซ็กคาไรด์จากถั่วชิกพีกานูลิด้วยน้ำร้อน ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการสกัด 3 ปัจจัย โดยทั้ง 3 ปัจจัยจะทำการศึกษาพร้อมกัน คือ การศึกษาอัตราส่วนถั่วต่อน้ำกลั่น 1:1, 1:5, 1:10 และ 1:15 กรัม น้ำหนักแห้งต่อมิลลิลิตร) การศึกษาอุณหภูมิ (30, 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส) และการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด (15, 30, 60, 90 และ 120 นาที) นำไปเขย่าในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า 200 รอบต่อนาที จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เก็บส่วนใส บันทึกปริมาตรสารสกัดที่ได้ และเก็บรักษาสารสกัดที่ได้ไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

4.3 การวิเคราะห์สารสกัดที่ได้

4.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด

สารสกัดที่ได้จากข้อ 4.2 จะถูกนำมาวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดด้วยวิธี phenol-sulfuric acid (Dubois et al., 1956) โดยเติมสารละลายฟีนอลปริมาตร 1 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในสารสกัดน้ำตาลปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้กัน จากนั้นเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นปริมาตร 5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที ผสมให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอีก 30 นาที เมื่อครบเวลาให้นำมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร โดยมีน้ำตาลกลูโคสเป็นน้ำตาลมาตรฐาน

4.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

สารสกัดที่ได้จากข้อ 4.2 จะถูกนำมาวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ด้วยวิธี DNS (Miller, 1959) โดยเติมสารละลายกรดไดโนโตรซิติลิก ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ในสารสกัดน้ำตาลปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปต้มในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็วและเติมน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 540 นาโนเมตร โดยใช้น้ำตาลกลูโคสเป็นน้ำตาลมาตรฐาน

4.3.3 การวิเคราะห์ปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์

น้ำตาลนอนรีดิวซ์ (non-reducing sugar) เป็นน้ำตาลที่จัดอยู่ในกลุ่มของโอลิโกแซคคาไรด์ ซึ่งน้ำตาลนอนรีดิวซ์ที่วิเคราะห์นี้เป็นส่วนที่คาดว่าป็นโอลิโกแซคคาไรด์ (Rangil and Bienvenido, 1977) โดยคำนวณปริมาณน้ำตาลโอลิโกแซคคาไรด์ จากสมการที่ 1

$$\text{ปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)} = \text{ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด} - \text{ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์} \\ (\text{สมการที่ 1})$$

4.4 การประเมินผลทางสถิติ

ในทุกการทดลองทำทั้งหมด 3 ซ้ำ ซึ่งข้อมูลทั้งหมดจากการทดลองเข้าประมวลผลและเปรียบเทียบทางสถิติ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (One-Way Anova) และเปรียบเทียบความต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของชุดตัวอย่างทดสอบกับชุดควบคุมด้วยวิธี Turkey's-b ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$) ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ IBM SPSS® เวอร์ชัน 25

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

5.1 ผลการวิเคราะห์โอลิโกแซคคาไรด์ที่สกัดได้จากถั่วชิกพีกานูลิด้วยตัวทำละลายเอทานอล

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์จากการสกัดถั่วชิกพีกานูลิด้วยตัวทำละลายเอทานอลที่อัตราส่วน 1:1, 1:5, 1:10 และ 1:15 (กรัมน้ำหนักแห้งต่อมิลลิลิตร) แสดงดังตารางที่ 1 พบว่าการสกัดด้วยอัตราส่วนถั่วต่อเอทานอลที่ 1:1 (กรัมน้ำหนักแห้งต่อมิลลิลิตร) ไม่สามารถสกัดสารที่ต้องการได้เนื่องจากสารละลายที่ได้มีความขุ่นหนืดมากเกินไป จึงทำให้ไม่สามารถนำสารสกัดมาวิเคราะห์ได้ และปริมาณสารสกัดที่อัตราส่วนถั่วต่อเอทานอลที่ 1:5 (กรัมน้ำหนักแห้งต่อมิลลิลิตร) มีปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์สูงกว่าปริมาณสารสกัดที่อัตราส่วนถั่วต่อเอทานอลที่ 1:10 และ 1:15 (กรัมน้ำหนักแห้งต่อมิลลิลิตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อปริมาณสารที่สกัดได้จากถั่วชิกพีกานูลิด้วยตัวทำละลายเอทานอล

อัตราส่วนถั่วต่อเอทานอล (กรัมน้ำหนักแห้งต่อมิลลิลิตร)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	ปริมาณโพลิโกแซกคาไรด์ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)
1:1	-	-	-
1:5	6.89±0.52 ^a	0.06±0.00 ^a	6.84±0.52 ^a
1:10	2.80±0.02 ^b	0.03±0.01 ^b	2.76±0.01 ^b
1:15	1.41±0.02 ^c	0.02±0.01 ^c	1.39±0.01 ^c

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย±SD จากการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโพลิโกแซกคาไรด์จากการศึกษาความเข้มข้นของเอทานอลที่เหมาะสมต่อการสกัดโพลิโกแซกคาไรด์จากถั่วชิกพีกานูลิที่ความเข้มข้น 30, 40, 50, 60, 70 และ 80 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังตารางที่ 2 พบว่าความเข้มข้นเอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ ให้ปริมาณโพลิโกแซกคาไรด์สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนการสกัดด้วยความเข้มข้นของเอทานอลที่อยู่ระหว่าง 30 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณโพลิโกแซกคาไรด์จะมีปริมาณสูงขึ้นตามความเข้มข้นของเอทานอลที่เพิ่มขึ้น และปริมาณโพลิโกแซกคาไรด์จะลดลงเมื่อใช้ความเข้มข้นเอทานอลที่อยู่ระหว่าง 60 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ekvall et al. (2007) ที่ศึกษาผลของโพลิโกแซกคาไรด์ที่สกัดได้จากถั่วลิ้นเตาสด พบว่าที่การสกัดด้วยความเข้มข้นเอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ ให้ผลได้สูงสุด นอกจากนี้ผลผลิตที่ได้จะมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของเอทานอลเพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 2 การศึกษาความเข้มข้นเอทานอลต่อปริมาณสารที่สกัดได้จากถั่วชิกพีกานูลิด้วยตัวทำละลายเอทานอล

ความเข้มข้นเอทานอล (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	ปริมาณโพลิโกแซกคาไรด์ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)
30	4.68±0.47 ^b	0.05±0.00 ^b	4.63±0.47 ^b
40	4.47±0.05 ^b	0.05±0.00 ^b	4.42±0.05 ^{bc}
50	6.89±0.52 ^a	0.06±0.00 ^b	6.84±0.52 ^a
60	4.27±0.14 ^b	0.05±0.01 ^b	4.22±0.14 ^{bc}
70	3.93±0.04 ^b	0.09±0.00 ^a	3.85±0.04 ^c
80	3.13±0.11 ^c	0.05±0.01 ^b	3.07±0.11 ^d

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย±SD จากการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโพลิโกแซกคาไรด์จากการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการสกัดโพลิโกแซกคาไรด์จากถั่วชิกพีกานูลิที่เวลา 15, 30, 60, 90 และ 120 นาที แสดงดังตารางที่ 3 พบว่าถั่วชิกพีกานูลิที่ถูกสกัดด้วยระยะเวลา 60 นาที มีปริมาณโพลิโกแซกคาไรด์สูงสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยที่การสกัดด้วยระยะเวลา 15 ถึง 30 นาที ปริมาณสารที่ต้องการสกัดยังมีปริมาณน้อยเนื่องจากระยะเวลาอาจสั้นเกินไปทำให้ประสิทธิภาพในการสกัดต่ำ เช่นเดียวกับเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสกัดไปที่ 90 ถึง 120 นาที ปริมาณสารที่สกัดได้กลับมีค่าลดน้อยลง อาจเพราะระยะเวลาในการสกัดนานเกินไปจึงทำให้ปริมาณสารที่ต้องการเกิดการเสียสภาพ

และมีปริมาณลดน้อยลงตามไปด้วย จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการสกัดจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา การสกัดที่เพิ่มขึ้นในช่วงเวลาหนึ่ง เวลาที่เพิ่มขึ้นจะไม่ส่งผลต่อการสกัดหลังจากถึงจุดสมดุลของตัวถูกละลาย ภายในและภายนอกของวัตถุดิบที่เป็นของแข็ง (Zhang et al., 2018)

ตารางที่ 3 การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมต่อปริมาณสารที่สกัดได้จากถั่วชิกพีกานูลิด้วยตัวทำละลายเอทานอล

ระยะเวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	ปริมาณโพลิโกแซกคาไรด์ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)
15	4.49±0.07 ^c	0.01±0.00 ^c	4.48±0.07 ^c
30	4.50±0.18 ^c	0.01±0.00 ^c	4.49±0.18 ^c
60	6.89±0.52 ^a	0.06±0.01 ^a	6.84±0.52 ^a
90	6.12±0.39 ^b	0.05±0.00 ^{ab}	6.07±0.39 ^b
120	6.04±0.10 ^b	0.04±0.00 ^b	6.00±0.09 ^b

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย±SD จากการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ดังนั้นการสกัดโพลิโกแซกคาไรด์ที่สกัดได้จากถั่วชิกพีกานูลิด้วยตัวทำละลายเอทานอล สรุปได้ว่าเลือกสารตัวอย่างทดสอบที่ถูกสกัดด้วยอัตราส่วนถั่วต่อเอทานอลที่ 1:5 (กรัมน้ำหนักแห้งต่อมิลลิลิตร) ที่ความเข้มข้นเอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์และระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดนาน 60 นาที

5.2 ผลการวิเคราะห์โพลิโกแซกคาไรด์ที่สกัดได้จากถั่วชิกพีกานูลิด้วยน้ำร้อน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณโพลิโกแซกคาไรด์ที่สกัดได้จากถั่วชิกพีกานูลิด้วยน้ำร้อน พบว่าการสกัดด้วยอัตราส่วนของถั่วชิกพีต่อน้ำกลั่นที่ 1:1 (กรัมน้ำหนักแห้งต่อมิลลิลิตร) ไม่สามารถสกัดสารที่ต้องการได้ เนื่องจากสารสกัดมีความข้นหนืด ทำให้ไม่สามารถนำสารสกัดมาวิเคราะห์ได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าของ Kim et al. (2003) ที่ศึกษาอัตราส่วนของน้ำต่อกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน (Defatted soybean meal; DSM) พบว่าอัตราส่วนของน้ำต่อกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมันที่ต่ำกว่า 5 ไม่สามารถสกัดได้เนื่องจากการดูดซึมของน้ำไม่สามารถแพร่ผ่านเข้าสู่กากถั่วเหลือง ในขณะที่อัตราส่วนถั่วต่อน้ำกลั่นที่ 1:5 (กรัมน้ำหนักแห้งต่อมิลลิลิตร) มีปริมาณโพลิโกแซกคาไรด์สูงกว่าปริมาณสารที่ถูกสกัดด้วยอัตราส่วนถั่วต่อน้ำกลั่นที่ 1:10 และ 1:15 (กรัมน้ำหนักแห้งต่อมิลลิลิตร) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ของทุกอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด ดังแสดงในตารางที่ 4 เนื่องจากผลการเจือจางของการใช้ตัวทำละลายมากเกินไปจึงทำให้ปริมาณสารที่ต้องการสกัดมีค่าน้อยลง ส่วนปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่สกัดได้ของทุกอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดมีปริมาณน้อยจึงไม่มีผลต่อการนำมาวิเคราะห์

จากการศึกษาการสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ จะเห็นได้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดไม่ได้ส่งผลให้ปริมาณสารที่สกัดได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับอุณหภูมิต่ำ ๆ ถึงแม้การสกัดด้วยอุณหภูมิสูงจะช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายและการแพร่กระจายของตัววัตถุดิบ อย่างไรก็ตามหากอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดสูงเกินไปอาจนำไปสู่การละลายของสารตัวอื่นที่ไม่ต้องการออกมาระหว่างกระบวนการสกัด (Zhang et al., 2018) โดยเฉพาะอย่างยิ่งโปรตีนที่อยู่ในถั่วชิกพี ซึ่งเป็นสารที่สามารถละลายน้ำได้ดี ดังนั้นการตกตะกอนของโปรตีนจะทำให้โปรตีนเกิดการล้อมรอบตัววัตถุดิบ ส่งผลให้การละลายได้ของสารจำพวกน้ำตาลและโพลิโกแซกคาไรด์

ละลายออกมาจากตัวอย่างของถั่วได้น้อยลง นอกจากนี้เมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดปริมาณสารที่สกัดได้เพิ่มขึ้นจากเดิมเพียงเล็กน้อย ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น การศึกษาการสกัด โอลิโกแซคคาไรด์ที่สกัดได้จากถั่วชิกพีกานูลิดด้วยน้ำร้อน จึงเลือกสารที่สกัดด้วยอัตราส่วนถั่วต่อน้ำกลั่นที่ 1:5 (กรัมน้ำหนักแห้งต่อมิลลิลิตร) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาในการสกัด 15 นาที

ตารางที่ 4 การศึกษาปริมาณสารที่สกัดได้จากถั่วชิกพีกานูลิดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ ในอัตราส่วนถั่วต่อน้ำกลั่นที่ 1:5 (กรัมน้ำหนักแห้งต่อมิลลิลิตร)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)	ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)	ปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์ (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)
30	15	0.24±0.01 ^c	0.00±0.00 ^b	0.24±0.01 ^d
	30	0.26±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b	0.26±0.00 ^{bc}
	60	0.28±0.00 ^{ab}	0.00±0.00 ^b	0.28±0.00 ^{ab}
	90	0.28±0.01 ^a	0.01±0.00 ^a	0.28±0.01 ^a
	120	0.26±0.01 ^b	0.01±0.00 ^a	0.26±0.01 ^c
40	15	0.32±0.00 ^a	0.01±0.00 ^d	0.31±0.00 ^a
	30	0.21±0.00 ^c	0.01±0.00 ^{cd}	0.20±0.00 ^c
	60	0.26±0.01 ^b	0.01±0.00 ^{bc}	0.25±0.01 ^b
	90	0.25±0.02 ^b	0.01±0.00 ^{ab}	0.24±0.02 ^b
	120	0.25±0.01 ^b	0.01±0.00 ^a	0.24±0.01 ^b
50	15	0.32±0.00 ^a	0.00±0.00 ^c	0.32±0.00 ^a
	30	0.27±0.01 ^b	0.01±0.00 ^b	0.26±0.01 ^b
	60	0.31±0.02 ^a	0.01±0.00 ^b	0.30±0.02 ^a
	90	0.24±0.00 ^b	0.02±0.01 ^a	0.22±0.00 ^c
	120	0.26±0.00 ^b	0.02±0.00 ^a	0.24±0.00 ^{bc}
60	15	0.27±0.02 ^b	0.00±0.00 ^d	0.27±0.02 ^b
	30	0.26±0.00 ^{bc}	0.01±0.00 ^c	0.25±0.00 ^b
	60	0.33±0.01 ^a	0.00±0.00 ^{cd}	0.33±0.01 ^a
	90	0.26±0.01 ^{bc}	0.01±0.00 ^b	0.25±0.01 ^b
	120	0.25±0.01 ^c	0.01±0.00 ^a	0.23±0.01 ^b
70	15	0.28±0.01 ^b	0.00±0.00 ^b	0.28±0.01 ^b
	30	0.32±0.01 ^a	0.00±0.00 ^b	0.32±0.01 ^a
	60	0.31±0.00 ^a	0.00±0.00 ^b	0.31±0.00 ^a
	90	0.31±0.01 ^a	0.01±0.00 ^a	0.30±0.01 ^a
	120	0.32±0.00 ^a	0.01±0.00 ^a	0.31±0.00 ^a

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ย±SD จากการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรแตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

6. สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าการสกัด โอลิโกแซคคาไรด์จากถั่วชิกพีกานูลิด้วยตัวทำละลายเอทานอลให้ปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์สูงกว่าการสกัดด้วยน้ำร้อน คือ การสกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอลที่อัตราส่วนถั่วต่อเอทานอล 1:5 (กรัมน้ำหนักแห้งต่อมิลลิลิตร) ความเข้มข้นเอทานอล 50 เปอร์เซ็นต์และระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด 60 นาที ให้ปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์เท่ากับ 6.89 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) ผลการศึกษากการสกัดปริมาณโอลิโกแซคคาไรด์ของถั่วชิกพีกานูลิสามารถนำไปข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการผลิตในระดับอุตสาหกรรม

(2) ผลการศึกษากการสกัดโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้ จะต้องมีการนำไปโอลิโกแซคคาไรด์ที่สกัดได้ไปทดสอบคุณสมบัติทางต้านฟรีไบโอติกต่อไป เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริมของมนุษย์

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ควรมีการทดสอบถึงชนิดของโอลิโกแซคคาไรด์ที่สกัดได้จากถั่วชิกพีกานูลิ

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่มอบทุนบัณฑิตศึกษาศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำปีงบประมาณ 2564 ตามสัญญาเลขที่ ทบ 8/2563

9. เอกสารอ้างอิง

ยุทธชัย เพชรรัตน์ไพศาล. (2557). *สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไอโซมอลโตโอลิโกแซคคาไรด์จากแป้งมัน*

สำปะหลัง. ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยาประยุกต์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

สุดาทิพย์ จันทร. (2564). *ฟรีไบโอติก (prebiotics)*. พิมพ์ครั้งที่ 1. ปทุมธานี:มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

Al-Sheraji, S. H., Ismail, A., Manap, M. Y., Mustafa, S., Yusof, R. M., & Hassan, F. A. (2013). Prebiotics as functional foods: A review. *Journal of Functional Foods*, 5(4), 1542–1553.

Arriagada, O., Cacciuttolo, F., Cabeza, R. A., Carrasco, B., & Schwember, A. R. (2022). A comprehensive review on chickpea (*Cicer arietinum* L.) breeding for abiotic stress tolerance and climate change resilience. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(12).

DuBois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28(3), 350-356.

Ekvall, J., Stegmark, R., & Nyman, M. (2007). Optimization of extraction methods for determination of the raffinose family oligosaccharides in leguminous vine peas (*Psium sativum* L.) and effects of blanching. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20(1), 13–18.

- Ibrahim, O.O. (2018). Functional oligosaccharide: chemicals structure, manufacturing, health benefits, applications and regulations. *Journal of Food Chemistry & Nanotechnology*, 4(4), 65-76.
- Johansen, H. N., Glitsø, V., & Bach Knudsen, K. E. (1996). Influence of extraction solvent and temperature on the quantitative determination of oligosaccharides from plant materials by high-performance liquid chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44, 1470–1474.
- Kim, S., Kim, W., & Hwang, I. (2003). Optimization of the extraction and purification of oligosaccharides from defatted soybean meal. *International Journal of Food Science & Technology*, 38, 337–342.
- Klongklaew, A., Banwo, K., Soodsawaeng, P., Christopher, A., Khanongnuch, C., Sarkar, D., & Shetty, K. (2022). Lactic acid bacteria based fermentation strategy to improve phenolic bioactive-linked functional qualities of select chickpea (*Cicer arietinum* L.) varieties. *NFS Journal*, 27, 36-46.
- Martínez-Villaluenga, C., Frías, J., Vidal-Valverde, C., & Gómez, R. (2005). Raffinose family of oligosaccharides from lupin seeds as prebiotics: application in dairy products. *Journal of food protection*, 68(6), 1246–1252.
- Miller, G. L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, 31(3), 426-428.
- Monica, B., & Ioan, S. (2019). Functional Food. *International Journal of Nutrition*, 3(3), 7-16.
- Puri, M., Sharma, D., & Barrow, C. J. (2012). Enzyme-assisted extraction of bioactives from plants. *Trends Biotechnol*, 30(1), 37-44.
- Rangil, S., & Bienvenido, O. J. (1977). Free sugars in relation to starch accumulation in developing rice grain. *Plant Physiology*, 59(3), 417–421.
- Rasool, S., Latef, A. A. H. A., & Ahmad, P. (2015). Chickpea. In *Legumes under Environmental Stress* (pp. 67-79).
- Wallace, T. C., Murray, R., & Zelman, K. M. (2016). The nutritional value and health benefits of chickpeas and hummus. *Nutrients*, 8(12), 766.
- Xiaoli, X., Liyi, Y., Shuang, H., Wei, L., Yi, S., Hao, M., Jusong, Z., & Xiaoxiong, Z. (2008). Determination of oligosaccharide contents in 19 cultivars of chickpea (*Cicer arietinum* L.) seeds by high performance liquid chromatography. *Food Chemistry*, 111, 215-218.
- Zhang, Q. W., Lin, L. G., & Ye, W. C. (2018). Techniques for extraction and isolation of natural products: a comprehensive review. *Chinese Medicine*, 13(1), 20.

การพยากรณ์ปริมาณความต้องการบริโภคสำเร็จรูปในประเทศไทย

โดยใช้ตัวแบบผสม NSARIMAX-SARIMA

Forecasting Demand for Instant Noodle in Thailand

Using Nsarimax-Sarima Hybrid Model

นิชา แก้วหาญษ์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: nicha@mathstat.sci.tu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบตัวแบบการพยากรณ์อนุกรมเวลา 4 ตัวแบบ คือ ตัวแบบ SARIMA, SARIMAX, NSARIMAX และตัวแบบผสม NSARIMAX-SARIMA ในการศึกษาใช้ข้อมูลปริมาณความต้องการบริโภคสำเร็จรูปในประเทศไทยตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2544 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2565 จำนวน 264 เดือน โดยรวบรวมข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ผลการวิจัยพบว่าตัวแบบที่เหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์ข้อมูลปริมาณความต้องการบริโภคสำเร็จรูปรายเดือนในประเทศไทยคือ ตัวแบบผสม NSARIMAX-SARIMA เนื่องจากตัวแบบที่ได้มีค่า MAPE และค่า MAE ต่ำที่สุดเท่ากับ 1.0976% และ 301.8584 ตัน ตามลำดับ โดยมีค่า R-Squared มากที่สุดเท่ากับ 99.3227% โดยปัจจัยที่มีผลกระทบคือปริมาณการผลิต ผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ ดัชนีฤดูกาล และดัชนีความผันแปรแบบคิดปกติ ตามลำดับ ดังนั้นตัวแบบผสม NSARIMAX-SARIMA จึงเป็นตัวแบบที่มีประสิทธิภาพ และมีความแม่นยำในการพยากรณ์มากที่สุดผลที่ได้จากการพยากรณ์ปริมาณความต้องการจะเป็นประโยชน์ต่อบริษัทผู้ผลิตบริโภคสำเร็จรูปในประเทศไทยเพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการผลิตให้เพียงพอต่อการขายได้อย่างเหมาะสมในอนาคตต่อไป

คำสำคัญ: ปริมาณความต้องการบริโภคสำเร็จรูป, ตัวแบบ SARIMA, ตัวแบบ NSARIMAX, ตัวแบบผสม

ABSTRACT

The objective of this research was to compare four models of forecasting time series, namely Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average model (SARIMA), Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous Variables model (SARIMAX), Nonlinear SARIMAX (NSARIMAX) and NSARIMAX-SARIMA hybrid model. In this research, we used the monthly time series data of demand for instant noodle in Thailand from January 2001 to December 2022 for 264 months. The time series data was gathered from the Office of Industrial Economics, Ministry of Industry. The results found that the NSARIMAX-SARIMA hybrid model was the most suitable model for forecasting the monthly time series data of demand for instant noodle. The NSARIMAX-SARIMA hybrid model had the lowest MAPE and MAE of 1.0976% and 301.8584 tons, respectively with the highest R-Squared of 99.3227%. The factors that affect the results were production volume,

gross domestic product, seasonal index and irregular variation index, respectively. The NSARIMAX-SARIMA hybrid model was efficient and the most accurate in forecasting. The results from the demand forecast will be useful to instant noodle manufacturers in Thailand as a guideline for planning production to be sufficient for sales appropriately in the future.

Keywords: Demand for Instant Noodle, SARIMA Model, NSARIMAX Model, Hybrid Model

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปเป็นอาหารยอดนิยมสำหรับคนทุกระดับฐานะ ทุกเพศทุกวัย สะดวกในการหาซื้อ มีหลากหลายรสชาติให้เลือกตามชอบใจ นำไปทำอาหารได้หลากหลายเมนู ใช้เวลาในการปรุงน้อย รสชาติดี และราคาถูก จากพฤติกรรมคนไทยที่ชอบความสะดวกสบายในการรับประทาน ทำให้บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปเป็นสินค้าที่มีการขยายตัวอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง โดยมูลค่าตลาดบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปรวมปี พ.ศ. 2565 อยู่ที่ประมาณ 17,106 ล้านบาท เติบโตร้อยละ 12.2 จากปี พ.ศ. 2564 ส่วนหนึ่งมาจากการปรับราคาขายปลีกบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปในช่วงไตรมาส 3 ของปี พ.ศ. 2565 ซึ่งแบรนด์เข้ามาสามารถรักษาความเป็นผู้นำอันดับ 1 ด้วยส่วนแบ่งการตลาดรวมร้อยละ 49 รองลงมาเป็นไวไวร้อยละ 24 ยำยำร้อยละ 22 และแบรนด์อื่นๆ ร้อยละ 5 โดยบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบกั๊พหรือถ้วยมีการเติบโตมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการขายบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปที่ผลิตโดยบริษัทในประเทศไทย ในช่วงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2544 ถึง พ.ศ. 2565 พบว่ามีปริมาณการขายมากถึง 4,708,551 ตัน หรือมีค่าเฉลี่ยคิดเป็น 17,835.42 ตันต่อปี โดยปริมาณความต้องการบริโภคบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปมีอัตราการเติบโตโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.9 ต่อปี (สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2566) ดังนั้นการพยากรณ์ปริมาณการขายบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปล่วงหน้าได้ก็จะเพิ่มโอกาสให้ธุรกิจดำเนินไปได้อย่างมีทิศทาง สามารถตัดสินใจได้ว่าบริษัทต้องการกำไรเท่าไร ต้นทุนควรเป็นเท่าไร และจำนวนสินค้าควรมีจำนวนเท่าใด หากมีการผลิตที่มากหรือน้อยเกินไป ย่อมไม่ส่งผลดีต่อการขายและกำไรที่ต้องการ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างปริมาณการผลิตและความต้องการของลูกค้า การพยากรณ์ยอดขายล่วงหน้าย่อมมีผลดีที่จะช่วยทำให้ธุรกิจสามารถดำเนินกิจการได้อย่างมีแบบแผน การพยากรณ์ยอดขายให้มีความแม่นยำและใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดจำเป็นต้องใช้ข้อมูลยอดขายในอดีตมาพยากรณ์ยอดขายในอนาคตซึ่งสามารถทำได้โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์อนุกรมเวลา โดยมีงานวิจัยที่ศึกษาการพยากรณ์ปริมาณความต้องการบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปโดยใช้ตัวแบบอนุกรมเวลา เช่น งานวิจัยของ Fradinata และคณะ (2017) ได้ศึกษาการพยากรณ์ปริมาณความต้องการบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปในประเทศอินโดนีเซียโดยใช้ตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียม และตัวแบบผสม (Hybrid Model) จากการศึกษาพบว่าตัวแบบผสมมีประสิทธิภาพมากกว่าตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียม ต่อมา Fradinata และคณะ (2019) ได้ศึกษาการพยากรณ์ปริมาณความต้องการบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปในประเทศอินโดนีเซียโดยใช้วิธี SVR จากการศึกษาพบว่าวิธี SVR มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีมาตรฐาน ส่วน McHugh และคณะ (2018) ได้ศึกษาการพยากรณ์ค่าไฟฟ้ารายวันโดยใช้ตัวแบบโพลีโนเมียล NARIMAX จากการศึกษาพบว่าตัวแบบโพลีโนเมียล NARIMAX มีความแม่นยำในการพยากรณ์มากกว่าตัวแบบ ARIMAX ต่อมา McHugh และคณะ (2022) ได้ศึกษาการพยากรณ์ค่าไฟฟ้ารายชั่วโมงในประเทศไอร์แลนด์ โดยใช้ตัวแบบ SARIMAX และตัวแบบ NSARIMAX จากการศึกษาพบว่าตัวแบบ NSARIMAX มีความแม่นยำในการพยากรณ์มากกว่าตัวแบบ SARIMAX ส่วนงานวิจัยของ Neshat และ

คณะ (2022) ได้ศึกษาการพยากรณ์ปริมาณความต้องการไฟฟ้ารายปีในประเทศอิหร่านโดยใช้ตัวแบบ ARIMAX และตัวแบบ NARIMAX จากการศึกษพบว่าตัวแบบ NARIMAX ให้ความแม่นยำมากกว่าตัวแบบ ARIMAX

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยจึงต้องการพยากรณ์ปริมาณความต้องการบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปรายเดือนในประเทศไทย โดยใช้ตัวแบบที่มีความแม่นยำมากที่สุด จึงได้ค้นหาตัวแบบอนุกรมเวลาสำหรับข้อมูลที่มีฤดูกาลมาช่วยพยากรณ์ปริมาณความต้องการบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปซึ่งจะทำให้ทราบแนวโน้มปริมาณความต้องการในอนาคต และจะได้ทราบว่าช่วงเวลาใดมีปริมาณความต้องการมากหรือน้อยเพียงใด ซึ่งผู้วิจัยสนใจเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์อนุกรมเวลา 4 ตัวแบบ คือ ตัวแบบ SARIMA ตัวแบบ SARIMAX ตัวแบบ NSARIMAX และตัวแบบผสม NSARIMAX-SARIMA การที่ผู้วิจัยสนใจนำตัวแบบ 4 ตัวแบบนี้มาเปรียบเทียบกัน เนื่องจากตัวแบบ SARIMA ใช้กับข้อมูลที่มีแนวโน้ม มีฤดูกาล และมีสหสัมพันธ์ในตัวเอง ตัวแบบ SARIMAX เป็นวิธีพยากรณ์อนุกรมเวลาที่ใช้การถดถอยพหุคูณที่มีการนำตัวแปรอิสระเข้ามาคิดร่วมด้วยเพื่อพยากรณ์ค่าของตัวแปรตาม (Y) แต่เนื่องจากค่าคลาดเคลื่อนมีสหสัมพันธ์ในตัวเอง ดังนั้นจึงกำหนดตัวแบบ SARIMA ให้กับค่าคลาดเคลื่อนและทำการวิเคราะห์ร่วมกันกับตัวแบบการถดถอยพหุคูณจะได้เป็นตัวแบบ SARIMAX ตัวแบบ NSARIMAX เป็นวิธีการพยากรณ์อนุกรมเวลาที่ใช้การถดถอยไม่เชิงเส้นระหว่างตัวแปรตาม และตัวแปรอิสระร่วมกับตัวแบบ SARIMA ของค่าคลาดเคลื่อน ส่วนตัวแบบผสม NSARIMAX-SARIMA เป็นวิธีพยากรณ์ที่แยกการวิเคราะห์เป็นสองส่วนคือส่วนแรกทำการพยากรณ์ด้วยตัวแบบไม่เชิงเส้น โดยใช้ตัวแบบ NSARIMAX และส่วนที่สองนำค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากการพยากรณ์ในส่วนแรกไปพยากรณ์ด้วยตัวแบบ SARIMA ซึ่งเป็นการพยากรณ์ในส่วนที่เป็นเชิงเส้น และรวมค่าพยากรณ์ทั้งสองส่วนเข้าด้วยกันได้เป็นตัวแบบผสม NSARIMAX-SARIMA โดยงานวิจัยนี้จะคัดเลือกตัวแบบที่ให้ความถูกต้องแม่นยำสูงสุดไปพยากรณ์ปริมาณความต้องการบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปในประเทศไทยในอนาคต โดยผลที่ได้จากการพยากรณ์มีประโยชน์คือทำให้ทราบแนวโน้มปริมาณความต้องการบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปในอนาคต เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการผลิตสินค้าให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค อีกทั้งยังสามารถนำค่าพยากรณ์ที่ได้มาใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการตลาด และออกผลิตภัณฑ์ใหม่สำหรับบริษัทผู้ผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปต่อไปอีกด้วย

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพยากรณ์ปริมาณความต้องการบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปในประเทศไทยโดยใช้ตัวแบบอนุกรมเวลา 4 ตัวแบบคือ ตัวแบบ SARIMA, SARIMAX, NSARIMAX และตัวแบบผสม NSARIMAX-SARIMA และเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณความต้องการบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปรายเดือนในประเทศไทย

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลทุติยภูมิของปริมาณความต้องการบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปในประเทศไทยโดยรวบรวมข้อมูลจากเว็บไซต์ของสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม ตั้งแต่กราคม พ.ศ. 2544 ถึงธันวาคม พ.ศ. 2565 โดยกำหนดตัวแปรตาม (Dependent Variable) คือ

Y_t แทน ปริมาณความต้องการบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปรายเดือนในประเทศไทยในเดือนที่ t (ต้น)
(ในที่นี้ปริมาณความต้องการบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปวัดจากปริมาณการขายบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป)

ตัวแปรอิสระ (Independent Variables) มีดังนี้

$X_{1,t}$ แทน ราคาขายของบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปในเดือนที่ t (บาทต่อตัน)

$X_{2,t}$ แทน ปริมาณการผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปในเดือนที่ t (ตัน)

$X_{3,t}$ แทน ผลผลิตทั้งหมดรวมในประเทศในเดือนที่ t (ล้านบาท)

$X_{4,t}$ แทน ดัชนีฤดูกาลของปริมาณความต้องการบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปในประเทศไทยในเดือนที่ t

$X_{5,t}$ แทน ดัชนีความผันแปรแบบผิดปกติของปริมาณความต้องการบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปในเดือนที่ t

3.2 วิธีการทางสถิติที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 ตัวแบบ SARIMA

ตัวแบบ SARIMA มีชื่อเต็มคือ Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average Model ได้พัฒนาขึ้นโดย บอกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins, 1970) เป็นวิธีพยากรณ์อนุกรมเวลาที่มีฤดูกาล ซึ่งจะกำหนดตัวแบบโดยพิจารณาจากลักษณะของฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (ACF) และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในส่วนย่อย (PACF) ของข้อมูลที่มีความนิ่ง (Stationary) ซึ่งตัวแบบ SARIMA(p,d,q)(P,D,Q) มีสมการดังนี้

$$(1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)(1 - \Phi_1 B^S - \Phi_2 B^{2S} - \dots - \Phi_P B^{PS})(1 - B)^d (1 - B^S)^D Y_t = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q)(1 - \Theta_1 B^S - \Theta_2 B^{2S} - \dots - \Theta_Q B^{QS}) \varepsilon_t \quad (1)$$

โดยที่ Y_t คือ ข้อมูล ณ เวลาที่ t , ε_t คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม ณ เวลาที่ t

B คือ ตัวดำเนินการย้อนหลังเวลา (Backshift Operator)

d, D คือ อันดับของการหาผลต่างแบบไม่มีฤดูกาล และแบบมีฤดูกาล

$\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$ คือ พารามิเตอร์แสดงสัมประสิทธิ์การถดถอยในตัวเองแบบไม่มีฤดูกาล

$\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ คือ พารามิเตอร์แสดงสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่แบบไม่มีฤดูกาล

$\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_P$ คือ พารามิเตอร์แสดงสัมประสิทธิ์การถดถอยในตัวเองแบบมีฤดูกาล

$\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_Q$ คือ พารามิเตอร์แสดงสัมประสิทธิ์การเคลื่อนที่แบบมีฤดูกาล

3.2.2 ตัวแบบ SARIMAX

ตัวแบบ SARIMAX มีชื่อเต็มคือ Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous Variable Model เสนอโดย เตียว และบอกซ์ (Tiao and Box, 1981) เป็นวิธีพยากรณ์อนุกรมเวลาที่ใช้การถดถอยพหุคูณเชิงเส้นและมีการนำตัวแปรอิสระเข้ามาคิดร่วมด้วยในการพยากรณ์อนุกรมเวลา Y แต่เนื่องจากความคลาดเคลื่อนสุ่มมีสหสัมพันธ์ในตัวเอง ดังนั้นจึงกำหนดตัวแบบ SARIMA ให้ความคลาดเคลื่อนสุ่มและทำการวิเคราะห์ร่วมกับตัวแบบการถดถอยพหุคูณจะได้ตัวแบบ SARIMAX(p,d,q)(P,D,Q) มีสมการดังนี้

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_{1,t} + \beta_2 X_{2,t} + \dots + \beta_k X_{k,t} + \frac{\theta_q(B)\Theta_Q(B^S)}{\phi_p(B)\Phi_P(B^S)(1-B)^d(1-B^S)^D} \varepsilon_t \quad (2)$$

โดยที่ Y_t คือ ข้อมูล ณ เวลาที่ t , ε_t คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม ณ เวลาที่ t

$X_{i,t}$ คือ ค่าของตัวแปรอิสระที่ i ณ เวลาที่ t , $i = 1, 2, \dots, k$

β_0 คือ พารามิเตอร์แสดงค่าคงที่ของการถดถอย

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ คือ พารามิเตอร์แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระ $X_{1,t}, X_{2,t}, \dots, X_{k,t}$

3.2.3 ตัวแบบ NSARIMAX

ตัวแบบ NSARIMAX มีชื่อเต็มคือ Nonlinear Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous Variable Model เสนอโดย แมคฮิวจ์ และคณะ (McHugh et al, 2022) เป็นวิธีพยากรณ์อนุกรมเวลา

ที่ใช้การถดถอยไม่เชิงเส้นระหว่างตัวแปรตาม และตัวแปรอิสระร่วมกับตัวแบบ SARIMA ของความคลาดเคลื่อน โดยในงานวิจัยนี้จะใช้การถดถอยไม่เชิงเส้นด้วยตัวแบบโพลีโนเมียล จะได้ตัวแบบ NSARIMAX(p,d,q)(P,D,Q) มีสมการดังนี้

$$Y_t = \beta_0 + \beta_{1,1}X_{1,t} + \beta_{1,2}X_{1,t}^2 + \dots + \beta_{1,p}X_{1,t}^p + \beta_{2,1}X_{2,t} + \beta_{2,2}X_{2,t}^2 + \dots + \beta_{2,p}X_{2,t}^p + \beta_{k,1}X_{k,t} + \beta_{k,2}X_{k,t}^2 + \dots + \beta_{k,p}X_{k,t}^p + \frac{\theta_q(B)\Theta_Q(B^S)}{\phi_p(B)\Phi_P(B^S)(1-B)^d(1-B^S)^D} \varepsilon_t \quad (3)$$

โดยที่ Y_t คือ ข้อมูล ณ เวลาที่ t , ε_t คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม ณ เวลาที่ t

$X_{i,t}$ คือ ตัวแปรอิสระตัวที่ i ณ เวลาที่ t ; $i=1,2,\dots,k$

$\beta_{1,1}, \beta_{1,2}, \dots, \beta_{k,p}$ คือ พารามิเตอร์แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

3.2.4 ตัวแบบผสม (Hybrid Model)

ตัวแบบผสม (Hybrid Model) เป็นตัวแบบการพยากรณ์อนุกรมเวลาที่นำเสนอโดยจาง (Zhang, 2003) โดยมีข้อสมมติว่าข้อมูลอนุกรมเวลาชุดหนึ่งจะมีทั้งส่วนประกอบที่เป็นเชิงเส้น แทนด้วย L_t และส่วนประกอบที่ไม่เป็นเชิงเส้น แทนด้วย N_t โดยมีสมการตัวแบบดังนี้

$$Y_t = N_t + L_t + \varepsilon_t \quad (4)$$

โดยที่ Y_t คือ ข้อมูล ณ เวลาที่ t , ε_t คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม ณ เวลาที่ t

N_t คือ ส่วนประกอบที่ไม่เป็นเชิงเส้น ณ เวลาที่ t

L_t คือ ส่วนประกอบที่เป็นเชิงเส้น ณ เวลาที่ t

ผู้วิจัยได้นำตัวแบบ NSARIMAX และตัวแบบ SARIMA มาผสมกันเป็นตัวแบบผสม NSARIMAX-SARIMA กล่าวคือในขั้นตอนแรกจะพยากรณ์อนุกรมเวลาในส่วนที่ไม่เป็นเชิงเส้นก่อนโดยใช้ตัวแบบ NSARIMAX ซึ่งเป็นตัวแบบพยากรณ์อนุกรมเวลาที่ใช้การถดถอยพหุคูณไม่เชิงเส้นด้วยตัวแบบโพลีโนเมียล ร่วมกับตัวแบบ SARIMA ของความคลาดเคลื่อน ส่วนขั้นตอนที่สอง จะนำอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนที่ได้จากตัวแบบ NSARIMAX ไปหาตัวแบบ SARIMA ที่เหมาะสม ซึ่งเป็นการพยากรณ์อนุกรมเวลาในส่วนที่เป็นเชิงเส้น และขั้นตอนที่สาม จะนำส่วนประกอบที่พยากรณ์โดยใช้ตัวแบบ NSARIMAX และตัวแบบ SARIMA มารวมกันเป็นค่าพยากรณ์ด้วยตัวแบบผสม NSARIMAX-SARIMA

3.2.5 ค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Mean Absolute Percentage Error)

เป็นค่าที่ใช้วัดความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์อนุกรมเวลาโดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมายบวกหรือลบ และค่าที่ได้อยู่ในรูปแบบร้อยละ (หรือเปอร์เซ็นต์) โดยตัวแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดที่จะถูกนำไปใช้ในการพยากรณ์จะต้องมีค่า MAPE ต่ำที่สุด โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$MAPE(\%) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t} \right| \times 100 \quad (5)$$

โดยที่ Y_t คือ ข้อมูล ณ เวลาที่ t , \hat{Y}_t คือ ค่าพยากรณ์ของข้อมูล ณ เวลาที่ t , n คือ จำนวนข้อมูลตัวอย่าง

3.2.6 ค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ความคลาดเคลื่อน (Mean Absolute Error)

เป็นค่าที่ใช้วัดความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์อนุกรมเวลาโดยการพิจารณาความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าพยากรณ์โดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมายบวกหรือลบ โดยตัวแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดที่จะถูกนำไปใช้ในการพยากรณ์จะต้องมีค่า MAE ต่ำที่สุด โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$MAE = \frac{\sum_{t=1}^n |Y_t - \hat{Y}_t|}{n} \quad (6)$$

โดยที่ Y_t คือ ข้อมูล ณ เวลาที่ t , \hat{Y}_t คือ ค่าพยากรณ์ของข้อมูล ณ เวลาที่ t , n คือ จำนวนข้อมูลตัวอย่าง

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

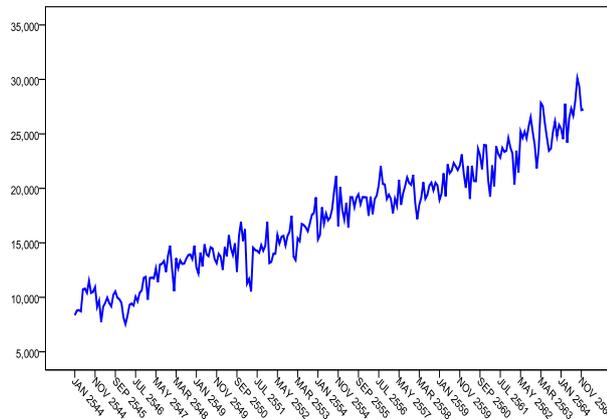
การวิเคราะห์ข้อมูลจะแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 ใช้ข้อมูลสร้างตัวแบบตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2544 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2564 จำนวน 252 เดือน และส่วนที่ 2 ใช้ข้อมูลทดสอบตัวแบบตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2565 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2565 จำนวน 12 เดือน ซึ่งเป็นจำนวนข้อมูลใน 1 รอบของฤดูกาลรายเดือน โดยนำมาเปรียบเทียบกับค่าพยากรณ์ล่วงหน้าที่ได้และเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่ให้ค่า MAPE และ MAE ต่ำที่สุด

4. ผลการวิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณความต้องการบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปรายเดือนในประเทศไทย สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการประมวลผลข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ SPSS for Windows ได้ผลการวิจัยดังนี้

4.1 การพยากรณ์ด้วยตัวแบบ SARIMA

การวิเคราะห์ด้วยตัวแบบ SARIMA ข้อมูลอนุกรมเวลาที่นำมาวิเคราะห์จะต้องมีความนิ่ง (Stationary) กล่าวคืออนุกรมเวลาต้องมีค่าเฉลี่ยคงที่ และความแปรปรวนคงที่ ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ลักษณะเบื้องต้นของข้อมูลด้วยกราฟแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ปริมาณความต้องการบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปในประเทศไทย ตั้งแต่เดือนมกราคม 2544 ถึง ธันวาคม 2564

จากภาพที่ 1 ปริมาณความต้องการบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปรายเดือนในประเทศไทยไม่เป็น Stationary โดยมีแนวโน้มและมีฤดูกาลเชิงคูณเข้ามาเกี่ยวข้อง เมื่อทดสอบความนิ่งด้วยสถิติทดสอบของ ADF พบว่า มีค่าสถิติ $t = -2.400$ และมี $p\text{-value} = 0.380$ ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าข้อมูลไม่เป็น Stationary จะต้องหาผลต่างอันดับที่ 1 แบบ Nonseasonal ($d=1$) และหาผลต่างอันดับที่ 1 แบบ Seasonal ($D=1$) เพื่อให้อนุกรมเวลามีค่าเฉลี่ยคงที่อยู่ในระดับเดียวกัน และนำข้อมูลที่ไปเขียนกราฟแสดงค่าฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (ACF) และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองส่วนย่อย (PACF) พบว่าข้อมูลมีสหสัมพันธ์ในตัวเอง ณ Lag ที่ 1, 12, 19, 45-47 และ 51 และมีสหสัมพันธ์ในตัวเองส่วนย่อย ณ Lag ที่ 1-6, 11, 12, 23, 26, 33, 35, 38 และ 47 ตามลำดับ และทำการวิเคราะห์ด้วยตัวแบบ SARIMA ที่เหมาะสมที่สุดคือ SARIMA(1,1,(1,51))(0,1,1) โดยมีสมการพยากรณ์ คือ

$$\hat{Y}'_t = \hat{\phi}_1 Y'_{t-1} - \hat{\theta}_1 e_{t-1} - \hat{\theta}_{51} e_{t-51} - \hat{\Theta}_1 e_{t-12} + \hat{\theta}_1 \hat{\Theta}_1 e_{t-13} + \hat{\theta}_{51} \hat{\Theta}_1 e_{t-63} \quad (7)$$

โดยที่ $Y'_t = (1-B)(1-B^{12})Y_t$ และค่าสัมประสิทธิ์ในสมการพยากรณ์แสดงดังนี้

$$\hat{\phi}_1 = 0.20981 \quad (t=2.559, p\text{-value} = 0.01129), \quad \hat{\theta}_1 = 0.81705 \quad (t=14.855, p\text{-value} = 0.00001)$$

$$\hat{\theta}_{51} = 0.12764 \quad (t=2.775, p\text{-value} = 0.00627), \quad \hat{\Theta}_1 = 0.90840 \quad (t=13.558, p\text{-value} = 0.00001)$$

4.2 การพยากรณ์ด้วยตัวแบบ SARIMAX

การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยตัวแบบ SARIMAX ในเบื้องต้นทำการสร้างสมการถดถอยระหว่างตัวแปรตามร่วมกับตัวแปรอิสระ โดยทำการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยด้วยวิธี Stepwise พบว่ามีตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณความต้องการบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปรายเดือนในประเทศไทยคือ $X_{2,t}$ โดยที่ $X_{2,t}$ มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามมากที่สุดในทิศทางบวก โดยมีค่า $r_{Y.X_2} = 0.991$ จะได้สมการถดถอยคือ $\hat{Y}_t = 0.91423X_{2,t}$ และนำค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากสมการถดถอยไปเขียนกราฟแสดงค่าฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองและฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองส่วนย่อยพบว่าอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนมีสหสัมพันธ์ในตัวเอง ณ Lag ที่ 1, 2, 12, 24, 36, 48, 59 และ 60 ตามลำดับ และมีสหสัมพันธ์ในตัวเองส่วนย่อย ณ Lag ที่ 1, 12 และ 24 ตามลำดับ ดังนั้นจะได้ตัวแบบ SARIMAX ของตัวแปรตาม (Y) ที่เหมาะสมที่สุดคือ ตัวแบบ SARIMAX(1,0,(2,11,59))(2,0,0) ที่มี $X_{2,t}$ โดยค่าสัมประสิทธิ์ในสมการพยากรณ์แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการพยากรณ์ของตัวแบบ SARIMAX(1,0,(2,11,59))(2,0,0) ที่มี $X_{2,t}$

Process	สัญลักษณ์	ค่าสัมประสิทธิ์	Standard Error	t	p-value
$X_{2,t}$	$\hat{\beta}_2$	0.99816	0.001	998.160	0.00001
AR1	$\hat{\phi}_1$	-0.40604	0.062	-6.549	0.00001
MA2	$\hat{\theta}_2$	0.21027	0.064	3.285	0.00122
MA11	$\hat{\theta}_{11}$	0.20807	0.062	3.356	0.00098
MA59	$\hat{\theta}_{59}$	0.23372	0.071	3.292	0.00109
SAR1	$\hat{\Phi}_1$	0.29026	0.062	4.682	0.00001
SAR2	$\hat{\Phi}_2$	0.32026	0.063	5.083	0.00001

ตัวแบบ SARIMAX(1,0,(2,11,59))(2,0,0) ที่มี $X_{2,t}$ มีสมการพยากรณ์คือ

$$\hat{Y}_t = \hat{\beta}_2 X_{2,t} + \hat{\phi}_1 \hat{\omega}_{t-1} + \hat{\Phi}_1 \hat{\omega}_{t-12} + \hat{\Phi}_2 \hat{\omega}_{t-24} - \hat{\phi}_1 \hat{\Phi}_1 \hat{\omega}_{t-13} - \hat{\phi}_1 \hat{\Phi}_2 \hat{\omega}_{t-25} - \hat{\theta}_2 e_{t-2} - \hat{\theta}_{11} e_{t-11} - \hat{\theta}_{59} e_{t-59} \quad (8)$$

4.3 การพยากรณ์ด้วยตัวแบบ NSARIMAX

การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยตัวแบบ NSARIMAX ในเบื้องต้นทำการสร้างสมการถดถอยไม่เชิงเส้นด้วยตัวแบบการถดถอยโพลิโนเมียลระหว่างตัวแปรตามร่วมกับตัวแปรอิสระ โดยทำการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยด้วยวิธี Stepwise พบว่ามีตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณความต้องการบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปคือ $X_{2,t}, X_{2,t}^3, X_{3,t}, X_{3,t}^2, X_{4,t}^3$ และ $X_{5,t}^3$ โดยที่ $X_{2,t}$ มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม (Y_t) มากที่สุด มีค่า $r_{Y.X_2} = 0.991$ รองลงมาคือ Y_t กับ $X_{2,t}^3$ มีค่า $r_{Y.X_3} = 0.943$ จะได้สมการถดถอยพหุนามโพลิโนเมียลคือ

$$\hat{Y}_t = 0.56182X_{2,t} + (1.50962 \times 10^{-10})X_{2,t}^3 + 0.00272X_{3,t} + (-2.05643 \times 10^{-10})X_{3,t}^2 + 2,503.86879X_{4,t}^3 + 1,806.96523X_{5,t}^3 \quad (9)$$

และนำค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากสมการถดถอยไปเขียนกราฟแสดงค่าฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองส่วนย่อยเพื่อใช้ในการกำหนดอันดับที่ p, P, q และ Q ในตัวแบบ NSARIMAX พบว่าอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อนมีสหสัมพันธ์ในตัวเองส่วนย่อยที่ Lag 2, 3, 4, 12 และ 24 ตามลำดับ ดังนั้นจะได้ตัวแบบ NSARIMAX ของตัวแปรตามที่เหมาะสมที่สุดคือ ตัวแบบ SARIMAX((2,3,4),0,0)(2,0,0) ที่มี $X_{2,t}, X_{2,t}^3, X_{3,t}, X_{3,t}^2, X_{4,t}^3$ และ $X_{5,t}^3$ โดยค่าสัมประสิทธิ์ในสมการพยากรณ์แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการพยากรณ์ของตัวแบบ NSARIMAX((2,3,4),0,0)(2,0,0)

ที่มี $X_{2,t}, X_{2,t}^3, X_{3,t}, X_{3,t}^2, X_{4,t}^3$ และ $X_{5,t}^3$

Process	สัญลักษณ์	ค่าสัมประสิทธิ์	Standard Error	t	p-value
$X_{2,t}$	$\hat{\beta}_{2,1}$	0.47234	0.055	8.588	0.00001
$X_{2,t}^3$	$\hat{\beta}_{2,3}$	1.36021×10^{-10}	3.289×10^{-11}	4.136	0.00001
$X_{3,t}$	$\hat{\beta}_{3,1}$	0.00385	0.001	3.850	0.00038
$X_{3,t}^2$	$\hat{\beta}_{3,2}$	-4.08820×10^{-10}	1.685×10^{-10}	-2.426	0.00001
$X_{4,t}^3$	$\hat{\beta}_{4,3}$	3,011.17420	475.458	6.333	0.00001
$X_{5,t}^3$	$\hat{\beta}_{5,3}$	2,792.13454	302.480	9.231	0.00001
AR2	$\hat{\phi}_2$	0.34642	0.034	10.189	0.00001
AR3	$\hat{\phi}_3$	0.31781	0.039	8.149	0.00001
AR4	$\hat{\phi}_4$	0.11673	0.058	2.013	0.04579
SAR1	$\hat{\Phi}_1$	0.31469	0.063	4.995	0.00001
SAR2	$\hat{\Phi}_2$	0.33372	0.064	5.214	0.00001

ตัวแบบ NSARIMAX((2,3,4),0,0)(2,0,0) ที่มี $X_{2,t}, X_{2,t}^3, X_{3,t}, X_{3,t}^2, X_{4,t}^3$ และ $X_{5,t}^3$ มีสมการพยากรณ์

$$\hat{Y}_t = \hat{\beta}_{2,1}X_{2,t} + \hat{\beta}_{2,3}X_{2,t}^3 + \hat{\beta}_{3,1}X_{3,t} + \hat{\beta}_{3,2}X_{3,t}^2 + \hat{\beta}_{4,3}X_{4,t}^3 + \hat{\beta}_{5,3}X_{5,t}^3 + \hat{\phi}_2\hat{\omega}_{t-2} + \hat{\phi}_3\hat{\omega}_{t-3} + \hat{\phi}_4\hat{\omega}_{t-4} + \hat{\Phi}_1\hat{\omega}_{t-12} + \hat{\Phi}_2\hat{\omega}_{t-24} - \hat{\phi}_2\hat{\Phi}_1\hat{\omega}_{t-14} - \hat{\phi}_3\hat{\Phi}_1\hat{\omega}_{t-15} - \hat{\phi}_4\hat{\Phi}_1\hat{\omega}_{t-16} - \hat{\phi}_2\hat{\Phi}_2\hat{\omega}_{t-26} - \hat{\phi}_3\hat{\Phi}_2\hat{\omega}_{t-27} - \hat{\phi}_4\hat{\Phi}_2\hat{\omega}_{t-28} \quad (10)$$

4.4 การพยากรณ์ด้วยตัวแบบผสม NSARIMAX- SARIMA

ในเบื้องต้นต้องประมาณค่าของอนุกรมเวลาด้วยตัวแบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นก่อน กล่าวคือ จะต้องคำนวณค่าพยากรณ์ของปริมาณความต้องการบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปรายเดือนในประเทศไทยโดยใช้ตัวแบบ NSARIMAX ((2,3,4),0,0)(2,0,0) ที่มี $X_{2,t}, X_{2,t}^3, X_{3,t}, X_{3,t}^2, X_{4,t}^3$ และ $X_{5,t}^3$ ซึ่งมีสมการพยากรณ์ คือ

$$\hat{N}_t = \hat{\beta}_{2,1}X_{2,t} + \hat{\beta}_{2,3}X_{2,t}^3 + \hat{\beta}_{3,1}X_{3,t} + \hat{\beta}_{3,2}X_{3,t}^2 + \hat{\beta}_{4,3}X_{4,t}^3 + \hat{\beta}_{5,3}X_{5,t}^3 + \hat{\phi}_2\hat{\omega}_{t-2} + \hat{\phi}_3\hat{\omega}_{t-3} + \hat{\phi}_4\hat{\omega}_{t-4} + \hat{\Phi}_1\hat{\omega}_{t-12} + \hat{\Phi}_2\hat{\omega}_{t-24} - \hat{\phi}_2\hat{\Phi}_1\hat{\omega}_{t-14} - \hat{\phi}_3\hat{\Phi}_1\hat{\omega}_{t-15} - \hat{\phi}_4\hat{\Phi}_1\hat{\omega}_{t-16} - \hat{\phi}_2\hat{\Phi}_2\hat{\omega}_{t-26} - \hat{\phi}_3\hat{\Phi}_2\hat{\omega}_{t-27} - \hat{\phi}_4\hat{\Phi}_2\hat{\omega}_{t-28} \quad (11)$$

โดยที่ \hat{N}_t คือ ค่าพยากรณ์ของส่วนประกอบที่ไม่เป็นเชิงเส้นของปริมาณความต้องการบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ณ เดือนที่ t และคำนวณค่าคลาดเคลื่อน แทนด้วย $L_t = Y_t - \hat{N}_t$ ทุกช่วงเวลา t โดยที่ L_t คือ

ค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ด้วยตัวแบบ NSARIMAX ณ เดือนที่ t และนำอนุกรมเวลา L_t ดังกล่าวไปหาตัวแบบ SARIMA ที่เหมาะสม จะได้ตัวแบบ SARIMA(0,0,1)(0,0,0) มีสมการพยากรณ์ คือ $\hat{L}_t = \hat{\theta}_1 L_{t-1}$ (12)

โดยที่ \hat{L}_t คือ ค่าพยากรณ์ของค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากตัวแบบ SARIMA ณ เดือนที่ t

ทำการประมาณค่าพารามิเตอร์ในตัวแบบ SARIMA(0,0,1)(0,0,0) ของ L_t ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ได้ค่าดังนี้ $\hat{\theta}_1 = -0.17789$ และมี p-value = 0.00457 ในขั้นตอนต่อมา นำค่าพยากรณ์ของตัวแบบ NSARIMAX กับ

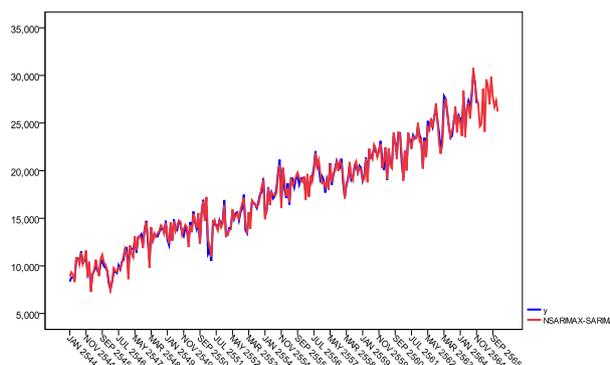
ตัวแบบ SARIMA มารวมกันจะได้สมการพยากรณ์ของตัวแบบผสม NSARIMAX-SARIMA คือ $\hat{Y}_t = \hat{N}_t + \hat{L}_t$

$$\hat{Y}_t = [\hat{\beta}_{2,1}X_{2,t} + \hat{\beta}_{2,3}X_{2,t}^2 + \hat{\beta}_{3,1}X_{3,t} + \hat{\beta}_{3,2}X_{3,t}^2 + \hat{\beta}_{4,3}X_{4,t}^3 + \hat{\beta}_{5,3}X_{5,t}^3 + \hat{\phi}_2\hat{\omega}_{t-2} + \hat{\phi}_3\hat{\omega}_{t-3} + \hat{\phi}_4\hat{\omega}_{t-4} + \hat{\phi}_1\hat{\omega}_{t-12} + \hat{\phi}_2\hat{\omega}_{t-24} - \hat{\phi}_2\hat{\phi}_1\hat{\omega}_{t-14} - \hat{\phi}_3\hat{\phi}_1\hat{\omega}_{t-15} - \hat{\phi}_4\hat{\phi}_1\hat{\omega}_{t-16} - \hat{\phi}_2\hat{\phi}_2\hat{\omega}_{t-26} - \hat{\phi}_3\hat{\phi}_2\hat{\omega}_{t-27} - \hat{\phi}_4\hat{\phi}_2\hat{\omega}_{t-28}] + \hat{\theta}_1 L_{t-1} \quad (13)$$

เมื่อได้ตัวแบบที่เหมาะสมในแต่ละวิธีพยากรณ์ทั้ง 4 ตัวแบบแล้วจึงทำการพยากรณ์ปริมาณความต้องการบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปรายเดือนในประเทศไทยล่วงหน้าตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2565 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2565 จำนวน 12 เดือน แล้วคำนวณค่า MAPE และค่า MAE แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่า MAPE ค่า MAE และค่า R-Squared ของตัวแบบการพยากรณ์ทั้ง 4 ตัวแบบ

เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ	SARIMA	SARIMAX	NSARIMAX	NSARIMAX-SARIMA
1. MAPE (%) คัดจากข้อมูลที่ใช้สร้างตัวแบบ	5.0470	2.4179	2.1504	2.1066
MAPE (%) คัดจากข้อมูลที่ใช้ทดสอบตัวแบบ	5.2164	1.2158	1.1082	1.0976
2. MAE คัดจากข้อมูลที่ใช้สร้างตัวแบบ	821.9097	380.7950	341.7541	335.8768
MAE คัดจากข้อมูลที่ใช้ทดสอบตัวแบบ	1,407.5626	332.1639	304.4554	301.8584
3. R-Squared (%)	95.4803	99.1741	99.3013	99.3227



ภาพที่ 2 ค่าที่แท้จริงและค่าพยากรณ์ปริมาณความต้องการบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปด้วยตัวแบบผสม NSARIMAX-SARIMA

5. อภิปรายผล

จากตารางที่ 3 พบว่าตัวแบบการพยากรณ์ข้อมูลปริมาณความต้องการบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปรายเดือนในประเทศไทยที่เหมาะสมที่สุด คือ ตัวแบบผสม NSARIMAX-SARIMA เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์สำหรับข้อมูลที่ใช้สร้างตัวแบบ 252 เดือน และการพยากรณ์สำหรับข้อมูลที่ใช้ทดสอบตัวแบบ 12 เดือน มีค่า MAPE ต่ำที่สุดเท่ากับ 2.1066% และ 1.0976% ตามลำดับ และยังมีค่า MAE ต่ำที่สุดเท่ากับ 335.8768

และ 301.8584 ตัน ตามลำดับ อีกทั้งมีค่า R-Squared มากที่สุดเท่ากับ 99.3227% และจากภาพที่ 2 จะเห็นว่าค่าที่แท้จริงของปริมาณความต้องการบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปกับค่าพยากรณ์ด้วยตัวแบบผสม NSARIMAX-SARIMA มีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยผลการวิจัยที่ได้สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Zhang (2003) และ Fradinata (2017) ที่ว่าตัวแบบผสมมีความแม่นยำในการพยากรณ์มากกว่าการพยากรณ์เพียงตัวแบบเดียว และจากผลการวิเคราะห์ด้วยตัวแบบผสม NSARIMAX-SARIMA ทำให้ทราบว่าปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณความต้องการบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปคือปริมาณการผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ($X_{2,t}$) ผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ ($X_{3,t}$) ดัชนีฤดูกาล ($X_{4,t}$) และดัชนีความผันแปรแบบผิปกติ ($X_{5,t}$) ของปริมาณความต้องการบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป การที่ตัวแบบผสม NSARIMAX-SARIMA เป็นตัวแบบที่ให้ความแม่นยำในการพยากรณ์มากกว่าตัวแบบอื่นที่นำมาเปรียบเทียบ อาจเนื่องมาจากตัวแบบผสมมีการพยากรณ์อนุกรมเวลาแยกเป็นสองส่วนคือการพยากรณ์อนุกรมเวลาที่ต้องการศึกษาก่อนด้วยตัวแบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นและนำอนุกรมเวลาของค่าคลาดเคลื่อนที่ได้ไปหาตัวแบบพยากรณ์ที่เป็นเชิงเส้น และรวมค่าพยากรณ์ที่ได้จากทั้งสองส่วนเข้าด้วยกัน ซึ่งตัวแบบผสมจะให้ความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าการใช้ตัวแบบพยากรณ์เพียงตัวแบบเดียว โดยค่าพยากรณ์ด้วยตัวแบบผสม NSARIMAX-SARIMA ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึง ธันวาคม 2566 มีค่าดังนี้ 25,611, 25,157, 27,315, 25,357, 27,951, 27,048, 26,980, 28,376, 28,040, 27,898, 27,778 และ 27,196 ตัน ตามลำดับ โดยปริมาณความต้องการบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปจะมีมากที่สุดในช่วงเดือนสิงหาคมซึ่งมีค่าประมาณ 28,376 ตัน และมีความต้องการน้อยที่สุดในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ซึ่งมีค่าประมาณ 25,157 ตัน โดยแนวโน้มปริมาณความต้องการบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปเพิ่มขึ้นมากกว่าปี 2565 ดังนั้นบริษัทผู้ผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปสามารถใช้ค่าพยากรณ์ที่ได้มาวางแผนการผลิตสินค้าให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค อีกทั้งยังสามารถนำค่าพยากรณ์ที่ได้มาใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการตลาด และออกผลิตภัณฑ์ใหม่ต่อไปอีกด้วย

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) สามารถนำค่าพยากรณ์ปริมาณความต้องการบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปในประเทศไทยที่ได้มาประเมินและวิเคราะห์แนวโน้มอนาคตของปริมาณการขายบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปในประเทศไทยได้

(2) สามารถนำค่าพยากรณ์ปริมาณความต้องการบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปในประเทศไทยที่มีแนวโน้มสูงขึ้นมาใช้เป็นแนวทางให้บริษัทผู้ผลิตวางแผนส่งเสริมและสนับสนุนการเพิ่มปริมาณการผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค รวมทั้งวางแผนการตลาด และออกผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ต่อไป

6.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

(1) ในการศึกษาครั้งต่อไปอาจทำการพยากรณ์ปริมาณความต้องการบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแยกตามรายบริษัทที่ดำเนินธุรกิจผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปในประเทศไทย

(2) ในการศึกษาครั้งต่อไปอาจนำตัวแบบผสม NSARIMAX-SARIMA ไปใช้ในการพยากรณ์ปริมาณความต้องการสินค้าชนิดอื่นได้ เช่น น้ำมันดีเซล ก๊าซปิโตรเลียมเหลว เป็นต้น

7. เอกสารอ้างอิง

- สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. (2566). *สถิติอุตสาหกรรม: ข้อมูลการผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป*. [ออนไลน์].
ค้นเมื่อ 9 สิงหาคม 2566, จาก: <https://i.index.oie.go.th/industrialStatisticsReport.aspx>
- Fradinata, E., Suthummanon, S., & Sunthiamorntut, W. (2017). Comparison of hybrid ANN models: A case study of instant noodle industry in Indonesia. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 4(8), 19-28.
- Fradinata, E., Kesuma, Z. M., Rusdiana, S., & Zaman, N. (2019). Forecast analysis of instant noodle demand using SVR. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 506(1), 1-8.
- McHugh, C., Coleman, S., & Kerr, D. (2022). Hourly electricity price forecasting with NARMAX. *Machine Learning with Applications*, 9(1), 1-8.
- McHugh, C., Coleman, S., Kerr, D., & McGlynn, D. (2018). Daily energy price forecasting using a polynomial NARMAX model. *The 18th Annual UK Workshop on Computational Intelligence*, 5-7 September 2018 Nottingham Trent University, United Kingdom, 1-12.
- Neshat, N., Hadian, H., & Behzad, M. (2022). Nonlinear ARIMAX model for long-term sectoral demand forecasting. *Management Science Letters*, 8(1), 581-592.

