



เครื่องตรวจสอบกิโลวัตต์ฮาร์มิเตอร์ แบบอัตโนมัติ Automatic Inspection Machine kiloMeter ชัยยศ คำมี และ ศุภวัฒน์ ลาวณิชย์วิสุทธิ	125
สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวาน โดยเซลล์ตรึงรูปบนอัลจีเนตเสริมแรงด้วยใยพอลิเมอร์ Optimization of ethanol fermentation from sweet sorghum juice using cell immobilization on alginate-loofah reinforcement สุนันท์ นวลเพ็ง, นฤมล แก้วอินทร์, ปริญญพันธ์ เพชรจรัส, กษมา ชารีโคตร และ สุชีรา เหล่าเจริญ	132
การออกแบบตราสัญลักษณ์และบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์แปรรูปสับปะรดนางแลของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปสับปะรดและสมุนไพร Logo and packaging Design for Nang Lae Pineapple Processed Products of Sang Kham Pineapple and Herbal Processing Community Enterprise Group สิปราง เจริญผล และ เมกุมิ คิคุจิ	140
การพัฒนาผลิตภัณฑ์หมั่นโถวเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ Development of Steamed Bun (Mantou) Products Supplemented with Tubtim Chumphae Rice (RD69) Flour ธนวรรณ เพ็งชัย, กษมา ชารีโคตร, ศรีญาญา วอขวา, ศยามน ปรียาจารย์, เอกชัย จารุเนตรวิลาส, เพลินพิศ แจ้งโพธิ์นาค และ ศรีสา ทวีแสง	148
การจัดเส้นทางเดินรถเก็บมูลฝอยติดเชื้อในจังหวัดเชียงราย Vehicle Routing for Collection of Infectious Waste in Chiang Rai Province นคร ไชยวงศ์ศักดิ์ และ พรวิศิน ศิริสวัสดิ์	161
เครื่องอัดระบบไฮดรอลิกเพื่อขึ้นรูปกระถางต้นไม้จากวัสดุธรรมชาติ The Hydraulic Press Machine for Making Flowerpots From Natural Materials สุขสวัสดิ์ แก้วชลคราม, ทศนีย์ ทองก้านเหลือง, สายนที จากถิ่น และ ภัทราวรรณ คหะวงศ์	172
การพัฒนาถ่านอัดแท่งที่เหมาะสมจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ประเภทเปลือกเมล็ดกระบอก Developing appropriate Charcoal Briquette From Agricultural Residues of Wild Almond Rind มัน্নวาท รัชนิกรโกรลาส, เอกราช นาคนวล และ สุรสิงห์ อารยางกูร	183
การจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำ กรณีศึกษา ตลาดน้ำขวัญ-เรียม เขตมีนบุรี กรุงเทพมหานคร Floating Market Tourism Logistics Management A Case Study of Kwan-Riam Floating Market, Minburi District, Bangkok ศุภฤกษ์ รวงผึ้งหลวง และ สิทธิพร ทัดทวี	193
เครื่องเรียกพยาบาลฉุกเฉินแบบมีเสียงชนิดไร้สายควบคุมผ่านระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง A wireless sound emergency nurse call via the IoT system ณัฐกานต์ เรียบเรียง, ธนวัฒน์ ทนัฒไชย, บุรินทร์ เทพโพธา และ มนตรี ศิริปรัชญานันท์	204

วารสารวิชาการเทพสตรี I-TECH
ปีที่ 18 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2566

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.วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.ชูลิทธิ์ ประดับเพ็ชร์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

ฝ่ายจัดการวารสาร

นางนภาพร รอดแก้ว นางสาวชญาณ์พิมพ์ จตุพรเนตรทอง

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 ที่อาจจะเกิดขึ้นจากบทความนั้น

เครื่องตรวจสอบกิโลวัตต์ฮาวร์มิเตอร์ แบบอัตโนมัติ

Automatic Inspection Machine kilowatt-hour Meter

ชัยยศ คำมี^{1*} และ ศุภวัฒน์ ลาวัญย์วิสุทธิ²

Chaiyos Commee^{1*} and Supawat Lawanwisut²

¹สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

²สาขาวิศวกรรมการสื่อสารและสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

¹Electrical and Electronic Engineering Faculty of Industrial Technology Loei Rajabhat University

²Communication and Information Engineering Faculty of Industrial Technology Thepsatri Rajabhat University

*Email: chaiyos3249@gmail.com

Received: July 11, 2023; Revised: September 07, 2023; Accepted: October 11, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องตรวจสอบกิโลวัตต์ฮาวร์มิเตอร์แบบอัตโนมัติ สำหรับใช้ตรวจสอบความถูกต้องเที่ยงตรงในการทำงานของกิโลวัตต์ฮาวร์มิเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น มีความสะดวกรวดเร็วและช่วยประหยัดแรงงานในการทำงาน เครื่องที่สร้างขึ้นมีการออกแบบให้สามารถใช้งานที่เสาไฟฟ้าได้โดยตรงโดยการวัดค่าปริมาณไฟฟ้าและประมวลผลผ่านคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R และแสดงผลที่จอแอลซีดี ที่ให้ผลการตรวจสอบ ผ่าน(Pass)หรือไม่ผ่าน(Fail) ซึ่งแตกต่างจากแบบเดิมที่ต้องนำไปตรวจสอบและคำนวณค่าที่สำนักงานการไฟฟ้าซึ่งพบว่าการตรวจสอบความถูกต้องเที่ยงตรงในการทำงานแบบดั้งเดิมที่พบว่ามีความยุ่งยากและใช้เวลามากในการคำนวณผล ผลการวิจัยพบว่าเครื่องที่สร้างขึ้นมีความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบกับแบบดั้งเดิมคือ 0.32% และเครื่องตรวจสอบกิโลวัตต์ฮาวร์มิเตอร์แบบอัตโนมัติใช้เวลาน้อยกว่าการตรวจสอบแบบเดิม 89.84%

คำสำคัญ : กิโลวัตต์ฮาวร์มิเตอร์,เครื่องตรวจสอบกิโลวัตต์ฮาวร์มิเตอร์ แบบอัตโนมัติ,อาดูโน บอร์ด

Abstract

The purpose of this research is to construct an automatic kilowatt-hour meter for use in checking the accuracy and precision of the kilowatt hour meter with higher efficiency. It is convenient, fast and helps save labor in work. The machine is designed to be used directly on the electric pole by measuring the electrical quantity and processing it through the Arduino UNO R controller and displaying it on the LCD. that gives inspection results Pass (Pass) or not (Fail), which is different from the old way that has to be checked and calculated at the electric utility office, which found that the verification of accuracy in traditional work was found to be complicated. And it takes a lot of time to calculate the results. The results showed that the built-in deviance compared to traditional measurements was 0.32% and that the automatic kilowatt- hour meter verification took 89.84% less time than conventional inspections.

Keywords : Kilowatt- hour meter, Automatic Kilowatt hour meter Checking Machine, Arduino Bord

1. บทนำ

ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้ากลายเป็นส่วนประกอบสำคัญของการทำงานของอุปกรณ์หลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดต่างๆ ที่นิยมใช้ในครัวเรือน เช่น โทรทัศน์ ตู้เย็น เครื่องซักผ้า เครื่องปรับอากาศ ฯลฯ รวมไปถึงอุปกรณ์เครื่องมือสื่อสารและเทคโนโลยี เช่น โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์ อินเทอร์เน็ต นอกจากนี้ปัจจุบันมีบริษัทเอกชนรายใหญ่ๆ ให้ความสนใจในธุรกิจด้านพลังงานไฟฟ้าทำให้การไฟฟ้านครหลวง ซึ่งเป็นหน่วยงานรัฐวิสาหกิจพลังงานไฟฟ้าต้องพยายามปรับกลยุทธ์และแผนการดำเนินงานให้มีมาตรฐานทันสมัยและตอบสนองความต้องการของลูกค้าที่เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับ [1] นำเสนอเกี่ยวกับการแนะนำมิเตอร์แบบต่างๆ การวางแผนการติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้า การเลือกขนาดมิเตอร์ให้เหมาะกับบ้านพักอาศัย ขั้นตอนการขอใช้ไฟฟ้า การตรวจสอบมิเตอร์ไฟฟ้า และการบำรุงรักษามิเตอร์ไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จังหวัดนครปฐม รวมทั้งการใช้โปรแกรม PEA MAP ในการค้นหาตำแหน่งมิเตอร์เพื่อที่จะทำการตรวจสอบเช่นเดียวกับ [2] ที่ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่อยู่อาศัยในเขตพื้นที่การให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง ความต้องการใช้ไฟฟ้าในครัวเรือนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เช่นเดียวกับ [3] ที่ศึกษาการหาประสิทธิภาพการให้บริการของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอสนทราย จังหวัดเชียงใหม่พบว่าปัญหาการตรวจสอบกิโลวัตต์ฮาวร์มิเตอร์มีขั้นตอนที่ยุ่งยากตั้งแต่การอ่านค่าจากมิเตอร์ที่ติดตามเสาไฟฟ้าสอดคล้องกับงานวิจัยของ [4] ได้ทำการวิจัยเรื่องระบบอ่านมิเตอร์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติผ่านสายไฟฟ้ากำลัง ระบบอ่านมิเตอร์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติที่สร้างขึ้นสามารถวัดพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งเฟสที่พิกัดแรงดัน 220 โวลต์และกระแสไม่เกิน 5 แอมแปร์โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 2 นอกจากการอ่านที่เป็นปัญหาเบื้องต้นแล้วยังมีปัญหาด้านอื่นเช่นการวัดค่าต่างๆ ในเครื่องใช้ไฟฟ้าที่อยู่ตามเสาไฟฟ้ามีความยุ่งยากและคลาดเคลื่อนจึงมีนักวิจัยพยายามคิดค้นวิธีการต่างๆ มาช่วยในการอ่านค่าต่างๆ เช่นเดียวกับ [5] วิจัยเรื่องการออกแบบเครื่องมือวัดค่าทางไฟฟ้าแบบแสดงผลด้วยเสียงพูดเพื่อเป็นอุปกรณ์การสอนเกี่ยวกับการวัดค่าทางไฟฟ้างานวิจัยได้ทำการออกแบบ

เครื่องมือวัดทางไฟฟ้าแบบแสดงผลด้วยเสียงพูดซึ่งตัวเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าแบบแสดงผลด้วยเสียงพูด สามารถพูดออกเสียงให้ผู้ใช้งานได้ถูกต้องตามค่าที่วัดได้และสามารถวัดค่าต่างๆ ทางไฟฟ้า ได้แก่การวัดแรงดันไฟฟ้า การวัดกระแสไฟฟ้า การวัดตัวต้านทาน การวัดตัวเก็บประจุ และการวัดความถี่ นอกจากนี้ยังมีนักวิจัยเช่น [6] วิจัยเรื่องพัฒนาระบบตรวจสอบปริมาณไฟฟ้าสำหรับอพาร์ทเมนท์ขนาดเล็ก โดยอพาร์ทเมนท์ขนาดเล็กหรือห้องพักส่วนใหญ่มีการก่อตั้งมาเป็นระยะเวลานาน

นอกจากปัญหาต่างๆ ข้างต้นแล้ว ปัญหาหลักประการสำคัญคือการตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของกิโลวัตต์ฮาวร์มิเตอร์เป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดเพราะหากกิโลวัตต์ฮาวร์มิเตอร์ที่วัดไม่มีความถูกต้องแม่นยำจะทำให้ระบบการคิดอัตราการใช้ไฟฟ้าไม่ถูกต้องนำความเสียหายต่อผู้ใช้ไฟฟ้าอย่างยิ่ง จากปัญหาทั้งหมดดังกล่าวผู้วิจัยจึงออกแบบและสร้างเครื่องตรวจสอบกิโลวัตต์ฮาวร์มิเตอร์ แบบอัตโนมัติเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้น

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อสร้างเครื่องตรวจสอบมิเตอร์แบบอัตโนมัติประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R
- 2.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพเครื่องตรวจสอบมิเตอร์แบบอัตโนมัติโดยการเปรียบเทียบกับเครื่องมือมาตรฐาน

3. แนวคิด ทฤษฎี กรอบแนวคิด

ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าถือเป็นปัจจัยในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจ การผลิต ธุรกิจอุตสาหกรรม รวมไปถึงการใช้ชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก ทำให้ในทุกพื้นที่ บ้านเรือนแทบทุกหลังคาเรือนต้องมีการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งการใช้ไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่จำเป็นต้องมี “กิโลวัตต์ฮาวร์มิเตอร์” หรือ “มิเตอร์ไฟฟ้า” เป็นตัววัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไป เพื่อนำมาคำนวณค่าซื้อขายพลังงานไฟฟ้า โดยที่ Watt Hour Meter (วัตต์ฮาวร์มิเตอร์) คือ เครื่องมือวัดงานไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้วัดค่าพลังงานไฟฟ้าต่อเวลาที่ใช้ไปภายในบ้านเรือน หรือ ภายในโรงงานอุตสาหกรรม โดยทั่วไป

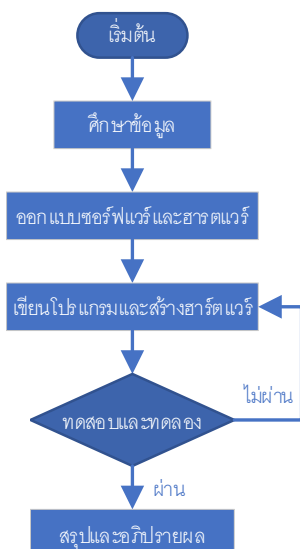
เครื่องวัดชนิดนี้จะถูกติดตั้งเอาไว้บริเวณพื้นที่ของการไฟฟ้าฯ ภายนอกบ้านและอาคาร

ฐานข้อมูลที่จะบ่งบอกแนวโน้มทางเศรษฐกิจ เพื่อการวางแผนการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในประเทศ ดังนั้นความถูกต้องของหน่วยการใช้ไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จึงถือว่ามีค่าสำคัญมาก ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับความถูกต้องและแม่นยำของการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าของ “กิโลวัตต์ฮาวร์มิเตอร์” แต่ละเครื่องนั้นๆ โดยที่ผ่านการตรวจสอบความเที่ยงตรงของกิโลวัตต์ฮาวร์มิเตอร์เป็นเรื่องที่ยุ่ยากมากเพราะการตรวจสอบความเที่ยงตรงของกิโลวัตต์ฮาวร์มิเตอร์แต่ละเครื่องนั้น จะต้องมีการวัดค่าทางไฟฟ้าเพื่อนำมาคำนวณเปรียบเทียบกับความเร็วในการหมุนของกิโลวัตต์ฮาวร์มิเตอร์ ซึ่งใช้เวลาในการคำนวณมาก สามารถวัดได้เฉพาะขณะที่มีการใช้ไฟฟ้าคงที่ ทำให้ในการตรวจสอบมิเตอร์แต่ละเครื่องนั้นใช้เวลานานและอาจเกิดความคลาดเคลื่อนของมิเตอร์ได้

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะจัดทำ “เครื่องตรวจสอบมิเตอร์แบบอัตโนมัติ” ที่สามารถตรวจสอบความเที่ยงตรงของมิเตอร์ไฟฟ้าได้อย่างแม่นยำ รวดเร็ว ประหยัดเวลา ทำให้สามารถตรวจสอบได้อย่างมีคุณภาพ และได้ปริมาณมากขึ้น

4. วิธีดำเนินการวิจัย

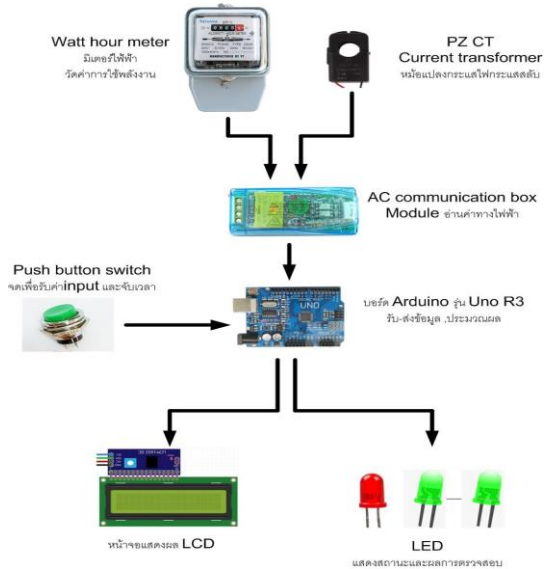
4.1 Flowchart การวางแผนการทำงานวิจัย



รูปที่ 1 Flowchart การวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการสร้างและทดสอบ

4.2 ทดสอบการทำงานของส่วนประกอบต่างๆ ในการสร้างเครื่องตรวจมิเตอร์แบบอัตโนมัติ ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

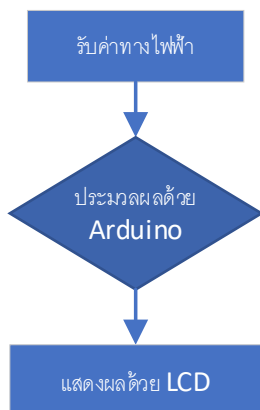


รูปที่ 2 ส่วนประกอบต่างๆ ในการสร้างเครื่องตรวจมิเตอร์แบบอัตโนมัติ

จากรูปที่ 2 มีการทำงานดังต่อไปนี้คือ

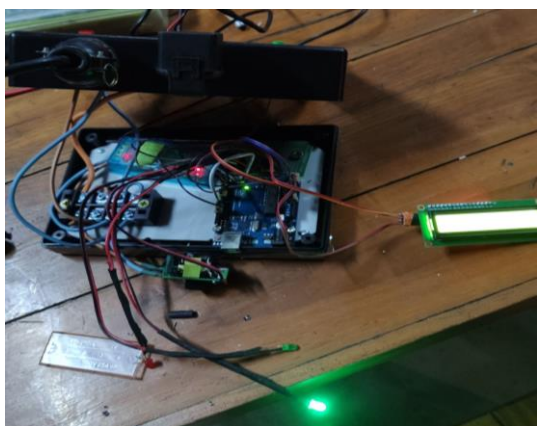
- 1) เครื่องรับค่าแรงดันไฟฟ้าจากเทอร์มินอลต่อสายของกิโลวัตต์ฮาวร์มิเตอร์
- 2) รับค่ากระแสจาก current transformer ที่นำไปคล้องที่สายไฟด้านเข้ากิโลวัตต์ฮาวร์มิเตอร์
- 3) อ่านค่า แรงดัน กระแส เพาเวอร์แฟคเตอร์ โดย AC communication box
- 4) รับค่าสัญญาณ เริ่ม/สิ้นสุด การจับเวลา จาก Push button switch
- 5) คำนวณและประมวลผลโดยบอร์ด Arduino รุ่น UNO R3
- 6) แสดงผลทาง หน้าจอ LCD และไฟ LED แสดงสถานะ

4.3 ขั้นตอนการออกแบบระบบการทำงาน (Software)



รูปที่ 3 ขั้นตอนการออกแบบระบบการทำงาน

จากรูปที่ 3 มีการทำงานดังต่อไปนี้คือ เครื่องรับค่ากระแส แรงดัน และเพาเวอร์แฟคเตอร์ ผ่านเครื่องมือวัด จากนั้นส่งเข้าประมวลผลด้วยอาดูโน บอร์ดแล้วส่งไปแสดงผลที่จอแอลอีดี



รูปที่ 4 เครื่องตรวจสอบมิเตอร์แบบอัตโนมัติที่ขณะติดตั้ง

จากรูปที่ 4 เป็นการแสดงการประกอบชิ้นส่วนและการเดินสายภายในของเครื่องฯ



รูปที่ 5 เครื่องตรวจสอบมิเตอร์แบบอัตโนมัติที่สมบูรณ์จากรูปที่ 5 เป็นการแสดงภาพถ่ายเครื่องที่เสร็จสมบูรณ์

4.4 ขั้นตอนการเตรียมการทดลอง

4.4.1 การวัดค่าทางไฟฟ้า มีขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้ คือ

- 1) คีบสายไลน์และสายนิวทรัลของมัลติมิเตอร์ ที่ช่องต่อสาย ช่องที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (นับจากทางซ้าย) วัดค่าทางไฟฟ้าจากเครื่องตรวจสอบมิเตอร์แบบเพื่อวัดแรงดัน
- 2) คีบสายไลน์และสายนิวทรัลของเครื่องตรวจสอบมิเตอร์แบบอัตโนมัติ ที่ช่องต่อสาย ช่องที่ 4 และ 3 ตามลำดับ (นับจากทางซ้าย) เพื่อวัดแรงดัน
- 3) คล้องมัลติมิเตอร์ที่สายไลน์ด้านเข้ากิโวลต์ดฮาร์วาร์มิเตอร์ เพื่อวัดกระแส
- 4) คล้อง ซี.ที. เครื่องตรวจสอบมิเตอร์แบบอัตโนมัติ ที่สายไลน์ด้านเข้ากิโวลต์ดฮาร์วาร์-มิเตอร์ เพื่อวัดกระแส



รูปที่ 6 การคีบสายเพื่อวัดค่าทางไฟฟ้า



รูปที่ 7 วัดค่าทางไฟฟ้าจากมัลติมิเตอร์

4.5 วัดและเปรียบเทียบค่าทางไฟฟ้า

1) ทดลองเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า เพาเวอร์แฟคเตอร์ที่เครื่องตรวจสอบมิเตอร์แบบอัตโนมัติ และมัลติมิเตอร์วัดค่าได้



รูปที่ 8 วัดค่าทางไฟฟ้าจากเครื่องตรวจสอบมิเตอร์แบบอัตโนมัติ



รูปที่ 9 ไฟแสดงสถานะที่ตำแหน่ง PASS



รูปที่ 10 ไฟแสดงสถานะที่ตำแหน่ง FAIL

การใช้มัลติมิเตอร์วัดค่า

แรงดันไฟฟ้า = 236.00 โวลต์, กระแสไฟฟ้า = 0.64 แอมป์, เพาเวอร์แฟคเตอร์ = 0.95

การใช้เครื่องตรวจสอบมิเตอร์แบบอัตโนมัติวัดค่า

แรงดันไฟฟ้า = 235.95 โวลต์, กระแสไฟฟ้า = 0.65 แอมป์, เพาเวอร์แฟคเตอร์ = 0.93

จากรูปที่ 8 และ 9 และ 10 แสดงการทดสอบโปรแกรม คำนวณผลและการแสดงผล

1) กดปุ่ม Start และ Stop โดยใช้นาฬิกา จับเวลาควบคุมกัน ให้ได้เวลาอยู่ในระหว่าง 20.50-21.56 วินาที (ค่า Error ไม่เกิน 2.5% จากเวลาที่คำนวณได้ 21.56) ผลปรากฏว่า จอ LCD แสดงเปอร์เซ็นต์ Error ไม่เกิน 2.5% และไฟสถานะขึ้นตำแหน่ง PASS.

2) กดปุ่ม Start และ Stop โดยใช้นาฬิกาจับเวลาควบคุมกัน ให้ได้เวลาต่ำกว่า 20.50 หรือ เกินกว่า 21.56 วินาที (ค่า Error เกิน 2.5% จากเวลาที่คำนวณได้ 21.56) ผลปรากฏว่า จอ LCD แสดงเปอร์เซ็นต์ Error เกิน 2.5% และไฟสถานะขึ้นตำแหน่ง FAIL.

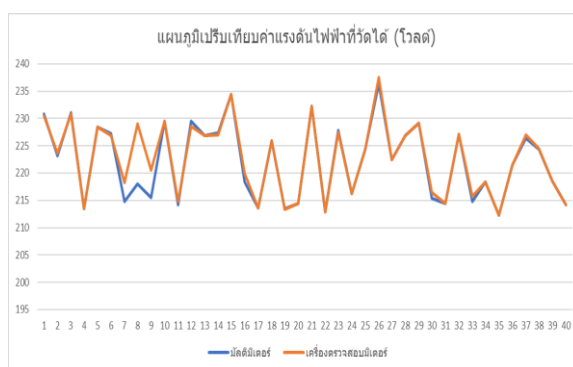
5. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

5.1 เปรียบเทียบค่าทางไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องตรวจสอบ มิเตอร์แบบอัตโนมัติกับเครื่องวัดมาตรฐาน

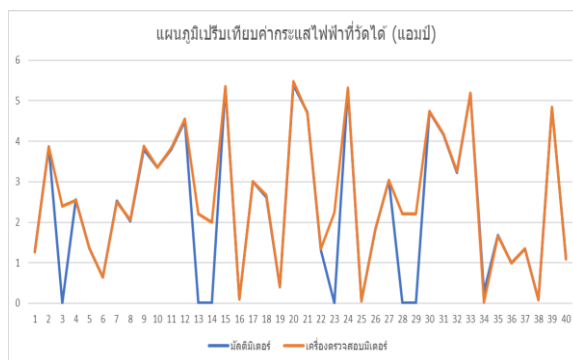
ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบค่าทางไฟฟ้าที่วัดได้จาก เครื่องฯ กับเครื่องวัดมาตรฐาน(ตัวอย่างมิเตอร์เครื่องที่ 1-5 และเครื่องที่ 35-40)

มิเตอร์ เครื่องที่	เครื่องที่ใช้ ตรวจสอบ	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	กระแสไฟฟ้า (แอมป์)	เพอร์ เซน-แพค เตอร์	หมายเหตุ
1	มัลติมิเตอร์	230.80	1.28	0.85	
	เครื่อง ตรวจสอบ มิเตอร์	230.50	1.27	0.85	
2	มัลติมิเตอร์	223.15	3.87	0.82	
	เครื่อง ตรวจสอบ มิเตอร์	223.70	3.86	0.82	
3	มัลติมิเตอร์	231.04	0.00	0.00	ไม่มีการ ใช้ไฟ
	เครื่อง ตรวจสอบ มิเตอร์	230.77	2.40	0.90	
4	มัลติมิเตอร์	213.51	2.56	0.77	
	เครื่อง ตรวจสอบ มิเตอร์	213.50	2.55	0.77	
5	มัลติมิเตอร์	228.40	1.36	0.79	
	เครื่อง ตรวจสอบ มิเตอร์	228.40	1.36	0.79	
35	มัลติมิเตอร์	212.27	1.68	0.76	
	เครื่อง ตรวจสอบ มิเตอร์	212.25	1.67	0.76	
36	มัลติมิเตอร์	221.46	1.00	0.76	
	เครื่อง ตรวจสอบ มิเตอร์	221.46	1.00	0.76	
37	มัลติมิเตอร์	226.38	1.34	0.85	
	เครื่อง ตรวจสอบ มิเตอร์	227.00	1.35	0.85	
38	มัลติมิเตอร์	224.40	0.09	0.95	
	เครื่อง ตรวจสอบ มิเตอร์	224.45	0.09	0.95	
	มัลติมิเตอร์	218.51	4.84	0.77	

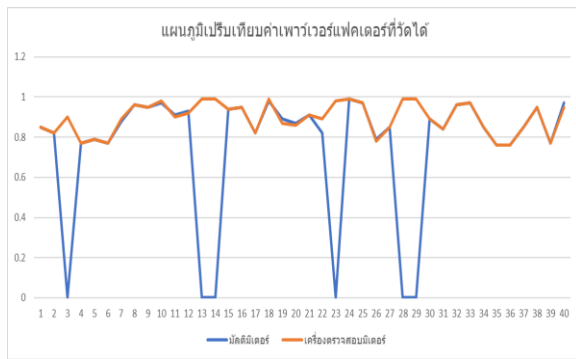
มิเตอร์ เครื่องที่	เครื่องที่ใช้ ตรวจสอบ	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	กระแสไฟฟ้า (แอมป์)	เพอร์ เซน-แพค เตอร์	หมายเหตุ
	เครื่อง ตรวจสอบ มิเตอร์	218.50	4.84	0.77	
40	มัลติมิเตอร์	214.15	1.13	0.97	
	เครื่อง ตรวจสอบ มิเตอร์	214.17	1.09	0.95	
ค่าเฉลี่ยคลาดเคลื่อน ร้อยละ		0.73 V 0.33 %	0.02 A 1.10 %	0.01 0.01 %	**ไม่คิด ค่าเฉลี่ย จาก มิเตอร์ที่ ไม่มีการ ใช้ไฟฟ้า



แผนภูมิที่ 1 เปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ (โวลต์)



แผนภูมิที่ 2 เปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้ (แอมป์)



แผนภูมิที่ 3 เปรียบเทียบค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่วัดได้

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการวัดจากเครื่อง และการคำนวณ (ตัวอย่างมิเตอร์เครื่องที่ 1-5 และเครื่องที่ 35-40)

มิเตอร์เครื่องที่	เวลาที่ใช้ (วินาที)		หมายเหตุ
	จากการวัดแบบเดิม	ใช้เครื่องตรวจสอบมิเตอร์	
1	578	38	
2	654	35	
3	0	29	ไม่มีการใช้ไฟ
4	749	28	
5	554	39	
35	498	21	
36	487	42	
37	354	31	
38	789	178	
39	354	29	
40	479	48	
ค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้	512	52	**ไม่คิดค่าเฉลี่ยจากมิเตอร์ที่ไม่มีการใช้ไฟฟ้า
ร้อยละ	100%	10.16%	



แผนภูมิที่ 4 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการตรวจสอบ

5.2 ผลการเปรียบเทียบค่าทางไฟฟ้าที่วัดได้, ค่าความคลาดเคลื่อนที่วัดได้, ค่าความคลาดเคลื่อนที่วัดได้

- ร้อยละของค่าแรงดันไฟฟ้าที่เครื่องตรวจสอบมิเตอร์แบบอัตโนมัติวัดได้ต่างจากการวัดแบบเดิมคือ 0.33
- ร้อยละของค่ากระแสไฟฟ้าที่เครื่องตรวจสอบมิเตอร์แบบอัตโนมัติวัดได้ต่างจากการวัดแบบเดิมคือ 1.10
- ร้อยละของค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่เครื่องตรวจสอบมิเตอร์แบบอัตโนมัติวัดได้ต่างจากการวัดแบบเดิมคือ 0.01
- ร้อยละของความคลาดเคลื่อนของกิโลวัตต์ฮาร์วี่มิเตอร์ระหว่างการวัดแบบเดิมและวัดโดยใช้เครื่องตรวจสอบมิเตอร์แบบอัตโนมัติ คือ 0.32

5.3 อภิปรายผล

ในการตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของการทำงาน กิโลวัตต์ - ฮาร์วี่มิเตอร์ที่ก่อนจะไปทำการติดตั้งใหม่มีความสำคัญอย่างยิ่งเช่นเดียวกับกิโลวัตต์ - ฮาร์วี่มิเตอร์ที่ติดตั้งใช้งานแล้วมีความผิดปกติในการทำงานทำให้การคิดคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าผิดพลาดโดยกระบวนการทำงานแบบดั้งเดิมและใช้ในปัจจุบันนี้คือช่างเทคนิคของการไฟฟ้าปลดมิเตอร์ไฟฟ้ามาตรวจสอบโดยใช้มัลติมิเตอร์บันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเพื่อนำค่าไปคำนวณหาค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์และจำนวนรอบของการหมุนของจานหมุนมีเที่ยงตรงหรือไม่โดยที่การตรวจสอบมิเตอร์ทุกครั้งจะต้องมีการต่อโหลดเสมอแต่สำหรับการใช้เครื่องตรวจสอบมิเตอร์แบบอัตโนมัติ สามารถตรวจสอบกิโลวัตต์ฮาร์วี่โดยตรงและแสดงผลทางจอแอลซีดีได้ทันทีโดยแสดงผล

ที่ไฟ Pass เมื่อมิเตอร์ปกติ หรือจะแสดงผลด้วยไฟ Fail เมื่อมิเตอร์มีความผิดปกติผลการวิจัยพบว่าเครื่องที่สร้างขึ้นมีความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบกับการวัดแบบดั้งเดิมคือ 0.32% และเครื่องตรวจสอบกิโลวัตต์ฮาร์มิเตอร์แบบอัตโนมัติใช้เวลาน้อยกว่าการตรวจสอบแบบเดิม 89.84% โดยที่ผลเทียบเท่ากับการตรวจมิเตอร์ตามแบบมาตรฐานจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่ใช้มัลติมิเตอร์แต่สามารถคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนโดยใช้เวลาน้อยกว่าและสามารถตรวจสอบกิโลวัตต์ฮาร์มิเตอร์ที่ไม่มีโหลดการใช้ไฟได้ซึ่งการตรวจสอบแบบดั้งเดิมไม่สามารถตรวจได้

6. ข้อเสนอแนะ

การใช้เครื่องตรวจสอบมิเตอร์แบบอัตโนมัติสามารถตรวจสอบกิโลวัตต์ฮาร์มิเตอร์ได้เฉพาะมิเตอร์ระบบ 1 เฟส 2 สาย ขนาด 5(15) แอมป์ เท่านั้น

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดีต้องขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย และผู้เกี่ยวข้องในทุกกระบวนการวิจัยทุกท่าน

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] T. Kanungram et al, "Electricity meter installation and maintenance system of the Provincial Electricity Authority," Cooperative education, Faculty of Engineering Siam University, Bangkok, 2017 (in Thai).
- [2] C. Jongmesuk, "Factors affecting the satisfaction of residential electricity consumers in the service area of the Metropolitan Electricity Authority," Master of Business Administration, Thammasat University, Bangkok, 2015, (in Thai).
- [3] P. Tasuwan, "Study for service efficiency of the Provincial Electricity Authority, San Sai District Chiang Mai Province," Master of Business

Administration, Mae Jo University, Chiang Mai, 2005 (in Thai).

- [4] W. Wongsaicheua et al. "Automatic electric meter reading system over electric power lines," *Academic conference Ubon Ratchathani University Research*, no. 6, Ubon Ratchathani University, 2012 (in Thai).
- [5] N. Pradetboon, "Speech display electrical measurement instrument design," Master of Science. Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai 2019 (in Thai).
- [6] Y. Klabcharoen, "Development of an electricity quantity monitoring system for small apartments," Master of Science Department of Information Technology and Management, Bangkok University, Bangkok, 2017, (in Thai).

สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวาน
โดยเซลล์ตรึงรูปบนอัลจิเนตเสริมแรงด้วยไยบวบ

Optimization of ethanol fermentation from sweet sorghum juice
using cell immobilization on alginate-loofah reinforcement

สุนันท์ นวลเพ็ง^{1*}, นฤมล แก้วอินทร์¹, ปริญญพันธ์ เพชรจรรัส¹, กษมา ชารีโคตร² และ สุชีรา เหล่าเจริญ¹
Sunan Nuanpeng^{1*}, Narumol Kaew-in², Parinyaphan Pechcharat¹, Kasama Chareekhot², and
Sucheera Laocharoen¹

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

²สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

¹ Biotechnology Department, Faculty of Technology, Udon Thani Rajabhat University

² Food technology and Nutrition Department, Faculty of Technology, Udon Thani Rajabhat University

*Email: sunan.nu@udru.ac.th

Received: June 10, 2023; Revised: November 28, 2023; Accepted: December 04, 2023

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการทดลอง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวาน โดยใช้ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5048 เซลล์ตรึงรูปบนอัลจิเนตเสริมแรงด้วยไยบวบ โดยวางแผนการทดลองแบบ Box-Benhken design โดยมี 3 ปัจจัยประกอบด้วย ปริมาณเซลล์ตรึง 5, 10 และ 15% (w/v) ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น 180, 240 และ 300 g/L และปริมาณกากเซลล์ยีสต์ 4, 8 และ 12 g/L โดยมีจำนวนเซลล์เริ่มต้น 8.70×10^6 cells/mL ผลการศึกษาพบว่า ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม คือความเข้มข้นของน้ำตาล 280 g/L ต่อ ปริมาณเซลล์ตรึง 5% (w/v) สามารถผลิตเอทานอลได้ 98.84 ± 0.02 g/L อัตราผลผลิตเอทานอล 1.17 ± 0.02 g/L.h ระยะเวลาในการหมัก 84 h การศึกษาการผลิตเอทานอลแบบกะซ้่า ภายใต้สภาวะความเข้มข้นน้ำตาล 280 (g/L) ปริมาณเซลล์ตรึง 5% (w/v) ทำการหมักทั้งหมด 4 กะ ความเข้มข้นเอทานอลสูงสุด และผลผลิตเอทานอลโดยเซลล์ตรึงรูปบนอัลจินตภายใต้สภาวะที่เหมาะสม คือ 94.84 ± 2.02 กรัม/ลิตร และ 1.17 ± 0.02 กรัม/ลิตร ตามลำดับ จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอลโดยเซลล์ตรึงรูปบนอัลจินตภายใต้สภาวะการหมักแบบกะซ้่า คือปริมาณความเข้มข้นน้ำตาล 280 (g/L) และสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอลโดยเซลล์ตรึงรูปบนอัลจินตภายใต้สภาวะการหมักแบบกะซ้่า คือปริมาณน้ำตาลความเข้มข้น 280 (g/L) ปริมาณเซลล์ตรึง 5% (w/v) สามารถผลิตเอทานอลได้ เท่ากับ 98.84 ± 2.02 g/L และ 1.17 ± 0.02 g/L ตามลำดับ

คำสำคัญ : ข้าวฟ่างหวาน, เซลล์ตรึงรูป, การหมักแบบกะซ้่า, ไยบวบ

Abstract

The objective of this study was to investigate the optimum conditions for ethanol production from sweet sorghum juice (SSJ) using *Saccharomyces cerevisiae* strain TISTR 5048 cells immobilized on alginate-loofah reinforced (ALM). Box-Benhken design experimental method with 3 factors as follows, immobilized cell content of 5, 10 and 15% (w/v), initial sugar concentrations of 180, 240 and 300 g/L, and dried spent

yeast of 4, 8 and 12 g/L with an initial cell concentration of 8.70×10^6 cells/ml was investigated. Under the optimum condition of sugar concentration of 280 g/L, 5% (w/v) of ALM, ethanol concentration was 98.84 ± 0.02 g/L, the productivity was 1.17 ± 0.02 g/L.h, and the fermentation duration was 84 h. A repeated batch was performed under the conditions of 280 (g/L) sugar concentration, 5% (w/v) of ALM and 4 fermentation batches. The maximum ethanol concentration and volumetric ethanol productivity obtained using ALM under the optimal conditions were 94.84 ± 2.02 g/L and 1.17 ± 0.02 g/L.h, respectively. Its conclude that the optimum conditions for batch fermentation of ALM was the sugar concentration of 280 (g/L) and the optimum conditions for ethanol production by repeated batch with ALM was 280 (g/L) of sugar concentration, 5% (w/v) of ALM, achieved ethanol concentration of 98.84 ± 2.02 g/L and productivity of 1.17 ± 0.02 g/L.

Keywords : Sweet sorghum, Immobilized cells, Repeated batch fermentation, Loofah

1. บทนำ

เอทานอลเป็นหนึ่งในแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงทางเลือกที่มีศักยภาพสูง เนื่องจากเป็นพลังงานสะอาด สามารถผลิตใหม่ได้ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม [1–3] เอทานอลสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบหลายชนิด เช่น วัสดุที่ทำจากน้ำตาล (เช่น อ้อย กากน้ำตาล กากน้ำตาลหัวบีท) วัสดุที่ทำจากแป้ง (เช่น มันสำปะหลัง ข้าวโพด มันฝรั่ง) และวัสดุที่ทำจากลิกโนเซลลูโลส (เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย ต้นข้าวโพด หญ้า เปลือกสับปะรด) นอกจากนี้ อ้อยและมันสำปะหลังแล้ว ข้าวฟ่างหวาน (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) เป็นหนึ่งในพืชพลังงานทางเลือกที่มีแนวโน้มดีที่สุดสำหรับการผลิตเอทานอลเชิงอุตสาหกรรมในประเทศไทย [4–6] ถือเป็นวัตถุดิบตั้งต้นที่มีศักยภาพสูงสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลเพราะมีระดับของน้ำตาลที่หมักได้ เช่น ซูโครส กลูโคส และฟรุกโตส และมวลชีวภาพสีเขียวที่ให้ผลผลิตสูง [7]

การผลิตเอทานอลทางอุตสาหกรรมโดยทั่วไปใช้ระบบเซลล์อิสระ ซึ่งมีข้อเสียหลายประการ เช่น ต้นทุนการดำเนินงานสูง และผลผลิตเอทานอลต่ำ [8] เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตเอทานอล จึงมีการใช้การตรึงเซลล์รูป ซึ่งมีข้อดีหลายประการ เช่น ลดความเสี่ยงของการปนเปื้อนของจุลินทรีย์เนื่องจากความหนาแน่นของเซลล์สูง และกิจกรรมการหมัก เพิ่มอัตราการดูดซับสารตั้งต้น เพิ่มผลผลิตและผลผลิตเอทานอล สามารถใช้ได้นานและความเสถียร

ของเซลล์ ความสามารถในการนำกลับมาใช้ใหม่ มีความทนทานต่อสารตั้งต้นที่มีความเข้มข้นสูง ลดการยับยั้งผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย การปกป้องเซลล์จากสารยับยั้ง การเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ง่าย และต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด [9–13] เทคนิคต่างๆ สำหรับการตรึงเซลล์ เช่น การดูดซับ การกักขัง การเชื่อมโยงข้าม พันธะโควาเลนต์ และการห่อหุ้ม [12] ในบรรดาเทคนิคเหล่านี้ การตรึงเซลล์บนแคลเซียมอัลจิเนต ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเตรียมได้ง่าย ราคาไม่แพง และไม่เปื้อนพิษ [14] อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อเสียบางประการ เช่น เจล การเสื่อมสภาพ ความแข็งแรงต่ำ และข้อจำกัดในการถ่ายเทมวล [10,13] นอกจากนี้ อุปกรณ์ที่ซับซ้อนในการเตรียมเม็ดแคลเซียมอัลจิเนต อาจทำให้ต้นทุนการผลิตสูงได้ [15] ไยบวบซึ่งเป็นวัสดุลิกโนเซลลูโลสจากบวบ ส่วนใหญ่ประกอบด้วยเซลลูโลส (60%) เฮมิเซลลูโลส (30%) และลิกนิน (10%) [16] ถือเป็นสารพลาตามธรรมชาติที่มีศักยภาพสำหรับการตรึงเซลล์ในการผลิตเอทานอลทางอุตสาหกรรม ไยบวบมีข้อดีหลายประการ เช่น ต้นทุนต่ำ ความอุดมสมบูรณ์ ความเสถียรทางเคมี ความพรุนสูง พื้นที่ผิวสูง และไม่เปื้อนพิษ [17] Ganguly และคณะ รายงานว่าโครงสร้างและรูปร่างของไยบวบยังคงไม่เปลี่ยนแปลงภายใต้สภาวะ pH ต่างๆ (1.1–14) และคงตัวในอุณหภูมิสูงแม้จะนึ่งซ้ำหลายครั้งที่ 121°C เป็นเวลา 20–40 min ไยบวบเหมาะสำหรับการยึดเกาะของเซลล์เนื่องจากประกอบด้วยโครงตาข่ายที่มีรูพรุนสูง [11]

แม้ว่าจะมีงานวิจัยที่เกี่ยวกับการศึกษาการผลิตเอทานอลโดยใช้เซลล์ตรึง [11,13,18-19] แต่พบว่าการศึกษาการผลิตเอทานอลโดยใช้เซลล์ยีสต์ตรึงรูปภายในเมทริกซ์อัลจินเตไยบบยังมีไม่มากนัก รวมทั้งการประยุกต์ใช้กับวัตถุดิบที่เป็นข้าวฟ่างหวานยังไม่มีการศึกษา ดังนั้น การประยุกต์ใช้เซลล์ตรึงรูปเสริมแรงด้วยไยบบ เพื่อผลิตเอทานอลจากน้ำข้าวฟ่างหวาน และการหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยการออกแบบการทดลองทางสถิติแบบ Box-Benhken design จึงนำมาทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ยังตรวจสอบประสิทธิภาพการผลิตเอทานอลโดยการหมักแบบกะซ้ำโดยใช้เซลล์ตรึงรูปบนอัลจินเตเสริมแรงด้วยไยบบ เพื่อดูความคงตัวและการนำกลับมาใช้ใหม่ของเซลล์ตรึงรูปนี้

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 สายพันธุ์ยีสต์ การเตรียมเซลล์และวัตถุดิบ

สายพันธุ์ยีสต์ที่ใช้ คือ *S. cerevisiae* TISTR 5048 จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) เตรียมอาหารเหลว YM ปริมาตร 100 mL ลงในพลาสติกขนาด 250 mL เชื้อเชื้อลงไป 1 ลูก และนำไปทำการเพาะเลี้ยงในตู้เขย่าควบคุมอุณหภูมิที่ 30 °C อัตราการกวน 150 rpm เป็นเวลา 18 h จากนั้นถ่ายเชื้อปริมาตร 30 mL ลงในอาหารเหลว YM ปริมาตร 300 mL บ่มที่ 30 °C อัตราการกวน 150 rpm เป็นเวลา 18 h จากนั้นนำเชื้อไปทำการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 12,000 rpm อุณหภูมิ 25 °C เป็นเวลา 10 min เทส่วนใสทิ้ง ละลายตะกอนเซลล์โดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.85% (w/v)

น้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานเข้มข้น (75 °Bx) ที่ได้จากภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลในการศึกษานี้ และถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18 °C จนกระทั่งใช้งาน

2.2 การตรึงเซลล์

ไยบบที่ใช้ในงานนี้ซื้อมาจากตลาดท้องถิ่น จังหวัดอุดรธานี ถูกตัดเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ ที่มีขนาด 15×15×5 mm นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่ 121 °C เป็นเวลา 15 min เพื่อใช้ในการตรึงเซลล์ ถ่ายเชื้อ *S. cerevisiae* TISTR 5048 ลงในสารละลายโซเดียมอัลจินเต 2% (w/v) ที่มีความเข้มข้นของ

เซลล์เริ่มต้นที่ 2×10^8 cells/mL เซลล์ตรึงถูกแช่อยู่ในสารละลายเซลล์อัลจินเต จากนั้นนำขึ้นไยบบแช่ลงในสารละลายเซลล์อัลจินเต และนำไปจุ่มลงในสารละลาย 0.1 M CaCl₂ และกวนเบา ๆ เป็นเวลา 15 min นำเซลล์ตรึงไปล้างด้วยน้ำกลั่นปราศจากเชื้อเพื่อกำจัดไอออน Ca²⁺ ส่วนเกินและเซลล์ที่ไม่ได้ติดต่อก่อนที่จะนำไปใช้ในการผลิตเอทานอล

2.3 การผลิตเอทานอลโดยเซลล์ตรึงรูปบนอัลจินเตเสริมแรงด้วยไยบบ โดยวิธีออกแบบการทดลองแบบ Box-Benhken design

