



วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร

สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ปีที่ 20 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2568

PHRANAKHON RAJABHAT
RESEARCH JOURNAL

Science and Technology



วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)

ปีที่ 20 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2568

Vol. 20 No.2 July - December 2025

เจ้าของ

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ISSN : 3027-821X (Online)

วัตถุประสงค์

เพื่อเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่ผลงานวิชาการและงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ สาขา คณิตศาสตร์ สถิติ ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา ชีวเคมี จุลชีววิทยา เทคโนโลยีชีวภาพ เกษตรศาสตร์ วิทยาศาสตร์การอาหาร คหกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ทางทะเล วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์สุขภาพ การพยาบาล การสาธารณสุข คอมพิวเตอร์ วัสดุศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรม สถาปัตยกรรม หรือวิทยาศาสตร์ประยุกต์

ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.เป็รื่อง กิจรัตน์ภร
รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพัชร์ เพ็ชรอาภรณ์
อาจารย์ ดร.วฤชา ประจักษ์ศักดิ์
รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภลักษณ์ ใจเรือง
รองศาสตราจารย์ ดร.อนันตกุล อินทรผดุง

อธิการบดี
รองอธิการบดี
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
คณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฬาลักษณ์ ชานุกูล

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์
ศาสตราจารย์ ดร.เรณูมาศ มาอุ่น
ศาสตราจารย์ ดร.สัณยฤทธิ์ สว่างวรรณ
ศาสตราจารย์ ดร.พวงเพ็ญ ศิริรักษ์
ศาสตราจารย์ ดร.ชิตชนก เหลือสินทรัพย์
ศาสตราจารย์ ดร.พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ
รองศาสตราจารย์ ดร.โอการ วนิชชาชีวะ
รองศาสตราจารย์ ดร.มนทลี ศาสนนันทน์
รองศาสตราจารย์ ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทบรรณาธิการ

วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ปีที่ ๒๐ ฉบับที่ ๒ กรกฎาคม - ธันวาคม ๒๕๖๘ เป็นวารสารวิชาการระดับชาติที่อยู่ในฐานข้อมูลของ TCI ได้รับรวบรวมบทความเพื่อเผยแพร่แลกเปลี่ยนความรู้ทางวิชาการและการวิจัยของคณาจารย์ นักศึกษาและผู้ทรงคุณวุฒิทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย

เนื้อหาสาระในวารสารฉบับนี้ ได้นำเสนอผลงานวิจัยที่สะท้อนถึงความหลากหลาย โดยบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ทั้ง ๔ เรื่อง ครอบคลุมองค์ความรู้ในหลายสาขาที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาประเทศในมิติต่าง ๆ ได้แก่ ด้านวิทยาศาสตร์อาหารและโภชนาการ ด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีขั้นสูง รวมถึงงานวิจัยเชิงบูรณาการ ควบคู่กับการสร้างพื้นที่การเรียนรู้ของชุมชนอย่างมีส่วนร่วม ซึ่งสอดคล้องกับบทบาทของมหาวิทยาลัยราชภัฏในการเป็นแหล่งผลิตและถ่ายทอดองค์ความรู้เพื่อท้องถิ่น ทุกเรื่องล้วนมีความน่าสนใจและเป็นประโยชน์เหมาะสมแก่ผู้สนใจ

ทุกบทความในวารสารได้ผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยที่มีความเชี่ยวชาญในเรื่องนั้น ๆ เป็นที่เรียบร้อยแล้ว กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าบทความวิจัยในฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อคณาจารย์ นักวิจัย นักศึกษา ตลอดจนผู้สนใจทั่วไป และสามารถนำไปต่อยอดเชิงวิชาการและการประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติ อันจะนำไปสู่การพัฒนาสังคม เศรษฐกิจ และคุณภาพชีวิตอย่างยั่งยืนต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฬาลักษณ์ ชาญกุล
บรรณาธิการวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ (Readers)

ประจำวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)

รองศาสตราจารย์ ดร.อนุกุล พลศิริ
รองศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธนา สมุทรศรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภัยนันท์ จิตรโรจนรักษ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิริติษ สายพัทลุง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาศิรา สนธิธรรม
ผู้ศาสตราจารย์ ดร.เพชร นันทิวิจิตรชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิชา เบญจพร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพกานท์ รักษาสุทธิพันธ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาสุระ อังกุลานนท์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบุรณ์ สุขพรรณเจริญ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอง จันทรประสาทสุข
อาจารย์ ดร.นิพิฐพนธ์ สนิทเหลือ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
สถาบันเทคโนโลยีจิตรลดา
มหาวิทยาลัยนเรศวร
มหาวิทยาลัยรังสิต
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
มหาวิทยาลัยบูรพา
สถาบันสารสนเทศเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ

สารบัญ

	หน้า
บทบรรณาธิการ	D
รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ (Readers) ประจำวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)	E
สารบัญ	F
บทความวิจัย	
ผลของการเสริมโซ่ผ้าต่อคุณภาพของขนมอินทนิล ขวัญฤทัย สุนทรธรรมรัตน์*	1
DESIGN AND DEVELOPMENT OF AGRICULTURAL PRODUCT TRACEABILITY TO SUPPORT THE AGRICULTURAL SAFETY Rataphol Sangkhasuk* and Pornthep Anussornnitisarn	16
การพัฒนาหุ่นยนต์ตรวจสอบสภาพใบกึ่งหั่นลมผลิตไฟฟ้า นภนต์ ศรีคำภา* และ พงศ์ธร พรหมบุตร	32
แนวทางการออกแบบศูนย์การเรียนรู้ของชุมชนกลุ่มจักสานผักตบชวา บ้านคลองนกกระทุง เพื่อส่งเสริมแหล่งการเรียนรู้ทางภูมิปัญญาท้องถิ่น พิมพ์พรรณ รักดีสุวรรณ* และ ศาสตรา ศรีหาภาค	49
ภาคผนวก	64
รายละเอียดการเตรียมบทความ	65
ขั้นตอนการพิจารณาบทความ	69
รูปแบบบทความเพื่อส่งตีพิมพ์	70
จริยธรรมในการตีพิมพ์	74

ผลของการเสริมไข่ฝ้ายต่อคุณภาพของขนมอินทนิล EFFECT OF WOLFFIA (*Wolffia globosa*) SUPPLEMENTATION ON THE QUALITY OF INTANIN DESSERT

ขวัญฤทัย สุนทรธรรมรัตน์*

สาขาวิชาการประกอบและบริการอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพมหานคร 10600

Khwanruethai Soontorntammarath*

Cookery and Food Service Program, Faculty of Engineering and Industrial Technology,
Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok, 10600