การพัฒนาไลน์บอทเพื่อส่งเสริมการออกกำลังกาย

Developing Line Bots to Promot Exercise

วชิรพล อินตาพวง

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

E-mail: Wachiraphon2902@gmail.com

อภิสิทธิ์ มนกลมเมฆ

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

E-mail: apissit2@gmail.com

รติวัฒน์ ปารีศรี

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

E-mail: ratiwat@psru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาวิธีการนำแชทบอทมาใช้ในการให้บริการข้อมูลเกี่ยวกับการออกกำลังกาย และพัฒนาแชทบอทสำหรับการบริการข้อมูลด้านการออกกำลังกาย โดยงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารข้อมูล เข้ามาช่วยในการบริหารการออกกำลังกายอย่างถูกต้อง ผลการวิจัย สามารถพัฒนาไลน์บอทเพื่อส่งเสริมการออกกำลังกาย ไม่ให้เกิดอาการบาดเจ็บจากการออกกำลังกาย สามารถเข้าถึงวิธีการออกกำลังกายที่ถูกต้องได้ดียิ่งขึ้น ทำให้ลดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บจากการออกกำลังกายที่ผิด โดยพัฒนาระบบด้วยโปรแกรม Line bot designer, adobe photoshop, Canva, Line, EX10 และDialogflow โดยใช้ภาษา JSON และ Java Script ซึ่งผลจากการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานไลน์บอทเพื่อส่งเสริมการออกกำลังกายที่มีชื่อว่า SukJai นี้ โดยผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อไลน์บอท SukJai อยู่ในเกณฑ์ระดับมากที่สุด (\bar{X} = 4.51, S.D = 0.54). ผู้ใช้เชี่ยวชาญมีความพึงพอใจต่อไลน์บอท SukJai อยู่ในเกณฑ์ระดับมากที่สุด (\bar{X} = 4.63, S.D = 0.45)

คำสำคัญ: ไลน์บอท,การออกกำลังกาย,คำดัชนีมวลกษ , EX10

ABSTRACT

The purposes of this research were to study using chatbots to provide information about exercise and develop and develop chatbots for providing exercise information services. Through this research, the researchers had the idea of using information technology and data communication to help and manage exercise correctly. Research results can develop Line bots to promote exercise for preventing injuries from exercising and can be accessed to correct exercise methods and lead to reduce the risk of injury from the wrong exercise by developing the system with the program Line Bot Designer, Adobe Photoshop, Canva, Line, EX10, and Dialog flow using

JSON and Java Script languages. Result of evaluating user satisfaction for Line bots name SukJai, Normal users are satisfied with Line bots, SukJai at the highest level ($\bar{X} = 4.51$, S.D = 0.54) Expert users are satisfied with Line bots, SukJai at the highest level ($\bar{X} = 4.63$, S.D = 0.45)

Keywords: line bot, exercise, Body Mass Index ,EX10

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

การออกกำลังกายเป็นสิ่งที่ดีสำหรับคนทุกเพศทุกวัยควรออกกำลังกายเพื่อให้สุขภาพร่างกายแข็งแรง โดยต้องออกกำลังกายให้เหมาะสมกับตัวเอง การออกกำลังกายและท่าทางที่ถูกต้องถือเป็นสิ่งสำคัญมากในการออกกำลังกายทุกประเภท หากคุณทำท่าทางไม่ถูกต้อง อาจส่งผลให้คุณบาดเจ็บได้ ท่าทางการออกกำลังกายที่ถูกต้องนอกจากจะป้องกันอาการบาดเจ็บแล้ว ยังส่งผลให้คุณได้ออกกำลังกายอย่างถูกต้องตามที่ควรจะเป็น คุณจึงจะได้ผลลัพธ์อย่างที่ต้องการ ผู้จัดทำได้สังเกตเห็นถึงปัญหาจึงได้มีการค้นคว้าข้อมูลจากเทรนเนอร์จากยิม family fitness และขอความร่วมมือจากเทรนเนอร์มาเป็นผู้ให้คำปรึกษาของแอปพลิเคชันไลน์ เพื่อพัฒนาไลน์บอทให้สามารถช่วยเข้าใจถึงวิธีการออกกำลังกาย ออกกำลังกายอย่างไรให้ไม่บาดเจ็บ และทราบถึงประโยชน์ของการออกกำลังกาย

จากบทความดังกล่าว ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะพัฒนาแอปพลิเคชันไลน์ให้สามารถช่วยเข้าใจถึงวิธีการออกกำลังกาย ออกกำลังกายอย่างไรให้ไม่บาดเจ็บ และทราบถึงประโยชน์ของการออกกำลังกาย โดยใช้ฟังก์ชันไลน์บอทเป็นตัวช่วยในการพัฒนา ซึ่งผู้ใช้งานจะสามารถเข้าถึงได้ผ่านไลน์บอทผ่านอินเทอร์เน็ตได้ทุกที่ทุกเวลา

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อศึกษาวิธีการนำแชทบอทมาใช้ในการให้บริการข้อมูลเกี่ยวกับการออกกำลังกาย
- (2) เพื่อพัฒนาแชทบอทสำหรับการบริการข้อมูลด้านการออกกำลังกาย

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วสุ บัวแก้ว และปณิธิเนนันทน์ (2563) ศึกษาเรื่อง การพัฒนาระบบ LINE BOT สำหรับบัณฑิตวิทยาลัย งานวิจัยมี วัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบโต้ตอบอัตโนมัติของไลน์ (LINE BOT) เพื่อสนับสนุนการโต้ตอบคำถามเกี่ยวกับ ข้อมูลต่างๆ ของหลักสูตร ระดับบัณฑิตศึกษา ซึ่งผู้ใช้งานสามารถสอบถามได้ตลอดเวลา

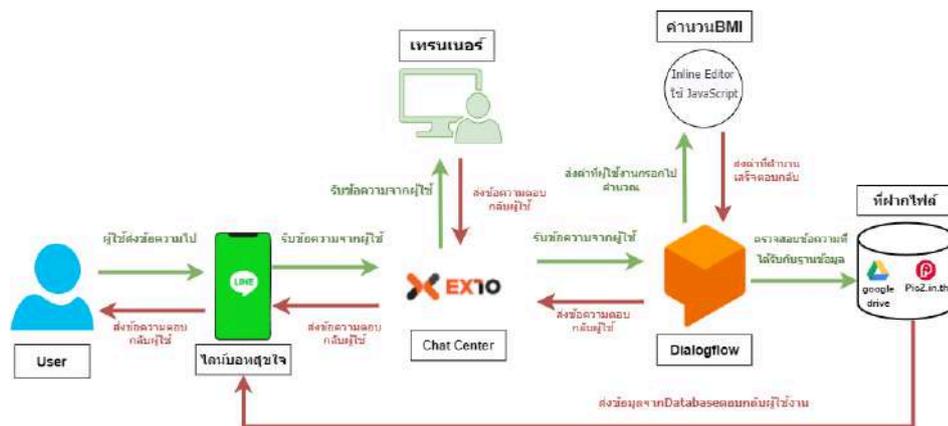
พิชชาพร คำทำ และประศาสตร์ บุญสนอง (2564) ศึกษาเรื่อง แชทบอทสำหรับการบริการข้อมูลด้านสุขภาพ งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อ พัฒนาระบบการการจ้างงานให้สามารถโต้ตอบอัตโนมัติผ่านทาง (LINE BOT) เพื่อที่จะ ประหยัดเวลาในการการทำงานของผู้ให้บริการ โดยการประยุกต์นำ (GOOGLE SHEETS) มาเชื่อมการทำงานกับ (LINE BOT) ให้บริการความรู้เกี่ยวกับ โรคต่าง ๆ รวมไปถึงการแนะนำการปฏิบัติตนเองเบื้องต้น ให้ข้อมูลการบริการต่าง ๆ ของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัย นครสวรรค์ไปถึงการลงทะเบียนผู้ป่วยใหม่และสามารถ แสดงบัตรผู้ป่วยออนไลน์ได้อีกด้วย

เขาวนารถ พันธุ์เพ็ง(2564) ศึกษาเรื่อง การส่งเสริมสุขภาพของวัยรุ่น โดยใช้สื่อสังคมออนไลน์ งานวิจัยมี วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการเสริมสร้างสุขภาพวัยรุ่น โดยใช้สื่อสังคมออนไลน์ อาทิ เฟซบุ๊ก อินสตาแกรม เมื่อ

วัยรุ่นให้ความสำคัญในเรื่องสุขภาพค่อนข้างน้อย จึงก่อให้เกิดภาวะเจ็บป่วย โรคภัยไข้เจ็บตลอดจนโรคไม่ติดต่อ การให้ข้อมูลในส่วนที่วัยรุ่นต้องการมากขึ้น โดยการนำสื่อดิจิทัลเข้ามาใช้ประโยชน์เป็นเครื่องมือในการสื่อสาร อาทิ สื่อสังคมออนไลน์ เช่น เฟซบุ๊ก อิน스타그램 ฯลฯ สื่อเหล่านี้เป็นสื่อสังคมออนไลน์ที่วัยรุ่นให้ความสนใจเป็นจำนวนมาก และเผยแพร่โดยบุคคลจะช่วยสร้างเสริมสุขภาพของวัยรุ่นในพื้นที่ชุมชนออนไลน์ได้

นันทรัฐ บำรุงเกียรติ และพิรญา เต่าทอง (2021) ศึกษาเรื่อง โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอช งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ นักกีฬา ผู้ฝึกสอน นักกีฬาหรือบุคคลทั่วไป ใช้ประกอบท่าออกกำลังกายสควอชได้อย่างถูกต้อง ไม่ได้รับอันตรายหรือเกิดการบาดเจ็บ โดยผู้วิจัยได้ศึกษาเกี่ยวกับเงื่อนไขของการออกกำลังกายท่าสควอชที่ถูกต้อง ร่วมกับการศึกษาถึงหลักการ การประมวลผล ภาพดิจิทัล นำมาออกแบบและสร้างโปรแกรมที่ทำงานร่วมกับกล้องวิดีโอทัศน์ เพื่อทำหน้าที่ตรวจสอบการแสดงผล ท่าทางการสควอชที่ถูกต้อง ผลการออกแบบและสร้างโปรแกรมนี้ ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการประเมิน ความพึงพอใจจากผู้เชี่ยวชาญด้านกีฬา นักกีฬาและบุคคลทั่วไปจำนวน 5 ท่าน พบว่าผลการประเมิน การใช้งาน โปรแกรมอยู่ในระดับดี มีคะแนนเฉลี่ย 4.06

3.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

3.3 สมมติฐานการวิจัย

ผู้ใช้งานไลน์บอท Suk Jai มีความเข้าใจ เรื่องการออกกำลังกายที่ถูกต้อง อยู่ในระดับ มาก

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างได้แบ่งออกเป็น

4.1.1 ผู้วิจัยทำการหาข้อมูลและสอบถามข้อมูลที่ใช้ในการทำสื่อการออกกำลังกาย จากผู้เชี่ยวชาญ ด้าน

ด้านการออกกำลังกาย ซึ่งเป็นเทรนเนอร์จากยิม Family Fitness จำนวน 3 ท่าน

4.1.2 ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบสื่ออินโฟกราฟิกโดยผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 3 ท่าน คือ ผู้เชี่ยวชาญ ด้านการออกกำลังกาย 3 ท่าน

4.1.3 ผู้วิจัยได้ทำการประเมินความพึงพอใจของไลน์บอทเพื่อส่งเสริมการออกกำลังกายแบบเจาะจงทั้งหมดจำนวน 50 คน

4.2 เครื่องมือวิจัย

1. Likert scale การประเมินความพึงพอใจที่มีให้ไลน์บอทเพื่อส่งเสริมการออกกำลังกาย โดยได้ใช้ Google Form ซึ่งเป็นเครื่องมือที่เก็บรวบรวมความพึงพอใจ ซึ่งคำถามแต่ละหัวข้อจะมีเกณฑ์การให้คะแนน ค่าเฉลี่ย 4.50 - 5.00 หมายความว่า มีความพึงพอใจมากที่สุดค่าเฉลี่ย 3.50-4.49 หมายความว่า มีความพึงพอใจในระดับมาก ค่าเฉลี่ย 2.50-3.49 หมายความว่า มีความพึงพอใจในระดับปานกลาง ค่าเฉลี่ย 1.50-2.49 หมายความว่า มีความพึงพอใจในระดับน้อย ค่าเฉลี่ย 1.00-1.49 หมายความว่า มีความพึงพอใจในระดับน้อยที่สุด

2. Ex 10 คือ Chat Tools ที่ช่วยให้สามารถใช้งาน Bot mode และ Chat mode พร้อมกันได้ และมี ex10 API ที่ช่วยประมวลผล และเพิ่มผลลัพธ์เข้าไปใน webhook request อัตโนมัติเชื่อมกับ Dialogflow

4.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้จัดทำได้รวบรวมแบบสอบถามความพึงพอใจทั้งหมดของไลน์บอทเพื่อส่งเสริมการออกกำลังกายแล้วนำมาตรวจสอบความถูกต้องสมบูรณ์ของข้อมูลแล้วจึงได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ โดยสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1) ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานในการศึกษาไลน์บอทเพื่อส่งเสริมการออกกำลังกาย มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1.1 ศึกษาข้อมูล

1.1.1 ศึกษาความต้องการของกลุ่มผู้ออกกำลังกายในจังหวัดพิษณุโลก

1.2 วิเคราะห์ระบบงาน

1.2.1. รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

1.2.2 วิเคราะห์ข้อมูลและศึกษาปัญหา

1.3 ออกแบบระบบไลน์บอทเพื่อส่งเสริมการออกกำลังกาย

1.3.1 ศึกษาข้อมูลจากการวิเคราะห์

1.3.2 ทำวอร์มอัปเดตดาวน

1.3.2.1 1)บิตตัว 2)เสียงลำตัว 3)กัมตะปลายเท้า 4)ยกแขนเสียงตัว

1.3.3 ทำคูสดาวน

1.3.3.1 1)ทำยืดอกสามเนื้อคอ 2)ทำยืดอกสามแขน 3)ทำยืค้ำข้างของลำตัว 4)ทำยืค้ำด้านหลัง 5)ทำยืค้ำข้อเท้า

1.3.4 ทำออกกำลังกาย

1.3.4.1 ระดับง่าย1)กระโดดตบ 2)งอเข้าวิดพื้น 3)ยกเข้าสูง

1.3.4.2 ระดับกลาง1)ท่าลันจ์ 2)Russian twist 3)แพลงก์

1.3.4.3 ระดับยาก1)สควอช 2)วิดพื้น 3)ท่าแพลงก์ใตู่ภูเขา

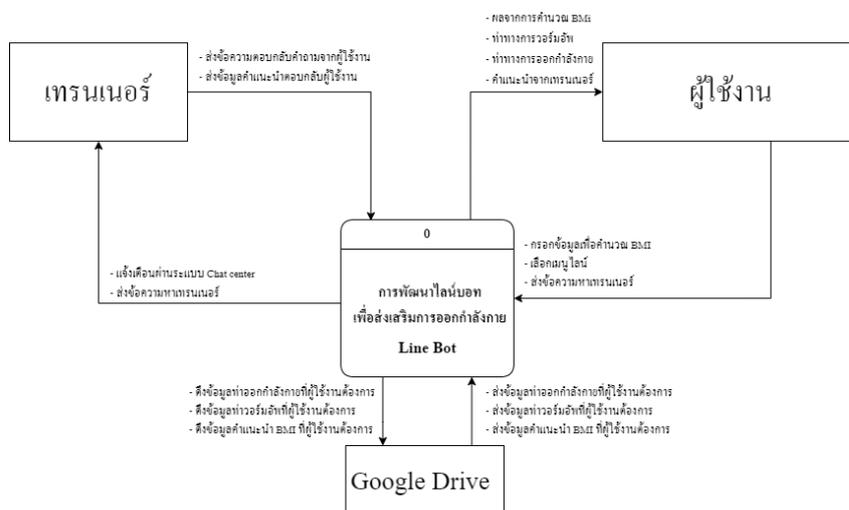
1.3.5 ออกแบบรูปร่างของแอปพลิเคชัน ไลน์

1.3.5.1 ออกแบบปุ่มRich Menu

1.3.5.2 ออกแบบการเชื่อมโยงของแต่ละปุ่ม

1.3.5.3 ออกแบบ infographic ในการอธิบายท่าทางออกกำลังกาย

1.3.6 ออกแบบโครงสร้างของแอปพลิเคชันไลน์



แผนภาพที่ 2 Context Diagram โครงสร้างของแอปพลิเคชันไลน์บอทเพื่อส่งเสริมการออกกำลังกาย

1.4 พัฒนาระบบไลน์บอทเพื่อส่งเสริมการออกกำลังกาย

1.4.1 เขียนโปรแกรมใช้ข้อมูลที่ได้ศึกษามาที่ได้กล่าวไป 3 ข้อ

1.5 ทดสอบแอปพลิเคชันไลน์

1.6 ปรับปรุงแก้ไขแอปพลิเคชันไลน์

1.7 ทำแบบสอบถาม

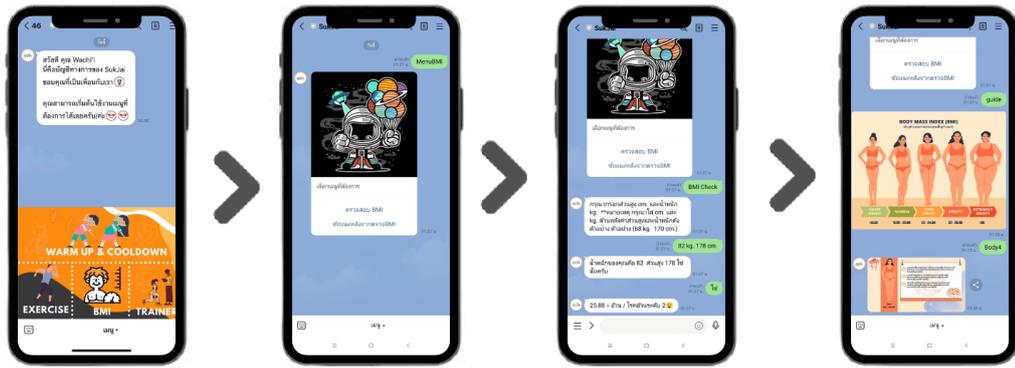
1.8 ทำเอกสาร

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลและออกแบบระบบเป็นขั้นตอนในการออกแบบกระบวนการทำงานของระบบที่จะจัดทำขึ้น โดยกำหนดลักษณะรูปแบบรายงานที่เกิดขึ้นจากการทำงานของระบบ กระบวนการในการนำข้อมูลเข้าสู่ระบบและผลลัพธ์ที่ได้จากระบบ ซึ่งจะเลือกใช้การนำเสนอรูปแบบของรายงานและแผนภาพกระแสข้อมูล จะทำให้สามารถเข้าใจขั้นตอนการทำงานของระบบได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น สามารถแบ่งขั้นตอนการทำงานในระบบการพัฒนาไลน์บอทเพื่อส่งเสริมการออกกำลังกาย ออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ เพิ่มเพื่อนไลน์บอท, เข้าสู่แชทไลน์บอท, เลือกเมนูที่ต้องการใช้งาน เพื่อกำหนดการออกกำลังกายที่ต้องการ ตลอดจนการใช้งานที่ไม่ติดขัดและมีความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบไลน์บอทเพื่อส่งเสริมการออกกำลังกายได้ในระดับ ดี

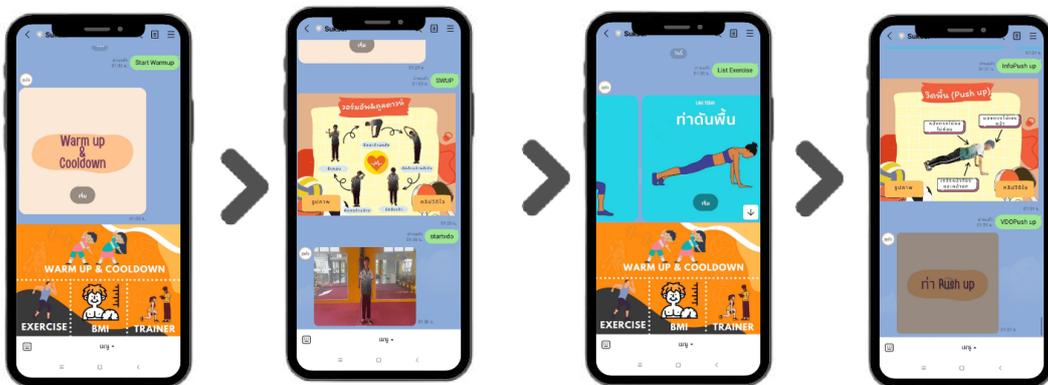
5. ผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาไลน์บอท ได้จัดทำไลน์บอทเพื่อส่งเสริมสุขภาพและเพื่อตอบสนองความต้องการต่อผู้ใช้งานได้ทุกที่ทุกเวลา และสามารถเพิ่มช่องทางการประชาสัมพันธ์ โดยระบบประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 คือ ผู้ใช้บริการสามารถแอดไลน์บอทเพื่อเข้ามาใช้บริการ การคำนวณหาค่าดัชนีมวลกาย (BMI) คำแนะนำจากการคำนวณค่าดัชนีมวลกาย (BMI) ด้วย สามารถดูท่าวอร์มอัพก่อนที่จะเริ่มออกกำลังกาย ทำออกกำลังกายพื้นฐานและ ติดต่อผู้เชี่ยวชาญเพื่อขอคำแนะนำ ส่วนที่ 2 ในส่วนของเทรนเนอร์ สามารถแจ้งข้อมูลข่าวสารตอบกลับปัญหาเกี่ยวกับการออกกำลังกาย



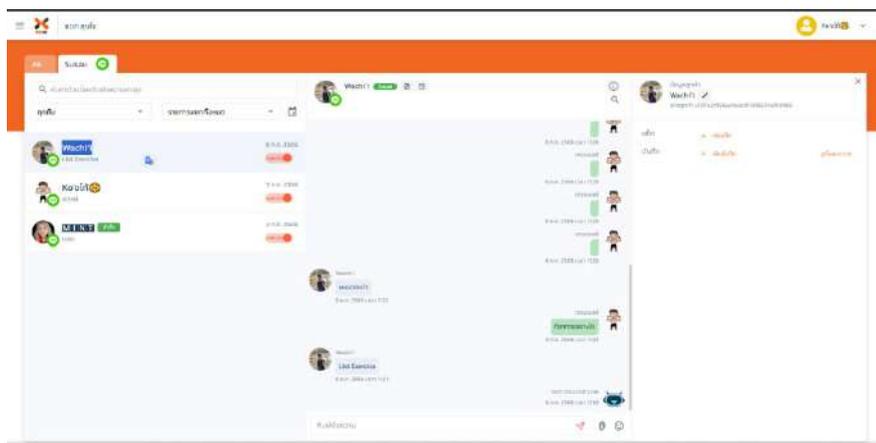
ภาพที่ 1 หน้าการคำนวณค่าดัชนีมวลกาย

จากภาพที่ 1 ไลน์บอทเพื่อส่งเสริมสุขภาพ ในส่วนของผู้ใช้งานเริ่มต้นจากการคำนวณค่าดัชนีมวลกาย (BMI) ด้วยการใส่ข้อมูลส่วนสูงและน้ำหนักลงไปแอปจะคำนวณค่าออกมาและมีคำแนะนำให้ผู้ใช้งานได้รับทราบและทำตามได้



ภาพที่ 2 หน้าการวอร์มอัพลดความเครียดและการออกกำลังกาย

จากภาพที่ 2 ในส่วนของการออกกำลังกายเริ่มต้นจากการวอร์มอัพที่จะมีภาพและวิดีโอสอนตามขั้นตอนก่อนออกกำลังกาย หลังจากนั้นเริ่มดำเนินการออกกำลังกายตามระดับจากง่ายไปยากตามความต้องการของผู้ใช้งาน ผู้ใช้งานสามารถทำตามขั้นตอนในคลิปวิดีโอที่ได้จัดทำไว้ หากผู้ใช้งานมีข้อสงสัยสามารถติดต่อเทรนเนอร์ได้โดยตรงเพื่อซักถามและได้รับคำแนะนำ



ภาพที่ 3 หน้าต่าง chat center

จากภาพที่ 3 เป็นส่วนหน้าตอบแชทของเทรนเนอร์กับผู้ใช้งานและสามารถแนบรูปไปไฟล์

2. ผลศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อการพัฒนาไลน์บอทเพื่อส่งเสริมการออกกำลังกาย ได้ดังนี้
 ผู้วิจัยดำเนินการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ ไลน์บอทเพื่อส่งเสริมการออกกำลังกาย เพิ่มโดยแยก
 เป็นส่วนของผู้ใช้งานและส่วนของผู้เชี่ยวชาญ หลังจากให้ผู้ใช้ได้เพิ่มเพื่อนทดสอบ ไลน์บอทเพื่อส่งเสริมการออก
 กำลังกาย แล้วทำการประเมินความพึงพอใจในการใช้ จากนั้นนำผลมาวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติพื้นฐานเทียบกับเกณฑ์
 และสรุปผล แสดงดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ผลการประเมินความพึงพอใจการพัฒนาไลน์บอทเพื่อส่งเสริมการออกกำลังกายในส่วนของผู้ใช้งาน

ข้อที่	รายงาน	\bar{X}	S.D.	แปลผล
ด้านการใช้งาน				
1	ความสะดวกในการใช้งาน	4.47	0.58	มาก
2	ความรวดเร็วในการใช้งาน	4.43	0.54	มาก
3	ความหลากหลายของท่าออกกำลังกาย	4.47	0.50	มาก
ค่าเฉลี่ยรายด้าน		4.46	0.54	มาก
ด้านรูปแบบ				
1	ความสวยงาม	4.59	0.50	มากที่สุด
2	ความหลากหลายของท่าออกกำลังกาย	4.55	0.50	มากที่สุด
3	ความเหมาะสมของรูปในแอปพลิเคชัน	4.41	0.61	มาก
4	ความเหมาะสมของการแสดงข้อมูล	4.43	0.58	มาก
ค่าเฉลี่ยรายด้าน		4.52	0.55	มากที่สุด
ด้านการนำไปใช้ประโยชน์				
1	สามารถนำไปออกกำลังกายได้จริง	4.49	0.54	มาก
2	สามารถติดต่อกับเทรนเนอร์ได้จริง	4.55	0.54	มากที่สุด
3	สามารถคำนวณค่าดัชนีมวลกาย	4.65	0.52	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรายด้าน		4.56	0.54	มากที่สุด
รวม		4.51	0.54	มากที่สุด

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินความพึงพอใจการพัฒนาไลน์บอทเพื่อส่งเสริมการออกกำลังกายใน ส่วน
 ของผู้ใช้งานมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.51 อยู่ในเกณฑ์ มากที่สุด

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจการพัฒนาไลน์บอทเพื่อส่งเสริมการออกกำลังกายในส่วนของผู้เชี่ยวชาญ

ข้อที่	รายงาน	\bar{X}	S.D.	แปลผล
ด้านการใช้งาน				
1	ความสะดวกในการใช้งาน	4.67	0.58	มากที่สุด
2	ความรวดเร็วในการใช้งาน	4.67	0.54	มากที่สุด
3	ความหลากหลายของท่าออกกำลังกาย	4.67	0.58	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรายด้าน		4.67	0.58	มากที่สุด

ด้านรูปแบบ

1	การจัดรูปแบบง่ายต่อการอ่านและการใช้งาน	4.33	0.58	มากที่สุด
2	ความหลากหลายของทำออกกำลังกาย	5.00	0.00	มากที่สุด
3	ความเหมาะสมของการแสดงข้อมูล	4.33	0.58	มาก
ค่าเฉลี่ยรายด้าน		4.56	0.35	มากที่สุด
ด้านการนำไปใช้ประโยชน์				
1	สามารถนำไปออกกำลังกายได้จริง	5.00	0.00	มากที่สุด
2	สามารถติดต่อกับเทรนเนอร์ได้จริง	4.33	0.58	มาก
3	สามารถคำนวณค่าดัชนีมวลกาย	4.67	0.58	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรายด้าน		4.67	0.38	มากที่สุด
รวม		4.63	0.45	มากที่สุด

จากตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจการพัฒนาไลน์บอทเพื่อส่งเสริมการออกกำลังกายในส่วนของผู้เชี่ยวชาญมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.63 อยู่ในเกณฑ์ มากที่สุด

6. อภิปรายผล

ผลการวิจัยเรื่อง การพัฒนาไลน์บอทเพื่อส่งเสริมการออกกำลังกาย มีผลการวิเคราะห์การประเมินความพึงพอใจการใช้แอปพลิเคชัน อภิปรายได้ว่า ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้จากตารางที่ 1 ในส่วนของผู้ใช้มีค่าเฉลี่ยที่ 4.51 อยู่ในเกณฑ์ระดับมากที่สุด ผู้ใช้ทดสอบใช้ ไลน์บอทเพื่อส่งเสริมการออกกำลังกาย ใช้งานได้ง่าย และ ตอบโจทย์สำหรับผู้ที่ยังออกกำลังกาย ทำให้การออกกำลังกายเป็นเรื่องที่ง่าย ไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ จากตารางที่ 2 ในส่วนของผู้เชี่ยวชาญ มีค่าเฉลี่ยที่ 4.63 อยู่ในเกณฑ์ระดับมากที่สุด เมื่อพิจารณาแล้วการประเมินความพึงพอใจภาพรวมพบว่าค่าเฉลี่ยรายด้าน ด้านการนำไปใช้ประโยชน์ทั้ง 2 ตารางแล้ว ผู้ใช้มีความพึงพอใจอยู่ในเกณฑ์มากที่สุด เป็นประโยชน์แก่ผู้ใช้และผู้เชี่ยวชาญ จากการศึกษาข้อมูลความพึงพอใจของผู้ใช้ที่ได้ใช้งานไลน์บอท ทำให้การออกกำลังกายเป็นเรื่องที่ง่าย ไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ และสามารถนำไปใช้ในการออกกำลังกายได้จริง

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

- (1) เพิ่มระดับทำออกกำลังกายตามระดับ ง่าย กลาง ยาก และเพิ่มจำนวนทำออกกำลังกายที่มากขึ้น
- (2) ออกแบบให้มีความน่าสนใจ และมีความทันสมัยเพิ่มมากขึ้น

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้พัฒนาขอขอบคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา คณาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่ให้คำปรึกษาแนะนำ และช่วยให้ความอนุเคราะห์งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

9. เอกสารอ้างอิง

- นนทรัฐ บำรุงเกียรติ และพีรญา เต่าทอง. (2021). โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิทัศน์เพื่อการตรวจสอบ ความถูกต้องของท่าออกกำลังกายสควอช. *วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง*, 14(2), 36-50.
- พิชชาพร คำทำ และประศาสตร์ บุญสนอง. (2564). *เซทบอทสำหรับการบริการข้อมูลด้านสุขภาพ*. ปริญญาานิพนธ์ วท.บ., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.
- เขาวนารถ พันธุ์เพ็ง. (2564). การส่งเสริมสุขภาพของวัยรุ่นโดยใช้สื่อสังคมออนไลน์. *วารสารสห ศาสตร์ศรีปทุม*, 7(1), 21-29.
- โรงพยาบาลศิริราชปิยมหาการุณย์. (2561). *ทำยืคกล้ามเนื้อ ก่อนและหลังออกกำลังกายที่ถูกต้อง*. ค้นเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ 2566, จาก: <https://www.siphospital.com/th/news/article/share/stretch>
- วสุ บัวแก้ว และปณิชนิตนันท์. (2563). *การพัฒนาระบบ LINE BOT สำหรับบัณฑิต* วิทยาลัย. ปริญญาานิพนธ์ วท.ม., วิทยาลัย นวัตกรรมคิจิทัลและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยรังสิต, ปทุมธานี.
- A-E-I-O-U. (2021). *รวมท้าวอ้อมอึ้งๆ – สิ่งสำคัญก่อนออกกำลังกาย*. ค้นเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ 2566, จาก: <https://health.campus-star.com/general/21141.html>.
- Beauty Editor. (2021). *รวม 8 ท่าออกกำลังกาย ลดน้ำหนัก 1 เดือน ผอมซัวร์*. ค้นเมื่อ 9 กุมภาพันธ์ 2566 , จาก: <https://www.wongnai.com/articles/exercise-workout-plan>.
- pommypom. (2564). *12 ท่าออกกำลังกายที่บ้าน ลดน้ำหนัก ช่วงโควิด-19 ทำง่าย ไม่ใช้อุปกรณ์ แต่ได้ผล*. ค้นเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ 2566, จาก: <https://women.trueid.net/detail/1bY45j74jpVg>
- TNP1459. (2566). *10 ท่ายืคกล้ามเนื้อ ก่อนออกกำลังกาย และหลังออกกำลังกาย สำหรับผู้ชาย*. ค้นเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ 2566, จาก: <https://sport.trueid.net/detail/OvepNgpM0o3j>

เทคนิคการวิเคราะห์การหมุนของรอกด้วยวิดีโออัตราเร็วสูง High-Speed Video Analysis Technique for Rotation of Pulley

ฐิติวัฒน์ น้อยสะปุ่น

สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

E-mail: thitiwatnoi2540@gmail.com

จิราภรณ์ ปุณยวัจน์พรกุล

ภาควิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

E-mail: jiraporn_poo@cmru.ac.th

จิตรกร กรพรม

ภาควิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

E-mail: chittakorn_kor@cmru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการหมุนของรอกด้วยเทคนิคการวิเคราะห์วิดีโออัตราเร็วสูงและหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของรอก สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และพลังงานกลรวมในระบบ การทดลองใช้การบันทึกวิดีโออัตราเร็วสูงที่อัตรา 240 เฟรมต่อวินาทีและโปรแกรม Tracker วิเคราะห์การหมุนของรอกเดี่ยวด้วยมวล 1.20 กิโลกรัม รัศมี 5.01 เซนติเมตร ที่มีมวลถ่วงให้เกิดการหมุนขนาด 50 100 150 200 และ 250 กรัม ผลการศึกษาพบว่ารอกเกิดการหมุนเร็วขึ้นเมื่อมวลถ่วงมากขึ้น และค่าโมเมนต์ความเฉื่อยจากการทดลองของระบบรอกเท่ากับ $1.70 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$ มีร้อยละความคลาดเคลื่อนจากทฤษฎีเท่ากับ 13.33 ขณะที่รอกหมุนเกิดแรงเสียดทานขึ้นในระบบงานเนื่องจากทอร์กของแรงเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาผ่านไป โดยค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ $2.184 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-1}$ และเมื่อรวมงานนี้ในพลังงานกลรวมในระบบ จะทำให้พลังงานกลรวมในระบบมีค่อนข้างคงที่ตามทฤษฎี ผลการศึกษานี้สามารถช่วยให้ผู้เรียนและครูทุกระดับการศึกษามองเห็นภาพปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจริง และนำไปสู่การเชื่อมโยงเข้ากับหลักการทางฟิสิกส์ที่ใช้ศึกษาในห้องเรียนได้

คำสำคัญ: เทคนิคการวิเคราะห์วิดีโออัตราเร็วสูง การหมุน รอก แทรกเกอร์ โมเมนต์ความเฉื่อย ทอร์ก พลังงานกล

ABSTRACT

This research aims to study the rotation of a pulley using high-speed video analysis techniques and investigate the moment of inertia of the pulley, the coefficient of friction, and the total mechanical energy in the system. High-speed video recording at a rate of 240 frames per second and the Tracker software were used to

analyze the rotation of the pulley with a radius of 5.01 centimeters and a mass of 1.20 kilograms. Various pulling masses of 50, 100, 150, 200, and 250 grams were applied to the pulley. The study revealed that the pulley rotated faster as the pulling mass increased. The calculated moment of inertia from the experiment was found to be $1.70 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$, with a percent error from theoretical expectation of 13.33. Additionally, as the pulley rotated, there was an increasing frictional force within the system. The work done by torque increased over time, and the coefficient of friction was determined to be $2.184 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-1}$. By combining this work with the system's mechanical energy, the total mechanical energy of the system remained relatively constant, in accordance with theory. This study can assist learners and educators at all levels in visualizing real-world phenomena and relating them to the principles of physics studied in the classroom.

Keywords: High-speed video analysis technique, Rolling, pulley, Tracker, moment of inertia, torque, total mechanical energy

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

รถเป็นอุปกรณ์ที่สามารถช่วยผ่อนแรง และอำนวยความสะดวกในการย้ายสิ่งของ ซึ่งใช้ความรู้และหลักการเกี่ยวกับเครื่องกลอย่างง่ายทางฟิสิกส์ แต่การเรียนการสอนเรื่องรถในห้องเรียนยังขาดการศึกษาที่เป็นรูปธรรม และขาดการเชื่อมโยงกับเนื้อหาทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง เช่น ทอร์กการหมุน หรืออัตราเร็วเชิงมุม เป็นต้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยด้านการเรียนการสอนรายวิชาฟิสิกส์เพื่อให้ผู้เรียนได้เชื่อมโยงทฤษฎีกับสถานการณ์จริง ทำให้เข้าใจเนื้อหาอย่างลึกซึ้ง (จิราภรณ์ ปุณยวัฒน์พรกุล กชกร มั่งมี และ อรุมา เมธาเกสร, 2563) ในปี ค.ศ. 2006 ที่ Heck และ Uylings (2006) ได้เริ่มใช้กล้องดิจิทัลที่มี อัตราการบันทึกภาพ 300 เฟรมต่อวินาที มาศึกษาการตกแบบของลูกขนไก่ โดยผลการศึกษายพบว่าสามารถหาอัตราเร็วของลูกขนไก่ได้ และเมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านอากาศ (drag coefficient) กับค่าจริงขณะทดลองพบว่าได้ค่าที่สอดคล้องกัน โดยได้ค่าประมาณ 0.48 ตัวอย่างอื่น ๆ ในปัจจุบันที่มีการนำเทคโนโลยีเข้ามาศึกษาทฤษฎีทางฟิสิกส์ดังกล่าวการศึกษาของ จิราภรณ์ ปุณยวัฒน์พรกุล และวิไลพร ลักษมีวาณิชย์ (2564) ที่ใช้เทคนิคการวิเคราะห์วิดีโออัตราเร็วสูง ในการศึกษาของการตกแบบมีแรงต้านของกรวยกระดาษ ทำให้เห็นตำแหน่งของกรวยกระดาษที่เข้าสู่ความเร็วปลายที่คงที่อย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบทฤษฎีตำแหน่ง ณ เวลาใดๆ ของการตกแบบมีแรงต้านกับตำแหน่งการเคลื่อนที่จริงพบว่าสอดคล้องกัน นอกจากนี้ Poonyawatpornkul, Mangmee, & Methakeson (2022) ได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์วิดีโออัตราเร็วสูง ศึกษาการแกว่งกวัดของวงแหวนเต็มรูปและบางส่วนที่มีรัศมีเท่ากันทำให้พบว่าคาบการแกว่งกวัดของวงแหวนเต็มรูปและบางส่วนนั้นมีความเท่ากัน หรือกล่าวได้ว่าคาบการแกว่งกวัดนี้ไม่ขึ้นอยู่กับลักษณะของวงแหวนแต่ขึ้นอยู่กับรัศมีของวงแหวน ซึ่งการศึกษานี้สอดคล้องกับทฤษฎีดังกล่าว นอกจากนี้จิราภรณ์ ปุณยวัฒน์พรกุล และวิไลพร ลักษมีวาณิชย์ (2562) ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์วิดีโออัตราเร็วสูงในการพัฒนาแนวคิดวิทยาศาสตร์ของผู้เรียน เป็นกิจกรรมเสริมการเรียนรู้ เรื่อง การเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ โดยผลการศึกษายพบว่าผู้เรียนกลุ่มที่เสริมแนวคิดวิทยาศาสตร์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์วิดีโอความเร็วสูงพบแนวคิดทางวิทยาศาสตร์เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 12 เป็นร้อยละ 69 มีความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ระหว่าง 0.24-0.95 มากกว่ากลุ่มควบคุมที่ศึกษาอย่างอิสระนอกที่พบความก้าวหน้าทางการเรียนอยู่ระหว่าง 0.06 – 0.75 ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้เห็นว่า การนำเทคโนโลยีมาช่วย

พัฒนาและศึกษาทฤษฎีทางฟิสิกส์สามารถพัฒนาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์และช่วยเชื่อมโยงทฤษฎีกับการเคลื่อนที่จริงได้

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุที่แขวนติดกับรอก รวมทั้งการหมุนของรอก เพื่อเชื่อมโยงกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง โดยการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ห้วงวิดิโออัตราเร็วสูงสำหรับการหมุนของรอก โดยใช้รอกเดี่ยวตายตัวที่ตรึงติดอยู่กับที่ และใช้เชือกพาดรอบรอกโดยปลายเชือกข้างหนึ่งติดกับตัวรอก ปลายข้างหนึ่งผูกติดกับมวลถ่วง และปล่อยมวลตกลงมาแบบอิสระ แล้วศึกษากระบวนการทำงานต่าง ๆ ของระบบรอก เพื่อให้เห็นถึงกระบวนการทำงานของรอกที่ชัดเจน และหลากหลายแง่มุม

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

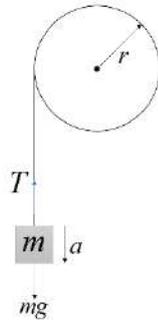
- (1) เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของรอกโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ห้วงวิดิโอความเร็วสูง
- (2) เพื่อศึกษาโมเมนต์ความเฉื่อย สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และพลังงานกลรวมในระบบ

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการหมุนของรอกเดี่ยวตายตัวมวล m โดยเพิ่มมวลถ่วง (m) ที่ปลายเชือกด้านหนึ่งที่พันรอบรอกรัศมี r ทำให้มีแรงดึงเชือก (T) เกิดขึ้นดังแผนภาพที่ 1 โดยขนาดของแรงดึงในเส้นเชือกสามารถหาได้จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน จะได้ว่า

$$T = mg - ma \quad (1)$$



แผนภาพที่ 1 ภาพจำลองของการหมุนของรอก

พิจารณาการหมุนรอก พบว่าการหมุนนี้เกิดจากทอร์กของมวลถ่วง ($\vec{\tau}$) ในทิศทวนเข็มนาฬิกาและหมุนด้วยความเร่งเชิงมุม ($\vec{\alpha}$) โดยความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กลัพธ์กับความเร่งเชิงมุมนี้ สามารถนำไปหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อย (I) ของล้อและเพลาคิดดังนี้

$$\Sigma \vec{\tau} = I\vec{\alpha} \quad (2)$$

รอกที่สร้างขึ้นนี้มีแรงเสียดทานเกิดขึ้นขณะหมุน ซึ่งทอร์กเนื่องจากแรงเสียดทาน ($\vec{\tau}_f$) มีค่าแปรผันตามความเร็วเชิงมุม ($\vec{\omega}$) ของการหมุน สามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$\vec{\tau}_f = b\vec{\omega} \quad (3)$$

เมื่อ b คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานแบบหมุน ($\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$)

เมื่อแทนค่าขนาดของทอร์กเนื่องจากแรงเสียดทาน ในสมการที่ (3) ด้วย $\tau_f = -I d\omega / dt$ จะได้ผลเฉลยดังสมการที่ (4) (Eadkhong, Rajsadorn, Jannual et al., 2012)

$$\omega = \omega_0 \exp\left(-\frac{b}{I}t\right) \quad (4)$$

ในการติดตามตำแหน่งการหมุนของรอก สามารถหาค่า b ได้จากการเลือกเส้นแนวโน้มที่มีฟังก์ชันสอดคล้องกับสมการที่ 4

การทดลองนี้กำหนดให้พิจารณาพลังงานกลจากการเคลื่อนที่ของมวลถ่วง m จากทฤษฎีงานและพลังงานพบว่างานจากแรงที่กระทำต่อมวลถ่วง คือ พลังงานกลที่เปลี่ยนไปของมวล และเมื่อมีแรงเสียดทานเกิดขึ้นในระบบสามารถพิจารณาพลังงานกลที่มวลถ่วง ณ เวลา t ใดๆ ตามหลักการอนุรักษ์พลังงาน ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} E_p(t) + E_k(t) + W_f(t) &= \text{ค่าคงที่} \\ mgh(t) + \frac{1}{2} m[v(t)]^2 + \tau_f \theta(t) &= \text{ค่าคงที่} \end{aligned} \quad (5)$$

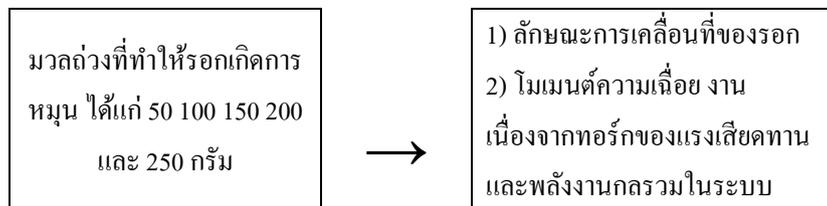
เมื่อ

$E_p(t)$ คือพลังงานศักย์ของมวล m ณ เวลา t ใดๆ มีค่าเท่ากับ $mgh(t)$

$E_k(t)$ คือพลังงานจลน์ของมวล m ณ เวลา t ใดๆ มีค่าเท่ากับ $\frac{1}{2} m[v(t)]^2$

$W_f(t)$ คืองานเนื่องจากทอร์กแรงเสียดทานในระบบล้อและเพลาน ณ เวลา t ใดๆ มีค่าเท่ากับ $\tau_f \theta(t)$

3.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย



แผนภาพที่ 2 กรอบแนวคิดในการวิจัย

3.3 สมมติฐานการวิจัย

ตัวแปรต้น : มวลถ่วงที่ทำให้รอกเกิดการหมุน ได้แก่ 50 100 150 200 และ 250 กรัม

ตัวแปรตาม : 1) ลักษณะการเคลื่อนที่ของรอก
 2) โมเมนต์ความเฉื่อย งานเนื่องจากทอร์กของแรงเสียดทาน และพลังงานกลรวมในระบบ

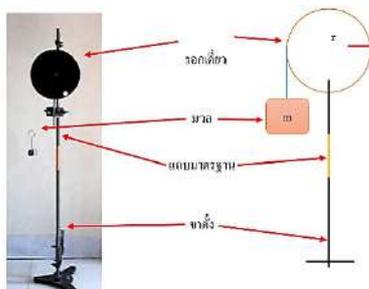
ตัวแปรควบคุม : 1) ระบบรอก
 2) อัตราเร็วในการบันทึกภาพ 240 เฟรมต่อวินาที

4. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของรอกโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์วิถีไอความเร็วสูงและเพื่อศึกษาโมเมนต์ความเฉื่อย สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน และพลังงานกลรวมในระบบ ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับวิธีดำเนินการวิจัยประกอบด้วยส่วนประกอบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย วิธีการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูล โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ส่วนประกอบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

การศึกษาเทคนิคการวิเคราะห์วิถีไอความเร็วสูงสำหรับการหมุนของรอกนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ส่วนประกอบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย 1) รอกที่ทำจากแผ่นไม้วงกลม (M) 1.20 กิโลกรัม รัศมี (R) 5.01 เซนติเมตร จึงมีโมเมนต์ความเฉื่อยทางทฤษฎี ($I_{ทฤษฎี} = \frac{1}{2}MR^2$) เท่ากับ $1.50 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$ 2) มวลถ่วง (m) ขนาด 50 100 150 200 และ 250 กรัม ผูกติดปลายด้านหนึ่งของเชือกที่พันรอบขอบของรอก โดยปลายอีกด้านของเชือกผูกติดกับรอก 3) ขาตั้งระบบรอก และ 4) กล้องวิดีโออัตราเร็วสูง Casio EX-FH100) ที่มีอัตราการบันทึกภาพ 240 เฟรมต่อวินาที การติดตั้งอุปกรณ์แสดงดังแผนภาพที่ 3



แผนภาพที่ 3 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลองของระบบรอก

(ก) ภาพการติดตั้งอุปกรณ์จริง และ (ข) ภาพการติดตั้งอุปกรณ์แบบจำลอง

4.2 วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองเริ่มต้นด้วยการแขวนมวลถ่วง m ตามเงื่อนไขที่กำหนดในตัวแปรต้น ทำให้เกิดการหมุนของรอก และมวล m พร้อมกับการบันทึกวิถีไออัตราเร็วสูง ของการเคลื่อนที่ด้วยกล้องวิดีโอที่ติดตั้งห่างออกไป 1 เมตร ด้วยอัตราเร็วการบันทึกภาพ 240 เฟรมต่อวินาที เงื่อนไขละ 5 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของแต่ละเงื่อนไข

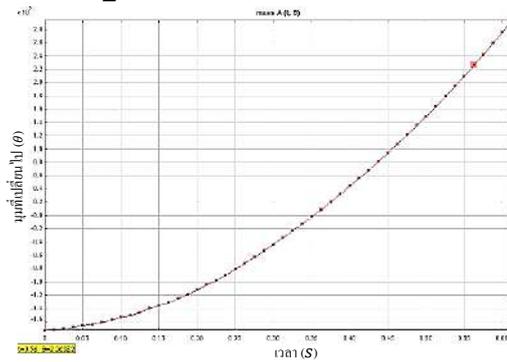
4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำไฟล์วิดีโออัตราเร็วสูงของการหมุนของรอกที่ได้บันทึกไว้ไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tracker โดยการติดตามการเคลื่อนที่ของตำแหน่งที่ติดเครื่องหมาย (marker) บริเวณขอบของรอก (จุดขาว) และมวลถ่วง (จุดแดง) ดังแผนภาพที่ 4

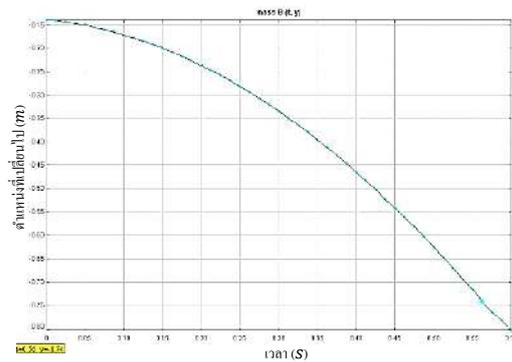


แผนภาพที่ 4 การติดตามการเคลื่อนที่ของตำแหน่งที่ติดเครื่องหมายบริเวณขอบของรอก และมวลถ่วง

การวิเคราะห์ผลการติดตามเครื่องหมายบริเวณขอบของรอกและมวลถ่วง แสดงดังแผนภาพที่ 5 (ก) และ 5 (ข) ตามลำดับ ตัวอย่างการวิเคราะห์เส้นทางกรหมุนของรอก ได้ชุดข้อมูลเป็นตำแหน่งเชิงมุม (θ) กับเวลา (t) ดังแผนภาพที่ 5(ก) การวิเคราะห์ข้อมูลตำแหน่งเชิงมุมกับเวลาด้วยโปรแกรม Tracker นี้ สามารถหาค่าอัตราเร่งเชิงมุมของรอก ได้ด้วยการเลือกสมการในโปรแกรม Tracker ให้สอดคล้องกับลักษณะการเคลื่อนที่ จากกราฟข้อมูลตำแหน่งเชิงมุมกับเวลามีลักษณะเป็นเส้นโค้งพาราโบลา ดังนั้นสมการที่เลือกใช้ คือ $y = A*t^2 + B*t + C$ เมื่อ A B และ C เป็นค่าคงที่ เกิดเป็นเส้นกราฟที่เหมาะสม (fit) ทับพอดีกับข้อมูลตำแหน่งเชิงมุมกับเวลา (เส้นกราฟที่ข) เมื่อเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ (ค่าคงที่) กับสมการการเคลื่อนที่ในแนวตรง $\theta = \omega t + \frac{1}{2} \alpha t^2 + \theta_0$ พบว่าค่าอัตราเร่งเชิงมุม (α) มีค่าเท่ากับ $2A$ เป็นต้น



(ก)



(ข)

แผนภาพที่ 5 การติดตามการเคลื่อนที่ของตำแหน่งที่ติดเครื่องหมายบริเวณขอบของรอก และมวลถ่วง

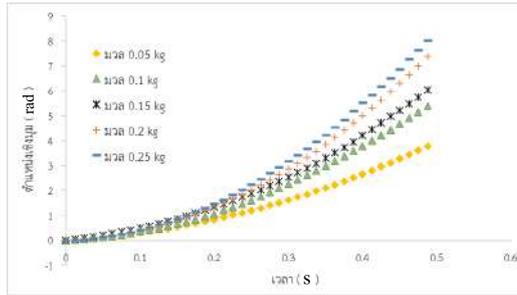
(ก) การติดตามตำแหน่งเครื่องหมายของรอก และ (ข) การติดตามตำแหน่งเครื่องหมายของมวลถ่วง

ข้อมูลพื้นฐานที่ได้จากการติดตามตำแหน่งการเคลื่อนที่ที่สามารถนำไปวิเคราะห์หา อัตราเร่งเชิงมุมของรอก โมเมนต์ความเฉื่อย งานเนื่องจากทอร์กของแรงเสียดทาน และพลังงานกลรวมในระบบ แสดงดังรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

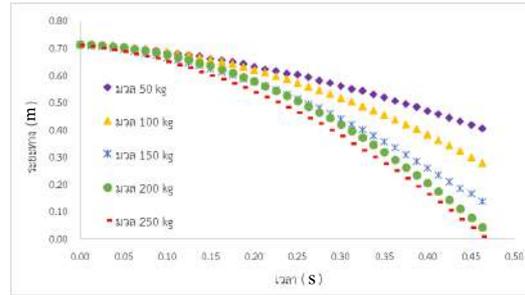
5. ผลการวิจัย

ผลการวิจัยที่ได้ศึกษาการหมุนของรอกด้วยเทคนิคการวิเคราะห์วิดีโออัตราเร็วสูง มีรายละเอียดดังนี้

1) การเคลื่อนที่ของระบบรอก พบว่าเมื่อเพิ่มมวลถ่วงตามเงื่อนไขตัวแปรต้น คือ 50 100 150 200 และ 250 กรัม ทำให้รอกหมุนด้วยอัตราเร่งเชิงมุมมากขึ้น (ตารางที่ 1) หรือรอกหมุนเร็วขึ้นนั่นเอง เมื่อเปรียบเทียบอัตราหมุนของรอกและการเคลื่อนที่ของมวลถ่วงแสดงดังแผนภาพที่ 6 (ก) และ (ข) ตามลำดับ จากกราฟเส้นโค้งทั้งสองลักษณะพบว่าเมื่อเพิ่มมวลถ่วงมากขึ้นเส้นกราฟมีความโค้งมากขึ้นแสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเพิ่มขึ้นนั่นเอง



(ก)



(ข)

แผนภาพที่ 6 การเปรียบเทียบตำแหน่งมุมการหมุนของรอกและตำแหน่งของมวลถ่วง

(ก) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งเชิงมุม (rad) กับเวลา (s) ของการหมุนของรอก และ

(ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งในแนวดิ่ง (m) กับเวลา (s) ของมวลถ่วง

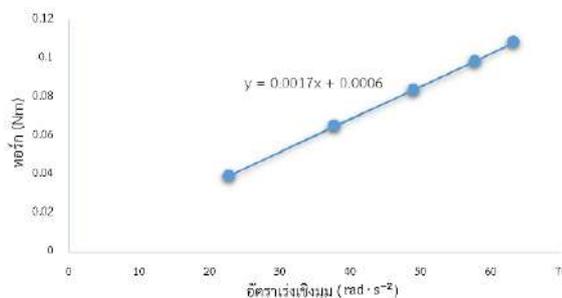
2) โมเมนต์ความเฉื่อย

โมเมนต์ความเฉื่อยได้จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ของทอร์ก ที่ทำให้เกิดการหมุนกับอัตราเร่งเชิงมุม โดยค่าทอร์กนี้คำนวณจากผลคูณจากแรงดึงเชือกกับรัศมีรอก ($\tau = I\alpha$) ได้ข้อมูลรวมดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลตัวแปรจากการทดลองการเคลื่อนที่ของรอก เมื่อ $r = 0.1 \text{ m}$

m (kg)	α (rad/s ²)	a (m/s ²)	$T = mg - ma$ (N)	$\tau_T = Tr$ (Nm)
0.05	22.780	1.942	0.392	0.039
0.10	37.764	3.265	0.651	0.065
0.15	49.064	4.206	0.836	0.083
0.20	57.784	4.862	0.984	0.098
0.25	63.244	5.449	1.083	0.108

เมื่อนำค่าทอร์กและอัตราเร่งเชิงมุมที่ได้ในตารางที่ 1 มาเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กกับอัตราเร่งเชิงมุม โดยให้ทอร์กอยู่บนแกนตั้ง และอัตราเร่งเชิงมุมอยู่บนแกนนอน จะได้กราฟเส้นตรง ดังภาพที่ 6



แผนภาพที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กกับอัตราเร่งเชิงมุม

จากแผนภาพที่ 7 ซึ่งเป็นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กกับอัตราเร่งเชิงมุมของการหมุนของรอก พบว่าได้กราฟลักษณะเส้นตรงซึ่งแสดงว่ารอกหมุนด้วยอัตราเร่งมากขึ้น เนื่องจากการที่ทอร์กดึงรอกมากขึ้น และ

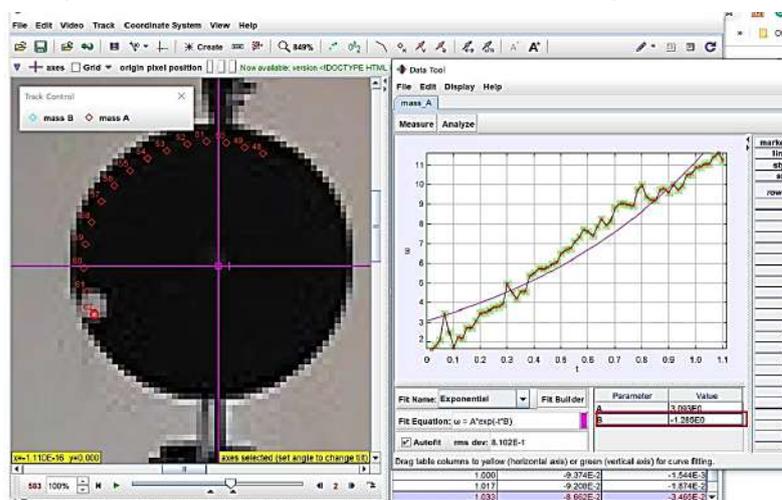
มีค่าโมเมนต์ความเฉื่อย คือค่าความชันของกราฟซึ่งมีค่าเท่ากับ $1.7 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$ และมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง

จากค่าที่ได้ทางทฤษฎีจากสมการ $I = \frac{1}{2} Mr^2$ เท่ากับร้อยละ 13.33

3) สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน งานเนื่องจากทอร์กแรงเสียดทาน และพลังงานกลรวมในระบบ

จากการศึกษาการเคลื่อนที่ของรอกมีการศึกษาโมเมนต์ความเฉื่อย ซึ่งเป็นคุณสมบัติของวัตถุที่จะกำหนดค่าความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงของความเร็วเชิงมุมรอบแกนของการหมุนของรอก ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและงานเนื่องจากทอร์กแรงเสียดทาน เพื่อศึกษา งานเนื่องจากทอร์กแรงเสียดทานและพลังงานกลในระบบ

ในการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและงานเนื่องจากทอร์กแรงเสียดทานนี้ คณะผู้วิจัยเลือกศึกษาเงื่อนไขมวลถ่วงขนาด 100 กรัม พบว่าเมื่อนำข้อมูลจากการติดตามด้วย Tracker มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเชิงมุมกับเวลา เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานแบบหมุน มีลักษณะดังแผนภาพที่ 8

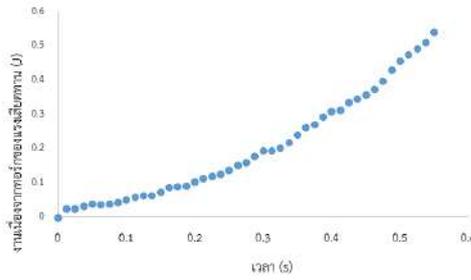


แผนภาพที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเชิงมุมกับเวลา

จากกราฟในแผนภาพที่ 8 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเชิงมุมกับเวลาจะเห็นได้ว่ากราฟมีลักษณะเป็นกราฟเอกซ์โพเนนเชียล $\omega = A \exp(-t * B)$ ซึ่งสอดคล้องกับสมการ

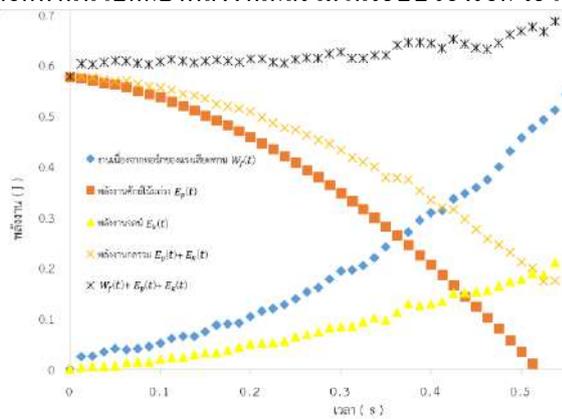
$\omega = A \exp(-\frac{b}{I} t)$ เมื่อเทียบสัมประสิทธิ์จะได้ $b = BI$ ซึ่งค่า B เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากโปรแกรม

Tracker จากกราฟมีค่า 1.285 และ I คือ ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยที่ได้จากการทดลอง ดังนั้นสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (b) มีค่าเท่ากับ $2.184 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-1}$ นำค่าไปนี้คำนวณหาค่าทอร์กแรงเสียดทาน ซึ่งหาจากสมการ $\tau_f = b\omega$ และสามารถคำนวณงานเนื่องจากทอร์กแรงเสียดทานจากสมการ $W = \tau_f \theta$ แล้วนำไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างงานเนื่องจากทอร์กแรงเสียดทานกับเวลา ดังแผนภาพที่ 9



แผนภาพที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างงานเนื่องจากทอร์กแรงเสียดทานและเวลา

จากแผนภาพที่ 9 พบว่ามวลถ่วงที่แขวนกับรอกที่มีขนาด 100 กรัม ทำให้รอกเกิดการหมุน ซึ่งในขณะเดียวกันเกิดงานเนื่องจากทอร์กแรงเสียดทานซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาผ่านไปและเมื่อนำข้อมูลของงานเนื่องจากทอร์กแรงเสียดทานนี้ไปศึกษาพลังงานกลรวมในระบบของรอก จะได้กราฟ ดังแผนภาพที่ 10



แผนภาพที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกลในระบบกับเวลา

จากกราฟในแผนภาพที่ 10 เป็นกราฟที่ประกอบด้วยพลังงานศักย์โน้มถ่วง พลังงานจลน์ และงานเนื่องจากทอร์กของแรงเสียดทาน จากกราฟพบว่าพลังงานกลรวมที่เป็นผลรวมของพลังงานศักย์โน้มถ่วง และพลังงานจลน์มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง เป็นผลเนื่องมาจากงานของทอร์กแรงเสียดทาน เมื่อเพิ่มกราฟของงานเนื่องจากทอร์กของแรงเสียดทานในแผนภาพที่ 9 ลงไป พบว่าพลังงานกลรวมในระบบค่อนข้างคงที่ แต่ช่วงปลายของการเคลื่อนที่ พบว่าพลังงานรวมค่อนข้างเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ขณะทดลองคณะผู้วิจัยสังเกตเห็นว่ามวลมีการส่ายมากขึ้น เนื่องจากการคายตัวของเชือกที่พันรอบรอก

6. อภิปรายผล

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของรอกโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์วิถีไอความเร็วสูง เพื่อศึกษาโมเมนต์ความเฉื่อย งานเนื่องจากทอร์กของแรงเสียดทาน และพลังงานกลรวมในระบบ ในการทดลองใช้รอกนี้เป็นรอกเดี่ยวตายตัวเพื่อศึกษาการหมุนของรอกและการเคลื่อนที่ของมวลถ่วงที่ผูกติดกับเชือกหนึ่งด้านที่คล้องผ่านรอก เมื่อนำไปวิเคราะห์ในโปรแกรม Tracker พบว่าเมื่อผลการเพิ่มมวลถ่วงตามเงื่อนไข 50 100 150 200 และ 250 กรัม ส่งผลทำให้รอกเกิดหมุนเร็วขึ้น ซึ่งในการศึกษาการเคลื่อนที่ของรอกมีการศึกษาโมเมนต์ความเฉื่อย จากการคำนวณทางทฤษฎีมีค่า $1.5 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$ และค่าโมเมนต์ความเฉื่อยจากการทดลองของระบบรอก ได้จากความสัมพันธ์ของทอร์กกับอัตราเร่งเชิงมุม ซึ่งมีค่าเท่ากับ $1.70 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$ และมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากการทฤษฎีเท่ากับ 13.33 แต่เนื่องจากในขณะที่รอกหมุนเกิดแรงเสียดทานขึ้นในระบบ โดยค่ามี

สัมประสิทธิ์ความเสียดทานเท่ากับ $2.184 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-1}$ เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานแบบหมุน ไปศึกษา งานเนื่องจากทอร์กแรงเสียดทานพบว่า งานเนื่องจากทอร์กของแรงเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาผ่านไป และเมื่อรวมงานเนื่องจากทอร์กของแรงเสียดทานในพลังงานกลรวมในระบบทำให้พลังงานกลรวมในระบบมีค่าน้อยลงที่ แต่ช่วงปลายของการเคลื่อนที่พบว่าพลังงานรวมค่าน้อยลงเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ขณะทดลองผู้วิจัยสังเกตเห็นว่ามวลมีการส่ายมากขึ้น เนื่องจากการคายตัวของเชือกที่พันรอบรอก และจากการทดลองสามารถบันทึกการเคลื่อนที่ของรอก จนสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของมวลในระบบได้เป็นที่ประจักษ์ ซึ่งทำให้สามารถเชื่อมโยงกับหลักการหรือทฤษฎีได้

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

- (1) ควรนำไปพัฒนาเป็นสื่อสารการเรียนรู้การสอนเรื่องการหมุนที่เกี่ยวข้องได้

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

- (1) ควรศึกษาในกรณีที่มีมวลถ่วงระบบรอกทั้งสองด้าน

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ที่ให้การสนับสนุนและขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิราภรณ์ ปุณยวัฒน์พรกุล ที่ให้คำปรึกษางานวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างสูง

9. เอกสารอ้างอิง

- จิราภรณ์ ปุณยวัฒน์พรกุล กชกร มั่งมี และอรอุมา เมฆาเกษร. (2563). การศึกษาระบบล้อและเพลาโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์วิถีไอความเร็วสูง. *วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 48(2), 276-285.
- จิราภรณ์ ปุณยวัฒน์พรกุล และวิไลพร ลักษมีวาณิชย์. (2562). การพัฒนาแนวคิดวิทยาศาสตร์ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์วิถีไอความเร็วสูงกรณีศึกษาการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี*, 30(1), 71 – 84.
- จิราภรณ์ ปุณยวัฒน์พรกุล และวิไลพร ลักษมีวาณิชย์. (2564). ผลของแรงต้านอากาศต่อการตกของกรวยกระดาษด้วยเทคนิคการวิเคราะห์วิถีไออัตราเร็วสูง. *วารสารวิชาการและวิจัยมทร.พระนคร*, 15(2), 146-157.
- Eadkhong, T., Rajsadorn, R., Jannual, P., & Danworaphong, S. (2012). Rotational dynamics with Tracker. *European Journal of Physics*, 33, 615–622.
- Heck, A., and Uylings, P. (2006). Capturing the real world in the classroom. *International Journal for Technology in Mathematics Educatio*, 13(3), 107-116.
- Poonyawatpornkul, J., Mangmee, K., & Methakeson, O. (2022). Oscillation of full and partial ring pendulum: Physics Laboratory experiment. *Science & Technology Asia*, 27 (3), 85 – 94.

การพัฒนาสื่ออินโฟกราฟิก เรื่องการฝังยาคุมกำเนิดเพื่อป้องกัน
การตั้งครรภ์ในกลุ่มวัยรุ่น

Infographic media development Regarding Birth control implants
to prevent pregnancy among teenagers

ปริญญาพร ชุมเพชร

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

parinyapron.k@psru.ac.th

สุภาพค์สิริ ชันทอง

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

suphangsiri.k@psru.ac.th

ธนพงศ์ นิตยะประภา*

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

thanapong.n@psru.ac.th

ภาวิณี อินทร์ทอง

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

paviinee.int@psru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนาสื่ออินโฟกราฟิก เรื่องการฝังยาคุมกำเนิดเพื่อป้องกันการตั้งครรภ์ในกลุ่มวัยรุ่น เนื่องจากในปัจจุบันยังมีปัญหาการตั้งครรภ์ในวัยรุ่นอยู่ จึงได้พัฒนาสื่ออินโฟกราฟิกมาเพื่ออธิบายวิธีคุมกำเนิดอีกวิธีที่เหมาะสมกับวัยรุ่น และมีความปลอดภัยสูง โดยได้ทำการออกแบบตรวจสอบเนื้อหาจากผู้เชี่ยวชาญด้านการพยาบาลมารดา ทารก และการผดุงครรภ์ ส่วนสื่ออินโฟกราฟิกพัฒนาโดยใช้โปรแกรม Adobe Illustrator ในการสร้างฉากและตัวละคร ใช้โปรแกรม Adobe After Effects ในการสร้างงานกราฟิกเคลื่อนไหว ใช้โปรแกรม Capcut ในการตัดต่อสื่ออินโฟกราฟิก จากนั้นนำไปประเมินความพึงพอใจของสื่อจากผู้เชี่ยวชาญ ผลการประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับ มากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.92 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.06 และผลการประเมินของความพึงพอใจของกลุ่มเป้าหมายที่ตอบแบบสอบถาม จำนวน 20 คน หลังรับชมสื่อพบว่าอยู่ในระดับ มากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.88 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.33

คำสำคัญ: อินโฟกราฟิก, ฝังยาคุมกำเนิด, ส่งเสริมความรู้

ABSTRACT

The objective of this research is to develop infographic media Regarding birth control implants to prevent pregnancy among teenagers. Due to the ongoing issue of teenage pregnancies, there is a need to create infographics that effectively convey birth control pill implantation knowledge to teenagers in a suitable and safe manner. The content used in the infographics was designed and verified by experts in maternal, infant, and obstetric nursing. The infographics were developed using Adobe Illustrator to create scenes and characters, Adobe After Effects for animated graphics, and Capcut for editing the graphics. Subsequently, the quality of the media was evaluated by experts and received the highest rating, with an average score of 4.95 and a standard deviation of 0.03. Furthermore, after the infographics were shown to a target group of 20 individuals, their satisfaction level was also high, with an average score of 4.88 and a standard deviation of 0.33.