วิธีออกแบบการทดลองแบบ Box-Benhken design โดยใช้โปรแกรม Design-Expert 7.0 Demo version (STATEASE Inc., Minneapolis, USA) เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการหมักเอทานอล สำหรับปัจจัยที่ใช้ในการวางแผนการทดลองมี 3 ปัจจัย ประกอบด้วย ปริมาณเซลล์ตรึง 5, 10 และ 15% (w/v) ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น 180, 240 และ 300 g/L และปริมาณกากเซลล์ยีสต์ 4 8 และ 12 g/L ซึ่งแผนการทดลองดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แผนการทดลองโดยวิธีการทดลองแบบ Box-Benhken design

Run	A: Cell % (w/v)	B: Sugar (g/L)	C: Dried cell yeast (g/L)
1	15.00	240.00	4.00
2	10.00	240.00	8.00
3	10.00	240.00	8.00
4	5.00	180.00	8.00
5	5.00	300.00	8.00
6	15.00	300.00	8.00
7	10.00	300.00	12.00
8	5.00	240.00	4.00
9	5.00	240.00	12.00
10	15.00	240.00	12.00
11	10.00	180.00	4.00
12	10.00	240.00	8.00
13	10.00	180.00	12.00
14	10.00	240.00	8.00
15	15.00	180.00	8.00
16	10.00	300.00	4.00
17	10.00	240.00	8.00

เตรียมอาหารสูตรผลิตเอทานอลที่มีน้ำข้าวฟ่างหวานเป็นแหล่งคาร์บอน โดยให้มีความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น

180, 240 และ 300 g/L จากนั้นบรรจุอาหารในปริมาณ 150 mL ลงในฟลากส์ขนาด 250 mL ปิดด้วยจุกสำลีและปิดทับด้วยอลูมิเนียมฟลอยด์ นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 28 min ทิ้งให้เย็นในตู้ถ่ายเชื้อ จากนั้นเติมเซลล์ตรึงรูปลงไปประมาณ 5, 10 และ 15 % (w/v) ปิดฟลากส์ด้วย Air lock ที่นำไปเพาะเลี้ยงในตู้บ่มแบบควบคุมอุณหภูมิ 30 °C ทำการเก็บตัวอย่างน้ำหมักทุกๆ 12 h เป็นเวลา 84 h ตามตารางแผนการทดลองโดยวิธีการออกแบบการทดลองแบบ Box-Benhken design นำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์ค่าต่างๆ รวมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลและเปรียบเทียบความเข้มข้นของเอทานอล ผลได้เอทานอล อัตราการผลิตเอทานอลในแต่ละสภาวะของการเพาะเลี้ยง

2.4 การผลิตเอทานอลในการหมักแบบกะขี้จากน้ำข้าวฟ่างหวานโดยเซลล์ตรึงรูปบนอัลจิเนตเสริมแรงด้วยไยบวบ

บรรจุอาหารสูตรผลิตเอทานอลที่มีน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานเป็นแหล่งคาร์บอน (EP medium) ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจากการหมักแบบกะ ปริมาตร 150 mL ลงในฟลากส์ขนาด 250 mL ปิดด้วยจุกสำลีและปิดทับด้วยอลูมิเนียมฟลอยด์ นำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 28 min ทิ้งให้เย็น จากนั้นเติมเซลล์ตรึงรูปปริมาณ 5 % (w/v) นำไปเพาะเลี้ยงในตู้บ่มแบบควบคุมอุณหภูมิ 30 °C ทำการเก็บตัวอย่างน้ำหมักเป็นเวลาทุก 12 h เป็นเวลา 84 h เมื่อการหมักสิ้นสุด ถ่ายน้ำหมักออก ทำการล้างเซลล์ตรึงรูปโดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.85 % (w/v) ที่ปลอดเชื้อ จากนั้นถ่ายเซลล์ตรึงรูปปริมาณ 5% (w/v) ทำการหมักในกะต่อไป จนครบจำนวน 4 กะ และนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์น้ำตาลทั้งหมด และความเข้มข้นเอทานอล

2.5 วิธีการวิเคราะห์

วิธีการหาจำนวนเซลล์ของยีสต์ที่มีชีวิตโดยวิธีการนับโดยตรงโดยใช้ Hemacytometer และย้อมด้วยเมทิลีนบลูสำหรับเซลล์ตรึง นำเซลล์ตรึง 10 กรัม นำมาละลายในบัฟเฟอร์โซเดียมซิเตรต 0.05 M ตามที่อธิบายโดย Bangrak et al. [13] การนับจำนวนเซลล์ที่มีชีวิต โดยใช้การย้อมด้วยเมทิลีนบลูตามที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี การวิเคราะห์ความเข้มข้นเอทานอล โดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas chromatography) GC-2014 บริษัท Shimadzu ประเทศ

ญี่ปุ่น ก๊าซไนโตรเจนเป็นก๊าซพาหะ อุณหภูมิตำแหน่งที่ฉีดสาร (Injector) 150 °C คอลัมน์ (Column): Rtx-Wax ของบริษัท Restex ความยาว 30 m ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.25 mm อุณหภูมิของตัวตรวจจับ (Detector) 180 °C สภาวะในการวิเคราะห์ อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 40 °C เป็นเวลา 1 min หลังจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 10 °C/min จนถึงอุณหภูมิ 70 °C

3. ผลการทดลอง

3.1 การผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานโดยเซลล์ตรึงรูปบนอัลจิเนตเสริมแรงด้วยไยบวบ

ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม (ตารางที่ 2) พบว่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น 180 g/L สามารถผลิตเอทานอลได้อยู่ในช่วง 48.00 - 62.00 g/L และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นเป็น 240 g/L พบว่า สามารถผลิตเอทานอลอยู่ในช่วง 50.80-74.58 g/L เมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นสูงขึ้นเป็น 300 g/L พบว่า สามารถผลิตเอทานอลได้อยู่ในช่วง 59.38-80.90 g/L จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำตาลมีผลต่อความเข้มข้นของเอทานอล โดยพบว่าเมื่อน้ำตาลเริ่มต้นสูงขึ้นความเข้มข้นของเอทานอลก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามสอดคล้องกับรายงานของ Laopaiboon et al. [20] พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาลจาก 18°Bx เป็น 24°Bx ทำให้ความเข้มข้นของเอทานอลเพิ่มขึ้นจาก 73.57 g/L เป็น 100.37 g/L เนื่องจากการเพิ่มซบเสรดในการเปลี่ยนไปเป็นเอทานอล

เมื่อพิจารณาผลของปริมาณกากเซลล์ยีสต์ พบว่าปริมาณกากเซลล์ยีสต์ 4 g/L สามารถผลิตเอทานอลได้อยู่ในช่วง 52.34- 72.30 g/L และเมื่อเพิ่มปริมาณกากเซลล์ยีสต์เป็น 8 g/L พบว่า สามารถผลิตเอทานอลอยู่ในช่วง 48.00-80.00 g/L เมื่อเพิ่มปริมาณกากเซลล์ยีสต์เป็น 12 g/L พบว่า สามารถผลิตเอทานอลได้อยู่ในช่วง 56.00-80.90 g/L จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณกากเซลล์ยีสต์มีผลต่อความเข้มข้นของเอทานอล โดยพบว่าเมื่อปริมาณกากเซลล์ยีสต์สูงขึ้น ความเข้มข้นของเอทานอลก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตาม อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาผลของปริมาณกากเซลล์ยีสต์ร่วมกับความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น

จะให้สอดคล้องกัน คือ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาลและปริมาณกากเซลล์ยีสต์ สามารถผลิตเอทานอลได้สูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sridee et al. [21] การเติมกากเซลล์ยีสต์ สามารถเพิ่มการผลิตเอทานอลได้เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2 การหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานโดยเซลล์ตรึงรูปบนอัลจิเนตเสริมแรงด้วยไยบวบ

run	A: cell % (w/v)	B: sugar (g/ L)	C: Dried cell yeast (g/L)	D: Ethanol Conc. (g/L)
1	15.00	240.00	4.00	52.34
2	10.00	240.00	8.00	51.90
3	10.00	240.00	8.00	58.48
4	5.00	180.00	8.00	62.00
5	5.00	300.00	8.00	80.00
6	15.00	300.00	8.00	59.38
7	10.00	300.00	12.00	80.90
8	5.00	240.00	4.00	68.96
9	5.00	240.00	12.00	63.40
10	15.00	240.00	12.00	74.58
11	10.00	180.00	4.00	60.28
12	10.00	240.00	8.00	50.80
13	10.00	180.00	12.00	56.00
14	10.00	240.00	8.00	63.84
15	15.00	180.00	8.00	48.00
16	10.00	300.00	4.00	72.30
17	10.00	240.00	8.00	58.00

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถนำค่าสัมประสิทธิ์พหามิตอร์แต่ละสภาวะการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานโดยเซลล์ตรึงรูปบนอัลจิเนตเสริมแรงด้วยไยบวบ และความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญนำมาสร้างสมการเพื่อใช้ในการพยากรณ์ความเข้มข้นของเอทานอล (ตารางที่ 3) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเอทานอล ต่อปัจจัยที่มีผลต่อการหมักเอทานอลมี 3 ปัจจัย ซึ่งได้แก่ ปริมาณเซลล์ตรึง (%) น้ำตาลเริ่มต้น (g/L) ปริมาณกากเซลล์ยีสต์ (g/L) จากสภาวะการผลิตที่แตกต่างกันได้ และค่าสัมประสิทธิ์การหาค่าสัมประสิทธิ์คอนข้างสูง (R²) ของการถดถอยของแบบจำลองข้างต้น

(0.9545) บ่งชี้ว่า 95.45% ของความเข้มข้นของเอทานอลสามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองที่สร้างขึ้น

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณเอทานอล ในกระบวนการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวาน โดยเซลล์ตรึงรูปบนอัลจิเนตเสริมด้วยแรงในไยบวบ

	Sum of Square	df	Mean Square	F value	P value Prob>F
Model	2982.40	9	331.38	3.73	0.0484
A-inoculum	187.70	1	187.70	2.11	0.1896
B-sugar conc.	1052.26	1	1052.2	11.83	0.0108
C-DSY	941.78	1	941.78	10.59	0.0140
AB	7.29	1	7.29	0.082	0.7829
AC	40.64	1	40.64	0.46	0.5207
BC	5.88	1	5.88	0.066	0.8044
A ²	45.56	1	45.56	0.51	0.4973
B ²	704.54	1	704.54	7.92	0.0260
C ²	22.80	1	22.80	0.26	0.6281
Residual	622.40	7	88.91		
Pure Error	100.50	4	25.13		
Cor Total	3604.80	16			

$$Y = +56.60 - 5.01A + 8.29B + 2.63C - 1.66AB + 6.95AC + 3.22BC + 1.60A^2 + 4.15B^2 + 6.62C^2 \quad (1)$$

เมื่อ Y = ความเข้มข้นของเอทานอล g/L

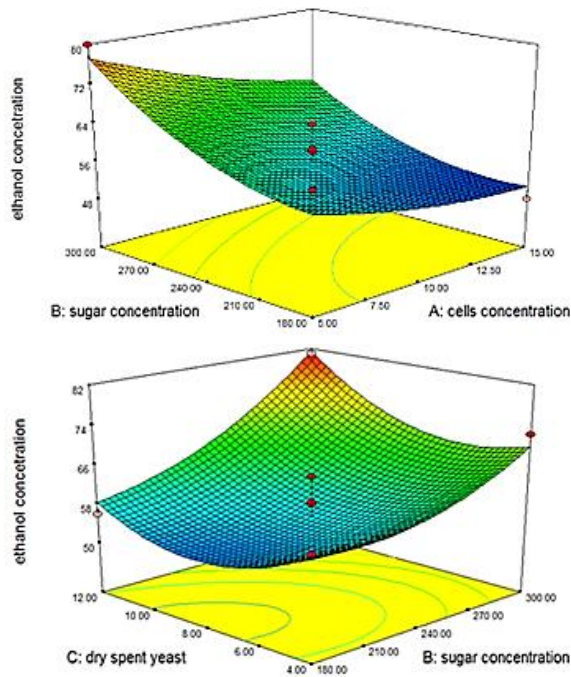
A = ปริมาณเซลล์ตรึง (%)

B = น้ำตาลเริ่มต้น (g/L)

C = ปริมาณกากเซลล์ยีสต์ (g/L)

ภาพสามมิติของพื้นที่ผิวตอบสนองแสดงผลของพหามิตอร์ต่างๆ ต่อปริมาณเอทานอล โดยเซลล์ตรึงรูปบนอัลจิเนตเสริมแรงด้วยไยบวบ (รูปที่ 1) พบว่าปริมาณเอทานอลมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นน้ำตาลเพิ่มสูงขึ้น สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเอทานอลคือปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น 280 g/L และปริมาณเซลล์ตรึง 5% (w/v) ได้ปริมาณเอทานอลเท่ากับ 72 g/L ในขณะที่ ปริมาณเซลล์

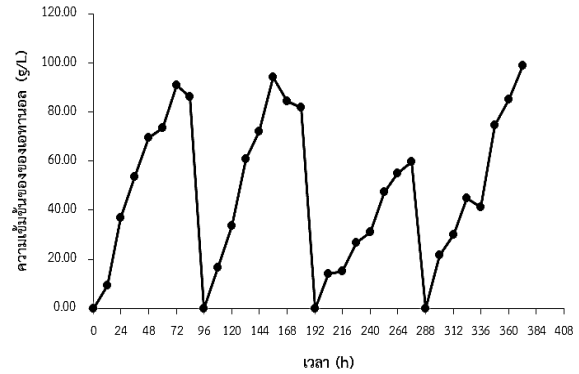
ตรง และปริมาณกากเซลล์ยีสต์ ไม่มีผลต่อความเข้มข้นเอทานอล



รูปที่ 1 ภาพสามมิติของพื้นที่ผิวตอบสนองแสดงผลของพารามิเตอร์ ต่อปริมาณเอทานอล โดยเซลล์ตรึงรูปบนอัลจินตเสริมแรงด้วยไยบวบ

3.2 การผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานโดยเซลล์ตรึงรูปบนอัลจินตที่เสริมแรงด้วยไยบวบแบบกะขี้

การผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวาน โดยการหมักแบบกะขี้จำนวน 4 รอบ โดยใช้เซลล์ตรึงของ *S. cerevisiae* TISTR 5048 ผลของการผลิตเอทานอลแบบกะขี้โดยเซลล์ตรึงรูป แสดงในรูปที่ 2 โดยความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น 280 g/L ผลการศึกษาพบว่า กะที่ 1 และ 2 สามารถผลิตเอทานอลได้ความเข้มข้นของเอทานอล และอัตราผลผลิต เท่ากับ 86.06 ± 0.24 g/L อัตราการผลิต 1.02 ± 0.04 g/L.h และ 81.94 ± 0.04 g/L อัตราการผลิต 0.97 ± 0.04 g/L.h ตามลำดับ และกะที่ 4 ได้ความเข้มข้นของเอทานอล เท่ากับ 98.10 ± 2.02 g/L อัตราการผลิต 1.17 ± 0.02 g/L.h ในระยะเวลา การหมัก 84 h การศึกษาก่อนหน้านี้โดย Ogbonna et al. [15] รายงานว่าเซลล์ที่ตรึงบนฟองน้ำไยบวบมีความเสถียรหลังจากการหมักกะขี้ได้มากกว่า 35 รอบ และการผลิตเอทานอลอย่างต่อเนื่องมากกว่า 500 h โดยใช้ซูโครสหรือกากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ



รูปที่ 2 ปริมาณเอทานอลในระหว่างการหมักเอทานอลแบบกะขี้ จำนวน 4 รอบ จากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวาน โดยเซลล์ตรึงรูปบนอัลจินตที่เสริมแรงด้วยไยบวบ

ผลจากการวิเคราะห์การศึกษากการหมักเอทานอลแบบกะ และแบบกะขี้จากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานโดยเซลล์ตรึงรูปบนอัลจินตที่เสริมแรงด้วยไยบวบ พบว่าในการหมักแบบกะ ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น 280 g/L ปริมาณเซลล์ตรึง 5% (w/v) สามารถผลิตเอทานอลได้เท่ากับ 98.84 ± 2.02 g/L อัตราผลผลิต 1.17 ± 0.02 g/L.h ในขณะที่การหมักแบบกะขี้ พบว่าสามารถผลิตเอทานอลได้ทั้งหมดจำนวน 4 รอบมีความแตกต่างกัน ซึ่งในการหมักกะที่ 1 สามารถผลิตเอทานอลเท่ากับ 86.06 ± 0.04 g/L อัตราผลผลิต 1.02 ± 0.02 g/L.h ระยะเวลาในการหมัก 84 h และในกะที่ 2 และ 3 ปริมาณเอทานอลมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ซึ่งความเข้มข้นของเอทานอลได้สูงสุดในกะที่ 4 มีความเข้มข้นของเอทานอลคือ 98.84 ± 2.02 g/L อัตราผลผลิต 1.17 ± 0.02 g/L.h เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ Rattanapan et al. [22] ศึกษาการผลิตเอทานอลจากการตรึงเซลล์โดยใช้รังไหมเป็นตัวพุง โดย *S. cerevisiae* M30 ในการหมักแบบกะได้เอทานอลสูงสุด 98.84 g/L ที่ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น 280 g/L ซึ่งสูงกว่าการใช้เซลล์อิสระ 11.5 % ในขณะที่การหมักแบบกึ่งกะ พบว่าเซลล์ตรึงยังคงมีความคงตัว เมื่อทำการหมักจำนวน 4 รอบ โดยได้เอทานอล 88.1–77.6 g/L ในการหมักแบบต่อเนื่องได้อัตราการผลิตเอทานอลสูงสุด 19.0 g/L.h ความเข้มข้น 52.8 g/L ที่อัตราการเจือจาง 0.36 h^{-1} แสดงให้เห็นชัดว่าการผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวานโดยเซลล์ตรึงรูปบนอัลจินตที่เสริมแรงด้วยไยบวบ สามารถผลิตเอทานอลได้ดีกับการใช้วัสดุตรึงเซลล์อื่นๆ

4. บทสรุป

การผลิตเอทานอลจากน้ำคั้นลำต้นข้าวฟ่างหวาน โดยการตรึงเซลล์รൂปบนอัลจีเนตเสริมด้วยแรงโน้มถ่วง การหมักแบบกะ สภาวะที่เหมาะสมคือ ความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้น 280 g/L ต่อ ปริมาณเซลล์ตรึง 5% (w/v) สามารถผลิตเอทานอลได้เท่ากับ 98.84 ± 0.02 g/L อัตราผลผลิตเอทานอล 1.17 ± 0.02 g/L.h ระยะเวลาในการหมัก 84 h และสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเอทานอลโดยเซลล์ตรึง รൂปบนอัลจีเนตเสริมด้วยแรงโน้มถ่วง ภายใต้สภาวะการหมักแบบกะซ้ำ คือ ความเข้มข้นน้ำตาลเริ่มต้น 280 (g/L) ปริมาณเซลล์ตรึง 5% (w/v) สามารถผลิตเอทานอลได้เท่ากับ 98.84 ± 2.02 g/L และ 1.17 ± 0.02 g/L ตามลำดับ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ประสิทธิ์ ใจศิลป์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่ได้กรุณาให้ความอนุเคราะห์ น้ำคั้นจากลำต้นข้าวฟ่างหวาน สายพันธุ์ มข. 40 เป็นแหล่งคาร์บอนเพื่อใช้เอทานอลจากโครงการวิจัยการผลิตเอทานอลเป็นพลังงานทดแทนจากข้าวฟ่างหวาน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] A.E. Farrell, R.J. Plevin, B.T. Turner, A.D. Jones, M. O'Hare and D.M. Kammen, "Ethanol can contribute to energy and environmental goals," *Science*, vol. 311, pp. 506–508, 2006.
- [2] J. Hill, E. Nelson, D. Tilman, S. Polasky and D. Tiffany, "Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels," *Proc Natl Acad Sci USA*, vol. 30, pp.11206–11210, 2006.
- [3] J. Yan and Lin T, "Biofuels in Asia," *Appl Energy*, vol. 86, Vol. S1–S10, 2009.
- [4] L. Laopaiboon, S. Nuanpeng, P. Srinophakun, P. Klanrit and P. Laopaiboon, "Ethanol production from sweet sorghum juice using very high gravity technology: effects of carbon and nitrogen supplementations," *Bioresour Technol*, vol. 18, pp. 4176–4182, 2009.
- [5] S. Nuanpeng, S. Thanonkeo, M. Yamada and P. Thanonkeo, "Ethanol production from sweet sorghum juice at high temperature using a newly isolated thermotolerant yeast *Saccharomyces cerevisiae* DBKKU Y-53," *Energies*, vol. 9, pp. 253-273, 2016.
- [6] S. Nuanpeng, L. Laopaiboon, P. Srinophakun, P. Klanrit, P. Jaisil and P. Laopaiboon, "Ethanol production from sweet sorghum juice under very high gravity conditions: batch, repeated-batch and scale up fermentation," *Electron J Biotechnol*, vol. 14, pp.1–12, 2011.
- [7] L. Wang, Z. Luo and A. Shahbazi, "Optimization of simultaneous saccharification and fermentation for the production of ethanol from sweet sorghum (*Sorghum bicolor*) bagasse using response surface methodology," *Ind Crops Prod.*, vol. 42, pp.280–291, 2013.
- [8] F. Shen, Y. Zeng, S. Deng, and R. Liu, "Bioethanol production from sweet sorghum stalk juice with immobilized yeast," *Process Environ Sci*, vol. 11, pp.782–789, 2011.
- [9] Y. Kourkoutas, A. Bekatorou, I.M. Banat, R. Marchant and A.A. Koutinas, "Immobilization technologies and support materials suitable in alcohol beverages production: a review," *Food Microbiol*, vol. 21, pp.377–397, 2004.
- [10] G. Najafpour, H. Younesi and K.S.K. Ismail, "Ethanol fermentation in an immobilized cell reactor using *Saccharomyces cerevisiae*," *Bioresour Technol*, vol. 92, pp. 251–260, 2004.
- [11] M. Phisalaphong, R. Budiraharjo, P. Bangrak, J. Mongkolkajit, and S. Limtong, "Alginate-loofa as carrier matrix for ethanol production," *J Biosci Bioeng*, Vol. 104, pp. 214–217, 2007.
- [12] F. Ghorbani, H. Younesi, A.E. Sari, G. Najafpour, "Cane molasses fermentation for continuous ethanol production in an immobilized cells

- reactor by *Saccharomyces cerevisiae*,” *Renew Energy*, vol. 36, pp. 503–509, 2011.
- [13] P. Bangrak, S. Limtong and M. Phisalaphong, “Continuous ethanol production using immobilized yeast cells entrapped in loofa-reinforced alginate carriers,” *Braz J Microbiol*, vol. 42, pp.676–684, 2011.
- [14] S. Behera, R.C. Mohanty and R.C. Ray, “Ethanol production from mahula (*Madhuca latifolia* L.) flowers with immobilized cells of *Saccharomyces cerevisiae* in *Luffa cylindrica* L. sponge discs,” *Appl Energy*, vol. 88, pp. 212–215, 2011.
- [15] J.C. Ogbonna, Y.C. Liu, Y.K. Liu and H. Tanaka, “Loofa (*Luffa cylindrica*) sponge as a carrier for microbial cell immobilization,” *J Ferment Bioeng*, vol. 78, pp. 437–442, 1994.
- [16] I.O. Mazali and O.L. Alves, “Morphosynthesis: high fidelity inorganic replica of the fibrous network of loofa sponge (*Luffa cylindrical*),” *Ann Braz Acad Sci*, vol. 77, pp. 25–31, 2005.
- [17] R. Ganguly, P. Dwivedi and R.P. Singh, “Production of lactic acid with loofa sponge immobilized *Rhizopus oryzae* RBU2 - 10,” *Bioresour Technol*, vol. 98, pp. 1246–1251, 2007.
- [18] J.C. Ogbonna, J. Mashima and H. Tanaka, “Scale up of fuel ethanol production from sugar beet juice using loofa sponge immobilized bioreactor,” *Bioresour Technol*, vol. 76, pp. 1–8, 2001.
- [19] A. Eiadpum, S. Limtong and M. Phisalaphong, “High-temperature ethanol fermentation by immobilized coculture of *Kluyveromyces marxianus* and *Saccharomyces cerevisiae*,” *J Biosci Bioeng*, vol. 3, pp. 325–329, 2012.
- [20] L. Laopaiboon, P. Thanonkeo, P. Jaisil and P. Laopaiboon, “Ethanol production from sweet sorghum juice in batch and fed-batch fermentations by *Saccharomyces cerevisiae*,” *World J Microbiol Biotechnol*, vol. 23, pp. 1497–1501, 2007.
- [21] W. Sridee, L. Laopaiboon, P. Jaisil and P. Laopaiboon, “The use of dried spent yeast as a low-cost nitrogen supplement in ethanol fermentation from sweet sorghum juice under very high gravity conditions,” *Electron. J. Biotechnol.*, vol. 14, 2011.
- [22] A. Rattanapan, S. Limtong and M. Phisalaphong, “Ethanol production by repeated batch and continuous fermentations of blackstrap molasses using immobilized yeast cells on thin-shell silk cocoons,” *Appl Energy*, vol. 88, pp. 4400–4404, 2012.

การออกแบบตราสัญลักษณ์และบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์แปรรูปสับประรดนางแล
ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปสับประรดและสมุนไพรทางคำ

Logo and Packaging Design for Nang Lae Pineapple Processed
Products of Sang Kham Pineapple and Herbal Processing Community
Enterprise Group

สิปราง เจริญผล* และ เมกุมิ คิคุจิ
Siprang Charoenphol* and Mekumi Kikuji

สาขาวิชานวัตกรรมและการออกแบบ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
Department of Innovative Design, Faculty of Industrial Technology, Chiang Rai Rajabhat University

*Email: siprang15@gmail.com

Received: July 20, 2023; Revised: September 28, 2023; Accepted: October 11, 2023

บทคัดย่อ

สืบเนื่องจากปัญหาราคาสินค้าเกษตรตกต่ำ และเป็นปัญหาสำคัญอันดับต้นๆ ของเกษตรกรที่ผลิตพืชผลทางการเกษตร รวมไปถึงสับประรดซึ่งปลูกเป็นจำนวนมาก เมื่อถึงฤดูกาลเก็บเกี่ยวจะประสบปัญหาผลผลิตล้นตลาด กระทบต่อรายได้ของเกษตรกร การนำผลผลิตทางการเกษตรมาแปรรูปจะช่วยป้องกันการล้นตลาดของผลิตผลสด และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลผลิตทางการเกษตร โดยการนำมาแปรรูปเป็นอาหาร ซึ่งปัจจุบันกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปสับประรดและสมุนไพรทางคำ ได้มีการแปรรูปสับประรดและสมุนไพรจำหน่ายในพื้นที่ ซึ่งบรรจุภัณฑ์ที่กลุ่มใช้อยู่ยังไม่มี ความแข็งแรงพอต่อการจัดส่งสินค้าในระยะไกล และไม่สะดวกต่อการจัดเก็บ ผลิตภัณฑ์แปรรูปบางชนิดยังไม่มีบรรจุภัณฑ์ ตราสัญลักษณ์ยังไม่มีเอกลักษณ์ที่ดึงดูดผู้บริโภค ผู้วิจัยจึงเสนอให้กลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปสับประรดและสมุนไพรทางคำ พัฒนาตราสัญลักษณ์และบรรจุภัณฑ์ใหม่ เพื่อสร้างความเป็นเอกลักษณ์ในการดึงดูดผู้บริโภค

จากการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเอกลักษณ์ภายในชุมชน ผลิตภัณฑ์แปรรูปสับประรด แบบสอบถามความต้องการของผู้ประกอบการและผู้บริโภคเกี่ยวกับการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ให้มีรูปแบบที่มีเอกลักษณ์ แล้วจึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาข้อสรุปเกี่ยวกับการนำเอกลักษณ์ของชุมชนมาเป็นแนวคิดในการออกแบบตราสัญลักษณ์และบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์แปรรูปจากสับประรด ผู้วิจัยใช้สับประรดมาเป็นแนวคิดในการออกแบบ โดยคลี่คลายรูปร่างและรูปทรงจากผลสับประรด เพื่อใช้เป็นรูปลักษณะของบรรจุภัณฑ์ รวมถึงการใช้สีของสับประรดมาออกแบบเป็นลวดลายกราฟิกบนบรรจุภัณฑ์ ตราสัญลักษณ์ใช้สับประรดและต้นไผ่ธรรมชาติ ซึ่งเป็นเอกลักษณ์ที่สื่อถึงชุมชนนางแล ส่วนบรรจุภัณฑ์ที่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปสับประรดและสมุนไพรทางคำต้องการให้ผู้วิจัยช่วยพัฒนา คือ บรรจุภัณฑ์ข้าวเกรียบสับประรด บรรจุภัณฑ์สับประรดผสมขิงกวน และบรรจุภัณฑ์ขิงผง

คำสำคัญ : ตราสัญลักษณ์, บรรจุภัณฑ์, ผลิตภัณฑ์แปรรูป, สับประรดนางแล

Abstract

Due to the problem of low prices for agricultural products, which is the number one issue for farmers who produce agricultural products, including the issue of pineapples that develop in excess during the harvest season, the income of farmers is negatively impacted. By transforming agricultural products into food, processing can prevent an oversupply of fresh produce and increase the value of agricultural products. Currently, the pineapple and herb processing community enterprise group of Sang Kham has processed pineapple and herbs for sale in nearby areas. The packaging utilized by community enterprises is insufficient for long-distance transport and inconvenient for storage. Additionally, some processed products lack packaging designs, and their logos lack an individuality that attracts consumers. Therefore, the researchers suggested that the Sang Kham pineapples community enterprise group process herbs to design and develop new logos and packaging to attract consumers in a unique way.

After collecting data on community identity, data on processed pineapple products, and summarizing questionnaires on the needs of entrepreneurs' and consumers regarding the development of unique packaging, the data were analyzed to draw conclusions regarding the use of community identity concepts in the design of logos and packaging for processed pineapple products. The researchers used the pineapple as a design concept, interpreting its shape as a packaging feature. Including incorporating the colors of pineapples into packaging design patterns. The logo features pineapples and natural bamboo, a representation of the Nang Lae identity. The Sang Kham pineapple and herbal processing community enterprise group requests that the researcher create packaging for pineapple crackers, pineapple paste mixed with ginger, and ginger powder.

Keywords: logo, Packaging, Processed products, Nang Lae pineapple

1. บทนำ

ในยุคที่สับปะรดนางแลยังเป็นพืชที่เกษตรกรตำบลนางแลปลูกจำนวนมาก เอกลักษณะเฉพาะตัวของสับปะรดนางแล คือ สีน้ำผึ้ง หวานฉ่ำ กลิ่นหอมเหมือนน้ำผึ้ง ถูกนำเข้ามาปลูกจากประเทศสิงคโปร์ เมื่อประมาณ ปีพ.ศ. 2480 ความหวานฉ่ำ สีน้ำผึ้ง และมีกลิ่นหอมเหมือนน้ำผึ้ง ทำให้สับปะรดนางแลเป็นที่ชื่นชอบของผู้บริโภค แต่ข้อเสียของสับปะรดนางแล คือ มีรอบการผลิตเพียงครั้งเดียวต่อปี โดยจะให้ผลผลิตในเดือนมิถุนายนถึงเดือนกรกฎาคมเท่านั้น หากเก็บผลผลิตก่อนหน้าจะไม่ได้ความฉ่ำเนื้อของสับปะรดและกลิ่นไม่หอม สีจะออกขาวไม่เป็นสีน้ำผึ้ง และไม่สามารถผลิตได้มากกว่า 1 รอบ ต่อฤดู ในอดีตผลผลิตที่ออกสู่ตลาดสามารถขายได้หมด เมื่อสับปะรดฤดูแลเข้ามาแทนที่ ทำให้ความนิยมในสับปะรดนางแลลดลง แต่ยังมีผู้บริโภคที่ขึ้น

ชอบรสชาติของสับปะรดนางแลอยู่ ด้วยข้อจำกัดของตัวสับปะรดนางแลที่ขำง่ายเมื่อปอกผลสดขาย เก็บไว้ได้ไม่นาน สีจะเปลี่ยน มีเส้นใยในเนื้อสับปะรดค่อนข้างมาก ทำให้การขยายฐานการขายทำได้ค่อนข้างยาก เพราะต้องมีระยะเวลาขนส่ง กว่าจะถึงมือผู้บริโภค สับปะรดจะเกิดความเสียหายจำนวนมาก

เมื่อผู้บริโภคจำนวนมาก หันไปทะคะแนนความนิยมให้กับสับปะรดฤดูแล และพันธุ์อื่นๆ ที่ได้รับการปรับปรุงพันธุ์และจำหน่ายออกสู่ตลาด ทำให้ผลผลิตสับปะรดนางแลที่เหลือจำนวนมาก เกษตรกรจำเป็นต้องขายในราคาถูก เพื่อไม่ให้ผลผลิตเสียทิ้ง แนวคิดการนำมาแปรรูป เพื่อเพิ่มมูลค่าและยืดอายุการจำหน่ายของสับปะรดนางแลได้นาน จึงมีขึ้น [1]

กลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปสับปะรดและสมุนไพรชางคำ ก่อตั้งเมื่อปีพ.ศ. 2541 โดยมีชื่อเดิมว่า กลุ่มแม่บ้านเกษตรกรป่าชาววิวัฒน์ ตั้งอยู่เลขที่ 439 หมู่ที่ 10 ตำบลนางแล อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย รหัสทะเบียน : 6-57-01-04/1-008วิสาหกิจชุมชนแปรรูปสับปะรดนางแลและสมุนไพรชางคำ มีอุปกรณ์แปรรูปสับปะรด ได้แก่ เครื่องอบเครื่องหั่นข้าวเกรียบและเครื่องบดแป้ง ส่วนผลิตภัณฑ์แปรรูปที่ทางวิสาหกิจชุมชนผลิตขึ้นมานั้น ประกอบด้วยข้าวเกรียบสับปะรด ข้าวเกรียบที่มีส่วนผสมของผักและผลไม้ น้ำสับปะรด (มีทั้งแบบพร้อมดื่มและแบบเข้มข้น) แยมสับปะรด สับปะรดแก้ว สับปะรดกวน ทอปปิ้งสับปะรด และช่วงหลังได้มีการแปรรูปสมุนไพรโดยใช้วัตถุดิบที่มีอยู่ในพื้นที่มาแปรรูปเป็นทอปปิ้งสมุนไพร (กระชาย สะระแหน่ มะขาม ชิง) ซึ่งในการทำผลิตภัณฑ์บางอย่างนั้น มีปัญหาเกิดขึ้น เช่น ในการทำข้าวเกรียบสับปะรด ซึ่งปัจจุบันนั้นได้กำไรน้อยมากเนื่องจากแป้งที่เป็นส่วนประกอบหลักนั้นมีราคาแพง ส่วนในการทำทอปปิ้งสับปะรดก็สามารถทำได้ในปริมาณครั้งละน้อยๆ เนื่องจากหากทำในปริมาณมากจะทำให้แป้งทอปปิ้งไม่ทัน และจะทำให้สับปะรดแข็งตัว ด้านการแปรรูปสมุนไพรทอปปิ้งซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ขายดีมาก แต่ก็ต้องหยุดผลิตไปเนื่องจากราคาของชิงนั้นไม่คงที่ [2]

บรรจุภัณฑ์อาหารมีบทบาทสำคัญในการเป็นขั้นตอนสุดท้ายที่จะช่วยรักษาคุณภาพอาหาร ซึ่งอาจทำให้เปลี่ยนแปลงไปโดยปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม วัตถุประสงค์หลักคือการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารให้ยาวนานขึ้น ส่วนการขนส่งบรรจุภัณฑ์มีความจำเป็นอย่างมากในการที่จะช่วยรักษาอาหารให้คงอยู่ในสภาพเดิมให้นานที่สุด ในขณะที่เดียวกันยังเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการที่จะช่วยขนส่งสินค้าโดยสะดวก เช่น อาหารที่บรรจุในกระป๋องเมื่อนำลงในกล่องกระดาษจะทำให้สามารถทำการขนถ่ายได้เป็นจำนวนมาก ก่อให้เกิดความสะดวกในการเรียงซ้อน ซึ่งผู้ประกอบการค้าโดยทั่วไปได้ค้นพบว่า การเพิ่มต้นทุนของบรรจุภัณฑ์จะช่วยให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง และค่าใช้จ่ายอื่นๆ ยังส่งผลให้ต้นทุนรวมของสินค้ามีมูลค่าถูกลงและผู้บริโภคสามารถซื้อสินค้าได้ในราคาที่ถูกลง

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเอกลักษณ์ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปสับปะรดและสมุนไพรชางคำ เพื่อนำมาใช้ใน

การออกแบบตราสัญลักษณ์และบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์แปรรูปจากสับปะรด

2. วิธีการดำเนินงานวิจัยและการออกแบบ

ประชากรกลุ่มตัวอย่างในการทำวิจัยครั้งนี้คือ สมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปสับปะรดและสมุนไพรชางคำ การเลือกกลุ่มตัวอย่างใช้วิธีการเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) จำนวน 5 คน

การเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นจากเอกสาร ตำราและงานวิจัย เกี่ยวกับการออกแบบบรรจุภัณฑ์อาหาร วัสดุที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ ขั้นตอนและกระบวนการออกแบบตราสัญลักษณ์และรูปแบบบรรจุภัณฑ์

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วยแบบสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้างและแบบสอบถามที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลตามขั้นตอน ดังนี้

1. แบบสัมภาษณ์แบบไม่มีโครงสร้าง ใช้เพื่อสัมภาษณ์สมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปสับปะรดและสมุนไพรชางคำ เกี่ยวกับปัญหาและความต้องการของบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากสับปะรด ตัวอย่างคำถามแบบไม่มีโครงสร้าง เช่น 1) ท่านมีความคิดเห็นอย่างไรต่อการพัฒนาบรรจุภัณฑ์แปรรูปสับปะรดนางแล 2) ท่านต้องการบรรจุภัณฑ์ที่มีลักษณะอย่างไร เพราะอะไร 3) ท่านคิดว่าบรรจุภัณฑ์จะช่วยสร้างอัตลักษณ์ให้กับผลิตภัณฑ์ของท่านได้หรือไม่ อย่างไร

2. แบบสอบถามแบบชนิดเลือกตอบ (Check List) ใช้เพื่อสอบถามปัญหาและความต้องการของผู้ประกอบการเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบตราสัญลักษณ์และลวดลายบนบรรจุภัณฑ์ จากนั้นวิเคราะห์ผลและบันทึกข้อมูลในการออกแบบบรรจุภัณฑ์สำหรับการจัดจำหน่าย ตัวอย่างคำถามชนิดเลือกตอบ เช่น 1) ท่านต้องการให้รายละเอียดอะไรปรากฏบนบรรจุภัณฑ์ ที่สามารถสื่อถึงเอกลักษณ์กลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปสับปะรดและสมุนไพรชางคำ

- () ผลสับปะรดนางแล
- () ตราสัญลักษณ์
- () รูปสมุนไพร
- () สรรพคุณ
- () วันที่ผลิต/วันหมดอายุ เป็นต้น

3. การวิเคราะห์ข้อมูล มีขั้นตอนการศึกษาวิจัย 3 ขั้นตอน ดังนี้

3.1 การวิเคราะห์ประเด็นปัญหา และความต้องการจากการสัมภาษณ์สมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปสับปะรดและสมุนไพรชาวคำ เพื่อหาแนวทางในการออกแบบตราสัญลักษณ์และบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์แปรรูปสับปะรดนางแล

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาแนวทางการออกแบบด้านรูปแบบ วัสดุ สี สีน และข้อมูลเกี่ยวกับสินค้า อิทธิพลต่างๆ ที่ส่งผลต่อการซื้อของกลุ่มผู้บริโภค

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบประเมินความพึงพอใจต่อการออกแบบตราสัญลักษณ์และรูปแบบบรรจุภัณฑ์มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) โดยสรุปผลและนำเสนอในรูปแบบความเรียง ซึ่งใช้เกณฑ์ระดับ 5 คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด เกณฑ์ในการวิเคราะห์ ช่วงค่าเฉลี่ย เลขคณิต ของแบบสอบถามแบบลิเคิร์ตสเกลเป็นดังนี้[3]

4.51 – 5.00 หมายถึง มีความพึงพอใจมากที่สุด

3.51 – 4.50 หมายถึง มีความพึงพอใจมาก

2.51 – 3.50 หมายถึง มีความพึงพอใจปานกลาง

1.51 – 2.50 หมายถึง มีความพึงพอใจน้อย

1.00 – 1.50 หมายถึง มีความพึงพอใจน้อยที่สุด

แนวทางการออกแบบผู้วิจัยได้คัดเลือกสรูปร่างและรูปทรงของผลสับปะรด เพื่อใช้เป็นรูปลักษณะของบรรจุภัณฑ์ รวมถึงการใช้สีของสับปะรดมาออกแบบเป็นลวดลายกราฟิกบนบรรจุภัณฑ์ ส่วนการออกแบบตราสัญลักษณ์ ใช้รูปร่างของสับปะรดและรูปทรงของต้นไม้ชางคำ ดังแสดงในรูปที่ 1 (ก) และ (ข)



(ข)

รูปที่ 1 (ก) นำลักษณะรูปทรงของสับปะรดมาเป็นแนวคิดในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ (ข) นำสีและลักษณะของไม้ชางคำมาใช้ออกแบบโลโก้

3. ผลการวิจัย

ผลจากการศึกษาปัญหาและความต้องการการออกแบบตราสัญลักษณ์และบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์แปรรูปสับปะรดนางแล ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปสับปะรดและสมุนไพรชาวคำ โดยสัมภาษณ์นางอนงค์ ตนบุญ ประธานกลุ่มวิสาหกิจชุมชน นางทิพวรรณ คำวัง รองประธานกลุ่ม นางปิ่น ชุ่มใจ ปฎิคมกลุ่ม นางพรรณณี คำลือ เทรญญิกกลุ่ม นางสมศรี อาสา สมาชิกกลุ่ม ทั้งหมดมีความต้องการให้ออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่สามารถบ่งบอกถึงเอกลักษณ์ของกลุ่มและมีความแข็งแรงเหมาะสมกับสินค้าแต่ละชนิด สามารถปกป้องสินค้าได้ การบรรจุหรือเปิด ปิด สะดวก ไม่ยุ่งยาก ควรมีสีสันสดใส และตราสัญลักษณ์ (Logo) ต้องมีไม้ชางคำ และสับปะรด เพื่อให้แตกต่างจากบรรจุภัณฑ์เดิม แสดงในรูปที่ 2

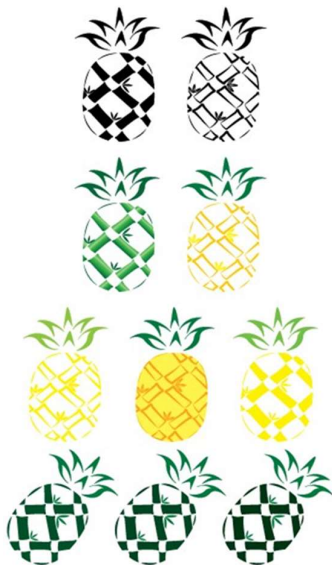


(ก)



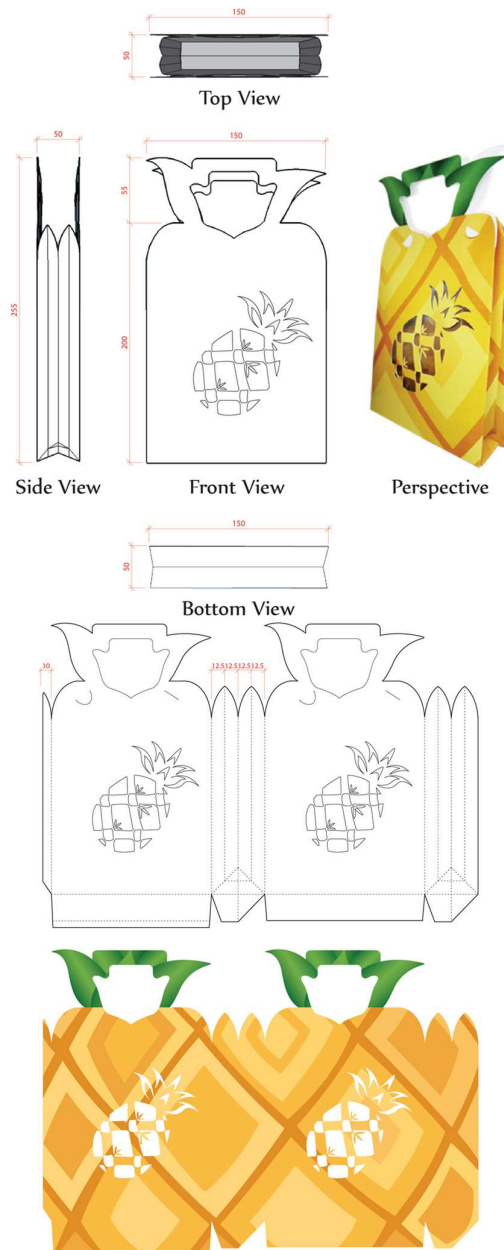
รูปที่ 2 บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในปัจจุบัน

ผลการออกแบบตราสัญลักษณ์และบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์แปรรูปสับปะรดนางแล ในการออกแบบตราสัญลักษณ์ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปสับปะรดและสมุนไพรชางคำ ผู้วิจัยได้นำรูปร่าง (Shape) ของสับปะรดและไฟ้ชางคำมาเป็นแนวคิดในการออกแบบ ผลการออกแบบตราสัญลักษณ์ แสดงในรูปที่ 3



