



วารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

The Journal of Industrial Technology Thepsatri Rajabhat University

Vol. 19, No. 2, July - December 2024

ISSN 3027-849X (Online)

การศึกษาการออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดส่วนแขนดา วินชี A Study on the Design and Development of Control System for the Arm of Da Vinci Surgery Robot โพธิ์ สินชู, ยุทธนา ปิติธีรภาพ, มนัส สัจวารศิลป์ และนันทชัย ทองแป้น	59
แพลตฟอร์มไอโอที สำหรับการติดตามตำแหน่ง IoT Platform for Location Tracking ณัฐ วีรกุล, พีรณัฐ ศรีสุทธางกูร, ชัยพร ใจแก้ว, อภิรักษ์ จันทร์สร้าง, วิธวัช ตั้งตรงไพโรจน์ และอนันต์ ผลเพิ่ม	67
การบูรณาการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมร่วมกับธุรกิจไมซ์ในกรุงเทพมหานคร Integration of Cultural Tourism Logistics with MICE Business (MICE) in Bangkok ฉวีณัฐ งามภูววรรณ, ณัฐภัทรศญา เศรษฐโชติสมบัติ และณัฐพัชร์ อารีรัชกุลกานต์	73
การเพิ่มผลผลิตในกระบวนการการปลูกข้าวแบบลักษณะนาหว่านเมล็ดข้าววงอกนาม : กรณีศึกษา ตำบลโพรงอากาศ อำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา Increasing Productivity in the Rice Cultivation Process Using the Direct Seeding Method with Pre-germinated Rice Seeds: A Case Study in Phrong Akat Sub-District, Bang Nam Piao District, Chachoengsao Province สุทธิดา การะเวก, ยุทธณรงค์ จงจันทร์, ศรีนยา ประทีปชนะชัย, นรินทร์ กลุณภาค, เมธี พรหมศิลา, กิ่งกาญจน์ กิตติสุนทรโรภาส, และธนธัช มั่นมงคล	82
การศึกษาสภาพการณ์การทำงานปัจจุบันของเตาเผาเซรามิกส์ เพื่อประเมินแนวทางในการปรับปรุงสถานะในการผลิต กรณีศึกษาศูนย์เซรามิกส์ สถาบันการเรียนรู้ตลอดชีวิต มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย Study of The Current Working Conditions of Ceramic Kilns to Assess The Guidelines for Improving Production Conditions. A Case Study of The Ceramics Center, Lifelong Learning Institute, Chiang Rai Rajabhat University อนุพงษ์ สมพฤกษ์, นงนุช ศรีเล็ก และปรานต์ เมฆอากาศ	97
การพัฒนากรวดในงานภูมิทัศน์จากผักตบชวา Development of Gravel in Landscape from Water Hyacinth บุญญาพร บุญศรี	109
การผลิตกระถางย่อยสลายได้จากใบไม้แห้งร่วมกับมูลวัว Biodegradable pot production from dried leaves and cow manure ประนิดดา อินชมฤทธิ์, กฤษณา ผลพิบูลย์, อาทิตยา ประนนท์, ภาวิณี เทียมดี และปาริสีชชา แสงสุวรรณ	116
การพัฒนาระบบแสดงผลโหลดทางไฟฟ้าโดยใช้โครงข่ายชื่อข้อมูลและเทคโนโลยีไอโอที Development of an Electrical Load Monitoring System using Named Data Networking and IoT Technology ศศิธรมย์ พานทอง, เอกอรรถพร ภูพันนา และวิฑวัส วิเศษฤทธิ์	124
การทำเหมืองความคิดเห็นของผู้ใช้รถพลังงานทางเลือก Opinion Mining of Alternative-Energy Vehicle Users ฤทธิ์ศักดิ์ บุบผาทวีศักดิ์ และจारी ทองคำ	135

วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
ปีที่ 19 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2567

บรรณาธิการ

รศ.ว่าที่ ร.ต.ดร.ชูชาติ พยอม

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผศ.ดร.ลลิลธร มะระกานนท์ ผศ.ดร.กุลสมทรัพย์ เย็นน้ำชลิต ผศ.ดร.ธาดา คำแดง

ผู้ทรงคุณวุฒิในกองบรรณาธิการ

ศ.ดร.สุมาลี สังข์ศรี	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
ศ.ดร.จรัญ จันทลักขณา	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ศ.ดร.สายัณห์ ทัดศรี	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร.พีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร.วุฒิพงศ์ อารีกุล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร.โกสินทร์ จำนงไทย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.ธีรศิลป์ ทุมวิภาต	สถาบันเทคโนโลยีจิตรลดา
รศ.ดร.สุมาลี อุณหวนิชย์	สถาบันเทคโนโลยีจิตรลดา
รศ.ดร.ชนศักดิ์ ป้ายเที่ยง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.กฤษณ์ อ่างแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.พิพัฒน์ พรหมมี	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.วิสุทธิ สุนทรกนกพงศ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.ชูลิทธิ์ ประดับเพ็ชร	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

ฝ่ายจัดการวารสาร

นางนภาพร รอดแก้ว นางสาววัชรี ภูรักษา

วัตถุประสงค์

เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ได้แก่ วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ อุตสาหกรรมการเกษตร เทคโนโลยีสารสนเทศ การจัดการอุตสาหกรรม

กำหนดการออกวารสาร

ปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน และฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม

ลักษณะบทความ

1. ต้องไม่เคยเผยแพร่ในวารสารอื่นใดมาก่อนหรือต้องไม่อยู่ในขั้นตอนการพิจารณาเพื่อเผยแพร่ในวารสารอื่น
2. ต้องเป็นผลงานวิจัยที่มีผลกระทบในวงกว้างที่ไม่ใช่งานวิจัยในระดับสถาบัน

บทความที่ลงพิมพ์เป็นข้อคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น
ผู้เขียนจะต้องเป็นผู้รับผิดชอบต่อผลทางกฎหมายใดๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากบทความนั้น

การศึกษาการออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดส่วนแขนดาวินชี A Study on the Design and Development of Control System for the Arm of Da Vinci Surgery Robot

โพธิ์ สินชู*, ยุธธนา ปิติธีรภาพ, มนัส สังวรศิลป์ และ นันทชัย ทองแป้น
Po Sinchoo*, Yutthana Pititheeraphab, Manas Sangworasil and Nuntachai Thongpance

สาขาวิชาวิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์ วิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต
College of Biomedical Engineering Rangsit University

*Email: Po.s66@rsu.ac.th

Received: June 11, 2024; Revised: July 23, 2024; Accepted: August 01, 2024

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีเทคโนโลยีการผ่าตัดที่มีหุ่นยนต์ทางการแพทย์เข้ามาเกี่ยวข้องมากขึ้น โดยการผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์ da Vinci เนื่องจากการผ่าตัดด้วยหุ่นยนต์ทางการแพทย์มีราคาสูงมากและมีค่าดูแลรักษาที่สูงก่อนที่จะใช้งาน ศัลยแพทย์จึงจำเป็นต้องมีการฝึกฝนก่อนลงมือปฏิบัติจริง เนื่องจากทางวิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต ได้รับมอบหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci จาก โรงพยาบาลกรุงเทพภูเก็ตที่ไม่ได้ใช้งานแล้ว จึงเป็นต้นแบบในการวิจัยนี้จะสร้างและออกแบบระบบควบคุมหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci เพื่อนำไปใช้งานดังที่ได้กล่าวมา การออกแบบจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนของชุดประมวลผล ส่วนที่ใช้ควบคุมการผ่าตัดโดยตรง โดยมีทั้งหมด 4 ฟังก์ชัน และ ส่วนที่ใช้ควบคุมตำแหน่งของเครื่องมือผ่าตัด โดยมีทั้งหมด 3 ฟังก์ชัน ทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำชุดควบคุมการผ่าตัดทั้ง 3 ส่วน โดยใช้เทคนิคเอ็นโค้ดเดอร์สัมบูรณ์เพื่อสร้างต้นแบบให้ทำงานแบบเดียวกันกับหุ่นยนต์ da Vinci สามารถสร้างส่วนควบคุมหลัก และภาคประมวลผล ที่นำไปควบคุมหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci ได้ นอกจากนี้ยังสามารถเข้าใจโครงสร้างการทำงานของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดได้อย่างลึกซึ้ง

คำสำคัญ : หุ่นยนต์ดาวินชี, เอ็นโค้ดเดอร์แบบหมุน, เอ็นโค้ดเดอร์แบบสัมบูรณ์

Abstract

Now, medical robotic surgery technology is increasingly involved in Da Vinci's robotic surgery. Because of the high cost of medical robot operation and the high cost of pre-operation maintenance, surgeons need to carry out pre-training before actual operation. Since the University School of Biomedical Engineering retired Da Vinci's surgical assistant robot from Bangkok Hospital, as the prototype of this study, the control system of Da Vinci's surgical assistant robot was constructed and designed and put into use. As mentioned above, the design is divided into processing unit, which directly controls the operation, and there are four functional parts, which control the position of surgical instruments, and there are three functions, so the researchers have conceived. And can create main controls and processing sector that can be used to control the da Vinci surgical robot.

Keywords : Da vinci robot, Incremental Encoder, Absolute Encoder

1. บทนำ

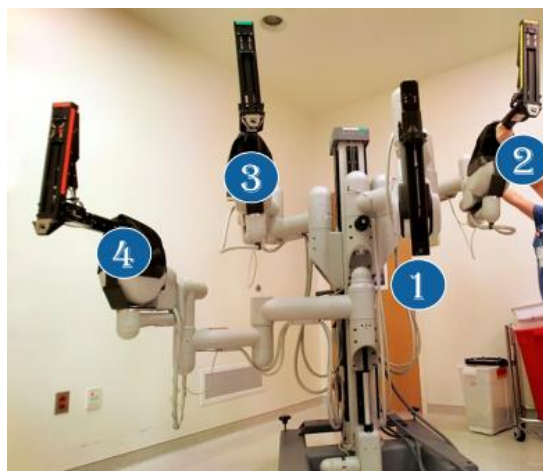
ปัจจุบัน การแพทย์ได้มีการพัฒนาในเรื่องการผ่าตัดให้มีประสิทธิภาพ และความเจ็บปวดที่น้อยลง การผ่าตัดโดยใช้เทคโนโลยีทางการแพทย์เข้ามาช่วยในการผ่าตัด นั่นคือการผ่าตัดผ่านกล้อง 3 มิติ (Advanced 3D Laparoscopic Surgery) คือการผ่าตัดผ่านรูเล็ก ๆ ขนาดเพียง 3-5 มิลลิเมตร [1] เจาะบนผิวหนังร่างกาย จากนั้นจึงสอดกล้องและเครื่องมือเข้าไปตรวจดูอวัยวะภายใน ซึ่งแพทย์สามารถเห็นภาพผ่านจอมอนิเตอร์ ซึ่งข้อแตกต่างจากวิธีเดิมที่เห็นได้ชัด คือ ไม่ต้องผ่าตัดเปิดแผลใหญ่เหมือนวิธีเปิดหน้าท้อง แผลจึงมีขนาดเล็ก ผู้ป่วยไม่เจ็บตัวมาก ช่วยให้การฟื้นตัวของร่างกายกลับสู่สภาพปกติได้เร็วขึ้น ที่สำคัญการใช้เทคนิคนี้สามารถใช้ได้ผลดีกับการรักษาโรคที่เกิดกับอวัยวะภายในช่องท้อง แต่ในการผ่าตัดรักษาโรคที่มีความซับซ้อน โดยเฉพาะบริเวณที่คับแคบและลึก จึงเป็นข้อจำกัดของเครื่องมือและวิธีการผ่าตัดภายใต้กล้อง [2] และวิวัฒนาการทางการแพทย์ที่ก้าวหน้า จึงทำให้เกิดการนำหุ่นยนต์

da Vinci มาช่วยในการผ่าตัดภายใต้กล้อง ประโยชน์ที่เด่นชัดของการนำหุ่นยนต์มาช่วยในการผ่าตัด คือ แขนของหุ่นยนต์ รวมไปถึงการออกแบบปลายข้อมือ เลียนแบบมือมนุษย์ แต่การเคลื่อนไหวและการหมุนเป็นไปได้อย่างอิสระและหักงอได้มากกว่า จึงทำให้เพิ่มความสามารถในการผ่าตัด [3] ซึ่งส่งผลให้คุณภาพชีวิตของผู้ป่วยดีขึ้น

จากการศึกษาหลักการทำงานของระบบการทำงานของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดดาวินชีแบ่งเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ 1)INPUT คือส่วนที่ควบคุมการผ่าตัด เป็นตำแหน่งที่ศัลยแพทย์ทำการควบคุมโดยใช้ทั้งสองมือควบคุมการเคลื่อนไหวตัวควบคุมหลักเหมือนการผ่าตัดปกติ 2)PROCESS จะทำการแปลงสัญญาณจากตัว INPUT เพื่อที่จะไปควบคุมตัวหุ่นยนต์ 3)OUTPUT หุ่นยนต์ข้างตัวคนไข้ เปรียบเสมือนแขนของ ศัลยแพทย์ แขนของหุ่นยนต์ทั้ง 4 แขนจะทำการผ่าตัดเลียนแบบการเคลื่อนไหวของมือ ศัลยแพทย์สามารถหักงอข้อมือและหมุนข้อมือได้อย่างอิสระถึง 7 ตำแหน่ง จะแสดงได้ดังรูปที่ 1



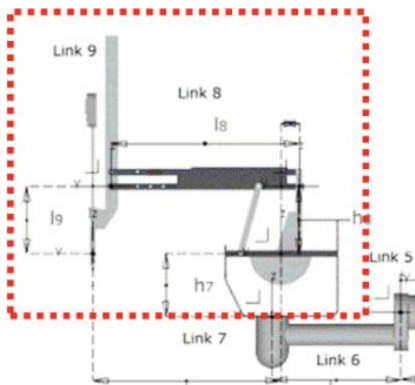
รูปที่ 1 ระบบการทำงานของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดดาวินชี



รูปที่ 2 หุ่นยนต์ข้างตัวคนไข้

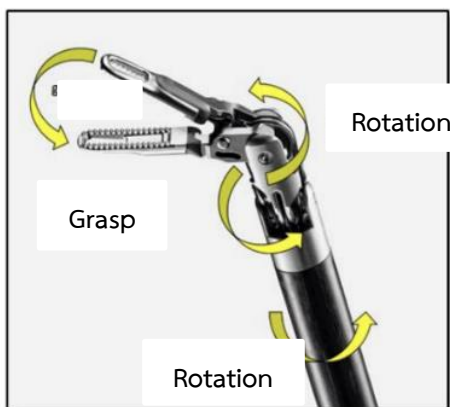
จากรูปที่ 2 จะแสดงการทำงานของแต่ละแขน มีดังนี้
 1) แขนที่ 1 ใช้ในการถือกล้องขยายภาพ 3 มิติ เพื่อส่งสัญญาณ ภาพอวัยวะที่ต้องผ่าตัดไปยังหน้าจอ 2) แขนที่ 2 ใช้ในการผ่าตัด ผูก ตลอดจนเย็บเนื้อเยื่อ 3) แขนที่ 3 ใช้ในการผ่าตัด ผูก ตลอดจนเย็บเนื้อเยื่อ 4) แขนที่ 4 ทำหน้าที่ตั้งรั้งเนื้อเยื่อ เพื่อช่วยในการผ่าตัด

จากการศึกษาโครงสร้างของหุ่นยนต์ที่กล่าวมาข้างต้น สามารถแบ่งโครงสร้าง ออกเป็น 8 ส่วน หรือ 7 ข้อต่อ [4] ซึ่งในแต่ละข้อต่อของหุ่นยนต์จะถูกขับเคลื่อนด้วยเอ็นโค้ดเดอร์สั้บบูร์ณ เป็นตัวตรวจจับตำแหน่งการเคลื่อนไหวของมอเตอร์ แสดงดังรูปที่ 3

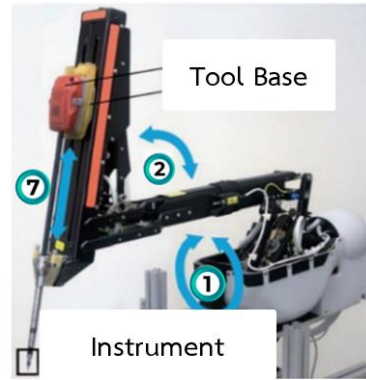


รูปที่ 3 ส่วนประกอบของ Patient Cart

ในงานวิจัยนี้จะทำการการออกแบบระบบควบคุมเพื่อไปต่อกับส่วนแขนและมือของหุ่นยนต์ da Vinci เพื่อให้ทำงานได้เหมือนเดิม โดยได้แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ 1) ส่วนที่ใช้ควบคุมการผ่าตัดโดยตรง [5] ดังรูปที่ 4 และ 2) ส่วนที่ใช้ควบคุมตำแหน่งการผ่าตัด ที่มี 3 ข้อต่อ [6] ดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 ส่วนที่ใช้ควบคุมการผ่าตัดโดยตรง



รูปที่ 5 ส่วนที่ใช้ควบคุมตำแหน่งการผ่าตัด

เนื่องจากทางวิทยาลัยวิศวกรรมชีวการแพทย์ มหาวิทยาลัยรังสิต ได้รับมอบหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci จากโรงพยาบาลกรุงเทพภูเก็ต ระบบการทำงานทั้งซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์สามารถควบคุมและใช้งานได้อย่างปกติ แต่เมื่อเวลาผ่านไป ระบบการทำงานของซอฟต์แวร์มีอายุการใช้งานที่ถูกจำกัด จึงทำให้ต้องมีการบำรุงรักษา ซึ่งค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษานั้นมีค่าใช้จ่ายที่สูง ทางวิทยาลัยจึงเกิดแนวคิดที่จะทำการวิจัยที่จะสร้างและออกแบบระบบควบคุมหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด

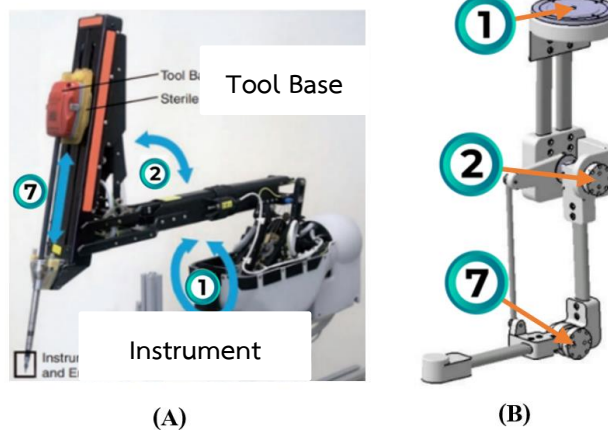
ในการดำเนินงานจะทำการพิจารณาหุ่นยนต์ da Vinci จะนำระบบการควบคุมแบบเอ็นโค้ดเดอร์สั้บบูร์ณมาใช้ งานซึ่งจะพิจารณาในส่วนแขน ที่แบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนของชุดประมวลผล ส่วนที่ใช้ควบคุมการผ่าตัดโดยตรงที่มีการทำงานทั้งหมด 4 ฟังก์ชัน และ ส่วนที่ควบคุมตำแหน่งการผ่าตัดที่มีการทำงานทั้งหมด 3 ฟังก์ชัน จะใช้เทคนิคเอ็นโค้ดเดอร์สั้บบูร์ณมาควบคุม

2. การออกแบบและวิธีการทดลอง

การออกแบบส่วนควบคุมหลัก (Master Controller) ได้อ้างอิงมาจากเครื่อง da Vinci ที่มีอยู่จริง และเสริมจากงานวิจัย Modelling and identification of the da Vinci Research Kit robotic arms [7] การออกแบบเริ่มจากการพิจารณา ส่วนควบคุมทางด้านมือขวา โดยทำการออกแบบผ่านโมเดลมือขวา โดยใช้โปรแกรม CATIA และพิมพ์ชิ้นงานโดยใช้เครื่องพิมพ์ 3 มิติ แสดงดังรูปที่ 6 B เป็นหุ่นยนต์ da Vinci มือขวา รูป 6 A แสดงส่วนที่ออกแบบมาที่ใช้โปรแกรม CATIA

พิจารณาจากส่วนที่สร้างขึ้นตามรูป 6 B ที่จะไปควบคุม หุ่นยนต์ในรูป 6 A ซึ่งจะมีการทำงานโดยที่ ตำแหน่งที่ 1

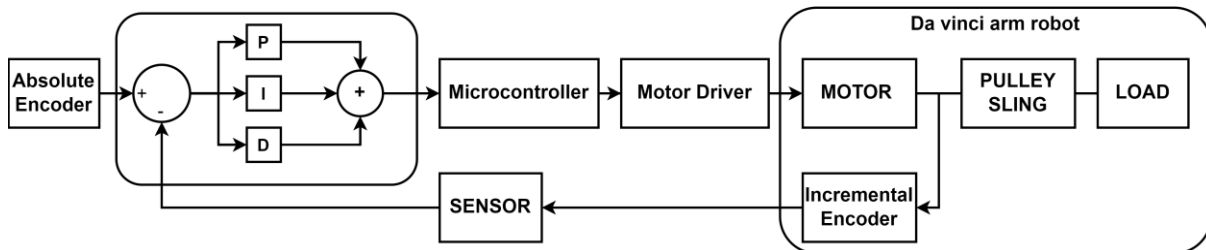
หมุนซ้าย-ขวา ตำแหน่งที่ 2 เลื่อนมาด้านหน้า-หลัง และ ตำแหน่งที่ 7 เลื่อนขึ้น - ลง



รูปที่ 6 A) แขนหุ่นยนต์ PSM B) ส่วนที่ทำการออกแบบในโปรแกรม CATIA

เนื่องจากสัญญาณที่จะไปควบคุมแขนของหุ่นยนต์ da Vinci ประกอบไปด้วยสัญญาณที่จะให้ไปควบคุมมอเตอร์ของหุ่นยนต์ในส่วนที่ 1, 2 และ 7 และสัญญาณเอ็นโค้ดเดอร์แบบหมุนที่

ออกมาจากการหมุนของมอเตอร์ ในงานวิจัยนี้จะใช้เทคนิคเอ็นโค้ดเดอร์สัมบูรณ์มาช่วยในการทำงานการควบคุม



รูปที่ 7 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานที่ออกแบบ

จากรูปที่ 7 คือ โดยการปรับตำแหน่งซึ่งมีค่ามุมตามพิสัยการเคลื่อนที่ต่อเข้ากับ ไมโครคอนโทรลเลอร์โดยผ่านการปรับค่า PID [8] เพื่อที่จะไปควบคุมมอเตอร์ จากที่กล่าวมาในรูปที่ 6 เมื่อมอเตอร์หมุนจะได้สัญญาณจากเอ็นโค้ดเดอร์สัญญาณที่ได้จะแสดงในตารางที่ 1 เอ็นโค้ดเดอร์แบบหมุนที่ติดอยู่กับมอเตอร์กระแสตรงในแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดทำหน้าที่ยับตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ออกเป็นพัลส์ต่อรอบและจะส่งค่ากลับมาที่เซ็นเซอร์เพื่อจะแปลงค่าเป็นมุมตาม

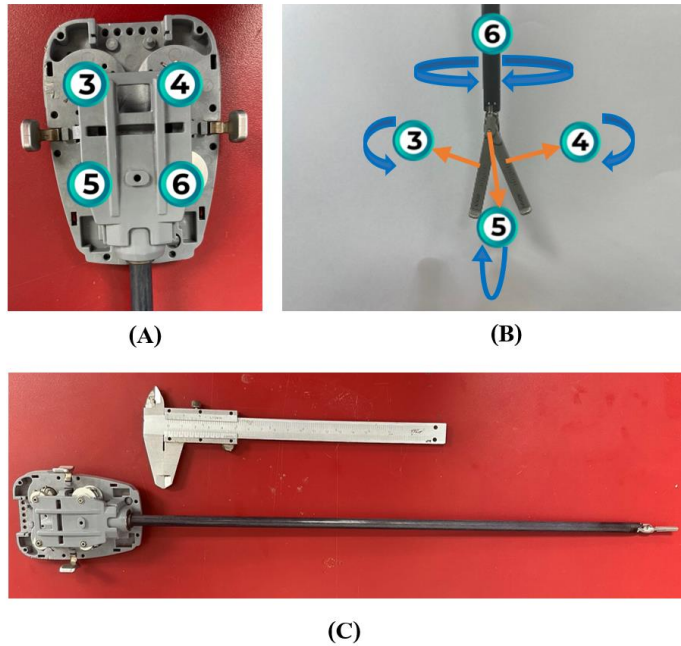
พิสัยการเคลื่อนที่ เพื่อที่จะเทียบกับค่าตำแหน่งที่เอ็นโค้ดเดอร์สัมบูรณ์กำหนดไว้แล้ว

ซึ่งค่าเอ็นโค้ดเดอร์แบบหมุนที่ติดอยู่กับมอเตอร์ในแต่ละตัวนั้น (1, 2 และ 7) สามารถอ่านค่าจำนวนพัลส์ต่อรอบที่แตกต่างกันไปตามตารางที่ 1

และการควบคุมหุ่นยนต์ da Vinci ในส่วนของมือที่ใช้ควบคุมการผ่าตัดโดยตรง แสดงดังรูปที่ 8

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบเอ็นโค้ดเดอร์เพื่อตรวจจับตำแหน่งของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด

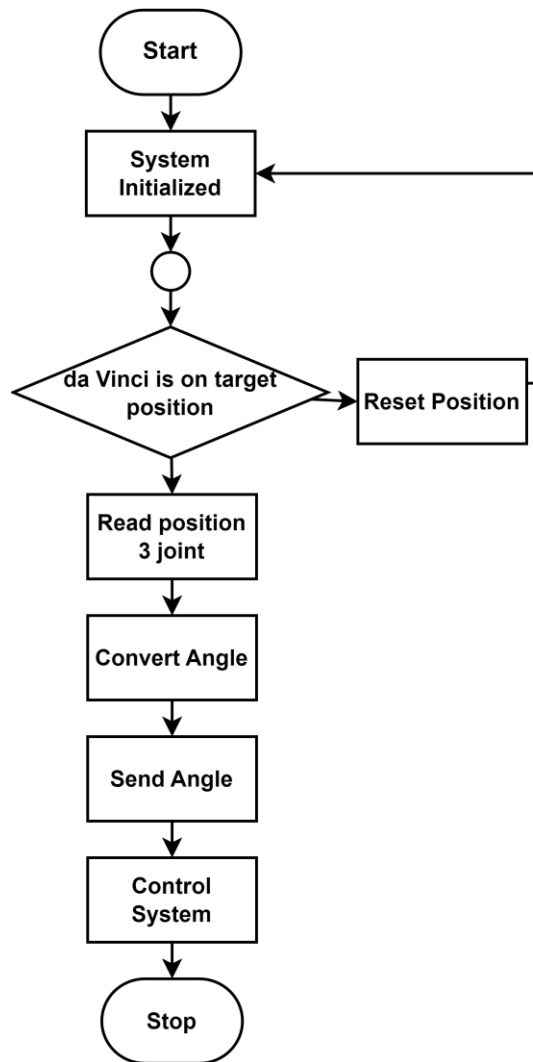
มอเตอร์	พิสัยการเคลื่อนที่ (องศา)	พิสัยระยะทาง (cm)	ค่าจากเอ็นโค้ดเดอร์แบบหมุนน้อยสุด (พัลส์ต่อรอบ)	ค่าจากเอ็นโค้ดเดอร์แบบหมุนมากที่สุด (พัลส์ต่อรอบ)
แขน				
1	0 – 180	-	-100,000	100,000
2	0 – 108	-	-50,000	50,000
7	-	0 – 23.62	-20,000	100,000



รูปที่ 8 A) กล่องที่ควบคุมการผ่าตัดโดยตรง B) ปลายที่ใช้ทำการผ่าตัดโดยตรง C) รูปภาพโดยรวม

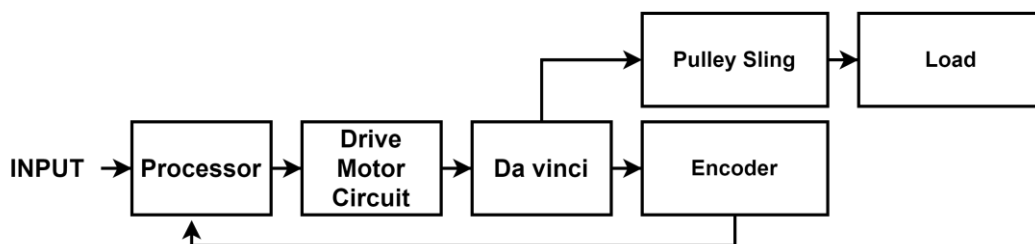
พิจารณาจากส่วนที่ทำการผ่าตัดโดยตรงในรูป 8 A ซึ่งประกอบไปด้วยรอก 4 ตัวตามเลข 3, 4, 5, และ 6 ซึ่งตัวรอก 3, 4 และ 5 มีลักษณะรูปทรงกระบอก ที่มีรัศมีเท่ากันคือ 5.5 มิลลิเมตร และ 6 มีรัศมี 9 มิลลิเมตร จากกล่องจะมีแกนยาว 38.2 เซนติเมตร ในรูปที่ 8 C และที่อีกปลายด้านหนึ่งจะมีอุปกรณ์ที่ช่วยทำการผ่าตัดโดยตรงซึ่งต่อเชื่อมอยู่กับรอก 4 ตัวที่ได้กล่าวมาโดยที่ตำแหน่งที่ 3 เคลื่อนที่ไปทางซ้าย – ตรงกลาง โดยมุมต่ำสุดอยู่ที่ 90 องศา และมุมสูงสุดอยู่ที่ 180 องศา ตำแหน่งที่ 4 เคลื่อนที่ไปทางขวา – ตรงกลาง โดยมุมต่ำสุดอยู่ที่ 0 องศา และมุมสูงสุดอยู่ที่ 90 องศา ตำแหน่งที่ 5 เลื่อนมาด้านหน้า-หลังโดยมุมต่ำสุดอยู่ที่ 0 องศา และมุมสูงสุดอยู่ที่ 180 และตำแหน่งที่ 6 หมุนไป - กลับ 180 องศา ในรูป 8 B

Flow Chart แสดงการออกแบบของโปรแกรมในส่วน ของประมวลผลสัญญาณ เริ่มต้นจากการเปิดระบบควบคุมของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci หลังจากนั้น ตัวหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดจะเข้าสู่ตำแหน่งที่ได้กำหนดไว้ถ้าหากว่าตัวหุ่นยนต์นั้นไม่ได้อยู่ในตำแหน่งที่กำหนดไว้ มอเตอร์จะทำการหมุนไปยังตำแหน่งที่กำหนดไว้ ตัวเอ็นโค้ดเดอร์ ที่อยู่ในตัวหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดจะทำการอ่านค่าตำแหน่งทั้ง 3 Joint หลังจากนั้น จะทำการแปลงมุม และส่งค่ามุมที่ได้กลับมายังระบบควบคุม เพื่อจะทำการควบคุมต่อไปแสดงดังรูปที่ 9



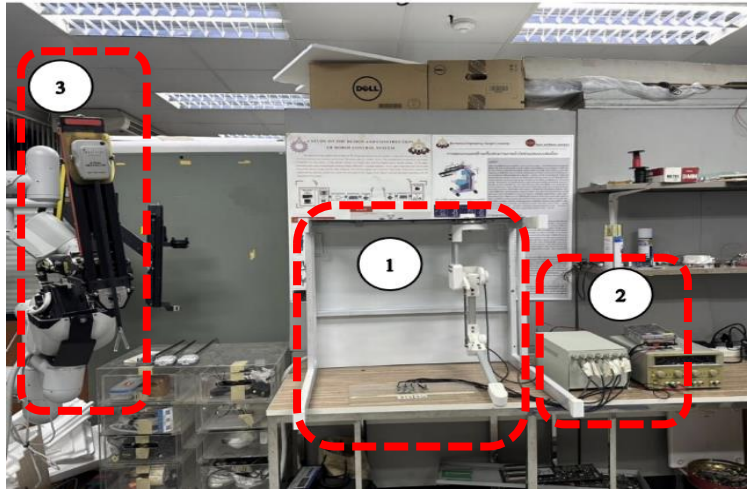
รูปที่ 9 Flow Chart แสดงการออกแบบของโปรแกรม

การทดสอบการควบคุมตำแหน่งมอเตอร์ของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด คือการนำเอ็นโค้ดเตอร์สมบูรณ์ ต่อเข้ากับชุดคอนโทรลเลอร์ที่ออกแบบและมอเตอร์ที่อยู่ในตัวแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด เมื่อปรับเอ็นโค้ดเตอร์สมบูรณ์ มอเตอร์ในหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัดจะหมุน ค่ามุมเอ็นโค้ดเตอร์แบบหมุนที่ติดอยู่กับมอเตอร์จะอ่านค่าแล้วส่งข้อมูลที่เป็นแรงดันกลับมาเพื่อเทียบกับข้อมูลที่ปรับค่าดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 การทดสอบการควบคุมมอเตอร์ของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด

3. ผลการทดลอง



รูปที่ 11 ผลงานที่เสร็จสมบูรณ์

จากรูปที่ 11 แสดงให้เห็นถึงผลงานที่เสร็จสมบูรณ์ ประกอบด้วยส่วนควบคุมหลัก (หมายเลข 1), ภาคประมวลผล (หมายเลข 2) และ แขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด (หมายเลข 3) เมื่อทำการปรับค่าของตัวเอ็นโค้ดเดอร์ สำเร็จได้ที่อยู่ภายในส่วนควบคุมหลัก แรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงจะถูกส่งไปยังภาคประมวลผล เพื่อทำการควบคุมมอเตอร์ภายในแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci

ผลการทดสอบการทำงานระหว่างมุมที่ป้อนเข้าไปกับมุมที่แสดงออกมาทั้ง 3 มอเตอร์ ได้แก่ 1, 2 และ 7 จะทำการทดสอบพร้อมกับการปรับค่า PID เพื่อให้ผลต่างระหว่างเอ็นโค้ดเดอร์สำเร็จกับเอ็นโค้ดเดอร์แบบหมุนมีค่าน้อยที่สุด โดยเราจะศึกษาละเอียดลึกไปดังตารางที่ 2 – 4

ตารางที่ 2 การทดสอบของมอเตอร์ที่ 1

Target (องศา)	ค่าเฉลี่ยของ Input (องศา)	ค่าเฉลี่ยของ Output (องศา)	ผลต่างระหว่าง Input และ Output (องศา)
0	0.55	0.00	0.55
-45	-45.32	-44.49	0.83
45	45.47	45.14	0.33
-90	-90.46	-89.77	0.69
90	90.28	89.64	0.64

ตารางที่ 3 การทดสอบของมอเตอร์ที่ 2

Target (องศา)	ค่าเฉลี่ยของ Input (องศา)	ค่าเฉลี่ยของ Output (องศา)	ผลต่างระหว่าง Input และ Output (องศา)
0	0.80	0.84	0.04
-45	-45.64	-45.09	0.55
45	45.44	44.81	0.63
-68	-68.22	-68.42	0.02
40	40.0	40.01	0.01
150	150.00	149.54	0.46

ตารางที่ 4 การทดสอบของมอเตอร์ที่ 7

Target (cm)	ค่าเฉลี่ยของ Input (cm)	ค่าเฉลี่ยของ Output (cm)	ผลต่างระหว่าง Input และ Output (cm)
0	0.04	0.03	0.01
-23	23.25	23.94	0.69

4. อภิปรายผล

จากการจัดทำงานวิจัยการศึกษาการออกแบบและสร้างระบบควบคุมหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci มีประเด็นที่น่าสนใจอภิปรายผลโดยสรุป ดังนี้

- 1) สามารถควบคุมการเคลื่อนไหวส่วนแขนของหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด ในการประมวลผล ให้มีการควบคุมผ่าน

เอ็นโค้ดเดอร์สัมบูรณ์ที่อยู่ภายในตัว ควบคุมหลักที่ออกแบบ โดยโปรแกรม CATIA และเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

2) มีการป้อนค่ากลับจากเอ็นโค้ดเดอร์ภายในแขนของ หุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci มายังไมโครคอนโทรลเลอร์

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและออกแบบระบบ ควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ ช่วยผ่าตัด da Vinci สามารถสร้างระบบควบคุมการเคลื่อนไหวของแขนหุ่นยนต์ ช่วยผ่าตัด da Vinci และสามารถควบคุมการเคลื่อนไหว มอเตอร์ของแขนหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci แต่ละตำแหน่ง ได้

ในการทดสอบระบบควบคุม พบว่าผลลัพธ์อาจมีความ คลาดเคลื่อนซึ่งขึ้นอยู่กับการปรับค่า Gain ของระบบ PID การปรับค่า Gain ที่เหมาะสมจะช่วยลดความคลาดเคลื่อน และเพิ่มความแม่นยำในการควบคุมหุ่นยนต์ ซึ่งจะทำให้การ ฝึกหัดใช้งานหุ่นยนต์ช่วยผ่าตัด da Vinci มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] T. Dardona, S. Eslamian, L. A. Reisner, and A. Pandya, "Remote Presence: Development and Usability Evaluation of a Head-Mounted Display for Camera Control on the da Vinci Surgical System," *Robotics*, vol. 8, no. 2, doi: 10.3390/robotics8020031.
- [2] P. Kumar, S. Talele, S. Deshpande, R. Ghyar, S. Rout, and B. Ravi, "Design, Analysis and Experimental Validation of a Novel 7-Degrees of Freedom Instrument for Laparoscopic Surgeries," (in eng), no. 1573-9686 (Electronic).
- [3] M. H. Hamedani et al., "Robust Dynamic Surface Control of da Vinci Robot Manipulator Considering Uncertainties: A Fuzzy Based Approach," in 2019 7th International Conference on Robotics and Mechatronics (ICRoM), 20-21 Nov. 2019 2019, pp. 418-423, doi: 10.1109/ICRoM48714.2019.9071876.
- [4] L. W. Sun, F. V. Meer, Y. Bailly, and C. K. Yeung, "Design and Development of a da Vinci Surgical System Simulator," in 2007 International Conference on Mechatronics and Automation, 5- 8 Aug. 2007 2007, pp. 1050- 1055, doi: 10.1109/ICMA.2007.4303693.
- [5] E. Secco and A. T. Maereg, "Kinesthetic Feedback for Robot-Assisted Minimally Invasive Surgery (da Vinci) with Two fingers Exoskeleton," 2019.
- [6] D. Somwanshi, M. Bundele, G. Kumar, and G. Parashar, "Comparison of Fuzzy-PID and PID Controller for Speed Control of DC Motor using LabVIEW," *Procedia Computer Science*, vol. 152, pp. 252- 260, 2019/ 01/ 01/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.05.019>.
- [7] G. A. Fontanelli, F. Ficuciello, L. Villani, and B. Siciliano, "Modelling and identification of the da Vinci Research Kit robotic arms," in 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 24-28 Sept. 2017 2017, pp. 1464- 1469, doi: 10.1109/IROS.2017.8205948.
- [8] D. Somwanshi, M. Bundele, G. Kumar, and G. Parashar, "Comparison of Fuzzy-PID and PID Controller for Speed Control of DC Motor using LabVIEW," *Procedia Computer Science*, vol. 152, pp. 252- 260, 2019/ 01/ 01/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.05.019>.

แพลตฟอร์มไอโอที สำหรับการติดตามตำแหน่ง IoT Platform for Location Tracking

ณัฐ วีระกุล, พีรณัฐ ศรีสุทธางกูร, ชัยพร ใจแก้ว, อภิรักษ์ จันทร์สร้าง,
วิธวัช ตั้งตรงไพโรจน์ และ อนันต์ ผลเพิ่ม*

Nat Weerakul, Peeranat Srisuthangkul, Chaiporn Jaikaeo, Aphirak Jansang,
Withawat Tangtrongpairoj and Anan Phonphoem*

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

*Email: anan.p@ku.ac.th

Received: June 20, 2024; Revised: August 03, 2024; Accepted: August 09, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแพลตฟอร์มอินเทอร์เน็ตประสาทรพสิ่งที่สามารถเก็บข้อมูลตำแหน่งของอุปกรณ์ไอโอทีได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการรวบรวมและบันทึกข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์ไอโอที เช่น ตำแหน่งของอุปกรณ์ ซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบและติดตามการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ได้อย่างง่ายดายและรวดเร็ว นอกจากนี้ยังสามารถนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้มาวิเคราะห์โดยสามารถบันทึกเป็นไฟล์ CSV เพื่อปรับปรุงและพัฒนาการใช้งานในอนาคต งานวิจัยนี้เน้นในเรื่องของประสบการณ์ใช้งาน (User Experience) ให้ใช้งานได้ง่าย และมีการนำเสนอข้อมูลสรุปมาแสดงผลเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้ในการตัดสินใจได้ ซึ่งมีการทดสอบระบบโดยใช้ Soak testing ทดสอบการรับข้อมูลจากอุปกรณ์ไอโอที พบว่าเวลาตอบสนองสูงขึ้นตามจำนวนอุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้น โดยระบบสามารถรองรับจำนวนอุปกรณ์ได้จำนวนมาก

คำสำคัญ : แพลตฟอร์มไอโอที, การติดตามตำแหน่ง, การวิเคราะห์ข้อมูล

Abstract

This research involves the development of an Internet of Thing (IoT) Platform that can efficiently store the location data of IoT devices. By collecting and recording information received from IoT devices, such as the location of the devices, it enables users to easily and quickly check and track the movement of the devices. Additionally, the collected data can be analyzed and saved as CSV files to improve and develop future usage. This research emphasizes user experience, making it easy to use, and includes the presentation of summarized data to assist users in making decisions. Load testing was conducted using soak testing to evaluate data reception from IoT devices. It was found that response times increased with the number of devices but remained suitable for minute-level data collection.

Keywords : IoT platform, Location tracking, Data analysis

1. บทนำ

ในยุคที่เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตมีการพัฒนาไปอย่างก้าวกระโดด และมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในหลายอุตสาหกรรม รวมถึงการใช้งานส่วนบุคคล โดยเฉพาะการเติบโตของเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตประสาทรพสิ่ง (Internet of Things : IoT) [1] ที่เข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันของเรา เทคโนโลยีนี้ทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตและส่งข้อมูลแบบเวลาจริง (Real time) ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในหลากหลายสาขา หนึ่งในนั้นคือการติดตามตำแหน่ง

อุปกรณ์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการติดตั้งและติดตามอุปกรณ์ ไอโอทีคือ การจัดการและดูแลอุปกรณ์จำนวนมากซึ่งมีการสร้างข้อมูลใหม่อยู่ตลอดเวลา ทำให้ผู้ใช้งานต้องคอยติดตามและตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์และและ ความถูกต้องของข้อมูลที่เก็บเข้ามา [2] แพลตฟอร์มไอโอทีสำหรับการติดตามตำแหน่งที่พัฒนาขึ้น สามารถประยุกต์ใช้งานในหลากหลายสาขา เช่น การตรวจสอบตำแหน่งของสัตว์เลี้ยง ผูกุสัตว์ และเรือประมงขนาดเล็ก ซึ่งจะช่วยสามารถตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์ได้อย่างรวดเร็ว และสามารถนำข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์มาทำให้เห็นภาพได้ชัดเจนมากขึ้น โดยการใช้กราฟและแผนที่แสดงตำแหน่งช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถวิเคราะห์สถานะปัจจุบันของอุปกรณ์ได้ง่ายขึ้น [3]

2. ทบทวนวรรณกรรม

ในปัจจุบันมีผู้พัฒนาแพลตฟอร์มไอโอที มาให้ใช้งานเป็นจำนวนมาก มีทั้งการพัฒนาเพื่อใช้ภายในองค์กรหรือให้บุคคลภายนอกเข้ามาใช้งานได้ การพัฒนาแพลตฟอร์มไอโอที ส่วนใหญ่จะพัฒนาโดยเจาะจงไปยังวัตถุประสงค์การใช้

งาน เช่น MarineTraffic [4] ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการติดตามเรือโดยเฉพาะ ใช้เทคโนโลยี Automatic Identification System (AIS) เพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่ง ความเร็ว และเส้นทางการเดินเรือ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการวิเคราะห์และติดตามการเคลื่อนที่ของเรือในทะเลสากล แต่ระบบนี้เหมาะกับการติดตามเรือบรรทุกสินค้าขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตาม แต่ยังมีหลายแพลตฟอร์ม เช่น ThingsBoard [5] ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มไอโอที แบบโอเพ่นซอร์ส ซึ่งให้บริการที่ครอบคลุมสำหรับการเก็บข้อมูล การประมวลผล การแสดงภาพข้อมูล และการจัดการอุปกรณ์ แพลตฟอร์มนี้รองรับอุปกรณ์หลายประเภท และมีเครื่องมือสำหรับสร้างแอปพลิเคชันไอโอที ทั้งสำหรับผู้ใช้งานรายบุคคลและระดับองค์กร แต่แพลตฟอร์มนี้มีความซับซ้อนในการตั้งค่าสูง และต้องใช้เวลาในการเรียนรู้วิธีการใช้งานค่อนข้างมาก และ Thinger.io [6] ที่สามารถให้บุคคลภายนอกเข้ามาใช้งานส่วนตัว โดยตารางที่ 1 จะแสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของแต่ละแพลตฟอร์ม นอกจากนั้น IWING Track [7] เป็นแพลตฟอร์มไอโอทีของห้องปฏิบัติการวิจัยเครือข่ายไร้สาย (IWING) ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน มีความสามารถในการแสดงผลข้อมูลที่ได้รับจากอุปกรณ์ แต่ยังมีข้อจำกัดในด้านการสร้างโครงการติดตามใหม่ การจัดการอุปกรณ์ และใช้งานค่อนข้างยาก Blynk [8] เป็นแพลตฟอร์มไอโอที แบบ low-code ที่ออกแบบมาเพื่อให้สามารถสร้างและใช้งานแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือที่สามารถควบคุมและตรวจสอบอุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออยู่ได้จากระยะไกล รองรับฮาร์ดแวร์และโปรโตคอลการสื่อสารที่หลากหลาย แต่ยังมีข้อจำกัดในเรื่องจำนวนอุปกรณ์ที่สามารถรองรับได้ และมีค่าบริการในการใช้งาน

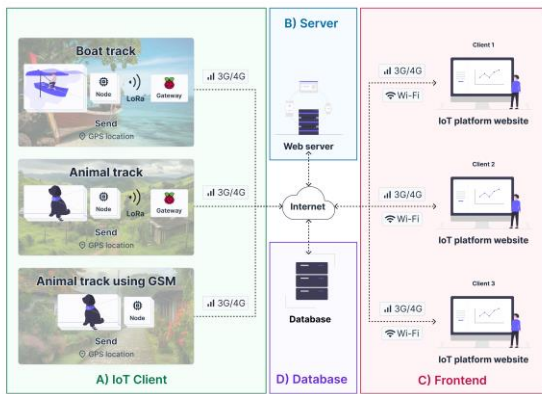
ตารางที่ 1: ตารางเปรียบเทียบโครงการกับงานที่เกี่ยวข้อง

คุณสมบัติ	MarineTraffic [4]	ThingsBoard [5]	Thinger.io [6]	IWING Track V1 [7]	Blynk [8]	งานวิจัยที่นำเสนอ
ค่าใช้จ่ายในการสมัครใช้งาน	มีค่าใช้จ่าย	มีค่าใช้จ่าย	มีค่าใช้จ่าย	ไม่มีค่าใช้จ่าย	มีค่าใช้จ่าย	ไม่มีค่าใช้จ่าย
ประเภทอุปกรณ์ที่รองรับ	อุปกรณ์สำหรับติดตามเรือเท่านั้น	ได้ทุกประเภท	ได้ทุกประเภท	ได้ทุกประเภท	Arduino Family, Raspberry Pi	ได้ทุกประเภท
การวิเคราะห์ข้อมูล	ไม่มี	มี แบบขั้นสูง	มี แบบขั้นสูง	ไม่มี	มี แบบพื้นฐาน	มี แบบพื้นฐาน
โปรโตคอลที่รองรับ	AIS (Maritime tracking)	MQTT, CoAP, HTTPS	HTTPS, MQTT	HTTPS	Blynk Protocol, MQTT	HTTPS
การติดตามเวอร์ชันของเฟิร์มแวร์	ไม่มี	มี	มี	ไม่มี	ไม่มี	มี

3. รายละเอียดการพัฒนาระบบ

3.1 ภาพรวมของระบบ

ในหัวข้อนี้อธิบายถึงภาพรวมของการทำงานของแพลตฟอร์มไอโอที ดังรูปที่ 1 อุปกรณ์ไอโอที (A) จะส่งข้อมูลที่เก็บได้มาจากอุปกรณ์ตรวจวัด (Sensor) เช่น ละติจูด ลองจิจูด ผ่านการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต จากนั้นส่งข้อมูลให้กับเครื่องแม่ข่าย (Server) ของแพลตฟอร์มไอโอที (B) ซึ่งทำหน้าที่เป็นระบบหลังบ้านให้กับแพลตฟอร์มไอโอที และคอยเป็นตัวกลางรับข้อมูลจาก (A) และนำไปเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล (D) และนำข้อมูลไปประมวลผลและส่งข้อมูลผ่านส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์ (Application Programming Interface : API) ไปยังส่วนติดต่อผู้ใช้ (C) เพื่อแสดงผล โดยผู้ใช้งานสามารถใช้งานผ่านเว็บเบราว์เซอร์เพื่อเข้าไปดูข้อมูลที่รับมาจากอุปกรณ์ไอโอที ได้ วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ คือ การพัฒนาส่วน (B) และ (C) ที่รองรับการเชื่อมต่อจากอุปกรณ์ไอโอที (A) หลากหลายประเภทที่สามารถเชื่อมต่อมายังแพลตฟอร์มผ่านอินเทอร์เน็ตได้

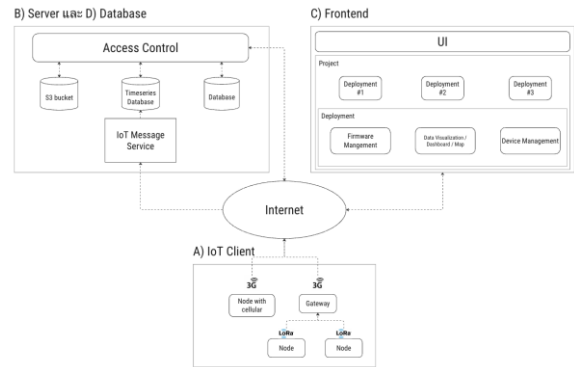


รูปที่ 1 ภาพรวมของระบบ

3.2 การออกแบบและพัฒนาระบบ

โครงการพัฒนาแพลตฟอร์มไอโอที ดังรูปที่ 2 แบ่งออกเป็น 3 ส่วน โดยมี (B) และ (C) ซึ่งเป็นส่วนที่งานวิจัยพัฒนาขึ้น และมีผู้ใช้งานเป็นบุคคลภายนอกซึ่งนำอุปกรณ์ลูกข่ายไอโอที (A) มาใช้งานร่วมกับระบบ โดย ส่วนติดต่อผู้ใช้ เป็นเว็บแอปพลิเคชัน (C) ซึ่งพัฒนาโดยใช้เฟรมเวิร์ก NextJS และภาษา Typescript ซึ่งจะติดต่อกับส่วนหลังบ้านผ่านทาง API โดยใช้ HTTP ส่วนเครื่องแม่ข่าย (B) ทำหน้าที่เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ที่จะติดต่อกับ (A) และ (C) ผ่าน Restful API ซึ่งถูกพัฒนาโดยใช้ NodeJS ในการพัฒนาแอปพลิเคชัน แบบ Server-side โดยใช้ร่วมกับเฟรมเวิร์ก ExpressJS ซึ่งช่วยในการจัดการ HTTP Method และใช้ฐานข้อมูล MongoDB Atlas (D) ซึ่งเป็น NoSQL โดยจัดเก็บเป็น serverless database ไว้บนคลาวด์และใช้ AWS S3

bucket ในการเก็บไฟล์และรูปภาพ อุปกรณ์ไอโอที (A) เชื่อมต่อกับแพลตฟอร์มไอโอที ผ่านทางอินเทอร์เน็ต โดยเข้าถึงด้วย HTTP Request ไปยัง Endpoint ที่แพลตฟอร์มไอโอทีได้กำหนดไว้ให้ พร้อมกับใช้ Authentication Header JWT ที่ได้รับไว้ในฝั่งเว็บเซิร์ฟเวอร์



รูปที่ 2 โครงสร้างของระบบ

4. ผลการพัฒนาและการทดสอบระบบ

4.1 การตั้งค่าระบบ

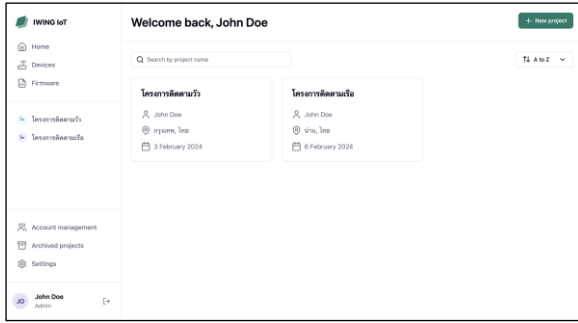
ขั้นตอนการตั้งค่าระบบ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. การตั้งค่าบนแพลตฟอร์มไอโอที
2. การตั้งค่าบนอุปกรณ์ไอโอที

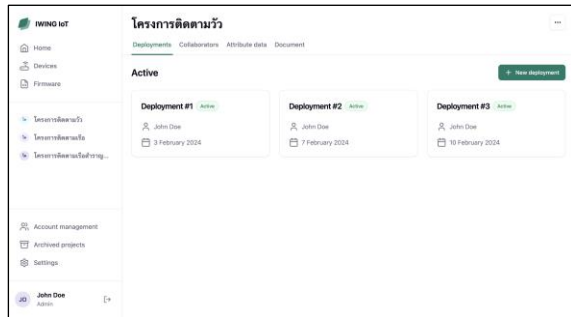
ผู้ใช้งานต้องสร้างโครงการใหม่เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูล จากนั้นเพิ่มอุปกรณ์ที่มีอยู่เข้าไปในระบบก่อน โดยงานวิจัยนี้สามารถรองรับอุปกรณ์ได้ 3 ประเภท ดังตารางที่ 2 ในส่วนติดต่อผู้ใช้ดังรูปที่ 3 (a) แสดงหน้ารวมโครงการทั้งหมด ซึ่งในแต่ละโครงการจะแบ่งการติดตามออกเป็นหลายรอบ ดังนั้น จึงต้องเข้าไปสร้างโครงการย่อยเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลในแต่ละรอบของการติดตาม ดังรูปที่ 3 (b) จากนั้นเพิ่มอุปกรณ์ที่ต้องการใช้ในการติดตามในรอบนั้น เข้าโครงการย่อยที่จะใช้งาน โดยผู้ใช้งานสามารถตั้งนามแฝงให้กับอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในโครงการย่อยได้ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4 จากนั้น ต้องกำหนดรูปแบบของ API ที่อุปกรณ์จะส่งมา โดยบังคับให้มีการส่งค่าละติจูด ลองจิจูด และเวลาที่สร้างข้อมูลเสมอ ดังรูปที่ 5