Keywords: Infographics, Birth control pill implantation, Promote knowledge

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

วัยรุ่นเป็นวัยที่มีการเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมนทางเพศสูง เริ่มมีความรักแบบหนุ่มสาว มีการกล้าแสดงออกของความรัก จนไปถึงการมีเพศสัมพันธ์ก่อนวัยอันควร และในปัจจุบันยังคงพบปัญหาการตั้งครรภ์ในกลุ่มวัยรุ่น เนื่องจากวัยรุ่นไทยอาจจะรู้จักวิธีการคุมกำเนิดบางอย่าง ขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการคุมกำเนิด ซึ่งอาจทำให้เกิดการคุมกำเนิดที่ผิดวิธี หรือเกิดจากข้อผิดพลาดในการคุมกำเนิดที่ไม่ได้ประสิทธิภาพ อีกทั้งยังมีผลกระทบหลังคลอดตามมา เช่น มีการหยุดเรียนระหว่างการตั้งครรภ์ หรืออาจจะต้องทำงานในขณะที่เรียนอยู่เพื่อมาทำงานหาเลี้ยงบุตร และภาวะทางด้านเศรษฐกิจถ้าเรียนจบมีวุฒิการศึกษาน้อย ทำให้ได้เงินเดือนที่ไม่เพียงพอต่อการเลี้ยงบุตร โดยกรมอนามัยมีการระบุดัชนีชี้วัดประเทศไทยที่สำรวจในปี พ.ศ. 2564 ว่าลดลงเหลือ 24.4 คน ต่อวัยรุ่น 1,000 คน คิดเป็นร้อยละ 13.1 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2560 ซึ่งอยู่ที่ร้อยละ 15.1 จะเห็นได้ว่าในช่วง 4 ปีหลังของการสำรวจจำนวนเด็กท้องในประเทศไทยลดลง (กรมอนามัยสำนักการเจริญพันธุ์, 2565) แม้ว่าจำนวนกลุ่มวัยรุ่นที่ตั้งครรภ์ในประเทศไทยลดลง แต่ยังคงอยู่ในระดับสูงเป็นอันดับ 7 ของกลุ่มอาเซียน (องค์การอนามัยโลก, 2565) ปัญหาเหล่านี้เกิดจากรู้อย่างไรที่วัยรุ่นยังมีความรู้ไม่เพียงพอเกี่ยวกับวิธีการคุมกำเนิดชนิดต่าง ๆ ซึ่งแต่ละวิธีการคุมกำเนิดมีประสิทธิภาพในการป้องกันและวิธีใช้ที่แตกต่างกัน ดังนั้นวิธีการคุมกำเนิดบางชนิดหากคุมกำเนิดด้วยวิธีที่ไม่ถูกต้อง ก็จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการป้องกันลดลงได้ จากการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับวิธีการคุมกำเนิดพบว่า มีวิธีการคุมกำเนิดทั้งหมด 6 วิธี 1. ถุงยางอนามัย 2. ยาเม็ดคุมกำเนิด 3. ยาเม็ดคุมกำเนิดฉุกเฉิน 4. ยาฉีดคุมกำเนิด 5. ยาฝังยาคุมกำเนิด 6. การทำหมัน โดยเกสซอร์อัสตรีย์ได้บอกไว้ว่า วิธีการคุมกำเนิดที่เกิดข้อผิดพลาดน้อยที่สุด คือวิธีการฝังยาคุมกำเนิด ซึ่งมีข้อดีกว่าในการคุมกำเนิดแบบวิธีอื่น สามารถคุมกำเนิดได้นาน 3 หรือ 5 ปี และวิธีนี้ยังปลอดภัยเหมาะกับวัยรุ่นอีกด้วย (เกสซอร์อัสตรีย์, 2562)

ในปัจจุบันมีการใช้เทคโนโลยีที่ช่วยในการโฆษณา หรือช่วยในการอธิบายข้อความต่าง ๆ ให้เข้าใจง่าย โดยมีการใช้รูปภาพ การใช้บทความสั้น ๆ และมีการใช้เสียงมาประกอบ ซึ่งสิ่งนี้เรียกว่าอินโฟกราฟิก อินโฟกราฟิกเข้ามามีบทบาทในหลาย ๆ ด้าน เนื่องจากสื่ออินโฟกราฟิกช่วยในเรื่องการแสดงผลข้อมูลที่มีความซับซ้อนให้เข้าใจง่าย และสื่ออินโฟกราฟิกมีการนำรูปภาพเข้ามาใช้ในการสื่อความหมายในรูปแบบของสัญลักษณ์ อินโฟกราฟิกจึงเป็นอีกหนึ่งวิธีที่เหมาะสมกับวัยรุ่น เพราะอินโฟกราฟิกไม่จำเป็นต้องอ่านตัวหนังสือเพียงแค่มองรูปภาพ

และฟังเสียงบรรยายก็สามารถทำความเข้าใจกับเนื้อหาได้ดีกว่า (น้ามนต์ เรืองฤทธิ์, 2560) อีกทั้งคนส่วนใหญ่ มักจะจดจำและทำความเข้าใจกับรูปภาพได้ดี สื่ออินโฟกราฟิกยังมีการใช้เอฟเฟกต์ต่าง ๆ มาประกอบเพื่อให้ น่าสนใจเพิ่มมากขึ้น เช่น สื่ออินโฟกราฟิกการป้องกันโควิด สื่ออินโฟกราฟิกการใช้ ATK ตรวจสอบโควิด

จากปัญหาและเทคโนโลยีที่มีในปัจจุบัน ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะสร้างสื่ออินโฟกราฟิกในเรื่องของการฟัง ยาคุมกำเนิดให้กับวัยรุ่น เนื่องจากวัยรุ่นส่วนใหญ่ยังไม่รู้วิธีการคุมกำเนิดในรูปแบบอื่น ๆ ยังรู้จักแค่เพียงวิธีการ กินยาคุมกำเนิดหรือการใส่ถุงยางอนามัย เพราะรัฐบาลมีการให้ณรงค์ในเรื่องนี้ แต่ยังมีอีกหนึ่งวิธีที่น่าสนใจคือ วิธีการฝังยาคุมกำเนิด ซึ่งมีข้อดีในการคุมกำเนิด มีความปลอดภัย เหมาะกับนำมาใช้ให้กับวัยรุ่น สามารถ คุมกำเนิดได้ในระยะยาว มีอัตราการคุมกำเนิดสูงความล้มเหลวไม่เกิน 0.1% (นงลักษณ์ สุขวาณิชศิลป์, 2564) จากการศึกษาผู้วิจัยจึงมีความคิดที่จะพัฒนาสื่อนี้ขึ้นมาเพื่อให้กับผู้ที่สนใจให้มีความรู้เกี่ยวกับวิธีการคุมกำเนิด แบบฝังยาคุมมากขึ้น

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อศึกษาวิธีการคุมกำเนิดที่สามารถใช้กับวัยรุ่นได้ดี และแนวทางการออกแบบสื่ออินโฟกราฟิก
- (2) เพื่อออกแบบและพัฒนาสื่ออินโฟกราฟิก เรื่องการฝังยาคุมกำเนิดเพื่อป้องกันการตั้งครรภ์ในกลุ่ม วัยรุ่น
- (3) เพื่อประเมินความพึงพอใจจากกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อสื่ออินโฟกราฟิก เรื่องการฝังยาคุมกำเนิดเพื่อ ป้องกันการตั้งครรภ์ในกลุ่มวัยรุ่น

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดเกี่ยวกับอินโฟกราฟิก (Infographics) เป็นการนำข้อมูลที่เข้าใจยากหรือข้อมูลที่เป็นตัวหนังสือ จำนวนมากมานำเสนอในรูปแบบต่าง ๆ อย่างสร้างสรรค์ที่สามารถเล่าเรื่องได้ด้วยตัวเอง ซึ่งจะต้องรวบรวม ข้อมูลต่าง ๆ ให้เพียงพอแล้วนำมาสรุป วิเคราะห์เรียบเรียงแสดงออกมาเป็นภาพจึงจะดึงดูดความสนใจได้ดีช่วย ลดเวลาในการอธิบายเพิ่มเติม ซึ่งสามารถทำให้มีความสวยงาม น่าสนใจ เข้าใจง่าย สามารถจดจำได้นาน เพื่อให้ การสื่อสารเข้าใจง่ายและเข้าถึงผู้รับข่าวสารได้มากที่สุด (ศรัญญา เตชะปานันต์ และ มนต์ ขจรเจริญ, 2560)

แนวคิดเกี่ยวกับโมชั่นอินโฟกราฟิก (Motion Infographic) เป็นวิธีการนำเสนอข้อมูลหรือความรู้ที่ผ่าน การประมวลผลแล้ว สรุปย่อให้เหลือแค่ใจความสำคัญหรือสิ่งที่ต้องการแสดง ผ่านการออกแบบ สื่อสารด้วยภาพ กับการเคลื่อนไหวของภาพอย่างสร้างสรรค์ ซึ่งเหมาะสำหรับผู้คนในยุคดิจิทัลคอนเทนต์ ที่ต้องการเข้าถึง เข้าใจ ข้อมูลที่มีปริมาณมากในเวลาจำกัด จากนั้นนำข้อดีของการ์ตูนโมชั่นกราฟิกที่สามารถแสดงออกทางด้านสีหน้า อารมณ์ความรู้สึกของตัวละครผ่านทางกราวดรวมถึง การลงสีที่ให้ความรู้ที่นุ่มนวล และอ่อนโยน จึงช่วยดึงดูด ความสนใจของผู้เรียนและสื่อความหมายได้ดีกว่า ประกอบกับเด็กและเยาวชนมีการรับรู้สื่อการ์ตูนโมชั่นกราฟิก โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ซึ่งจะเห็นได้ว่าสื่อการ์ตูนโมชั่นกราฟิก เป็นสื่อที่มีความเหมาะสมต่อการถ่ายทอด เรื่องราวสำหรับเด็กและเยาวชน โโมชั่นกราฟิกนั้นเป็นการออกแบบในรูปแบบ สื่อรูปภาพ เพื่อใช้ในการสื่อสาร รวมกับเทคนิคการเคลื่อนไหวของภาพอย่างสร้างสรรค์เพื่อให้ผู้รับสารสามารถเข้าใจในข้อมูลหรือเนื้อหาที่ ซับซ้อน ได้ง่ายขึ้น ซึ่งเหมาะสำหรับเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบันที่ต้องการเข้าถึงข้อมูลได้อย่างเข้าใจในเวลา ที่จำกัด (กวิศรา วรภัทรขจรกุล, 2565)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

น้ามนต์ เรื่องฤทธิ์ (2560) ได้ทำการวิจัยสื่ออินโฟกราฟิกเกี่ยวกับเรื่อง อินโฟกราฟิกกับการออกแบบสื่อการสอน เนื่องจากมีการปฏิรูปการศึกษาการเรียนรู้ให้กับเด็กไทย สื่อการเรียนการสอนจึงต้องมีการเปลี่ยนแปลงให้ทันสมัย ผู้สอนจึงต้องเรียนรู้หาวิธีการออกแบบสื่ออินโฟกราฟิก เพื่อนำมาใช้ประกอบการเรียนการสอน ดังนั้นจึงได้มีการจัดทำสื่ออินโฟกราฟิกมาให้ความรู้เกี่ยวกับอินโฟกราฟิกขึ้นมา เพื่อให้ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสื่ออินโฟกราฟิกรวมถึงหลักการออกแบบแก่ผู้สอนนำไปประยุกต์ใช้สร้างสื่อการเรียนการสอน ผลออกมาว่าผู้สอนมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสื่ออินโฟกราฟิกเพิ่มมากขึ้น และได้นำความรู้ด้านหลักการออกแบบไปใช้สร้างสื่อการเรียนการสอน

ปรีชารัตน์ รัตนวิบูลย์ และศุภาวี เผือกเทศ (2563) ได้ทำการวิจัยเรื่องผลของโปรแกรมการสร้างเสริมพลังอำนาจร่วมกับการให้ความรู้ผ่านสื่ออินโฟกราฟิกต่อการตัดสินใจคุมกำเนิด โดยการส่งยาคุมกำเนิดเพื่อป้องกันการตั้งครรภ์ซ้ำในวัยรุ่น ซึ่งปัญหาของงานวิจัยนี้คือการตั้งครรภ์ในกลุ่มวัยรุ่นที่มีอายุน้อย กว่า 20 ปี สูงขึ้น และเกิดการตั้งครรภ์ซ้ำอย่างต่อเนื่อง และปัญหาการคุมกำเนิดหลังคลอด เนื่องจากมีความรู้ความเข้าใจที่ไม่ถูกต้อง ทำให้ไม่ยอมคุมกำเนิดหลังการคลอด ดังนั้นจึงได้จัดทำผลของโปรแกรมการตัดสินใจโดยการส่งยาคุม แต่ก็ไม่เพียงพอต่อการให้ความรู้ความเข้าใจในกลุ่มวัยรุ่น จึงได้มีการนำสื่ออินโฟกราฟิกเข้ามาให้ความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการคุมกำเนิด เพื่อประกอบการตัดสินใจในการเลือกใช้วิธีคุมกำเนิดหลังการคลอด ผลออกมาว่ากลุ่มวัยรุ่นส่วนใหญ่ตัดสินใจเลือกคุมกำเนิดโดยวิธีใช้ยาฝังคุมกำเนิดมากที่สุด

เฉลิมลักษณ์ วิจิตรานนท์ และกาญจนา วรรณะพาหุณ (2564) ได้ทำการวิจัยเรื่องการเข้าถึงยาฝังคุมกำเนิดในแม่วัยรุ่นหลังคลอด การวิจัยนี้พบว่าส่วนใหญ่หลังคลอดจะเป็นการคุมกำเนิดแบบชั่วคราว เช่น ยาเม็ดคุมกำเนิด ยาฉีดคุมกำเนิด อีกทั้งกลุ่มแม่วัยรุ่นบางส่วนก็ตัดสินใจไม่คุมกำเนิดหลังคลอด เนื่องจากบางส่วนยังไม่ทราบว่ามีการบริการฝังยาคุมกำเนิดฟรี และก็ยังมีความเข้าใจว่ามีราคาแพง ดังนั้นผู้วิจัยจึงจัดอบรมให้ความรู้กลุ่มแม่วัยรุ่นหลังคลอด เพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจว่าวิธีการฝังยาคุมกำเนิดคืออะไร มีผลข้างเคียงมากน้อยแค่ไหน ข้อดีข้อเสียของการฝังยาคุมกำเนิด และมีให้บริการแก่กลุ่มวัยรุ่นหลังคลอดที่สนใจใช้วิธีคุมกำเนิดแบบฝัง ผลการวิจัยพบว่ากลุ่มแม่วัยรุ่นหลังคลอดที่ได้รับการจัดการอบรม ร้อยละ 95.6 เลือกใช้วิธีการคุมกำเนิดแบบฝัง

พิทยา แก้วสาร และนภาพิณ จันทขัมมา (2564) ได้ทำการวิจัยเรื่องการป้องกันการตั้งครรภ์ในวัยรุ่นกลุ่มนักเรียนประถมปลาย มีการพบว่าปัญหาการตั้งครรภ์ในวัยรุ่นมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เป็นภาวะเสี่ยงที่ส่งผลกระทบต่อทางด้านสังคม เศรษฐกิจ การศึกษา การตั้งครรภ์เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการหยุดเรียนหรือการเลิกเรียนกลางคัน ถึงแม้ว่ากฎหมายจะกำหนดให้สถานศึกษาจัดระบบการศึกษาที่เหมาะสม แต่ก็ยังพบว่าเป็นปัญหาในสังคม แม้ว่าเด็กนักเรียนบางคนที่ตั้งครรภ์มีความพร้อมและตั้งใจ การวิจัยครั้งนี้จึงมีความสำคัญเนื่องจากเป็นการป้องกันการตั้งครรภ์ครั้งแรกในวัยรุ่น ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่าควรที่จะต้องมีการจัดการเรียนการสอนให้ความรู้เพิ่มเติมในกลุ่มนักเรียนประถมวัย เพื่อให้ความรู้ทางการคุมกำเนิดกับกลุ่มนักเรียน ผลออกมาว่าเด็กมีความรู้ความเข้าใจมากยิ่งขึ้น สามารถถามตอบได้ชัดเจน และรู้ว่าการคุมกำเนิดคืออะไร

4. วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยนี้มีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย 3 ขั้นตอน ประกอบด้วย 1) ขั้นตอนการศึกษาเรื่องการคุมกำเนิดในกลุ่มวัยรุ่น 2) ขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาสื่ออินโฟกราฟิก 3) ขั้นตอนการประเมินความพึงพอใจของสื่ออินโฟกราฟิก

4.1 ขั้นตอนศึกษาเรื่องการคุมกำเนิดในกลุ่มวัยรุ่น

4.1.1 ศึกษาหาข้อมูลวิธีการคุมกำเนิดที่เหมาะสมกับวัยรุ่นจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.1.2 นำผลจากการศึกษาไปทำการตรวจสอบข้อมูลโดยการสอบถามและสัมภาษณ์จากผู้เชี่ยวชาญด้านการพยาบาลมารดา ทารกและการผดุงครรภ์ ซึ่งเป็นอาจารย์สาขาพยาบาล มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จำนวน 1 ท่าน

4.1.3 รวบรวมข้อมูล จากข้อ 1.1 และ 1.2 มาสรุปวิธีการคุมกำเนิดแบบฝังยาคุมกำเนิดที่จะใช้ทำสื่ออินโฟกราฟิกการฝังยาคุมกำเนิด

4.2 ขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาสื่ออินโฟกราฟิก

4.2.1 ศึกษาขั้นตอนวิธีการออกแบบและพัฒนาสื่ออินโฟกราฟิก จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

4.2.2 ทำการออกแบบสื่ออินโฟกราฟิก โดยแบ่งขั้นตอนออกเป็น ดังนี้

- ออกแบบบทดำเนินเรื่อง (Script) โดยการนำข้อมูลจากหนังสือและคลิปวิดีโอของการฝังยาคุมกำเนิด

- ออกแบบบทภาพ (Storyboard) โดยอ้างอิงจากหนังสือคู่มือการให้บริการยาฝังคุมกำเนิด

- ออกแบบตัวละครและฉาก โดยใช้หลักการการออกแบบของสื่ออินโฟกราฟิก

4.2.3 พัฒนาสื่ออินโฟกราฟิกการฝังยาคุมกำเนิด

4.3 ขั้นตอนการประเมินความพึงพอใจของสื่ออินโฟกราฟิกการฝังยาคุมกำเนิด

4.3.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเพื่อสร้างแบบประเมินความพึงพอใจในด้านความเหมาะสมของเนื้อหา และความเข้าใจในสื่ออินโฟกราฟิก

4.3.2 ประเมินความพึงพอใจในด้านความเหมาะสม และความถูกต้องของเนื้อหาในสื่ออินโฟกราฟิกโดยเลือกแบบเจาะจงไปที่ผู้เชี่ยวชาญ แบ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญทางด้านเนื้อหา 1 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญทางด้านกราฟิกและสื่อ 2 ท่าน รวมทั้งหมด 3 ท่าน

4.3.3 ประเมินความพึงพอใจ ความเข้าใจในสื่ออินโฟกราฟิก โดยเลือกแบบเจาะจง ไปที่ผู้ที่นักศึกษาสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศชั้นปีที่ 4 มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามทั้งหมด 20 ท่าน

5. ผลการวิจัย

ผลจากการรวบรวมข้อมูลและศึกษาวิธีการคุมกำเนิด มีดังนี้

8.1 ผลจากการศึกษาเรื่องการคุมกำเนิด

8.1.1 จากการศึกษาวิธีการคุมกำเนิดทั้งหมด 6 วิธี 1. ถุงยางอนามัย 2. ยาเม็ดคุมกำเนิด 3. ยาเม็ดคุมกำเนิดฉุกเฉิน 4. ยาฉีดคุมกำเนิด 5. ยาฝังยาคุมกำเนิด 6. การทำหมัน พบว่าการฝังยาคุมกำเนิดเป็นวิธีที่ดีที่สุดปลอดภัย เหมาะกับวัยรุ่นที่สุด และผลจากการที่ได้จากการศึกษาพบว่า วัยรุ่นรู้จักการคุมกำเนิด แต่ยังไม่ค่อยรู้จักวิธีการคุมกำเนิดแบบฝังยาคุม

8.1.2 นำข้อมูลในข้อ 8.1.1 ไปสอบถามและสัมภาษณ์ ผู้เชี่ยวชาญด้านการพยาบาลมารดา ทารกและการผดุงครรภ์ ในส่วนของเนื้อหา และความถูกต้องของเนื้อหาที่จะนำไปใช้ในการออกแบบสื่ออินโฟกราฟิก

8.1.3 สรุปผลศึกษาวิธีการคุมกำเนิดที่ปลอดภัยและเหมาะสมกับกลุ่มวัยรุ่นที่สุด โดยเลือกใช้วิธีการคุมกำเนิดแบบฝังและทำเป็นสื่ออินโฟกราฟิกการฝังยาคุมกำเนิดเพื่อให้วัยรุ่นเข้าใจเรื่องนี้ได้มากขึ้น

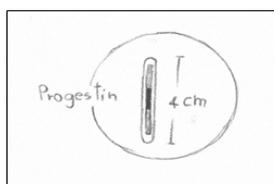
8.2 ผลการออกแบบและพัฒนาสื่ออินโฟกราฟิกการฝังยาคุมกำเนิด

8.2.1 ผลจากการศึกษาเกี่ยวกับการสร้างสื่ออินโฟกราฟิก จากการศึกษาได้เลือกใช้โปรแกรมในการสร้างสื่ออินโฟกราฟิก ดังนี้ โดยใช้โปรแกรม Adobe Illustrator ใช้สร้างฉากและตัวละคร, โปรแกรม Adobe After Effects ใช้สร้างงานกราฟิกเคลื่อนไหว, โปรแกรม Capcut ใช้สำหรับตัดต่อ

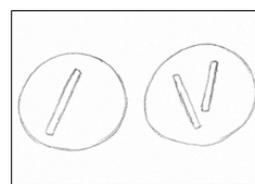
8.2.2 ผลการเขียนบทดำเนินเรื่อง (Script) บทภาพ (Storyboard) และแบบตัวละคร โดยใช้ข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญได้ทำการตรวจสอบ มีขั้นตอนดังนี้ 1) นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษามาวิเคราะห์และออกแบบบทดำเนินเรื่อง (Script) โดยเรียงลำดับเรื่องก่อนหลังตามความสำคัญของเหตุการณ์ และแบ่งย่อหน้าออกเป็น 14 หัวข้อเพื่อให้เข้าใจง่าย จากนั้นนำบทดำเนินเรื่อง (Script) ไปสร้างบทภาพ (Storyboard) สื่ออินโฟกราฟิกการฝังยาคุมกำเนิด นำเนื้อหาในบทดำเนินเรื่อง (Script) มาสร้างภาพให้เห็นลำดับของการเล่าเรื่องในรูปแบบภาพเคลื่อนไหว แสดงดังแผนภาพที่ 2



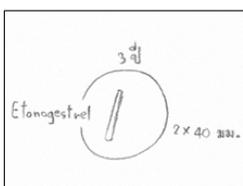
1 รู้จักวิธีการคุมกำเนิดอะไรบ้าง?



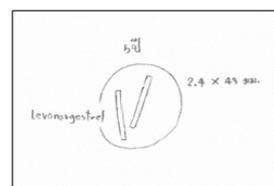
2 ยาฝังคุมกำเนิดคืออะไร



3 ชนิดของยาฝังคุมกำเนิด



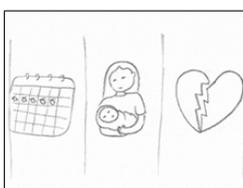
4 ยาฝังคุมกำเนิดแบบชนิด 1 หลอด



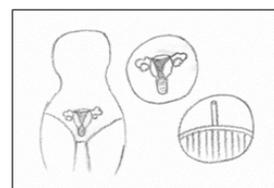
5 ยาฝังคุมกำเนิดแบบชนิด 2 หลอด



6 ยาฝังคุมกำเนิดชนิดฝังเหมาะกับใคร



7 ยาฝังคุมกำเนิดฝังได้คอนไหนกันนะ



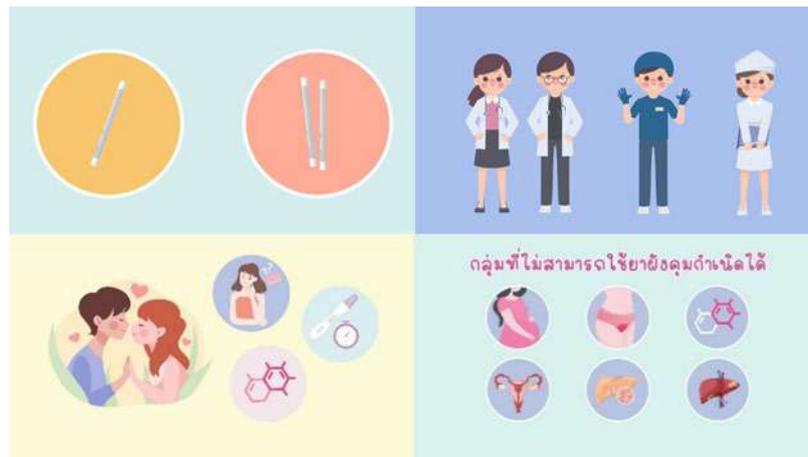
8 การออกฤทธิ์ การป้องกันการตั้งครรภ์



9 ข้อแนะนำภายหลังของการฝังยาคุม

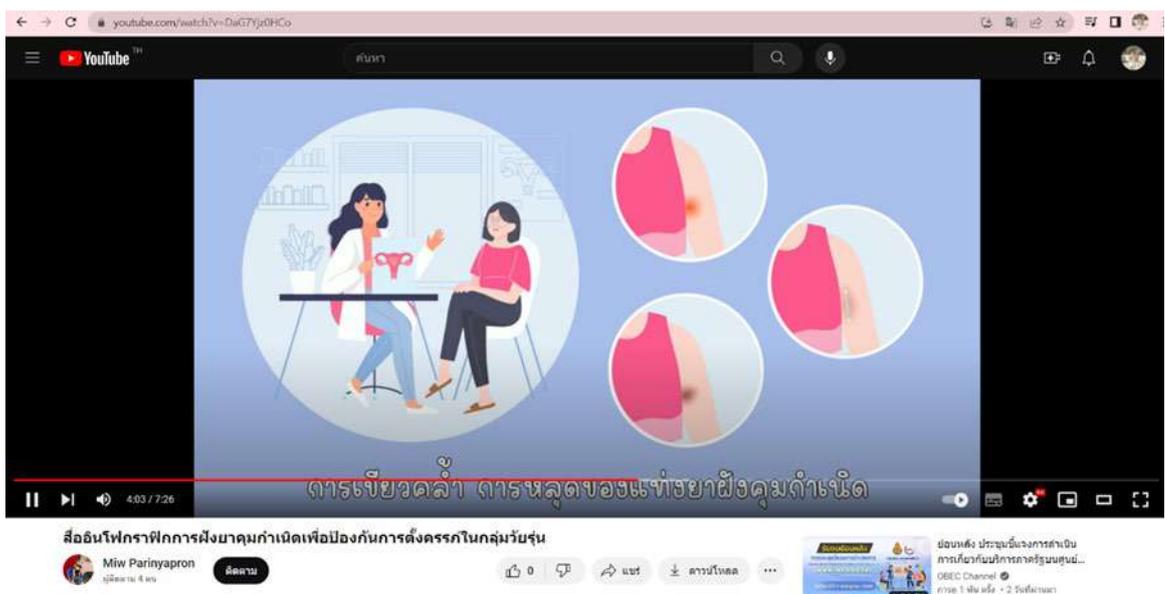
แผนภาพที่ 2 ตัวอย่างสตอรี่บอร์ด

จากนั้นได้ทำการนำบทดำเนินเรื่อง (Script) และบทภาพ (Storyboard) ที่สร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการพยาบาลมารดา ทารกและการผดุงครรภ์ ได้ตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหา และลำดับการเล่าเรื่องอีกครั้งเพื่อความถูกต้อง เมื่อผ่านกระบวนการตรวจสอบแล้วได้ทำการออกแบบฉากและตัวละคร โดยนำภาพร่างจากบทภาพ (Storyboard) มาทำการวาดบนโปรแกรม โดยโทนสีที่ใช้ในงานจะเน้นสีสดใส เป็นโทนพาสเทล เพื่อที่จะนำไปใช้ในการสร้างภาพเคลื่อนไหว แสดงดังแผนภาพที่ 3



แผนภาพที่ 3 ตัวอย่างการออกแบบตัวละคร และฉาก

8.2.3 ผลการพัฒนาสื่ออินโฟกราฟิกการฝังยาคุมกำเนิดเพื่อป้องกันการตั้งครรภ์ในกลุ่มวัยรุ่น แสดงดังแผนภาพที่ 4



แผนภาพที่ 4 สื่ออินโฟกราฟิกการฝังยาคุมกำเนิดเพื่อป้องกันการตั้งครรภ์ในกลุ่มวัยรุ่น

8.3 ผลการประเมินความพึงพอใจในสื่ออินโฟกราฟิกการฝังยาคุมกำเนิดเพื่อป้องกันการตั้งครรภ์ในกลุ่มวัยรุ่น ได้แบ่งการประเมินออกเป็น 2 กลุ่มดังนี้

8.3.1 ผลการประเมินความพึงพอใจจากการดูสื่ออินโฟกราฟิกการฝังยาคุมกำเนิดเพื่อป้องกันการตั้งครรภ์ในกลุ่มวัยรุ่น โดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน แบ่งเป็นทางด้านเนื้อหา 1 ท่าน ทางด้านกราฟิกและสื่อ 2 ท่าน ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน พบว่ามีผลการประเมินอยู่ในระดับ มากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.95 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.03 แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลประเมินความพึงพอใจจากการดูสื่ออินโฟกราฟิกโดยผู้เชี่ยวชาญ

รายการประเมิน	\bar{x}	S.D.	ผลลัพธ์
ด้านเนื้อหา			
1. เนื้อหามีความชัดเจนเข้าใจง่าย	5.00	0.00	มากที่สุด
2. ความสอดคล้องแต่ละเนื้อหาที่มีความถูกต้อง	5.00	0.00	มากที่สุด
3. การใช้ภาษามีความสื่อสารชัดเจน	5.00	0.00	มากที่สุด
ด้านการนำเสนอ			
1. เสียงในการบรรยายมีความเหมาะสม	4.67	0.22	มากที่สุด
2. การนำเสนอมีความน่าสนใจ	5.00	0.00	มากที่สุด
3. การออกแบบทำให้เข้าใจเกี่ยวกับการส่งยาคุมกำเนิด	5.00	0.00	มากที่สุด
4. ความยาวของสื่อมีความเหมาะสม	5.00	0.00	มากที่สุด
รวม	4.92	0.06	มากที่สุด

8.3.2 ผลการประเมินความพึงพอใจจากการดูสื่ออินโฟกราฟิกการส่งยาคุมกำเนิดเพื่อป้องกันการตั้งครรภ์ในกลุ่มวัยรุ่น โดยนักศึกษาเทคโนโลยีสารสนเทศชั้นปีที่ 4 มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ทั้งหมด 20 คน พบว่ามีความพึงพอใจเฉลี่ยอยู่ในระดับ มากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.88 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.33 ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลประเมินความพึงพอใจจากการดูสื่ออินโฟกราฟิกโดยนักศึกษา

รายการประเมิน	\bar{x}	S.D.	ผลลัพธ์
ด้านเนื้อหา			
1. ชิ้นงานมีความน่าสนใจ สามารถดูได้จับ	4.85	0.36	มากที่สุด
2. ทำให้มีความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการส่งยาคุมกำเนิดเพิ่มขึ้น	4.90	0.30	มากที่สุด
3. เสียงในการนำเสนอมีความน่าสนใจ	4.90	0.30	มากที่สุด
4. ความสวยงามในการออกแบบ	4.85	0.36	มากที่สุด
รวม	4.88	0.33	มากที่สุด

6. อภิปรายผล

จากผลการวิจัยพบว่าสื่ออินโฟกราฟิกการส่งยาคุมกำเนิดเพื่อป้องกันการตั้งครรภ์ในกลุ่มวัยรุ่น สามารถนำไปให้ความรู้เพิ่มเติมกับวัยรุ่น และกลุ่มอื่น ๆ ได้เป็นอย่างดี เพราะได้มีการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ ทั้งหมด 3 ท่าน ทั้งทางด้านเนื้อหา และด้านการนำเสนอ อยู่ในระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.92 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.06 อีกทั้งยังมีผลประเมินความพึงพอใจจากการรับชม สื่ออินโฟกราฟิกการส่งยาคุมกำเนิดเพื่อป้องกันการตั้งครรภ์ในกลุ่มวัยรุ่นโดยนักศึกษาทั้งหมด 20 คน ผลการประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.88 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.33 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของพนัสนิรันดร์ ลิ้มปิ่นนันทน์ และคณะ ที่ได้พัฒนาสื่อดิจิทัลสำหรับให้ความรู้มารดาหลังคลอดในโรงพยาบาล ซึ่งได้ทำการสร้างสื่ออินโฟกราฟิกในรูปแบบโมชันกราฟิกสำหรับการให้ความรู้กับมารดาหลังคลอดบุตร ทั้งหมด 4 ตอน จากนั้นได้ทำการ

ประเมินผลการรับรู้สื่ออินโฟกราฟฟิกของมารดาหลังคลอด จำนวน 100 คน ผลออกมาอยู่ในระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.58 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.65 จึงแสดงให้เห็นว่าสื่ออินโฟกราฟฟิกการฝังยาคุมกำเนิดเพื่อป้องกันการตั้งครรภ์ในกลุ่มวัยรุ่น สามารถนำไปให้ความรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

สามารถนำผลในการพัฒนาสื่ออินโฟกราฟฟิกการฝังยาคุมกำเนิดเพื่อป้องกันการตั้งครรภ์ในกลุ่มวัยรุ่นไปเป็นแนวทางในการพัฒนาสื่อให้มีประสิทธิภาพ

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

สามารถทำอินโฟกราฟฟิกเพื่อแสดงรายละเอียดในเรื่องของกระบวนการหรือขั้นตอนในการคุมกำเนิดที่เกิดขึ้นในร่างกายมนุษย์เพื่อใช้เป็นสื่อที่เพิ่มองค์ความรู้ให้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น

8. เอกสารอ้างอิง

- กวิสรา วรภัทรขจรกุล. (2565). การพัฒนาสื่อ โฆษณากราฟิกร่วมกับกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดเชิงคำนวณ วิชาวิทยาศาสตร์(เทคโนโลยี) ชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนในกลุ่มเครือข่ายโพธารามที่ 1. ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีการศึกษา ภาควิชาเทคโนโลยีการศึกษา มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- เฉลิมลักษณ์ วิจิตรานนท์ และกาญจนา วรณะพาหุณ. (2564). การเข้าถึงยาฝังคุมกำเนิดในแม่วัยรุ่นหลังคลอด จังหวัดสมุทรปราการ. *วารสารการส่งเสริมสุขภาพและอนามัยสิ่งแวดล้อม*, 44(3), 37-39.
- นงลักษณ์ สุขวานิชย์ศิลป์. (2564). การฝังยาคุมกำเนิด. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 31 พฤษภาคม 2565, จาก <https://www.sikarin.com/female/ยาฝังคุมกำเนิด>.
- น้ามนต์ เรื่องฤทธิ์. (2560). อินโฟกราฟิกกับการออกแบบสื่อการสอนเป็นนำเสนอในลักษณะของกราฟิก. *วารสารศึกษาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร*, 15(2), 30-32.
- ปรีชารัตน์ รัตน์วิบูลย์ และศุภาวี เผือกเทศ. (2563). การให้ความรู้ผ่านสื่ออินโฟกราฟิกต่อการตัดสินใจคุมกำเนิด โดยการฝังยาคุมกำเนิดเพื่อป้องกันการตั้งครรภ์. *วารสารพยาบาลสภาวิชาชีพไทย*, 13(2), 243-244.
- พจน์ศิริพันธ์ ลิ้มปิ่นพันธ์, ธเนศ ยืนสุข, และทิพวิมล ชมภูคำ. (2564). การพัฒนาสื่อดิจิทัลสำหรับให้ความรู้มารดาหลังคลอดในโรงพยาบาล. *วารสารวิชาการการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ*, 7(1), 64-73
- พิทยา แก้วสาร และนภาพีญ จันทขัมมา. (2564). การป้องกันการตั้งครรภ์ในวัยรุ่นกลุ่มนักเรียนประถมปลาย. *วารสารพยาบาลสงขลานครินทร์*, 41(2), 102-104.
- เกศจักรอัสริย์. (2563). การคุมกำเนิดมีกี่แบบ วิธีคุมกำเนิดแบบต่างๆ ข้อดีข้อเสียแต่ละแบบ. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 23 กรกฎาคม 2566, จาก <https://www.youtube.com/watch?v=Zf977zrwwvA>.
- ศรีัญญา เตชะปภานันท์ และ มนต์ ขอเจริญ. (2560). การวิเคราะห์รูปแบบและความหมายของสารด้านสุขภาพผ่านการออกแบบอินโฟกราฟิก (Infographic) ในนิตยสาร SOOK. *วารสารบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต*, 6(1), 1149-1161.
- สำนักอนามัยเจริญพันธ์. (2565). *อัตราการคลอดของหญิง*. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 28 กันยายน 2565, จาก <https://rh.anamai.moph.go.th/th/department-yearly-report>.
- องค์การอนามัยโลก. (2565). *รายการข้อมูลที่น่าสนใจ อัตราการคลอดในหญิงอายุ 15-19 ปี*. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 28 กันยายน 2565, จาก <https://shorturl.asia/T2YcO>.

**การพัฒนาแนวคิด เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
โดยใช้การจัดการเรียนรู้การทดลองเป็นฐานร่วมกับ
เทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย (POE)**

**The Development a Conception on Chemical Reaction Rate by Laboratory-Based
Learning with Predict-Observe-Explain (POE)**

กาญจนา ศรีสุวรรณ

วิชาเอกเคมี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต 83000

E-mail: kanjana067833@gmail.com

ภรทิพย์ สุขเพิ่ม

วิชาเอกเคมี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต 83000

E-mail: porntip.s@pkru.ac.th

ดาริน บุญศรี

วิชาเอกเคมี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต 83000

E-mail: piyanut_chem@pkru.ac.th

สุภาพร ดาววัลย์

วิชาเอกเคมี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต 83000

E-mail: supaporn.d@pkru.ac.th

ณัฐกร ชีประวัติชัย

วิชาเอกเคมี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต 83000

E-mail: nattakon.c@pkru.ac.th

อานีซะห์ ดือรานิง

วิชาเอกเคมี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต 83000

E-mail: anisah.d@pkru.ac.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาแนวคิด ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยการจัดการจัดการเรียนรู้การทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย และเพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่มีต่อการเรียนรู้เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบใช้การทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/1 ปีการศึกษา 2565 จำนวน 37 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย แบบวัดแนวคิดทางการเรียนรู้ และแบบประเมินความพึงพอใจ วิเคราะห์ข้อมูลคำตอบของนักเรียนโดยการตีความและจัดกลุ่มออกเป็น 4 กลุ่ม (ระดับดีมาก ดี พอใช้ น้อย) สถิติที่ใช้ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ ผลการวิจัย พบว่า 1) ก่อนเรียนนักเรียนส่วนใหญ่มีแนวคิดระดับดีมาก เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี คิดเป็นร้อยละ 3.24 หลังเรียนรู้นักเรียนกลุ่มที่มีแนวคิดระดับดีมากคิดเป็นร้อยละ 16.76 และ 2) นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีความพึงพอใจต่อการสอนโดยใช้การทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย ผลของความพึงพอใจของผู้เรียนอยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด ผลจากการทำวิจัยสามารถนำไปปรับใช้ในการเรียนการสอน เพื่อส่งเสริมให้นักเรียนได้มีกระบวนการคิด วิเคราะห์ อย่างเป็นระบบมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: แนวคิดทางการเรียนวิชาเคมี การทดลองเป็นฐาน เทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย

ABSTRACT

The purposes of this research were to study the development of Mathayomsuksa student is scientific conceptions of rate of chemical reaction using an Laboratory-Based Learning management with predict-observe-explain (POE) techniques to manage their classroom learning and explore the satisfaction of students towards the use of the experimental-based learning management with predict-observe-explain (POE) techniques to learn chemical reaction rates. Study examples were 37 students studying in grade 11 class during the 2nd semester of academic year 2022.

The research instruments were a rate of chemical reaction concept test and the statistics employed for the data analysis included percentage, mean, standard deviation, and t-test. The students' answer data were analyzed by interpretation and grouped into 4 groups (very good, good, fair, low). Statistics used in the analysis were average percentage, The results indicated that before learning, 3.24 percent of the students with very good concepts on Chemical Reaction Rate , after learning, 16.76 percent of the students with very good concepts on Chemical Reaction Rate.2) the students were satisfied with the use of the experimental-based learning management with predict-observe-explain (POE) techniques at the highest level. These results can be applied to teaching and learning management in order to promote a systematic analytical thinking skill of the students.

Keywords: Concept of learning chemistry , Laboratory-Based Learning, Predict-Observe-Explain

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

วิชาเคมีจัดเป็นวิชาหนึ่งที่สำคัญในวิชาวิทยาศาสตร์และมีความเฉพาะเจาะจงในเนื้อหาโดยมุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับสารและการเปลี่ยนแปลงของสารทั้งในระดับอะตอมและโมเลกุล ซึ่งเนื้อหาส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นนามธรรม ไม่สามารถมองเห็นได้โดยเฉพาะเมื่ออธิบายปรากฏการณ์ทางเคมีนักเรียนมักจะอธิบายการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม ของสารใน 3 ระดับ ด้วยกัน คือ ระดับมหภาค ระดับจุลภาค และระดับสัญลักษณ์ (Johnstone, 1993) อ้างถึงใน กรทิพย์ สุภัทรชัยวงศ์, 2556) หรือในบางครั้งก็ให้นักเรียนศึกษาในระดับมหภาคแต่ไม่ได้เชื่อมโยงกับปรากฏการณ์ในระดับที่ตามองเห็น ทำให้เคมีมีความเป็นนามธรรมหรือยากต่อการทำความเข้าใจของนักเรียน จากประสบการณ์การฝึกประสบการณ์วิชาชีพครู ในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง ปริมาณสัมพันธ์ พบว่านักเรียนมี

แนวคิดคลาดเคลื่อนในวิชาเคมี เช่น ในเรื่องจุดเดือดจุดหลอมเหลวของสารบริสุทธิ์และสารละลาย นักเรียนเข้าใจว่าจุดเดือดของสารละลายต่ำกว่าสารบริสุทธิ์ และจุดหลอมเหลวของสารละลายสูงกว่าสารบริสุทธิ์ ในเรื่องกฎทรงมวล นักเรียนเข้าใจว่ามวลของสารก่อนและหลังทำปฏิกิริยาไม่เท่ากัน เป็นต้น ซึ่งจากการสอบถามนักเรียนพบว่าวิชาเคมีมีเนื้อหาเป็นนามธรรม ทำให้มองเห็นภาพไม่ชัดเจน ครูมักสอนแบบบรรยาย ทำให้ไม่น่าสนใจ จึงทำให้การจัดการเรียนการสอนวิชาเคมียังมีปัญหาอยู่มาก อาจเนื่องมาจากลักษณะของเนื้อหาวิชาเคมีที่มีเนื้อหาย่อย ๆ จำนวนมากและมีความซับซ้อน ส่งผลให้นักเรียนไม่สามารถจดจำหรือทำความเข้าใจได้หมด (Gilbert, 2006 อ้างถึงในชัยภักดิ์ บุญเจือจันทร์, 2562) จึงทำให้นักเรียนส่วนใหญ่คิดว่าวิชาเคมีเป็นวิชาที่เข้าใจยาก อีกทั้งครูผู้สอนเองก็จัดกิจกรรมการเรียนการสอนในรูปแบบที่ไม่หลากหลาย ครูยังคงมีบทบาทสำคัญในการจัดการเรียนการสอนน้อย นักเรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้น้อย ทำให้นักเรียนรู้สึกเบื่อ ขาดความสนใจต่อวิชาเคมี โดยเฉพาะเนื้อหา เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ที่มีเนื้อหาซับซ้อนเป็นนามธรรมยากต่อการทำความเข้าใจ ส่งผลให้นักเรียนไม่เข้าใจในเรื่องนี้

การจัดการเรียนการสอนโดยใช้การทดลองเป็นฐาน เป็นวิธีสอนที่ครูเปิดโอกาสให้ผู้เรียนลงมือปฏิบัติ หรือให้ผู้เรียนได้มีโอกาสศึกษาค้นคว้า ด้วยตนเอง โดยครูผู้สอนได้จัดกระบวนการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับความสนใจและความถนัดของผู้เรียน โดยคำนึงถึงความแตกต่างระหว่างบุคคลให้ผู้เรียนได้ฝึกทักษะกระบวนการจากการจัดประสบการณ์จริงลงมือ ปฏิบัติด้วยตนเองที่ผ่านกระบวนการสืบเสาะหาความรู้การแก้ปัญหาโดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ได้ฝึกทักษะการคิดอย่างเป็นระบบ อีกทั้งผู้เรียนได้ทำกิจกรรมกลุ่มและอภิปรายแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกัน (น้ำฝน คุณเจริญ ไพศาล, 2560) อีกทั้งวิธีการสอนแบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย (POE) เป็นเทคนิคการสอนหนึ่งที่มีประสิทธิภาพที่จะส่งเสริมให้นักเรียนได้แสดงความคิดเห็นและอภิปรายเกี่ยวกับแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ เป็นวิธีการสอนที่ครูเริ่มต้นด้วยการนำเสนอสถานการณ์ แล้วให้นักเรียนได้ทำนายสิ่งที่จะเกิดขึ้นด้วยความรู้เดิม จากนั้นจะให้นักเรียนลงมือทดลอง สังเกต เพื่อหาคำตอบจากสถานการณ์ที่ครูสร้างขึ้น หลังจากนั้นให้นักเรียนบอกสิ่งที่สังเกตได้จากการสืบเสาะหาความรู้ด้วยตนเองและขั้นสุดท้ายนักเรียนจะต้องอธิบายถึงความแตกต่างระหว่างสิ่งที่ได้ทำนายกับผลการทดลองที่ได้ (ไฝ่ พันงาม, 2560)

แนวคิด เรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี เป็นแนวคิดหนึ่งที่สำคัญ เพราะปรากฏการณ์หลายอย่างที่พบในชีวิตประจำวันของนักเรียนเกี่ยวข้องกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น การเผาไหม้ของแก๊สหุงต้มการย่อยอาหาร การเกิดฝนกรด การระเบิดของดินปืน เป็นต้น (สสาวท., 2548) ดังนั้นนักเรียนจึงต้องมีแนวคิดเรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ถูกต้อง เพื่อสามารถปรับใช้ในการดำรงชีวิตประจำวัน และจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าแนวคิดเรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเป็นแนวคิดหนึ่งที่นักเรียนมีแนวคิดคลาดเคลื่อน ตัวอย่างเช่น กลไกของปฏิกิริยาเคมี ธรรมชาติของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี (จินดา พราหมณ์ชู, 2553) และเนื้อหาที่นักเรียน มีแนวคิดถูกต้องน้อยที่สุดคือ การคำนวณเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี เนื่องจากขาดทักษะการคำนวณและความรู้เรื่องปริมาณสัมพันธ์ (สุนิตย์ บุญเพ็ง, 2557)

ด้วยเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำการจัดการเรียนรู้โดยใช้การทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย มาใช้ในการสอนรายวิชาเคมี โดยจะศึกษาการพัฒนาแนวคิดทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาแนวคิด เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้การทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย
2. เพื่อประเมินความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่มีต่อการเรียนรู้ เรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้การทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

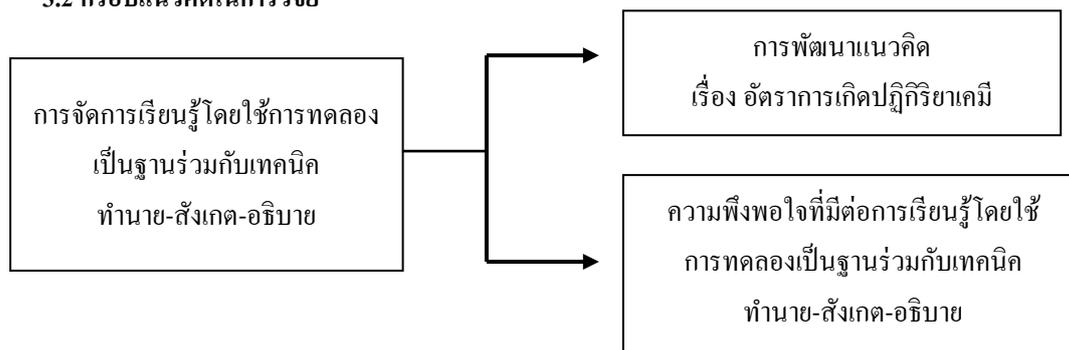
การจัดการเรียนรู้โดยใช้การทดลองเป็นฐาน เป็นกระบวนการที่ผู้สอนใช้ในการช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด โดยการให้ผู้เรียนเป็นผู้กำหนดปัญหาและสมมติฐานในการทดลอง และลงมือทดลอง ปฏิบัติตามขั้นตอนที่กำหนดโดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็น เก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล สรุปอภิปรายผลการทดลอง และสรุปการเรียนรู้ที่ได้รับจากการทดลอง

ขั้นตอนในการจัดการเรียนการสอน ได้แก่ ขั้นทำนาย เป็นการทำนายผล จากสถานการณ์ที่ครูกำหนดขึ้นสังเกต เป็นการหาคำตอบของสถานการณ์ โดยการทดลอง สังเกต และวิธีการต่าง ๆ และขั้นอธิบาย เป็นการอธิบายผลที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบกับผลที่ได้ทำนายไว้

น้ำฝน คูเจริญไพศาล (2559) ได้ศึกษาเรื่อง การจัดการกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โครงการเป็นฐานเพื่อพัฒนาความสามารถในการทดลองทางวิทยาศาสตร์ของนิสิตปริญญาตรีชั้นปีที่ 1 ผลการศึกษาพบว่า ความสามารถในการทดลองทางวิทยาศาสตร์ นิสิตส่วนใหญ่สามารถทำการทดลองทางวิทยาศาสตร์ได้เพิ่มขึ้น การเรียนรู้โดยใช้โครงการเป็นฐานเป็นเทคนิควิธีการจัดการเรียนรู้ที่เน้นให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมการเรียนรู้ตามความถนัด ความสนใจ และความสามารถที่แตกต่างกันของผู้เรียนแต่ละคน โดยผู้เรียนได้ฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ได้ฝึกทักษะการคิด การแก้ปัญหาผ่านกระบวนการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ จึงส่งผลให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ด้วยตนเอง ทำให้พัฒนาความสามารถในการทำโครงการ ความสามารถในการทดลองทางวิทยาศาสตร์

ณรงค์ดี รัตนพันธุ์ (2564) ได้ทำการศึกษาเรื่อง การส่งเสริมความเข้าใจเรื่อง ปฏิกิริยาที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในระดับจุลภาคของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้ การทดลองเป็นฐานร่วมกับสื่อแบบจำลอง ผลการศึกษาพบว่า ผู้เรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบใช้การทดลองเป็นฐานร่วมกับสื่อแบบจำลอง มีคะแนนความเข้าใจทางการเรียนเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการจัดการเรียนรู้โดยใช้การทดลองเป็นฐานร่วมกับสื่อแบบจำลอง เป็นการจัดสภาพการเรียนรู้ในรายวิชาเคมีที่มีเนื้อหาและทฤษฎีที่ค่อนข้าง เข้าใจยาก ซึ่งการทดลองเป็นฐานผู้เรียนได้ฝึกทักษะกระบวนการจากการปฏิบัติด้วยประสบการณ์จริง มีอิสระในการคิดหาคำตอบ ได้ทำกิจกรรมกลุ่ม และอภิปรายแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกัน

3.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

3.3 สมมติฐานการวิจัย

1. หลังการจัดการเรียนรู้ เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้การทดลอง เป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย ที่ดีขึ้น
2. หลังการจัดการเรียนรู้ เรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้การทดลอง เป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการเรียนรู้โดยใช้การทดลองเป็น ฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย ในระดับมากที่สุด

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 ประชากรและตัวอย่าง

1. ประชากร ได้แก่ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565 จำนวน 94 คน
2. กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/1 จำนวน 37 คน โดยใช้วิธีการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling) นักเรียนสายวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์

4.2 เครื่องมือวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย

1. แผนการจัดการเรียนรู้โดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้การทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 5 แผน รวม 10 ชั่วโมง ประกอบด้วยแผนการจัดการเรียนรู้เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี จำนวน 2 ชั่วโมง แผนการจัดการเรียนรู้เรื่อง ความเข้มข้นของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี จำนวน 2 ชั่วโมง แผนการจัดการเรียนรู้เรื่อง พื้นที่ผิวของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี จำนวน 2 ชั่วโมง แผนการจัดการเรียนรู้เรื่อง อุณหภูมิกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี จำนวน 2 ชั่วโมง และแผนการจัดการเรียนรู้เรื่อง ตัวเร่งกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี จำนวน 2 ชั่วโมง เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญพิจารณาตรวจสอบความเหมาะสม จากนั้นทำการแก้ไขตามข้อเสนอแนะและนำแผนการจัดการเรียนรู้ไปใช้กับการจัดการเรียนรู้โดยใช้การทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย
2. แบบวัดแนวคิดทางการเรียน เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี เป็นแบบวัดแนวคิดที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น เพื่อ วัดแนวคิด เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งใช้สำหรับวัดก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้การทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย จากนั้นนำแบบวัดแนวคิดทางการเรียน

เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ซึ่งผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ตรวจสอบความเที่ยงตรงของแบบวัดแนวคิดระหว่างข้อสอบกับวัตถุประสงค์ (Index of item-Objective Congruence: IOC) จากนั้นนำมาปรับปรุงแก้ไขตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ และนำแบบวัดแนวคิดทางการเรียน ไปหาค่าความยากง่าย ค่าอำนาจจำแนก และค่าความเชื่อมั่น

3. แบบประเมินความพึงพอใจที่มีผลต่อ โดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้การทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย เป็นแบบประเมินที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น ผู้วิจัยกำหนดเกณฑ์การแปลความหมายระดับพึงพอใจ ที่มีผลต่อการใช้การทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย กำหนดเกณฑ์การแปลคะแนนความพึงพอใจ ดังนี้ (กองวิจัยทางการศึกษา, 2545)

คะแนนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4.51 - 5.00 หมายถึง พึงพอใจมากที่สุด

คะแนนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.51 - 4.50 หมายถึง พึงพอใจมาก

คะแนนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2.51 - 3.50 หมายถึง พึงพอใจปานกลาง

คะแนนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1.51 - 2.50 หมายถึง พึงพอใจน้อย

คะแนนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1.00 - 1.50 หมายถึง พึงพอใจน้อยที่สุด

4.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ผู้วิจัยดำเนินการวัดก่อนเรียน โดยใช้แบบวัดแนวคิดทางการเรียน เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี จำนวน 20 ข้อ

2. จัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแผนการเรียนรู้โดยการจัดการเรียนรู้โดยใช้การทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย กับกลุ่มที่ศึกษา เมื่อสิ้นสุดการสอนในแต่ละแผน ผู้วิจัยบันทึกสิ่งที่สังเกตได้จากจัดการเรียนรู้ เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการแก้ไขและปรับปรุงกิจกรรมการสอนในครั้งต่อไป

3. ผู้วิจัยให้นักเรียนทำแบบวัดฉบับเดิมอีกครั้ง หลังจากทำแบบวัดแล้วผู้วิจัยนำคำตอบของนักเรียนที่ได้มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์แนวคิด เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ในการจัดการเรียนรู้โดยใช้การทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย ประกอบด้วย

เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี จำนวน 4 ข้อ

เรื่อง ความเข้มข้นของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี จำนวน 4 ข้อ

เรื่อง พื้นที่ผิวของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี จำนวน 4 ข้อ

เรื่อง อุณหภูมิกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี จำนวน 4 ข้อ

เรื่อง ตัวเร่งกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี จำนวน 4 ข้อ

จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูล โดยตรวจคำตอบของนักเรียนในแบบวัดแนวคิดทางการเรียนแต่ละข้อ และ ทำการจัดกลุ่มนักเรียนเป็น 4 กลุ่ม โดยมีรายละเอียดเกณฑ์ในการจัดกลุ่มดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์การประเมินวัดแนวคิดเรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

กลุ่มของนักเรียน	เกณฑ์ในการจัดกลุ่ม
ระดับดีมาก	นักเรียนตอบคำถามได้ถูกต้องครบถ้วนจำนวน 4 ข้อ ในแต่ละแนวคิด เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
ระดับดี	นักเรียนตอบคำถามได้ถูกต้อง จำนวน 3 ข้อ ในแต่ละแนวคิด เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
ระดับพอใช้	นักเรียนตอบคำถามได้ถูกต้อง จำนวน 2 ข้อ ในแต่ละแนวคิด เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี
ระดับน้อย	นักเรียนตอบคำถามได้ถูกต้องจำนวน 0-1 ข้อ ในแต่ละแนวคิด เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

2. ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ความพึงพอใจในการจัดการเรียนรู้โดยใช้การทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย โดยใช้วิธีของลิเคิร์ต (Likert) ชนิดเป็นข้อความมี 5 ระดับ กำหนดค่าความพึงพอใจมากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย น้อยที่สุด ใช้ในการประเมินความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 หลังจากเรียนรู้โดยใช้การทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย จำนวน 10 ข้อ

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. การจัดการเรียนรู้ที่สามารถพัฒนาแนวคิด เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ได้นั้น ผู้วิจัยใช้การจัดการเรียนรู้โดยใช้การทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย ที่เน้นให้นักเรียนได้ฝึกทักษะกระบวนการจากการปฏิบัติด้วยประสบการณ์จริง เน้นการลงมือทำด้วยตนเอง สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจน ได้ทำกิจกรรมกลุ่มและอภิปรายแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกัน โดยผ่านการทดลอง ซึ่งจากการวิเคราะห์แบบวัดแนวคิดทางการเรียน เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี พบว่าแนวคิดก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้การทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย ของนักเรียน ให้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบแนวคิดเรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยการทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย จำนวนนักเรียน 37 คน

แนวคิด	จำนวนนักเรียนในแต่ละกลุ่ม (ร้อยละ)							
	ดีมาก		ดี		พอใช้		น้อย	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
1. อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี	1 (2.70)	4 (10.81)	1 (2.70)	4 (10.81)	11 (29.73)	18 (48.65)	24 (64.86)	11 (29.73)
2. ความเข้มข้นของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี	0 (0.00)	9 (24.32)	7 (18.92)	14 (37.84)	2 (5.40)	12 (32.43)	28 (75.68)	2 (5.40)

3.พื้นที่ผิวของสาร กับอัตราการ เกิดปฏิกิริยาเคมี	5 (13.51)	12 (32.43)	4 (10.81)	12 (32.43)	8 (21.62)	9 (24.32)	20 (54.05)	4 (10.81)
4. อุณหภูมิกับอัตรา การเกิดปฏิกิริยาเคมี	0 (0.00)	4 (10.81)	3 (8.11)	12 (32.43)	7 (18.92)	14 (37.84)	27 (72.97)	7 (18.92)
5.ตัวเร่งกับอัตรา การเกิดปฏิกิริยาเคมี	0 (0.00)	2 (5.40)	5 (13.51)	7 (18.92)	8 (21.62)	21 (56.76)	24 (64.86)	7 (18.92)
ร้อยละเฉลี่ยรวม	3.24	16.76	10.81	26.49	19.46	40.00	66.49	16.75

จากตารางที่ 2 เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของแนวคิดทั้ง 5 แนวคิด แล้วนำมาวิเคราะห์ข้อมูล จะได้รายละเอียดดังต่อไปนี้

1. แนวคิดเรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

แนวคิดเรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี เป็นการให้นักเรียนศึกษาความเร็วที่ตัวทำปฏิกิริยาเปลี่ยนไปเป็นสารผลิตภัณฑ์ต่อหน่วยเวลา ซึ่งในการจัดการเรียนการสอน ครูจะให้นักเรียนทำการทดลอง เรื่อง การทดลองศึกษาการเกิดแก๊สในโตรเจนจากปฏิกิริยาระหว่างโลหะแมกนีเซียมกับกรดไฮโดรคลอริก ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าก่อนเรียนนักเรียนมีแนวคิด เรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ในระดับดีมากมีเพียงร้อยละ 2.70 ในขณะที่นักเรียนที่มีแนวคิดอยู่ในระดับน้อยมีมากถึงร้อยละ 64.86 ซึ่งอาจเป็นเพราะว่า ก่อนเรียนนักเรียนมีแนวคิดเกี่ยวกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีว่าการเกิดปฏิกิริยาเคมีเป็นเพียงการเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้นไปเป็นสารผลิตภัณฑ์เท่านั้น ซึ่งนักเรียนไม่ได้คำนึงถึงหน่วยของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น คำตอบของนักเรียนคนที่ 1 ตอบว่า “ปริมาณสารตั้งต้นที่ลดลงหรือปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นจากปฏิกิริยา” เช่นเดียวกันนักเรียนคนที่ 25 ตอบว่า “สารผลิตภัณฑ์รวมตัวกันกลับไปเป็นสารตั้งต้นมากขึ้น” จะเห็นได้ว่านักเรียนทั้ง 2 คน ไม่มีการคำนึงหน่วยของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยแนวคิดที่ถูกคือ ปริมาณสารตั้งต้นที่ลดลงจากปฏิกิริยาในหนึ่งหน่วยเวลา และปริมาณสารผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นจากปฏิกิริยาในหนึ่งหน่วยเวลา เมื่อผ่านการจัดการเรียนรู้ด้วยการทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย (POE) พบว่านักเรียนมีแนวคิดอยู่ในระดับดีมากเพิ่มถึงร้อยละ 10.81 และมีแนวคิดระดับน้อยลดลงเหลือเพียงร้อยละ 29.73 อาจเป็นเพราะว่านักเรียนได้เรียนรู้ผ่านการทำการทดลอง ทำให้นักเรียนเห็นเป็นรูปธรรม ซึ่งจากการทดลองทำให้นักเรียนเห็นเวลาของการเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างโลหะแมกนีเซียมกับกรดไฮโดร-คลอริกได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น และได้ฝึกการใช้ความรู้ที่ได้มาจากการทดลองมาตอบคำถามในแบบวัดแนวคิด เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ได้อย่างถูกต้องมากยิ่งขึ้น

2. แนวคิดเรื่อง ความเข้มข้นของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

แนวคิดเรื่อง ความเข้มข้นของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี เป็นการให้นักเรียนศึกษาความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งในการจัดการเรียนการสอน ครูจะให้นักเรียนทำการทดลอง เรื่อง ปฏิกิริยาระหว่างสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าก่อนเรียนไม่มีนักเรียนที่มีแนวคิด เรื่อง ความเข้มข้นของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ในระดับดีมากเลย ในขณะที่นักเรียนที่มีแนวคิดอยู่ในระดับน้อยมีมากถึงร้อยละ 75.68 แม้ว่านักเรียนจะบอกได้ว่าความเข้มข้นของสารมีผลต่อการเกิดอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี แต่นักเรียนไม่สามารถอธิบายเหตุผลได้ว่าเพราะเหตุใด ความเข้มข้นของสารถึงมีผลต่อการเกิดอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น คำตอบของนักเรียนคนที่ 8 ตอบว่า “จำนวนอนุภาคของสารตั้งต้นเพิ่มขึ้น เป็นการเพิ่มพลังงานก่อกัมมันต์” เช่นเดียวกันนักเรียนคนที่ 34 ตอบว่า “จำนวนอนุภาคของสารตั้งต้น

เพิ่มขึ้น จะทำให้อุณหภูมิพลังงานจลน์สูงขึ้น” เมื่อผ่านการจัดการเรียนรู้ด้วยการทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย (POE) พบว่านักเรียนมีแนวคิดอยู่ในระดับดีมากเพิ่มขึ้นร้อยละ 24.32 และมีแนวคิดระดับน้อยลดลงเหลือเพียงร้อยละ 5.40 อาจเป็นเพราะว่านักเรียนได้เรียนรู้ผ่านการทำการทดลอง ซึ่งครูจะให้นักเรียนศึกษาความเข้มข้นของสารที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน และมีการใช้สื่อ Amination จาก Powerpoint แสดงแบบจำลองการชนกันของอนุภาคของสาร ซึ่งทำให้นักเรียนสามารถเข้าใจแนวคิดได้ว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารจะทำให้จำนวนอนุภาคในระบบเพิ่มขึ้น จึงมีโอกาสชนกันมากขึ้น และได้ฝึกการใช้ความรู้ที่ได้มาจากการทดลองมาตอบคำถามในแบบวัดแนวคิด เรื่อง ความเข้มข้นของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้อย่างถูกต้องมากยิ่งขึ้น

3. แนวคิดเรื่อง พื้นที่ผิวของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

แนวคิดเรื่อง พื้นที่ผิวของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี เป็นการให้นักเรียนศึกษาและเปรียบเทียบอัตราการเกิดปฏิกิริยาของสารในพื้นที่ผิวที่ต่างกัน ซึ่งในการจัดการเรียนการสอน ครูจะให้นักเรียนทำการทดลองเรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาของแคลเซียมคาร์บอเนต ในน้ำส้มสายชูในพื้นที่ผิวที่ต่างกัน ซึ่งจากการวิเคราะห์พบวก่อนเรียนนักเรียนที่มีแนวคิด เรื่อง พื้นที่ผิวของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ในระดับดีมากมีเพียงร้อยละ 13.51 ซึ่งในแนวคิดเรื่องนี้ นักเรียนจะมีความเข้าใจมากกว่าแนวคิดเรื่องอื่นๆ อาจเป็นเพราะว่า เรื่องนี้เป็นเรื่องใกล้ตัวและเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของนักเรียน นักเรียนจึงสามารถตอบแนวคิดได้มากกว่าแนวคิดเรื่องอื่นๆ แม้ว่าจะมีนักเรียนที่มีแนวคิดอยู่ในระดับน้อยมีมากถึงร้อยละ 54.05 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแม้ว่าก่อนเรียนนักเรียนจะไม่ได้เรียนรู้เรื่องพื้นที่ผิวของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี แต่นักเรียนก็สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนรู้ด้วยการทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย (POE) จึงเป็นส่วนที่ส่งเสริมให้นักเรียนมีแนวคิดนี้มากยิ่งขึ้น

4. แนวคิดเรื่อง อุณหภูมิกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

แนวคิดเรื่อง อุณหภูมิกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี เป็นการให้นักเรียนศึกษาอุณหภูมิต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งในการจัดการเรียนการสอน ครูจะให้นักเรียนทำการทดลอง เรื่อง การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของกรดไฮโดรคลอริกที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต อุณหภูมิต่าง ๆ ซึ่งจากการวิเคราะห์พบวก่อนเรียนไม่มีนักเรียนที่มีแนวคิด เรื่อง อุณหภูมิกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ในระดับดีมากเลย ในขณะที่นักเรียนที่มีแนวคิดอยู่ในระดับน้อยมีมากถึงร้อยละ 72.97 อาจเป็นเพราะว่านักเรียนไม่รู้ว่าจะอุณหภูมิส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีอย่างไร นักเรียนจึงไม่สามารถอธิบายเหตุผลได้ว่าเพราะเหตุใด อุณหภูมิถึงมีผลต่อการเกิดอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี เช่น คำตอบของนักเรียนคนที่ 12 ตอบว่า “การเผาทำให้โลหะมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศมากขึ้น จึงเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่า” เช่นเดียวกันนักเรียนคนที่ 14 ตอบว่า “โมเลกุลของสารมีจำนวนมากขึ้น” เมื่อผ่านการจัดการเรียนรู้ด้วยการทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย (POE) พบว่านักเรียนมีแนวคิดอยู่ในระดับดีมากเพิ่มขึ้นร้อยละ 10.81 และมีแนวคิดระดับน้อยลดลงเหลือเพียงร้อยละ 18.92 อาจเป็นเพราะว่านักเรียนได้เรียนรู้ผ่านการทำการทดลองทำให้นักเรียนสามารถสังเกตได้มากยิ่งขึ้น และครูมีการใช้สื่อ Amination จาก Powerpoint ในการแสดงแบบจำลองการชนกันของอนุภาคของสารที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ทำให้นักเรียนสามารถเข้าใจแนวคิดได้ว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอนุภาคของสารตั้งต้นจะมีพลังงานจลน์เพิ่มขึ้น ทำให้อุณหภูมิของสารเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น เช่น คำตอบของนักเรียนคนที่ 3 ตอบว่า “การที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นนั้น เป็นเพราะ โมเลกุลชนกันแรงขึ้น”

5. แนวคิดเรื่อง ตัวเร่งกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี

แนวคิดเรื่อง ตัวเร่งกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี เป็นการให้นักเรียนศึกษาอุณหภูมิต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งในการจัดการเรียนการสอน ครูจะให้นักเรียนทำการทดลอง เรื่อง การศึกษาปัจจัยของตัวเร่ง ปฏิกิริยาที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี ระหว่างสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์กับสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าก่อนเรียนไม่มีนักเรียนที่มีแนวคิด เรื่อง ตัวเร่งกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ในระดับ ต่ำมาก เช่นเดียวกับแนวคิดเรื่อง ความเข้มข้นของสารกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และอุณหภูมิกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ในขณะที่นักเรียนที่มีแนวคิดอยู่ในระดับน้อยมีมากถึงร้อยละ 64.86 จากการวิเคราะห์แบบวัดนักเรียนส่วนใหญ่มีแนวคิดในเรื่อง ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีพื้นฐาน กล่าวคือ นักเรียนรู้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีเป็นสารที่เติมลงไปแล้วทำให้ปฏิกิริยาเคมีเกิดได้เร็วขึ้น แต่นักเรียนไม่สามารถบอกได้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีทำให้ปฏิกิริยาเคมีเกิดเร็วขึ้นได้อย่างไร ตัวอย่างเช่น คำตอบของนักเรียนคนที่ 19 ตอบว่า “ตัวเร่งปฏิกิริยาจะ ไปเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย ทำให้ปฏิกิริยาเคมีเกิดเร็วขึ้น” ซึ่งเป็นแนวคิดที่คลาดเคลื่อน โดยแนวคิดที่ถูกต้องคือ ตัวเร่งปฏิกิริยาจะไปจัดโครงสร้างใหม่ของสารตั้งต้น พลังงานก่อกัมมันต์ลดลง ทำให้ปฏิกิริยาเคมีเกิดเร็วขึ้น หลังจากการจัดการเรียนรู้ด้วยการทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย (POE) พบว่านักเรียนมีแนวคิดอยู่ในระดับต่ำมากเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 5.40 เนื่องจากนักเรียนส่วนใหญ่มีพัฒนาขึ้นมาจากแนวคิดระดับน้อย แต่ไม่ได้พัฒนาไปอยู่ในระดับต่ำมาก การจัดการเรียนการสอนแนวคิดเรื่องนี้ ครูควรต้องเพิ่มเทคนิคการสอนที่สามารถช่วยให้นักเรียนมองเห็นภาพในเรื่องของหน้าที่ของตัวเร่งปฏิกิริยา ที่เข้าไปมีส่วนร่วมในปฏิกิริยา เช่น การใช้อุปมาอุปไมยในการเปรียบเทียบ การใช้สื่อจำลองเสมือนจริง ให้มากขึ้น

หลังจากได้นำการทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย มาจัดกิจกรรมการเรียนรู้ พบว่านักเรียนส่วนใหญ่มีแนวคิด เรื่องอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี เพิ่มขึ้นในทุกแนวคิด ในขณะที่เดียวกันนักเรียนที่มีแนวคิดเรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ที่อยู่ในระดับน้อยก็มีจำนวนลดลง โดยก่อนเรียนมีนักเรียนเพียงร้อยละ 3.24 เท่านั้นที่มีแนวคิดอยู่ในระดับต่ำมาก ในขณะที่นักเรียนที่มีแนวคิดอยู่ในระดับน้อยมีถึงร้อยละ 66.49 แต่เมื่อผ่านการจัดการเรียนรู้แบบการใช้ทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย เรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี ไปแล้ว พบว่านักเรียนที่มีแนวคิดอยู่ในระดับน้อยมีจำนวนลดลง โดยนักเรียนที่มีแนวคิดในระดับน้อยลดลงเหลือร้อยละ 16.75 ซึ่งกลุ่มนักเรียนที่ยังมีแนวคิดอยู่ในระดับพอใช้และน้อย อาจมีสาเหตุการเรียนรู้ที่ไม่ทั่วถึง การทำการทดลองนักเรียนไม่ได้ทำหมดทุกคน ครูผู้สอนไม่สามารถเข้าถึงตัวนักเรียนได้หมดทุกคน นักเรียนจึงไม่กล้าซักถามและไม่กล้าตัดสินใจในการทำการทดลอง จึงเป็นเหตุให้นักเรียนเกิดแนวคิดที่ไม่ถูกต้อง และไม่สามารถใช้ความรู้ไปตอบแบบวัดแนวคิดทางการเรียนได้ ซึ่งผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Supasorn and Promarak (2015) ที่อธิบายไว้ว่า กิจกรรมการทดลองหรือกิจกรรมใด ๆ ในเรื่อง อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน จะมีส่วนช่วยให้ผู้เรียน สามารถเข้าใจและจดจำสิ่งที่สังเกตได้ดีและนำมาสู่การสร้างคำอธิบายและขยายความรู้จนกระทั่งเกิดเป็นความเข้าใจที่คงทนมากขึ้น อีกทั้งการใช้เทคนิคการสอนแบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย ช่วยให้นักเรียนเกิดทักษะทางวิทยาศาสตร์ในการค้นหาคำตอบ ความรู้ด้วยการทำนายผลที่นำไปสู่การทดลองเพื่อหาคำตอบ แล้วนำมาผลที่ได้มาอธิบาย อีกทั้งยังช่วยให้นักเรียนสร้างข้อสรุปทางวิทยาศาสตร์จากหลักฐานและเหตุผล ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของนราภรณ์ นาคพันธ์ (2560) ที่กล่าวว่า จากการทดลองสอนโดยใช้เทคนิคแบบทำนาย สังเกต อธิบาย พบว่านักเรียนส่วนใหญ่ตั้งใจเรียนเป็นอย่างมาก ให้ความร่วมมือในการทำกิจกรรมและ แสดงความคิดเห็นเป็นอย่างดี โดยในขั้นตอนการทำนายผลนักเรียนสามารถคิดหรือทำนายสิ่งที่คิดว่าเกิดขึ้น นักเรียนมีการนำเอาความรู้เดิมมาใช้ในการให้เหตุผลเพื่อ