*E-mail: Khwanlutai@gmail.com

Received: 03-02-2025

Revised: 25-07-2025

Accepted: 25-07-2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณไข่ฝ้ายที่เหมาะสมในขนมอินทนิล การยอมรับของผู้บริโภคและคุณภาพของขนมอินทนิลเสริมไข่ฝ้าย โดยการเสริมไข่ฝ้ายร้อยละ 15 25 และ 35 ของน้ำหนักส่วนผสมแป้ง พบว่าขนมอินทนิลเสริมไข่ฝ้ายร้อยละ 25 ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสในด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวมจากผู้ทดสอบมากที่สุด และผู้บริโภคร้อยละ 87 ให้การยอมรับผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับชอบมาก จากนั้นศึกษาคุณภาพทางเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ พบว่าขนมอินทนิลเสริมไข่ฝ้ายมีปริมาณโปรตีนและใยอาหารสูงกว่าสูตรต้นแบบ (มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 0.75 และ 0.08 กรัม/100 กรัม และใยอาหารเท่ากับ 0.89 และ 0.44 กรัม/100 กรัม ตามลำดับ) มีพลังงานต่ำกว่าสูตรต้นแบบ (86.06 และ 88.37 กิโลแคลอรี/100 กรัม ตามลำดับ) นอกจากนี้ยังพบว่าขนมอินทนิลเสริมไข่ฝ้ายมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสูตรต้นแบบ (ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 56.53 และ 1.54 $\mu\text{g GAE/g}$ และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ 113.12 และ 9.02 $\mu\text{g TE/g}$ ตามลำดับ) เมื่อวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ พบว่าขนมอินทนิลเสริมไข่ฝ้ายมีค่าสี L^* a^* และ b^* เท่ากับ 21.43-8.66 และ +10.42 ตามลำดับ ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมอินทนิลเสริมไข่ฝ้าย ได้แก่ ค่าความแข็งค่าความยืดหยุ่น ค่าการเกาะติดกันของผลิตภัณฑ์ ค่าการเคี้ยว และค่าความเหนียว เท่ากับ 75.98 (g force) 60.22 (%) 36.44 (%) 16.72 (g force) และ 27.71 (g force) ตามลำดับ และผลการศึกษาคูณภาพทางจุลินทรีย์ของขนมอินทนิลเสริมไข่ฝ้าย พบว่ามีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนขนมไทย (มผช.1/2552)

คำสำคัญ: ไข่ฝ้าย ขนมอินทนิล โปรตีน สารต้านอนุมูลอิสระ

ABSTRACT

This research aims to study the appropriate amount of Wolffia (*Wolffia globosa*), consumer acceptance, and product quality of Intanin dessert with Wolffia (*Wolffia globosa*) by adding Wolffia 15, 25, and 35% weight by flour weight. The results demonstrated that 25% of Wolffia supplement in Intanin dessert has the highest scores, including color, odor, texture, taste, and overall acceptance, and 87% of the consumers were highly satisfied and accepted this product formula. The chemical, physical, and microbiological properties showed that Intanin dessert with Wolffia has higher protein (0.75 and 0.08g per 100g) and fiber (0.89 and 0.44g per 100g) than control, while the energy is lower (86.06 and 88.37 kcal per 100g) than the control. In addition, the phenolic content (56.53 and 1.54 μg GAE/g), and antioxidant activity (113.12 and 9.02 μg TE/g) are also higher than control, respectively. The colorimetry of Intanin dessert with Wolffia was L^* 21.43, a^* -8.66, and b^* 10.42, respectively. The texture of Intanin dessert with Wolffia included hardness, springiness, cohesiveness, chewiness, and gumminess were 75.98 g force, 60.22%, 36.44%, 16.72 g force, and 27.71 g force, respectively. The Microbiological quality results comply with Thai Community Product standards.

Keywords: Wolffia, Intanin dessert, Protein, Antioxidant

บทนำ

ไข่ผ่า ไข่ผ่า ไข่ผ่า ชื่อสามัญ : Wolffia, Water meal ชื่อวิทยาศาสตร์: *Wolffia arrhiza* (L.) Wimm ในประเทศไทยพบไข่ผ่าอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ *Wolffia arrhiza* (L.) Wimm. และ *Wolffia globosa* (L.) Wimm. เป็นพืชดอกที่มีขนาดเล็กที่สุดในโลก มีรูปร่างกลมพองสีเขียว ลอยอยู่บนผิวน้ำ จัดเป็นพืชล้มลุกใบเลี้ยงเดี่ยว ไข่ผ่าสายพันธุ์ *W. arrhiza* จะมีขนาดใหญ่กว่า ผิวด้านบนนั้นค่อนข้างจะมีสีเขียวเข้ม ลำต้นมีลักษณะทึบแสง ส่วน *W. globosa* มีขนาดเล็ก ลำต้นโปร่งแสง และมีรูปทรงกระบอกมากกว่า *W. arrhiza* พบในบริเวณแหล่งน้ำนิ่งธรรมชาติโดยเฉพาะทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือของประเทศไทย (Esan Information @Ubon Ratchathani, 2024) “ไข่ผ่า” เป็นอาหารแห่งอนาคตเพราะมีต้นทุนการผลิตต่ำมีโปรตีนสูง ร้อยละ 20-40 มีสารต้านอนุมูลอิสระ มีสารอาหารประเภทเบต้าแคโรทีน สารประกอบฟีนอลิกมีคุณสมบัติในการต้านออกซิเดชัน ด้านการตายของเซลล์ ด้านสารก่อมะเร็ง (Technology Chaoban Online, 2023) “ไข่ผ่า” เป็นหนึ่งในอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง รวมถึงเป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกที่สำคัญร้อยละ 20-30 ของน้ำหนักแห้ง มีปริมาณแป้งร้อยละ 10-20 ไขมันร้อยละ 1-5 และใยอาหารร้อยละ 25 แม้ว่าปริมาณไขมันของไข่ผำค่อนข้างน้อย แต่สัดส่วนของปริมาณไขมันไม่อิ่มตัวที่จำเป็นอย่างโอเมก้า 3 มีปริมาณสูงถึงร้อยละ 60 ของปริมาณไขมัน ยิ่งไปกว่านั้นยังมีสารพฤกษเคมี (Phytonutrients) หลายชนิด เช่น ลูทีน และซีแซนทีน ทั้งหมดนี้จึงทำให้ไข่ผำเป็น Superfood ที่น่าสนใจ ปัจจุบันนิยมนำมาประกอบอาหารและแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารรูปแบบต่าง ๆ มากมาย (Unwet, 2022)

ขนมอินทนิล หรือ หยกสด หมายถึง “อินทนิล” หยกสดมีวิธีทำเหมือนกันกับอินทนิล เพียงแต่ใช้ธรรมชาติต่างจากหยกสดใช้สีเขียวจากใบเตย ส่วนอินทนิลได้สีม่วงจากดอกอัญชันปั่นด้วยน้ำมะนาว อินทนิลมีจุดเด่นตรงเนื้อขนม