ตารางที่ 2 รายชื่ออุปกรณ์ที่ไอโอทีแพลตฟอร์มรองรับ

ชื่ออุปกรณ์	คำอธิบาย
Standalone	เป็นอุปกรณ์ที่สามารถส่งข้อมูลมายังแพลตฟอร์มไอโอทีผ่านเครือข่ายโทรศัพท์มือถือโดยตรง
Node	เป็นอุปกรณ์ที่ไม่สามารถเชื่อมกับเครือข่ายโทรศัพท์มือถือได้โดยตรง ดังนั้น ต้องมีการส่งข้อมูลไปยัง Gateway ก่อนด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น LoRa
Gateway	เป็นอุปกรณ์ตัวกลางที่คอยรับข้อมูลจาก Node และส่งข้อมูลต่อไปยังแพลตฟอร์มไอโอทีผ่านเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ

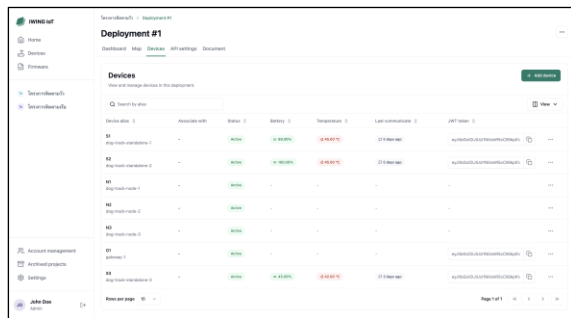


(a) หน้ารวมโครงการ

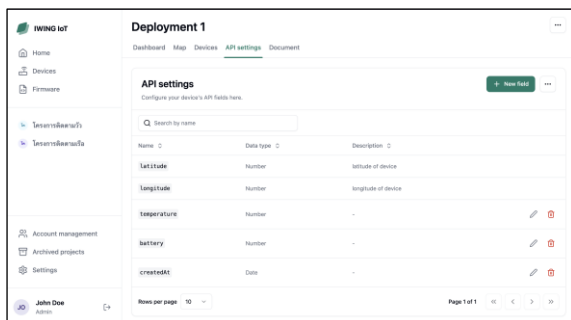


(b) หน้ารวมโครงการย่อย

รูปที่ 3 หน้ารวมโครงการย่อย



รูปที่ 4 รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการย่อย

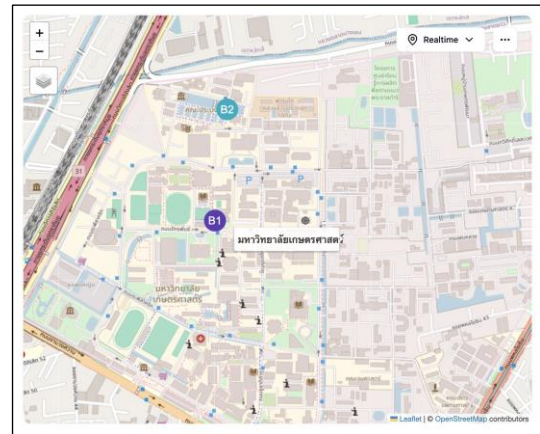


รูปที่ 5 หน้าตั้งค่า API

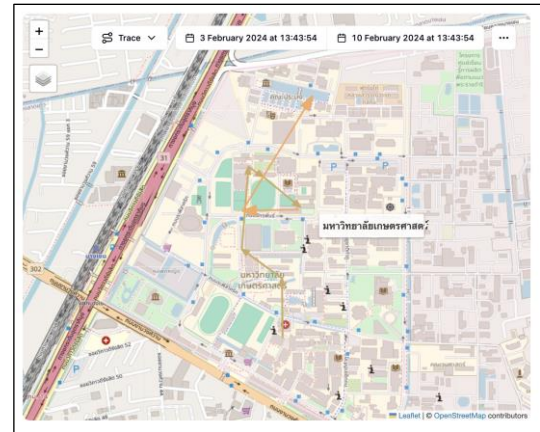
ส่วนการตั้งค่าบนอุปกรณ์ ผู้ใช้งานต้องนำ JWT token ที่ได้รับจากแพลตฟอร์มไปวางไว้ใน Authorization Header ประเภท Bearer และกำหนดข้อมูลที่จะส่งตามที่ตั้งไว้บนแพลตฟอร์ม ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการเปิดรับข้อมูลบนแพลตฟอร์ม โดยเปลี่ยนสถานะการรับข้อมูลเป็น Active ในแต่ละอุปกรณ์

4.2 ผลการตั้งค่าระบบ

หลังจากติดตั้งระบบและอุปกรณ์เริ่มส่งข้อมูล สามารถดูข้อมูลที่ส่งมาในหน้าแผนที่ ดังรูปที่ 6 ซึ่งแสดงตำแหน่งและข้อมูลที่ส่งมาล่าสุดของแต่ละอุปกรณ์



(a) ตำแหน่งล่าสุดของอุปกรณ์



(b) เส้นทางของอุปกรณ์

รูปที่ 6 แผนที่แสดงตำแหน่งและเส้นทางของอุปกรณ์

และสามารถตรวจสอบข้อมูลสถานะที่ได้รับรายอุปกรณ์ได้ในหน้ารวมอุปกรณ์ ดังรูปที่ 7 และเมื่อกระบวนการเก็บข้อมูลเสร็จสิ้นแล้ว ผู้ใช้งานสามารถดาวน์โหลดข้อมูลของแต่ละอุปกรณ์ได้ โดยจะได้รับเป็นไฟล์ CSV ดังรูปที่ 8

Created at	Latitude	Longitude	Battery	Temperature
15 February 2024 at 19:49:51	13.85118	100.56903	100.00%	44.00 °C
3 February 2024 at 22:48:20	13.85118	100.56903	100.00%	44.00 °C
3 February 2024 at 22:45:04	13.84926	100.56932	100.00%	44.00 °C
3 February 2024 at 22:44:24	13.84821	100.56945	100.00%	44.00 °C
3 February 2024 at 22:43:31	13.84694	100.56900	100.00%	44.00 °C
3 February 2024 at 22:42:42	13.84595	100.56921	100.00%	44.00 °C

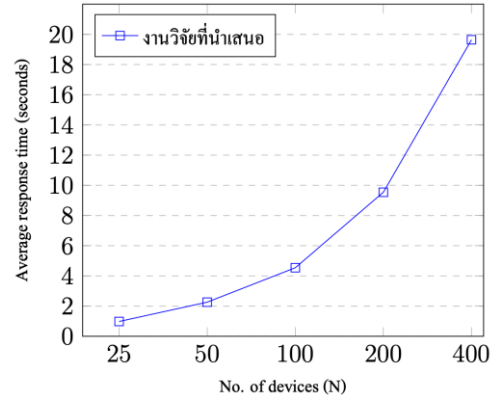
รูปที่ 7 ข้อมูลที่เก็บได้จากอุปกรณ์

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1	latitude	longitude	temperature	battery	createdAt	isActive	createdAt	receivedAt	deviceName	aliasName
2	13.8479603	100.574336	35	100	Sat Feb 03 2024 21:53:29	Sat Feb 03 2024 21:53:29	dog-track-stu 51			
3	13.8494241	100.572025	35	100	Sat Feb 03 2024 22:00:02	Sat Feb 03 2024 22:00:02	dog-track-stu 51			
4	13.847654	100.569975	35	100	Sat Feb 03 2024 22:03:34	Sat Feb 03 2024 22:03:34	dog-track-stu 51			
5	13.8478841	100.571428	35	100	Sat Feb 03 2024 22:04:39	Sat Feb 03 2024 22:04:39	dog-track-stu 51			
6	13.848353	100.571155	35	100	Sat Feb 03 2024 22:06:10	Sat Feb 03 2024 22:06:10	dog-track-stu 51			
7	13.848907	100.571107	35	100	Sat Feb 03 2024 22:06:51	Sat Feb 03 2024 22:06:51	dog-track-stu 51			
8	13.8493653	100.570892	35	100	Sat Feb 03 2024 22:07:21	Sat Feb 03 2024 22:07:21	dog-track-stu 51			
9	13.8498445	100.569632	35	100	Sat Feb 03 2024 22:07:42	Sat Feb 03 2024 22:07:42	dog-track-stu 51			
10	13.8501362	100.569031	35	100	Sat Feb 03 2024 22:08:03	Sat Feb 03 2024 22:08:03	dog-track-stu 51			
11	13.8500616	100.56791	35	100	Sat Feb 03 2024 22:08:42	Sat Feb 03 2024 22:08:42	dog-track-stu 51			
12	13.8497284	100.566282	45	99	Sat Feb 03 2024 22:09:08	Sat Feb 03 2024 22:09:08	dog-track-stu 51			
13	13.8486707	100.565948	45	99	Sat Feb 03 2024 22:10:00	Sat Feb 03 2024 22:10:00	dog-track-stu 51			
14	13.8486707	100.565948	45	99	Sat Feb 03 2024 22:33:38	Sat Feb 03 2024 22:33:38	dog-track-stu 51			
15	13.8464127	100.567306	45	99	Sat Feb 03 2024 22:36:22	Sat Feb 03 2024 22:36:22	dog-track-stu 51			
16										
17										

รูปที่ 8 ไฟล์ CSV ข้อมูลของอุปกรณ์

4.3 การทดสอบการทำงานระบบจริง

การทำสอระบบทำในรูปแบบของ Load Testing โดยใช้เครื่องมือ k6 ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ Load Testing ซึ่งใช้กับ Web application โดยในโครงการนี้มี การพัฒนา API มากกว่า 80 ตัว ทั้งนี้ จะเลือกทดสอบเฉพาะ API ที่มีผลต่อการเก็บข้อมูล คือ API ที่ใช้ในการรับข้อมูล จากอุปกรณ์ไอโอที เนื่องจากในโครงการนี้มี Endpoint ที่ อุปกรณ์ไอโอทีใช้ในการส่งข้อมูลมายังแพลตฟอร์มเพียง 1 จุด จึงอาจทำให้เกิดการส่งข้อมูลเกิดการหน่วงเมื่อมีการส่ง ข้อมูลมาพร้อมกันหลายอุปกรณ์ จึงเลือกใช้รูปแบบการ ทดสอบ Soak testing [9] ซึ่งคือการทดสอบความสามารถ ในการทำงานของระบบ เมื่อมีการทำงานในระยะเวลาาน การทดสอบจะมีการรับข้อมูลจากอุปกรณ์จำลอง 25, 50, 100, 200, 400 อุปกรณ์อย่างต่อเนื่อง โดยใช้เวลาทดสอบ 30 นาทีต่อ 1 การทดสอบและมีการทดสอบทั้งหมดสองครั้ง และคิดเป็นค่าเฉลี่ยออกมา ลักษณะการทำงานคือจะมีการ รักษาจำนวนการส่ง Request คงที่ตามการจำลองจำนวน ของอุปกรณ์ เมื่อมี Response ส่งกลับมาที่จะส่ง Request ใหม่เพื่อรักษาระดับจำนวนผู้ใช้งานตามที่ต้องการทดสอบ



รูปที่ 9 เวลาตอบสนองโดยเฉลี่ยของแพลตฟอร์มไอโอที เทียบกับจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้งาน

รูปที่ 9 แสดงผลการทดสอบเวลาของการตอบสนองจาก งานวิจัยที่นำเสนอ เมื่อมีการรับข้อมูลจากอุปกรณ์ไอโอทีจะ เห็นได้ว่าหากมีการรับข้อมูลจากหลายอุปกรณ์พร้อมกัน จะมีเวลาตอบสนองที่สูงขึ้นตามจำนวนอุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้น

เนื่องจากไอโอทีแพลตฟอร์มเป็นแพลตฟอร์มประเภทไม่ อ่อนไหวต่อเวลาจริง งานวิจัยที่นำเสนอนี้ถูกพัฒนาเพื่อใช้ใ นการเก็บข้อมูลและนำข้อมูลไปใช้งานที่รองรับการเข้ามาของ ข้อมูลในระดับนาที่หรือในระดับหลายนาที่ ซึ่งไม่ต้องการ การอัปเดตข้อมูลอย่างละเอียดมากนัก แต่ควรมีความเร็วอยู่ ในระดับที่เหมาะสมเพื่อให้อุปกรณ์สามารถทำงานต่อ หลังการส่งข้อมูลเสร็จ และนอกจากนั้นการทดสอบนี้เป็น การส่งข้อมูลพร้อมกันในช่วงเวลาเดียวกัน ซึ่งในทางปฏิบัติ แล้วจะเกิดเหตุการณ์ในรูปแบบนี้ได้ยากมาก ทำให้การใ้ งานจริงจะมีเวลาการตอบสนองที่เร็วกว่าเมื่อเทียบกับรูปที่ 9

5. สรุป

จากการทดสอบและประเมินผลพบว่า สามารถแสดงผล ข้อมูลบนส่วนติดต่อผู้ใช้ได้อย่างแม่นยำและถูกต้องตามที่ได้ ออกแบบ อย่างไรก็ตาม ในการประเมินประสิทธิภาพของ ระบบพบว่า เมื่อมีการใช้งานจากหลายอุปกรณ์พร้อมกัน จะ ทำให้เวลาในการตอบสนองของระบบเพิ่มขึ้น โดยอยู่ในช่วง หลักวินาที แม้ว่าในการใช้งานจริงจะมีโอกาสน้อยที่ข้อมูลจะ ถูกส่งพร้อมกันจากหลายอุปกรณ์ แต่ยังมีโอกาสในการ ปรับปรุงและพัฒนาประสิทธิภาพของระบบให้ดียิ่งขึ้นโดย การปรับปรุงและแก้ไขฐานข้อมูลเพื่อเพิ่มความเร็วในการ อ่านและเขียนข้อมูล ซึ่งจะช่วยลดเวลาตอบสนองของระบบ ให้เร็วขึ้นและวางระบบให้สามารถรองรับการขยายตัวตาม ปริมาณการใช้งานได้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Mahmoud M. Badawy, Zainab H. Ali and Hesham A. Ali, "Internet of Things (IoT): Definitions, Challenges and Recent Research Directions," *International Journal of Computer Applications*, vol. 128, pp.975-887, Oct. 2015.
- [2] L. Babun, K. Denney, Z. Berkay Celik, P. McDaniel and A. Selcuk Uluagac, "A survey on IoT platforms: Communication, security, and privacy perspectives," *Computer Networks*, vol. 192, 2021.
- [3] T. Domínguez-Bolaño, O. Campos, V. Barral, C. J. Escudero and J. A. Garcia-Naya, "An overview of IoT architectures, technologies, and existing open-source projects," *Internet of Things*, vol. 20, 2022.
- [4] MarineTraffic's editor. What is MarineTraffic? [Online]. (2007). [Cited January 15, 2023]. Available: <https://help.marinetraffic.com/hc/en-us/articles/205413457-What-is-MarineTraffic>
- [5] Dusun's editor. What is Things Board? An Overview of Things-Board in 2024. [Online]. (2024). [Cited January 17, 2024]. Available: <https://www.dusuniot.com/blog/a-brief-guide-and-description-of-thingsboard>
- [6] A. Luis Bustamante, Miguel A. Patricio, and José M. Molina, "Thinger.io: An Open Source Platform for Deploying Data Fusion Applications in IoT Environments," *Sensors*, vol. 19, 2019.
- [7] A. Witayarat, A. Jansang and A. Phonphoem, "The Effects of Duty Cycle Limit to Small Single Gateway LoRaWAN Protocol Network," *2019 16th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, Pattaya, Thailand, 2019, pp. 701-704.
- [8] Ermi Media's, Syufrijal and Muhammad Rif'an, "Internet of Things (IoT): BLYNK Framework for Smart Home," *KnE Social Sciences*, 2018.
- [9] R. Khan, A. Qahmash and M. Rashid Hussain, "Soak Testing of Web Applications Based on Automatic Test Cases," *International Journal of Engineering Research and Technology*, vol. 13, no. 12, pp. 4746-4759, 2020.

การบูรณาการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมร่วมกับธุรกิจไมซ์
ในกรุงเทพมหานคร

Integration of Cultural Tourism Logistics with MICE Business (MICE)
in Bangkok

พรินท์ภาณุ สว่างฐาวรณ, ณัฐภัทรศญา เศรษฐโชติสมบัติ* และ ณัฐพัชร์ อารีรัชกุลกานต์
Karinda Sahwangkhathavorn, Natpatsaya Setthachotsombut* and Natapat Areerakulkan

วิทยาลัยโลจิสติกส์และซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
College of Logistics and Supply Chain, Suan Sunandha Rajabhat University

Email: natpatsaya.se@ssru.ac.th

Received: July 07, 2024; Revised: August 28, 2024; Accepted: September 04, 2024

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาการบูรณาการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมร่วมกับธุรกิจไมซ์ (MICE) ในอุตสาหกรรมท่องเที่ยวและบริการ 2) ศึกษาแนวทางการจัดเส้นทางโลจิสติกส์การท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมร่วมกับธุรกิจไมซ์ (MICE) และ 3) สร้างเส้นทางการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมในกรุงเทพมหานคร ด้วยโปรแกรม Visio, Canva และ Google maps ใช้รูปแบบการวิจัยเชิงคุณภาพ ผู้ให้ข้อมูลสำคัญ จำนวน 30 แห่ง รวม 60 คน เครื่องมือวิจัยใช้แบบสัมภาษณ์ผ่านการตรวจสอบคุณภาพ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์เนื้อหา ตรวจสอบสามเส้า ตารางสรุปข้อมูล และสังเคราะห์ โดยสร้างแผนภาพ ผลการวิจัยพบว่า 1) การบูรณาการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมร่วมกับธุรกิจไมซ์ (MICE) (1) ด้านเวลา ต้องจัดเวลาให้เหมาะสมแก่ผู้เข้าร่วมประชุม ค่าเงินกิจกรรมท่องเที่ยวให้จบในหนึ่งวัน (2) ด้านงบประมาณ สำหรับใช้จ่ายในการท่องเที่ยวไม่เกิน 10,000 - 15,000 บาท ต่อคน/ทริป (3) ด้านเส้นทาง สถานที่ต้องอยู่ใกล้ เที่ยวได้ 1 วัน (4) ด้านสถานที่ ต้องเป็นสถานที่ที่คัดเลือกไว้ 2) การจัดเส้นทางโลจิสติกส์ท่องเที่ยว 1 วัน เลือกได้จาก 3 เส้นทาง และ 3) สร้างเส้นทางด้วยโปรแกรม เส้นทางที่ 1 เวลาเริ่มและสิ้นสุด 7:30 - 19:40 น. งบประมาณที่ต้องเตรียม 10,000 - 15,000 บาท เส้นทาง 2. พระรามที่ 1 - พระรามที่ 1 สถานที่วัดชนะสงครามราชวรมหาวิหาร และวัดบวรนิเวศราชวรวิหาร เส้นทางที่ 2 วัดพระแก้ว และเส้นทางที่ 3 วัดโพธิ์ และวัดอรุณราชวรารามราชวรมหาวิหาร

คำสำคัญ : การบูรณาการ, โลจิสติกส์การท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม, ธุรกิจไมซ์, การจัดเส้นทางท่องเที่ยว

Abstract

This article aims to: 1) study the integration of cultural tourism logistics with MICE business in the tourism and service industry, 2) explore ways to organize cultural tourism logistics routes in conjunction with MICE business, and 3) create cultural tourism routes in Bangkok using Visio, Canva, and Google Maps. The research follows a qualitative approach, with the key informants from 30 organizations, and 60 people. The research tools include interview forms were reviewed and quality evaluated. Data were analyzed using content analysis, triangulation, summary tables, and synthesis to create diagrams using the program. The research findings: 1) Integrating cultural tourism logistics with MICE business: (1) Time: The schedule should be convenient for attendees, with activities completed within one day. (2) Budget: Expenses for the tour should not exceed 10,000 - 15,000 baht per person/trip. (3) Route: Destinations should be close enough for a one-day tour. (4) Location: Selected locations should stimulate spending. 2) Tourism logistics routes with three routes. 3) The cultural tourism routes diagram with the program. Route 1: Start and end time

7:30 AM - 7:40 PM, budget 10,000 15,000 baht, route: Ploenchit Road - Rama I Road, locations: Wat Chana Songkhram and Wat Bowonniwet. Route 2: Wat Phra Kaew, and Route 3: Wat Pho and Wat Arun.

Keywords : Integration, Cultural tourism logistics, MICE business, Organizing travel routes

1. บทนำ

อุตสาหกรรมการท่องเที่ยวของไทย เป็นภาคอุตสาหกรรมบริการที่มีขนาดใหญ่ เกี่ยวข้องกับหลายอุตสาหกรรมทั้งอุตสาหกรรมเกษตรที่ผลิตสินค้าเกษตรจำหน่ายแก่นักท่องเที่ยว อุตสาหกรรมภาคการผลิตทุกระดับการผลิตตั้งแต่ระดับครัวเรือนไปจนถึงระดับการผลิตขนาดใหญ่ที่ผลิตสินค้าและบริการป้อนเข้าสู่อุตสาหกรรมการท่องเที่ยว และเทคโนโลยีสารสนเทศที่ใช้บริหารจัดการข้อมูลนักท่องเที่ยว ประชาสัมพันธ์ข้อมูลโปรแกรมการท่องเที่ยวผ่านเว็บไซต์เพื่อดึงดูดนักท่องเที่ยวจากต่างประเทศ ตลอดจนเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมโลจิสติกส์ด้วย โลจิสติกส์การท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมก็เป็นอีกหนึ่งรูปแบบการท่องเที่ยวที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจไทย ช่วยกระจายรายได้สู่ผู้เกี่ยวข้อง อีกทั้งเป็นการดึงเอาจุดเด่นของแหล่งวัฒนธรรมของชาติมาเผยแพร่ และใช้ประโยชน์เพื่อเศรษฐกิจ ทั้งนี้ โลจิสติกส์ท่องเที่ยวเป็นการจัดการประสานงานระหว่างกิจกรรมต่างๆ เพื่อให้การไหลของนักท่องเที่ยวทางกายภาพจากต้นทางไปสู่ปลายทางได้อย่างรื่นไหลทำให้นักท่องเที่ยวเกิดความพึงพอใจสูงสุด [1] การท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมจะเน้นให้เห็นถึงศิลปวัฒนธรรมประเพณี และวิถีชีวิตความเป็นอยู่ของคนในชุมชนที่มีเอกลักษณ์ หรือการประกอบอาชีพ รวมถึงการนำเสนอโบราณสถาน โบราณวัตถุ และศาสนสถาน ซึ่งเป็นที่เคารพนับถือของชุมชน สถานที่ท่องเที่ยวที่เป็นมรดกที่สำคัญของสังคมที่ได้รับการถ่ายทอดและปฏิบัติสืบต่อกันมาสะท้อนให้เห็นวิถีการดำเนินชีวิตของคนในแต่ละท้องถิ่น [2] ที่มีเสน่ห์ ขณะที่ธุรกิจไมซ์ (MICE) ก็สำคัญไม่น้อยเนื่องจากจะแทรกหรือแฝงไปด้วยการท่องเที่ยวระหว่างทำกิจกรรม MICE ดังนั้น ไมซ์ (MICE: Meetings, Incentive Travel, Conventions, Exhibitions) ซึ่งเป็นธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับการจัดประชุมข้ามชาติ การท่องเที่ยวเพื่อเป็นรางวัล การจัดงานนิทรรศการ และการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ (International Conference) จึงถือว่าไมซ์เป็นส่วนหนึ่งของอุตสาหกรรมท่องเที่ยวด้วย แตกต่างกันเพียงคนกลุ่มนี้จะมีวัตถุประสงค์ของการเดินทางที่เฉพาะเจาะจง เช่น การเข้าร่วมงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ (International Conference) ซึ่งมักจัดตามประเทศแอกโซนในกลุ่มยุโรป เอเชีย เป็นต้น นักวิจัยที่เดินทางไปนำผลงานทางวิชาการจะ

ถือโอกาสท่องเที่ยวไปด้วยในตัว อุตสาหกรรมไมซ์ของโลกมีรายได้กว่า 29 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ [3] แบ่งเป็นสหรัฐอเมริกา 13 พันล้าน เยอรมัน 2.2 พันล้าน ฝรั่งเศส 1.8 พันล้าน สหราชอาณาจักร 1.7 พันล้าน อิตาลี 1.3 พันล้าน จีน 1.3 พันล้าน รัสเซีย 0.8 พันล้าน สเปน 0.7 พันล้าน บราซิล 0.4 พันล้าน และอินเดีย 0.2 พันล้าน ขณะที่ประเทศไทยมีรายได้จากอุตสาหกรรมไมซ์ ปี 2565 3.6 หมื่นล้านบาท และคาดปี 2566 รายได้พุ่ง 5 หมื่นล้านบาท [4]

จากการศึกษาปัญหาของการจัดการการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมร่วมกับธุรกิจไมซ์ (MICE) ด้วยวิธีสัมภาษณ์ [5] พบปัญหาคือ 1) ด้านเวลา เนื่องจากต้องประชุมวิชาการระดับนานาชาติด้วยร่วมกับตารางท่องเที่ยวในทริปเดียวกัน ทำให้การไปชมสถานที่ต่างๆ อย่างรีบเร่งนั้นส่งผลเสียอาจทำให้นักท่องเที่ยวรู้สึกไม่ผ่อนคลาย 2) ด้านงบประมาณ การบริหารจัดการบัญชีการเงิน การใช้จ่ายต่างๆ ในกิจกรรมค่าใช้จ่ายที่คลาดเคลื่อนอาจเกินงบที่วางไว้ ผลเสียต่อสภาพคล่องทางการเงินได้ 3) ด้านเส้นทาง แม้ว่าระยะทางท่องเที่ยวในกรุงเทพฯระยะทางไม่ไกล แต่มีปัญหาการจราจรติดขัด ส่งผลเสียทำให้ถึงที่หมายล่าช้าและอาจมีค่าใช้จ่ายเพิ่ม 4) ด้านสถานที่ (สถานที่จัดงาน MICE-แหล่งท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม-ร้านอาหาร-ที่พัก) พบปัญหาการลำเลียงสัมภาระหรือการซื้อของฝากระหว่างการเดินทางเที่ยวอาจไม่สะดวกสบาย มีพื้นที่น้อยและต้องเก็บของฝากติดตัว ทำให้ไม่สะดวกเท่าที่ควร

จากปัญหาดังกล่าวหากนำแนวคิด “การบูรณาการโลจิสติกส์มาใช้ [6] ร่วมกับธุรกิจไมซ์ (MICE)” และ นำไปเป็น “แนวทางการจัดเส้นทางโลจิสติกส์ท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมร่วมกับธุรกิจไมซ์ (MICE) ในกรุงเทพฯ” และ นำมาสร้างเส้นทางท่องเที่ยวด้วยโปรแกรม Visio, Canva และ Google maps ซึ่งประกอบด้วย 3 เส้นทาง (1 วัน) ซึ่งอาจเป็นผลดีต่อผู้ประกอบการและผู้เกี่ยวข้องในกลุ่มธุรกิจการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม ที่จะมีรายได้จากการท่องเที่ยวเพิ่มมากขึ้น

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาการบูรณาการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมร่วมกับธุรกิจไมซ์ (MICE) ในอุตสาหกรรมท่องเที่ยวและบริการ

2.2 เพื่อศึกษาแนวทางการจัดเส้นทางโลจิสติกส์การท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมร่วมกับธุรกิจไมซ์ (MICE)

2.3 เพื่อสร้างเส้นทางท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมในกรุงเทพมหานคร ด้วยโปรแกรม Visio, Canva และ Google maps

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 รูปแบบการวิจัย

การวิจัยนี้ใช้รูปแบบการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative research) เก็บรวบรวมข้อมูลโดยวิธีการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth interview) ร่วมกับการสนทนากลุ่ม (Focus group) ดำเนินการวิจัยโดย 1) ทำการสัมภาษณ์เพื่อศึกษาการบูรณาการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมร่วมกับธุรกิจไมซ์ (MICE) เพื่อให้ได้ข้อมูลใน 4 ด้าน ได้แก่ ด้านเวลา ด้านงบประมาณ ด้านเส้นทาง และด้านสถานที่ จากนั้น 2) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเนื้อหา (Content analysis) เพื่อเป็นแนวทางการจัดเส้นทางโลจิสติกส์ท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมร่วมกับธุรกิจไมซ์ (MICE) ในกรุงเทพมหานคร ในรูปแบบของ “ข้อความบรรยายจะประกอบด้วย 3 เส้นทาง ทุกเส้นทางใช้เวลาเริ่มและสิ้นสุด 7:30 - 19:40 น. จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างเป็นเส้นทาง และ 3) เส้นทางท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมในกรุงเทพมหานคร ในรูปแบบของแผนภาพ โดยใช้โปรแกรม Visio, Canva และ Google จำนวน 3 เส้นทาง

3.2 ประชากรและผู้ให้ข้อมูลสำคัญ

ประชากรการวิจัย เป็นองค์กรที่จัดประชุมวิชาการระดับนานาชาติ และผู้เกี่ยวข้องในธุรกิจท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมรวม 212 แห่ง ผู้ให้ข้อมูลสำคัญในการสัมภาษณ์เชิงลึกจำนวน 30 แห่ง ๆ ละ 2 คน รวม 60 คน มาจาก

- 1) องค์กรที่จัดประชุมวิชาการระดับนานาชาติ
- 2) ผู้เกี่ยวข้องในธุรกิจท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมในกรุงเทพมหานคร (สถานที่ท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม : วัด บริษัทตัวแทนนำเที่ยว (ทัวร์) บริษัทขนส่ง/รถนำเที่ยว ร้านอาหาร และร้านค้า/ร้านขายของฝากและของที่ระลึก)

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือวิจัยใช้แบบสัมภาษณ์เชิงลึก เป็นแบบสัมภาษณ์แบบโครงสร้างที่สอดคล้องกับกรอบแนวคิดการวิจัย โดยแบ่งออกเป็น 3 ตอน รวม 9 ข้อสัมภาษณ์ ทำการทดสอบ

คุณภาพเครื่องมือโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน มีความน่าเชื่อถือผ่านเกณฑ์ได้ค่า IOC = 1.0

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

สำหรับการสัมภาษณ์ ได้ติดต่อนัดหมายล่วงหน้า เพื่อนัดวันเวลา แจ้งรายละเอียดและประเด็นที่ต้องการสัมภาษณ์ เพื่อให้ผู้ให้ข้อมูลสำคัญให้เตรียมตัว จากนั้นทำการสัมภาษณ์ทั้งเดี่ยวและการสนทนากลุ่ม ขออนุญาตบันทึกเสียง พร้อมถ่ายภาพประกอบการสัมภาษณ์ จากนั้นนำบทสนทนามาประมวลผล วิเคราะห์และสรุปผลให้เป็นลายลักษณ์อักษร

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพจากการสัมภาษณ์ ใช้การตรวจสอบสามเส้าด้านข้อมูล (Data triangulation) และการวิเคราะห์เนื้อหา (Content analysis) และใช้ตารางสรุปข้อมูล นำมาสร้างแผนภาพโดยใช้โปรแกรม

4. ผลการวิจัย

นำเสนอผลการวิจัย ตามวัตถุประสงค์การวิจัยดังนี้

วัตถุประสงค์ข้อที่ 1: เพื่อศึกษาการบูรณาการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมร่วมกับธุรกิจไมซ์ (MICE) ในอุตสาหกรรมท่องเที่ยวและบริการ

ผลการวิจัย พบว่า การบูรณาการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมร่วมกับธุรกิจไมซ์ (MICE) ดังนี้

(1) ด้านเวลา ต้องจัดเวลาให้เหมาะสมแก่ผู้เข้าร่วมประชุม ดำเนินกิจกรรมท่องเที่ยวให้จบภายในหนึ่งวัน ต้องสะดวกและสถานที่ท่องเที่ยวที่อยู่ใกล้จะช่วยประหยัดเวลาเดินทางในแต่ละจุดท่องเที่ยว เน้นความสะดวกสบายให้ผู้เข้าร่วมประชุมไม่เหนื่อยล้า และเหลือเวลาสำหรับพักผ่อน ดังนี้

08:00 - 12:00 น. เข้าร่วมนำเสนอผลงานการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

12:00 - 13:00 น. พักรับประทานอาหารกลางวัน

13:00 - 18:30น. ทำกิจกรรมการท่องเที่ยว วมใช้เวลา 5:30 ชั่วโมง

19:00- 21:00 น. พักผ่อนและเตรียมรับประทานอาหารมื้อเย็นที่โรงแรมที่พัก

(2) ด้านงบประมาณ สำหรับใช้จ่ายในการท่องเที่ยวไม่เกิน 10,000 - 15,000 บาท ต่อคน/ทริป

(3) ด้านเส้นทาง สถานที่ต้องอยู่ใกล้ เที่ยวได้ใน 1 วัน อาจไปหลายเส้นทางเพื่อตอบสนองตามความชอบของผู้เข้าร่วมประชุม สร้างประสบการณ์ใหม่ที่สนุก และมีความเหมาะสมทั้งเส้นทาง เวลา และเงิน ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 เส้นทางท่องเที่ยวภายใน 1 วัน ของผู้เข้าร่วมประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

(4) ด้านสถานที่ ต้องเป็นสถานที่ที่ถูกคัดเลือกไว้มีความเหมาะสมและกระตุ้นการใช้จ่ายของผู้เข้าร่วมประชุม มีสิ่งอำนวยความสะดวกที่มีเอกลักษณ์ (Unique selling proposition) และตรงใจกลุ่มเป้าหมาย เพื่อประสบการณ์

ที่น่าจดจำ ให้ผู้เข้าร่วมประชุม (Mice) ได้พักผ่อนอย่างเต็มที่ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 สถานที่ที่ถูกคัดเลือก (สถานที่จัดงาน MICE-แหล่งท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม-ร้านอาหาร-ที่ฟัก) ที่มีเอกลักษณ์

วัตถุประสงค์ข้อที่ 2: เพื่อศึกษาแนวทางการจัดเส้นทางโลจิสติกส์ท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมร่วมกับธุรกิจไมซ์ (MICE) ผลการวิจัยพบว่า เส้นทางท่องเที่ยว 9 วัด โดยวัดที่เป็นตัวเลือกที่นักท่องเที่ยวควรไปเยี่ยมชม ได้แก่ 1) วัดพระศรีรัตนศาสดาราม (วัดพระแก้ว) 2) วัดพระเชตุพนวิมลมังคลาราม (วัดโพธิ์) 3) วัดบวรนิเวศวิหาร 4) วัดชนะสงคราม

ราชวรมหาวิหาร 5) วัดอินทรวีหาร 6) วัดอรุณราชวราราม (วัดแจ้งหรือวัดอรุณ) 7) วัดสระเกศราชวรมหาวิหาร 8) วัดเบญจมบพิตรดุสิตวนาราม 9) วัดมกุฏกษัตริยารามราชวรวิหาร โดยเส้นทางที่จัดต้องเหมาะสมกับกลุ่มนักท่องเที่ยว และเวลาเริ่มและสิ้นสุด 7:30 - 19:40 น. ที่จะเดินทางและต้องให้นักท่องเที่ยวรู้สึกผ่อนคลาย สนุก ไม่เหนื่อยจนเกินไป

ทั้งนี้ แนวทางการจัดเส้นทางโลจิสติกส์ท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมร่วมกับธุรกิจไมซ์ (MICE) ท่องเที่ยว 1 วัน เลือกได้จาก 3 เส้นทาง ได้แก่

เส้นทางที่ 1 วัดพระศรีรัตนศาสดาราม (วัดพระแก้ว) และวัดพระเชตุพนวิมลมังคลาราม (วัดโพธิ์) หรือเลือกวัดชนะสงครามราชวรมหาวิหาร และวัดบวรนิเวศราชวรวิหาร

เส้นทางที่ 2 วัดระฆังโฆสิตาราม และวัดกัลยาณมิตรวรมหาวิหาร หรือเลือก วัดพระศรีรัตนศาสดาราม (วัดพระแก้ว) เพียงวัดเดียว

เส้นทางที่ 3 วัดสุวรรณรามราชวรวิหาร และวัดอนงค์คารามวรวิหาร หรือเลือก วัดพระเชตุพนวิมลมังคลารามราชวรมหาวิหาร (วัดโพธิ์) และวัดอรุณราชวรารามราชวรมหาวิหาร

วัตถุประสงค์ข้อที่ 3: เพื่อสร้างเส้นทางท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมในกรุงเทพมหานคร ด้วยโปรแกรม Visio, Canva และ Google ผลการวิจัย พบว่า ได้สร้างเส้นทางท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมในกรุงเทพมหานคร ที่สร้างด้วยโปรแกรม Visio, Canva และ Google maps ซึ่งแสดงรูปตัวอย่างเส้นทางที่ 1 โปรแกรมของการท่องเที่ยว ที่มีเนื้อหา

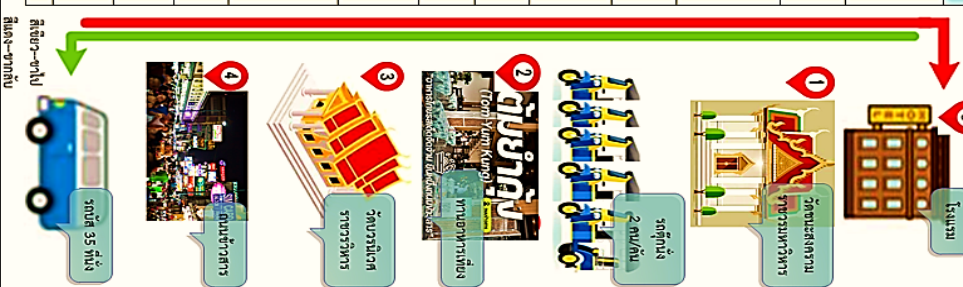
รายละเอียด ได้กล่าวของเส้นทางที่ 1-3 ได้แก่ เส้นทางที่ 1 เวลาเริ่มและสิ้นสุด 7:30 - 19:40 น. งบประมาณที่ต้องเตรียม 10,000 บาท เส้นทาง ถ.เพลินจิต - ถ.พระรามที่ 1 - ถ.กรุงเกษม - ถ.หลานหลวง - ถ.ราชดำเนินกลาง - ถ.จักรพงษ์ มุ่งไปแขวงตลาดยอด สถานที่ วัดชนะสงครามราชวรมหาวิหาร และวัดบวรนิเวศราชวรวิหาร

เส้นทางที่ 2 เริ่มและสิ้นสุด 7:30 - 19:40 น. งบประมาณที่ต้องเตรียม 10,000 บาท เส้นทาง ถ.เพลินจิต - ถ.พระรามที่ 1 - ถ.กรุงเกษม - ถ.หลานหลวง - ถ.ราชดำเนินกลาง - ถ.หน้าทับเผย มุ่งไปถึงแขวงพระบรมมหาราชวัง สถานที่ วัดพระศรีรัตนศาสดาราม (วัดพระแก้ว)

เส้นทางที่ 3 เริ่มและสิ้นสุด 7:30 - 19:40 น. งบประมาณที่ต้องเตรียม 10,000 บาท เส้นทาง ถ.เพลินจิต - ถ.พระรามที่ 1 - ถ.กรุงเกษม - ถ.หลานหลวง - ถ.ราชดำเนินกลาง - ถ.หน้าทับเผย มุ่งไปถึงแขวงพระบรมมหาราชวัง สถานที่ วัดพระเชตุพนวิมลมังคลารามราชวรมหาวิหาร (วัดโพธิ์) และวัดอรุณราชวรารามราชวรมหาวิหาร แสดงรูปตัวอย่างเส้นทางที่ 1 ดังรูปที่ 3

เส้นทางที่ 1 (1 วัน) : วัตถุประสงค์กรมราชภัฏอาหาร - วัตถุประสงค์ราชภัฏอาหาร

เวลา	สถานที่	จุดประสงค์/กิจกรรม	นักท่องเที่ยว/ผู้เข้าชม
6:00-7:00	กลุ่มนักท่องเที่ยวงาน Conference รัชชภัฏราชภัฏโรงแรมที่พัก (ในบุญยู/ สยาม สปีด โมดัล กรุงเทพ/ เขมาทพารณต์ แอท เซ็นทรัลชิดจิว)	เป็นโรงแรมที่พักที่รองรับนักท่องเที่ยว และอำนวยความสะดวก	นักท่องเที่ยว (ฟรี) นักท่องเที่ยวที่มาชมกลุ่มทัวร์งาน Conference (ฟรี)
7-15	กลุ่มนักท่องเที่ยวงาน Conference พร้อมที่พัก Lobby โรงแรมที่พัก	รอรถ Bus มข (รถคัน 35 คัน)	บริการโดยบริษัททัวร์ (ฟรี)
7:30	เดินทางไปยังวัดที่ 1: วัดพระเชตุพนวิมลมังคลารามราชวรมหาวิหาร	มีความเชื่อทางศาสนาไปกราบพระพุทธรูป ชมวัดพระเชตุพนวิมลมังคลารามราชวรมหาวิหาร โดยเส้นทางชมเส้นทาง ด.หญิงเชิด - ด.พรพรรณ - ด.พารณต์ - ด.รชภัฏ/ในบุญยู - ด.รังการัญญ์/ในบุญยู/สยาม สปีด โมดัล กรุงเทพ สี่พระเชตุพนวิมลมังคลารามราชวรมหาวิหาร (ระยะทาง 7.1 กม. 40 นาที)	บริการโดยบริษัททัวร์ (ฟรี)
8:10-10:10	ถึงวัดพระเชตุพนวิมลมังคลารามราชวรมหาวิหาร -เดินมาซื้อตั๋ว และชมวัดเป็นเวลา 2 ชม.	ค่าเข้าชมฟรี/ค่าเช่ารถ 200 บาท, ค่าเช่ารถเช่า, เงินค่าเดินทาง	1,000 บาท
10:10	พร้อมเดินเที่ยวชมวัดพระเชตุพนวิมลมังคลารามราชวรมหาวิหาร โดยรถทัวร์ปรับอากาศ โดยใช้เวลา 1:30 ชม. และชมศิลปะวัฒนธรรมที่วัดพระเชตุพนวิมลมังคลารามราชวรมหาวิหาร	นักท่องเที่ยว ไปชมความงามที่วัดพระเชตุพนวิมลมังคลารามราชวรมหาวิหาร เช่น วัดพระแก้ว - ศาลสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ - ถนนข้าวสาร - ถนนเยาวราช	บริการโดยบริษัททัวร์ (ฟรี)
11:40-12:40	รับประทานอาหารเที่ยงที่ร้านอาหารที่วัดพระเชตุพนวิมลมังคลารามราชวรมหาวิหาร ใช้เวลา 1 ชม.	อาหารกลางวันและเครื่องดื่มที่วัดพระเชตุพนวิมลมังคลารามราชวรมหาวิหาร คือ ขนมที่วัดพระเชตุพนวิมลมังคลารามราชวรมหาวิหาร และ อาหารมังสวิรัติ	นักท่องเที่ยวที่เดินทางโดยกลุ่มทัวร์งาน Conference (ฟรี)
12:40-13:40	เดินทางไปยังวัดพระเชตุพนวิมลมังคลารามราชวรมหาวิหาร ระยะทางชมวัดพระเชตุพนวิมลมังคลารามราชวรมหาวิหาร โดยรถทัวร์ปรับอากาศ โดยใช้เวลา 1 ชม.	ถนนข้าวสารที่เต็มไปด้วยนักท่องเที่ยวที่เดินเล่นช้อปปิ้ง และชมศิลปะวัฒนธรรมที่วัดพระเชตุพนวิมลมังคลารามราชวรมหาวิหาร	4,000 บาท
13:40	เดินทางมาชมวัดที่ 2: วัดบวรนิเวศราชวรวิหาร เปิดชมฟรี เวลา 8:00 - 17:00 ชม. เดินมาซื้อตั๋ว และชมวัดเป็นเวลา 2 ชม.	มีความเชื่อทางศาสนาเกี่ยวกับพระพุทธรูปที่วัดบวรนิเวศราชวรวิหาร มีพระพุทธรูปที่วัดบวรนิเวศราชวรวิหาร เช่น พระพุทธรูปที่วัดบวรนิเวศราชวรวิหาร และพระพุทธรูปที่วัดบวรนิเวศราชวรวิหาร	1,000 บาท
15:40	นักท่องเที่ยว MICE พร้อมกินดื่มที่ภัตตาคารที่โรงแรมที่พัก (โรงแรมที่พัก) และซื้อของฝากของที่ระลึกที่ภัตตาคารที่โรงแรมที่พัก (โรงแรมที่พัก) เป็นเวลา 2 ชม.	ถนนข้าวสารที่เต็มไปด้วยนักท่องเที่ยวที่เดินเล่นช้อปปิ้ง และชมศิลปะวัฒนธรรมที่วัดพระเชตุพนวิมลมังคลารามราชวรมหาวิหาร	4,000 บาท
17:40	นักท่องเที่ยว MICE พร้อมกินดื่มที่ภัตตาคารที่โรงแรมที่พัก (โรงแรมที่พัก) และซื้อของฝากของที่ระลึกที่ภัตตาคารที่โรงแรมที่พัก (โรงแรมที่พัก) เป็นเวลา 2 ชม.	เดินทางกลับจากชมวัดพระเชตุพนวิมลมังคลารามราชวรมหาวิหาร และชมวัดพระเชตุพนวิมลมังคลารามราชวรมหาวิหาร โดยรถทัวร์ปรับอากาศ โดยใช้เวลา 30 นาที	บริการโดยบริษัททัวร์ (ฟรี)
18:40	ถึงโรงแรมที่พัก (ในบุญยู/ สยาม สปีด โมดัล กรุงเทพ/ เขมาทพารณต์ แอท เซ็นทรัลชิดจิว)	นักท่องเที่ยวที่เดินทางมาชมวัดพระเชตุพนวิมลมังคลารามราชวรมหาวิหาร และชมวัดพระเชตุพนวิมลมังคลารามราชวรมหาวิหาร	นักท่องเที่ยวที่เดินทางมาชมวัดพระเชตุพนวิมลมังคลารามราชวรมหาวิหาร และชมวัดพระเชตุพนวิมลมังคลารามราชวรมหาวิหาร
19:40	นักท่องเที่ยว MICE พร้อมรับประทานอาหารที่โรงแรมที่พัก (ในบุญยู/ สยาม สปีด โมดัล กรุงเทพ/ เขมาทพารณต์ แอท เซ็นทรัลชิดจิว)	เป็นโรงแรมที่พักที่รองรับนักท่องเที่ยว และอำนวยความสะดวก	นักท่องเที่ยวที่เดินทางมาชมวัดพระเชตุพนวิมลมังคลารามราชวรมหาวิหาร และชมวัดพระเชตุพนวิมลมังคลารามราชวรมหาวิหาร
รวมเงินที่ต้องจ่ายโดยประมาณ			10,000 บาท



รูปที่ 3 เส้นทางที่ 1

5. สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล

การบูรณาการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมร่วมกับธุรกิจไมซ์ (MICE) ในกรุงเทพมหานคร ด้านเวลา:

ช่วยลดการซับซ้อนในกิจกรรมทำให้ได้รับความสะดวกและรวดเร็วกว่าเดิม เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ออกแบบไว้ ด้านงบประมาณ: นักท่องเที่ยวควรมีงบส่วนตัวสำหรับใช้จ่ายและซื้อของฝากอยู่ที่ 10,000 – 15,000 บาท ต่อคน/ทริป

ด้านเส้นทาง: การขนส่งนักท่องเที่ยวและวัตถุสิ่งของ (Physical Flow) สัมพันธ์กับโปรแกรมตารางการท่องเที่ยวสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสมกับสถานการณ์เปลี่ยนแปลงการขนส่งอื่นแทน เช่น รถไฟฟ้า เรือ วินมอเตอร์ไซด์ รถตุ๊ก ๆ ฯลฯ

ด้านสถานที่ (สถานที่จัดงาน MICE-แหล่งท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม-ร้านอาหาร-ที่พัก): สถานที่จัดงานในประเทศไทย (Thailand MICE Venue Standard: TMVS) ได้ มาตรฐานอุตสาหกรรมไม่ซ้ำอย่างยั่งยืน (MICE Standards Sustainability) และแหล่งท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม-ร้านอาหาร และที่พัก มีความเหมาะสมและช่วยกระตุ้นการใช้จ่ายเงินของผู้เข้าร่วมประชุม สอดคล้องกับ ศศิวิมล กอบัว (2556) [7] เรื่องการพัฒนาระบบวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขข้อบังคับด้านเวลา และ กาศสมุทร์ และคณะ (2563) [8] ที่ว่า นักเดินทางกลุ่มไมซ์มีเป้าหมายเฉพาะทางด้านธุรกิจและมีอำนาจซื้อสูง มีความต้องการในสินค้าและบริการที่มีคุณภาพ หากประทับใจและได้รับประสบการณ์ที่ดีต่อพื้นที่ท่องเที่ยวที่ได้ไปเยือน ก็อาจจะกลับมาเยือนพื้นที่นั้นอีกครั้ง

แนวทางการจัดเส้นทางโลจิสติกส์ท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมร่วมกับธุรกิจไมซ์ (MICE) ในกรุงเทพมหานคร การจัดเส้นทางโลจิสติกส์ท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมร่วมกับธุรกิจไมซ์ (MICE) ได้แก่

เส้นทางที่ 1 (1 วัน) “วัดชนะสงครามราชวรมหาวิหาร – วัดบวรนิเวศราชวรวิหาร” เป็นเส้นทางที่น่าสนใจมีความเกี่ยวข้องกับประวัติศาสตร์และวัฒนธรรมของกรุงเทพฯ อย่างมาก โดยเฉพาะการเยี่ยมชมวัดชนะสงครามราชวรมหาวิหารซึ่งเป็นสถานที่ทางศาสนาที่สำคัญในประวัติศาสตร์ของประเทศไทย สำหรับความเชื่อมาแต่โบราณในการมากราบไหว้ขอพร จะมีชัยชนะต่ออุปสรรคทั้งปวง และมากราบไหว้ที่วัดบวรนิเวศราชวรวิหารซึ่งมีความเป็นเอกลักษณ์ในเรื่อง สถาปัตยกรรมและศิลปวัฒนธรรม

สำหรับความเชื่อมาแต่โบราณในการมากราบไหว้ขอพร จะพบเจอแต่สิ่งที่ดีงามต่อชีวิต หากการบูรณาการเส้นทางนี้อาจจะเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับนักท่องเที่ยวที่สนใจในเรื่องของประวัติศาสตร์และวัฒนธรรมไทย ที่ต้องการสัมผัสประสบการณ์ทางศาสนาและวัฒนธรรมอันเป็นเอกลักษณ์ของประเทศซึ่งได้รับความนิยมจากนักท่องเที่ยวทั่วโลก อย่างไรก็ตามควรพิจารณาความพร้อมของผู้เข้าร่วมกิจกรรมในการเดินทาง การวางแผนการท่องเที่ยวและเวลาที่ใช้ในการเยี่ยมชมแต่ละสถานที่อย่างละเอียด เพื่อให้ได้ประสบการณ์ที่มีคุณภาพและเพลิดเพลินไปกับการท่องเที่ยวที่ไม่เหน็ดเหนื่อย

เส้นทางที่ 2 (1 วัน) “วัดพระศรีรัตนศาสดาราม (วัดพระแก้ว)” เพียงวัดเดียวใน 1 วัน วัดพระแก้ว เป็นวัดคู่บ้านคู่เมืองของประเทศไทย เป็นแหล่งท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมที่สำคัญของประเทศ ภายในวัดเป็นที่ประดิษฐานพระพุทธรูปทองคำหรือ พระแก้วมรกต ยังมีสถาปัตยกรรมอันวิจิตรงดงาม และเป็นพระบรมมหาราชวังอีกด้วย สำหรับความเชื่อมาแต่โบราณในการมากราบไหว้ขอพรที่วัดพระแก้ว คือ ขอพรให้ครอบครัวมีความร่มเย็นเป็นสุขและมีแก้วแหวนเงินทอง ซึ่งจะโดดเด่นทางด้านการเงินทั้งคนไทยและชาวต่างชาติ ต้องมาเยือนชมความวิจิตรงดงามที่อยู่ภายในวัดพระแก้วแห่งนี้

เส้นทางที่ 3 (1 วัน) “วัดพระเชตุพนวิมลมังคลารามราชวรมหาวิหาร (วัดโพธิ์) - วัดอรุณราชวรารามราชวรมหาวิหาร (วัดโพธิ์)” วัดพระเชตุพนวิมลมังคลารามราชวรมหาวิหาร (วัดโพธิ์) มีพระนอนที่มีลักษณะพิเศษคือที่พระพุทธรูปทั้งสองข้างวางซ้อนเสมอกันทั้งซ้ายและขวา และมีการฝังมุกด้วยเครื่องหมายมงคล 108 ประการที่พระบาท มีกัจจกรขนาดใหญ่อยู่ตรงกลาง และองค์พระนอนมีสัญลักษณ์ หมายถึง การไถ่ถอนและความรัก ซึ่งหากใครที่ต้องการเสริมมงคลชีวิต ให้สมหวังในความรักหรือตัดขาดจากใครสักคน สามารถมากราบไหว้ขอพรได้ สำหรับความเชื่อมาแต่โบราณในการมากราบไหว้ขอพร ให้ครอบครัวเกิดความร่มเย็นเป็นสุขได้ด้วย วัดโพธิ์ได้รับการยกย่องจากองค์การยูเนสโกเป็น “มรดกความทรงจำแห่งโลก” นั่นคือ “จารึกวัดโพธิ์” ด้วยภูมิปัญญาของคนไทยที่มีสรรพศาสตร์ องค์ความรู้ในแขนงต่างๆ ซึ่งก่อเกิดกำเนิดการนวดแผนไทย ซึ่งได้รับการรับรองให้เป็นมรดกแห่งภูมิปัญญาทางวัฒนธรรมของมนุษยชาติ นอกจากนี้ วัดโพธิ์ยังเป็นแหล่งรวบรวมศาสตร์และศิลป์ที่สำคัญไว้หลากหลายแขนง ความ