สนับสนุนผล การทำนายของตนเองมากขึ้น สำหรับขั้นตอนการสังเกตนักเรียนมีพฤติกรรมที่แสดงออกถึงความอยากู้อากเห็น มากขึ้น กระตือรือร้นที่จะค้นคว้าหาความรู้และสามารถหาวิธีการเพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบหรือข้อเท็จจริงจากสิ่งที่กำหนดให้ได้อย่างเหมาะสม

2. ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจในการจัดการเรียนรู้โดยใช้การทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระดับความพึงพอใจของผู้เรียนในการจัดการเรียนรู้โดยใช้การทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย

รายการประเมิน	\bar{X}	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านครูผู้สอน			
1. ครูผู้สอนเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ซักถามและแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกัน	4.85	0.37	พึงพอใจมากที่สุด
2. ครูผู้สอนมีความเป็นกันเองให้คำแนะนำและรับฟังความคิดเห็น	4.85	0.37	พึงพอใจมากที่สุด
3. ครูผู้สอนมีความสามารถในการถ่ายทอดความรู้ ช่วยให้เกิดการเรียนรู้ในเนื้อหาวิชา	4.50	0.51	พึงพอใจมาก
ค่าเฉลี่ย	4.73	0.41	พึงพอใจมากที่สุด
ด้านกิจกรรมการเรียนรู้			
4. นักเรียนได้ฝึกคิดและฝึกทักษะการทดลองจากประสบการณ์จริง	4.60	0.50	พึงพอใจมากที่สุด
5. นักเรียนมีความสุขสนุกสนานในการทำกิจกรรม	4.90	0.31	พึงพอใจมากที่สุด
6. นักเรียนนำความรู้ที่ได้จากการทำกิจกรรมไปใช้ในชีวิตประจำวันได้	4.30	0.86	พึงพอใจมาก
ค่าเฉลี่ย	4.60	0.55	พึงพอใจมากที่สุด
ด้านเนื้อหา			
7. กิจกรรมการเรียนรู้มีความเหมาะสมกับเนื้อหา	4.65	0.49	พึงพอใจมากที่สุด
8. การจัดการเรียนรู้ทำให้เข้าใจเนื้อหาได้ง่าย	4.40	0.60	พึงพอใจมาก
9. การจัดการเรียนรู้ทำให้จำเนื้อหาได้นาน	4.45	0.69	พึงพอใจมาก
10. เนื้อหาและกิจกรรมมีความสอดคล้องกับความสนใจและความถนัดของผู้เรียน	4.60	0.50	พึงพอใจมากที่สุด
ค่าเฉลี่ย	4.52	0.57	พึงพอใจมากที่สุด
รวม	4.61	0.51	พึงพอใจมากที่สุด

จากการประเมินความพึงพอใจในการจัดการเรียนรู้โดยใช้การทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย ผู้เรียนมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุดคิดเป็นค่าเฉลี่ย 4.61 ด้านที่ผู้เรียนมีความพึงพอใจมาก

ที่สุดอันดับแรก ได้แก่ ด้านครูผู้สอนมีคะแนนเฉลี่ย 4.73 ด้านที่ผู้เรียนมีความพึงพอใจมากที่สุดรองลงมา คือ ด้านกิจกรรมการเรียนรู้มีคะแนนเฉลี่ย 4.60 ด้านที่ผู้เรียนมีความพึงพอใจมากที่สุดอันดับสุดท้าย คือ ด้านเนื้อหา มีคะแนนเฉลี่ย 4.52

ผลการวิจัยพบว่า ผู้เรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้การทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย มีความพึงพอใจในการจัดการเรียนรู้ที่อยู่ในระดับพึงพอใจมากที่สุด คิดเป็นค่าเฉลี่ย 4.61 จากการประเมินความพึงพอใจ ซึ่งผู้วิจัยนำเสนอในแต่ละด้าน เช่น ด้านครูผู้สอน พบว่าผู้เรียนมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด จากหัวข้อ ครูผู้สอนเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ซักถามและแลกเปลี่ยนเรียนรู้ เนื่องจากการจัดการเรียนรู้แบบการทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย เป็นวิธีการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง โดยผู้สอนทำหน้าที่เป็นผู้ชี้แนะแนวทาง คำแนะนำ ในขั้นตอนการทำปฏิบัติ การทดลอง รับฟังความคิดเห็น คอยอำนวยความสะดวก ผู้สอนมีบุคลิกภาพที่ยิ้มแย้มแจ่มใส รับฟัง ความคิดเห็นและเปิดโอกาสให้ผู้เรียนร่วมอภิปราย และด้านกิจกรรมการเรียนรู้พบว่าผู้เรียนมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด จากหัวข้อนักเรียนมีความสนุกสนานในการทำกิจกรรม และนักเรียนได้ฝึกคิดและฝึกทักษะการทดลองจากประสบการณ์จริง เนื่องจากเป็นวิธีการจัดการเรียนรู้ที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนมีการแสดงความคิดเห็น อภิปราย แลกเปลี่ยนเรียนรู้ภายในกลุ่มและระหว่างกลุ่ม ได้อย่างอิสระและยังส่งเสริมให้ผู้เรียนค้นคว้าหาความรู้ด้วยตนเองซึ่งถือว่าการจัดการเรียนรู้การทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1. ในการนำรูปแบบการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้การทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย ไปใช้สอนในห้องเรียน ครูควรสอนปูพื้นฐาน เรื่องการใช้เครื่องแก้ววิทยาศาสตร์ในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 และชี้แจงรายละเอียดให้แก่แก่นักเรียน ให้นักเรียนเกิดความเข้าใจก่อนไปปฏิบัติการทดลองจริง
2. การปฏิบัติการทดลองในชั้นเรียนต้องให้ผู้เรียนรับทราบบทบาทหน้าที่ และเห็นความสำคัญของการเรียนรู้ด้วยตนเอง และมีความรับผิดชอบต่อการทำงานกลุ่ม ซึ่งในงานวิจัยนี้เน้นการปฏิบัติด้วย ประสบการณ์จริง ดังนั้น ควรให้คำแนะนำในเบื้องต้นเกี่ยวกับการจัดทำวิธีการทดลอง (flow-chart) และให้ผู้เรียนส่งก่อนทำปฏิบัติการทดลองเพื่อเป็นแนวทางให้ผู้เรียนสามารถปฏิบัติการทดลองที่ถูกต้องรวมทั้งควรแนะนำแหล่งเรียนรู้ และแหล่งสืบค้นข้อมูล

6.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. ครูผู้สอนควรออกข้อสอบที่เป็นปรนัยผสมผสานกับแบบอัตนัย และจำนวนข้อสอบไม่มากเกินไป เพื่อที่จะได้ทราบมโนคติของนักเรียนและสามารถตรวจสอบความเข้าใจของนักเรียนอย่างแท้จริง
2. ควรมีการนำผลของการจัดการเรียนรู้โดยใช้การทดลองเป็นฐานร่วมกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย ไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ในเนื้อหาวิชาเคมีอื่น ๆ เช่น กรด-เบส เคมีไฟฟ้า และศึกษาผลที่มีต่อผลการเรียนรู้ในสมรรถนะด้านต่างๆ

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องด้วยผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์อย่างสูงจาก อาจารย์ดาริน บุญศรี อาจารย์นันทนาการสอน รวมถึงครูไพสิน แสงหิรัญ ครูพี่เลี้ยงโรงเรียนคลองพนสฤกษ์พิทยา ที่ได้ให้แนวคิดและ

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ตลอดจนการแก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่องต่าง ๆ ทำให้งานวิจัยฉบับนี้ มีความถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผู้บริหาร คณะครูโรงเรียนคลองพนสตยาศึกษา และขอขอบใจนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/1 โรงเรียนคลองพนสตยาศึกษาทุกคน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้ความร่วมมือกับคณะผู้วิจัยในการเก็บรวบรวมข้อมูลจนทำให้งานวิจัยฉบับนี้ประสบความสำเร็จด้วยดี

สุดท้ายขอขอบพระคุณบิดา มารดา พร้อมทั้งครอบครัวของคณะผู้วิจัย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือเป็นกำลังใจให้กับคณะผู้วิจัยโดยตลอดการศึกษาวิจัย และขอขอบคุณสมาชิกทุกคนในคณะวิจัยที่ได้ร่วมกันทำการศึกษาวิจัย ในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดีตามวัตถุประสงค์ทุกประการ

8. เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). *ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง 2560)*. สืบค้นเมื่อ 21 ต.ค. 64 จาก <http://academic.obec.go.th/images/document/1580786506d1.pdf>
- กัญญาณี ไบเนียม. (2558). *การพัฒนาความเข้าใจนิมิตวิทยาศาสตร์ เรื่อง สารละลาย ด้วยวัฏจักร การเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้นผสมผสานเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบาย ในชั้นสร้างความสนใจ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1. สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.*
- ณรงค์ดี รัตนพันธุ์. (2564). *การส่งเสริมความเข้าใจเรื่องปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีในระดับจุลภาคของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ด้วยการจัดการเรียนรู้โดยใช้การทดลองเป็นฐานร่วมกับสื่อแบบจำลอง. สาขาวิชาเคมี คณะครูศาสตร์, มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต.*
- ณิชกมล โพธิ์รังสียากร. (2562). *การพัฒนาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง พันธะโคเวเลนต์โดยใช้รูปแบบการสอนแบบทำนาย-สังเกต-อธิบาย (POE). วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยรังสิต.*
- ทิสนา แจมมณี. (2550). *ศาสตร์การสอน : องค์ความรู้เพื่อการจัดการกระบวนการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.*
- ชนภรณ์ ก้องเสียง. (2557). *การพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้กิจกรรมการทดลองวิทยาศาสตร์เสริมการเรียนรู้ : กรณีศึกษาโรงเรียนปราโมทวิทยา รามอินทรา. สาขาวิชาเทคโนโลยีการศึกษาและพัฒนาหลักสูตร คณะครูศาสตร์อุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.*
- นราภรณ์ นาคพันธ์. (2560). *ผลการใช้เทคนิคแบบทำนาย สังเกต อธิบาย (POE) ต่อผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เรื่องเซลล์เล็ก โทรไลติก. หลักสูตรศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์, มหาวิทยาลัยรังสิต.*
- น้ำฝน คูเจริญไพศาล. (2560). *การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โครงการเป็นฐานเพื่อพัฒนาความสามารถในการทดลองทางวิทยาศาสตร์ของนิสิตปริญญาตรีชั้นปีที่ 1. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.*
- พลยมน เชนสมุทร. (2557). *การพัฒนาความเข้าใจเชิงนิมิตของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง กรด-เบส โดยใช้กิจกรรมทำนาย-สังเกต-อธิบาย บนพื้นฐานแนวการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.*

กรทิพย์ สุภัทรชัยวงศ์. (2556). การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้แบบจำลองเป็นฐานเพื่อพัฒนาแบบจำลองทางความคิด เรื่อง โครงสร้างอะตอมและความเข้าใจธรรมชาติของแบบจำลองของนักเรียนชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 4. ปรินญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การศึกษามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ไมตรี พงสาปาน. (2554). แนวคิดความพึงพอใจ. สืบค้นเมื่อ 28 ธันวาคม 2565, สืบค้นจาก <http://maitree3.blogspot.com/p/blog-page.html>.

สิทธิศักดิ์ พสุมาตร และคณะ. (2559). การใช้การเรียนรู้แบบจำลองเป็นฐานร่วมกับกิจกรรมการเรียนรู้แบบทำนาย-สังเกต-อธิบายเพื่อแก้ไขแนวคิดคลาดเคลื่อนทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่อง พันธะโคเวเลนต์. The National and International Graduate Research Conference 2016.

สมบัติ ท้ายเรือคำ. (2553). ระเบียบวิธีวิจัยสำหรับมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ (พิมพ์ครั้งที่ 4). มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

หนังสือ สสวท. ปี 2548 วิชาเคมี

อาภรณ์ ใจเที่ยง. (2550). หลักการสอน. กรุงเทพมหานคร : โอเดียนสโตร์.

Supasorn,S.and Promarak,V. (2015). Implementation of 5E inquiry incorporated with analogy learning approach to enhance conceptual understanding of chemical reaction rate for grade 11 students. Chemistry Education Research and Practice, 16(1), 121-13

**การพัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์ เรื่อง pH ของสารละลายกรดและเบส ของนักเรียน
ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้กิจกรรมมัดย้อมหลากสีเคมีจากธรรมชาติ
ตามแนวทางสะเต็มศึกษา**

**The Development of Creative Thinking Skills on The Topic pH of Acid and Based
Solution by Using Activity Natural Product on Stem Education of 11th Graders**

จรรยาอมล แก้วยอด

คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

E-mail: janamol.petch.6.1@gmail.com

สุภาพร ดาววัลย์

คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

E-mail: supaporn.d@pkru.ac.th

ภรทิพย์ สุขเพิ่ม

คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

E-mail: porntip.s@pkru.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์ เรื่อง pH ของสารละลายกรดและเบส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้กิจกรรมมัดย้อมหลากสีเคมีจากธรรมชาติ ตามแนวทางสะเต็มศึกษา 2) ศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา เรื่อง pH ของสารละลายกรดและเบส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้กิจกรรมมัดย้อมหลากสีเคมีจากธรรมชาติ ตามแนวทางสะเต็มศึกษา เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ 1) ใบกิจกรรมด้วยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมฝ้ายมัดย้อมหลากสีเคมี จากธรรมชาติตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เรื่อง pH ของสารละลายกรดและเบส 2) แบบวัดความคิดสร้างสรรค์ของผู้เรียน ก่อนและหลังการทำกิจกรรมจากมัดย้อมหลากสีเคมีจากธรรมชาติ เรื่อง pH ของสารละลายกรดและเบส ผลการวิจัยพบว่า ทักษะความคิดสร้างสรรค์ก่อนการทำกิจกรรม ด้านความคิดคล่องแคล่ว อยู่ในระดับดีมาก มีคะแนนเฉลี่ย 2.47 ด้านความคิดริเริ่ม อยู่ในระดับพอใช้ มีคะแนนเฉลี่ย 0.81 และด้านความคิดยืดหยุ่น อยู่ในระดับปรับปรุง มีคะแนนเฉลี่ย 0.28 หลังการทำกิจกรรม ด้านความคิดคล่องแคล่ว อยู่ในระดับดีมาก มีคะแนนเฉลี่ย 2.39 ด้านความคิดริเริ่มและด้านความคิดยืดหยุ่น อยู่ในระดับพอใช้ มีคะแนนเฉลี่ย 2.06 และ 1.86 ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าผู้เรียนมีทักษะการคิดสร้างสรรค์ในระดับดีมาก

คำสำคัญ: ทักษะความคิดสร้างสรรค์, สะเต็มศึกษา, กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

ABSTRACT

The purpose of this research were 1) to develop creative thinking skills pH of acid and base solutions of 11th graders by using activities natural product on stem education, 2) to study the learning management approach according to STEM education pH of acid and base solutions of 11th graders by using activities natural tie- dye chemistry with STEM education. The tools of the research were 1) activity sheet with engineering design process, activities natural tie- dye chemistry with STEM education engineering design process on pH of acid and base solutions 2) Test of creative thinking before and after doing activities natural tie- dye chemistry with STEM education of the pH of acid and base solutions. The results showed that creativity skills before doing activities, the fluent thinking is a very good level, an average score 2.47. The initiative thinkers is fair level, an average score 0.81 and the flexible thinking is the improvement level, with an average score 0.28 after doing activity natural product on stem education was a very good level, an average score of 2.39 for the initiative and the flexibility, fair level with an average score of 2.06 and 1.86, respectively. The research provided a very good level of the learners creative thinking skill.

Keywords: Creative thinking Skill, STEM Education, Engineering Design Process

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

การจัดการเรียนการสอนในศตวรรษที่ 21 จำเป็นต้องฝึกให้ผู้เรียนมีทักษะแห่งอนาคต ตามกรอบความคิดการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 โดยมุ่งให้ผู้เรียนใช้ความรู้สาระหลักไปบูรณาการสังสมประสบการณ์ ทักษะ และนำไปปรับใช้ในการดำรงชีวิต ซึ่งทักษะความคิดสร้างสรรค์และนวัตกรรมเป็นหนึ่งในทักษะอนาคตที่จะเข้ามามีส่วนช่วยเสริมสร้างพัฒนาผู้เรียนในการดำรงชีวิตในสังคม ความคิดสร้างสรรค์ถือว่าเป็นกระบวนการทางความคิดที่สำคัญต่อนักเรียน ในการสร้างความคิด จินตนาการ ทักษะแนวคิดรวมถึงความอดทนต่อสถานการณ์ หรือสภาพแวดล้อมที่ยากลำบากซึ่งความคิดสร้างสรรค์ คือ พลังทางความคิดที่ทุกคนมีมาแต่กำเนิด หากได้รับการกระตุ้นจะทำให้มีอิสระทางความคิด มีความคิดที่ฉีกกรอบ และสามารถหาหนทางในการสร้างสิ่งใหม่ๆ ได้ (สุวิทย์ มูลคำ, 2547)

การจัดการเรียนการสอนวิชาเคมี มีทักษะที่สำคัญในการศึกษาค้นคว้าและคิดค้นทางเทคโนโลยี ครอบคลุมถึงความสัมพันธ์ ระหว่างวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ ชีววิทยา และสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลและผลกระทบซึ่งกันและกัน เพื่อนำความรู้ความเข้าใจในวิชาเคมีไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมการดำรงชีวิต พัฒนากระบวนการคิดจินตนาการ ความสามารถในการแก้ปัญหา และการจัดการทักษะในการสื่อสาร ความสามารถในการตัดสินใจ เพื่อให้เป็นผู้มีจิตวิทยาศาสตร์ มีคุณธรรมจริยธรรม และค่านิยมในการใช้วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีอย่างสร้างสรรค์ (สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา, 2560) สอดคล้องกับพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 (ฉบับปรับปรุง และที่แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2545) หมวดที่ 4 แนวการจัดการศึกษา มาตราที่ 22 กล่าวว่า การจัดการเรียนการสอนต้องเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ โดยถือว่า ผู้เรียนทุกคนนั้นสามารถเรียนรู้และพัฒนาตนเองได้ ดังนั้น กระบวนการเรียนรู้จะต้องส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาไปตามธรรมชาติ

ความคิดสร้างสรรค์ หมายถึง ความคิดหรือผลิตภัณฑ์ที่เป็นต้นฉบับ (Original) มีมูลค่า (Valued) และนำไปใช้ได้ (Implemented) (Csikszentmihalyi, Mihaly & Wolfe, Rustin. (2014)) ซึ่งอาจเป็นส่วนหนึ่งจากการใช้

เทคนิคสร้างมุมมองหลากหลาย สร้างมุมมองแปลกใหม่เพื่อปรับปรุงพัฒนาโดยเปิดกว้าง รับฟังความเห็นร่วมกัน สร้างความเข้าใจ ปรับปรุง วิเคราะห์ และประเมินมุมมองเพื่อพัฒนาได้ นำไปสู่การสร้างความคิดสร้างสรรค์ การจัดการเรียนการสอนเพื่อส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์โดยใช้กิจกรรมมัดข้อมหลากหลายสีเคมีจากธรรมชาติ ตามแนวทางสะเต็มศึกษา เป็นรูปแบบที่น่าอภิปรายของความคิดสร้างสรรค์ 3 องค์ประกอบ ได้แก่ การคิดคล่องแคล่ว (fluency) คิดยืดหยุ่น (flexibility) การคิดริเริ่ม (originality) มาใช้ตามแนวคิดของ Munandar (2009) ประกอบกับกระบวนการระดมความคิดกลุ่มเพื่อให้เกิดความคิดหลากหลาย การจัดการเรียนรู้ช่วยพัฒนาผู้เรียนให้ดำรงชีวิตในสังคมได้

จากความสำคัญและปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยสนใจที่จะพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ เรื่อง pH ของสารละลายกรดและเบส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้กิจกรรมมัดข้อมหลากหลายสีเคมีจากธรรมชาติ ตามแนวทางสะเต็มศึกษา จึงประกอบด้วย การพัฒนาความคิด 3 แบบ ได้แก่ ความคิดคล่องแคล่ว ความคิดริเริ่ม และความคิดยืดหยุ่น เพื่อพัฒนานักเรียนให้มีทักษะด้านความคิดสร้างสรรค์ในการเรียนวิชาเคมีเพิ่มเติม ซึ่งนักเรียนจะต้องใช้ทักษะการคิดสร้างสรรค์ เรียนรู้โดยการค้นพบความรู้ด้วยตนเอง ได้ฝึกปฏิบัติกิจกรรมเป็นกลุ่ม โดยครูผู้สอน มีบทบาทสำคัญในการวางแผนการจัดการเรียนรู้ กระตุ้น แนะนำ กำกับดูแล ช่วยเหลือนักเรียนให้เกิดการเรียนรู้ มีคุณลักษณะที่พึงประสงค์ตามศักยภาพของแต่ละคน และบรรลุวัตถุประสงค์อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อช่วยกระตุ้นให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ สนุกสนานมีความสุขในการเรียน เกิดแรงจูงใจที่จะเรียน สามารถจดจำองค์ความรู้ได้ดี และนักเรียนเกิดความพึงพอใจต่อการเรียนรายวิชาเคมีมากขึ้น จากกิจกรรมมัดข้อมหลากหลายสีเคมีจากธรรมชาติ ทำให้นักเรียนได้รับประสบการณ์โดยตรง นับเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการพัฒนาศักยภาพการจัดการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงในยุคศตวรรษที่ 21 ที่จะนำไปสู่สังคมสร้างสรรค์ ตามนโยบายแผนพัฒนาประเทศ 20 ปี เพื่อนำพาให้ไปสู่ความเป็นไทยแลนด์ 4.0

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) เพื่อศึกษาทักษะการคิดสร้างสรรค์ เรื่อง pH ของสารละลายกรดและเบส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้กิจกรรมมัดข้อมหลากหลายสีเคมีจากธรรมชาติ ตามแนวทางสะเต็มศึกษา

(2) เพื่อศึกษาแนวทางการจัดการเรียนรู้ตามแนวสะเต็มศึกษา เรื่อง pH ของสารละลายกรดและเบส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้กิจกรรมมัดข้อมหลากหลายสีเคมีจากธรรมชาติ ตามแนวทางสะเต็มศึกษา

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

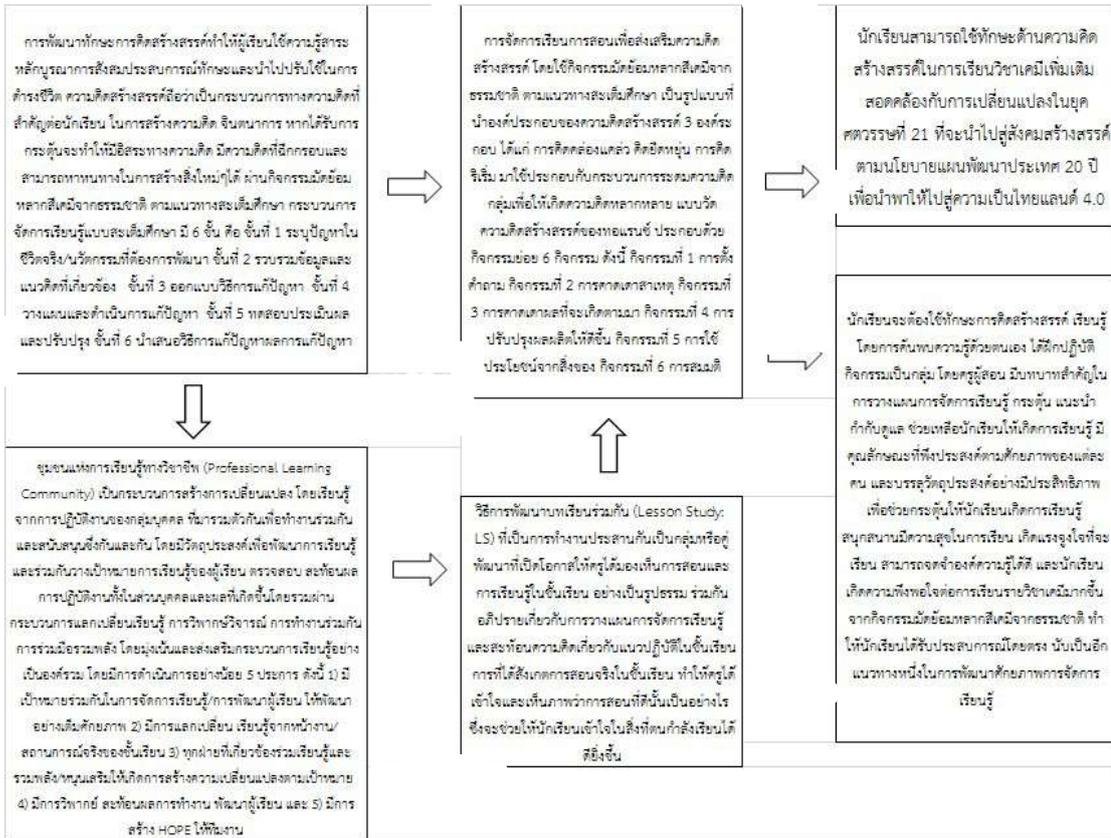
ขวัญสกุล อุปพันธ์ (2564) การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อศึกษาผลการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ในการจัดรูปแบบการเรียนการสอนกระบวนการคิดแก้ปัญหาอนาคตตามแนวคิดของทอร์แรนซ์ รายวิชาบูรณาการความรู้ 2) เพื่อศึกษาความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนการสอนรูปแบบการเรียนการสอนกระบวนการคิดแก้ปัญหาอนาคตตามแนวคิดของทอร์แรนซ์ รายวิชาบูรณาการความรู้ กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเป็น นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2564 ที่ลงทะเบียนวิชาเพิ่มเติม รายวิชาบูรณาการความรู้ ทั้งหมดจำนวน 30 คน เครื่องมือที่ใช้วิจัยประกอบด้วย แบบสอบถามก่อนเรียน แบบสังเกตพฤติกรรมสำหรับครูผู้สอน แบบประเมินความคิดสร้างสรรค์จากผลงาน (กลุ่ม) แบบสำรวจตนเอง แบบบันทึกความคิดเห็นของนักเรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอน มีการวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยเลขคณิต (\bar{X}) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และ การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพจากแบบบันทึกความเห็นในการ

จัดการเรียนการสอน ผลการวิจัยพบว่า 1. การเรียนการสอนกระบวนการคิดแก้ปัญหาอนาคตตามแนวคิดของทอร์แรนซ์สามารถพัฒนา ความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนได้โดยการวัดใน 3 ด้าน ได้แก่ 1) เสนอแนวทางการแก้ปัญหาที่ไม่เคยมีใครทำมาก่อน 2) เสนอแนวทางการแก้ปัญหาที่มีประโยชน์ 3) เสนอแนวทางการแก้ปัญหาที่มีความเป็นไปได้ในการปฏิบัติจริง โดยผลจากการประเมินกลุ่มโดยอาจารย์ผู้สอนและการประเมินตนเองของนักเรียนมีความสอดคล้องกัน โดยอยู่ในระดับดีและดีมาก และ"วิชาบูรณาการ" ทำให้นักเรียนมีความคิดสร้างสรรค์เพิ่มขึ้นในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.86$) 2. ความคิดเห็นต่อการจัดการเรียนการสอนเพื่อพัฒนาความคิดสร้างสรรค์โดยใช้รูปแบบการเรียนการสอนกระบวนการคิดแก้ปัญหาอนาคตตามแนวคิดของทอร์แรนซ์ พบว่านักเรียนมีความพึงพอใจระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.85$, S.D. = 0.36)

นัฐยา ทองจันทร์ และพงษ์ศักดิ์ แป้นแก้ว (2559) เรื่อง การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นโดยการจัดการเรียนรู้แบบระดมสมอง โดยการวิจัยมีการเปรียบเทียบการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์โดยการจัดการเรียนรู้แบบระดมสมอง พบว่านักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบระดมสมอง มีค่าเฉลี่ยความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ความคิดคล่อง ความคิดยืดหยุ่น ความคิดริเริ่มและความคิดละเอียดลออ รวมทั้งผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญ

บุญรัตน์ จันทร์ และคณะ (2558) การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง สมดุลกล โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ปีการศึกษา 2557 โดยใช้ใบกิจกรรมฝึกความคิดสร้างสรรค์ พบว่า การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์สามารถพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ทั้งความคิดคล่อง คิดยืดหยุ่น และคิดริเริ่มอยู่ในระดับดีและดีมากขึ้น

3. กรอบแนวคิดในการวิจัย



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 แบบแผนการวิจัย

แบบทดสอบความคิดสร้างสรรค์ของทอเรนซ์ ประกอบด้วยกิจกรรมทั้งหมด 6 กิจกรรม แต่ละกิจกรรมจะวัดด้านทักษะความคิดสร้างสรรค์ที่ประกอบไปด้วย 3 องค์ประกอบ คือ ความคิดคล่องแคล่ว ความคิดริเริ่ม และความคิดยืดหยุ่น และมีเกณฑ์การตรวจให้คะแนน ดังนี้

กิจกรรม	ด้านทักษะความคิดสร้างสรรค์	เกณฑ์การตรวจให้คะแนน
กิจกรรมที่ 1 การตั้งคำถาม (Asking)	ความคิดคล่องแคล่ว	ให้คะแนนคำถามละ 1 คะแนน แต่ถ้าคำตอบที่เกี่ยวกับการตั้งคำถามนั้นตอบจากรูปภาพที่ปรากฏให้ 0 คะแนน
	ความคิดริเริ่ม	ให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำตอบที่แปลกใหม่ โดยจะให้คะแนนคำตอบละ 1 คะแนน แต่ถ้าตอบซ้ำกับคู่มือให้ 0 คะแนน
	ความคิดยืดหยุ่น	ให้คะแนนโดยการนับคะแนนจากกลุ่มของคำตอบ โดยจะให้คะแนนกลุ่มคำตอบละ 1 คะแนน
กิจกรรมที่ 2 การคาดเดาสาเหตุ (Guessing Causes)	ความคิดคล่องแคล่ว	ให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำตอบที่แปลกใหม่ โดยจะให้คะแนนคำตอบละ 1 คะแนน แต่ถ้าตอบคำตอบนั้นไม่มีความสัมพันธ์กับภาพที่กำหนดให้ 0 คะแนน
	ความคิดริเริ่ม	ให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำตอบที่แปลกใหม่ โดยจะให้คะแนนคำตอบละ 1 คะแนน แต่ถ้าตอบซ้ำกับคู่มือให้ 0 คะแนน
	ความคิดยืดหยุ่น	ให้คะแนนโดยการนับคะแนนจากกลุ่มของคำตอบ โดยจะให้คะแนนกลุ่มคำตอบละ 1 คะแนน

กิจกรรมที่ 3 การคาดเดาผลที่จะเกิดตามมา (Guessing Consequences)	ความคิดคล่องแคล่ว	ให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำตอบที่คิดได้ โดยจะให้คะแนนคำตอบละ 1 คะแนน แต่ถ้าคำตอบนั้นไม่มีความสัมพันธ์กับภาพที่กำหนดให้ให้ 0 คะแนน
	ความคิดริเริ่ม	ให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำตอบที่แปลกใหม่ โดยจะให้คะแนนคำตอบละ 1 คะแนน แต่ถ้าคำตอบซ้ำกับคู่มือให้ 0 คะแนน
	ความคิดยืดหยุ่น	ให้คะแนนโดยการนับคะแนนจากกลุ่มของคำตอบ โดยจะให้คะแนนกลุ่มคำตอบละ 1 คะแนน
กิจกรรมที่ 4 การปรับปรุงผลผลิตให้ดีขึ้น (Product Improvements)	ความคิดคล่องแคล่ว	ให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำตอบที่คิดได้ โดยจะให้คะแนนคำตอบละ 1 คะแนน แต่ถ้าคำตอบนั้นไม่ได้ปรับปรุงเพื่อนำไปใช้ในการเล่นให้ 0 คะแนน
	ความคิดริเริ่ม	ให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำตอบที่แปลกใหม่ โดยจะให้คะแนนคำตอบละ 1 คะแนน แต่ถ้าคำตอบซ้ำกับในคู่มือให้ 0 คะแนน
	ความคิดยืดหยุ่น	ให้คะแนนโดยการนับคะแนนจากกลุ่มของคำตอบ โดยจะให้คะแนนกลุ่มคำตอบละ 1 คะแนน
กิจกรรมที่ 5 การใช้ประโยชน์จากสิ่งของ (Unusual Uses)	ความคิดคล่องแคล่ว	ให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำตอบที่คิดได้ โดยจะให้คะแนนคำตอบละ 1 คะแนน แต่ถ้าคำตอบนั้นเป็นการคิดค้นแบบเพื่อฝันหรือทำในสิ่งที่เป็นไปได้ให้ 0 คะแนน
	ความคิดริเริ่ม	ให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำตอบที่แปลกใหม่ โดยจะให้คะแนนคำตอบละ 1 คะแนน แต่ถ้าคำตอบซ้ำกับในคู่มือให้ 0 คะแนน
	ความคิดยืดหยุ่น	ให้คะแนนโดยการนับคะแนนจากกลุ่มของคำตอบ โดยจะให้คะแนนกลุ่มคำตอบละ 1 คะแนน
กิจกรรมที่ 6 การสมมติ (Just Suppose)	ความคิดคล่องแคล่ว	ให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำตอบที่คิดได้ โดยจะให้คะแนนคำตอบละ 1 คะแนน แต่ถ้าคำตอบนั้นมีความใกล้เคียงกันมากให้ 0 คะแนน
	ความคิดริเริ่ม	ให้คะแนนโดยการนับจำนวนคำตอบที่มีอยู่มากมาย แปลกใหม่ โดยจะให้คะแนนคำตอบละ 1 คะแนน แต่ถ้าคำตอบซ้ำกับในคู่มือให้ 0 คะแนน
	ความคิดยืดหยุ่น	ให้คะแนนโดยการนับคะแนนจากคำตอบ โดยจะให้คะแนนกลุ่มคำตอบละ 1 คะแนน

4.2 เครื่องมือวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ได้แก่ แบบวัดความคิดสร้างสรรค์ ก่อนและหลังการจัดกิจกรรมผ่านคีย์บอร์ดหลากสีเคมีจากธรรมชาติ เรื่อง pH ของสารละลายกรดและเบส โดยเครื่องมือดังกล่าวได้รับการตรวจสอบดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและจุดประสงค์การเรียนรู้ หลังจากนั้นนำไปเก็บข้อมูลตามระยะเวลาของการทำวิจัย

4.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

จัดทำแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ ก่อนและหลังการจัดกิจกรรมผ่านคีย์บอร์ดหลากสีเคมีจากธรรมชาติ เรื่อง pH ของสารละลายกรดและเบส ของนักเรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนและแผนการจัดการเรียนรู้เรื่อง pH ของสารละลายกรดและเบส ในรายวิชาเคมี โดยใช้รูปแบบการเรียนการสอนตามแนวสะเต็มศึกษา ซึ่งเป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 40 คน เก็บข้อมูลจากแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ก่อนและหลังการจัดกิจกรรมผ่านคีย์บอร์ดหลากสีเคมีจากธรรมชาติ เรื่อง pH ของสารละลายกรดและเบส ของนักเรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนระหว่าง และหลังการจัดการเรียนการสอนตามแผนการสอนที่ปรับปรุงแล้ว นำข้อมูลเชิงปริมาณที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยเลขคณิต ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และนำข้อมูลเชิงคุณภาพมาวิเคราะห์

5. ผลการวิจัย

ผลการวิจัยการพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้อยู่โดยใช้กิจกรรมมัดคีย์บอร์ดหลากสีเคมีจากธรรมชาติ ตามแนวทางสะเต็มศึกษา ได้ข้อมูลจากแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ ก่อนและหลังการจัดกิจกรรมผ่านคีย์บอร์ดหลากสีเคมีจากธรรมชาติ เรื่อง pH ของสารละลายกรดและเบส ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ออกเพื่อพัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยมีรายละเอียดดังนี้

กิจกรรมที่ 1 การตั้งคำถาม ให้นักเรียนตั้งคำถามเบื้องต้นเกี่ยวกับกิจกรรมมัดย้อมเพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ ให้นักเรียนพัฒนาทักษะการคิดและสามารถนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงผ้ามัดย้อมได้ โดยครูนำภาพผ้ามัดย้อมมาให้ให้นักเรียนตั้งคำถาม และให้นักเรียนใช้ความรู้จากเรื่อง pH ของสารละลายกรดเบสในการตั้งคำถาม ผลการวิเคราะห์พบว่า นักเรียนสามารถนำความรู้จากการเรียนมาตั้งคำถาม

กิจกรรมที่ 2 การคาดเดาสาเหตุ ให้นักเรียนคาดเดาสาเหตุจากภาพและชิ้นผ้าจริงๆว่าเกิดจากวัสดุมีสีชนิดใด ให้นักเรียนพัฒนาการวิเคราะห์และจำแนกชิ้นผ้าดังกล่าวได้ โดยครูนำชิ้นผ้าทั้งหมด 6 ชิ้นที่มีการย้อมสีจากธรรมชาติเรียบร้อยแล้ว และให้นักเรียนคาดเดาสีบนชิ้นผ้า ผลการวิเคราะห์พบว่า นักเรียนสามารถนำความรู้นอกห้องเรียนมาใช้ โดยนักเรียนวิเคราะห์ว่า ชิ้นผ้าไม่ได้เกิดจากสีธรรมชาติอย่างเดียว แต่เกิดจากสีธรรมชาติผสมกับสารช่วยติดสี ทำให้สีเปลี่ยน โดยใช้ความรู้เรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบส

กิจกรรมที่ 3 การคาดเดาผลที่จะเกิดตามมา ให้นักเรียนใช้ความรู้ต่อเนื่องจากกิจกรรมที่ 2 ว่าจากที่คาดเดานั้นเป็นจริงหรือไม่ สาเหตุที่ได้จากการวิเคราะห์นั้น จะได้รับการพิสูจน์ด้วยการทดลอง โดยครูให้นักเรียนทำการทดลองในสิ่งที่นักเรียนได้คาดเดาไว้ดังกิจกรรมที่ 2 ผลการวิเคราะห์พบว่า นักเรียนสามารถคาดเดาได้สำเร็จ เพราะใช้ความรู้เรื่อง pH ของสารละลายกรด-เบส ในการคาดเดา

กิจกรรมที่ 4 การปรับปรุงผลผลิตให้ดีขึ้น ให้นักเรียนปรับปรุงสีผ้ามัดย้อมจากกิจกรรมที่ 3 ให้ดีกว่าเดิม ให้นักเรียนนำชิ้นงานมาทดสอบว่าชิ้นงานสอดคล้องกับขอบเขตการปรับปรุง เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่ตรงความต้องการ



รูปภาพที่ 6 ผลงานผ้ามัดย้อมหลากสีเคมีจากธรรมชาติของนักเรียน

กิจกรรมที่ 5 การใช้ประโยชน์จากสิ่งของ ให้นักเรียนเรียนนำสิ่งของต่างๆที่ไม่ใช่แล้วมาใช้เป็นวัสดุในการมัดย้อมผ้า ให้นักเรียนรู้จักคุณค่าและความคิดสร้างสรรค์ในการสร้างลวดลายต่างๆลงบนผ้ามัดย้อม โดยครูนำผ้าฝ้ายสีขาวให้นักเรียนได้ทดลองและออกแบบลวดลายและวัสดุเหลือใช้ ผลการวิเคราะห์พบว่านักเรียนสามารถสร้างลวดลายจากแบบที่ให้ไว้หลากหลาย ดังภาพ



รูปภาพที่ 7 การใช้ประโยชน์จากสิ่งของในการทำมัดย้อมหลากสีเคมี

กิจกรรมที่ 6 การสมมติ ให้นักเรียนสมมติช่วย pH ของพืชที่เลือกทำผ้ามัดย้อมและออกแบบสินค้ามัดย้อมที่มีประโยชน์และมีสามมิติสร้างสรรค์ ผลการวิเคราะห์พบว่า นักเรียนมีวิธีการที่ทำให้มัดย้อมเป็นผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างจากอื่นๆในท้องตลาด และไม่สามารถลอกเลียนแบบได้

ตารางที่ 2 คะแนนก่อนการจัดกิจกรรมฝึมนัดข้อมุลากสีเคมีจากธรรมชาติ เรื่อง pH ของสารละลายกรดและเบสมัดข้อมุลากสีเคมี จากธรรมชาติ ในรายวิชาเคมี จำแนกตามกลุ่ม

ข้อคำถาม	ความคิด คล่องแคล่ว		ความคิด ริเริ่ม		ความคิด ยืดหยุ่น	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ
กิจกรรมที่ 1 การตั้งคำถาม (Asking)						
กิจกรรมที่ 2 การคาดเดาสาเหตุ (Guessing Causes)						
กิจกรรมที่ 3 การคาดเดาผลที่จะเกิดตามมา (Guessing Consequences)						
กิจกรรมที่ 4 การปรับปรุงผลผลิตให้ดีขึ้น (Product Improvements)	2.47	1.79	0.81	1.99	0.28	2.00
กิจกรรมที่ 5 การใช้ประโยชน์จากสิ่งของ (Unusual Uses)						
กิจกรรมที่ 6 การสมมติ (Just Suppose)						

ตารางที่ 3 คะแนนหลังการจัดกิจกรรมฝึมนัดข้อมุลากสีเคมีจากธรรมชาติ ในรายวิชาเคมี เรื่อง pH ของสารละลายกรดและเบส จำแนกตามกลุ่ม

ข้อคำถาม	ความคิด คล่องแคล่ว		ความคิด ริเริ่ม		ความคิด ยืดหยุ่น	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ
กิจกรรมที่ 1 การตั้งคำถาม (Asking)						
กิจกรรมที่ 2 การคาดเดาสาเหตุ (Guessing Causes)						
กิจกรรมที่ 3 การคาดเดาผลที่จะเกิดตามมา (Guessing Consequences)						
กิจกรรมที่ 4 การปรับปรุงผลผลิตให้ดีขึ้น (Product Improvements)	2.39	1.85	2.06	1.95	1.86	1.65
กิจกรรมที่ 5 การใช้ประโยชน์จากสิ่งของ (Unusual Uses)						
กิจกรรมที่ 6 การสมมติ (Just Suppose)						

ผลการวิจัยการพัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์ เรื่อง pH ของสารละลายกรดและเบส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้กิจกรรมมัดข้อมุลากสีเคมีจากธรรมชาติ ตามแนวทางสะเต็มศึกษา ก่อนการจัดกิจกรรมฝึมนัดข้อมุลากสีเคมีจากธรรมชาติ เรื่อง pH ของสารละลายกรดและเบส มัดข้อมุลากสีเคมี จากธรรมชาติ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 6 กิจกรรม มาใช้ในการจัดการเรียนการสอน พบว่า กลุ่มที่ศึกษาทั้ง 40 คนมีคะแนนเฉลี่ยทักษะการคิดสร้างสรรค์ ด้านความคล่องแคล่ว 2.47 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.79 ด้านความคิดริเริ่ม 0.81 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 21.72 ด้านความคิดยืดหยุ่น 2.47 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.79 หลังการนำแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ มัดข้อมุลากสีเคมี จากธรรมชาติ ในรายวิชาเคมี เรื่อง pH ของสารละลายกรดและเบส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 6 กิจกรรม พบว่า กลุ่มตัวอย่างทั้ง 40 คนมีคะแนนเฉลี่ยทักษะการคิดสร้างสรรค์ ด้านความคล่องแคล่ว 2.39 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.85 ด้านความคิดริเริ่ม 2.08 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 20.30 ด้านความคิดยืดหยุ่น 2.11 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 20.14 ทั้งก่อนและหลังการทำแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ จากกิจกรรมมัดข้อมุลากสีธรรมชาติ นักเรียนกลุ่มที่ 6 มีคะแนนทักษะการคิดสร้างสรรค์ด้านความคล่องแคล่ว ความคิดริเริ่ม และความคิดยืดหยุ่น สูงที่สุด

6. อภิปรายผล

จากผลการวิจัยพบว่า นักเรียนในชั้นเรียนที่มีความคิดสร้างสรรค์ทั้ง 3 ด้าน ตามกรอบแนวคิดของ Munandar (2009) โดยมีระดับของความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนในภาพรวมอยู่ในระดับดี หลังจากจัดการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมมัดย้อมหลากสีเคมีจากธรรมชาติ ตามแนวทางสะเต็มศึกษา เพื่อการพัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์ เรื่อง pH ของสารละลายกรดและเบส ในรายวิชาเคมี ของชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ทำให้ผู้เรียนมีความเข้าใจมากขึ้น โดยผลการทำแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ พบว่าหลังทำกิจกรรมสูงกว่าก่อนทำกิจกรรม จากการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมมัดย้อมหลากสีเคมีจากธรรมชาติ ตามแนวทางสะเต็มศึกษา ส่งผลให้ผู้เรียนมีทักษะความคิดสร้างสรรค์ด้านความคิดคล่องแคล่ว เพิ่มขึ้น ร้อยละ 48.6 อยู่ในระดับดีมาก ด้านความคิดริเริ่ม และด้านความคิดยืดหยุ่น เพิ่มขึ้น ร้อยละ 28.62 และ 27.64 ตามลำดับ อยู่ในระดับระดับดี ทั้งนี้เป็นผลจากการจัดการเรียนรู้ตามรูปแบบสะเต็มศึกษา ที่เน้นให้ผู้เรียนมีทักษะความคิดสร้างสรรค์ แบ่งได้เป็น 6 ขั้นตอน 1. ชื่นระบุปัญหา 2. รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา 3. ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา 4. วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา 5. ทดสอบประเมินผลและปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน และ 6. นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาผ่านกิจกรรมมัดย้อมหลากสีเคมีจากธรรมชาติ ตามแนวแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ของทอเรนซ์ ประกอบด้วยกิจกรรมย่อย 6 กิจกรรม ดังนี้ 1. การตั้งคำถาม 2. การคาดเดาสาเหตุ 3. การคาดเดาผลที่จะเกิดตามมา 4. การปรับปรุงผลผลิตให้ดีขึ้น 5. การใช้ประโยชน์จากสิ่งของ 6. การสมมติ โดยนักเรียนทำแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ก่อนและหลังทำกิจกรรมมัดย้อมหลากสีเคมีจากธรรมชาติ นักเรียนสามารถอ่านและทำความเข้าใจในคำถามที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมมัดย้อม อีกทั้งการวิเคราะห์คำถามสามารถส่งเสริมให้นักเรียนใช้ทักษะความคิดสร้างสรรค์ในการตอบคำถามตามแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ ข้อเท็จจริงที่ได้จากแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ พบว่านักเรียนสามารถค้นคว้าเพิ่มเติมได้ด้วยตนเองตลอดการทำกิจกรรม สามารถนำข้อมูลที่วิเคราะห์ได้มาทำการสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติม มีการวางแผน วิเคราะห์ปัญหา หาแนวทางการแก้ปัญหา สามารถสร้างสรรค์ชิ้นงาน จากกระบวนการจัดการเรียนการสอนส่งเสริมให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติ สามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง อีกทั้งสามารถบูรณาการความรู้ มาวิเคราะห์สถานการณ์เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบชิ้นงานหรือนวัตกรรมที่สามารถใช้ได้จริงในการแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันได้ (Thodsagarn, 2561:2-3)

จากผลการวิจัย พบว่า นักเรียนได้รับการพัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์ เรื่อง pH ของสารละลายกรดและเบส ในรายวิชาเคมี โดยใช้กิจกรรมมัดย้อมหลากสีเคมีจากธรรมชาติ ตามแนวทางสะเต็มศึกษา ของชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 การพัฒนาทักษะความคิดสร้างสรรค์ของแบบวัดความคิดสร้างสรรค์ก่อนการทำกิจกรรมความคิดคล่องแคล่ว อยู่ในระดับดีมาก โดยมีคะแนนเฉลี่ยเป็น 2.47 ความคิดริเริ่ม อยู่ในระดับพอใช้ โดยมีคะแนนเฉลี่ยเป็น 0.81 และความคิดยืดหยุ่น อยู่ในระดับปรับปรุง โดยมีคะแนนเฉลี่ยเป็น 0.28 แบบทดสอบวัดความคิดสร้างสรรค์หลังการทำกิจกรรม ความคิดคล่องแคล่ว อยู่ในระดับดีมาก โดยมีคะแนนเฉลี่ยเป็น 2.39 ความคิดริเริ่ม และความคิดยืดหยุ่น อยู่ในระดับพอใช้ โดยมีคะแนนเฉลี่ยเป็น 2.06 และ 1.86 ตามลำดับ ผู้เรียนมีคะแนนหลังกิจกรรมสูงกว่าก่อนกิจกรรม ทั้งนี้เนื่องจากการจัดการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมมัดย้อมหลากสีเคมีจากธรรมชาติ ตามแนวทางสะเต็มศึกษา ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ สดภาพ พุทธิพิทกุล (2555:5) ที่กล่าวถึงการส่งเสริมทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรมว่าจะต้องให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติทำให้ผู้เรียนแสวงหาความรู้ผ่านการลงมือทำกิจกรรมจนเกิดความเข้าใจ นำไปประยุกต์ใช้ สามารถวิเคราะห์และประเมินค่าได้ (Pruitthikul, 2555:5)

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

จากผลการวิจัยจะเห็นว่าความคิดยืดหยุ่นมีคะแนนเฉลี่ยน้อยที่สุดและอยู่ในระดับพอใช้ เนื่องจากเป็นด้านที่ซับซ้อนในการคิดและต้องใช้เวลาในการพัฒนา ดังนั้น บทบาทของครูในขั้นตอนของการเรียนรู้ที่เน้นกิจกรรมตามแนวสะเต็มศึกษาควรส่งเสริมให้นักเรียนฝึกคิดด้วยตนเอง แลกเปลี่ยนประสบการณ์ โดยเฉพาะในชั้นงานกลุ่ม ควรกระตุ้นนักเรียนโดยใช้คำถามเพื่อเปิดทางให้นักเรียนเท่านั้น เพื่อให้ นักเรียนมีอิสระในการแสดงความคิดในแบบของตนเองได้แตกต่างจากกลุ่มคนในชั้นเรียน เปิดโอกาสให้นักเรียนได้แสดงวิธีคิดที่แปลกใหม่ได้ และในขั้นนำเสนอ อภิปรายและสรุป ควรนำผลงานนักเรียนที่มีประเด็นแตกต่างกันมานำเสนอในชั้นเรียน เพื่อให้เห็นความคิดที่หลากหลาย เป็นวิธีการที่ถูกหรือผิดรวมถึงสาเหตุเหล่านั้น

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ควรมีการเปรียบเทียบความคิดสร้างสรรค์ของชั้นเรียนที่ใช้การจัดการเรียนรู้ที่เน้นกิจกรรมตามแนวสะเต็มศึกษาและวิธีการสอนอื่น ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนารูปแบบการสอนให้ดียิ่งขึ้น

8. เอกสารอ้างอิง

- ขวัญสกุล อุปพันธ์. (2564). *การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์โดยใช้รูปแบบการเรียนการสอนกระบวนการคิดแก้ปัญหาอนาคตตามแนวคิดของทอรัเรนซ์ รายวิชาบูรณาการความรู้ โรงเรียนมหิตลวิทย์วิทยานุสรณ์*. นนทบุรี: ทองจันทร์ และพงษ์ศักดิ์ เป็นแก้ว. (2559). การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โดยการจัดการเรียนรู้แบบระดมสมอง. *วารสารบัณฑิตวิจัย*, 7(1), 1-14.
- บุญรัตน์ จันทร์, เอกภูมิ จันทร์ขันธ์ และ ชีระศักดิ์ วีระภาสพงษ์. (2558). *การพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 เรื่อง สมดุลกลโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์*. ใน เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53: สาขาศึกษาศาสตร์, สาขาเศรษฐศาสตร์และบริหารธุรกิจ, สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ (น. 227-234). กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- สุวิทย์ มูลคำ. (2547). *กลยุทธ์การสอนสังเคราะห์* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: ภาพพิมพ์.สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ. (2545). พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ.2545. กรุงเทพฯ: พรินทวานกราฟฟิค
- Munandar. (2009). "Creativity and Education: a Study of the Relationships Between Measures of Creative Thinking and a Number of Educational Variables in Indonesian Primary and Junior Secondary Schools". Doctoral Dissertation 1(2): 124-138.
- Pruitthikul, S. (2012). Quality of students derived from active learning process. *Journal of Educational Administration Burapha University*, 6(2),1-13. (in Thai)
- Thodsagarn, P. (2018). *Integrated STEM Education Learn Management on Weather Forecasting House to Enhance Learning and Product Creating Skills of 7th Grade Students*. Master of Education Department of Curriculum and Instruction College of Education Science Dhurakij Pundit University. (in Thai)

**การพัฒนาแนวคิดทางการเรียนวิชาเคมี เรื่อง หมู่ฟังก์ชัน
ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System
ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function**

**Advancing Conceptual Understanding of Functional Groups in Chemistry
Among 12th Grade Students through the Integration
of 4MAT System Learning and Chem-Function Card Games**

ศรिता ศรีบุญ

คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

E-mail: namtansarita@gmail.com

ศุภาพร ดาวัลย์

คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

E-mail: supaporn.d@pkru.ac.th

ณัฐกร ชีประวิติชัย

คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

E-mail: nattakon.c@pkru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบแนวคิดทางการเรียนวิชาเคมี เรื่อง หมู่ฟังก์ชัน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 หลังการจัดการเรียนรู้ และเพื่อประเมินความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่มีต่อการเรียนวิชาเคมี เรื่อง หมู่ฟังก์ชัน โดยการจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function โดยเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเป็นใบกิจกรรม เรื่อง หมู่ฟังก์ชัน ใบคะแนนจากเกมการ์ด Chem-Function แบบวัดแนวคิดทางการเรียนวิชาเคมี และแบบประเมินความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบค่าสถิติ t-test ผลการวิจัย พบว่านักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 มีแนวคิดทางการเรียนวิชาเคมี เรื่อง หมู่ฟังก์ชัน หลังใช้การจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function เพิ่มขึ้นกว่าก่อนใช้ ($\bar{X} = 16.45, S.D. = 2.58$) เพิ่มขึ้นกว่าก่อนใช้ ($\bar{X} = 5.89, S.D. = 2.83$) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 มีความพึงพอใจต่อการเรียนวิชาเคมี โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function อยู่ในระดับมากที่สุด แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function สามารถนำไปปรับใช้ในการเรียนการสอน เพื่อส่งเสริมให้นักเรียน ได้มีกระบวนการคิดวิเคราะห์อย่างเป็นระบบมากยิ่งขึ้น เนื่องจากลักษณะการจัดการเรียนรู้ตระหนักถึงความแตกต่าง และกระตุ้นให้นักเรียนสนใจ ตื่นเต้น และเกิดความท้าทายอยากรู้และลงมือปฏิบัติ ซึ่งเหมาะกับวัยของนักเรียน

คำสำคัญ: การจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System เกมการ์ด ความพึงพอใจ

ABSTRACT

The purposes of this research were twofold: (1) to compare the concept of learning in chemistry related to functional groups following learning management, and (2) to evaluate the satisfaction of 12th-grade students with regard to learning chemistry about functional groups. The organization of learning utilized the 4MAT System in conjunction with Chem-Function card games. The tools employed for data collection included activity sheets focusing on functional groups, score sheets from the Chem-Function card games, a conceptual form for learning chemistry, and a satisfaction survey form for assessing the use of Chem-Function card games. The statistical methods used for analysis encompassed the Mean, Standard Deviation, and t-test. The research findings revealed that 12th-grade students understanding of learning chemistry related to functional groups improved after implementing the 4MAT System learning management combined with Chem-Function card games ($\bar{X} = 16.45$, S.D. = 2.58), compared to before ($\bar{X} = 5.89$, S.D. = 2.83), with statistical significance at the .01 level. Additionally, 12th-grade students expressed high levels of satisfaction with learning chemistry through the utilization of the 4MAT System combined with Chem-Function card games. This demonstrates that this form of learning management can be applied to teaching and learning, fostering a more systematic critical thinking process among students. The unique characteristics of this learning management approach help students recognize distinctions, stimulate interest, excitement, challenges, curiosity, and appropriateness for students age.

Keywords: 4MAT System Learning, Card game, Satisfaction

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ธรรมชาติของวิชาเคมีเป็นวิชาที่ประกอบด้วยเนื้อหาที่เป็นนามธรรม ต้องใช้จินตนาการในการคิด เพื่อเชื่อมโยงเนื้อหากับประสบการณ์และชีวิตประจำวันของนักเรียน การจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียนเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยพัฒนาและส่งเสริมให้นักเรียนสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเอง (ฉัตรชญา ดิงสะ และคณะ, 2561) การจัดการกระบวนการเรียนรู้ที่ดีสำหรับนักเรียน คือการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ ซึ่งช่วยพัฒนาให้นักเรียนเกิดกระบวนการจัดการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น แนวทางในการจัดการศึกษา ถือว่าผู้เรียนสำคัญที่สุด ซึ่งกระบวนการเรียนรู้เป็นการส่งเสริมผู้เรียนให้เรียนรู้ สามารถสร้างองค์ความรู้ผ่านกระบวนการคิดด้วยตนเอง เน้นการปฏิบัติจริง สามารถทำงานเป็นทีมได้ (จิราภรณ์ บุตรราช, 2563)

การจัดการเรียนรู้เคมีในปัจจุบัน พบว่าผู้สอนส่วนมากยังคงสอนแบบบรรยาย เน้นให้ผู้เรียนท่องจำเนื้อหาในบทเรียนที่มีมากเกินไป ผู้เรียนจึงไม่ได้ลงมือปฏิบัติ ไม่ได้ฝึกกระบวนการคิด เนื่องจากได้รับข้อมูลเพียงอย่างเดียว ผู้เรียนส่วนมากไม่ค่อยเข้าใจเนื้อหาในบทเรียน จากเหตุผลข้างต้นจึงต้องศึกษาหาวิธีการที่เหมาะสมมาใช้ในการแก้ปัญหานี้ ดังนั้นรูปการสอน โดยใช้เกม (Game Based Learning, GBL) จึงเป็นสื่อทางเลือกที่ตัวอย่างหนึ่งในการเรียนรู้ ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อให้ผู้เรียนมีความสุขสนุกสนานไปพร้อม ๆ กับการได้รับความรู้ อีกทั้งยังเป็นการลดข้อจำกัดในการเรียนรู้ การรับรู้ของผู้เรียน แรงจูงใจของผู้เรียน ความอยากรู้อยากเห็นของผู้เรียน ซึ่งเป็นปัญหาที่มักจะพบได้ในผู้เรียนส่วนใหญ่ก็คือ รู้สึกว่าการเรียนรู้เป็นเรื่องที่น่าเบื่อ ไม่สนุก ต้องอ่านหนังสือจำนวนมาก ไม่อยากเรียน มีกิจกรรมอื่นที่น่าสนใจมากกว่า (วรรตต์ อินทสระ, 2563) การเรียนรู้ด้วยเกมจะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนศึกษาค้นคว้าหาความรู้ด้วยตนเอง ฝึกทักษะกระบวนการกลุ่มทางสังคม เช่น

ทักษะกระบวนการกลุ่ม ทักษะความเป็นผู้นำ ฝึกความรับผิดชอบและฝึกการช่วยเหลือผู้อื่นด้วยความเต็มใจ อีกทั้งนักเรียนยังได้ตื่นตัว สนุกสนานกับการเรียนรู้ตลอดจนสมาชิกของกลุ่มจะต้องมีการกำหนดเป้าหมายร่วมกันช่วยเหลือซึ่งกันและกัน เพื่อนำไปสู่ความสำเร็จ นอกจากนี้ยังมีรูปแบบการจัดการกระบวนการเรียนรู้แบบ 4MAT System ที่เป็นทฤษฎีการจัดการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ ผ่านกิจกรรมการเรียนรู้ที่ตอบสนองรูปแบบการเรียนรู้ของผู้เรียนที่แตกต่างกัน โดยใช้คำถามหลัก 4 คำถาม คือ ทำไม (Why) อะไร (What) อย่างไร (How) และถ้า (If) กิจกรรมการเรียนรู้นี้จะหมุนวนไปตามเข็มนาฬิกาไปจนครบทั้ง 4 ช่วง 4 แบบ และแต่ละช่วงจะแบ่งเป็น 2 ชั้น ดังนั้นขั้นตอนการเรียนรู้จะมีทั้งสิ้น 8 ขั้นตอน ซึ่งทำให้ผู้เรียนเกิดประสิทธิภาพในการเรียนรู้อย่างเต็มศักยภาพ โดยเน้นให้ผู้เรียนเรียนรู้จากการปฏิบัติจริง ทำให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความสุข (นริรัชต์ ผืนเขียว, 2563)

จากความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาดังกล่าว การจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function เรื่อง หมู่ฟังก์ชัน เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยส่งเสริมทำให้ผู้เรียนเกิดแรงกระตุ้นและเกิดแรงจูงใจในการเรียนที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญรวมถึงกิจกรรมในห้องเรียนอีกทั้งยังส่งเสริมการใช้สมองทั้งสองซีกที่สมดุล ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะพัฒนาแนวคิดทางการเรียนวิชาเคมี ในการนำการจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ดเรื่อง หมู่ฟังก์ชัน มาใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อเปรียบเทียบแนวคิดทางการเรียนวิชาเคมี เรื่อง หมู่ฟังก์ชัน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 หลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function
- (2) เพื่อประเมินความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่มีต่อการเรียนวิชาเคมี เรื่อง หมู่ฟังก์ชัน โดยการจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- (1) แนวความคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System

ทิสนา แคมมณี (2556 อ้างถึงใน นูรมา อาลี 2559) McCarthy ได้พัฒนารูปแบบการเรียนการสอนจากแนวคิดและทฤษฎีการเรียนรู้ของ David Kolb ซึ่งอธิบายว่า การเรียนรู้เกิดขึ้นจากความสัมพันธ์ 2 มิติ คือ การรับรู้ (Perception) และกระบวนการจัดกระทำข้อมูล (Processing) นั่นคือการเรียนรู้จะเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพเกิดจากการที่คนเรารับรู้ข้อมูลแล้วนำข้อมูลเหล่านั้น ไปจัดกระบวนการใหม่ตามความถนัดของตนเอง ซึ่งการรับรู้ของบุคคลมี 2 ช่องทาง ช่องทางที่หนึ่ง คือ ผ่านทางประสบการณ์ที่เป็นรูปธรรม (Concrete Experience) และช่องทางที่สอง คือ ผ่านทางความคิดรวบยอดหรือมโนคติที่เป็นนามธรรม (Abstract Conceptualization) ส่วนกระบวนการจัดกระทำกับข้อมูลที่รับรู้นั้นมีลักษณะเช่นเดียวกัน คือ การลงมือปฏิบัติจริง (Active Experimentation) และการสังเกต โดยใช้ความคิดอย่างไตร่ตรอง (Reflective Observation) จากแนวคิดการเรียนรู้ของ Kolb ที่แบ่งรูปแบบการเรียนรู้ตามความแตกต่างของการเรียนรู้เป็น 4 ส่วน

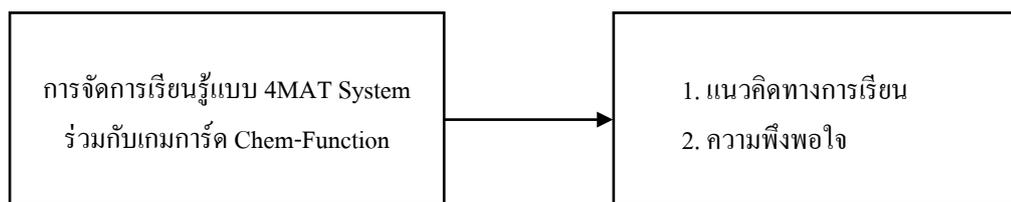
(2) แนวความคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้โดยใช้เกม

ธนัญภัทร์ ศรีเนธิยวสิน (2564) ได้กล่าวไว้ว่า การสอน โดยการใช้เกม (Game -Based Learning) เป็นวิธีการที่ช่วยให้ผู้เรียนเรียนรู้เรื่องต่าง ๆ อย่างสนุกสนานและท้าทายความสามารถ โดยผู้เรียนเป็นผู้เล่นเองทำให้ได้รับประสบการณ์ตรง เป็นวิธีการที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนมีส่วนร่วม วิธีการสอนโดยใช้เกมให้มีประสิทธิภาพ คือ การเลือกเกมเพื่อนำมาใช้สอน สามารถทำได้หลายวิธี โดยผู้สอนสามารถสร้างเกมขึ้นมาเองให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์การสอน หรืออาจนำเกมที่มีผู้สร้างขึ้นมาแล้วมาปรับหรือดัดแปลงให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของบทเรียน หากผู้สอนต้องการสร้างเกมขึ้นมาใช้เอง ผู้สอนต้องมีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการสร้างเกม และนำไปทดลองใช้หลาย ๆ ครั้งจนแน่ใจว่าได้ผลดีตามวัตถุประสงค์ การเล่นเกมมีลำดับขั้นตอน หรือบางกรณีอาจจำเป็นต้องควบคุมเวลาในการเล่น ในขณะที่ผู้เรียนกำลังเล่นเกม ผู้สอนควรติดตามสังเกตพฤติกรรมการเล่นของผู้เรียนอย่างใกล้ชิด และควรบันทึกข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการเรียนรู้ของผู้เรียน เพื่อนำไปใช้ในการอภิปรายหลังการเล่น

(3) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุริย์พร ธัญญะกิจ (2563) ศึกษาถึงผลการจัดกิจกรรมการสอนแบบ 4 MAT เป็นรูปแบบการสอนที่ตระหนักถึงความแตกต่างและความถนัดในการเรียนรู้ของผู้เรียน ทำให้ผู้เรียนเกิดความท้าทาย เนื่องจากเป็นกระบวนการคิดที่สอดคล้องกับการทำงานของสมอง เป็นการเรียนรู้โดยธรรมชาติส่งผลให้นักเรียนได้พัฒนาความสามารถเต็มตามศักยภาพ กระตุ้นการทำงานของสมองซีกซ้ายและซีกขวา รวมทั้งพัฒนาจุดอ่อนของผู้เรียนควบคู่กันไป นอกจากการพัฒนาทางสมอง การพัฒนาทักษะการทำงานร่วมกับผู้อื่น หรือการปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่นย่อมเป็นทักษะสำคัญอีกประการหนึ่ง จึงต้องมีการเรียนแบบช่วยเหลือกัน จะสามารถมีมุมมองด้านทักษะการปฏิสัมพันธ์ในกลุ่ม กระบวนการจัดการกิจกรรมการเรียนการสอนที่บูรณาการรูปแบบให้แก่ผู้เรียนไปพร้อมกัน จะสามารถทำให้ผู้เรียนพัฒนาตนเองทั้งด้านความรู้ให้มีความคงทนและการพัฒนาทางด้านทักษะทางสังคมไปพร้อมกัน และก่อให้เกิดทักษะที่เป็น Soft Skill ซึ่งเป็นทักษะที่สำคัญในศตวรรษที่ 21 นูรมา อาลี (2559) ศึกษาผลการจัดการเรียนรู้แบบ 4 MAT ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนความคงทนในการเรียนรู้ และความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ ผลการวิจัย พบว่า นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 นักเรียนมีความคงทนในการเรียนรู้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และนักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ในระดับมากที่สุด ศิริพร นันทชัย (2562) ได้ศึกษาผลของการฝึกด้วยเกมการ์ดต่อโมเดลกลุ่มนีร่วมกับการใช้แบบจำลองโมเดลสามมิติของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ผลการศึกษาพบว่า เกมการ์ดต่อโมเดลกลุ่มนีที่ประกอบด้วย 2 กิจกรรม มีการแบ่งระดับจากง่ายไปยาก มีความเหมาะสมสำหรับใช้ร่วมกับแบบจำลองโมเดลสามมิติ เพื่อเพิ่มความสามารถด้านมิติสัมพันธ์ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ระยะเวลาหลังการทดลองทั้งกลุ่มทดลอง 2 กลุ่ม และกลุ่มควบคุมมีความสามารถด้านมิติสัมพันธ์และคะแนนวิชาเคมีอินทรีย์สูงกว่าระยะก่อนทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 และนภาพศรี สงสัย (2563) ได้ศึกษาผลการใช้บอร์ดเกมประกอบการเรียน การสอนรายวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบนิเวศ เพื่อส่งเสริมความสามารถในการคิดวิเคราะห์ จากการศึกษาพบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยบอร์ดเกม เรื่อง ระบบนิเวศ หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ และผลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อบอร์ดเกม พบว่า ในภาพรวมนักเรียนมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก

3.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

3.3 สมมติฐานการวิจัย

(1) นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 มีแนวคิดทางการเรียนวิชาเคมี เรื่อง หมู่ฟังก์ชัน หลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function สูงกว่าก่อนเรียน

(2) นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 มีความพึงพอใจต่อการเรียนวิชาเคมี เรื่อง หมู่ฟังก์ชัน โดยการจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function อยู่ในระดับมาก