นุ่มหนึบลิ้นคอ กินกับน้ำกะทิหวานเค็ม หอมกลิ่นอบควันเทียนอันเป็นเอกลักษณ์ (Plienboonlert, 2021) ขนมอินทนิลจัดเป็นขนมไทยประเภทน้ำทำจากแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งในปัจจุบันการทำขนมอินทนิลมักพบในรูปแบบสีเขียวมากกว่าเนื่องจากวัตถุดิบจำพวกใบเตยหาง่ายและมีจำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาด ตลอดจนในการใช้ใบเตยทำขนมอินทนิลจะได้กลิ่นหอมของใบเตยมากกว่า

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้คิดค้นพัฒนาขนมไทยเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพจากขนมอินทนิล ซึ่งเป็นขนมไทยที่หารับประทานได้ยากเนื่องจากเป็นขนมไทยโบราณไม่เป็นที่แพร่หลาย อีกทั้งปัจจุบันไม่ค่อยนิยมผลิตและจัดจำหน่าย โดยทำการทดลองเสริมคุณค่าทางโภชนาการ สารอาหารโปรตีน และสารต้านอนุมูลอิสระจากพืชน้ำ ดังเช่น “ไข่ม้วน” เพื่อเป็นทางเลือกใหม่ให้กับผู้บริโภคขนมไทย เหมาะสมสามารถบริโภคเป็นอาหารว่างสำหรับทุกเพศทุกวัย ตลอดจนเป็นการอนุรักษ์ขนมไทยที่จางหายไปจากอดีตให้กลับมาแพร่หลายได้อีกด้วย

วิธีการ

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาสูตรขนมอินทนิลต้นแบบที่เหมาะสม

ทำการคัดเลือกสูตรต้นแบบจากการรวบรวมค้นคว้าจากแหล่งต่าง ๆ จำนวน 3 สูตร (ตารางที่ 1) จากนั้นนำขนมอินทนิลที่ได้มาทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ลักษณะปรากฏในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยผู้ทดสอบเป็นผู้เชี่ยวชาญทางด้านการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส จำนวน 5 คน วางแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) โดยการให้คะแนนแบบ 9–Point hedonic scale เพื่อคัดเลือกสูตรต้นแบบที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด

ตารางที่ 1 สูตรต้นแบบของขนมอินทนิล 3 สูตร

ส่วนผสม	น้ำหนัก (กรัม)		
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
ส่วนผสมแป้ง			
1. แป้งมันสำปะหลัง	100	120	96
2. แป้งท้าวยายม่อม	-	30	-
3. แป้งถั่วเขียว	-	-	56
4. น้ำตาลทรายขาว	90	-	50
5. น้ำใบเตย	500	300	315
ส่วนผสมน้ำเชื่อมแซ่			
1. น้ำตาลทรายขาว	45	125	45
2. น้ำ	300	250	300
3. ใบเตย	10	10	10

ส่วนผสม	น้ำหนัก (กรัม)		
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
ส่วนผสมน้ำกะทิ			
1. กะทิ	250	175	160
2. น้ำ	400	75	-
3. น้ำตาลทรายขาว	130	50	-
4. เกลือป่น	1	-	3
5. ใบเตย	10	10	10

หมายเหตุ: สูตรที่ 1 (The Koi, 2022); สูตรที่ 2 ดัดแปลงจาก (Itthikhanesorn, 2022); สูตรที่ 3 ดัดแปลงจาก (kaethykitchen, 2022)

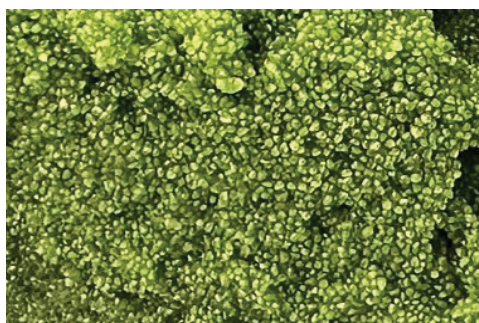
วิธีทำ

1) เตรียมส่วนผสมน้ำเชื่อมแช่ตัวขนม โดยผสมน้ำตาลทรายขาว น้ำ และใบเตย จากนั้นนำส่วนผสมต้มจนกระทั่งส่วนผสมละลายเป็นน้ำเชื่อมใส นำไปแช่เย็น พักไว้ (ทำเหมือนกันทั้ง 3 สูตร)

2) เตรียมส่วนผสมน้ำกะทิโดยผสมกะทิ น้ำ น้ำตาลทรายขาว เกลือป่น และใบเตย (สูตรที่ 1) ผสมกะทิ น้ำ น้ำตาลทรายขาว และใบเตย (สูตรที่ 2) ผสมกะทิ เกลือป่น และใบเตย (สูตรที่ 3) จากนั้นนำส่วนผสมต้มจนกระทั่งส่วนผสมละลาย พอเดือด ปิดไฟ พักไว้

3) เตรียมส่วนผสมแป้ง โดยนำแป้งมันสำปะหลัง และน้ำตาลทรายขาวผสมกับน้ำใบเตยให้เข้ากัน (สูตรที่ 1) นำแป้งมันสำปะหลัง แป้งท้าวยายม่อม และน้ำตาลทรายขาวผสมกับน้ำใบเตยให้เข้ากัน (สูตรที่ 2) นำแป้งมันสำปะหลัง แป้งถั่วเขียว และน้ำตาลทรายขาวผสมกับน้ำใบเตยให้เข้ากัน (สูตรที่ 3) จากนั้นนำไปกวนด้วยไฟอ่อนจนแป้งสุกมีลักษณะสีใสและข้นหนืด ปิดไฟพักไว้ พอลุ้นตัวเทใส่ถาดสำหรับบีบ

4) นำส่วนผสมแป้งที่เตรียมไว้ในถาดบีบ บีบตัวขนมออก ใช้กรรไกรตัดแบ่งแบ่งขนาดตามต้องการลงในน้ำเชื่อมสำหรับแช่ที่เตรียมไว้ ตักขนมและน้ำเชื่อมใส่ลงในถ้วยจัดเสิร์ฟ รับประทานพร้อมน้ำกะทิ



ภาพที่ 1 ไข่ผ่าสายพันธุ์ *Wolffia globosa* (L.) Wimm

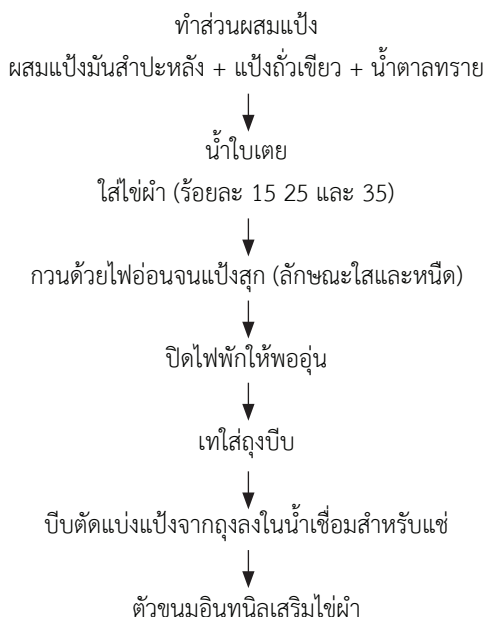
2. ศึกษาปริมาณไข่ฝ่ำที่เหมาะสมในขนมอินทนิล