วิถีตรงตามที่ได้เพิ่มไปด้วยสถาปัตยกรรม และรูปปั้นหินต่างๆ มากมาย ภายในวัดที่ดึงดูดให้มีผู้มาเยือนจากทั่วโลก นอกจากนี้ ยังมีวัดใกล้ๆ ซึ่งอยู่ไม่ไกลนักที่สามารถเดินมาขึ้นเรือข้ามฟากที่ท่าเตียน ไปยัง วัดอรุณราชวรารามราชวรมหาวิหาร ซึ่งวัดแห่งนี้ก็เป็นวัดเก่าแก่เช่นกัน สร้างมาตั้งแต่สมัยกรุงศรีอยุธยา ผ่านมาถึงกรุงธนบุรี และเข้าสู่ยุครัตนโกสินทร์อย่างสวยงามมาจนถึงปัจจุบันจุดไฮไลท์ คือ พระปรางค์ใหญ่, พระอุโบสถ สักการะพระพุทธรธรรมสิครราชโลกธาตุดิลก, พระวิหารหลวง สักการะพระพุทธรชัมภู นุทมาหบุรุษลักขณาอสีตยานุบพิตร และพระอรุณ หรือพระแจ้ง พระพุทธรศิลป์แห่งลานช้าง, โบสถ์น้อย ลอดแท่นบรรทมสมเด็จพระเจ้าตากสินมหาราช และยักษ์บริเวณซุ้มประตูทางเข้า หรือที่หลายๆ คนเรียกว่ายักษ์วัดแจ้ง และมีมุมถ่ายภาพรูปเยอะมาก ทั้งในบริเวณวัดที่เป็นสถาปัตยกรรม และบริเวณสวนที่ติดริมแม่น้ำเจ้าพระยา สำหรับความเชื่อมาแต่โบราณในการมากราบไหว้ที่วัดอรุณานั้นมีอยู่ว่า หากมาไหว้พระวัดอรุณฯ ชีวิตจะโรจรงู้ง ทุกวันคืน เป็นการเสริมชะตาให้ชีวิตพบเจอแต่ความรุ่งเรืองในหน้าที่การงาน มีฤกษ์ชัย ปิดเป่าภัยร้าย ให้สามารถเริ่มต้นชีวิตใหม่ได้อย่างราบรื่น อีกด้วย ทั้งนี้ การสร้างเส้นทางท่องเที่ยวสอดคล้องกับ Kim et al. (2009) [9] ในเรื่องการพัฒนาระบบวางแผนการท่องเที่ยว ที่ต้องพิจารณาจากความชอบของนักท่องเที่ยวเพื่อแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวต้องเลือกเลือกสถานที่ และ แนะนำสถานที่อื่นๆ เพิ่มเติมพร้อมรายละเอียดที่เกี่ยวข้อง แล้วจึงแสดงตำแหน่งของสถานที่ ผ่านแผนที่ กูเกิ้ล (Google maps) และ Vansteenwegen et al. (2010) [10] ที่ว่า ควรพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับนักท่องเที่ยวที่สามารถวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวได้

การสร้างเส้นทางท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมด้วยโปรแกรม Visio, Canva และ Google maps ได้เส้นทางท่องเที่ยว 1 วัน ตัวเลือก 3 เส้นทาง ที่มีความเหมาะสม

อย่างไรก็ดี การใช้โปรแกรม Visio เหมาะสมสำหรับสร้าง Diagram ส่วนใหญ่นำมาใช้กับงานทางด้านไอที เช่น การวาด Model, Network Diagram, Dataflow Diagram ในการออกแบบระบบสารสนเทศ การส่งมอบให้โปรแกรมเมอร์นำไปเขียนโปรแกรมตามที่ Design อย่างไรก็ตาม Visio สามารถสร้าง Diagram ได้อย่างหลายแม้แต่เส้นทางท่องเที่ยว แต่เป็นโปรแกรมลิขสิทธิ์ที่ต้องเสียเงินซื้อ ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการใช้งาน แต่ก็สามารถใช้ฟรีได้

ในช่วงทดลอง ขณะที่ โปรแกรม Canva เหมาะสำหรับการออกแบบทำให้การออกแบบง่ายขึ้น การทำโฆษณาโพสเตอร์ภาพสำหรับโซเชียลมีเดีย การ Present งาน มีเทมเพลต (Template) ให้เลือก มีทั้งแบบเสียเงินและแบบใช้งานฟรี ซึ่งแบบฟรีมีข้อเสียคือ Font ภาษาไทยมีจำกัด ภาพฟรีที่มีจำนวนค่อนข้างน้อย พื้นภาพโปร่งใส (Transparent) ข้อจำกัดในการบันทึก (Save) ขนาดภาพ ปัญหาด้านความปลอดภัยทางข้อมูล เนื่องจากใช้ผ่านเว็บไซต์ ส่วนแอปพลิเคชัน Google Maps จะดีมากช่วยให้เห็นภาพแผนที่ชัดเจน เข้าใจง่าย แสดงเส้นทางและใช้ข้อมูลการจราจรแบบเรียลไทม์เพื่อหาเส้นทางที่ดีที่สุดไปยังจุดหมาย และสามารถ Capture ภาพที่ได้มาจัดทำเอกสารแผนที่การท่องเที่ยวได้

นอกจากนี้ แนะนำให้ใช้แอปพลิเคชันภาษาที่นอกเหนือจาก Google Translation เช่น แอปพลิเคชันถ่ายรูปแปลภาษาโดยกล้อง ใช้งานฟรีและแปลได้ง่ายๆ เนื่องจากนักท่องเที่ยวกลุ่ม Mice ที่เดินทางมาร่วมการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ ส่วนใหญ่เป็นต่างชาติที่เดินทางมาแนะนำเสนองานครึ่งวัน และส่วนที่เหลือคือใช้เวลาท่องเที่ยว เมืองที่ได้รับความนิยม คือ กรุงเทพมหานคร เกี๊ต เชียงใหม่ และพญา

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลวิจัยไปใช้

1. หน่วยงาน Mice ที่จัดประชุมวิชาการระดับนานาชาติ ต้องวางแผนการท่องเที่ยวด้านเวลาให้เหมาะสมกับกิจกรรมเน้นความสะดวกสบาย ที่ไม่เหน็ดเหนื่อยและมีเวลาพักผ่อน
2. ควรแนะนำให้นักท่องเที่ยวเตรียมเงินเพื่อใช้จ่ายส่วนตัวอยู่ระหว่าง 10,000 - 15,000 บาท ต่อคน/ทริป เพื่อรับประสบการณ์ที่คุ้มค่าและตรงกับบริบทของกิจกรรม
3. ควรจัดเส้นทางท่องเที่ยวให้จบภายใน 1 วัน มีหลากหลายเส้นทางให้เลือก เพื่อสร้างประสบการณ์ใหม่และเหมาะสมให้กับนักท่องเที่ยว
4. เลือกสถานที่ที่เหมาะสมกับกิจกรรม ที่มีสิ่งอำนวยความสะดวก และมีเอกลักษณ์ (Unique Selling Proposition) ที่ตรงใจแก่นักท่องเที่ยวเพื่อประสบการณ์ที่น่าจดจำ

6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

ควรศึกษาเพิ่มเติมในบริบทของการออกแบบกิจกรรมการท่องเที่ยวให้มีความหลากหลาย แตกต่าง ควบคู่กับสถานที่แปลกใหม่ ซึ่งจะช่วยให้ดึงดูดนักท่องเที่ยว Mice เกิดประโยชน์ในการสร้างงานและรายได้ให้กับคนในชุมชนนั้นด้วย

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐภัทรศญา เศรษฐโชติสมบัติ ที่คอยให้คำแนะนำ ติดตามความก้าวหน้าตลอดจนตรวจและแก้ไขในการทำวิจัยนี้เป็นอย่างดี ผู้วิจัยขอกราบขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Y. Zhang, S. A. R. Khan, A. Kumar, H. Golpıra, and A. Sharif, "Is tourism really affected by logistical operations and environmental degradation: An empirical study from the perspective of Thailand," *The Journal of Cleaner Production*, vol. 227, pp.158-166, 2019.
- [2] P. Laksapet. Integrating sustainable tourism with strategic principles in NIDA WISDOM for Change program of the National Institute of Development Administration (NIDA). [Online]. (2561). [Cited October 10, 2018]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=j-Bn2tLhHxA>. (in Thai).
- [3] C. Cook. Opportunities and Threats in ASEAN exhibition market. [Online]. (2011). [Cited January 20, 2011]. Available: <https://slideplayer.com/slide/6285645/> (in Thai).
- [4] Posttoday. Foreigners flock to organize meetings and seminars in Thailand, driving MICE business growth, expected to generate 50 billion in revenue in 2023. [Online]. (2023). [Cited June 18, 2024]. Available: <https://www.posttoday.com/business/697637>. (in Thai).
- [5] N. Anutravattanakul. Integrating sustainable tourism with strategic principles in NIDA WISDOM for Change program of the National Institute of Development Administration (NIDA). [Online]. (2561). [Cited October 10, 2018]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=j-Bn2tLhHxA>. (in Thai).
- [6] C. Pimolsompong, "Tourism: Dimension of integrated sciences," *The Journal of Business Administration, Economics and Communication*, vol. 7, no. 1, pp.1-4, 2012 (in Thai).
- [7] S. Korbuar, "The development of a travel itinerary planner under time constraints," M.S. thesis, Department of Information Science in Information Technology, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 2013 (in Thai).
- [8] N. Kansamut, K. Jaroenwisan, and S. Phuripakdee, "Developing human resources to enhance competitiveness of the MICE industry in Songkhla Province," *The Journal of Rajamangala University of Technology Srivijaya*, vol. 12, no. 1, pp.120-132, 2020 (in Thai).
- [9] B. C. Lee and D. K. Kim, "Relative importance to tourism decision makers of indicators for sustainable rural tourism development in South Korea: Using AHP approach," *The Journal of Tourism*, vol. 10, no. 2, 2009.
- [10] P. Vansteenwegen and W. Souffriau, "Tourist trip planning functionalities: State-of-the-art and future," Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, *In International Conference on Web Engineering*, pp.474-485, July. 2010.

การเพิ่มผลผลิตในกระบวนการการปลูกข้าวแบบลักษณะนาหว่านเมล็ดข้าววงอกนาตม :
กรณีศึกษา ตำบลโพรงอากาศ อำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา

Increasing Productivity in the Rice Cultivation Process Using the Direct
Seeding Method with Pre-germinated Rice Seeds: A Case Study in Phrong
Akat Sub-District, Bang Nam Prio District, Chachoengsao Province

สุทธิดา การะเวก¹ ยูธานรงค์ จงจันทร¹ ศรีนยา ประทีปชนะชัย² นรินทร์ กุลนภาดล³ เมธี พรหมศิลา¹
กิงกาญจน์ กิตติสุนทรโรภาศ¹ และ ธนัช มั่นมงคล^{1*}

Sutthida Karawek¹, Yuthanarong Jongjun¹, Sarinya Prateepchanachai², Narin Kulnapadol³,
Methee Promsila¹, Kingkarn Kittisuntaropas¹ and Tanatat Monmongkol^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์และกระบวนการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

²สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

³สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลยานยนต์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

¹Department of Logistics and Process Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajanagarindra Rajabhat University

²Department of Industrial Management Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

³Department of Automotive Mechanical Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

*Email: tanatat@techno.rru.ac.th

Received: June 26, 2024; Revised: August 14, 2024; Accepted: August 20, 2024

บทคัดย่อ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัดฉะเชิงเทรา โดยเกษตรกรมีการทำนาปลูกข้าวปีละ 3 ครั้ง เนื่องจากมีพื้นที่
อยู่ในเขตการจัดการชลประทานจากแม่น้ำบางปะกง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการทำนาข้าวเพื่อเพิ่ม
ผลผลิตให้เกษตรกรในพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา จากการศึกษากระบวนการทำนาข้าวพบว่า มีขั้นตอนหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวซึ่งเป็น
ขั้นตอนที่มีความสำคัญที่สุดในการผลิต เนื่องจากเกษตรกรต้องใช้ประสบการณ์และทักษะในการทำงานสูงเพื่อให้เมล็ดพันธุ์
ข้าวมีความหนาแน่นที่เหมาะสมและกระจายตัวสม่ำเสมอทั่วทั้งแปลง ในปัจจุบันได้ผลผลิตเฉลี่ย 649 กิโลกรัมต่อไร่ จากข้อมูล
ดังกล่าวผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะทำการปรับปรุงวิธีการหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าว โดยทำการเปรียบเทียบผลผลิตต่อ 1 ไร่ จาก 2
ทางเลือก ได้แก่ 1) แรงงานหว่านเมล็ดพันธุ์ 2) ใช้เครื่องพ่นหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวแบบสะพายหลัง กรณีศึกษาในพื้นที่ตำบล
โพรงอากาศ อำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพก้างปลา เครื่องมือควบคุม
คุณภาพแบบใหม่ พบว่าที่ไม่มีการเพิ่มผลผลิตในการปลูกข้าวเกิดจากแรงงานที่หว่านข้าวไม่มีทักษะความชำนาญและ
ประสบการณ์ในการหว่านทำให้การกระจายตัวของเมล็ดข้าวไม่มีความสม่ำเสมอ บางจุดบางไปบางจุดมีความหนาแน่นเกินไป
และขาดการปรับปรุงพัฒนาวิธีการหว่านเมล็ดพันธุ์ ผู้วิจัยใช้การวิเคราะห์เพื่อกำหนดแนวทางการแก้ไขด้วยเทคนิคการตั้ง
คำถาม 5W1H เสนอแนวทางการแก้ปัญหาด้วยการจัดหาอุปกรณ์ในการหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวแทนแรงงานคน โดยทดลองหว่าน
เพื่อเปรียบเทียบผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยว ผลการทดลองเปรียบเทียบผลผลิตจากการหว่านเมล็ดพันธุ์ด้วยแรงงานคนกับเครื่อง
หว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวแบบสะพายหลัง พบว่า การหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวโดยใช้เครื่องพ่นหว่านแบบสะพายหลังได้ผลผลิตมากกว่าการ
ใช้แรงงานคน 15 ถึงต่อไร่ คิดเป็น 21.42% ลดจำนวนแรงงานในการหว่านเมล็ดพันธุ์ได้ 2 คนต่อไร่ คิดเป็น 66.66% รอบ
เวลาในการหว่านลดลง 1.5 ชั่วโมงต่อไร่ คิดเป็น 75% อัตราการเพิ่มผลผลิตเพิ่มขึ้น 0.001 ถึงต่อชั่วโมงต่อคน คิดเป็น
47.62% และมีระยะเวลาคืนทุนจากการลงทุนซื้ออุปกรณ์หว่านเมล็ดพันธุ์ 0.063 ต่อรอบการปลูกข้าว 90 วัน หรือ 5.67 วัน

คำสำคัญ : อัตราการเพิ่มผลผลิต, พืชเศรษฐกิจ, ระยะเวลาคืนทุน, แผนภาพก้างปลา

Abstract

Rice is a crucial economic crop in Chachoengsao province, where farmers cultivate rice three times a year due to the availability of areas within the irrigation management zone from the Bang Pakong River. This research aims to improve the rice cultivation process to increase productivity for farmers in Chachoengsao province. Upon studying the rice cultivation process, it was found that the seed sowing step is the most critical, requiring experience and skills to achieve proper seed density and even distribution throughout the field. Currently, the average yield is 649 kilograms per rai. The researcher plans to improve the seed sowing method by comparing the yield per rai from two options: 1) manual labor for seed sowing, and 2) using a backpack-type sprayer for seed sowing. The study is conducted in the Phrong Akat sub-district, Bang Nam Piao district, Chachoengsao province. The analysis of the problem using the fishbone diagram and a new quality control tool revealed that the lack of skill and experience in manual seed sowing leads to uneven distribution of seeds, with some areas having excessive seed density. The researcher suggests a solution using the 5W1H questioning technique to identify the problem and proposes an improvement by using equipment for seed sowing instead of manual labor. Experimental results comparing the productivity after harvesting from manual labor and a backpack-type sprayer for seed sowing showed that using the backpack sprayer resulted in higher yields, reducing labor by 21.42%, reducing the time for sowing by 1.5 hours per rai 75% increasing productivity by 0.001 tanks per hour per person 47.62% and providing a payback period of 0.063 rounds of rice cultivation, equivalent to 90 days or 5.67 days.

Keywords: Productivity, Economic crops, Improvement payback period, Fishbone diagram

1. บทนำ

ทรัพยากรธรรมชาติ เป็นปัจจัยการผลิตพื้นฐานที่สำคัญของประเทศเกษตรกรรมเช่นประเทศไทย แต่การพัฒนาประเทศที่ผ่านมา ผลผลิตการเกษตรที่เป็นสินค้าส่งออกหลักของประเทศเกิดจากการใช้สารเคมีเพื่อเพิ่มผลผลิต ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมส่งผลให้เกิดการเสื่อมโทรมของทรัพยากรต่าง ๆ รวมถึงการลดลงของความหลากหลายทางชีวภาพ แม้รัฐจะมีมาตรการเพื่อการอนุรักษ์ แต่จำกัดอยู่เพียงพื้นที่ป่าเท่านั้นอาเซียนพื้นฐานของสังคมชนบทไทยทุกยุคคือเกษตรกรรม รัฐจึงให้ความสำคัญต่อการพัฒนาชนบทในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติทุกฉบับ เพราะสองในสามของประชากรอยู่ในภาคนี้ อย่างไรก็ตามปัญหาหลักและเรื้อรังของการพัฒนาการเกษตร คือ ประสิทธิภาพการผลิต ต้นทุนและราคาผลผลิต ทำให้เกษตรกรต้องตกอยู่ในวังวนของปัญหาต้นทุนการผลิตสูง

จังหวัดฉะเชิงเทราแบ่งการปกครองออกเป็น 11 อำเภอ 93 ตำบล 859 หมู่บ้าน มีขนาดเศรษฐกิจของจังหวัด มีมูลค่า 340,913 ล้านบาท จำนวนประชากร 715,009 คน จำนวนครัวเรือน 235,328 ครัวเรือน เป็นแรงงานภาคเกษตรกร 65,562 คน มีพื้นที่ทั้งหมด 3,344,375 ไร่ เป็นพื้นที่เกษตรกรรม 2,368,815 ไร่ คิดเป็น 70.85 % ของพื้นที่ทั้งหมด เป็นพื้นที่ปลูกข้าวนาปี 632,269 ไร่ คิดเป็น

26.69% ของพื้นที่ทำการเกษตร พื้นที่ปลูกข้าวนาปี 293,386 ไร่ คิดเป็น 12.38% ของพื้นที่ทำการเกษตร วิธีการทำนาของเกษตรกรในพื้นที่เลือกการทำนาแบบหว่านเป็นหลักเนื่องจากเกษตรกรมีการทำนาปรังต่อเนื่องจากการทำนาปี โดยเลือกหว่านเมล็ดข้าวลงหว่านน้ำตาม โดยการนำเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ถูกเพาะในห่อ มีขนาดตุ่มตารากงอกประมาณ 1-2 มิลลิเมตร ไปหว่านลงในกระถางนา ซึ่งมีการเตรียมดินไว้การทำนาหว่านน้ำตามที่จะให้ได้ผลดีนั้น จะต้องปรับพื้นที่นาให้สม่ำเสมอ มีคันน้ำล้อมรอบและสามารถควบคุมน้ำได้ การเตรียมดินก็จะปฏิบัติเช่นเดียวกับการเตรียมดินในนาดำหลังการเก็บเกี่ยวข้าวแล้ว ควรปล่อยให้เมล็ดข้าวที่ร่วงหล่นในนามีเวลางอกเป็นต้นข้าว เพื่อลดปัญหาข้าวเรือหรือข้าววัชพืชในนา ไถตะ แล้วปล่อยน้ำเข้าพอให้ดินชุ่มอยู่เสมอ ประมาณ 5-10 วัน เพื่อให้เมล็ดวัชพืชงอกขึ้นมาเป็นต้นอ่อนเสียก่อนจึงปล่อยน้ำขำนา แล้วทำการไถแปรและคราด หรือใช้ลูกทูป จะช่วยทำลายวัชพืชได้ [1] ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 เกษตรกรรมการทำนาข้าวในพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา

จากรูปที่ 1 แสดงลักษณะการทำนาหว่านเมล็ดข้าวของของกลุ่มเกษตรกรในพื้นที่ ตำบลโพรงอากาศ อำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา จะใช้อัตราเมล็ดพันธุ์ประมาณ 35-40 กิโลกรัมต่อไร่ เป็นแบบนาชลประทานหรือนาในเขตที่มีแหล่งน้ำอุดมสมบูรณ์ “การทำนาตามแผนใหม่” หลังการเก็บเกี่ยวจากสถิติพบว่าได้ผลผลิตประมาณ 70 ถึงต่อไร่จากการสังเกตพบว่าในพื้นที่ทำนาข้าว 1 ไร่ ยังมีบางจุดที่การเติบโตของต้นกล้ามีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอ บางจุดมีต้นข้าวขึ้นบางแต่บางจุดก็มีความหนาแน่นมากเกินไป แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะการเติบโตของต้นข้าว พื้นที่กรณีศึกษา

จากรูปที่ 2 แสดงลักษณะการเติบโตของต้นข้าวพื้นที่กรณีศึกษาจากการสังเกตปัจจุบันเกษตรกรในพื้นที่ยังหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยแรงงานคนซึ่งต้องใช้ความชำนาญและประสบการณ์ค่อนข้างสูงอาจทำให้การควบคุมปริมาณความหนาแน่นของเมล็ดพันธุ์ข้าวไม่ได้ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการปรับปรุงพัฒนาวิธีการหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวแบบใหม่เพื่อเป็นทางเลือกให้กับเกษตรกรในอนาคตต่อไป

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มผลผลิตให้เกษตรกรผู้ปลูกข้าวแบบหว่านน้ำตามในพื้นที่ ตำบลโพรงอากาศ อำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา ด้วยการปรับปรุงวิธีการหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าว

2. ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีภาวะทันสมัย (Modernization Theory)

การพัฒนาสังคมที่ผ่านมายู่บนฐานความคิดของการพัฒนาสังคมกระแสหลัก ที่ให้ความสำคัญกับการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ (Growth-Only Development Approach)

โดยรวมศูนย์กลางการพัฒนาไว้ที่ส่วนกลาง ทิศทางการพัฒนาส่วนใหญ่จึงถูกกำหนดจากรัฐบาลและเอกชนโดยอาศัยระบบทุนนิยมเป็นหลัก และจากการที่แนวคิดการพัฒนากระแสหลักให้ความสนใจเพียงการสร้างโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure Development) แบบตะวันตก การพัฒนาจึงเป็นกระบวนการสร้างความทันสมัย (Modernization) ที่มุ่งเน้นในเชิงปริมาณหรือการเติบโตทางวัตถุเพียงด้านเดียว ประเทศที่พัฒนาแล้วอย่างประเทศโลกตะวันตกจึงเข้ามามีบทบาทอย่างกว้างขวางในการกำหนดรูปแบบและทิศทางในการพัฒนา และถ่ายทอดแนวคิดดังกล่าวลงสู่ประเทศโลกที่สาม (The Third World) ซึ่งนับเป็นการเข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการกำหนดทิศทางการพัฒนาของสังคมโลกเป็นอย่างยิ่ง และเป็นที่มาของการแพร่กระจายระบบเศรษฐกิจแบบทุนเสรีนิยม การพัฒนาของประเทศโลกที่สามจึงเป็นไปในรูปแบบของการพึ่งพิง (Dependency Development) สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุมิตรา ภู่วโรตม, พรชัย ไพบุลย์, พรรณี ชื่นนกร และสุนทรี ยิ่งชัชวาล [2] ช่วยเกษตรกรเพิ่มผลผลิตข้าวหอมมะลิในเขตพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ จังหวัดร้อยเอ็ด จากเดิมผลิตได้เพียง 300 กิโลกรัมต่อไร่ เป็น 500 - 640 กิโลกรัมต่อไร่ ด้วยวิธีการปลูกข้าวแบบทันสมัย ด้วยสูตรและอัตราปุ๋ยตรงตามความต้องการใช้สร้างต้นและเป้าหมายผลผลิตควบคู่กับการปรับเพิ่มระยะปลูกข้าว ผลผลิตข้าวที่เพิ่มขึ้นเท่าตัวทำให้เกษตรกรมีความพึงพอใจในระดับสูงมากเป็นต้นแบบให้เกษตรกรในพื้นที่อื่นเห็นในเชิงประจักษ์

2.2 แผนภูมิการไหล (Flow Process Chart)

แผนภูมิกระบวนการไหล เป็นแผนภูมิที่นำมาใช้เพื่อทำการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ขั้นตอนการไหล (Flow) ของกระบวนการทำงาน ที่เคลื่อนไปในกระบวนการพร้อมกับกิจกรรมต่าง ๆ โดยใช้สัญลักษณ์มาตรฐาน 5 สัญลักษณ์ ที่ถูกกำหนดโดยสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลของอเมริกา (ASME: American Society of Mechanical Engineers) โดย แบ่งกิจกรรมในวิธีการทำงานออกเป็น 5 กลุ่มใหญ่ ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์มาตรฐานการไหลของกระบวนการ

สัญลักษณ์	ความหมาย
●	การปฏิบัติงาน (Operation)
■	การตรวจสอบ (Inspection)
➔	การเคลื่อนย้าย (Transportation)
●	การรอคอย (Delay)
▼	การจัดเก็บ (Storage)

จากตารางที่ 1 สัญลักษณ์ของแผนภูมิการไหลจะใช้ในการบันทึกข้อมูลกระบวนการอย่างละเอียดเพื่อให้ผู้วิจัยนำไปใช้ในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาต่อไป สอดคล้องกับงานวิจัยของ ยุทธณรงค์ จงจันทร์ และณัฐภัทร พลพันธ์ [3] ปรับปรุงกระบวนการผลิตชิ้นส่วนไส้ตาแก๊ส โดยเลือกใช้แผนภูมิการไหลเก็บข้อมูลขั้นตอนการผลิต วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาด้วยเครื่องมือควบคุมคุณภาพแบบใหม่เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดแนวทางการแก้ไขปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยหลักการอีซีอาร์เอส (ECRS) สามารถลดจำนวนสถานีงานได้ 2 สถานี คิดเป็นร้อยละ 22.22 ลดจำนวนพนักงานได้ 8 คน คิดเป็นร้อยละ 38.09 ลดรอบเวลาการผลิตรวมได้ 1.71 นาที คิดเป็นร้อยละ 14.39 เพิ่มกำลังการผลิตได้ 7,696 ชิ้นต่อเดือน ประสิทธิภาพสายการผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 33.04 และสามารถเพิ่มผลผลิตการผลิตได้ 1.47 ชิ้น/ชั่วโมง/คน คิดเป็นเพิ่มขึ้นร้อยละ 106.52

2.3 การเพิ่มผลผลิต (Productivity)

กระบวนการในการปฏิบัติงานเพื่อให้ได้สินค้า บริการ หรืองานที่มีคุณภาพสอดคล้องกับความต้องการของลูกค้า ด้วยวิธีการในการลดต้นทุน ลดการสูญเสียทุกรูปแบบ การใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า การใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม การพัฒนาศักยภาพของผู้ปฏิบัติงาน และการใช้เทคนิคการทำงานต่าง ๆ เข้ามาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 2 แนวคิด ได้แก่

1) แนวคิดทางวิทยาศาสตร์คือ การใช้ประโยชน์จากทรัพยากรในการผลิตอย่างคุ้มค่าก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งการเพิ่มผลผลิตตามแนวคิดนี้อาจใช้วิธีการลดต้นทุน การลดความสูญเสีย การปรับปรุงกระบวนการผลิตหรือกระบวนการทำงาน และการมุ่งเน้นที่การทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

2) แนวคิดทางเศรษฐกิจและสังคม คือแนวคิดที่เน้นสามัญสำนึก ทศนคติ (Attitude) ภายในจิตใจของคนที่ต้องการแสวงหาทางปรับปรุงสิ่งต่าง ๆ ให้ดีขึ้นอยู่เสมอ บนพื้นฐานของความเชื่อในความก้าวหน้าและความสามารถของมนุษย์ว่าสามารถทำวันนี้ให้ดีกว่าเมื่อวาน และพรุ่งนี้จะต้องดีกว่าวันนี้โดยอาศัยความร่วมมือจากทุกภาคส่วนทั้งภายในองค์กรและภายนอกองค์กร สอดคล้องกับงานวิจัยของ ศรีนยา ประทีปชนะชัย, ยุทธณรงค์ จงจันทร์, สราวุธ อิศรานวัฒน์, ภูมิ พรประเสริฐ, เกียรติศักดิ์ พระเนตร และกิตติคุณ แก้ววิกรมย์ [4] เพิ่มผลผลิตกระบวนการประกอบผลิตชิ้นส่วนฝาสูบเครื่องยนต์ของบริษัทตัวอย่าง จากปัญหาเล็บวาล์วหลุดออกจากเบ้าขณะหมุนแกนวาล์วขณะประกอบงาน เนื่องจากจุดทำงานมีลักษณะเป็นที่แคบพนักงานไม่สามารถกดเล็บวาล์วเข้ากับสปริงได้ตลอดเวลา คณะผู้วิจัยแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการเลือกใช้แท่งพลาสติกเป็น

วัสดุในการออกแบบเป็นอุปกรณ์ช่วยดันกดเล็บวาล์วเข้ากับสปริงก้านวาล์ว ผลการปรับปรุงสามารถเพิ่มอัตราผลผลิตการผลิตได้จาก 0.012 เครื่องต่อนาทีต่อคน เป็น 0.018 เครื่องต่อนาทีต่อคน คิดเป็นเพิ่มขึ้น 50%

2.4 เครื่องมือควบคุมคุณภาพ (Quality Control Tools)

เครื่องมือควบคุมคุณภาพ เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการแก้ไขปัญหาทางด้านคุณภาพของกระบวนการผลิต ซึ่งช่วยศึกษาสภาพทั่วไปของปัญหา คัดเลือกหรือจัดลำดับความสำคัญของปัญหา การสำรวจสภาพปัจจุบันของปัญหา การค้นหา และวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่แท้จริง เพื่อให้สามารถแก้ไขได้อย่างถูกต้องรวมทั้งติดตามผลอย่างต่อเนื่อง ตลอดจนช่วยในการจัดทำมาตรฐาน ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพที่สำคัญมี 7 ชนิด ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ แผนภาพก้างปลา (Fish-bone Diagram) เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา แผนภาพก้างปลา เป็นแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาที่ต้องการแก้ไขกับสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา ซึ่งผู้วิเคราะห์สามารถมองภาพรวมของปัญหาและสาเหตุทั้งหมดได้ง่ายขึ้น แผนภาพก้างปลามีลักษณะคล้ายกับก้างปลา โดยส่วนหัวปลาจะแสดงปัญหาที่เกิดขึ้น ส่วนก้างปลาหลักจะแสดงสาเหตุหลัก และก้างปลาย่อยแสดงสาเหตุย่อย ซึ่งการหาสาเหตุหลักของปัญหาจะใช้หลักการของ 4M 1E ได้แก่ พนักงาน, เครื่องจักรหรืออุปกรณ์, วัตถุดิบ, วิธีการทำงาน และสภาพแวดล้อม สอดคล้องกับงานวิจัยของ จิตติมา จันทิก, รัตนะชัย ล้วนศรี, สหสวรรค์ แก้ววิกรมย์ และยุทธณรงค์ จงจันทร์ [5] พยายามลดรอบเวลาการปฏิบัติงานในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก จากปัญหาการเสียเวลาในการเดินจัดงาน ใช้แผนภาพก้างปลาวิเคราะห์ปัญหา พบว่าสาเหตุการเดินจัดงานล่าช้าเนื่องจากชิ้นงานวางอยู่คนละสายการผลิตเสียเวลาในการค้นหาเนื่องจากไม่มีการจัดระเบียบทำป้ายบ่งชี้ และการทำงานบางขั้นตอนมีลักษณะใกล้เคียงกันแต่แยกขั้นตอนใช้หลักการ ECRS ในการรวมงานที่มีลักษณะใกล้เคียงกันเข้าด้วยกัน และตัดขั้นตอนบางขั้นตอนออกด้วยการย้ายชิ้นงานในรุ่นเดียวกันที่อยู่ต่างสายการผลิตให้มาอยู่ในบริเวณเดียวกัน จากนั้นทำป้ายสัญลักษณ์กำหนดตำแหน่ง เพื่อให้การมองได้ง่าย ผลการปรับปรุงสามารถลดขั้นตอนการจัดงานได้ 3 ขั้นตอนต่อรอบการทำงาน คิดเป็นร้อยละ 42.85 เวลาการทำงานต่อรอบลดลง 20 นาที คิดเป็นลดลงร้อยละ 30.76 พนักงานที่ทำงานต่อรอบลดลง 3 คน คิดเป็นร้อยละ 66.66

2.5 การตั้งคำถาม 5W1H (5W1H)

วิธีการในการแก้ปัญหาเชิงสร้างสรรค์ด้วยทักษะการค้นหาคำตอบที่มีความหลากหลาย ของการแก้ไขปัญหในสถานการณ์ที่จำกัด สามารถคัดเลือกวิธีการได้อย่าง

เหมาะสม มีเหตุมีผลอีกทั้งยังสามารถอธิบายกระบวนการ และผลกระทบที่เกิดจากการเลือกวิธีการแก้ไขในแต่ละ ขั้นตอนได้ โดยวิเคราะห์ผ่านลำดับขั้นตอน 4 ขั้นตอน ประกอบด้วย วิเคราะห์ข้อมูลและสาเหตุของปัญหา (Clarify) หาแนวคิดใหม่ในการแก้ไขปัญหาอย่างสร้างสรรค์ (Ideate) นำแนวคิดมาประเมินและเลือกแนวคิดที่แก้ไขปัญหาได้ดีที่สุด (Develop) กำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหา (Implement) สอดคล้องกับงานวิจัยของ ยุทธณรงค์ จงจันทร์, ศรีนิยา ประทีปชนะชัย และธนธัช มั่นมงคล, [6] ศึกษาและหาแนวทางการเพิ่มผลผลิตในกระบวนการผลิต แป้งตลับของบริษัทตัวอย่างให้กลับมาผลิตให้ได้ตามความต้องการของลูกค้าภายในเวลา 8 ชั่วโมง/วัน โดยใช้หลักการตั้ง คถาม 5W1H กำหนดแนวทางการแก้ไขเพื่อป้องกันการตกหล่นของปัญหา แล้วนำไปทำการปรับปรุงแก้ไขด้วย เทคนิคการออกแบบอุปกรณ์จับยึดผลการดำเนินงานพบว่า หลังการปรับปรุงชั่วโมง ทำงานลดลงร้อยละ 50 ลดจำนวน พนักงานได้ร้อยละ 50 อัตราการผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 299

2.6 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

ระยะเวลาของการลงทุนที่กระแสเงินสดรับสุทธิจาก โครงการเท่ากับกระแสเงินสดจ่ายสุทธิพอดี หรือกล่าวได้ว่าการลงทุนไม่มีกำไรและไม่ขาดทุนนั่นเอง ระยะเวลาคืนทุน เป็นเครื่องมือในการประเมินความเป็นไปได้ของการลงทุน อย่างง่ายและไม่ซับซ้อน เป็นการประเมินคร่าวๆและรวดเร็ว เหมาะกับเม็ดเงินลงทุนจำนวนไม่มาก อย่างไรก็ตามการ คำนวณระยะเวลาคืนทุนมีจุดอ่อนตรงที่ไม่ได้นำเรื่องค่าของ เงินตามเวลามาพิจารณาและไม่ให้ความสำคัญกับกระแสเงินสดที่ได้รับภายหลังระยะเวลาคืนทุน ทำให้อาจเกิดการ ตัดสินใจเลือกโครงการลงทุนที่ผิดพลาดได้ ดังนั้นในบางกรณี อาจแก้ปัญหานี้โดยนำกระแสเงินสดมาปรับลดด้วยอัตราคิด ลด ซึ่งเป็นการสะท้อนมูลค่าเงินตามเวลาก่อน แล้วค่อย นำมาคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน หรือที่เรียกว่า ระยะเวลา คืนทุนแบบคิดลด (Discount Payback Period : DPB) สอดคล้องกับงานวิจัยของ ชวัญชนก วงศ์แพงสอน, กฤตพงศ์ วิชระนุกุล, วรวิทย์ กุลตั้งวัฒนา และ นันทิยา พรหมทอง [7] ศึกษาต้นทุน และผลตอบแทนการผลิตเครื่องปั้นดินเผาของ กลุ่มอาชีพหัตถกรรมเครื่องปั้นดินเผา พบว่ามีต้นทุนการผลิตเฉลี่ย 39,772 บาทต่อเดือน เป็นค่าแรงงานทางตรง เท่ากับ 15,773 บาท คิดเป็นร้อยละ 39.66 ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด รองลงมาได้แก่ค่าใช้จ่ายในการผลิต 14,335 บาท คิดเป็นร้อยละ 36.04 และวัตถุดิบทางตรง 9,664 บาท คิดเป็นร้อยละ 24.30 กำไรสุทธิทางบัญชี เฉลี่ยต่อปี 95,096 บาท อัตรากำไรขั้นต้นคิดเป็นร้อยละ 22.48 อัตรากำไรสุทธิ ต่อยอดขายเท่ากับร้อยละ 15.45 จุดคุ้มทุนจำนวนชิ้นต่อ เดือน 273 ชิ้น คิดเป็นจำนวนเงินต่อเดือน 25,037.39 บาท

ราคาขายเฉลี่ย 91.84 บาทต่อชิ้น ต้นทุนการผลิตเฉลี่ย 73.45 บาทต่อชิ้น ผลจากการวิเคราะห์ผลตอบแทนของ โครงการ พบว่า มีกระแสเงินสดสุทธิ 278,278.92 บาท มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 96,812.53 บาท ระยะเวลาคืนทุน (PB) 4 ปี 8 เดือน ระยะเวลาคืนทุนคิดลด (DPB) 5 ปี 4 เดือน และอัตราผลตอบแทนจากโครงการ (IRR) เท่ากับร้อยละ 12.82

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กนต์ธร ชำนิประศาสน์, พยุงศักดิ์ จุลยุเสณ และ ชโลธร ธรรมแท้ [8] ออกแบบผลิต และทดสอบ อากาศยานไร้คนขับ สำหรับพ่นสารเคมี 2 ขนาด ได้แก่ ขนาดบรรจุทุก 5 ลิตร และ ขนาด 10 ลิตร เพื่อสร้างนวัตกรรมและเทคโนโลยี ใช้ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี รวมถึงเผยแพร่ ผลงานออกสู่เกษตรกร เปรียบเทียบอากาศยานไร้คนขับทั้ง 2 แบบ ขนาด 10 ลิตร ซึ่งมีความสามารถในการบรรจุ มากกว่า 2 เท่า แต่มีราคาสูงกว่า 3-4 เท่า แต่มีความสามารถในการทำงานต่อไร่เพียง 1-2 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับขนาด 5 ลิตร ขนาด 5 ลิตร จะมีความคุ้มค่ากว่า ในด้านการลงทุน อีกทั้งยังมีขนาดเล็กเหมาะและง่ายต่อการพกพาไปทำงานในที่ต่าง ๆ ผลการทดสอบการควบคุมยังพบว่า Pixhawk ซึ่ง ถูกกว่า เหมาะกับอากาศยานไร้คนขับที่ต้องการบังคับเอง สำหรับหน่วยควบคุม TopXgun T1A เหมาะกับอากาศยาน ไร้คนขับที่ต้องการบินอัตโนมัติ ผลจากการวิจัยได้นำผลการ เผยแพร่ให้กับกลุ่มเกษตรกรผู้สนใจในเทคโนโลยีใหม่สำหรับการเกษตร และให้บริการฉีดพ่นปุ๋ยให้กับเกษตรกร

วิชัย โอภาณุกุล, อานนท์ สายคำฟู, พงศธิชาติ ภูณวัฒน์, อิศเรศ เทียนทัต, บาลทิตย์ ทองแดง และ วีระ สุขประเสริฐ, [9] พัฒนาเครื่องต้นแบบที่มีคุณลักษณะทางเทคนิค (1) เป็น อากาศยานไร้คนขับแบบมัลติโรเตอร์ 4 ใบพัด (2) ควบคุม การทำงานด้วยรีโมด (3) ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ 16,000 mAh (4) มีระยะทางแกนมอเตอร์ใบพัด 90 cm (5) บรรจุ สารได้ครั้งละ 4 ลิตร (6) หน้ากว้างการพ่น 1.5-3.0 m (7) ความสูงที่เหมาะสมจากยอดพืชเป้าหมาย 1.5-2.5 m (8) มิติโดยรวม (กxยxส) 100x160x50 Cm (9) น้ำหนัก 5.5 kg และ (10) ราคาประมาณ 100,00 บาท ผลการทดสอบการ พ่นสารมีความสามารถในการทำงาน 3-5 min ไร่-1 เร็วกว่า การใช้แรงงานคนที่ใช้เครื่องพ่นแบบสะพายหลัง 6-7 เท่า รวมทั้งมีละอองสารติดที่ใต้ใบมากกว่า เนื่องจากมีแรงลม จากใบพัดช่วยเป่า และทดสอบการพ่นสารในสวนมะพร้าว น้ำหอมที่มีความสูงเฉลี่ย 11 m ใช้เวลาประมาณ 15 min ไร่-1

แก้วมณี อุทธิรัมย์, ผกามาต บุตรสาดี และ สายฝน อุไร [10] ศึกษาต้นทุนการผลิต และผลตอบแทนของการปลูก แตงโมของชุมชนบ้านโคกเมือง ต.จรเข้มาก อ.ประโคนชัย

จังหวัดบุรีรัมย์ จำนวน 18 คน ด้วยวิธีการสัมภาษณ์เจาะลึก รายบุคคล ด้วยการสังเกต และการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย เทคนิคสามเสา พบปัญหาดินเป็นกรดไม่สามารถปลูกข้าวที่ พื้นที่เดิมได้ แหล่งน้ำไม่เพียงพอ ปัญหาศัตรูพืช ต้นทุนในการปลูกสูงทั้งค่าวัตถุดิบและแรงงานแนวทางในการเพิ่มผลผลิต ลดต้นทุนการปลูกแตงโม, ผู้ปลูกต้องมีความใส่ใจ ตั้งแต่การคัดเลือกเมล็ดพันธ์ตลอดจนถึงขั้นตอนในการเก็บเกี่ยวแตงโม, การใช้ภูมิปัญญาชาวบ้าน, การส่งเสริมและการพัฒนาความรู้ด้านการเพาะปลูกของเกษตรกร

3.1 สํารวจสภาพปัจจุบัน

ผู้วิจัยสำรวจสภาพปัจจุบันของขั้นตอนการปลูกข้าว โดยเลือกพื้นที่ของกลุ่มเกษตรกรปลูกข้าว ตำบลโพรงอากาศ อำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา เป็นพื้นที่ที่กรณีศึกษา จากการสำรวจลักษณะการทำนาของเกษตรกรในพื้นที่เป็นการทำนาข้าวแบบลักษณะนาหว่านเมล็ดข้าววงอก (นาตม) เกษตรกรสามารถทำนาได้ปีละ 3 ครั้ง ระยะเวลาตั้งแต่การเริ่มต้นเพาะเมล็ดพันธ์จนถึงระยะเก็บเกี่ยวประมาณ 90-115 วัน ขั้นตอนในการทำนาใช้แผนภูมิกระบวนการไหล เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 3

3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต <input checked="" type="checkbox"/> คน <input type="checkbox"/> วัสดุ <input type="checkbox"/> เครื่องจักร								
ชื่อหน่วยงาน: เกษตรกรปลูกข้าว ต.โพรงอากาศ อ.บางน้ำเปรี้ยว จ.ฉะเชิงเทรา	สรุป							
	สัญลักษณ์	วิธีปัจจุบัน	วิธีเสนอแนะ	ผลต่าง				
กรรมวิธี: ขั้นตอนการทำนาข้าวแบบลักษณะนาหว่านเมล็ดข้าววงอก (นาตม) (กรณีศึกษาพื้นที่ 1 ไร่)	การปฏิบัติการ ●	10						
	การเคลื่อนย้าย ➡	0						
	การรอคอย D	2						
<input checked="" type="checkbox"/> วิธีปัจจุบัน <input type="checkbox"/> วิธีปรับปรุง	การตรวจสอบ ■	0						
ตำแหน่งที่ตั้ง: ต.โพรงอากาศ อ.บางน้ำเปรี้ยว จ.ฉะเชิงเทรา	การเก็บรักษา ▼	0						
	จำนวนแรงงาน (คน)	15						
ผู้บันทึก: ยุทธณรงค์ วันที่ 17 มกราคม 2567	รวมเวลา (ชั่วโมง)	2,162						
รายการ	จำนวน (คน)	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (ชั่วโมง)	สัญลักษณ์				
				●	➡	D	■	▼
1.เตรียมเมล็ดข้าวปลูกขนาด “ตุ่มตา”	1	0	72	●				
2.ระบายน้ำเข้าแปลงนา	1	0	4	●				
3.ไถเปิดหน้าดิน ไถหว่าน, ไถจาน, โรตารี	1	0	6	●				
4.ย่อยดิน ขลุบ, คราด	1	0	5	●				
5.หว่านเมล็ดพันธ์ข้าว (แรงงานคนหว่าน)	3	0	2	●				
6.รอต้นข้าววงอก	0	0	48			D		
7.พ่นสารเคมีควบคุมก่อนวัชพืชงอก	2	0	4	●				
8.รอต้นข้าววงอก (10 วัน)	2	0	240			D		
9.ระบายน้ำเข้าแปลงนา (รักษาระดับน้ำประมาณ 10 ซม.)	1	0	6	●				
10.ใส่ปุ๋ย	2	0	4	●				
11.รอข้าวโต (ดูแลระดับน้ำ)	0	0	1,769			D		
12.เก็บเกี่ยว	1	0	2	●				
รวม	15	0	2,162	10		2		

รูปที่ 3 ขั้นตอนการทำนาข้าวแบบลักษณะนาหว่านเมล็ดข้าววงอก (นาตม) ต่อพื้นที่ 1 ไร่

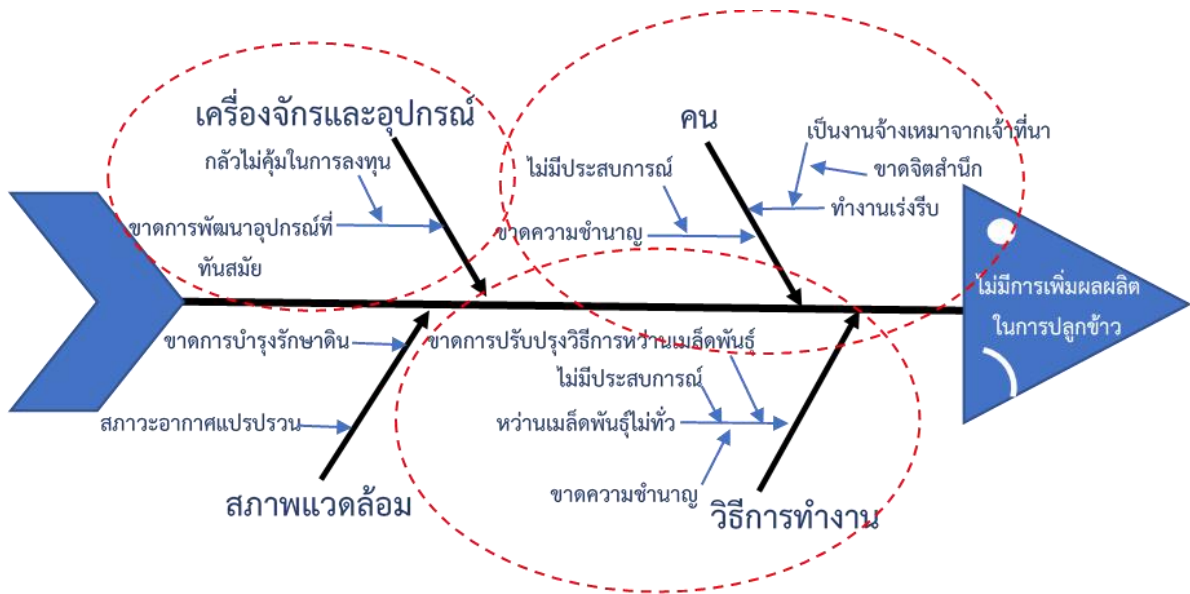
จากรูปที่ 3 แสดงขั้นตอนในการทำนาข้าวแบบลักษณะนาหว่านเมล็ดข้าววงอก (นาตม) ของกลุ่มเกษตรกรปลูกข้าว ตำบลโพรงอากาศ อำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา

จากแผนภูมิการไหลเก็บข้อมูลได้ทั้งหมด 12 ขั้นตอน ใช้แรงงานคน 15 คน โดยมีรอบเวลาการผลิตรวม 2,162 ชั่วโมง ประมาณ 90 วัน หรือประมาณ 3 เดือน ได้ผลผลิต

ประมาณ 70 ถึงต่อไร่ จากการสังเกตขั้นตอนการทำงาน ยังคงเป็นการทำงานแบบเดิม ๆ ของการปลูกข้าวที่คนในครอบครัวส่งต่อกันจากรุ่นสู่รุ่น มีเพียงกระบวนการไถเปิดหน้าดินและการไถคราด ที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงตามกาลเวลาจากการใช้ควายไถมาเป็นรถไถเดินตาม ส่วนกระบวนการอื่น ๆ ยังคงเป็นการทำงานที่เน้นใช้แรงงานคนเป็นหลักซึ่งต้องอาศัยทั้งความชำนาญ ทักษะ และประสบการณ์ เป็นหลัก ทำให้ผลผลิตที่ได้ยังคงอยู่ในระดับเดิมไม่มีการเพิ่มขึ้นของผลผลิต ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์เพื่อค้นหาสาเหตุของปัญหา

3.2 การวิเคราะห์ปัญหา

จากปัญหาไม่มีการเพิ่มขึ้นของผลผลิตในกระบวนการปลูกข้าวของกลุ่มเกษตรกรปลูกข้าว ตำบลโพรงอากาศ อำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา ผู้วิจัยนำมาวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาด้วยเครื่องมือควบคุมคุณภาพ เลือกใช้แผนภาพก้างปลา ในการวิเคราะห์ โดยอาศัยปัจจัยที่อาจส่งผลต่อการเกิดสาเหตุของปัญหาจากหลักการ 3M1E ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพก้างปลา

จากรูปที่ 4 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาพบว่าการเพิ่มขึ้นของผลผลิตในการปลูกข้าวมีส่วนเกี่ยวข้องโดยตรงกับการทำงานของคนงานและวิธีการในการทำงานในขั้นตอนการหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าว ซึ่งต้องอาศัยทักษะความชำนาญและประสบการณ์สูง เนื่องจากการหว่านเมล็ดพันธุ์ในพื้นที่ทำนาต้องหว่านให้มีความหนาแน่นและมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งแปลง หากหว่านเมล็ดพันธุ์ไม่สม่ำเสมออาจทำให้การเจริญเติบโตของข้าวเกิดการเสียโอกาส ในกรณีที่มีการหว่านบางไปหรือเกิดการแย่ง

สารอาหารในกรณีที่มีความหนาแน่นมากเกินไปทำให้ผลผลิตไม่เป็นไปตามที่เกษตรกรคาดหวัง และจากผลการวิเคราะห์ยังมีสาเหตุที่เกี่ยวข้องกับขาดการปรับปรุงพัฒนาเครื่องมือ และอุปกรณ์ ในการทำงานเนื่องจากเกษตรกรไม่กล้าลงทุนเพราะกลัวไม่คุ้มค่ากับการลงทุน

3.3 กำหนดแนวทางการแก้ไข

จากข้อมูลในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ผู้วิจัยนำมากำหนดแนวทางในการแก้ไข ด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลโดยอาศัยเทคนิคการตั้งคำถาม 5W1H ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เทคนิคการตั้งคำถาม 5W1H

5W1H	คำถาม-คำตอบ	แนวทางการแก้ไข
What (ต้องการทำอะไร)	ต้องการปรับปรุงขั้นตอนการหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าว	
Why (ทำไมต้องทำ)	เนื่องจากวิธีปัจจุบันความหนาแน่นของเมล็ดพันธุ์ไม่สม่ำเสมอ	
Where (ทำที่ไหน)	ต.โพรงอากาศ อ.บางน้ำเปรี้ยว จ.ฉะเชิงเทรา	จัดหาเครื่องพ่นหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าว
Why (ทำไมต้องทำที่นั่น)	กลุ่มปลูกข้าว กรณีศึกษาอยู่ที่นั่น	แบบสเปซพายหลังมาใช้ในการหว่าน
Who (ใครเป็นคนทำ)	ทีมนักวิจัยและกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าว	เมล็ดพันธุ์แทนการใช้แรงงานคน
Why (ทำไมต้องเป็นคนนั้น)	เป็นผู้ร่วมวิจัยและเป็นเจ้าของพื้นที่ปลูกข้าว	และเปรียบเทียบผลผลิตที่ได้หลัง
When (ทำเมื่อไร)	หลังจากกำหนดแนวทางการแก้ไขร่วมกันเสร็จ	การเก็บเกี่ยวพร้อมทั้งคำนวณ
Why (ทำไมต้องทำตอนนั้น)	ให้เกษตรกรผู้ปลูกข้าวมีส่วนร่วมในการแก้ไขปัญหา	จุดคุ้มทุนเพื่อเป็นแนวทางในการ
How (ทำอย่างไร)	ใช้เครื่องพ่นหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวแทนแรงงานคน	ตัดสินใจของเกษตรกรในกลุ่มปลูก
Why (ทำไมต้องทำอย่างนั้น)	เพื่อควบคุมการกระจายตัวของเมล็ดพันธุ์ข้าว	ข้าว ต.โพรงอากาศ อ.บางน้ำเปรี้ยว
		จ.ฉะเชิงเทรา

สรุปผลการกำหนดแนวทางการแก้ไขในตารางที่ 2 พบว่า คณะผู้วิจัยและกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าว ตำบลโพรงอากาศ อำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา เลือก

ปรับปรุงขั้นตอนการหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวจากการใช้แรงงานคนมาเป็นการใช้เครื่องพ่นหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวแบบสเปซพายหลัง มีรายละเอียดของเครื่อง แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รายละเอียดเครื่องพ่นเมล็ดพันธุ์ข้าวแบบสเปซพายหลัง

รายการ	คุณลักษณะ
ประเภทเครื่องยนต์	2 จังหวะ
รอบพัลลม	7,500 รอบ/นาที
ความจุถัง	26 ลิตร
ระยะพ่นน้ำแวนอน	12 เมตร
เครื่องยนต์	1E40FP-3Z
อัตราส่วนผสมน้ำมันเชื้อเพลิง	20 : 1 (เบนซิน : ออโต้ลู๊ป) ใช้เบนซินแก๊สโซฮอล 95 ได้
ระบบสตาร์ท	ลานสตาร์ทหมุนกลับอัตโนมัติแบบเฟืองทด
ปริมาตรกระบอกสูบ	42 ซีซี
ขนาดเครื่อง ก x ย x ส	490 ซม. x 415 ซม. x 80 ซม.
น้ำหนัก	13 กิโลกรัม
ราคา	3,200 บาท

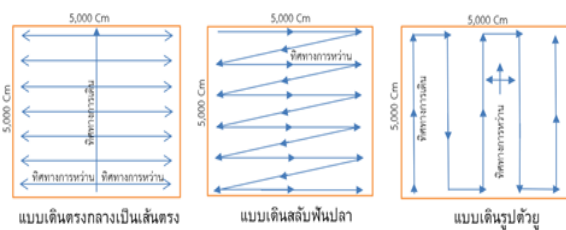
จากตารางที่ 3 แสดงคุณสมบัติเครื่องพ่นเมล็ดพันธุ์ข้าวแบบสเปซพายหลัง ที่ผู้วิจัยและกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าว ตำบลโพรงอากาศ อำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา เลือกมาทำการทดสอบการหว่านเมล็ดพันธุ์แทนแรงงานคนในพื้นที่ 400 ตารางเมตร เพื่อทำการเปรียบเทียบผลผลิตหลังทำการเก็บเกี่ยว การหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยเครื่อง