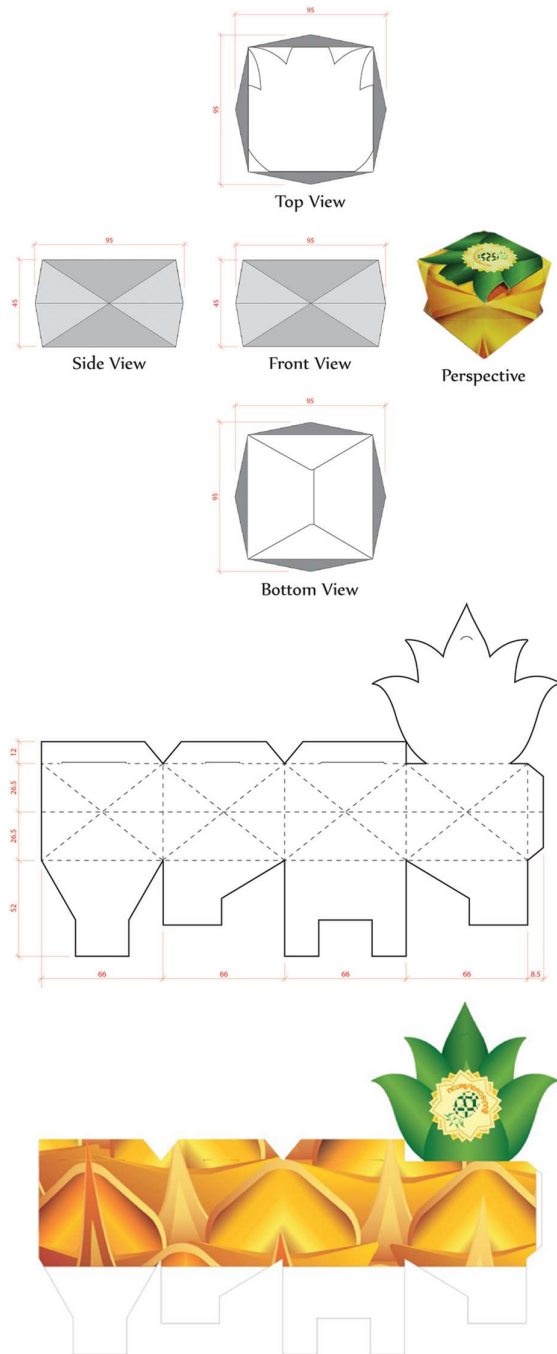
รูปที่ 3 ตราสัญลักษณ์ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปสับปะรดและสมุนไพรชางคำ

ผลการออกแบบบรรจุภัณฑ์จากการสอบถามความต้องการของผู้ประกอบการ ได้ข้อสรุปให้ออกแบบบรรจุภัณฑ์ข้าวเกรียบสับปะรดและบรรจุภัณฑ์สับปะรดผสมขิงกวน ผู้วิจัยได้นำรูปทรง (Form) ของสับปะรดมาตัดทอนเพื่อให้เกิดเป็นรูปร่างของบรรจุภัณฑ์ และใช้สีของสับปะรดมาออกแบบลวดลายกราฟิกบนบรรจุภัณฑ์ของผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ชนิด แสดงในรูปที่ 4 และบรรจุภัณฑ์สับปะรดผสมขิงกวน แสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 4 การออกแบบบรรจุภัณฑ์ข้าวเกรียบสับปะรด

นอกจากการออกแบบบรรจุภัณฑ์แล้วผู้วิจัยยังได้ออกแบบสายคาดผลิตภัณฑ์ สลากสินค้า (Label) แถบป้ายบอกข้อมูล (Tag) ซึ่งจะสร้างความน่าสนใจและเป็นเอกลักษณ์เฉพาะของชุมชน แสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 5 การออกแบบบรรจุภัณฑ์สำหรับประดสมชิ่งกวน



รูปที่ 6 สายคาดผลิตภัณฑ์ สลากสินค้า แถบป้ายบอกข้อมูล



รูปที่ 7 ต้นแบบบรรจุภัณฑ์ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปสับปะรดและสมุนไพรช่างคำ

การประเมินความพึงพอใจของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปสับปะรดและสมุนไพรช่างคำ ต่อการออกแบบตราสัญลักษณ์และบรรจุภัณฑ์ พบว่า 1) บรรจุภัณฑ์สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อื่นได้ อยู่ในระดับที่มากที่สุด ($\bar{X} = 4.80$) (S.D = 0.45) 2) รูปแบบบรรจุภัณฑ์มีความสวยงามดึงดูดผู้บริโภค ($\bar{X} = 4.60$) (S.D = 0.55) 3) บรรจุภัณฑ์มีขนาดที่เหมาะสม ($\bar{X} = 4.60$) (S.D = 0.55) 4) บรรจุภัณฑ์มีความเหมาะสมกับตัวผลิตภัณฑ์ อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.40$) (S.D = 0.55) 5) บรรจุภัณฑ์สามารถเก็บรักษาสินค้าได้ดี อยู่ในระดับที่มาก ($\bar{X} = 4.20$) (S.D = 0.45) ซึ่งสอดคล้องกับ [4] ที่กล่าวว่า การสื่อความหมายอย่างสร้างสรรค์ทางความคิด การนำองค์ประกอบของรูปภาพ ลวดลาย สัญลักษณ์ ตัวอักษร สี และรูปทรงพิเศษ มาสร้างภาพลักษณ์ภายนอกบรรจุภัณฑ์ และ [5] กล่าวว่า กราฟิกต้องสะท้อนถึงเอกลักษณ์เฉพาะถิ่น สามารถสื่อสารแก่ผู้บริโภค และนักท่องเที่ยว ตลอดจนการให้รายละเอียดบนบรรจุภัณฑ์ที่สื่อความหมายถึงตัวผลิตภัณฑ์ภายในภาพประกอบ ตัวอักษร เครื่องหมายมาตรฐาน และสัญลักษณ์ต่างๆ

จากผลการศึกษาวิจัย ได้ส่งมอบต้นแบบบรรจุภัณฑ์ให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปสับปะรดและสมุนไพรช่างคำ ตำบลนางแล อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย เพื่อส่งผลิตในระบบโรงพิมพ์และใช้สำหรับการจำหน่ายต่อไป แสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 มอบต้นแบบบรรจุภัณฑ์ให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปสับปะรดและสมุนไพรช่างคำ

4. อภิปรายผลและสรุปผล

อภิปรายผลงานวิจัย การออกแบบตราสัญลักษณ์และบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์แปรรูปสับปะรดนางแลของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปสับปะรดและสมุนไพรช่างคำ ปัจจุบันมีการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบสับปะรดและสับปะรดผสมซิงค์ รูปแบบบรรจุภัณฑ์ ได้แก่ แบบกล่องพลาสติกใส และถุงพลาสติกแบบซิปล็อคที่มีขายตามท้องตลาดทั่วไป ส่วนตราสัญลักษณ์ก็คิดรูปแบบตามความเข้าใจของชุมชน ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถคงไว้ซึ่งคุณภาพได้นาน อีกทั้งไม่มีรูปแบบที่เป็นเอกลักษณ์ ไม่สามารถดึงดูดความสนใจของกลุ่มผู้บริโภค ดังนั้นผู้วิจัยได้แนวทางการออกแบบรูปลักษณะของบรรจุภัณฑ์ ลวดลายกราฟิก สี สันจากสับปะรด เพื่อสร้างเอกลักษณ์ ส่วนตราสัญลักษณ์ออกแบบจากรูปร่างของสับปะรดและรูปทรงของต้นไม้ช่างคำ ซึ่งสอดคล้องกับกรอบแนวคิดด้านการออกแบบสิ่งพิมพ์บรรจุภัณฑ์ของต่อวงศ์ ปุ้ยพันธ์วงศ์ [6] กล่าวว่า การออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่ดีควรคำนึงถึง ด้านความสวยงามของรูปทรงและรูปลักษณ์ ด้านความน่าสนใจและน่าจดจำ ด้านลักษณะเฉพาะ ด้านประโยชน์ใช้สอย ด้านความเหมาะสมของวัสดุ และสอดคล้องกับงานวิจัยของกิตติพงษ์ ตาลกุล และคณะ [7] เกี่ยวกับการสร้างเอกลักษณ์ของสินค้าให้เป็นที่จดจำเช่น สี รูปลักษณ์บรรจุภัณฑ์ โลโก้ และอื่นๆ

รวมถึงงานวิจัยของพจนัธรธรรม ณรงค์วิทย์ และคณะ [8] ที่กล่าวถึงการออกแบบตราสัญลักษณ์ว่าควรมีลวดลาย และสีที่สวยงามสอดคล้องกับตัวผลิตภัณฑ์และสื่อความหมายในเชิงอัตลักษณ์

5. ข้อเสนอแนะ

1. การออกแบบชื่อและตราสัญลักษณ์ หรือเครื่องหมายการค้า ต้องพิจารณาตรวจสอบกับกรมทรัพย์สินทางปัญญาว่าสามารถจดทะเบียนได้หรือไม่ เช่น ชื่อนั้นไปซ้ำกับผู้อื่นหรือไม่ หรือให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบอีกครั้ง

2. การพัฒนาบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์แปรรูปจากสับปะรด เป็นการนำร่องการพัฒนาแบบบรรจุภัณฑ์ให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ตำบลนางแล ซึ่งกลุ่มวิสาหกิจชุมชนอื่นๆ สามารถนำแนวทางการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ไปใช้กับผลิตภัณฑ์อื่นได้ เช่น สินค้าประเภทของที่ระลึก ผลิตภัณฑ์หัตถกรรมที่ผลิตในจังหวัดเชียงรายที่สามารถสร้างอัตลักษณ์อันจะเป็นการเชื่อมโยงกับการท่องเที่ยวได้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] T. Fung- Fuang, C. Khansaen, N. Hengtakool, S. Ruangsiri, “Branding Building of Nang Lae Pineapple Processed that Influence the Purchasing Decisions of Tourists Visiting Chiang Rai Province”, *CRRU Journal of Communication Chiang Rai Rajabath University*, vol 5, no. 1, January - June 2022, page 29-56.
- [2] S. Chanloy, S. Preechanon, “The Package Design and Development for Pineapple and Processed Product of Pineapple of Ratchburi”, The 6th National Academic Conference, Chombueng Research Rajabath Village, March 1, 2018, pp. 310 – 323.
- [3] Weigel, R.H., Newman, L.S., 1976. Increasing attitude-behavior correspondence by broadening the scope of the behavioral measure. *Journal of Personality and Social Psychology* 33, pp. 793-802.
- [4] M. Paklamgeak, Food Packaging (1). Bangkok : Heng Heng Printing Company, 2015.
- [5] P. Kongcharoen, and S. Kongcharoen, Food Packaging (1). Bangkok : Heng Heng Printing Company, 1998.
- [6] T. Puipanthawong, Creative design concept framework. Bangkok : National Science and Technology Agency. 2011.
- [7] K. Talkul et al, 2020. The Research of the Design and Development of one Tumbon One Product Packaging case study of the Doneless Snake skin gourami packaging, Mueang district Suphanburi province, *Journal of Humanities and Social Sciences Southeast Asia University*, vol 3, no.1, page 77 - 88. Jan - Jun 2022
- [8] P. Narongwit et al. Development of Rice Badges and Packaging by Ban Thung Han Tra, Kamphaeng Phet, The 5th National Academic Conference, Research and Development Institute, Kamphaeng Phet Rajabath University, December 21, 2019, pp. 837 – 848.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์หมั่นโถวเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ Development of Steamed Bun (Mantou) Products Supplemented with Tubtim Chumphae Rice (RD69) Flour

ธนวรรณ เพ็งชัย, กษมา ชารีโคตร, ศรีัญญา วอขวา, ศยามน ปริญญาจารย์, เอกชัย จารุเนตรวิลาส,
เพลินพิศ แจ้งโพธิ์นาค และ ศรีสา ทวีแสง*

Tanawan pengchai, Kasama chareekhot, Saranya waokha, Sayamon pariyajan,
Ekachai Jarunetwirat, Ploenpit Jangponak and Sarisa Thaweelang*

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

*Email: sarisa248@hotmail.com

Received: May 30, 2023; Revised: August 08, 2023; Accepted: September 01, 2023

บทคัดย่อ

การพัฒนาผลิตภัณฑ์หมั่นโถวเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์หมั่นโถวที่มีคุณค่าทางโภชนาการจากส่วนผสมของแป้งข้าวทับทิมชุมแพและเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าวไทย โดยศึกษาปริมาณการใช้แป้งข้าวทับทิมชุมแพเสริมในผลิตภัณฑ์หมั่นโถวในปริมาณที่เหมาะสม โดยศึกษาปริมาณการเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ 0 10 20 และ 30 กรัม พบว่าปริมาณแป้งข้าวทับทิมชุมแพ มีผลต่อเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์หมั่นโถว ซึ่งเมื่อมีการเติมปริมาณแป้งข้าวทับทิมชุมแพเพิ่มขึ้น ทำให้หมั่นโถวมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น จากการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสพบว่าผลิตภัณฑ์หมั่นโถวเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ 10 กรัม เป็นสูตรผู้บริโภคมอบรับมากที่สุดที่คะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 7.26 ผลิตภัณฑ์หมั่นโถวมีลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่ม มีความยืดหยุ่น สีน้ำตาลอ่อน กลิ่นหอมอ่อนของข้าวทับทิมชุมแพ และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เกลือแร่ โปรตีน เส้นใย และสารประกอบฟีนอลิกสูง ซึ่งผลิตภัณฑ์หมั่นโถวจากแป้งเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ 10 กรัม มีค่าความชื้น 34.38 % โปรตีน 7.26 % ไขมัน 7.90 % เถ้า 2.59 % ปริมาณเส้นใย 0.24 % คาร์โบไฮเดรต 47.63% และปริมาณฟีนอลิกสูงถึง 405.88 mg GAE/100 g ของตัวอย่าง และมีค่าสี $L^* a^* b^*$ เท่ากับ 64.44 5.56 และ 14.75 ตามลำดับ

คำสำคัญ : หมั่นโถว, แป้งข้าว, ข้าวทับทิมชุมแพ

Abstract

The objective of this study was to develop a nutritious steam bun (mantou) product from a mixture of Tubtim Chumpae rice flour and to be a guideline for the development of processed products from Thai rice. To study the appropriate amount of Tubtim chumphae rice flour supplemented with in steam bun (mantou) products. The study of supplemented with 0, 10, 20, 30 grams of Tubtim chumphae rice flour found that the amount of Tubtim Chumphae rice flour affected the texture of steam bun (mantou) products. Tubtim Chum Pae rice flour was added increased the steam bun (mantou) had more hardness.

From the sensory evaluation, it was found that 10 g, had overall accepted score of 7.26 were flexible, light brown color, and had a mild aroma of Tubtim Chumphae rice. Including high nutritional value, consisting of carbohydrates, fats, minerals, proteins, fibers, and high phenolic compounds. 10 grams of steam bun (mantou) from wheat flour supplemented with Tubtim Chumpae rice flour had 34.38% moisture content, 7.26% protein, 7.90% fat, 2.59% ash, 0.24% fiber content, 47.63% carbohydrates and phenolic content were high as 405.88 mg GAE/100g sample. The color values of L* a* b* were 64.44, 5.56 and 14.75, respectively.

Keywords : Steamed Bun (Mantou), Rice Flour, Tubtim Chumpae Rice Flour

1. บทนำ

ข้าว เป็นหนึ่งในธัญพืชหลักที่มีความสำคัญ และเป็นแหล่งของพลังงานที่สำคัญสำหรับประชากรโลกโดยเฉพาะในแถบทวีปเอเชีย โดยมีพื้นที่เพาะปลูกมากอยู่ในแถบประเทศไทย จีน เกาหลี และญี่ปุ่น โดยเฉพาะประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตข้าวรายใหญ่ และมีความหลากหลายทางชีวภาพของพันธุ์ข้าว จำแนกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ข้าวไม่มีสี (non-pigmented rice) เช่น ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวเมล็ดสี (pigmented rice) ซึ่งหมายถึงข้าวที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีตามพันธุกรรม เช่น สีแดง สีน้ำตาล สีม่วง สีม่วงดำ เนื่องจากรควัตถุกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระและเมล็ดข้าวยังมีเยื่อหุ้มเมล็ดอยู่ [1,2] ปัจจุบันข้าวเมล็ดสีไทยได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายอย่างมากจากทั้งผู้บริโภคในประเทศและต่างประเทศ จากความโดดเด่นด้านสีสวยงาม ความหอม ความนุ่มและประโยชน์จากใยอาหาร สารต้านอนุมูลอิสระของรวงควัตถุในข้าว ข้าวเมล็ดสีไทยที่ได้รับความนิยม ได้แก่ ข้าวเจ้าหอมนิล ข้าวหอมมะลิแดง ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ข้าวทับทิมชุมแพ ข้าวสังข์หยด และข้าวลิ้มผัว เป็นต้น [3]

ข้าวทับทิมชุมแพ หรือข้าวพันธุ์ กข69 เป็นข้าวเจ้าสายพันธุ์ SRN 060008-18-1-5-7-CPA-20 ไม่ไวต่อแสง ทรงต้นกอดตั้งสูง ลำต้นแข็ง ใบสีเขียวปลายลักษณะรวงแน่นปานกลาง โดยให้ผลผลิตเฉลี่ยสูงถึง 797 กิโลกรัมต่อไร่ในแปลงทดลองศูนย์วิจัยข้าวชุมแพ ซึ่งเกิดจากการผสมพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 สายพันธุ์กลาย ต้นเดี่ยว มีลักษณะต้านทานต่อโรคไหม้ ไม่ไวต่อแสง เป็นพันธุ์แม่กับข้าวเจ้าพันธุ์สังข์หยดพัทลุง ซึ่งเป็นข้าวเจ้าที่มีเยื่อหุ้มเมล็ด

สีแดง ไวต่อแสง ต้นสูง เป็นพันธุ์พ่อ [4] ลักษณะพิเศษของข้าวสายพันธุ์นี้ คือ ภายหลังการหุงสุกจะมีสีแดงใสคล้ายกับสีของทับทิม (ruby) เป็นข้าวที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าข้าวทั่วไป พบว่ามีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระฟีนอลิกทั้งหมด 7,804 mgGAE/100 g และ ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด 5,233 mgGAE/100 g และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่าข้าวพันธุ์สังข์หยดพัทลุง ซึ่งแสดงโดยค่า IC₅₀ ของข้าวทับทิมชุมแพมีค่าเท่ากับ 2.68 mg/ml ซึ่งจะแสดงความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้สูงกว่าข้าวพันธุ์สังข์หยดพัทลุง (IC₅₀ เท่ากับ 5.88 mg/ml) [4] โดยสารต้านอนุมูลอิสระมีส่วนช่วยในการลดระดับคอเลสเตอรอลในกระแสเลือด ช่วยทำให้เม็ดเลือดแดงไม่จับตัวกันเป็นก้อนจนอุดตัน และยังมีคุณประโยชน์ในด้านการขับถ่าย บำรุงโลหิต บำรุงร่างกายให้แข็งแรงและป้องกันโรคความจำเสื่อม [5,6] หรืออาจนำไปใช้เพื่อการป้องกันและ/หรือรักษาภาวะความดันเลือดสูง [7] มีรายงานการวิจัยของคาร์บและคณะ [3] เกี่ยวกับการทดสอบค่าดัชนีน้ำตาลโดยประมาณหรือ pGI (predicted glycemic index ; pGI) ซึ่งเป็นการทดสอบการย่อยในสภาวะจำลองหรือในหลอดทดลอง (In vitro digestion method) พบว่า ค่า pGI ของข้าวเมล็ดสีทับทิมชุมแพ มีค่าเท่ากับ 77.05 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่า pGI ของข้าวเหนียว เช่น ข้าวลิ้มผัว (92.86) โดยในกลุ่มข้าวเจ้าข้าวทับทิมชุมแพจัดอยู่ในกลุ่มของข้าวที่มีค่า pGI สูง (มากกว่า 70) แต่ยังมีค่าน้อยกว่าข้าวขาวหอมมะลิ ซึ่งมีค่า GI อยู่ในช่วง 109 ซึ่งข้าวที่มีค่า pGI ต่ำนั้นแสดงให้เห็นว่าการย่อยได้ช้ากว่าข้าวที่มีค่า pGI สูง ดังนั้นในกลุ่มข้าวเจ้าการรับประทานข้าวเมล็ดสี อย่างเช่น ทับทิมชุมแพจึง

เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพของผู้บริโภคในแง่ของการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าข้าวทับทิมชุมแพได้รับการส่งเสริมให้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพ [8] แต่โดยส่วนใหญ่จะจำหน่ายในลักษณะของเมล็ดข้าวสารพร้อมรับประทาน และมีส่งเสริมให้เกิดการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น นำมาผสมกับข้าวเหนียว 60% และข้าวทับทิมชุมแพ 40% เพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวแต๋น [9] และนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มฟังก์ชันจากข้าวสีไทยพันธุ์ทับทิมชุมแพ 100% [10] ซึ่งยังขาดความหลากหลาย

ในด้านการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่มีส่วนผสมของข้าวหรือแป้งข้าวทับทิมชุมแพที่เป็นทางเลือกสำหรับผู้บริโภคมากขึ้น หน้มนโถว เป็นอาหารจีนชนิดหนึ่ง มีกระบวนการแปรรูปโดยนำแป้งสาลีนำมาทอด หมักให้ขึ้นฟูด้วยยีสต์ และนึ่งซึ่งหน้มนโถวแบบดั้งเดิมมีทั้งแบบที่มีไส้และไม่มีไส้ โดยแบบไม่มีไส้เหมาะจะรับประทานกับอาหารอื่นหรือในสมัยก่อนมักนิยมใช้ติดตัวยามเดินทางไกล เพราะเสียบากกว่าแบบที่มีไส้ หน้มนโถวมีรูปร่างลักษณะและรสชาติคล้ายซาลาเปาเนื่องจากมีกระบวนการแปรรูปเหมือนกัน แต่มีความแตกต่างกันที่ซาลาเปาเป็นแป้งสาลีหนึ่งทรงกลมและไส้สี่ที่มีรสชาติต่าง ๆ ไขข้างใน ส่วนหน้มนโถวอาจทำแบบมีไส้หรือไม่มีไส้ก็ได้ และซาลาเปามักจับเป็นรูปจีบด้านบนส่วนหน้มนโถวทำผิวด้านบนให้เรียบและเนียนคล้ายกับผิวหน้าของคน โดยเหตุที่ซาลาเปาต้องมีไส้เสมอ ในปัจจุบันหน้มนโถวจึงมักทำเป็นแบบไม่มีไส้เพื่อให้ต่างออกไป และหน้มนโถวที่ทำขายในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นแบบไม่มีไส้ ดังนั้นจึงอาจอธิบายได้ว่าหน้มนโถว คือซาลาเปาแบบไม่มีไส้ [11]

หน้มนโถว มีส่วนผสมหลัก คือ แป้งสาลี แต่แป้งสาลีที่ใช้ส่วนใหญ่ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ โดยในแป้งสาลีจะมีองค์ประกอบของโปรตีนที่เรียกว่ากลูเตน ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะนุ่ม และมีความยืดหยุ่น ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของผลิตภัณฑ์ขนมที่มีแป้งสาลีเป็นส่วนประกอบ [12] หน้มนโถว จัดอยู่ในขนมปังไอน้ำ (Steam bun) ที่มีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ [13] ดังนั้นหากนำแป้งข้าวทับทิมชุมแพมาเสริมกับแป้งข้าวสาลีเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์หน้มนโถวที่มีคุณค่าทางโภชนาการด้านสารต้านอนุมูลอิสระจากแป้งข้าวทับทิมชุมแพ ซึ่งเป็นสายพันธุ์ข้าวที่พัฒนามาจากข้าวท้องถิ่นของไทย มีลักษณะเด่นทางด้านเป็นข้าวเมล็ดสี ที่มีสารต้านอนุมูลอิสระสูงมาใช้ในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์

อาหารที่พร้อมรับประทาน ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงศึกษาการใช้แป้งข้าวทับทิมชุมแพเสริมแป้งสาลีในการพัฒนาผลิตภัณฑ์หน้มนโถวที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวทับทิมชุมแพ เพื่อให้ได้ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคโดยทั่วไป และวิเคราะห์ถึงปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในผลิตภัณฑ์หน้มนโถวที่มีส่วนผสมของข้าวทับทิมชุมแพ และเป็นการเพิ่มทางเลือกสำหรับผู้บริโภคในการบริโภคผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพจากข้าวทับทิมชุมแพ

2. วัสดุและวิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ

เตรียมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ (Tubtim chumphae rice flour) ด้วยเครื่องอบแห้ง โดยการนำข้าวทับทิมชุมแพนำมาคัดเลือกสิ่งสกปรกออก และนำข้าวทับทิมชุมแพใส่ลงในถาดถละ 250 กรัม จากนั้นนำไปให้ออบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (ยี่ห้อ JSR รุ่น JSOF -250) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสนาน 4 ชั่วโมง แล้วนำมาบดด้วยเครื่องบดละเอียด อเนกประสงค์ครัวเรือนเชิงพาณิชย์ (ยี่ห้อ KEIAS model:EP201) เมื่ออบเสร็จแล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงร่อนความละเอียด 80 mesh และเก็บแป้งข้าวทับทิมชุมแพในภาชนะบรรจุกันความชื้น เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

2.2 การหาปริมาณที่เหมาะสมของการเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพต่อการผลิตหน้มนโถว

ศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของการเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพในผลิตภัณฑ์หน้มนโถว 4 สูตร ได้แก่ สูตรมาตรฐาน สูตรที่ 1 ไม่เสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ (แป้งสาลี) สูตรที่ 2 เสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ 10 กรัม สูตรที่ 3 เสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ 20 กรัม และสูตรที่ 4 เสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ 30 กรัม ซึ่งสูตรที่ใช้ในการทำหน้มนโถวคัดแปลงมาจากศรีเวียง [14] ดังแสดงในตารางที่ 1

กรรมวิธีการผลิตหน้มนโถวเริ่มต้นด้วย การผสมแป้งตามอัตราส่วนในตารางที่ 1 โดยร่อนแป้งสาลีและแป้งเค้ก แป้งข้าวทับทิมชุมแพ ผงฟู สารเสริมคุณภาพขนมปังลงในอ่างผสม ผสมให้เข้ากันจากนั้นเติมยีสต์ลงไป ตามด้วยละลายน้ำตาลและเกลือลงในน้ำเปล่า เทส่วนผสมที่เป็นของเหลวลงในอ่างผสมที่เตรียมไว้ โดยค่อยๆ เทสลับกับตะล่อมส่วนผสมให้เข้ากัน จากนั้นเติมไข่ขาวและนวด

ประมาณ 20 นาที เติมน้ำเย็น นวดต่ออีก 10 นาที จนส่วนผสมเข้าที่แป้งไม่ติดมือ พักก้อนโดในอ่างผสมปิดด้วยฟิล์มถนอมอาหารหรือฝาปิดภาชนะ พักไว้ 20 นาที ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อโดขึ้นเป็น 2 เท่า จากนั้นนำก้อนแป้งโดออกมาใส่อากาศ ตัดแบ่งเป็นก้อน ก้อนละ 13 กรัม คลึงให้กลมเรียบเนียนแล้วขึ้นรูปเป็นวงกลมวางบนกระดาษไข พักไว้อีกครั้ง 10 นาที จากนั้นนำไปใส่ในลังถึงและนึ่งด้วยไอน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที นึ่งประมาณ 15-20 นาที

2.3 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ

นำผลิตภัณฑ์หมั่นโถวเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ ทั้ง 4 สูตร มาวิเคราะห์ค่าสี ได้แก่ ค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง-เขียว (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน (b^*) ด้วยเครื่องวัดค่าสี Hunter Lab รุ่น CX 1463 (USA) การเตรียมตัวอย่างเพื่อการวัดสี ทำการวัดโดยเตรียมแป้งหมั่นโถวตามสูตรและวิธีการในข้อ 2.2 และวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่าความแข็ง (Hardness) ค่าการเกาะรวมตัวกัน (Cohesiveness) ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) และค่าทนต่อการเคี้ยว (Chewiness) โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer ยี่ห้อ Brookfield รุ่น CT3 ใช้หัววัด TA25/1000 Cylinder ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 มม. สำหรับการ

เตรียมตัวอย่างเพื่อการวัดเนื้อสัมผัสทำการวัดโดยเตรียมแป้งหมั่นโถวตามสูตรและวิธีการในข้อ 2.2 แต่ลดปริมาณปริมาณแป้งให้เหลือ ก้อนละ 6 กรัม เพื่อให้มีขนาดพอเหมาะกับการวัดเนื้อสัมผัส จากนั้นนำตัวอย่างหมั่นโถวหนึ่งให้สุก และตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที และนำตัวอย่างมาวางบนกึ่งกลางของเครื่องวิเคราะห์ โดยสภาวะของการวัดมีดังต่อไปนี้ pre-test และ post-test speed (2.00 mm/s), test speed (2 mm/s), trigger load (10g) และ distance 10.0 mm จากนั้นเปรียบเทียบลักษณะดังกล่าวระหว่างผลิตภัณฑ์หมั่นโถวจากแป้งสาลี (สูตรควบคุม) กับสูตรที่เสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ ในปริมาณ 10 20 และ 30 กรัม ทดลองทั้งหมด 5 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลด้วยวิธี Analysis of variance (ANOVA) และวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 1 ส่วนผสมการทำผลิตภัณฑ์หมั่นโถวจากแป้งสาลีเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ

ส่วนผสม	สูตรที่ 1 (กรัม)	สูตรที่ 2 (กรัม)	สูตรที่ 3 (กรัม)	สูตรที่ 4 (กรัม)
แป้งสาลี	40	40	40	40
แป้งเค้ก	10	10	10	10
แป้งข้าวทับทิมชุมแพ	0	10	20	30
ยีสต์	1	1	1	1
เกลือ	1	1	1	1
น้ำตาล	12	12	12	12
ผงฟู	1	1	1	1
เคเอส 505 (สารเสริมคุณภาพขนมปัง)	1	1	1	1
น้ำสะอาด	25	25	25	25
ไข่ขาว	3	3	3	3
เนยขาว	6	6	6	6

ที่มา : Sriwiang [14]

2.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์หมั้นโถวเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ

การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความนุ่ม และความชอบโดยรวม ใช้ผู้ทดสอบชิมกึ่งฝึกฝนจำนวน 30 คน ซึ่งเป็นนักศึกษาของคณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี ที่แสดงความสนใจในการเข้าร่วมทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยทดสอบด้วยวิธี 9-point hedonic scale (9 = ชอบมากที่สุด, 1 = ไม่ชอบมากที่สุด) โดยการวางแผนการทดลองแบบ RCBD (Randomized Complete Block Design) และวิเคราะห์ค่าความแตกต่างโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีผลิตภัณฑ์หมั้นโถวเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ

2.5.1 การเตรียมตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์

ตัวอย่างเป็นหมั้นโถวสูตรมาตรฐาน สูตรที่ 1 (แป้งสาลี) และสูตรที่ 2 (เสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ 10 กรัม) โดยแต่ละสูตรจะทำการเก็บในถุงบรรจุสุญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

2.5.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

นำผลิตภัณฑ์หมั้นโถวทั้ง 2 สูตรมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีได้แก่ วิเคราะห์ประมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเถ้า และปริมาณเส้นใย ด้วยวิธี AOAC, 2019 [15] และหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตโดยวิธีการคำนวณโดยผลต่าง (by difference) ดังนี้ คาร์โบไฮเดรต(%) = 100-%ความชื้น - %ไขมัน - %โปรตีน - %เถ้า - %เส้นใย

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติแบบ Independent Sample t-test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2.5.3 การวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด

นำผลิตภัณฑ์หมั้นโถวทั้ง 2 สูตร มาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงร่อนความละเอียด 80 mesh เก็บตัวอย่างหมั้นโถวในถุงฟลอยด์ที่ -20 องศาเซลเซียส การเตรียมสารสกัดจากตัวอย่างหมั้นโถวดัดแปลงวิธีของ Shao และ

คณะ [16] โดยชั่งตัวอย่างผงหมั้นโถวปริมาณ 5 กรัม เติมน้ำสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 95 (v/v) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จากนั้นทำการโฮโมจีไนซ์เพื่อให้ตัวอย่างละเอียดทิ้งไว้อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 คืน นำตัวอย่างมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 จำนวน 3 รอบและทำการปรับปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำสารละลายที่สกัดได้มาวิเคราะห์หาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content, TPC) ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น UV-1900 (Japan) โดยดัดแปลงตามวิธีการของ Kubola และคณะ [17] และ Shao และคณะ [16] โดยคำนวณหาปริมาณสารดังกล่าวจากกราฟมาตรฐานของกรดแกลลิก (Gallic acid equivalent, GAE) ในรูปของมิลลิกรัมสมมูลย์ของกรดแกลลิก ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้งของหมั้นโถว (mg GAE/100g sample) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และนำข้อมูลที่ได้อ้อมมาวิเคราะห์ทางสถิติแบบ Independent Sample t-test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2.6 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS for Windows Version 22

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของหมั้นโถวเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ

ผลการศึกษาลักษณะสีของหมั้นโถวเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ แสดงดังตารางที่ 2 พบว่าค่าความสว่าง (L*) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สูตรที่ 1 (แป้งสาลี) มีค่าความสว่างสูงที่สุดเท่ากับ 78.00 และเมื่อเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพปริมาณเพิ่มขึ้นที่ปริมาณ 10, 20 และ 30 กรัม พบว่า ค่าความสว่าง (L*) มีค่าลดลงตามปริมาณการเพิ่มแป้งข้าวทับทิมชุมแพ มีค่าเท่ากับ 60.44 60.73 และ 60.09 ตามลำดับ ซึ่งแป้งข้าวทับทิมชุมแพมีผลต่อค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากแป้งข้าวทับทิมชุมแพมีรงควัตถุคือ แอนโทไซยานิน เป็นสารให้สีม่วง-แดง [5,6] เมื่อเติมลงในผลิตภัณฑ์หมั้นโถวที่มีสีขาว ความสว่างของผลิตภัณฑ์จะมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณการเติมแป้งข้าวทับทิมชุมแพที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งมีค่าแนวโน้มผกผันกับ

ค่าความเป็นสีแดง (a^*) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแป้งข้าว ทับทิมขุมแพปริมาณค่าความเป็นสีแดงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของสูตรที่ 1 (แป้งสาาลี) มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.48 และค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของสูตรเสริมแป้งข้าวทับทิมขุมแพที่ปริมาณ 10, 20 และ 30 กรัม มีค่าความเป็นสีแดง (a^*) เท่ากับ 5.56, 7.30 และ 7.46 ตามลำดับ เนื่องจากข้าวทับทิมขุมแพ เป็นข้าวเมล็ดสี ซึ่งมีเยื่อหุ้มเมล็ดที่สีโทนม่วงแดง ตามลักษณะพันธุกรรม [3] เมื่อมีการเสริมปริมาณแป้งข้าวทับทิมขุมแพในปริมาณเพิ่มมากขึ้น ค่า a^* จึงมีแนวโน้มสูงขึ้นตามลำดับ สำหรับค่าสีเหลือง (b^*) พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยสูตรที่ 1 (แป้งสาาลี) มีค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) สูงที่สุดเท่ากับ 18.76 และสูตรที่ 4 (เสริมแป้งข้าวทับทิมขุมแพ 30 กรัม) มีค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ต่ำที่สุดเท่ากับ 13.71 ซึ่งการเสริมแป้งข้าวทับทิมขุมแพมีผลต่อค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากแป้งสาาลีและแป้งเค้กที่ใช้เป็นส่วนผสมหลักมีสีขาว รวมทั้งเนยที่มีสีเหลืองอ่อน ซึ่งที่เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ในปริมาณที่คงที่ ส่วนแป้งข้าวทับทิมขุมแพมีเม็ดสีม่วงแดง ส่งผลให้สูตรที่เสริมด้วยแป้งข้าวทับทิมขุมแพมีผลทำให้ค่าสีเหลืองลดลงตามระดับการเพิ่มแป้ง

ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์หมั่นโถวเสริมแป้งข้าวทับทิมขุมแพ พบว่า ค่าความแข็ง (Hardness) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สูตรที่มีค่าเฉลี่ยความแข็งสูงสุด คือสูตรที่ 4 (เสริมข้าวทับทิมขุมแพ 30 กรัม) มีค่าความแข็งเท่ากับ 5.74 N ส่วนสูตรที่มีค่าเฉลี่ยความแข็งต่ำสุด คือสูตรที่ 1 (แป้งสาาลี) มีค่าความแข็งเท่ากับ 3.98 N จากผลการทดลองพบว่า หมั่นโถวที่ไม่เสริมแป้งข้าวทับทิมขุมแพ (แป้งสาาลี) มีค่าแรงกดต่ำสุด ส่วนหมั่นโถวที่เสริมแป้งข้าวทับทิมขุมแพในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น ค่าแรงกดสูงสุดมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากในแป้งสาาลีโปรตีนที่ทำให้เกิดกลูเตนซึ่งเป็นตัวทำให้ผลิตภัณฑ์มีความยืดหยุ่น เหนียวนุ่ม และกลูเตนสามารถเก็บก๊าซ CO_2 ที่ผลิตขึ้นโดยยีสต์หรือผงฟูไว้ได้ [12,18] ดังนั้นแรงที่ใช้ในการกดจึงน้อยกว่าหมั่นโถวที่เสริมด้วยแป้งข้าวทับทิมขุมแพ

สำหรับค่าการเกาะรวมตัวกัน (Cohesiveness) และค่าทนต่อการเคี้ยว (Chewiness) พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยเมื่อมีการเสริมแป้งข้าวทับทิมขุมแพในปริมาณเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ค่าการเกาะรวมตัวกัน (Cohesiveness) และค่าทนต่อการเคี้ยว (Chewiness) มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณแป้งข้าวทับทิมขุมแพที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากแป้งข้าวทับทิมขุมแพไม่มีกลูเตนเหมือนแป้งสาาลี จึงสามารถดูดซึมน้ำได้น้อยกว่าแป้งสาาลี [18] ซึ่งผลิตภัณฑ์หมั่นโถวมีแป้งสาาลีเป็นวัตถุดิบหลักที่ประกอบด้วยโปรตีนกลูเตน ซึ่งเมื่อผสมกับน้ำหรือของเหลวจะมีลักษณะเป็นยางเหนียวและยืดหยุ่น ซึ่งกลูเตนประกอบด้วยโปรตีน 2 ชนิด ได้แก่ กลูเตนิน (glutenin) เป็นโปรตีนที่ช่วยให้โดหรือก้อนแป้งผสมมีกำลังในการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ถูกผลิตขึ้นในระหว่างกระบวนการหมักโดยยีสต์หรือผงฟู ซึ่งเป็นโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ซาลาเปาหรือหมั่นโถว และไกลอะดิน (gliadin) เป็นโปรตีนที่ช่วยให้กลูเตนมีสมบัติ ยืดตัวและมีความยืดหยุ่น ดังนั้นเมื่อปริมาณของแป้งข้าวทับทิมขุมแพเพิ่มมากขึ้น อาจส่งผลต่อการเกิดการรวมตัวของโปรตีนกลูเตนินและไกลอะดินเป็นกลูเตนที่ไม่แข็งแรง เมื่อเทียบกับสูตรมาตรฐาน (แป้งสาาลี) ซึ่งจะมีผลทำให้การขยายตัวและกักเก็บก๊าซ CO_2 ไว้ภายในโครงสร้างโดลดลงในระหว่างกระบวนการหมัก [19] ผลิตภัณฑ์หมั่นโถวที่ได้จึง มีลักษณะแข็งร่วนแตกง่ายไม่ทนต่อการเคี้ยวและมีความยืดหยุ่นน้อย สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุพิชญา [20] Zhu และ Sun [21] Cao และคณะ [22] และ Sun และคณะ [23] พบว่าการทดแทนแป้งข้าวไรซ์เบอร์รี่ (10-30%) การเสริมแป้งมันเทศสีม่วง (5-50%) การทดแทนด้วยแป้งมันฝรั่ง (10 - 50%) และการทดแทนแป้งสาาลีด้วยแป้งจุมข้าวสาาลี (3 - 12%) ที่เพิ่มขึ้น มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์หมั่นโถว คือ มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ค่าการเกาะรวมตัวกัน ค่าทนต่อการเคี้ยวและค่าความยืดหยุ่นมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรมาตรฐาน (แป้งสาาลี)

3.2 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์หมั่นโถวเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ

การประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์หมั่นโถวเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพทางด้านลักษณะปรากฏ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) สูตรที่ใช้แป้งข้าวทับทิมชุมแพเสริมในผลิตภัณฑ์หมั่นโถวในปริมาณ 0, 10, 20 และ 30 กรัม มีค่าคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 6.20, 6.86, 6.83 และ 6.63 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย เนื่องจากการพิจารณาลักษณะปรากฏ โดยทั่วไปผู้ทดสอบชิมจะพิจารณาขนาด รูปร่าง สีของผลิตภัณฑ์ในเบื้องต้น จากรูปที่ 1 แสดงให้เห็นถึงลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ได้อย่างชัดเจน ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่เสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพจะได้คะแนนทางด้านลักษณะปรากฏสูงกว่าสูตรที่มีเฉพาะแป้งสาลี ซึ่งอาจเป็นลักษณะปรากฏในด้านสีที่แปลกใหม่สำหรับผลิตภัณฑ์หมั่นโถว

การประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสทางด้านสี พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สูตรที่ใช้แป้งข้าวทับทิมชุมแพเสริมในผลิตภัณฑ์หมั่นโถวในปริมาณ 0, 10, 20 และ 30 กรัม มีค่าคะแนนเฉลี่ยความชอบด้านสีเท่ากับ 5.20, 6.90, 6.93 และ 6.03 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับเฉย ๆ ถึงชอบเล็กน้อย โดยคะแนนเฉลี่ยความชอบด้านสีของหมั่นโถวสูตรที่ 1 (แป้งสาลี) มีคะแนนเฉลี่ยด้านสีต่ำที่สุดเท่ากับ 5.20 เนื่องจากการเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้สีของหมั่นโถวเปลี่ยนแปลงมีสีเข้มค่อนไปทางสีม่วงแดง เนื่องจากเมล็ดข้าวทับทิมชุมแพ มีรงควัตถุที่สำคัญ คือ แอนโทไซยานิน (anthocyanin) เป็นสารให้สีม่วง-แดง[4] เมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปให้เป็นแป้งทำให้ได้เป็นแป้งที่มีลักษณะสีแดงอ่อนที่เป็นสีของข้าวทับทิมชุมแพ แป้งข้าวทับทิมชุมแพจึงมีสีเข้มกว่าสีของแป้งสาลี ซึ่งเป็นผลทำให้การประเมินคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์มีค่าแตกต่างกัน

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของหมั่นโถวเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ

ลักษณะทางกายภาพ	ปริมาณแป้งข้าวทับทิมชุมแพที่เสริมในผลิตภัณฑ์หมั่นโถว (กรัม)			
	0	10	20	30
L*	78.00 ^a ±0.56	64.44 ^b ±2.24	60.73 ^c ±0.54	60.09 ^c ±0.95
a*	1.48 ^c ±0.40	5.56 ^b ±1.28	7.30 ^a ±0.42	7.46 ^a ±0.56
b*	18.76 ^a ±0.32	14.75 ^b ±3.39	14.56 ^b ±1.33	13.71 ^b ±1.15
Hardness (N)	3.98 ^b ±1.20	4.34 ^b ±0.69	4.66 ^{ab} ±0.19	5.74 ^a ±0.19
Cohesiveness	0.71 ^a ±0.63	0.72 ^a ±0.17	0.69 ^{ab} ±0.14	0.64 ^b ±0.22
Springiness ^{ns} (mm)	10.98±3.41	9.37±0.13	10.03±2.41	8.62±0.22
Chewiness (mJ)	55.90 ^a ±3.78	45.65 ^b ±1.23	41.30 ^b ±6.67	29.64 ^c ±5.67

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแถวเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ns หมายถึง ในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

การประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสทางด้านกลิ่น พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) สูตรที่ใช้แป้งข้าวทับทิมชุมแพเสริมในผลิตภัณฑ์หมั่นโถวในปริมาณ 0, 10, 20 และ 30 กรัม มีค่าเฉลี่ยความชอบด้านกลิ่นเท่ากับ 5.10, 6.46, 5.96, และ 6.10 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับเฉย ๆ ถึงชอบเล็กน้อย สูตรที่มีคะแนนเฉลี่ยด้านกลิ่นของหมั่นโถวสูงที่สุดคือ สูตรที่ 2

(สูตรที่เสริมด้วยแป้งข้าวทับทิมชุมแพ 10 กรัม) มีคะแนนความชอบเฉลี่ยเท่ากับ 6.46 สูตรที่มีคะแนนเฉลี่ยความชอบความชอบด้านกลิ่นต่ำที่สุดคือ สูตรที่ 1 (แป้งสาลี) มีคะแนนเฉลี่ยความชอบ เท่ากับ 5.10 ซึ่งการเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพมีผลในด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น โดยเป็นกลิ่นของข้าวหุงสุก ซึ่งตามปกติผลิตภัณฑ์ซาลาเปาหรือหมั่นโถวจะมีกลิ่นหมักอ่อน ๆ ที่เกิดจากการทำงานของยีสต์ในระหว่าง

การหมักโดของแป้งสาลี การเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพจากการนำข้าวทับทิมชุมแพที่นำมาทำแป้ง ไม่ผ่านการขัดสีข้าวที่ไม่ผ่านการขัดสีจะเรียกว่าข้าวกล้อง เมื่อยังเป็นข้าวกล้อง จะมีกลิ่นหอมเป็นเอกลักษณ์ของตัวเอง โดดเด่นแตกต่างจากข้าวสีอื่นหรือข้าวที่ผ่านการขัดสีแล้ว ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าเฉลี่ยด้านกลิ่นที่แตกต่างกัน [5,6]

การประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสด้านรสชาติ พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สูตรที่ใช้แป้งข้าวทับทิมชุมแพเสริมในผลิตภัณฑ์หมั่นโถวในปริมาณ 0, 10, 20 และ 30 กรัม มีค่าเฉลี่ยความชอบทางด้านรสชาติ เท่ากับ 6.90, 6.96, 6.06, และ 6.16 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย สูตรที่มีคะแนนเฉลี่ยความชอบด้านรสชาติสูงสุดคือ สูตรที่ 2 (สูตรที่เสริมด้วยแป้งข้าวทับทิมชุมแพ 10 กรัม) มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 6.96 ซึ่งไม่แตกต่างจากสูตรที่ 1 (แป้งสาลี) ซึ่งพบว่าการเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้คะแนนความชอบด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของรุจิราและคณะ [24] ที่ได้ศึกษาการใช้แป้งข้าวทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์เค้กและคุกกี้ โดยรายงานว่าการผสมแป้งข้าวกับแป้งสาลีชนิดแป้งเค้กทำให้การยอมรับในคุณภาพผลิตภัณฑ์เค้กลดต่ำลงตามอัตราการเพิ่มแป้งข้าวเมื่อประเมินโดยวิธีประสาทสัมผัส ซึ่งอาจเกิดจากความคุ้นเคยของผู้บริโภคต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์ที่ใช้แป้งสาลีเป็นหลักจึงทำให้คะแนนความชอบด้านรสชาติลดลงเมื่อทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าว ดังนั้นการเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ ในสูตรที่ 2 (สูตรที่เสริมด้วยแป้งข้าวทับทิมชุมแพ 10 กรัม) เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่ผู้บริโภคยอมรับมากที่สุด ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเด่นทางด้านรสชาติมากที่สุด [5,6]

การประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสทางด้านความนุ่ม พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สูตรที่ใช้แป้งข้าวทับทิมชุมแพเสริมในผลิตภัณฑ์หมั่นโถวในปริมาณ 0, 10, 20 และ 30 กรัม มีค่าเฉลี่ยความชอบด้านความนุ่มเท่ากับ 7.13, 6.96, 6.83, และ 6.63

ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง สูตรที่มีคะแนนเฉลี่ยด้านความนุ่มสูงสุดคือ สูตรที่ 1 (แป้งสาลี) มีคะแนนความชอบเฉลี่ยเท่ากับ 7.13 และสูตรที่ 2 (สูตรที่เสริมด้วยแป้งข้าวทับทิมชุมแพ 10 กรัม) มีคะแนนความชอบเฉลี่ยเท่ากับ 6.96 เนื่องจากแป้งสาลีมีส่วนประกอบที่แตกต่างจากแป้งชนิดอื่น คือ กลูเตน ซึ่งกลูเตนจะทำหน้าที่เป็นตัวเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ ทำให้เกิดโครงร่างของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อที่โปร่ง เมื่อแป้งได้รับความร้อนถึงอุณหภูมิระดับที่เกิดเจลลาติไนท์ จะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าแป้งสาลีเกิดเจลลาติไนท์ก่อนแป้งทับทิมชุมแพ แป้งสาลีจึงเกิดการพองตัวและแตกตัวของเม็ดแป้งได้เต็มที่มากกว่าแป้งข้าวทับทิมชุมแพที่มีลักษณะความละเอียดของเนื้อแป้งที่น้อยกว่าแป้งสาลี ทำให้สูตรที่ 1 (แป้งสาลี) มีความนุ่มมากกว่าสูตรที่เสริมด้วยแป้งข้าวทับทิมชุมแพ [5,6]

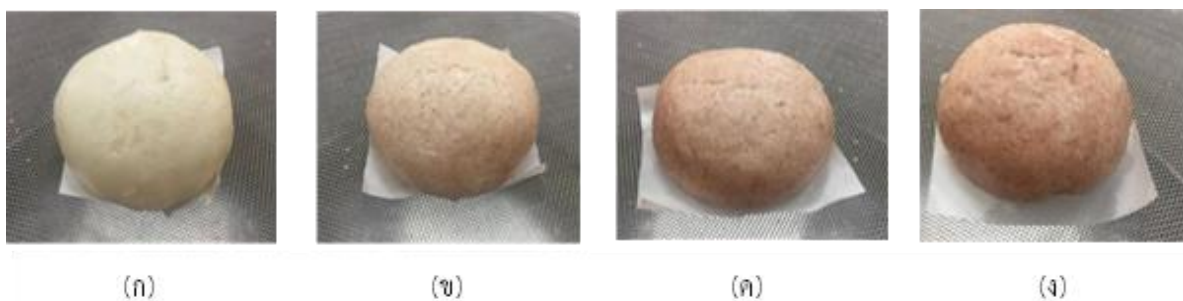
สำหรับการพิจารณาค่าคะแนนความชอบโดยรวมของผู้ทดสอบชิม พบว่า สูตรที่ 2 เสริมด้วยแป้งข้าวทับทิมชุมแพ 10 กรัม มีคะแนนเฉลี่ยของความชอบโดยรวมสูงกว่าตัวอย่างควบคุม (สูตรที่ 1) และสูตรอื่น ๆ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 7.26 ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลาง โดยเพื่อพิจารณาคะแนนเฉลี่ยความชอบในด้านอื่น ๆ นั้นพบว่า การเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพในระดับที่สูงทำให้คะแนนความชอบด้านอื่น ๆ มีแนวโน้มลดลงด้วยเช่นกัน ซึ่งคะแนนการยอมรับโดยรวมนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของสุพิชญา [25] ได้รายงานถึงค่าคะแนนการยอมรับผลิตภัณฑ์หมั่นโถวที่ทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งข้าวหอมนิล 10% และ 20% สูงกว่าผลิตภัณฑ์หมั่นโถวสูตรควบคุมดังนั้นการเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพในปริมาณ 10 กรัม จึงมีผลต่อความชอบโดยรวม เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรแป้งข้าวสาลี (สูตรที่ 1) เมื่อนำผลิตภัณฑ์หมั่นโถวที่มีส่วนประกอบของแป้งทับทิมชุมแพไปนี้ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะที่ดี เนื้อนุ่มและมีกลิ่นรสที่หอมอ่อน ๆ ของข้าวทับทิมชุมแพ ซึ่งแตกต่างจากสูตรควบคุมที่มีเพียงแป้งสาลี

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของหมั่นโถวเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ

ลักษณะทางประสาทสัมผัส	ปริมาณแป้งข้าวทับทิมชุมแพที่เสริมในผลิตภัณฑ์หมั่นโถว (กรัม)			
	0	10	20	30
ลักษณะปรากฏ ^{ns}	6.20±1.95	6.86±1.54	6.83±1.23	6.63±1.29
สี	5.20 ^b ±2.32	6.90 ^a ±1.42	6.93 ^a ±1.31	6.03 ^b ±1.42
กลิ่น	5.10 ^b ±2.09	6.46 ^a ±1.16	5.96 ^a ±1.24	6.10 ^a ±1.15
รสชาติ	6.90 ^a ±1.06	6.96 ^a ±1.56	6.06 ^b ±1.77	6.16 ^{ab} ±1.57
ความนุ่ม	7.13 ^a ±1.33	6.96 ^a ±1.37	6.00 ^b ±1.66	6.16 ^b ±1.59
ความชอบโดยรวม	6.36 ^b ±1.60	7.26 ^a ±1.41	6.46 ^b ±1.45	6.40 ^b ±1.32

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแถวเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ns หมายถึง ในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



รูปที่ 1 ผลิตภัณฑ์หมั่นโถวทั้ง 4 สูตร (ก) สูตรที่ 1 แป้งข้าวสาลี (ข) สูตรที่ 2 เสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ 10 กรัม (ค) สูตรที่ 3 เสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ 20 กรัม และ (ง) สูตรที่ 4 เสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ 30 กรัม

3.3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหมั่นโถวเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางการกายภาพและการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส เพื่อคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมที่สุดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์หมั่นโถวเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ ซึ่งพบว่าการเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพในปริมาณ 10 กรัมหรือสูตรที่ 2 มีคะแนนการยอมรับโดยรวมทางด้านประสาทสัมผัสสูงที่สุด และรวมทั้งมีคุณสมบัติทางด้านเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับสูตรที่ 1 (แป้งสาลี) จึงได้นำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี เปรียบเทียบกับสูตรที่ 1 (แป้งสาลี) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4 ปริมาณความชื้นและปริมาณโปรตีนของหมั่นโถวทั้งสองสูตร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ผลิตภัณฑ์หมั่นโถวสูตรที่ 1 (แป้งสาลี) และสูตรที่ 2 (เสริมแป้งทับทิมชุมแพในปริมาณ 10

กรัม) ความชื้นเท่ากับ 33.92 และ 34.38 % ตามลำดับ ซึ่งผลิตภัณฑ์หมั่นโถวเป็นโดยหมั่นโถวจัดอยู่ในประเภทของขนมปังอ่อนน้ำ ใช้การนึ่งเพื่อให้แป้งสุก จึงทำให้มีปริมาณความชื้นสูง ซึ่งปริมาณความชื้นเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหารซึ่งมีผลต่อรสชาติ เนื้อสัมผัสและน้ำหนักตลอดจนอายุการเก็บรักษาของอาหารด้วย [13] ส่วนปริมาณโปรตีนของผลิตภัณฑ์หมั่นโถวสูตรที่ 1 (แป้งสาลี) และสูตรที่ 2 (เสริมแป้งทับทิมชุมแพในปริมาณ 10 กรัม) มีค่าเท่ากับ 7.01 และ 7.26 % ตามลำดับ ซึ่งปริมาณโปรตีนของผลิตภัณฑ์ทั้งสองสูตรไม่มีความแตกต่างกัน เนื่องจากวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการแปรรูปหมั่นโถวคือแป้งสาลี โดยมีรายงานการวิจัยเกี่ยวกับปริมาณโปรตีนของแป้งสาลีทางการค้า (ตราว่าว) พบว่ามีโปรตีนเท่ากับ 10.26 % และแป้งข้าวหอมมะลิมีโปรตีนเท่ากับ 6.82% [26] ซึ่งการเสริมแป้งข้าว

ทับทิมชุมแพในปริมาณ 10 กรัม และแป้งข้าวมีโปรตีนต่ำกว่าแป้งสาลี การเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพจึงไม่มีผลทำให้ปริมาณโปรตีนของผลิตภัณฑ์หมั่นโถวทั้งสองสูตรแตกต่างกัน

ปริมาณเถ้าและปริมาณไขมัน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งผลิตภัณฑ์หมั่นโถวสูตรที่ 1 (แป้งสาลี) มีปริมาณเถ้า 2.67 % และสูตรที่ 2 (เสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพในปริมาณ 10 กรัม) มีปริมาณเถ้า 2.59 % และปริมาณไขมันของสูตรที่ 1 และ สูตรที่ 2 มีค่าเท่ากับ 10.50% และ 7.90% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องรายงานการวิจัยของสุพัตราและคณะ [26] ได้สรุปว่าแป้งสาลีมีปริมาณเถ้า และปริมาณไขมันสูงกว่าแป้งข้าว ดังนั้นผลิตภัณฑ์หมั่นโถวที่มีเฉพาะแป้งสาลีจึงมีปริมาณเถ้าและไขมันสูงกว่าหมั่นโถวสูตรเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยของผลิตภัณฑ์หมั่นโถว พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยสูตรที่เสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ 10 กรัม มีปริมาณเส้นใยเท่ากับ 0.24 ซึ่งสูงกว่า สูตรที่ 1 (แป้งสาลี) มีปริมาณเส้นใยเท่ากับ 0.16 % ซึ่งการเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพเข้าไปนั้นจึงเป็นการเพิ่มปริมาณเส้นใยเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเส้นใยคือที่พบในแป้งข้าวทับทิมชุมแพเป็นส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดที่ให้สี ซึ่งไม่ผ่านการขัดสีออก รวมทั้งมีรายงานเปรียบเทียบระหว่างปริมาณเส้นใยของแป้งข้าวหอมมะลิ ซึ่งเป็นข้าวขาว กับปริมาณเส้นใยที่พบในแป้งสาลีทางการค้า ซึ่งพบว่า แป้งข้าวมีปริมาณเส้นใยสูงกว่าแป้งสาลี [20,26]

ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์หมั่นโถวเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ

องค์ประกอบทางเคมี (%)	ปริมาณแป้งข้าวทับทิมชุมแพที่เสริมในผลิตภัณฑ์หมั่นโถว (กรัม)	
	0	10
ความชื้น ^{ns}	33.92±0.25	34.38±0.99
เถ้า	2.67 ^a ±0.00	2.59 ^b ±0.01
โปรตีน ^{ns}	7.01±0.20	7.26±0.14
ไขมัน	10.50 ^a ±1.12	7.90 ^b ±0.09
เส้นใย	0.16 ^b ±0.04	0.24 ^a ±0.00
คาร์โบไฮเดรต ^{ns}	46.19±1.12	47.63±0.73
Total Phenolic (mg GAE/100g sample)	77.45 ^b ±16.98	405.88 ^a ±14.70

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกันในแถวเดียวกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ns หมายถึง ในคอลัมน์เดียวกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

สำหรับการหารปริมาณคาร์โบไฮเดรตโดยวิธีการคำนวณโดยผลต่าง (by difference) พบว่าปริมาณแป้งข้าวทับทิมชุมแพที่เสริมเข้าไปในปริมาณ 10 กรัมไม่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างของปริมาณคาร์โบไฮเดรตในผลิตภัณฑ์ ($p > 0.05$) ซึ่งสูตรที่ 1 (แป้งสาลี) มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 46.19 % และสูตรที่ 2 (เสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพในปริมาณ 10 กรัม) มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 47.63 %

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดของผลิตภัณฑ์หมั่นโถว พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยสูตรควบคุมมีปริมาณสารฟีนอลิก เท่ากับ 77.45 mgGAE/100g ของตัวอย่าง ซึ่งน้อยกว่าสูตรที่เสริมด้วยแป้งข้าวทับทิมชุมแพโดยมีปริมาณสารฟีนอลิก เท่ากับ 405.88 mgGAE/100g ของตัวอย่าง เนื่องจากข้าวทับทิมชุมแพมีคุณสมบัติเฉพาะคือ มีปริมาณ

สารฟีนอลิกสูง [4] เมื่อเสริมในผลิตภัณฑ์หมั่นโถวจึงเกิดความแตกต่างอย่างชัดเจน ซึ่งเป็นการเพิ่มคุณค่าทางอาหารที่สูงจากเดิม และมีความแตกต่างจากท้องตลาดทั่วไป ซึ่งเป็นประโยชน์ในการบำรุงร่างกายให้แข็งแรง ป้องกันโรค และมีปริมาณฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ วิตามินอี และแกมมาออโรซานอลสูงรวมทั้งมีฤทธิ์ในการ ต้านอนุมูลอิสระสูง ช่วยลดอัตราเสี่ยงการเป็นมะเร็ง

4. สรุปผลการทดลอง

แป้งข้าวทับทิมชุมแพประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ เช่น สารประกอบฟีนอลิก ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าในแป้งข้าวสาลี เมื่อศึกษาลักษณะสีของเนื้อของหมั่นโถวเสริมแป้งทับทิมชุมแพ พบว่า มีสีที่เข้มกว่าหมั่นโถวจากแป้งสาลีเพียงอย่างเดียว เนื่องจากแป้งทับทิมชุมแพ ข้าวทับทิมชุมแพจัดอยู่ในกลุ่มข้าวเมล็ดสีที่มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีตามพันธุกรรม จึงส่งผลต่อสีของผลิตภัณฑ์หมั่นโถว การนำแป้งข้าวทับทิมชุมแพมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์หมั่นโถวเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการด้วยการเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์หมั่นโถวรูปแบบใหม่ โดยหมั่นโถวที่เสริมด้วยแป้งข้าวทับทิมชุมแพในปริมาณ 10 กรัม ซึ่งหมั่นโถวมีลักษณะปรากฏสีม่วง-แดงตามธรรมชาติ และมีความสม่ำเสมอของสี มีกลิ่นรสที่ดี และลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่ม ไม่เหนียวหรือแข็งกระด้าง รวมทั้งยังมีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรแป้งข้าวสาลีที่ไม่มีการเสริมแป้งข้าวทับทิมชุมแพ ดังนั้นการเสริมด้วยแป้งข้าวทับทิมชุมแพในผลิตภัณฑ์หมั่นโถวจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าทางโภชนาการโดยการเพิ่มสารฟีนอลิกให้กับผลิตภัณฑ์หมั่นโถว

5. เอกสารอ้างอิง

[1] Ministry of Agriculture and Cooperatives. “Thai Agricultural Standards: Thai Colored Rice Standard No. TAS 4006 – 2017”, *Office of Standards National agricultural products and food Ministry of Agriculture and Cooperatives*. 2017 (in Thai).

- [2] Y. Shao, Z. Hu, Y. Yu, R. Mou, Z. Zhu, and T. Beta, “Phenolic acids, anthocyanins, proanthocyanidins, antioxidant activity, minerals and their correlations in non-pigmented, red, and black rice,” *Food Chem*, vol. 239, pp. 733-741. 2018.
- [3] K. Samavardhana, P. Phrigboonchan, T. Supavitpatana, and P. Supavitpatana, “Predicted glycemic index of color rice varieties grown in Thailand,” *Khon Kaen Agriculture Journal*, suppl, no.1, pp. 124-129. 2022 (in Thai).
- [4] R. Changsri, S. Bureerat, T. Prungkong, A. Pengrueng, A. Pongpanus, “RD6 9 (Tubtim Chumphae), a non-glutinous rice variety,” *Thai Rice Research Journal*, vol.7, no.2, pp. 30-46. 2016 (in Thai.)
- [5] J. Ponglong, L. Senggunprai, P. Tungsutjarit, R. Changsri, T. Proongkhong, S. Thawornchinsombut and P. Pannangpetch, “Hydrolysate and ethanolic extract of Tubtim-Chumphae rice bran improve insulin resistance in high fat-high fructose diet fed rats,” *Srinagarind Medical Journal*, vol.33, no. 5, 2018.
- [6] U. Wattanakul, and W. Wattanakul, “Storage times of stale Tub Tim Chumphae paddy rices to proteins, fats content and bioactive compounds,” *Research report*. Rajamangala University of Technology Srivijaya, Trang. 57 p. 2019 (in Thai).
- [7] S. Chumjit, W. Sangartit, U. Kukongviriyapan, P. Pakdeechote, V. Kukongviriyapan and S. Thawornchinsombat, “Effects of Tubtim Chumphae rice bran hydrolysates on blood pressure and oxidative stress in L-NAME-induced hypertensive rats,” *KKU Research Journal (Graduate Studi25)*, vol.17, no.3, pp.19-29, 2017.
- [8] P. Chutimanukul, C. Jeankham and S. Ngamluan, “Effect of calcium silicate from cement industry

- on growth, yield, and silicon accumulation of Riceberry and Tubtim Chumphae rice varieties,” *Khon Kaen Agriculture Journal*, vol.49, no. 3, pp. 577-585, 2021 (in Thai).
- [9] S. Chaiyaporn and S. Choenkwan, “Processing of Tubtim Chumphae Rice (RD6 9) of Ban Khok Sawang Housewives Group Community Enterprise, Wang Yai District, Khon Kaen Province,” *Journal of Community Development and Lift Quality*, vol.10, no. 2, pp.148-158, May – Aug, 2022 (in Thai).
- [10] K. Kongyungyea. Functional Drink product development. National News Bureau of Thailand [Online]. (2021). [Cited May 19, 2023]. Available : https://thainews.prd.go.th/th/news/print_news/T-CATG211123165420438
- [11] Office of the Royal Society. Mantou and Salapoa. [Online]. (2012). [Cited July 26, 2023]. Available:<http://legacy.orst.go.th/?knowledges%>
- [12] J. Jammek, and O. Naiwikul, *Introduction to Bakery Technology*. (10th edition), Bangkok: Kasetsart University Press, 2010 (in Thai).
- [13] S. Chompuja, “Development of healthy steamed bun (Mantou) products with vegetable Chaya (Tree spinach) juice supplement,” *Huachiew Chalermprakiet Science and Technology Journal*, vol.6, no. 2, pp. 21-31. 2020 (in Thai).
- [14] S. Tipkanon, “Development of mantou product from composite wheat flour and rice flour,” Graduate School, Kasetsart University, Bangkok, 2001 (in Thai).
- [15] AOAC International. “Official methods of analysis of AOAC international (2 1st ed.),” The Association of Official Analysis Chemists, 2019.
- [16] Y. Shao, F. Xu, X. Sun, J. Bao, and T.Beta, “Identification and quantification of phenolic acids and anthocyanins as antioxidants in bran, embryo and endosperm of white, red and black rice kernels (*Oryza sativa* L.),” *Journal of Cereal Science*, vol. 59, pp. 211-218, 2014.
- [17] J. Kubola, S. Siriamornpun, and N. Meeso, “Phytochemical, vitamin C and sugar content of Thai fruits,” *Food Chemistry*, vol. 126, pp. 972- 981, 2011
- [18] S. Sinthawalai and K. Janchad, *Science and Technology of Baking I Volume 1*. Science of Baking. Bangkok: P.L.A., 2001 (in Thai).
- [19] P. Kaur, P. Sharma, V. Kumar, A. Panghal, J. Kaur, and Y. Gat, “Effect of addition of flaxseed flour on phytochemical, physicochemical, nutritional, and textural properties of cookies,” *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, vol.18, pp. 372-377. 2019.
- [20] S. Khumkhom, “Effect of Riceberry Flour on Physicochemical Properties and Antioxidant Activities of Steamed Bun,” *Thai Science and Technology Journal*, vol. 28, no. 11 Nov, 2020 (in Thai).
- [21] F. Zhu, and J. Sun, “Physicochemical and sensory properties of steamed bread fortified with purple sweet potato flour,” *Food Bioscience*, vol.30, Aug, 100411, 2019.
- [22] Y. Cao, F. Zhang, P. Guo, S. Dong, and H. Li, “Effect of wheat flour substitution with potato pulp on dough rheology, the quality of steamed bread and in vitro starch digestibility,” *LWT Food Sci. Technol*, vol.111, pp. 527-533, 2019.
- [23] R. Sun, Z. Zhang, X. Hu, Q. Xing, and W. Zhuo, “Effect of wheat germ flour addition on wheat flour, dough, and Chinese steamed bread properties,” *Journal of Cereal Science*, vol. 64, pp. 153-158, 2015.
- [24] R. Preecha, S. Wongpiyachon and N. Kongseree.. “Productdevelopment from wheat-rice composite flour for cake and cookies,” IN *Rice*

and rice products research program, pp.553-607.

Kasetsart University., Bangkok, 2000 (in Thai).

- [25] S. Khumkhom. “Substitution of wheat flour with Hom Nil rice flour affects physicochemical characteristics, antioxidant activities, and sensory acceptance of Chinese steamed bread (Mantou).” *RMUTP Research Journal*, vol.14, no.2, Jul-Dec 2020 (in Thai).
- [26] S. Lerswanichwatana, P. Chompreeda, V.Haruthaithanasan and K. Sriroth, “Development of curry puff from composite wheat and fragrance rice flour.” In *Proceeding of 41th Kasetsart University Annual Conference*, Bangkok Thailand, Feb. 3-7, 2003, pp. 323-330 (in Thai).

การจัดเส้นทางเดินรถเก็บมูลฝอยติดเชื้อในจังหวัดเชียงราย Vehicle Routing for Collection of Infectious Waste in Chiang Rai Province

นคร ไชยวงศ์ศักดิ์^{1*} และ พรพศิน ศิริสวัสดิ์²

Nakorn Chaiwongsakda^{1*} and Pornwasin Sirisawat²

¹สาขาวิชาบริหารธุรกิจ สำนักวิชาการจัดการ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

²สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน สำนักวิชาการจัดการ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

¹Business Administration Program, School of Management, Mae Fah Luang University

² Logistics and Supply Chain Management Program, School of Management, Mae Fah Luang University

*Email: nakorn.cha@crru.ac.th

Received: September 06, 2023; Revised: November 10, 2023; Accepted: November 10, 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางในการจัดการเส้นทางเดินรถเก็บมูลฝอยติดเชื้อในจังหวัดเชียงราย โดยให้มิต้นทุนรวมต่ำที่สุด ซึ่งต้นทุนจะประกอบไปด้วยต้นทุนการเดินทางที่คำนึงถึงการปล่อยมลพิษและต้นทุนการจัดเก็บในห้องเย็น ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากโรงงานเผามูลฝอยติดเชื้อในจังหวัดเชียงราย ได้แก่ ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อของแต่ละโรงพยาบาล เส้นทางเดินรถในปัจจุบัน ความถี่ในการจัดเก็บของแต่ละจุด ข้อจำกัดด้านเวลา ข้อจำกัดในการบรรทุกของรถบรรทุก ความเร็วของรถในแต่ละเส้นทาง ระยะเวลา ระยะทางในการเดินทาง ระยะเวลาในการทำงานในแต่ละจุด ความสามารถในการเผา และการจัดเก็บมูลฝอยติดเชื้อของห้องเย็น ทำการจัดการเส้นทางเดินรถโดยการสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์เพื่อให้มิต้นทุนรวมต่ำที่สุดตามข้อจำกัดต่างๆ การหาคำตอบจะใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในการแก้ปัญหาโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ผลการศึกษาพบว่าระยะทางในการเดินทางของรถเก็บมูลฝอยติดเชื้อที่ได้จากโมเดลคณิตศาสตร์มีค่าน้อยกว่าเส้นทางปัจจุบัน 8.1 กิโลเมตร โดยมีต้นทุนลดลงร้อยละ 8.86 และทำให้ประหยัดต้นทุนได้ 20,287 บาทต่อปี เมื่อพิจารณาในสถานการณ์ในอนาคตอีก 6 เดือนข้างหน้า ซึ่งมีปริมาณมูลฝอยติดเชื้อที่เพิ่มขึ้น เส้นทางจากโมเดลคณิตศาสตร์จะมีต้นทุนที่ลดลงร้อยละ 10.73 ทำให้ประหยัดต้นทุนได้ 32,709.6 บาทต่อปี

คำสำคัญ : การจัดการเส้นทางเดินรถ, มูลฝอยติดเชื้อ, วิธีเชิงพันธุกรรม

Abstract

The study aimed to optimize infectious waste collection routes in Chiang Rai Province for cost-effectiveness. The cost includes travel expenses considering pollution emissions and storage costs in refrigerated rooms. Data was gathered from infectious waste incinerators in Chiang Rai province, including the amount of infectious waste generated by each hospital, current routes for waste collection, frequency of visits at each point, time constraints, limitations in truck loading capacity, vehicle speeds on different paths, travel times, work durations at each node, incineration capabilities, and storage capacity in refrigerated rooms. The research developed a mathematical model to optimize the waste collection routes with the lowest overall cost, considering various constraints. Finding the answer involves using a genetic

algorithm with the assistance of a packaged program to solve problems. The study found that the travel distance of the waste collection vehicle based on the mathematical model was shorter than the current routes by 8.1 kilometers. This optimization resulted in a significant cost reduction of 8.86%, leading to annual savings of 20,287 Baht. When considering the future situation in the next 6 months, with an increased amount of infectious waste, the route derived from mathematical modeling will have reduced costs by 10.73%, resulting in cost savings of 32,709.6 Baht per year.

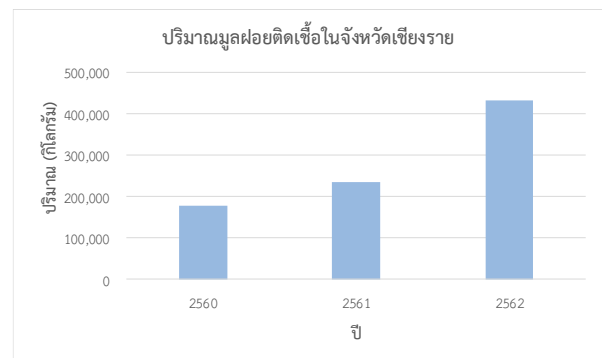
Keywords : Vehicle routing, Infectious waste, Genetic algorithm

1. บทนำ

ในปี พ.ศ. 2562 ประเทศไทยมีปริมาณขยะมูลฝอยเกิดขึ้นประมาณ 28.71 ล้านตัน หรือประมาณ 78,665 ตันต่อวัน โดยมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2561 ประมาณร้อยละ 3 [1] และมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557 การเพิ่มขึ้นของขยะเป็นปัญหาที่ก่อให้เกิดความกังวลของสาธารณะอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ไม่เพียงแต่การเพิ่มขึ้นในเชิงของปริมาณขยะที่เกิดขึ้นเท่านั้น แต่ยังรวมถึงความซับซ้อนที่เพิ่มขึ้นของตัวขยะเองและส่วนประกอบบางอย่างด้วย [2] โดยองค์ประกอบหลักของขยะมูลฝอยจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ (1) ขยะอินทรีย์เศษอาหาร เศษผักผลไม้ที่ย่อยสลายได้ (2) ขยะรีไซเคิล แก้ว เศษกระดาษ พลาสติก โลหะอะลูมิเนียม หรือของขายได้ (3) ขยะทั่วไป ถุงพลาสติก ของบะหมี่ โฟมพอยด์ห่ออาหาร และ (4) ขยะอันตรายและเป็นพิษจากครัวเรือนหรือร้านค้า ในส่วนของเสียอันตราย ได้แก่ ของเสียอันตรายจากชุมชน กากของเสียอุตสาหกรรม และมูลฝอยติดเชื้อ โดยในปี พ.ศ. 2562 มีของเสียอันตรายเกิดขึ้นทั่วประเทศ จำนวน 17.50 ล้านตัน มีปริมาณมูลฝอยติดเชื้อในปี พ.ศ. 2562 ลดลงจากปี พ.ศ. 2561 จาก 55,497 ตัน เป็น 53,173 ตัน (ลดลงร้อยละ 4.20) [1] แต่แนวโน้มปริมาณจะเพิ่มขึ้นจากการระบาดของโควิด 19 และการเข้าสู่ระบบการกำจัดที่ถูกต้องตามกฎหมายมากขึ้น

โดยจังหวัดเชียงรายในปี พ.ศ. 2560 มีปริมาณมูลฝอยติดเชื้อ 178,292.10 กิโลกรัม ปี 2561 มีปริมาณ 236,624.65 กิโลกรัม และในปี พ.ศ. 2562 เพิ่มขึ้นมาเป็น

432,279.50 กิโลกรัมดังรูปที่ 1 [3] การกำจัดมูลฝอยติดเชื้อเกือบทั้งหมดในปัจจุบันจะส่งกำจัดในโรงงานมูลฝอยติดเชื้อในจังหวัดเชียงรายที่เริ่มดำเนินการเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2563 โดยมีกำลังการเผาประมาณ 4,320 กิโลกรัมต่อวัน



รูปที่ 1 ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อปี พ.ศ. 2560 – 2562 ของจังหวัดเชียงราย

จากข้อมูลของโรงงานเตาเผามูลฝอยติดเชื้อพบว่าเดือนเมษายน พ.ศ. 2563 จังหวัดเชียงรายมีมูลฝอยติดเชื้อประมาณ 28,000 กิโลกรัมต่อสัปดาห์หรือ 4,000 กิโลกรัมต่อวัน

การจัดเส้นทางรถเก็บมูลฝอยติดเชื้อในปัจจุบันทางเจ้าหน้าที่ของโรงงานเตาเผาจะช่วยกันในการจัดเส้นทางรถเพื่อไปรับมูลฝอยติดเชื้อตามโรงพยาบาลต่างๆ ซึ่งจะมีเส้นทางที่แน่นอนในแต่ละวัน โดยจะจัดเก็บวันจันทร์ถึงวันเสาร์ การจัดเส้นทางอาศัยจากประสบการณ์ ซึ่งอาจได้เส้นทางที่ยังไม่เหมาะสม บางเส้นทางมีการขับรถผ่านโรงพยาบาลแต่ก็ไม่ได้ทำการจัดเก็บเพราะไม่อยู่ในเส้นทางที่กำหนด นอกจากนี้ยังไม่ได้คำนึงถึงต้นทุนในการจัดเก็บใน

ห้องเย็น ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางที่มีข้อจำกัดหลายด้านทั้งระยะเวลาในการเดินทาง ข้อจำกัดในการบรรทุกของรถบรรทุก และความถี่ในการจัดเก็บของแต่ละสถานที่ การจัดเส้นทางจะมีผลต่อปริมาณมูลฝอยติดเชื้อที่เข้ามาถึงโรงงานเตาเผาในแต่ละวัน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อกำลังความสามารถในการเผาของเตาขยะ และความสามารถในการจัดเก็บของห้องเย็น นอกจากนี้ในการดำเนินการขนส่งในปัจจุบันที่ต้องมีการคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมคือการปล่อยมลพิษด้วย จากปัญหาในการเส้นทางเดินรถเก็บมูลฝอยติดเชื้อที่กล่าวมานี้ และที่ผ่านมายังไม่มีงานวิจัยที่ทำการศึกษการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขยะที่คำนึงถึงการปล่อยมลพิษและต้นทุนในการจัดเก็บในห้องเย็น

ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางในการจัดการเส้นทางเดินรถเก็บมูลฝอยติดเชื้อในจังหวัดเชียงราย โดยให้มีต้นทุนรวมในการขนส่งที่คำนึงถึงการปล่อยมลพิษและการจัดเก็บในห้องเย็นมีค่าน้อยที่สุดและเป็นไปตามข้อจำกัดด้านต่างๆ ซึ่งจะส่งผลการดำเนินการที่มีประสิทธิภาพ สามารถให้บริการลูกค้าได้อย่างครบถ้วน และช่วยลดต้นทุนในการดำเนินงานได้

2. วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การจัดเส้นทางรถเดินรถ (Vehicle Routing) เป็นปัญหาที่ต้องหาว่าจะใช้รถขนส่งกี่คัน ควรจะจัดลำดับการเดินทางอย่างไร รถคันไหนควรไปหาลูกค้ารายใดบ้าง ในทางคณิตศาสตร์แล้วถือว่าปัญหาการจัดเส้นทางรถเดินรถเป็นปัญหาที่ซับซ้อนและยากมากๆ ในการที่จะวิเคราะห์หาแผนการเดินทางที่ดีที่สุดในบรรดาแผนที่เป็นไปได้จำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากจำนวนลูกค้าและรถส่งสินค้ามีจำนวนมาก และมีเวลาอย่างจำกัดในการแก้ปัญหา ซึ่งมีโอกาสน้อยมากที่จะได้คำตอบที่มีต้นทุนที่ต่ำที่สุด

การจัดกลุ่มของปัญหาการจัดเส้นทางรถเดินรถ สามารถจัดได้ตามลักษณะของความต้องการของลูกค้า การจัดกลุ่มตามข้อจำกัดด้านเวลา การจัดกลุ่มตามเวลาในการวางแผนการเดินทาง การจัดกลุ่มตามจำนวนของจุดเริ่มต้นลักษณะของการส่ง จำนวนพาหนะที่ใช้ ข้อจำกัดด้านระยะทางสูงสุด หรือจำนวนลูกค้าสูงสุดที่เดินทางไปได้ เป็นต้น

ปัญหาการจัดเส้นทางรถเก็บขยะ (Waste Collection Vehicle Routing Problem) จะมีการรวบรวมขยะที่เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการที่รับผิดชอบการนำของเสียกลับ (ขยะมูลฝอยและวัสดุรีไซเคิล) จากจุดรวบรวมไปยังสถานที่กำจัด (อาจเป็นโรงงานรีไซเคิล นำไปเป็นพลังงานหรือฝังกลบ) โดยปกติระบบการรวบรวมของเสีย (การรวบรวมและการขนส่ง) มีต้นทุนการดำเนินงานที่สูงมาก นักวิจัยจึงพยายามลดระยะทางในการกำหนดเส้นทางให้สั้นลง การค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับถังขยะและภาชนะกำจัด รวมถึงจำนวนรถรวบรวมที่จำเป็นสำหรับระบบนำกลับ ในปัญหาการรวบรวมของเสียองค์กรต่างๆ จำเป็นต้องนำของเสียกลับจากจุดรวบรวมและส่งไปยังสถานบำบัด ในปัญหานี้โดยทั่วไปแล้วจะต้องรวบรวมจุดรับสินค้าจำนวนมากเพื่อส่งไปยังสถานที่ที่เหมาะสม (โดยทั่วไปจะมีเพียงปลายทางเดียว) นี่คือนิยามของปัญหาโลจิสติกส์ย้อนกลับซึ่งต้องรวบรวมหลายจุดโดยมีจุดส่งมอบเพียงจุดเดียว เทียบกับการส่งมอบจากจุดหนึ่งไปยังปลายทางหลายแห่งในปัญหาการขนส่งล่วงหน้า โดยทั่วไปแล้วปัญหาการกำหนดเส้นทางรถเก็บขยะประกอบด้วยกองยานพาหนะ จุดจอดรถ สิ่งอำนวยความสะดวกในการกำจัด โรงเก็บและถังเก็บขยะหรือจุดรวบรวมจำนวนหนึ่ง รถเริ่มต้นและสิ้นสุดที่คลังเดียวกัน ความซับซ้อนของปัญหานี้ขึ้นอยู่กับลักษณะที่แตกต่างกัน เช่น ยานพาหนะประเภทต่างๆ จำนวนสิ่งอำนวยความสะดวกในการกำจัด (ที่เดียวหรือหลายแห่ง) ข้อจำกัดประเภทต่างๆ ฯลฯ เช่น ช่วงเวลาหรือความจุของรถ ข้อกำหนดของลูกค้า [2]

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าในช่วงแรกในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถเดินรถจะใช้วิธีสติสแบบดั้งเดิม แต่ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา คือช่วงปี พ.ศ. 2553 – 2563 จะใช้วิธีเมตาฮิวริสติกส์เป็นหลัก เนื่องจากมีความยืดหยุ่น สามารถหาคำตอบจากปัญหาที่มีความซับซ้อนได้ และสามารถหาคำตอบได้ในเวลาที่รวดเร็ว โดยเครื่องมือที่นิยมมาใช้ในการจัดเส้นทางรถเก็บขยะ คือ การค้นหาคำตอบแบบทาบ การค้นหาเฉพาะที่ วิธีการค้นหาคำตอบแบบอาณานิคม และวิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งวิธีเหล่านี้ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางได้ดีกว่าการดำเนินการเดิมของแต่ละงานวิจัย

จากการศึกษาที่ประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรมกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะพื้นฐาน ซึ่งทราบความต้องการของลูกค้าและได้รับการจัดหาลูกค้าเพียงเดียว ยานพาหนะอาจมีการจำกัดน้ำหนัก และในบางกรณีอาจมีการจำกัดระยะทางที่เดินทาง และกรอบเวลา กำหนดให้มีรถเพียงคันเดียวเท่านั้นในการจัดหาลูกค้าแต่ละราย ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดที่ทราบค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบได้มาจากการค้นหาแบบทาคูหรือการจำลองการอบเหนียว งานวิจัยได้ให้ผลการคำนวณสำหรับวิธีเชิงพันธุกรรม และผลลัพธ์เพิ่มเติมที่จะได้โดยใช้วิธีเชิงพันธุกรรมแบบผสม กับวิธีการค้นหาพื้นที่ใกล้เคียง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการนี้สามารถแข่งขันกับการค้นหาค่าตอบแบบทาคู และการจำลองการอบเหนียวในแง่ของเวลาและคุณภาพในการแก้ปัญหา [4]

นอกจากงานวิจัยที่เป็นการจัดเส้นทางแล้ว ยังมีการศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางร่วมกับการบริหารสินค้าคงคลัง [5,6] และ การศึกษาการจัดเส้นทางร่วมกับการบริหารการผลิต [7] โดยการกำหนดระดับของสินค้าคงคลัง และปริมาณการผลิตและการขนส่งอย่างเหมาะสมที่สุดในระบบกระจายการผลิต และสินค้าคงคลังแบบบูรณาการ โดยแต่ละงานวิจัยจะมีลักษณะปัญหาที่แตกต่างกัน โดยใช้อัลกอริทึมทางพันธุกรรมในการหาค่าตอบ จากวิธีเชิงพันธุกรรมที่มีความยืดหยุ่นสูง สามารถแก้ไขปัญหามีขนาดใหญ่ได้ ปัญหาที่มีข้อจำกัดมากๆ ซึ่งทำให้ได้คำตอบที่ดีในระยะเวลาที่จำกัด งานวิจัยนี้จึงจะใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในการแก้ปัญหาในครั้งนี้

3. วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณในการสร้างรูปแบบปัญหาทางคณิตศาสตร์ในการจัดเส้นทางเดินรถเก็บมูลฝอยติดเชื้อที่คำนึงถึงต้นทุนในการเดินทาง การปล่อยมลพิษและการเก็บมูลฝอยในห้องเย็น โดยมีขั้นตอนในการวิจัย ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การทบทวนทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อที่จะศึกษาถึงรูปแบบของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขยะ และวิธีในการแก้ปัญหาโดยเฉพาะวิธีฮิวริสติกส์ รวมทั้งปัจจัยที่มีผลต่อการจัดเส้นทางเดินรถ รวมทั้งการจัดตารางการเผาขยะ ปัจจัยและต้นทุนในการดำเนินงานเตาเผาขยะ

ขั้นตอนที่ 2 ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากโรงงานเตาเผามูลฝอยติดเชื้อในจังหวัดเชียงราย ได้แก่ เส้นทางเดินรถในปัจจุบัน ความถี่ในการจัดเก็บของแต่ละจุด ข้อจำกัดด้านเวลา ข้อจำกัดในการบรรทุกของรถบรรทุก ความเร็วระยะเวลา ระยะทางในการเดินทาง ระยะเวลาในการทำงานในแต่ละจุด และปริมาณมูลฝอยติดเชื้อในแต่ละจุด ซึ่งจะใช้ข้อมูลตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2563 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2565 มาพยากรณ์ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อในปัจจุบันและอนาคตอีก 6 เดือนข้างหน้า โดยข้อมูลของการขนส่งมูลฝอยติดเชื้อจะได้จากข้อมูล GPS ของรถบรรทุกและ Google Map รวมทั้งการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ระดับหัวหน้างานของโรงงานเตาเผามูลฝอยติดเชื้อในจังหวัดเชียงรายที่ทำหน้าที่ดูแลโรงงานเตาเผามูลฝอยติดเชื้อถึงการดำเนินงานในปัจจุบัน ได้แก่ ต้นทุนเชื้อเพลิงในการขนส่ง

ขั้นตอนที่ 3 การวิเคราะห์ข้อมูล จากข้อมูลที่ได้จะทำการคำนวณหาต้นทุนในการจัดเก็บมูลฝอยติดเชื้อในห้องเย็นต่อหน่วย ต้นทุนในการใช้เชื้อเพลิงและต้นทุนการปล่อยมลพิษของรถเก็บมูลฝอยติดเชื้อ มาสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์เพื่อให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด ตามข้อจำกัดต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ปัญหานี้สามารถจำลองเป็นโปรแกรมจำนวนเต็มได้ โดยมีการกำหนดตัวแปรดังต่อไปนี้ : [8-10]

ดัชนี

- i, j ลำดับของโรงงานเตาเผาและโรงพยาบาล โดยที่ $i, j = 0, 1, 2, \dots, n$ จุดที่ 0 คือโรงงานเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ เมื่อ $N = \{0, 1, 2, 3, \dots, n\}$, $N_0 = N \setminus \{0\}$

- k วันที่มีการขนส่งมูลฝอยติดเชื้อในวันที่ k โดยที่ $K = \{1, 2, 3, \dots, k\}$

- \mathcal{A} คือเซตของเส้นทาง $(i, j) \in \mathcal{A}$

ตัวแปรในการตัดสินใจ (Decision Variables)

- X_{ijk} ตัวแปรไบนารี (Binary Variable) ที่มีค่าเป็น 0 หรือ 1 โดยจะมีค่าเท่ากับ 1 ถ้าหากรถขนส่งมูลฝอยติดเชื้อเดินทางจากโหนด i ไปยังโหนด j ในวันที่ k

- l_k ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อในวันที่ k

- f_{ijk} ปริมาณการไหลของมูลฝอยติดเชื้อจาก i ไป j ในวันที่ k

ตัวแปรที่ทราบค่า (Parameter)

- \bar{v}_{ij} รั้วที่ระดับความเร็วเฉลี่ยบนถนน i ไป j

- d_{ij} ระยะทางจาก i ไป j
- t_{ij} ระยะเวลาในการเดินทางจาก i ไป j
- s_i เวลาในการเก็บมูลฝอยติดเชื้อที่จุด i
- เตาเผามูลฝอยติดเชื้อมีรถคันเดียว โดยมี

ความสามารถในการบรรทุกเท่ากับ Q

- ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อในจุดที่ i เท่ากับ q_i

กำหนดให้

$$N^* = N_0 \setminus \{3, 4, 5\}$$

$$N^\Delta = N_0 \setminus N^*$$

$$N^{**} = N^\Delta \setminus \{3\}$$

$$N^{***} = N^\Delta \setminus \{4, 5\}$$

$$K^* = K \setminus E$$

$$K^{**} = K \setminus O$$

$$K' = \{3k + 1 \mid k = 0, 1\}$$

$$K'' = \{3k + 2 \mid k = 0, 1\}$$

$$K''' = \{3k + 3 \mid k = 0, 1\}$$

โดย $O =$ เซตของจำนวนเต็มคี่ เมื่อ $O \in K$

$E =$ เซตของจำนวนเต็มคู่ เมื่อ $O \in K$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

$$\text{Min} \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} (c_f + e) \alpha_{ij} d_{ij} w X_{ijk}$$

$$+ \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} (c_f + e) \alpha_{ij} f_{ijk} d_{ij}$$

$$+ \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} (c_f + e) d_{ij} \beta (\bar{v}_{ij})^2 X_{ijk}$$

$$+ \sum_{k \in K} h I_k \quad (1)$$

ข้อจำกัด

$$\sum_{i \in N_0} X_{i0k} = 1 \quad \forall k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N_0} X_{0jk} = 1 \quad \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in K} X_{ijk} = 1 \quad \forall j \in N^* \quad (4)$$

$$\sum_{j \in N} \sum_{k \in K} X_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N^* \quad (5)$$

$$\sum_{i \in N} X_{irk} - \sum_{j \in N} X_{rjk} = 0; \quad \forall r \in N^*, \forall k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in K} X_{ijk} = 2 \quad \forall j \in N^{**} \quad (7)$$

$$\sum_{j \in N} \sum_{k \in K} X_{ijk} = 2 \quad \forall i \in N^{**} \quad (8)$$

$$\sum_{i \in N} X_{irk} - \sum_{j \in N} X_{rjk} = 0; \quad \forall r \in N^{**}, \forall k \in K \quad (9)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in K} X_{ijk} = 3 \quad \forall j \in N^{***} \quad (10)$$

$$\sum_{j \in N} \sum_{k \in K} X_{ijk} = 3 \quad \forall i \in N^{***} \quad (11)$$

$$\sum_{i \in N} X_{irk} - \sum_{j \in N} X_{rjk} = 0; \quad \forall r \in N^{***}, \forall k \in K \quad (12)$$

$$\sum_{i \in N} X_{ijk} = 2 \quad \forall i \in N^{**}, \forall k \in K' \forall k \in K'' \text{ and } \forall k \in K''' \quad (13)$$

$$\sum_{j \in N} X_{ijk} = 2 \quad \forall i \in N^{**}, \forall k \in K'; \quad \forall k \in K'' \text{ and } \forall k \in K''' \quad (14)$$

$$\sum_{i \in N} X_{ijk} = 3 \quad \forall j \in N^{***}, \quad \forall k \in K^* \text{ and } \forall k \in K^{**} \quad (15)$$

$$\sum_{j \in N} X_{ijk} = 3 \quad \forall i \in N^{***}, \quad \forall k \in K^* \text{ and } \forall k \in K^{**} \quad (16)$$

$$\sum_{i \in N_0} (q_i \sum_{j \in N} X_{ijk}) \leq Q \quad \forall k \in K \quad (17)$$

$$\sum_{j \in N} f_{ijk} - \sum_{j \in N} f_{jik} = q_i \quad \forall i \in N_0 \quad (18)$$

$$X_{ijk} \leq f_{ijk} \leq (Q)X_{ijk} \quad \forall (i, j) \in A, \quad \forall k \in K \quad (19)$$

$$\sum_{j \in N} X_{ijk}(s_j + t_{ij}) \leq T \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (20)$$

$$I_{k-1} + \sum_{k \in K} q_i X_{ijk} - I_k \leq b_k \quad \forall i, j \in N \quad (21)$$

$$X_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall (i, j) \in A, \forall k \in K \quad (22)$$

$$f_{ijk} \geq 0 \quad \forall (i, j) \in A, \forall k \in K \quad (23)$$

$$f_{0jk} = 0 \quad j \in N_0, \forall k \in K \quad (24)$$

$$I_k \geq 0 \quad \forall k \in K \quad (25)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (1) โดยมีเป้าหมายคือต้นทุนต่ำที่สุด ประกอบด้วยต้นทุนในการขนส่งที่คำนึงถึงต้นทุนของเชื้อเพลิงและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะอยู่ใน 3 ส่วนแรก และต้นทุนในการจัดเก็บมูลฝอยติดเชื้อ