นำสูตรขนมอินทนิลที่ได้รับการคัดเลือกจากขั้นที่ 1 ทำการเสริมไข่ฝ่ำในส่วนผสมแบ่ง ไข่ฝ่ำที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นสายพันธุ์ *Wolffia globosa* (L.) Wimm. จากอำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ดังภาพที่ 1 ผ่านขั้นตอนการเตรียมไข่ฝ่ำสด ล้างทำความสะอาด พักให้สะเด็ดน้ำ บีบน้ำออกโดยใช้ผ้าขาวบาง ทำซ้ำ 2-3 ครั้ง นำไข่ฝ่ำที่เตรียมไว้ใส่ในขั้นตอนการทำขนมอินทนิล โดยปริมาณไข่ฝ่ำ 3 ระดับ คือ ร้อยละ 15 25 และ 35 โดยน้ำหนักส่วนผสมแบ่ง ทำตามขั้นตอนการขึ้นรูปของขนมอินทนิล ดังภาพที่ 2 (ขั้นตอนการผลิตขนมอินทนิลเสริมไข่ฝ่ำ) จากนั้นนำขนมอินทนิลเสริมไข่ฝ่ำมาทำการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ลักษณะปรากฏในด้าน สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม โดยผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน วางแผนการทดลองแบบสุ่มภายในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One – Way ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan’s New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยการให้คะแนนแบบ 9-Point hedonic scale (9 หมายถึง ชอบมากที่สุด และ 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด) เพื่อคัดเลือกสูตรที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด

ตารางที่ 2 ปริมาณไข่ฝ่ำที่ใช้เสริมในขนมอินทนิล

ส่วนผสม (กรัม)	ปริมาณไข่ฝ่ำที่ใช้เสริมในขนมอินทนิล		
	สูตรที่ 1 (ร้อยละ 15)	สูตรที่ 2 (ร้อยละ 15)	สูตรที่ 3 (ร้อยละ 35)
ส่วนผสมแบ่ง			
1. ไข่ฝ่ำ	77.55	129.25	180.95
2. แป้งมันสำปะหลัง	96	96	96
3. แป้งถั่วเขียว	56	56	56
4. น้ำตาลทรายขาว	50	50	50
5. น้ำใบเตย	315	315	315

หมายเหตุ: ส่วนผสมคิดเป็นร้อยละน้ำหนักของส่วนผสมแบ่งทั้งหมด; สูตรที่ 1 หมายถึงเสริมไข่ฝ่ำในส่วนผสมแบ่ง ร้อยละ 15, สูตรที่ 2 หมายถึงเสริมไข่ฝ่ำในส่วนผสมแบ่ง ร้อยละ 25 และสูตรที่ 3 หมายถึงเสริมไข่ฝ่ำในส่วนผสมแบ่ง ร้อยละ 35



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการผลิตขนมอินทนิลเสริมไข่ผ้า (ทำตามขั้นตอนของขนมอินทนิลสูตรต้นแบบ)

3. ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค

การทดสอบทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคที่มีต่อขนมอินทนิลเสริมไข่ผ้า โดยทำการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสของขนมอินทนิลเสริมไข่ผ้า ด้วยการประเมินคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ 5 ด้าน ได้แก่ ลักษณะปรากฏในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยผู้ทดสอบการยอมรับในขนมอินทนิลเสริมไข่ผ้าเป็นกลุ่มตัวอย่างผู้บริโภคทั่วไป จำนวน 100 คน ด้วยวิธีการสุ่มโดยบังเอิญ (Accidental sampling) ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบชิมทางประสาทสัมผัส บรรจุในกระปุกพลาสติกใสบรรจุในกระปุกพลาสติกใส PET (Polyethylene terephthalate) ปิดฝาควบคุมความสะอาด มีน้ำหนัก 25-30 กรัม/ตัวอย่างชิม ทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยการให้คะแนนแบบ 9-Point Hedonic scale ซึ่งมีระดับคะแนน 1 - 9 (1 = ไม่ชอบมากที่สุด 9 = ชอบมากที่สุด)

4. ศึกษาคุณภาพของขนมอินทนิลเสริมไข่ผ้า

4.1 วิเคราะห์เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของขนมอินทนิลสูตรต้นแบบและขนมอินทนิลเสริมไข่ผ้า โดยนำขนมอินทนิลสูตรต้นแบบและขนมอินทนิลเสริมไข่ผ้าที่ได้รับความนิยมสูงสุดมาวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีเพื่อหาคุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ วิเคราะห์พลังงาน โปรตีน ใยอาหาร คาร์โบไฮเดรต ไขมัน ความชื้น และเถ้า ด้วยวิธีการ ดังนี้ Energy (kcal) และ Total Carbohydrate (g) ด้วยวิธีการ By calculation, Protein (g), Dietary Fiber (g), Total Fat (g), Moisture (g) และ Ash (g) ด้วยวิธีการ AOAC (2023)

4.2 วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ

4.2.1 วิเคราะห์ความสามารถการต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH (DPPH radical scavenging activity) โดยการวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เปรียบเทียบสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน Trolox ในขนมอินทนิลสูตรต้นแบบเปรียบเทียบกับขนมอินทนิลเสริมไข่ผ่า วิธีการวิเคราะห์ ใช้วิธีที่พัฒนาโดยห้องปฏิบัติการ (รหัส FSH: Aox01) ดัดแปลงจาก Amsterdam et al. และคณะ

4.2.2 วิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ด้วยวิธีทาง Spectrophotometry (Total phenolic compound quantification by colorimetric assay) โดยการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic compounds; TPC) ในขนมอินทนิลสูตรต้นแบบเปรียบเทียบกับขนมอินทนิลเสริมไข่ผ่า วิธีการวิเคราะห์ ใช้วิธีที่พัฒนาโดยห้องปฏิบัติการ (รหัส FSH: Tpc01) ดัดแปลงจาก Bozin และคณะ (2008)

4.3 วิเคราะห์เปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพของขนมอินทนิลสูตรต้นแบบและขนมอินทนิลเสริมไข่ผ่า

4.3.1 การวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสี Color ด้วยวิธี Colorimeter Operation Manual for Chroma Meter (HunterLab model ColorFlex EZ, Hunter Associates Laboratory, Inc., USA.) การวัดสีตัวขนมอินทนิลสูตรต้นแบบ และอินทนิลเสริมไข่ผ่า โดยนำตัวอย่าง 1 ชิ้น ทำการวัด 3 ซ้ำ แล้วหาค่าเฉลี่ย การวัดค่าสี L^* (ค่าความสว่างถ้ามีมากขึ้นแสดงว่ามีความสว่างมากขึ้น) ค่า a^* (ค่าบวก หมายถึง เฉดสีแดง และค่าเป็นลบ หมายถึง เฉดสีเขียว) และค่า b^* (ค่าเป็นบวก หมายถึง เฉดสีเหลือง และค่าเป็นลบ หมายถึง เฉดสีน้ำเงิน)