พ่นแบบสเปซพายหลัง ปัจจุบันสามารถลดจำนวนแรงงานในการหว่านข้าวได้ แต่เมื่อสังเกตหลังการหว่านมีการใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวที่แตกต่างกันเนื่องจากแต่ละคนมีทักษะในการหว่านในทิศทางที่ไม่เหมือนกัน ผู้วิจัยจึงนำมาวิเคราะห์หาวิธีการหว่านที่เหมาะสมด้วยเทคนิคการตั้งคำถาม 5W1H ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ปัญหาทิศทางการหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าว

5W1H	คำถาม-คำตอบ	แนวทางการแก้ไข
What (ต้องการทำอะไร)	ต้องการปรับปรุงวิธีการหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าว	
Why (ทำไมต้องทำ)	เนื่องจากวิธีปัจจุบันความหนาแน่นของเมล็ดพันธุ์ไม่สม่ำเสมอ	
Where (ทำที่ไหน)	ต.โพรงอากาศ อ.บางน้ำเปรี้ยว จ.ฉะเชิงเทรา	
Why (ทำไมต้องทำที่นั่น)	กลุ่มปลูกข้าว กรณีศึกษาอยู่ที่นั่น	ออกแบบทิศทางการเดินหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยเครื่องหว่านแบบสพายหลังเพื่อนำมาทดลองหาทิศทางที่เหมาะสมในการหว่านเมล็ดพันธุ์ ให้เจริญเติบโตอย่างสม่ำเสมอ
Who (ใครเป็นคนทำ)	ทีมนักวิจัยและกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกข้าว	
Why (ทำไมต้องเป็นคนนั้น)	เป็นผู้ร่วมวิจัยและเป็นเจ้าของพื้นที่ปลูกข้าว	
When (ทำเมื่อไร)	หลังจากกำหนดแนวทางการแก้ไขร่วมกันเสร็จ	
Why (ทำไมต้องทำตอนนั้น)	ให้เกษตรกรผู้ปลูกข้าวมีส่วนร่วมในการแก้ไขปัญห	
How (ทำอย่างไร)	ออกแบบทิศทางการเดินหว่านเมล็ดข้าว	
Why (ทำไมต้องทำอย่างนั้น)	เพื่อควบคุมการกระจายตัวของเมล็ดพันธุ์ข้าว	

จากตารางที่ 4 ผู้วิจัยกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการออกแบบทิศทางการเดินหว่านเมล็ดพันธุ์โดยแบ่งออกเป็น 3 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ทิศทางการเดินหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าว

จากรูปที่ 5 ผู้วิจัยออกแบบทิศทางการเดินหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวออกเป็น 3 แบบ ได้แก่ ทิศทางการเดินตรงกลางเป็นเส้นตรงพ่นเมล็ดพันธุ์ออกด้านข้าง ซ้าย-ขวา, ทิศทางการเดินและพ่นแบบสลับฟันปลา และทิศทางการเดินและพ่นเป็นรูปตัวยู

3.4 การทดลอง

ผู้วิจัยทดสอบการหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวตามทิศทางที่ออกแบบ 3 แบบ บนพื้นที่ทดลองหว่านแบบละ 1 ไร่ ผลการใช้เมล็ดพันธุ์ ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 6 การสุ่มนับจำนวนต้นข้าวจากกรอบ PVC 10 ครั้ง

รูปแบบการหว่าน	การสุ่มนับจำนวนต้นข้าวครั้งที่ (ต้นต่อพื้นที่ 400 ตารางเมตร)										ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
แบบเดินตรงกลางเป็นเส้นตรง	45	48	49	44	50	43	46	48	49	44	46.6
แบบสลับฟันปลา	57	59	53	54	58	54	59	58	55	57	56.4
แบบตัวยู	75	69	72	70	68	73	78	75	73	81	73.4

ตารางที่ 5 อัตราการใช้เมล็ดพันธุ์ข้าว

รูปแบบการหว่าน	อัตราการใช้เมล็ดพันธุ์ข้าว (กก.ต่อพื้นที่ 1 ไร่)
แบบเดินเป็นเส้นตรง	18
แบบสลับฟันปลา	24
แบบตัวยู	26

จากนั้นรอต้นกล้าเจริญเติบโต 30 วัน ทำการสุ่มนับจำนวนการกระจายตัวของต้นข้าวจากกรอบ PVC สีเหลืองขนาด 0.25 ตารางเมตร สุ่มตัวอย่างจำนวน 10 ครั้ง กระจายตามพื้นที่ ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การสุ่มตัวอย่างต้นข้าวจากกรอบ PVC

จากการสุ่มจำนวน 10 ครั้ง ผู้วิจัยนับจำนวนต้นข้าวพร้อมทำการบันทึกข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ 6

จากตารางที่ 6 ผู้วิจัยคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ ที่ได้จากการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและ

ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของจำนวนต้นข้าวในพื้นที่ 0.25 ตารางเมตร ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน และค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ

การคำนวณค่า	การหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยเครื่องพ่นหว่านแบบสะพายหลัง		
	แบบเดินตรงกลางเป็น	แบบสลับฟันปลา	แบบตัวยู
ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของต้นข้าวจากการสุ่ม 10 ครั้ง	46.60	56.40	73.40
การคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	2.50	2.22	4.03
ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (%CV) ($100SD/\bar{X}$)	5.36	3.90	5.49
ค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (%CU) ($100-CV$)	94.64	96.10	94.51

3.5 ผลการเปรียบเทียบ

ความหนาแน่นของต้นข้าว ค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ ของการหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยเครื่องพ่นหว่านแบบสะพายหลังจากทิศทางการหว่าน 3 แบบ พบว่าค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของต้นข้าวในพื้นที่ 0.25 ตารางเมตร มีค่าเท่ากับ 46.6 ต้น, 56.4 ต้น และ 73.4 ต้น ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับข้อมูลของกรมการข้าวแปลงนาที่มีความหนาแน่นของต้นข้าวสูง ทำให้มีโอกาในการเกิดการระบาดของโรคแมลงศัตรู และสัตว์ศัตรูข้าวอย่างรุนแรง เพราะฉะนั้น การ

หว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวแบบเดินตรงกลางเป็นเส้นตรงพ่นออกด้านข้าง ซ้าย-ขวา สามารถลดความเสี่ยงในการเกิดการระบาดของศัตรูข้าวได้

ค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ ที่ได้จากการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของการหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยเครื่องพ่นหว่านแบบสะพายหลังจากทิศทางการหว่าน 3 แบบ ในพื้นที่ 0.25 ตารางเมตร มีค่าเท่ากับ 94.64%, 96.10% และ 94.51% ตามลำดับเปรียบเทียบผลผลิตข้าวหลังการเก็บเกี่ยวจากพื้นที่ทดลอง 1 ไร่ ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบผลผลิตข้าวหลังการเกี่ยว

รูปแบบการหว่าน	ระยะเวลาเก็บเกี่ยว	ผลผลิตกิโลกรัมต่อพื้นที่ 1 ไร่	คิดเป็นถัง (1 ถัง=10 กก.)
แบบเดินตรงกลางเป็นเส้นตรง	95	872	87.20
แบบสลับฟันปลา	111	768	76.80
แบบตัวยู	105	800	80.00

จากตารางที่ 8 ผลการเก็บเกี่ยวข้าวพบว่าผลผลิตข้าวเท่ากับ 872, 768 และ 800 กิโลกรัมต่อพื้นที่ 1 ไร่ ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวเท่ากับ 95, 111 และ 105 วัน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นของเมล็ดพันธุ์ข้าวมีผลต่อผลผลิตและระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



รูปที่ 7 ทิศทางแบบเดินตรงกลางเป็นเส้นตรง

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

หลังจากทดสอบทิศทางการเดินหว่านเมล็ดพันธุ์และเปรียบเทียบผลผลิตหลังการเก็บเกี่ยวผู้วิจัยเลือกใช้ทิศทางแบบเดินตรงกลางเป็นเส้นตรง เนื่องจากใช้เมล็ดพันธุ์น้อย แต่ได้ผลผลิตสูงสุด แสดงให้เห็นว่าการหว่านด้วยวิธีดังกล่าวมีการกระจายตัวที่ดีของเมล็ดพันธุ์ ดังแสดงรูปที่ 7

หลังการทดลองการใช้เครื่องหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวแบบสะพายหลัง การทดลองหว่านเมล็ดพันธุ์ในพื้นที่ 1 ไร่ ทำให้สามารถลดจำนวนแรงงานในการทำงาน และเวลาได้แสดงดังรูปที่ 8

จากรูปที่ 8 แผนภูมิการไหลแสดงขั้นตอนการหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยเครื่องพ่นหว่านแบบสะพายหลัง พบว่า

ขั้นตอนการปลูกข้าวยังเป็น 12 ขั้นตอนเหมือนเดิม แต่สามารถลดจำนวนแรงงานคนได้ 2 คน และลดเวลาในการหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวได้ 1.5 ชั่วโมง สอดคล้องกับงานวิจัยของ นริศรา ปานดอน, บัญญัติ เศรษฐฐิติ และ รักศักดิ์ เสริมศักดิ์ [11] เปรียบเทียบการปลูกข้าวด้วยเครื่องหว่านข้าวจอกแบบนั่งขับและเครื่องพ่นหว่านสะพายหลัง วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) ทำการทดลองที่ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี โดยการเปรียบเทียบข้อมูลอัตราการใช้เมล็ด

พันธุ์อัตรากการทำงาน การเจริญเติบโตของต้นข้าว ความหนาแน่นของต้นข้าว ในพื้นที่ 250 ตร.ซม. พบว่าอัตรากการใช้เมล็ดพันธุ์มีค่าเท่ากับ 14.81 และ 17 กก./ไร่ อัตรากการทำงานเท่ากับ 6.48 และ 3.3 ไร่/ชม. ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของต้นข้าวในพื้นที่ใน 250 ตร.ซม. มีค่าเท่ากับ 54.8 ต้น และ 79.2 ต้น ค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ มีค่าเท่ากับ 77.84 เปอร์เซ็นต์ และ 72.81 เปอร์เซ็นต์และผลผลิตเฉลี่ยของข้าวมีค่าเท่ากับ 471.22 กก./ไร่ และ 431.14 กก./ไร่

แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต <input checked="" type="checkbox"/> คน <input type="checkbox"/> วัสดุ <input type="checkbox"/> เครื่องจักร								
ชื่อหน่วยงาน: เกษตรกรปลูกข้าว ต.โพรงอากาศ อ.บางน้ำเปรี้ยว จ.ฉะเชิงเทรา	สรุป							
	สัญลักษณ์	วิธีปัจจุบัน	วิธีเสนอแนะ	ลดลง				
กรรมวิธี: ขั้นตอนการทำนาข้าวแบบลักษณะนาหว่านเมล็ดข้าวจอก (นาตม) (กรณีศึกษาพื้นที่ 400)	การปฏิบัติการ ●	10	10	0				
	การเคลื่อนย้าย ➡	0	0	0				
	การรอคอย D	2	0	0				
<input type="checkbox"/> วิธีปัจจุบัน <input checked="" type="checkbox"/> วิธีปรับปรุง	การตรวจสอบ ■	0	0	0				
ตำแหน่งที่ตั้ง: ต.โพรงอากาศ อ.บางน้ำเปรี้ยว จ.ฉะเชิงเทรา	การเก็บรักษา ▼	0	0	0				
	จำนวนแรงงาน (คน)	15	13	2 คน				
ผู้บันทึก: ยุทธณรงค์ วันที่ 28 มกราคม 2567	รวมเวลา (ชั่วโมง)	2,162	2,160.5	1.5 ชั่วโมง				
รายการ	จำนวน (คน)	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (ชั่วโมง)	สัญลักษณ์				
				●	➡	D	■	▼
1.เตรียมเมล็ดข้าวปลูกจอกขนาด “ตุ่มตา”	1	0	72	●				
2.ระบายน้ำเข้าแปลงนา	1	0	4	●				
3.ไถเปิดหน้าดิน ไถหัวหมู, ไถจาน, โรตารี	1	0	6	●				
4.ย่อยดิน ขลุบ, คราด	1	0	5	●				
5.หว่านข้าวด้วยเครื่องหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวแบบสะพายหลัง	1	0	0.5	●				
6.รอต้นข้าวจอก	0	0	48			D		
7.พ่นสารเคมีควบคุมก่อนวัชพืชงอก	2	0	4	●				
8.รอต้นข้าวจอก (10 วัน)	2	0	240			D		
9.ระบายน้ำเข้าแปลงนา (รักษาระดับน้ำประมาณ 10 ซม.)	1	0	6	●				
10.ใส่ปุ๋ย	2	0	4	●				
11.รอข้าวโต (ดูแลระดับน้ำ)	0	0	1,769			D		
12.เก็บเกี่ยว	1	0	2	●				
รวม	13	0	2,160.5	10		2		

รูปที่ 8 แผนภูมิการไหลขั้นตอนการหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยเครื่องพ่นหว่านแบบสะพายหลัง

จากการดำเนินการปรับปรุงแก้ไข พบว่าขั้นตอนการทำนาข้าวแบบลักษณะนาหว่านเมล็ดข้าวจอก (นาตม) ยังคงเป็น 12 ขั้นตอนเท่าเดิม แต่ใช้จำนวนแรงงานจากเดิม 15 คน ลดลงเหลือ 13 คน คิดเป็นลดลง 13.33% ลดรอบเวลา

ในขั้นตอนการหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าว (ต่อ 1 ไร่) จากเดิม 2 ชั่วโมง ลดลงเหลือ 0.5 ชั่วโมง คิดเป็นลดลง 75% และเมื่อถึงช่วงการเก็บเกี่ยว ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 การเก็บเกี่ยวข้าวของกลุ่มเกษตรกร

จากรูปที่ 9 ข้อมูลหลังการเก็บเกี่ยวพบว่าอัตราการเพิ่มผลผลิตเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ วสินีนาฏ จาระนุ่น [12] เพิ่มอัตราผลผลิตกระบวนการรีไซเคิลพลาสติกที่

ทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพ ด้วยการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา และเสนอแนวทางการปรับปรุงไว้ 2 วิธี แนวทางที่ 1.ปรับเปลี่ยนกระบวนการทำงานและอุปกรณ์ให้เหมาะสม พบว่าสามารถเพิ่มผลผลิตได้ 27.90% แนวทางที่ 2 ปรับเปลี่ยนการทำงานของเครื่องจักร พบว่าสามารถเพิ่มผลผลิตได้ 40.23% ผลการเปรียบเทียบสถานประกอบการเลือกใช้แนวทางที่ 2 เนื่องจากได้ผลผลิตการปรับปรุงเป็นไปตามเป้าหมายที่โรงงานได้กำหนดไว้ 6 ต้นต่อวัน ผลการคำนวณอัตราการเพิ่มผลผลิตการทำงานข้าวแบบลักษณะนาหว่านเมล็ดข้าวอกนาตาม ของกลุ่มเกษตรกร ตำบลโพรงอากาศ แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 การคำนวณอัตราการเพิ่มผลผลิตการทำงานข้าวแบบลักษณะนาหว่านเมล็ดข้าวอกนาตาม

รายการ	ผลผลิตที่ได้ (ถัง) (1)	เวลาปลูกข้าวต่อรอบ (ชั่วโมง) (2)	แรงงานปลูกข้าวต่อรอบ (คน) (3)	อัตราการเพิ่มผลผลิต (ถัง/ชั่วโมง/คน) (1÷2÷3)
การปลูกข้าว (ก่อนการปรับปรุง)	70	2,162	15	0.0021
การปลูกข้าว (หลังการปรับปรุง)	87.20	2,160.5	13	0.0031
อัตราการเพิ่มผลผลิตเพิ่มขึ้น (อัตราการเพิ่มผลผลิตหลังปรับปรุง - อัตราการเพิ่มผลผลิตก่อนปรับปรุง) เพิ่มขึ้น (คิดเป็นเปอร์เซ็นต์) [(อัตราการเพิ่มผลผลิตเพิ่มขึ้น ÷ อัตราการเพิ่มผลผลิตก่อนปรับปรุง) × 100]				0.001 47.61%

จากอัตราการเพิ่มผลผลิตที่เพิ่มขึ้นจากการปรับปรุงขั้นตอนการหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าว ด้วยการลงทุนซื้อเครื่องหว่านเมล็ดพันธุ์แบบสพายหลัง เมื่อทำการเปรียบเทียบผลผลิตแล้ว ผู้วิจัยนำข้อมูลมาคิดระยะเวลาคืนทุนให้กับกลุ่มเกษตรกร ซึ่งระยะเวลาคืนทุน (Payback Period, PBP) คือ ระยะเวลาเริ่มต้นการลงทุนจนถึงเวลาที่ได้รับ

ผลประโยชน์สุทธิ (Net Benefits) ของการใช้เครื่องต้นแบบมีค่าเท่ากับการลงทุน โดยผู้วิจัยนำมาแจกแจงรายละเอียดอ้างอิงการทดลองปลูกข้าวจำนวน 1 ไร่ และนำผลผลิตที่ได้มาคิดผลประโยชน์ที่เกษตรกรควรจะได้รับ จากการปลูกข้าวเฉลี่ยคนละ 50 ไร่ ดังตารางที่ 10 และผลการคำนวณระยะเวลาคืนทุน ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 10 รายละเอียดผลประโยชน์ที่เกษตรกรควรได้รับจากการปลูกข้าวต่อ 1 รอบ (90 วัน)

รายการ	พื้นที่ทดสอบ (1 ไร่)	พื้นที่เฉลี่ย (50 ไร่)
ค่าแรงใช้เครื่องหว่าน	70 บาทต่อไร่ = 1 × 70 = 70 บาทต่อไร่	70 × 50 = 3,500 บาท
ผลผลิตก่อนการปรับปรุง	70 ถังต่อไร่	70 × 50 = 3,500 ถัง
ผลผลิตหลังการปรับปรุง	87.20 ถังต่อไร่	87.20 × 50 = 4,360 ถัง
ผลผลิตเพิ่มขึ้น	17.2 ถังต่อไร่	17.2 × 50 = 860 ถัง
คิดเป็นตัน	(17.2 × 10) / 1,000 = 0.17 ตันต่อไร่	(860 × 10) / 1,000 = 8.6 ตัน
ราคาข้าวต่อตัน (ฉะเชิงเทรา)	11,500 บาทต่อตัน	11,500 บาทต่อตัน
ผลผลิตเพิ่มขึ้น	0.17 × 11,500 = 1,955 บาทต่อไร่	8.6 × 11,500 = 98,900 บาทต่อไร่
ค่าน้ำมันหล่อลื่น	เฉลี่ย 8 บาทต่อ 1 ไร่	400 บาทต่อ 50 ไร่
ค่าซ่อมบำรุง	เฉลี่ย 4 บาทต่อ 1 ไร่	200 บาทต่อ 50 ไร่
ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องหว่าน	1 ลิตรต่อไร่ = 1 × 36.35 = 36.35 บาทต่อไร่	36.35 × 50 = 1,817.5 บาท
ค่าลงทุนซื้อเครื่องหว่านเมล็ดพันธุ์	3,200 บาทต่อเครื่อง	

ตารางที่ 11 ผลการคำนวณระยะเวลาคืนทุน

รายการ	ผลการคำนวณ
ผลประโยชน์	= ผลกำไรที่ได้เพิ่มขึ้นจากการปรับปรุงวิธีการปลูกข้าว = 98,900 บาทต่อไร่
จำนวนเงินลงทุนทั้งหมด	= ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา + ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง + ค่าน้ำมันหล่อลื่น + ค่าแรงงาน = 200 + 1,817.5 + 400 + 3,500 = 5,917.5 บาทต่อการปลูกข้าว 1 รอบ
ผลประโยชน์สุทธิที่ได้รับ	= ผลประโยชน์ (บาท/ต่อการปลูกข้าว 1 รอบ) - ต้นทุนการใช้เครื่องมือ (ไม่รวมค่าเสื่อมราคา) = 98,900 - 5,917.5 = 92,982.5 บาท
ระยะเวลาคืนทุน	= (จำนวนเงินลงทุนทั้งหมด / ผลประโยชน์สุทธิที่ได้รับ) = 5,917.5 / 92,982.5 = 0.063 ต่อ 1 รอบการปลูกข้าว (90 วัน) หรือ (0.063 x 90) ~5.67 วัน

5. อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 อภิปรายผลการวิจัย

จากการปรับปรุงขั้นตอนการหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวเพื่อเพิ่มผลผลิตในกระบวนการการปลูกข้าวแบบลักษณะนาหว่านเมล็ดข้าววงอกนาตม: กรณีศึกษา ตำบลโพรงอากาศ อำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา สิ่งแรกพบว่าการเกษตรในพื้นที่ยังคงยึดติดกับวัฒนธรรมวิธีการทำการเกษตรที่ส่งต่อจากรุ่นสู่รุ่นเป็นหลัก ทำให้ขาดการปรับปรุงพัฒนาวิธีการให้มีความทันสมัย แต่บางส่วนอาจมีแนวคิดในการเปลี่ยนแต่ติดปัญหาด้านการจัดการหรือแนวทางคำนวณเพื่อหาจุดคุ้มทุนหรือระยะเวลาคืนทุนเมื่อ

การปรับปรุงกระบวนการบางอย่างต้องอาศัยการลงทุน ทำให้เกษตรกรเกิดความลังเล เพราะไม่รู้ว่าการลงทุนนั้นจะเกิดความคุ้มค่ามากน้อยเพียงใด ผู้วิจัยจึงเข้ามาบริหารจัดการเพื่อให้เกษตรกรเกิดความมั่นใจ โดยอาศัยการทดลองในสัดส่วนน้อยซึ่งไม่ต้องลงทุนมากนัก จากนั้นใช้ข้อมูลที่มีคำนวณในส่วนที่เกษตรกรควรจะได้รับหากเปลี่ยนแปลงวิธีการหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าว คำนวณระยะเวลาคืนทุนหลังเกษตรกรทำการเก็บเกี่ยว จากการทดลองและเปรียบเทียบการปลูกข้าวด้วยการหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยแรงงานคนและการหว่านเมล็ดพันธุ์ด้วยเครื่องหว่านแบบสะพายหลัง แสดงได้ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบผล ก่อนและหลังการปรับปรุง

รายการ	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ผลต่างการปรับปรุง
ขั้นตอนการปลูกข้าว	12 ขั้นตอน	12 ขั้นตอน	เท่าเดิม
จำนวนแรงงาน	15 คน	13 คน	ลดลง 2 คน
รอบเวลาการหว่านเมล็ด	2 ชั่วโมง	0.5 ชั่วโมง	ลดลง 1.5 ชั่วโมง
รอบเวลาการปลูกข้าวรวม	2,162 ชั่วโมง	2,160.5 ชั่วโมง	ลดลง 1.5 ชั่วโมง
ผลผลิต (ต่อไร่)	70 ถึงต่อไร่	87.20 ถึงต่อไร่	เพิ่มขึ้น 17.20 ถึงต่อไร่
ราคาข้าว	11,500 บาทต่อตัน	11,500 บาทต่อตัน	-
ผลผลิตต่อ 1 ไร่	8,050 บาทต่อไร่	10,028 บาทต่อไร่	เพิ่มขึ้น 1,978 บาทต่อไร่
อัตราการเพิ่มผลผลิต	0.0021 ถึงต่อชั่วโมงต่อคน	0.0031 ถึงต่อชั่วโมงต่อคน	เพิ่มขึ้น 0.001 ถึงต่อชั่วโมงต่อคน
ระยะเวลาคืนทุน	0.063 (ต่อ 1 รอบการปลูกข้าว (90 วัน) หรือ 5.67 วัน		

จากตารางที่ 12 สามารถสรุปได้ดังนี้ ขั้นตอนการปลูกข้าวมี 12 ขั้นตอน เท่าเดิม จำนวนแรงงานลดลง 2 คน คิดเป็นลดลงร้อยละ 13.33 รอบเวลาการหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าว

ลดลง 1.5 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 75 รอบเวลาการปลูกข้าวรวมลดลง 1.5 ชั่วโมง คิดเป็นลดลงร้อยละ 0.069 ผลผลิตต่อไร่เพิ่มขึ้น 17.20 ถึงต่อไร่ คิดเป็นร้อยละ 24.57 ผลผลิต

ต่อ 1 ไร่ เพิ่มขึ้น 1,978 บาท คิดเป็นเพิ่มขึ้นร้อยละ 24.68 อัตราการเพิ่มผลผลิตเพิ่มขึ้น 0.001 ถึงต่อชั่วโมงต่อคน คิดเป็นเพิ่มขึ้นร้อยละ 47.62 และมีระยะเวลาคืนทุน 5.67 วัน ใน 1 รอบการปลูกข้าว (90 วัน) สอดคล้องกับงานวิจัยของ กิตติมา งามวิไลกร [13] ศึกษาความเป็นไปได้ของวิสาหกิจ ชุมชนในการตัดสินใจกู้เงินจากธนาคารเพื่อการเกษตรและ สหกรณ์การเกษตรเพื่อซื้อเครื่องผลิตก้อนเห็ดอัตโนมัติ เกษตรสกล 1 มาใช้ผลิตก้อนเห็ดจำหน่ายแทนการผลิต ก้อนเห็ดด้วยแรงงานคนซึ่งมีจุดคุ้มทุน 400,000 บาท ระยะเวลาคืนทุน 113 วัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงกระบวนการปลูกข้าวแบบ ลักษณะนาหว่านเมล็ดข้าววงอกนาตาม: กรณีศึกษา ตำบล โพรงอากาศ อำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา โดย เลือกรศึกษาและปรับปรุงเฉพาะกระบวนการหว่านเมล็ด พันธุ์ข้าวจากการใช้แรงงานคนเปลี่ยนมาใช้อุปกรณ์เครื่อง หว่านแบบสะพายหลัง แล้วเปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุน จากการจัดซื้ออุปกรณ์ แต่ในเนื้อหาของงานวิจัยยังคงมีส่วนที่ สามารถปรับปรุงได้อย่างต่อเนื่อง เช่น ปัจจัยเรื่องทิศ ทางการหว่านเมล็ดพันธุ์ข้าวที่มีผลต่อความหนาแน่นและ เจริญเติบโตของข้าว, ขั้นตอนการพ่นยากำจัดศัตรูพืช, ขั้นตอนการให้ปุ๋ย หรือการทดลองใช้อากาศยานไร้คนขับ ในการทำการเกษตรเพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทำงานใน ปัจจุบัน

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณกลุ่มเกษตรกรตำบลโพรง อากาศ อำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา ที่กรุณาให้ ทำการเก็บข้อมูลและเป็นกรณีศึกษาจนทำให้งานวิจัยแล้ว เสร็จสามารถเผยแพร่เพื่อเป็นประโยชน์กับองค์กรอื่นเป็น ต้นแบบในการเริ่มต้นการปรับปรุง ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ต้นสังกัดของคณะผู้วิจัย ที่ให้การสนับสนุนในเรื่องของเวลาและโอกาสในการทำวิจัย ครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] T. Ratchadaporn. Rice farming. [online]. (2017). [Cited June 26, 2024]. Available: <https://www.yanglor.go.th/fileupload/7292949124.pdf> (in Thai).
- [2] P. Sumitra, P. Pornchai, C. Pannee and Y. Suntaree. Revolutionizing Modern Rice Cultivation to Increase Hom Mali Rice Yield in

Thung Kula Rong Hai. [online]. (2020). [Cited June 26, 2024]. Available: https://www.cab.kps.ku.ac.th/AG_Newsletter/pdf/AG-BIO-12-4.pdf (in Thai).

- [3] J. Yuthanarong and P. Nattapak, "Production line balancing gas stove parts forming process with ECRS principles case study: a sample company," *Journal of Engineering and Innovation*, Vol. 16, no. 4, pp. 20-34. Oct.-Dec. 2023 (in Thai).
- [4] P. Sarinya, J. Yuthanarong, I. Sarawut, P. Peema, P. Kiatisak and K. Kittikun, "Improving Standard Times in Engine Assembly Processes to Increase Productivity," in *Proceeding of The 41st Conference of Industrial Engineering Network 2023*, Chonburi, Thailand, 2023, pp. 355-360 (in Thai).
- [5] J. Thitima, L. Ratanachai, K. Sahasawat and J. Yuthanarong, "Reducing Cycle Time Work in the Corrugated Box Production Process Using ECRS Techniques," in *Proceeding of 6th Rajamangala Manufacturing and Management Technology Conference*, Prachuap Khiri Khan, Thailand, 2020, pp. 17-22 (in Thai).
- [6] J. Yuthanarong, P. sarinya and M. Tanatat, "Improving the molding process pressed talcum powder to reduce wastage: a case study pressed powder production line sample company," *Journal of Industrial Technology and Innovation*, Vol. 1, no. 1, pp. 1-13. Jul.-Dec. 2022 (in Thai).
- [7] W. Kwanchanok, W. Krittapong, K. Worrawit and P. Nantiya, "Cost and Return Analysis of Pottery Making in Baan Chiangkhrua, Sakon Nakhon Province," *Naresuan University Journal*, Vol. 19, no. 2, pp. 58-63. May.-Aug. 2011 (in Thai).
- [8] C. Kontorn, J. Payungsak and T. Chalothorn. Automatic arial vehicle for agricultural applications. [online]. (2018). [Cited June 26, 2024]. Available: <http://sutir.sut.ac.th:8080/jspui/bitstream/123456789/7646/1/fulltext.pdf> (in Thai).
- [9] O. Wichai, S. Arnon, P. Pruetthichat, T. Itsares, T. Balthit and S. Veera, "Drone Research for

- Organic Agriculture,” in Proceeding of *The 18th TSAE National Conference and The 10th TSAE International Conference : TSEA 2017*, Bangkok, Thailand, 2017, pp. 219-223 (in Thai).
- [10] U. Kaewmanee, B. Pakamat and U. Sayfon, “Increasing Productivity of Watermelon Cultivation of Growers in the Community of Baan Khokmuang, Chorakhemak Sub-District,Prakhonchai District, Buriram Province,” *NEU Academic and Research Journal*, Vol. 11, no. 1, pp. 43-57. Jan.-Apr. 2021 (in Thai).
- [11] P. Naritsara, S. Banyat and S. Raksak, “Comparison on Growth Data of Rice sowing by Rice Seed Germination Broadcasting Machine and Backpack Rice Blower,” in Proceeding of *52nd Kasetsart University Annual Conference: Plants*, Bangkok, Thailand, 2014, pp. 154-162 (in Thai).
- [12] J. Sineenart. Increasing productivity in plastic recycle production. [online]. (2017). [Cited June 26, 2024] . Available: https://ethesisarchive.library.tu.ac.th/thesis/2017/TU_2017_5910037448_7856_6933.pdf (in Thai).
- [13] N. Kittima, “Break Even Point Analysis, Payback Period, and Loan Amortization of the Kaset-Sakon 1 Mushroom Bagging Machine for the Community Enterprise,” *Academic Journal of Humanities and Social Sciences Buriram Rajabhat University*, Vol. 8, special Issue, pp. 251-261. 2016 (in Thai).

การศึกษาสภาพการณ์การทำงานปัจจุบันของเตาเผาเซรามิกส์
เพื่อประเมินแนวทางในการปรับปรุงสถานะในการผลิต
กรณีศึกษาศูนย์เซรามิกส์ สถาบันการเรียนรู้ตลอดชีวิต มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
Study of The Current Working Conditions of Ceramic Kilns
to Assess The Guidelines for Improving Production Conditions.
A Case Study of The Ceramics Center, Lifelong Learning Institute,
Chiang Rai Rajabhat University

อนุพงษ์ สมพฤษัก¹, นงนุช ศรีเล็ก² และ ปรานต์ เมฆอากาศ^{2*}
Anuphong Somphruek¹, Nongnoot Srilek² and Pran Makarkard^{2*}

¹สาขาวิชาอุตสาหกรรมศิลป์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

²สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

¹ Department of Industrial Arts Program, Faculty of Industrial Technology, Chiang Rai Rajabhat University

² Department of Energy Engineering and Electrical Technology Program, Faculty of Industrial Technology, Chiang Rai Rajabhat University

*Email: pran.mak@crru.ac.th

Received: September 03, 2024; Revised: October 29, 2024; Accepted: November 15, 2024

บทคัดย่อ

การศึกษาสภาพการณ์การทำงานปัจจุบันของเตาเผาเซรามิกส์ เพื่อประเมินแนวทางในการปรับปรุงสถานะในการผลิต กรณีศึกษาศูนย์เซรามิกส์ สถาบันการเรียนรู้ตลอดชีวิต มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เป็นการศึกษาขั้นตอนการผลิตและวิเคราะห์กระบวนการเผาผลิตภัณฑ์ โดยได้ศึกษาการกระบวนการเผาผลิตภัณฑ์จากเตาเผาที่ใช้ก๊าซแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง เพื่อนำผลการศึกษาที่จัดทำแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ให้มีประสิทธิภาพลดปริมาณความเสียหายของผลิตภัณฑ์ เช่น การควบคุมอุณหภูมิภายในเตาตลอดระยะเวลาการผลิต (Working temperature) การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (Heating rate) ที่เหมาะสม จำนวนหรือปริมาณที่เหมาะสมของชิ้นงานที่จะเข้าสู่เตา (Samples) การเผาไหม้ที่เหมาะสม จากการศึกษาพบว่า การเผาเคิลบ เป็นกระบวนการที่มีอัตราการให้ความร้อนเป็น 96 °C/hour โดยการเพิ่มอุณหภูมิมีความสัมพันธ์ในแบบเชิงเส้นระหว่างอุณหภูมิ (y) และเวลา (x) โดยแบบจำลองความสัมพันธ์ที่ได้เป็น $y = 95.424x + 16.091$ มีค่าความผันแปรของตัวแปรของความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและเวลา $R^2 = 0.998$ โดยใช้ระยะเวลาการเผาเคิลบ 9 ชั่วโมง อุณหภูมิจะเป็น 900 °C การเผาเคลือบ เป็นกระบวนการที่มีอัตราการให้ความร้อนเป็น 99 °C/hour โดยการเพิ่มอุณหภูมิมีความสัมพันธ์ในแบบเชิงเส้นระหว่างอุณหภูมิ (y) และเวลา (x) โดยแบบจำลองความสัมพันธ์ที่ได้เป็น $y = 106.45x + 124.43$ $R^2 = 0.964$ ระยะเวลาการเผาเคลือบเป็น 9 ชั่วโมง อุณหภูมิสิ้นสุดที่ 1,225 °C แล้วจึงทำการหยุดให้ความร้อน และปล่อยให้เย็นตัวลงอย่างช้าๆ มีการวัดวิเคราะห์ก๊าซไอเสียจากเตาเผาเคลือบ 3 ครั้ง ในเวลา 12 ชั่วโมง เมื่อ 5, 8 และ 10 ชั่วโมง พบว่า ร้อยละโดยปริมาตร (Percentage by volume: %V) ของก๊าซออกซิเจนเท่ากับ 18.8%V 17.1%V และ 13.5%V ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1.2%V 2.2%V และ 4.2%V มีปริมาณอากาศเกิน 856.1% 432.7% และ 180.8% และความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (ppm) เป็น 114.0 147.0 และ 6.0 การสูญเสียจากการเผาไหม้และประสิทธิภาพการเผาไหม้ ได้จากการคำนวณโดยใช้ข้อมูลคุณสมบัติก๊าซไอเสียจากเตาเผาเคลือบ เมื่อเวลา 10 ชั่วโมง เป็น 59.2% และ 40.8% ตามลำดับ

คำสำคัญ : เซรามิกส์, เตาเผาเซรามิกส์, การเผาเคลือบ, การวิเคราะห์ก๊าซไอเสีย, ประสิทธิภาพการเผาไหม้

Abstract

Study of the current working conditions of ceramic kilns to assess the guidelines for improving production conditions. A case study of the Ceramics Center, Lifelong Learning Institute, Chiang Rai Rajabhat University, is a study of the production process and analysis of the firing process of products. The study studied the firing process of products from a kiln that uses LPG as fuel. The results of the study were used to develop guidelines for developing and improving the firing process of ceramic products to be efficient and reduce the amount of product damage, such as controlling the temperature inside the kiln throughout the production period (Working temperature), appropriate temperature increase (Heating rate), appropriate number or amount of work pieces entering the kiln (Samples), and appropriate combustion. The study found that raw firing must be careful to increase the firing temperature slowly to reduce the rate of product damage. Gloss firing found that there was a problem in controlling the change of the color under the glaze that faded after firing. In the glaze firing process, there is a relationship between temperature (y) and time (x) at $y = 106.45x + 124.43$, taking a total of 12 hours, resulting in a final temperature of 1,225 °C, then stopping the heating and letting it cool down slowly. The variance values of temperature and time relationship (R^2) was 0.964 The analysis of flue gas from the glaze kiln revealed that the volume percentage (%V) of oxygen was 18.8%V, 17.1%V and 13.5%V, percentage of carbon dioxide was 1.2%V, 2.2%V and 4.2%V, excess air was 856.1%, 432.7% and 180.8%, carbon monoxide concentration (ppm) was 114.0, 147.0 and 6.0, combustion loss was 62.8%, 65.5% and 59.2%, and combustion efficiency was 37.2%, 34.5% and 40.8%, respectively.

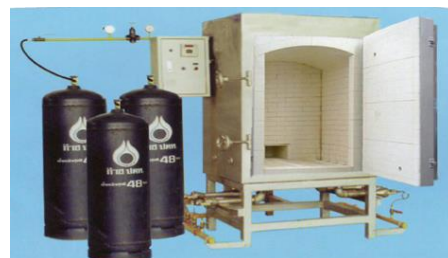
Keywords : Ceramics, Ceramic Kiln, Gloss Firing, Flue Gas Analysis, Combustion Efficiency

1. บทนำ

เซรามิกส์เป็นสินค้าสินค้าที่สร้างรายได้ให้กับทั้งอุตสาหกรรมขนาดกลาง ขนาดย่อม และขนาดใหญ่ อุตสาหกรรมเซรามิกส์ไทยที่มีการรวมกลุ่มผู้ผลิตของจังหวัดภาคเหนือตอนบน อันได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง ซึ่งจัดได้ว่าเป็นแหล่งผลิตเซรามิกส์ที่มีความสำคัญของประเทศ [1] การออกแบบผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นภาชนะบนโต๊ะอาหาร ของตกแต่งบ้าน [2] ชนิดผลิตภัณฑ์เซรามิกส์แบ่งตามอุณหภูมิการเผาเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่เผาไฟต่ำ (800 – 1,000 °C) ผลิตภัณฑ์ที่เผาไฟกลาง (1,100 – 1,200 °C) ผลิตภัณฑ์ที่เผาไฟสูง (1,250 – 1,400 °C) [3] เตาเผาสำหรับงานอุตสาหกรรมผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกส์เป็นเตาที่ใช้อุณหภูมิสูง ซึ่งสามารถแบ่งตามลักษณะเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ได้เป็น 2 ประเภท หลัก ๆ คือ เตาเผาที่ใช้ไฟฟ้าเป็นเชื้อเพลิง ดังรูปที่ 1 และเตาเผาที่ใช้ก๊าซแอลพีจี เป็นเชื้อเพลิง ดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 ตัวอย่างเตาเผาเซรามิกส์ที่ใช้ไฟฟ้าเป็นเชื้อเพลิง [4]



รูปที่ 2 ตัวอย่างเตาเผาเซรามิกส์ที่ใช้ก๊าซแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง [5]

ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ สามารถแบ่งประเภทของน้ำเคลือบในการใช้เคลือบผิวผลิตภัณฑ์ตามลักษณะทางกายภาพออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ [6] คือ เคลือบใส และเคลือบทึบ ซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการในการนำไปใช้งานในการเคลือบผิวผลิตภัณฑ์ ที่มีความแตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการแสดงให้เห็นลวดลาย การเขียนสีได้เคลือบหรือสีของเนื้อดินปั้นมักจะเลือกใช้เคลือบใสในการเคลือบผิวผลิตภัณฑ์ แต่ถ้าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการปกปิดสีของเนื้อดินปั้น มักจะเลือกใช้เคลือบทึบในการเคลือบผิวผลิตภัณฑ์ เป็นต้น กรณีศึกษาการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ของ ศูนย์เซรามิกส์ ครั้งนี้ ใช้น้ำเคลือบใส อุณหภูมิสุดท้ายอยู่ที่ 1,230 °C [7]

เครื่องมือที่ใช้วัดอุณหภูมิในเตาเผา จะใช้เครื่องมือในการวัดอุณหภูมิที่แสดงผลเป็นตัวเลขบอกอุณหภูมิ คือ เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ซึ่งจะแสดงอุณหภูมิภายในเตาออกมาเป็นตัวเลขบนหน้าจอ ทำให้สะดวกต่อการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในเตาเผา และจะมีวัสดุที่ใช้ในการวัดค่าการสุกตัวของน้ำเคลือบอีกชนิดหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้ คือ ไพโรเมตริกโคน (Pyrometric cones) เป็นวัสดุที่นำมาใช้เพื่อที่จะวัดผลของอุณหภูมิซึ่งสัมพันธ์กับเวลาระหว่างการเผาไหม้ในเตาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ กรณีศึกษาการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ของ ศูนย์เซรามิกส์ ครั้งนี้ใช้ Pyrometric cone No.6 วางไว้หน้าเตาเผาเพื่อใช้ตรวจสอบจุดสุกตัวของน้ำเคลือบ

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย มีศูนย์เซรามิกส์ ซึ่งเป็นหน่วยงานภายใต้การกำกับของสถาบันการเรียนรู้ตลอดชีวิต เป็นแหล่งเรียนรู้การผลิตเซรามิกส์ สำหรับนักศึกษา บุคลากรของมหาวิทยาลัย และบุคคลภายนอก มีการจัดอบรมการทำเซรามิกส์ให้กับนักเรียน นักศึกษา และผู้ที่มีความสนใจในการทำของใช้ที่ขึ้นรูปแบบง่าย ๆ เช่น การขึ้นรูปแบบแผ่น การขึ้นรูปแบบปั้นอิสระ อีกทั้งยังมีการผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อจำหน่ายเป็นของที่ระลึก และของใช้ต่าง ๆ ผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ที่ศูนย์เซรามิกส์ผลิต โดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นผลิตภัณฑ์ในกลุ่ม เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร ของตกแต่งบ้าน ได้แก่ ชุดชา ชุดกาแฟ แจกัน ชุดวางตะเกียบ ช้อน และมีสินค้าที่ผลิตตามคำสั่งซื้อ และมีการรับเผาชิ้นงานของบุคคลภายนอก ศูนย์เซรามิกส์มีเตาเผาสำหรับการผลิตเซรามิกส์ภายในศูนย์ใช้เตาอุณหภูมิสูงที่ใช้ก๊าซแอลพีจี เป็นเชื้อเพลิงในการเผา ขนาด 2 แผ่น จำนวน 1 เตา ใช้สำหรับการเผาดิบ (Biscuit Firing) ดังรูปที่ 3 และเตาขนาด 4 แผ่น จำนวน 1 เตา ใช้สำหรับการเผาเคลือบ (Gloss Firing) ทั้ง 2 เตาเป็นเตาที่กรูด้วยวัตถุดิบไฟชนิดอิฐทนไฟ มีอุปกรณ์ตรวจวัดจำนวน 1 จุด บริเวณ หลังคาเตา โดยการสอดแท่งวัดอุณหภูมิ (Thermocouple) เข้าไปเพื่อตรวจติดตาม

อุณหภูมิระหว่างการเผาภายในเตา แสดงผลเป็นตัวเลข ในหน้าจอดิจิทัล ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 เตาเผาเซรามิกส์ที่ใช้ภายในศูนย์เซรามิกส์

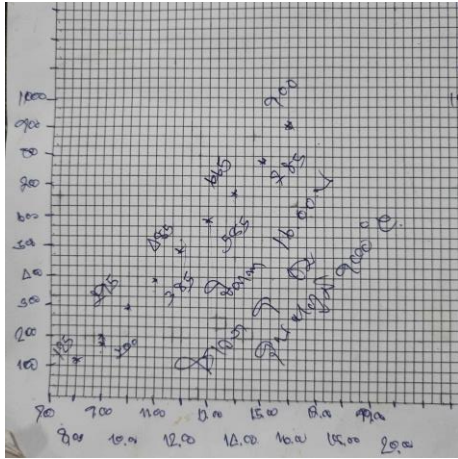


รูปที่ 4 Thermocouple และ หน้าจอแสดงผลอุณหภูมิภายในเตาเผาเซรามิกส์

การดำเนินการผลิตชิ้นงานเซรามิกส์แต่ละรอบการผลิตนั้นมีหลายขั้นตอน และใช้ระยะเวลาค่อนข้างนาน การเกิดความเสียหายขึ้นกับชิ้นงานเซรามิกส์ ส่งผลเสียหายน่ากังวลมากซึ่งการศึกษาสถานะปัจจุบันของทุกขั้นตอนการผลิต จะทำให้ทราบข้อมูลที่แท้จริง เพื่อประเมินแนวทางที่เป็นไปได้ในการปรับปรุงด้านสถานะการผลิตต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิภายในเตาตลอดระยะเวลาการผลิต (Working temperature) การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (Heating rate) ที่เหมาะสม จำนวนหรือปริมาณที่เหมาะสมของชิ้นงานที่จะเข้าสู่เตา (Samples) การเผาไหม้ที่เหมาะสม เป็นต้น และสามารถจัดการการผลิตที่เหมาะสมได้ในอนาคต โดยคำนึงถึงคุณภาพที่ต้องการของชิ้นงานเซรามิกส์

ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงได้กำหนดแนวทางการศึกษาสภาพการณ์ปัจจุบันของการผลิตชิ้นงานเซรามิกส์ ของสถาบันการเรียนรู้ตลอดชีวิต มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย โดยจะศึกษาตั้งแต่ขั้นตอนเตรียมชิ้นงานเข้าเตาเผาดิบ (Samples preparation for biscuit firing) การเผาดิบผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ (Biscuit firing) การเคลือบ (Glazing) และ การเผาเคลือบ (Gloss firing) การตรวจวัดการเผาไหม้ (Combustion measurement) และการวิเคราะห์คุณภาพ

ชั้นงานเซรามิกส์ (Quality inspection) เพื่อให้ทราบข้อมูล ที่แท้จริง สำหรับประเมินแนวทางที่เป็นไปได้ในการปรับปรุง สภาวะการผลิตต่าง ๆ ให้สามารถจัดการการผลิตที่ เหมาะสมได้ในอนาคตโดยยังคงคำนึงถึงคุณภาพ โดย ปัจจุบันผู้ปฏิบัติงานจะทำการบันทึกข้อมูลลงในตารางชาร์ต การเผา ทุกกรณีเพื่อเป็นการควบคุมอุณหภูมิที่ขึ้นอยู่กับ ช่วงเวลาที่เหมาะสม ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ชาร์ตการเผาเซรามิกส์ปัจจุบัน

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

2.1 วัสดุ อุปกรณ์

2.1.1 เตรียมชิ้นงานเข้าเตาเผาดิบ

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้ใช้วัสดุที่เป็นชิ้นงานเซรามิกส์ ที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการต่าง ๆ ทั้งแบบ การขึ้นรูปด้วยใบมีด เป็น ชุดแก้วกาแฟ จานรองแก้ว งานการขึ้นรูปแบบปั้นอิสระ เช่น ตุ๊กตา แก้วกาแฟ ที่วางตะเกียบ เป็นผลิตภัณฑ์จากการผลิต ตามกระบวนการผลิตปกติของศูนย์เซรามิกส์ และบางส่วน เป็นผลงานของนักเรียน นักศึกษา ที่มาอบรมการทำ เซรามิกส์ดังแสดงรูปที่ 6 โดยศึกษาผลที่เกิดขึ้นก่อนและหลัง การเผาดิบ และการเผาเคลือบ



รูปที่ 6 ชิ้นงานเซรามิกส์ก่อนการเผาดิบ (Biscuit firing)

2.1.2 การเผาดิบผลิตภัณฑ์เซรามิก

เตาเผาดิบขนาด 2 แผ่น ใช้ก๊าซแอลพีจี เป็นเชื้อเพลิง กรูด้วยอิฐทนไฟ มีจุดตรวจวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิ้ล จำนวน 1 จุด บริเวณหลังคาเตา แสดงผลเป็นตัวเลขใน หน้าจอดิจิทัล

2.1.3 การเคลือบ

การเคลือบชิ้นงานที่ทำการศึกษา ใช้น้ำเคลือบไซชนิด อัลคาไลน์เอิร์ธออกไซด์ เป็นเคลือบใสสำเร็จรูป มีอุณหภูมิ จุดสุกตัวของน้ำเคลือบอยู่ที่ 1230 °C (Cone NO.6) ใช้ วิธีการชุบเคลือบผิวผลิตภัณฑ์ภายหลังการเขียนสีได้เคลือบ ลงบนตัวผลิตภัณฑ์แล้ว

2.1.4 การเผาเคลือบ

เตาเผาเคลือบขนาด 4 แผ่น ใช้ก๊าซแอลพีจี เป็น เชื้อเพลิง กรูด้วยอิฐทนไฟ มีจุดตรวจวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์ โมคัปเปิ้ล จำนวน 1 จุด บริเวณหลังคาเตา แสดงผลเป็น ตัวเลข ในหน้าจอดิจิทัล

2.1.5 การตรวจวัดการเผาไหม้

ตรวจวัดการเผาไหม้ด้วยเครื่องมือ Flue gas analyzer รุ่น testo 300 ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 เครื่องมือตรวจวัดการเผาไหม้ Flue gas analyzer

2.1.6 การวิเคราะห์คุณภาพชิ้นงานเซรามิกส์

วิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ความสม่ำเสมอของชิ้นงาน ความถูกต้องของสีชิ้นงาน การเกิดรูเข็ม การเกิดฟองอากาศ การแตกร้าว

2.2 วิธีการวิจัย

เพื่อให้ทราบสภาพการณ์ปัจจุบันของการผลิตชิ้นงาน เซรามิกส์ การเผาผลิตภัณฑ์ และประเมินแนวทางในการ ปรับปรุงสภาวะการผลิต ดังนั้น งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการ ศึกษาเป็น 6 ขั้นตอนหลัก ตลอดกระบวนการ คือ ได้แก่ การ บรรจุชิ้นงานเซรามิกส์สำหรับการเผาดิบ (Biscuit firing) การเผาเซรามิกส์แบบบิสกิต (Biscuit firing) การเคลือบ (Glazing) และ การเผาเคลือบ (Glaze firing) การตรวจวัด การเผาไหม้ (Combustion measurement) และการ วิเคราะห์คุณภาพชิ้นงานเซรามิกส์ (Quality inspection)

2.2.1 การบรรจุชิ้นงานเซรามิกส์สำหรับการเผาดิบ (Biscuit firing)

บรรจุชิ้นงานเซรามิกส์ลงบนชั้นจำนวน 3 ชั้น โดยชิ้นงานมีหลากหลายลักษณะ เช่น แก้วกาแฟมีหูจับ แก้วกาแฟไม่มีหูจับ จานรอง เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 การบรรจุชิ้นงานเซรามิกส์เพื่อเผาดิบ (Biscuit firing)

2.2.2 การเผาดิบผลิตภัณฑ์เซรามิกส์

เริ่มต้นให้ความร้อนโดยใช้ก๊าซแอลพีจี จากนั้นปิดเตาและช่างเทคนิคผู้ดูแลจะให้ความร้อนเพิ่มขึ้นโดยการเปิดวาล์วก๊าซเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ จนถึงอุณหภูมิ 900 °C ซึ่งช่วงนี้ใช้เวลา 9 hour จากนั้นจะปิดวาล์วก๊าซและปล่อยให้ อุณหภูมิลดลง จนถึงอุณหภูมิ 50 °C จึงเปิดเตาเพื่อนำผลิตภัณฑ์ออกจากเตา ระยะเวลาจากอุณหภูมิสูงสุดที่ต้องการในการผลิตจนสามารถเปิดเตาได้ ใช้เวลา 12 hour รวมระยะเวลาทั้งหมดในการเผาดิบเป็น 21 hour เตาที่ใช้ในการเผาดิบ (Biscuit firing) แสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 เตาเผาดิบ (Biscuit firing kiln)

2.2.3 การเคลือบ

กรณีศึกษาการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ของ ศูนย์เซรามิกส์ ครั้งนี้ ใช้น้ำเคลือบใส อุณหภูมิสุกตัวอยู่ที่ 1,230 °C ชุบเคลือบลงบนผิวผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาดิบ

และมีการตกแต่งผลิตภัณฑ์โดยใช้สีเขียนใต้เคลือบ ชนิดที่ใช้กับการเผาไฟสูง ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเขียนสีใต้เคลือบและชุบเคลือบสีบรรจุเข้าเตารอการเผาเคลือบ

2.2.4 การเผาเคลือบ

เตาเผาเคลือบใช้ก๊าซแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง มีหัวเผาจำนวน 8 หัวเผาสองด้านระหว่างชั้นวางชิ้นงาน เผาเคลือบที่อุณหภูมิประมาณ 1,200 °C ซึ่งเป็นการเผาที่อุณหภูมิสูง (High temperature glazes) ระหว่าง 1,100 - 1,350 °C [8, 9] โดยช่างเทคนิคจะให้ความร้อนโดยการเปิดวาล์วก๊าซเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ จนถึงอุณหภูมิ 1,200 °C ซึ่งช่วงนี้ใช้เวลา 12 hour และเมื่อถึงอุณหภูมิ 1,200 °C จะคงอุณหภูมิไว้ (Soaking) ที่อุณหภูมิ 1,200 °C เป็นเวลา 1 hour จึงปิดก๊าซแอลพีจีเพื่อหยุดให้ความร้อน จนถึงอุณหภูมิ 50 °C ซึ่งใช้เวลารวมทั้งหมดในการเผาเคลือบ 40 hour จึงสามารถเปิดเตาและนำชิ้นงานออกมาได้ เตาเผาเคลือบแสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 เตาเผาเคลือบ

2.2.5 การตรวจวัดการเผาไหม้

เตาเผาเคลือบใช้ก๊าซแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิง มีหัวเผาจำนวน 8 หัวเผาสองด้านระหว่างชั้นวางชิ้นงาน ตรวจวัดการเผาไหม้ด้วย เครื่องมือ Flue gas analyzer รุ่น testo 300 โดยจะตรวจองค์ประกอบก๊าซภายในเตาเผาเคลือบ

(บริเวณช่องเปิดขนาดเล็กด้านหน้าเตา) และ ก๊าซไอเสียจากเตาเผาเคลือบ (ก๊าซจากปล่องไอเสีย) โดยบันทึกค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้ อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิของก๊าซในเตาเผาเคลือบ อุณหภูมิก๊าซไอเสีย ร้อยละโดยปริมาตรของก๊าซออกซิเจน ร้อยละโดยปริมาตรของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณอากาศเกิน ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

สำหรับผลวิเคราะห์ก๊าซไอเสียจากเตาเผาเคลือบ จะนำไปคำนวณหาการสูญเสียจากการเผาไหม้ และ ประสิทธิภาพการเผาไหม้