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 กลุ่มที่ศึกษา

กลุ่มที่ศึกษาเป็นนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ของโรงเรียนเอกชนขนาดกลางทางภาคใต้ตอนบน จำนวน 1 ห้องเรียน แผนการเรียนวิทย์-คณิต (SMP) รวม 38 คน ปีการศึกษา 2565 ซึ่งได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนที่ผู้วิจัยสอนในรายวิชาเคมี ผู้วิจัยต้องการพัฒนาความรู้ ความเข้าใจ ผลสัมฤทธิ์และแนวคิดทางการเรียนรู้ รวมไปถึงทักษะในด้านต่าง ๆ ให้เพิ่มสูงขึ้น พร้อมทั้งสำรวจความพึงพอใจที่มีต่อการเรียนรู้ผ่านการจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function

4.2 ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรต้น ได้แก่ การจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function

ตัวแปรตาม ได้แก่ แนวคิดทางการเรียนวิชาเคมี เรื่อง หมู่ฟังก์ชัน และความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function

4.3 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ จำนวน 3 ชิ้น ดังนี้

(1) เกมการ์ด Chem-Function วิชาเคมี เรื่อง หมู่ฟังก์ชัน ประกอบไปด้วย การ์ดธรรมดา 62 ใบ และ การ์ดพิเศษ 1 ใบ รวมเป็น 63 ใบ ลูกเต๋า 1 ลูก ซึ่งแต่ละด้านจะเป็นหมายเลขที่กำหนดหมู่ฟังก์ชันไว้ หมายเลข 1 Ether หมายเลข 2 Aldehyde หมายเลข 3 Ketone หมายเลข 4 Carboxylic Acid หมายเลข 5 Ester และหมายเลข 6 Amide เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน เพื่อตรวจสอบความเที่ยงตรงของคุณภาพเกมการ์ด Chem-Function ระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ (Index of item-Objective Congruence: IOC) ซึ่งมีค่าดัชนีความสอดคล้องเท่ากับ 1 โดยรายการการประเมินจะครอบคลุมทั้งด้านเนื้อหา ด้านคู่มือเกมการ์ด เกมการ์ด และกระบวนการเล่นเกมการ์ด เป็นต้น ผู้วิจัยกำหนดเกณฑ์การแปลความหมายระดับความพึงพอใจของการจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับ เกมการ์ด Chem-Function โดยอ้างอิงจาก บุญชม ศรีสะอาด (2543 อ้างถึงใน วินัส อยู่เยี่ยม 2560) ดังนี้

คะแนนเฉลี่ย 4.51 – 5.00	แปลผลเป็นระดับความพึงพอใจ มากที่สุด
คะแนนเฉลี่ย 3.51 – 4.50	แปลผลเป็นระดับความพึงพอใจ มาก
คะแนนเฉลี่ย 2.51 – 3.50	แปลผลเป็นระดับความพึงพอใจ ปานกลาง
คะแนนเฉลี่ย 1.51 – 2.50	แปลผลเป็นระดับความพึงพอใจ น้อย
คะแนนเฉลี่ย 1.00 – 1.50	แปลผลเป็นระดับความพึงพอใจ น้อยที่สุด

(2) แบบวัดแนวคิดทางการเรียนวิชาเคมี เรื่อง หมู่ฟังก์ชัน เป็นแบบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ โดยนำแบบวัดแนวคิดทางการเรียนเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน เป็นครูผู้สอนในรายวิชาเคมี มีประสบการณ์สอนมากกว่า 10 ปี เพื่อตรวจสอบความเที่ยงตรงของแบบวัดแนวคิดระหว่างข้อสอบกับ วัตถุประสงค์ (Index of item-Objective Congruence: IOC) ซึ่งมีค่าดัชนีความสอดคล้องเท่ากับ 0.95 พร้อมทั้ง ตรวจสอบความถูกต้องด้านภาษา การใช้คำถามให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ จากนั้นนำมาปรับปรุงแก้ไขตาม คำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ

(3) แบบประเมินความพึงพอใจต่อการจัดการจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function เป็นแบบมาตราส่วนประเมินค่า (rating scale) 5 ระดับ จำนวน 10 ข้อ เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน เพื่อตรวจสอบความเที่ยงตรงของแบบประเมินความพึงพอใจระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ (Index of item-Objective Congruence: IOC) ซึ่งมีค่าดัชนีความสอดคล้องเท่ากับ 1 โดยรายการการประเมินจะครอบคลุม การจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function ทั้งหมด เช่น ความรู้ ความเข้าใจ ที่ได้จากการทำกิจกรรม การบูรณาการความรู้กับการแก้ไขปัญหา เป็นต้น ผู้วิจัยกำหนดเกณฑ์การแปลความหมายระดับ ความพึงพอใจของการจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function โดยอ้างอิงจาก บุญชม ศรีสะอาด (2543 อ้างถึงใน วินัส อยู่แถม 2560)

4.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

เก็บข้อมูลกับกลุ่มที่ศึกษาจำนวน 38 คน ในปีการศึกษา 2565 โดยผู้วิจัยชี้แจงวัตถุประสงค์และวิธีการ ปฏิบัติในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function เรื่อง หมู่ฟังก์ชัน และ นำแบบวัดแนวคิดทางการเรียนวิชาเคมี เรื่อง หมู่ฟังก์ชัน ที่ผ่านการตรวจสอบความเที่ยงตรงของแบบวัดแนวคิด ระหว่างข้อสอบกับวัตถุประสงค์มาทำการทดสอบก่อนเรียนกับนักเรียนกลุ่มตัวอย่าง จากนั้นดำเนินการจัดการ เรียนรู้ตาม 3 แผนการจัดการเรียนรู้/ 6 ชั่วโมง แล้วให้นักเรียนเล่นเกมการ์ด Chem-Function โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่าง ออกเป็น 6 กลุ่ม ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยอำนวยความสะดวกการเรียนรู้ (Facilitator) คอยแนะนำนักเรียนและตอบ คำถามที่นักเรียนสงสัย หลังจากเสร็จกิจกรรมนักเรียนทำแบบทดสอบหลังเรียน เพื่อวัดแนวคิดทางการเรียน เรื่อง หมู่ฟังก์ชัน หลังการจัดการเรียนรู้ และทำแบบประเมินความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function และนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาประเมินผลตามขั้นตอนการวิจัยที่ได้กล่าว มาแล้ว

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยวิเคราะห์ผลแนวคิดทางการเรียนรู้ของนักเรียน จากแบบทดสอบก่อนเรียน และหลังเรียนของ นักเรียน นำเสนอในรูปแบบค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีผลต่อ การจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function นำเสนอในรูปแบบค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน และระดับความพึงพอใจ

5. ผลการวิจัย

ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างแนวคิดทางการเรียนวิชาเคมี เรื่อง หมู่ฟังก์ชันก่อนและหลังการใช้การจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 38 คน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างแนวคิดทางการเรียนวิชาเคมี เรื่อง หมู่ฟังก์ชัน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ก่อนและหลังการใช้การจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function

การทดลอง	จำนวนนักเรียน (N)	ค่าเฉลี่ย (\bar{X})	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน S.D.	การทดสอบค่าที่ (t-test)
ก่อนใช้การจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function	38	5.89	2.83	36.84**
หลังใช้การจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function	38	16.45	2.58	

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

จากแบบวัดแนวคิดทางการเรียนวิชาเคมี ก่อนและหลังการใช้การจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จำนวน 38 คน พบว่า หลังการใช้การจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 16.45 ซึ่งสูงกว่าคะแนนก่อนการจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function ที่มีคะแนนเฉลี่ยเพียง 5.89

ตารางที่ 2 แสดงผลการประเมินความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่มีต่อการเรียนวิชาเคมี โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function

ที่	รายการ		S.D.	ความหมาย
1.	รูปแบบกิจกรรมตอบสนองความต้องการของนักเรียน	4.68	0.47	มากที่สุด
2.	กิจกรรมสื่อการเรียนรู้ทำให้เข้าใจง่าย	4.79	0.41	มากที่สุด
3.	สื่อ/วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำกิจกรรมมีความเหมาะสม	4.24	0.43	มาก
4.	ระยะเวลาที่ใช้ในการจัดกิจกรรมมีความเหมาะสม	4.29	0.46	มาก
5.	เนื้อหาของกิจกรรมเหมาะสมกับระดับความรู้ความสามารถของนักเรียน	4.82	0.39	มากที่สุด
6.	กิจกรรมส่งเสริมให้นักเรียนพัฒนาความสามารถด้านการสื่อสาร การคิด และการแก้ปัญหา	4.45	0.50	มาก
7.	นักเรียนได้รับความรู้ ความเข้าใจและทักษะตามเนื้อหาและกิจกรรมการเรียนรู้	4.74	0.45	มากที่สุด
8.	วิธีการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เหมาะสมกับเนื้อหา	4.79	0.41	มากที่สุด
9.	นักเรียนมีความสุขสนุกสนานในการทำกิจกรรม	4.42	0.50	มาก
10.	นักเรียนนำความรู้ที่ได้จากการทำกิจกรรมไปใช้ในชีวิตประจำวันได้	4.79	0.41	มากที่สุด
	รวม	4.60	0.04	มากที่สุด

ข้อมูลจากระดับความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ที่มีผลต่อการจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function จำนวน 38 คน ส่วนใหญ่มีระดับความพึงพอใจมากที่สุด แสดงผลดังตารางที่ 2 โดยมีทั้งหมด 10 รายการประเมิน เมื่อพิจารณาความพึงพอใจของนักเรียนแต่ละรายการประเมิน พบว่ารายการประเมินที่ 5 เนื้อหาของกิจกรรมเหมาะกับระดับความรู้ความสามารถของนักเรียน มีระดับคะแนนความพึงพอใจสูงสุด ($\bar{x} = 4.82$) เป็นความพึงพอใจระดับมากที่สุด ส่วนรายการประเมินที่ 3 สื่อ/วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำกิจกรรมมีความเหมาะสม มีระดับคะแนนความพึงพอใจต่ำที่สุด ($\bar{x} = 4.24$) เป็นความพึงพอใจระดับมาก แสดงให้เห็นว่านักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 มีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function โดยรวมมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.60$)

6. อภิปรายผล

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาแนวคิดทางการเรียนวิชาเคมี เรื่อง หมู่ฟังก์ชัน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

(1) ผลของการพัฒนาแนวคิดทางการเรียน เรื่อง หมู่ฟังก์ชัน ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function พบว่าคะแนนหลังการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function สูงกว่าก่อนเรียน เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคะแนนแบบวัดแนวคิดทางการเรียนก่อนการจัดการเรียนรู้ ($\bar{x} = 5.89$, S.D. = 2.83) และหลังการเรียนรู้ ($\bar{x} = 16.45$, S.D. = 2.58) ลักษณะเช่นนี้อธิบายได้ว่านักเรียนสามารถพัฒนาความรู้ ความเข้าใจและแนวคิดทางการเรียนในเรื่อง หมู่ฟังก์ชัน รวมไปถึงทักษะการแก้ปัญหาต่างๆ ผ่านการจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function ได้ในระดับดี ซึ่งผลการวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกับผลการวิจัยของสุริย์พร ชาญฤทธิ (2563) ได้กล่าวไว้ว่า ผู้สอนมีหน้าที่แนะนำ กระตุ้นให้เกิดการคิด และกิจกรรมที่ส่งผลต่อการพัฒนา การบวนการคิด การจัดกิจกรรมการสอนแบบ 4MAT เป็นรูปแบบการสอนที่ตระหนักถึงความแตกต่างและความถนัดในการเรียนรู้ของผู้เรียนทำให้ผู้เรียนเกิดความท้าทาย เนื่องจากเป็นกระบวนการคิดที่สอดคล้องกับการทำงานของสมอง เป็นการเรียนรู้โดยธรรมชาติส่งผลให้นักเรียนได้พัฒนาความสามารถเต็มตามศักยภาพ นอกจากนี้ภาศรี สงสัย (2563) กล่าวอีกว่าผลการใช้บอร์ดเกมประกอบการเรียนการสอนรายวิชาวิทยาศาสตร์ เพื่อส่งเสริมความสามารถในการคิดวิเคราะห์ พบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยบอร์ดเกมหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้และ ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อบอร์ดเกม พบว่าในภาพรวมนักเรียนมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก

(2) ผลการประเมินความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ในการจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function พบว่า โดยรวมมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.82$) ผลปรากฏเช่นนี้ เนื่องจากการจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function มีความตื่นตัว สนุกสนาน น่าสนใจ และทำให้เข้าใจเนื้อหาได้มากยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของสุชาติ แสนพิช (2559) ประสิทธิภาพของรูปแบบการเรียนรู้แบบร่วมมือโดยใช้เกมออนไลน์เพื่อพัฒนากระบวนการทางวิทยาศาสตร์ มีค่าเท่ากับ 80.90/81.67 และนักเรียนกลุ่มทดลองมีความพึงพอใจในระดับมาก ($\bar{x} = 3.87$) นอกจากนี้สุชัยญา เยื้องกลาง และคณะ (2562) ยังกล่าวอีกว่า การพัฒนาระบบการเรียนการสอนแบบผสมผสานโดยใช้เกมมิฟิเคชันเป็นฐาน การศึกษาพบว่าการจัดการเรียนการสอนแบบผสมผสานโดยใช้เกมเป็นฐาน ผู้เรียนมีทักษะและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนสูงกว่าหลังเรียน การเรียนโดยใช้เกมทำให้ผู้เรียนได้เรียนรู้ด้วยตนเอง

เรียนร่วมกันเป็นกลุ่ม มีการช่วยเหลือซึ่งกันและกันได้แลกเปลี่ยนความคิดและคำเนื่งถึงความแตกต่างของผู้เรียน กล้าแสดงออกและยอมรับ ในความคิดเห็นของผู้อื่นมีความมั่นใจในการเรียนรู้ด้วยตนเอง ส่งผลให้ผู้เรียนเกิดความพึงพอใจต่อระบบการจัดการเรียนการสอนมากยิ่งขึ้น

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

ผลการพัฒนาครั้งนี้จะเห็นว่าจัดการเรียนรู้แบบ 4MAT System ร่วมกับเกมการ์ด Chem-Function สามารถพัฒนาแนวคิดทางการเรียนรู้ได้ ครูสามารถนำไปปรับใช้กับการจัดการเรียนรู้ได้ตามความเหมาะสมของเนื้อหา และบริบทของนักเรียนแต่ละพื้นที่

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ในการทำวิจัยครั้งถัดไป ควรวางแผนและจัดเวลาให้เหมาะสมสำหรับกิจกรรมเกมการ์ด Chem-Function เพื่อให้กิจกรรมดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่องและเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์อย่างสูงจากอาจารย์สุภาพร ดาวัลย์ อาจารย์ภรททิพย์ สุขเพิ่มอาจารย์อานิษฐ์หะห์ คือรานิง และอาจารย์ฉัตรกร ชีประวัติชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิจัย คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต ที่กรุณาให้แนวคิดและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ยิ่งในการดำเนินการวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี อีกทั้งคอยให้กำลังใจและช่วยแก้ไขข้อบกพร่องจนวิจัยฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากขึ้น ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณะคุณครูผู้สอนรายวิชาเคมี ทั้ง 3 ท่านที่ได้กรุณาสละเวลาเป็นผู้เชี่ยวชาญในการตรวจเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและให้ข้อเสนอแนะต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ในการพัฒนาเครื่องมือให้มีความสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณผู้อำนวยการและคณะครู โรงเรียนเอกชนขนาดกลางทางภาคใต้ตอนบนที่คอยให้ความช่วยเหลือแก่ผู้วิจัยตลอดระยะเวลาที่ดำเนินการวิจัย และขอขอบใจนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ทุกคนที่ให้ความร่วมมือในการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี สุดท้ายขอขอบพระคุณบิดา มารดา พร้อมทั้งครอบครัวของผู้วิจัย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยโดยตลอดการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดีตามวัตถุประสงค์ทุกประการ

9. เอกสารอ้างอิง

- จิราภรณ์ บุตรราช. (2563). การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้รายวิชาเคมีเข้มข้น เรื่องพอลิเมอร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 ห้องเรียนพิเศษ (TEP) โรงเรียนบางปะกอกวิทยาคม โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน (flipped classroom) [รายงานการวิจัย]. <https://bit.ly/3QFoFc9>
- ฉัตรชญา ดิงสะ, อารีรัตน์ ใจกล้า, สุภาพ ตาเมือง, และศักดิ์ศรี สุภาจร. (2561). ผลสัมฤทธิ์และความสามารถในการแก้ปัญห เรื่อง สมบัติและปฏิกิริยาของสารอินทรีย์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 จากการเรียนรู้แบบสืบเสาะผสมผสานกับการใช้ปัญหาเป็นฐาน. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 1(1), 98-108.
- ธนัญภัทร์ ศรีเนชิวสิน. (2564). การจัดการเรียนการสอนโดยใช้เกมเป็นฐานที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา. วารสาร มจร บาลีศึกษาพุทธโฆสปริทรรศน์, 7(3), 42-55.

- นภาศรี สงสัย และทิพรัตน์ สิทธิวงศ์. (2563). การศึกษาผลการใช้บอร์ดเกมประกอบการเรียนการสอนรายวิชา วิทยาศาสตร์ เรื่อง ระบบนิเวศเพื่อส่งเสริมความสามารถในการคิดวิเคราะห์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนศรีสำโรงชนูปถัมภ์. วารสารอิเล็กทรอนิกส์ สื่อนวัตกรรมและการศึกษาเชิงสร้างสรรค์, 3(2), 1-11.
- นรรัชต์ ผืนเขียร. (2563). รูปแบบการเรียนรู้ตามวัฏจักรการเรียนรู้แบบ 4MAT [ออนไลน์]. true ปลูกปัญญา. <https://bit.ly/3kaVyRI>.
- นุรมา อาลี. (2559). ผลการจัดการเรียนรู้แบบ 4 MAT ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ความคงทน ในการเรียนรู้ และความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 [วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์]. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- วรรตต์ อินทสระ. (2563). Game Based Learning The Latest Trend Education 2019 เปลี่ยนห้องเรียนเป็นห้องเล่น [ออนไลน์]. FLIPHTML5. <https://fliphtml5.com/yrrqp/heos>
- วินัส อยู่เข้ม. (2560). การพัฒนาชุดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยวิธีการสอนสตอรี่ไลน์ เรื่องสารและการเปลี่ยนแปลง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 (วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
- สุชาติ แสนพิช. (2559). การพัฒนารูปแบบการเรียนรู้แบบร่วมมือโดยใช้เกมออนไลน์เพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์. วารสารมหาวิทยาลัยบูรพา, 8(2), 1413-1426.
- สุชัยญา ยิ่งกลาง, ธนคล ภูสีฤทธิ์ และสุทธิพงศ์ หกสุวรรณ. (2562). การพัฒนาระบบการเรียนการสอนแบบผสมผสาน โดยใช้เกมมิฟิเคชันเป็นฐานเพื่อส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหา และทักษะการเชื่อมโยง คณิตศาสตร์สู่ชีวิตจริง ระดับประถมศึกษา [วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- สุริย์พร รัชญะกิจ. (2563). การเรียนรู้แบบ 4 MAT ร่วมกับเทคนิคการเรียนรู้แบบร่วมมือร่วมพลัง เชิงรุก เพื่อการพัฒนาผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 [ผลงานวิชาการ]. ครูพันธุ์ใหม่คอตคอม. <https://www.krupunmai.com/6391/>
- Peter T. Bell, Bernat A. Martinez-Ortega and Ashlee Birkenfeld. (2020). Organic Chemistry I Cassino: A Card Game for Learning Functional Group Transformations for First-Semester Students. Journal of Chemical Education, 97(6), 1625-1628.
- Senol Sen. (2021). ChemistDice: A Game for Organic Functional Groups. Journal of Chemical Education, 98(2), 535-539.

**การพัฒนาทักษะกระบวนการแก้ปัญหาเรื่องการไทเทรตกรด-เบส ของนักเรียนชั้น
มัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้(5E) ร่วมกับเทคนิค
การแก้ปัญหของโพลยา**

**The Development of problem solving process skills in acid-base titration of
grade-11 students by using an inquiry-based learning management (5E) together
with Polya's problem-solving techniques**

สโรชา เชาวนะ

วิชาเอกเคมี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต 83000

E-mail: fahchaowana2543@gmail.com

ภรทิพย์ สุขเพิ่ม

วิชาเอกเคมีคณะครุศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต 83000

E-mail: porntip.s@pkru.ac.th

ดาริน บุญศรี

วิชาเอกเคมี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต 83000

E-mail: piyanut_chem@pkru.ac.th

สุภาพร ดาวัลย์

วิชาเอกเคมี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต 83000

E-mail: supaporn.d@pkru.ac.th

ณัฐกร ชีประวัติชัย

วิชาเอกเคมี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต 83000

E-mail: nattakon.c@pkru.ac.th

อานีชะห์ ดือรานิง

วิชาเอกเคมี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต จังหวัดภูเก็ต 83000

E-mail: anisah.d@pkru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการแก้ปัญหาเรื่องการไทเทรตกรด-เบส และประเมินความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการเรียนรู้เรื่องการไทเทรตกรด-เบส โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับเทคนิคการแก้ปัญหของโพลยา กลุ่มตัวอย่างได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 จำนวน 39 คน โดยใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้การวิจัยประกอบด้วย แผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบ

เสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับเทคนิคการแก้ปัญหาของโพลยา แบบฝึกหัดและใบกิจกรรมเรื่องการไทเทรตกรด-เบส แบบวัดทักษะกระบวนการแก้ปัญหาเรื่องการไทเทรตกรด - เบส และแบบประเมินความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับเทคนิคการแก้ปัญหาของโพลยา โดยในงานวิจัยนี้แบ่งระดับทักษะกระบวนการแก้ปัญหาออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับดี ระดับพอใช้ และระดับปรับปรุง ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 มีทักษะกระบวนการแก้ปัญหาเรื่องการไทเทรตส่วนใหญ่อยู่ในระดับดี คิดเป็นร้อยละ 71.8 อยู่ในระดับพอใช้คิดเป็นร้อยละ 28.2 และมีความพึงพอใจการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้อยู่แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับเทคนิคกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาเรื่องการไทเทรตกรด - เบส ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก แสดงว่าการจัดการเรียนรู้อยู่แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับเทคนิคกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาสามารถพัฒนาทักษะกระบวนการแก้ปัญหาเรื่องการไทเทรตกรด-เบส ของนักเรียนได้

คำสำคัญ: การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (5E), กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา

ABSTRACT

The purposes of this research were to develop problem-solving skills on acid-base titration and assess the satisfaction of grade-11 students on learning about acid-base titration by using Inquiry learning (5E) class and Polya's problem-solving techniques. The samples were 39 students from grade-11 by purposive sampling. The research instruments consisted of inquiry-based learning (5E) combined with Polya's problem-solving techniques, exercises and activity sheets on acid-base titration, problem-solving process skill test form for acid-base, and a student satisfaction questionnaire for inquiry-based learning (5E) and Polya's problem-solving techniques. This research has found that students' problem-solving skills on acid-base titration of students were mainly at a good level, with 71.8% and 28.2% at the fair level. The students were satisfied with the learning management by using inquiry-based learning (5E) and Polya's problem-solving techniques as a whole at a high level. It showed that inquiry-based learning (5E) and Polya's problem-solving techniques could improve the acid-base titration problem-solving skills of grade-11 students.

Keywords: Inquiry-based learning (5E), Polya's problem-solving techniques, Acid-base titration

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ในยุคศตวรรษที่ 21 ประเทศไทยมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในทุก ๆ ด้าน อาทิเช่น ด้านเศรษฐกิจ ด้านสังคม ด้านการศึกษา ด้านเทคโนโลยี การดำเนินชีวิต และวิทยาการต่าง ๆ ประเทศไทยจึงจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนทิศทางการพัฒนาในด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะด้านการศึกษาเนื่องจากเป็นสิ่งจำเป็นในการพัฒนาเยาวชนที่จะเป็นกำลังสำคัญในการพัฒนาประเทศในอนาคต เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 กำหนดไว้ในข้อ 1 ว่า “คนไทยและการศึกษาไทยมีคุณภาพและได้มาตรฐานระดับสากล” ซึ่งเป็นนโยบายของกระทรวงศึกษาธิการที่จะพัฒนาเยาวชนของชาติเข้าสู่โลกยุคศตวรรษที่ 21 โดยมุ่งส่งเสริมผู้เรียนให้มีคุณธรรม รักความเป็นไทย มีทักษะการคิดวิเคราะห์ มีทักษะด้านเทคโนโลยี สามารถทำงานร่วมกับผู้อื่นในสังคมโลกได้อย่างสันติ การเรียนรู้ในยุคศตวรรษที่ 21 เป็นการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ โดยจะเน้นที่กระบวนการเรียนรู้

มากกว่ากระบวนการสอน กล่าวได้ว่าทักษะในศตวรรษที่ 21 ประกอบไปด้วยการคิดอย่างมีวิจารณญาณ การแก้ปัญหา การเรียนรู้แบบร่วมมือ การคิดสร้างสรรค์ การเป็นผู้นำ การนำไปประยุกต์ใช้ การติดต่อสื่อสาร (ชฎาภรณ์ สงวนแก้ว, 2551) การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (SE) เป็นรูปแบบของการเรียนรู้ที่มีกระบวนการเรียนรู้ 5 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นสร้างความสนใจ (Engagement) ขั้นสำรวจและค้นหา (Exploration) ขั้นอธิบายและลงข้อสรุป (Explanation) ขั้นขยายความรู้ (Elaboration) และขั้นประเมินผล (Evaluation) ซึ่งเน้นให้นักเรียนมีประสบการณ์ตรงในการเรียนรู้ โดยการศึกษาค้นคว้าข้อมูล เพื่อสร้างองค์ความรู้โดยตนเองผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ซึ่งมีครูผู้สอนคอยให้การสนับสนุนทำให้ผู้เรียนได้ค้นพบความรู้หรือแนวทางแก้ปัญหาได้โดยตนเอง และสามารถนำมาใช้ในชีวิตประจำวัน ซึ่งถือว่าเป็นกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้นำความรู้ หลักการ แนวคิด หรือทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ไปเชื่อมโยงกับประเด็นปัญหาที่ผู้เรียนสนใจศึกษา ค้นคว้า และลงมือปฏิบัติด้วยตนเองตามความสามารถและความถนัดของตนเองอย่างเป็นอิสระ จึงจัดได้ว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (SE) นับได้ว่าเป็นรูปแบบหนึ่งของการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ (นรรีซด์ ฟีนเชียร์, 2553) ในการเรียนวิชาเคมี เรื่องการไทเทรตกรด - เบส ซึ่งเนื้อหาในการเรียนรู้จะมีการคำนวณหาความเข้มข้นของสารและการแก้โจทย์ปัญหาเมื่อทำการไทเทรตแล้วเสร็จ ดังนั้นทักษะกระบวนการแก้ปัญหาจึงมีความจำเป็นต่อนักเรียนในการเรียนรู้อการแก้ปัญหาและการตัดสินใจ ซึ่งเป็นทักษะที่สำคัญและจำเป็นต้องใช้ในแทบทุกสถานการณ์ในทุกยุคทุกสมัย แม้ว่าผู้เรียนจะมีความสามารถในการเรียน การทำงานมากเพียงใด แต่ไม่รู้จัดการแก้ปัญหาและการตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพก็อาจส่งผลต่อผู้เรียนในอนาคตได้ เนื่องจากการแก้ปัญหาเป็นกิจกรรมพื้นฐานในการดำรงชีวิตของมนุษย์ ปัญหาบางปัญหาเราสามารถหาทางแก้ไขได้ทันที แต่บางปัญหาอาจต้องใช้เวลานานในการค้นหาคำตอบ ซึ่งคำตอบที่ได้ต้องพิสูจน์ได้ว่าเป็นคำตอบที่ถูกต้อง น่าเชื่อถือ และสามารถนำไปอ้างอิงต่อการแก้ปัญหาของแต่ละบุคคลมีขั้นตอนและใช้เวลาที่แตกต่างกัน เนื่องจากความรู้และประสบการณ์จะส่งผลต่อความสามารถในการแก้ปัญหา (ชนะชัย ทะยอม และคณะ, 2560) ทักษะกระบวนการแก้โจทย์ปัญหามีรูปแบบและมีวิธีการที่หลากหลาย ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้ทักษะกระบวนการแก้ปัญหของ โพลยา (Polya's problem-solving techniques) เนื่องจากทักษะกระบวนการแก้ปัญหของโพลยามีการแก้ปัญหอย่างเป็นระบบและต่อเนื่องกันทุกขั้นตอน ประกอบด้วยขั้นตอนการแก้ปัญหา 4 ขั้นตอนได้แก่ ขั้นที่ 1 ขั้นทำความเข้าใจปัญหา เป็นขั้นตอนที่นักเรียนต้องพิจารณาและทำความเข้าใจปัญหา เพื่อที่จะบอกได้ว่าโจทย์เป็นเรื่องราวเกี่ยวกับอะไร โจทย์กำหนดอะไรมาให้ และโจทย์ต้องการทราบอะไร ขั้นที่ 2 ขั้นวางแผนแก้ปัญหา เป็นขั้นตอนที่นักเรียนกำหนดแนวทางวิธีการในการแก้ปัญหา พิจารณาและเลือกที่เหมาะสมที่สุดในการแก้โจทย์ปัญหาขั้นที่ 3 ดำเนินการแก้ปัญหา เป็นขั้นตอนที่นักเรียนดำเนินการแก้โจทย์ปัญหาตามแผนที่วางไว้ และขั้นที่ 4 ตรวจสอบผล เป็นขั้นตอนที่นักเรียนตรวจสอบความถูกต้องและเหมาะสมของคำตอบที่ได้รวมถึงพิจารณาคำตอบที่ได้ว่าถูกต้องหรือไม่ มีคำตอบอื่นนอกเหนือจากนี้หรือไม่ (ปฏิญญาพร เกื้อนประดิษฐ์, 2564)

จากปัญหาการขาดทักษะกระบวนการแก้ปัญหของนักเรียนเบื้องต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะพัฒนาทักษะกระบวนการแก้ปัญหारेื่องการไทเทรตกรด-เบสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (SE) ร่วมกับเทคนิคการแก้ปัญหของโพลยา และประเมินความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการเรียนรู้เรื่องการไทเทรตกรด-เบสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ (SE) ร่วมกับเทคนิคการแก้ปัญหของโพลยา

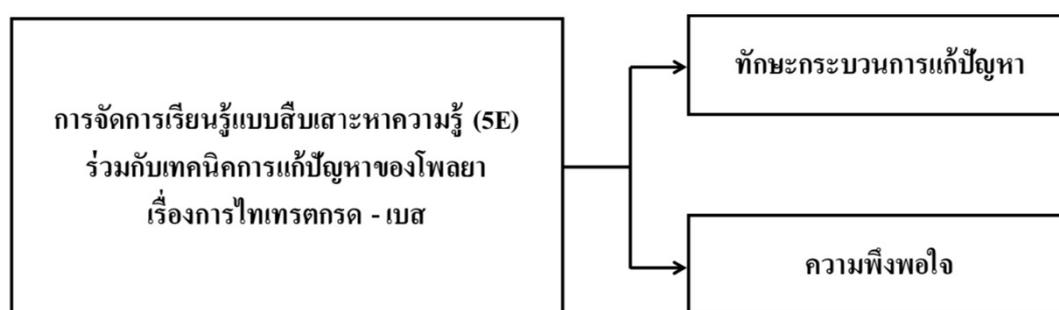
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) เพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการแก้ปัญหาเรื่องการไทเทรตกรด-เบส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (SE) ร่วมกับเทคนิคการแก้ปัญหของโพลยา

(2) เพื่อประเมินความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่มีต่อการเรียนรู้เรื่องการไทเทรตกรด-เบส โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (SE) ร่วมกับเทคนิคการแก้ปัญหของโพลยา

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 กรอบแนวคิดในการวิจัย



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

3.3 สมมติฐานการวิจัย

1. หลังการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (SE) ร่วมกับเทคนิคการแก้ปัญหของโพลยา นักเรียน มีทักษะกระบวนการแก้ปัญหาเรื่องการไทเทรตกรด-เบสที่ดีขึ้น

2. หลังการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (SE) ร่วมกับเทคนิคการแก้ปัญหของโพลยา นักเรียน มีความพึงพอใจต่อการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (SE) ในระดับมาก

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 ประชากรและตัวอย่าง

1. ประชากร ได้แก่ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดสุราษฎร์ธานี สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา สุราษฎร์ธานี ชุมพร ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565 จำนวน 288 คน

2. กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/2 โรงเรียนแห่งหนึ่งในจังหวัดสุราษฎร์ธานี สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา สุราษฎร์ธานี ชุมพร ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565 จำนวน 39 คน ได้มาจากการเลือกแบบเจาะจง คือเลือกนักเรียนที่เรียนแผนการเรียนวิทย์-คณิต

4.2 เครื่องมือวิจัย

เครื่องมือสำหรับใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย

1. แผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (SE) ร่วมกับเทคนิคการแก้ปัญหของโพลยา

2. แบบฝึกหัดและใบกิจกรรมเรื่องการไทเทรตกรด - เบส

3. แบบวัดทักษะกระบวนการแก้ปัญหาเรื่องการไทเทรตกรด-เบส จำนวน 7 ข้อ โดยมีการระบุ โจทย์ปัญหา มาให้เรียนและให้นักเรียนลงมือปฏิบัติโดยใช้ทักษะกระบวนการแก้ปัญหา

4. แบบประเมินความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (SE) ร่วมกับเทคนิค กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา สร้างขึ้นโดยใช้วิธีของลิเคิร์ต (Likert) ชนิดกำหนดค่าตอบเป็นข้อความมี 5 ระดับ กำหนดค่าความพึงพอใจในระดับมากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด เพื่อใช้ในการประเมินความ พึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/2 หลังได้รับการฝึกทักษะโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหา ความรู้ (SE) ร่วมกับเทคนิคกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา จำนวน 10 ข้อ

4.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

1. ดำเนินการวัดทักษะกระบวนการแก้ปัญหานักเรียนก่อนเรียน โดยใช้แบบวัดทักษะกระบวนการ แก้ปัญหาเรื่องการไทเทรตกรด-เบส จำนวน 7 ข้อ

2. ดำเนินการสอนตามแผนการจัดการเรียนรู้ โดยใช้แผนจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (SE) ร่วมกับเทคนิคการแก้ปัญหานักเรียน เรื่องการไทเทรตกรด-เบส จำนวน 3 แผน แผนละ 2 ชั่วโมง

3. ดำเนินการวัดทักษะกระบวนการแก้ปัญหานักเรียนหลังเรียน โดยใช้แบบวัดทักษะกระบวนการ แก้ปัญหาเรื่องการไทเทรตกรด-เบส จำนวน 7 ข้อ

4. ดำเนินการวัดความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (SE) ร่วมกับเทคนิคการ แก้ปัญหานักเรียนของโพลยาของนักเรียน จำนวน 10 ข้อ

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์และเปรียบเทียบทักษะกระบวนการแก้ปัญหาก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบสืบ เสาะหาความรู้ (SE) ร่วมกับเทคนิคการแก้ปัญหานักเรียนของโพลยา เรื่องการไทเทรตกรด-เบส ของนักเรียนชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 5/2 โดยใช้ประเมินแบบวัดทักษะกระบวนการแก้ปัญหาและให้คะแนนตามเกณฑ์ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 เกณฑ์การประเมินทักษะกระบวนการแก้ปัญหาเรื่องการไทเทรตกรด-เบส

	ระดับคะแนน		
	3	2	1
ประเด็น ประเมิน	<p>1. ระบุได้ว่าโจทย์กำหนดอะไร มาให้บ้าง และ โจทย์ต้องการ ทราบอะไรได้อย่างสมบูรณ์</p> <p>2. มีการวางแผนแก้ปัญหาและ มีการเลือกใช้วิธีการคำนวณที่ ถูกต้องและเหมาะสม</p> <p>3. มีการดำเนินการตามแผนที่ วางไว้อย่างชัดเจน</p> <p>4. มีการตรวจสอบผลลัพธ์อย่าง ละเอียครอบคอบ</p>	<p>1. ระบุได้ว่าโจทย์กำหนด อะไรมาให้บ้าง และ โจทย์ ต้องการ ทราบอะไรได้ ก่อนข้างสมบูรณ์</p> <p>2. มีการวางแผนแก้ปัญหา และมีการเลือกใช้วิธีการ คำนวณที่ถูกต้อง</p> <p>3. มีการดำเนินการตามแผนที่ วางไว้อย่างชัดเจน</p> <p>4. มีการตรวจสอบผลลัพธ์ ก่อนข้างละเอียด</p>	<p>1. ระบุได้ว่าโจทย์กำหนดอะไร มาให้บ้าง และ โจทย์ต้องการ ทราบอะไรได้ไม่สมบูรณ์</p> <p>2. มีการวางแผนแก้ปัญหาและมี การเลือกใช้วิธีการคำนวณที่ ก่อนข้างไม่ถูกต้อง</p> <p>3. มีการดำเนินการตามแผนที่ วางไว้</p> <p>4. มีการตรวจสอบผลลัพธ์</p>

เกณฑ์การประเมิน

3 หมายถึง ดี

2 หมายถึง พอใช้

1 หมายถึง ปรับปรุง

คะแนนเต็มทั้งหมด 21 คะแนนแบ่งเป็น 3 ระดับ

คะแนน	แปลผล
15-21	หมายถึง นักเรียนมีทักษะกระบวนการแก้ปัญหาในระดับดี
8-14	หมายถึง นักเรียนมีทักษะกระบวนการแก้ปัญหาในระดับพอใช้
0-7	หมายถึง นักเรียนมีทักษะกระบวนการแก้ปัญหาในระดับปรับปรุง

2. วิเคราะห์ข้อมูลโดยการหาค่าความถี่ และแสดงผลในรูปแบบของร้อยละ เพื่อแสดงจำนวนของนักเรียนที่มีทักษะกระบวนการแก้ปัญหาทั้ง 3 ระดับ

5. ผลการวิจัย

1. ทักษะกระบวนการแก้ปัญหาเรื่องการไทเทรตกรด-เบส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/2

ตารางที่ 2 การพัฒนาทักษะกระบวนการแก้ปัญหาเรื่องการไทเทรตกรด - เบสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/2 โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (SE) ร่วมกับเทคนิคกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา

การทดลอง	ระดับทักษะกระบวนการแก้ปัญหา	N	ร้อยละ
การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (SE) ร่วมกับเทคนิคกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา	ระดับดี	28	71.8
	ระดับพอใช้	11	28.2
	ระดับปรับปรุง	-	-

จากตารางที่ 2 พบว่า ทักษะกระบวนการแก้ปัญหาเรื่องการไทเทรต ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/2 ระดับดี จำนวน 28 คน คิดเป็นร้อยละ 71.8 และอยู่ในระดับพอใช้ จำนวน 11 คน คิดเป็นร้อยละ 28.2 แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (SE) ร่วมกับเทคนิคกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาสามารถพัฒนาทักษะกระบวนการแก้ปัญหาเรื่องการไทเทรตกรด-เบส ของนักเรียนได้

2. ความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (SE) ร่วมกับเทคนิคกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา เรื่องการไทเทรตกรด-เบส

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับเทคนิคกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา

รายการ	\bar{X}	S.D.	ความหมาย
1. รูปแบบกิจกรรมตอบสนองความต้องการของนักเรียน	4.15	0.49	มาก
2. สื่อ/วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำ กิจกรรมมีความเหมาะสม	4.18	0.79	มาก
3. กิจกรรมสื่อการเรียนรู้ทำให้เข้าใจง่าย	4.05	0.92	มาก
4. เนื้อหาของกิจกรรม เหมาะกับระดับความรู้ความสามารถของนักเรียน	4.08	0.81	มาก
5. ระยะเวลาที่ใช้ในการจัดกิจกรรมมีความเหมาะสม	3.54	0.79	ปานกลาง
6. นักเรียนได้รับความรู้ ความเข้าใจและทักษะตามเนื้อหาและกิจกรรมการเรียนรู้	3.79	0.95	มาก
7. กิจกรรมส่งเสริมให้นักเรียนพัฒนาความสามารถด้านการสื่อสาร การคิด และการแก้ปัญหา	3.72	0.72	มาก
8. วิธีการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เหมาะสมกับเนื้อหา	3.77	0.90	มาก
9. นักเรียนมีความสุขสนุกสนานในการทำกิจกรรม	3.90	0.75	มาก
10. นักเรียนนำความรู้ที่ได้จากการทำกิจกรรมไปใช้ในชีวิตประจำวันได้	4.00	0.83	มาก
รวม	3.92	0.17	มาก

จากตารางที่ 3 พบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับเทคนิคกระบวนการแก้ปัญหา เรื่องการไทเทรตกรด - เบส ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก แสดงให้เห็นว่านักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/2 มีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับเทคนิคกระบวนการแก้ปัญหา เรื่องการไทเทรตกรด-เบส ในระดับมาก

6. อภิปรายผล

ทักษะกระบวนการแก้ปัญหาเรื่องการไทเทรต ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/2 ส่วนใหญ่อยู่ในระดับดี คิดเป็นร้อยละ 71.8 และอยู่ในระดับพอใช้คิดเป็นร้อยละ 28.2 แสดงว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับเทคนิคกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาสามารถพัฒนาทักษะกระบวนการแก้ปัญหาเรื่องการไทเทรตกรด-เบส ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/2 ได้ และนักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับเทคนิคกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาเรื่อง การไทเทรตกรด-เบส ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก แสดงให้เห็นว่านักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5/2 มีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E) ร่วมกับเทคนิคกระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาเรื่อง การไทเทรตกรด-เบส ในระดับมากซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ (คณิศร พานิช และ ปรียา บุญญศิริ, 2564) ได้ศึกษาสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ โดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักเรียน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนบางสะพาน ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 จำนวน 1 ห้อง จำนวน 21 คน ซึ่งได้มาจากการสุ่มแบบกลุ่ม จากการศึกษาพบว่า ความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์ หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน โดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วน โดยภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก ซึ่งมีคะแนนเฉลี่ย 4.37 (วรางคณา ส้าอง และคณะ, 2560) นอกจากนี้ได้ศึกษาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โดยการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดของโพลยาผลการศึกษาค้นพบว่า นักเรียนมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์หลังการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดของโพลยา โดยภาพรวมอยู่ในระดับค่อนข้างดี นักเรียนมีความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์หลังการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดของโพลยาสูงกว่าก่อนการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดของโพลยาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 และนักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้โดยภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) การแก้โจทย์ปัญหาในรายวิชาเคมี ครูควรเน้นขั้นตอนการแก้ปัญหาและขั้นตอนตรวจสอบ เนื่องจากเป็นขั้นที่นักเรียนเกิดผิดพลาดในการคำนวณบ่อยครั้ง และขาดการตรวจคำตอบ จึงเป็นหน้าที่ของครูที่ต้องฝึกทักษะด้านการคำนวณไปพร้อมกับการแก้ปัญหา และตรวจคำตอบให้กับนักเรียนบ่อย ๆ เพื่อให้เกิดเป็นความเคยชิน

(2) ครูควรฝึกให้นักเรียนวิเคราะห์วิธีที่ใช้ในการแก้โจทย์ปัญหาด้วย โจทย์ที่หลากหลาย หลากมากขึ้น เพราะโจทย์ปัญหาวิชาเคมีเป็น โจทย์ที่ยากและซับซ้อน บาง โจทย์ปัญหาต้องอาศัยวิธีการแก้โจทย์ปัญหามากกว่าหนึ่งวิธีขึ้นไป

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

(1) ควรมีการหาประสิทธิภาพของแผนการจัดการเรียนรู้ เพื่อศึกษาค่าประสิทธิภาพของแผนการจัดการเรียนรู้

(2) ควรศึกษาผลของกระบวนการของโพลยาต่อทักษะกระบวนการแก้โจทย์ปัญหา สำหรับ เนื้อหาอื่น ๆ หรือวิชาอื่น ๆ ที่มีลักษณะเป็น โจทย์ปัญหา

8. เอกสารอ้างอิง

กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). *ข้อเสนอปฏิรูปการศึกษาในทศวรรษที่สอง พ.ศ. 2552-2561* (พิมพ์ครั้งที่ 2).

กรุงเทพฯ:พริก หวานกราฟฟิค.

กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). *ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง 2560)* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม 2565, จาก : http://academic.obec.go.th/images/document/1580786506_d_1.pdf.

คณิศร พานิช และ ปรีชา บุญญศิริ. (2563). *การพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาคณิตศาสตร์ โดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยา เรื่อง ร้อยละและอัตราส่วนสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาคณิตศาสตร์ศึกษา, มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

- จิราภรณ์ คงหนองลาน และเฉลิมพร ทองพูน. (2557). ผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ของการใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้แบบวงจรการเรียนรู้ 7 ขั้น (7E) รายวิชาเคมีเรื่อง สารละลาย สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษา ปีที่ 5. *วารสารศึกษาศาสตร์และสังคมศาสตร์*, 20(3), 124-137
- ชฎาภรณ์ สงวนแก้ว. (2551). การจัดการเรียนรู้สองสถานะ Dual Mode Learning. Management [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2565, จาก: <https://www.patai.ac.th/files/Dual-Mode-School-20081023.pdf>.
- ชนะชัย ทะขอม และคณะ. (2560). การวิจัยปฏิบัติการเพื่อพัฒนา สมรรถนะ แก้ปัญหาแบบร่วมมือโดยใช้รูปแบบการเรียนรู้แบบเสริมต่อการเรียนรู้บนฐานของการใช้ปัญหาเป็นฐานเรื่อง ปริมาณสารสัมพันธ์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ห้องเรียนพิเศษวิทยาศาสตร์. *วารสารวิทยบริการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์*, 28(2), 34-45.
- นรรชต์ ผืนเชียร์. (2563) *การเรียนแบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นตอน* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม 2565, จาก: <https://www.trueplookpanya.com/dhamma/content/82385>.
- นิตา พูลพันธ์ และคณะ. (2561). ผลการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับเทคนิคการสอนอุปมาอุปไมย เรื่อง การสลายสารอาหารระดับเซลล์ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. *วารสารวิชาการและวิจัย สังคมศาสตร์*, 13(37), 133-147.
- บุญชม ศรีสะอาด. (2556). วิธีการทางสถิติสำหรับการวิจัย เล่ม 1 (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น
- ปริญญารุณ เกื้อประดิษฐ์. (2564). *ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับทฤษฎีของโพลยา* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม 2565, จาก: <https://anyflip.com/czcmi/hmmg/basic>.
- พัฒนา พรหมณี. (2563). แนวคิดเกี่ยวกับความพึงพอใจและการสร้าง แบบสอบถามความพึงพอใจในงาน. *วารสารวิชาการสมาคมอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย (สสอท)*, 26(1), 59-66
- พีระภรณ์ ทะขิดะสิงห์. (2560). การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ 5 ขั้นร่วมกับเทคนิคเพื่อนคู่คิดที่ส่งเสริมทักษะการแก้ปัญหาโจทย์ เรื่อง สมดุลเคมี สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- วิรัชยา มณีรัตน์ และปิยรัตน์ ตรีบัณฑิต. (2560). การพัฒนาทักษะกระบวนการแก้โจทย์ปัญหาเคมี เรื่อง กรดเบส โดยใช้กระบวนการแก้ปัญหาของโพลยาสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. *วารสารหน่วยวิจัย วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้ (JSTEL)*, 8(2). 297-306.
- วรางคณา สำอางค์และคณะ (2560). การพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โดยการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดของโพลยา. *วารสารมนุษยศาสตร์ และสังคมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม*, 11, 52-61.
- สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติสำนักนายกรัฐมนตรี. (2560). *แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 พ.ศ. 2560-2564* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 20 พฤศจิกายน 2565, จาก: https://www.nesdc.go.th/ewt_dl_link.php?nid=6422.
- อรุณี จันทร์หอม. (2561). *การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เรื่อง สารพันธุกรรม โดยการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- อัญชลี แสงทอง, และคณะ. (2562). การพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาโดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบทักษะปฏิบัติร่วมกับกระบวนการแก้ปัญหาและเทคนิคจิกซอว์ในรายวิชาโภชนาการของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. *วารสารสังคมศาสตร์วิจัย*, 10(2), 113-129.

การทดสอบการใช้งานแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด กับ แบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟต ในเครื่องตัดหญ้าไฟฟ้า สำหรับใช้ในครัวเรือน

Testing the use of lead-acid and iron phosphate batteries

In the electric lawn mower for the day

กฤษณ์ พรหมวัง¹ เอกภพ ศรีรัมย์² ทวีศักดิ์ เมืองมูล³ นิรินทร์ มั่งมี⁴

วิชัย มั่นจันดา⁵ นฤวัฒน์ บัญสว่าง⁶

Krit promwang¹ Aekapop Srirom² Taweesak muangmoon³

Nirin mangmi⁴ Wichai munjnda⁵ Naruwat Bansawang⁶

E-mail: krit_mac789@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของแบตเตอรี่เครื่องตัดหญ้าไฟฟ้า สำหรับใช้ในครัวเรือน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด กับแบตเตอรี่ลิเทียมไอรอน ฟอสเฟต (LIFE PO₄) ด้วยการทดสอบตัดหญ้า ด้วยความเร็ว 2 ระดับและระดับความสูงของหญ้า 5, 10, 15 เซนติเมตร พร้อมอุปกรณ์ การตัดหญ้าแบบเอ็นพลาสติกกับ แบบใบมีดเหล็ก ขนาดพื้นที่ 20 ตารางเมตร เฉลี่ย 3 ครั้งในแต่ละระดับความเร็ว ด้วยเครื่องตัดหญ้าไฟฟ้าสำหรับใช้ในครัวเรือน ขนาด 12 แอมป์ มอเตอร์ 24 โวลต์ กำลัง 600 วัตต์ 9000 รอบ/นาที รุ่น เอบีซี 1224วี ผลการทดสอบพบว่า แบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟต ที่ติดตั้งในเครื่องตัดหญ้าไฟฟ้า สำหรับใช้ในครัวเรือนมีขนาดเล็ก น้ำหนักแบตเตอรี่ 15.61 กิโลกรัม หรือร้อยละ 59.02 ระยะเวลาการชาร์จลดลง 5 ชั่วโมง หรือร้อยละ 37.50 ทดสอบการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 2 ระดับกับระดับความสูงของหญ้า ที่กล่าวไว้ข้างต้น เฉลี่ย 3 ครั้งในแต่ละระดับความเร็ว เทียบกับปริมาณพื้นที่ความสูงของหญ้า ระยะเวลา และความเร็วสูงสุดของเครื่องตัดหญ้าไฟฟ้า สำหรับใช้ในครัวเรือน ขณะทำการตัดหญ้า ใช้ใบมีดเหล็ก โดยแบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟต มีประสิทธิภาพการตัดหญ้าที่ดีกว่าแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ถึงร้อยละ 19.60 33.63 และ 30.27 อีกทั้งยังมีรูปทรงและน้ำหนักของแบตเตอรี่ที่เบากว่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเฉลี่ยน้อยกว่า ไม่มีการก่อดังของสารเคมีภายใน ไม่มีไอกรดซึ่งเป็น สาเหตุของการติด ไฟ ดูแลรักษาง่าย และวัสดุยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยสามารถนำกลับมารีไซเคิลได้ และยังมีส่วนช่วยร่วมรณรงค์การใช้เครื่องมือด้านการเกษตรที่เป็นไฟฟ้า พลังงานสะอาดของประเทศอีกด้วย

คำสำคัญ: เครื่องตัดหญ้าไฟฟ้า, แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด, แบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟต

ABSTRACT

The purpose of this research is to study the efficiency of electric lawn mower batteries. For household use and compare the performance of lead-acid batteries with lithium iron phosphate battery (LIFE PO₄) by testing grass cutting with 2 speed levels and grass height of 5, 10, 15 centimeters with equipment Cutting grass with

plastic tendrils Steel blade type, area size 20 square meters, averaged 3 times at each speed level. With an electric lawn mower for household use, size 12 amps, 24-volt motor, power 600 watts, 9000 rpm, model ABCI 1224V Test results found that Lithium iron phosphate battery installed in an electric lawn mower for household use, small size Battery weight 15.61 kilograms or 59.02 percent Charging time reduced by 5 hours or 37.50 percent. Tested moving at 2 speeds with the height of the grass. As mentioned above, average 3 times at each speed level Compared to the amount of area, height of grass, duration and maximum speed of an electric lawn mower. For household use while cutting grass Use a steel blade by lithium iron phosphate battery It has better grass cutting efficiency than lead-acid batteries by 19.60, 33.63 and 30.27 percent in addition, the shape and weight of the battery are lighter and the average power consumption is lower. No internal chemical formation There is no acid vapor which is Cause of ignition Easy to maintain and the material is also environmentally friendly. It can be recycled. It also helps join in campaigning for the use of agricultural tools that are electricity and clean energy in the country.

Keywords: electric lawn mower, lead-acid battery, lithium-ion phosphate battery

1. ความสำคัญ และที่มาของปัญหาวิจัย

ปัจจุบันน้ำมันมีราคาค่อนข้างสูงมาก และประเทศไทยมีการใช้เชื้อเพลิงประเภทน้ำมันเป็นปริมาณมาก ในภาคขนส่ง ภาคอุตสาหกรรม และภาคเกษตรกรรม เช่น รถยนต์ รถจักรยานยนต์ เครื่องยนต์การเกษตร หรือ อุปกรณ์ในการประกอบอาชีพต่างๆ ส่งผลให้มีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น ถึงแม้จะมีการรณรงค์ให้มีการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงก็ตาม แต่ก็ยังไม่ได้ผลเท่าที่ควรผลกระทบอีกอย่างหนึ่ง คือ ปัญหาทางมลพิษที่ถูกปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์ ดังกล่าวที่เครื่องยนต์เผาไหม้ ไม่สมบูรณ์ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพของคนไทยเรามาจนถึงมลพิษทางอากาศ และมลพิษทางเสียง มาถึงทุกวันนี้ทุกคนต้องตระหนักและให้ความสำคัญกับปัญหามลพิษดังกล่าว เพื่อหยุดการ ปล่อยพิษที่ออกมาจากเครื่องยนต์ ดังนั้นวิธีที่จะช่วยได้ ก็คือการเปลี่ยนเครื่องต้นกำลังจากเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงมาเป็นเครื่องต้นกำลังที่ใช้พลังงานไฟฟ้าแทน

จากหลักการและเหตุผลดังกล่าว ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พิจารณาที่จะศึกษาพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ เครื่องตัดหญ้าไฟฟ้าสำหรับใช้ในครัวเรือน เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงพัฒนาประสิทธิภาพเครื่องตัดหญ้าไฟฟ้า อีกทั้งยังส่งเสริมทางภาครัฐ ช่วยลดปริมาณก๊าซที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติได้เป็นอย่างดี

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของภาพแบตเตอรี่ ที่ใช้กับเครื่องตัดหญ้าไฟฟ้าสำหรับใช้ในครัวเรือน
- (2) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบตเตอรี่เครื่องตัดหญ้าไฟฟ้า ระหว่างแบตเตอรี่ตะกั่วกรดกับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(ปียะนันต์ ตริยกาญจน์, 2563) วิจัยวิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษา และการวิเคราะห์สมรรถนะของยานยนต์ไฟฟ้าเมื่อใช้งานร่วมกับแบตเตอรี่ต่างชนิดกัน โดยแบ่งการทดสอบสมรรถนะ ออกเป็น 4 ด้าน ได้แก่ ด้านอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน, ด้านระยะทางวิ่งต่อการประจุไฟฟ้า 1 ครั้ง, ด้านอัตราเร่ง และด้านการเบรก จากนั้นเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์ รถยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบเป็นรถที่สร้างขึ้นแบบ 2 ที่นั่ง 4 ล้อ มีระบบรองรับน้ำหนักด้านหน้าเป็นแบบแม็คเฟอร์สันสตรัท ส่วนข้างหลังเป็นแบบมัลติลิงค์ ขับเคลื่อนและบังคับด้วยล้อหน้า โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน ขนาด 5 w ผ่านชุดเกียร์แบบอัตราทดคงที่ แบตเตอรี่ที่นำมาใช้ในการทดสอบ ได้แก่ แบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟตและแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด แบบไซเคิล โดยมีพิกัดความจุเท่ากับ คือ 5.76 kWh ในส่วนการทดสอบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน และ ระยะ ทางวิ่งต่อการประจุไฟฟ้า : ครั้ง ดำเนินการทดสอบรถยนต์ไฟฟ้าตามวัฏจักรขับทดสอบแบบ New European Driving Cycle บนเครื่องแฮชซิสโคนาโมมิเตอร์ภายใต้ข้อบังคับ Regulation No. 101 Ammex 7 และ Ammex 9 ตามลำดับจากการทดสอบ พบว่า อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเฉลี่ยเมื่อทดสอบรถยนต์ไฟฟ้าใช้งานกับแบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟต มีค่าต่ำกว่าเมื่อทดสอบกับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด แบบไซเคิล 10 % (87.28 Wh.km, 96.53 Wh.km ตามลำดับ)

(นายนิดิชย์ เหลืองอร่าม, 2564) งานวิจัยนี้ ศึกษาเกี่ยวกับการประเมินความเป็นไปได้ของการนำแบตเตอรี่ จากรถยนต์ไฟฟ้ากลับมาใช้ใหม่ เป็นระบบกักเก็บพลังงานร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ติดตั้งบนหลังคาทั้ง 4 ด้านคือความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค สิ่งแวดล้อม การเงิน และสังคม การประเมินด้านเทคนิค ใช้ข้อมูลจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าและจำนวนครัวเรือนที่ติดตั้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทำนายด้วยวิธีการแยกส่วนประกอบร่วมกับสมการถดถอย การประเมินด้านสิ่งแวดล้อมพิจารณาการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ลดลงจากการใช้แบตเตอรี่และพลังงานแสงอาทิตย์แทนการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบกริด การประเมินด้านการเงินพิจารณา มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (Net Present Value : NPV) การประเมินด้านสังคมพิจารณาแบบสำรวจ จากกลุ่มตัวอย่าง 400 คน เพื่อประเมินความต้องการของผู้ตอบแบบสำรวจ โดยประยุกต์ใช้หลักการบ้านแห่งคุณภาพ ผลการวิจัยพบว่า การนำแบตเตอรี่จากรถยนต์ไฟฟ้ากลับมาใช้ใหม่มีความเป็นไปได้ทั้ง 4 ด้านแบบมีเงื่อนไข คือต้องมีการส่งเสริมการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า และระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ติดตั้งบนหลังคาในทิศทางที่สอดคล้องกัน

(อาร์ เค ปี แบตเตอรี่, 2560) การศึกษาวางจรควบคุมการชาร์จและคายประจุแบตเตอรี่ ระบบควบคุมการชาร์จ และคายประจุแบตเตอรี่ Battery Management System (BMS) หมายถึง ระบบซึ่งทำหน้าที่ในการควบคุมป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่ทำงานในลักษณะที่เป็นอันตราย เช่น เกิดการชาร์จไฟมากเกินไป หรือจ่ายไฟฟ้าออกมากเกินไป รวมทั้งการ Balance Cell Battery เพื่อประจุไฟให้เต็มมากที่สุด (Maximize Battery Capacity) และยืดอายุการใช้งานแบตเตอรี่ ดังภาพที่ 3 โดยจะมีฟังก์ชันการทำงานที่มากกว่าวงจรป้องกัน PCB Protected อย่างวงจรป้องกัน PCB Protected จะทำหน้าที่สำคัญ 2 อย่าง คือ คอยป้องกันการใช้งานที่กระแสเกิน (Over Current Protection) ป้องกันแรงดันการชาร์จไฟเกิน (Over Charge Voltage Protection)

(สมสงวน ปัสสาโก และคณะ, 2560) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ และพัฒนาสร้างรถไฟฟ้า RMU - Shuttle EV และเพื่อทดสอบสมรรถนะของรถไฟฟ้า RM - Shuttle EV ที่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ โดยทำการออกแบบและสร้างยานยนต์ไฟฟ้าต้นแบบ โครงสร้างรถเป็นระบบ Space -Frame & Chassis ใช้โปรแกรม SolidWorks Simulation ทดสอบหาค่า Stress Displacement Strain และค่า Factor of Safety

(F.O.S) ระบบไฟฟ้าใช้มอเตอร์กระแสตรงและใช้พลังงานแสงอาทิตย์ประจําการประจุไฟฟ้าปกติ ผลการวิจัยและพัฒนารถไฟฟ้า RMU - Shuttle EV

4. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษา ประสิทธิภาพแบตเตอรี่เครื่องตัดหญ้าไฟฟ้า สำหรับใช้ในครัวเรือน เพื่อเป็นแนวทางเพื่อประยุกต์ใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต ในเครื่องตัดหญ้าไฟฟ้าโดยนำกระแสไฟฟ้าที่เก็บไว้ในแบตเตอรี่จ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 600 วัตต์ 24 โวลต์ 1.5 แอมป์ โดยมีวิธีดำเนินงานวิจัยและระยะเวลาเก็บข้อมูลโดยเฉลี่ยระดับความเร็ว 2 ระดับจากแบตเตอรี่ทั้งสองชนิดแบ่งวิธีดำเนินงานวิจัยเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ศึกษาข้อมูลรายละเอียดเครื่องตัดหญ้าไฟฟ้า อุปกรณ์การจัดสร้างระบบแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต

ศึกษาข้อมูลอุปกรณ์ในการจัดสร้าง โดยศึกษาลักษณะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1 การศึกษาเครื่องตัดหญ้าไฟฟ้าสำหรับการวิจัย

เครื่องตัดหญ้าไฟฟ้าที่ใช้ในการวิจัยเป็นเครื่องตัดหญ้าไฟฟ้า มีมอเตอร์ขนาด 600 วัตต์ 24 โวลต์ 1.5 แอมป์ มีความเร็วสูงสุด 9,000 รอบต่อนาที รายละเอียดดังภาพที่ 1 โดยมีอุปกรณ์และส่วนประกอบที่สำคัญ คือ

- (1) มอเตอร์เครื่องตัดหญ้าไฟฟ้าขนาด 600 วัตต์ 24 โวลต์ 1.5 แอมป์ มีความเร็ว 9,000 รอบต่อนาที
- (2) สวิตช์ตัดหญ้าต่อไฟฟ้าเข้าสู่มอเตอร์
- (3) อุปกรณ์ควบคุมความเร็วมอเตอร์ DC 9 – 40 โวลต์ 40 แอมแปร์
- (4) จอแสดงสถานะการใช้งานเครื่องตัดหญ้าไฟฟ้า
- (5) ใบมีดตัดหญ้า



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบหลักเครื่องตัดหญ้าไฟฟ้า

1.2 การศึกษาอุปกรณ์ควบคุมความเร็วมอเตอร์

อุปกรณ์ควบคุมการหมุนของมอเตอร์ คือ ควบคุมการหมุนของมอเตอร์มีขนาด DC 9 – 40 โวลต์ 40 แอมแปร์ และควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ เพื่อไม่ให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วสูงสุดตลอดเวลา ทำให้ลดกินกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่



ภาพที่ 2 อุปกรณ์ควบคุมการหมุนของมอเตอร์

1.3 การศึกษาแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ฟอสเฟต

ในปัจจุบันแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน เป็นที่นิยมนำกลับมาใช้งาน เนื่องจากคุณสมบัติทางด้านการคายประจุ (Discharge) รอบการใช้งาน (Cycle Use) และอายุการใช้งานที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งยังมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา สะดวกต่อการนำไปใช้งาน เป็นเซลล์แห้งไม่มีส่วนประกอบที่เป็นอันตรายต่อธรรมชาติ โดยสามารถแบ่งชนิดต่างๆ ได้ทั้งหมด 6 ชนิด ประกอบด้วย Lithium Cobalt Oxide, Lithium Manganese Oxide, Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide, Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide, Lithium Iron Phosphate, Lithium Titanate ทั้งนี้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ขั้วลบ มีองค์ประกอบหลักเป็นคาร์บอนที่มีรูพรุน (เช่น แกรไฟต์) เคลือบบนแผ่นทองแดง ขั้วบวกเป็นลิเทียมเมทัลออกไซด์เคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียม สารละลายอิเล็กโทรไลต์ ประกอบด้วย ลิเทียมเตตระฟลูออโรโบเรต (LiBF_4) ในสารละลายเอทิลีนคาร์บอนเนต ลิเทียมเฮกซะฟลูออโรฟอสเฟต (LiPF_6) (รวาริศ กอปรสิริพัฒน์, 2559)



ภาพที่ 3 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต

24 โวลต์ 12 แอมแปร์



ภาพที่ 4 จอแสดงสถานะการใช้งาน

เครื่องตัดหญ้าไฟฟ้า



ภาพที่ 5 อุปกรณ์แสดงการชาร์จไฟ

ส่วนที่ 2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพแบตเตอรี่เครื่องตัดหญ้าไฟฟ้าสำหรับใช้ในครัวเรือน

เพื่อให้การวิจัยมีประสิทธิภาพมากขึ้น จึงทำการทดสอบประสิทธิภาพของการใช้งาน และการรวบรวมข้อมูลด้วยหลักทางสถิติ โดยการทดสอบการใช้งานเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดกับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต (LiFePO_4) ที่พัฒนาขึ้น โดยเฉลี่ย 3 ครั้ง ต่อการทดสอบในแต่ละช่วงความเร็ว โดยและนำข้อมูลที่มาเปรียบเทียบเพื่อใช้ประกอบการประเมินผลการวิจัย

5. ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาการใช้งานแบตเตอรี่เครื่องตัดหญ้าไฟฟ้าสำหรับใช้ในครัวเรือน

หลังการติดตั้งแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต ต่อสายไฟจากแบตเตอรี่เข้ากับตัวรับที่เครื่องตัดหญ้าไฟฟ้า และกดสวิทช์เปิดการจ่ายไฟเข้าสู่กล่องควบคุมความเร็ว สังเกตไฟแสดงสถานะที่กล่องควบคุมความเร็วของมอเตอร์จะติด ไฟสีแดงหมายถึงเครื่องตัดหญ้าไฟฟ้าสามารถเริ่มทำงานได้ โดยการควบคุมความเร็วจะอยู่ที่การปรับโวลุ่มมอเตอร์จะมีความเร็วสูงสุดที่ 9,000 รอบต่อนาที เมื่อมอเตอร์ทำงานจะดึงกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ออกมาใช้งานระยะการใช้งานขึ้นอยู่กับความเร็วจากการปรับโวลุ่มควบคุมความเร็วของมอเตอร์ เมื่อแรงดันไฟฟ้าในแบตเตอรี่ลดลง ค่าบอกสถานะของแบตเตอรี่จะลดลงโดยจะมีไฟโชว์ที่แบตเตอรี่ ดังนั้นความเร็วของการหมุนของมอเตอร์และเวลาในการใช้งานต่อการชาร์จแต่ละครั้งจะแปรผันไปตามขนาดความเร็วของการหมุนของมอเตอร์ เนื่องจากมอเตอร์สิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้าออกมาปริมาณมากเมื่อใช้ความเร็วที่สูง

2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานเครื่องตัดหญ้าไฟฟ้าสำหรับใช้ในครัวเรือน

ผลการทดสอบเครื่องตัดหญ้าไฟฟ้าสำหรับใช้ในครัวเรือน พบว่าสามารถแบ่งการทดสอบออกเป็นสองช่วง คือทดสอบโดยแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด และแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต โดยวัดค่าแรงดันไฟฟ้า ความเร็วของการหมุนของมอเตอร์ และระยะเวลาที่เครื่องตัดหญ้าไฟฟ้าตัดหญ้าได้ ความเร็วสูงสุดของเครื่องตัดหญ้าในแต่ละช่วงความเร็วโดยเฉลี่ย 3 ครั้งต่อการทดสอบ แต่ละช่วงความเร็ว โดยมีการใช้สูตรในการคำนวณในการหาผลที่ได้ มีอยู่สามสูตรด้วยกัน

สูตรแรก จะเป็นการหาค่าวัตต์จากเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ได้นำมาใช้

$$(\text{วัตต์}) = (\text{โวลต์}) \times (\text{แอมป์})$$

สูตรที่สอง จะเป็นการหาค่าหน่วยไฟฟ้าที่ใช้

$$(\text{วัตต์}) \times (\text{จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า} / 1000 \times \text{ชม.}) = (\text{หน่วย})$$

สูตรที่สาม จะเป็นการหาค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายจริง

$$(\text{หน่วย}) \times \text{ค่าไฟฟ้าปัจจุบันต่อหน่วย (บาท)} = \text{อัตราค่าใช้ไฟฟ้า บาท/พท. 100 ตร.ม. (บาท)}$$

ตารางที่ 1 การเก็บข้อมูล การศึกษาประสิทธิภาพแบตเตอรี่เครื่องตัดหญ้าไฟฟ้า สำหรับใช้ในครัวเรือนโดยการใช้แบตเตอรี่ตะกั่วกรด ใช้เอ็นพลาสติกตัดหญ้า

รูปแบบการตัดหญ้า	(นาที)	อัตราการใช้ไฟต่อการชาร์จ (โวลต์)	หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ (หน่วย)	อัตราค่าไฟฟ้า (บาท/พท.20 ตร.ม.)	น้ำหนักแบตเตอรี่ (กก.)
รอบปกติ (ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็ว) เก็บข้อมูล 3 ครั้ง	2.22	0.67	0.0107	0.03475788	4.2
	3.32	0.27	0.0159	0.05164956	4.2
	2.33	0.46	0.0112	0.03638208	4.2
รอบ 4,500 รอบต่อนาที (ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็ว) เก็บข้อมูล 3 ครั้ง	5.59	0.36	0.0268	0.08705712	4.2
	5	1.03	0.024	0.0779616	4.2
	5.24	0.23	0.0252	0.08185968	4.2
รอบ 9,000 รอบต่อนาที (ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็ว) เก็บข้อมูล 3 ครั้ง	2.45	0.4	0.0118	0.03833112	4.2
	3.33	0.8	0.016	0.0519744	4.2
	3.41	0.9	0.0164	0.05327376	4.2