4.3.2 การวัดค่าเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส Texture quality ด้วยวิธี Operation Manual for TAXT plus Texture Analyzer (Stable Micro System Ltd. , U.K.) โดยพิจารณาความแข็ง (Hardness) ค่าการเกาะติดกันของผลิตภัณฑ์ (Cohesiveness) ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) ค่าความเหนียว (Gumminess) และค่าการเคี้ยว (Chewiness) การวัดเนื้อสัมผัสของขนมอินทนิลสูตรต้นแบบ และขนมอินทนิลเสริมไข่ผ่า โดยนำตัวอย่าง 1 ชิ้น มาวัดด้วยเครื่อง Texture Analyzer ทำการวัด 3 ซ้ำ แล้วหาค่าเฉลี่ย

4.4 การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ของขนมอินทนิลเสริมไข่ผ่า นำขนมอินทนิลเสริมไข่ผ่าสูตรที่ผู้บริโภคให้การยอมรับ บรรจุในบรรจุภัณฑ์ถุงพลาสติกแบบซิปล็อค นำตัวอย่างตรวจปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด Aerobic plate count (Total plate count) ด้วยวิธี FDA BAM online, 2001 chapter 3 เอสเชอริเชีย โคไล (MPN *Escherichia coli*) ด้วยวิธี FDA BAM online, 2020 chapter 4 ยีสต์ และรา (Yeast and Mold) ด้วยวิธี BAM online, 2001 chapter 18 ซาลโมเนลลา (*Salmonella* spp.) ด้วยวิธี ISO 6579-1 : 2017 สตาฟิโลค็อกคัส ออเรียส (*Staphylococcus aureus*) ด้วยวิธี BAM online, 2016 chapter 12 บาซิลลัส ซีเรียส (*Bacillus cereus*) ด้วยวิธี BAM online, 2020 chapter 14 โดยเปรียบเทียบมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ขนมไทย (มผช.1/2552)

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการศึกษาสูตรขนมอินทนิลต้นแบบที่เหมาะสม

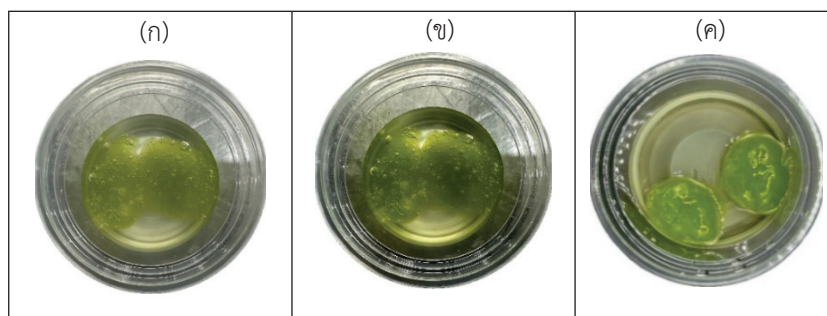
ตารางที่ 3 ผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมอินทนิลสูตรต้นแบบ 3 สูตร

n=5

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	ขนมอินทนิลสูตรต้นแบบ 3 สูตร		
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
ลักษณะปรากฏ (สี)	6.40 ^b ±0.55	6.60 ^b ±0.55	8.00 ^a ±1.00
กลิ่น	6.60 ^b ±0.55	7.80 ^b ±1.30	8.60 ^a ±0.55
เนื้อสัมผัส	6.40 ^b ±0.55	6.40 ^b ±0.55	8.20 ^a ±0.45
รสชาติ	7.00 ^b ±1.00	7.40 ^b ±0.89	8.40 ^a ±0.89
ความชอบโดยรวม	6.40 ^b ±0.55	7.20 ^b ±1.10	8.60 ^a ±0.55

หมายเหตุ: ^a ^b ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรยกกำลังต่างกันในแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 3 ผลการศึกษาสูตรขนมอินทนิลต้นแบบ จำนวน 3 สูตร จากผู้เชี่ยวชาญทางด้านการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า สูตรที่ 3 มีคะแนนความชอบเฉลี่ยมากที่สุดในทุกคุณลักษณะ อยู่ในระดับชอบมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทั้ง 3 สูตร พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นจึงเลือกขนมอินทนิลสูตรที่ 3 มาศึกษาหาปริมาณไขมันในขนมอินทนิลต่อไป เนื่องจากสูตรที่ 3 มีส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลังและแป้งถั่วเขียว จึงให้เนื้อสัมผัสที่นุ่ม เนียน มีลักษณะใสส่งผลให้เกิดแตกต่างกับ สูตรที่ 1 และ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สูตรที่ 1 มีส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลังเพียงชนิด ส่วนสูตรที่ 2 นั้น มีส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลัง และแป้งท้าวยายม่อม ซึ่งคุณสมบัติของแป้ง 2 ชนิดนี้มีความที่ใกล้เคียงกัน สอดคล้องกับ Sisang (2020) ได้ศึกษาคุณสมบัติของแป้งที่มีผลต่อการแปรรูปผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำ ได้จัดชนิดของแป้งมันสำปะหลัง และแป้งท้าวยายม่อม อยู่ในชนิดแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสน้อยเช่นเดียวกัน ซึ่งแบ่งตามองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพ ทำให้ลักษณะของเนื้อสัมผัสของสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 มีความใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ 3 ซึ่งมีแป้งถั่วเขียวเป็นส่วนผสม



ภาพที่ 3 ขนมนินทิล (ก) ขนมนินทิลสูตรที่ 1 (ข) ขนมนินทิลสูตรที่ 2 (ค) ขนมนินทิลสูตรที่ 3

2. ผลการศึกษาปริมาณไข่ฝ้ายที่เหมาะสมในขนมนินทิล

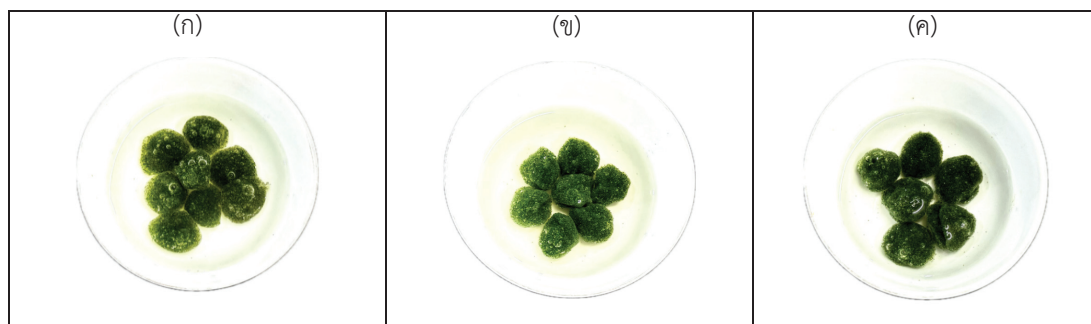
ตารางที่ 4 ผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมนินทิลเสริมไข่ฝ้าย 3 ระดับ