2.2.6 การวิเคราะห์คุณภาพชิ้นงานเซรามิกส์

หลังจากเผาเคลือบแล้วจะนำชิ้นงานซึ่งแสดงดังรูปที่ 12 มาวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ความสม่ำเสมอของชิ้นงาน ความถูกต้องของสีชิ้นงาน การเกิดรูเข็ม การเกิดฟองอากาศ การแตกร้าว



รูปที่ 12 ชิ้นงานเซรามิกส์หลังจากการเผาเคลือบ

3. ผลการทดลอง

ผลการทดลองประกอบด้วย สรุปขั้นตอนทั้งหมดในการผลิตชิ้นงานเซรามิกส์ ผลการเผาติดและการเผาเคลือบ Temperature profile องค์กรประกอบก๊าซภายในเตาเผาเคลือบและก๊าซไอเสียจากเตาเผาเคลือบ

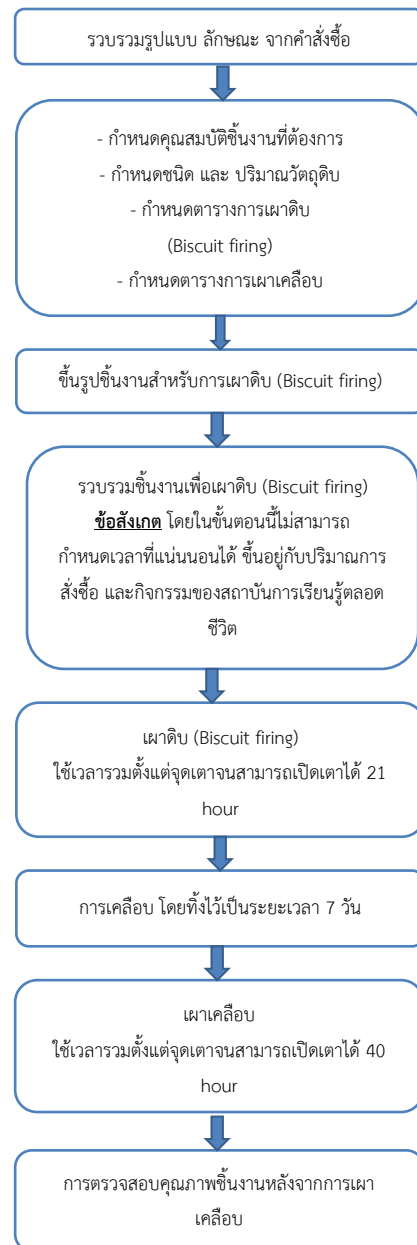
3.1 ขั้นตอนปัจจุบันในการผลิตชิ้นงานเซรามิกส์

ขั้นตอนปัจจุบันในการผลิตชิ้นงานตลอดกระบวนการเริ่มจากการรวบรวมคำสั่งซื้อ การขึ้นรูปชิ้นงาน รวบรวมชิ้นงานสำหรับการเผา โดยในขั้นตอนนี้ไม่สามารถกำหนดเวลาที่แน่นอนได้ ขึ้นอยู่กับปริมาณการสั่งซื้อ กำหนดตารางการเผาติดซึ่งใช้เวลา 21 hour การเคลือบชิ้นงานโดยทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 7 วัน การเผาเคลือบใช้เวลา 40 hour และการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน เป็นขั้นตอนสุดท้าย ดังรูปที่ 13 ในช่วงการเผาติด และเผาเคลือบ ช่วงเทคนิคที่มีความเชี่ยวชาญต้องอยู่ประจำตลอดเวลา โดยบันทึกอุณหภูมิภายในเตาชั่วโมงละ 1 ครั้ง

3.2 ผลการเผาติดและการเผาเคลือบ

ชิ้นงานในการเก็บข้อมูลครั้งนี้ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มด้วยกันคือ

1) ผลิตภัณฑ์ที่เป็นดินดิบ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีหลากหลายรูปแบบในการขึ้นรูป ประกอบด้วย ชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการปั้นอิสระ (Free form method) การขึ้นรูปแบบแผ่น (Slab method) การขึ้นรูปแบบหล่อหน้าดิน (Slip casting) การขึ้นรูปด้วยการใช้แม่พิมพ์ใบมีด (Jigging method) ใช้ศึกษาผลการเผาติด (Biscuit firing)



รูปที่ 13 ขั้นตอนการผลิตงานเซรามิกส์ของสถาบันการเรียนรู้ตลอดชีวิต

2) ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาดิบ และใช้วิธีการตกแต่งผลิตภัณฑ์โดยการเขียนสีได้เคลือบ และชุบเคลือบทับด้วยเคลือบใส ที่มีจุดสุดท้ายที่ 1,230 °C ใช้ศึกษาผลการเผาเคลือบผลิตภัณฑ์

3.2.1 ผลการเผาดิบผลิตภัณฑ์

การเผาดิบผลิตภัณฑ์ใช้เตาก๊าซแอลพีจี ขนาด 2 แผ่น อุณหภูมิการเผาที่ 900 °C เวลาเผาผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 9 hour

ผลิตภัณฑ์ไม่มีการแตกร้าว เนื้อดินปั้นสุกตัวทั่วกันทั้งเตา โดยสังเกตจากสีของเนื้อดินปั้นสม่ำเสมอทุกชิ้น ดังแสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 14 ผลิตภัณฑ์หลังเผาดิบ (Biscuit firing)

3.2.2 ผลการเผาเคลือบผลิตภัณฑ์เซรามิกส์

ใช้เตาก๊าซแอลพีจีขนาด 4 แผ่น ตั้งอุณหภูมิการเผาไว้ที่ 1,230 °C ใช้ Pyrometric cone No.6 วางหน้าเตา ใช้บรรยากาศการเผาแบบสันดาปสมบูรณ์ (Oxidation firing) อุณหภูมิการเผาก่อนปิดเตาที่ 1,225 °C (Cone No.6 ล้ม) เวลาเผาผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 12 hour อุณหภูมิสุดท้ายก่อนเปิดเตาเพื่อนำผลิตภัณฑ์ออกจากเตาเผาอยู่ที่ 58 °C ผลิตภัณฑ์ก่อนเผาเคลือบแสดงดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 ผลิตภัณฑ์ก่อนเผาเคลือบ

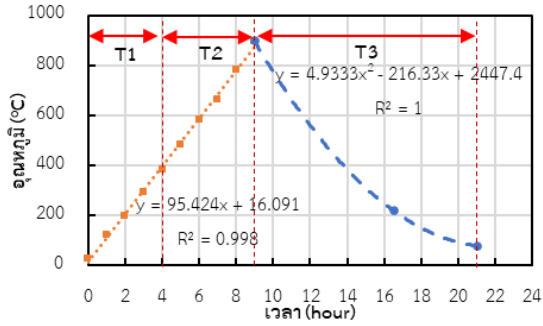
ผลหลังจากการเผาเคลือบปิดเตาที่อุณหภูมิ 1,225 °C และปล่อยให้เตาลดอุณหภูมิเพื่อให้ในเตาเย็นตัวจนเหลือประมาณ 58 °C ก่อนจะนำผลิตภัณฑ์ออกจากเตา เพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉียบพลัน (Thermal shock) กับตัวผลิตภัณฑ์ เพื่อลดอัตราการแตกร้าวของน้ำเคลือบ พบว่า ผลิตภัณฑ์มีรูปทรงที่สมบูรณ์ ไม่บิดเบี้ยว แตกร้าว หรือระเบิด น้ำเคลือบไม่มีการแตกร้าว น้ำเคลือบสุกตัวเสมอกันหมดทั้งเตา มีชิ้นงานที่เขียนด้วยสีได้เคลือบสีชมพูมีปัญหาสีซีดจาง แต่สีได้เคลือบอื่นๆ ไม่พบปัญหาสีซีดจาง ยังคงความเข้มของสีปกติแสดงดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 ผลิตภัณฑ์หลังเผาเคลือบ

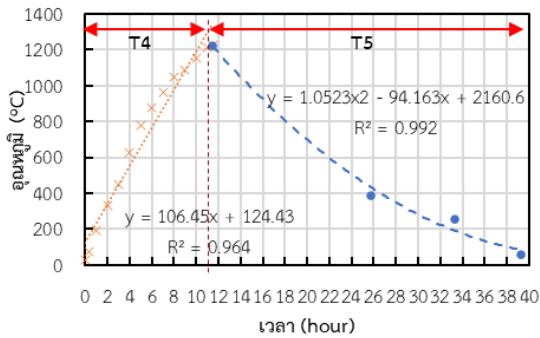
3.3 Temperature profile

ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิในเตา Biscuit จะถูกแบ่งได้เป็นสามช่วง คือ ช่วงไล่ความชื้น (T1) เป็นช่วงที่ใช้อุณหภูมิจากอุณหภูมิห้องไปจนถึง 400 °C ในช่วงเวลา 4 hour เพื่อให้หน้าที่ค้างอยู่ในชิ้นงานระเหยอย่างช้า ๆ ลดการแตกร้าวของชิ้นงาน จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิไปยัง 900 °C ในการทำให้เกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นผลึกดินเหนียวสู่ดินเผา (T2) เป็นกระบวนการที่มีอัตราการให้ความร้อนเป็น 96 °C/hour โดยการเพิ่มอุณหภูมิมิมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นระหว่างอุณหภูมิ (y) และเวลา (x) โดยแบบจำลองความสัมพันธ์ที่ได้เป็น $y = 95.424x + 16.091$ ค่า $R^2 = 0.998$ เมื่อครบกำหนดแล้วจึงหยุดการให้ความร้อนแล้วปล่อยให้เย็นตัวลงช้า ๆ เพื่อไม่ให้เกิดการหดตัวอย่างรุนแรงของชิ้นงาน (T3) ดังรูปที่ 17

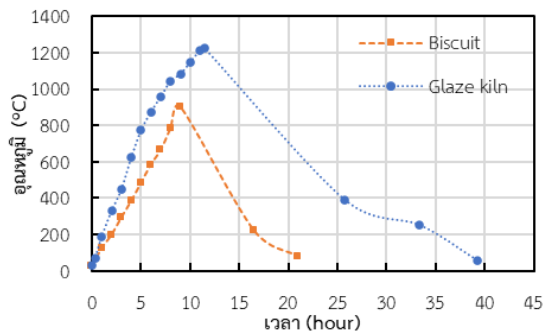


รูปที่ 17 Temperature profile ของเตา Biscuit kiln

ในส่วนของการเผาเคลือบของเตา Glaze kiln นั้นจะมีขั้นตอนอยู่ 2 ขั้นตอน คือ ช่วงให้ความร้อน เป็นการให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน เป็นกระบวนการที่มีอัตราการให้ความร้อนเป็น 99 °C/hour โดยการเพิ่มอุณหภูมิมีความสัมพันธ์ในแบบเชิงเส้นระหว่างอุณหภูมิ (y) และเวลา (x) โดยแบบจำลองความสัมพันธ์ที่ได้เป็น $y=106.45x+124.43$ ค่า $R^2=0.964$ ใช้เวลาไปทั้งหมดที่ 12 hour ทำให้อุณหภูมิที่จบอยู่ที่ 1,225 °C แล้วจึงทำการหยุดให้ความร้อน และปล่อยให้เย็นตัวลงอย่างช้าเช่นเดียวกับขั้นตอนการเผาในเตา Biscuit แต่ใช้เวลามากกว่าเนื่องจากอุณหภูมิสูงกว่าดังแสดงในรูปที่ 18 และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับในสองเตาพบว่าอัตราการให้ความร้อนที่ต่างกันดังรูปที่ 19



รูปที่ 18 Temperature profile ของเตา Glaze kiln



รูปที่ 19 Temperature profile ของ Biscuit kiln และ Glaze kiln

3.4 องค์ประกอบก๊าซภายในเตาเผาเคลือบและก๊าซไอเสียจากเตาเผาเคลือบ และประสิทธิภาพในการเผาไหม้

ผลการวิเคราะห์ก๊าซภายในเตาเผาเคลือบ และก๊าซไอเสียจากเตาเผาเคลือบ ได้แก่ อุณหภูมิห้อง (Ambient temperature) อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (Flue gas temperature) ก๊าซออกซิเจน (O₂) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ปริมาณอากาศเกิน (Excess air) ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (ppm) ดังตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์ก๊าซภายในเตาเผาเคลือบ และ ตารางที่ 2 เป็นการตรวจวัดองค์ประกอบของก๊าซไอเสียทางปล่องไอเสีย และ นำองค์ประกอบของก๊าซไอเสียคำนวณประสิทธิภาพจากการเผาไหม้

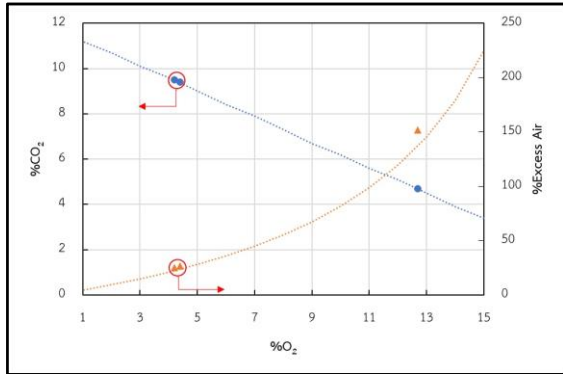
อุณหภูมิภายในเตามีผลต่อประสิทธิภาพของการกำจัดสารมลพิษและยังทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ เมื่อมีการควบคุมอุณหภูมิในเตาเผาให้สูงกว่า 850 °C [10] จากตารางที่ 1 อุณหภูมิของก๊าซภายในเตาเผาเคลือบ อยู่ระหว่าง 800 – 975 °C ทั้งนี้ถ้าอุณหภูมิในห้องเผาไหม้สูงเกิน 1,100 °C จะมีโอกาสก่อให้เกิดมลพิษประเภทสารประกอบไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เพิ่มมากขึ้น [10] ร้อยละโดยปริมาตร (Percentage by volume: %V) ของก๊าซออกซิเจน ร้อยละโดยปริมาตรก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณอากาศเกิน และความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหลังจากปิดเตาเป็นเวลา 10 hour ซึ่งเป็นไปในแนวทางเดียวกัน ความสัมพันธ์ของร้อยละโดยปริมาตรก๊าซออกซิเจน ร้อยละโดยปริมาตรก๊าซออกซิเจน ร้อยละโดยปริมาตรก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณอากาศเกิน ภายในห้องเผาไหม้เตาเผาเคลือบ แสดงดังรูปที่ 20

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ก๊าซภายในเตาเผาเคลือบ

รายการ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
อุณหภูมิห้อง (°C)	32.8	32.7	35.3
อุณหภูมิก๊าซภายในเตาเผาเคลือบ (°C)	802.1	974.1	921.7
ร้อยละโดยปริมาตรของก๊าซออกซิเจน (%V)	4.4	4.2	12.7
ร้อยละโดยปริมาตรของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (%V)	9.5	9.5	4.7
ปริมาณอากาศเกิน (%)	26.7	25.2	151.6
ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (ppm)	16.0	43.0	25.0

หมายเหตุ

ครั้งที่ 1 หมายถึง การตรวจวัด 5 hour หลังจากการปิดเตา
ครั้งที่ 2 หมายถึง การตรวจวัด 8 hour หลังจากการปิดเตา
ครั้งที่ 3 หมายถึง การตรวจวัด 10 hour หลังจากการปิดเตา



รูปที่ 20 ร้อยละโดยปริมาตรก๊าซออกซิเจน ร้อยละโดยปริมาตรก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และปริมาณอากาศเกินภายในห้องเตาเผาเคลือบ

องค์ประกอบของก๊าซไอเสียแสดงดังตารางที่ 2 พบว่าอุณหภูมิก๊าซไอเสียจากเตาเผาเคลือบอยู่ระหว่าง 247.5 – 679.2 °C และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จากการวิเคราะห์มีความเข้มข้นระหว่าง 6-114 ppm ตอนท้ายของกระบวนการเผาเคลือบคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าต่ำมากเป็น 6 ppm

ค่าการสูญเสียจากก๊าซไอเสีย (Flue loss, Q_{flue}) คำนวณจาก Sievert formula [11] ดังสมการที่ (1) จากนั้นสามารถหาประสิทธิภาพการเผาไหม้ (Combustion efficiency) โดยคำนวณจาก สมการที่ (2)

$$Q_{flue} = (T_f - T_a) \cdot \{ (A / (21 - O_2)) + B \} \quad (1)$$

$$\text{ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ (\%)} = 100 - Q_{flue} \quad (2)$$

เมื่อ Q_{flue} = การสูญเสียจากก๊าซไอเสีย (flue loss)

T_f = อุณหภูมิไอเสีย (°C)

T_a = อุณหภูมิห้อง (°C)

O_2 = ร้อยละก๊าซออกซิเจน (%V)

A, B = ค่าคงที่ของ Sievert (Sievert constant)

สำหรับก๊าซแอลพีจี เมื่อ A มีค่า 0.63 และ B มีค่า 0.008

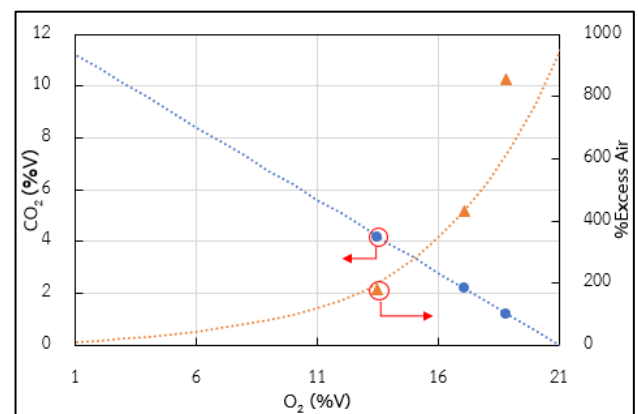
การสูญเสียจากการเผาไหม้ มีค่า 62.8, 65.5 และ 59.2 % คำนวณจากข้อมูลเมื่อ 5, 8 และ 10 hour หลังจากการปิดเตา ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่า มีประสิทธิภาพการเผาไหม้เป็น 37.5, 34.5 และ 40.8 % คำนวณจากข้อมูลเมื่อ 5 และ 8 hour หลังจากการปิดเตา ตามลำดับ และความสัมพันธ์ของร้อยละก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ปริมาณอากาศเกิน ของก๊าซไอเสีย แสดงดังรูปที่ 21

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียจากเตาเผาเคลือบ

รายการ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
อุณหภูมิห้อง (°C)	34.0	34.2	35.6
อุณหภูมิก๊าซไอเสีย (°C)	247.5	420.7	679.2
ร้อยละโดยปริมาตรของก๊าซออกซิเจน (%V)	18.8	17.1	13.5
ร้อยละโดยปริมาตรของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (%V)	1.2	2.2	4.2
ปริมาณอากาศเกิน (%)	856.1	432.7	180.8
ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอน มอนอกไซด์ (ppm)	114.0	147.0	6.0
การสูญเสียจากการเผาไหม้ (%)(จากการคำนวณ)	62.8	65.5	59.2
ประสิทธิภาพการเผาไหม้ (%)(จากการคำนวณ)	37.2	34.5	40.8

หมายเหตุ

ครั้งที่ 1 หมายถึง การตรวจวัด 5 hour หลังจากการปิดเตา
ครั้งที่ 2 หมายถึง การตรวจวัด 8 hour หลังจากการปิดเตา
ครั้งที่ 3 หมายถึง การตรวจวัด 10 hour หลังจากการปิดเตา



รูปที่ 21 ร้อยละโดยปริมาตรก๊าซออกซิเจน ร้อยละโดยปริมาตรของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และปริมาณอากาศเกินของก๊าซไอเสีย

4. อภิปรายผลและสรุป

การเผาติด

จากผลการเผาติดผลิตภัณฑ์ ของศูนย์เซรามิกส์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย พบว่า การเผาติดใช้เวลาที่ค่อนข้างจะยาวนาน ถึง 9 hour เมื่อเปรียบเทียบกับผลการเผาในระบบอุตสาหกรรมซึ่งต้องแข่งกับเวลาในการผลิต และการควบคุมการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงให้ประหยัดมากที่สุด โดยปกติจะใช้เวลาในการเผาประมาณ 6 - 7 hour [12] โดยควบคุมชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปแบบเดียวกัน มีขนาด และความหนาของผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกัน ในกรณีศึกษาครั้งนี้พบว่า ชนิดของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ที่นำเข้าเตาเผาติด มีความหลากหลายในขั้นตอนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ และผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาที่แตกต่างกัน ทำให้ต้องระมัดระวังในการเผา เพื่อควบคุมระยะเวลา และอัตราการคายน้ำของผลิตภัณฑ์ไม่ให้เกิดขึ้นรวดเร็วเกินไป เพื่อช่วยลดอัตราการแตกหัก เสียหาย ระหว่างการเผา โดยเฉพาะช่วงอุณหภูมิช่วง 400 °C แรกที่ผลิตภัณฑ์จะคายน้ำและความชื้นในระดับผลึกโมเลกุลของเนื้อดินปั้น และช่วงการเผาเพื่อไล่สารอินทรีย์ในเนื้อดินปั้น ช่วงอุณหภูมิ 700 – 800 °C

การเผาเคลือบ

จากการศึกษาการเผาเคลือบผลิตภัณฑ์เซรามิกส์ ของศูนย์เซรามิกส์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ครั้งนี้ พบว่ามีปัจจัยที่ต้องควบคุมหลายประการ เช่น ขนาด ความหนา และวิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ มีความแตกต่างกันมาก ส่งผลให้การเผาต้องมีความระมัดระวังในการเพิ่มอุณหภูมิในช่วงการเผาที่เป็นช่วงการคายน้ำ และความชื้นของผลิตภัณฑ์ บรรยากาศการเผาแบบสันดาปสมบูรณ์ (Oxidation firing) ที่ใช้เตาเผาแบบใช้ก๊าซแอลพีจี เป็นเชื้อเพลิง จากการศึกษาเมื่อพิจารณาองค์ประกอบก๊าซไอเสีย มีปริมาณอากาศเกิน (Excess air, %) 180.8 % และปริมาณออกซิเจนเป็น 13.5 % เมื่อเวลา 10 hour หลังจากเริ่มการเผาเคลือบ ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการให้เกิดสภาวะการสันดาปสมบูรณ์ และเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ [10,12] พบว่าในช่วงออกซิเดชันควรมีปริมาณออกซิเจนมากกว่าหรือเท่ากับ 8% อย่างไรก็ตามระหว่างการเผาไหม้ที่มีอากาศเกิน จะเกิดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ขึ้นซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้เคลือบกลุ่มที่ไว้ต่อการจับตัวกับธาตุคาร์บอนทำให้เกิดอาการสีผิวดำ หรือเปลี่ยนสีไปไม่ตรงกับสีเดิม ตลอดจนความเข้มของสีจางหายไปต่างกับการใช้เตาเผาแบบใช้ไฟฟ้าเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งจะมีความสะอาดในการเผาไหม้มากกว่า ทำให้ไม่มีปัญหาความผิวดำของสีได้เคลือบที่ได้จากการเผาไหม้ จากปัจจัยดังกล่าวข้างต้น อาจจะมีการ

ส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์บางชิ้นงานที่ใช้สีชมพูในการตกแต่งได้เคลือบ มีความชื้นจากลงจนกลายเป็นสีขาว ซึ่งอาจจะเกิดจากปัจจัยในด้านการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงจนส่งผลให้สีได้เคลือบมีความผิวดำไปจากความเป็นจริง [13,14]

สรุป

1. การสูญเสียจากการเผาไหม้อยู่ในช่วง 59.2-65.5% ส่งผลให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้อยู่ในช่วง 34.5-40.8% จากการศึกษาครั้งนี้ ทำให้เห็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ของกระบวนการเผาเซรามิกส์ให้ดีขึ้นได้ โดยการลดการสูญเสียจากก๊าซไอเสีย (Flue loss) ทางปล่องไอเสีย ได้แก่ การปรับอัตราส่วนอากาศที่ใช้เผาไหม้ให้เหมาะสม หากอากาศมากเกินไปจะนำความร้อนออกจากเตาเผาที่ทางปล่องไอเสียมากขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากอุณหภูมิไอเสียที่สูงขึ้น [15] 2) อุณหภูมิภายในเตาที่สูงกว่ามาตรฐานจะมีผลให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ลดลงและก็จะส่งผลให้สูญเสียความร้อนทางปล่องไอเสียมากขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิไอเสียสูงขึ้น

2. มีความจำเป็นในการควบคุมอุณหภูมิในเตาเผาให้สูงกว่า 850 °C เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการกำจัดสารมลพิษ และให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ และอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ไม่ควรสูงเกิน 1,100 °C ซึ่งจะเพิ่มโอกาสก่อให้เกิดมลพิษประเภทสารประกอบไนโตรเจนออกไซด์ (NOx)

3. ในกระบวนการการผลิตมีการควบคุมอัตราการให้ความร้อนประมาณ 100 °C/hour (การเผาติด เป็น 96 °C/hour และ การเผาเคลือบเป็น 99°C/hour) ซึ่งต้องระมัดระวังในการเพิ่มอุณหภูมิต่างๆ R² เป็นสัมประสิทธิ์ทางสถิติที่ได้จากการจำลองความสัมพันธ์ซึ่งอธิบายถึงความผันแปรของตัวแปรของความสัมพันธ์ของเวลาและอุณหภูมิ มีค่าอยู่ที่ 0.998 และ 0.964 สำหรับการเผาติดและการเผาเคลือบตามลำดับ ซึ่งนับว่ามีความแม่นยำเป็นอย่างมาก เนื่องจากผู้ดำเนินการเผาเคลือบนั้นมิประสบการณ์ในการปรับลดอัตราการให้ความร้อน

อย่างไรก็ตาม การผลิตงานเซรามิกส์ของสถาบันการเรียนรู้ตลอดชีวิต มีข้อจำกัดเรื่องปริมาณการสั่งซื้อที่จำกัดรูปแบบของชิ้นงานเซรามิกส์มีความหลากหลายในการเผาแต่ละครั้ง และกิจกรรมเพื่อผลิตชิ้นงานนั้นไม่มีมาก และไม่สม่ำเสมอ ดังนั้น จึงไม่สามารถกำหนดระยะเวลาการผลิตที่ชัดเจน และแน่นอนได้ เนื่องจากปริมาณคำสั่งซื้อ และกิจกรรมที่มีปริมาณไม่มาก และไม่สม่ำเสมอ เพื่อให้ประหยัดพลังงานก๊าซแอลพีจีที่ใช้ในการเผาจึงต้องรวบรวมชิ้นงานให้ได้เพียงพอ เหมาะสมกับการเผาแต่ละครั้ง นอกจากนี้การเกิดข้อบกพร่องกับชิ้นงาน ทำให้ไม่สามารถส่งมอบงานได้ และทำให้เกิดความไม่มั่นใจกับลูกค้าที่สั่งซื้อ

ข้อเสนอแนะที่ได้จากการศึกษาและงานวิจัยต่อเนื่อง สำหรับสถาบันการเรียนรู้ตลอดชีวิต ดังนี้

1. ติดตั้งจุดตรวจวัด ที่เหมาะสมและบันทึกข้อมูล ต่อเนื่อง ได้แก่ จุดตรวจวัดอุณหภูมิ ปริมาณอากาศเกิน บริเวณปล่องไอเสีย เป็นต้น เพื่อติดตามองค์ประกอบไอเสีย และใช้ผลดังกล่าวปรับแต่งกระบวนการเพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพการเผาไหม้ นอกจากนี้ เสนอแนะให้ปรับแต่ง อุปกรณ์วัดอุณหภูมิในตำแหน่งเดิมบริเวณหลังคาเตา โดยให้ สามารถบันทึกข้อมูลต่อเนื่องได้

2. ศึกษาการลดเวลาการเผาที่ค่อนข้างนาน จาก 9 hour ให้ใกล้เคียงกับในระบบอุตสาหกรรม ซึ่ง ใช้เวลาในการเผาประมาณ 6 - 7 hour และลดเวลาการเผาเคลือบ จาก 12 ชั่วโมงลง โดยพิจารณาปัจจัยด้านอัตราการให้ความ ร้อนซึ่งปัจจุบันอยู่ที่ประมาณ 100 °C/hour

3. กำหนดขั้นตอนการทำงาน (Work Instruction) ที่ ชัดเจนและทวนสอบการทำงานโดยผู้ปฏิบัติงานร่วมกับ นักวิจัย

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันการเรียนรู้ตลอดชีวิต มหาวิทยาลัย ราชภัฏเชียงราย ที่อนุเคราะห์ข้อมูลเป็นกรณีศึกษา คณะ ครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย และคณะ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ได้อนุเคราะห์อุปกรณ์และการใช้ห้องปฏิบัติการ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Srijun, S. Yawiraj and S. Infang, "The Development of Marketing Mix Based on Customers' s needs for Ceramics Entrepreneurs in Upper North Thailand," *Payap University Journal*, vol. 28, no. 1, pp. 57-70. Jan.-Jun. 2018.
- [2] J. Phongsaksri, "Ceramic Product Design Process," *Industrial Technology Journal*, vol. 4, no. 3, pp. 58-67. Sep.-Dec. 2019 (in Thai).
- [3] W. Thanakorn. CERAMICS: Kiln and Firing Technique. Bangkok: Mr. Copy. 2010. (in Thai).
- [4] Ran4U, Firing Technique and Kiln. [Online]. Available: <https://kiln.ran4u.com>. [Accessed: Aug. 29, 2024]. (in Thai).

- [5] Cerawan, Cerawan Website: Information and Knowledge on Ceramics. [Online]. [Cited August 29, 2024]. Available: <https://www.cerawan.com>. (in Thai).
- [6] Ceramic Online, Types of Ceramic Glazes. [Online]. [Cited August 29, 2024]. Available: <http://www.xn--12cgu2gjuw3fra7hh3g.net/artic/> ประเภทของน้ำเคลือบเซรามิก. (in Thai).
- [7] P. Y. Hsieh, "Effects of temperature non-uniformity and effective viscosity on pyrometric cone deformation," *international journal of ceramic engineering and science*, vol. 1, no. 4, pp. 216–226, Oct. 2019, doi: <https://doi.org/10.1002/ces2.10026>.
- [8] T. Pradell and J. Molera. "Ceramic technology. How to characterise ceramic glazes," *Archaeological and Anthropological Sciences*, vol. 12, no. 8, Jul. 2020, doi: <https://doi.org/10.1007/s12520-020-01136-9>.
- [9] E. Abubakar, S. Mbidomti, M. Lawan, and N. Abubakar, "Evaluating the combustion process of methane fired cross draft ceramic kiln for efficiency and sustainability," *Sustinere*, vol. 7, no. 1, pp. 27–38, Apr. 2023, doi: <https://doi.org/10.22515/sustinerejes.v7i1.284>.
- [10] Pollution Control Department, "Announcement of the Pollution Control Department," Sep. 26, 2018. (in Thai).
- [11] S. Gordin, I. Zaychenko, V. Sokolova and V. Bazheryanu. (2021). "To calculate heat losses with flue gases of coal-fired boilers," *In E3S Web of Conferences* (Vol. 285, p. 07028). EDP Sciences.
- [12] S. A. Hussnain, M. Farooq, M. Amjad, F. Riaz, Z. U. R. Tahir, M. Sultan and A. Bokhari (2021). "Thermal analysis and energy efficiency improvements in tunnel kiln for sustainable environment," *Processes*, 9(9), 1629.
- [13] L. Montorsi and D Pasquale. (2015). "Energy and exergy analysis of an industrial tunnel kiln used in ceramic production," *Applied Thermal Engineering*, 82, 1-9.

- [14] G. Battista and F. Fantozzi. “Wood fuel combustion and atmospheric emissions from ceramic production,” *Environmental Science and Technology*, vol.44, no.19, pp.7506-7566,2010 44(19), 7560-7566.
- [15] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy, “Energy Manager Manual (Factory) B.E. 2560, Part 3, Chapter 1: Energy Conservation for Industrial Furnace,” 2017 (in Thai).

การพัฒนากรวดในงานภูมิทัศน์จากผักตบชวา Development of Gravel in Landscape from Water Hyacinth

บุญญาพร บุญศรี
Bunyaporn Bunsri

สาขาวิชาเทคโนโลยีภูมิทัศน์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
Affiliation Department Landscape Technology, Faculty of Agricultural Technology ,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Email: bunyaporn_b@rmutt.ac.th

Received: April 18, 2024; Revised: June 29, 2024; Accepted: July 12, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากรวดในงานภูมิทัศน์จากผักตบชวา โดยการนำผักตบชวามาตากแห้ง จากนั้นนำบดย่อย 2 แบบคือ ผงผักตบชวาแบบละเอียดมีขนาดไม่เกิน 5 มิลลิเมตร และผงผักตบชวาแบบหยาบที่มีกากใยความยาวไม่เกิน 1 เซนติเมตร แล้วนำผงจากผักตบชวาไปผสมกับแป้งมันสำปะหลัง และ โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ ในอัตราส่วนผสม ผงผักตบชวาหยาบ (กรัม) : ผงผักตบชวาละเอียด (กรัม) : แป้งมันสำปะหลัง (กรัม) : โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (กรัม) ทั้งหมด 6 สูตร ได้แก่ 50:50:0:0, 50:40:10:0, 40:10:50:0, 40:10:20:30, 40:10:30:20 และ 40:10:0:50 จากนั้นนำไปอัดขึ้นรูปเป็นกรวดขนาด เบอร์ 4 โดยใช้เครื่องอัดก้อนกรวด และได้นำกรวดจากผักตบชวาจากทั้ง 6 สูตร ไปทำการทดสอบคุณสมบัติค่าดูดซึมน้ำพบว่าสูตร 6 มีค่าดูดซึมน้ำที่ร้อยละ 37.44 และยังคงลักษณะความเป็นกรวดได้เหมือนเดิม จึงนำมาทดสอบประสิทธิภาพของการเป็นวัสดุกลางในระบบกรองน้ำของบ่อน้ำในงานภูมิทัศน์ ผู้วิจัยได้นำวัสดุกลางที่นิยมในระบบบ่อกรองมาเปรียบเทียบ 4 ชนิด ได้แก่ ไบโอบอล หินภูเขาไฟ เปลือกหอยนางรม และกรวดในงานภูมิทัศน์จากผักตบชวา มีการทดสอบ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าแอมโมเนีย ค่าไนเตรท และค่าไนไตรท์ ของน้ำที่ผ่านวัสดุกรอง จากผลการวิจัยพบว่า กรวดในงานภูมิทัศน์จากผักตบชวา สูตรที่ 6 มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.97 ค่าแอมโมเนีย 0.27 mg/l ค่าไนเตรท 1.13 mg/l ค่าไนไตรท์ 12.12 mg/l อยู่ในเกณฑ์ค่าที่เพียงพอที่ใช้ในบ่อน้ำในงานภูมิทัศน์

คำสำคัญ : กรวด, ผักตบชวา, ระบบกรองบ่อน้ำ, ภูมิทัศน์

Abstract

This research focuses on developing gravel in landscapes using water hyacinth. The process involves drying and grinding the hyacinth into two forms: fine powder (not exceeding 5 millimeters) and coarse powder (with fibers not exceeding 1 centimeter). The powder was then mixed with cornstarch and polyvinyl alcohol in various ratios, resulting in six formulas: 50:50:0:0, 50:40:10:0, 40:10:50:0, 40:10:20:30, 40:10:30:20, and 40:10:0:50. Compact to size 4, it did, using a lever press. And test the water absorption properties. Formula 6, maintaining its original shape, has a water absorption value of 37.44%. After that, explore the water filtration efficiency of the water filtration system in the landscape pond. Compare with commonly used filter media such as bio-balls, lava rocks, oyster shell, and gravel from water hyacinth. Tests were conducted for acidity-alkalinity, ammonia, nitrate, and nitrite levels in water passing through the filter media. The research discovered that Water Hyacinth in Landscape, Formula six, met the standards for landscape pond water. They had a suitable acidity-alkalinity of 8.97, an ammonia content of 0.27 mg/l, a nitrate content of 1.13 mg/l, and a nitrite content of 12.12 mg/l.

Keywords : Gravel, Hyacinth, Filtration system landscape

1. บทนำ

ผักตบชวาจัดได้ว่าเป็นวัชพืชน้ำที่ก่อให้เกิดปัญหามากที่สุดในโลก ตลอดเวลาที่ผ่านมาได้แพร่กระจายไปในประเทศต่าง ๆ กว่า 50 ประเทศในเขตร้อนและกึ่งร้อนทั่วโลก ได้สร้างความลำบากและก่อให้เกิดปัญหานานัปการต่อการใช้ประโยชน์ของแหล่งน้ำ ผลจากการแพร่ระบาดอย่างรุนแรงก่อให้เกิดความเสียหายต่อสภาพเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมของชุมชนในประเทศต่าง ๆ [1] นอกจากนี้หากพิจารณาจากข้อมูล [2] พบว่า ผักตบชวาถือเป็นวัชพืชร้ายแรงหนึ่งในสิบอันดับแรกของโลก ผักตบชวาเป็นวัชพืชน้ำประเภทข้ามปี อยู่ในตระกูล Pontederiaceae มีความสามารถสูงในการขยายพันธุ์ พบว่าผักตบชวาเพียง 1 ต้น สามารถแตกไหล Stolon จนได้ต้นผักตบชวาจนเต็มพื้นที่ 600 ตารางเมตร โดยใช้เวลาเพียง 30 วัน ดังนั้นการกำจัดให้หมดสิ้นจึงเป็นเรื่องที่ยากมาก

จากปัญหาดังกล่าวมีการนำผักตบชวา มาใช้ประโยชน์และทำให้ผักตบชวามีมูลค่าเพิ่มขึ้น ถือเป็นแนวทางแก้ปัญหาที่ได้ประสิทธิผล และ ความยั่งยืน จะเห็นได้จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากผักตบชวาที่มีหลากหลาย สำหรับงานภูมิทัศน์ถือได้ว่าเป็นงานที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม ที่มีความพยายามในการนำวัสดุที่เหลือใช้มาทดแทน หรือใช้ร่วมในงานภูมิทัศน์ ด้วยความหลากหลายของลักษณะงานที่สามารถนำวัสดุต่างๆ มาประยุกต์ปรับใช้ได้อย่างง่าย เพราะงานภูมิทัศน์มักจะนำเอาวัสดุธรรมชาติเข้ามารวมในองค์ประกอบเพื่อการตกแต่งมากมาย เช่น ก้อนหินขนาดใหญ่ในการมาจัดทำสวนน้ำตกธรรมชาติ หรือกรวดแม่น้ำธรรมชาติที่นิยมนำมาใช้ตกแต่งโรยทางเดินในสวน ยิ่งความนิยมของการจัดภูมิทัศน์แบบธรรมชาติมีมากขึ้น [3] วัสดุจากธรรมชาติก็ถูกนำมาใช้เพิ่มขึ้นเช่นกัน

ผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของการเลือกใช้ และหาวัสดุที่สามารถเข้ามาทดแทนวัสดุธรรมชาติที่ใช้ในงานภูมิทัศน์ ผักตบชวาถือเป็นอีกวัสดุหนึ่งที่มีความหลากหลายทางลักษณะกายภาพจนนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ดังนั้นจึงมีแนวคิดการพัฒนากรวดในงานภูมิทัศน์จากผักตบชวา โดยนำเอาผักตบชวามาอัดก้อนกรวด ที่มีส่วนผสมของตัวประสานแป้งมันสำปะหลัง และ โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ ในการขึ้นรูปกรวดแล้วทดสอบหาค่าความดูดซึมน้ำ เพื่อให้สอดคล้องกับการใช้งานภายนอก และมาศึกษาต่อยอดความเป็นไปได้ในการนำกรวดจากผักตบชวา มาเป็นวัสดุตัวกลางของระบบกรองในบ่อน้ำภูมิทัศน์ โดยทดสอบน้ำที่ไหลผ่านกรวดจากผักตบชวา ศึกษาค่ากรด-ด่าง ค่าแอมโมเนีย ค่าไนเตรท และค่าไนไตรท์ เปรียบเทียบกับวัสดุกรองที่นิยมใช้

ในปัจจุบัน เพื่อให้ได้กรวดจากผักตบชวาที่สามารถใช้ทดแทนได้ในงานภูมิทัศน์ และช่วยเพิ่มมูลค่าของผักตบชวา

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษากิจกรรมวิธีการแปรรูปผักตบชวาที่เหมาะสมสำหรับกรวดในงานบ่อน้ำภูมิทัศน์
- 2.2 เพื่อศึกษาความเหมาะสมการพัฒนากรวดในงานภูมิทัศน์จากผักตบชวา
- 2.3 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้กรวดจากผักตบชวาในระบบกรองของบ่อน้ำในงานภูมิทัศน์

ขอบเขตงานวิจัย

ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตการวิจัยดังต่อไปนี้

- 1) ผักตบชวาส่วนของลำต้นที่ใช้สำหรับการพัฒนาเป็นกรวดในงานภูมิทัศน์
- 2) ผงผักตบชวาแบบละเอียดมีขนาดไม่เกิน 5 มิลลิเมตร และผงผักตบชวาแบบหยาบที่มีกากใยความยาวไม่เกิน 1 เซนติเมตร โดยใช้เครื่องบดละเอียด พลังงานไฟฟ้า 1,600 วัตต์ ปั่นวัสดุให้เป็นผงละเอียด ถึง 44 – 250 ไมครอน
- 3) ตัวประสานที่ใช้ผสมในการพัฒนากรวดในงานภูมิทัศน์คือแป้งมันสำปะหลังและโพลีไวนิลแอลกอฮอล์
- 4) เครื่องปั้นก้อนกรวด เป็นเครื่องปั้นแบบคันโยก ตัวเครื่องปั้นขึ้นงานที่เป็นแบบ Manual มือจับใช้ปั้นขึ้นงานด้วยกำลังของผู้ใช้งาน กำลังในการดันขึ้นงาน 3 กิโลกรัม โดยปั้นกรวดให้ออกมามีขนาด กรวดเบอร์ 4

3. วิธีการ ดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีเพื่อศึกษาประสิทธิภาพผักตบชวามาพัฒนาเป็นกรวดตกแต่งสวนในงานภูมิทัศน์ ประกอบไปด้วยขั้นตอนของการเตรียมวัสดุดิบการขึ้นรูปกรวด และการทดสอบคุณสมบัติที่สามารถนำไปใช้ในระบบกรองในบ่อน้ำของงานภูมิทัศน์

3.1 การเตรียมวัสดุดิบ ดำเนินการดังต่อไปนี้

- 1) เก็บผักตบชวาแล้วนำมาส่วนของลำต้นมาหั่น ขนาดประมาณ 1 เซนติเมตร แล้วนำไปตากกลางแจ้งเป็นเวลา 5 วัน ดังรูปที่ 1
- 2) นำผักตบชวาส่วนที่ตากแห้งเรียบร้อยแล้วด้วยเครื่องบดผงออกผงผักตบชวาแบบละเอียดมีขนาดไม่เกิน 5 มิลลิเมตร และผงผักตบชวาแบบหยาบที่มีกากใยความยาวไม่เกิน 1 เซนติเมตร



รูปที่ 1 เตรียมวัสดุผักตบชวา

3) นำผักตบชวาที่ได้มาผสม กับส่วนผสมอีก 2 ส่วน มีคุณสมบัติเป็นตัวประสาน ได้แก่ แป้งมันสำปะหลังและโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ [4-6] ตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ 6 สูตร ดังตาราง ที่ 1 ทำการผสมวัตถุดิบให้เข้ากัน นำไปเพื่อไปเข้าเครื่องบดเครื่องต่อไป

ตารางที่ 1 ตารางแสดงส่วนผสมของวัตถุดิบเพื่อใช้ขึ้นรูปกรวดในงานภูมิทัศน์จากผักตบชวา

สูตร	วัตถุดิบ				รวม (กรัม)
	ผักตบชวาหยาบ (กรัม)	ผักตบชวา บดละเอียด (กรัม)	แป้งมันสำปะหลัง (กรัม)	โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (พีวีเอ) (กรัม)	
สูตรที่ 1	50	50	-	-	100
สูตรที่ 2	50	40	10	-	100
สูตรที่ 3	40	10	50	-	100
สูตรที่ 4	40	10	30	20	100
สูตรที่ 5	40	10	20	30	100
สูตรที่ 6	40	10	-	50	100

3.2 การขึ้นรูปกรวดในงานภูมิทัศน์จากผักตบชวา

ดำเนินการดังต่อไปนี้

1) เตรียมส่วนผสม ชั่งน้ำหนักวัตถุดิบ ตามอัตราส่วนที่กำหนด ผสมเรียบร้อยทั้ง 6 สูตร นำมาเข้าเครื่องบดกรวดรูปแบบคั่นโยกมือดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 เครื่องอัดกรวดคั่นโยกมือ

2) นำกรวดไปตากแดดให้นานเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำเข้าตู้อบร้อน ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง พร้อมทำการชั่งน้ำหนักก่อนการศึกษา

3.3 การทดสอบหาคุณสมบัติของกรวดจากผักตบชวา

ดำเนินการดังต่อไปนี้

1) ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ การหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ อ้างอิงตามมาตรฐาน ABNT NM ISO 535,1999 ซึ่งจากชิ้นงานจะทำการทดสอบอย่างน้อย 3 ตัวอย่างเลือกเฉพาะสูตรที่สามารถขึ้นรูปเป็นกรวดตกแต่งสวนได้ ตัวอย่างเช่นทำการชั่งน้ำหนักชิ้นงานก่อนทดสอบ (W_s) จากนั้นนำชิ้นงานแช่ในน้ำปราศจากไอออนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 วินาที แล้วนำชิ้นงานมาชั่งน้ำหนักหลังการทดสอบ (W^1) บันทึกน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงของชิ้นทดสอบและ คำนวณหาค่าร้อยละการซึมน้ำจากสมการเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ

$$= \frac{W^1 - W_s}{W_s} \times 100 \% \quad (1)$$

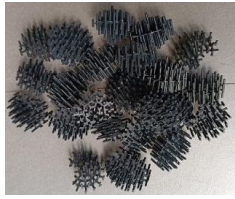
2) การศึกษาประสิทธิภาพวัสดุตัวกลางต่อคุณภาพน้ำในบ่อน้ำงานภูมิทัศน์ ดำเนินการทดสอบต่อไปนี้

ก. เตรียมถังกรองน้ำพลาสติก 20 ลิตรที่บรรจุวัสดุกรองใยแก้ว เพื่อกรองตะกอนแขวนลอยที่บรรจุอยู่ชั้นบนสุดของถังกรองน้ำพลาสติก

ข. สถานที่งานภูมิทัศน์ที่เป็นประเภทของบ่อน้ำเตรียมพื้นที่ให้ปั๊มสูบน้ำจากบ่อน้ำเข้าสู่ถังกรองน้ำพลาสติกกรอง และให้น้ำไหลออกจากระบบกรองโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง

ค. เตรียมวัสดุกรองที่นิยมนำมากรองเพื่อการทำงานของระบบบ่อน้ำในงานภูมิทัศน์ประกอบด้วย 4 วัสดุ ที่บรรจุในตาข่ายขนาด 60x40 เซนติเมตร มีวัสดุกรองดังนี้ คือ โปโอบอลแบบหนาม ขนาด 36 มิลลิเมตร จำนวน 200 ลูก หินภูเขาไฟ ขนาด 3-4 เซนติเมตร จำนวน 1 กิโลกรัม เปลือกหอยนางรม จำนวน 1 กิโลกรัม และ กรวดจากผักตบชวา จำนวน 1 กิโลกรัม ตามรูปที่ 3

ง. ทำการทดสอบค่าน้ำในบ่อน้ำงานภูมิทัศน์ ที่มีการสูบน้ำจากบ่อน้ำผ่านทางปั๊มน้ำไหลเวียนผ่านถังกรองพลาสติกที่บรรจุวัสดุกรอง ก่อนปล่อยลงสู่อีกครั้ง ผู้วิจัยมีการเก็บ ข้อมูลค่าของน้ำในบ่อน้ำทุก 5 วัน เป็นจำนวน 4 ครั้ง เพื่อทดสอบ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าแอมโมเนีย ค่าไนโตรเจน และค่าไนเตรท โดยการเก็บข้อมูล [7]



กรองใบโอบอล



หินภูเขาไฟ



เปลือกหอยนางรม



กรวดในงานภูมิทัศน์จาก ผักตบชวา

รูปที่ 3 วัสดุตัวกลางที่ทำการทดสอบระบบกรอง

4. ผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อทดสอบเกี่ยวกับการขึ้นรูปกรวดในงานภูมิทัศน์จากผักตบชวาตามอัตราส่วนทั้ง 6 สูตร และคุณสมบัติที่สามารถนำไปใช้ในระบบกรองน้ำของบ่อน้ำในงานภูมิทัศน์ได้ผลวิจัยดังต่อไปนี้

4.1 การขึ้นรูปกรวดตกแต่งในงานภูมิทัศน์จากผักตบชวาตามอัตราส่วนทั้ง 6 สูตร

จากการสังเกตลักษณะทางกายภาพของกรวดจากผักตบชวาที่ผ่านเครื่องบดกรวดจากทั้ง 6 สูตรนั้นพบผลการขึ้นรูปก้อนกรวด ดังตารางที่ 2 และรูปที่ 4

ตารางที่ 2 ผลการขึ้นรูปกรวดตกแต่งในงานภูมิทัศน์จากผักตบชวา

สูตรที่	อัตราส่วนผสม ผงผักตบชวาหยาบ(g) : ผงผักตบชวาละเอียด(g) : แป้ง(g) : พีวีเอ(g)	ผลการขึ้นรูป
1	50 : 50 : 0 : 0	✓
2	50 : 40 : 10 : 0	✓
3	40 : 10 : 50 : 0	✓
4	40 : 10 : 20 : 30	✓
5	40 : 10 : 30 : 20	✓
6	40 : 10 : 0 : 50	✓



สูตรที่ 1



สูตรที่ 2



สูตรที่ 3



สูตรที่ 4



สูตรที่ 5

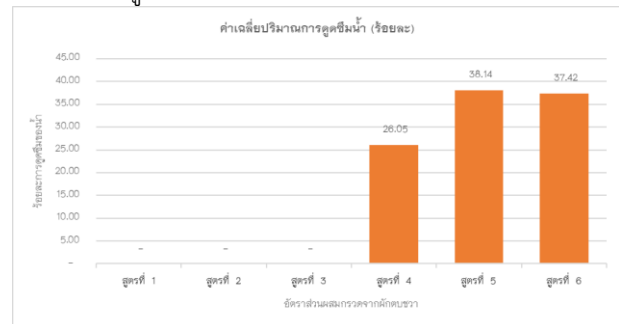


สูตรที่ 6

รูปที่ 4 กรวดในงานภูมิทัศน์จากผักตบชวา

จากผลการขึ้นรูปพบว่ากรวดในงานภูมิทัศน์จากผักตบชวาที่มีอัตราส่วนผสมของผักตบชวาแบบหยาบมากกว่า ผักตบชวาแบบละเอียดจะสามารถเป็นตัวผสมที่ขึ้นรูปก้อนกรวดได้ดี สำหรับตัวประสานที่ใช้ในการขึ้นรูปก้อนกรวด ที่มีแป้งมันสำปะหลัง และโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (พีวีเอ) ทั้งสองส่วนผสมสามารถทำให้การขึ้นรูปเป็นก้อนกรวดได้ แต่การใช้โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีคุณสมบัติของการยึดติดเฉพาะตัวที่ดี เมื่อใส่ในอัตราส่วนผสมที่มากกว่าแป้งมันสำปะหลัง การบ่มขึ้นรูปก้อนกรวดตกแต่งจะทำได้ง่าย

4.2 ค่าทดสอบคุณสมบัติการดูดซึมน้ำ โดยการชั่งน้ำหนักของกรวด 6 สูตร ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล ได้ผลการทดสอบ ดังรูปที่ 5



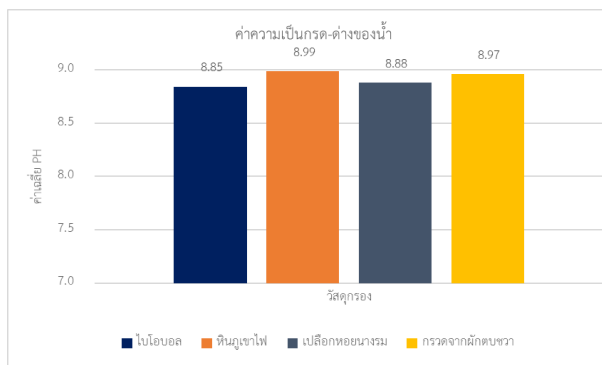
รูปที่ 5 ค่าเปรียบเทียบน้ำหนักเพื่อทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ

จากการทดสอบและวิเคราะห์ค่าการดูดซึมน้ำจากกรวดผักตบชวาทั้ง 6 สูตร พบว่า ผักตบชวาจากกรวดอัตราส่วนของสูตรที่ 1,2 และ3 หลังการแช่น้ำ 24 ชั่วโมง ไม่สามารถคงสภาพเป็นก้อนกรวด ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำได้ สูตรที่ 5, 6 และ 4 มีค่าอัตราเฉลี่ยค่าดูดซึมน้ำจากมากไปน้อย 38.14 ,37.42 ,26.05 เรียงตามลำดับ เห็นได้ว่าบางอัตราส่วนที่ไม่มีส่วนผสมของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีคุณสมบัติของการช่วยยึดเกาะ จะไม่สามารถทำให้กรวดจากผักตบชวายังอยู่ใน สภาพลักษณะก้อนกรวดได้ รวมถึงอัตราส่วนที่มีส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลัง หลังจากการแช่น้ำเพื่อทดสอบพบว่า แป้งมันสำปะหลังมีการ

ละลายตัวออกจากก้อนกรวดที่ขึ้นรูป ส่งผลให้รูปลักษณะของกรวดของสูตรที่ 4 มีการเปื่อยหยุ่ย ทำให้เหลือเพียงอัตราส่วนผสมสูตรที่ 6 ที่ยังคงสภาพของก้อนกรวดได้ ทำให้ผู้วิจัยได้นำมาศึกษาต่อในเรื่องของวัสดุตัวกลางของระบบบ่อน้ำในงานภูมิทัศน์

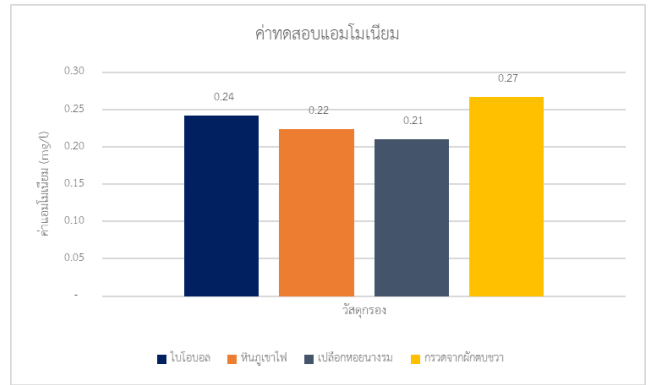
4.3 ผลของประสิทธิภาพวัสดุตัวกลางต่อคุณภาพน้ำในบ่อน้ำงานภูมิทัศน์

1) การทดสอบความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำในบ่อหลังผ่านการกรองจากวัสดุกรอง 4 ชนิด คือ ไบโอบอล หินภูเขาไฟ เปลือกหอยนางรม และกรวดจากผักตบชวา คุณภาพของความเป็นกรด-ด่างของบ่อน้ำที่ใช้ในงานภูมิทัศน์อยู่ที่ค่าระดับ 6.0-9.0 ที่เหมาะสมสำหรับการอาศัยอยู่ของสัตว์น้ำในบ่อน้ำ [8] จากการนำวัสดุตัวกลางทั้ง 4 ชนิด มาทำการทดสอบโดยผ่านกระบวนการของการไหลเวียนของน้ำในบ่อน้ำกรวดจากผักตบชวาอยู่ในระดับที่สามารถรักษาค่า Ph ของน้ำได้ ผลการทดสอบดังรูปที่ 6



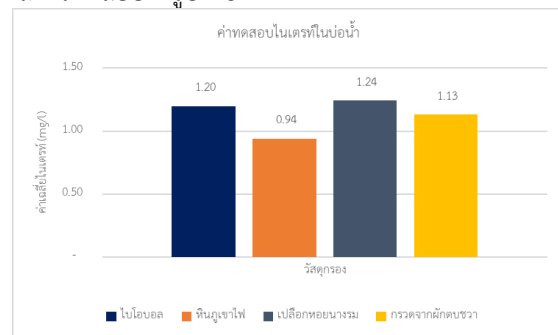
รูปที่ 6 ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำในบ่อน้ำ

2) ค่าแอมโมเนียที่อยู่น้ำเกณฑ์ค่าที่เหมาะสมของบ่อน้ำในงานภูมิทัศน์เกณฑ์ที่เหมาะสมไม่เกิน 0.30 mg/L ได้โดยไม่เป็นพิษต่อปลาในน้ำที่มี pH 8-9 [9] ซึ่งค่าของแอมโมเนียของบ่อน้ำที่ผ่านการไหลเวียนของน้ำในบ่อน้ำกรวดจากผักตบชวา อยู่ในช่วงค่าที่ 0.27 mg/L อยู่ในระดับที่กำหนดใกล้เคียงกับไบโอบอล หินภูเขาไฟและเปลือกหอยนางรม ที่มีค่าเฉลี่ย 0.24 , 0.22 และ 0.21 โดยผลการทดสอบดังรูปที่ 7



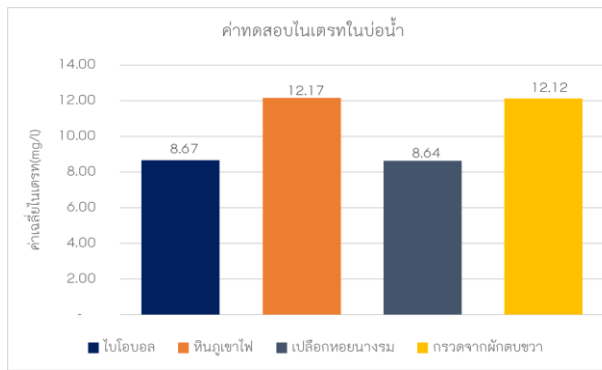
รูปที่ 7 ค่าเฉลี่ยแอมโมเนียของน้ำในบ่อน้ำ

3) ค่าไนเตรทที่เหมาะสมกับบ่อน้ำงานภูมิทัศน์ โดยไม่กระทบต่อสิ่งมีชีวิตมีค่าไม่เกิน 0.30 mg/L ซึ่งน้ำที่ผ่านการไหลเวียนของน้ำในบ่อน้ำผ่านกรวดจากผักตบชวามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.13 mg/L มีค่าน้อยกว่า ไบโอบอล ที่ค่าเฉลี่ยที่ 1.20 และ เปลือกหอยนางรม ที่ 1.24 ซึ่งอยู่ในค่าระดับที่กำหนด ผลการทดสอบดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ค่าเฉลี่ยไนเตรทในบ่อน้ำ

4) ค่าไนเตรทที่ทดสอบบ่อน้ำในงานภูมิทัศน์ ซึ่งค่าไนเตรทที่สะสมในน้ำไม่ควรเกิน 10-15 มิลลิกรัมต่อลิตร ขึ้นอยู่กับชนิดขนาดสัตว์น้ำและปริมาณออกซิเจนที่มีในน้ำ [10] โดยผลการทดสอบที่ผ่านการไหลเวียนของน้ำในบ่อน้ำผ่านกรวดจากผักตบชวา อยู่ในค่าระดับเฉลี่ยที่ 12.12 mg/L ซึ่งอยู่ในค่าที่กำหนดผลการทดสอบเหมือนกับเปลือกหอยนางรม ไบโอบอล และหินภูเขาไฟ ที่มีค่าเฉลี่ย 8.64 , 8.67 และ 12.17 ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ค่าเฉลี่ยไนเตรทในบ่อน้ำ

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาคุณสมบัติของการพัฒนากรวดในงานภูมิทัศน์จากผักตบชวา ที่ทำการทดสอบในอัตราส่วน ผงผักตบชวาหยาบ (กรัม) : ผงผักตบชวาละเอียด (กรัม) : แป้งมันสำปะหลัง (กรัม) : โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (กรัม) ทั้งหมด 6 สูตร ได้แก่ 50:50:0:0, 50:40:10:0, 40:10:50:0, 40:10:20:30, 40:10:30:20 และ 40:10:0:50 โดยพบว่า 1) ทั้ง 6 สูตรขึ้นรูปได้ 2) การพัฒนาผักตบชวาจากกรวดในสูตรที่ 1, 2 และ 3 หลังการแช่น้ำ 24 ชั่วโมง ไม่สามารถคงสภาพเป็นก้อนกรวด ทำให้วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำไม่ได้ สูตรที่ 5, 6 และ 4 มีค่าอัตราเฉลี่ยค่าดูดซึมน้ำร้อยละ 38.14, 37.42 และ 26.05 เรียงตามลำดับพบว่า กรวดในงานภูมิทัศน์จากผักตบชวาในสูตรที่ 6 สามารถที่จะคงรูปลักษณะกรวดได้คงเดิมได้ดีกว่า สูตรที่ 4 ถึงแม้ว่า ร้อยละการดูดซึมน้ำจะน้อยกว่า แต่รูปลักษณะสูตรที่ 4 มีการเปื่อยยุ่ย จึงไม่เหมาะกับการนำไปแช่น้ำในระยะเวลานาน 3) ด้านประสิทธิภาพวัสดุตัวกลางต่อคุณภาพน้ำในบ่อน้ำงาน ภูมิทัศน์ จากการศึกษาคุณภาพน้ำในบ่อน้ำของงานภูมิทัศน์ จากการผ่านระบบกรองน้ำวัสดุทั้ง 4 ชนิด ประกอบไปด้วยไบโอบอล จำนวน 200 ลูก หินภูเขาไฟ ขนาด 3-4 เซนติเมตร จำนวน 1 กิโลกรัม เปลือกหอยนางรม จำนวน 1 กิโลกรัม และ กรวดจากผักตบชวา สูตรที่ 6 จำนวน 1 กิโลกรัม โดยทำการศึกษารเปรียบเทียบ ความเป็นกรด-ด่าง แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการตรวจสอบระบบน้ำในบ่อกรองงานภูมิทัศน์ กรวดจากผักตบชวาจากสูตรที่ 6 จากการทดสอบ มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 8.97 ค่าแอมโมเนีย 0.27 mg/l ค่าไนเตรท 1.13 mg/l และ ค่าไนเตรท 12.12 mg/l จากค่าการทดสอบพบว่า กรวดจากผักตบชวา สูตรที่ 6 ที่มีอัตราส่วนผสม ผงผักตบชวาหยาบ 40 กรัม : ผงผักตบชวาละเอียด 10 กรัม : แป้งมันสำปะหลัง 0 กรัม : โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ 50 กรัม มีประสิทธิภาพใกล้เคียงที่สามารถเป็นวัสดุตัวกลางของ

ระบบบ่อกรองในงานบ่อน้ำภูมิทัศน์นี้ได้ จากค่าของคุณภาพของน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง แอมโมเนีย ไนไตรท์ และไนเตรท ในบ่อน้ำมีความใกล้เคียงกับระบบกรองที่มีวัสดุตัวกลางที่เป็นวัสดุสังเคราะห์ และธรรมชาติ จาก ไบโอบอล หินภูเขาไฟ และเปลือกหอยนางรม ถือเป็นทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าของผักตบชวา

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Water hyacinth management guide. [Online]. (2021). [Cited December 19, 2022]. Available: <http://lib.mnre.go.th/book/paktob.pdf>
- [2] L. Holm, *Weed problems in developing countries*, Weed Science, England: Cambridge University Press ,1969), pp. 113-118
- [3] N Buntharika, *Landscape Business 93470*. Bangkok : Sukhothai Thammathirat University publishing ,2023 pp.176-186
- [4] C. Attiya, Kanyarat C. and T Promma, "Study the Properties of Containers Made from Mission Grass Fibers (*Pennisetum polystachion* (L.) Schult.) and Water Hyacinth Fibers (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms)" in *Proceeding of The 2nd Kamphaengphet Rajabhat University* ,Kamphaengphet, March 25,2022,pp. 728-736
- [5] N. Tangmankongworakoon.(2014,January-June) The Production Of Fuel Briquettes From Bio-Agricultural Wastes And Household Wastes. *Srinakharinwirot University Journal of Sciences and Technology*. [Online].6(11), pp. 66-77. Available: <https://ejournals.swu.ac.th/index.php/SWUJournal/article/view/4488/4409>
- [6] P. Trin , Bio-container production from water hyacinth/2013. [Online].(2013).[Cited September 22, 2023] Available: <https://publication.npru.ac.th/bitstream/123456789/1625/1/npru-45.pdf>
- [7] T. Cheunbarn. (2015, July-December). Water quality improvement in tilapia pond by Taro (*Colocasia esculenta*) and *Phormidium* sp. in a pilot-scale constructed wetland. *Journal of Fisheries Technology Research* .[Online]. 9(2), pp. 62-70. Available:<http://www.fishtech.mju.ac>

th/fishnew1/Journal_FT_Attach/AbstractFile/P6
2-70-V9-Y2558.pdf

- [8] Tucker, C. S., and Hargreaves, J. A, *Biology and Culture of Channel Catfish*. New York : Elsevier, 2004.
- [9] T. Munsin and P. Paipan ,” Water quality management and wastewater treatment in fish ponds and other aquatic animals”.2011.Bangkok Chulalongkorn University Printing House (inThai)
- [10] Koydon S.,” Nitrogen elimination in zero waste aquaculture system,” *Rmutsb Academic Journal* ,Vol 2,no. 1,pp.66-80 ,2014 (in Thai)

การผลิตกระถางย่อยสลายได้จากใบไม้แห้งร่วมกับมูลวัว

Biodegradable pot production from dried leaves and cow manure

ประนิตดา อินชมฤทธิ^{1*}, กฤษณา ผลพิบูลย์¹, อาทิตยา ประนนท์¹, ปาวินี เทียมดี² และ
ปารีสัชชา แสงสุวรรณ³

Pranitda Inchomrit^{1*}, Kritsana Pornpibool¹, Atitaya Pranon¹, Pawinee Theamdee² and
Parisatcha Sangsuwan³

¹สังกัดสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

²สังกัดสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

³สังกัดสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

¹ Affiliation Department of Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University

² Affiliation Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University

³ Affiliation Department of science, Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University

*Email: pranitda.p@lawasri.tru.ac.th

Received: July 24, 2024; Revised: September 09, 2024; Accepted: September 20, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของใบไม้แห้งกับมูลวัวในการขึ้นรูปกระถาง วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี ทางกลของกระถาง และการย่อยสลายของกระถาง โดยทำการทดลอง 4 ชุดการทดลอง (ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ) ที่อัตราส่วนผสมใบไม้แห้งต่อมูลวัว ดังนี้ 100:0, 75:25, 50:50 และ 25:75 กรัม ทุกชุดการทดลองใช้แป้งเปียกเป็นตัวประสาน ซึ่งทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของกระถางต้นไม้ย่อยสลายได้จากใบไม้แห้งและมูลวัว ได้แก่ ค่าการดูดซับน้ำ ค่าการพองตัว และการย่อยสลาย ศึกษาคุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณสารอินทรีย์รวม ศึกษาคุณสมบัติทางกล ได้แก่ การต้านทานแรงเฉาะ ผลการศึกษาพบว่ากระถางต้นไม้ย่อยสลายได้จากใบไม้แห้งและมูลวัวสามารถขึ้นรูปได้ทุกชุดการทดลอง สำหรับคุณสมบัติของกระถางต้นไม้ย่อยสลายได้จากใบไม้แห้งและมูลวัวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของกระถางที่อัตราส่วนผสมใบไม้แห้งต่อมูลวัวที่ 50:50 กรัม ขึ้นรูปได้ดีที่สุด และคุณสมบัติเหมาะสมที่สุด โดยมีค่าการดูดซับน้ำเท่ากับ 185.54 ± 9.49 % ค่าการพองตัวเท่ากับ 11.71 ± 4.52 % และปริมาณสารอินทรีย์รวมเท่ากับ 80.57 ± 0.83 % และช่วยเพิ่มธาตุ NPK ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักของพืชซึ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโตในระยะการเจริญเติบโตทางต้นและใบ

คำสำคัญ : กระถางย่อยสลายได้, ใบไม้แห้ง, มูลวัว

Abstract

The research aimed to the optimum ratio of dry leaves and cow manure for potting to analyze the physical, chemical and mechanical properties of biodegradable pots and to study the potted decomposition. There were 4 treatments and each treatment was done triplicate. The ratio of dried leave to cow manure as follows: 100: 0, 75: 25, 50: 50 and 25: 75 gram. All experiments were using cassava starch as binder. The physical properties of biodegradable pots from dried leaves and cow manure were studied water absorption, swelling value, and degradation, chemical properties, pH, electrical conductivity, total organic matter and puncture resistance. The results showed that all ratio dried leaf and cow manure could be formed biodegradable plant pot. For the properties of plant potted it was found that the swelling value and total organic content were significantly different at the level of 0.05. To consider the properties of potted, the ratio of dried leave to cow manure as 50:50 gram was the best for forming and the most suitable

properties namely 185.54 ± 9.49 % water absorption, 11.71 ± 4.52 % swelling, and 80.57 ± 0.83 % total organic matter. So the pot promotes N P K that is major nutrients for plant growth at vegetative growth stage.

Keywords : Biodegradable pots, Dried leaves, Cow manure

1. บทนำ

ขยะพลาสติก รวมถึงพลาสติกที่ใช้ในการเกษตร เช่น ภาชนะและถุงเพาะชำที่ผลิตจากพลาสติก เป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีความรุนแรงอย่างมาก เนื่องจากพลาสติกทนทานต่อการย่อยสลายโดยกระบวนการทางธรรมชาติ [1] ขยะพลาสติกที่เกิดขึ้นจำเป็นต้องจัดการอย่างถูกวิธีเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการรวบรวม การกำจัด และการรีไซเคิล การนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่นั้นมีขั้นตอนที่ยุ่งยากและต้องใช้งบประมาณสูง กระดาษที่ทำจากวัสดุอินทรีย์หรือกระดาษที่ย่อยสลายได้จึงเป็นทางเลือกในการลดการเกิดปัญหาขยะพลาสติกดังกล่าว เนื่องจากสามารถเพาะชำและย้ายลงแปลงปลูกได้โดยไม่ต้องฉีกถุงออกเหมือนถุงเพาะชำพลาสติก กระดาษที่ย่อยสลายได้จึงไม่สร้างความเสียหายต่อรากพืช [2-3] มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการผลิตกระดาษย่อยสลายได้จากวัสดุเหลือทิ้ง ได้แก่ เปลือกกล้วย ผักตบชวา กากมันสำปะหลัง กากกาแฟ ก้อนเชื้อเห็ด และทะเลสาปาล์ม ที่ผ่านการรีดน้ำมันแล้ว [2, 4-9] เป็นทางเลือกในการนำวัสดุเหลือทิ้งกลับมาใช้ใหม่ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยช่วยจัดการวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมการเกษตร เป็นการลดต้นทุนทางการเกษตร เช่น ลดค่าใช้จ่ายในการซื้อกระดาษและถุงเพาะชำพลาสติก ช่วยประหยัดเวลาในขั้นตอนการย้ายกล้าลงแปลงปลูก และช่วยลดความเสียหายของรากพืชระหว่างการเคลื่อนย้ายลงแปลงปลูก นอกจากนี้มีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของกระดาษเพาะกล้าที่ทำจากพีทมอส เยื่อไม้ และมูลวัว โดยพบว่ากระดาษเพาะกล้าที่ทำจากมูลวัวขึ้นรูปได้ดีที่สุด และมีค่าการดูดซับน้ำสูงที่สุด [10]

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตกระดาษย่อยสลายได้ที่มีความแข็งแรงและเพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืชได้ทดแทนการใช้ถุงเพาะชำ โดยการใช้ใบไม้แห้งซึ่งเป็นวัสดุดิบที่หาง่ายในท้องถิ่นร่วมกับมูลวัวในอัตราส่วนแตกต่างกันเป็นการลดภาระในการจัดการขยะ และลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

2. วิธีการวิจัย

2.1 การเตรียมตัวอย่างวัตถุดิบ

2.1.1 ใบไม้แห้ง ทำการรวบรวมใบไม้แห้งจากสวนมะม่วงในพื้นที่ อ.อินทร์บุรี จ.สิงห์บุรี แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบดจนเป็นผงละเอียด ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ใบไม้แห้งบดละเอียด

2.1.2 มูลวัว นำมูลวัวที่รวบรวมจากฟาร์มโคนมในพื้นที่ อ.พัฒนานิคม จ.ลพบุรี ไปตากแดดให้แห้งสนิทแล้วนำไปทุบจนป่น ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 มูลวัวป่นละเอียด

2.2 การเตรียมตัวประสาน

การเตรียมกาวแป้งเปียก โดยผสมแป้งมันสำปะหลังอัตราส่วน 100 กรัม ต่อน้ำสะอาด 1 ลิตร นำไปกวนด้วยไฟอ่อน จนมีลักษณะเหนียวและใส ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตัวประสาน (กาวแป้งเปียก)

2.3 ศึกษาลักษณะทางเคมีของวัตถุดิบ

ทำการวัดค่าการนำไฟฟ้า ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของ ใโป้ไม้แห้งและมูลวัว ด้วย Conductivity Meter (ยี่ห้อ Mettler รุ่น Seven Compact s230 ประเทศ สวิตเซอร์แลนด์) และ pH Meter (ยี่ห้อ Mettler รุ่น Seven Compact s220 ประเทศ สวิตเซอร์แลนด์) แล้วนำใโป้ไม้แห้ง และมูลวัวไปทำการวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์รวม ด้วย วิธีการเผา (Ignition loss) วิเคราะห์ปริมาณ ไนโตรเจน ทั้งหมด ด้วยวิธี Kjeldahl method วิเคราะห์ปริมาณ ฟอสฟอรัสทั้งหมด ด้วยวิธี Vanadomolybdate และ วิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด ด้วยวิธี Flame photometric

2.4 การขึ้นรูปกระถาง

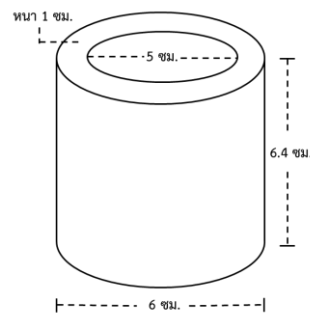
ทำการทดลอง 4 ชุดการทดลอง (ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ) โดยนำวัตถุดิบที่เตรียมไว้มาชั่งน้ำหนักตามอัตราส่วน ดัง ตารางที่ 1 แล้วทำการคลุกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้น นำใโป้ใส่ในบล็อก PVC ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร สูง 6.4 เซนติเมตร อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดที่มี แรงอัด 2 ตัน และดันตัวกระถางออกจากบล็อก จะได้ กระถางที่มีความหนาต้านข้าง และก้นกระถางเท่ากับ 1 เซนติเมตร จากนั้นนำกระถางตากในตู้อบพลังงาน แสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 4-6

ตารางที่ 1 อัตราส่วนกระถางต้นไม้อยู่สลายได้จากใโป้แห้งและมูลวัว

ชุดการทดลอง	ใโป้แห้ง (กรัม)	มูลวัว (กรัม)	แป้งเปียก (กรัม)
ก)	100	0	200
ข)	75	25	200
ค)	50	50	200
ง)	25	75	200



รูปที่ 4 การอัดขึ้นรูปกระถาง



รูปที่ 5 ขนาดกระถาง



รูปที่ 6 ตากกระถางในตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์

2.5 ศึกษาคุณสมบัติของกระถาง ดังนี้

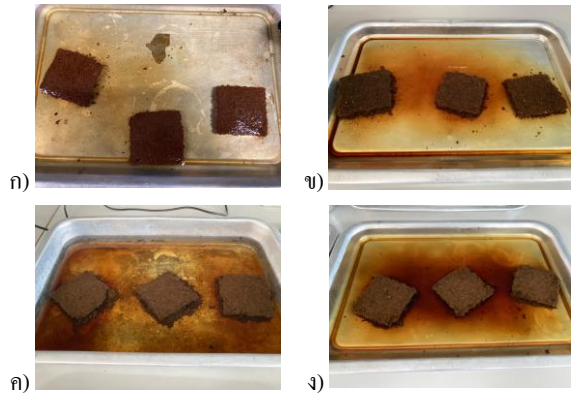
2.5.1 การดูดซับน้ำของวัสดุทำกระถาง ดัดแปลงจาก Kaewmanee [8] โดยทำขึ้นตัวอย่างทดสอบที่มีขนาด 5 x 5 เซนติเมตร ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ แล้วนำมาชั่งน้ำหนักก่อน การแช่น้ำ วางขึ้นทดสอบให้อยู่ในระนาบเดียวกับผิวน้ำ มี ระยะห่างจากก้นพอสมควร (รูปที่ 7) เมื่อครบ 1 ชั่วโมง นำ ขึ้นตัวอย่างขึ้นจากน้ำโดยไม่ต้องซับน้ำออก และชั่งน้ำหนัก แล้วคำนวณหาร้อยละการดูดซับน้ำ จากสมการที่ (1)

$$\text{การดูดซับน้ำ (\%)} = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่

W_0 = น้ำหนักก่อนแช่น้ำ (g)

W_1 = น้ำหนักหลังแช่น้ำ (g)



รูปที่ 7 ลักษณะของการวางขึ้นทดสอบ อัตราส่วน ก) 100:0 ข) 75:25 ค) 50:50 และ ง) 25:75 กรัม (ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ)

2.5.2 การพองตัวของวัสดุทำกระดาษ ดัดแปลงจาก Kaewmanee [8] โดยทำขึ้นตัวอย่างทดสอบที่มีขนาด 5 x 5 เซนติเมตร ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ แล้ววัดความหนาของชิ้นตัวอย่างบริเวณด้านข้างทั้ง 4 ด้าน ก่อนนำไปแช่น้ำ วางขึ้นทดสอบให้อยู่ในระนาบเดียวกับผิวน้ำ มีระยะห่างจากกันพอสมควร (รูปที่ 7) เมื่อครบ 1 ชั่วโมง นำชิ้นตัวอย่างขึ้นมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าสะอาด แล้วปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง โดยวางขึ้นทดสอบบนวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำชิ้นตัวอย่างมาวัดความหนาตามตำแหน่งเดิมเป็นความหนาหลังแช่น้ำ และคำนวณร้อยละการพองตัวจากสมการที่ (2)

$$\text{การพองตัว (\%)} = \frac{B - A}{A} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่

A = ความหนา ก่อนแช่น้ำ (mm)

B = ความหนา หลังแช่น้ำ (mm)

2.5.3 วิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุทั้งหมดด้วยวิธีการเผา โดยนำตัวอย่างกระดาษประมาณ 5 กรัม ชุดการทดลอง

ละ 3 ซ้ำ อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่าง (น้ำหนักก่อนเผา) จากนั้นนำตัวอย่างใส่ Crucible ไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักหลังเผา จากนั้นคำนวณหาค่า Total organic matter [11] จากสมการที่ (3)

$$\text{TOM (\%)} = \frac{A - B}{A} \times 100 \quad (3)$$

โดยที่

A = น้ำหนักก่อนเผา (g)

B = น้ำหนักหลังเผา (g)

2.5.4 วิเคราะห์ความหนาแน่นของกระดาษ โดยชั่งน้ำหนักกระดาษทั้ง 4 ชุดการทดลอง และวัดขนาดกระดาษเพื่อคำนวณปริมาตร แล้วคำนวณหาความหนาแน่น [7] จากสมการที่ (4) และ (5) ตามลำดับ

$$\text{ปริมาตร (cm}^3\text{)} = \pi r^2 h (\text{วงนอก}) - \pi r^2 h (\text{วงใน}) \quad (4)$$

โดยที่

r = รัศมีกระดาษ (cm)

h = ความสูงกระดาษ (cm)

$$\text{ความหนาแน่น (g/cm}^3\text{)} = \frac{w}{v} \quad (5)$$

โดยที่

w = น้ำหนักกระดาษ (g)

v = ปริมาตรกระดาษ (cm³)

2.5.5 ทดสอบการต้านทานแรงเงาของกระดาษ โดยนำกระดาษทั้ง 4 ชุดการทดลองมาทดสอบการต้านทานแรงเงาด้วยเครื่อง Texture analyzer ยี่ห้อ Stable micro systems รุ่น TA.XT.plus ประเทศ UK ใช้หัวเจาะที่มีลักษณะเป็นแท่งตรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ทำการเจาะทั้งหมด 4 ด้าน ได้แก่ ด้านกันกระดาษ 1 จุด และด้านข้างกระดาษ 3 จุด โดยหัวเจาะมีความเร็วขณะกด 1 มิลลิเมตรต่อวินาที และใช้ระยะทาง 20 มิลลิเมตร ในการเจาะวัสดุจนทะลุ ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 การทดสอบการต้านทานแรงเฉาะด้วยเครื่อง Texture analyzer

2.5.6 ทดสอบการย่อยสลายของกระถาง โดยชั่งดินเพาะปลูก 60 กรัม ใส่ลงไปในกระถาง ชุดการทดลองละ 3 ซ้ำ เกลี่ยให้เรียบเสมอกันแต่ไม่ต้องกด ใสเมล็ดผักสลัด 5 เมล็ด จากนั้นชั่งดินใส่กระถาง อีก 10 กรัม เป็นการกลบเมล็ด รดน้ำครั้งละ 30 มิลลิลิตร ทุกวัน เข้า-เย็น เป็นเวลา 14 วัน โดยสังเกตลักษณะการงอกของเมล็ดผักสลัดและการเปลี่ยนแปลงของกระถางทุกวัน เช่น การเกิดเชื้อรา และการย่อยสลายของกระถาง

2.6 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติ

นำข้อมูล ได้แก่ การดูดซับน้ำ การพองตัว ปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด ความหนาแน่น และการต้านทานแรงเฉาะ ไปวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) โดยโปรแกรม SPSS version 26 และเปรียบเทียบความแตกต่าง

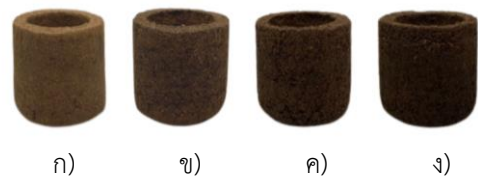
ตารางที่ 2 ลักษณะทางเคมีของวัตถุดิบ

วัตถุดิบ	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง	สารอินทรีย์รวม (%)	ไนโตรเจน (%)	ฟอสฟอรัส (%)	โพแทสเซียม (%)
ใบไม้แห้ง	519.67 \pm 1.53	5.69 \pm 0.03	80.46 \pm 0.34	1.2	0.2	0.4
มูลวัว	2016.67 \pm 5.77	9.1 \pm 0.01	69.53 \pm 1.26	1.9	1.3	1.6
เกณฑ์มาตรฐาน**	> 5.5	ไม่มี	> 20	> 1.0	> 0.5	> 0.5

3.2 คุณสมบัติของกระถาง

จากการทดลองขึ้นรูปกระถางพบว่ากระถางจากใบไม้แห้งและมูลวัวสามารถขึ้นรูปได้ทุกชุดการทดลอง โดยชุดการทดลอง ค) ซึ่งมีใบไม้แห้งและมูลวัวอัตราส่วน 50:50 กรัม ขึ้นรูปได้ดีที่สุด

โดยชุดการทดลองที่มีมูลวัวผสมมากจะมีสีเข้ม มีผิวขรุขระ และมีรอยร้าวมากกว่าอัตราส่วนที่มีมูลวัวน้อย ส่วนชุดการทดลองที่มีใบไม้เป็นส่วนผสมหลักจะมีสีน้ำตาลอ่อน พื้นผิวเรียบ และไม่มีรอยร้าว แสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 กระถางจากใบไม้แห้งและมูลวัว อัตราส่วน ก) 100:0 ข) 75:25 ค) 50:50 และ ง) 25:75 กรัม

โดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ผลการวิจัย และอภิปรายผลการวิจัย

3.1 ลักษณะทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ทำกระถาง

ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของวัตถุดิบพบว่า มูลวัว มีค่าการนำไฟฟ้า ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณสารอินทรีย์รวม ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนดโดยกรมวิชาการเกษตร [12] ซึ่งจากการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีพบว่ามูลวัวเป็นวัตถุดิบที่มีความเหมาะสมสำหรับนำมาผลิตเป็นกระถางเช่นเดียวกับใบไม้แห้งที่พบว่ามีการนำไฟฟ้า ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณสารอินทรีย์รวม ไนโตรเจน เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ มีเพียงค่าฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เท่านั้นที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ดังที่แสดงในตารางที่ 2 ทั้งนี้หากพิจารณาใบไม้แห้งมาผสมกับมูลวัวในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะทำให้กระถางมีค่าฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กรมวิชาการเกษตรกำหนดได้ ซึ่งผลการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของวัตถุดิบทั้งสองชนิดนี้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่มีประโยชน์ต่อการออกแบบส่วนผสมจากวัตถุดิบในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช เนื่องจากพืชแต่ละชนิดจะมีความต้องการธาตุอาหาร และค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่แตกต่างกันไป เหมาะสำหรับพืชทุกชนิดในระยะเพาะชำ

ผลการทดสอบการดูดซับน้ำ และการพองตัวของ กระจกทั้ง 4 ชุดการทดลอง พบว่าชุดการทดลอง ง) ซึ่งมี ใโป้ไม้แห้งและมูลวัว อัตราส่วน 25:75 กรัม มีค่าการดูดซับ น้ำ และการพองตัว มากที่สุด เท่ากับ 215.12 ± 24.07 % และ 21.29 ± 6.17 % ตามลำดับ (ตารางที่ 3) เป็นผลมาจาก การมีปริมาณมูลวัวมากกว่าชุดการทดลองอื่น โดยมูลวัวมี ขนาดอนุภาคเล็กจึงมีพื้นที่ผิวและปริมาณช่องว่างระหว่าง อนุภาคมากทำให้น้ำแทรกเข้าไปในช่องว่างได้มากจึงดูดซับ น้ำได้ดี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhang *et al.* [10] ที่ พบว่าสภาพปะที่มาจากมูลวัว มีค่าการดูดซับน้ำ 476 % ซึ่ง การดูดซับน้ำของกระจกมีผลทำให้ช่องว่างระหว่างพื้นผิว ของวัสดุขยายตัวมากขึ้น ซึ่งส่งผลต่อการพองตัวของวัสดุ มากขึ้นด้วย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kaewmanee [8] ที่ พบว่ากระจกต้นไม้จากกากตะกอนโรงงานยางพารา วัสดุ เหลือทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด และทะเลสาบปาล์ม มีการพองตัว เพิ่มขึ้นตามปริมาณการใช้อัตราส่วนผสมของวัสดุเหลือ ทิ้งจากก้อนเชื้อเห็ด จนทำให้เกิดช่องว่างให้น้ำแทรกเข้าไป อยู่ในชิ้นส่วนของกระจกได้มากจนเกิดการดันตัวของวัสดุ ออกมามากทำให้เกิดการพองตัวมากที่สุด สังเกตได้ว่าค่า การพองตัวมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับค่าการดูด ซับน้ำ โดยกระจกที่มีค่าการดูดซับน้ำในปริมาณมากจะมีผล ต่อการกักเก็บน้ำทำให้ประหยัดน้ำที่ใช้ในการรดน้ำให้แก่พืช ที่ปลูกในกระจกได้

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์รวมของกระจกทั้ง 4 ชุดการทดลอง พบว่าสารอินทรีย์รวมของกระจกทุกชุด การทดลองเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ที่กำหนด

โดยกรมวิชาการเกษตร [12] ที่กำหนดไว้ว่าปุ๋ยอินทรีย์ที่ เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชจะต้องมีปริมาณ สารอินทรีย์รวมไม่น้อยกว่า 20 % โดยชุดการทดลอง ก) ซึ่ง เป็นกระจกที่ทำจากใโป้ไม้แห้งโดยไม่มีมูลวัวเป็นส่วนผสม มี ปริมาณสารอินทรีย์รวมมากที่สุด เท่ากับ 85.80 ± 0.06 % (ตารางที่ 3) เป็นผลมาจากชุดการทดลอง ก) มีส่วนผสมของ ใโป้ไม้แห้งเป็นหลักจึงส่งผลให้มีปริมาณสารอินทรีย์รวมมาก สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์รวมใน วัสดุดิบ (ตารางที่ 2) โดยสารอินทรีย์มีส่วนช่วยในการเกาะ ตัวของอนุภาคดิน เกิดเป็นโครงสร้างของดินที่ดีและคงทนซึ่ง ทำให้ดินนั้นมีความสามารถในการอุ้มน้ำและการถ่ายเท อากาศดี รวมทั้งช่วยดูดยึดธาตุอาหารไม่ให้สูญเสียไปจากดิน ได้โดยง่าย เมื่อเกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์จะได้ สารที่เรียกว่า ฮิวมัสซึ่งเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้าง ซับซ้อนคงทนต่อการสลายตัวสูงจึงสลายตัวได้ช้ามาก มีสี น้ำตาลเข้มถึงดำ ประกอบด้วยธาตุอาหารหลายชนิดที่สำคัญ ต่อการเจริญเติบโตของพืชสารอินทรีย์ในดินเป็นสิ่งบ่งชี้ คุณภาพดินที่สำคัญ ซึ่งมีผลต่อโครงสร้างดินและมีความสำคัญ ต่อการเคลื่อนย้ายธาตุอาหาร การซึมผ่านของน้ำและการกักเก็บ น้ำในดิน [13]

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า การดูดซับน้ำ ของกระจกแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าค่าการพองตัว และปริมาณ สารอินทรีย์รวมของกระจกมีความแตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของกระจกจากใโป้ไม้แห้งและมูลวัว

ใโป้ไม้แห้ง : มูลวัว	การดูดซับน้ำ (%)	การพองตัว (%)	สารอินทรีย์รวม (%)
100 : 0	$197.5^a \pm 6.23$	$3.66^c \pm 1.36$	$85.80^a \pm 0.06$
75 : 25	$179.43^a \pm 34.16$	$7.89^{bc} \pm 0.29$	$82.67^b \pm 1.42$
50 : 50	$185.54^a \pm 9.49$	$11.71^b \pm 4.52$	$80.57^b \pm 0.83$
25 : 75	$215.12^a \pm 24.07$	$21.29^a \pm 6.17$	$75.77^c \pm 1.80$

**ค่าเฉลี่ยที่คล้ายกันที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกัน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยสถิติ DMRT

ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นและวัดการต้านทานแรง เจาะของกระจกทั้ง 4 ชุดการทดลอง พบว่าชุดการทดลอง ก) ซึ่งเป็นกระจกที่ทำจากใโป้ไม้แห้งโดยไม่มีมูลวัวเป็น ส่วนผสม มีความหนาแน่นและค่าการต้านทานแรงเจาะมาก ที่สุด เท่ากับ 5.21 ± 2.28 g/cm³ และ 68.92 ± 4.39 N ตามลำดับ (ตารางที่ 4) เนื่องจากใโป้ไม้แห้งมีส่วนช่วยในการ

เพิ่มความแข็งแรงของกระจกได้ โดยกระจกที่มีค่าการ ต้านทานแรงเจาะมากจะมีความแข็งแรงและทนทาน

ซึ่งจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของกระจกทำให้เห็นว่า กระจกจากใโป้ไม้แห้งและมูลวัวมีความเหมาะสมต่อการ เจริญเติบโตของพืชและสามารถนำมาขึ้นรูปเป็นกระจกได้

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า ความหนาแน่น ของกระจกแต่ละชุดการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่าง

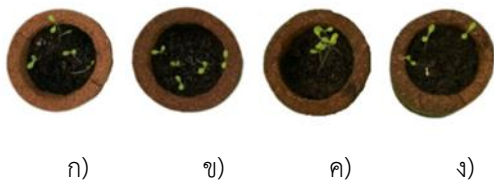
มีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าการต้านทานแรงเฉาะของ
กระถางมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ
ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ความหนาแน่นและการต้านทานแรงเฉาะของ
กระถางจากใบไม้แห้งและมูลวัว

ใบไม้แห้ง : มูลวัว	ความหนาแน่น (g/cm ³)	การต้านทานแรงเฉาะ (N)
100 : 0	5.21 ^a ±2.28	68.92 ^a ±4.39
75 : 25	3.68 ^a ±1.15	58.52 ^b ±5.59
50 : 50	2.92 ^a ±0.43	48.37 ^c ±2.79
25 : 75	3.00 ^a ±0.29	53.7 ^{bc} ±4.23

**ค่าเฉลี่ยที่คล้ายกันที่ตามด้วยอักษรภาษาอังกฤษเหมือนกัน
หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยสถิติ
DMRT

ผลการศึกษาการย่อยสลายของกระถางที่ทำการปลูกผัก
สลัดเป็นเวลา 14 วัน พบว่าในวันที่ 3 ต้นกล้าผักสลัดขึ้นโผล่
พื้นดินเพาะปลูกในทุกชุดการทดลอง ดังรูปที่ 10 และพบว่า
กระถางทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มการย่อยสลายตาม
ระยะเวลา โดยมีการแตกร้าว พองตัวมากขึ้น และพบเชื้อรา
ใบไม้สีขาวขึ้นบริเวณด้านข้างกระถาง สอดคล้องกับงานวิจัย
ของ Chaichan *et al.* [6] Kaewmanee [8] และ
Sanguansuk [14] และพบว่าผักสลัดมีแนวโน้มเจริญเติบโต
ขึ้นตามระยะเวลาการปลูกจนถึงวันที่ 14 ของการทดลอง
และจากการสังเกตไม่พบความแตกต่างในการเจริญเติบโต
ของผักสลัดในแต่ละชุดการทดลองเนื่องจากผักสลัด
เจริญเติบโตอยู่ในระยะกล้า แสดงให้เห็นว่ากระถางจาก
ใบไม้แห้งและมูลวัวทุกอัตราส่วนสามารถใช้ในการเพาะชำ
ต้นกล้าสลัดก่อนลงแปลงปลูกจริงได้ ซึ่งเหมาะสำหรับใช้
ทดแทนการใช้ถุงเพาะชำพลาสติก



รูปที่ 10 การย่อยสลายของกระถางจากใบไม้แห้งและมูลวัว
อัตราส่วน ก) 100:0 ข) 75:25 ค) 50:50 และ ง) 25:75
กรัม ที่ระยะเวลา 3 วัน

4. สรุปผลการวิจัย

กระถางย่อยสลายได้จากใบไม้แห้งและมูลวัวเป็น
ทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยสามารถขึ้นรูป

กระถางได้ทุกชุดการทดลอง เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของ
กระถาง ได้แก่ การดูดซับน้ำ การพองตัว ความหนาแน่น
การต้านทานแรงเฉาะ และการย่อยสลายของกระถาง
ร่วมกับลักษณะทางเคมีของใบไม้แห้งและมูลวัว ได้แก่ ค่า
การนำไฟฟ้า ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณสารอินทรีย์รวม
ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เทียบกับเกณฑ์
มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พบว่าชุดการทดลอง ค) ซึ่งเป็นกระถาง
จากใบไม้แห้งและมูลวัว ในอัตราส่วน 50:50 กรัม ขึ้นรูปได้ดี
ที่สุด และมีคุณสมบัติทางกายภาพเหมาะสมต่อการนำมาใช้
ในการเพาะชำต้นกล้าสลัดก่อนลงแปลงปลูกจริงทดแทนการ
ใช้ถุงเพาะชำพลาสติก และมีแนวโน้มช่วยเพิ่มธาตุ NPK ซึ่ง
เป็นธาตุอาหารหลักของพืชซึ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโตใน
ระยะการเจริญเติบโตทางต้นและใบ กระถางต้นไม้อย่อย
สลายได้จากใบไม้แห้งร่วมกับมูลวัวมีความเหมาะสมสำหรับ
ใช้แทนภาชนะปลูกแบบเดิม ช่วยส่งเสริมการทำเกษตรแบบ
ยั่งยืนและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏ
เทพสตรี โครงการบริการวิชาการเพื่อการพัฒนาท้องถิ่น
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 ในโครงการพัฒนา
สิ่งแวดล้อมในชุมชนสามบุรี รหัสโครงการ DE02

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] J.R. Jambeck, R. Geyer, C. Wilcox, T.R. Siegler, M. Perryman, A. Andrady, R. Narayan and K.L. Law, "Plastic waste inputs from land into the ocean," *Journal of Science*, vol. 347, no. 6233, pp. 768–771, 19. January, 2019.
- [2] P. D. Postemsky, P.A. Marinangeli and N.R. Curvetto, "Recycling of residual substrate from *Ganoderma lucidum* mushroom cultivation as biodegradable containers for horticultural seedlings," *Journal of Scientia Horticulturae*, vol. 201, pp. 329–337, 7. February, 2016.
- [3] E. Schettini, G. Santagata, M. Malinconico, B. Immirzi, G. S. Mugnozza and G. Vox, "Recycled wastes of tomato and hemp fibres for biodegradable pots: Physico-chemical characterization and field performance," *Journal of Resources, Conservation and Recycling*, vol. 70, pp. 9–19, 2. November, 2012.

- [4] S.N.A.M. Rafee, Y.L. Lee, M.R. Jamalludin, N.A. Razak, N.L. Makhtar and R.L. Ismail, "Effect of different ratios of biomaterials to banana peels on the weight loss of biodegradable pots," *Journal of Acta Technologica Agriculturae*, vol. 22, no. 1, pp. 1-4, DOI: 10.2478/ata-2019-0001.
- [5] N. Tanpaiboonkul, T. Budnumpetch, K. Sukaranandara and P. Phothilangka, "Biodegradable pots from water hyacinth using cassava starch and cassava pulp as binder," *Journal of Huachiew Chalermprakiet Science and Technology*, vol. 8, no. 1, 23. May, 2022 (in Thai).
- [6] W. Chaichan, A. Sawain and W. Chaichan, "Plant nutrients and biodegradable period of biological plant pot," *Journal of Wichcha*, vol. 37, pp. 12-26, June-August, 2019 (in Thai).
- [7] J.D. Jaya, M. Elma, S. Sunardi and A. Nugroho, "Physical and mechanical properties of biodegradable pot derived from oil palm empty fruit bunch and sodium alginate," *Journal of Brazilian Archives of Biology and technology*, vol. 65, <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2022210789>, 9. May, 2022.
- [8] J. Kaewmanee, "The production of biodegradable flowerpot from sludge of rubber factory with waste from mushroom culture and palm bunches," *Journal of Scientific and Technological Reports*, vol. 24, no. 1, pp. 84-93. January - April 2021 (in Thai).
- [9] T. Piyang, W. Chaichan and K. Sagulsawasdiapan, "Environment-friendly plant pot production from palm oil sludge and mushroom cultured waste," *Journal of Rajamangala University of Technology Srivijaya Research*, vol. 10, no. 3, pp. 497-511, 2018 (in Thai).
- [10] X. Zhang, C. Wang and Y. Chen, "Properties of selected biodegradable seedling plug-trays," *Journal of Scientia Horticulturae*, vol. 249, pp. 177-184, 2. February, 2019.
- [11] P. Sanguansuk, "Development of molded-pulp pot packaging from palm oil sludge and activated sludge cake for plant seedlings," M.S. thesis, Kasetsart University, Bangkok, 2009 (in Thai).
- [12] K. Nusong, S. Chiayvareesajja and S. Pradit, "Total organic matter and sulfide contents in bottom sediments in U-Taphao Canal," in *Proceeding of 52nd Kasetsart University Conference , Bangkok Thailand*, February. 4-7, 2014, pp.35-46 (in Thai).
- [13] N. Santasup, P. Theanjumol, C. Santasup, S. Kittiwachana, N. Mawan, L. Prantong and N. Khongdee, "Development of near-infrared spectroscopy (NIRS) for estimating organic matter, total carbon, and total nitrogen in agricultural soil," *Journal of MethodsX*, vol. 13, pp. 1-6, 15. June, 2024.
- [14] Department of Agriculture. Organic fertilizer standards. [Online]. (2014). [Cited March 2, 2023]. Available: <https://www.doa.go.th/ard/wp-content/uploads/2019/11/FEDO11.pdf> (in Thai).

การพัฒนาระบบแสดงผลโหลดทางไฟฟ้าโดยใช้โครงข่ายชื่อข้อมูล และเทคโนโลยีไอโอที

Development of an Electrical Load Monitoring System using Named Data Networking and IoT Technology

ศศิธรมย์ พานทอง*, เอกอรรณพ ภูพันทนา และ วิทวัส วิเศษฤทธิ์

Sasirom Pantong*, Aekoannop Phuphanna and Wittawus Visedrit

สังกัดภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University

*Email: sasirom.pa@buu.ac.th

Received: September 05, 2024; Revised: November 14, 2024; Accepted: November 15, 2024

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาระบบแสดงผลโหลดทางไฟฟ้าโดยใช้โครงข่ายชื่อข้อมูลร่วมกับเทคโนโลยีไอโอที โดยระบบประกอบด้วยบอร์ดต้นทางที่ทำการวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าต่าง ๆ เช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และอุณหภูมิ จากนั้นส่งข้อมูลไปยังบอร์ดปลายทางเพื่อจัดเก็บข้อมูลลงใน Google Sheets ทำให้สามารถเรียกดูข้อมูลย้อนหลังได้อย่างสะดวกและมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ระบบยังมีการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน LINE Notify เพื่อเตือนผู้ใช้เมื่อค่าพารามิเตอร์ไฟฟ้าหรืออุณหภูมิในระบบมีความผิดปกติ การทดลองดำเนินการในห้องปฏิบัติการ EE209 ของมหาวิทยาลัยบูรพา โดยติดตั้งระบบในตู้โหลดเซ็นเตอร์ระหว่างวันที่ 29 มีนาคม ถึง 1 เมษายน 2567 ผลการทดสอบพบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของพารามิเตอร์ไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าไม่เกิน 5% และการจัดเก็บข้อมูลทุก ๆ 5 นาทีทำให้สามารถส่งข้อมูลได้ครบถ้วนและถูกต้องผ่านโครงข่ายชื่อข้อมูล ซึ่งคาดว่าจะมีบทบาทสำคัญในสถาปัตยกรรมการสื่อสารในอนาคต

คำสำคัญ : โครงข่ายชื่อข้อมูล, ผลโหลดทางไฟฟ้า, อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

Abstract

This paper presents the development of an electrical load monitoring system utilizing Named Data Networking (NDN) in conjunction with Internet of Things (IoT) technology. The system comprises a source board that measures electrical parameters such as voltage, current, and temperature, and then transmits this data to a destination board for storage in Google Sheets. This setup enables convenient and efficient access to historical data. Additionally, the system includes a notification mechanism via the LINE Notify application to alert users when there are abnormalities in electrical parameters or temperature within the system. The experiment was conducted in the EE209 laboratory at Burapha University, where the system was installed in a load center cabinet from March 29 to April 1, 2024. The results indicate that the measurement error for electrical parameters did not exceed 5%. Data collected every five minutes was successfully and accurately transmitted through the NDN network, highlighting the potential role of NDN in future communication architectures.