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ พบว่า การตัดหญา์รอบปกติ หญา์ยาว 3-5 เซนติเมตร ใช้รอบแรก ใช้เวลา 2.22 นาที อัตราการชาร์จ 0.67 โวลต์ หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ 0.0107 หน่วย อัตราค่าไฟฟ้าอยู่ที่ 0.03475788 บาท/พท. 20 ตร.ม. ค่าไฟที่หน่วยละ 3.2484 บาท รอบที่สอง ใช้เวลา 3.32 นาที อัตราการชาร์จ 0.27 โวลต์ หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ 0.0159 หน่วย อัตราค่าไฟฟ้าอยู่ที่ 0.05164956 บาท/พท. 20 ตร.ม. ค่าไฟที่หน่วยละ 3.2484 บาท ตัดหญา์รอบที่สาม 5.24 นาที อัตราการชาร์จ ที่ 0.46 โวลต์ หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ 0.0112 หน่วย อัตราค่าไฟฟ้าอยู่ที่ 0.03638208 บาท/พท. 20 ตร.ม. ค่าไฟที่หน่วยละ 3.2484 บาท

การตัดหญา์ที่ 4,500 รอบ/นาที หญา์ยาว 3-5 เซนติเมตรใช้ รอบแรก 5.59 นาที อัตราการชาร์จ 0.36 โวลต์ หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ 0.0268 หน่วย อัตราค่าไฟฟ้าอยู่ที่ 0.08705712 บาท/พท. 20 ตร.ม. ค่าไฟที่หน่วยละ 3.2484 บาท แบตเตอรี่มีน้ำหนัก 4.2 กก. รอบที่สอง 5 นาที อัตราการชาร์จ 1.03 โวลต์ หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ 0.024 หน่วย อัตราค่าไฟฟ้าอยู่ที่ 0.0779616 บาท/พท. 20 ตร.ม. ค่าไฟที่หน่วยละ 3.2484 บาท ตัดหญา์รอบที่สาม 5 นาที อัตราการชาร์จ 0.23 โวลต์ หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ 0.0252 หน่วย อัตราค่าไฟฟ้าอยู่ที่ 0.08185968 บาท/พท. 20 ตร.ม. ค่าไฟที่หน่วยละ 3.2484 บาท

การตัดหญา์ที่ 9,000 รอบ/นาที หญา์ยาว 3-5 เซนติเมตรใช้ รอบแรก ใช้เวลา 2.45 นาที อัตราการชาร์จ 0.4 โวลต์ หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ 0.0118 หน่วย อัตราค่าไฟฟ้าอยู่ที่ 0.03833112 บาท/พท. 20 ตร.ม. ค่าไฟที่หน่วยละ 3.2484 บาท รอบที่สอง 3.33 นาที อัตราการชาร์จ 0.8 โวลต์ หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ 0.016 หน่วย อัตราค่าไฟฟ้าอยู่ที่ 0.0519744 บาท/พท. 20 ตร.ม. ค่าไฟที่หน่วยละ 3.2484 บาท ตัดหญา์รอบที่สาม 3.41 นาที อัตราการชาร์จ 0.9 โวลต์ หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ 0.0164 หน่วย อัตราค่าไฟฟ้าอยู่ที่ 0.05327376 บาท/พท. 20 ตร.ม. ค่าไฟที่หน่วยละ 3.2484 บาท

ตารางที่ 2 ตารางการเก็บข้อมูลการศึกษาประสิทธิภาพแบตเตอรี่เครื่องตัดหญา์ไฟฟ้าสำหรับใช้ในครัวเรือน โดยใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอรอนฟอสเฟต แบบใช้เอ็นตัดหญา์

รูปแบบการตัดหญา์	(นาที)	อัตราการชาร์จ ต่อกรชาร์จ (โวลต์)	หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ (หน่วย)	อัตราค่าไฟฟ้า (บาท/พท.20 ตร. ม.)	น้ำหนัก แบตเตอรี่ (กก.)
รอบปกติ (ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ ควบคุมความเร็ว) เก็บข้อมูล 3 ครั้ง	3.05	0.23	0.0146	0.04742664	2.3
	3.21	0.4	0.0154	0.05002536	2.3
	3.18	0.36	0.0153	0.04970052	2.3
รอบ 4,500 rpm (ติดตั้งอุปกรณ์ ควบคุมความเร็ว) เก็บข้อมูล 3 ครั้ง	4.15	0.36	0.0199	0.06464316	2.3
	5.25	0.51	0.0252	0.08185968	2.3
	5.23	0.48	0.0251	0.08153484	2.3
รอบ 9,000 rpm (ติดตั้งอุปกรณ์ ควบคุมความเร็ว)เก็บข้อมูล 3 ครั้ง	3.2	0.57	0.0154	0.05002536	2.3
	2.27	0.33	0.0109	0.03540756	2.3
	2.33	0.42	0.0112	0.03638208	2.3

ผลการทดสอบพบว่า การตัดหญ้ารอบปกติ หญ้ายาว 3-5 ซม. ใช้ รอบแรก 3.05 นาที อัตราการชาร์จ 0.23 โวลต์ หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ 0.0146 หน่วย อัตราค่าไฟฟ้าอยู่ที่ 0.04742664 บาท/พท.20 ตร.ม. ค่าไฟที่หน่วยละ 3.2484 บาท รอบที่สอง 3.21 นาที อัตราการชาร์จ 0.4 โวลต์ หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ 0.0154 หน่วย อัตราค่าไฟฟ้าอยู่ที่ 0.05002536 บาท/พท.20 ตร.ม. ค่าไฟที่หน่วยละ 3.2484 บาท ตัดหญ้ารอบที่สาม 3.18 นาที อัตราการชาร์จ 0.36 โวลต์ หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ 0.0153 หน่วย อัตราค่าไฟฟ้าอยู่ที่ 0.04970052 บาท/พท.20 ตร.ม. ค่าไฟที่หน่วยละ 3.2484 บาท

การตัดหญ้าที่ 4,500 รอบ/นาที หญ้ายาว 3-5 ซม. ใช้ รอบแรก 4.15 นาที อัตราการชาร์จ 0.36 โวลต์ หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ 0.0199 หน่วย อัตราค่าไฟฟ้าอยู่ที่ 0.06464316 บาท/พท.20 ตร.ม. ค่าไฟที่หน่วยละ 3.2484 บาท รอบที่สอง 5.25 นาที อัตราการชาร์จ 1ครั้งที่ 0.51 โวลต์ หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ 0.0252 หน่วย อัตราค่าไฟฟ้าอยู่ที่ 0.08185968 บาท/พท.20 ตร.ม. ค่าไฟที่หน่วยละ 3.2484 บาท ตัดหญ้ารอบที่สาม 5.23 นาที อัตราการชาร์จ 1ครั้งที่ 0.48 โวลต์ หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ 0.0251 หน่วย อัตราค่าไฟฟ้าอยู่ที่ 0.08153484 บาท/พท. 20 ตร.ม. ค่าไฟที่หน่วยละ 3.2484 บาท

การตัดหญ้าที่ 9,000 รอบ/นาที หญ้ายาว 3-5 ซม. ใช้ รอบแรก 3.2 นาที อัตราการชาร์จ 0.57 โวลต์ หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ 0.0154 หน่วย อัตราค่าไฟฟ้าอยู่ที่ 0.05002536 บาท/พท. 20 ตร.ม. ค่าไฟที่หน่วยละ 3.2484 บาท รอบที่สอง 2.27 นาที อัตราการชาร์จ 0.33 โวลต์ หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ 0.0109 หน่วย อัตราค่าไฟฟ้าอยู่ที่ 0.03540756 บาท/พท. 20 ตร.ม. ค่าไฟที่หน่วยละ 3.2484 บาท ตัดหญ้ารอบที่สาม 2.33 นาที อัตราการชาร์จ 0.42 โวลต์ หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ 0.0112 หน่วย อัตราค่าไฟฟ้าอยู่ที่ 0.03638208 บาท/พท. 20 ตร.ม. ค่าไฟที่หน่วยละ 3.2484 บาท

6. อภิปรายผล

6.1 เครื่องตัดหญ้าไฟฟ้าสำหรับใช้ในครัวเรือน ที่ใช้ในโครงการวิจัยเป็นเครื่องตัดหญ้าไฟฟ้า มีมอเตอร์ขนาด 600 วัตต์ 24 โวลต์ 1.5 แอมแปร์ มีความเร็ว 9,000 รอบต่อนาที ชาร์จกระแสไฟฟ้าลงแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนฟอสเฟต 24 โวลต์ 12 แอมแปร์ ด้วยระยะเวลา 2 ถึง 3 ชั่วโมง ทำให้สะดวก ประหยัดค่าไฟฟ้าอีกด้วย

6.2 แบตเตอรี่ไฟฟ้าลิเทียมไอออนฟอสเฟต ขนาด แรงดัน 24 โวลต์ 12 แอมแปร์ ขนาดกว้าง 8 เซนติเมตร ยาว 13 เซนติเมตร และสูง 19 เซนติเมตร น้ำหนัก 2.3 กิโลกรัม ซึ่งน้ำหนักแบตเตอรี่ตะกั่วกรด มีน้ำหนักถึง 4.2 กิโลกรัม แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต จึงมีน้ำหนักที่เบาและขนาดที่น้อยกว่า เหมาะสม และสะดวกต่อการใช้งาน

6.3 ผลการทดสอบแบตเตอรี่ พบว่าแบตเตอรี่แบบลิเทียมไอออนฟอสเฟต สามารถใช้งานได้นานกว่า และมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเฉลี่ยน้อยกว่า แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด และชาร์จไฟฟ้า เข้าได้ง่ายและเร็วกว่า แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด

6.4 ประสิทธิภาพแบตเตอรี่เครื่องตัดหญ้าไฟฟ้าสำหรับใช้ในครัวเรือนเมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต คิดว่าแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ สรายุทธ จิตรพัฒนา กุล และคณะ (2563). การพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพแบตเตอรี่รถไฟฟ้า 3 ล้อขนาดเล็ก สำหรับใช้ในครัวเรือน โดยแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต มีประสิทธิภาพระยะทางเคลื่อนที่ดีกว่า แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) ควรศึกษาประสิทธิภาพแบตเตอรี่ ในลักษณะอื่น เพื่อให้สามารถเพิ่มระยะเวลา ในการ ตัดหญ้า และระยะเวลาในการชาร์จให้มากขึ้น

(2) ควรศึกษาเพิ่มเติมในระบบการชาร์จแบตเตอรี่ โดยนำพลังงานทดแทนมาประยุกต์ใช้

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

(1) ควรศึกษาเพิ่มเติมเรื่องระบบชาร์จแบตเตอรี่ เพื่อให้ลดระยะเวลาการชาร์จ

(2) ควรศึกษาเพิ่มเติม ในอุปกรณ์ในการตัดหญ้าหลายๆ ชนิดมาประยุกต์ใช้

(3) ในการเก็บข้อมูลควรศึกษาลักษณะในการตัดหญ้า พื้นที่การตัดหญ้าหลากหลายชนิด

8. กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินงานวิจัยการทดสอบการใช้งานแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดกับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต ในเครื่องตัดหญ้าไฟฟ้าสำหรับใช้ในครัวเรือน ผู้วิจัยได้รับการสนับสนุนส่งเสริม และคำแนะนำปรึกษา รวมไปถึงความร่วมมือให้การช่วยเหลือจากบุคคล ในหน่วยงานต่าง ๆ คำแนะนำและความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญจนทำให้ งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จและบรรลุผลตามวัตถุประสงค์

ขอขอบคุณ นายสงวน แก้วมุด นายเอกชัย ไก่แก้ว และคณะครูแผนกวิชาช่างยนต์ ที่ได้กรุณาที่ให้ คำแนะนำข้อคิดเห็น ตรวจสอบเครื่องมือ สถิติ และแก้ไขผลงาน ในการทำวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณ ผู้อำนวยการ วิทยาลัยเทคนิคแพร่ รองผู้อำนวยการ ที่ให้การสนับสนุน อำนวยความสะดวกในการศึกษาวิจัย คณะครูและ เจ้าหน้าที่ สนับสนุนข้อมูลด้านต่าง ๆ ภาควิชาเทคโนโลยียานยนต์ วิทยาลัยเทคนิคแพร่ ที่ร่วมกิจกรรมตาม โครงการวิจัยและการจัดการเรียนการสอนเป็นอย่างดี ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณ สถาบันการอาชีวศึกษาภาคเหนือ 2 ที่สนับสนุนงบประมาณการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2565 ในครั้งนี้

9. เอกสารอ้างอิง

กฤษณะ จันทสิทธิ์, ศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล และคมสัน มุ่ยสี. (2562). อุปกรณ์เก็บเกี่ยวผลไม้มระบบไฟฟ้าชนิด

อเนกประสงค์ เพื่อชุมชนราชนิว อำเภอน้ำใหม่ จังหวัดจันทบุรี. วารสาร วิจัยไร่โพธิ์. 13 (กันยายน ถึง ธันวาคม): 43-52.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. (2560). การศึกษา เทคโนโลยีและนวัตกรรมยานยนต์ไฟฟ้า. รายงาน

ฉบับ สมบูรณ์ ศูนย์การเรียนรู้เทคโนโลยีและนวัตกรรม เพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้า.

ศพงษ์ ลอนนวล. (2556). การพัฒนาของเทคโนโลยียานยนต์ ไฟฟ้าและผลกระทบที่เกิดขึ้นสำหรับ ประเทศ

ไทย. รายงานการวิจัยพัฒนาและวิศวกรรม มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และศูนย์ เทคโนโลยี โลหะและวัสดุแห่งชาติ.

วรวิศ กอปรศิริพัฒน์. (2559). รู้จักแบตเตอรี่ตอนที่ 4 แบตเตอรี่ ลิเทียมไอออน. เทคโนโลยีวัสดุ. ฉบับที่ 80

(มกราคม - มีนาคม): 64-70.

ศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล*, กฤษณะ จันทสิทธิ์, ชีรวัฒน์ ชื่นอัสดงคต. (2563).การพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพแบตเตอรี่รถไฟฟ้า 3 ล้อขนาดเล็ก สำหรับใช้ในครัวเรือน.รายงานการวิจัย .สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี 22000.

อาร์ เก บี แบตเตอรี่. (2560). วงจร BMS (Battery Management System) ในแบตเตอรี่แพค คืออะไร. (ออนไลน์) แหล่งที่มา : <https://www.rkbbattery.com/2018/12/25/battery-management-system/>. 6 พฤศจิกายน 2562

เจนศักดิ์ เอกบุรณะวัฒน์. (2558). รถสามล้อไฟฟ้าสำหรับคนพิการ แบบถอดประกอบได้. รายงาน การวิจัย มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์.

การพัฒนาระบบไล่นกโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกควบคุมผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่

Development of Bird Repellent System using Ultrasonic Wave Controlled via Mobile Device

จตุรรัตน์ เทียมเนียม

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

Email: jutarat.t@psru.ac.th

ชนาธิป แซ่ตั้ง

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

E-mail: chanathip.se@psru.ac.th

ชงรบ อักษร

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

E-mail: auxsorn@psru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เน้นการไล่นกที่ก่อให้เกิดความเสียหายและความสกปรกของอาคาร 1) เพื่อศึกษาการใช้งานคลื่นเสียงไล่นก 2) เพื่อวิเคราะห์คลื่นเสียงที่สามารถใช้ในการไล่นก 3) เพื่อพัฒนาอุปกรณ์ที่สามารถใช้ในการไล่นกได้ ในงานวิจัยนี้ เรามีแนวคิดในการใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง ที่มีความสามารถส่งคลื่นเสียงอัลตราโซนิกและควบคุมการทำงานการส่งคลื่นผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่ เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ คอมพิวเตอร์แบบพกพา เป็นต้น ผลการวิจัยพบว่า คลื่นเสียงอัลตราโซนิกในช่วง 15-20 KHz ย่นความถี่ที่นกสามารถรับรู้ได้ จากการทดลองใช้งานของผู้ใช้งานจำนวน 20 หลังคาเรือน สามารถไล่นกได้ในระยะ 3-5 เมตร โดยควบคุมการทำงานผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่ มีความพึงพอใจการใช้งานอยู่ในระดับดี โดยมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจอยู่ที่ 4.44 ในงานวิจัยนี้สามารถนำไปพัฒนาในเรื่องของการเพิ่มระยะพื้นที่ในการไล่นก

คำสำคัญ: คลื่นอัลตราโซนิก, IoT, PIR Motion Sensor

ABSTRACT

This research focuses on repelling birds that cause damage and dirtiness of buildings 1) to study the use of sound waves to repel birds 2) to analyze sound so that it can be used to repel birds and 3) to develop equipment that can be used to repel birds. In this research, we have the idea of using Internet of Things technology that can send ultrasonic sound waves and control the transmission of the waves through mobile devices such as mobile phones, portable computers, etc. The results found that Ultrasonic sound waves in the range of 15-20 kHz, the frequency band that birds can perceive. From a test of 20 users, the bird repellent system using Ultrasonic Wave

Controlled via Mobile Device was able to repel birds within a distance of 3-5 meters and control the operation through a mobile device. Satisfaction with use is at a good level, with an average satisfaction score of 4.44. This research can be used to develop the issue of increasing the distance of the bird repelling area.

Keywords: ultrasonic wave, IoT, PIR Motion Sensor

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ในปัจจุบันนกพิราบเป็นตัวพาหะที่นำเชื้อโรคร้ายมาสู่มนุษย์ เนื่องจากมูลของนกพิราบ มีเชื้อราคริปโตคอคคัส นีโอฟอร์แมนส์ (Cryptococcus Neoformans) เมื่อมนุษย์สูดดม หรือสัมผัสเชื้อราตัวนี้ จะส่งผลให้มีการติดเชื้อที่บริเวณปอด และลูกกลม ไปยังสมองส่งผลให้เป็นอันตรายถึงขั้นเสียชีวิตได้ (โรงพยาบาลเพชรเวช, 2565) และมูลของนกพิราบที่ถ่ายไว้ ยังสร้างความสกปรกแก่บริเวณตัวอาคาร อีกทั้งยังมีการสร้างรังไว้ในจุดที่บางครั้งก็ยากต่อการทำความสะอาดและกำจัดทิ้งอีกด้วย โดยที่ในการจะไล่นกได้นั้นมีหลายวิธีโดยวิธีที่เห็นได้ทั่วไปคือการทำให้เกิดเสียงดังเช่นการเคาะลังกะสี หรือต่อให้มีเครื่องมือในการไล่นกออกไปจากพื้นที่ส่วนที่สามารถพบเห็นได้อาจเป็นตามพื้นที่กว้างเช่น นาข้าว บางแห่งที่จะมีเครื่องไล่นกซึ่งมีขนาดใหญ่มาก และจากการศึกษาค้นเสียงที่นกสามารถได้ยินได้ส่วนใหญ่จะอยู่ที่ประมาณ 1,000 ถึง 4,000 Hz เช่นคลื่นเสียงอัลตราโซนิก ผู้จัดทำจึงได้ทำการพัฒนาระบบไล่นกโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกควบคุมผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่ด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิกขึ้นมาเพื่อใช้ในการไล่นกขึ้นมาเพื่อไล่นกในพื้นที่ขึ้นมาเพื่อใช้ในการไล่นกขึ้นมาเพื่อไล่นกในพื้นที่ขึ้นมา

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อศึกษาการใช้งานคลื่นเสียงในการไล่นก
- (2) เพื่อวิเคราะห์คลื่นเสียงที่สามารถใช้ในการไล่นก
- (3) เพื่อพัฒนาอุปกรณ์ที่สามารถใช้ในการไล่นกได้

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชานนท์ ศรีสุมา,ปรมินทร์ กันทะยอม และ คมพิศิษฐ์ กระจาย โภชน (2556) ได้จัดทำวิจัยเรื่อง การออกแบบเครื่องกำเนิดคลื่นเสียงอัลตราโซนิก เพื่อศึกษาออกแบบ และสร้างเครื่องกำเนิดคลื่นเสียงอัลตราโซนิกที่สามารถปรับเปลี่ยน ค่าความถี่และกำลังงานของเครื่องได้เครื่องกำเนิดคลื่นเสียงอัลตราโซนิกที่สร้างขึ้นมาและได้ทำการทดสอบพบว่าผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจตามวัตถุประสงค์ที่ได้วางไว้ แต่ก็ยังคงมีปัญหาบางอย่างบางจุดที่ต้องแก้ไขเนื่องจากเวลาที่จำกัดและอีกทั้งยังขาดประสบการณ์ในการทำงานอีกด้วย เครื่องกำเนิดคลื่นเสียงอัลตราโซนิกที่สร้างขึ้นมานี้ยังที่จะพัฒนาและนำไปประยุกต์ใช้กับในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ได้ เช่น การทำความสะอาดชิ้นงาน การใช้สกัดสาร เป็นต้น

เกรียงศักดิ์ ปานโพธิ์ทอง และ ฉัฐนันท์ ธิลาตระกูล (2564) ได้ทำการวิจัยเรื่องระบบเซนเซอร์วัดการใช้ไฟฟ้าภายในคณะวิทยาการสารสนเทศ เพื่อตรวจจับปัญหาการใช้ไฟฟ้าโดยเปล่าประโยชน์ (เช่นการปิดไฟ เปิดแอร์ทิ้งไว้โดยไม่มีคนอยู่) ในห้องปฏิบัติการและห้องเรียนต้นแบบโดยมีการนำเซ็นเซอร์ที่หลากหลายมาใช้ร่วมกับ PIR Motion Sensor โดยใช้วิธีการติดตั้งอุปกรณ์และใช้เซ็นเซอร์ในการตรวจสอบว่าในห้องที่ติดตั้งมีผู้คน

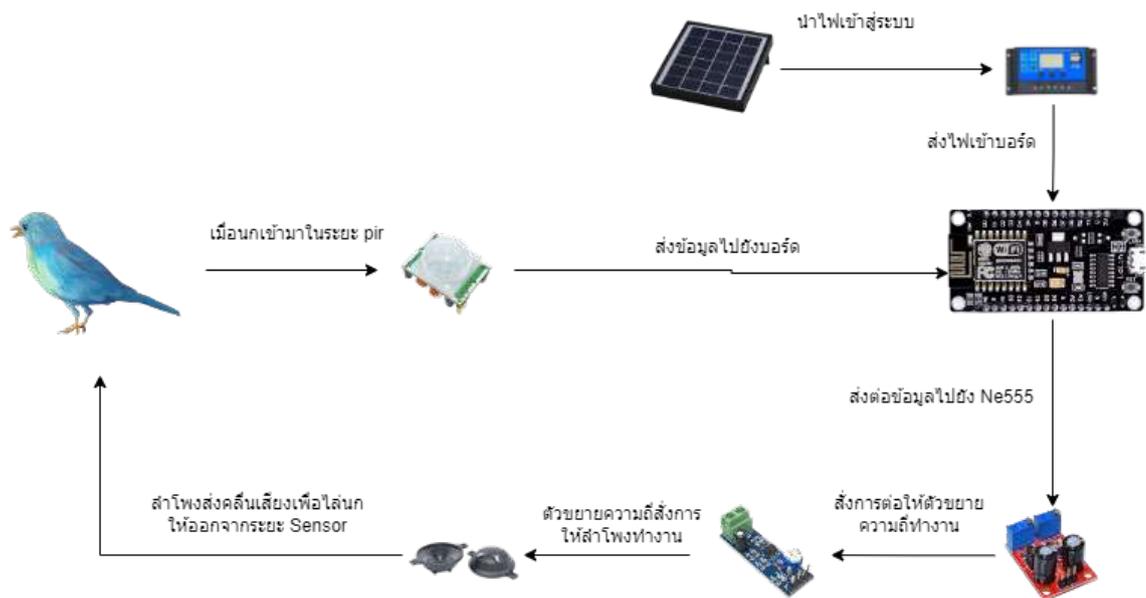
อยู่หรือไม่หากไม่มีผู้คนอยู่ในห้องเปิด 20 นาที ให้ทำการแจ้งเตือนผ่านระบบ Application Line Notify ได้ ซึ่งจะ ทำให้มีระบบที่จะคอยตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เปิดทิ้งไว้โดยเปล่าประโยชน์และจะสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ในอนาคต นอกจากนี้ในงานวิจัยยังได้มีการจัดทำรูปแบบการแสดงผล Dashboard ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของแต่ละชั้นเพื่อนำข้อมูลมาแสดงผลแบบเวลาจริง (Real time) เพื่อในอนาคตจะสามารถนำข้อมูลเหล่านี้มาแสดงให้ผู้ใช้อาคารได้ตระหนักถึงปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาซึ่งจะช่วยกระตุ้นให้เกิดความตระหนักถึงการประหยัดพลังงานต่อไป

กมลณิษฐ์ ภูธร สุธิ โสมาเกต ชัยยุทธ บรมสุข และ นิชาพัชร์ วัชรปรีชา (2563) ได้ทำงานวิจัยเรื่องระบบตรวจจับความเคลื่อนไหวกรณีผู้บุกรุกพื้นที่ส่วนบุคคล และแจ้งเตือนผ่านสมาร์ตโฟน โดยสร้างขึ้นมาเพื่อศึกษาและดำเนินการสร้างระบบตรวจจับความเคลื่อนไหวกรณีผู้บุกรุกพื้นที่ส่วนบุคคล และแจ้งเตือน ผ่านไลน์ แอปพลิเคชันด้วยภาพและข้อความโดยที่มีการทำงานโดยใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหวกรณีผู้บุกรุกเข้าพื้นที่ส่วนบุคคล มีตัวบอร์ด Raspberry pi zero w เป็นตัวสมองที่ทำงานประสานกับกล้อง Pi Camera ประมวลผลส่งภาพไปเข้าแอปพลิเคชันไลน์ จากผลการทดสอบระบบตรวจจับความเคลื่อนไหวกรณีผู้บุกรุกพื้นที่ส่วนบุคคล และแจ้งเตือนผ่านสมาร์ตโฟนเป็นการ แจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ ด้วยรูปภาพและข้อความ ได้ทดสอบการทำงานของเซ็นเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว ร่วมกับระบบการแจ้งเตือนแอปพลิเคชันผ่าน ไลน์ ด้วยภาพและข้อความที่ พบว่าที่ระยะ 3 เมตร สามารถตรวจจับความ เคลื่อนไหวและส่งภาพ ได้ 55.4 % และ 5 เมตร สามารถตรวจจับความเคลื่อนไหวและส่งภาพได้ 31.33 %

กฤษณ จงประเสริฐ และ ชิดารัตน์ ขรรค์มา (2561) ได้ทำวิจัยเรื่องเครื่องไล่กบบนระเหย (IoT Bird Repellent) ขึ้นซึ่งพัฒนาขึ้นเพื่อสร้างเครื่องไล่กบบนระเหยที่สามารถเช็คสถานะได้ และเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องไล่กบบนระเหย โดยใช้Soil moisture centor ในการวัดระดับของน้ำยาและเมื่อถึงจุดหนึ่งจะทำการแจ้งเตือนโดยสามารถดูข้อมูลสถานะของน้ำยาในแต่ละจุดได้ผ่านเว็บไซต์ที่จัดทำไว้โดยที่เมื่อเครื่องตรวจเจอคนในเวลา กลางวันจะสั่งให้มีการยิงแก๊สเพื่อให้เห็นตกใจ แต่เมื่อเครื่องตรวจพบในเวลากลางคืนจะใช้วิธีให้เครื่องมีการกระจายไฟสปอร์ไลท์เพื่อรบกวนการอาศัยของตก หากไม่มีนก ระบบจะทำให้ไฟหรี่ลงเพื่อถนอมหลอดไฟโดยที่งานวิจัยมี ข้อดีที่สามารถแจ้งเตือนเมื่อสารระเหยนี้หมดจะมีการแจ้งเตือนสถานะ และข้อเสียที่จะต้องคอยเติมสารระเหยเสมอและเมื่อมีลมพัดมาอาจทำให้สารระเหยถูกพัดหายไปจากบริเวณที่ควรจะส่งกลิ่นได้

3.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการไล่กบบนระเหยที่ติดตั้งผ่านการพัฒนาระบบไล่กบบนระเหยโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกควบคุมผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่ โดยการทำงานของบอร์ด ESP8266 จะเป็นปัจจัยหลักของการควบคุมทั้งหมด เมื่อนักเข้ามาในระยะของเครื่อง Pir motion sensor จะส่งข้อมูลไปยังตัวบอร์ดและบอร์ดก็จะสั่งงานให้ Ne555 ทำงาน และ Ne555 ก็จะสั่งให้ตัวขยายความถี่ทำงานเพื่อส่งสัญญาณไปให้ลำโพงที่ติดตั้งทำงานส่งคลื่นความถี่ที่ตั้งค่าออกไปไล่กบบนระเหยที่ติดตั้ง



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

3.3 สมมติฐานการวิจัย

การพัฒนาาระบบไล่นกโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกควบคุมผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับที่ดี

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่าง ที่ใช้ในการทำแบบสอบถามเพื่อหาความพึงพอใจของผู้ใช้งานด้วยการให้กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ทดสอบการใช้งาน จำนวน 20 หลังคาเรือนในการตอบแบบสอบถามด้วยตนเอง ผ่านแบบสอบถามออนไลน์

4.2 ตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

ตัวแปรต้น คือ การพัฒนาาระบบไล่นกโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกควบคุมผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่
ตัวแปรตาม คือ การพัฒนาาระบบไล่นกโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกควบคุมผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่สมบูรณ์สามารถใช้ในการไล่นกได้

4.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการเก็บรวบรวมข้อมูลผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

4.3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม

เก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการตอบแบบสอบถามความพึงพอใจและนำคะแนนที่ได้มาทำการวิเคราะห์ข้อมูล โดยให้กลุ่มตัวอย่างตอบแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อการพัฒนาาระบบไล่นกโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกควบคุมผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่

4.3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสังเกตการณ์

เก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสังเกตปริมาณนกในบริเวณที่ติดตั้งในช่วงเวลาเดิมซ้ำๆ และเก็บรวบรวมข้อมูล

4.4 วิธีวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลตามลำดับ ดังนี้

4.4.1 หากสถิติพื้นฐาน คือ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.4.2 วิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัย โดยใช้โปรแกรม SPSS for Window

5. ผลการวิจัย

จากการศึกษาและพัฒนาการพัฒนาระบบไล่นกโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกควบคุมผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่ เพื่อใช้ในการไล่นกออกจากบริเวณที่ติดตั้งและลดความเสียหายต่อทรัพย์สินที่อาจเกิดขึ้นจากนกชนิดต่างๆ ด้านการพัฒนาได้ใช้โปรแกรม ArduinoIDE และ Blynk ในการสร้างแอปพลิเคชันเพื่อควบคุมเครื่องผ่านมือถือและใช้ในการสร้างชุดคำสั่งในการใช้งานเครื่อง โดยแบ่งเป็นด้านตัวแอปพลิเคชันเพื่อใช้ในการควบคุมผ่านมือถือ และการเขียนโค้ดเพื่อใช้ในการสร้างชุดคำสั่งใช้กับตัวเครื่อง



รูปภาพที่ 2 ลักษณะตัวเครื่อง



รูปภาพที่ 3 ภายในแอปพลิเคชันที่ใช้สั่งการ

โดยที่เริ่มใช้งานจากการสังเกตจะพบนกมาเกาะบริเวณรั้วของบ้านในช่วงเวลา 9.00-12.00 จากการสังเกตการณ์ราว 10-15 ตัวโดยเฉลี่ยและหลังจากการใช้งานปริมาณนกรอบๆ บริเวณที่ติดตั้งลดลงอย่างชัดเจนโดยที่เมื่อปิดเครื่องและสังเกตในช่วงเวลา 9.00-12.00 จะพบว่าปริมาณนกนั้นลดลงเหลือเพียง 2-3 ตัวโดยเฉลี่ยเท่านั้น และเมื่อทำการเปิดเครื่องอีกครั้งนกในบริเวณที่ทำการทดลองก็แตกตื่น และบินหนีไปทั้งหมดในบริเวณ ซึ่งผลการประเมินความพึงพอใจหลังการใช้ของการพัฒนาระบบไล่นกโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกควบคุมผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่ผ่าน Google Form ทางด้านตัวเครื่อง มีค่าเฉลี่ยประชากรอยู่ที่ 4.44 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานประชากรคือ 0.22 ซึ่งอยู่ในระดับ ดี และผลการประเมินความพึงพอใจหลังการใช้ของการพัฒนาระบบไล่นกโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกควบคุมผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่ผ่าน Google Form ทางด้านการใช้งานเว็บแอปพลิเคชันมีค่าเฉลี่ยประชากรอยู่ที่ 4.50 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานประชากรคือ 0.22 ซึ่งอยู่ในระดับ ดีมาก ทั้งการพัฒนาระบบไล่นกโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกควบคุมผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่จัดทำขึ้นมาสามารถที่จะตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้ในระดับ ดี

ตารางที่ 1 ผลการประเมินความพึงพอใจหลังการใช้ด้านการใช้งานการพัฒนาระบบไล่นกโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกควบคุมผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่

ข้อที่	ข้อความ	μ	σ	แปลผล
1	การพัฒนาระบบไล่นกโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกควบคุมผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่การใช้งานสามารถเข้าใจได้ง่ายไม่ซับซ้อน	4.67	0.22	ดีมาก
2	การพัฒนาระบบไล่นกโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกควบคุมผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ	4.33	0.22	ดี
3	การพัฒนาระบบไล่นกโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกควบคุมผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่สามารถไล่นกได้	4.33	0.22	ดี
รวม		4.44	0.22	ดี

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจหลังการใช้ด้านการใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน

ข้อที่	ข้อความ	μ	σ	แปลผล
1	เว็บแอปพลิเคชันสามารถใช้งานได้ง่าย	4.67	0.22	ดีมาก
2	เว็บแอปพลิเคชันสามารถสั่งการการพัฒนาระบบไล่นกโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกควบคุมผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่ได้	4.33	0.22	ดี
รวม		4.50	0.22	ดีมาก

6. อภิปรายผล

จากการศึกษาในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบไถ่ถอนโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกควบคุมผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่ด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งพบว่า การที่จะใช้คลื่นเสียงอัลตราโซนิกในการไถ่ถอนนั้นจะต้องใช้เครื่องเสียงในย่านความถี่ที่ทนทานสามารถรับรู้ได้โดยที่แต่ละชนิดจะใช้คลื่นความถี่ไม่เท่ากัน หรือบางสายพันธุ์ก็อาจรับรู้คลื่นเสียงได้ในระยะที่ใกล้เคียงกับอีกสายพันธุ์ โดยที่ผู้วิจัยได้สร้างปุ่มเพื่อใช้ในการทดลองขึ้น 2 ปุ่มโดยกำหนดให้ใช้ในการไถ่ถอนพืชรอบและนกกกระจับเนื่องด้วยเป็นนกที่มีมากในบริเวณที่ทำการทดลองซึ่งกำหนดให้มีความถี่อยู่ที่ 15-20 khz เนื่องจากเป็นย่านความถี่ในส่วนที่นกทั้ง 2 ชนิดนั้นสามารถรับรู้ได้โดยที่ตัวเครื่องสามารถไถ่ถอนสามารถไถ่ได้ในระยะ 3-5 เมตร จากการใช้งานผู้วิจัยได้พบว่าการใช้คลื่นเสียงไถ่ถอนนั้นสามารถใช้งานได้ แต่หากไม่มีแสงมากพอแบตเตอรี่ของเครื่องจะสามารถใช้ต่อไปได้อีกเพียง 1-2 ชั่วโมงเท่านั้นและต้องรอการใช้งานใหม่หลังจากที่มีแสงเนื่องจากการใช้โซลาร์เซลล์เท่านั้น

7. ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้สามารถนำไปพัฒนาในเรื่องของการเพิ่มระยะการทำงานของระบบจากเดิม 3-5 เมตรให้ครอบคลุมพื้นที่มากขึ้น และอีกหนึ่งหัวข้อที่น่าสนใจคือการเพิ่มประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์ให้มีระยะเวลาทำงานที่มากขึ้น

8. กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีเนื่องจากความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากอาจารย์ในสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ ให้คำปรึกษาการ ดำเนินงานวิจัย ตลอดจนได้ตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เป็นประโยชน์ในการจัดทำ การพัฒนาระบบไถ่ถอนโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกควบคุมผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่ แต่เริ่มดำเนินการจนกระทั่งดำเนินการเสร็จสมบูรณ์ ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ ขอขอบคุณผู้ตอบแบบสอบถามทุกๆ ท่าน ที่ได้กรุณาให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม คุณค่าและประโยชน์ของการศึกษาครั้งนี้ ผู้ศึกษาขอมอบเป็นเครื่องบูชาคุณ บูรพาจารย์ และผู้ที่มีอุปการคุณทุกท่านที่มีส่วนส่งเสริมให้ผู้ศึกษาประสบความสำเร็จในการดำเนินชีวิตและก้าวหน้าในหน้าที่การงาน

9. เอกสารอ้างอิง

กมลณิษฐ์ ภู่อ และคณะ (2563). ระบบตรวจจับความเคลื่อนไหวกรณีผู้บุกรุกพื้นที่ส่วนบุคคล และแจ้งเตือนผ่านสมาร์ตโฟน. หนังสือประมวลบทความการประชุมวิชาการระดับชาติครั้งที่ 8 ราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง, 1 มีนาคม 2563 ณ อาคารศูนย์ภาษาและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง, 3-12.

คุณทล จงจงประเสริฐ และ ธิดารัตน์ ขรรค์มา. (2561). เครื่องไถ่ถอนแบบระเหยอัจฉริยะ. ระดับปริญญาเทคโนโลยีบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

เกรียงศักดิ์ ปานโพธิ์ทอง และ ณัฐนนท์ ติลาตระกูล (2564). ระบบเซนเซอร์วัดการใช้ไฟฟ้าภายในคณะวิทยาการสารสนเทศ. ระดับปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยบูรพา.

SUPPORT THAIEASYELEC (2557). PIR Motion Sensor Getting Started. สืบค้นเมื่อ 21 ตุลาคม 2565. จาก <https://blog.thaieasyelec.com/getting-started-pir-motion-sensor/>

ประทาน มงคลชัยชวาล (2564). คลื่นอัลตราโซนิกคืออะไร. สืบค้นเมื่อ 9 ตุลาคม 2565. จาก

<https://patankit.com/what-is-ultrasonic-wave/>

โรงพยาบาลเพชรเวช (2565) ป้องกันเชื้อโรคจากนกพิราบ เพื่อความปลอดภัยต่อสมอง. สืบค้นเมื่อ 9 ตุลาคม 2565. จาก https://www.petcharavejhospital.com/th/Article/article_detail/Prevent-germs-from-pigeons-for-the-safety-of-the-brain

ออลพรีอเพอร์ดี มีเดีย จำกัด (2564). รู้จัก IoT และ 5 เทคโนโลยี IoT ที่ต้องมีติดบ้าน-คอนโดในดิจิทัล. สืบค้นเมื่อ 9 ตุลาคม 2565. จาก <https://www.ddproperty.com/คู่มือซื้อขาย/IoT-คืออะไร-ทำไมต้องมีติดบ้าน-คอนโดในยุคดิจิทัล-33489>

อุทยานวิทยาศาสตร์พระจอมเกล้า ณ หว้ากอ (2555). การรับรู้ความรู้สึกของนก. สืบค้นเมื่อ 9 ตุลาคม 2565. จาก <http://www.waghor.go.th/v1/elearning/nature/Bird&Insect/ie%20bird%20homepage/sensible%20of%20bird.htm>

ระบบแจ้งเตือนข้อมูลการขายสำหรับตู้ขายหน้ากากอนามัย

Sales Information Notification System for Face Mask Vending Machine

อรรถพันธ์ มุลฟู, สุภชัย พรหมประเสริฐ และ ธงรบ อักษร

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

E-mail: atthapan.m@psru.ac.th, supachai.p@psru.ac.th, auxsorn@psru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนา ระบบแจ้งเตือนข้อมูลการขายสำหรับตู้ขายหน้ากากอนามัย โดยมีวัตถุประสงค์ 1) พัฒนาระบบตู้ขายหน้ากากอนามัยแบบหยอดเหรียญ 2) เพื่อเพิ่มจุดจำหน่ายหน้ากากอนามัยในสถานที่ต่างๆ 3) เพื่อแจ้งเตือนข้อมูลเกี่ยวกับการขายหน้ากากอนามัย ผู้วิจัยได้นำเทคโนโลยีการควบคุมอุปกรณ์ขนาดเล็กมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมการทำงานของตู้ขายหน้ากากอนามัยอัตโนมัติแบบหยอดเหรียญ โดยเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล ESP8266 เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เซนเซอร์ตรวจจับวัตถุ เซอร์โวมอเตอร์ อุปกรณ์หยอดเหรียญ ไฟแอลอีดี เป็นต้น ผลการวิจัยพบว่า 1) ตู้ขายหน้ากากอนามัยอัตโนมัติแบบหยอดเหรียญทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในการทดลองใช้งานจากผู้ใช้งานจำนวน 110 คน มีผลการประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับที่ดีมาก โดยมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจอยู่ที่ 3.09 2) ตู้ขายหน้ากากอนามัยอัตโนมัติแบบหยอดเหรียญมีขนาดเล็กสามารถเคลื่อนย้ายและติดตั้งได้ง่าย การติดตั้งตู้ขายหน้ากากอนามัยอัตโนมัติแบบหยอดเหรียญใช้พื้นที่น้อยมาก ส่งผลให้สามารถเพิ่มจุดจำหน่ายได้เพิ่มมากขึ้นอย่างสะดวกรวดเร็ว 3) สามารถแจ้งเตือนข้อมูลต่างๆ ในการทำงานของตู้ขายหน้ากากอนามัยแบบหยอดเหรียญ เช่น จำนวนของหน้ากากอนามัย จำนวนเงิน ทางแอปพลิเคชันไลน์ ในงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการขายสินค้าอื่นๆ ได้ เพิ่มระบบชำระเงินแบบสแกนจ่ายผ่าน QR Code เพื่อความสะดวกกับลูกค้า

คำสำคัญ: ระบบแจ้งเตือน, ตู้ขายสินค้า, หน้ากากอนามัย

ABSTRACT

This research focuses on developing a sales information notification system for face mask vending machines with the objective. 1) Develop a coin-operated automatic mask vending machine system. 2) To increase sales points for face masks in various locations. 3) To notify information about the sale of face masks. The researcher has applied small device control technology to control the operation of a coin-operated face mask vending machine. We used the ESP8266 microcontrollers to connect with detection sensors, servo motors, coin-operated equipment and LED. The results found that 1) the coin-operated face mask vending machine worked effectively in a trial of 110 users, with satisfaction evaluation results at an excellent level. The average satisfaction rate was 3.09 2) Coin-operated face mask vending machines are small. It can be moved and installed easily. Installing a coin-operated face mask vending machine takes up very little space. It results in being able to increase sales points quickly and conveniently. 3) Be able to provide various information about the operation of the

automatic coin-operated face mask sales, such as the number of face masks and the amount of money through the Line application. This research can be applied to selling other products. Add a payment system that scans and pays via QR Code for convenience to customers.

KEYWORDS: Notification system, Vending machine, Face mask

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

จากสถานการณ์ปัจจุบันที่ได้มีเชื้อไวรัสโควิด 19 ที่ได้แพร่ระบาดมาอยู่ในประเทศไทยนั้น ก็ได้มีผู้ติดเชื้อและเสียชีวิตเป็นจำนวนมาก และ ก็ยังคงมีตัวเลขของผู้ที่ติดเชื้อที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ถึงแม้ว่าปัจจุบัน จะคงมีวัคซีนที่สามารถมาช่วยเยียวยาให้ไม่เกิดการติดเชื้อ แต่ก็ยังคงต้องระมัดระวังตัวกันอย่างต่อเนื่อง เพราะเชื้อไวรัสโควิด-19 ก็คงยังจะต้องอยู่กับเราไปอีกนาน และ สิ่งที่เราหาไม่ได้เลยในการป้องกันการติดเชื้อนั้น คือ การใส่หน้ากากอนามัย เป็นหนึ่งในวิธีที่จะช่วยลดการติดเชื้อได้อีกหนึ่งวิธี แต่จะต้องเป็นประเภทหน้ากาก N95 เท่านั้น เพราะมีประสิทธิภาพในการกรองสูง จากเชื้อไวรัสหรือสารปนเปื้อน มีความสามารถในการป้องกันเชื้อไวรัส เชื้อแบคทีเรีย และ ฝุ่นละออง ปัจจุบันการใช้หน้ากากอนามัยยังคงมีความจำเป็นต่อการใช้ชีวิต แม้ว่าบางพื้นที่จะสามารถให้ถอดหน้ากากได้แล้วก็ตาม เป็นสิ่งหนึ่งที่ยังคงต้องควรพกติดตัวไว้เสมอเมื่อไปยังที่ต่างๆที่ไม่ใช่พื้นที่ส่วนตัว เช่น ร้านสะดวกซื้อ สวนสาธารณะ หรือแม้พื้นที่ ที่มีผู้คนแออัดกันมากๆ ข้อควรระวังในการใช้หน้ากากอนามัย คือ เมื่อมีการใช้หน้ากากอนามัยจนเกิดความชื้นหรือการเปียกจากน้ำ ก็ควรที่จะทิ้งลงถังขยะทันทีและหยิบหน้ากากอนามัยแบบสำรองมาสวมใส่ บางครั้งหน้ากากอนามัยที่ซื้อมาผลิตได้ไม่ได้มาตรฐาน ก็มักจะเกิดเหตุการณ์ที่เชือกหน้ากากอนามัยขาดและไม่มีสำรองในเหตุการณ์นั้นๆ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำจำหน่ายหน้ากากอนามัยออกมา โดยศึกษาบอร์ด ESP 8266 ที่จะใช้เป็นปัจจัยหลักในการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ภายในตู้ขายหน้ากากอนามัย เมื่อหยอดเหรียญเข้าไปยังช่องหยอดเหรียญ ข้อมูลก็จะถูกป้อนเข้าไปยังตัวบอร์ด EPS 8266 เพื่อสั่งให้เซอร์โวมอเตอร์ทำการหมุนรอบเพื่อส่งหน้ากากอนามัยตกลงมายังช่องรับหน้ากากกับผู้ที่มาใช้งาน และแจ้งเตือนไปยัง Line Notify ของผู้ควบคุมตู้ทุกครั้งที่มีการใช้ตู้ขายหน้ากากอนามัย โดยจะแจ้งทั้งจำนวนเงินที่ได้ และจำนวนหน้ากากอนามัยที่ได้จำหน่ายออกไป เมื่อหน้ากากอนามัยหมดสถานะไฟหน้าตู้ก็จะขึ้นสีแดง และส่งข้อความแจ้งเตือนไปยัง Line Notify เพื่อแจ้งเตือนให้ทราบว่าหน้ากากอนามัยในตู้นั้นหมดแล้ว ผู้ที่ควบคุมตู้ก็จะสามารถรับรู้ถึงข้อความที่แจ้งเตือนไปยังในไลน์ได้ และนำหน้ากากอนามัยชุดใหม่ไปนำไปใส่เพิ่มเติมที่ตู้ได้ จากนั้นกดปุ่ม Reset ที่ตู้เพื่อคืนค่าทั้งหมด จึงจะสามารถใช้งานตู้ขายหน้ากากอนามัยใหม่ได้ทันที พร้อมไฟแจ้งเตือนสีเขียวแสดงให้ทราบว่าตู้พร้อมใช้งานอีกครั้ง

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดพัฒนาระบบตู้ขายหน้ากากอนามัยอัตโนมัติแบบหยอดเหรียญที่สามารถหยอดเหรียญเข้าไปแล้วรับหน้ากากอนามัยได้ทันที เพื่อลดปัญหาการไม่พร้อมต่อสถานที่เมื่อถึงคราวหน้ากากอนามัยชำรุด พร้อมเพิ่มระบบแจ้งเตือนจำนวนเงินและจำนวนหน้ากากอนามัยผ่านแอปพลิเคชัน ไลน์

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 พัฒนาระบบตู้ขายหน้ากากอนามัยแบบหยอดเหรียญ
- 2.2 เพื่อเพิ่มจุดจำหน่ายหน้ากากอนามัยในสถานที่ต่างๆ
- 2.3 เพื่อแจ้งเตือนข้อมูลเกี่ยวกับการขายหน้ากากอนามัย

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้จัดทำได้ศึกษาที่จะพัฒนาระบบตู้ขายหน้ากากอนามัยอัตโนมัติแบบหยอดเหรียญ โดยมีแนวคิดที่จะนำงานวิจัยหลายๆ ส่วนมาปรับใช้ โดยไอเดียมีต้นแบบจากงานวิจัยทั้ง 3 บทความ ดังนี้

พานิช อินต๊ะ (2564) ประสิทธิภาพการกรองของหน้ากากอนามัย หน้ากากผ้า และหน้ากาก N95/KN95/FFP1/FFP2 ที่มีใช้ในช่วงที่โควิด 19 ระบาดในประเทศไทย ผู้วิจัยได้ศึกษาเชิงทดลองประสิทธิภาพของการกรองอนุภาคกับหน้ากากอนามัย จากการสู่มุมเก็บตัวอย่างหน้ากากที่มีขายตามตลาด 259 ตัวอย่าง ทดสอบด้วยการทดสอบมาตรฐาน ASTM F2299-03 เพื่อหาประสิทธิภาพในการกรองอนุภาคทรงกลม วัสดุและอุปกรณ์ในการทดสอบของผู้วิจัยประกอบไปด้วยอนุภาคทรงกลมพอลิ สไตรีนลาเทกซ์แหล่งกำเนิดละอองลอยแบบอะตอมไมเซอร์ (atomizer aerosol generator) แหล่งจ่ายอากาศสะอาด เครื่องอัดอากาศ ตัวไล่ความชื้นแบบแพรวตัวทำให้ละอองลอยเป็นกลาง ชุดวาล์วปรับความเข้มข้น เครื่องแยกขนาดอนุภาค เครื่องนับอนุภาคแบบควมแน่นตัวยึดแผ่นกรอง มาตรฐานการไหล และปั๊มสุญญากาศ ทดสอบโดยการควบคุมอุณหภูมิกับความชื้นภายในห้องที่ 25 องศาเซลเซียส และ 55 %RH ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของการกรองเฉลี่ย ต่ำสุด สูงสุด และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของหน้าอนามัยมีค่าได้ 50.50, 2.50, 95.90 และ 26.34 % หน้ากากผ้ามีค่าได้ 39.10, 5.93, 87.55 และ 19.64 % ตามลำดับ และหน้ากาก N95/KN95/FFP1/FFP2 มีค่าได้ 72.21, 8.92, 99.97 และ 26.65 % ตามลำดับ บทความวิจัยข้างต้นยังอธิบายถึงหลักการกรองอนุภาคของโครงสร้างและส่วนที่เป็นองค์ประกอบของหน้ากากอนามัย

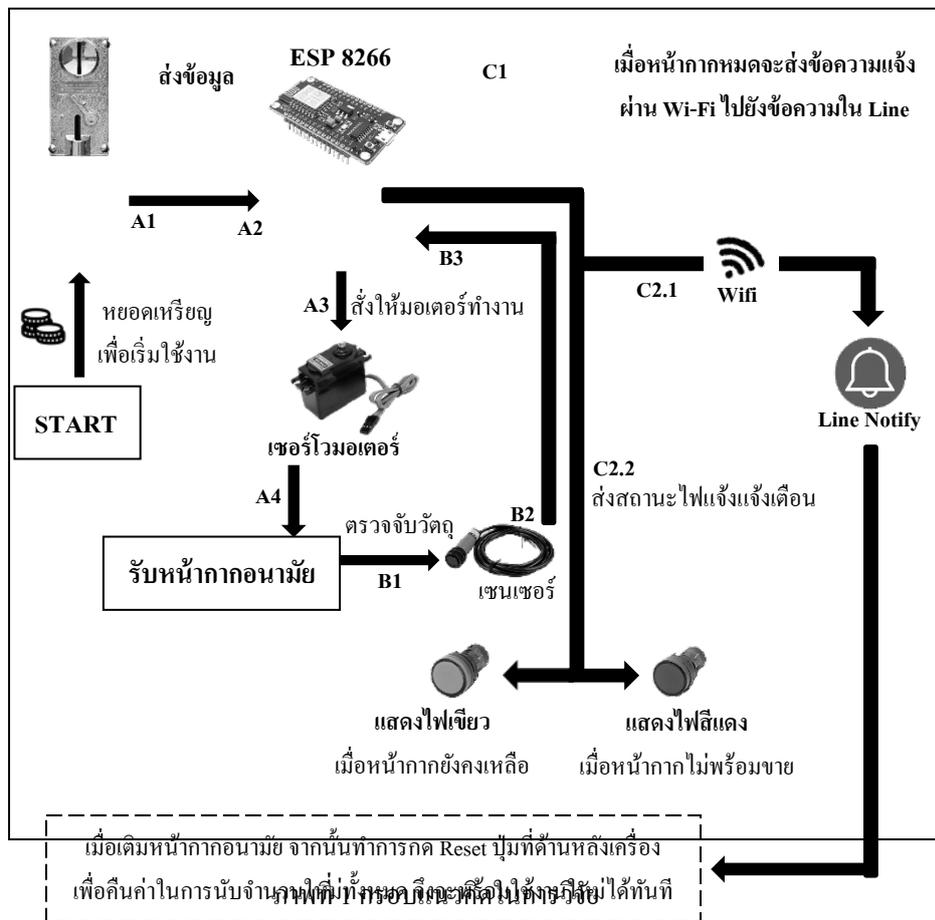
ชมพู ทรัพย์ปทุมสิน, เอกราช ตากกระโทก, กฤษณา วิไลลักษณ์ และสุริพร มีหอม (2565) เครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ผู้วิจัยได้พัฒนาเครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติที่ต้องการลดการสัมผัสและลดการแพร่เชื้อ โดยไม่จำเป็นต้องมีคนมีขายหน้าร้าน ทำให้ผู้ที่มาซื้อเพียงแค่หยอดเงินเข้าไปยังในเครื่องก็สามารถรับสินค้าได้ทันที โดยควบคุมการทำงานจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พัฒนาขึ้นนั้นสามารถหยอดเงินเพื่อซื้อสินค้าได้ทั้งแบบเหรียญ และธนบัตร และเพิ่มการทอนเหรียญได้แบบถูกต้อง มีการส่งแจ้งเตือนไปยังไลน์ โดยเครื่องที่พัฒนาและทดสอบสามารถพัฒนาเพื่อนำมาใช้งานจริงโดยราคาของเครื่องของผู้วิจัยมีราคาถูกกว่าของเครื่องที่ซื้อสินค้าอัตโนมัติจากตลาดทั่วไป และมีการแจ้งเตือนทางไลน์เพื่อรับใบเสร็จรับเงินที่ช่วยในการลดกระดาษ จากบทความ ในการออกแบบและสร้างเครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติที่ทำการพัฒนา สามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยมีความผิดพลาดที่ 10% ซึ่งเกิดขึ้นจากการส่งข้อความทางไลน์ ส่วนการทำงานของเครื่องนั้นไม่พบความผิดพลาด

ธีรวัฒน์ ปานกลาง, รักเกียรติ จำดำรงเกียรติ และ รัตนสุดา สุคนธ์สร (2564) การพัฒนาระบบตรวจวัดอุณหภูมิร่างกาย แจ้งเตือนข้อความและภาพถ่ายผ่านแอปพลิเคชัน จากบทความผู้วิจัยได้ทดสอบและพบว่าระบบสามารถตรวจวัดอุณหภูมิของร่างกายของบุคคลจากตำแหน่งที่เหมาะสม คือ หน้ากาก และระยะของเซนเซอร์ โดยตรวจจับได้ดีที่สุดอยู่ในระยะ 3 cm เมื่อเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิ โดยมีความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิ อยู่ที่ 0.07 องศาเซลเซียส ในสถานการณ์ของไวรัสโควิด 19 ที่เกิดขึ้นในทั่วโลก การคัดกรองผู้ป่วยเป็นเพียงการวัดอุณหภูมิ และจะมีเสียงแจ้งเตือนเมื่ออุณหภูมิเกินกำหนด และใช้ระบบการตรวจสอบของผู้ที่เข้าออกพื้นที่ซึ่งเป็นคนละระบบกัน จำเป็นที่จะต้องเจ้าหน้าที่ในการควบคุมตรวจสอบ ณ บริเวณจุดคัดกรองนั้น ซึ่งระบบตรวจวัดอุณหภูมิร่างกาย จะแจ้งเตือนข้อความ ภาพถ่ายผ่านไลน์ที่ผู้พัฒนาออกแบบมา บทความนี้ผู้พัฒนาสามารถตรวจสอบความผิดปกติของอุณหภูมิร่างกาย สามารถแจ้งเตือนด้วยเสียง และส่งข้อความกับภาพถ่ายไปยังไลน์ พร้อมบันทึกผล

สถานะอุณหภูมิในฐานข้อมูลเพื่อเป็นการตรวจสอบ สืบค้นข้อมูลย้อนหลังตามวันที่ ที่กำหนดผ่านเว็บเบราว์เซอร์ เพื่อลดความเสี่ยงกับการรับเชื้อของเจ้าหน้าที่หรือบุคคลที่ทำหน้าที่คัดกรองผู้ป่วยในสถานการณืนั้นๆ นอกจากนี้ ยังเพื่อการประมวลผลในกรณีที่อุณหภูมิสูงเกินกำหนด สามารถถ่ายภาพและส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังกลุ่มที่ดูแลพื้นที่ผ่านไลน์ เพื่อเป็นการสืบค้น และค้นหาผู้ป่วยได้อย่างรวดเร็วตามสถานการณ์ของการแพร่ระบาดของไวรัส โควิด 19 ที่เกิดขึ้น ณ ปัจจุบัน

3.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยมุ่งเน้นการควบคุมและแจ้งเตือนสถานะของระบบตู้ขายหน้ากากอนามัยอัตโนมัติแบบ หยอดเหรียญ ดังภาพที่ 1 โดยการทำงานของบอร์ด ESP 8266 จะเป็นปัจจัยหลักของการควบคุมทั้งหมด เมื่อหยอดเหรียญ เข้าสู่ช่องรับเหรียญค่าก็จะส่งไปยังบอร์ด ESP 8266 เพื่อรับข้อมูล แล้วส่งการทำงานให้มอเตอร์นั้นหมุน หน้ากากออกไปยังช่องรับของ เมื่อเซนเซอร์ตรวจจับได้ว่ามีวัตถุวิ่งลงมา ก็จะส่งค่าไปยังบอร์ด ESP 8266 เพื่อนับ จำนวนที่เหลือของหน้ากากอนามัยพร้อมแสดงจำนวนเงินไปยัง Line Notify เมื่อมีการใช้งานตู้ขายหน้ากากจน เซนเซอร์นับจำนวนครบแล้วตามที่ได้ใส่หน้ากากอนามัยหมดแล้ว ตัว ESP 8266 ก็จะส่งแจ้งเตือนข้อความ ไปยัง แอปพลิเคชัน ไลน์



3.3 สมมติฐานการวิจัย

- 1) ระบบตู้ขายหน้ากากอนามัยแบบหยอดเหรียญสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 2) ระบบสามารถแจ้งเตือนข้อมูลการขายหน้ากากอนามัยได้อย่างถูกต้องแม่นยำ
- 3) ผู้ใช้มีความพึงพอใจกับการใช้งานของระบบตู้ขายหน้ากากอนามัยแบบหยอดเหรียญ

4. วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการสร้างระบบผู้ขายหน้าากอนามย์อัตโนมัติแบบหยอดเหรียญ เพื่อให้งานวิจัยนี้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของผู้วิจัย จึงต้องกำหนดวิธีการดำเนินงานวิจัยในประเด็นต่อไปนี้ 1.แบบแผนการวิจัย 2.ประชากรและตัวอย่าง 3.เครื่องมือวิจัย และ 4.การเก็บรวบรวมข้อมูล

4.1 แบบแผนการวิจัย

เนื่องจากรูปร่างของแต่ละบุคคลนั้นมีขนาดใบหน้าที่ไม่เท่ากัน บางครั้งหน้าากอนามย์ที่ซื้อมาก็อาจจะไม่ได้ตามขนาดของรูปร่างสำหรับคนที่ใบหน้าใหญ่กว่าขนาดของหน้าากอนามย์ บุคคลเหล่านั้นจึงมักจะพบเหตุการณ์ที่หน้าากอนามย์ขาดชำรุดซึ่งหน้า ในขณะที่ออกไปทำธุระหรือกิจกรรมข้างนอก โดยเฉพาะในสถานที่มีผู้คนแออัดมากๆ เช่น หอประชุม อาคารเรียนต่างๆ หรือแม้กระทั่งร้านสะดวกซื้อที่มีผู้คนมาใช้ร่วมกัน จึงคิดที่จะนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการจำหน่ายหน้าากอนามย์ที่สามารถวางได้ตามจุดบริการ เพื่อเพิ่มการป้องกันการติดเชื้อในขณะที่มีผู้คนมาใช้สถานที่แต่ไม่ได้พกหน้าากอนามย์ติดมา

4.2 ประชากรและตัวอย่าง

บุคคลทั่วไปและนักศึกษาที่มาใช้บริการพื้นที่ของตึกไอทีชั้น 1 ในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จำนวนทั้งหมด 100 คน และผู้เชี่ยวชาญจำนวน 10 คน

4.3 เครื่องมือวิจัย

อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ ได้แก่ คอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง, บอร์ด ESP 8266, เซนเซอร์ตรวจจับวัตถุด้วยแสงอินฟราเรด, โมดูลบอร์ดรีเลย์, หลอดไฟสัญญาณ LED, เซอร์โวมอเตอร์, เครื่องหยอดเหรียญ, หม้อแปลงไฟฟ้า และโทรศัพท์ 1 เครื่อง ซอฟต์แวร์ ได้แก่ โปรแกรม Arduino IDE แอปพลิเคชัน ได้แก่ ไลน์ (Line)

4.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทำแบบสอบถามความพึงพอใจในการใช้งานทั้งหมด 100 คน และผู้เชี่ยวชาญจำนวน 10 คน จากนั้นนำผลคะแนนความพึงพอใจที่ได้มาจากการวิเคราะห์ข้อมูล โดยการอิงจากทำแบบสอบถามบน Google Form ที่ได้ให้ผู้ใช้งานมาลงความเห็นหลังจากใช้งานระบบผู้ขายหน้าากอนามย์อัตโนมัติแบบหยอดเหรียญ เพื่อดูความพึงพอใจของผู้ที่มาใช้งานจากนั้นหาค่าสถิติเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

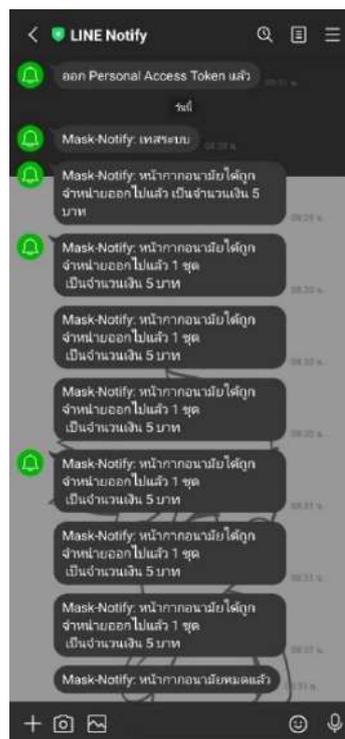
5. ผลการวิจัย

จากการศึกษาและพัฒนาระบบแจ้งเตือนข้อมูลการขายสำหรับผู้ขายหน้าากอนามย์แบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ผู้ขายหน้าากอนามย์แบบหยอดเหรียญ และ ส่วนของการแจ้งเตือนข้อมูลการขาย



ภาพที่ 2 ตู้ขายหน้ากากอนามัยแบบหยอดเหรียญ

จากภาพที่ 2 แสดงถึงตู้ขายหน้ากากอนามัยแบบหยอดเหรียญ เมื่อหยอดเหรียญตามราคาของหน้ากากอนามัยเข้าไปยังช่องรับเหรียญ มอเตอร์ก็จะส่งหน้ากากอนามัยลงมายังช่องรับสินค้า ซึ่งลูกค้าสามารถรับหน้ากากอนามัยได้ทันทีหลังจากหยอดเหรียญ



ภาพที่ 3 การแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์

จากภาพที่ 3 แสดงส่วนของการแจ้งเตือนบนแอปพลิเคชัน เมื่อเซนเซอร์ตรวจจับว่ามีหน้ากากอนามัยว่างครบตามจำนวนที่กำหนดไว้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งข้อความแจ้งเตือนข้อมูลการขายและสถานะของจำนวนหน้ากาก

ผู้วิจัยได้นำระบบตู้ขายหน้ากากอนามัยแบบหยอดเหรียญด้วยวิธีการนำไปทดลองใช้งานและศึกษาความพึงพอใจต่อผู้ที่มาใช้งานในพื้นที่ ที่ได้ให้บริการจำนวน 100 คน และผู้เชี่ยวชาญจำนวน 10 คน จากตารางที่ 1 แสดงถึงผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อการใช้งานระบบแจ้งเตือนข้อมูลการขายสำหรับผู้ขายหน้ากากอนามัย

ตารางที่ 1 ระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อการใช้งานระบบ

ข้อที่	ข้อความ	μ	σ	แปลผล
1	ความพึงพอใจในการใช้งาน	3.1	0.84	ดีมาก
2	ความสะดวกของการใช้ชิ้นงาน	3.08	0.89	ดีมาก
3	ดีไซน์ของชิ้นงาน	3.12	0.74	ดีมาก
4	ความแปลกใหม่ของแนวคิดชิ้นงาน	3.07	0.90	ดีมาก
5	ประสิทธิภาพของการใช้งาน	3.10	0.79	ดีมาก
รวม		3.09	0.83	ดีมาก

ค่าเฉลี่ย 3.00 ขึ้นไป มีระดับความพึงพอใจดีมาก ค่าเฉลี่ย 2.00 - 2.99 มีระดับความพึงพอใจดี ค่าเฉลี่ย 1.00 - 1.99 มีระดับความพึงพอใจปานกลาง ค่าเฉลี่ย 0.00 - 0.99 มีระดับความพึงพอใจน้อย

6. อภิปรายผล

จากการออกแบบ ศึกษา และพัฒนาระบบแจ้งเตือนข้อมูลการขายสำหรับผู้ขายหน้ากากอนามัยนั้นพบว่า 1) ผู้ขายหน้ากากอนามัยอัตโนมัติแบบหยอดเหรียญทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในการทดลองใช้งานจากผู้ใช้งานจำนวน 100 คน และผู้เชี่ยวชาญจำนวน 10 คน มีผลการประเมินความพึงพอใจอยู่ในระดับที่ดีมาก โดยมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจอยู่ที่ 3.09 2) ผู้ขายหน้ากากอนามัยอัตโนมัติแบบหยอดเหรียญมีขนาดเล็กสามารถเคลื่อนย้ายและติดตั้งได้ง่าย การติดตั้งผู้ขายหน้ากากอนามัยอัตโนมัติแบบหยอดเหรียญใช้พื้นที่น้อยมาก ส่งผลให้สามารถเพิ่มจุดจำหน่ายได้เพิ่มมากขึ้นอย่างสะดวกรวดเร็ว 3) สามารถแจ้งเตือนข้อมูลต่างๆ ในการทำงานของผู้ขายหน้ากากอนามัยแบบหยอดเหรียญ เช่น จำนวนของหน้ากากอนามัย จำนวนเงิน ทางแอปพลิเคชันไลน์

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสินค้าอื่นๆ ได้ และสามารถนำไปประยุกต์ให้ใช้งานกับอุปกรณ์อื่นๆ ที่มีวัตถุประสงค์ในลักษณะงานเดียวกัน

(2) สามารถนำ Line Notify ไปประยุกต์ใช้แจ้งเตือนข้อความสำหรับข่าวสารอื่นๆ ได้

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

(1) ให้เพิ่มระบบชำระเงินแบบสแกนจ่ายกับ QR Code เพื่อให้ระบบวิธีการชำระเงินนั้นเกิดความง่ายสะดวกต่อผู้ที่มาใช้งานกับตัวอุปกรณ์

(2) เปลี่ยนตัวหยอดเหรียญเพิ่มเพื่อการรับเหรียญได้มากกว่า 1 ชนิด (เหรียญ 1 บาท, เหรียญ 2 บาท และเหรียญ 10 บาท)

8. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่องระบบผู้ขายหน้ากากอนามัยอัตโนมัติแบบหยอดเหรียญจากการสำเร็จการศึกษาของตัวผู้วิจัยเองในระดับชั้นปริญญาตรี สามารถดำเนินการวิจัยและพัฒนาจนประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เพราะได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากอาจารย์ในหลักสูตรจากสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศที่ได้ให้คำปรึกษาในด้านต่างๆ ข้อคิดคำแนะนำ และการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง จนกระทั่งงานวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณวารสารงานวิจัย ข้อมูลจากเว็บไซต์ต่างๆ ที่ทำให้ผู้วิจัยสามารถนำมาต่อยอดเป็นแนวคิดในการพัฒนาระบบแจ้งเตือนข้อมูลการขายสำหรับผู้ขายหน้ากากอนามัย สุดท้ายนี้ผู้วิจัยคงหวังว่างานวิจัยฉบับนี้คงสามารถเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงาน และผู้ที่สนใจในการศึกษาในครั้งต่อไป

9. เอกสารอ้างอิง

พานิช อินต๊ะ. (2564). ประสิทธิภาพการกรองของหน้ากากอนามัย หน้ากากผ้า และหน้ากาก

N95/KN95/FFP1/FFP2 ที่มีใช้ในช่วงที่โควิด 19 ระบาดในประเทศไทย. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 29(5), 905-918.

ชมพู ทรัพย์ปทุมสิน, เอกราช ตากกระโทก, กฤษฎา วิไลลักษณ์ และสุริพร มีหอม. (2565). เครื่องจำหน่ายสินค้าอัตโนมัติควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์. *วารสารมหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล*, 35(1), 103-117

ธีรฉวัลย์ ปานกลาง, รักเกียรติ ขำดำรงเกียรติ และ รัตนสุดา สุกคณัยสร. (2564). การพัฒนาระบบตรวจวัดอุณหภูมิร่างกายแจ้งเตือนข้อความและภาพถ่ายผ่านแอปพลิเคชันไลน์. *วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : เทพสตรี I-TECH*, 16(1), 27-38

มุกิตา ชัยชโลธร, เบ็ญจมาศ เกียรติเกษมสานต์ และพิพัฒน์ แซ่ฮับ. (2563). หน้ากาก N95 ในสถานการณ์การระบาดของ COVID-19. *ภาควิชาวิสัญญีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย*, 46(3), 95-102

ชิตวิวัฒน์ ศรีประสารณ์. (2021). การสวมหน้ากากอนามัยชนิด N95 อย่างถูกวิธี. [ออนไลน์].

สืบค้นเมื่อ 20 ธันวาคม 2565 จาก: <https://shorturl.at/btO68>

บริษัท ผลัญญู จำกัด (มหาชน). หน้ากาก N95 ของแท้ ดูอย่างไร. [ออนไลน์].