n=30

คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส	ปริมาณไข่ฝ้ายเสริมลงในผลิตภัณฑ์ขนมนินทิล		
	ร้อยละ 15	ร้อยละ 25	ร้อยละ 35
ลักษณะปรากฏ (สี)	7.30 ^{ns} ±0.47	8.40 ^{ns} ±0.56	6.40 ^{ns} ±0.67
กลิ่น	7.33 ^{ab} ±0.55	8.23 ^a ±0.57	6.23 ^b ±0.68
เนื้อสัมผัส	7.40 ^{ab} ±0.56	8.47 ^a ±0.51	6.57 ^b ±0.50
รสชาติ	7.50 ^{ab} ±0.57	8.50 ^a ±0.51	6.67 ^b ±0.48
ความชอบโดยรวม	7.57 ^{ab} ±0.57	8.48 ^a ±0.50	6.70 ^b ±0.47

หมายเหตุ: ^{a,b} ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรยกกำลังต่างกันในแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

จากตารางที่ 4 นำขนมนินทิลต้นแบบ สูตรที่ 3 มาศึกษาปริมาณไข่ฝ้ายในขนมนินทิลที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 15 25 และ 35 โดยให้นักส่วนผสมแบ่ง ทำการประเมินคุณภาพประสาทสัมผัส ลักษณะปรากฏในด้าน สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม พบว่า ผู้ทดสอบชิมที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน ให้การยอมรับ ขนมนินทิลเสริมไข่ฝ้ายร้อยละ 25 มีคะแนนความชอบเฉลี่ยมากที่สุดในทุกคุณลักษณะอยู่ในระดับชอบมาก โดยที่ คะแนนความชอบของขนมนินทิลเสริมไข่ฝ้ายในลักษณะปรากฏในด้านสี ร้อยละ 15 25 และ 35 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 4 ขนมหินทิลเสริมไข่ผำปริมาณที่ต่างกัน (ก) เสริมไข่ผำร้อยละ 15 (ข) เสริมไข่ผำร้อยละ 25 (ค) เสริมไข่ผำร้อยละ 35

3. ผลการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค

ผลการยอมรับของผู้บริโภค จำนวน 100 คน ที่มีต่อขนมหินทิลเสริมไข่ผำร้อยละ 25 พบว่า ผู้บริโภคทั่วไปร้อยละ 87 ให้การยอมรับผลิตภัณฑ์ ผลการประเมินคุณภาพประสาทสัมผัสลักษณะปรากฏในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม เท่ากับ 7.31 ± 0.61 7.21 ± 0.55 8.06 ± 0.69 8.15 ± 0.54 และ 8.23 ± 0.58 ตามลำดับ พบว่าให้คะแนนความชอบในด้านเนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม โดยมีความชอบอยู่ในระดับชอบมาก คะแนนความชอบเท่ากับ 8.06 8.15 และ 8.32 ตามลำดับ สอดคล้องกับ Thongkham (2019) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในไข่ผำแห้งและการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร พบว่า การศึกษาการยอมรับผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็กเสริมไข่ผำแบบสอบถามออนไลน์ พบว่าผู้บริโภคร้อยละ 80 สนใจซื้อผลิตภัณฑ์และให้คะแนนความชอบ 8.21 อยู่ในระดับชอบมาก

4. ผลการศึกษาคุณภาพของขนมหินทิลเสริมไข่ผำ

ตารางที่ 6 ผลการศึกษาค่าประกอบทางเคมีของขนมหินทิลสูตรต้นแบบและขนมหินทิลเสริมไข่ผำร้อยละ 25

องค์ประกอบทางเคมี ต่อ 100 กรัม	ขนมหินทิล สูตรต้นแบบ	ขนมหินทิล เสริมไข่ผำร้อยละ 25
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	88.37	86.06
โปรตีน (กรัม)	0.08	0.75
ใยอาหาร (กรัม)	0.44	0.89
ไขมัน (กรัม)	0.03	0.10
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	21.95	20.54
ความชื้น (กรัม)	77.89	78.37
เถ้า (กรัม)	0.06	0.24

จากตารางที่ 6 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า ขนอินทนิลเสริมไข่ฝำร้อยละ 25 มีปริมาณโปรตีน ใยอาหาร ไขมัน ความชื้น และเถ้า มากกว่าขนอินทนิลสูตรต้นแบบ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Puttame & Ninlanon (2021) ได้ศึกษาผลการเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของมะขามที่เติมไข่ฝำผงกับมะขามสูตรต้นแบบ พบว่า มะขามที่เสริมไข่ฝำผงปริมาณร้อยละ 10 มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าสูตรต้นแบบ คือ ร้อยละ 9.87 และสอดคล้องกับ Boonwittaya et al. (2016) ได้ศึกษาช็อกโกแลตชิพฟัฟฟินสูตรเสริมไข่ฝำร้อยละ 20 พบว่า การเสริมไข่ฝำไม่มีผลต่อร้อยละการสูญเสีย น้ำหนักในระหว่างการอบ ($p>0.05$) ส่งผลให้องค์ประกอบทางเคมีเพิ่มสูงขึ้น ได้แก่ ความชื้น ไขมัน โปรตีน เถ้า และใยอาหาร ซึ่งเมื่อเสริมไข่ฝำในขนอินทนิลร้อยละ 25 ทำให้มีปริมาณโปรตีนสูงถึง 0.75 กรัม/100 กรัม เมื่อเทียบกับสูตรต้นแบบ และสอดคล้องกับ On-Nom et al. (2023) ได้ศึกษาพบว่า การเติมผงไข่ฝำ *Wolffia globosa* ช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของขนมขบเคี้ยว โดยผลการวิเคราะห์องค์ประกอบโภชนาการของขนมสูตรควบคุมและขนมขบเคี้ยวที่เติมไข่ฝำผง การเติมผงไข่ฝำ *Wolffia globosa* ร้อยละ 26 ส่งผลให้ปริมาณโปรตีน และใยอาหารเพิ่มขึ้น ร้อยละ 51 และ 83 ตามลำดับ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในด้านพลังงาน ไขมัน หรือปริมาณเถ้าระหว่างสูตรต่าง ๆ นอกจากนี้ ขนอินทนิลเสริมไข่ฝำร้อยละ 25 ให้ค่าพลังงาน และคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่าสูตรต้นแบบ สอดคล้องกับ Puttame & Ninlanon (2021) ได้ศึกษามะขามที่เสริมไข่ฝำผงปริมาณร้อยละ 10 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่าสูตรผลิตภัณฑ์มะขามสูตรต้นแบบ แสดงว่าการเสริมไข่ฝำในผลิตภัณฑ์อาหารมีส่วนทำให้สารอาหารคาร์โบไฮเดรตในอาหารลดลง และสอดคล้องกับ Boonwittaya et al. (2016) ได้ศึกษาช็อกโกแลตชิพฟัฟฟินสูตรเสริมไข่ฝำร้อยละ 20 มีค่าพลังงานน้อยกว่าสูตรต้นแบบ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) เนื่องจากในไข่ฝำมีใยอาหารสูง โดยช็อกโกแลตชิพฟัฟฟินสูตรเสริมไข่ฝำ ร้อยละ 20 มีปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำได้และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ร้อยละ 1.14 และ 1.80 ตามลำดับ และสอดคล้องกับ On-Nom et al. (2023) ได้ศึกษาขนมขบเคี้ยวที่เติม *W. globosa* มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำกว่าขนมสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ องค์ประกอบหลักของ WP (ต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้ง) ประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต 52.59 กรัม ใยอาหาร 36.52 กรัม โปรตีน 31.50 กรัม ไขมัน 5.18 กรัม และเถ้า 10.73 กรัม ดังนั้นการเสริมไข่ฝำในขนอินทนิลจึงสามารถทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณค่าทางโภชนาการสูงขึ้น โดยเฉพาะโปรตีน และใยอาหารซึ่งสูงขึ้นจากสูตรต้นแบบ แต่ให้ค่าพลังงาน และคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่าสูตรต้นแบบจึงเป็นแนวทางในการพัฒนาเป็นขนมไทยเพื่อสุขภาพเหมาะสมสำหรับผู้บริโภคได้