Keywords : Name data networking, Electrical Load Monitoring, Internet of things

1. บทนำ

การใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญสำหรับการดำเนินชีวิตประจำวันของมนุษย์ในทุกๆด้าน ทำให้โลกมีแนวโน้มการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ ทั้งภาคอุตสาหกรรมและครัวเรือน อย่างไรก็ตามกำลังการผลิตไฟฟ้าในอนาคตอาจจะไม่สามารถตอบสนองความต้องการได้อย่างเพียงพอ ปัจจุบันจึงเกิดแนวคิดเกี่ยวกับการจัดการพลังงานไฟฟ้า และการลดการใช้พลังงานทดแทน ซึ่งการจัดการพลังงานไฟฟ้าจะสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดก็ต่อเมื่อทราบถึงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อน คณะผู้วิจัยจึงได้แนวคิดพัฒนาระบบแสดงผลโหลดทางไฟฟ้าโดยใช้เทคโนโลยีไอโอที ซึ่งต้องมีข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและสามารถจัดเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละเดือนไว้ในฐานข้อมูลซึ่งสามารถตรวจสอบข้อมูลต่างๆ ย้อนหลังได้หากเกิดเหตุการณ์ผิดปกติขึ้น โดยระบบจะทำงานร่วมกับอุปกรณ์ต่างๆ เชื่อมโยงกันได้โดยการสื่อสารข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) หรือเทคโนโลยีไอโอที เพื่อควบคุมการรับ-ส่งข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า สำหรับงานวิจัยที่ผ่านมา โครงข่ายอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งในปัจจุบันจะใช้การติดต่อสื่อสารแบบ TCP/IP ซึ่งยังมีประสิทธิภาพที่ไม่ดีมาก เนื่องจากมีเวลาประวิงที่เกิดจากปัญหาคอขวดของศูนย์กลางการควบคุม และเมื่อพิจารณาในมุมมองของผู้ใช้งานที่มุ่งเน้นไปที่เนื้อหาของข้อมูลที่ต้องการ โดยไม่จำเป็นต้องสนใจว่าข้อมูลที่ต้องการมาจากที่ใด หรือที่อยู่ไอพีของแหล่งข้อมูลใด รวมถึงการร้องขอข้อมูลโดยไม่ต้องระบุที่อยู่ไอพีปลายทาง กล่าวคือ ถ้าอุปกรณ์ใดที่มีชื่อข้อมูลที่ผู้ร้องขอต้องการ อุปกรณ์นั้นสามารถส่งต่อข้อมูลกลับไปยังผู้ร้องขอได้ทันที จากปัญหาดังกล่าว ทำให้สถาปัตยกรรมชื่อข้อมูล หรือ โครงข่ายชื่อข้อมูล (Named data networking :NDN) [1, 2] ได้รับการเสนอขึ้นใหม่สำหรับอินเทอร์เน็ตในอนาคต (future internet) ซึ่งมุ่งเน้นการให้บริการข้อมูล ตามที่ผู้ร้องขอต้องการ เริ่มแรกงานวิจัยเกี่ยวกับโครงข่ายชื่อข้อมูลจะให้ความสนใจกับการเพิ่มประสิทธิภาพของการออกแบบโครงสร้างข้อมูล และกลไกเส้นทางในโครงข่ายของอินเทอร์เน็ต (Internet network) โดยใช้กับโครงสร้างระบบที่ไม่มีการเคลื่อนที่ [3]

งานวิจัยที่ [4] ได้นำเสนอการพัฒนาโครงข่ายชื่อข้อมูลร่วมกับเทคโนโลยีไอโอทีในทางปฏิบัติ ซึ่งมีแนวโน้มที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการข้อมูลโดยเน้นไปที่การสื่อสารโดยอิงตามชื่อข้อมูล ทำให้การรับส่งข้อมูลทำได้รวดเร็วและปลอดภัยมากขึ้น ซึ่งสามารถนำแนวคิดนี้มาใช้งานกับระบบแสดงผลโหลดทางไฟฟ้าได้ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้

คือการพัฒนาแบบแสดงผลโหลดทางไฟฟ้าโดยใช้โครงข่ายชื่อร่วมกับเทคโนโลยีไอโอที เพื่อให้ผู้ใช้สามารถติดตามปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและสะดวกมากขึ้น โดยสามารถตรวจสอบข้อมูลย้อนหลังได้ผ่าน Google Sheets นอกจากนี้ยังมีการแจ้งเตือนผ่าน LINE Notify เมื่อเกิดความผิดปกติของแรงดันไฟฟ้าหรืออุณหภูมิภายในภายในตู้โหลดเซ็นเตอร์ ซึ่งเป็นตัวสำหรับควบคุมและตรวจสอบโหลดไฟฟ้าของระบบ เพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงข่ายนี้ จะเห็นว่าระบบการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าจะใช้เซ็นเซอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่เหมือนกัน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย	บอร์ด	เซ็นเซอร์
อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งของการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าและบันทึกข้อมูลการใช้พลังงาน [5]	Node MCU Devkit ESP8266	PZEM 004T
ระบบติดตามประมวลผลการทำงานของตู้ควบคุมไฟฟ้าหลัก [6]	Node MCU Devkit ESP8266	PZEM 004T, DHT22
ระบบตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าผ่านเครือข่าย IPv6 แบบไร้สาย [7]	SensorTag 2650stk	PZEM 004T
ระบบบันทึกข้อมูลความปลอดภัยทางไฟฟ้าของห้องปฏิบัติการเคมี [8]	Node MCU ESP32S	PZEM 004T, DHT22

งานวิจัยจึงเลือกใช้อุปกรณ์และเซ็นเซอร์ดังกล่าวเพื่อสร้างระบบแสดงผลโหลดทางไฟฟ้าโดยพิจารณา ดังนี้

2.1 ความแม่นยำในการวัดพารามิเตอร์ไฟฟ้า

อุปกรณ์และเซ็นเซอร์ที่ใช้ในงานวิจัยที่ผ่านมา เช่น เซ็นเซอร์วัดแรงดัน กระแสไฟฟ้า และอุณหภูมิ ได้รับการพัฒนาให้มีความแม่นยำสูงและสามารถวัดค่าพารามิเตอร์ได้อย่างละเอียด จึงทำให้เหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการติดตามและตรวจสอบข้อมูลพลังงานไฟฟ้าในระบบเรียลไทม์ได้

2.2 การเชื่อมต่อที่รองรับเทคโนโลยีไอโอที

อุปกรณ์ควบคุมและเซ็นเซอร์ในงานวิจัยส่วนใหญ่ได้รับการออกแบบให้รองรับการเชื่อมต่อผ่านอินเทอร์เน็ตหรือโครงข่ายไอโอที ทำให้สามารถรับส่งข้อมูลได้อย่างต่อเนื่องเหมาะสำหรับการนำข้อมูลไปประมวลผลและแสดงผลผ่านแพลตฟอร์มต่าง ๆ เช่น ระบบคลาวด์หรือแอปพลิเคชัน ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สอดคล้องกับการใช้งานในโครงข่ายชื่อข้อมูลของงานวิจัยนี้

2.3 ความยืดหยุ่นในการปรับใช้งาน

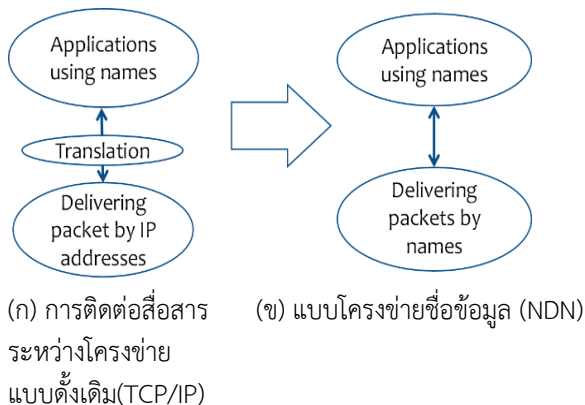
เซ็นเซอร์เหล่านี้มักถูกออกแบบให้สามารถติดตั้งและปรับเปลี่ยนการใช้งานได้ตามสภาพแวดล้อมต่าง ๆ เช่น ตู้โหลดเซ็นเตอร์หรือสถานที่ที่มีการควบคุมการใช้พลังงาน ซึ่งทำให้อุปกรณ์มีความยืดหยุ่นในการติดตั้งและการปรับขนาดของระบบตามความต้องการ

ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้นำเสนอโครงข่ายชื่อข้อมูลและเทคโนโลยีไอโอทีมาใช้ในการแสดงผลโหลดทางไฟฟ้าผ่านบอร์ด Raspberry Pi ที่ติดตั้งโปรแกรมเอ็นดีเอ็นเอ็มเพื่อทดสอบการสื่อสารแบบโครงข่ายชื่อข้อมูลจำนวน 2 บอร์ด โดยมีบอร์ดต้นทางที่ต่อกับเซ็นเซอร์ PZCT-02 , PZEM 004T และ DHT22 และส่งข้อมูลไปยังบอร์ดปลายทางเพื่อเก็บข้อมูลและแจ้งเตือนเมื่อพบความผิดปกติ

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 ภาพรวมของโครงข่ายชื่อข้อมูล

สถาปัตยกรรมชื่อข้อมูล หรือ โครงข่ายชื่อข้อมูล (named data network : NDN) เป็นสถาปัตยกรรมอินเทอร์เน็ตในอนาคตที่นำมาแก้ปัญหาของสถาปัตยกรรมอินเทอร์เน็ตแบบ TCP/IP ซึ่งโครงข่ายชื่อข้อมูลมีรากฐานมาจากโครงการก่อนหน้านี้ที่มีชื่อว่า โครงข่ายเนื้อหา (content-centric networking : CCN) โดย Van Jacobson ได้นำเสนอในเดือนพฤศจิกายน 2553 และได้รับทุนจากมูลนิธิวิทยาศาสตร์แห่งชาติ (National Science Foundation - NSF) ภายใต้ชื่อโครงการ Future Internet Architecture (FIA) ที่เกิดจากแนวความคิดสถาปัตยกรรม TCP/IP ที่เน้นการเข้าถึงข้อมูลจากที่อยู่ไอพี มาเป็นการเข้าถึงข้อมูลด้วยชื่อของข้อมูล อีกทั้งโครงข่ายการสื่อสารควรเน้นให้ผู้ใช้งานเข้าถึงข้อมูลด้วยชื่อของข้อมูลแทนที่การอ้างอิงตำแหน่งทางกายภาพ หรือที่อยู่ไอพีของข้อมูล การเปรียบเทียบขั้นตอนการสื่อสารดังแสดงในรูปที่ 1



(ก) การติดต่อสื่อสารระหว่างโครงข่ายแบบดั้งเดิม (TCP/IP) (ข) แบบโครงข่ายชื่อข้อมูล (NDN) ระหว่างโครงข่ายแบบดั้งเดิม (TCP/IP)

รูปที่ 1 การติดต่อสื่อสารระหว่างโครงข่ายแบบดั้งเดิม (TCP/IP) และ แบบโครงข่ายชื่อข้อมูล (NDN)

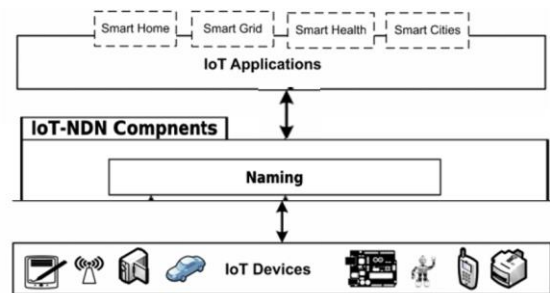
3.2 สถาปัตยกรรมของระบบ IoT-NDN

สถาปัตยกรรมของ IoT-NDN [9-10] สามารถแบ่งได้หลัก ๆ ทั้งหมด 3 องค์ประกอบ ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยมีองค์ประกอบต่อไปนี้

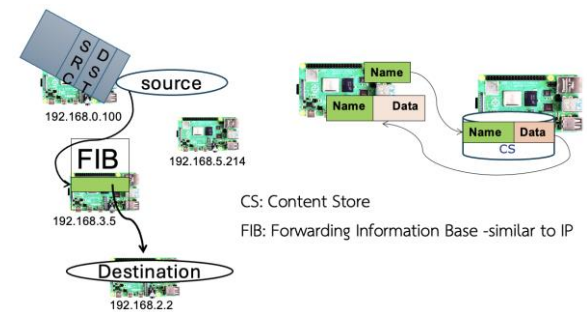
องค์ประกอบที่ 1 คือ การประยุกต์ใช้งานของ ไอโอทีที่สามารถใช้งานได้ ใน Smart Home, Smart Grid, Smart Health, Smart Cities เป็นต้น

องค์ประกอบที่ 2 คือ การสื่อสารด้วยโครงข่ายชื่อข้อมูลของอุปกรณ์

องค์ประกอบที่ 3 คือ อุปกรณ์ ไอโอที ได้แก่ กล้องวงจรปิด คอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต โทรศัพท์เคลื่อนที่ ยานพาหนะ หรือ อุปกรณ์ ต่าง ๆ ที่มีการติดตั้งการสื่อสารได้



รูปที่ 2 สถาปัตยกรรมของระบบ IoT-NDN



(ก) การติดต่อสื่อสาร (ข) แบบโครงข่ายชื่อข้อมูล (NDN) ระหว่างโครงข่ายแบบดั้งเดิม (TCP/IP)

รูปที่ 3 ขั้นตอนการติดต่อสื่อสารระหว่างโครงข่ายแบบ TCP/IP และ NDN

จากรูปที่ 3 แสดงการทำงานได้ 2 รูปแบบ โดยรูปแบบแรกคือการติดต่อสื่อสารระหว่างโครงข่ายแบบดั้งเดิมหรือแบบ TCP/IP ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน จะมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

เมื่อโหนดต้นทางต้องการติดต่อสื่อสารกับโหนดปลายทาง จะส่งแพ็กเก็ตการร้องขอออกไป โดยระบุไอพีของโหนดปลายทางที่ส่วนหัวของแพ็กเก็ต

เมื่อโนดเพื่อนบ้านได้รับแพ็กเก็ตการร้องขอแล้ว จะค้นหาที่อยู่ไอพีของโนดปลายทาง ในตาราง FIB หลังจากตรวจสอบที่อยู่ไอพีที่ส่วนหัวของแพ็กเก็ตแล้ว จะส่งต่อแพ็กเก็ตนั้นไปยังโนดปลายทาง

สำหรับรูปแบบที่สอง คือแบบโครงข่ายชื่อข้อมูล จะมีแพ็กเก็ตสองชนิด คือ แพ็กเก็ตการร้องขอ (Interest packet) และ แพ็กเก็ตข้อมูล (Data packet) เมื่อผู้ร้องขอมีความต้องการข้อมูลใด ๆ ผู้ร้องขอจะส่งแพ็กเก็ตการร้องขอออกไป หลังจากนั้น โหนดใด ๆ ที่ได้รับแพ็กเก็ตการร้องขอ จะเข้าสู่กระบวนการทำงานแบบโครงข่ายชื่อข้อมูล หากพบว่าข้อมูลตรงกับความสนใจจะตอบกลับแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังผู้ร้องขอที่ส่งแพ็กเก็ตการร้องขอมา

3.2 โปรแกรมจำลองโครงข่ายเอ็นดีเอ็นซีเอ็ม (ndnSim)

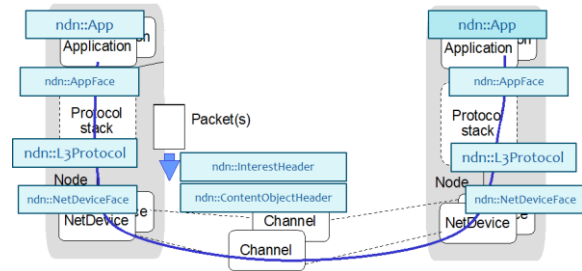
โปรแกรมจำลองโครงข่ายเอ็นดีเอ็นซีเอ็ม (ndnSim) [11] เป็นโมดูลส่วนเสริมของโปรแกรม NS-3 ที่มีการใช้สถาปัตยกรรมการสื่อสารระบบแบบโครงข่ายชื่อข้อมูล ทำให้โปรแกรมเอ็นดีเอ็นซีเอ็ม สามารถใช้งานร่วมกับกับรูปแบบโพรโทคอลชั้นเชื่อมโยง (point-to-point CSMA wireless) ชั้นโครงข่าย (IPv4/IPv6) และชั้นขนส่ง (TCP/UDP) ในโปรแกรม NS-3 อย่างไรก็ตามการจำลองจะดำเนินการในรูปแบบโมดูล (module) โดยใช้คลาส C++ แยกต่างหากเพื่อจำลองพฤติกรรมของแต่ละเอนทิตีของโครงข่ายชื่อข้อมูล (PIT FIB CS) และส่วนต่อประสานสำหรับโครงข่ายเป็นต้น โครงสร้างแบบแยกส่วนนี้ช่วยให้เอนทิตีใด ๆ สามารถปรับเปลี่ยนหรือเปลี่ยนได้โดยง่ายโดยไม่มีผลกระทบใด ๆ นอกจากนี้ชุดคำสั่งโปรแกรมต่าง ๆ ยังมีชุดของส่วนต่อประสาน

จากส่วนประกอบที่เพิ่มเข้าสามารถแสดงเพิ่มเติมจากรูปที่ 4 แสดงรูปแบบจำลองโครงสร้างของโปรแกรมเอ็นเอส-3 โดยโมดูลที่เพิ่ม อีกทั้งสามารถใช้โปรแกรมเอ็นดีเอ็นซีเอ็มบนบอร์ด Raspberry Pi [12]

องค์ประกอบที่แสดงเพิ่มเติมของโปรแกรมเอ็นดีเอ็นซีเอ็มได้แก่

- ndn::L3Protocol: เป็นองค์ประกอบหลักของโปรแกรม สำหรับโพรโทคอลของแพ็กเก็ตการร้องขอและแพ็กเก็ตข้อมูล จากเลเยอร์บนสู่เลเยอร์ล่างผ่าน ndn::Face
- ndn::Face: เป็นส่วนต่อประสาน เพื่อใช้การสื่อสารระหว่างโปรแกรมประยุกต์และส่วนประกอบอื่น ๆ
- ndn::ContentStore: เป็นที่จัดเก็บข้อมูล
- ndn::Pit: เป็นตารางสำหรับจัดเก็บแพ็กเก็ตการร้องขอที่รอการตอบกลับ
- ndn::Fib: เป็นตารางสำหรับจัดเก็บส่วนต่อประสานขาออกของการส่งต่อแพ็กเก็ตการร้องขอ

- ndn::ForwardingStrategy: เป็นขั้นตอนของการส่งต่อข้อมูลในโครงข่ายชื่อข้อมูล



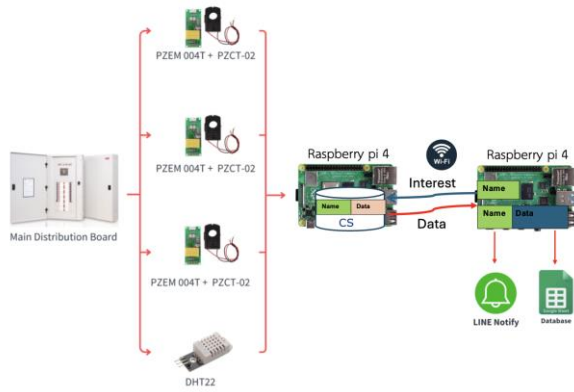
รูปที่ 4 รูปแบบจำลองของโปรแกรมเอ็นดีเอ็นซีเอ็ม โดยเพิ่มเติมจากโปรแกรมเอ็นเอส-3

3.3 โปรแกรมเอ็นดีเอ็นซีเอ็มบนบอร์ด Raspberry Pi [12]

การติดตั้งโปรแกรมเอ็นดีเอ็นซีเอ็มบนบอร์ด Raspberry Pi ช่วยให้สามารถจำลองการทำงานของแบบโครงข่ายชื่อข้อมูลในสภาพแวดล้อมจริงที่มีทรัพยากรจำกัด เนื่องจากบอร์ด Raspberry Pi เป็นอุปกรณ์ขนาดเล็กที่มีราคาย่อมเยา และสามารถเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ต่าง ๆ ได้ ทำให้เหมาะสำหรับการทดลองระบบเทคโนโลยีไอโอทีและการสื่อสารผ่านโครงข่ายชื่อข้อมูลซึ่งต้องการการประมวลผลข้อมูลแบบจำกัด และการส่งข้อมูลในพื้นที่จำกัด ด้วยการใช้งานโปรแกรมเอ็นดีเอ็นซีเอ็มบน Raspberry Pi งานวิจัยนี้สามารถทดสอบการส่งข้อมูลระหว่างบอร์ดต้นทางและปลายทาง และจำลองการใช้งานในสภาพแวดล้อมจริง โดยการตั้งค่าให้บอร์ด Raspberry Pi ทำหน้าที่เป็นจุดรับส่งข้อมูล (node) ในโครงข่ายชื่อข้อมูลได้ หลังจากติดตั้งโปรแกรมเอ็นดีเอ็นซีเอ็มบนบอร์ด Raspberry Pi สมบูรณ์แล้ว สามารถเขียนโปรแกรมจำลองการสื่อสารโครงข่ายชื่อข้อมูล ได้โดยใช้ภาษา C++ และ ภาษา Python จากตัวอย่างโค้ดจำลองสามารถทำการสร้างโนดและกำหนดการส่งข้อมูลผ่านชื่อที่ตั้งไว้ เช่น ข้อมูลเซ็นเซอร์หรือข้อมูลการใช้พลังงานได้

4. หลักการแนวคิดและการออกแบบ

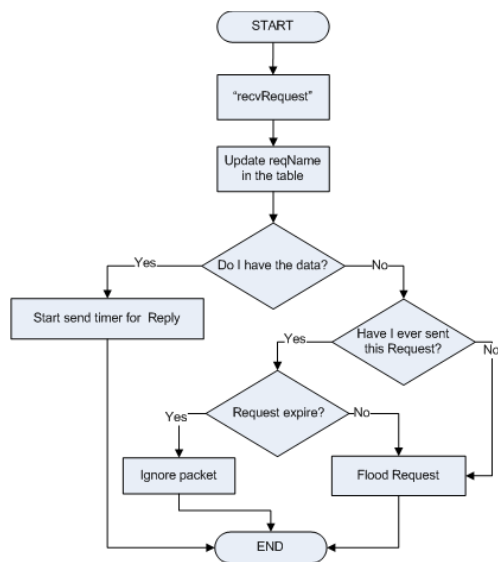
งานวิจัยนี้ จึงได้นำเสนอโครงข่ายชื่อข้อมูลและเทคโนโลยีไอโอทีมาใช้ในการทำงานของระบบที่ได้ออกแบบไว้ โดยนำค่าที่วัดจาก PZCT-02 PZEM 004T และ DHT22 ส่งข้อมูลไปยังบอร์ด Raspberry Pi ที่ลงโปรแกรมเอ็นดีเอ็นซีเอ็ม หลังจากนั้นจะติดต่อสื่อสารบอร์ด Raspberry Pi ที่ลงโปรแกรมเอ็นดีเอ็นซีเอ็ม จะทำหน้าที่รับข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าของเซ็นเซอร์ของบอร์ดต้นทาง มาเก็บข้อมูลไว้ Google Sheets และมีระบบแจ้งเตือนบนแอปพลิเคชันไลน์เมื่อแรงดันไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าและอุณหภูมิภายในตู้โหลดเซ็นเตอร์ เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5



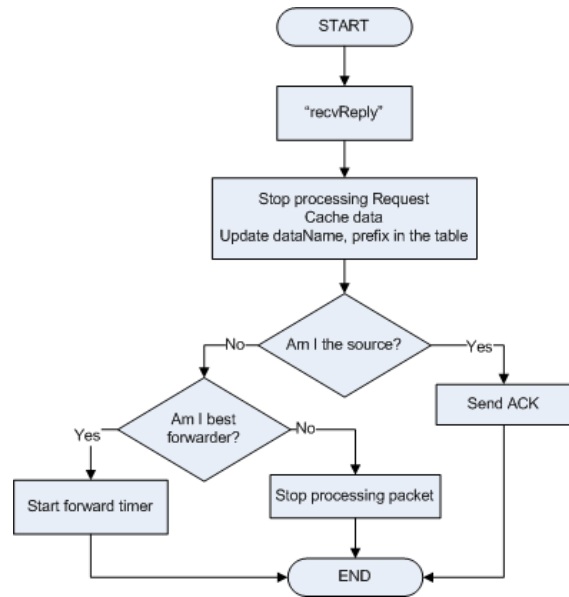
รูปที่ 5 ภาพรวมระบบแสดงผลโหลดทางไฟฟ้าโดยใช้โครงข่ายชื่อข้อมูล

สำหรับอุปกรณ์สำหรับการวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า (VAC) และ กระแสไฟฟ้า (IAC) จากนั้นตัว ชิพวงจรรวม V9881D ที่อยู่ภายในตัวโมดูล จะทำการคำนวณเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าได้แก่ กำลังไฟฟ้าจริง (Active power) ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) ค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy) และความถี่ไฟฟ้า (Frequency) เพื่อมาใช้ในการคำนวณต่อไป

4.1 หลักการติดต่อสื่อสารของโครงข่ายชื่อข้อมูล



รูปที่ 6 ผังงานของบอร์ดต้นทาง



รูปที่ 7 ผังงานของบอร์ดปลายทาง

สำหรับรูปแบบการทำงานของโครงข่ายชื่อข้อมูล มีขั้นตอนการทำงานระหว่างบอร์ด Raspberry Pi ที่เป็นบอร์ดต้นทางและบอร์ดปลายทาง ดังแสดงในรูปที่ 6 และ 7 ดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 เมื่อบอร์ดต้นทางส่งแพ็กเก็ตเกิดการร้องขอแพร่กระจาย (Broadcast) ออกไป โดยระบุชื่อข้อมูลที่ต้องการในส่วนหัวของแพ็กเก็ต เมื่อบอร์ดปลายทางได้รับแพ็กเก็ตการร้องขอ บอร์ดปลายทางจะตรวจสอบแพ็กเก็ตการร้องขอที่มีชื่อข้อมูล ในส่วนของ Content store หรือ CS ก่อน หากพบว่าไม่มีแพ็กเก็ตข้อมูลตรงตามแพ็กเก็ตการร้องขอ บอร์ดปลายทางจะส่งกลับแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังผู้ร้องขอ แต่หากไม่พบแพ็กเก็ตข้อมูลใน CS บอร์ดปลายทางจะตรวจสอบตาราง Pending interest table หรือ PIT หากพบว่าไม่มีชื่อข้อมูลของแพ็กเก็ตการร้องขอแล้ว แพ็กเก็ตการร้องขอนี้จะถูกยกเลิกเพราะได้มีการส่งแพ็กเก็ตการร้องขอออกไปแล้ว แต่หากพบว่าชื่อข้อมูลของแพ็กเก็ตการร้องขอไม่มีในตาราง PIT บอร์ดปลายทางจะตรวจสอบตาราง FIB ต่อไป

- ขั้นตอนที่ 2 เมื่อบอร์ดปลายทางตรวจสอบชื่อข้อมูลของแพ็กเก็ตการร้องขอในตาราง Forwarding information base หรือ FIB แล้วพบว่าไม่มีชื่อข้อมูลของแพ็กเก็ตการร้องขอในตารางแพ็กเก็ตการร้องขอจะถูกส่งออกไปบนส่วนต่อประสานขาออกที่ระบุไว้ แต่หากชื่อข้อมูลของแพ็กเก็ตการร้องขอไม่ตรงกับข้อมูลในตาราง แพ็กเก็ตการร้องขอจะถูกแพร่กระจาย (Broadcast) ออกไปก่อนที่จะส่งต่อแพ็กเก็ตการร้องขอออกไปทั้งในกรณีที่มีหรือไม่มีในตาราง FIB ชื่อข้อมูลของแพ็กเก็ตการร้องขอจะถูกเพิ่มเข้าไปในตาราง PIT เพื่อรอการตอบกลับแพ็กเก็ตข้อมูล

• ขั้นตอนที่ 3 บอร์ดปลายทางจะตรวจสอบชื่อข้อมูลของ แพ็กเกจการร้องขอใน CS ก่อน หากพบว่ามีชื่อข้อมูลที่ตรงกับแพ็กเกจการร้องขอ ก็จะตอบกลับแพ็กเกจข้อมูลไปยังผู้ร้องขอที่ส่งแพ็กเกจการร้องขอมา

• ขั้นตอนที่ 4 สำหรับเส้นทางที่มีการส่งกลับแพ็กเกจข้อมูล บอร์ดปลายทางจะเก็บข้อมูลหรือสำเนาข้อมูลไว้ก่อนที่จะส่งแพ็กเกจข้อมูลกลับไปยังผู้ร้องขอ หลังจากที่ได้รับกลับแพ็กเกจข้อมูลไปยังผู้ร้องขอแล้ว โหนดนั้น ๆ จะลบแพ็กเกจการร้องขอนี้ออกจากตาราง PIT

4.2 การตั้งค่าและการทำงานของ Google Sheets

4.2.1 การตั้งค่า Google Sheets สำหรับการจัดเก็บข้อมูล

1. สร้าง Google Sheets ใหม่: เริ่มต้นด้วยการสร้างสเปรดชีตใหม่ในบัญชี Google จากนั้นตั้งค่าชื่อไฟล์และหัวตาราง เช่น วันที่ เวลา แรงดันไฟฟ้า (V) กระแสไฟฟ้า (A) กำลังไฟฟ้า (W) อุณหภูมิ (°C) เป็นต้น

2. Google Sheets API: เพื่อให้ Raspberry Pi สามารถบันทึกข้อมูลลงใน Google Sheets ได้โดยอัตโนมัติ ต้องเปิดใช้งาน Google Sheets API และ Google Drive API บน Google Cloud Console จากนั้นสร้าง Credentials (รหัสประจำตัว) ประเภท "Service Account" เพื่อให้สามารถเข้าถึงและอัปเดต Google Sheets ได้

3. การตั้งค่า Script การเชื่อมต่อ: ใช้ไลบรารี gspread (Python) สำหรับเชื่อมต่อ Google Sheets กับ Raspberry Pi โดยกำหนดให้ Python Script ที่รันบน Raspberry Pi รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ แล้วบันทึกลงใน Google Sheets ผ่าน API ตามช่วงเวลาที่กำหนด (เช่น ทุก 5 นาที)

4.2.2 การทำงานของ Google Sheets

เมื่อมีข้อมูลการวัดโพลต์ใหม่ ระบบจะส่งข้อมูลจากบอร์ดต้นทางไปยังบอร์ดปลายทางเพื่อบันทึกค่าใน Google Sheets ข้อมูลนี้จะถูกบันทึกและสามารถเข้าถึงได้ทันทีในลักษณะของสเปรดชีตซึ่งมีประโยชน์สำหรับการติดตามและวิเคราะห์ย้อนหลังได้ ผู้ใช้สามารถใช้ฟังก์ชันภายใน Google Sheets เช่น กราฟ ตารางสรุป และสูตรคำนวณต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลได้โดยไม่ต้องพึ่งซอฟต์แวร์เพิ่มเติม นอกจากนี้ การที่ข้อมูลถูกจัดเก็บใน Google Sheets ช่วยให้สามารถเข้าถึงข้อมูลได้จากทุกที่ผ่านระบบคลาวด์

4.3 การตั้งค่าและการทำงานของ LINE Notify

4.3.1 การตั้งค่า LINE Notify สำหรับการแจ้งเตือน

1. สร้าง LINE Notify Token: ผู้ใช้ต้องลงทะเบียนและสร้าง Access Token ใน LINE Notify (<https://notify-bot.line.me/>) ก่อน เพื่อใช้ในการส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้ LINE โดยเฉพาะ ซึ่งต้องนำ Token ที่ได้มาใส่ในโปรแกรมที่รันบน Raspberry Pi เพื่อส่งการแจ้งเตือน

2. การติดตั้ง LINE Notify API บน Raspberry Pi: ใช้ไลบรารี requests ใน Python เพื่อเรียกใช้ API ของ LINE Notify โดยกำหนดให้ Python Script ตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น แรงดันไฟฟ้าและอุณหภูมิ หากพบว่าเกินค่าที่กำหนดไว้ จะส่งข้อความแจ้งเตือนไปยัง LINE ผ่าน API ทันที

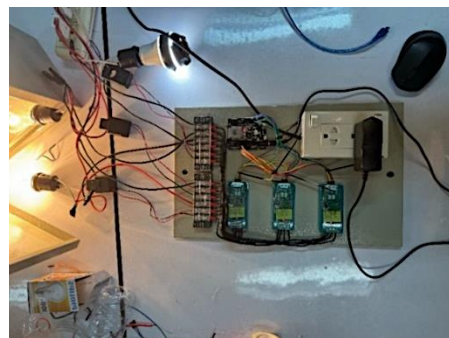
4.3.2 การทำงานของ LINE Notify

เมื่อระบบตรวจพบความผิดปกติ เช่น แรงดันไฟฟ้าต่ำหรือสูงเกินกว่าที่กำหนด หรืออุณหภูมิสูงเกิน 40°C ระบบจะใช้ LINE Notify API ส่งข้อความแจ้งเตือนที่ระบุรายละเอียดความผิดปกติไปยังแอปพลิเคชัน LINE ของผู้ใช้ เช่น "แจ้งเตือน: แรงดันไฟฟ้าสูงเกินมาตรฐานที่กำหนด" หรือ "แจ้งเตือน: อุณหภูมิสูงถึง 42°C" ซึ่งการแจ้งเตือนนี้ช่วยให้ผู้ใช้ได้รับการแจ้งเตือนทันทีเมื่อเกิดเหตุการณ์สำคัญ ทำให้สามารถตอบสนองและแก้ไขปัญหาได้ทันเวลาที่ ไม่ว่าจะอยู่ที่ใด เพียงมีการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต

5. ผลการทดสอบ

5.1 การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ PZEM-004T

การวัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้า ความถี่ไฟฟ้า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โดยใช้โวลติมิเตอร์ แคลมป์มิเตอร์ วัดคีมมิเตอร์ กิโลวัตต์-ฮาวร์มิเตอร์ และมิเตอร์วัดตัวประกอบกำลังดังแสดงในรูปที่ 8



(ก) การวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้ากับเซนเซอร์ PZEM-004T



(ข) การวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้ากับเครื่องมือวัด

รูปที่ 8 การวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าระหว่างเซนเซอร์ PZEM-004T กับอุปกรณ์เครื่องมือวัด

ค่าพลังงานในหน่วย kWh คำนวณได้จาก

$$\text{พลังงาน} = \frac{3600}{KX} \text{ kWh} \quad (1)$$

โดย K คือ ค่าคงที่ของกิโลวัตต์-ฮาวร์มิเตอร์ (rev/kWh)

(โดยค่า K ของกิโลวัตต์-ฮาวร์มิเตอร์ ที่ทำการทดลองมีค่าเท่ากับ 1200 rev/kWh)

X คือ เวลาที่งานหมุนของกิโลวัตต์-ฮาวร์มิเตอร์หมุนครบ 1 รอบ (วินาที)

ค่าความคลาดเคลื่อนคำนวณจาก

$$\% \text{ error} = \left| \frac{\text{Exact value} - \text{Approximate value}}{\text{Exact value}} \right| \times 100 \% \quad (2)$$

จากการทดลองในการวัดค่าหลอดไฟทั้ง 3 ขนาดดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าส่วนใหญ่มีค่าไม่เกิน 5% แต่จะมีเพียงกระแสไฟฟ้าที่วัดจากหลอดไฟขนาด 7W และ 60W ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสูงกว่า 5% ซึ่งความคลาดเคลื่อนนี้อาจเกิดจากข้อมูลการวัดนั้นเป็นระดับจุดทศนิยมหลายตำแหน่ง เวลาคำนวณทำให้อาจเกิดข้อผิดพลาดในการวัดได้

ตารางที่ 2 การวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า

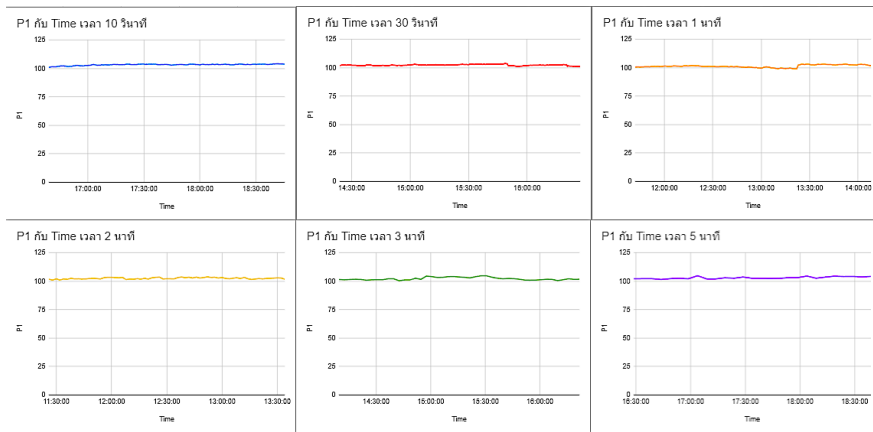
หลอดไฟ	พารามิเตอร์ทางไฟฟ้า	ค่าที่วัดจากเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า	ค่าที่วัดจาก PZEM-004T	%Error
100W	แรงดันไฟฟ้า (V)	231.3	230.70	0.2594
	กระแสไฟฟ้า (A)	0.43	0.44	2.3256
	กำลังไฟฟ้า (W)	104.2	101.80	0.6345
	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	0.1069	0.1018	4.7708
	ความถี่ไฟฟ้า (Hz)	50.00	49.9	0.2000
	ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	1	0.99	1.0000
60W	แรงดันไฟฟ้า (V)	230.30	230.70	0.1737
	กระแสไฟฟ้า (A)	0.24	0.28	14.2857
	กำลังไฟฟ้า (W)	67.0	64.60	3.5821
	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	0.0679	0.0646	4.8601
	ความถี่ไฟฟ้า (Hz)	50.00	50.0	0.0000
	ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	1	0.99	1.0000
7W	แรงดันไฟฟ้า (V)	231.80	230.40	0.6040
	กระแสไฟฟ้า (A)	0.05	0.06	20.0000
	กำลังไฟฟ้า (W)	7.3	7.60	4.1096
	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	0.0080	0.0076	5.0000
	ความถี่ไฟฟ้า (Hz)	50.00	49.9	0.2000
	ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	0.59	0.57	3.5714

5.2 การทดสอบการทำงานของระบบแสดงผลโหลดทางไฟฟ้าของบอร์ดต้นทาง

การทดสอบความต่อเนื่องในการส่งข้อมูลของพลังงานไฟฟ้า (P) เฟสที่ 1 ณ เวลาที่ 10 วินาที, 30 วินาที, 1 นาที, 2 นาที, 3 นาที, และ 5 นาที เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการส่งข้อมูล จากรูปที่ 9 พบว่าในทุกช่วงเวลาของการส่งข้อมูลมีความใกล้เคียงกัน จึงได้เลือกระยะเวลาในการส่งและจัดเก็บข้อมูลอยู่ ณ เวลาที่ 5 นาที เพื่อลดขนาดของพื้นที่การจัดเก็บข้อมูลต่อไป ในงานวิจัยนี้ได้วัดโหลดที่ตู้โหลดเซ็นเตอร์เพื่อเก็บข้อมูลของห้องปฏิบัติการ EE209 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยบูรพา ทุก ๆ 5 นาที ทั้งสามเฟส และระบบจะส่งข้อมูลค่าตารางมิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า ค่า

พลังงานไฟฟ้า ค่าความถี่ไฟฟ้า ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และค่าอุณหภูมิ ตั้งแต่วันที่ 29/03/2567 - 01/04/2567 ตามช่วงเวลาการใช้งาน (Time of Use : TOU) และทำการนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ถูกจัดเก็บไว้ใน Google Sheets ของแต่ละช่วงเวลามาเฉลี่ย พร้อมบันทึกค่าเฉลี่ยที่ได้ลงในตารางที่ 3 เพื่อที่จะสามารถนำเอาข้อมูลต่าง ๆ ไปวิเคราะห์ต่อไป

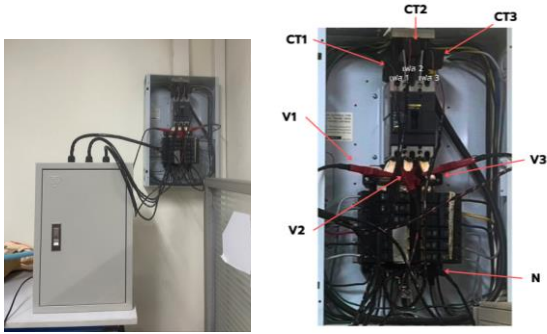
จากการคำนวณค่าเฉลี่ยของพลังงานในแต่ละช่วงเวลา (เช่น ช่วงกลางวันและกลางคืน) ช่วยให้สามารถระบุพฤติกรรมการใช้พลังงานตามช่วงเวลาได้ เช่น ช่วงเวลา peak load และ off-peak load ซึ่งจะมีประโยชน์ในการจัดการพลังงานให้มีประสิทธิภาพ เช่น การปรับลดโหลดในช่วงที่ใช้พลังงานสูง เพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย



รูปที่ 9 การทดสอบความต่อเนื่องในการส่งข้อมูลของพลังงานไฟฟ้า (P) เฟสที่ 1

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากการบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า กำลังงานไฟฟ้า ความถี่ไฟฟ้า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และอุณหภูมิจากการวัดโหลดที่ตู้โหลดเซ็นเตอร์ของห้องปฏิบัติการ EE209 ทุก ๆ 5 นาที ทั้งสามเฟส วันที่ 29/03/2567-01/04/2567 ตามช่วงเวลาการใช้งาน (Time of Use : TOU) ตั้งแต่เวลา 00.00-24.00 น.

วัน/เดือน/ปี	เวลา	เฟส	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (Watt)	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	ความถี่ไฟฟ้า (Hz)	ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	อุณหภูมิ (°C)
วันศุกร์ 29/03/2567	00.00-09.00 น.	1	233.76	0.12	23.99	17.82	49.98	0.88	32.19
		2	233.62	0.55	97.03	8.37	49.97	0.76	
		3	233.20	0.11	21.17	5.60	49.98	0.80	
	09.00-22.00 น.	1	233.62	0.55	97.03	8.37	49.97	0.76	29.15
		2	231.92	0.70	95.35	19.06	49.97	0.67	
		3	232.37	0.12	22.80	5.90	49.97	0.80	
	22.00-00.00 น.	1	235.85	0.12	24.28	19.11	49.95	0.87	31.26
		2	236.22	0.55	98.24	10.39	49.95	0.75	
		3	235.71	0.12	21.54	5.94	49.94	0.80	
วันเสาร์ 30/03/2567	00.00-24.00 น.	1	233.33	0.87	106.11	21.66	49.97	0.74	30.64
		2	233.96	0.78	131.36	13.51	49.97	0.74	
		3	233.37	0.39	48.56	7.08	49.97	0.72	
วันอาทิตย์ 31/03/2567	00.00-24.00 น.	1	234.74	0.37	67.28	23.28	49.97	0.82	31.21
		2	235.88	0.62	114.97	16.16	49.96	0.78	
		3	234.64	0.12	22.26	7.26	49.97	0.80	
วันจันทร์ 01/04/2567	00.00-09.00 น.	1	234.36	0.12	24.03	23.50	49.98	0.88	31.98
		2	234.10	0.54	96.94	17.03	49.97	0.77	
		3	233.73	0.11	20.96	7.80	49.97	0.80	
	09.00-22.00 น.	1	233.16	1.38	206.92	25.44	49.97	0.66	29.66
		2	234.35	1.05	180.46	19.05	49.97	0.74	
		3	233.17	0.12	22.06	8.09	49.96	0.79	
	22.00-00.00 น.	1	235.93	1.51	225.55	25.89	49.97	0.63	29.02
		2	234.35	1.05	180.46	19.05	49.97	0.74	
		3	235.80	0.11	21.51	8.13	49.98	0.80	



รูปที่ 10 การวัดระบบแสดงผลโหลดทางไฟฟ้า

จากรูปที่ 10 การวัดระบบแสดงผลโหลดทางไฟฟ้าของบอร์ดต้นทาง เมื่อนำ CT ทั้ง 3 ตัวไปคล้องกับสายไฟฟ้าเฟสที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับเหนือเมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ ในตู้โหลดเซ็นเตอร์ จากนั้นจะนำคลิปหนีบปากจระเข้สีแดง มาหนีบเข้ากับตัวนำไฟฟ้า ของเฟสที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ และนำคลิปหนีบปากจระเข้สีดำ ไปหนีบเข้ากับนิวทรัลบาร์ที่ข้างใต้เซอร์กิตเบรกเกอร์ลูยก้อย

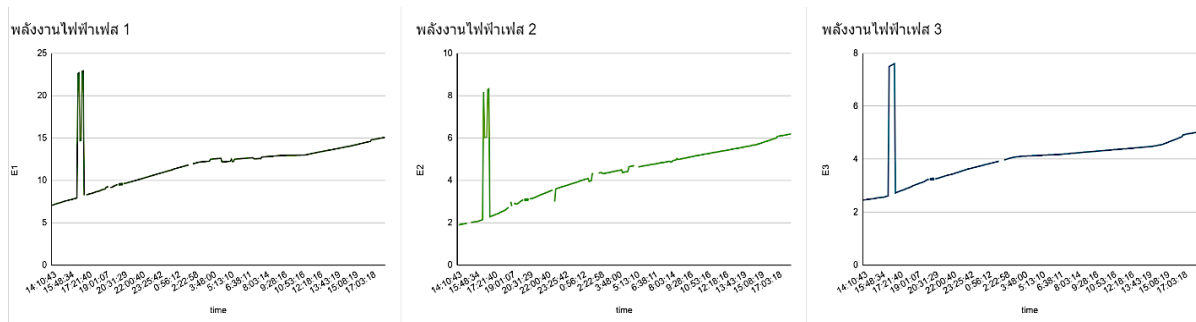
5.3 การทดสอบการส่งค่าระหว่างบอร์ดต้นทางและบอร์ดปลายทาง

ระบบจะทำการส่งข้อมูลค่าตารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้า ค่าพลังงานไฟฟ้า ค่าความถี่ไฟฟ้า ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และค่าอุณหภูมิ ของบอร์ดต้นทางไปยังบอร์ดปลายทางโดยใช้โครงข่ายชื่อข้อมูลหลังจากนั้นจะเก็บข้อมูลใน Google Sheets โดยจะแสดงวันที่ และเวลาในการจัดเก็บข้อมูล เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบข้อมูลได้ง่าย ดังแสดงในรูปที่ 11 จากการทดสอบพบว่าในระบบทำการส่งข้อมูลได้ถูกต้อง และแม่นยำตามเวลาที่กำหนดทุก ๆ 5 นาที แต่ในบางช่วงเวลายังคงเกิดข้อผิดพลาดที่เซ็นเซอร์วัด ซึ่งเกิดจากสายไฟที่ต่อระหว่างเซ็นเซอร์วัดและบอร์ดการขยับจึงทำให้ไม่สามารถวัดค่าได้ในบางช่วงเวลา

เมื่อนำข้อมูลของพลังงานไฟฟ้า ทั้ง 3 เฟส ภายในห้อง EE209 ทุก ๆ 5 นาที ทั้งสามเฟส ดังแสดงในรูปที่ 12

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	Date	Time	V1	I1	P1	E1	F1	PF1	V2	I2	P2	E2	F2	PF2	V3	I3	P3	E3	F3	PF3	T
441	28/3/2024	23:42:16	235.4	0.12	24.1	17.6	50	0.87	235.9	0.50	100	7.47	50	0.76	235.7	0.11	21.5	5.41	50	0.8	31.9
442	28/3/2024	23:47:16	235.7	0.12	24.2	17.6	50	0.87	236.2	0.55	97.9	7.46	50	0.75	235.9	0.11	21.5	5.41	50	0.8	31.9
443	28/3/2024	23:52:17	235.4	0.12	24.3	17.6	50	0.87	235.9	0.55	96.7	7.49	49.9	0.75	235.4	0.12	21.5	5.41	50	0.79	32
444	28/3/2024	23:57:18	235.6	0.12	24.2	17.6	50	0.87	236.2	0.55	97.7	7.5	50	0.75	235.6	0.12	21.5	5.41	50	0.79	32
445	28/3/2024	0:02:16	233.4	0.12	23.9	17.6	49.9	0.88	234	0.55	97.2	7.5	49.9	0.76	233.6	0.11	21.2	5.41	49.9	0.8	32
446	28/3/2024	0:07:17	232.5	0.12	23.8	17.61	50	0.87	233	0.55	96.9	7.51	50	0.76	232.8	0.11	21.1	5.41	50	0.8	32
447	28/3/2024	0:12:18	233.3	0.12	23.8	17.61	50	0.87	233.8	0.55	98	7.52	50	0.76	233.4	0.11	21.2	5.42	50	0.8	32
448	28/3/2024	0:17:18	232	0.12	23.8	17.61	49.9	0.88	232.5	0.55	96.1	7.53	49.9	0.76	231.9	0.11	21	5.42	50	0.8	32
449	28/3/2024	0:22:17	232.2	0.12	23.7	17.61	50	0.87	232.7	0.55	97	7.54	50	0.76	232.2	0.11	21	5.42	50	0.8	32
450	28/3/2024	0:27:17	232.2	0.12	23.8	17.61	50	0.88	232.8	0.55	96.9	7.55	50	0.76	232.2	0.11	21	5.42	50	0.8	32
451	28/3/2024	0:32:17	231.6	0.12	23.8	17.62	50	0.88	232.2	0.55	96.3	7.55	50	0.76	231.5	0.11	20.8	5.42	50	0.8	32
452	28/3/2024	0:37:16	232.3	0.12	23.7	17.62	50	0.87	232.8	0.55	97	7.56	50	0.76	232.1	0.11	20.9	5.43	50	0.8	32
453	28/3/2024	0:42:16	232.1	0.12	23.7	17.62	49.9	0.88	232.7	0.55	96.4	7.57	49.9	0.76	232.1	0.11	21	5.43	50	0.8	32
454	28/3/2024	0:47:17	232.2	0.12	23.8	17.62	50	0.88	232.6	0.55	97.2	7.58	49.9	0.76	232.1	0.11	21.1	5.43	49.9	0.8	32.1
455	28/3/2024	0:52:17	233.4	0.12	23.9	17.62	49.9	0.88	233.9	0.55	97	7.59	49.9	0.76	233.4	0.11	21.2	5.43	49.9	0.8	32
456	28/3/2024	0:57:17	232.8	0.12	23.9	17.63	50	0.88	233.2	0.55	96.6	7.59	50	0.76	232.6	0.11	21	5.43	50	0.8	32.1
457	28/3/2024	1:02:17	232.2	0.12	23.7	17.63	50	0.87	232.6	0.55	97	7.6	49.9	0.76	232	0.11	21	5.43	49.9	0.8	32

รูปที่ 11 การเก็บข้อมูลใน Google Sheets



รูปที่ 12 ภาพแผนภูมิเชิงเส้นของพลังงานไฟฟ้า ทั้ง 3 เฟส

5.4 การทดสอบการแจ้งเตือน LINE Notify

ระบบจะทำการส่งการแจ้งเตือนเมื่อแรงดันไฟฟ้าและอุณหภูมิเกิดความผิดปกติ โดยความผิดปกติของแรงดันไฟฟ้าจะมี 2 ประเภทคือ แรงดันไฟฟ้าสูงผิดปกติ และ แรงดันไฟฟ้าต่ำผิดปกติ ดังแสดงในรูปที่ 13 โดยรูปที่ 13 (ก) เป็นการแจ้งเตือนเมื่อแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ รูปที่ 13 (ข) เป็นการแจ้งเตือนเมื่อแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ และ รูปที่ 13 (ค) เป็นการแจ้งเตือนเมื่ออุณหภูมิสูงเกินกว่า 40 องศาเซลเซียส

ระบบสามารถส่งแจ้งเตือนเข้ามาที่ไลน์ได้ทันทีเมื่อแรงดันไฟฟ้าและอุณหภูมิเกิดความผิดปกติ โดยในการใช้งานจริงจะตั้งค่าให้แรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 200 โวลต์ หรือมากกว่าเท่ากับ 240 โวลต์ ตามมาตรฐานคุณภาพบริการของการไฟฟ้า (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2566). อัตราค่าไฟฟ้า. การปรับปรุงเงื่อนไขหลักเกณฑ์การได้รับสิทธิค่าไฟฟ้าฟรี สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าบ้านอยู่อาศัย ประเภทที่ 1 ข้อ 1.1.1.) จึงส่งการแจ้งเตือน ส่วนทางด้านอุณหภูมิต้องเกิน 40 องศาเซลเซียส จึงจะส่งการแจ้งเตือน



(ก) แรงดันไฟฟ้าสูงผิดปกติ (ข) แรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ (ค) อุณหภูมิสูงกว่าปกติ

รูปที่ 13 การแจ้งเตือนผ่าน LINE Notify

6. อภิปรายผลและสรุป

ผลการวิจัยในการพัฒนาระบบแสดงผลโหลดทางไฟฟ้า โดยใช้โครงข่ายชื่อข้อมูลและเทคโนโลยีไอโอที มีข้อดีและจุดเด่นหลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา โดยเฉพาะในด้านการเชื่อมต่อ การเก็บข้อมูลย้อนหลัง และการแจ้งเตือนในระบบเรียลไทม์ ดังนี้

6.1 การเก็บข้อมูลย้อนหลังในระบบคลาวด์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องบางฉบับเลือกใช้การจัดเก็บข้อมูลภายในอุปกรณ์หรือในระบบเซิร์ฟเวอร์ท้องถิ่น ซึ่งมีข้อจำกัดในด้านการเข้าถึงข้อมูลย้อนหลัง ทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการวางแผนระยะยาวทำได้ยากขึ้น ซึ่งในงานวิจัยนี้แก้ปัญหาดังกล่าวโดยการเก็บข้อมูลพลังงานใน Google

Sheets ซึ่งสามารถเรียกดูได้จากทุกที่ทุกเวลา การจัดเก็บข้อมูลทุก ๆ 5 นาทีและการตรวจสอบข้อมูลย้อนหลังได้อย่างสะดวกทำให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงวิเคราะห์ได้ทันที ผู้ใช้สามารถวางแผนการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

6.2 การแจ้งเตือนความผิดปกติ

งานวิจัยที่ผ่านมาใช้การแจ้งเตือนผ่านระบบเครือข่ายภายในหรือส่งการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันเฉพาะ การวิจัยนี้เพิ่มประสิทธิภาพการแจ้งเตือนโดยใช้ LINE Notify ทำให้ผู้ใช้ได้รับการแจ้งเตือนทันทีแม้อยู่นอกเครือข่าย เช่น เมื่อแรงดันไฟฟ้าหรืออุณหภูมิสูงเกินมาตรฐานที่กำหนด การส่งแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์ช่วยให้ผู้ใช้สามารถแก้ไขปัญหาได้ทันที และเพิ่มความปลอดภัยให้กับระบบมากขึ้น

6.3 การรองรับการขยายตัวของระบบ

ในงานวิจัยที่ใช้โครงข่าย TCP/IP พบว่าการขยายระบบให้ครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่หรือเพิ่มจุดเชื่อมต่อต้องเพิ่มโครงสร้าง หมายเลขไอพีเพิ่มเติมซึ่งมีข้อจำกัดเรื่องความซับซ้อนและภาระงานการจัดการระบบ การวิจัยนี้ใช้โครงข่ายชื่อข้อมูล ซึ่งมีความยืดหยุ่นสูงกว่า TCP/IP ในการขยายเครือข่าย เนื่องจากโครงข่ายชื่อข้อมูลใช้การเข้าถึงข้อมูลตามชื่อข้อมูล ทำให้การขยายตัวระบบสามารถทำได้ง่ายกว่าและไม่จำเป็นต้องเพิ่มหมายเลขไอพีใหม่ในแต่ละจุดเชื่อมต่อ ส่งผลให้การขยายเครือข่ายรองรับได้ดีกว่าระบบแบบเดิม

6.4 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไอโอทีและโครงข่ายชื่อข้อมูล ร่วมกันในระบบ

งานวิจัยใช้เทคโนโลยีไอโอที กับเซ็นเซอร์ในการตรวจวัดส่วนใหญ่ใช้การสื่อสารแบบ TCP/IP เพื่อส่งข้อมูลในระบบเรียลไทม์ แต่ไม่ได้มีการใช้งานกับโครงข่ายชื่อข้อมูล การวิจัยนี้จึงพัฒนาระบบเพื่อให้การรับส่งข้อมูลเป็นไปอย่างเสถียรและปลอดภัย รวมถึงรองรับการแจ้งเตือนแบบทันที

6.5 สรุปผล

การออกแบบและติดตั้งระบบแสดงผลโหลดทางไฟฟ้า โดยใช้เทคโนโลยีไอโอทีและการสื่อสารแบบโครงข่ายชื่อข้อมูลเพื่อให้ผู้ใช้งานทราบถึงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งานในหลาย ๆ ด้าน คือ สามารถดูปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและดูข้อมูลย้อนหลังได้ผ่าน Google Sheets โดยจะแสดงข้อมูล วันที่ เวลา และค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าต่างๆ ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) กระแสไฟฟ้า (แอมป์) กำลังไฟฟ้า (วัตต์) พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) ความถี่ไฟฟ้า(เฮิร์ตซ์) ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และอุณหภูมิ (องศา) พร้อมทั้งมีระบบการแจ้งเตือนผ่าน LINE Notify เมื่อเกิดความผิดปกติของไฟฟ้าและอุณหภูมิขึ้น จากผลการทดสอบพบว่ามีความคลาดเคลื่อน

ของพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของเซนเซอร์มีค่าไม่เกิน 5% และการจัดเก็บข้อมูลที่ Google Sheets ทุกๆ 5 นาที สามารถแสดงข้อมูลและจัดเก็บข้อมูลได้อย่างครบถ้วนและถูกต้องจากการเข้าถึงข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบนี้จะทำให้ผู้ใช้งานสามารถนำข้อมูลจากระบบไปวิเคราะห์และนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการจัดการพลังงานต่อไปได้

7. ข้อเสนอแนะ

1. เลือกใช้อุปกรณ์ในการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการเพื่อให้มีคุณสมบัติที่ครอบคลุมพิกัดของกระแสไฟฟ้าที่สูงกว่านี้

2. การจัดเก็บข้อมูล Google Sheets ในระยะยาว จะมีประสิทธิภาพที่ลดลง เพราะยังมีข้อมูลทีมาก จะยิ่งทำให้การแสดงผลของข้อมูลที่จัดเก็บมีความช้าลง

3. เมื่อระบบไฟฟ้าภายในอาคารเกิดการขัดข้อง ระบบจะไม่สามารถใช้งานได้จนกว่าระบบไฟฟ้าภายในอาคารจะกลับมาใช้งานได้ปกติ

4. แนวทางการพัฒนาต่อยอดงานวิจัยในอนาคตสามารถเพิ่มฟังก์ชันการทำนายการใช้พลังงานโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูล เช่น Machine Learning หรือ Deep Learning และการขยายระบบให้รองรับการตรวจวัดในพื้นที่ขนาดใหญ่ขึ้นโดยปรับโครงสร้างการเชื่อมต่อแบบ Mesh Network ที่ช่วยให้เซ็นเซอร์หลายตัวทำงานร่วมกัน และส่งข้อมูลไปยังศูนย์กลางผ่านโครงข่ายชื่อข้อมูล ทำให้สามารถขยายระบบให้ครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่และติดตามการใช้พลังงานจากหลายจุดพร้อมกันได้

8. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยและพัฒนาจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา เลขที่ วจพ.๔/๒๕๖๖

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] V. Jacobson, D. K. Smetters, J. D. Thornton, M. F. Plass, N. H. Briggs and R. L. Braynard "Networking named content," in *Proceedings of the 5th International Conference on Emerging Networking Experiments and Technologies*. New York, USA, Dec. 2009, pp. 1-12.
- [2] L. Zhang et al. "Named data networking (NDN) project" Sep. 2010, [online]. Available: <https://named-data.net/>.
- [3] H. Yuan and P. Crowley, "Scalable Pending Interest Table design: From principles to practice," in *Proceedings of IEEE Conference on*

Computer Communications, Toronto, ON, Canada, 2014, pp. 2049-2057.