ในส่วนข้อจำกัดประกอบไปด้วยข้อจำกัดที่ (2-3) คือจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดในแต่ละวันจะอยู่ที่โรงงานเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ ข้อจำกัดที่ (4-6) คือแต่ละจุดจะถูกจัดเก็บมูลฝอยติดเชื้อเพียงครั้งเดียว ข้อจำกัดที่ (7-9) โรงพยาบาลที่ 4 และ 5 ต้องการให้ทำการเก็บ 2 ครั้งต่อสัปดาห์ ข้อจำกัดที่ (10-12) โรงพยาบาลที่ 3 ต้องการให้เก็บ 3 ครั้งต่อสัปดาห์ ข้อจำกัดที่ (13-16) การกำหนดวันที่จะทำการจัดเก็บของโรงพยาบาลที่ 3 4 และ 5 โดยโรงพยาบาลที่ 3 จะทำการเก็บวันจันทร์ พุธ ศุกร์ หรือ อังคาร พฤหัสบดี เสาร์ ส่วนโรงพยาบาลที่ 4 และ 5 จะทำการเก็บวันจันทร์ พฤหัสบดี หรือ อังคาร ศุกร์ หรือ พุธ เสาร์ ข้อจำกัดที่ (17) แสดงความสามารถในการบรรทุกของรถเก็บมูลฝอยติดเชื้อ ข้อจำกัดที่ (18) แสดงสมมูลของการไหลของตัวมูลฝอยติดเชื้อ ข้อจำกัดที่ (19) แสดงการไหลมูลฝอยติดเชื้อในแต่ละเส้นทางต้องไม่เกินความสามารถในการบรรทุก ข้อจำกัด (20) แสดงเวลาในการทำงานไม่เกินเวลาในการทำงานที่กำหนด (T) ข้อจำกัดที่ (21) แสดงปริมาณของมูลฝอยติดเชื้อคงคลัง เมื่อมีปริมาณมูลฝอยติดเชื้อมากกว่า

ความสามารถในการเผา (b_k) และข้อจำกัดที่ (22-25) เป็นข้อจำกัดของตัวแปร

จากโมเดลทางคณิตศาสตร์จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาคำตอบจะใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในการแก้ปัญหาโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งจะทำการแก้ปัญหาในพื้นที่จังหวัดเชียงรายในปัจจุบัน และอนาคตในอีก 6 เดือนข้างหน้า

ขั้นตอนที่ 4 เปรียบเทียบต้นทุนในการดำเนินการของโรงงานเตาเผามูลฝอยติดเชื้อในปัจจุบันกับคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาโมเดลทางคณิตศาสตร์

4. ผลการวิจัย

การศึกษานี้เพื่อให้ได้แนวทางในการจัดเส้นทางเดินรถที่คำนึงถึงการปล่อยมลพิษและการจัดเก็บในท้องถิ่น การหาคำตอบโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป วิธีที่ใช้ในการหาคำตอบคือวิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งจะกำหนดขนาดของประชากรที่ 500 กำหนดประชากรให้อยู่ในรูปแบบเลขฐานสอง (Binary code) ซึ่งมีจำนวน 15 บิต การเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซม (Crossover) 0.8 และการปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซม (Mutant) 0.2 โดยจะทำการกำหนดจำนวนรอบไว้ที่ 1,000 รอบ โดยมีขั้นตอนตามรูปที่ 2 และผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมได้ผลที่ดีที่สุดดังตารางที่ 1

ขั้นตอนในการหาคำตอบ

ข้อมูลนำเข้า: ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (fun), จำนวนรุ่น (N_G), ขนาดประชากร (N_P), ความน่าจะเป็นแบบครอสโอเวอร์ (p_c), ความน่าจะเป็นการกลายพันธุ์ (p_m)

ผลลัพธ์: f^{best}, x^{best}

การเริ่มต้น:

- 0: สร้างประชากรเริ่มต้น $N_P \{x_{int}^i\}$ ($i = 1, \dots, N_P$), และ การประเมินฟังก์ชัน $\{x_{int}^i\}$ for $i=1, \dots, N_P$
- ขั้นตอนหลัก GA (สร้างรุ่นใหม่ x_{new}^{best})
 1. สุ่มเลือก 2 โครโมโซม x_p และ x_q จาก x^{best-1}
 2. สร้าง 2 โครโมโซมใหม่ x_p^{new} และ x_q^{new} โดยครอสโอเวอร์ x_p และ x_q ที่มีความน่าจะเป็นไขว้กัน p_c
 3. ดำเนินการกลายพันธุ์ใน x_p^{new} และ x_q^{new} โดยมีความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ p_m
 4. คำนวณ $\{x_p^{new}\}$ และ $\{x_q^{new}\}$ เพื่อประเมินฟังก์ชัน (f)
 5. ใส่ x_p^{new} และ x_q^{new} ลงใน x^{new}

6. เลือกโครโมโซมที่ดีที่สุด N_p จาก x^{best-1} และ x^{new} เพื่อสร้าง x^{best}

7. x^{best} = โครโมโซมที่ดีที่สุด ใน $\{x^i\}$
8. ในขณะที่จำนวนรุ่นน้อยกว่าค่าที่ระบุ
9. กลับไปที่ขั้นตอน (1)
10. จบ

จากการเก็บข้อมูล นำมาคำนวณหาค่าต่างๆ ที่ใช้ในโมเดลคณิตศาสตร์ ดังนี้ ต้นทุนเชื้อเพลิง (c_f) 11.64 บาท/kWh ต้นทุนการปล่อยคาร์บอน (e) 0.0264 บาท/kWh α_{ij} คือ ค่าคงที่ของเส้นทาง กำหนดไว้ที่ 0.0981 เมตร/วินาที² β คือ ค่าคงที่เฉพาะของรถ เท่ากับ 2.107 กิโลกรัม/เมตร และรถมีน้ำหนัก (w) เท่ากับ 3,000 กิโลกรัม โดยรถบรรทุกเป็นรถ 6 ล้อและใช้น้ำมันดีเซล

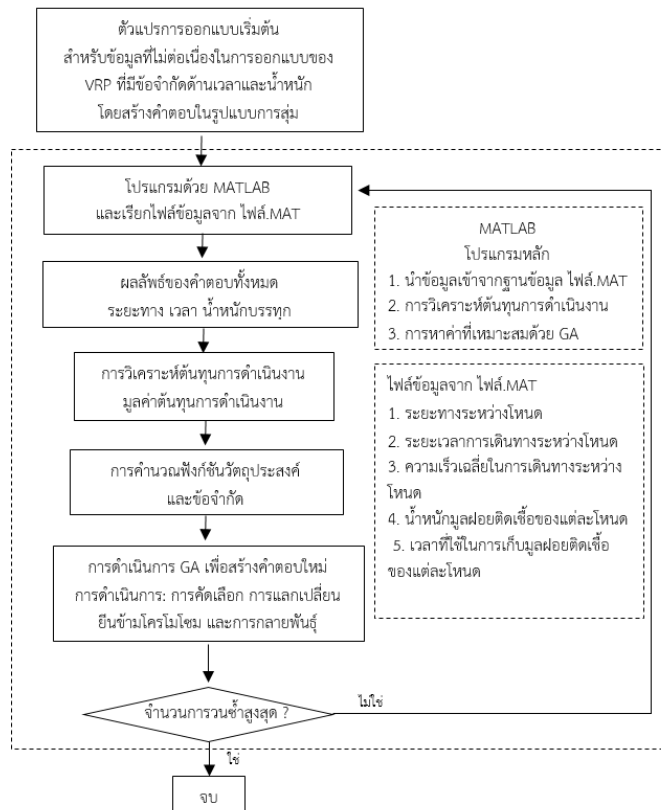
โดยต้นทุนพลังงาน (c_p) จะคำนวณมาจาก (พลังงานที่ใช้/ประสิทธิภาพเครื่องยนต์) (kWh) \times ปริมาณพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงต่อหน่วย (L/8.8 kWh) \times ต้นทุนน้ำมันเชื้อเพลิงต่อหน่วย (Baht)

$$\frac{1}{0.35} \text{ kWh} \times \frac{1 \text{ ลิตร}}{8.8 \text{ kWh}} \times 35.74 \frac{\text{บาท}}{\text{ลิตร}} = 11.64 \text{ บาท/kWh}$$

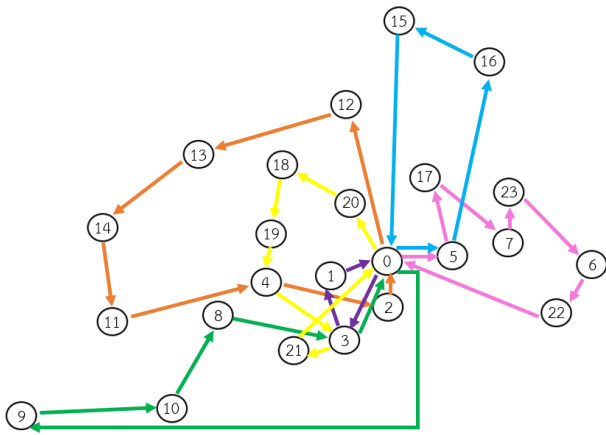
ต้นทุนการปล่อยคาร์บอน (e) จะคำนวณจาก ปริมาณเชื้อเพลิง (ลิตร) \times ปริมาณคาร์บอนต่อหน่วย (ตัน/ลิตร) \times ต้นทุนคาร์บอนต่อหน่วย (บาท/ตัน)

หรือ (พลังงานที่ใช้ / ประสิทธิภาพเครื่องยนต์) (kWh) \times ปริมาณพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงต่อหน่วย (ลิตร/8.8 kWh) \times ปริมาณคาร์บอนต่อหน่วย (ตัน/ลิตร) \times ต้นทุนคาร์บอนต่อหน่วย (บาท/ตัน)

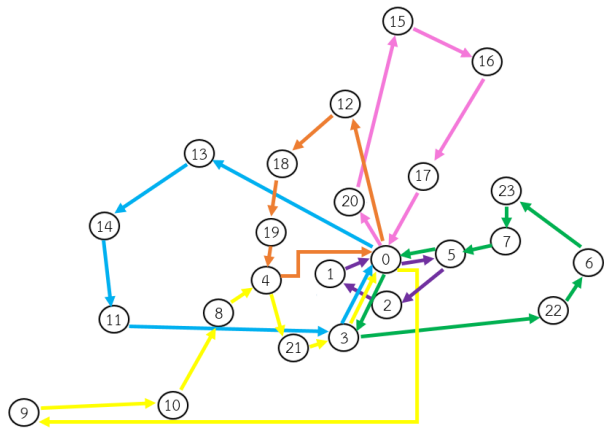
$$\frac{1}{0.35} \text{ kWh} \times \frac{1 \text{ ลิตร}}{8.8 \text{ kWh}} \times \frac{(2.32/1,000) \text{ ตัน/ลิตร}}{8.8 \text{ kWh}} \times \frac{35 \text{ บาท}}{\text{ตัน}} = 0.0264 \text{ บาท/kWh}$$



รูปที่ 2 ขั้นตอนในการหาคำตอบ



รูปที่ 3 เส้นทางในการเก็บมูลฝอยติดเชื้อในปัจจุบัน



รูปที่ 4 เส้นทางในการเก็บมูลฝอยติดเชื้อที่ได้จากโมเดลคณิตศาสตร์

จากการศึกษาเส้นทางของการเดินทางในปัจจุบันดังรูปที่ 3 และที่ได้จากการวิเคราะห์จากโมเดลคณิตศาสตร์ ดังรูปที่ 4 โดยมีจุดเก็บมูลฝอยติดเชื้อทั้งหมด 23 จุด ซึ่งจะมีเส้นทางทั้งหมด 6 วัน โดยวันจันทร์จะเป็นเส้นทางสีเหลือง วันอังคารจะเป็นเส้นทางสีชมพู วันพุธจะเป็นเส้นทางสีเขียว วันพฤหัสบดีจะเป็นเส้นทางสีส้ม วันศุกร์จะเป็นเส้นทางสีฟ้า และวันเสาร์จะเป็นเส้นทางสีม่วง

ตารางที่ 1 เส้นทางในการเก็บมูลฝอยติดเชื้อในปัจจุบันและที่ได้จากโมเดลคณิตศาสตร์

วัน	เส้นทางการเดินทางปัจจุบัน	เส้นทางเดินทางจากโมเดลคณิตศาสตร์
จันทร์	0 - 20 - 18 - 19 - 4 - 3 - 21 - 0	0 - 9 - 10 - 8 - 4 - 21 - 3 - 0
อังคาร	0 - 5 - 17 - 7 - 23 - 6 - 22 - 0	0 - 20 - 15 - 16 - 17 - 0
พุธ	0 - 9 - 10 - 8 - 3 - 0	0 - 3 - 22 - 6 - 23 - 7 - 5 - 0
พฤหัสบดี	0 - 12 - 13 - 14 - 11 - 4 - 2 - 0	0 - 12 - 18 - 19 - 4 - 0
ศุกร์	0 - 5 - 16 - 15 - 0	0 - 13 - 14 - 11 - 3 - 0
เสาร์	0 - 3 - 1 - 0	0 - 5 - 2 - 1 - 0

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบระยะเวลา และต้นทุนที่ได้จากแบบปัจจุบัน และโมเดลคณิตศาสตร์ในสถานการณ์ปัจจุบัน

แบบ	ระยะทาง (กิโลเมตร)	เวลา (ชั่วโมง)	ต้นทุน (บาท)
ปัจจุบัน	1,109.2	34.65	4,403.75
โมเดลคณิตศาสตร์	1,101.1	35.23	4,013.61

จากตารางที่ 2 ระยะทางในการเดินทางของรถเก็บมูลฝอยติดเชื้อที่ได้จากโมเดลคณิตศาสตร์มีค่าน้อยกว่าปัจจุบัน 8.1 กิโลเมตร แต่ใช้เวลามากกว่า 0.6 ชั่วโมง โดยมีต้นทุนลดลง 390.1 บาทต่อสัปดาห์ หรือลดลงร้อยละ 8.86

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบต้นทุนในแต่ละประเภทที่ได้จากแบบปัจจุบัน และโมเดลคณิตศาสตร์ในสถานการณ์ปัจจุบัน

ประเภทของต้นทุน	เส้นทางปัจจุบัน	เส้นทางจากโมเดลคณิตศาสตร์
ต้นทุน	น้ำหนักรถ	2,161.59
	น้ำหนักมูล	2,145.81
การ	ฟลอยติดเชื้อ	482.15
	ฟลอยติดเชื้อ	408.13
ขนส่ง	ต้นทุนจากความเร็ว	1,366.59
	ความเร็ว	1,261.69
ต้นทุนในการเก็บมูล	393.42	197.98
ฟลอยติดเชื้อ		

จากตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาต้นทุนในแต่ละประเภทพบว่า ต้นทุนลดลงกว่าแบบปัจจุบันในทุกประเภท โดยต้นทุนในการเก็บมูลฟลอยติดเชื้อลดลงมากที่สุด 195.43 บาท ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 50.09 ของต้นทุนที่ลดลงทั้งหมด รองลงมาคือต้นทุนในการขนส่งจากความเร็ว ลดลง 104.91 บาท คิดเป็นร้อยละ 26.89 ของต้นทุนที่ลดลงทั้งหมด ต้นทุนการขนส่งจากน้ำหนักมูลฟลอยติดเชื้อลดลง 74.01 บาท คิดเป็นร้อยละ 18.97 ของต้นทุนที่ลดลงทั้งหมด และต้นทุนการขนส่งจากน้ำหนักรถ ลดลง 15.79 บาท คิดเป็นร้อยละ 4.05 ของต้นทุนที่ลดลงทั้งหมดตามลำดับ

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบต้นทุนในแต่ละประเภทของต้นทุนที่ได้จากแบบปัจจุบัน และโมเดลคณิตศาสตร์ในสถานการณ์ปัจจุบัน

ประเภทของต้นทุน	ต้นทุนของแต่ละแบบ (บาท)	
	เส้นทางปัจจุบัน	เส้นทางจากโมเดลคณิตศาสตร์
ต้นทุนเชื้อเพลิง	4,001.26	3,806.99
ต้นทุนปล่อยคาร์บอน	9.08	8.63
ต้นทุนการเก็บ	393.42	197.98

จากตารางที่ 4 เมื่อพิจารณาต้นทุนในแต่ละประเภทพบว่า ต้นทุนลดลงกว่าแบบปัจจุบันในทุกประเภท แต่ต้นทุนการปล่อย

คาร์บอนลดลงเพียง 0.44 บาทเนื่องจากปัจจุบันมีค่าน้อยมากเพียง 9.08 บาท โดยต้นทุนในการจัดเก็บมูลฟลอยติดเชื้อในห้องเย็นลดลงมากที่สุด ลดลง 195.43 บาท คิดเป็นร้อยละ 50.09 ของต้นทุนที่ลดลงทั้งหมด รองลงมาคือต้นทุนเชื้อเพลิงลดลง 194.26 บาท ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 49.79 ของต้นทุนที่ลดลงทั้งหมด

และเมื่อใช้ปริมาณมูลฟลอยติดเชื้อในแต่ละจุดที่ได้จากการพยากรณ์ ซึ่งมีค่าที่เพิ่มขึ้น ผลการศึกษาที่มีสมมติฐานว่าการจัดเส้นทางยังอยู่ภายใต้ข้อจำกัดต่างๆ จะได้ต้นทุนในแต่ละส่วน ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบต้นทุนในแต่ละประเภทที่ได้จากแบบปัจจุบัน และโมเดลคณิตศาสตร์ในสถานการณ์อีก 6 เดือนข้างหน้า

ประเภทของต้นทุน	เส้นทางปัจจุบัน	เส้นทางจากโมเดลคณิตศาสตร์
ต้นทุน	น้ำหนักรถ	2,161.59
	น้ำหนักมูล	2,145.81
การ	ฟลอยติดเชื้อ	690.82
	ฟลอยติดเชื้อ	497.59
ขนส่ง	ต้นทุนจากความเร็ว	1,366.59
	ความเร็ว	1,261.69
ต้นทุนในการเก็บมูล	1,643.64	1,328.53
ฟลอยติดเชื้อ		

จากตารางที่ 5 ต้นทุนในสถานการณ์อีก 6 เดือนข้างหน้าจะมีต้นทุนรวมของเส้นทางปัจจุบันเท่ากับ 5,862.64 บาท ต้นทุนรวมของเส้นทางที่ได้จากโมเดลคณิตศาสตร์เท่ากับ 5,233.61 บาท โดยต้นทุนรวมลดลง 629.09 บาท คิดเป็นร้อยละ 10.73 โดยต้นทุนในการเก็บมูลฟลอยติดเชื้อลดลงมากที่สุด 315.11 บาท ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 50.09 ของต้นทุนที่ลดลงทั้งหมด รองลงมาคือต้นทุนการขนส่งจากน้ำหนักมูลฟลอยติดเชื้อ ลดลง 193.23 บาท คิดเป็นร้อยละ 30.72 ของต้นทุนที่ลดลงทั้งหมด ต้นทุนการขนส่งจากความเร็ว ลดลง 104.91 บาท คิดเป็นร้อยละ 16.68 ของต้นทุนที่ลดลงทั้งหมด และต้นทุนการขนส่งจากน้ำหนักรถ ลดลง 15.79 บาท คิดเป็นร้อยละ 2.51 ของต้นทุนที่ลดลงทั้งหมดตามลำดับ จากการมีต้นทุนลดลง 629.09 บาทต่อสัปดาห์ เมื่อคิดเป็นต่อปีจะช่วยให้ประหยัดต้นทุนได้ 32,710 บาทต่อปี

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบต้นทุนในแต่ละประเภทของต้นทุนที่ได้จากแบบปัจจุบัน และโมเดลคณิตศาสตร์ในสถานการณ์อีก 6 เดือนข้างหน้า

ประเภทของ ต้นทุน	ต้นทุนของแต่ละแบบ (บาท)	
	เส้นทางปัจจุบัน	เส้นทางจากโมเดล คณิตศาสตร์
ต้นทุนเชื้อเพลิง	4,209.45	3,896.24
ต้นทุนปล่อย คาร์บอน	9.55	8.84
ต้นทุนการเก็บ	1,643.64	1,328.53

จากตารางที่ 6 เมื่อพิจารณาต้นทุนในแต่ละประเภทในสถานการณ์อีก 6 เดือนข้างหน้าพบว่าต้นทุนที่ได้จากโมเดลคณิตศาสตร์ลดลงกว่าเส้นทางในปัจจุบันในทุกประเภท แต่ต้นทุนการปล่อยคาร์บอนลดลงเพียง 0.44 บาท เนื่องจากเส้นทางปัจจุบันก็มีค่าน้อยมากเพียง 9.55 บาท โดยต้นทุนในการจัดเก็บมูลฝอยติดเชื้อในห้องเย็นลดลงมากที่สุด ลดลง 315.11 บาท รองลงมาคือต้นทุนเชื้อเพลิงลดลง 313.21 บาท

5. สรุปผลและอภิปรายผล

จากการศึกษาสรุปผลได้ว่าจะระยะทางในการเดินทางของรถเก็บมูลฝอยติดเชื้อที่ได้จากโมเดลคณิตศาสตร์มีค่าน้อยกว่าเส้นทางปัจจุบัน 8.1 กิโลเมตร โดยมีต้นทุนลดลง 390.1 บาทต่อสัปดาห์ ลดลงร้อยละ 8.86 ทำให้ประหยัดต้นทุนได้ 20,287 บาทต่อปี และเมื่อพิจารณาสถานการณ์อีก 6 เดือนข้างหน้า ซึ่งมีต้นทุนลดลง 629.1 บาทต่อสัปดาห์ ลดลงร้อยละ 10.73 ทำให้ประหยัดต้นทุนได้ 32,709.6 บาทต่อปี การใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์ในการหาการจัดเส้นทางที่เหมาะสมที่คำนึงถึงการปล่อยก๊าซคาร์บอน ร่วมกับการบริหารจัดการการจัดเก็บมูลฝอยติดเชื้อ ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาการจัดเส้นทางที่ได้จากโมเดลทางคณิตศาสตร์จะมีเส้นทางใกล้เคียงกับเส้นทางในปัจจุบัน เนื่องจากแต่ละจุดที่ไปเก็บเป็นโรงพยาบาลประจำอำเภอ ระยะทางแต่ละอำเภอมิ ระยะทางห่างกันมาก การจัดเส้นทางในแต่ละวันจึงเป็นกลุ่มของโรงพยาบาลที่อยู่ใกล้กัน ซึ่งการจัดเส้นทางจากโมเดลคณิตศาสตร์นั้นจะมีการปรับเปลี่ยนบางเส้นทาง โดยจะมีจุดในการไปเก็บมูลฝอยติดเชื้อเพิ่มหรือลดลง การจัดจุดที่มีความถี่ใน

การจัดเก็บมากให้กับวันที่มีการเดินทางไปใกล้กับจุดนั้น และจากผลการศึกษาที่อาจจะลดระยะทางได้น้อย แต่สามารถลดต้นทุนในสัดส่วนที่มากกว่า สาเหตุมาจากต้นทุนในการเดินทางจะมีในส่วนของค่าบรรทุกน้ำหนักของมูลฝอยติดเชื้อด้วย นอกจากนี้จากการศึกษาที่มีต้นทุนในการปล่อยก๊าซคาร์บอนที่น้อยมาก สาเหตุมาจากประเทศไทยเพิ่งเริ่มพิจารณาการจัดเก็บต้นทุนในส่วนนี้ และมีการกำหนดราคาที่ไม่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศที่พัฒนาแล้ว ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Bektaş & Laporte (2011) ที่ใช้ราคาน้ำมันลิตรละ 1 ปอนด์ และราคาคาร์บอนเฉลี่ยต่อตันอยู่ที่ 27 ปอนด์ต่อตัน ซึ่งคิดเป็น 27 เท่าของราคาน้ำมัน [5] ในขณะที่ในการศึกษาในครั้งนี้ประเทศไทยในช่วงการศึกษามีน้ำมันราคา 35.74 บาทต่อลิตร และราคาคาร์บอนเฉลี่ยต่อตันอยู่ที่ 35 บาทต่อตัน ซึ่งมีค่าเพียง 0.98 เท่าของราคาน้ำมัน โดยอนาคตราคาคาร์บอนนี้น่าจะค่าที่สูงขึ้นจากความต้องการคาร์บอนเครดิตเพื่อชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้สอดคล้องกับการศึกษาการประยุกต์ใช้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินทางรถสำหรับการเก็บขยะมูลฝอย กรณีศึกษามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ที่ใช้วิธีวิวิธวิธีคือวิธีการแบบประหยัด (Savings algorithm) และฟังก์ชันวิธีการเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary method) ซึ่งทำให้ระยะทางที่ลดลงกว่าเส้นทางเดิม [11]

ในส่วนของการเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป ควรศึกษาในส่วนของการเพิ่มเติมข้อจำกัดอื่นๆ ในโมเดลคณิตศาสตร์ นอกจากข้อจำกัดด้านเวลาในการจัดเก็บ น้ำหนักบรรทุกของรถ ความสามารถในการเผาของโรงงาน และความสามารถในการจัดเก็บของห้องเย็น เช่น ข้อจำกัดของความสามารถในการจัดเก็บของโรงพยาบาลแต่ละแห่ง ซึ่งจะมีผลต่อความถี่ในการขนมูลฝอยติดเชื้อ รวมถึงการใช้วิธีเมตาฮิวริสติกส์อื่นๆ ในการหาคำตอบ

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของดุษฎีนิพนธ์เรื่อง “การพัฒนาการบริหารจัดการเตาเผาขยะมูลฝอยติดเชื้อในเขตภาคเหนือตอนบน” ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการศึกษาต่อในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Pollution Control Apartment. Information on the solid waste situation of the country. [Online]. (2021). [Cited April 1, 2021]. Available: <https://thaimsw.pcd.go.th/report1.php?year=2562>
- [2] H. Han and E. Ponce Cueto, "Waste collection vehicle routing problem: literature review," *PROMET-Traffic&Transportation*, vol. 27, pp. 345-358, 2015.
- [3] Department of Health. Amount of solid waste classified by province of Region 1. [Online]. (2021). [Cited April 1, 2021]. Available: <https://envmanifest.anamai.moph.go.th/?wasteProvince&id=1>
- [4] B. M. Baker and M. Ayechev, "A genetic algorithm for the vehicle routing problem," *Computers & Operations Research*, vol. 30, pp. 787-800, 2003.
- [5] A. Hiassat, A. Diabat, and I. Rahwan, "A genetic algorithm approach for location-inventory-routing problem with perishable products," *Journal of manufacturing systems*, vol. 42, pp. 93-103, 2017.
- [6] N. Shukla, M. Tiwari, and D. Ceglarek, "Genetic - algorithms - based algorithm portfolio for inventory routing problem with stochastic demand," *International Journal of Production Research*, vol. 51, pp. 118-137, 2013.
- [7] K. Mak and Y. Wong, "Design of integrated production-inventory-distribution systems using genetic algorithm," in *First International Conference on Genetic Algorithms in Engineering Systems: Innovations and Applications*, 1995, pp. 454-460.
- [8] M. Boudia, M. A. O. Louly, and C. Prins, "Fast heuristics for a combined production planning and vehicle routing problem," *Production Planning and Control*, vol. 19, pp. 85-96, 2008.
- [9] T. Bektaş and G. Laporte, "The pollution-routing problem," *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 45, pp. 1232-1250, 2011.
- [10] P. Kabcome, "Vehicle routing problem with soft time windows and time uncertainty, and some generalized results on symmetric cones," Ph.D. dissertation, Graduate School, Chiang Mai University, Chiang Mai, 2016.
- [11] N. Rungrodchatchaval, I. Sriswang and W. Kongkaew, "Application of the vehicle routing problem for solid waste collection: A case study of Prince of Songkla University, Hat Yai Campus," *Thai Journal of Operations Research*, vol. 4, no. 2, pp. 18-31, Jul.-Dec. 2008 (in Thai).

เครื่องอัดระบบไฮดรอลิกเพื่อขึ้นรูปกระถางต้นไม้จากวัสดุธรรมชาติ

The Hydraulic Press Machine for Making Flowerpots From Natural Materials

สุขสวัสดิ์ แก้วชลคราม , ทศนีย์ ทองก้านเหลือง , สายนที จากถิ่น และ ภัทรารวรรณ คหะวงศ์*
Suksawat kaewchonlakram, Thadsanee Thongkanluang, Sainatee Chakthin
and Patarawan Kahawong*

สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี
Department of Industrial Technology, Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University

*Email: patarawan.kah@sru.ac.th

Received: November 13, 2023; Revised: December 10, 2023; Accepted: December 13, 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องอัดแบบใช้ระบบไฮดรอลิก เพื่อขึ้นรูปกระถางต้นไม้ที่ผลิตจากวัสดุธรรมชาติที่มีทั่วไปในท้องถิ่น และเพื่อทดแทนการใช้ถุงพลาสติก เครื่องอัดขึ้นรูปกระถางจากวัสดุธรรมชาติประกอบด้วยโครงสร้างเครื่อง ชุดแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปแบบประกบขึ้นบนล่าง และระบบกลไกขับเคลื่อนไฮดรอลิก โครงสร้างของเครื่องทำด้วยโลหะ เช่นเดียวกับกับแม่พิมพ์ประกบซึ่งสามารถถอดเปลี่ยนได้ แม่พิมพ์มีผิวเอียงเพื่อให้แกะชิ้นงานออกได้ง่าย แม่พิมพ์ที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านบนและด้านล่าง 120 และ 110 มิลลิเมตร ตามลำดับ มีความสูง 120 มิลลิเมตร เมื่อประกบกันจะมีช่องว่างซึ่งเป็นความหนาของกระถาง 8 มิลลิเมตร เมื่อทดสอบเครื่องอัดดังกล่าวพบว่าสามารถอัดขึ้นรูปกระถางต้นไม้จากวัสดุธรรมชาติได้หลายชนิดโดยใช้กาวแปงเปียกเป็นตัวประสาน กระถางที่อัดจากขุยมะพร้าว 200 กรัม กับแปงเปียก 300 กรัม สามารถแกะออกจากแม่พิมพ์ได้ง่าย มีผิวเรียบไม่เสียทรง กระถางจากการอัดส่วนผสมของซีเมนต์ 50 กรัม ผสมขุยมะพร้าว 150 กรัม และแปงเปียก 300 กรัม มีความแข็งแรง ผิวชิ้นงานเรียบสวยไม่มีรอยแตก นอกจากนี้ยังสามารถอัดกระถางต้นไม้ได้จากเส้นใยผักตบชวาผสมมูลไส้เดือนและแปงเปียก ที่อัตราส่วน 400:300:200 โดยน้ำหนัก แต่ผักตบชวาที่ใช้ต้องผ่านขั้นตอนการทำให้แห้งดีก่อน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเครื่องอัดระบบไฮดรอลิกที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถขึ้นรูปกระถางต้นไม้จากเศษวัสดุจากธรรมชาติได้

คำสำคัญ : เครื่องอัดแบบใช้ระบบไฮดรอลิก, วัสดุธรรมชาติ, กระถางต้นไม้

Abstract

This research aims to develop the uniaxial hydraulic pressing machine for flowerpots using locally available natural materials. They are a potential replacement for plastic bag. The pressing machine includes; a mainframe, a pressing unit with an upper and lower parts and a hydraulic control system. The mainframe is made of steel, and so does the replaceable split mould. Its slant seam was designed for the ease of splitting. The mold has an upper and lower diameter of 120 and 110 mm, respectively, while the

height is 120 mm. it can press 8 mm. thick pots with a high precision. According to the test results, the machine can successfully make flowerpots from various available natural materials using organic glutinous tapioca starch as an adhesive. Identical and smooth surface pots were successfully achieved from 200 g coconut coir mixed with 300 g binder. A mixture of 50 g sawdust and 150 g coconut coir mixed with 300 g binder also yielded durable flowerpots with a crack free perfect finish. Water hyacinth can also be used with worm castings and glutinous tapioca starch to produce easily handled pots at 400:300:200 g ratio. However, the water hyacinth needed to be properly dried before use. The developed uniaxial hydraulic pressing machine is proved to be practical for making flowerpots from natural materials.

Keywords : Uniaxial hydraulic pressing machine, Natural materials, Flowerpots

1. บทนำ

จากการที่กรมควบคุมมลพิษ มีแผนงานการจัดการขยะพลาสติก พ.ศ. 2561-2573 โดยเป้าหมายที่ 1 การลดและเลิกใช้พลาสติก ด้วยการใช่วัสดุทดแทนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมนั้น[1] ทำให้ประชาชนต้องลดการใช้พลาสติกลงเป็นอย่างมาก ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือเมื่อเราไปซื้อของจากห้างสรรพสินค้าจะเห็นได้ว่าไม่มีถุงใส่ของให้บริการแล้ว จึงต้องพกถุงผ้าไปเอง เมื่อมีนาคม 2566 มีการรายงานข่าวว่า 3 ปีที่ผ่านมา ไทยสามารถลดถุงพลาสติกได้มากกว่า 1 แสนตัน [2] ประเทศเราเป็นเมืองเกษตรกรรม มีความเกี่ยวข้องกับการใช้ถุงพลาสติกในการใช้เพาะและอนุบาลกล้าไม้ เมื่อดันกล้าโตแล้วต้องนำไปปลูกลงถุงพลาสติกเหล่านี้จะถูกฉีกทิ้ง นอกจากนี้ยังมีธุรกิจขายต้นไม้และผู้ทิ้งขยะการปลูกต้นไม้ที่ต้องใช้กระถางพลาสติกจำนวนมาก ทำให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม ซึ่งเกิดจากการเผาทำลายหรือการผลิตขึ้นมาใช้ใหม่ การใช้ถุงพลาสติกมากๆ เป็นการเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศโลกมากขึ้น ถุงพลาสติกมีผลทำให้เกิดภาวะโลกร้อน การเผาทำให้เกิดสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งทำให้เกิดภาวะเรือนกระจก สารประกอบเหล่านี้ดูดกลืนและกักเก็บรังสีอินฟราเรด เมื่อดันอินฟราเรดสะท้อนออกนอกโลกไม่ได้ ก็จะถูกกักเก็บสะสมไว้ในชั้นบรรยากาศ ส่งผลให้อุณหภูมิที่ผิวโลกสูงขึ้น จากปัญหาดังกล่าวจึงมีผู้สนใจศึกษาวิจัยการทำกระถางจากวัสดุธรรมชาติหลายราย วัสดุธรรมชาติหลายราย [3-7] โดยเป็นการศึกษาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรหลายชนิดนำมาทดลองขึ้นรูป หรือการศึกษาอัตราส่วนผสมของกาบที่ใช้ขึ้น

รูปตลอดจนการพัฒนาเครื่องอัดขึ้นรูปชนิดต่างๆ เช่น เครื่องอัดขึ้นรูปร้อนโดยใช้แทนกดินวเมตริกส์ [8,9] เครื่องกดขึ้นรูปภาชนะด้วยความร้อนจากขดลวดไฟฟ้า [10] เป็นต้น

ประเทศไทยมีวัสดุธรรมชาติซึ่งเหลือทิ้งทางการเกษตรจำนวนมาก จึงเหมาะที่จะนำวัสดุเหล่านี้มาทำให้เกิดมูลค่าเพิ่ม โดยขึ้นรูปเป็นภาชนะใช้แทนถุงเพาะต้นไม้หรือใช้เป็นกระถางปลูกไม้ประดับได้ นอกจากนี้วัสดุดังกล่าวยังสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ใช้เวลาเพียง 1-3 เดือนเท่านั้น หากเป็นพลาสติกต้องใช้เวลาย่อยสลายถึง 450 ปี ในประเทศไทยมีบริษัทที่ผลิตกระถางที่ทำจากเส้นใยธรรมชาติเพียงไม่กี่แห่ง เนื่องจากกระบวนการผลิตซับซ้อนและภูมิปัญญาในการผลิตนั้นก็เป็นที่ลึกลับเฉพาะไม่มีการเปิดเผยรายละเอียด ดังนั้นผู้วิจัยจึงคิดว่า หากสามารถออกแบบและสร้างเครื่องแบบไฮดรอลิคคั้นโยกในการขึ้นรูปกระถางที่ทำจากวัสดุธรรมชาติได้แล้ว ประชาชนจะเข้าถึงได้ง่าย ต้นทุนต่ำกว่าเครื่องจักรใหญ่ๆ มาก ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาค้นคว้าเพื่อออกแบบเครื่องอัดขึ้นรูปที่สะดวกต่อการผลิตกระถางปลูกต้นไม้มากยิ่งขึ้น เนื่องจากมีขนาดเล็ก ประหยัดแรงกดและไม่ใช้ไฟฟ้า สามารถอัดขึ้นรูปกระถางจากวัสดุได้หลายชนิด

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาเครื่องอัดแบบใช้ระบบแม่แรงไฮดรอลิค ขึ้นรูปกระถางต้นไม้ที่ผลิตจากวัสดุธรรมชาติ

2.2 ศึกษากระบวนการและวิธีการอัดขึ้นรูปกระถางจากวัสดุธรรมชาติ เพื่อทดแทนการใช้พลาสติก

3. ขอบเขตงานวิจัย

3.1 พัฒนาเครื่องอัดกระดาษใช้แม่แรงไฮดรอลิกขนาด 2 ตัน

3.2 แม่พิมพ์โลหะรูปทรงกรวย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 120 มิลลิเมตร ความสูง 120 มิลลิเมตร ความหนา 8 มิลลิเมตร

4. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

4.1 วัสดุอุปกรณ์

4.1.1 วัสดุอุปกรณ์โครงจับยึดแม่พิมพ์

1) เหล็กกล่องกัลวาไนซ์ ขนาดกว้าง 76.2 มิลลิเมตร สูง 76.2 มิลลิเมตร ยาว 950 มิลลิเมตร และหนา 2 มิลลิเมตร

2) เหล็กฉาก ขนาดกว้าง 50.8 มิลลิเมตร สูง 50.8 มิลลิเมตร ยาว 550 มิลลิเมตร และหนา 3 มิลลิเมตร

3) เหล็กแผ่นแบน ขนาดกว้าง 127 มิลลิเมตร สูง 127 มิลลิเมตร และหนา 4 มิลลิเมตร

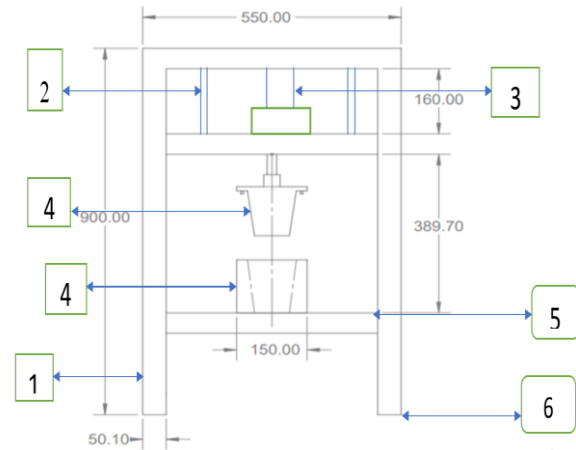
4.1.2 วัสดุอุปกรณ์สร้างชุดแม่พิมพ์

เหล็กเพลากลมตัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1500 มิลลิเมตร ยาว 152.4 มิลลิเมตร และเซตซ์ดรีดท่อขนาด 152.4 มิลลิเมตร

4.1.3 แม่แรงไฮดรอลิก สร้างกลไกขับเคลื่อนการอัด

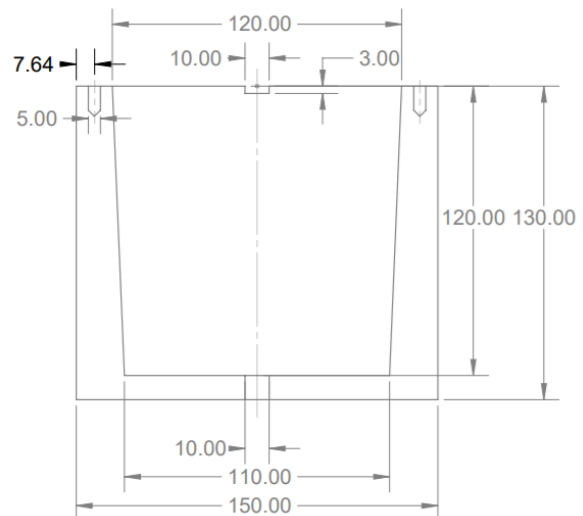
4.2 ออกแบบเครื่องอัดขึ้นรูปกระดาษต้นไม้ด้วยโปรแกรมเขียนแบบ Solidworks โดยมีขนาด กว้าง 550 มิลลิเมตร และสูง 900 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 1 ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

- 1) เสาโครงสร้างของเครื่องอัดกระดาษต้นไม้
- 2) สปริงช่วยในการดึงกลับของแม่แรง
- 3) แม่แรงกระปุกแบบไฮดรอลิกแบบมือโยก
- 4) แม่พิมพ์รูปทรงกรวย บน-ล่าง
- 5) เหล็กฉากไว้รองรับแม่พิมพ์ตัวล่างสามารถปรับระดับได้
- 6) ขาตั้งเครื่องระนาบฉาก 90 องศา



รูปที่ 1 แบบเครื่องอัดขึ้นรูปกระดาษต้นไม้ (หน่วย : มิลลิเมตร)

4.3 ออกแบบแม่พิมพ์กระดาษต้นไม้ด้วยโปรแกรมเขียนแบบ Solidworks แม่พิมพ์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 120 มิลลิเมตร และสูง 120 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แบบแม่พิมพ์กระดาษต้นไม้ (หน่วย : มิลลิเมตร)

4.4 ขั้นตอนการสร้างและประกอบเครื่องอัดกระดาษต้นไม้

4.4.1 ทำแม่พิมพ์กระดาษ โดยนำเหล็กเพลาด้านกลมมาผ่านกระบวนการกลึงปาดหน้า เจาะ และกลึงให้ได้ขนาดตามที่ออกแบบไว้ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การกลึงแม่พิมพ์

4.4.2 นำแม่พิมพ์ตัวเมียมาผ่าแบ่งครึ่ง เพื่อให้แกะออกได้ง่ายหลังการอัดขึ้นรูป ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การผ่าแบ่งครึ่งแม่พิมพ์

4.4.3 เจาะเหล็กกล่งที่มีความสูง 50.8 มิลลิเมตร เพื่อที่จะใส่น็อตไว้ใช้เป็นหูตึงสปริง ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 เจาะรูเหล็กกล่งไว้สำหรับเป็นหูตึงสปริง

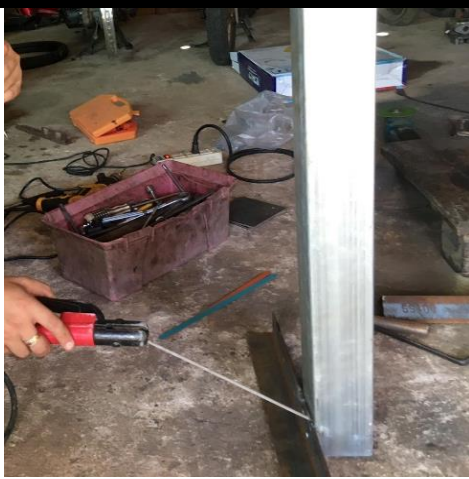
4.4.4 นำเหล็กกล่งและเหล็กฉากมาตัด โดยใช้เครื่องตัดไฟเบอร์ และเมื่อตัดเสร็จนำมาเจาะรูเพื่อที่จะใส่น็อตในการจับยึดและสามารถแยกประกอบโครงสร้างขึ้นส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 โครงสร้างเครื่องเจาะและยึดด้วยน็อต

4.4.5 เจาะเหล็กแผ่นแบนและเจาะฐานของแม่แรงเพื่อยึดน็อตเข้าด้วยกัน เตรียมไว้ประกอบเข้ากับตัวโครงสร้างเครื่อง

4.4.6 เชื่อมเหล็กฉากที่ด้านล่างของเสาโครงสร้างสำหรับประคองเครื่องไม่ให้เอนล้ม ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การเชื่อมมาตรฐานประกอบโครงสร้าง

4.4.7 นำชิ้นส่วนต่างๆ ชิ้นที่เตรียมไว้ข้างต้นมาประกอบเข้าด้วยกันและพันสีทับโลหะเพื่อป้องกันการเกิดสนิม ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 เครื่องอัดไฮดรอลิกที่ประกอบเรียบร้อยแล้ว ทำการฉีคพ่นสีป้องกันการเกิดสนิม

4.5 การเตรียมวัสดุธรรมชาติและตัวประสาน

การทดสอบเครื่องอัดที่ออกแบบไว้ต้องเตรียมวัสดุเพื่อหาความเหมาะสมระหว่างวัสดุที่จะอัดกับตัวประสาน รายละเอียดของวัสดุที่ใช้มีดังนี้

4.5.1 วัสดุธรรมชาติที่นำมาทดลอง ดังนี้

1) ขุยมะพร้าว ได้จากเปลือกมะพร้าวซึ่งปั่นเอาเส้นใยหยาบๆ ออกแล้ว จึงมีลักษณะละเอียดและแห้งเป็นขุย

2) ใยมะพร้าว ได้จากเปลือกมะพร้าว มีลักษณะเป็นเส้นหยาบและแห้งยาวประมาณ 30-50 มิลลิเมตร

3) มูลไส้เดือน เป็นวัสดุอินทรีย์ที่ใช้ปลูกพืช มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลเข้ม-ดำ มีความชื้นประมาณร้อยละ 30

4) ผักตบชวา ได้จากลำต้นตัดเป็นท่อนขนาด 5-10 มิลลิเมตร ไม่ทราบปริมาณความชื้น

5) ซีลี้อย ได้จากโรงเลื่อยไม้ไม่ระบุชนิดของเศษซีลี้อย

4.5.2 การเตรียมตัวประสาน โดยการจัดหาอุปกรณ์ ได้แก่

หม้อ ซ้อนหางยาว หรือที่ตีแป้งแบบสปริง เตาก๊าซ และแป้งมันสำหรับรองเนกประสงค์ทั่วไป มีขั้นตอนการเตรียม ดังนี้