ตารางที่ 7 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของขนอินทนิลสูตรต้นแบบและขนอินทนิลเสริมไข่ฝำร้อยละ 25

ผลิตภัณฑ์	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ($\mu\text{g GAE/g}$)	ประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ($\mu\text{g TE/g}$)
ขนอินทนิลสูตรต้นแบบ	1.54	9.02
ขนอินทนิลเสริมไข่ฝำ	56.53	113.12

หมายเหตุ: TE = Trolox equivalent; GAE = Gallic acid equivalent

จากตารางที่ 7 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระพบว่าขนมอินทนิลเสริมไข่ฝาร้อยละ 25 มีประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระเมื่อวัดด้วยวิธี DPPH สูงกว่าขนมอินทนิลสูตรต้นแบบ โดยมีประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระคือ 113.12 และ 9.02 ($\mu\text{g TE/g}$) ตามลำดับ สอดคล้อง On-Nom et al. (2023) ได้ศึกษาขนมขบเคี้ยวที่เติม *W. globosa* พบว่าปริมาณฟีนอลรวม (TPCs) เท่ากับ 11.67 มิลลิกรัมกรดแกลลิกเทียบเท่า (GAE) ต่อกรัมของน้ำหนักแห้ง (DW) นอกจากนี้ขนมขบเคี้ยวจาก *Wolffia globosa* ยังมีปริมาณสารฟลิกซ์เคมีและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง เช่น ปริมาณฟีนอลรวม (Total Phenolic Contents, TPCs) รายงานค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยพบว่า TPCs ใน *W. globosa* มีค่าอยู่ที่ ร้อยละ 1.24 ขณะที่ *Lemna minor* (พืชน้ำตระกูลเดียวกัน) มีปริมาณ TPCs ต่ำกว่าร้อยละ 3 สอดคล้องกับ Thongkham (2019) ได้ศึกษาเส้นก๋วยเตี๋ยวเสริมไข่ฝารอบแห้งอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ให้ค่าต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดคือมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH 5.30 mgTE สารประกอบฟีนอลิก 25.86 mgGAE

ตารางที่ 8 คุณภาพทางกายภาพของขนมอินทนิลสูตรต้นแบบ และขนมอินทนิลเสริมไข่ฝาร้อยละ 25

คุณภาพทางกายภาพ	ขนมอินทนิลสูตรต้นแบบ	ขนมอินทนิลเสริมไข่ฝาร้อยละ 25
ค่าสี ค่า L*	50.38	21.43
ค่า a*	+14.38	-8.66
ค่า b*	+28.40	+10.42
ค่าเนื้อสัมผัส Hardness (g force)	173.57	75.98
Springiness (%)	75.34	60.22
Cohesiveness (%)	52.78	36.44
Chewiness (g force)	69.44	16.72
Gumminess (g force)	92.07	27.71

จากตารางที่ 8 ค่าสีของขนมอินทนิลสูตรต้นแบบ และขนมอินทนิลเสริมไข่ฝาร้อยละ 25 พบว่าค่า L* ขนมอินทนิลสูตรต้นแบบ คือ 50.38 และ 21.43 ซึ่งค่า L* บ่งบอกถึง ความสว่าง (Lightness) ขนมอินทนิลสูตรต้นแบบจึงมีความสว่างมากกว่าขนมอินทนิลเสริมไข่ฝาร้อยละ 25 ค่า a* คือ +14.38 และ -8.66 ซึ่ง ค่า a* สีเขียว (-a*) จนถึง สีแดง (+a*) ขนมอินทนิลเสริมไข่ฝามีค่าสีเขียรมากกว่าขนมอินทนิลสูตรต้นแบบ และค่า b* คือ +28.40 และ +10.42 ซึ่งค่า b* บรรยายแกนสีจากสีน้ำเงิน (-b*) จนถึงสีเหลือง (+b*) ขนมอินทนิลเสริมไข่ฝามีค่าสีน้ำเงินมากกว่าสูตรต้นแบบ สอดคล้องกับ Thongkham (2019) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในไข่ฝารอบแห้งและการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร พบว่า ค่า L* ของทั้ง 3 สูตรมีความแตกต่างกัน โดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณไข่ฝารอบแห้ง ทั้งนี้เนื่องจากในไข่ฝามีคลอโรฟิลล์ เมื่อคลอโรฟิลล์ถูกความร้อนจะเปลี่ยนเป็นฟิโอฟิติน (Pheophytins) ทำให้มีสีเข้มขึ้นเมื่อใส่ในปริมาณที่มากขึ้น ค่าความสว่างจะลดลง ในส่วนของค่า a* มีค่าไปในทิศทางเดียวกัน มีค่าเป็นลบ หมายถึงมีความเป็นสีเขียว จากตารางที่ 8 ค่าเนื้อสัมผัสของขนมอินทนิลสูตรต้นแบบและขนมอินทนิลเสริมไข่ฝาร้อยละ 25 พบว่าค่าความแข็ง (Hardness) เท่ากับ 173.57 และ 75.98 ขนมอินทนิลสูตรต้นแบบมีความแข็งตัวมากกว่า