- [4] A. Abane, M. Daoui, S. Bouzeffrane, S. Banerjee, and P. Mühlethaler, "A Realistic Deployment of Named Data Networking in the Internet of Things," *Journal of Cyber Security and Mobility*, vol.9,no.1,PP.1-26,2020.
- [5] T. Kamolchum, H. Pinituwan and S. Chaysin, "Internet of things for appliance control and energy data logger," Department of Electrical Engineering, Srinakharinwirot University, Bangkok 2016 (in Thai).
- [6] T. srison, and T. Wanawiwit, "System for monitoring and processing the operation of the main electrical control cabinet," Department of Electrical Engineering, Burapha University, Chonburi 2022 (in Thai).
- [7] T. Wongpaiboon, "Electric Energy Consumption Measurement using Wireless IPv6 Network," Department of Computer Engineering, Kasetsart University, Bangkok 2015 (in Thai).
- [8] T. Mekhi and K. Kaeworasan, "Chemical laboratory electrical safety data recording system," Department of Electrical Engineering, Burapha University, Chonburi 2022 (in Thai).
- [9] M. Amadeo, C. Campolo, A. Iera and A. Molinaro, "Named data networking for IoT: An architectural perspective," in *Proceedings of 2014 European Conference on Networks and Communications (EuCNC)*, Bologna, Italy, 2014, pp. 1-5.
- [10] M. A. M. Hail, "Efficient Management, Control and Analysis of IoT-NDN Devices through NDN4IoT App Integrated with FIWARE," in *Proceedings of 2023 12th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)*, Budva, Montenegro, 2023, pp. 1-4.
- [11] S. Mastorakis, A. Afanasyev, I. Moiseenko, and L. Zhang, "ndnSIM 2.0: A new version of the NDN simulator for NS-3," NDN, Technical Report NDN-0028, 2015. Available: <https://ndnsim.net>
- [12] Play NDN on Raspberry Pi. [Online]. Available: <https://www2.cs.arizona.edu/people/philoliang/ndnpi/>

การทำเหมืองความคิดเห็นของผู้ใช้รถพลังงานทางเลือก Opinion Mining of Alternative-Energy Vehicle Users

ฤทธิศักดิ์ บุปผาทวีศักดิ์* และ จารี ทองคำ
Ritsak Bupphataweesak* and Jaree Thongkam

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
Information Technology Department, Faculty of Informatics, Mahasarakham University
*Email: myp4nda@gmail.com

Received: September 17, 2024; Revised: November 07, 2024; Accepted: November 15, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องและการเรียนรู้เชิงลึกที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการจำแนกความคิดเห็นของผู้ใช้ยานยนต์พลังงานทางเลือก โดยแบ่งออกเป็น 3 เป้าหมายหลัก ได้แก่ 1) การคัดเลือกเทคนิคที่ดีที่สุดสำหรับการจำแนกความคิดเห็นทั่วไปของผู้ใช้ 2) การคัดเลือกเทคนิคที่ดีที่สุดสำหรับการจำแนกความคิดเห็นที่พิจารณาจากคุณลักษณะที่ถูกกล่าวถึงตั้งแต่ 10 ครั้งขึ้นไป และ 3) การศึกษาความคิดเห็นของคนไทยที่มีต่อยานยนต์พลังงานทางเลือกจากความคิดเห็น 3,000 ข้อความที่รวบรวมจาก Facebook, YouTube, Pantip และ TikTok โดยใช้กระบวนการเหมืองความคิดเห็นและการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยวิธีไขว้พับแบบ 10 ส่วน (10-fold cross-validation) เพื่อวัดค่าความถ่วง (F-Measure), ค่าความแม่นยำ (Precision) และค่าความระลึก (Recall) ผลการวิจัยพบว่าเทคนิคเพอร์เซปตรอนหลายชั้น มีประสิทธิภาพสูงสุดทั้งในการจำแนกความคิดเห็นทั่วไปและความคิดเห็นตามคุณลักษณะโดยพิจารณาจากคุณลักษณะที่ถูกกล่าวถึงตั้งแต่ 10 ครั้งขึ้นไป โดยมีค่าความถ่วง ค่าความแม่นยำ และค่าความระลึกสูงถึง 95.30% และ 97.20% ตามลำดับ ในงานวิจัยนี้พบว่าคนไทยมีความคิดเห็นเชิงบวกต่อยานยนต์พลังงานทางเลือกร้อยละ 69.97 เชิงลบร้อยละ 28.67 และเป็นกลางร้อยละ 1.36

คำสำคัญ : เหมืองความคิดเห็น, การวิเคราะห์ความคิดเห็น, ยานยนต์พลังงานทางเลือก, เหมืองข้อมูล

ABSTRACT

This research aims to identify the most effective machine learning and deep learning techniques for classifying user opinions on alternative energy vehicles. The study is divided into three main objectives: 1) to select the best technique for classifying general user opinions, 2) to select the best technique for classifying opinions based on features mentioned more than 10 times, and 3) to analyze Thai users' opinions on alternative energy vehicles. A total of 3,000 comments were collected from Facebook, YouTube, Pantip, and TikTok, with sentiment analysis techniques used to classify the comments into positive and negative opinions. The performance of the models was evaluated using 10-fold cross-validation, measuring F-Measure, Precision, and Recall. The findings indicate that the Multilayer Perceptron technique achieved the highest performance in both general opinion

classification and feature-based classification, with F-Measure, Precision, and Recall values of 95.30% and 97.20%, respectively. Additionally, it was found that 69.97% of Thai users expressed positive opinions toward alternative energy vehicles, 28.67% expressed negative opinions, and 1.36% were neutral.

Keywords: Opinion Mining, Opinion Analysis, Alternative Energy Vehicles, Data Mining.

1. บทนำ

จากภาวะวิกฤตพลังงานและความผันผวนของราคาน้ำมันทั่วโลก ส่งผลกระทบต่อราคาน้ำมันในประเทศไทย ทำให้ราคาน้ำมันเพิ่มสูงขึ้น [1] ซึ่งกระตุ้นให้ผู้ใช้ยานยนต์หันมาสนใจในยานยนต์พลังงานทางเลือกมากขึ้น [2] เพื่อเป็นทางเลือกในการลดค่าใช้จ่ายประจำวัน ยานยนต์พลังงานทางเลือกที่ได้รับความนิยม ได้แก่ รถยนต์ไฮบริด รถยนต์ปลั๊กอินไฮบริด รถยนต์ไฟฟ้า และรถยนต์ไฟฟ้าแบบเซลล์เชื้อเพลิง เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ยานยนต์พลังงานทางเลือกยังคงมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ความไม่มั่นใจในการใช้งานในช่วงฤดูฝนที่มีน้ำท่วมขัง [3] ส่งผลให้ความคิดเห็นของผู้ใช้ที่เผยแพร่ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ เช่น Facebook, YouTube, Pantip และ TikTok มีลักษณะทั้งเชิงบวกและเชิงลบ ซึ่งทำให้การแยกแยะความคิดเห็นเหล่านี้เป็นเรื่องที่ท้าทายและน่าสนใจ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาความคิดเห็นของผู้ใช้ยานยนต์พลังงานทางเลือกโดยใช้กระบวนการเหมืองความคิดเห็นเพื่อการวิเคราะห์และเข้าใจความคิดเห็นของผู้ใช้และผู้ที่เกี่ยวข้องในยานยนต์พลังงานทางเลือกได้อย่างแม่นยำ

เหมืองความคิดเห็น (Opinion Mining) คือ กระบวนการวิเคราะห์ความคิดเห็นที่เป็นภาษาธรรมชาติ ในการจำแนกความคิดเห็นออกเป็นเชิงบวก เชิงลบ และเป็นกลาง [4] นักวิจัยจำนวนมากได้นำเหมืองความคิดเห็นมาใช้ในการจำแนกความคิดเห็น ซึ่งเทคนิคที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองโดยส่วนใหญ่เป็นเทคนิคจากเหมืองข้อมูล (Data Mining) และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เช่น ปราโมชย์ นามวงค์ และคณะ [5] ใช้เทคนิคซ์พอร์ดเวกเตอร์แมชชีน เทคนิคนาอ์ฟเบย์ เทคนิคเคเนียร์สเนเบอร์ เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ ซี4.5 และเทคนิคความจำระยะสั้น-ระยะยาว ในการทดลองจำแนกความคิดเห็นบนเครือข่ายสังคมออนไลน์เฟสบุ๊คของผู้ใช้บริการร้านอาหารในจังหวัดอุบลราชธานี พบว่า เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ มีประสิทธิภาพสูงสุดในการทดลองมีค่าความถูกต้องเท่ากับร้อยละ 89.00 ส่วนงานวิจัยของ พิเศษฐ์ บวรเลิศสุธี และคณะ [6] ใช้เทคนิคเคเนียร์สเนเบอร์ เทคนิคป่าไม้แบบสุ่ม เทคนิคการลดการเคลื่อนย้าย และเทคนิคซ์พอร์ดเวกเตอร์แมชชีน ในการ

จำแนกความคิดเห็นของผู้ใช้สินค้า พบว่า เทคนิคซ์พอร์ดเวกเตอร์แมชชีนมีประสิทธิภาพในการจำแนกสูงที่สุดที่ค่าความแม่นยำที่ร้อยละ 79.00 ยิ่งไปกว่านั้น Adebayo Abayomi และคณะ [7] ได้ใช้เทคนิคพจนานุกรมเล็กชิตรอน เทคนิคซ์พอร์ดเวกเตอร์แมชชีน และเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก ในการจำแนกความคิดเห็นของผู้ใช้งานโปรแกรม Yahoo จาก Twitter พบว่า เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกมีประสิทธิภาพดีที่สุดที่ความแม่นยำถึงร้อยละ 80.38

ดังนั้นเพื่อพัฒนาแบบจำลองที่สามารถจำแนกความคิดเห็นของคนไทยที่มีต่อยานยนต์พลังงานทางเลือกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์เทคนิคต่าง ๆ ในการทำเหมืองความรู้สึก ได้แก่ เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ, เทคนิคเนอ์ฟเบย์, เทคนิคซ์พอร์ดเวกเตอร์แมชชีน และเทคนิคเพอร์เซปตรอนหลายชั้น ในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง ได้ใช้วิธีการ 10-Fold Cross Validation เพื่อแบ่งข้อมูลออกเป็นสองชุด คือ ชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ และชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ โดยใช้ค่าความแม่นยำ (Precision), ค่าความระลึก (Recall), และค่าความถ่วง (F-Measure) เป็นตัวชี้วัดเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละแบบจำลอง

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1. เพื่อศึกษาความคิดเห็นของคนไทยที่มีต่อยานยนต์พลังงานทางเลือกในกลุ่มยานยนต์พลังงานไฟฟ้า (Electric Vehicle: EV) และยานยนต์กึ่งไฟฟ้า (Hybrid Electric Vehicle: HEV)

2.2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองในการจำแนกความคิดเห็นของคนไทยที่มีต่อยานยนต์พลังงานทางเลือกในกลุ่มยานยนต์พลังงานไฟฟ้า (EV) และยานยนต์กึ่งไฟฟ้า (HEV)

2.3 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองในการจำแนกความคิดเห็นของคนไทยที่มีต่อยานยนต์พลังงานทางเลือกในกลุ่มยานยนต์พลังงานไฟฟ้า (EV) และยานยนต์กึ่งไฟฟ้า (HEV) โดยพิจารณาคุณลักษณะที่ถูกกล่าวถึงตั้งแต่ 10 ครั้งขึ้นไป

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1. เครื่องมือการวิจัย

1. คอมพิวเตอร์ Core i5-11400 RAM 32GB (16* 2Gb) bus 3200
2. โปรแกรม Weka 3.8.6
3. เทคนิคในการสร้างแบบจำลอง
 - 3.1 เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ แบบ ซี 4.5 : C4.5
 - 3.2 เทคนิคเนอิว์เบีย : NB
 - 3.3 เทคนิคซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน : SVM
 - 3.4 เทคนิคเพอร์เซปตรอนหลายชั้น : MLP

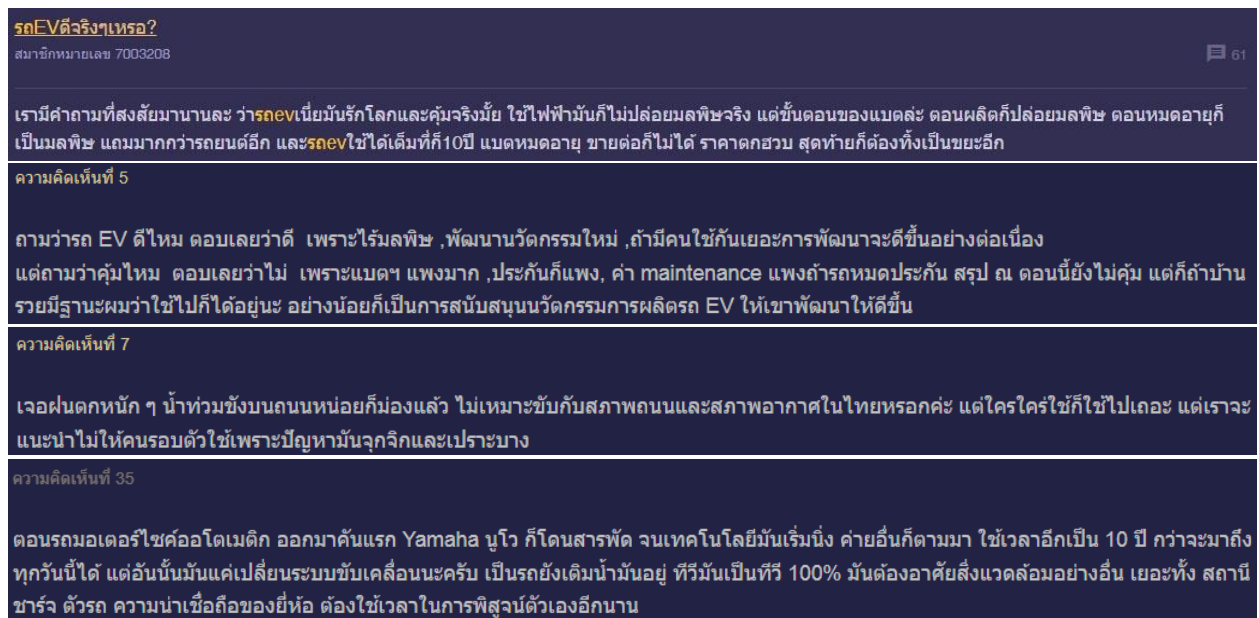
3.2. กลุ่มเป้าหมาย

3.2.1 ความคิดเห็นของคนไทยจากเว็บไซต์ Facebook, YouTube, Pantip และ TikTok จำนวน 3,000 ความคิดเห็น ที่เกี่ยวข้องกับรถยนต์พลังงานทางเลือกในกลุ่ม EV และ HEV

3.3. ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยได้แบ่งการดำเนินการเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

3.3.1 การเลือกข้อมูล

การเลือกข้อมูลในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ทำการค้นหาและเก็บรวบรวมความคิดเห็นจาก Facebook, YouTube, Pantip และ TikTok โดยการเข้าไปในช่องหรือกระทู้ต่าง ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับยานยนต์พลังงานทางเลือก ดังปรากฏในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวอย่างกระทู้ในชุมชนออนไลน์เกี่ยวกับยานยนต์พลังงานทางเลือกจากเว็บ Pantip

จากรูปที่ 1 แสดงตัวอย่างความคิดเห็นที่ถูกเลือกมาใช้เป็นข้อมูลในการวิจัยจากเว็บไซต์ Pantip ซึ่งไม่ว่าจะเป็นสื่อสังคมออนไลน์ใดก็ตามมักจะมีชุมชน (Community) ไว้ให้ผู้ใช้งานที่มีความคิดเห็นตรงกันหรือสนใจในสิ่งเดียวกันได้แสดงความคิดเห็นต่าง ๆ ร่วมกันโดยส่วนมากมักจะใช้ # (Hashtag) เพื่อแยกหรือติดตามสิ่งที่ตนเองสนใจ เช่น #รถไฟฟ้า, #รถEV เป็นต้น จุดนี้เองทำให้ง่ายต่อการรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยได้ใช้ภาษา Python ในการเลือกความคิดเห็นที่มีเนื้อความมากกว่า 15 คำขึ้นไปมาใช้ เพื่อให้มีเนื้อหาคำความคิดเห็นที่ละเอียดมากขึ้น จากนั้นนำความคิดเห็นทั้งหมดเก็บ

ในโปรแกรม Microsoft Excel จำนวนทั้งสิ้น 3,000 ความคิดเห็น

3.3.2 การเตรียมข้อมูล

การเตรียมข้อมูลสำหรับการจำแนกความคิดเห็นเริ่มจากการทำความสะอาดข้อความ โดยแก้คำสะกดผิด ลบคำซ้ำ ตัวเลข สัญลักษณ์ (! @ \$ % *) และภาพ ตลอดจนการเว้นวรรค ย่อหน้า และคำที่ไม่สื่อความหมาย (เช่น ค่ะ, ครับ) โดยตัวอย่างความคิดเห็นก่อนและหลังการทำความสะอาดแสดงในรูปที่ 2 และรูปที่ 3 ตามลำดับ

1	คันนี้ออฟชั่นน้อย พอใช้ แต่ ผมเน้นขับ แนวนี่ คือโดนใจอะ กับการทรงตัวของคันนี้ คือตอบใจดีมาก กับผม ตอนแรกแอบมา BYD คันนี้ คือ เท มาทางนี้เลย
2	ที่ท่าแซะ แอร์หลัง มือจับ เอาไปทำไม่เห็นจำเป็น ถ้าขับเองนะ คันนี้หลังก็เรื่องของมัน แคนั่งสบายก็พอที่เหลือของจุกจิกไม่จำเป็น
3	1. ถ้าไม่ใช้ blade battery จะป็นไรไหมครับ? ดีกว่าแคไหน 2. เห็นว่ารถ EV ตปท.ขายดีเลยสงสัย ตปท.แต่ละรัฐต่างกันมาก ขับข้ามกันเป็นวัน รถ EV ที่ต้องชาร์จทุก 350km. เขาบริหารความเส็งกันยังไงน้อ
4	ปกติ เป็นคนขับรถน้ำมัน ไม่ชอบค่ายนี้ เห็นเสียบ่อย อะไหล่ไม่ได้คุณภาพ วันนีไปลองรถไฟฟ้าครั้งแรก mg4x ขับจริง เปิดใจเลย
5	ออฟชั่นน้อยไป เช่นมือจับหลังคา,แอร์หลัง,ที่ท่าแซะ,ขับรูปก็ไม่มีที่ปีดาน้ำมันหลัง,ยางอะไหล่ไม่มีให้,คนรวิวทิวทัศน์ไปช่วงล่างมันดีลิ่งดีกว่ารถราคา2ล้านขึ้นไป,เขาจะบบมันดีลิ่งทั้งนั้น
6	สวัสดี ครับ น้อง นิธิ มีFC ผากให้ผมบอก ขอให้น้อง นิธิ เวลา แนะนำรถ ต่าง จะมีการแจกรายละเอียด คำว่า (สมมติ)แรงบิด ที่ 1950 นิวตันฯที่ 3,500รอบ FC บางคนยังไม่กระจ่างครับ นิวตัน มันคือแรงม้าหรือไม การป็นปาย เนิน รีที่สูงชัน ไซท์หรือไม่ครับ

รูปที่ 2 ความคิดเห็นก่อนการทำความสะอาดคำ

['คันนี้ออฟชั่นน้อยพอใช้แต่ผมเน้นขับแนวนี่คือโดนใจอะกับการทรงตัวของคันนี้คือตอบใจดีมากกับผมนตอนแรกแอบมาดคันนี้คือเทมาทางนี้เลย', 'ที่ท่าแซะแอร์หลังมือจับเอาไปทำไม่เห็นจำเป็นถ้าขับเองนะคันนี้หลังก็เรื่องของมันแคนั่งสบายก็พอที่เหลือของจุกจิกไม่จำเป็น', 'ถ้าไม่ใช้จะเป็นไรไหมครับดีกว่าแคไหนเห็นวารถดปทขายดีเลยสงสัยตปทแต่ละรัฐต่างกันมากขับข้ามกันเป็นวันรถที่ต้องชาร์จทุกเขบาทหารควปกติเป็นคนขับรถน้ำมันไม่ชอบค่ายนี้เห็นเสียบ่อยอะไหล่ไม่ได้คุณภาพวันนี้ไปลองรถไฟฟ้าครั้งแรกขับจริงเปิดใจเลย', 'ออฟชั่นน้อยไปเช่นมือจับหลังคาแอร์หลังที่ท่าแซะ,ขับรูปก็ไม่มีที่ปีดาน้ำมันหลัง,ยางอะไหล่ไม่มีให้คนรวิวทิวทัศน์ไปช่วงล่างมันดีลิ่งดีกว่ารถราคา' 'สวัสดีครับน้อง นิธิ มีฟากให้ผมบอก ขอให้น้อง นิธิ เวลา แนะนำรถ ต่าง จะมีการแจกรายละเอียดคำว้าสมมติแรงบิดที่นิวตันฯที่รอบบมกคนยังไม่กระจ่างคตามกำหนดจริงจะได้แรงบิดกำลังมาที่รถจะใช้กำลังในการป็นปายเนินรีที่สูงชันไซท์หรือไม่ครับ', 'เวลาขับรวิวินธึถ้าไม่ดีจะบอกว้าไม่ดีแต่ถ้าดีนิธิจะบอกว้าดีนะเห็นรวิวหลายยี่ห้อเข็อครับเคยลองรุ่นก่อนคือก็ยังไม่ดีคือไฟจอแสดงผลไม่ค่อยสว่าง' 'ช่วงล่างสู่วัยวัยดีไม่ได้อะมี้ออฟชั่นก็น้อยเช่นไม่มีแอร์มือจับที่ท่าแซะปีดาน้ำมันหลังยางอะไหล่ไม่มีล้อก้อย่าง',

รูปที่ 3 ข้อมูลหลังจากการทำความสะอาดคำ

3.3.3 การทำถุงคำและการกำหนดคลาส

1. การสร้างถุงคำ (Bag of Words) เป็นขั้นตอนสำคัญในการแยกและนับคำที่ปรากฏในข้อความเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลความคิดเห็น ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้ภาษา Python ร่วมกับ Library PyThaiNLP [8] เพื่อให้การแยกคำเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและสะดวกใน

การนับจำนวนคำที่เกิดขึ้นในแต่ละข้อความ นอกจากนี้ ยังมีการตรวจสอบความเหมาะสมของข้อมูลหลังจากการแยกคำ เพื่อให้มั่นใจว่าคำที่ได้สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์คุณลักษณะในขั้นตอนถัดไปได้อย่างแม่นยำ ตัวอย่างผลลัพธ์ของการแยกคำแสดงให้เห็นใน รูปที่ 4

```

1 from pythainlp.tokenize import word_tokenize
2
3 text = "คันนี้ออฟชั่นน้อยพอใช้แต่ผมเน้นขับแนวนี่คือโดนใจอะกับการทรงตัวของคันนี้คือตอบใจดีมากกับผมน ตอนแรกแอบมาดคันนี้เทมาทางนี้เลย"
4 tokens = word_tokenize(text, engine="newmm")
5 print(tokens)
6
7
8 ['คันนี้', 'ออฟชั่น', 'น้อย', 'พอใช้', 'แต่', 'ผม', 'เน้น', 'ขับ', 'แนว', 'นี่', 'คือ', 'โดนใจ', 'อะ', 'กับ', 'การ',
9 'ทรงตัว', 'ของ', 'คันนี้', 'คือ', 'ตอบใจดี', 'มาก', 'กับ', 'ผม', 'ตอนแรก', 'แอบ', 'มา', 'ตอนนี่', 'เท'
10 , 'มา', 'ทาง', 'นี่', 'เลย']

```

รูปที่ 4 การแยกคำเพื่อแยกคุณลักษณะ

จากรูปที่ 4 แสดงการแยกคำเพื่อให้ง่ายต่อการนับคำและระบุชนิดของคำ ซึ่งขั้นตอนนี้ผู้วิจัยต้องตรวจสอบความถูกต้องหลังจากการแยกคำ หากพบข้อผิดพลาดต้องทำการแก้ไขทันที โดยในขั้นตอนการแยกคำอาจเกิดข้อผิดพลาด

ได้ เช่น การแยกตัวสะกดผิดหรือคำบางคำไม่ถูกแยก เป็นต้น เมื่อตรวจสอบความถูกต้องแล้วนำคำทั้งหมดมาเรียงใหม่ดังรูปที่ 5

['คัน, ออฟชั่น, ผม, ขับ, แนวโดน, ใจ, อะ, ตัว, คัน, น้, ดอบ, โจทย์, ผม, ดอน, แอม, ดอนเท',
'เท้า, แขน, แอร์, มือ, ทำ, ขับ, คน, นั่ง, เรือ, นั่ง, จกจิก',
'ไหม, ด้อย, รถ, ดปทชาย, ดี, สงสัย, ดปทรัฐ, ห่าง, ขับ, ข้าม, รถ, ชาร์จ, บริหาร, แข็งน้อ',
'ปกดี, คน, ขับ, รถ, น้ำมัน, ขอบ, ค่าย, อะไหล่, คุณภาพ, ลอง, รถ, ไฟฟ้า, ขับดี, เปิดใจ',
'ออฟชั่น, มือ, หลังคา, แอร์, เท้า, แขน, ขับ, รูป, ปีดา, น้, ฝน, ยาง, อะไหล่, คน, รีวิวเวอร์, ๘',
'สวีตดี, น้องนิธิ, ฝาก, ผม, น้อง, นิธิ, เวลา, เน้นนา, รถ, แฉง, รายละเอียด, สมมติ, แรง, บิด,
'เวลา, ขับ, รีวิวนิธิดี, ดีดีนิธิดี, รีวิว, ยี่ห้อ, เชื้อ, ลองรุ่น, ดี, ไฟ, จอสว่างรุ่น, ดี',

รูปที่ 5 ข้อมูลหลังจากการแยกคำ

จากรูปที่ 5 แสดงคำที่ถูกเรียกใหม่หลังจากการแยกคำซึ่งมีจำนวนคำทั้งหมด 3,044 คำ จากนั้นนำคำไปตรวจสอบและระบุชนิดของคำ (Part of Speech) ด้วยภาษา Python และเลือกเอาคำกริยา คำวิเศษณ์ คำคุณศัพท์และคำกริยาวิเศษณ์ [4] ในการกำหนดคลาสของคำในขั้นตอนต่อไปดังตัวอย่างใน ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การระบุชนิดคำและกำหนดคุณลักษณะจาก

ลำดับ	คำ	ชนิดคำ	จำนวนที่พบ	คุณลักษณะ
1	คัน	คำกริยา	17	0
2	ผม	คำนาม	77	0
3	แย	คำวิเศษณ์	51	-1
4	ดี	คำวิเศษณ์	70	1
5	ชอบ	คำกริยา	50	1
6	กลัว	คำกริยา	21	-1

จากตารางที่ 1 แสดงการกำหนดคุณลักษณะให้กับคำหลังจากการแยกคำและระบุชนิดของคำแล้ว โดย

ตารางที่ 2 การกำหนดคลาส

ลำดับ	คุณลักษณะเชิงบวก		คุณลักษณะเชิงลบ		ความถี่ของ คุณลักษณะเชิงบวก	ความถี่ของ คุณลักษณะเชิงลบ	คลาส
	ชอบ	ได้	ไม่	แย			
1	1	0	0	0	1	0	P
2	0	1	2	0	1	2	N
3	1	1	0	0	2	0	P
4	0	1	0	0	1	0	P
5	0	0	0	0	0	0	O
6	1	1	1	0	2	1	P
7	1	1	1	1	2	2	O
8	0	0	0	1	0	1	N

3. การแปลงค่าความถี่ให้เป็นนามบัญญัติ เป็นการเปลี่ยนค่าความถี่ของคุณลักษณะที่พบในความคิดเห็นของแต่ละความคิดเห็น เช่น ความคิดเห็นที่ 2 มีการกล่าวถึงคำว่า

คุณลักษณะเชิงบวกแทนค่าด้วย 1 และคุณลักษณะเชิงลบแทนค่าด้วย -1 ส่วนคำที่มีคุณลักษณะเป็นกลางแทนค่าด้วย 0 ขั้นตอนนี้ผู้วิจัยจะประเมินคุณลักษณะร่วมกับผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาไทยจากโรงเรียนเทศบาล ๑ อำเภอชุมแพ จังหวัดขอนแก่น เพื่อให้ได้คุณลักษณะทางความรู้สึกที่ถูกต้องที่สุด

2. การกำหนดคลาส เป็นการนับจำนวนครั้งของคุณลักษณะที่ปรากฏในความคิดเห็นของแต่ละความคิดเห็นโดยไม่ต้องคำนึงถึงหลักไวยากรณ์ ความถี่ของคำ และลำดับคำในแต่ละประโยค จากนั้นทำการกำหนดคลาสของคำออกมา โดยกำหนดให้เป็นคุณลักษณะที่เป็นเชิงบวก (Positive) คือ คลาส P ส่วนคุณลักษณะที่เป็นเชิงลบ (Negative) คือ คลาส N และคุณลักษณะที่เป็นกลางคือ 0 ความถี่ของคุณลักษณะนับจากการนำเอา “คำ” ที่เป็นคุณลักษณะเชิงบวกหรือเชิงลบ ไปเทียบกับความคิดเห็นในแต่ละความคิดเห็น เช่น ความคิดเห็นที่ 2 มีการกล่าวถึงคำว่า “ไม่” จำนวน 2 ครั้ง ความถี่ของคุณลักษณะจึงเป็น 2 และขั้นตอนนี้เป็นกรนับเอาคุณลักษณะที่ถูกกล่าวถึงตั้งแต่ 10 ครั้ง ขึ้นไป ดังแสดงใน ตารางที่ 2

“ไม่” จำนวน 2 ครั้ง ดังนั้นจึงต้องแปลงจาก 2 เป็น 1 ซึ่งหมายความว่า คำว่า “ไม่” ได้มีการกล่าวถึง หากความถี่เป็น 0 หมายถึง คุณลักษณะนี้ไม่ถูกกล่าวถึง ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวอย่างการแปลงค่าความถี่ให้เป็นนามบัญญัติ

ลำดับ	คุณลักษณะเชิงบวก		คุณลักษณะเชิงลบ		คลาส
	ชอบ	ได้	ไม่	แย่	
1	1	0	0	0	P
2	0	1	1	0	N
3	1	1	0	0	P
4	0	0	0	0	0

3.3.4 การสร้างแบบจำลองเพื่อการจำแนก

ในการวิจัยการทำเหมืองความคิดเห็นของผู้ใช้รถพลังงานทางเลือก ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Weka เวอร์ชัน 3.8.6 ซึ่งประกอบด้วยเทคนิคหลัก 4 เทคนิค ได้แก่ เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree C4.5), เทคนิคเนอโอฟเบย์ (Naïve-Bayes), เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine), และเทคนิคเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (Multi-layer Perceptron) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมในการสร้างเหมืองความคิดเห็น โดยเทคนิคเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ แบบซี 4.5 ทำงานโดยการแบ่งข้อมูลออกเป็นกลุ่มต่าง ๆ ตามลักษณะของข้อมูล โดยเลือกใช้คุณลักษณะที่ช่วยแบ่งข้อมูลได้ดีที่สุด การแบ่งจะเกิดขึ้นเรื่อย ๆ จนกว่าจะสร้างโครงสร้างต้นไม้ครบ ซึ่งใช้เกณฑ์ในการเลือกคุณลักษณะโดยอิงจากข้อมูลความไม่แน่นอน (entropy) และการเพิ่มขึ้นของข้อมูล (information gain) มีข้อดีคือ สามารถใช้งานกับข้อมูลเชิงประเภท (categorical) และเชิงตัวเลข (numerical) ได้ดีส่วนข้อเสียคือ มีโอกาสเกิดการเรียนรู้ที่มากเกินไป (overfitting) ได้ง่าย เทคนิคเนอโอฟเบย์ เป็นเทคนิคการจำแนกประเภทที่อิงจากกฎเบย์ (Bayes' Theorem) ซึ่งสมมติให้ทุกคุณลักษณะเป็นอิสระต่อกัน กล่าวคือจะพิจารณาโอกาสของข้อมูลแต่ละชุดตามความน่าจะเป็นโดยไม่คำนึงถึงการเชื่อมโยงกัน การทำงานนี้จึงเหมาะกับการประมวลผลข้อความที่มีการกระจายตัวของคำ ข้อดีของเทคนิคเทคนิคเนอโอฟเบย์คือทำงานได้เร็ว และเหมาะสมกับข้อมูลขนาดใหญ่และทำงานได้ดีแม้จะมีข้อมูลที่ไม่มีเชื่อมโยง (independent features) ส่วนข้อเสียคือ ข้อสมมติที่ว่าคุณลักษณะเป็นอิสระต่อกัน อาจไม่สอดคล้องกับความจริง ทำให้มีความแม่นยำลดลง เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน ทำงานโดยการหาขอบเขตที่เหมาะสมที่สุดในการแบ่งข้อมูลให้มีระยะห่างระหว่างกลุ่มข้อมูลที่ต่างกันให้มากที่สุด เรียกว่าขอบเขตการแบ่งแบบไฮเปอร์เพลน (hyperplane) ซึ่งเทคนิคนี้ จะพิจารณาจุดที่เรียกว่าเวกเตอร์สนับสนุน (support vectors) ที่ช่วยกำหนดขอบเขตเหล่านี้ ข้อดีคือ มีความแม่นยำสูง และเหมาะกับข้อมูลที่มีการจำแนกอย่าง

ชัดเจน ยกต่อการเกิดการเรียนรู้ที่มากเกินไป (overfitting) และสามารถปรับ kernel trick เพื่อจัดการกับข้อมูลที่ไม่เป็นเส้นตรงได้ ข้อเสียคือ ใช้เวลาคำนวณสูงเมื่อข้อมูลมีจำนวนมาก การปรับค่าพารามิเตอร์ (parameter tuning) แม้เพียงเล็กน้อยจะมีผลต่อการคำนวณ และเทคนิคเพอร์เซปตรอนหลายชั้น เป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่มีการเชื่อมต่อระหว่างชั้นข้อมูลหลายชั้น ทำงานโดยการเรียนรู้ผ่านกระบวนการถ่ายทอดข้อมูลจากชั้นอินพุต ผ่านชั้นซ่อน (hidden layer) และให้ผลลัพธ์ที่ชั้นเอาต์พุต เทคนิคนี้มีการปรับค่าเวท (weight) ของการเชื่อมต่อผ่านการคำนวณย้อนกลับ (backpropagation) ข้อดีของเทคนิคนี้คือ มีความยืดหยุ่นสูง และสามารถปรับแต่งโครงสร้างเครือข่ายเพื่อเพิ่มความแม่นยำ และข้อเสียคือ ต้องการข้อมูลที่มีปริมาณมากและคุณภาพดีเพื่อให้เกิดการเรียนรู้ที่แม่นยำ สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้การตั้งค่าในโปรแกรม Weka ในบางกรณีเท่านั้น เนื่องจากทดลองปรับแต่งค่าต่าง ๆ ในการทดลองหลาย ๆ ครั้ง ผลที่ได้มักจะมีข้อผิดพลาด (Error) หรือ เกิดการเรียนรู้ที่มากเกินไป (Overfitting) ดังแสดงในรูปที่ 6 - 9

batchSize	100
debug	False
displayModelInOldFormat	False
doNotCheckCapabilities	False
numDecimalPlaces	2
useKernelEstimator	False
useSupervisedDiscretization	False

รูปที่ 6 แสดงการปรับพารามิเตอร์ของเทคนิคเนอโอฟเบย์

batchSize	100
binarySplits	False
collapseTree	True
confidenceFactor	0.25
debug	False
doNotCheckCapabilities	False
doNotMakeSplitPointActualValue	False
minNumObj	2
numDecimalPlaces	2
numFolds	3
reducedErrorPruning	False
saveInstanceData	False
seed	1
subtreeRaising	True
unpruned	False
useLaplace	False
useMDLcorrection	True

รูปที่ 7 แสดงการปรับพารามิเตอร์ของเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ

GUI	False
autoBuild	True
batchSize	100
debug	False
decay	False
doNotCheckCapabilities	False
hiddenLayers	a
learningRate	0.3
momentum	0.2
nominalToBinaryFilter	True
normalizeAttributes	True
normalizeNumericClass	True
numDecimalPlaces	2
reset	True
resume	False
seed	0
trainingTime	500
validationSetSize	0
validationThreshold	20

รูปที่ 9 แสดงการปรับพารามิเตอร์ของเทคนิคเพอร์เซปตรอนหลายชั้น

SVMType	C-SVC (classification)
batchSize	100
cacheSize	40.0
coef0	0.0
cost	1.0
debug	False
degree	3
doNotCheckCapabilities	False
doNotReplaceMissingValues	False
eps	0.001
gamma	0.0
kernelType	radial basis function: exp(-gamma* u-v ^2)
loss	0.1
modelFile	Weka-3-8-6
normalize	False
nu	0.5
numDecimalPlaces	2
probabilityEstimates	False
seed	1
shrinking	True
weights	

รูปที่ 8 แสดงการปรับพารามิเตอร์ของเทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน

3.3.5 การแปลผลและการประเมินผล

การประมวลผลของแบบจำลองในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เรียกใช้เทคนิคการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองแบบ 10 - Fold Cross Validation [9] ซึ่งแบ่งข้อมูลทั้งหมดออกเป็น 10 ชุด โดยใช้ 1 ชุด สำหรับเป็นชุดการเรียนรู้ (Training Data) และอีก 9 ชุด ใช้เป็นชุดทดสอบ (Test Data) ซึ่งหากคิดเป็นอัตราข้อมูลในการทดสอบออกเป็นร้อยละ 10:90 โดยมีค่าที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้งหมด 3 ค่าได้แก่ ค่าความแม่นยำ (Precision) ค่าความระลึก (Recall) และค่าความถ่วง (F-Measure)

สถิติที่ใช้ในการวิจัย

ในงานทดลองครั้งนี้ ใช้สถิติสามตัวหลักในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง ได้แก่ ค่าความแม่นยำ (Precision), ค่าความระลึก (Recall), และค่าความถ่วง (F-Measure) แบบจำลองที่มีค่าความแม่นยำ ค่าความระลึก และค่าความถ่วงในอัตราร้อยละสูงสุดจะถือเป็นแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการวิจัยนี้ การคำนวณค่าดังกล่าวดำเนินการตามสมการทั้ง 3 สมการ ดังต่อไปนี้

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

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

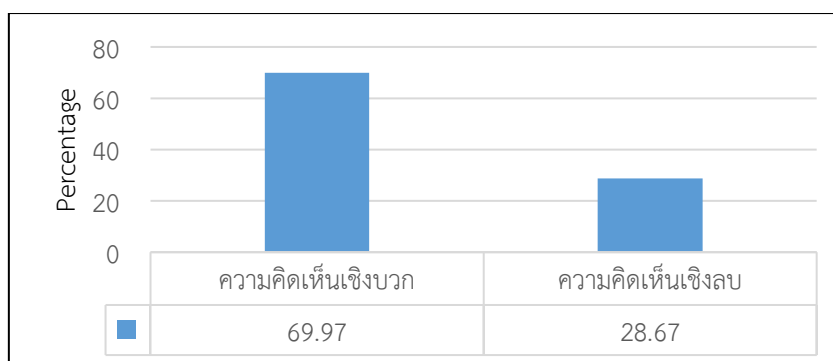
โดยที่ TP แทนจำนวนการทำนายที่ตรงกับข้อมูลจริงในคลาสที่กำลังพิจารณา

$$F - \text{Measure} = 2 * \frac{\text{precision} * \text{recall}}{\text{precision} + \text{recall}} \quad (3)$$

FP แทนจำนวนการทำนายที่ผิดในคลาสที่กำลังพิจารณา
FN แทนจำนวนการทำนายที่ผิดในคลาสที่ไม่ได้พิจารณา

4. ผลการวิจัย

4.1. ผลศึกษาและจำแนกความคิดเห็นของคนไทยที่มีต่อยานยนต์พลังงานทางเลือก



รูปที่ 10 กราฟการเปรียบเทียบความคิดเห็นของคนไทยที่มีต่อยานยนต์พลังงานทดแทน

จากรูปที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบการจำแนกความคิดเห็นของคนไทยต่อยานยนต์พลังงานทางเลือก ตามขั้นตอนการวิจัยทั้งหมด ใช้ข้อมูลความคิดเห็น 3,000 ชุด โดยแยกคุณลักษณะในความคิดเห็นและให้น้ำหนักความคิดเห็นเชิงบวกด้วยค่า 1, ความคิดเห็นเชิงลบด้วยค่า -1 และ 0 สำหรับความคิดเห็นที่เป็นกลางหรือถูกตัดออก ผลการ

ทดลองพบว่าคนไทยมีความรู้สึกเชิงบวกอยู่ที่ร้อยละ 69.97 และความรู้สึกเชิงลบที่ร้อยละ 28.67 ค่าที่มีคุณลักษณะเชิงบวกที่ถูกกล่าวถึงมากที่สุดคือ "ดี" จำนวน 696 ครั้ง และค่าที่มีคุณลักษณะเชิงลบที่ถูกกล่าวถึงมากที่สุดคือ "ปัญหา" จำนวน 202 ครั้ง ซึ่งสามารถแสดงคุณลักษณะที่ถูกกล่าวถึง 10 อันดับทั้งในเชิงบวกและเชิงลบได้ดังปรากฏในตารางที่ 4

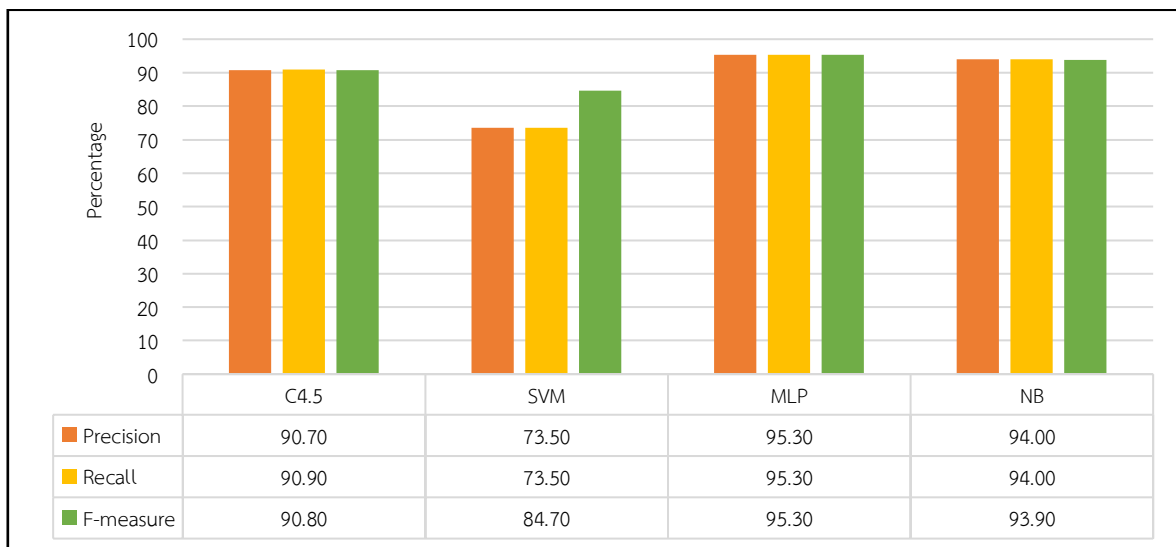
ตารางที่ 4 แสดงการจัดอันดับคุณลักษณะที่ถูกกล่าวถึงมากที่สุด 10 อันดับ

ลำดับ	คุณลักษณะเชิงบวก	จำนวน(ครั้ง)	คุณลักษณะเชิงลบ	จำนวน(ครั้ง)
1	ดี	696	ปัญหา	202
2	สวย	510	แพง	195
3	ชอบ	350	จ่าย	78
4	ชอบคุณ	112	ซ่อม	51
5	สนใจ	101	ร้อน	50
6	สนุก	93	ต่ำ	48
7	คุ้ม	88	ภาษี	46
8	คุ้มค่า	87	พัง	45
9	พัฒนา	84	ตาย	36
10	ประหยัด	76	กลัว	35

4.2. ผลการศึกษาและพัฒนาเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการจำแนกความคิดเห็นของคนไทยที่มีต่อยานยนต์พลังงานทางเลือก

ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาและพัฒนาเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการจำแนกความคิดเห็นของคนไทยต่อยานยนต์พลังงานทางเลือก ตามขั้นตอนการวิจัยทั้งหมด โดยใช้เทคนิคการทำเหมืองความรู้ 4 เทคนิค ได้แก่ เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ เทคนิคเน็ฟเบย์ เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง และเทคนิคเพอร์เซปตรอนหลายชั้นผ่านโปรแกรม Weka เวอร์ชัน 3.8.6 การทดลองใช้ข้อมูล

ความคิดเห็นจำนวน 3,000 ชุด โดยแบ่งออกเป็น 2 คลาส: คลาส P ซึ่งระบุถึงความคิดเห็นเชิงบวกจำนวน 231 คลาส และคลาส N ซึ่งระบุถึงความคิดเห็นเชิงลบจำนวน 208 คลาส การทดสอบประสิทธิภาพของเทคนิคที่ใช้ในการวิจัยนี้ดำเนินการด้วยวิธี 10-Fold Cross Validation เพื่อแบ่งข้อมูลออกเป็นชุดชุดเรียนรู้และทดสอบในอัตรา 1 : 9 และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยใช้ค่าความแม่นยำ (Precision), ค่าความระลึก (Recall), และค่าความถ่วง (F-Measure) ผลลัพธ์การวิจัยแสดงไว้ใน รูปที่ 11

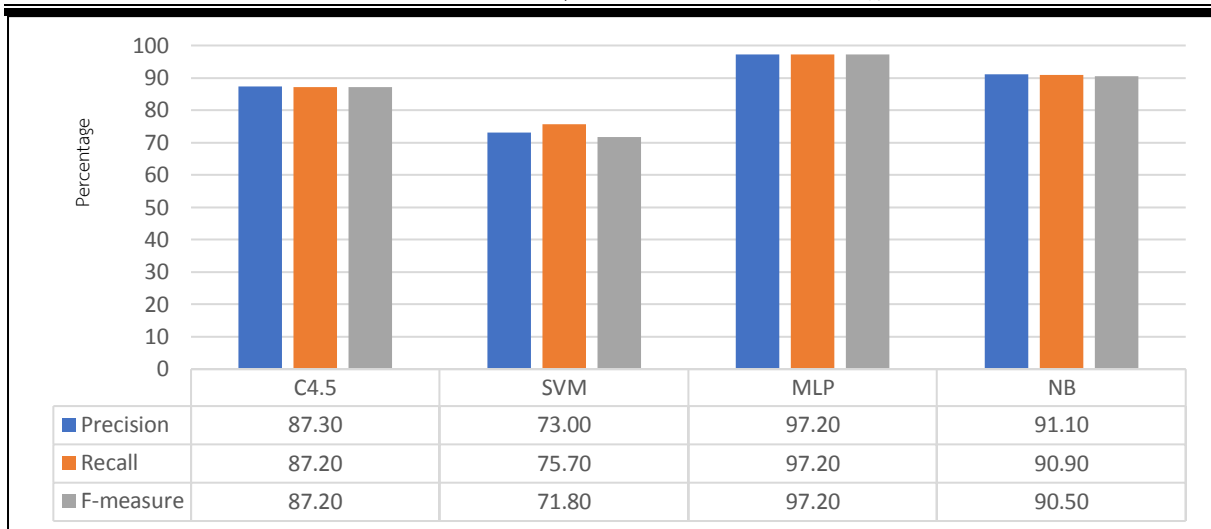


รูปที่ 11 กราฟการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง

จากรูปที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ใช้ในการวิจัยทั้ง 4 เทคนิค พบว่า เทคนิคเพอร์เซปตรอนหลายชั้น มีประสิทธิภาพสูงสุดในการวิจัยครั้งนี้ โดยมีค่าความแม่นยำ ค่าความระลึก และค่าความถ่วงที่ร้อยละ 95.30 รองลงมาได้แก่ เทคนิคเน็ฟเบย์ มีค่าความแม่นยำและค่าความระลึกที่ร้อยละ 94.00 และค่าความถ่วงที่ร้อยละ 93.90 เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ มีค่าความแม่นยำร้อยละ 90.70 ค่าความระลึกร้อยละ 90.90 ค่าความถ่วงร้อยละ 90.80 และเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องเป็นเทคนิคให้ประสิทธิภาพต่ำที่สุดในการวิจัยครั้งนี้ โดยมี ค่าความแม่นยำร้อยละ 73.50 ค่าความระลึกร้อยละ 73.50 และค่าความถ่วงร้อยละ 84.70

4.3. ผลการศึกษาและพัฒนาเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการจำแนกความคิดเห็นของคนไทยที่มีต่อยานยนต์พลังงานทางเลือกโดยพิจารณาจากคุณลักษณะที่ถูกกล่าวถึงตั้งแต่ 10 ครั้ง ขึ้นไป

จากการคัดเลือกคุณลักษณะที่ถูกกล่าวถึงตั้งแต่ 10 ครั้งขึ้นไป พบทั้งหมด 283 รายการ แบ่งเป็นคุณลักษณะเชิงบวก 173 รายการ และเชิงลบ 110 รายการ ในการทดสอบประสิทธิภาพของเทคนิค ใช้วิธี 10-Fold Cross Validation เพื่อแบ่งข้อมูลออกเป็นชุดชุดเรียนรู้และทดสอบในอัตรา 1 : 9 แล้วเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่าความแม่นยำ (Precision), ความระลึก (Recall) และ F-Measure ผลลัพธ์แสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 12 กราฟการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองพิจารณาจากคุณลักษณะที่ถูกกล่าวถึงตั้งแต่ 10 ครั้ง ขึ้นไป

จากรูปที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ใช้ในการวิจัยทั้ง 4 เทคนิค โดยพิจารณาจากคุณลักษณะที่ถูกกล่าวถึงตั้งแต่ 10 ครั้งขึ้นไป พบว่าเทคนิคเพอร์เซปตรอนหลายชั้น ยังมีประสิทธิภาพสูงสุดโดยมีค่าความแม่นยำ ค่าความระลึก และค่าความถ่วงที่ร้อยละ 97.20 รองลงมาได้แก่ เทคนิคเอนีฟเบย์ มีค่าความแม่นยำที่ร้อยละ 91.10 ค่าความระลึกที่ร้อยละ 90.90 และค่าความถ่วงที่ร้อยละ 90.50 เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ มีค่าความแม่นยำร้อยละ 87.30 ค่าความระลึก และค่าความถ่วงร้อยละ 87.20 และเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องเป็นเทคนิคให้ประสิทธิภาพต่ำที่สุดในการวิจัยครั้งนี้ โดยมี ค่าความแม่นยำร้อยละ 73.00 ค่าความระลึกร้อยละ 75.70 และค่าความถ่วงร้อยละ 71.80

5. อภิปรายผลการวิจัย

จากการวิจัยการทำเหมืองความคิดเห็นของผู้ใช้รถพลังงานทางเลือก ในครั้งนี้ทำให้ พบว่า เทคนิคเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (Multi-layer Perceptron) ได้ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดทั้งแบบทั่วไปและพิจารณาจากคุณลักษณะที่ถูกกล่าวถึงตั้งแต่ 10 ครั้งขึ้นไป โดยมีค่าความแม่นยำ ค่าความระลึกและค่าความถ่วงที่ร้อยละ 95.30 สำหรับการทดลองทั่วไป และร้อยละ 97.20 สำหรับการทดลองที่พิจารณาจากคุณลักษณะที่ถูกกล่าวถึง 10 ครั้งขึ้นไป ซึ่งต่างจากงานวิจัยของ Davis และคณะ [10] ที่ได้ผลลัพธ์จากการทดลองเป็นเทคนิค ต้นไม้ตัดสินใจ ที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดโดยมีค่าความแม่นยำที่ร้อยละ 90.00 จากการวิจัยการสร้างสถานการณ์โดยอัตโนมัติจากคลังข้อความ : กรณีศึกษาเกี่ยวกับยานพาหนะไฟฟ้า ส่วนงานวิจัยของ กิตติศักดิ์ ขำจิตร และคณะ [11] ที่ได้ใช้เทคนิคเทคนิคเอนีฟเบย์ เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ เทคนิคป่าแบบสุ่ม และ

เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก พบว่าได้ผลลัพธ์ต่างกัน โดยเทคนิคที่มีประสิทธิภาพที่สุด คือ เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก มีค่าความแม่นยำร้อยละ 95.11 ค่าความถ่วงร้อยละ 97.49 และค่าความไวร้อยละ 99.11 ในการวิจัยประสิทธิภาพของเทคนิคเหมืองข้อมูลสำหรับพยากรณ์การเกิดโรคหลอดเลือดในสมอง และหนังสือคู่มือการวิจัยการชุดความคิดเห็นและการวิเคราะห์ข้อความในงานวรรณกรรมและโซเชียลมีเดีย [12] ได้เสนอ เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง ว่าเป็นเทคนิคที่เหมาะสมในการทำเหมืองความคิดเห็นในช่วงทศวรรษนี้ ซึ่งสอดคล้องกับเทคนิคเพอร์เซปตรอนหลายชั้น ซึ่งได้พัฒนาจากเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องจึงได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจาก 4 เทคนิคในการวิจัยครั้งนี้ เนื่องจากชุดข้อมูลที่ต่างกันจึงทำให้ได้คุณลักษณะของคำมีความแตกต่างกันจึงส่งผลให้ผลการวิจัยแตกต่างกันแม้จะใช้เทคนิคในการวิเคราะห์ที่เหมือนกันก็ตาม ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ยังสามารถนำไปวิเคราะห์เพิ่มเติมได้อีก เช่น การใช้ความถี่เชิงคำ – ความถี่ผกผันเอกสาร (Term Frequency-Inverse Document Frequency: TF-IDF) เพื่อใช้วัดความสำคัญของคุณลักษณะกับชุดข้อมูลอื่น ๆ เพื่อใช้วิเคราะห์ความรู้สึกของผู้ใช้งานยานยนต์พลังงานทางเลือก

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] L. Schramm, "Some differences, many similarities: comparing Europe's responses to the 1973 oil crisis and the 2022 gas crisis," *European Political Science Review*, pp. 1-16, Aug. 2023, DOI:10.1017/S1755773923000255.
- [2] Nation Group (Thailand) Public Company Limited. (2024, January 19). *The reason why Thai people*

- use EV more: Charging costs are cheaper than oil, environmentally friendly [Online]. Available: <https://www.posttoday.com/smart-city/704607> (in Thai)
- [3] Bangkok Media and Broadcasting Co., Ltd.. (2022, September 11). *Electric cars driving through floods and charging while raining, are they safe?* [Online]. Available: <https://www.pptvhd36.com/automotive/carcare/176850> (in Thai)
- [4] B. Liu, *Sentiment analysis and opinion mining*. Switzerland: Springer Nature, 2022.
- [5] P. Namwong and S. Sathitman, "Classifying opinions on restaurant service use on social networks in Ubon Ratchathani Province using opinion mining techniques," *Journal of Management and Development Ubon Ratchathani Rajabhat University*, vol. 9, no. 2, pp. 1-14, 2022.
- [6] B. Pisit and P. Worapat, "Sentiment Analysis Techniques of Online Product Reviews," *Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal*, vol. 14, no. 3, pp. 755-769, 2022.
- [7] A. Abayomi-Alli, O. Abayomi-Alli, S. Misra, and L. Fernandez-Sanz, "Study of the Yahoo-Yahoo Hash-Tag tweets using sentiment analysis and opinion mining algorithms," *Information*, vol. 13, no. 3, p. 22, 2022.
- [8] GitHub, Inc. (2023, December 19). AttaCut: Fast and Reasonably Accurate Word Tokenizer for Thai [Online]. Available: <https://github.com/PyThaiNLP/attacut>
- [9] E. Elsaheed, O. Ouda, M. M. Elmogy, A. Atwan, and E. El-Daydamony, "Detecting fake news in social media using voting classifier," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 161909-161925, 2021.
- [10] C. W. H. Davis, A. J. Jetter, and P. J. Giabbanelli, "Automatically Generating Scenarios from a Text Corpus: A Case Study on Electric Vehicles," *Sustainability*, vol. 14, no. 13, p. 7938, 2022.
- [11] K. Khamchit, D. Jai Khum Kao, W. Phumrang, a. satnago, and A. Sukprasert, "The Efficiency of Data Mining Technique for the Prognosis of Cerebrovascular Disease," *Journal of Applied Informatics and Technology*, vol. 4, no. 2, pp. 87-98, 09/22 2022.
- [12] P. Keikhosrokiani and M. Pourya Asl, *Handbook of research on opinion mining and text analytics on literary works and social media*. IGI Global, 2022.



คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY THEPSATRI RAJABHAT UNIVERSITY

โทรศัพท์ 036-422125 เว็บไซต์ <http://itech.tru.ac.th>