1) นำแป้งที่เตรียมไว้ใส่ภาชนะ โดยใช้แป้งมันสำหรับรอง 200 กรัม ผสมน้ำ 700 มิลลิตร

2) ใส่ น้ำและตีแป้งให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกันไม่จับเป็นก้อน

3) ให้ความร้อนโดยเตาก๊าซ กวนแป้งตลอดเวลาเพื่อไม่ให้แป้งจับเป็นก้อน

4) เมื่อได้แป้งมีลักษณะข้นเหนียวแล้ว (เรียกว่าแป้งเปียก) ยกออกจากเตา รอให้เย็นจึงนำไปใช้งาน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 วัสดุและอัตราส่วนตัวประสานที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปไฮดรอลิก

วัสดุ	ปริมาณ แป้งเปียก (กรัม)	เวลา (นาที)
1. ขุยมะพร้าวอย่างเดียว		
- ขุยมะพร้าว 200 กรัม	300 กรัม	3 นาที
- ขุยมะพร้าว 200 กรัม	400 กรัม	3 นาที
- ขุยมะพร้าว 200 กรัม	550 กรัม	3 นาที
2. ขุยมะพร้าวผสมซีลี้อย		
- ขุยมะพร้าว 150 กรัม ซีลี้อย 50 กรัม	300 กรัม	3 นาที
- ขุยมะพร้าว 150 กรัม ซีลี้อย 50 กรัม	400 กรัม	3 นาที
- ขุยมะพร้าว 150 กรัม ซีลี้อย 50 กรัม	500 กรัม	3 นาที
3. ผักตบชวาผสมมูลไส้เดือน		
- ผักตบชวา 400 กรัม มูลไส้เดือน 300 กรัม	200 กรัม	3 นาที
- ผักตบชวา 400 กรัม มูลไส้เดือน 300 กรัม	250 กรัม	3 นาที
- ผักตบชวา 350 กรัม มูลไส้เดือนตากแห้ง 350 กรัม	ไม่ใส่แป้งเปียก	3 นาที

4.6 การทดสอบการอัดขึ้นรูปกระถางต้นไม้ด้วยเครื่องอัดแม่แรงแบบมือโยก มีขั้นตอนดังนี้

- 1) นำวัสดุธรรมชาติผสมกับตัวประสาน คลุกเคล้าให้เข้ากัน อย่างสม่ำเสมอแล้วนำไปใส่ลงในแม่พิมพ์ตัวเมีย
- 2) ยึดแม่พิมพ์ตัวผู้กับฐานแม่แรง
- 3) นำแม่พิมพ์ตัวเมียไปวางบนตำแหน่งวางแม่พิมพ์บนเครื่อง เมื่อโยกแม่แรง เหล็กฐานแม่แรงซึ่งมีพิมพ์ตัวผู้จะเคลื่อนที่ลง ทำให้ประกบกับแม่พิมพ์ตัวเมีย เหลือเพียงช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์ คือความหนาของกระถาง สำหรับเศษวัสดุที่เกินนั้นจะทะลักออกทางด้านบนของปากกระถาง

ดังรูปที่ 9 โยกแม่แรงให้แน่นพอดีมือค้างไว้ประมาณ 3 นาที

4) ปาดวัสดุส่วนเกินออกจากขอบปาก และชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ โดยยกแม่พิมพ์ตัวผู้ขึ้น และแยกแม่พิมพ์ตัวเมียซึ่งซ้าย-ขวาออกจากกัน



รูปที่ 9 ทดสอบการอัดขึ้นรูปกระถางต้นไม้

5. ผลการวิจัย

เครื่องอัดระบบไฮดรอลิกขึ้นรูปกระถางจากวัสดุธรรมชาตินี้ ได้วางแผนการดำเนินงานออกแบบและสร้างเครื่องมาเป็นอย่างดี เมื่อประกอบเครื่องเสร็จจึงต้องทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่อง โดยทดสอบการอัดขึ้นรูปวัสดุต่างๆ ซึ่งได้ผลดังนี้

5. ผลการวิจัย

เครื่องอัดระบบไฮดรอลิคขึ้นรูปกระถางจากวัสดุธรรมชาตินี้ ได้วางแผนการดำเนินงานออกแบบและสร้างเครื่องมาเป็นอย่างดี เมื่อประกอบเครื่องเสร็จจึงต้องทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่อง โดยทดสอบการอัดขึ้นรูปวัสดุต่างๆ ซึ่งได้ผลดังนี้

5.1 ผลทดสอบการอัดขึ้นรูปกระถางจากขุยมะพร้าว

5.1.1 ผลการขึ้นรูปขุยมะพร้าวอย่างเดียว




ผลการทดสอบการอัดขึ้นรูปกระถางจากขุยมะพร้าวอย่างเดียว 200 กรัม ผสมกับแป้งเปียกในอัตราส่วน 300

400 และ 550 กรัม แสดงในตารางที่ 2




5.1.2 ผลการทดสอบการอัดขึ้นรูปกระถางด้วยขุยมะพร้าวผสมซีลี้อย

ผลการทดสอบการอัดขึ้นรูปกระถางด้วยขุยมะพร้าว 150 กรัมและซีลี้อย 50 กรัม ผสมแป้งเปียก 300 400 และ 500 กรัม แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ผลการขึ้นรูปอัดกระถางจากขุยมะพร้าวอย่างเดียว

สถานะในการทดลอง	การทดลอง		
	ส่วนผสมที่ 1	ส่วนผสมที่ 2	ส่วนผสมที่ 3
วัสดุ	ขุยมะพร้าว 200 กรัม	ขุยมะพร้าว 200 กรัม	ขุยมะพร้าว 200 กรัม
ปริมาณของตัวประสาน	แป้งเปียก 300 กรัม	แป้งเปียก 400 กรัม	แป้งเปียก 550 กรัม
เวลา	3 นาที	3 นาที	3 นาที
ผลการทดลอง	 <ol style="list-style-type: none"> 1) เนื้อวัสดุติดกัน 2) ไม่มีรอยแตก 3) ผิวเรียบไม่เสียรูปทรง 	 <ol style="list-style-type: none"> 1) เนื้อวัสดุเริ่มติดกัน 2) ตอนเอาชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ เกิดการแตกบริเวณปากกระถาง เนื่องจากลดปริมาณของตัวประสานลดลง 	 <ol style="list-style-type: none"> 1) เนื้อวัสดุไม่ติดกัน 2) ชิ้นงานแตกออกจากกัน 3) ชิ้นงานไม่เป็นรูปทรงหลังเอาออกจากแม่พิมพ์ เพราะใส่ตัวประสานมากเกินไป

ตารางที่ 3 ผลการอัดขึ้นรูปกระถางจากขี้เลื่อยผสมขุยมะพร้าว

สภาวะ ในการ ทดลอง	การทดลอง		
	ส่วนผสมที่ 1	ส่วนผสมที่ 2	ส่วนผสมที่ 3
วัสดุ	ขี้เลื่อย 50 กรัม ขุยมะพร้าว 150 กรัม	ขี้เลื่อย 50 กรัม ขุยมะพร้าว 150 กรัม	ขี้เลื่อย 50 กรัม ขุยมะพร้าว 150 กรัม
ปริมาณ ของตัว ประสาน	แป้งเปียก 300 กรัม	แป้งเปียก 400 กรัม	แป้งเปียก 500 กรัม
เวลา	3 นาที	3 นาที	3 นาที
ผลการ ทดลอง	 <ol style="list-style-type: none"> วัสดุติดกันดี ผิวเรียบสวย ไม่มีรอยแตก 	 <ol style="list-style-type: none"> วัสดุจับตัวกันดีขึ้น ผิวเรียบขึ้น รอยแตกลดลง แต่ต้องใช้ถุงพลาสติกรองในแม่พิมพ์ ก่อนจะใส่วัสดุอัด มิฉะนั้นชิ้นงานจะติดแม่พิมพ์ 	 <ol style="list-style-type: none"> วัสดุไม่ค่อยจับตัวกัน ผิวไม่เรียบ มีรอยแตก

5.2 ผลการทดสอบอัดขึ้นรูปกระถางด้วยผักตบชวาผสม

มูลไส้เดือน

ผลการทดสอบอัดขึ้นรูปกระถางด้วยผักตบชวา 400 กรัม และมูลไส้เดือน 300 กรัม ผสมกับแป้งเปียก 200 กรัม และไม่ใส่แป้งเปียก แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการอัดขึ้นรูปกระถางจากผักตบชวาผสมมูลไส้เดือน

สภาวะในการทดลอง	การทดลอง		
	ส่วนผสมที่ 1	ส่วนผสมที่ 2	ส่วนผสมที่ 3
วัสดุ	ผักตบชวา 400 กรัม มูลไส้เดือน 300 กรัม	ผักตบชวา 400 กรัม มูลไส้เดือน 300 กรัม	ผักตบชวากับมูลไส้เดือน ตากแห้ง อัตราส่วน 50:50
ปริมาณของตัวประสาน	แป้งเปียก 200 กรัม	แป้งเปียก 250 กรัม	ไม่ใส่
เวลา	3 นาที	3 นาที	3 นาที
ผลการทดลอง	 <ol style="list-style-type: none"> วัสดุจับตัวกันดี ผิวเรียบ ไม่มีรอยแตก แยกออกจากแม่พิมพ์ได้ง่าย ไม่แฉะ และผักตบชวาไม่ได้ตากแห้งจึงทำให้กระถางที่นำไปตากแดดจนแห้งแล้วเสียทรงจากเดิมเล็กน้อย แต่แห้งง่ายกว่าส่วนผสมที่ 2 	 <ol style="list-style-type: none"> วัสดุจับตัวกันดี ผิวเรียบ ไม่มีรอยแตก แต่แป้งเปียกมากเกินไปจึงแฉะ และผักตบชวาไม่ได้ตากแห้งจึงทำให้กระถางที่นำไปตากแดดจนแห้งแล้วเสียทรงจากเดิมเล็กน้อย 	 <ol style="list-style-type: none"> วัสดุจับตัวกันดี ผิวเรียบ ไม่มีรอยแตก แยกออกจากแม่พิมพ์ได้ง่าย เมื่อนำขึ้นงานไปตากแดดจนแป้งเปียกแห้งแล้วกระถางมีการหดตัวเล็กน้อย เนื่องจากตอนอัดเส้นใยผักตบชวาไม่แห้ง จึงมีการระเหยของน้ำออกไป

5.3 ผลการพัฒนาเครื่องอัดกระดาษต้นไม้จากวัสดุธรรมชาติ

เครื่องอัดกระดาษต้นไม้จากวัสดุธรรมชาติที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นเครื่องระบบไฮดรอลิกใช้แม่แรงเล็กขนาด 2 ตันแบบคันโยก การออกแบบเครื่องทำให้แม่แรงเคลื่อนที่ลงเพื่อไปกดแม่พิมพ์ ทุ่นแรงผู้ใช้แต่มีแรงอัดแน่นพอที่กระดาษจะทรงรูปได้ เมื่อนำไปตากให้แห้งเป็ยกแห้งชิ้นงานจะแข็งแรงยิ่งขึ้น เครื่องดังกล่าวสามารถใช้อัดแม่พิมพ์ได้หลายรูปแบบ ใช้สะดวก เพียงเปลี่ยนแม่พิมพ์ที่ต้องการแล้วนำไปวางในตำแหน่งวางแม่พิมพ์ กดคันโยกแม่แรงก็จะลงมาอัดที่แม่พิมพ์ นอกจากนี้สามารถยกแม่พิมพ์เข้า-ออกจากเครื่องได้สะดวกอีกด้วย จากผลการอัดกระดาษในหัวข้อที่ 5.1-5.2 แสดงให้เห็นว่าเครื่องที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถอัดกระดาษจากวัสดุธรรมชาติได้เป็นอย่างดี

6. อภิปรายผลและสรุป

6.1 สรุปผลการพัฒนาเครื่องอัดระบบไฮดรอลิกขึ้นรูปกระดาษต้นไม้

จากการออกแบบและสร้างเครื่องอัดระบบไฮดรอลิกขึ้นรูปกระดาษจากวัสดุธรรมชาติและทดสอบใช้เครื่องดังกล่าวพบว่า สามารถพัฒนาเพื่อใช้อัดขึ้นรูปกระดาษได้ดี ตัวเครื่องมีลักษณะและหลักการใกล้เคียงกับเครื่องขึ้นรูปงานแต่เครื่องอัดกระดาษต้นไม้นี้ออกแบบให้ฐานแม่แรงเคลื่อนที่ลงและไม่ต้องใช้ระบบไฟฟ้าในการทำงาน การขึ้นรูป 1 ครั้ง สามารถผลิตกระดาษจากวัสดุธรรมชาติได้ 1 ชิ้น เป็นกระดาษขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 120 มิลลิเมตร สูง 120 มิลลิเมตร วัสดุธรรมชาติที่นำมาทดลองส่วนใหญ่ขึ้นรูปได้ทั้งหมด แต่จะต้องใช้ถุงพลาสติกกรองไว้ด้านใน เนื่องจากเนื้อของวัสดุที่ผสมกับแป้งเปียกจะติดกับแม่พิมพ์ ทำความสะอาดยาก แตกต่างจากเครื่องของนพดล จันทรลักษณ์ และสมนึก วัฒนศรีสกุล [8] และสมเกียรติ สุทธิยาพิวัฒน์และคณะ [9] ซึ่งเป็นระบบนิวเมติกส์ มีการอัดอากาศเข้าไปจึงแกะออกได้ง่ายกว่า สรุปผลการทดสอบอัดขึ้นรูปกระดาษต้นไม้สภาวะที่ดีที่สุดได้แก่ ผักตบชวาผสมมูลไส้เดือนทั้งแบบผสมแป้งเปียกและไม่ผสมแป้งเปียกขึ้นรูปได้ทุกสูตร ชี้เฉลี่ย 50 กรัมผสมขุยมะพร้าว 150 กรัม แป้งเปียก 300 กรัม และ ขุยมะพร้าว 300 กรัม ผสมแป้งเปียก 300 กรัม ตามลำดับ ทุกสูตรอัดนาน 3 นาที จะได้ผิวของกระดาษ เรียบ สวยและไม่แตกร้าว เมื่อแห้งแล้วมีความแข็งแรงพอสำหรับการปลูกต้นไม้

มะพร้าว 150 กรัม แป้งเปียก 300 กรัม และ ขุยมะพร้าว 300 กรัม ตามลำดับ ทุกสูตรอัดนาน 3 นาที จะได้ผิวของกระดาษ เรียบ สวยและไม่แตกร้าว เมื่อแห้งแล้วมีความแข็งแรงพอสำหรับการปลูกต้นไม้

6.2 อภิปรายและข้อเสนอแนะ

การสร้างเครื่องอัดขึ้นรูปกระดาษโดยใช้วัสดุธรรมชาติเพื่อผลิตกระดาษต้นไม้ที่สามารถย่อยสลายเองตามธรรมชาติได้มีข้อเสนอแนะ 2 ส่วนดังนี้

- 1) เครื่องอัดประกอบด้วยแม่แรงไฮดรอลิกขนาด 2 ตัน บริเวณฐานเชื่อมติดกับแผ่นโลหะ ซึ่งสามารถพัฒนาให้ใช้กับแม่พิมพ์ขนาดใหญ่ได้ โดยการเปลี่ยนแผ่นเหล็กตรงฐานแม่แรงให้กว้างขึ้น ซึ่งจะช่วยให้กระจายแรงได้กว้างขึ้น เครื่องนี้ไม่ใช่ไฟฟ้าจึงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยแท้
- 2) การทดสอบเครื่องโดยการอัดกระดาษจากวัสดุธรรมชาตินั้น เนื่องจากวัสดุเหล่านี้การขึ้นรูปต้องผสมกาวมีความสามารถในการดูดแป้งเปียกได้ไม่เท่ากัน ทำให้มีผลต่อการทรงตัวของชิ้นงานหลังแกะออกจากแม่พิมพ์ด้วยวัสดุธรรมชาติที่ใช้ควรมีลักษณะแห้งเพื่อจะได้ไม่ส่งผลต่อการบิดเบี้ยวหลังจากชิ้นงานแห้งแล้ว วัสดุที่มีลักษณะพองๆ เช่น ฟางข้าว ควรนำมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ หากเป็นชิ้นใหญ่การอัดขึ้นรูปยาก ฟางจะฟู เด้งออก ไม่คงรูปเมื่อแกะออกจากแม่พิมพ์
- 3) ในการทำงานวิจัยครั้งต่อไป ควรนำกระดาษที่ผ่านการขึ้นรูปแล้วมาทดสอบความแข็งแรง การแตกตัวในน้ำ ตามวิธีการทดสอบวัสดุ นอกจากนี้ควรหากำลังการผลิต และอายุการใช้งานเพิ่มเติม

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment. Thailand's Roadmap on Plastic Waste Management 2018-2030. [Online]. (2023). [Cited October 2023]. Available: https://www.pcd.go.th/wpcontent/uploads/2021/10/pcdnew-2021-10-19_08-59-31_527174.pdf

- [2] Workpoint Today. 3 Years Thai Reduce the use of plastic bags more than 100,000 Tons. [Online]. (2023). [Cited October 2023]. Available: <https://workpointtoday.com/news-405/>
- [3] Kasetsartnamthai (Online. December 21, 2022). Biodegradable pot making machine from agricultural waste Plants. [Video]. You tube. <https://youtu.be/dWoERuKRadc>
- [4] P. Tonthupthimthong, et.al., “Flowerpot from Agricultural Waste Materials,” Research, Rajamangala University of Technology Krungthep, Bangkok, 2005 (in Thai).
- [5] T. Piyang, W. Chaichan and K. Sagulsawasdipan, “Environment-friendly Plant Pot Production from Palm Oil Sludge and Mushroom Cultured Waste,” *The Journal of Rajamangala University of Technology Srivijaya*, vol. 28, no. 3, pp. 497-511. Jul.-Sep. 2018 (in Thai).
- [6] S. Seansukato and C. Yenphayab, “Study the Optimal Mixing Ratio and the Physical Quality of the Bio-composite Pot from Coconut Residue,” *The Journal of KHON KAEN AGR. J.* 47 (SUPPL. 1) : pp. 1485-1490. 2019 (in Thai).
- [7] J. Rojanaphonthip. Nursery Bags from Banana Peel. [Online]. (2019). [Cited December 2022]. Available: https://www.technologychaoban.com/bullet-news-today/article_109018
- [8] N. Juntralux and S. Watanasriyakul. “Design and Construction of Ware Forming Machine from Nature Pulp” Conference of Industrial Engineering Network 2012, 17-19 October 2012, pp. 1770 – 1775. (in Thai).
- [9] S. Sutthiyapiwat, T. Phayoonpun and M. Krahamwong, “Design and Development of Food packaging form betel husk to add value for strong community and economic foundation,” Research, Princess of Naradhiwas University, Naradhiwas, 2018 (in Thai).
- [10] T. Miengarrom, and T. Ketkaew, “Development of Food Container Forming Machine from Natural Materials,” Research, Dhonburi Rajabhat University, Bangkok, 2021 (in Thai)

การพัฒนาถ่านอัดแท่งที่เหมาะสมจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร
ประเภทเปลือกเมล็ดกระบอก

Developing appropriate Charcoal Briquette From Agricultural Residues
of Wild Almond Rind

แม่นวาด รชนีกรไกรลาศ*, เอกราช นาคนวล และ สุรสิงห์ อารยางกูร
Maenwad Rajaneekronkritis*, Ekarat Naknual and Surasing Arayangkul

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิต คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
Production Technology, Industrial Faculty, Surindra Rajabhat University
*Email: wardkangkun@gmail.com

Received: November 20, 2023; Revised: November 30, 2023; Accepted: December 06, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งเปลือกเมล็ดกระบอก โดยการนำเปลือกเมล็ดกระบอกมาเผาในเตาเผาถ่านให้กลายเป็นถ่าน จากนั้นนำถ่านเปลือกเมล็ดกระบอกมาบดย่อย ผงถ่านมีขนาดไม่เกิน 5 มิลลิเมตร แล้วนำผงถ่านไปผสมกับแป้งมันสำปะหลังและน้ำ ในอัตราส่วน ผงถ่าน (กิโลกรัม) : แป้งมันสำปะหลัง (กิโลกรัม) : น้ำ (ลิตร) ทั้งหมด 5 สูตร ได้แก่ 3 : 0.18 : 1.20, 3 : 0.24 : 1.20, 3 : 0.30 : 1.20, 3 : 0.36 : 1.20 และ 3 : 0.42 : 1.20 จากนั้นนำไปอัดให้เป็นแท่งโดยใช้เครื่องอัดถ่านแบบเกลียว เมื่อได้ถ่านอัดแท่งออกมาแล้วผู้วิจัยได้นำถ่านอัดแท่งจากทั้ง 5 สูตร ไปทำการทดสอบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งเปลือกเมล็ดกระบอก ได้แก่ การทดสอบค่าความร้อน การทดสอบปริมาณความชื้น การทดสอบปริมาณเถ้าและการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อน จากผลการวิจัยพบว่า สูตรถ่านอัดแท่งเปลือกเมล็ดกระบอกที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด คือ สูตรที่มีอัตราส่วน 3 : 0.18 : 1.20 ซึ่งมีค่าความร้อน 21,848 จูลต่อกรัม (5,218.31 แคลอรีต่อกรัม) ค่าความชื้นเท่ากับ 5.5 เปอร์เซ็นต์ ค่าปริมาณเถ้าเท่ากับ 18 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพการใช้งานจุดติดไฟได้เร็ว เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้เงินเป็นเถ้าใช้เวลา 490 นาที

คำสำคัญ : ถ่านอัดแท่ง, เปลือกเมล็ดกระบอก, ค่าความร้อน, ปริมาณเถ้า

Abstract

The objective of this research was to test the properties of charcoal briquettes containing from wild almond rind. By burning wild almond rind a charcoal kiln to become charcoal. Then took the wild almond rind charcoal and grind it down. Charcoal power size not more than 5 millimeters. Then mix the charcoal powder with cassava and water in a ratio charcoal powder (kilogram) : cassava (kilogram) : water (liter) 5 formulas were 3 : 0.18 : 1.20, 3 : 0.24 : 1.20, 3 : 0.30 : 1.20, 3 : 0.36 : 1.20 and 3 : 0.42 : 1.20. Then to be compressed into bars using a screw charcoal press. Once the charcoal briquettes were obtained, the researcher took the charcoal briquettes from all 5 formulas to test the properties of the wild almond rind charcoal

briquettes, such as the heat value test, the moisture content test, the ash content test and heat efficiency test. From the results of the research, it was found that the charcoal briquette formula with the best properties was the formula with a ratio of 3 : 0.18 : 1.20, which had a heat value of 21,848 joules per gram (5,218.31 calories per gram), a moisture value of 5.5 percent, the ash content value is 18 percent, and the efficiency in use, fast ignition The time it takes to burn to ashes is 490 minutes.

Keywords : Charcoal Briquettes, Wild Almond Rind, Heat value, Ash content

1. บทนำ

พลังงานถือเป็นปัจจัยที่สำคัญในการตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของประชาชน และเป็นปัจจัยการผลิตที่สำคัญในภาคธุรกิจและภาคอุตสาหกรรม ในปัจจุบันแหล่งพลังงานในเชิงพาณิชย์ยังมีจำนวนจำกัด ทำให้ต้องพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศสูงถึงร้อยละ 60 ของความต้องการพลังงานเชิงพาณิชย์ทั้งหมด [1] ดังนั้นรัฐบาลจึงได้หาแนวทางในการพัฒนาแหล่งพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด ให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด เลือกใช้เชื้อเพลิงที่มีราคาถูกและต้องเป็นเชื้อเพลิงที่มีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมน้อยที่สุด ทางออกของการหาแหล่งพลังงานมาใช้ ได้แก่ การนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีคุณสมบัติเหมาะสมแก่การนำมาแปรรูปเพื่อใช้เป็นพลังงานนั้น สามารถทำได้ด้วยการผลิตเป็นถ่านอัดแท่ง เช่น กะลามะพร้าวซึ่งเป็นชีวมวล นำมาเผาและอัดแท่งด้วยกรรมวิธีอัดเย็น จะให้ถ่านอัดแท่งที่มีคุณสมบัติที่ดีมากและถือว่าเป็นวัตถุดิบอันดับหนึ่งของการผลิตถ่านในกระบวนการอัดเย็น เนื่องจากถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวจะให้ความร้อนที่สูงและซีไถ่น้อย ทำให้ถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวเป็นที่นิยมของตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศเป็นอย่างมาก [2] อย่างไรก็ตามปัจจุบันมีผู้นำกะลามะพร้าวไปพัฒนาแปรรูปให้มีมูลค่าเพิ่มได้หลากหลายรูปลักษณะ เช่น เครื่องประดับ วัสดุเครื่องใช้ไม้สอยหรือของที่ระลึก ทำให้วัตถุดิบในการผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวในท้องถิ่นมีปริมาณลดลง ตลอดจนมีราคาต้นทุนสูงขึ้นจากเดิมมาก

จากปัญหาดังกล่าวและความต้องการในการใช้พลังงานทดแทนที่เพิ่มสูงขึ้น จึงมีการนำวัสดุทางการเกษตรเหลือใช้มาจัดผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งและจากการสำรวจปริมาณต้นกระบกในพื้นที่เกษตรกร 116 ครัวเรือนในบางท้องที่ของ

จังหวัดบุรีรัมย์และจังหวัดสุรินทร์พบว่า มีต้นกระบก 325 ต้น มีผลผลิตเมล็ดกระบกทั้งเปลือกประมาณ 30,000 ถึง 50,000 กิโลกรัม ซึ่งโดยส่วนใหญ่ผู้คนจะนิยมนำต้นกระบกมาเผาถ่านหรือใช้ในการก่อสร้างโดยใช้ส่วนของลำต้นและกิ่งเมล็ดก็จะนำมาคั่วหรืออบสามารถรับประทานได้ สำหรับเปลือกของเมล็ดกระบกไม่ได้มีการนำมาใช้ประโยชน์มากนัก ทำให้เหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก เพื่อลดการทิ้งเศษเหลือสร้างจิตสำนึกในการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างคุ้มค่า เน้นการนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้มในครัวเรือนและเป็นการนำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด [3] ทั้งนี้ยังเป็นการแก้ไขปัญหาการทำลายทรัพยากรป่าไม้และสิ่งแวดล้อมของชาวบ้านได้อีกทางหนึ่ง พร้อมกันนี้ยังสามารถเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรในการจัดจำหน่ายถ่านอัดแท่งส่งจำหน่ายร้านอาหารที่มีความต้องการใช้ถ่านสำหรับการปิ้งย่างได้ [4] นอกจากนี้การนำเปลือกเมล็ดกระบกที่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาแปรรูปให้เป็นถ่านอัดแท่งนั้น ถือเป็นทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้อีกด้วย [5]

ผู้วิจัยเล็งเห็นความสำคัญของเปลือกเมล็ดกระบกจึงนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงานทดแทน โดยนำเอาเปลือกของเมล็ดกระบกมาผลิตถ่านอัดแท่ง ทดสอบหาคุณสมบัติทางด้านค่าความร้อน ค่าความชื้นปริมาณเถ้าและประสิทธิภาพของถ่านอัดแท่ง [6] จากเปลือกเมล็ดกระบกเพื่อให้ได้ถ่านอัดแท่งที่ใช้เป็นพลังงานทดแทน ที่มีต้นทุนต่ำหาได้ง่ายและมีอยู่มากในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

1.1 วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งเปลือกเมล็ดกระบกได้แก่ ค่าความร้อน ค่าปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า และประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านอัดแท่ง

1.2 ขอบเขตงานวิจัย

ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตของงานวิจัยดังต่อไปนี้

1) วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ใช้สำหรับการทำถ่านอัดแท่งคือเปลือกเมล็ดกระบก

2) ตัวประสานที่ใช้ผสมในการทำถ่านอัดแท่งคือแป้งมันสำปะหลัง

3) เครื่องอัดแท่งถ่าน เป็นเครื่องแบบเกลียว ขนาดมอเตอร์ 3 แรงม้า 2.2 กิโลวัตต์ โดยเครื่องอัดชนิดนี้ทำงานด้วยการอัดแรงดันจากมอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 3 แรงม้า ที่ไปหมุนสกรูหรือเกลียว ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญของเครื่องที่ผลิตจากสแตนเลสแทนเหล็ก ทำให้มีความทนทานต่อการสึกกร่อน เพื่อขับวัสดุให้อัดแน่นเป็นแท่งโดยรีดออกมาจากกระบอกรีด [7]

4) ผงถ่านเปลือกเมล็ดกระบกที่จะนำมาทำการอัดแท่ง มีขนาดไม่เกิน 5 มิลลิเมตร

5) ถ่านอัดแท่ง เป็นรูปทรงกระบอก มีครีบริบ 4 ครีบริบ ด้านมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1 เซนติเมตรและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 3.5 เซนติเมตร และยาว 10 เซนติเมตร งานวิจัยนี้อัดแท่งถ่านเป็นรูปทรงที่มีครีบริบประกอบเพื่อช่วยให้ง่ายต่อการติดไฟในระยะเริ่มต้นและสะดวกต่อการใช้งาน [9]

6) เตาเผาถ่าน ใช้เตาที่มีขนาด 200 ลิตร แบบปิด เป็นเตาที่ใช้กระบวนการเผาไหม้โดยการใช้ความร้อนในการแยกสลายภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

การวิจัยเพื่อทดสอบหาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งเปลือกเมล็ดกระบก ประกอบไปด้วยขั้นตอนของการเตรียมวัตถุดิบ การอัดแท่งถ่าน การทดสอบหาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1 การเตรียมวัตถุดิบ ดำเนินการดังต่อไปนี้

1) เก็บเปลือกเมล็ดกระบกแล้วนำไปตากกลางแจ้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมงจนแห้ง จากนั้นนำเปลือกเมล็ดกระบกที่แห้งแล้วไปตากลมในที่ร่มให้คลายความร้อนดังรูปที่ 1

2) นำเปลือกเมล็ดกระบกไปเผาในเตาเผาขนาด 200 ลิตร แบบปิด เป็นเตาที่ใช้กระบวนการเผาไหม้โดยการใช้

ความร้อนในการแยกสลายภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ดังรูปที่ 2 จนได้ถ่านเปลือกเมล็ดกระบกดังรูปที่ 3



รูปที่ 1 เปลือกเมล็ดกระบกก่อนเผา



รูปที่ 2 เตาเผาขนาด 200 ลิตร



รูปที่ 3 ถ่านเปลือกเมล็ดกระบก

3) นำถ่านเปลือกเมล็ดกระบกมาบดให้เป็นผงถ่านที่มีขนาดไม่เกิน 5 มิลลิเมตร ผสมกับส่วนผสมอีก 2 ส่วนได้แก่ แป้งมันสำปะหลังและน้ำ ตามอัตรา ส่วนที่กำหนดไว้ 5 สูตร ดังตารางที่ 1 ทำการผสมวัตถุดิบให้เข้ากันดังรูปที่ 4 นำไปเพื่อไปเข้าเครื่องอัดถ่านให้เป็นถ่านอัดแท่งต่อไป

ตารางที่ 1 อัตราส่วนของถ่านอัดแท่งจากเปลือกเมล็ดกระบก

สูตร	ถ่าน (กิโลกรัม)	แป้ง (กิโลกรัม)	น้ำ (ลิตร)
1	3	0.18	1.20
2	3	0.20	1.20
3	3	0.30	1.20
4	3	0.36	1.20
5	3	0.42	1.20



รูปที่ 4 วัตถุดิบสำหรับอัดแท่งถ่าน

2.2 การอัดแท่งถ่าน ดำเนินการดังต่อไปนี้

1) ผงถ่านที่ผสมเรียบร้อยแล้วจากทั้ง 5 สูตรมาใส่ถาดแล้วค่อย ๆ เกลี่ยเข้าเครื่องอัดแท่งถ่าน ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 เครื่องอัดแท่งถ่าน

2) นำถ่านที่อัดแท่งแล้วดังรูปที่ 6 ไปตากแดดเพื่อลดความชื้นจนแห้งสนิท เป็นเวลา 5 วัน แล้วนำไปทำการทดสอบหาค่าคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งต่อไป



รูปที่ 6 ตัวอย่างถ่านอัดแท่ง

2.3 การทดสอบหาค่าคุณสมบัติของถ่านอัดแท่ง ดำเนินการดังต่อไปนี้

1) การทดสอบหาค่าความร้อน ดำเนินการดังต่อไปนี้
 ก. ตัดลวดยาวประมาณ 10 เซนติเมตร ผูกที่ปลายทั้งสองของแท่งเหล็กด้านล่างของฟาบอมบ์แคลอรีมิเตอร์
 ข. ใส่ถ่านอัดแท่งที่ได้จากอัตราส่วนผสมของถ่านเปลือกเมล็ดกระบกและแป้งมันสำปะหลังประมาณ 1 กรัม ลงไปในถ้วย

ค. วางถ้วยบนช่วงปลายเหล็กด้านฝาอบบี้อัลตรามีเตอร์ จัดลวดให้สัมผัสตัวอย่างเติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร ลงไปในตัวอบบี้อัลตรามีเตอร์

ง. ประกอบฝาอบบี้อัลตรามีเตอร์ นำไปอัดออกซิเจนให้ได้ความดันประมาณ 30 บรรยากาศ นำไปวางในถังบรรจุอบบี้อัลตรามีเตอร์

จ. ใส่น้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิประมาณ 24 องศาเซลเซียส ปริมาณ 2 ลิตร ลงในถัง เสียสายไฟที่ใช้ในการจุดระเบิด 2 เส้น เข้ากับตัวอบบี้อัลตรามีเตอร์แล้วปิดฝาเครื่อง

ฉ. เปิดสวิทช์อ่านอุณหภูมิของน้ำในถังบรรจุอบบี้อัลตรามีเตอร์กับน้ำที่อยู่ในตัวหุ้ม เมื่ออุณหภูมิทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน กดปุ่มจุดระเบิด บันทึกค่าอุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเครื่องหยุดการทดลอง

ช. นำตัวอบบี้อัลตรามีเตอร์ออก ปลดปล่อยก๊าซออกจากตัวอบบี้อัลตรามีเตอร์อย่างช้า ๆ

ซ. ล้างฝา ตัวอบบี้อัลตรามีเตอร์ และถ้วยที่บรรจุถ่านอัดแท่งที่ได้จากส่วนผสมของถ่านจากเศษใบไม้และแป้งมันสำปะหลังด้วยน้ำกลั่น

ณ. วัดความยาวลวดที่เหลือ แล้วป้อนค่าเข้าสู่เครื่องเครื่องจะทำการคำนวณแล้วพิมพ์ค่าความร้อนของตัวอย่างออกมาทางเครื่องพิมพ์

ด. นำค่าความร้อนที่ได้จากการทดลองมาคำนวณหาค่าความร้อนใช้สมการดังนี้

$$H = \frac{Q}{m} \quad (1)$$

เมื่อ H คือ ค่าความร้อนเชื้อเพลิง มีหน่วยเป็นแคลอรีต่อกรัม

Q คือ ปริมาณความร้อนที่เชื้อเพลิงนั้นให้ออกมา มีหน่วยเป็นแคลอรี และ

m คือ มวลของเชื้อเพลิง มีหน่วยเป็นกรัม

2) การทดสอบปริมาณความชื้น ดำเนินการดังต่อไปนี้

ก. เตรียมถ่านตัวอย่าง

ข. อบถ่านตัวอย่างที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 นาที นำออกจากตู้อบแล้วนำออกมาชั่งน้ำหนัก

ค. ชั่งถ่านตัวอย่าง 1 กรัม ใสลงในถ้วยทนไฟ แล้วนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ง. นำถ่านตัวอย่างออกจากตู้อบ แล้วปล่อยให้เย็นในเครื่องดูดความชื้นต่อจากนั้นจึงนำออกมาชั่งน้ำหนัก

จ. คำนวณหาค่าความชื้นจากสมการ [5] ดังนี้

$$M = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad (2)$$

เมื่อ M คือ ร้อยละของปริมาณความชื้น

W_1 คือ น้ำหนักถ่านและตัวอย่างก่อนอบ มีหน่วยเป็นกรัม และ

W_2 คือ น้ำหนักถ่านและตัวอย่างหลังอบ มีหน่วยเป็นกรัม

3) การทดสอบปริมาณเถ้า ดำเนินการดังต่อไปนี้

ก. เผาถ่านตัวอย่างที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เผาประมาณ 30 นาที ในเตาเผาแล้วนำออกมาทิ้งให้เย็นในเครื่อง ดูดความชื้น (ให้อุณหภูมิถ้วยใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง) แล้วชั่งน้ำหนักถ่านตัวอย่าง

ข. ชั่งถ่านตัวอย่าง 1 กรัม ใสลงในถ้วยทนไฟที่ทราบน้ำหนักจาก ข้อ ก

ค. จากนั้นนำถ่านตัวอย่างที่ใส่ถ่านตัวอย่างเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 450-500 องศาเซลเซียส ใน 1 ชั่วโมงแรก และ 700-750 องศาเซลเซียส ในชั่วโมงที่ 2 ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D3174 จากนั้นนำถ่านตัวอย่างออกจากเตาเผาทิ้งไว้ให้เย็นแล้วจึงนำมาชั่งน้ำหนัก

ง. สูตรคำนวณปริมาณเถ้า จากสมการ [2] ดังนี้

$$M = \frac{W_3 - W_4}{W} \times 100\% \quad (3)$$

เมื่อ M คือ ร้อยละของปริมาณเถ้า

W_3 คือ น้ำหนักถ่านและเถ้าของตัวอย่างหลังเผา หน่วยเป็นกรัม

W_4 คือ น้ำหนักถ่าน มีหน่วยเป็นกรัม

W คือ น้ำหนักถ่านตัวอย่าง มีหน่วยเป็นกรัม

4) การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านอัดแท่ง โดยการต้มน้ำ ดำเนินการดังต่อไปนี้

ก. นำถ่านอัดแท่งทุกสูตรไปชั่งน้ำหนักให้ได้ น้ำหนัก 514 กรัม ดังรูปที่ 7

ข. เตรียมน้ำปริมาณ 1 ลิตร ใส่ลงในหม้อ อลูมิเนียมและ วัสดุอนุกรมพร้อมบันทึกผล

ค. นำถ่านอัดแท่งไปเผาบนเตาแก๊สจนไฟติด แล้วนำ ถ่านอัดแท่งไปวางไว้ในเตาขนาดเบอร์ 4 โดยใช้ระยะเวลาในการติดไฟ 5 นาที แล้วจึงได้เริ่มเอาหม้อใส่น้ำที่เตรียมไว้ ขึ้นตั้ง บนเตา บันทึกอุณหภูมิของน้ำทุก 3 นาที จนน้ำเดือดสูงสุด จากนั้นจับเวลาต่อไปอีก 30 นาที ดังรูปที่ 8 ทดสอบไปจนครบทั้ง 5 สูตร



รูปที่ 7 ถ่านอัดแท่งน้ำหนัก 514 กรัม

ทั้งนี้การติดตั้งปรอทในหม้อต้มเพื่อวัดอุณหภูมินั้นต้องระวัง อย่่าให้ส่วนหัวที่ใช้วัดอุณหภูมิถูกกั้นหม้อ



รูปที่ 8 การหาประสิทธิภาพการให้ความร้อนของถ่านอัดแท่งโดยการต้มน้ำ

3. ผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อทดสอบเกี่ยวกับการขึ้นรูป ถ่านอัดแท่งตามอัตราส่วนทั้ง 5 สูตร และคุณสมบัติของถ่านอัดแท่ง ได้ผลการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 ผลการขึ้นรูปถ่านอัดแท่งตามอัตราส่วนทั้ง 5 สูตร

จากการสังเกตลักษณะทางกายภาพของถ่านอัดแท่ง ที่ผ่านเครื่องอัดแท่งถ่านจากทั้ง 5 สูตรนั้นพบผลการขึ้นรูป ดังตารางที่ 2 และรูปที่ 9

ตารางที่ 2 ผลการขึ้นรูปถ่านอัดแท่งทั้ง 5 สูตร

สูตร ที่	อัตราส่วนผสม ผงถ่าน (kg) : แป้ง (kg) : น้ำ (L)	ผลการขึ้นรูป
1	3 : 0.18 : 1.20	ขึ้นรูปได้
2	3 : 0.24 : 1.20	ขึ้นรูปได้
3	3 : 0.30 : 1.20	ขึ้นรูปได้
4	3 : 0.36 : 1.20	ขึ้นรูปได้
5	3 : 0.42 : 1.20	ขึ้นรูปได้



รูปที่ 9 การขึ้นรูปถ่านอัดแท่งจากทั้ง 5 สูตร

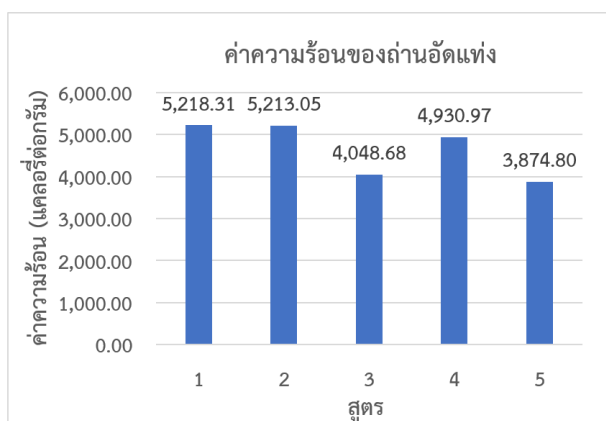
3.2 ผลการทดสอบหาคคุณสมบัติของถ่านอัดแท่ง

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยทดสอบหาคคุณสมบัติของถ่านอัดแท่ง ในส่วนของค่าความร้อน ค่าปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้าและ ประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านอัดแท่ง ได้ผลการวิจัย ดังต่อไปนี้

1) ค่าความร้อน จากการทดสอบหาค่าความร้อนโดยใช้ เครื่องวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อน ได้ผลการทดสอบดัง ตารางที่ 3 และรูปที่ 10

ตารางที่ 3 ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง

สูตร ที่	อัตราส่วนผสม ผงถ่าน (kg) : แป้ง (kg) : น้ำ (L)	ค่าความร้อน (แคลอรี/กรัม)
1	3 : 0.18 : 1.20	5,218.31
2	3 : 0.24 : 1.20	5,213.05
3	3 : 0.30 : 1.20	4,048.68
4	3 : 0.36 : 1.20	4,930.97
5	3 : 0.42 : 1.20	3,874.80



รูปที่ 10 ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากทั้ง 5 สูตร

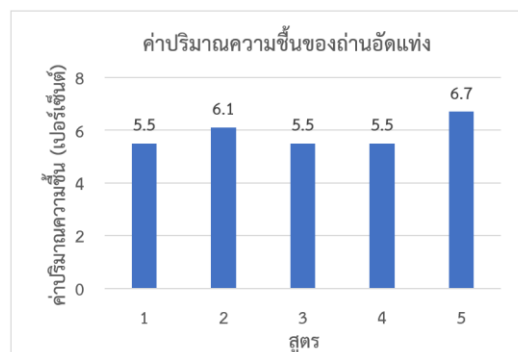
จากการทดสอบและวิเคราะห์ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งทั้ง 5 สูตรตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM D3286 ถ่านอัดแท่งจะต้องมีค่าความร้อนไม่ต่ำกว่า 5,000 แคลอรี/กรัม [8] สรุปได้ดังต่อไปนี้ ถ่านอัดแท่งในสูตรที่ 1 และ 2 มีค่าความร้อนผ่านเกณฑ์มาตรฐาน แต่ถ่านอัดแท่งสูตรที่ 3, 4 และ 5 มีค่าความร้อนต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ความร้อนของถ่านอัดแท่งสูตรที่ 3 น้อยกว่าสูตรที่ 4 เนื่องมาจากอัตราส่วนของ

ส่วนผสมและการอัดแน่นของเนื้อถ่านอัดแท่งทั้ง 2 สูตรที่แตกต่างกัน

2) ค่าปริมาณความชื้น จากการทดสอบหาค่าปริมาณความชื้น โดยใช้เครื่องวิเคราะห์เทอร์โมกราวิเมตริกที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้ผลการทดสอบดัง ตารางที่ 4 และรูปที่ 11

ตารางที่ 4 ค่าปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่ง

สูตร ที่	อัตราส่วนผสม ผงถ่าน (kg) : แป้ง (kg) : น้ำ (L)	ค่าปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์)
1	3 : 0.18 : 1.20	5.5
2	3 : 0.24 : 1.20	6.1
3	3 : 0.30 : 1.20	5.5
4	3 : 0.36 : 1.20	5.5
5	3 : 0.42 : 1.20	6.7



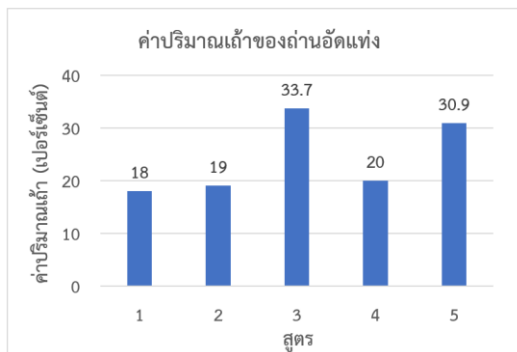
รูปที่ 11 ค่าปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่งจากทั้ง 5 สูตร

จากการทดสอบและวิเคราะห์ค่าปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่งทั้ง 5 สูตรตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM D3173 [8] ถ่านอัดแท่งจะต้องมีค่าปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก สรุปได้ดังต่อไปนี้ ถ่านอัดแท่งทุกสูตรมีค่าปริมาณความชื้นที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

1) ปริมาณเถ้า จากการทดสอบหาค่าปริมาณเถ้า โดยใช้ เครื่องวิเคราะห์เทอร์โมกราวิเมตริกที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 5 และรูปที่ 12

ตารางที่ 5 ค่าปริมาณน้ำของถ่านอัดแท่ง

สูตร ที่	อัตราส่วนผสม ผงถ่าน (kg) : แป้ง (kg) : น้ำ (L)	ปริมาณน้ำ (เปอร์เซ็นต์)
1	3 : 0.18 : 1.20	18.0
2	3 : 0.24 : 1.20	19.0
3	3 : 0.30 : 1.20	33.7
4	3 : 0.36 : 1.20	20.0
5	3 : 0.42 : 1.20	30.9