สืบค้นเมื่อ 20 ธันวาคม จาก: <https://thai-safetywiki.com/n95-niosh/>

Onanong. (2564). ไม่พลาดการแจ้งเตือนด้วย LINE Notify ตัวช่วยใหม่ในการทำธุรกิจ. [ออนไลน์].

สืบค้นเมื่อ 20 ธันวาคม 2565 จาก: <https://shorturl.at/oqP08>

ผลของการเสริมเปลือกหอมหัวใหญ่ ต่อการเจริญเติบโต และระบบภูมิคุ้มกันของปลานิล

Effect of Onion (*Allium cepa* Linn.) peel as feed supplement on growth and Immune system of Tilapia (*Oreochromis niloticus*)

อรอนงค์ ทับทิม

คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

E-mail: ornanong3938@gmail.com

รองศาสตราจารย์ ดร. ชนกันต์ จิตมนัส

คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

E-mail: chanagun@mju.ac.th

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดารชาติ เทียมเมือง

คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

E-mail: daracha@mju.ac.th

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สูดพร ตงศิริ

คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

E-mail: sudap2515@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาการเจริญเติบโต และระบบภูมิคุ้มกันในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ แบ่งชุดทดลองเป็น อาหารควบคุม (OP) อาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่ผสม 10 กรัมต่อกิโลกรัม (OP10), 20 กรัมต่อกิโลกรัม (OP20) และ 40 กรัมต่อกิโลกรัม (OP40) วางแผนทดลองแบบ CRD มี 4 ชุดทดลองๆละ 4 ซ้ำ ให้อาหารปลา 4 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว เลี้ยงเป็นระยะเวลา 30 วัน ผลการทดลอง พบว่า น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพอาหาร ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และอัตราการรอด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) การตอบสนองทางภูมิคุ้มกัน พบว่า กิจกรรมของไลโซไซม์ของซีรัมและกิจกรรมเปอร์ออกซิเดสของเมือก ชุดการทดลอง OP10 ค่าสูงสุด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และกิจกรรมของไลโซไซม์ของเมือกและ กิจกรรมเปอร์ออกซิเดสของซีรัม ชุดการทดลอง OP20 ค่าสูงสุด ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังนั้น การเสริมเปลือกหอมหัวใหญ่ไม่ส่งผลกระทบต่อ การเจริญเติบโต และการเสริมเปลือกหอมหัวใหญ่ 10 กรัมต่อกิโลกรัม มีผลดีต่อภูมิคุ้มกันปลานิล

คำสำคัญ: ปลานิล, เปลือกหอมหัวใหญ่, การเจริญเติบโต, ภูมิคุ้มกัน

ABSTRACT

This study evaluated the effects of onion peel (OP) additive feed on the growth performance and immunological responses of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). The experiments were control (feed without OP), onion peel 10 g/kg feed (OP10), onion peel 20 g/kg feed (OP20), and onion peel 40 g/kg feed (OP40). The Completely Randomized Design (CRD) was applied with 4 treatments and 4 replications in each treatment. Fish were fed for 4 percent of body weight and cultured for 30 days. The results showed that weight gain, average daily weight gain, specific growth rate, feed conversion ratio, feed efficiency ratio, food conversion efficiency and survival rate were not significantly different ($p>0.05$). The highest values of serum lysozyme activity and mucus peroxidase activity were observed in the experimental OP10 which were significantly different ($p<0.05$). In addition, the highest values of mucus lysozyme activity and serum peroxidase activity were observed in the experimental OP20 which were significantly different ($p<0.05$). Therefore, onion peel supplementation feed did not affect growth; however, the application of onion peel 10 g/kg feed had positive effects on the immune responses in tilapia.

Keywords: Tilapia, Onion Peel, Growth performances, Immune system

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ปลานิล เป็นปลาที่นิยมเลี้ยงกันมากทั้งในรูปแบบการค้าและเลี้ยงไว้บริโภคภายในครัวเรือน เนื่องจากเป็นปลาที่เลี้ยงง่าย กินอาหารได้เกือบทุกชนิด เมื่อรสชาติดี จึงมีความต้องการในตลาดสูง (สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, 2553) ปลานิลมีการเพาะเลี้ยงมากที่สุด มีผลผลิตเฉลี่ย 216,727 ตันต่อปี (ร้อยละ 50.63) คิดเป็นมูลค่า 10,592 ล้านบาทต่อปี (ร้อยละ 42.09) โดยผลผลิตและมูลค่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอัตราร้อยละ 5.44 และ 5.95 ต่อปี ตามลำดับ (กรมประมง, 2566) โดยต้นทุนหลักของการเลี้ยงปลานิล คือ ร้อยละ 60 เป็นต้นทุนอาหารปลา ดังนั้นการเลี้ยงปลานิลเพื่อจำหน่าย จึงมีความจำเป็นที่ต้องคำนึงถึงในด้านต้นทุนอาหารปลา วัตถุดิบอาหารควรหาได้ง่าย ราคาต่ำ เพื่อลดต้นทุนการผลิตให้ได้มากที่สุด (ศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำอุดรดิตถ์, 2562)

การนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจ เป็นแนวทางลดปัญหาของเสียจากการเกษตรและแปรรูป เปลือกหอมหัวใหญ่เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติส่งเสริมสุขภาพ มีสารพฤกษเคมีหลากหลายชนิดที่สำคัญ ได้แก่ สารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์ และฟลาโวนอล (นิธิยา รัตนาปนนท์ และคณะ บุญเกียรติ, 2562) และนอกจากนี้ ยังพบว่า หอมหัวใหญ่มีพื้นที่เพาะปลูกอยู่ในเขตภาคเหนือเป็นส่วนใหญ่ มีการนำมาใช้ประโยชน์ จะเป็นการลดการทิ้งวัสดุในธรรมชาติได้ ผู้วิจัยจึงสนใจนำเปลือกหอมหัวใหญ่เสริมในอาหารปลานิล เพื่อศึกษาผลที่มีต่อการเจริญเติบโตและสร้างภูมิคุ้มกัน อันเป็นแนวทางในการลดการใช้ยาและสารเคมี

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาการเจริญเติบโต และระบบภูมิคุ้มกัน ของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมเปลือกหอมหัวใหญ่ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปลานิล เป็นปลาที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายทั่วทุกภาคของประเทศไทย เนื่องจากเป็นปลาที่มีรสชาติดี เป็นที่ต้องการของตลาดทั้งภายในและต่างประเทศ (ศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุ์กรรมสัตว์น้ำอุดรธานี, 2562) ในขณะที่ผลผลิตของปลานิลได้มาจากการเลี้ยงในบ่อดิน การเลี้ยงในกระชัง การเลี้ยงในนาข้าว การเลี้ยงในบ่อซีเมนต์ การเลี้ยงในบ่อพลาสติก และการเลี้ยงในร่องสวน จากข้อมูลการเลี้ยงปลานิลในประเทศไทยมีพื้นที่รวมทั้งสิ้น 359,680 ไร่ ผลผลิตรวม 271,323 ตันต่อปี ผลผลิตเฉลี่ย 580 กิโลกรัมต่อไร่ (ผลผลิตเฉลี่ยยังไม่รวมกับผลผลิตกระชัง) (ทัศนิน วรณเกตุศิริ, 2566) ซึ่งในปัจจุบันมีเกษตรกรเลี้ยงปลานิลเป็นอาชีพกันมากขึ้นทั้งในบ่อดินและกระชัง สามารถผลิตปลานิลเพื่อการค้าให้มีขนาดตัวใหญ่ตามความต้องการของตลาดได้ นับว่าเป็นความสำเร็จของเกษตรกรผู้เลี้ยงปลานิล แต่ข้อจำกัดในเรื่องต้นทุนอาหารที่มีราคาเพิ่มขึ้น ทำให้มีการหาวัตถุดิบอาหารมาทดแทนเพื่อลดต้นทุนการผลิต

อาหารที่ใช้เลี้ยงปลาส่วนใหญ่ประกอบด้วยวัตถุดิบที่ได้จากพืชและสัตว์ ได้แก่ ปลาช่อน ข้าว โปด รา ละออง ปลาป่น กากถั่วเหลือง เป็นต้น บางส่วนได้จากสังเคราะห์ทางเคมี ได้แก่ กรดอะมิโนต่างๆ วิตามินต่างๆ ล้วนมีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิต การเจริญเติบโต การสร้างภูมิคุ้มกันและการให้ผลผลิต ซึ่งการนำวัตถุดิบอาหารเหล่านี้ไปให้ปลากินเพียงอย่างเดียวหรือผสมรวมอาหาร ควรมีความเข้าใจคุณลักษณะและส่วนประกอบของสารอาหารเพื่อจะได้นำไปใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสม (นิวุฒิ หวังชัย, 2549)

หอมหัวใหญ่ (*Allium cepa* L.) จัดเป็นพืชผักที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ นิยมนำมาบริโภคสดหรือนำประกอบอาหาร และใช้แปรรูปในโรงงานอุตสาหกรรม และยังมีคุณสมบัติส่งเสริมสุขภาพ ซึ่งมีสารพฤกษเคมีหลากหลายชนิดที่สำคัญ ได้แก่ สารประกอบฟีนอล (9.4-52.7 mg GAE/g) ฟลาโวนอยด์ (7.0-43.1 mg QE/g) และฟลาโวนอล (6.19-27 mg/g) (Kumar, 2022) ซึ่งหอมหัวใหญ่มีน้ำ 90 เปอร์เซ็นต์ แคลอรีต่ำ มีใยอาหารและน้ำตาลสูง วิตามินและแร่ธาตุค่อนข้างสูง และมีวิตามินบี 6 กรดโฟลิก แคลเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมสูง ในทางตรงกันข้าม หัวหอมมีไขมันต่ำ และมีกรดอะมิโน อาร์จินิน และกรดกลูตามิกที่สูง (นิธิยารัตนาปนนท์ และคณะ บุญเกียรติ, 2562) ซึ่งสารประกอบฟีนอลิก เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ด้านการอักเสบ ป้องกันความเสียหายจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต ป้องกันการเกิดมะเร็ง ในขณะที่สารต้านออกซิเดชันหรือสารกำจัดอนุมูลอิสระ จะยับยั้งหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (วัลย์พร ลินสวัสดิ์ และคณะ, 2564) ฟลาโวนอยด์ เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยลดระดับคลอเลสเตอรอลในกระแสเลือด ให้เม็ดเลือดไม่จับตัวเป็นก้อน ป้องกันการเกิดมะเร็งและต้านจุลินทรีย์ (Panche, 2016)

การศึกษาการเลี้ยงปลานิลด้วยอาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่ที่ระดับแตกต่างกัน เป็นแนวทางที่จะทำให้ปลานิลที่เลี้ยงมีการเจริญเติบโตดี และมีการสร้างภูมิคุ้มกันที่ดีในการเจริญเติบโต ซึ่งเป็นแนวทางที่จะทำให้ได้สูตรอาหารที่เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลานิล

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 ตัวอย่างเปลือกหอมหัวใหญ่

นำเปลือกหอมหัวใหญ่ที่ได้จาก บริษัท ประภาพร โพรดักชั่น จำกัด จังหวัดเชียงใหม่ มาล้างด้วยน้ำสะอาด ผึ่งให้แห้ง อบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส บดเปลือกหอมหัวใหญ่แห้งให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น แล้วเก็บใส่ในถุงที่ปิดสนิทและเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

4.2 ตัวอย่างปลานิล

เตรียมปลานิลน้ำหนักเฉลี่ย 15 กรัม ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ปล่อยในตู้ทดลองขนาด 36x16x18 นิ้ว และติดตั้งออกซิเจน จำนวน 16 ตู้ ปล่อยในอัตราส่วน 20 ตัวต่อตู้ โดยชั่งน้ำหนักเริ่มต้นในแต่ละหน่วยการทดลอง บันทึกผล

4.3 วางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) โดยแบ่งการทดลองเป็น 4 หน่วยการทดลอง แต่ละหน่วยการทดลอง แบ่งออกเป็น 4 ซ้ำ

หน่วยการทดลองที่ 1 อาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่เป็นส่วนผสม 0 กรัมต่อกิโลกรัม (OP0)

หน่วยการทดลองที่ 2 อาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่เป็นส่วนผสม 10 กรัมต่อกิโลกรัม (OP10)

หน่วยการทดลองที่ 3 อาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่เป็นส่วนผสม 20 กรัมต่อกิโลกรัม (OP20)

หน่วยการทดลองที่ 4 อาหารที่มีเปลือกหอมหัวใหญ่เป็นส่วนผสม 40 กรัมต่อกิโลกรัม (OP40)

สูตรอาหารในการทดลองเป็นอาหารที่ผลิตเอง อาหารที่มีโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ ให้อาหารวันละ 2 ครั้ง (8.00 น.-16.00 น.) อัตราส่วนของกรให้อาหาร 4 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวต่อวัน เปลี่ยนถ่ายน้ำ 50 เปอร์เซ็นต์ สัปดาห์ละครั้ง ทำการเลี้ยงโดยใช้ระยะเวลา 30 วัน วัดการเจริญเติบโตและคุณภาพน้ำทุกๆ 15 วัน วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของอาหารที่ใช้เลี้ยงปลานิล ได้แก่ ความชื้น ใย โปรตีน ไขมัน เยื่อใย ตามวิธีของ AOAC (1995) ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (NFE) คำนวณจาก $100 - (\text{โปรตีน} + \text{ไขมัน} + \text{ความชื้น} + \text{ใย} + \text{เยื่อใย})$ และค่าพลังงาน (GE) คำนวณจาก $(\text{เปอร์เซ็นต์โปรตีน} \times 5.64) + (\text{เปอร์เซ็นต์ไขมัน} \times 9.44) + (\text{เปอร์เซ็นต์ NFE} \times 4.11)$ ตามวิธีของ NRC (1993)

ตารางที่ 1 วัตถุดิบอาหารและองค์ประกอบใกล้เคียงของอาหารทดลอง (% น้ำหนักแห้ง)

วัตถุดิบอาหาร (กรัม/กิโลกรัม)	OPP0	OPP10	OPP20	OPP40
ปลาป่น	200	200	200	200
ข้าวโพด	150	150	150	150
ถั่วเหลือง	400	400	400	400
แป้งสาลี	60	60	60	60
รำละเอียด	150	140	130	110
เปลือกหอมหัวใหญ่	0	10	20	40
สารเหนียว	20	20	20	20
น้ำมันถั่วเหลือง	5	5	5	5
พรีมิกซ์	10	10	10	10
วิตามิน C	5	5	5	5
พลังงานรวม (กิโลแคลอรี/กรัม)	3,553	3,512	3,470	3,387
องค์ประกอบใกล้เคียง (% น้ำหนักแห้ง)				
ความชื้น	6.42±0.14 ^a	6.34±0.13 ^a	6.42±0.48 ^a	6.51±0.89 ^a
ใย	12.28±0.60 ^b	11.53±0.71 ^a	12.35±0.23 ^b	12.69±0.14 ^b
ไขมัน	2.05±0.04 ^a	2.24±0.07 ^b	2.16±0.00 ^{ab}	2.01±0.03 ^a
เยื่อใย	8.25±0.26 ^{ab}	7.44±0.26 ^a	9.11±0.10 ^{bc}	10.23±0.33 ^c
โปรตีน	30.19±0.50 ^a	29.87±0.80 ^a	29.05±0.50 ^a	29.28±0.30 ^a
คาร์โบไฮเดรต	40.83±0.56 ^{ab}	42.60±1.02 ^b	40.91±0.60 ^{ab}	39.30±0.57 ^a

หมายเหตุ: แต่ละค่าแสดงถึงค่าเฉลี่ย ± SE ค่าในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรด้วยต่างกันจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

4.4 ศึกษาการเติบโตในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอยหัวใหญ่

ลุ่มวัดชั่งน้ำหนักในแต่ละหน่วยการทดลอง ทุกๆ 15 วัน เพื่อทำการเก็บข้อมูลการเจริญเติบโต คำนวณ ดังนี้

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (weight gain, WG; กรัม)

= น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง - น้ำหนักปลาเมื่อเริ่มการทดลอง

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อวัน (average daily weight gain, ADG; กรัมต่อตัวต่อวัน)

= น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง - น้ำหนักปลาเมื่อเริ่มต้นการทดลอง / ระยะเวลาทดลอง

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate, SGR; เปอร์เซ็นต์ต่อวัน)

= $(\ln$ น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง - \ln น้ำหนักปลาเริ่มต้นการทดลอง) x 100 / ระยะเวลาทดลอง

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio, FCR)

= น้ำหนักอาหารที่ปลากิน / น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น

ประสิทธิภาพอาหาร (feed efficiency ratio, FER)

= น้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น / น้ำหนักอาหารแห้งที่ปลากิน

อัตราการรอด (survival rate, SR; เปอร์เซ็นต์)

= (จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง / จำนวนปลาเริ่มต้น) x 100

4.5 การศึกษาภูมิคุ้มกันในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอยหัวใหญ่

วิธีหาค่ากิจกรรมไลโซไซม์ (Lysozyme activity)

กิจกรรมของไลโซไซม์ในซีรัมและเมือก โดยใช้ตามวิธีการของ Parry Jr et al. (1965) โดยใช้เซรัม 25 ไมโครลิตร ส่วนเมือก 100 ไมโครลิตร จากนั้นเติม 175 ไมโครลิตร *Micrococcus lysodeikticus* ผสมอย่างรวดเร็ว นำไปวัดค่าความขุ่นทุกๆ 30 วินาที เป็นเวลา 5 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร หน่วยกิจกรรมที่เทียบเท่าของตัวอย่างถูกกำหนดและเปรียบเทียบกับเส้นกราฟมาตรฐาน

วิธีหาค่ากิจกรรมเปอร์ออกซิเดส (Peroxidase activity)

กิจกรรมเปอร์ออกซิเดสในซีรัมและเมือก โดยใช้ตามวิธีการของ Quade and Roth (1997) โดยการเตรียมซีรัม และ เมือก 5 ไมโครลิตร เติม 45 ไมโครลิตร Hank's balanced salt solution (HBSS) ที่ไม่มี Ca^{2+} หรือ Mg^{2+} และเติมสารละลาย 100 ไมโครลิตร (40 มิลลิลิตร น้ำกลั่น, 10 ไมโครลิตร Hydrogen peroxide, 1 เม็ด 3,3',5,5'-tetramethylbenzidine) แล้วเติม 50 ไมโครลิตร 2 M Sulfuric acid เพื่อหยุดปฏิกิริยาการเปลี่ยนสี และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 450 นาโนเมตร ให้ตัวอย่างที่ไม่มีซีรัมหรือเมือกให้เป็นชุดควบคุม หนึ่งหน่วยถูกกำหนดให้เป็นปริมาณที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการดูดกลืนแสงหนึ่ง และกิจกรรมแสดงเป็นหน่วย units (U)/mg serum หรือ mucus proteins

4.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติระหว่างกลุ่มทดลอง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้โปรแกรม IBM SPSS Statistics 23 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธีการของ Turkey's Test

5. ผลการวิจัย

ผลการศึกษาการเติบโตในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอยหั่วใหญ่ พบว่า น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นในทุกชุดการทดลอง มีค่าดังนี้ ชุดการทดลอง OP0 มีค่า 17.55 ± 0.37 กรัมต่อตัว ชุดทดลอง OP20 มีค่า 17.43 ± 0.76 กรัมต่อตัว ชุดทดลอง OP10 มีค่า 17.21 ± 1.02 กรัมต่อตัว และชุดการทดลอง OP40 มีค่า 16.97 ± 0.48 กรัมต่อตัว ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) การเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวันในชุดทดลอง OP0 และชุดการทดลอง OP20 ค่าสูงสุดเท่ากันซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนอัตราการเจริญเติบโตเฉพาะ ในชุดการทดลอง OP0 และชุดการทดลอง OP20 มีค่าสูงสุดเท่ากัน ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ในชุดการทดลอง OP0 มีค่า 1.22 ± 0.02 ต่ำสุด ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เช่นเดียวกับ ประสิทธิภาพอาหารในชุดการทดลอง OP0 มีค่า 0.83 ± 0.01 มากที่สุด แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และอัตราการรอด ในทุกชุดทดลอง มีค่า 100 ± 0.00 เปอร์เซ็นต์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในอาหารทุกชุดทดลอง (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 การเจริญเติบโตของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอยหั่วใหญ่ที่ระดับแตกต่างกัน

พารามิเตอร์	ชุดการทดลอง			
	OP0	OP10	OP20	OP40
น้ำหนักปลาเริ่มต้น (กรัม)	15.00 ± 0.00^a	15.00 ± 0.00^a	15.00 ± 0.00^a	15.00 ± 0.00^a
น้ำหนักปลาลิ้นชุดการทดลอง (กรัม)	32.71 ± 0.38^a	32.21 ± 1.02^a	32.49 ± 0.73^a	32.11 ± 0.49^a
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	17.55 ± 0.37^a	17.21 ± 1.02^a	17.43 ± 0.76^a	16.97 ± 0.48^a
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อวัน (กรัม/ตัว/วัน)	0.59 ± 0.01^a	0.58 ± 0.04^a	0.59 ± 0.03^a	0.57 ± 0.02^a
อัตราการเจริญเติบโตเฉพาะ (เปอร์เซ็นต์/วัน)	3.86 ± 0.81^a	3.82 ± 0.22^a	3.86 ± 0.18^a	3.74 ± 0.11^a
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	1.22 ± 0.02^a	1.25 ± 0.06^a	1.23 ± 0.04^a	1.25 ± 0.02^a
ประสิทธิภาพอาหาร	0.83 ± 0.01^a	0.81 ± 0.04^a	0.82 ± 0.03^a	0.80 ± 0.02^a
อัตราการรอด (เปอร์เซ็นต์)	100 ± 0.00^a	100 ± 0.00^a	100 ± 0.00^a	100 ± 0.00^a

หมายเหตุ: แต่ละค่าแสดงถึงค่าเฉลี่ย \pm SE ค่าในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรตัวยกต่างกันจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

การตอบสนองทางภูมิคุ้มกันของเมือก พบว่า กิจกรรมของไลโซไซม์ ในชุดการทดลอง OP20 สูงสุด มีค่า $0.64 \pm 0.03 \mu\text{g/mL}$ และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับชุดการทดลอง OP0 และชุดการทดลอง OP40 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และกิจกรรมเปอร์ออกซิเดส ในชุดทดลอง OP10 สูงสุด มีค่า $0.14 \pm 0.01 \mu\text{g/mL}$ ซึ่งมากกว่าในชุดทดลอง OP0 มีค่า $0.10 \pm 0.01 \mu\text{g/mL}$ ($p < 0.05$) ส่วนการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันของซีรัม พบว่า กิจกรรมของไลโซไซม์ ในชุดการทดลอง OP10 สูงสุด มีค่า $4.57 \pm 0.28 \mu\text{g/mL}$ และแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับชุดการทดลอง OP0 และชุดการทดลอง OP40 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่ กิจกรรมเปอร์ออกซิเดส ในชุดการทดลอง OP20 ค่าสูงสุด มีค่า $0.05 \pm 0.00 \mu\text{g/mL}$ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับชุดทดลอง OP0 มีค่า $0.03 \pm 0.01 \mu\text{g/mL}$ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ภูมิคุ้มกัน โดยกำเนิดของปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอยหั่วใหญ่ที่ระดับแตกต่างกัน

พารามิเตอร์	ชุดการทดลอง			
	OP0	OP10	OP20	OP40
กิจกรรมของไลโซไซม์ ($\mu\text{g/mL}$)				
เมื่อก	0.48±0.04 ^a	0.58±0.04 ^{ab}	0.64±0.03 ^b	0.48±0.03 ^a
ซีรัม	3.61±0.21 ^a	4.57±0.28 ^b	4.22±0.17 ^{ab}	3.61±0.15 ^a
กิจกรรมเปอร์ออกซิเดส ($\mu\text{g/mL}$)				
เมื่อก	0.10±0.01 ^a	0.14±0.01 ^b	0.12±0.01 ^{ab}	0.11±0.01 ^{ab}
ซีรัม	0.03±0.01 ^a	0.04±0.01 ^{ab}	0.05±0.00 ^b	0.03±0.01 ^{ab}

หมายเหตุ: แต่ละค่าแสดงถึงค่าเฉลี่ย \pm SE ค่าในแถวเดียวกันที่มีตัวอักษรตัวยกต่างกันจะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

6. อภิปรายผล

การศึกษาการเจริญเติบโตในปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอยหั่วใหญ่ที่ระดับแตกต่างกัน อาหารทดลองมีโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงเป็นระยะเวลา 30 วัน ผลการทดลอง พบว่า น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตเฉพาะ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพอาหาร และอัตราการรอด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แตกต่างกับการศึกษาของ Aluta et al. (2021) ที่มีการเติมผงเปลือกหอยผสมในอาหารปลาตุกรัสเซีย (African catfish, *Clarias gariepinus*) พบว่า ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริมผงเปลือกหอยที่ระดับ 20 และ 60 กรัมต่อกิโลกรัม นาน 42 วัน มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น อัตราการเติบโตเฉพาะ และอัตราการเปลี่ยนอาหารที่ดี มีค่าฮอร์โมนคอร์ติซอลลดลง แต่มีเอนไซม์ต้านอนุมูลอิสระ (คาตาเลสและกลูตาไธโอน) เพิ่มขึ้น ในขณะที่การศึกษาของ Seden (2013) พบว่า ปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมผงหั่วหอย 0.5 เปอร์เซ็นต์ นาน 15 สัปดาห์ มีการเจริญเติบโต การเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพอาหาร ประสิทธิภาพโปรตีน มีการใช้โปรตีนที่ชัดเจน และการใช้พลังงานดีที่สุด และสามารถลดต้นทุนอาหารปลานิล เช่นเดียวกับ Saleh et al. (2015) พบว่า ปลากระพงขาวที่ได้รับอาหารผสมผงหั่วหอย 10 กรัมต่อกิโลกรัม นาน 8 สัปดาห์ สามารถเพิ่มอัตราการรอด การเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหาร

การตอบสนองทางภูมิคุ้มกัน ผลการทดลอง พบว่า กิจกรรมของไลโซไซม์ของซีรัมและกิจกรรมเปอร์ออกซิเดสของเมื่อก ชุดการทดลอง OP10 ค่าสูงสุด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และกิจกรรมของไลโซไซม์ของเมื่อกและกิจกรรมเปอร์ออกซิเดสของซีรัม ชุดการทดลอง OP20 ค่าสูงสุด ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับ การศึกษาของ Elgendy et al. (2022) ได้ทดลองให้อาหารเสริมหั่วหอยและหั่วหอยสกัด 0.5-1 เปอร์เซ็นต์ แก่ปลานิล นาน 30 วัน เพื่อเพิ่มความต้านทานต่อโรคติดเชื้อรา (*Saprolegnia parasitica*) และลดความเป็นพิษของแคดเมียมที่ปนเปื้อนในน้ำ (1.51 mg Cd/L) พบว่า ปลานิลที่ได้รับอาหารเสริมหั่วหอยสกัด 0.5 เปอร์เซ็นต์ มีการแสดงออกของยีนที่เกี่ยวข้องกับภูมิคุ้มกัน (IL-1 β และ IFN γ) มีอัตราการตายหลังจากสัมผัสเชื้อราลดลงและช่วยบรรเทาพิษที่เกิดจากแคดเมียม นอกจากนี้ การศึกษาของ Cho et al. (2012) ได้เสริมผงหั่วหอย 0.5 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารของปลาลิ้นหมาทะเล (*Paralichthys olivaceus*) มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงการทำงานของไลโซไซม์ และ ผงหั่วหอยมีสารกระตุ้นภูมิคุ้มกันที่มีประสิทธิภาพ การลดอัตราการตาย จากการติดเชื้อ *E. tarda* เช่นเดียวกับ Akrami, et al. (2015)

แสดงให้เห็นว่าผงหัวหอมที่ 1 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารสามารถปรับปรุงการเจริญเติบโต พารามิเตอร์ทางโลหิตวิทยา และการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันของลูกปลาเบลูก้า

ปลานิลที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมเปลือกหอมหัวใหญ่ เป็นระยะเวลา 30 วัน น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพอาหาร และอัตราการรอด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ในขณะที่กิจกรรมของไลโซไซม์ของซีรัมและกิจกรรมเปอร์ออกซิเดสของเมือก ชุดการทดลอง OP10 ค่าสูงสุด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และกิจกรรมของไลโซไซม์ของเมือกและกิจกรรมเปอร์ออกซิเดสของซีรัม ชุดการทดลอง OP20 ค่าสูงสุด ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังนั้น การเสริมเปลือกหอมหัวใหญ่ไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตและการเสริมเปลือกหอมหัวใหญ่ 10 กรัมต่อกิโลกรัม มีผลดีในต่อภูมิคุ้มกันปลานิล

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

จากการทดลองการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของปลานิล ระยะเวลา 30 วัน หากผู้ที่สนใจต้องการศึกษาเพิ่มเติม ควรเพิ่มระยะเวลาในการทดลอง อาจเพิ่มผลการเจริญเติบโตของปลานิลในมีประสิทธิภาพมากขึ้น

8. กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เป็นอย่างสูงที่ได้ให้การอนุเคราะห์ใช้สถานที่ ให้ความเมตตากรุณา ช่วยเหลือสนับสนุน

9. เอกสารอ้างอิง

กรมประมง. (2566). *ประมาณการผลิตและมูลค่าสัตว์น้ำจากการประมงของประเทศไทย พ.ศ. 2565-2568*.

[ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 21 กันยายน 2566, จาก: https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20230322114403_1_file.pdf

ทัศนิน วรรณเกตุศิริ (2566). *การพัฒนาห่วงโซ่คุณค่าเพื่อยกระดับปลานิลไทยสู่ตลาดโลก*. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 21 กันยายน 2566, จาก: https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20230529103247_1_file.pdf

นิธิยา รัตนานนท์ และคณะ บุญเกียรติ. (2562). *หอมหัวใหญ่*. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 24 ตุลาคม 2565, จาก: <https://www.phtnet.org/wp-content/uploads/2020/12/onion.pdf>

นิวุฒิ หวังชัย. (2549). *โภชนาศาสตร์สัตว์น้ำ*. เชียงใหม่: คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

วัลย์พร สีนสวัสดิ์ วรรณภา ศรีเพ็ชรพร ประนอม สุขเกื้อ อรุณี ชัยศรี และสิริยากร คล้ายสอน. (2564). *การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ*. ค้นเมื่อ 30 สิงหาคม 2566, จาก: <https://research.rmutsb.ac.th/fullpaper/2563/research.rmutsb-2563-20210604113305353.pdf>

ศูนย์วิจัยและพัฒนาพันธุกรรมสัตว์น้ำอุตรดิตถ์. (2562). *ประวัติ/ความเป็นมาของปลานิล*. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 23 ตุลาคม 2565, จาก: https://www4.fisheries.go.th/local/index.php/main/view_blog2/1220/64289/2315

สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด. (2553). *เอกสารคำแนะนำการเพาะเลี้ยงปลานิล*. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 24 ตุลาคม 2565, จาก: https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20200415152840_1_file.pdf

- Akrami, R., Gharaei, A., Mansour, M. R., & Galeshi, A. (2015). Effects of dietary onion (*Allium cepa*) powder on growth, innate immune response and hemato–biochemical parameters of beluga (*Huso huso* Linnaeus, 1754) juvenile. *Fish & shellfish immunology*, 45(2), 828-834.
- Aluta, U. P., Aderolu, A. Z., Lawal, M. O., and Olutola, A. A. (2021). Inclusion effect of onion peel powder in the diet of African catfish, *Clarias gariepinus*: Growth, blood chemistry, hepatic antioxidant enzymes activities and SOD mRNA responses. *Scientific African*, 12, e00780.
- AOAC. (1995). *Official methods of analysis of the Association of the Official Analysis Chemists*.
- Cho, S. H., & Lee, S. M. (2012). Onion powder in the diet of the olive flounder, *Paralichthys olivaceus*: effects on the growth, body composition, and lysozyme activity. *Journal of the World Aquaculture Society*, 43(1), 30-38.
- Elgendy, M. Y., Ali, S. E., Abdelsalam, M., El-Aziz, A., Tamer, H., Abo-Aziza, F., Osman, H. A., Authman, M., and Abbas, W. T. (2022). Onion (*Allium cepa*) improves Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) resistance to saprolegniasis (*Saprolegnia parasitica*) and reduces immunosuppressive effects of cadmium. *Aquaculture international*, 1-25.
- Kumar, M., Barbhai, M. D., Hasan, M., Punia, S., Dhupal, S., Rais, N., ... & Mekhemar, M. (2022). Onion (*Allium cepa* L.) peels: A review on bioactive compounds and biomedical activities. *Biomedicine & pharmacotherapy*, 146, 112498.
- NRC, N. R. C. (1993). *Nutrient requirements of fish*. In: Washington DC: National Acedemiy Press.
- Panche, A. N., Diwan, A. D., & Chandra, S. R. (2016). Flavonoids: an overview. *Journal of nutritional science*, 5, e47.
- Parry Jr, R. M., Chandan, R. C., and Shahani, K. M. (1965). A rapid and sensitive assay of muramidase. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 119(2), 384-386.
- Quade, M. J., and Roth, J. A. (1997). A rapid, direct assay to measure degranulation of bovine neutrophil primary granules. *Veterinary immunology and immunopathology*, 58(3-4), 239-248.
- Saleh, N. E., Michael, F. R., and Toutou, M. M. (2015). Evaluation of garlic and onion powder as phyto-additives in the diet of sea bass (*Dicentrarcus labrax*). *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 41(2), 211-217.
- Seden, M. (2013). Effect of onion powder used as a feed additive on growth performance, feed utilization and whole body omposition of Nile tilapia fingerlings challenged with pathogenic *aeromonas hydrophila*. *ABBASSA International Journal For Aquaculture*, 16(2), 389-406.
- Yano, T. (1992). Assay of hemolytic complement activity. *Techniques in fish immunology*, 131-141.

กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตันด้วยเทคนิคการวิเคราะห์วีดิโออัตราเร็วสูง
Newton's second law of motion with High-Speed Video Analysis Technique

ศุภนุช ต๊ะมา

สาขาวิชาการสอนวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

E-mail: 64863209@g.cmru.ac.th

จิราภรณ์ ปุณยวิจน์พรกุล

ภาควิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

E-mail: jiraporn_poo@cmru.ac.th

จิตรกร กรพรม

ภาควิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

E-mail: chittakorn_kor@cmru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของรถวัตถุและมวลถ่วง โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์วีดิโออัตราเร็วสูง 2) เพื่อเปรียบเทียบความเร่ง เมื่อมวลของรถวัตถุเพิ่มขึ้น และ 3) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับความเร่งของรถวัตถุ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้กล้องวีดิโออัตราเร็วสูงบันทึกการเคลื่อนที่ด้วยอัตรา 240 ภาพต่อวินาที และใช้โปรแกรมแทรคเกอร์ ในการศึกษาวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของวัตถุ ผลจากการศึกษาพบว่า 1) รถวัตถุเคลื่อนที่บนรางไร้แรงเสียดทานและมวลถ่วงเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเพิ่มขึ้น หรือเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่ 2) ความเร่งของรถวัตถุและมวลถ่วงมีค่าใกล้เคียงกันโดยพบร้อยละความแตกต่างคือร้อยละ 3.31 และ 3) เมื่อมวลรถวัตถุเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความเร่งของมีค่าลดลง โดยความเร่งของรถวัตถุแปรผกผันกับมวลของรถวัตถุ ซึ่งสอดคล้องกับกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน ผลการศึกษานี้เป็นตัวอย่างการนำเทคโนโลยีมาใช้ในปฏิบัติการทดลองเพื่อศึกษาทฤษฎีทางฟิสิกส์ ซึ่งทำให้พบว่าเทคนิคการวิเคราะห์วีดิโออัตราเร็วสูงสามารถเชื่อมโยงการเคลื่อนที่จริงเข้ากับทฤษฎีหรือกฎการเคลื่อนที่ทางฟิสิกส์ได้

คำสำคัญ: การเคลื่อนที่แนวตรง กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน เทคนิคการวิเคราะห์วีดิโออัตราเร็วสูง
โปรแกรมแทรคเกอร์ มวลและความเร่ง

ABSTRACT

The objectives of this research are 1) to study the motion of two objects (dynamics cart and hanging mass) with a high-speed video analysis technique. 2) to compare the acceleration of the dynamics cart when the mass of the dynamics increases. 3) to investigate the relationship between mass and acceleration. For this research, a high-speed video camera was used to record the motion at a rate of 240 frames per second, and the Tracker software was employed to analyze the objects' motion. The results revealed that: 1) The dynamics cart moved on a frictionless track, and a hanging mass experienced an increase in velocity or moved with constant acceleration. 2) The acceleration of the dynamics cart and hanging mass had similar values, with a percentage difference of approximately 3.31%. 3) When the mass of the dynamics cart increased, its acceleration decreased. This variation in acceleration is inversely correlated with the mass of the dynamics cart, consistent with Newton's second law of motion. This study exemplifies the practical application of technology in experimental scenarios to delve into the realm of physics theories. It underscores how high-speed video analysis techniques effectively bridge the gap between observed motion and the fundamental principles and laws of physics.

Keywords: Linear motion, Newton's second law of motion, high-speed video analysis technique, Tracker, mass, and acceleration.

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ในชีวิตประจำวันเรามักจะพบเห็นการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวราบที่เป็นการเคลื่อนที่ขนานกับพื้นโลก เช่น รถยนต์ที่กำลังแล่นอยู่บนถนน นักกรีฑากำลังวิ่ง และการปั่นจักรยาน เป็นต้น ซึ่งการเคลื่อนที่ของวัตถุเหล่านี้มีความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว เวลา ความเร่ง และระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ไปได้ โดยการเคลื่อนที่ในแนวราบแบ่งเป็น 2 แบบ คือ การเคลื่อนที่ในแนวราบที่ไปทิศทางเดียวกันตลอด และการเคลื่อนที่ในแนวราบ แต่มีการเคลื่อนที่กลับทิศด้วย โดยจะมีกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตันเข้ามาเกี่ยวข้อง (ชาชู เถาว์นิน, 2561) จากที่กล่าวมาข้างต้นนี้ ล้วนเป็นพื้นฐานสำคัญของการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แขนงฟิสิกส์ที่สามารถทำให้มนุษย์เข้าใจธรรมชาติและปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นหรือพบเจอในชีวิตประจำวันได้มากยิ่งขึ้น สอดคล้องกับกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน กล่าวไว้ว่า อัตราเร่งของวัตถุจะแปรผันตามแรงที่กระทำต่อวัตถุ แต่จะแปรผกผันกับมวลของวัตถุ ซึ่งถ้าเราผลักวัตถุให้แรงขึ้น อัตราเร่งของวัตถุก็จะมากขึ้นตามไปด้วย และถ้าเราออกแรงเท่าๆ กัน ผลักวัตถุสองชนิดซึ่งมีมวลไม่เท่ากัน วัตถุที่มีมวลมากจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร่งน้อยกว่าวัตถุที่มีมวลน้อย (จิราภรณ์ ปุณยวัจน์พรกุล, 2561)

ในการศึกษาการเคลื่อนที่แนวตรงในห้องปฏิบัติการวิชากลศาสตร์และอุณหพลศาสตร์นั้น ไม่สามารถบันทึกภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุในขณะที่ทำการทดลองได้ทัน หรือเมื่อการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้ไม่สามารถมองเห็นการเคลื่อนที่ได้ชัดเจน จึงได้มีการนำเทคโนโลยีที่มีความก้าวหน้า และบทบาทสำคัญในการศึกษา คือ เทคโนโลยีการถ่ายวิดีโออัตราเร็วสูง (High-speed video) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนาเพื่อใช้ในการถ่ายการเคลื่อนที่ของวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วสูงและประมวลผลออกมาในรูปแบบของวิดีโอที่เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วช้าลง ในปัจจุบันที่มีการนำเทคโนโลยีนี้เข้ามาศึกษาร่วมกับทฤษฎีทางฟิสิกส์ดังการศึกษา อาทิเช่น จิราภรณ์ ปุณยวัจน์พรกุล และวิไลพร ถักขมิ้วาณิษฐ์ (2564) ที่ใช้เทคนิคการวิเคราะห์วิดีโออัตราเร็วสูง

ศึกษาการตกแบบมีแรงต้านของกรวยกระดาษ ทำให้เห็นตำแหน่งของกรวยกระดาษที่เข้าสู่ความเร็วปลายที่คงที่อย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบทฤษฎีตำแหน่ง ณ เวลาใดๆ ของการตกแบบมีแรงต้านกับตำแหน่งการเคลื่อนที่จริงพบว่าสอดคล้องกัน นอกจากนี้ Poonyawatpornkul, J. & Luksameevanish, V. (2018) ได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์วีดิโออัตราเร็วสูง ศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุบนพื้นเอียง ทำให้นักเรียนมองเห็นภาพการทดลองได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ปัญญาธิตา สุจริตและ พัชรา สีนลอยมา (2564) ได้ศึกษาการวิเคราะห์ระยะจุดตกตามแนวระดับของการตกจากที่สูงโดยใช้โปรแกรมแทรกเกอร์ เพื่อหาความสัมพันธ์ของการวัดระยะจุดตกด้วยมือกับการวิเคราะห์ระยะจุดตกด้วยโปรแกรมแทรกเกอร์และหาความสัมพันธ์ความเร็วของหุ่นในแนวระดับ กับระยะจุดตกและความสูงของอาคาร ตามทฤษฎีการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ ผลวิจัยพบว่า ระยะจุดตกตามแนวระดับที่วัดด้วยมือมีระยะเฉลี่ย 2.40, 2.55, 3.20, 2.53 และ 2.31 เมตร ตามลำดับ ซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 นอกจากนี้การศึกษาของนภารัตน์ จิวาลักษณ์ และ วิไลพร ถักมิมวาณิชย์ (2565) ได้นำการวิเคราะห์วีดิโออัตราเร็วสูงมาประยุกต์ใช้ในการทดสอบภายใต้แรงดึงทางเดียวด้วยการติดตามภาพวิดีโอบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ กรณีศึกษาการเคลื่อนที่ของเส้นด้ายกัญชง ที่มีความยาวเริ่มต้นต่างกันภายใต้แรงดึงทางเดียว เป็นต้น การศึกษาจากงานวิจัยทั้งหมดล้วนเป็นการบันทึกภาพวิดีโอความเร็วสูงด้วยกล้องถ่ายภาพและโทรศัพท์เคลื่อนที่ แล้วนำไปวิเคราะห์ในโปรแกรมแทรกเกอร์ (Tracker Program) ซึ่งในปัจจุบัน โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้มีการทำงานบนระบบ iOS สามารถบันทึกภาพได้ในอัตรา 120 เฟรมต่อวินาที สะดวกต่อการถ่ายวิดีโออัตราเร็วสูง อีกทั้งโปรแกรมแทรกเกอร์ยังสามารถวิเคราะห์ตำแหน่งวัตถุจากภาพเคลื่อนที่ไหว 2 มิติ ที่ตั้งฉากกันได้ละเอียดในระดับมิลลิวินาที และสามารถอธิบายคุณลักษณะการเคลื่อนที่ที่ต่อเนื่องในรูปแบบของความเร็วและความเร่งในแต่ละมิติได้ นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของวัตถุจากวิดีโออัตราเร็วสูงด้วยโปรแกรมแทรกเกอร์ เพื่อหาค่าต่างๆ จากการเคลื่อนที่ของวัตถุที่นอกเหนือจากการทดลองในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และอุณหพลศาสตร์ และเพื่อใช้เพิ่มประสิทธิภาพทางการเรียนการสอน โดยเฉพาะทางด้านกลศาสตร์

ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาพฤติกรรมของการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวราบ โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์วีดิโออัตราเร็วสูงมาช่วยในการบันทึกข้อมูล เพื่อให้เห็นถึงลักษณะการเคลื่อนที่ในแนวราบที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

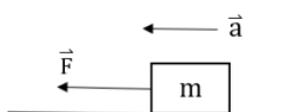
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของวัตถุและมวลถ่วง โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์วีดิโออัตราเร็วสูง
- (2) เพื่อเปรียบเทียบความเร่ง เมื่อมวลของวัตถุเพิ่มขึ้น
- (3) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับความเร่งของวัตถุ

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พิจารณาวัตถุมวล m ถูกกระทำด้วยแรง \vec{F} ทำให้วัตถุเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง \vec{a} แสดงดังแผนภาพที่ 1



แผนภาพที่ 1 การเคลื่อนที่ของวัตถุมวล m ที่ถูกกระทำด้วยแรง \vec{F}

จากกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน ทำให้ได้สมการความสัมพันธ์เป็น

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (1)$$

เมื่อ ความเร่ง ตามหลักของโมเมนตัม $\vec{a} = \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2}$ (2)

ดังนั้น ความเร็ว \vec{v} ของวัตถุที่ถูกกระทำด้วยแรงคงที่ \vec{F} เป็นฟังก์ชันกับเวลา t เป็นไปตามสมการ

$$\vec{v}(t) = \frac{\vec{F}t}{m} = \vec{a}t \quad (3)$$

ในกรณีที่ วัตถุเริ่มเคลื่อนที่จากหยุดนิ่ง หรือ $\vec{v}(t) = 0$ เมตรต่อวินาที และ $\vec{r}(0) = 0$ เมตร

การกระจัด $\vec{r}(t)$ ของวัตถุ ณ เวลาใด ๆ เป็นไปตามสมการ

$$\vec{r}(t) = \frac{1}{2} \frac{\vec{F}}{m} t^2 = \frac{1}{2} \vec{a} t^2 \quad (4)$$

พิจารณาการเคลื่อนที่ของระบบมวล m_1 และ m_2 ที่ผูกติดกันด้วยเชือกเบาดังแผนภาพที่ 2 พบว่า แรง m_1g กระทำต่อวัตถุมวล m_2 ทำให้วัตถุมวล m_1 และ m_2 เคลื่อนด้วยความเร่ง \vec{a} ดังสมการ (5) จากสมการ พบว่า m_1 เป็นมวลที่มีปฏิภาคตรงกับความเร่ง \vec{a} ของระบบ ดังนั้นจึงเรียก m_1 ว่า “มวลถ่วง” ส่วน m_2 เป็นปฏิภาคผกผันกับความเร่ง \vec{a} และ ของระบบ จึงเรียกว่า “มวลถ่วง”

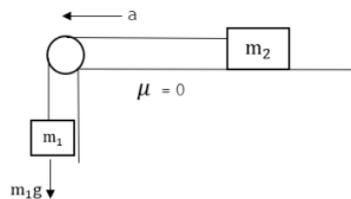
$$(m_1 + m_2)\vec{a} = m_1g \quad (5)$$

จากสมการที่ (3) ขนาดของความเร็วของวัตถุที่เวลาใด ๆ คือ

$$|\vec{v}(t)| = v(t) = \left(\frac{m_1g}{m_1 + m_2} \right) t \quad (6)$$

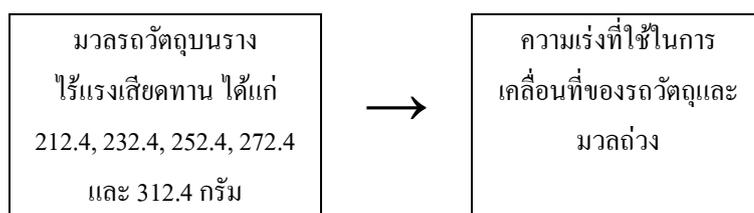
และจากสมการที่ (4) ขนาดของการกระจัดที่เวลาใด ๆ คือ

$$|\vec{r}(t)| = r(t) = \frac{1}{2} \left(\frac{m_1g}{m_1 + m_2} \right) t^2 \quad (7)$$



แผนภาพที่ 2 การเคลื่อนที่ของวัตถุ m_1 และ m_2 ที่ผูกติดกันด้วยเชือกเบา

3.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย



แผนภาพที่ 3 กรอบแนวคิดในการวิจัย

3.3 สมมติฐานการวิจัย

ขนาดของมวลรถวัตถุที่มากขึ้นส่งผลให้วัตถุมีความเร่งลดลง

3.4 ขอบเขตของงานวิจัย

ตัวแปรต้น : มวลรถวัตถุบนรางไร้แรงเสียดทาน ได้แก่ 212.4, 232.4, 252.4, 272.4 และ 312.4 กรัม (การเปลี่ยนมวลรถวัตถุที่แตกต่างกันเพื่อใช้ในการหาค่าความเร่งที่เกิดขึ้นในแต่ละการทดลอง)

ตัวแปรตาม : ความเร่งที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของรถวัตถุและมวลถ่วง

- ตัวแปรควบคุม :**
- 1) ตั้งกล้องให้ห่างจากฉาก 3 เมตร (ซึ่งเป็นระยะที่สามารถถ่ายวิดีโอครอบคลุมอุปกรณ์การทดลองทั้งหมด)
 - 2) ตั้งกล้องให้ห่างจากพื้น 1 เมตร (ซึ่งเป็นการตั้งกล้องให้มีระนาบพอดีกับอุปกรณ์การทดลอง)
 - 3) อัตราส่วนของภาพต่อเวลา 240 เฟรม/วินาที
 - 4) มวลถ่วง 17 กรัม
 - 5) ทำการทดลองซ้ำเงื่อนไขละ 5 ครั้ง

4. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวราบ โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์วิถี โออัตราราเร็วสูง ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับวิธีดำเนินการวิจัย ประกอบด้วยส่วนประกอบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย วิธีการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูล โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ส่วนประกอบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวราบโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์วิถี โออัตราราเร็วสูง เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ส่วนประกอบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย 1) ชุดการทดลองการเคลื่อนที่ในแนวราบ 2) รถวัตถุและมวลถ่วงสำหรับการเคลื่อนที่ 3) กล้องวิดีโออัตราราเร็วสูง (Casio EX-FH100) ที่มีอัตราราบันทึกภาพ 240 เฟรมต่อวินาที 4) คอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมแทรคเกอร์และ โปรแกรมจาวาโดยมีการติดตั้งอุปกรณ์แสดงดัง แผนภาพที่ 4



แผนภาพที่ 4 ภาพจำลองการติดตั้งอุปกรณ์

4.2 วิธีการทดลอง

ทำการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองพร้อมกับกล้องวิดีโออัตราเร็วสูง โดยกำหนดอัตราเร็วของการบันทึกภาพที่ 240 เฟรม/วินาที ตั้งกล้องให้สูงจากพื้น 1 เมตร ให้กล้องมีระนาบพอดีกับอุปกรณ์การทดลองและระนาบของหน้ากล้องขนานกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดยให้หน้ากล้องอยู่ห่างจากระนาบของการเคลื่อนที่ของวัตถุ 3 เมตร เพื่อให้สามารถถ่ายวิดีโอได้ครอบคลุมอุปกรณ์การทดลองทั้งหมด จากนั้นปล่อยรถวัตถุที่มีมวลแตกต่างกันในแต่ละกรณี ให้เคลื่อนที่ในระยะ 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8 เมตร ให้เคลื่อนที่ไปตามรางในแนวราบ (โดยรางไร้แรงเสียดทานคือรางที่ถูกออกแบบโดยมีพื้นผิวสัมผัสที่ไม่ให้เกิดแรงเสียดทานเมื่อวัตถุเคลื่อนที่ เพื่อไม่ให้ส่งผลต่อตัวแปรตามที่เกิดขึ้นในการทดลอง) จากนั้นบันทึกการเคลื่อนที่ด้วยกล้องวิดีโออัตราเร็วสูง ทำการทดลองซ้ำระยะละ 5 ครั้ง ทั้ง 5 กรณี โดยให้มวลถ่วง 17 กรัม คงที่

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

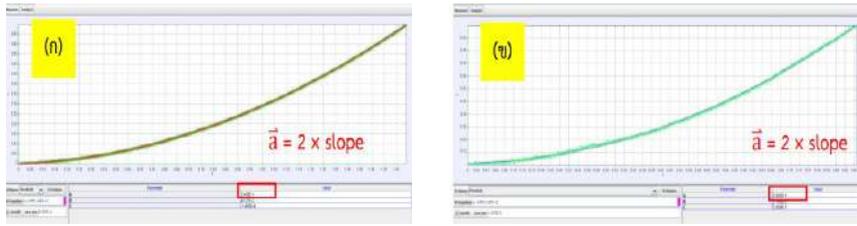
นำไฟล์วิดีโออัตราเร็วสูงของการเคลื่อนที่ของรถวัตถุบนรางในแนวราบที่ได้บันทึกไว้ทั้งหมดไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมแทรคเกอร์โดยการติดตามการเคลื่อนที่ของตำแหน่งที่ติดเครื่องหมาย (marker) บริเวณรถวัตถุ (จุดขาว) และมวลถ่วง (จุดแดง) ดังแผนภาพที่ 5



แผนภาพที่ 5 การติดตามการเคลื่อนที่ของตำแหน่งที่ติดเครื่องหมาย (marker)

บริเวณรถวัตถุ (จุดขาว) และมวลถ่วง (จุดแดง)

การวิเคราะห์ผลการติดตามเครื่องหมายบริเวณรถวัตถุ และมวลถ่วงแสดงดังแผนภาพที่ 5 ตัวอย่างการวิเคราะห์หาค่าความเร่งของการเคลื่อนที่ของรถวัตถุบนรางในแนวราบและการเคลื่อนที่ของมวลถ่วง จากกราฟที่ได้โดยโปรแกรมแทรคเกอร์ ($\ddot{x} = 2 \times \text{slope}$) ดังแผนภาพที่ 6 จากนั้นนำค่าความเร่งที่ได้มาเปรียบเทียบกับหาค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง



แผนภาพที่ 6 วิเคราะห์หาค่าความเร่งจากโปรแกรม Tracker

(ก) ความเร่งของรถวัตถุบนรางในแนวราบ (ข) ความเร่งของมวลถ่วง

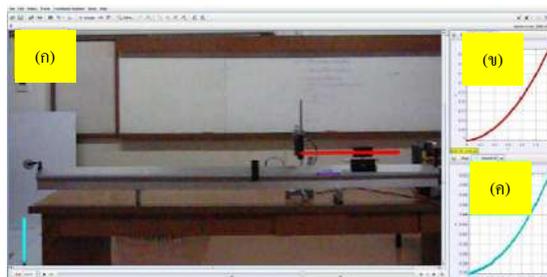
การวิเคราะห์ผลการศึกษากฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน โดยนำค่าความเร่งของรถวัตถุที่ได้จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรมแทรคเกอร์ของทั้ง 5 มวล มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับมวล โดยโปรแกรม Excel แล้ววิเคราะห์หาขนาดของแรงดึงของมวลระบบโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์หาค่าโออัตรเร็วสูงสามารถหาได้จาก $(m_1 + m_2)$ a เปรียบเทียบกับทฤษฎี สามารถหาได้จาก $m_2 g$ จากนั้นหาค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง

ข้อมูลพื้นฐานที่ได้จากการติดตามตำแหน่งการเคลื่อนที่สามารถนำไปวิเคราะห์หา ความเร็วและความเร่ง ระยะกระจัดที่รถวัตถุเคลื่อนที่ และเวลาที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

5. ผลการวิจัย

ผลการติดตามและศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวราบโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์หาค่าโออัตรเร็วสูง พบลักษณะการเคลื่อนที่ของรถวัตถุบนรางในแนวราบ ความเร่งของระบบ และการเคลื่อนที่ของรถวัตถุตามสมการการเคลื่อนที่ มีรายละเอียด ดังนี้

1) ลักษณะการเคลื่อนที่ของรถวัตถุบนรางในแนวราบและมวลถ่วง ผลการติดตามตำแหน่งการเคลื่อนที่ของวัตถุทั้งสองตั้งแต่ปล่อยรถวัตถุให้เคลื่อนที่จากจุดหยุดนิ่ง จนถึงตำแหน่งปลายของราง (แผนภาพที่ 7 (ก)) พบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งตามแนวราบกับเวลา มีลักษณะเป็นเส้นโค้งพาราโบลา ดังแสดงในภาพที่ 7 (ข) และ 7 (ค) จากกราฟแสดงให้เห็นว่า ช่วงเริ่มต้นที่ทั้งรถวัตถุและมวลเร่งเคลื่อนที่มีความชันของกราฟน้อยกว่าช่วงท้ายของการเคลื่อนที่ โดยความชันของกราฟตำแหน่งกับเวลาแสดงถึงความเร็วของรถวัตถุ สามารถกล่าวได้ว่าวัตถุทั้งสองนี้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเพิ่มขึ้นหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร่งนั่นเอง



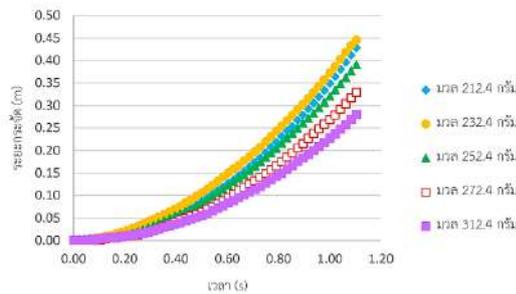
แผนภาพที่ 7 การติดตามการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวราบโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์หาค่าโออัตรเร็วสูง

(ก) ภาพการติดตามการเคลื่อนที่ของรถวัตถุและมวล

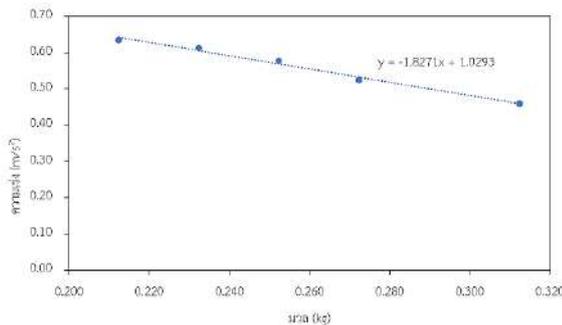
(ข) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับเวลาของรถวัตถุ และ

(ค) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับเวลาของมวลถ่วง

2) การศึกษาความเร่งของรถวัตถุและมวลถ่วง เป็นการติดตามตำแหน่งการเคลื่อนที่ของรถวัตถุบนรางที่มีมวลตามเงื่อนไข 212.4, 232.4, 252.4, 272.4, 312.4 กรัม และมีมวลถ่วงคงที่ 17 กรัม ที่ถ่วงอยู่กับปลายด้านหนึ่งของเชือก ซึ่งทำหน้าที่ดึงให้รถวัตถุทั้ง 5 เงื่อนไขเคลื่อนที่ เมื่อวิเคราะห์จากโปรแกรมแทรกเกอร์พบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับเวลาของรถวัตถุบนราง ตั้งแต่เริ่มเคลื่อนที่จนถึงปลายรางมีความชันเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มมวลของรถวัตถุให้มากขึ้น รถวัตถุมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งต่างกันดังภาพที่ 7 กล่าวได้ว่ามวลของรถวัตถุมีผลต่อความเร่งของการเคลื่อนที่ นั่นคือ เมื่อมวลรถวัตถุเพิ่มมากขึ้น ความเร่งของรถวัตถุจะลดลง (แผนภาพที่ 8) นอกจากนี้เมื่อติดตามมวลถ่วงพบว่าเส้นกราฟที่ได้มีความสัมพันธ์กับมวลของรถวัตถุ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความเร่งของรถวัตถุและมวลถ่วงมีค่าใกล้เคียงกัน มีร้อยละความแตกต่างเฉลี่ยเท่ากับ ร้อยละ 3.31 โดยค่าความเร่งเฉลี่ยของรถวัตถุแต่ละเงื่อนไขและมวลถ่วง แสดงดังตารางที่ 1



แผนภาพที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกับเวลาของรถวัตถุ มวล 212.4, 232.4, 252.4, 272.4, 312.4 กรัม

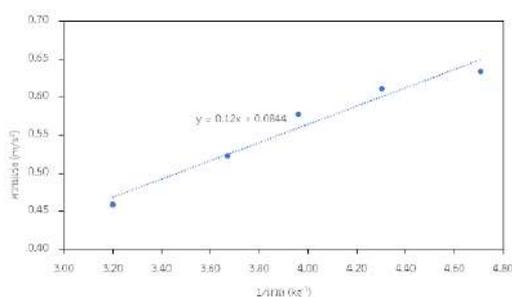


แผนภาพที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับมวลของรถวัตถุ

ตารางที่ 1 ความเร่งของรถวัตถุ มวลของรถวัตถุ และร้อยละความแตกต่างของความเร่ง

เงื่อนไข	มวลรถวัตถุ (g)	ความเร่ง (m/s ²)		ความเร่งเฉลี่ย(m/s ²) (จากการทดลอง 5 ครั้ง)	ร้อยละความแตกต่างระหว่างความเร่งของรถวัตถุและมวลถ่วง
		รถวัตถุ	มวลถ่วง		
1	212.4	0.63	0.62	0.62	2.83
2	232.4	0.61	0.63	0.62	2.60
3	252.4	0.57	0.59	0.58	4.08
4	272.4	0.52	0.54	0.53	3.48
5	312.4	0.46	0.44	0.45	3.55
ร้อยละความแตกต่างเฉลี่ย					3.31

3) ความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับความเร่ง จากภาพที่ 9 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของมวล รถวัตถุบนรางที่เพิ่มขึ้น ขนาดความเร่งของรถจะลดลง เมื่อพิจารณาจากการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน ที่กล่าวว่า “อัตราเร่งของวัตถุจะแปรผกผันและมีทิศเดียวกับแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุ และแปรผกผันกับมวลของวัตถุ เมื่อมีแรงลัพธ์ขนาดไม่เป็นศูนย์มากระทำกับวัตถุ” หรือแสดงเป็นสมการ $a = \frac{\sum F}{m}$ และเมื่อนำข้อมูลการทดลองนี้มาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับส่วนกลับของมวลจะได้กราฟเส้นตรง มีความชันที่แสดงถึงแรงลัพธ์ที่กระทำต่อวัตถุ มีค่าเท่ากับ 0.12 kg m/s^2 หรือ N (ดังภาพที่ 10) เมื่อพิจารณาแรงลัพธ์หรือแรงที่ใช้ในการดึงหรือถ่วงให้รถวัตถุเคลื่อนที่คือน้ำหนักของมวลถ่วงตามสมการที่ 5 พบว่าแรงนี้มีค่าเท่ากับ 0.17 N ดังนั้นร้อยละความคลาดเคลื่อนของแรงลัพธ์จากการทดลองมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 29.41 จะเห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนค่อนข้างมาก ทั้งนี้เป็นอาจผลมาจากแรงเสียดทานของรอกที่ใช้ในการทดลอง



แผนภาพที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร่งกับส่วนกลับของมวลรถวัตถุ

6. อภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของรถวัตถุและมวลถ่วง ความเร่งของรถวัตถุและมวลถ่วง และความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับความเร่ง โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์วิถีไอ้อัตราเร็วสูง ผลการวิจัยพบว่า เมื่อใช้มวลถ่วงคงที่ ที่ 17 กรัม และเพิ่มมวลของรถวัตถุมากขึ้น คือ 212.4, 232.4, 252.4, 272.4 และ 312.4 กรัม ตามลำดับ ดึงให้รถวัตถุเคลื่อนที่เมื่อใช้การวิเคราะห์ของความเร่งของกราฟตำแหน่งกับเวลาจากโปรแกรมแทรคเกอร์ ปรากฏว่ารถวัตถุและมวลถ่วง มีความเร่งของระบบคือ 0.6249, 0.6195, 0.5864, 0.5323, 0.4506 เมตร/วินาที² แสดงว่ารถวัตถุและมวลถ่วงมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งต่างกัน หรือมีความเร่งต่างกัน เมื่อมวลรถวัตถุเพิ่มมากขึ้น ความเร่งของรถวัตถุและมวลถ่วงจะมีค่าลดลง สามารถสรุปได้ว่าความเร่งของรถวัตถุแปรผกผันกับมวลของรถวัตถุ ซึ่งสอดคล้องกับกฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน ผู้วิจัยคำนวณหาขนาดของแรงดึงของมวลระบบ ซึ่งหาได้จาก $(m_1 + m_2) \cdot a$ โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์วิถีไอ้อัตราเร็วสูง เพื่อเปรียบเทียบกับทฤษฎีคือ $m_2 \cdot g$ ปรากฏว่าขนาดของแรงดึงจากการทดลองจะมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบกับทฤษฎีแล้ว มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ยเท่ากับ 3.31 และ เมื่อพิจารณาจากการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน พบร้อยละความคลาดเคลื่อนของแรงลัพธ์จากการทดลองมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 29.41 จะเห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนค่อนข้างมาก ทั้งนี้เป็นอาจผลมาจากแรงเสียดทานของรอกที่ใช้ในการทดลอง

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

- (1) ควรนำไปพัฒนาเป็นสื่อสารการเรียนรู้การสอน เรื่องเคลื่อนที่ ที่เกี่ยวข้องได้

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

- (1) ควรใช้แสงธรรมชาติในการถ่ายวิดีโอ

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ที่ให้การสนับสนุนและขอขอบคุณ นางสาวสิรินญา ว่างใจชิด สำหรับข้อมูลพื้นฐานที่เป็นประโยชน์

9. เอกสารอ้างอิง

จิราภรณ์ ปุณยวัฒน์พรกุล. (2561). การเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงตามแนวราบ. *วารสารศึกษาศาสตร์ มศว*, 19(1), 6-9.

จิราภรณ์ ปุณยวัฒน์พรกุล และวิไลพร ลักขมีวานิชย์. (2564). ผลของแรงต้านอากาศต่อการตกของกรวยกระดาษด้วยเทคนิคการวิเคราะห์วีดีโออัตราเร็วสูง. *วารสารวิชาการและวิจัยมทร.พระนคร*, 15(2), 146-157.

นภรัตน์ จิวาลักษณ์ และวิไลพร ลักขมีวานิชย์. (2565). การทดสอบภายใต้แรงดึงทางเดียวด้วยการติดตามภาพวิดีโอบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ : กรณีศึกษาการผิดรูปของเส้นด้ายถักขง. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.*, 45(2), 235-245.

ปัญญชิตา สุจริตและ พัชรา สีนลอยมา. (2564). การวิเคราะห์ระยะจุดตกตามแนวระดับของการตกจากที่สูงโดยใช้โปรแกรมแทรกเกอร์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 23(2), 27-34

ชาญ เกาวันนี่. สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.). (2561). *การเคลื่อนที่ในแนวตรง* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 15 ธันวาคม 2565, จาก: <https://www.scimath.org/lesson-physics/item/8781-2018-09-20-06-43-41>

Poonyawatpornkul, J. & Luksameevanish, V.. (2018). High Speed Video Technique Analysis of an Object Moving on an Inclined Plane. *NU. International Journal of Science*, 15(2), 16-24.

Pueo. (2016). High speed cameras for motion analysis in sports science. *Journal of Human Sport and Exercise*, 11(1), 53-72.

ผลของกระบวนการเตรียมต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและความหนืด
ของฟลาวัวร์จากมันจาวพร้าว

Effect of pretreatment process on physicochemical and pasting properties of
MONJAOPRAO (*Dioscorea alata L.*) flour.

หทัยภัทร ตรีนันทา

นักศึกษาระดับปริญญาโท, หลักสูตรคหกรรมศาสตร์, สาขาอาหารและโภชนาการ,
สถาบันมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,

E-mail: hathaipat.tr@gmail.com

ทรงยศ โชติชูติมา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร, ภาควิชาพืชไร่นา, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: fagrsyc@ku.ac.th

ฤทัย เรืองธรรมสิงห์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร, ภาควิชาคหกรรมศาสตร์, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: rutai.r@ku.th

น้องนุช ศิริวงศ์*

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร, ภาควิชาคหกรรมศาสตร์, คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: nongnuch.si@ku.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการเตรียมตัวอย่างก่อนการผลิตฟลาวัวร์ 2 วิธี (การแช่น้ำมันจาวพร้าวในน้ำที่อุณหภูมิห้อง (JPC) และการแช่ด้วยสารละลายโซเดียมเมตาไบต์ซัลไฟด์ที่ความเข้มข้น 0.1% (JPS)) ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและความหนืดของฟลาวัวร์จากมันจาวพร้าว ผลจากการศึกษา พบว่าการเตรียมตัวอย่างก่อนการผลิตฟลาวัวร์ที่แตกต่างกันระหว่างการแช่น้ำมันจาวพร้าวในน้ำที่อุณหภูมิห้อง (JPC) และการแช่ด้วยสารละลายโซเดียมเมตาไบต์ซัลไฟด์ที่ความเข้มข้น 0.1% (JPS) มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางเคมีกายภาพ โดยปริมาณโปรตีน (ร้อยละ 6.70) ปริมาณไขมัน (ร้อยละ 0.12) และปริมาณเส้นใยหยาบ (ร้อยละ 1.93) ของ JPS น้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ 89.01) ของ JPS สูงกว่า JPC (ร้อยละ 88.26) แต่ปริมาณเถ้าของ JPS และ JPC ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ค่าความสว่าง (L^*) ของ JPS สูงกว่า JPC ($p < 0.05$) ในขณะที่ค่าความสีแดง (a^*) และค่าความสีเหลือง (b^*) ของ JPS ต่ำกว่า ส่วนค่าการละลายของ JPS (ร้อยละ 16.14) มีค่าสูงกว่า JPC (ร้อยละ 15.06) ($p < 0.05$) ในขณะที่ค่ากำลังการพองตัว ค่าการดูดซับน้ำและค่าการดูดซับน้ำมันไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) สำหรับพฤติกรรมความหนืดของฟลาวัวร์ พบว่า ค่าความหนืดสูงสุดและผลต่างของความหนืดสูงสุดและต่ำสุดของ JPS สูงกว่า JPC ($p < 0.05$) ในขณะที่ค่าความหนืดต่ำสุด

ค่าผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่จุดต่ำสุด ค่าความหนืดสุดท้าย และอุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)

คำสำคัญ: ฟลาวัวร์, แยม, มันจาวพร้าว, สมบัติทางเคมีกายภาพ, สมบัติด้านความหนืด

ABSTRACT

The purpose of this study was to examine the physicochemical and pasting properties of MONJAOPRAO (*Dioscorea alata* L.) flour using two different preparation procedures prior to flour production (soaking in room temperature water; JPC and soaking with 0.1% sodium metabisulfite; JPS). The results revealed that the differing approaches used by JPC and JPS had an effect on the chemical composition and physicochemical properties. Protein content (6.70%), fat content (0.12%), and crude fiber content (1.93%) of JPS were significantly lower ($p<0.05$), whereas carbohydrate content (89.01%) of JPS was significantly greater (88.26%) of JPC. However, there is no difference in the ash content of JPS and JPC. JPS had a substantially greater lightness (L^*) value than JPC ($p<0.05$), but a significantly lower redness (a^*) and yellowness (b^*). JPS had a higher water solubility index (16.14%) than JPC (15.06%) ($p<0.05$), but there was no difference in swelling power, water absorption index and oil absorption index. For pasting properties, peak viscosity and breakdown of JPS were significantly higher than JPC ($p<0.05$). Nevertheless, no difference in minimum viscosity, final viscosity, and pasting temperature.