รูปที่ 12 ค่าปริมาณน้ำของถ่านอัดแท่งจากทั้ง 5 สูตร

จากการทดสอบและวิเคราะห์ปริมาณน้ำของถ่านอัดแท่งทั้ง 5 สูตรตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM D3174 [8] ถ่านอัดแท่งจะต้องมีค่าปริมาณน้ำไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก สรุปได้ดังต่อไปนี้ ถ่านอัดแท่งทุกสูตรมีค่าปริมาณน้ำสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (มากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์)

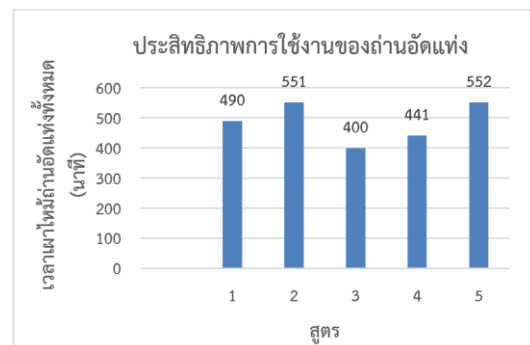
ประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านอัดแท่ง จากการศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานให้ความร้อนของถ่านอัดแท่ง โดยการนำถ่านอัดแท่งมาเป็นเชื้อเพลิงในการต้มข้าว และพิจารณาสัดส่วนของความร้อนที่น้ำได้รับกับความร้อนที่ถ่านอัดแท่งให้กับน้ำเมื่อเผาไหม้ ซึ่งได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 6 ปริมาณน้ำหลังต้มของถ่านสูตรที่ 3 และที่ 4 จึงลดลงอย่างมีนัยสำคัญเป็นผลมาจาก 1) ช่วงระยะเวลาทดสอบต่างกัน และ 2) การอุ้มความร้อนของเตา ที่เกิดจากการทดสอบอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีกรพักเตานั้น ส่งผลต่อการเดือดของน้ำและปริมาณน้ำที่ลดลง นอกจากนี้สำหรับการสรุปประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านอัดแท่งจากระยะเวลาที่ถ่านอัดแท่งถูกเผาไหม้ทั้งหมด [6] ได้ดังรูปที่ 13

ตารางที่ 6 ประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านอัดแท่ง

สูตร ที่	น้ำหนักถ่าน (กรัม)	สภาพการ จุดติดไฟ	ปริมาณน้ำ	
			ก่อนต้ม(กรัม)	หลังต้ม(กรัม)
1	514	เร็ว	1000	977
2	514	ปานกลาง	1000	613
3	514	เร็ว	1000	490
4	514	ปานกลาง	1000	765
5	514	ช้า	1000	846

ตารางที่ 6 ประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านอัดแท่ง (ต่อ)

สูตร ที่	อุณหภูมิน้ำ ก่อนต้ม (องศา เซลเซียส)	อุณหภูมิน้ำ สูงสุด (องศา เซลเซียส)	เวลาการเผา ไหม้(อุณหภูมิ สูงสุด (นาที))	เวลาเผาไหม้ จนเป็นถ่าน (นาที)
	1	25	97	139
2	24	95	153	511
3	25	95	163	400
4	25	96	141	441
5	24	96	159	552



รูปที่ 13 ประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านอัดแท่งจากทั้ง 5 สูตร

จากการทดสอบและวิเคราะห์ปริมาณน้ำของถ่านอัดแท่งทั้ง 5 สูตรตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM D3173 [8] ถ่านอัดแท่งจะต้องมีค่าปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก สรุปได้ดังต่อไปนี้ ถ่านอัดแท่งทุกสูตรมีค่าปริมาณน้ำสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (มากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์)

4. สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งเปลือกเมล็ด กระบถที่ทำทดสอบในอัตราส่วน ผงถ่าน (กิโลกรัม) : แป้งมันสำปะหลัง (กิโลกรัม) : น้ำ (ลิตร) ทั้งหมด 5 สูตร ได้แก่ 3 : 0.18 : 1.20, 3 : 0.24 : 1.20, 3 : 0.30 : 1.20, 3 : 0.36 : 1.20 และ 3 : 0.42 : 1.20 โดยน้ำหนัก พบว่า 1) ทั้ง 5 สูตรขึ้นรูปได้ 2) ถ่านอัดแท่งจากสูตรที่ 1 และ 2 มีค่าความร้อนที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน [8] โดยถ่านอัดแท่งต้องมีค่าความร้อนไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม ทั้งนี้จากทั้ง 2 สูตรมีค่าความร้อนเท่ากับ 5,218.31 แคลอรีต่อกรัม และ 5,213.05 แคลอรีต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [5] ที่ได้ศึกษาหาค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ซึ่งค่าความร้อนที่ผ่านการทดสอบนี้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนที่กำหนดไว้เช่นกัน 3) ถ่านอัดแท่งจากทุกสูตรมีค่าปริมาณความชื้นที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ASTM D3173 คือมีค่าไม่เกิน 8 กรัมต่อเปอร์เซ็นต์ สูตรที่มีค่าปริมาณความชื้นน้อยที่สุดคือสูตรที่ 1, 3 และ 4 เท่ากับ 5.5 เปอร์เซ็นต์ 4) ถ่านอัดแท่งทั้ง 5 สูตรมีปริมาณเถ้าที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ASTM D3174 คือ ปริมาณเถ้ามีค่ามากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ 5) ด้านประสิทธิภาพการใช้งาน ถ่านอัดแท่งจากสูตรที่ 1 และ 3 จุดติดไฟได้เร็ว เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้จนเป็นเถ้าใช้เวลา 490 นาที และ 400 นาทีตามลำดับ ถ่านอัดแท่งจากสูตรที่ 2 และ 4 จุดติดไฟได้ปานกลาง เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้จนเป็นเถ้าใช้เวลา 511 นาที และ 441 นาทีตามลำดับ สำหรับถ่านอัดแท่งจากสูตรที่ 5 ถ่านอัดแท่งที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์จึงจุดติดไฟได้ช้าที่สุดและเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้จนเป็นเถ้าใช้เวลา 552 นาที ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [6] ว่าด้วยประสิทธิภาพการให้ความร้อนดูจากระยะเวลาการเผาไหม้เหมือนกับงานวิจัยนี้ อุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 95-97 องศาเซลเซียสและเวลาการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ในช่วง 139-163 นาที สรุปได้ว่าสูตรถ่านอัดแท่งเปลือกเมล็ดกระบถที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด คือ สูตรที่ 1 ที่มีส่วนผสมในอัตราส่วน 3 : 0.18 : 1.20 เหมาะที่จะนำไปผลิตถ่านอัดแท่งเพื่อใช้ในครัวเรือน นอกจากนี้ การนำเปลือกเมล็ดกระบถที่เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาแปรรูปให้เป็นถ่านอัดแท่งนั้น ถือเป็นทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ อีกทั้งสร้าง

รายได้เสริมสร้างอาชีพให้กับคนในท้องถิ่นจากวัสดุในท้องถิ่นของตน

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่เอื้ออำนวยความสะดวกในการทดสอบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่ง และขอขอบคุณคณาจารย์และนักศึกษาคณะเทคโนโลยีการผลิต มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Green Network. Opportunities and Challenges Electricity production from biomass energy in Thailand. [Online]. (2018). [Cited September 19, 2023]. Available: <https://www.greennetworkthailand.com/bionic-power-in-thailand/> (in Thai).
- [2] R. Phutteesakul, "The Production of Charcoal Briquette by Coconut Shell and Cassava Rhizome," M.S. thesis, Abbrev, Department of Education Degree in Industrial Education at Srinakharinwirot University, 2010 (in Thai).
- [3] S. Kerdwan, R. Jeendoung, and S. Getpun, The Production of Charcoal Briquette from Sago Tree Shell. Rajamangala University of Technology Srivijaya, 2018, pp. 32 (in Thai).
- [4] C.Saema and K.Thongboonrith, "The Study on Efficacy Charcoal from Corn cob and Charcoal from Cassava Rhizome," in Proceeding of The 3rd Kamphaeng Phet Rajabhat University Nation Conference, December. 22, 2016, pp. 608-613 (in Thai).
- [5] R. Anantanukulwong, R. Chemae and N. Sareanu, "Production of Charcoal from Agricultural Residues," *YRU Journal of Science and Technology*, vol. 4, no. 1, pp. 47-53, January-June 2019 (in Thai).

- [6] P. Auntsong and R. Maneechot, “The Constructure and Efficiency Evaluate of Charcoal Briquette Machine from Cassia Pods,” *Udon Thani Rajabhat University Journal of Sciences and Technology*, vol. 7, no. 2, pp. 147-157, July-December 2019 (in Thai).
- [7] K. Wirunphan, T. Saiplean and P. Jaichompoo, “Production of Compressed Charcoal Fuel from the Waste Materials Collected after Processing Khao-Larm,” *RMUTL Engineering Journal*, vol. 2, no. 1, pp. 1-15, January-June 2017 (in Thai).
- [8] Thai Industrial Standards Institute Ministry of Industry. Community product standards No.238/ 2004. [Online]. (2004). [Cited July 8, 2022]. Available: https://tcps.tisi.go.th/pub/tcps_238_47.pdf. (in Thai).
- [9] S. Janbuala, W. Ratanathavorn, M. Lembua and W. Netharn, The Development of Fuel Briquette from Agricultural Residus for Pottery Industry. Suan Dusit University, 2018, pp. 17 (in Thai).

การจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำ
กรณีศึกษา ตลาดน้ำขวัญ-เรียม เขตมีนบุรี กรุงเทพมหานคร
Floating Market Tourism Logistics Management
A Case Study of Kwan-Riam Floating Market, Minburi District, Bangkok

ศุภฤกษ์ รวงผึ้งหลวง* และ สิริพร ทัททวี
Suparerk Ruangphuangluang* and Siriporn Tattawee

สาขาวิชาอุตสาหกรรมโลจิสติกส์และซัพพลายเชนระหว่างประเทศ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเกริก
Department of International logistics and Supply Chain Industry, Faculty of Business Administration, Krirk University

*Email: suparerk.mozz@gmail.com

Received: October 06, 2023; Revised: December 06, 2023; Accepted: December 07, 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อ 1) ศึกษาระดับความคิดเห็นที่มีต่อการจัดการโลจิสติกส์ของการท่องเที่ยว และ 2) ศึกษาและเปรียบเทียบการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม เขตมีนบุรี กรุงเทพมหานคร จำแนกตามปัจจัยส่วนบุคคลของนักท่องเที่ยวและพฤติกรรมนักท่องเที่ยว เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามจากนักท่องเที่ยวจำนวน 300 คน โดยใช้วิธีการสุ่มแบบบังเอิญ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วยสถิติเชิงพรรณนา ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและนำเสนอในรูปตารางการแจกแจงความถี่ และสถิติเชิงอนุมาน ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและการทดสอบสมมติฐาน โดยจะทดสอบที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ในการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวแปร 2 กลุ่ม จะใช้สถิติทดสอบ t-test และการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวแปร 2 กลุ่มขึ้นไป ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว โดยใช้สถิติทดสอบ F-test และทำการทดสอบความแตกต่างรายคู่โดยใช้ค่าสถิติ LSD

ผลการศึกษาพบว่า 1) มีระดับความคิดเห็นของนักท่องเที่ยวต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำ ทั้ง 7 ด้าน คือ ด้านการไหลทางกายภาพ ด้านการไหลทางสารสนเทศ ด้านการไหลทางการเงิน ด้านการให้บริการ ด้านสิ่งอำนวยความสะดวก ด้านการประชาสัมพันธ์ และด้านการกลับมาเที่ยวซ้ำ ในภาพรวมมีความคิดเห็นในระดับมาก และ 2) ปัจจัยส่วนบุคคลของนักท่องเที่ยวด้านรายได้เฉลี่ยต่อเดือนและระยะเวลาที่ใช้ในการท่องเที่ยวมีความคิดเห็นที่แตกต่างกัน

คำสำคัญ : การจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยว, การท่องเที่ยวตลาดน้ำ, ตลาดน้ำขวัญ-เรียม

Abstract

The purpose of this research to 1) Study the level of opinions towards tourism logistics management and 2) Study and compare tourism logistics management at Khwan-Riam Floating Market, Min Buri District, Bangkok. Classified according to personal factors of tourists and tourist behavior. Data were

collected using questionnaires from tourists. A total of 300 people using random sampling. Statistics used to analyze data for this research. Contains statistics Descriptive is used to analyze data and present it in the form of a frequency distribution table. and inferential statistics Used in data analysis and hypothesis testing. It will be tested at the 95% confidence level or the statistical significance level of 0.05. To test the difference in the means of two groups of variables, the t-test and the test of the difference in means will be used of pair or more groups of variables, one-way analysis of variance was used. By using the F-test statistic and a testing for pairwise differences using the LSD statistic.

The results of the study found that 1) there is a level of opinions of tourists on logistics management of floating market tourism all 7 aspects are the physical flow aspect. Information flow Financial flow Service aspect Facilities Public relations and the aspect of returning to travel again Overall, there were opinions at a high level and 2) personal factors of tourists in terms of average monthly income and length of time spent traveling had opinions are different.

Keywords : Tourism logistics management, Floating market tourism, Kwan-Riam floating market

1. บทนำ

อุตสาหกรรมการท่องเที่ยวเป็นอุตสาหกรรมที่มีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม เพราะช่วยส่งเสริมในเรื่องของการสร้างอาชีพ สร้างรายได้กระจายไปสู่ภาคส่วนต่าง ๆ ก่อให้เกิดการลงทุนทางธุรกิจทั้งทางตรงและทางอ้อมที่เกี่ยวข้องกับการท่องเที่ยว นอกจากนี้อุตสาหกรรมการท่องเที่ยวยังมีบทบาทที่สำคัญในการผลิตการท่องเที่ยว โดยดึงเอาทรัพยากรที่มีมาใช้อย่างเกิดประโยชน์ อีกทั้งช่วยกระตุ้นให้เกิดการฟื้นฟูและอนุรักษ์วัฒนธรรมขนบธรรมเนียมประเพณี ซึ่งอุตสาหกรรมท่องเที่ยวในประเทศไทยมีการพัฒนาและเติบโตอย่างต่อเนื่อง ถือได้ว่าเป็นประเทศที่มีศักยภาพด้านการท่องเที่ยวเนื่องจากประเทศไทยนั้นมีทรัพยากรธรรมชาติที่อุดมสมบูรณ์และมีชื่อเสียง เช่น ทะเล ภูเขา อุทยานแห่งชาติ และทรัพยากรทางวัฒนธรรมที่โดดเด่น รวมถึงมีการท่องเที่ยวหลายรูปแบบและในด้านของการเดินทาง ประเทศไทยมีสนามบินที่มีมาตรฐาน สะดวก มีระบบขนส่งมวลชนที่เชื่อมต่อทั่วถึงและรวดเร็ว

ในไตรมาสแรกของปี พ.ศ. 2563 เกิดสถานการณ์วิกฤตโลก คือ การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา-19 ซึ่งมีการเริ่มระบาดมาตั้งแต่ช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2562 เป็นต้นมา

ทำให้การท่องเที่ยวของโลกหยุดชะงัก การลดลงของจำนวนนักท่องเที่ยวระหว่างประเทศที่ติดลบและลดลงอย่างมาก การท่องเที่ยวของประเทศไทยได้รับผลกระทบจากการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา-19 ส่งผลให้นักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติมีจำนวนลดลง รายได้จากการท่องเที่ยวลดลง ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทย เนื่องจากการท่องเที่ยวเป็นกลไกหลักสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ [1]

การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย (ททท.) [2] มีแผนเพื่อสื่อสารทิศทางและแนวทางการส่งเสริมตลาดท่องเที่ยวของประจำปี 2566 ในรูปแบบผสมผสาน โดยปรับปรุงภาคอุตสาหกรรมท่องเที่ยวไทยทั้งระบบ วางกลยุทธ์กระตุ้นความต้องการเดินทาง สร้างประสบการณ์การเดินทางที่มีความหมายและทรงคุณค่าให้กับนักท่องเที่ยว ควบคู่ไปกับการต่อยอดพัฒนาห่วงโซ่อุปทาน พร้อมยกระดับอุตสาหกรรมท่องเที่ยวไทยสู่การเติบโตอย่างยั่งยืน โดยกำหนดทิศทางการตลาดให้สอดคล้องกับแผนวิสาหกิจองค์กร ททท. พ.ศ. 2566-2570 ภายใต้วิสัยทัศน์ “ททท. เป็นผู้ขับเคลื่อนยุทธศาสตร์การท่องเที่ยวไทยในการสร้างประสบการณ์ทรงคุณค่ามุ่งสู่ความยั่งยืน” โดย มุ่งเน้นการท่องเที่ยวเชิงคุณภาพอย่างยั่งยืน สร้างคุณค่าและยกระดับอุตสาหกรรมท่องเที่ยว ผ่านการสร้างระบบนิเวศด้านการ

ท่องเที่ยวใหม่ และยกระดับองค์กรสู่องค์กรสมรรถนะสูง เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันด้านการตลาดโดยจะกระตุ้นความต้องการเดินทางท่องเที่ยวของนักท่องเที่ยวคนไทยและต่างชาติ สร้างประสบการณ์การเดินทางที่มีความหมายและทรงคุณค่าให้กับนักท่องเที่ยว ตามแคมเปญการสื่อสารต่างประเทศ ควบคู่ไปกับการปรับตัวและพัฒนาห่วงโซ่อุปทาน สร้างระบบนิเวศด้านการท่องเที่ยวใหม่ ที่สมดุลใน 4 มิติ (4Ws) ทั้งด้านเศรษฐกิจ (Economic Wealth) สังคม (Social Wellbeing) สิ่งแวดล้อม (Environmental Wellness) และเสริมสร้างภูมิปัญญา มนุษย์ (Human Wisdom) รวมทั้งบูรณาการความร่วมมืออย่างใกล้ชิดกับทุกภาคส่วนในอุตสาหกรรมท่องเที่ยวไทย เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมด้านการแข่งขันและความท้าทายด้านเศรษฐกิจ และสังคมที่เพิ่มขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงของโลกยุคใหม่เพื่อยกระดับอุตสาหกรรมท่องเที่ยวไทยสู่การเติบโตอย่างยั่งยืน

ปัจจุบันมีการพัฒนาพื้นที่ในชุมชนให้เป็นแหล่งท่องเที่ยว ชุมชนที่ยั่งยืน โดยต้องเริ่มต้นจากความต้องการของคนในชุมชนในการวางแผนและตัดสินใจร่วมกันพยายามดึงจุดแข็งของชุมชนให้เป็นจุดเด่นเพื่อดึงดูดนักท่องเที่ยว ชุมชนต้องรักและหวงแหนในทรัพยากรของชุมชน ทำสิ่งที่ตนเองถนัดและไม่ทำลายวิถีชีวิตดั้งเดิม ทั้งนี้ ขึ้นกับองค์ประกอบสำคัญ 3 ประการคือ ศักยภาพด้านคน ศักยภาพพื้นที่และศักยภาพการจัดการ และที่สำคัญคือการจัดการโลจิสติกส์ การท่องเที่ยวในด้านต่างๆ เพื่อให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน ควรมีการประเมินศักยภาพของชุมชนตนเองเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของชุมชนทั้งปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอก เนื่องจากชุมชนมีบทบาทในการเป็นเจ้าของและบริหารจัดการดูแลกิจกรรมต่าง ๆ และควรมีการจัดการเรียนรู้ หรือแลกเปลี่ยน เพื่อให้แต่ละชุมชนได้ศึกษาถึงผลดี ผลเสีย ปัญหา อุปสรรคต่าง ๆ ที่เกิดจากการท่องเที่ยวชุมชนในชุมชน แล้วกลับมาประยุกต์ใช้ในพื้นที่ของตนเอง รวมถึงการสร้างเครือข่ายความร่วมมือระหว่างชุมชน และหน่วยงานต่าง ๆ เพื่อช่วยกันพัฒนาศักยภาพการท่องเที่ยวให้มีความยั่งยืนและเกิดประโยชน์ที่สุด [3]

โลจิสติกส์การท่องเที่ยว (Tourism Logistic) มีความคล้ายคลึงกับการขนส่งการท่องเที่ยว (Tourism and

Transport) แต่ครอบคลุมทั้งด้านการไหลทางกายภาพ (Physical Flow) ด้านการไหลของข้อมูลข่าวสาร (Information Flow) และด้านการไหลของเงิน (Financial Flow) ในขณะที่การขนส่งการท่องเที่ยวจะครอบคลุมเฉพาะการขนส่งนักท่องเที่ยวและวัตถุสิ่งของเท่านั้น สิ่งที่คล้ายคลึงกันระหว่างโลจิสติกส์การท่องเที่ยวและการขนส่งท่องเที่ยวคือการทำให้นักท่องเที่ยวเกิดความพึงพอใจสูงสุด ทำให้เกิดการใช้จ่ายของนักท่องเที่ยว เกิดการกลับมาเที่ยวซ้ำ และก่อให้เกิดการกระจายรายได้สู่แหล่งท่องเที่ยว

ตลาดน้ำขวัญ-เรียม เป็นตลาดน้ำกลางกรุงที่จำลองวิถีชีวิตริมน้ำผ่านกิจกรรมที่น่าสนใจต่าง ๆ ได้แก่ การตักบาตรทางเรือ และงานทอดผ้าป่าทางน้ำ พร้อมด้วยร้านอาหารคาวและขนมหวานจากทั่วทุกภาคของประเทศไทย นักท่องเที่ยวสามารถเลือกรับประทานได้ทั้งบนฝั่งและนั่งเรือจุดเด่นสำคัญของตลาดแห่งนี้ คือสะพานรูปโครงเรือ เชื่อมระหว่างวัดบำเพ็ญเหนือและวัดบางเพ็งใต้ นอกจากนี้ยังมีบริการเรือล่องคลองโดยมีมัคคุเทศก์น้อยเป็นผู้บรรยายประวัติและเล่าเรื่องราวของวิถีชีวิตชุมชนคลองแสนแสบ การจัดแสดงเรือโบราณริมน้ำ และการแสดงศิลปวัฒนธรรมไทยภาคต่าง ๆ ของเยาวชนซึ่งเป็นกิจกรรมหมุนเวียนของตลาด เช่น การแสดงดนตรีและการละเล่นไทย การแสดงพระธรรมเทศนาของพระนักเทศน์

เนื่องจากเขตมีนบุรี มีพื้นที่ชุมชนที่มีอายุเก่าแก่และมีสถาปัตยกรรม ภูมิปัญญาวิถีชีวิตที่มีเอกลักษณ์ แต่แหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญ ยังไม่ได้รับการพัฒนาอย่างจริงจัง ขาดการบริหารจัดการที่ดีและไม่มีหลักการที่ชัดเจน โดยมีตลาดน้ำขวัญ-เรียม เป็นแหล่งสถานที่ท่องเที่ยวที่อนุรักษ์วิถีชีวิตริมน้ำและวัฒนธรรม เพื่อให้เป็นสถานที่ศึกษาเรียนรู้แก่คนรุ่นหลังและเป็นที่พักผ่อนหย่อนใจให้กับนักท่องเที่ยวทุกเพศทุกวัย ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาวิจัยเรื่องการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำ ภิรมย์ศึกษาตลาดน้ำขวัญ-เรียม เขตมีนบุรี กรุงเทพมหานคร โดยจะทำการสำรวจและศึกษาศักยภาพของทรัพยากรการท่องเที่ยวในตลาดน้ำขวัญ-เรียม ศึกษาความคิดเห็นของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องต่อการพัฒนาการท่องเที่ยวภายในชุมชน เพื่อนำข้อมูลที่ได้รับจากการศึกษาวิจัยเรื่องนี้มาเป็นแนวทางในการพัฒนาการท่องเที่ยวของเขตมีน โดยผู้วิจัยคาดว่าในอนาคต

งานวิจัยนี้จะมีประโยชน์ที่จะช่วยพัฒนาให้เขตมินบุรี มีความพร้อมที่จะเป็นแหล่งท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมชุมชนและเพื่อให้ชุมชนมีรายได้เพิ่มจากการท่องเที่ยวเพื่อนำไปพัฒนาท้องถิ่นของตนเองได้อย่างเข้มแข็งอย่างยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1. เพื่อศึกษาระดับความคิดเห็นที่มีต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม เขตมณฑลบุรี กรุงเทพมหานคร

2. ศึกษาและเปรียบเทียบการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม เขตมณฑลบุรี กรุงเทพมหานคร จำแนกตามปัจจัยส่วนบุคคลของนักท่องเที่ยวและพฤติกรรมนักท่องเที่ยว

3. สมมติฐานการวิจัย

สมมติฐานที่ 1 ปัจจัยส่วนบุคคลของนักท่องเที่ยว ได้แก่ เพศ อายุ สถานภาพ การศึกษา อาชีพ รายได้เฉลี่ยต่อเดือน และภูมิลำเนาที่ต่างกัน มีระดับความคิดเห็นต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม แตกต่างกัน

สมมติฐานที่ 2 พฤติกรรมของนักท่องเที่ยว ได้แก่ การมาเที่ยวตลาดน้ำ พาหนะที่ใช้ในการเดินทาง ระยะเวลาที่ใช้ในการท่องเที่ยว จำนวนผู้ร่วมเดินทาง แหล่งข้อมูลข่าวสารการท่องเที่ยวตลาดน้ำ และค่าใช้จ่ายต่อครั้งในการท่องเที่ยวตลาดน้ำที่ต่างกันมีความคิดเห็นต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม แตกต่างกัน

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักท่องเที่ยวที่เดินทางมาท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม เขตมณฑลบุรี จังหวัดกรุงเทพมหานคร

การกำหนดขนาดตัวอย่าง เนื่องจากประชากรมีขนาดใหญ่และไม่ทราบจำนวนประชากรที่แน่นอน จึงทำการสุ่มตัวอย่าง โดยคำนวณได้จากสูตรไม่ทราบขนาดตัวอย่างของ W.G. Cochran (1953) ดังนั้น ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการแทนค่าจะได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างอย่างน้อยเท่ากับ

246 ตัวอย่าง ผู้วิจัยจึงกำหนดจำนวนตัวอย่างและรวบรวมเก็บตัวอย่างทั้งสิ้นจำนวน 300 ตัวอย่าง

การสุ่มกลุ่มตัวอย่าง สำหรับวิธีการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง คือ นักท่องเที่ยวที่เดินทางเข้ามาท่องเที่ยวในตลาดน้ำขวัญ-เรียม จำนวน 300 คน โดยวิธีการสุ่มแบบบังเอิญ (Accidental Sampling)

4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

แบบสอบถาม (Questionnaire) มีทั้งหมด 3 ส่วน ส่วนที่ 1 ปัจจัยส่วนบุคคลของนักท่องเที่ยว ข้อคำถามเป็นลักษณะคำถามปลายปิด (Close-Ended) มีลักษณะเป็นแบบการตรวจสอบรายการ (Check List) ส่วนที่ 2 พฤติกรรมของนักท่องเที่ยว ข้อคำถามเป็นลักษณะคำถามปลายปิด (Close-Ended) มีลักษณะเป็นแบบการตรวจสอบรายการ (Check List) ส่วนที่ 3 ความคิดเห็นของนักท่องเที่ยวที่มีต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวของตลาดน้ำขวัญ-เรียม ข้อคำถามประกอบด้วยข้อคำถามด้านการไหลทางกายภาพ ด้านการไหลทางสารสนเทศ ด้านการไหลทางการเงิน ด้านการให้บริการ ด้านสิ่งอำนวยความสะดวก ด้านการประชาสัมพันธ์ และด้านการกลับมาเที่ยวซ้ำ เป็นลักษณะคำถามแบบมาตราส่วนประเมินค่า (Rating Scale) 5 ระดับ ตามรูปแบบของลิเคิร์ต (Likert Scale) โดยกำหนดหลักเกณฑ์การแปลผลเพื่อวัดระดับความคิดเห็นดังนี้

ค่าเฉลี่ย 4.21-5.00 = เห็นด้วยในระดับมากที่สุด

ค่าเฉลี่ย 3.41-4.20 = เห็นด้วยในระดับมาก

ค่าเฉลี่ย 2.61-3.40 = เห็นด้วยในระดับปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.81-2.60 = เห็นด้วยในระดับน้อย

ค่าเฉลี่ย 1.00-1.80 = เห็นด้วยในระดับน้อยที่สุด

เมื่อนำร่างแบบสอบถามไปตรวจสอบความเที่ยงตรงและความเหมาะสม โดยขอความอนุเคราะห์จากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน โดยพิจารณาถึงความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) ของแบบสอบถาม เพื่อปรับปรุงแก้ไขและตรวจสอบความเที่ยงตรง (Validity) โดยมีการพิจารณาหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Consistency: IOC) [4] พบว่า มีค่าดัชนีความสอดคล้องที่คำนวณได้รายข้อคำถามมีค่ามากกว่า 0.50 ทุกข้อคำถาม โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.963 และการทดสอบความเชื่อมั่น (Reliability)

โดยทดสอบกับกลุ่มตัวอย่าง คือ นักท่องเที่ยวที่เดินทางมาท่องเที่ยวในตลาดน้ำขวัญ-เรียม จำนวน 30 คน ซึ่งไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างที่ใช้เก็บข้อมูลจริง เพื่อหาค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถามด้วยวิธีการของ Cronbach คือ การหาค่าสัมประสิทธิ์ Cronbach's Alpha [5] โดยรวมมีค่าเท่ากับ 0.95

4.3 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistic) ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและนำเสนอในรูปแบบตารางการแจกแจงความถี่ สถิติที่ใช้คือ จำนวน (Frequency) ร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เพื่ออธิบายลักษณะข้อมูลเบื้องต้นที่ได้จากการเก็บข้อมูล ได้แก่ ปัจจัยส่วนบุคคลของนักท่องเที่ยว พฤติกรรมของนักท่องเที่ยว และความคิดเห็นที่มีต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม

2. สถิติเชิงอนุมาน (inferential statistics) ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและการทดสอบสมมติฐาน โดยจะทดสอบที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

1) การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวแปร 2 กลุ่ม จะใช้สถิติทดสอบ t-test

2) การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของตัวแปร 2 กลุ่มขึ้นไป ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One Way ANOVA) โดยใช้สถิติทดสอบ F-test และทำการทดสอบความแตกต่างรายคู่โดยใช้ค่าสถิติ LSD (Least Significant Difference)

5. ผลการวิจัย

5.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ

1. ผลการศึกษาข้อมูลปัจจัยส่วนบุคคลของนักท่องเที่ยว แสดงผลข้อมูลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่าง จำแนกตามปัจจัยส่วนบุคคลของนักท่องเที่ยว (n = 300)

	ปัจจัยส่วนบุคคลของนักท่องเที่ยว	จำนวน	ร้อยละ
เพศ	ชาย	105	35.00
	หญิง	195	65.00
อายุ	ต่ำกว่า 20 ปี	59	19.67
	20 – 29 ปี	46	15.33
	30 – 39 ปี	90	30.00
	40 – 49 ปี	69	23.00
	50 – 59 ปี	26	8.67
	60 ปีขึ้นไป	10	3.33
สถานภาพ	โสด	163	54.33
	สมรส	129	43.00
	หม้าย/หย่า/แยกกันอยู่	8	2.67
การศึกษา	มัธยมศึกษาตอนต้นหรือต่ำกว่า	65	21.67
	มัธยมศึกษาตอนปลาย/ปวช.	80	26.67
	อนุปริญญา/ปวส./ปริญญาตรี	141	47.00
	สูงกว่าปริญญาตรี	14	4.66
อาชีพ	รับราชการ/รัฐวิสาหกิจ	15	5.00
	รับจ้างอิสระ	61	20.33
	ธุรกิจส่วนตัว	31	10.33

ตารางที่ 1 (ต่อ)

	ปัจจัยส่วนบุคคลของนักท่องเที่ยว	จำนวน	ร้อยละ
	พนักงานเอกชน	72	24.00
	นักเรียน/นักศึกษา	69	23.00
	เกษตรกร	13	4.33
	แม่บ้าน/พ่อบ้าน	37	12.33
	อื่น ๆ	2	0.68
รายได้เฉลี่ยต่อเดือน	น้อยกว่าหรือเท่ากับ 10,000 บาท	92	30.67
	10,001 - 20,000 บาท	147	49.00
	20,001 - 30,000 บาท	57	19.00
	มากกว่า 30,000 บาท ขึ้นไป	4	1.33
ภูมิลำเนา	อาศัยอยู่ในเขตมินบุรี	115	38.33
	อาศัยอยู่เขตอื่นๆ ในกรุงเทพมหานคร	160	53.33
	อาศัยอยู่ภายนอกจังหวัดกรุงเทพมหานคร	25	8.34

จากตารางที่ 1 แสดงผลการศึกษาข้อมูลปัจจัยส่วนบุคคลของนักท่องเที่ยว พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง จำนวน 195 คน (ร้อยละ 65) มีอายุระหว่าง 30-39 ปี จำนวน 90 (ร้อยละ 30.00) สถานภาพโสด จำนวน 163 คน (ร้อยละ 54.33) มีการศึกษาในระดับอนุปริญญา/ปวส./ปริญญาตรี จำนวน 141 คน (ร้อยละ

47.00) ประกอบอาชีพพนักงานเอกชน จำนวน 72 คน (ร้อยละ 24.00) มีรายได้เฉลี่ยต่อเดือน 10,001-20,000 บาท จำนวน 147 คน (ร้อยละ 49.00) มีภูมิลำเนาอยู่ในเขตอื่นๆ ในกรุงเทพมหานคร จำนวน 160 คน (ร้อยละ 53.33)

2. ผลการศึกษาข้อมูลพฤติกรรมนักท่องเที่ยว แสดงผลข้อมูลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 จำนวนและร้อยละของกลุ่มตัวอย่าง จำแนกตามพฤติกรรมของนักท่องเที่ยว (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)

	พฤติกรรมนักท่องเที่ยว	จำนวน (คน)	ร้อยละ
การมาเที่ยวที่ตลาดน้ำ	มาเที่ยว 2 - 5 ครั้ง	183	61.00
พาหนะที่ใช้ในการเดินทาง	รถยนต์ส่วนตัว	194	64.67
ระยะเวลาที่ใช้เที่ยว	1 - 3 ชั่วโมง	269	89.67
จำนวนผู้ร่วมเดินทาง	3 - 5 คน	127	42.33
แหล่งข้อมูลข่าวสาร	เพื่อน/ญาติ	246	82.00
ค่าใช้จ่ายต่อครั้ง	501 - 1,000 บาท	148	49.33

จากตารางที่ 2 แสดงผลข้อมูล กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เคยมาเที่ยวที่ตลาดน้ำขวัญ-เรียมแล้ว 2-5 ครั้ง จำนวน 183 คน (ร้อยละ 61.00) ใช้รถยนต์ส่วนตัวในการเดินทาง จำนวน 194 คน (ร้อยละ 64.67) ใช้เวลาในการท่องเที่ยวภายในตลาดน้ำ เป็นระยะเวลา 1-3 ชั่วโมง จำนวน 269 คน (ร้อยละ 89.67) มีผู้ร่วมเดินทางท่องเที่ยวในตลาดน้ำ 3-5 คน จำนวน 127 คน (ร้อยละ 42.33) ได้รับข้อมูล

เกี่ยวกับการท่องเที่ยวตลาดน้ำจากเพื่อน/ญาติ มากที่สุด จำนวน 246 คน (ร้อยละ 82.00) มีค่าใช้จ่ายอยู่ระหว่าง 501-1,000 บาทต่อครั้ง มากที่สุด จำนวน 148 คน (ร้อยละ 49.33)

3. ผลการศึกษาข้อมูลระดับความคิดเห็นของนักท่องเที่ยวที่มีต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม แสดงผลข้อมูลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่างจำแนกตามระดับความคิดเห็นต่อการจัดการโลจิสติกส์ การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม โดยรวม

การจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยว ตลาดน้ำขวัญ-เรียม	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับความคิดเห็น
ด้านการไหลทางกายภาพ	4.19	0.55	มาก
ด้านการไหลทางสารสนเทศ	4.12	0.62	มาก
ด้านการไหลทางการเงิน	3.94	0.55	มาก
ด้านการให้บริการ	3.84	0.61	มาก
ด้านสิ่งอำนวยความสะดวก	4.13	0.62	มาก
ด้านการประชาสัมพันธ์	4.05	0.63	มาก
ด้านการกลับมาเที่ยวซ้ำ	4.01	0.62	มาก
รวม	4.04	0.48	มาก

จากตารางที่ 3 กลุ่มตัวอย่างมีความคิดเห็นต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม ในภาพรวม ที่เห็นด้วยในระดับมาก ด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.04 ($\bar{X}=4.04$, S.D.=0.48) เมื่อพิจารณารายด้าน พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีความคิดเห็นที่เห็นด้วยในระดับมาก ด้านการไหลทางกายภาพ ด้วยค่าเฉลี่ย 4.19 ($\bar{X}=4.19$, S.D.=0.55) รองลงมาคือ มีความคิดเห็น ที่เห็นด้วยในระดับมาก ด้านสิ่งอำนวยความสะดวก 4.13 ($\bar{X}=4.13$, S.D.=0.62) ด้านการไหลทางสารสนเทศ 4.12 ($\bar{X}=4.12$, S.D.=0.62) ด้านการประชาสัมพันธ์ 4.05 ($\bar{X}=4.05$, S.D.=0.63) ด้านการกลับมาเที่ยวซ้ำ 4.01 ($\bar{X}=4.01$, S.D.=0.62)

ด้านการไหลทางการเงิน 3.94 ($\bar{X}=3.94$, S.D.=0.55) และด้านการให้บริการ 3.84 ($\bar{X}=3.84$, S.D.=0.61) ตามลำดับ

4. ผลการทดสอบสมมติฐาน การทดสอบสมมติฐาน ผู้วิจัยได้ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการตั้งสมมติฐาน และได้ตั้งสมมติฐานไว้ 2 ข้อ โดยทดสอบที่ระดับความเชื่อมั่น 95% หรือที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้ผลการทดสอบสมมติฐานดังนี้

สมมติฐานที่ 1 ปัจจัยส่วนบุคคลของนักท่องเที่ยวที่ต่างกันมีความคิดเห็นที่มีต่อการจัดการโลจิสติกส์ การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม แตกต่างกัน

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบสมมติฐานที่ 1

สมมติฐานที่ 1	สถิติที่ใช้	ค่าสถิติ	Sig	ผลการทดสอบ
เพศที่ต่างกัน มีความคิดเห็นต่อการจัดการโลจิสติกส์ การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม แตกต่างกัน	T-test	1.242	0.215	ปฏิเสธ
อายุที่ต่างกัน มีความคิดเห็นต่อการจัดการโลจิสติกส์ การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม แตกต่างกัน	One-way ANOVA	0.619	0.686	ปฏิเสธ
สถานภาพที่ต่างกัน มีความคิดเห็นต่อการจัดการ โลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม แตกต่างกัน	One-way ANOVA	0.141	0.868	ปฏิเสธ
การศึกษาที่ต่างกัน มีความคิดเห็นต่อการจัดการ โลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม แตกต่างกัน	One-way ANOVA	1.235	0.297	ปฏิเสธ

ตารางที่ 4 (ต่อ)

สมมติฐานที่ 1	สถิติที่ใช้	ค่าสถิติ	Sig	ผลการทดสอบ
อาชีพที่ต่างกัน มีความคิดเห็นต่อการจัดการโลจิสติกส์ การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม แตกต่างกัน	One-way ANOVA	0.620	0.739	ปฏิเสธ
รายได้เฉลี่ยต่อเดือนที่ต่างกัน มีความคิดเห็นต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม แตกต่างกัน	One-way ANOVA	2.968	0.032*	ยอมรับ
ภูมิลำเนาที่ต่างกัน มีความคิดเห็นต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม แตกต่างกัน	One-way ANOVA	0.027	0.974	ปฏิเสธ

จากตารางที่ 4 ผลการทดสอบสมมติฐานที่ 1 ปัจจัยส่วนบุคคลของนักท่องเที่ยวที่ต่างกันมีความคิดเห็นที่มีต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม แตกต่างกัน พบว่า

1) กลุ่มตัวอย่างที่มีเพศ อายุ สถานภาพ การศึกษา อาชีพ และ ภูมิลำเนา ที่ต่างกัน มีความคิดเห็นที่มีต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม ไม่แตกต่างกัน

2) กลุ่มตัวอย่างที่มีรายได้เฉลี่ยต่อเดือนที่ต่างกัน มีความคิดเห็นที่มีต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างเป็นรายคู่ของค่าเฉลี่ยของความความคิดเห็นที่มีต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม จำแนกตามรายได้เฉลี่ยต่อเดือน พบว่า

กลุ่มตัวอย่างที่มีรายได้เฉลี่ยต่อเดือน 20,001–30,000 บาท มีความคิดเห็นที่มีต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำ แตกต่างกับกลุ่มตัวอย่างที่มีรายได้เฉลี่ยต่อเดือนน้อยกว่าหรือเท่ากับ 10,000 บาท และกลุ่มตัวอย่างที่มีรายได้เฉลี่ยต่อเดือน 10,001–20,000 บาท ดังนั้น ผู้ที่เกี่ยวข้องกับตลาดน้ำขวัญ-เรียม ควรมีการวางแผนการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม ให้ครอบคลุมและมีความเหมาะสมกับนักท่องเที่ยวที่มีรายได้แตกต่างกัน เพื่อพัฒนาและดึงดูดนักท่องเที่ยวให้มาเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียมเพิ่มมากขึ้น

สมมติฐานที่ 2 พฤติกรรมของนักท่องเที่ยวที่ต่างกัน มีความคิดเห็นต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม แตกต่างกัน

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบสมมติฐานที่ 2

สมมติฐานที่ 2	สถิติที่ใช้	ค่าสถิติ	Sig	ผลการทดสอบ
การมาเที่ยวตลาดน้ำที่ต่างกัน มีความคิดเห็นที่มีต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม แตกต่างกัน	One-way ANOVA	0.098	0.907	ปฏิเสธ
พาหนะที่ใช้ในการเดินทางที่ต่างกัน มีความคิดเห็นที่มีต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม แตกต่างกัน	T-test			ปฏิเสธ
ระยะเวลาที่ใช้ในการท่องเที่ยวที่ต่างกัน มีความคิดเห็นที่มีต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม แตกต่างกัน	T-test	4.341	0.019*	ยอมรับ
จำนวนผู้ร่วมเดินทางที่ต่างกัน มีความคิดเห็นที่มีต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม แตกต่างกัน	One-way ANOVA	1.020	0.384	ปฏิเสธ
แหล่งข้อมูลข่าวสารการท่องเที่ยวที่ต่างกัน มีความคิดเห็นที่มีต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม แตกต่างกัน	T-test			ปฏิเสธ

ตารางที่ 5 (ต่อ)

สมมติฐานที่ 2	สถิติที่ใช้	ค่าสถิติ	Sig	ผลการทดสอบ
ค่าใช้จ่ายต่อครั้งในการท่องเที่ยวที่ต่างกัน มีความคิดเห็นที่มีต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม แตกต่าง	One-way ANOVA	4.737	0.001*	ยอมรับ

จากตารางที่ 5 ผลการทดสอบสมมติฐานที่ 2 พฤติกรรมของนักท่องเที่ยวที่ต่างกัน มีระดับความคิดเห็นต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียมแตกต่างกัน พบว่า

1) นักท่องเที่ยวที่มีการมาเที่ยวต่างกัน พาหนะที่ใช้ในการเดินทาง จำนวนผู้ร่วมเดินทาง แหล่งข้อมูลข่าวสารการท่องเที่ยวที่ต่างกันมีความคิดเห็นที่มีต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม ไม่แตกต่างกัน

2) นักท่องเที่ยวที่ใช้ระยะเวลาที่ใช้ในการท่องเที่ยวที่ต่างกันมีระดับความคิดเห็นต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อวิเคราะห์เป็นรายด้านพบว่า ด้านการไหลทางกายภาพ ด้านการไหลทางสารสนเทศ ด้านการไหลทางการเงิน ด้านการให้บริการ และด้านการกลับมาเที่ยวซ้ำ มีความคิดเห็นที่มีต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ยกเว้นด้านสิ่งอำนวยความสะดวกและการประชาสัมพันธ์กลุ่มตัวอย่างที่มีรายได้เฉลี่ยต่อเดือนต่างกัน มีความคิดเห็นที่มีต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม ไม่แตกต่างกัน

3) นักท่องเที่ยวที่มีค่าใช้จ่ายต่อครั้งในการท่องเที่ยวที่ต่างกันมีระดับความคิดเห็นต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อวิเคราะห์เป็นรายด้านพบว่า ด้านการไหลทางกายภาพ ด้านการไหลทางสารสนเทศ ด้านการไหลทางการเงิน ด้านสิ่งอำนวยความสะดวก ด้านการประชาสัมพันธ์ และด้านการกลับมาเที่ยวซ้ำ มีความคิดเห็นที่มีต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม แตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ยกเว้น ด้านการให้บริการ

กลุ่มตัวอย่างที่มีรายได้เฉลี่ยต่อเดือนต่างกัน มีความคิดเห็นที่มีต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม ไม่แตกต่างกัน ดังนั้น ผู้ที่เกี่ยวข้องกับตลาดน้ำขวัญ-เรียม ควรมีการวางแผนการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม ให้ครอบคลุม และมีความเหมาะสมกับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการท่องเที่ยวภายในตลาดน้ำ โดยคำนึงถึงการทำให้เกิดการใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้น และพิจารณาถึงด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องที่ทำให้เกิดการใช้จ่าย

6. อภิปรายผล

6.1 อภิปรายผลการวิจัยปัจจัยส่วนบุคคลของนักท่องเที่ยวที่มีต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม

จากผลการวิจัยการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำ พบว่า ปัจจัยส่วนบุคคลของนักท่องเที่ยวด้านรายได้เฉลี่ยต่อเดือน สอดคล้องกับงานวิจัยของอิทธิภรณ์ เงินเย็น [6] ที่พบว่า นักท่องเที่ยวส่วนใหญ่มีกำลังซื้อค่อนข้างน้อยต่อการใช้จ่ายสินค้าและใช้บริการทางการท่องเที่ยว เนื่องจากกลุ่มนักท่องเที่ยวส่วนใหญ่เป็นนักเรียน นักศึกษา ในระดับปริญญาตรี กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ประกอบอาชีพพนักงานเอกชน การศึกษาระดับอนุปริญญา/ปวส./ปริญญาตรี และมีรายได้เฉลี่ยต่อเดือน 10,001-20,000 บาท จึงส่งผลกับปัจจัยที่มีผลต่อการใช้จ่ายการท่องเที่ยว และสอดคล้องกับงานวิจัยของศราวุธ อรุณวิง และภูมิพัฒน์ พงศ์พฤติกุล [7] กล่าวว่า ปัจจัยบุคคลด้านรายได้ต่อเดือน พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจที่มีรายได้ต่างกันมีผลต่อปัจจัยในการตัดสินใจท่องเที่ยวที่ต่างกัน นอกจากนั้น สุภัญญา แก้วตา [8] ที่ศึกษาเรื่องการศึกษาประสิทธิภาพการจัดการโลจิสติกส์เพื่อการท่องเที่ยวในอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ยังพบว่า ปัจจัยส่วนบุคคลของนักท่องเที่ยว ให้ความสำคัญต่อ