Keywords: Flour, Yam, Monjaoprao, Physicochemical properties, Pasting properties

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

มันจาวพร้าว (*Dioscorea alata* L.) หรือมันในตระกูลแยม (Yam) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวในวงศ์ *Dioscoreaceae* มีมากกว่า 600 ชนิด (Amanze *et al.*, 2011) มีถิ่นกำเนิดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ พืชตระกูลแยมเป็นพืชอาหารหลักสำหรับผู้บริโภคในเขตร้อนและกึ่งเขตร้อนของโลก รองจากธัญพืช เนื่องจากหัวมีคาร์โบไฮเดรตสูง (Rao *et al.*, 2020) แยมมีปริมาณการผลิตทั่วโลกอยู่ที่ 8,910,485 ตัน โดยผู้ผลิตหลักคือแอฟริกา อเมริกา และเอเชียตามลำดับ (FAO, 2021) โดยมันจาวพร้าวที่นิยมปลูกในประเทศไทย มีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามท้องถิ่น จึงทำให้สับสนในการจำแนกหัวมันเพราะมีรูปร่างต่างกัน ทั้งยาวและตรง วงรี นิ้วมือ รูปตัวยู ฯลฯ จึงมีชื่อเรียกหลากหลายตามลักษณะของมัน ได้แก่ มันเสา มันเล็คนก มันเลือด มันหวาย มันดินช้าง เป็นต้น (โอรส, 2548)

การปลูกมันจาวพร้าวในประเทศไทยมีเพียงระดับครัวเรือนสำหรับใช้ประโยชน์เพื่อการบริโภคโดยตรงเท่านั้น (สุบิน, 2563) แต่ปัจจุบันในเอเชียเป็นที่ต้องการบริโภคมากขึ้นเพราะเป็นที่รู้จักในด้านอาหารสุขภาพ เนื่องจากมีปริมาณไขมันน้อย มีปริมาณเส้นใยหยาบ โปรตีน แร่ธาตุและวิตามินที่สูง นอกจากนี้มันในตระกูลแยมยังมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ ไดออสโคริน (dioscorine) ไดออสจีนิน (diosgenin) โพลีฟีนอลที่ละลายในน้ำ (อินนูลิน) ซึ่งไดออสโครินเป็นโปรตีนที่ละลายน้ำและมีรายงานว่าเป็นตัวยับยั้งเอนไซม์ ACE (angiotensin converting enzyme) มีบทบาทสำคัญในการจัดการภาวะความดันโลหิตสูง (Liu *et al.*, 2007) ส่วนได

ออสจินินคือ สารประกอบซาโปนินสเตียรอยด์(sapogenin steroid compound) มีความสำคัญในการควบคุมเมตาบอลิซึมของคลอเลสเตอรอลและยังส่งผลฮอร์โมนเอสโตรเจนที่มีฤทธิ์ต้านการเกิดเนื้องอก (antitumor activity) (Li *et al.*, 2012) สำหรับอินนูลินเป็นพรีไบโอติกที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ (Muadstri, 2016) มันจาวนิยชมบริโกลแบบนำหัวสดมาปอกเปลือก หั่นเป็นชิ้น ต้มและนำมาบริโกลกับผักชนิดอื่น (Lebot *et al.*, 2023) ในแอฟริกาตะวันตกบริโกลแบบมันบด หรือเรียกว่า “fufu” ทำจากหัวมันที่ต้มในน้ำเดือดแล้วนำไปตำหรือบดก่อนจะปั้นเป็นก้อนกลมรับประทานคู่กับซอสและเนื้อสัตว์ (Honfozo *et al.*, 2021) นอกจากนี้ยังมีการแปรรูปจากมันหัวสดเป็นฟลาวร์ที่มีบทบาทสำคัญในผลิตภัณฑ์อาหาร และกระบวนการแปรรูปของฟลาวร์มีหลายวิธี แต่ละวิธีส่งผลให้ได้ฟลาวร์ที่มีสมบัติต่างกัน Olatoye and Gibson (2019) แปรรูปฟลาวร์จากมันขมิ้น (*Dioscorea bulbifera*) ของประเทศไนจีเรีย และศึกษาสารอาหารและสารพฤกษเคมี พบว่ามีปริมาณความชื้น ร้อยละ 5.31-10.94, ปริมาณไขมันร้อยละ 0.51-0.97, ปริมาณโปรตีนร้อยละ 3.55-8.64, ปริมาณเถ้าร้อยละ 2.04-5.59, ปริมาณเส้นใยหยาบร้อยละ 0.69-2.50 แต่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงร้อยละ 74.18 - 83.94, ปริมาณโพแทสเซียม 917-1,560 มก./100 กรัมเป็นแร่ธาตุที่มีมากที่สุด ยังมีแคลเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัสสูง และธาตุเหล็ก โดยมีปริมาณช่วง-503-1190 มก./100 กรัม, 72.6-163 มก./100 กรัม, 577-1070 มก./100 กรัม และ 4.6-11.1 มก./100 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่งานวิจัย Asranudin *et al.* (2023) ศึกษาการแปรรูปฟลาวร์จากมันจาวสีม่วงด้วยการปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่ผ่านการให้ความร้อนซึ่งพบว่าความสามารถในการดูดซับน้ำและความสามารถในการดูดซับน้ำมันเพิ่มขึ้น แต่ปัญหาจากการแปรรูปนั้นพบว่ามันจาวพรวัวนั้นมีการเกิดสีน้ำตาลซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อนำไปใช้ การเกิดสีน้ำตาลสามารถป้องกันโดยการลวก ต้ม หรือการให้ความร้อนจนถึงระดับที่สามารถทำลายเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสหรือฟีนอลเลส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ทนต่อความร้อนสูงสุด และการใช้สารเคมี เช่น สารประกอบซัลเฟอร์ไดออกไซด์หรือซัลไฟต์ (รังสีณี, 2550) จากงานวิจัยของ Chen *et al.* (2017) ที่ศึกษาผลกระทบของการลวกและอุณหภูมิในการอบแห้งที่เกี่ยวข้องกับสมบัติทางเคมีกายภาพ สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และการต้านอนุมูลอิสระของฟลาวร์กลอย (*Dioscorea opposita*) พบว่าการลวกชิ้นมันก่อนทำฟลาวร์ในน้ำเดือด 100 °C มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาล การลวกในอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ค่ากำลังการพองตัวต่ำกว่าฟลาวร์ที่ไม่ลวก และเมื่อแบ่งบางส่วนจากการลวกเจลาติโนเซชันได้น้อยลง ในขณะงานวิจัย Krishnan *et al.* (2010) ศึกษาผลกระทบของการเตรียมตัวอย่างมันจาวพรวัวโดยการแช่สารละลายโซเดียมเมตาไบต์ซัลไฟต์ก่อนผลิตฟลาวร์ต่อคุณค่าทางโภชนาการและดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของฟลาวร์มันจาวพรวัว โดยแช่หัวมันจาวพรวัวในสารละลายโซเดียมเมตาไบต์ซัลไฟต์ที่ความเข้มข้น 3 ระดับ คือร้อยละ 0.25 ,0.50 และ 1.0เป็นเวลา 1 และ 2 ชั่วโมงนั้นพบว่าการแช่สารละลายโซเดียมเมตาไบต์ซัลไฟต์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในฟลาวร์มันจาวพรวัว

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของการเตรียมตัวอย่างก่อนการผลิตฟลาวร์มันจาวพรวัวที่แตกต่างกันต่อสมบัติทางเคมีสมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติด้านความหนืด เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้ในการผลิตฟลาวร์มันจาวพรวัว และการนำฟลาวร์มันจาวพรวัวไปใช้ประโยชน์และสามารถนำพัฒนาต่อขอดสู่เชิงพาณิชย์

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติด้านความหนืด ในการเตรียมตัวอย่างก่อนการผลิตฟลาวร์จากมันจาวพรวัวที่แตกต่างกัน

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1. กระบวนการผลิตฟลาวัวร์

นำมันจาวพร้าวอายุหัว 8 เดือน ที่เก็บเกี่ยวจากจังหวัดสระแก้ว คัดขนาดหัว 300 – 500 กรัม โดยมีตำหนิ น้อยที่สุด ล้างน้ำ ปอกเปลือก สไลด์เป็นแผ่นบางขนาด 1 – 2 มิลลิเมตร จากนั้นแบ่งมันจาวพร้าวเป็น 2 ส่วนซึ่งจะเตรียมตัวอย่างที่แตกต่างกัน คือ ส่วนที่ 1 จะนำแช่น้ำอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที เรียกตัวอย่างนี้ว่า JPC ส่วนที่ 2 แช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบต์ซัลไฟด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1% เป็นเวลา 60 นาที เรียกตัวอย่างนี้ว่า JPS นำ ทั้ง 2 ตัวอย่างไปจัดเรียงใส่ถาดเพื่อเข้าสู่อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จนความชื้นสุดท้ายไม่เกิน ร้อยละ 10 จากนั้นนำตัวอย่างที่แห้งมาบดด้วยเครื่องบด Hammer Mill แล้วร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 150 ไมครอน จะได้ฟลาวัวร์มันจาวพร้าวเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

3.2. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวัวร์มันจาวพร้าว

- 3.2.1. ปริมาณความชื้น โดยวิธี (AOAC, 2017)
- 3.2.2. ปริมาณโปรตีน โดยวิธี Kjeldahl distillation (AOAC, 2017)
- 3.2.3. ปริมาณไขมัน โดยวิธี Soxhlet extraction method (AOAC, 2017)
- 3.2.4. ปริมาณเถ้า โดยวิธี dry ashing method (AOAC, 2017)
- 3.2.5. ปริมาณเส้นใยหยาบ (Crude fiber) โดยวิธี AOAC (2017)
- 3.2.6. ปริมาณคาร์โบไฮเดรต โดยวิธี AOAC (2017)

3.3. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาวัวร์มันจาวพร้าว

- 3.3.1. วัดค่าสี L^* , a^* , b^* โดยเครื่องวัดสี (Hunter Lab รุ่น Color Flex 4510)
- 3.3.2. ค่ากำลังการฟองตัว คัดแปลงวิธีจาก Reddy *et al.* (2013)
- 3.3.3. ดัชนีการละลาย คัดแปลงวิธีจาก Reddy *et al.* (2013)
- 3.3.4. การดูดซับน้ำ โดยวิธี Reddy *et al.* (2013)
- 3.3.5. การดูดซับน้ำมัน โดยวิธี Maninder *et al.* (2007)
- 3.3.6. ศึกษาพฤติกรรมความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer, RVA (NEWPORT SCIENTIFIC รุ่น RVA-4)

3.4. การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางเคมีกายภาพของตัวอย่าง JPC และ JPS โดยใช้ สถิติทดสอบค่าเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่มที่เป็นอิสระต่อกัน (T-test for Independent Sample) ที่ระดับความ เชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

4. ผลและอภิปรายการวิจัย

จากตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวัวร์มันจาวพร้าวในกระบวนการเตรียมก่อนผลิตฟลาวัวร์ที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 8.30 – 8.49 ปริมาณโปรตีนและปริมาณไขมันของ JPS น้อยกว่า JPC แต่ปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากกว่า ในขณะที่ปริมาณเถ้า ปริมาณเส้นใยหยาบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Paramita *et al.* (2021) ที่ศึกษาผลกระทบของกระบวนการผลิตฟลาวัวร์ที่แตกต่างกันต่อองค์ประกอบทางเคมีของเปลือก พบว่าการ แช่หัวเปลือกในสารละลายโซเดียมเมตาไบต์ซัลไฟด์ที่ 1 กรัม ต่อน้ำ 1 ลิตร โดยการจุ่มในระยะเวลาสั้นๆ และแช่

ระยะเวลา 20 นาที พบว่าการแช่หัวเผือกในสารละลายโซเดียมเมตาไบต์ซัลไฟต์ในระยะเวลาสั้นขึ้นจะทำให้โปรตีนลดลงเนื่องจากโซเดียมเมตาไบต์ซัลไฟต์มีความเป็นกรดทำให้โปรตีนได้รับความเสียหาย และงานวิจัยของ Gaol *et al.* (2020) ศึกษาผลกระทบของการลวกและความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมเมตาไบต์ซัลไฟต์ต่อองค์ประกอบทางเคมีของฟลาวอร์เมล็ดขนุน พบว่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมเมตาไบต์ซัลไฟต์ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณไขมันลดลง เนื่องจากสารละลายโซเดียมเมตาไบต์ซัลไฟต์สามารถเร่งความเร็วในกระบวนการอบแห้งทำให้ไขมันได้รับความเสียหายจากความร้อน นอกจากนี้การแช่สารละลายโซเดียมเมตาไบต์ซัลไฟต์ยังเป็นสาเหตุการแตกตัวของไขมันเป็นกรดไขมัน ทำให้กรดไขมันระเหยในอากาศมากขึ้นในกระบวนการอบแห้งจึงทำให้ปริมาณไขมันในฟลาวอร์เมล็ดขนุนลดลง

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวอร์มันจาวพร้าว (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) ในกระบวนการเตรียมก่อนผลิตฟลาวอร์ที่แตกต่างกัน

Sample	Chemical composition (%dry basis)				
	Protein*	Fat*	Ash ^{ns}	Crude fiber ^{ns}	Carbohydrate*
JPC	7.10 ± 0.04	0.16 ± 0.00	2.33 ± 0.03	2.15 ± 0.13	88.26 ± 0.29
JPS	6.70 ± 0.04	0.12 ± 0.00	2.24 ± 0.06	1.93 ± 0.14	89.01 ± 0.20

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตารางที่ 2 ค่าสีของฟลาวอร์มันจาวพร้าวในกระบวนการเตรียมก่อนผลิตฟลาวอร์ที่แตกต่างกัน

Sample	Color values		
	L*	a*	b*
JPC	84.26 ± 0.13 ^b	1.70 ± 0.12 ^a	9.00 ± 0.17 ^a
JPS	90.29 ± 0.22 ^a	0.75 ± 0.06 ^b	7.35 ± 0.11 ^b

หมายเหตุ a, b,... หมายถึง ตัวเลขที่มีอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

จากตารางที่ 2 ค่าสีของฟลาวอร์มันจาวพร้าวในกระบวนการเตรียมก่อนผลิตฟลาวอร์ที่แตกต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดย JPS และ JPC มีลักษณะผงสีขาวนวลเหมือนกัน แต่ค่าความสว่าง (L*) ของ JPS มากกว่า JPC และยังมีค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ของ JPS ที่น้อยกว่า JPC จึงทำให้ JPS มีสีขาวนวลกว่า JPC ซึ่งเป็นผลมาจากการแช่สารละลายโซเดียมเมตาไบต์ซัลไฟต์ที่ป้องกันการปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เพราะสารกลุ่มซัลไฟต์ไปจับกับกลุ่มคาร์บอนิลของน้ำตาลในฟลาวอร์ ซึ่งเป็นการป้องกันการเกิดสารสีน้ำตาลจึงทำให้ค่าความสว่าง (L*) เพิ่มขึ้น (Gaol *et al.*, 2020) นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ngoma *et al.* (2019) ที่ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติเชิงหน้าที่ของการปรับสภาพทางเคมีของฟลาวอร์มันเทศ ที่พบว่าการปรับสภาพทางเคมีด้วยสารละลายโซเดียมเมตาไบต์ซัลไฟต์ที่ระดับความเข้มข้น 5, 10 และ 15 กรัมต่อลิตร เป็นเวลา 10 นาที ส่งผลให้ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ลดลง

ตารางที่ 3 สมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาวอร์มันจาวพร้าวในกระบวนการเตรียมก่อนผลิต ฟลาวอร์ที่แตกต่างกัน

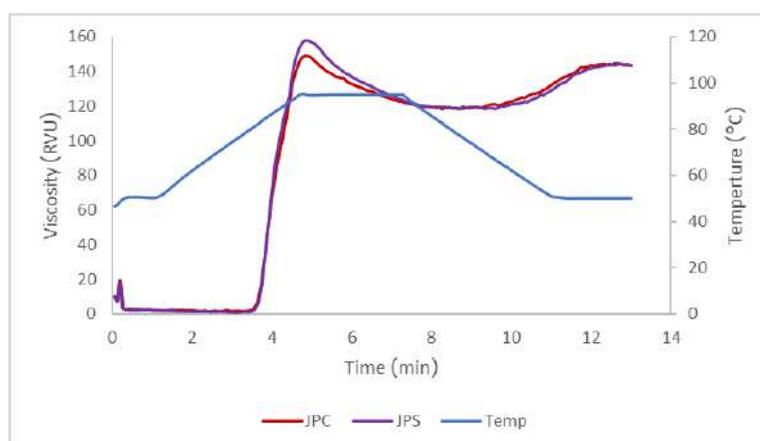
Physicochemical properties	Pretreatment Process	
	JPC	JPS
Swelling power ^{ns} (%)	11.48 ± 1.48	12.89 ± 0.86
Water solubility index [*] (%)	15.06 ± 0.05	16.14 ± 0.26
Water absorption capacity ^{ns} (%)	3.25 ± 0.45	2.99 ± 0.00
Oil absorption capacity ^{ns} (g/g)	2.42 ± 0.04	2.39 ± 0.07

หมายเหตุ *หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p<0.05)

ns หมายถึง ไม่มีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

Swelling power (%) = ค่ากำลังการพองตัว, Water solubility index (%) = ดัชนีในการละลาย, Water absorption capacity (%) = ความสามารถในการดูดซับน้ำ, Oil absorption capacity (g/g) = ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน

จากตารางที่ 3 พบว่า ดัชนีการละลายของฟลาวอร์มันจาวพร้าวในกระบวนการเตรียมก่อนผลิตฟลาวอร์ที่แตกต่างกัน มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) แต่ค่ากำลังการพองตัว ความสามารถในการดูดซับน้ำ และความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) โดย JPS มีดัชนีการละลายสูงกว่า JPC สอดคล้องกับงานวิจัย Ahmed *et al.* (2010) ; Chandra *et al.* (2015) พบว่าความแตกต่างในการละลายอาจเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของกลุ่มไฮดรอกซิลเพื่อสร้างพันธะไฮโดรเจนและพันธะโควาเลนต์ของสตาร์ช และการเพิ่มขึ้นของดัชนีการละลายเชื่อมโยงกับการเพิ่มขึ้นของการไหลซึมของอะมิโลสและการละลาย ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างผลึกของแป้ง นอกจากนี้ในวิจัยของ Padhan *et al.* (2020) ที่ศึกษาค่าดัชนีการละลายฟลาวอร์แยม (*Dioscorea alata* L.) จาก Koraput ในอินเดีย พบว่ามันจาวพร้าวมีดัชนีในการละลาย ร้อยละ 20.1 และความสามารถในการดูดซับน้ำร้อยละ 2.1 โดยพืชหัวตระกูล Dioscorea มีความสามารถอุ้มน้ำในฟลาวอร์และความสามารถในการดูดซับน้ำที่สูง ซึ่งเป็นประโยชน์ในการที่จะนำเนื้อมันจาวพามาผสมในการผลิตกุนเชียงเพื่อเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำและเป็นการลดการใช้ไขมันหมูได้ถึงร้อยละ 22 ของสูตร(Tan *et al.*, 2007)



แผนภาพที่ 1 พฤติกรรมความหนืดของฟลาวอร์มันจาวพร้าวในกระบวนการเตรียมก่อนผลิตฟลาวอร์ที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4 พฤติกรรมความหนืดของฟลาวร์มันจาวพรวัวในกระบวนการเตรียมก่อนผลิตฟลาวร์ที่แตกต่างกัน

Rapid Visco Analyzer (RVU)						
Sample	Peak ^{ns}	Minimum ^{ns}	Breakdown ^{ns}	Final ^{ns}	Setback ^{ns}	Pasting Temp. (°C) ^{ns}
JPC	148.83 ± 0.35	118.29 ± 0.41	30.37 ± 0.17	142.12 ± 1.94	23.67 ± 1.76	80.82 ± 0.10
JPS	157.91 ± 0.12	118.08 ± 0.35	39.83 ± 0.47	144.45 ± 1.23	26.37 ± 1.59	80.85 ± 0.07

หมายเหตุ *หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ(p<0.05)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

พารามิเตอร์ RVA : Peak (Peak viscosity) = ความหนืดที่จุดสูงสุด , Minimum (Minimum viscosity) = ความหนืดที่ต่ำที่สุดระหว่างการทำให้เย็น , Breakdown = ผลต่างของความหนืดสูงสุดและต่ำสุด , Final (Final viscosity) = ความหนืดสุดท้าย , Setback = ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่จุดต่ำสุด และ Pasting Temp. (Pasting Temperature) = อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด หน่วยเป็น °C

จากการวิเคราะห์พฤติกรรมความหนืดของฟลาวร์มันจาวพรวัวในกระบวนการเตรียมก่อนผลิตฟลาวร์ที่แตกต่างกัน (แผนภาพที่ 1 และตารางที่ 4) พบว่า Peak Viscosity และ Breakdown แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดย Peak Viscosity และ Breakdown ของ JPS สูงกว่า JPC เช่นเดียวกับงานวิจัยของฉัฐสุพร (2563) ที่ศึกษาผลของการแช่กล้วยน้ำว้าในสารละลายโซเดียมเมตาไบคาร์บอเนต พบว่าการแช่กล้วยน้ำว้าในสารละลายโซเดียมเมตาไบคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้นสูงทำให้เม็ดแป้งมีความหนาแน่นมากกว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ เมื่อเม็ดแป้งเกิดการพองตัวจึงทำให้ไม่มีช่องว่างระหว่างพื้นที่ ทำให้เกิดการชนกันระหว่างเม็ดแป้งทำให้เม็ดแป้งเคลื่อนที่ได้ยาก ความหนืดจึงเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ Breakdown ของ JPS ที่สูงกว่า JPC แสดงถึงความคงตัวของเม็ดสตาร์ชต่อการแตกตัวหลังการเกิดเจลลิตีในเซชัน การแช่สารละลายโซเดียมเมตาไบคาร์บอเนตอาจทำให้เม็ดแป้งเกิดการความแตกตัวทำให้ JPS เกิดการแตกตัวมากกว่า JPC ซึ่งเมื่อเทียบค่า Breakdown กับฟลาวร์มันสำปะหลังพบว่าฟลาวร์มันจาวพรวัวมีค่า Breakdown ต่ำกว่า (Maneechoold *et al.*, 2021) แสดงให้เห็นว่ามีความคงทนต่อความร้อนและการกวน สามารถนำมาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในอาหารที่ต้องใช้ความร้อนและแรงเฉือน เช่น อาหารกระป๋อง อาหารที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนสูงและซุปรอง (Pelissari *et al.*, 2012) จะเห็นได้ว่า พฤติกรรมความหนืดฟลาวร์มันจาวพรวัวมีลักษณะคล้ายกับฟลาวร์มันเลือด (purple yam flour) ฤทัยภักดีและคณะ (2022) ที่สามารถนำไปผสมกับแป้งมันสำปะหลังเพื่อผลิตเป็นข้าวเกรียบหรือผลิตภัณฑ์ชนิดพองกรอบได้เช่นกัน Sesang (2020) ในขณะที่ Minimum viscosity, Final Viscosity, Setback และ Pasting Temperature ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของกระบวนการเตรียมก่อนผลิตฟลาวร์ที่แตกต่างกัน 2 วิธีคือ วิธีแช่เนื้อมันจาวพรวัวในน้ำอุณหภูมิห้อง (JPC) และแช่ในสารละลายโซเดียมเมตาไบคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้น ร้อยละ 0.1 (JPS) ส่งผลให้ฟลาวร์มันจาวพรวัวที่ได้มี องค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติด้านความหนืดแตกต่างกัน โดยกระบวนการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธี JPS จะทำให้ฟลาวร์มีปริมาณ โปรตีน ไขมัน และเส้นใยหยาบลดลง ในขณะที่ปริมาณคาร์โบไฮเดรตจะสูงขึ้น และฟลาวร์มีสีขาวนวลขึ้น โดยจะเห็นได้จากค่าความสว่างที่สูงขึ้น ค่าความสีแดงและค่าความสีเหลืองที่ลดลง ยังส่งผลให้ค่าการละลายสูงขึ้น ในขณะที่ค่ากำลังการพองตัว ค่าการดูด

ซับน้ำและค่าการดูดซับน้ำมันไม่แตกต่างกันกับวิธี JPC นอกจากนี้ยังทำให้ค่าความหนืดสูงสุดและผลต่างของความหนืดสูงสุดและต่ำสุดของฟลาวัวร์สูงขึ้น แต่ไม่ส่งผลให้ค่าความหนืดต่ำสุด ค่าผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่จุดต่ำสุด ค่าความหนืดสุดท้าย และอุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดแตกต่างกัน

6. เอกสารอ้างอิง

- ณัฐพร สุบรรณมณ. (2563). ผลของการแช่กล้วยน้ำว้าในสารละลายชนิดต่างๆ และการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์มาเดอลีนเค้ก. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม*, 15(2), 110-121.
- รังสิณี โสธรวิทย์. (2550). *เคมีและจุลชีววิทยาเบื้องต้นของอาหาร*. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ฤทัยกัณฑ์ ชาญศรี, รัสรินทร์ ฉัตรทองพิศุทธิ์ และรัชวรรม จันทเขต. (2022). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบจากแป้งมันเลือด Development of cracker products from purple yam flour (*Dioscorea alata* L.). *วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์*, (21), 1-18.
- สุบิน ศรีวิชัย. (2563). อิทธิพลของโปรตีนและการให้ความร้อนในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงสีในแป้งมันแยมสีม่วง. *คุยฎีบัณฑิต*, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- โอรส รักชาติ. (2548). *สมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของสตาร์ชจากพืชหัวในสกุล Dioscorea บางชนิดที่พบในประเทศไทย*. คุยฎีบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Ahmed, M., Mst.S. Akter and J.B. Eun. (2010). Peeling, drying temperatures, and sulphite-treatment affect physicochemical properties and nutritional quality of sweet potato flour. *Food Chemistry*, 121, 112-118.
- Amanze, N.J., N.J. Agbo, O.N. Eke-Okoro and D.N. Njoku. (2011). Selection of yam seeds from open pollination for adoption in yam (*Dioscorea Rotundata Poir*) production zones in Nigeria. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 3(4), 68 - 73.
- AOAC. (2017). *Official methods of analysis of AOAC international*. gaitthersburg, MD, USA: AOAC International.
- Asranudina, Holilah, A.S. Purnomod, D. Allousse, I.E.A. Elbalrhitif, S.R. Putrad, N. Masruchinb and R. Tamimd. (2023). Improved functional properties of *Dioscorea alata* var. *Purpurea* flour after heat moisture treatment: Thermal, pasting, and granule stability. *Food and Humanity*, (1), 289–296.
- Chandra, S., S. Singh and D. Kumari. (2015). Evaluation of functional properties of composite flours and sensorial attributes of composite flour biscuits. *Food Science and Technology*, 52(6), 3681–3688.
- Chen, X., Jun. L, X. Li, Y. Wang, J. Miao, X. Mao, C. Zhao and W. Gao. (2017). Effect of blanching and drying temperatures on starch-related physicochemical properties, bioactive components and antioxidant activities of yam flours. *LWT - Food Science and Technology*, (82), 303-310.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). *Faostat*. Available Source: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>, April 15, 2021

- Gaol, R.A.L., M. Nurminah and R.J. Nainggolan. (2020). Effect of blanching time and sodium metabisulphite concentration on the physicochemical properties of jackfruit seed flour (*Artocarpus heterophyllus*). *Earth and Environmental Science*, (454), 012109
- Honfozo, L., L. Adinsi, A. Bouniol, S. Adetonah, L. Forsythe, U. Kleih, J.D. Hounhouigan, G. Fliedel and N.H. Akissoe. (2021). Boiled yam end-user preferences and implications for trait evaluation. *International Journal of Food Science and Technology*, (56), 1447–1457.
- Krishnan, G.J., G. Padmaja, S.N. Moorthy, G. Suja and M.S. Sajeew. (2010). Effect of pre-soaking treatments on the nutritional profile and browning index of sweet potato and yam flours. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, (11), 387–393.
- Lebot, V., F. Lawac and L. Legendre. (2023). The greater yam (*Dioscorea alata* L.): A review of its phytochemical content and potential for processed products and biofortification. *Journal of Food Composition and Analysis*, (79), 23–27.
- Li, P., Y. Mou., S. Lu., W. Sun., J. Lou., C. Yin., and L. Zhou. (2012). Quantitative determination of diosgenin in *Dioscorea zingiberensis* cell cultures by microplate spectrophotometry and high-performance liquid Chromatography. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 6(15), 1186 – 1193.
- Liu, W.Y., H.F. Shang., C.K. Wang., F.L. Hsu and W.C. Hou. (2007). Immunomodulatory activity of dioscorin, the storage protein of yam (*Dioscorea alata* cv. Tainong No. 1) tuber. *Food and Chemical Toxicology*, (45), 2312-2318.
- Maneechoold, P., S. Ratanasumawong and N. Siriwong. (2021). Effect of sweet cassava flour and rice flour on physical properties and sensory evaluation of gluten-free takoyaki product. *ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports*, (24), 27-35.
- Maninder, K., K.S. Sandhu and N. Singh. (2007). Comparative study of the functional, thermal and pasting properties of flours from different field pea (*Pisum sativum* L.) and pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) cultivars. *Food Chemistry*, (104), 259-267.
- Ngoma, K., M.E. Mashau and H. Silungwe. (2019). Physicochemical and functional properties of chemically pretreated ndou sweet potato flour. *International Journal of Food Science*.
- Olatoye, K.K. and G.L. Arueyab. (2019). Nutrient and phytochemical composition of flour made from selected cultivars of Aerial yam (*Dioscorea bulbifera*) in Nigeria. *Journal of Food Composition and Analysis*, (79), 23–2.
- Padhan, B., M. Biswas and D. Panda. (2020). Nutritional, anti-nutritional and physico-functional properties of wild edible yam (*Dioscorea* spp.) tubers from Koraput, India. *Food Bioscience*, 34, 1005.
- Paramita, O., S. Fathonah, Rosidah, T. Agustina and M. Larasati. (2021). The effect of different processes of flour making on the proximate composition of taro (*Colocasia esculenta* L.) flour and taro flour cookies. *Earth and Environmental Science*, (700), 012065.

- Pelissari, M.F., M.M.A. Mahecha., P.J.d.A. Sobral and F.C. Menegalli. (2012). Isolation and characterization of the flour and starch of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). *Starch - Starke*, 64(5), 382–391.
- Muadsri, P. (2016). The Potential of Prebiotic production from wild yam as *Lactobacillus casei* growth promoter. *KKU Research Journal of Humanities and Social Sciences (Graduate Studies)*, 21(2).
- Rao, G.K., C. Kapadia, N.B. Patel, K.D. Desai and P.N.N. Murthy. (2020). Genetic diversity analysis of greater yam (*Dioscorea alata* L.) genotypes through rapid and I SSR Markers. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, (23), 101495.
- Reddy, K.C., M. Suriya and S. Haripriya. (2013). Physico-chemical and functional properties of resistant starch prepared from red kidney beans (*Phaseolus vulgaris*.L) starch by enzymatic method. *Carbohydrate Polymers* (95), 220–226.
- Sesang, S. (2020). *Properties of starch affecting the processing of aquatic products*. Aquaculture Industry Technology Research and Development Division, Department of Fisheries.
- Tan, F.J., F.Y. Liao., Y.J. Jhan and D.C. Liu. (2007). Effect of replacing pork backfat with yams (*Dioscorea alata*) on quality characteristics of Chinese sausage. *Journal of Food Engineering*, (79), 858–863.

การเตรียมสารเชื่อมขวางที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและการใช้งานเป็นสารตกแต่งสำเร็จ กันยับบนผ้าไหม

Preparation of environmental friendly crosslink agent and application as a wrinkle free finishing agent for silk fabric

นนทพร หล่อเรืองศิลป์

ภาควิชาวิทยาการสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: Nontaporn.hlor@ku.th

พิชาลัย ผู้พัฒน์

ภาควิชาวิทยาการสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: pithalai.p@ku.th

พรรณภักดิ์ พรหมเพ็ญ

ภาควิชาวิทยาการสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: phannaphat.ph@ku.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์สารเชื่อมขวางที่มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมแล้วนำมาศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการตกแต่งสำเร็จบนผ้าไหมด้วยวิธีจุ่มอัด-อบแห้ง-อบผนึก โดยการสังเคราะห์สารเชื่อมขวางจะใช้น้ำตาลอ้อยและกรดมาลิก แล้วนำสารไปตรวจสอบเอกลักษณ์ด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี ทำการเปรียบเทียบความสามารถในการคืนตัวและค่าความขาว-เหลือง ของผ้าไหมที่ตกแต่งและผ้าไหมที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่ง และ ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของสารเชื่อมขวางบนผ้าไหมด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี จากผลการวิจัยพบว่าผ้าไหมที่ทำการตกแต่งด้วยสารเชื่อมขวางจากน้ำตาลอ้อยและกรดมาลิกที่ทำให้ผ้าไหมมีมุมต่อการคืนตัวต่อรอยยับดีที่สุด คือ สารเชื่อมขวางที่สังเคราะห์จากสารละลายน้ำตาลอ้อยที่มีความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลอ้อย 15% ทำการที่อบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที อย่างไรก็ตามผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จจากสารเชื่อมขวางที่สังเคราะห์ขึ้นจะมีความเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าไหมที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จ

คำสำคัญ: ผ้าไหม, สารกันยับ, สิ่งทอที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม, น้ำตาลอ้อย, มุมการคืนตัวจากรอยยับ

ABSTRACT

The objective of this research is to synthesize an environmentally friendly crosslink agent and investigate the optimal condition for finishing the synthesized agent on silk fabric by using the pad-dry-cure method. Cane sugar and malic acid were used for synthesizing crosslink agents. Then, the synthesized agent were

characterized by the nuclear magnetic resonance spectroscopy. The wrinkle recover angle, the whiteness and yellowness were compared between the finished silk and the pristine silk. After that, the functional groups of the finished silk were examined by the Fourier transform infrared spectrometer technique. The results found that the finished silk with crosslinking agent from the synthesis of malic acid and 15% cane sugar solution with the curing condition at 150 degrees Celsius for 20 minutes showed the highest wrinkle recovery angle. However, the finished silk showed a yellower color compared to the silk that has not been finished.

Keywords: Silk, Crosslink agent, Environmental friendly textile, Cane sugar, Wrinkle recovery angle

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ผ้าไหมไทยถือว่าเป็นมรดกอันล้ำค่าของเมืองไทย ด้วยความงดงามของเส้นไหมที่มีความเป็นเอกลักษณ์ และลวดลายที่บ่งบอกถึงความเป็นไทย เส้นไหมที่นำมาใช้ในการทอผ้าไหมนั้น ได้มาจากสัตว์จำพวกหนอนไหม เมื่อนำมาทอเป็นผ้าผืนจึงทำให้ผ้ามีความอ่อนนุ่ม มีความพลิ้วไหว มันวาว มีความเหนียว ยืดหยุ่นได้ดี ดูดซับ ความชื้น ย้อมสีได้ง่ายและสวมใส่สบาย อย่างไรก็ตามผ้าไหมมีปัญหาเรื่องผ้าจึงไม่อยู่ทรง เมื่อจะนำผ้าไหมมาทำ เสื้อผ้าจึงต้องมีการนำผ้าไหมไปอัดผ้ากาวเพื่อช่วยให้ผ้าไหมเป็นทรงสวยมากยิ่งขึ้น ไม่ยับง่าย แต่ผ้าไหมอัดกาว ส่งผลให้ผ้าไหมมีสมบัติความสบายที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น ความสามารถในการระบายอากาศของผ้าไหมจะลดลง (กฤติยา อ่องวุฒิวัดน์, 2562) เนื่องจากผ้ากาวไปอุดช่องว่างที่เป็นการระบายอากาศของผ้าไหม จึงทำให้ผู้ที่สวมใส่ จะรู้สึกไม่สบายตัว และเมื่อนำผ้าไหมไปอัดกาวแล้วจะทำให้การดูแลรักษาที่จะยากขึ้นกว่าเดิม

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษากระบวนการสังเคราะห์สารเชื่อมขวางที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจากน้ำตาล อ้อยและศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตกแต่งสารเชื่อมขวางที่สังเคราะห์ขึ้นลงบนผ้าไหมเพื่อเพิ่มคุณสมบัติที่ดี ของผ้าไหม เช่น การดูแลรักษา ทนต่อรอยยับได้ดี และทำให้ผ้ามีความคงตัวเป็นทรงสวยมากขึ้นอีกด้วย

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อสังเคราะห์สารเชื่อมขวางที่ใช้ในการตกแต่งผ้าไหมจากน้ำตาลอ้อยและกรดมาลิก
- (2) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกแต่งสำเร็จผ้าไหมจากสารเชื่อมขวางที่สังเคราะห์ขึ้น

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

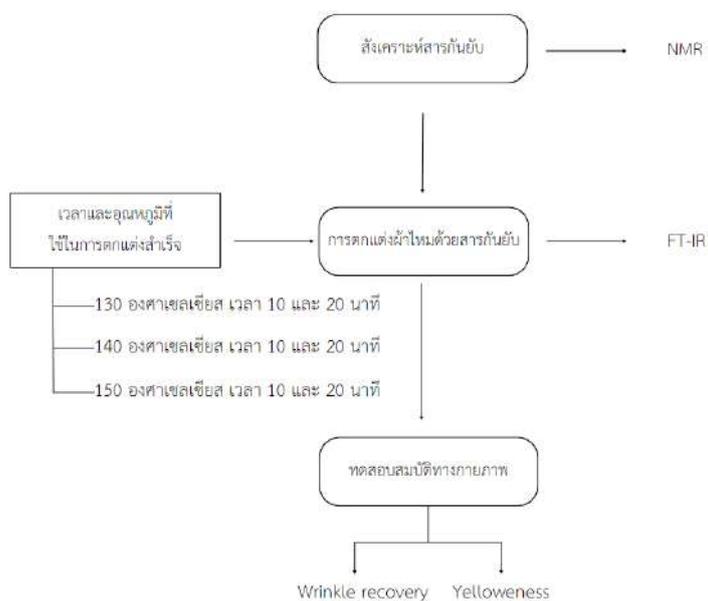
ในการตกแต่งสำเร็จผ้าไหมเพื่อให้มีสมบัติดูแลรักษาง่าย ด้านทานการยับสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้สารตกแต่งประเภทเรซิน โดยสารนี้จะเข้าไปอยู่บริเวณส่วนอสัณฐาน (Amorphous) ภายในเส้นใยทำให้ โมเลกุลเส้นใยเคลื่อนที่ได้ยากเมื่อน้ำซึมเข้าไปหรือถูกความร้อน สารตกแต่งเพื่อกันยับจะทำให้ผิวของเส้นใย เส้นด้ายลื่น นุ่ม เส้นด้ายเคลื่อนตัวได้สะดวกไม่ยับง่าย (ศรีนวล แก้วแพรง, 2540) แต่เรซินส่งผลให้มีข้อเสียบาง ประการ เช่น ความต้านทานแรงดึงที่ค่อนข้างต่ำ และการมีส่วนผสมของสารฟอร์มัลดีไฮด์ระหว่างกระบวนการ ผลิตและการใช้งาน ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ใช้ และยังคงเป็นสารก่อมะเร็งอีกด้วย ดังนั้นจึงมีการใช้สาร ตกแต่งที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น การใช้กรดพอลิคาร์บอกซิลิก ได้แก่ กรดบิวเทนเตตระคาร์บอกซิลิก (BTCA) กรดไซโคลเพนเทนเตตระคาร์บอกซิลิก (CPTA) แต่ BTCA และ CPTA มีราคาแพงเกินกว่าจะนำไปใช้

ประโยชน์ได้จริง รวมถึงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนสีและลดความแข็งแรงของผ้าและสมบัติทางกลอื่นๆของเส้นใยลดลง (Ashis Narayan Amita Banerjee and others, 2021) รวมถึงการใช้กรดมาเลอิกเป็นสารเชื่อมขวางร่วมกับไคโตซาน โดยกรดมาเลอิกนี้จะทำปฏิกิริยากับไคโตซานเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันส่งผลให้เกิดพันธะเชื่อมขวางในโครงสร้างของผ้าไหมสามารถต้านทานการยับได้โดยไม่ทำให้ความแข็งแรงของผ้าไหมลดลง (Ashis Narayan Amita Banerjee and others, 2021)

มีงานวิจัยก่อนหน้านี้ได้นำกรดมาลิกซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ในกลุ่มไดคาร์บอกซิลิกมาใช้ร่วมกับโซเดียมไฮโปฟอสเฟต โดยจะเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันส่งผลให้เกิดพันธะเชื่อมขวางในผ้าฝ้ายทำให้ผ้าฝ้ายมีสมบัติในการต้านทานการยับได้ โดยมีการศึกษาการตกแต่งผ้าฝ้ายด้วยสารกันยับจากซูโครส พบว่าสารกันยับนี้ทำให้ผ้าฝ้ายสามารถต้านทานการยับได้ดีขึ้น โดยไม่ส่งผลเสียต่อพื้นผิวของผ้าฝ้ายและมีความแข็งแรงกว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารกันยับชนิดอื่นๆที่มีขายตามท้องตลาด อีกทั้งสารกันยับชนิดนี้ยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและปลอดภัย ไม่มีพิษต่อผู้ผลิตและผู้ใช้อีกด้วย (Namrata V and others, 2020)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดจะนำกรดมาลิกซึ่งเป็นกรดคาร์บอกซิลิกและน้ำตาลอ้อยซึ่งเป็นน้ำตาลที่มีปริมาณซูโครสมากที่สุดมาใช้เป็นสารเชื่อมขวางในการตกแต่งสำเร็จผ้าไหมเพื่อให้มีสมบัติต้านทานการยับที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยใช้โซเดียมไฮโปฟอสเฟตเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อให้เกิดพันธะเชื่อมขวางบนผ้าไหม แล้วทำการศึกษามุมการคืนตัวต่อรอยยับ และ ค่าความขาวและความเหลืองของผ้าเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกแต่งผ้าไหมด้วยสารเชื่อมขวางที่สังเคราะห์ขึ้น

3.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 วัสดุและอุปกรณ์

ผ้าไหมที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ เป็นผ้าไหม 2 เส้น ทอลายขัด ขนาด 96 กรัมต่อตารางเมตร ทำความสะอาดด้วยการต้มในสบู่มาตรฐานที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ล้างน้ำให้สะอาด ตากให้แห้ง ก่อนนำไปใช้วิจัยต่อไป

สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ น้ำตาลอ้อย กรดมาลิก ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เอนไซม์คาตาเลส และ โซเดียมไฮโปฟอสเฟต โมโนไฮเดรต

4.2 การสังเคราะห์สารตกแต่งกันยับจากซูโครสและน้ำตาลอ้อย

การเตรียมสารเชื่อมขวางจากสารละลายน้ำตาลอ้อย 12.5%, 15% และ 20% โดยอ้างอิงจากงานวิจัยก่อนหน้านี (Namrata V and others, 2020) ทำได้โดยการเตรียม มาออกซิไคซ์กับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องกวนแม่เหล็กที่ 300 รอบต่อนาที เมื่อครบ 12 ชั่วโมงแล้ววางทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเติมเอนไซม์คาตาเลส 0.001 มิลลิลิตร เพื่อสลายตัวออกซิไคซ์ แล้วกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็ก 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นเติมโซเดียมไฮโปฟอสเฟต โมโนไฮเดรต 2.5 กรัม แล้วเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเป็น 70 องศาเซลเซียส และเติมกรดมาลิก และเพิ่มอุณหภูมิเป็น 100 องศาเซลเซียส กวนต่อไปอีก 10 นาที จะได้สารเชื่อมขวางเพื่อนำไปวิเคราะห์และตกแต่งบนผ้าไหมต่อไป

4.3 การตกแต่งผ้าไหมเพื่อกันยับ

นำสารกันยับที่สังเคราะห์ได้ไปตกแต่งบนผ้าไหมโดยวิธีจุ่มอัด-อบแห้ง-อบผนึกโดยการจุ่มผ้าไหมลงในภาชนะที่มีสารตกแต่งสำเร็จที่สังเคราะห์ขึ้นเป็นเวลา 10 นาทีให้ผ้าไหมเปียกทั่วตลอดผืนทั้งสองด้าน จากนั้นนำผ้าไปผ่านลูกกลิ้งบีบอัดเพื่อให้สารเชื่อมขวางเข้าไปในผ้าและนำผ้าไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที แล้วทำการอบผนึกโดยจะอบผนึกที่เวลา 10 และ 20 นาที อุณหภูมิ 130, 140 และ 150 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อครบเวลานำผ้าไหมที่ผ่านการอบผนึกแล้วออกจากเครื่องอบผนึก ล้างน้ำเปล่า ตากให้แห้ง

4.4 การตรวจสอบเอกลักษณ์ของสารเชื่อมขวาง

สารเชื่อมขวางจากน้ำตาลอ้อยและกรดมาลิกจะนำไปตรวจสอบสูตรโครงสร้างทางเคมีโดยใช้เทคนิค นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (Nuclear Magnetic Resonance spectroscopy: NMR) โดยเครื่อง Bruker รุ่น Avance NEO NMR500 MHz

4.5 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารกันยับ

- การทดสอบมุมการคืนตัวต่อรอยยับของผ้า โดยทำตามมาตรฐาน AATCC 66-2003 ด้วยเครื่อง Wrinkle Recovery Angle Tester
- การทดสอบความขาวและความเหลืองของผ้า ด้วยเครื่อง Spectrophotometer รุ่น Macbeth color-eye 7000

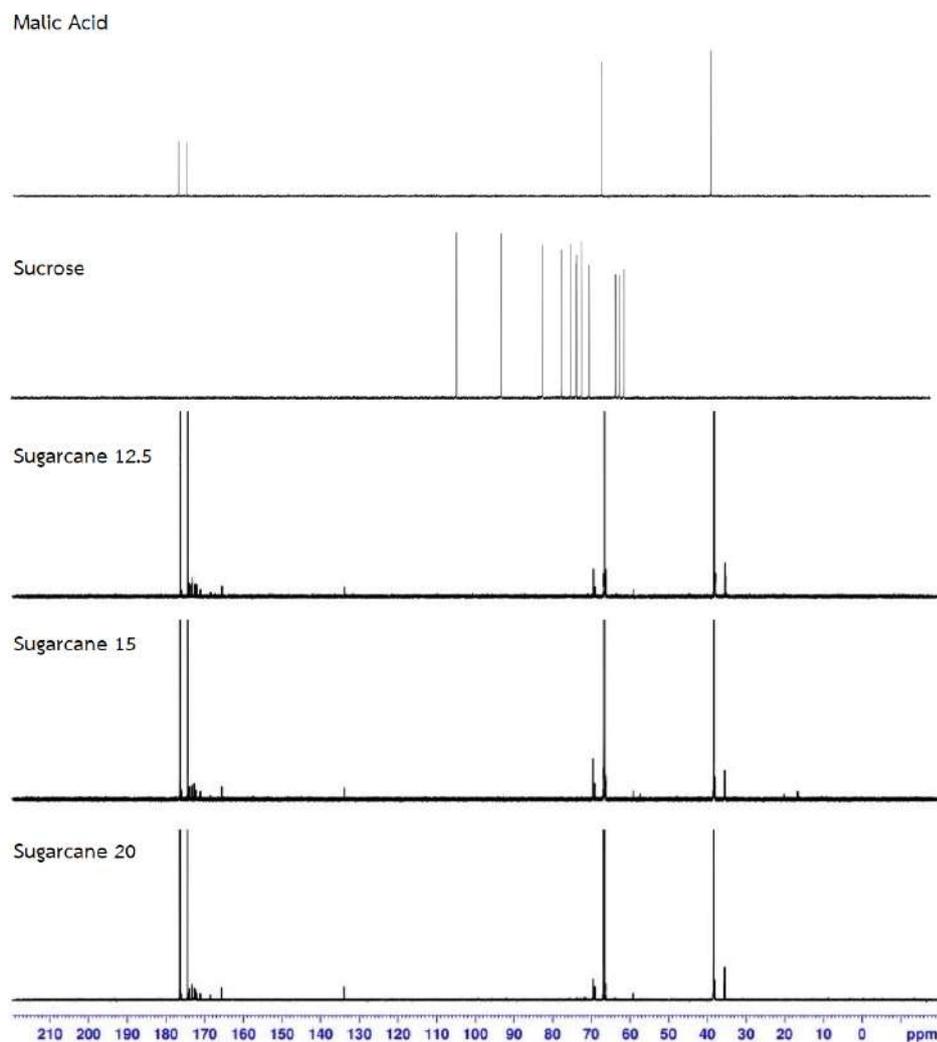
4.6 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของผ้าไหมที่ตกแต่งสำเร็จด้วยสารเชื่อมขวาง

ผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารเชื่อมขวางและผ้าไหมที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จนำไปทดสอบหมู่ฟังก์ชัน โดยใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Attenuated total reflectance Fourier-transform infrared: ATR-FTIR) โดยใช้เครื่อง Bruker รุ่น Tensor 27

5. ผลการวิจัย

5.1 ผลของการตรวจเอกลักษณ์ของสารเชื่อมขวางจากน้ำตาลอ้อยและกรดมาลิก

ผลการทดสอบ ^{13}C -NMR ของน้ำตาลซูโครส กรดมาลิก สารเชื่อมขวางที่สังเคราะห์ขึ้น โดยมีความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลอ้อยที่ 12.5%, 15% และ 20% แสดงในภาพที่ 1

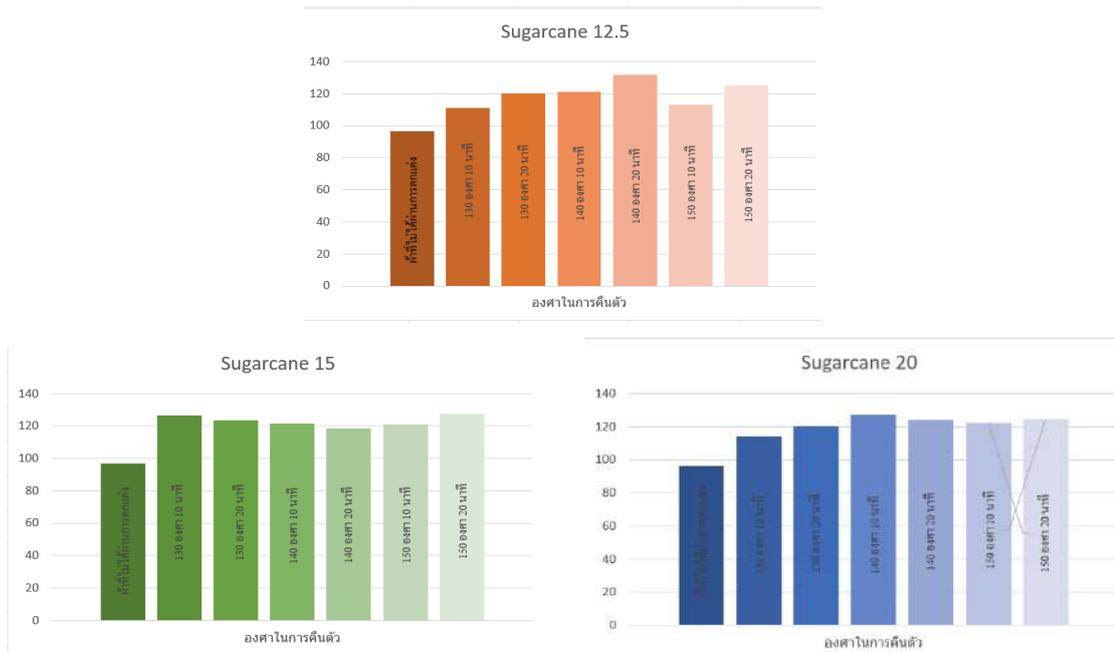


ภาพที่ 1 ผลการทดสอบ NMR ของกรดมาลิก, น้ำตาลซูโครส และ สารเชื่อมขวางที่สังเคราะห์ขึ้น

จากภาพที่ 1 พบว่าค่าพีค 3 พีคของสารเชื่อมขวางจากน้ำตาลอ้อยที่สังเคราะห์ขึ้นทั้งสามความเข้มข้นในช่วง 110-60 ppm ซึ่งเป็นพีคของซูโครสหายไป และพบค่าพีคของสารเชื่อมขวางที่สังเคราะห์ขึ้นเกิดขึ้นใหม่ระหว่าง 174 และ 176 ppm โดยพีคที่เกิดขึ้นใหม่นี้เป็นพีคของกรดมาลิกนั่นเอง ทำให้สามารถอนุมานได้ว่าการสารกันยับที่สังเคราะห์ใหม่นี้ได้มีการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันของทั้งน้ำตาลอ้อยและกรดมาลิก กลายเป็นสารเชื่อมขวางใหม่ขึ้นมาแทน

5.2 มุมการคืนตัวต่อรอยยับของผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารเชื่อมขวางจากน้ำตาลอ้อยและกรดมาลิก

ผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จจากสารเชื่อมขวางที่สังเคราะห์ขึ้น โดยมีความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลอ้อยที่ 12.5%, 15% และ 20% เมื่อนำไปทำการอบแห้งและอบผนึกที่เวลา 10 และ 20 นาทีและอุณหภูมิ 130, 140 และ 150 องศาเซลเซียส แล้วนำมาทดสอบมุมการคืนตัวต่อรอยยับตามแนวด้ายพุ่ง แสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ผลมุมการคืนตัวต่อรอยยับของผ้าไหมก่อนและหลังตกแต่งด้วยสารเชื่อมขวางที่สังเคราะห์ขึ้นที่มีความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลอ้อยที่ 12.5%, 15% และ 20%

จากภาพที่ 3 พบว่าค่าเฉลี่ยของผ้าไหมที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จมีค่ามุมการคืนตัวต่อรอยยับประมาณ 99 องศา ส่วนมุมการคืนตัวต่อรอยยับพบว่าผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จ โดยใช้สารเชื่อมขวางที่สังเคราะห์ขึ้นที่มีความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลอ้อยทั้งสามความเข้มข้นมีผลการคืนตัวจากรอยยับสูงกว่า ส่วนผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จจากสารเชื่อมขวางที่สังเคราะห์ขึ้นจากสารละลายน้ำตาลอ้อยที่ 15% ที่ผ่านการอบผนึกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที ผ้ามีค่าการคืนตัวจากรอยยับเฉลี่ยที่ประมาณ 127.67 องศา ซึ่งเป็นผ้าผืนที่มีมุมต่อการคืนตัวต่อรอยยับมากที่สุด

5.3 ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีของผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารเชื่อมขวางจากน้ำตาลอ้อยและกรดมาลิก

การเปลี่ยนแปลงสีของผ้าไหมที่ไม่ได้ตกแต่งสำเร็จด้วยสารเชื่อมขวางและผ้าไหมที่ตกแต่งสำเร็จด้วยสารเชื่อมขวางแล้วนำไปอบผนึกที่อุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกัน แสดงในตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบผ้าไหมที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารเชื่อมขวางที่สังเคราะห์ขึ้นกับผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งทั้งหมด จะพบว่าผ้าไหมที่ตกแต่งด้วยสารเชื่อมขวางที่มีความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลอ้อย 12.5% จะมีค่าความขาวและเหลืองใกล้เคียงกับผ้าไหมที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จมากที่สุด รองลงมาจะเป็นที่ตกแต่งด้วยสารเชื่อมขวางที่มีความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลอ้อย 15% และ 20%

ตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิที่ใช้ในการอบผืนก็มีผลต่อความเหลืองของผ้าไหม กล่าวคือ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบผืนจะทำให้ค่าความขาวและค่าความเหลืองเพิ่มขึ้น

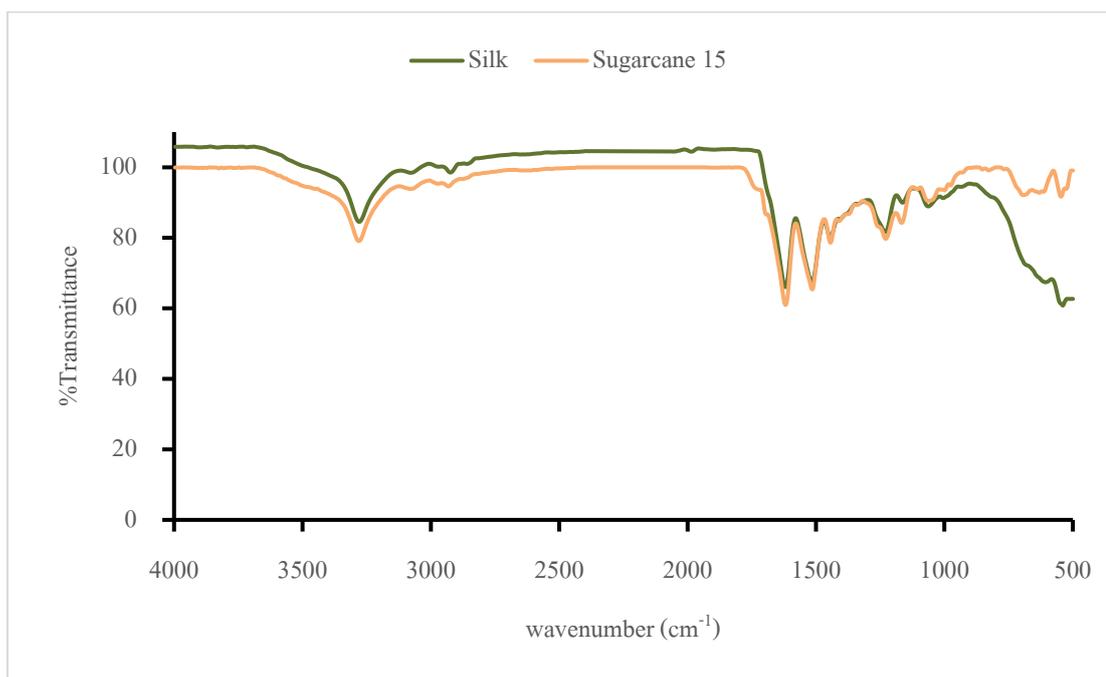
ตารางที่ 1 ค่าความขาว-เหลืองของผ้าไหมทั้งก่อนและหลังตกแต่งสำเร็จด้วยสารตกแต่งกันยับ

ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลอ้อย	สถานะในการอบผืน	ค่าความขาว	ค่าความเหลือง
ผ้าไหมที่ไม่ได้ตกแต่งสำเร็จ		-10.65	31.90
12.5%	130°C 10 นาที	-14.57	33.62
	130°C 20 นาที	-14.71	33.96
	140°C 10 นาที	-29.32	38.59
	140°C 20 นาที	-26.58	37.58
	150°C 10 นาที	-19.04	35.42
	150°C 20 นาที	-32.93	39.69
15%	130°C 10 นาที	-27.95	38.16
	130°C 20 นาที	-23.41	36.74
	140°C 10 นาที	-24.89	37.21
	140°C 20 นาที	-28.71	38.56
	150°C 10 นาที	-27.37	38.11
	150°C 20 นาที	-36.15	40.74
20%	130°C 10 นาที	-23.76	37.05
	130°C 20 นาที	-24.17	37.19
	140°C 10 นาที	-25.72	37.59
	140°C 20 นาที	-26.01	37.83
	150°C 10 นาที	-28.62	38.37
	150°C 20 นาที	-43.95	43.23

5.4 ผลของการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันจากผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารเชื่อมขวางจากน้ำตาลอ้อยและกรดมาลิก

ภาพที่ 3 แสดงสเปกตรัมของ ATR-FTIR ของผ้าไหมที่ไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จ และ ผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารเชื่อมขวางที่มีความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลอ้อย 15% และทำการอบผืน ณ อุณหภูมิและเวลาที่ทำให้ผ้าไหมมีมุมการคืนตัวต่อรอยยับที่ดีที่สุด

ผลการทดสอบพบว่าที่สเปกตรัมของสารเชื่อมขวางที่สังเคราะห์ขึ้นในช่วงบริเวณ 1500- 500 cm^{-1} เป็นบริเวณที่แสดงการดูดกลืนคาร์บอนิลของสารเชื่อมขวาง และสารเชื่อมขวางที่สังเคราะห์ขึ้นได้แสดงจุดพีคที่ 1733 cm^{-1} ซึ่งบ่งบอกว่าเป็นบริเวณการเกิดพันธะเอสเทอร์จากปฏิกิริยาระหว่างกลุ่มกรดคาร์บอกซิลิกของซูโครสที่มาจากน้ำตาลอ้อยและกลุ่มไฮดรอกซิลของกรดมาลิก ซึ่งการเติมโซเดียมไฮโปฟอสเฟต โมโนไฮดรตจะช่วยเร่งปฏิกิริยาให้ออกมาเป็นสารเชื่อมขวางนี้



ภาพที่ 3 ATR-FTIR ของผ้าไหมก่อนและหลังตกแต่งด้วยสารเชื่อมขวางที่สังเคราะห์ขึ้นที่มีความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลอ้อย 15% และทำการอบผืนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที

6. อภิปรายผล

จากผลการทดสอบ NMR สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างทางเคมีจากปฏิกิริยาออกซิเดชันและคาร์บอกซิเลชัน ของสเปกตรัม $^{13}\text{C-NMR}$ ของน้ำตาลซูโครส กรดมาลิก สารเชื่อมขวางที่สังเคราะห์ขึ้น โดยมีความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลอ้อยที่ 12.5%, 15% และ 20% ได้ โดยพบว่าสเปกตรัมของน้ำตาลซูโครส เกิดพีคที่ 110 ถึง 60 ppm ส่วนสเปกตรัมของสารเชื่อมขวางที่สังเคราะห์ขึ้น พบว่า 3 พีค ที่เห็นในซูโครสระหว่าง 62 และ 65 ppm นั้นหายไป และได้เกิดพีคใหม่ขึ้นแทนที่ 173 ppm และ 175 ppm จึงเห็นได้ชัดเจนว่ากลุ่มไฮดรอกซิลปฐมภูมิของซูโครสนั้นเปลี่ยนไปเป็นกลุ่มกรดคาร์บอกซิลิกในสารเชื่อมขวางแทน (Zhang et al. 2009) นอกจากนี้ยังพบกลุ่มกรดคาร์บอกซิลิกสองกลุ่มที่มีอยู่ในกรดมาลิก ระหว่าง 174 ppm และ 176 ppm ในพีคของสารเชื่อมขวางที่สังเคราะห์ขึ้นในทุกความเข้มข้นด้วย โดยสารเชื่อมขวางที่สังเคราะห์ขึ้นทุกชนิดนั้นได้แสดงจุดพีคที่เหมือนกัน โดยจุดพีคนี้สอดคล้องกับจุดพีคของกรดมาลิก นั่นคือจุดพีค ระหว่าง 171 และ 176 ppm ซึ่งจุดพีคนี้ได้บ่งชี้การก่อตัวของ พันธะเอสเทอร์จากปฏิกิริยาของหมู่ไฮดรอกซิลจากกรดมาลิก ด้วยการเติมโซเดียมไฮโปฟอสเฟต โมโนไฮเดรตที่ช่วยทำให้ลดโปรตอนได้ง่ายและสะดวกขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น เนื่องจากกรดมาลิก มีทั้งกรดคาร์บอกซิลิกและหมู่ไฮดรอกซิลนั่นเอง

การทดสอบมุมการคืนตัวต่อรอยยับของผ้า พบว่าผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จจากสารเชื่อมขวางที่สังเคราะห์ขึ้นจากสารละลายน้ำตาลอ้อยที่ 15% มีค่าเฉลี่ยของมุมการคืนตัวจากรอยยับดีที่สุด แสดงว่าผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งในสภาวะนี้สามารถทนต่อการยับได้ดีที่สุด (ธนวัฒน์ และคณะ, 2021) เมื่อเปรียบเทียบกับสารเชื่อมขวางที่สังเคราะห์จากสารละลายน้ำตาลอ้อยที่มีความเข้มข้นอื่นๆ เนื่องจากในน้ำตาลอ้อยมีปริมาณน้ำตาลซูโครสอยู่ร้อยละ 80 โดยประมาณ เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ใช้น้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 10% ในการสังเคราะห์สารเชื่อมขวางที่ใช้ในการตกแต่งกันยับผ้าฝ้าย (Patil & Netravali, 2020) ซึ่งปริมาณน้ำตาล

ชูโครสที่มีอยู่ในสารละลายน้ำตาลอ้อยความเข้มข้น 15% มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลชูโครสบริสุทธิ์ในงานวิจัยดังกล่าว

เมื่อศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการตกแต่งสำเร็จสารเชื่อมขวางจากน้ำตาลอ้อยพบว่าสถานะการอบผึ่งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที ของสารเชื่อมขวางที่มีปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลอ้อยทุกความเข้มข้นมีมุมการคืนตัวต่อรอยยับของผ้าดีกว่าสถานะอื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่กล่าวว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบผึ่งจะทำให้มุมการคืนตัวต่อรอยยับของผ้ามีค่าเพิ่มขึ้น (Mohammed Ahmed และคณะ, 2021) อย่างไรก็ตามอุณหภูมิในการอบผึ่งไม่สามารถเพิ่มขึ้นเกินกว่า 150 องศาเซลเซียสได้ เนื่องจากน้ำตาลชูโครสอาจเกิดปฏิกิริยาการเกิดคาราเมล (caramelization) ทำให้เกิดสลายตัวของโมเลกุลน้ำตาลและมีการเกิดพอลิเมอร์ของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสารที่มีกลิ่นและรสเฉพาะตัวที่เรียกว่า คาราเมล (caramel) ซึ่งส่งผลให้เกิดสีน้ำตาลบนผืนผ้าไหมได้

อย่างไรก็ตามเมื่อทำการทดสอบค่าความขาวและเหลืองของผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จจากสารเชื่อมขวางที่สังเคราะห์ขึ้นพบว่าเมื่อนำผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จไปอบผึ่งที่อุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกันจะทำให้ค่าความขาวและความเหลืองของผ้ามีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณของน้ำตาลชูโครสที่เป็นส่วนประกอบในสารเชื่อมขวางแต่ละความเข้มข้นแตกต่างกัน จากปฏิกิริยาการเกิดคาราเมลนั้น เมื่อน้ำตาลได้รับความร้อนที่สูงขึ้นและใช้เวลาในการอบผึ่งนานขึ้นจะทำให้น้ำตาลเกิดการสลายตัวจนค่อยๆเปลี่ยนสีจากไม่มีสีจนกลายเป็นสีน้ำตาล จึงอาจกล่าวได้ว่าปริมาณความเข้มข้นของน้ำตาลอ้อยในสารเชื่อมขวางที่สังเคราะห์ขึ้นส่งผลต่อค่าความขาวและเหลืองบนผ้า กล่าวคือยังมีปริมาณน้ำตาลมาก อุณหภูมิในการอบผึ่งสูง และ เวลาในการอบผึ่งนานขึ้นจะยิ่งทำให้สีของผ้ามีความเหลืองมากยิ่งขึ้นนั่นเอง

จากผลการวิจัยสรุปได้ว่าน้ำตาลอ้อยและกรดมาลิกสามารถนำมาสังเคราะห์เป็นสารเชื่อมขวางที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อใช้ในการตกแต่งสำเร็จผ้าไหมให้มีสมบัติดูแลรักษาง่าย ทนต่อการยับ โดยทำการสังเคราะห์สารเชื่อมขวางจากสารละลายน้ำตาลอ้อย 15% และนำมาตกแต่งบนผ้าไหมในสถานะที่เหมาะสมคือการจุ่มอัด อบแห้ง และการอบผึ่งที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 20 นาที ที่จะให้ค่ามุมการคืนตัวต่อรอยยับของผ้าไหมมีค่ามากที่สุด แม้ว่าค่าความขาวและความเหลืองของผ้าอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการสลายตัวของน้ำตาลชูโครสที่เป็นส่วนประกอบของน้ำตาลอ้อย

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) จากผลการวิจัยนี้สามารถนำกระบวนการสังเคราะห์สารเชื่อมขวางไปใช้ในการตกแต่งผ้าไหมให้สามารถดูแลรักษาได้ง่าย มีความทนต่อการยับเพื่อเป็นทางเลือกในการตกแต่งผ้าไหมที่มีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

(1) อาจจะใช้น้ำตาลชนิดอื่นๆ มาทำการสังเคราะห์สารกันยับโดยกระบวนการเดียวกันนี้เพื่อเปรียบเทียบค่ามุมต่อการคืนตัวต่อรอยยับ

(2) อาจจะมีการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดเพื่อวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของผ้าไหมที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารเชื่อมขวางที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

8. เอกสารอ้างอิง

- Ashis Narayan Amita Banerjee1, Dibyendu Bikash Datta, Rajiv Munshi and Debasish Das. (2021). Crosslinking of Chitosan With Eri Silk Using Maleic Acid. *Advances In Agronomy, Plant Breeding and Horticulure*, 9(3), 01-13.
- Mohammed Ahmeded , Nachiappan Sukumar and Rotich K. Gideon.(2021). Crease Resistance Finishing Optimization of Citric Acid and Fibroin Solution for Cotton Fabrics. *Journal of Natural Fibers*, 18(2), 297-307.
- Namrata V, Patil, Anil N, Netravali. (2020). Multifunctional Sucrose Acid as A ‘Green’ Crosslinker for Wrinkle-free Cotton Fabrics. *Cellulose*, 27, 5408-5420.
- Vinay G. Nadiger, Sanjeev R. Shukla. (2016). Antibacterial properties of silk fabric treated with silver nanoparticles. *The Journal of The Textile Institute*, 107(12), 1543-1553.
- กฤติยา อ่องวุฒิวัดน์. (2562). การประเมินค่าการแทรกผ่านไอน้ำของ: ผ้าไหมแพรวาและผ้าโพลีเอสเตอร์ทอแบบ ไคมอนต์. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏวราชนครินทร์*, 11(3), 153-164
- ศรีนวล แก้วแพรง. (2540). *ความรู้เรื่องผ้าและเส้นใย*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- ชนวัฒน์ แก้วเกตุ, ธัญลักษณ์ ศรีสุข, ปิยะพร คามภีรภาพพันธ์. (2564). อิทธิพลของสารตกแต่งสำเร็จกันยับชนิดต่าง ๆ ต่อสมบัติของผ้ามีสลิน. *วารสารวิจัย UTK ราชมงคลกรุงเทพ*, 15(2), 13-23.
- อัฐพงศ์ แสงงาม. (2013). สิ่งทอกับนาโนเทคโนโลยี. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 15(2), 17-20.