โลจิสติกส์การท่องเที่ยวที่แตกต่างกัน ผู้วิจัยจึงเห็นว่าในการกำหนดราคา ค่าใช้จ่ายหรือรูปแบบการท่องเที่ยวต้องคำนึงถึงกลุ่มนักท่องเที่ยวที่มีรายได้น้อยเป็นสำคัญเพื่อที่จะทำให้นักท่องเที่ยวสามารถเข้ามาใช้จ่ายภายในตลาดน้ำเพิ่มขึ้น

6.2 อภิปรายผลการวิจัยพฤติกรรมของนักท่องเที่ยวต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม

จากผลการวิเคราะห์พฤติกรรมของนักท่องเที่ยวที่พบว่ารายได้ที่ต่างกันมีความคิดเห็นที่มีต่อการจัดการโลจิสติกส์แตกต่างกัน สอดคล้องกับ ศราวุธ อรุณวิง และภูมิพัฒน์ พงศ์พฤติกุล [7] ที่ได้ศึกษาเรื่องการจัดการเส้นทางท่องเที่ยวจังหวัดสุโขทัย พบว่า พฤติกรรมของนักท่องเที่ยวมีความสัมพันธ์กับการจัดเส้นทางท่องเที่ยว และสอดคล้องกับสัญญาชัย ลั้งแท้กุล [9] ที่ได้ศึกษาเรื่องความพึงพอใจด้านการจัดการโลจิสติกส์เพื่อการเดินทางท่องเที่ยวในเขตพัฒนาการท่องเที่ยวอันดามัน : กรณีศึกษาจังหวัดตรังและจังหวัดสตูล ที่เสนอแนวทางในการพัฒนาระบบโลจิสติกส์เพื่อการท่องเที่ยว โดยกำหนดเส้นทางท่องเที่ยวให้สอดคล้องกับพฤติกรรมนักท่องเที่ยวที่สามารถเชื่อมโยงผลิตภัณฑ์การท่องเที่ยวในจังหวัด ดังนั้นการบริหารจัดการตลาดน้ำขวัญ-เรียม จึงจำเป็นต้องมีการวางแผนร่วมกัน ระหว่างเจ้าของ ร้านค้า เพื่อที่จะสามารถกำหนดกิจกรรมและบริการ รวมถึงราคาให้เหมาะสมกับนักท่องเที่ยวที่มีรายได้น้อย มีการเสนอรูปแบบการให้บริการในด้านอื่นๆ เพื่อให้นักท่องเที่ยวสามารถใช้เวลา และใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ภายในตลาดน้ำ เช่น การวางแผนเส้นทางกิจกรรมการท่องเที่ยวทางเรือชมวิถีชุมชนริมน้ำ โดยยังสามารถร่วมมือกับชุมชนที่อยู่ริมน้ำตลอดเส้นทางเดินเรือที่สามารถให้บริการกับนักท่องเที่ยวได้ ทั้งนี้จะเป็นการเพิ่มระยะเวลาที่นักท่องเที่ยวใช้ในการท่องเที่ยวอีกทางหนึ่ง

ในส่วนของการประชาสัมพันธ์การท่องเที่ยว ผู้วิจัยยังพบว่า วาสนา จรูญศรีโชติกาจ และคณะ [14] ที่ทำการศึกษาเรื่องประสิทธิภาพการจัดการโลจิสติกส์ของแหล่งท่องเที่ยวจังหวัดกำแพงเพชร ให้ความเห็นว่าควรเพิ่มกิจกรรมเพื่อดึงดูดใจให้นักท่องเที่ยวเข้ามาท่องเที่ยวมากขึ้น และกระตุ้นการประชาสัมพันธ์ในช่องทางต่างๆ เช่น สื่อสังคมออนไลน์อย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง สอดคล้องกับ

ผลการวิจัยที่พบว่า นักท่องเที่ยวที่ได้รับข้อมูลการท่องเที่ยวตลาดน้ำขวัญ-เรียม ส่วนใหญ่ได้รับข้อมูลจากเพื่อนและญาติ มีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่ได้รับข้อมูลจากสื่อออนไลน์ โดยที่ผู้วิจัยเห็นว่าปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลและการประชาสัมพันธ์ทางสื่อออนไลน์นั้น สามารถทำให้นักท่องเที่ยวสามารถรับรู้และเข้าถึงข้อมูลการท่องเที่ยวได้สะดวกรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

7. ข้อเสนอแนะ

ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการตลาดน้ำขวัญ-เรียม ควรให้ความสนใจกลุ่มนักท่องเที่ยวส่วนใหญ่ที่มีรายได้น้อย เนื่องจากผลการวิจัยพบว่ามีความแตกต่างกันในการให้ระดับความคิดเห็น โดยอาจต้องคำนึงถึงเรื่องของราคา ค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมกับกิจกรรมและระยะเวลาที่นักท่องเที่ยวจะใช้ในตลาดน้ำ เช่น กำหนดราคาค่าเรือนำเที่ยววิถีชุมชนที่ไม่สูงจนเกินไป หรือรูปแบบการท่องเที่ยวอื่นๆ ที่มีราคาเหมาะกับรายได้ของนักท่องเที่ยว ควรมีแผนในการทำให้นักท่องเที่ยวมีการใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากผลการวิจัยพบว่า นักท่องเที่ยวส่วนใหญ่ มีการใช้จ่ายน้อย และระยะเวลาที่นักท่องเที่ยวใช้ในการท่องเที่ยวภายในตลาดน้ำส่วนใหญ่ ไม่มากนัก ดังนั้นหากมีกิจกรรม เช่น การท่องเที่ยวชมวิถีชุมชนทางน้ำ หรือเดินทางไปยังสถานที่ท่องเที่ยวใกล้เคียงด้วยการเดินทางทางเรือจะช่วยให้มีมูลค่าการใช้จ่ายเพิ่มขึ้นและทำให้นักท่องเที่ยวมีเวลาอยู่ที่ตลาดน้ำเพิ่มมากขึ้น ตลาดน้ำขวัญ-เรียม ควรมีการประชาสัมพันธ์ทางด้านสื่อออนไลน์เพื่อให้มีนักท่องเที่ยวรายใหม่เพิ่มมากขึ้น ผู้บริหาร ผู้ให้บริการร้านค้าและผู้ที่เกี่ยวข้อง ควรมีการวางแผนการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวร่วมกัน เพื่อให้เกิดการท่องเที่ยวซ้ำและการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมที่ยั่งยืน เพื่อตอบสนองความต้องการในการท่องเที่ยวในอนาคต

ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งถัดไป ควรมุ่งเน้นศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่ทำให้เกิดการกลับมาท่องเที่ยวซ้ำภายในตลาดน้ำ ควรศึกษาวิจัยข้อมูลตลาดน้ำทั้งจังหวัดกรุงเทพมหานครและปริมณฑลเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการบริหารจัดการโลจิสติกส์ตลาดน้ำที่ครอบคลุมมากขึ้น ควรทำวิจัยในเรื่ององค์ประกอบที่ทำให้เกิดการบริหารจัดการตลาดน้ำได้แบบยั่งยืน เพื่อเป็นการ

กระจายสู่ชุมชน เช่น บัณฑิตที่สามารถทำให้ตลาดน้ำสามารถเปิดทำการได้ทุกวัน หรือทำอย่างไรจะให้นักท่องเที่ยวมีการใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้นในแต่ละครั้งของการมาท่องเที่ยวในตลาดน้ำ

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Ministry of Tourism and Sports. "Tourism economic Review". Bangkok., July-Sep, 2019. (in Thai).
- [2] Tourism Authority of Thailand. Announcement of the plan to communicate the direction and guidelines for promoting the tourism market of TAT. [Online]. Available: <https://www.tat.or.th/th/about-tat/market-plan> (in Thai).
- [3] GSB Research. Community Based Tourism. [Online]. Available: https://www.gsbresearch.or.th/wp-content/uploads/2021/03/GR_report_travel_internet_detail.pdf (in Thai).
- [4] P. Tuntavanitch and P. Jindasri. "Journal of Educational Measurement Mahasarakham University," *The Real Meaning of IOC* ,vol. 24, no.2, pp.3-12, Dec. 2018 (in Thai).
- [5] Cronbach L. J. (1951). Coefficient Alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16, pp.297-334
- [6] T. Ngoenyen, "Logistic management of tourism industry in the border town of phu sang, phayao province," M.B.A. Business Administration. Maejo University, Chiangmai, 2016 (in Thai).
- [7] S. Arunwing, "Tourism route management in Sukhothai province" M.B.A. Business Administration. Dhurakij Pundit University, Bangkok, 2020 (in Thai).
- [8] S. Kaewta , "A Study of the Efficiency of Tourism Logistics Management in Mae Sot District, Tak Province of Thai Tourists," In *KPRU National Conference in Preceeding of The 6th*, Kamphaengphet, December, 2019 pp. 220-235 (in Thai).
- [9] S. Langthaekun, "Tourists' Satisfaction of Tourism Logistics Management in Andaman Travelling Development Area : A Case Study of Trang and Satun Province" Ph.D. Industrial Business Administration, Economics and Business Administration Faculty, Thaksin University, Songkhla, 2016 (in Thai).
- [10] V. Rodtadsana, "Cultural Tourism Management of Thai Phuan Group : A Case Study of Kaohong Market, Bangplama District, Suphanburi Province, M.A. Tourism Managemenet, Dhurakij Pundit University. 2014 (in Thai).
- [11] W. Amonwiryachai, "Khon kaen agriculture journal" *The development of programs and activities for community based ecotourism using participation method at Pakpra, Phatthalung province*, Suppl.1, pp 763-772, 2021 (in Thai).
- [12] N. Khunsong, "The study of tourism at kwan-riam floating market," M.A.Cultural Resource Management Graduate School, Silpakorn University, Bangkok, 2015 (in Thai).
- [13] J. Sudhivoraseth, "Journal of communication and innovation NIDA," *Communication for Sustainable Development to Promote Tourist Activities of Floating Market along the River Banks of Central Region*, vol. 1, no.1, pp.99-130, Jul-Dec. 2014 (in Thai).
- [14] W. Charoonsrichotkamjorn, "Journal of Modern Management Science" *The Efficiency of Logistics Management for Tourist Attraction in Kamphaeng Phet Province* Vol. 10, no. 2, Jul-Dec. 2017, pp 213-229. (in Thai).

เครื่องเรียกพยาบาลฉุกเฉินแบบมีเสียงชนิดไร้สาย ควบคุมผ่านระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง

A wireless sound emergency nurse call via the IoT system

ณัฐกานต์ เรียบเรียง, ธนวัฒน์ ทนันทไชย, บุรินทร์ เทพโพธา และมนตรี ศิริปรัชญานันท์*

Natthakan Riabrieng, Tanawat Tananchai, Burin Theppota and Montree Siripruchyanun*

ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Department of Teacher Training in Electrical Engineering, Faculty of Technical Education, King Mongkut's University of
Technology North Bangkok

*Email: montree.s@fte.kmutnb.ac.th

Received: July 21, 2023; Revised: December 19, 2023; Accepted: December 20, 2023

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ เครื่องเรียกพยาบาลฉุกเฉินแบบมีเสียงชนิดไร้สายผ่านระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง ที่สามารถเรียกขอความช่วยเหลือฉุกเฉินได้จากระยะไกลผ่านทางอินเทอร์เน็ต เมื่อกดปุ่มฉุกเฉิน ไมโครคอนโทรลเลอร์รับข้อมูลการกดสวิทช์และส่งข้อมูลไปยังคลาวด์เพื่อแจ้งเตือนผ่านเวิร์ดพยาบาลและแอปพลิเคชันใช้เวลาเฉลี่ยเพียง 0.86 วินาที ซึ่งแอปพลิเคชันสามารถแจ้งเตือนได้ทั้งแพทย์ พยาบาล และญาติของผู้ป่วย นอกจากนี้ แอปพลิเคชันยังแสดงข้อมูล ชื่อผู้ป่วย หมายเลขห้อง อาการของผู้ป่วย และสามารถดูกล้องภายในห้องของผู้ป่วยได้ เพียงมี ID/Password ของแอปพลิเคชันจากทางโรงพยาบาลเท่านั้น อีกทั้งตัวเครื่องสะดวกในการติดตั้ง สามารถใช้ในทุกที่ที่มีสัญญาณไวไฟ โดยที่ไม่ต้องติดตั้งสายไฟให้มีความซับซ้อน ซึ่งสามารถช่วยลดปัญหาสายขาดภายในได้อีกด้วย

คำสำคัญ : เครื่องเรียกพยาบาลฉุกเฉิน, ไร้สาย, ระบบ IoT

Abstract

This article presents the wireless sound emergency nurse call via the IoT system which allows patient to request emergency assistance through the internet system. After pressing the emergency button, microcontroller receives the emergency signal and sent to cloud for an alarm through the ward nurse and application, this procedure takes only 0.86 seconds. The application can also send notifications to alert doctors, nurses as well as patient's family. Apart from the foregoing system, the application also provides information such as the patient's name, room number, symptoms and even camera monitoring in the patient's room. The mentioned accessibility can be achieved along with password security given by the hospital. Furthermore, the hardware is simple to setup in wherever a wi-fi available, with no need for complex wiring to avoid wire breakage.

Keywords : emergency nurse call, wireless, IoT system

1. บทนำ

ในโรงพยาบาล สถานีอนามัย สถานพยาบาลต่าง ๆ การเอาใจใส่ดูแลผู้ป่วยอย่างใกล้ชิดช่วยสร้างความไว้วางใจให้ผู้ป่วยเป็นอย่างดี โดยเฉพาะในยามฉุกเฉินที่ผู้ป่วยต้องการรักษาอย่างเร่งด่วน ระบบการติดต่อประสานงานกับเจ้าหน้าที่ ที่มีประสิทธิภาพช่วยให้เพิ่มความมั่นใจที่สามารถได้รับการดูแลอย่างทันท่วงที ทั้งการเกิดเหตุการณ์ที่ไม่คาดคิดที่สามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา และในระหว่างที่พักรักษาตัวอยู่ในสถานพยาบาล ระบบเรียกพยาบาลแบบมีเสียงหรือที่เรียกกันว่า Nurse call [1-3] จึงมีความจำเป็นอย่างมากสำหรับสถานพยาบาล ซึ่งเครื่องช่วยเรียกพยาบาลฉุกเฉินนั้นมีราคาค่อนข้างสูง บางครั้งต้องนำเข้าจากต่างประเทศ [3-4] และการทำงานส่วนใหญ่ของเครื่องช่วยเรียกพยาบาลฉุกเฉินนั้น ผู้ป่วยจะต้องกดสวิทช์ที่ข้างเตียงผู้ป่วย ซึ่งมีการแสดงผลสัญญาณที่ห้องพักของพยาบาลหรือแพทย์เท่านั้น โดยมีลักษณะเป็นไฟสีแดงกระพริบพร้อมกับเสียงสัญญาณดังขึ้น อย่างไรก็ตาม การทำงานของระบบดังกล่าว ต้องติดตั้งสายไฟ ทั้งเตียงผู้ป่วย ห้องพักแพทย์และพยาบาล ด้วยเหตุนี้ จึงมีความซับซ้อนในการติดตั้งและค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงสำหรับสถานพยาบาลที่มีห้องผู้ป่วยจำนวนมาก และสายอาจเกิดการขาดชำรุดได้เมื่อใช้งานเป็นเวลานาน

มีผู้นำเสนอเครื่องเรียกพยาบาลฉุกเฉินมีเสียงชนิดไร้สายขึ้น [5] ซึ่งเป็นการติดตั้งที่ไม่ซับซ้อนทั้งเครื่องส่งและเครื่องรับ เนื่องจากไม่จำเป็นต้องเดินสายไฟ มีสัญญาณเสียงเตือนและไฟแสดงสถานะ จากการศึกษาพบข้อจำกัดว่า ระยะทางของเสียงเตือนที่ได้ยินเพียง 200 เมตร หากแพทย์หรือพยาบาลไม่ได้อยู่ในระยะของเสียงเตือน ก็ไม่สามารถรับรู้ได้ว่า ผู้ป่วยกดปุ่มฉุกเฉิน หรือแพทย์และพยาบาลได้ยินเสียงเตือน แต่ต้องเดินดูที่วอร์ดพยาบาล จึงจะทราบห้องผู้ป่วยที่ขอความช่วยเหลือ อีกทั้ง กรณีที่ผู้ป่วยหมดสติหรือได้รับอุบัติเหตุอยู่ภายในห้อง ทำให้การเข้าช่วยเหลือผู้ป่วยล่าช้า อาจส่งผลกระทบต่อผู้ป่วยได้ ต่อมา [6] ได้มีการเพิ่มระยะการได้ยินโดยเพิ่มที่การรับส่งสัญญาณ เป็น 400 เมตร แต่ก็ยังไม่เพียงพอ ถ้าแพทย์หรือพยาบาลอยู่บริเวณรอบนอกโรงพยาบาล และได้เพิ่มการแสดงข้อมูลแบบออนไลน์ผ่านเว็บไซต์ [7] เพื่อแก้ปัญหาระยะเสียงแจ้งเตือน แต่ทว่า

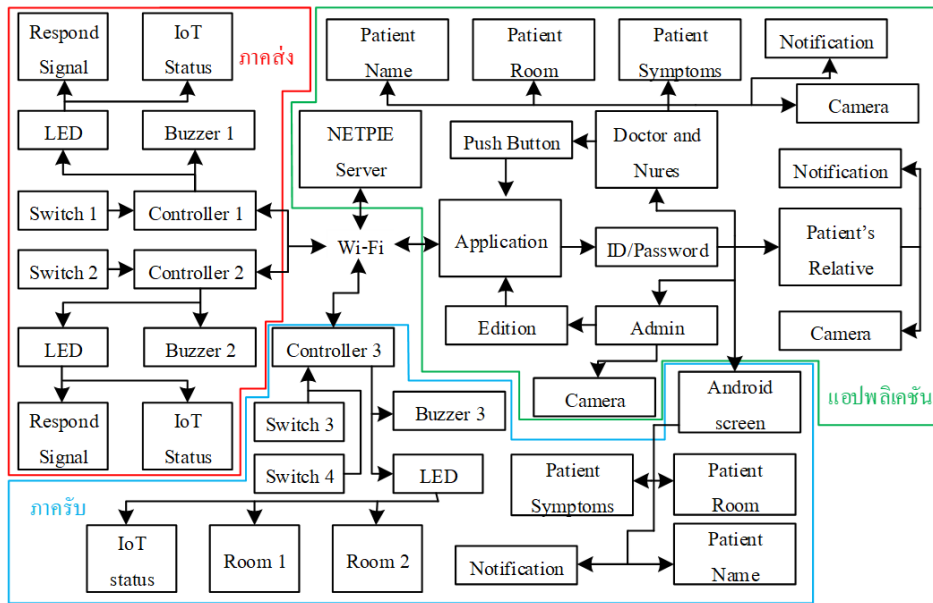
การใช้เว็บไซต์นี้ แพทย์หรือพยาบาลต้องเข้าดูบ่อย ๆ เนื่องจากไม่มีการแจ้งเตือนแบบมีเสียง มีเพียงการแสดงเวลาที่ผู้ป่วยขอความช่วยเหลือเท่านั้น

ปัจจุบันเป็นยุคที่อินเทอร์เน็ต มีบทบาทในชีวิตมากขึ้น หรือที่เรียกว่าอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things (IoT) [8-10] ซึ่งเป็นยุคที่มีอุปกรณ์เชื่อมต่อระบบ IoT เข้ากับชีวิตประจำวันของมนุษย์มากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น Smartwatches หรือ Smart homes [9-12] ที่สามารถเปิดปิดเครื่องใช้ อุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านได้ หรือ Smart farms ที่สามารถควบคุมการรดน้ำต้นไม้ ผ่านโทรศัพท์มือถือ ไปจนถึงซิปติดตามสินค้าคงคลัง ทางการเงิน ทางอุตสาหกรรม และอื่น ๆ

จากปัญหาดังกล่าว จึงนำเสนอเครื่องเรียกพยาบาลฉุกเฉินมีเสียงชนิดไร้สายควบคุมผ่านระบบ IoT สามารถส่งสัญญาณแจ้งเตือนไปยังแอปพลิเคชันทางโทรศัพท์ทั้งของแพทย์ พยาบาล และญาติของผู้ป่วยพร้อมทั้งมีสัญญาณไฟแสดงสถานะ และเสียงแจ้งเตือนดังที่วอร์ดพยาบาล นอกเหนือจากนี้ ยังสามารถดูผู้ป่วยจากกล้องที่ติดตั้งภายในห้องของผู้ป่วยผ่านทางแอปพลิเคชันโทรศัพท์มือถือ

2. ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องเรียกพยาบาลฉุกเฉินแบบมีเสียงชนิดไร้สายผ่านระบบ IoT มีหลักการการทำงานทั้งหมดอยู่ 3 ภาค ได้แก่ ภาคส่ง ภาครับ และแอปพลิเคชัน แสดงดังรูปที่ 1 ในส่วนแรกเป็นการทำงานของภาคส่งซึ่งจะทำหน้าที่ รับค่าจาก Call Cord หรือ สายกดเรียกพยาบาล เพื่อส่งสัญญาณให้กับบอร์ด ESP 8266 ตัวบอร์ดคอนโทรลเลอร์ทำการเชื่อมต่อบอร์ดไวไฟเพื่อส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์เน็ตพาย และนำข้อมูลที่ได้จากเซิร์ฟเวอร์เน็ตพายส่งไปยังภาครับ และแอปพลิเคชันตามลำดับ ต่อมาส่วนที่สองเป็นการทำงานของภาครับ คือรับค่าจากเซิร์ฟเวอร์เน็ตพาย จากนั้นแสดงสถานะไฟฉุกเฉินและเสียงแจ้งเตือน ที่วอร์ดพยาบาล อีกทั้งแสดงบนแอปพลิเคชันของโทรศัพท์มือถือและจอแอนดรอยด์ สามารถกดปุ่มรับทราบผ่านตัวเครื่องรับ และแอปพลิเคชันได้ จากนั้นมีเสียงแจ้งเตือนไปยังห้องผู้ป่วยที่ต้องการความช่วยเหลือ คือ Buzzer 1 หรือ Buzzer 2 เป็นเวลา 20 วินาที



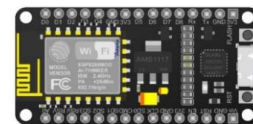
รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมของตัวเครื่อง

เพื่อเป็นการส่งสัญญาณให้ผู้ป่วยทราบว่า “พยาบาลหรือแพทย์ทราบแล้ว และพร้อมเข้าให้ความช่วยเหลือ” พร้อมทั้งปิดเสียงแจ้งเตือนและสถานะไฟฉุกเฉินที่ตัวรับอีกด้วย และส่วนสุดท้าย คือ ภาคแอปพลิเคชัน ในขั้นแรกเป็นการรับข้อมูลจากเซิร์ฟเวอร์เน็ตพาย และกล้องวงจรปิด ซึ่งกล้องสามารถเชื่อมต่อระบบไวไฟ แสดงดังรูปที่ 3 โดยนำลิงก์ของเว็บเซิร์ฟเวอร์ที่แสดงภาพสดไว้ในแอปพลิเคชันที่ได้สร้างขึ้น โดยสามารถจำแนกการใช้งานผ่าน ID/Password มีทั้งหมด 4 ส่วน ส่วนที่ 1 เป็นส่วนของแพทย์และพยาบาล ซึ่งสามารถดูข้อมูลผู้ป่วยคือ ชื่อ-นามสกุล อาการ หมายเลขห้อง ภาพกล้องวงจรปิด การแจ้งเตือน และปุ่มกดรับทราบได้ทุกห้องโดยที่ไม่สามารถแก้ไขข้อมูลได้ ส่วนที่ 2 เป็นส่วนของญาติผู้ป่วย ซึ่งเหมือนกับแพทย์และพยาบาล นอกเหนือจากสามารถดูกล้องเฉพาะห้องผู้ป่วยที่เป็นญาติตนเท่านั้น ส่วนที่ 3 เป็นของเจ้าหน้าที่ของสถานพยาบาล ซึ่งสามารถแก้ไขข้อมูลได้ทุกอย่าง ทั้ง ID/password ชื่อ-นามสกุล อาการ หมายเลขห้อง กล้องวงจรปิด การแจ้งเตือน และยังสามารถพัฒนาแอปพลิเคชันได้ ส่วนสุดท้ายคือ ส่วนของหน้าจอแอนดรอยด์ สามารถแสดงข้อมูล ชื่อ-นามสกุล อาการ หมายเลขห้อง การแจ้งเตือน แต่ไม่สามารถดูกล้องวงจรปิดได้

บอร์ด ESP 8266 ซึ่งเป็นตัวคอนโทรลเลอร์ที่สามารถเชื่อมต่อระบบไวไฟภายในบอร์ด และสามารถส่งข้อมูลไปยัง

เซิร์ฟเวอร์ต่าง ๆ และยังสามารถรับค่าสัญญาณจากเซ็นเซอร์ต่าง ๆ ได้อีกด้วย แสดงดังรูปที่ 2 [6-10]

IP Camera (Internet Protocol Camera) คือ กล้องวงจรปิดที่สามารถดูภาพสดผ่านเว็บเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งสามารถดูภาพได้จากระยะไกล โดยมีทั้งแบบใช้สาย (Wiring) และแบบไร้สาย (Wireless) แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 ลักษณะของ ESP 8266

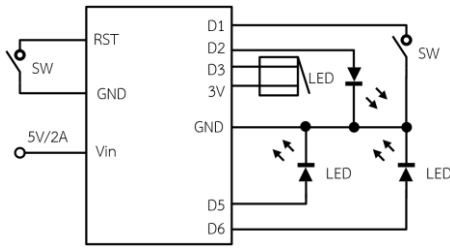


รูปที่ 3 กล้องวงจรปิด IP Camera

2.1 การออกแบบวงจร

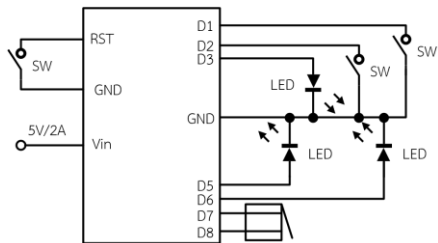
การออกแบบวงจรของเครื่องส่ง เป็นการออกแบบแบบสวิตซ์ โดยมีสวิตซ์ 2 ตัว เพื่อใช้ในการขอความช่วยเหลือฉุกเฉิน

และรีเซ็ทบอร์ดคอนโทรลเลอร์ อีกทั้งมี LED 3 หลอด แสดงสถานะการเชื่อมต่อกับระบบ IoT การกดสวิทช์เรียกพยาบาล และการตอบรับจากแพทย์หรือพยาบาลพร้อมกับเสียงเตือนจากบัสเซอร์ แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 วงจรของเครื่องส่ง

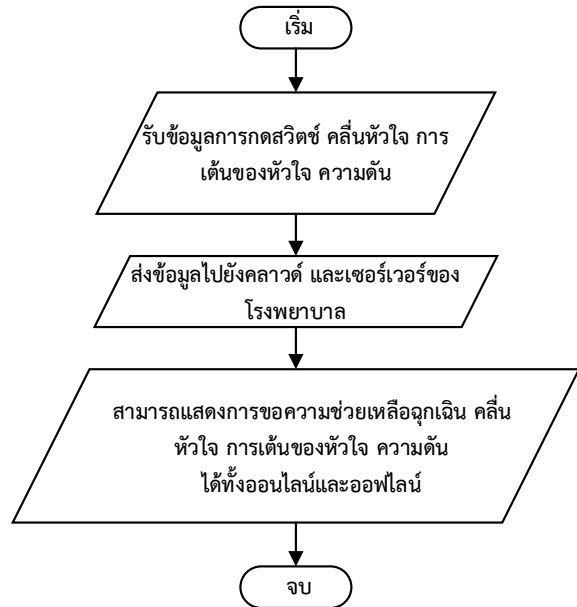
การออกแบบวงจรของเครื่องรับ เป็นการออกแบบรับการแจ้งเตือนที่บัสเซอร์พร้อมกับแสดงสถานะผ่าน LED 2 หลอด ของห้องผู้ป่วยห้องทั้ง 2 ห้อง และอีกหลอดแสดงสถานะการเชื่อมต่อกับระบบ IoT นอกจากนี้มีสวิทช์ 3 ตัว เป็นปุ่มกดรับทราบ เมื่อผู้ป่วยต้องการความช่วยเหลือทั้ง 2 ห้อง พร้อมกับเสียงเตือนจากบัสเซอร์ และรีเซ็ทบอร์ดคอนโทรลเลอร์ แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 วงจรของเครื่องรับ

2.2 แนวทางพัฒนาโปรแกรม

การพัฒนาโปรแกรม มีขั้นตอนตามรูปที่ 6 โดยเริ่มจากรับข้อมูลของผู้ป่วยเพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มความละเอียดและความไวในการรักษา เช่น คลื่นหัวใจ การเต้นของหัวใจ ความดัน และส่งข้อมูลที่ได้รับไปยังคลาวด์และเซิร์ฟเวอร์ของพยาบาล เพื่อที่จะสามารถแสดงข้อมูลที่ได้รับได้ทั้งออนไลน์และออฟไลน์ เนื่องจากการแสดงข้อมูลออนไลน์เพียงอย่างเดียวอาจเกิดความผิดพลาดได้เพราะว่าระบบอินเทอร์เน็ตยังมีจุดอับสัญญาณ



รูปที่ 6 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

3. ผลการดำเนินงาน

3.1 เครื่องเรียกพยาบาลฉุกเฉินมีเสียงชนิดไร้สายผ่านระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง

เครื่องเรียกพยาบาลฉุกเฉินมีเสียงชนิดไร้สายผ่านระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง มีด้วยกัน 2 ส่วน ได้แก่ เครื่องตัวรับและเครื่องส่ง ซึ่งในหมายเลขที่ 1 คือ เครื่องตัวรับที่ประกอบด้วย หน้าจอแอนดรอยด์ ลำดับต่อมาสวิทช์ปุ่มกดรับทราบของแพทย์ และการแสดงสถานะด้วยหลอดไฟ LED ต่อมาส่วนที่ 2 ซึ่งเป็นส่วนของเครื่องตัวส่ง ในหมายเลขที่ 2 และส่วนที่ 3 ประกอบด้วย สวิทช์ ที่ใช้ในการส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือ และการแสดงสถานะด้วยหลอดไฟ LED นอกจากนี้ ยังมีกล่องวงจรปัดที่ติดตั้งอยู่ในห้องของผู้ป่วยอีกด้วยแสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 เครื่องเรียกพยาบาลฉุกเฉินมีเสียงชนิดไร้สายผ่านระบบอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง

3.2 แอปพลิเคชัน

แอปพลิเคชันหน้าต่างแรก คือ หน้าเข้าสู่ระบบ ซึ่งเป็นการใส่ ID/Password โดย ID/Password ได้จากแอดมินเท่านั้น และสามารถแยกประเภทการใช้งานไว้อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม เมื่อใส่ ID/Password ผิด ระบบจะแจ้งเตือนให้ใส่ ID/Password ใหม่อีกครั้ง แสดงดังรูปที่ 8 เมื่อได้ทำการเข้าสู่ระบบเรียบร้อยแล้ว จะแสดงหน้าต่างแอปพลิเคชันที่ต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับ ID/Password ที่ใช้ในการเข้าสู่ระบบ ซึ่งหน้าต่างแอปพลิเคชันมีทั้งหมด 4 ส่วน ส่วนแรกเป็นของแพทย์และพยาบาลในนี้หน้าต่างแสดงข้อมูลของผู้ป่วย และปุ่มกดเข้าดูกล้องวงจรปิด อีกทั้งยังสามารถกดปุ่มกลับเพื่อไปดูห้องอื่น ๆ และปุ่มรับทราบเป็นการตอบรับสัญญาณขอความช่วยเหลือจากผู้ป่วย แสดงดังรูปที่ 9 ส่วนที่สองหน้าต่างข้อมูลของญาติผู้ป่วย ซึ่งคล้ายกับของแพทย์และพยาบาล สามารถดูเฉพาะห้องที่ผู้ป่วยเป็นญาติเท่านั้น เพื่อเป็นการป้องกันการละเมิดสิทธิของผู้อื่น แสดงดังรูปที่ 10 ส่วนที่สามหน้าต่างสำหรับแอดมิน สามารถเปลี่ยนข้อมูลเบื้องต้นได้ทันที แสดงดังรูปที่ 11 ส่วนสุดท้ายหน้าต่างจอแอนดรอยด์ที่ติดตั้งกับเครื่องตัวรับ เป็นหน้าจอที่อยู่ที่เวิร์คพยาบาล เมื่อผู้ป่วยกดเรียกขอความช่วยเหลือจะมีไฟแสดงสถานะที่ห้องของผู้ป่วยห้องนั้น ๆ พร้อมกับข้อความบนจอแอนดรอยด์ และสามารถกดดูข้อมูลของผู้ป่วยได้ แต่ไม่สามารถกดปุ่มรับทราบที่จอแอนดรอยด์ได้ ต้องกดสวิทซ์ที่ตัวเครื่องรับเท่านั้น แสดงดังรูปที่ 12

หน้าต่างแอปพลิเคชัน ในหน้านี้เป็นการเปิดกล้องวงจรปิด ที่นำลิงก์เซิร์ฟเวอร์ของกล้อง นำมาแสดงในแอปพลิเคชันที่ได้ทำการสร้างขึ้น แสดงดังรูปที่ 13



รูปที่ 8 หน้าแรกของการเข้าสู่ระบบ



(ก)



(ข)

รูปที่ 9 หน้าต่างห้องและรายชื่อผู้ป่วยสำหรับแพทย์และพยาบาล (ก) ห้องที่ 1 (ข) ห้องที่ 2



(ค)

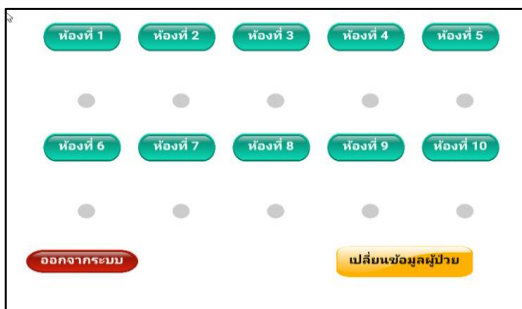


(ง)

รูปที่ 10 หน้าต่างห้องและรายชื่อผู้ป่วยสำหรับญาติ (ค) ห้องที่ 1 (ง) ห้องที่ 2



รูปที่ 11 หน้าต่างแอปพลิเคชันสำหรับแอดมิน



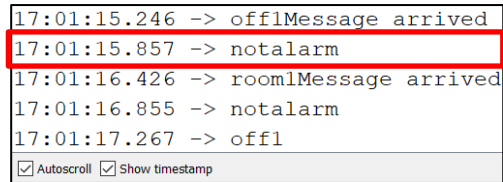
รูปที่ 12 หน้าต่างจอแอนดรอยด์ที่เครื่องตัวรับ



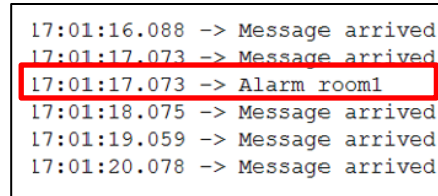
รูปที่ 13 หน้าต่างของกล้องวงจรปิด

3.3 ผลทดสอบการส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือ

การเก็บผลความเร็วของการตอบสนองสัญญาณ โดยการกดสวิทช์ที่เครื่องส่ง เพื่อส่งสัญญาณไปที่เครื่องรับ ซึ่งสามารถดูเวลาที่จอมอนิเตอร์ ด้วยโปรแกรม IDE ซึ่งแสดงเวลาตามประเทศไทย แสดงดังรูปที่ 14



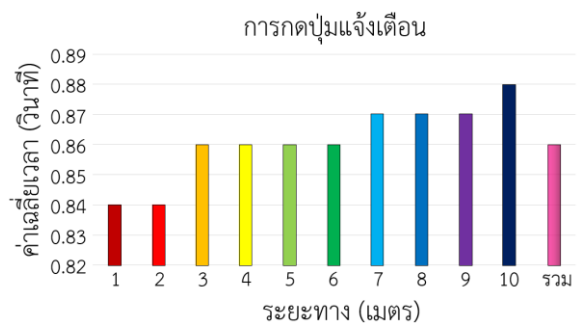
(จ)



(ข)

รูปที่ 14 เวลาการส่งสัญญาณของเครื่องส่งและเครื่องรับ (จ) เวลาการส่งสัญญาณเครื่องส่ง (ข) เวลาการรับสัญญาณเครื่องรับ

การทดสอบ ใช้ระยะทาง 1-10 เมตร จำนวน 10 ครั้ง ทุก ๆ 1 เมตร ที่ตัวเครื่องส่งและเครื่องรับห่างจากเราเตอร์ไวไฟ และหาค่าเฉลี่ยเวลาที่ได้จากการทดสอบทั้งหมด ผลจากการทดสอบ ในระยะห่าง 1-2 เมตร ได้ความเร็วเฉลี่ย 0.84 วินาที ในระยะห่าง 3-6 เมตร ความเร็วเฉลี่ย 0.86 วินาที ในระยะห่าง 7-9 เมตร ความเร็วเฉลี่ย 0.87 วินาที และในระยะ 10 เมตร ความเร็วเฉลี่ยมากที่สุดอยู่ที่ 0.88 วินาที เห็นได้ว่า เมื่อมีระยะห่างมากขึ้น ค่าเวลาเฉลี่ยในการรับ-ส่ง สัญญาณก็มากขึ้นตาม เนื่องจากสัญญาณถูกส่งไปไกลขึ้น จึงทำให้ระยะเวลาเพิ่มขึ้นตามระยะทาง ซึ่งระยะเวลาเฉลี่ยทั้งหมด อยู่ที่ 0.86 วินาที แสดงว่า ตัวเครื่องมีประสิทธิภาพในการส่งสัญญาณการแจ้งเตือนสูง เนื่องจากการส่งสัญญาณการแจ้งเตือนใช้ระยะเวลาไม่ถึง 1 วินาที โดยไม่มีความผิดพลาด แสดงดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 ผลทดสอบการแจ้งเตือน

3.4 สรุปผลการทดลอง

การทดสอบการส่งสัญญาณจากตัวส่งไปยังตัวรับ ภายในระยะ 10 เมตร สามารถส่งสัญญาณได้ แต่ระยะทางในการส่งมีผลต่อเวลาในการส่ง เมื่อมีระยะทางที่ไกลขึ้นต้องใช้เวลาในการส่งที่นานขึ้น โดยเฉลี่ยระยะเวลาในการส่งสัญญาณอยู่ที่ 0.86 วินาที ส่วนตัวเครื่อง สามารถรับส่งข้อมูลระหว่างตัวรับและตัวส่งได้ ซึ่งใช้บอร์ด ESP8266 มีหลอดไฟ LED แสดงสถานะการกดขอความช่วยเหลือ และสถานะการตอบรับของแพทย์และพยาบาล พร้อมทั้งสามารถรับการเรียกจากผู้ป่วยได้ 2 เสียงพร้อมกัน ส่วนแอปพลิเคชัน มีการแจ้งเตือนที่โทรศัพท์มือถือของแพทย์พยาบาล และญาติของผู้ป่วย

4. สรุป

เครื่องพยาบาลฉุกเฉินแบบมีเสียงชนิดไร้สายควบคุมผ่านระบบ IoT ถูกสร้างขึ้น เพื่อลดปัญหาความซับซ้อนในการติดตั้งเครื่องเรียกพยาบาล เนื่องจากตัวเครื่องส่งและตัวเครื่องรับ มีขนาดเล็กและใช้สายไฟในการติดตั้งน้อย และลดปัญหาการแจ้งเตือนเมื่อแพทย์หรือพยาบาลไม่ได้อยู่ที่หอผู้ป่วย ซึ่งเป็นการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน และสามารถแสดงหมายเลขห้อง ชื่อ อาการของผู้ป่วยได้ ด้วยเหตุนี้ จึงมีความรวดเร็วในการรักษาพยาบาลให้แก่ผู้ป่วย มีการเข้าถึงผู้ป่วยที่รวดเร็วเมื่อมีการร้องขอ สามารถดูภาพจากกล้องวงจรปิดที่อยู่ในห้องของผู้ป่วยได้ และมี ID/Password แยกส่วนการใช้งานอย่างชัดเจน ซึ่งมีทั้งหมดมี 4 ส่วน ได้แก่ 1.แพทย์และพยาบาล 2.ญาติของผู้ป่วย 3. แอดมิน 4.หน้าจอแอนดรอยด์นอกเหนือจากนี้ระยะห่างจากเราเตอร์สัญญาณไวไฟของเครื่องรับและเครื่องส่ง ในระยะทาง 10 เมตร ใช้ระยะเวลาการส่งสัญญาณการแจ้งเตือนเพียง 0.88 วินาที เวลาเฉลี่ย 0.86 วินาที และสามารถเชื่อมต่อไวไฟ 2.4 GHz ได้ โดยที่หากมีระยะห่างมากกว่า 10 เมตร ระบบยังคงส่งสัญญาณได้โดยไม่มีผลผิดพลาด แต่จะใช้เวลายาวนานกว่าที่ทดสอบในระยะ 10 เมตร เล็กน้อย ข้อบกพร่องของบทความนี้ คือ แอปพลิเคชันใช้งานได้เฉพาะระบบแอนดรอยด์เท่านั้น และตัวเครื่องส่ง-ตัวเครื่องรับ ต้องเชื่อมต่อไวไฟตลอดเวลา ถ้าระบบไวไฟล่มหรือไม่มีสัญญาณไวไฟ หรือ ตัวเครื่องอยู่ไกลจากเราเตอร์

ไวไฟมาก ๆ ส่งผลให้ตัวเครื่องนั้น ๆ ไม่สามารถใช้งานได้ และในบทความนี้ได้ทำการจำลองของเครื่องส่ง 2 เครื่องกับสวิตซ์รับทราบเพียง 2 ปุ่มเท่านั้น วิธีแก้ปัญหา คือ เปลี่ยนโปรแกรมการเขียนแอปพลิเคชันที่สามารถใช้ได้ทั้งระบบแอนดรอยด์ และ IOS เช่น Java, Thunkable, python, Flutter เป็นต้น และระบบไวไฟควรมีมากกว่า 1 ค่าย เพื่อลดปัญหาการทำงานของตัวเครื่องเมื่อระบบไวไฟล่มและตัวเครื่องควรรออยู่ใกล้สัญญาณไวไฟ นอกจากนี้ สามารถเพิ่มการแสดงผลเวลาที่กดเรียกและจำนวนครั้งที่กดเรียกของผู้ป่วย และสามารถเพิ่มสวิตซ์รับทราบกับไฟแสดงสถานะที่เครื่องตัวรับตามจำนวนเครื่องส่งที่อยู่ในห้องของผู้ป่วย

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Nawikavatan. Introduction to nurse call system. Bachelor of Engineering (Electrical Engineering), Faculty of Engineering, South-East Asia University, [Online]. Available: www.secutech.co.th/บทความ (in Thai).
- [2] F. Ongenaes, D. Myny, T. Dhaene, T. Defloor, D. Van Goubergen, P. Verhoeve, J. Decruyenaere and F. De Turck. (2014, June, 04). An ontology-based nurse call management system (oNCS) with probabilistic priority assessment. *BMC Health Services Research*. [Online]. pp. 1-27. Available: <https://www.researchgate.net/publication/49811190>
- [3] A. H. Muhammad, A. Y. Abdullahi, A. Abba, A. Isah, A. A. Yako, M. A. Baballe. (2022, May-June). The benefits of adopting a wireless nurse call system. *Global Journal of Research in Medical Sciences*. [Online]. 02(03), pp. 66-70. Available: <https://www.researchgate.net/publication/361694375>
- [4] M. H. Aref, A. A. El-Shinnawi, A. A. Sharawi, "Wireless nurse call system in medical institutions," *Biomedical Engineer in the Military Forces*, Cairo, Egypt, 2018, pp 40-45.

- [5] W. Suknaimanee and P. Pothongkham, “A wireless sound emergency nurse call,” Ph.D. Thesis, Department of Electrical Education, Faculty of Industrial Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 2011 (in Thai).
- [6] M. EV, N. Suman, B. M. C, “A Low Power, Long Range, Portable Wireless Nurse Call System” 3rd International Conference on Advances in Computing, Communication, Embedded and Secure Systems (ACCESS), pp. 1-5. 2023
- [7] R. E. Arthur, D. T. Ayitey, A. Acakpovi, A. Koomson, I. E. B. Jnr, “Innovative Nurse call System For Patients in Healthcare Centres ” 2019 International Conference on Computer, Data Science and Applications (ICDSA), 2019
- [8] P. G. Septian, F. Arinie, H. Darmono, “Rancang bangun smart nurse call (Pemanggil perawat) berbasis android,” Jurnal JARTEL ISSN (PRINT):2407-0807, ISSN(ONLINE):2654-6531, vol. 8, no. 1, pp. 128-134. 2019
- [9] T. Thanawongporn and P. Phanthong, “Ceiling survey car via smart phone,” Ph.D. Thesis, Bachelor of Engineering, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University, 2017 (in Thai).
- [10] A. S. Ibrahim, A. M. Abbas, A. M. A. Hassan, W. M. F. ABDEL-REHIM, A. Emam, AND S. Mohsen. (2023, June). Design and Implementation of a Pilot Model for IoT Smart Home Networks. *IEEE Access*. [Online]. vol. 11, pp. 59701-59727. Available: <https://www.researchgate.net/publication/371238135>
- [11] P. P Morita, K. Sundar Sahu and A. Oetomo. (2023, April, 13). Health monitoring using smart home technologies: scoping review. *JMIR MHEALTH AND UHEALTH*. [Online]. vol. 11, pp. 1-11. Available: <https://www.researchgate.net/publication/369997599>
- [12] J. Saithasao, M. Suwankhiri and S. Laosuwan, “Control and monitoring for split type air conditioning system,” Ph.D. Thesis, Bachelor of Engineering, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University, 2017 (in Thai).