ขนมอินทนิลเสริมไข่ผ่า ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) เท่ากับ 75.34 และ 60.22 ขนมอินทนิลสูตรต้นแบบมีความยืดหยุ่นมากกว่าขนมอินทนิลเสริมไข่ผ่า ค่าการเกาะติดกัน (Cohesiveness) เท่ากับ 52.78 และ 36.44 ขนมอินทนิลสูตรต้นแบบมีความสามารถเกาะตัวมากกว่าขนมอินทนิลเสริมไข่ผ่า ค่าการเคี้ยว (Chewiness) เท่ากับ 69.44 และ 16.72 ขนมอินทนิลสูตรต้นแบบมีการทนต่อการเคี้ยวมากกว่าขนมอินทนิลเสริมไข่ผ่า และค่าความเหนียว (Gumminess) เท่ากับ 92.07 และ 27.71 ขนมอินทนิลสูตรต้นแบบมีค่าความเหนียวมากกว่าขนมอินทนิลเสริมไข่ผ่า เนื่องจากสูตรต้นแบบมีเพียงส่วนผสมของแป้งส่วนสูตรเสริมไข่ผ่ามีทั้งส่วนผสมของแป้งและไข่ผ่าซึ่งลักษณะตัวไข่ผ้านั้นมีความชื้นมาก เมื่อเสริมไข่ผ่าในขนมอินทนิลจึงทำให้เนื้อสัมผัสของขนมอินทนิลมีความเหนียวน้อยกว่าสูตรต้นแบบ สอดคล้องกับ Subanmanee (2021) ได้ศึกษาคุณสมบัติพรีเจลลาตินซ์จากแป้งเมล็ดขนุนในขนมบัวลอยพบว่า การเพิ่มปริมาณแป้งเมล็ดขนุนดิบและแป้งเมล็ดขนุนแบบพรีเจลลาตินซ์ทำให้บัวลอยมีค่าสีมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) และมีค่าความแข็ง (Hardness) เพิ่มขึ้น แต่ทำให้การยึดเกาะภายในเนื้ออาหาร (Cohesiveness) ลักษณะอาหารที่กึ่งแข็งที่แตกตัวออกพร้อมที่จะกลืนได้ (Gumminess) และความเคี้ยวได้ (Chewiness) มีค่าลดลง

ตารางที่ 9 คุณภาพทางจุลินทรีย์ของขนมอินทนิลเสริมไข่ผ่าร้อยละ 25

รายการ	ค่าจุลินทรีย์ของขนมอินทนิลเสริมไข่ผ่า
1. Aerobic plate count/g (Total plate count)	Less than 10 cfu (estimated count)
2. <i>Salmonella</i> spp./25 g	Not detected
3. <i>Staphylococcus aureus</i> /g	Less than 100 cfu (estimated count)
4. <i>Bacillus cereus</i> /g	Less than 100 cfu
5. MPN <i>Escherichia coli</i> /g	Less than 3
6. Yeast/g	Less than 10 cfu (estimated count)
7. Mold/g	Less than 10 cfu (estimated count)

จากตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ของขนมอินทนิลบรรจุในถุงพลาสติกแบบซิปล็อคที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) พบว่า ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ตรวจพบน้อยกว่า 10 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ซาลโมเนลลาไม่พบในตัวอย่าง 25 กรัม สตาฟีโลค็อกคัส ออเรียส น้อยกว่า 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม บาซิลลัส ซีเรียส น้อยกว่า 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม เอสเชอริเชีย โคไล น้อยกว่า 3 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ยีสต์ น้อยกว่า 10 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม และรา น้อยกว่า 10 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม ซึ่งขนมอินทนิลเสริมไข่ผ่ามีค่าจุลินทรีย์ที่ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานและเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ขนมไทย (มผช.1/2552) ด้านจุลินทรีย์มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค

สรุป

การศึกษาสูตรขนมอินทนิลต้นแบบที่เหมาะสม พบว่า ขนมอินทนิลต้นแบบสูตรที่ 3 ได้รับคะแนนความชอบสูงสุด มีคะแนนความชอบเฉลี่ยมากที่สุดในทุกคุณลักษณะ อยู่ในระดับชอบมากที่สุด (8.60 ± 0.55) การศึกษาปริมาณไข่ฝ่ำที่เหมาะสมในขนมอินทนิล พบว่า ขนมอินทนิลเสริมไข่ฝ่ำร้อยละ 25 มีคะแนนความชอบเฉลี่ยมากที่สุดในทุกคุณลักษณะ และมีคะแนนความชอบโดยรวม อยู่ในระดับชอบมาก (8.48 ± 0.50) การศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อขนมอินทนิลเสริมไข่ฝ่ำร้อยละ 25 จำนวน 100 คน พบว่าผู้บริโภคทั่วไปยอมรับในผลิตภัณฑ์ 87 คน ให้คะแนนความชอบในด้านเนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม อยู่ในระดับชอบมาก (8.23 ± 0.58) การศึกษาคุณภาพของขนมอินทนิลเสริมไข่ฝ่ำ วิเคราะห์เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของขนมอินทนิลสูตรต้นแบบและสูตรขนมอินทนิลเสริมไข่ฝ่ำร้อยละ 25 พบว่าขนมอินทนิลเสริมไข่ฝ่ำมีโปรตีน ใยอาหาร ไขมัน ความชื้น และเถ้ามากกว่าสูตรต้นแบบ มีพลังงานและคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่าสูตรต้นแบบ ขนมอินทนิลเสริมไข่ฝ่ำร้อยละ 25 มีพลังงาน โปรตีน ใยอาหาร ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ความชื้น และเถ้า เท่ากับ 86.06 กิโลแคลอรี 0.75 กรัม 0.89 กรัม 0.10 กรัม 20.54 กรัม 78.37 กรัม และ 0.24 กรัม ตามลำดับ การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระของขนมอินทนิลสูตรต้นแบบและขนมอินทนิลเสริมไข่ฝ่ำร้อยละ 25 พบว่าขนมอินทนิลเสริมไข่ฝ่ำร้อยละ 25 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 56.53 ($\mu\text{g GAE/g}$) และประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ เท่ากับ 113.12 DPPH ($\mu\text{g TE/g}$) ซึ่งมีค่าสูงกว่าขนมอินทนิลสูตรต้นแบบ การวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ขนมอินทนิลสูตรต้นแบบและสูตรขนมอินทนิลเสริมไข่ฝ่ำร้อยละ 25 พบว่าการวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสี พบว่า มีค่า L^* เท่ากับ 21.43 ค่า a^* เท่ากับ -8.66 และค่า b^* เท่ากับ +10.42 การวัดเนื้อสัมผัสของขนมอินทนิลเสริมไข่ฝ่ำมีค่าเนื้อสัมผัส ค่าความแข็ง (Hardness) ความยืดหยุ่น (Springiness) การยึดเกาะติดกันของผลิตภัณฑ์ (Cohesiveness) การเคี้ยว (Chewiness) และความเหนียว (Gumminess) เท่ากับ 75.98(g force) 60.22(%) 36.44(%) 16.72(g force) และ 27.71(g force) ตามลำดับ พบว่าขนมอินทนิลเสริมไข่ฝ่ำร้อยละ 25 มีค่าความแข็ง ความยืดหยุ่น การยึดเกาะติดกันของผลิตภัณฑ์ การเคี้ยว และความเหนียว น้อยกว่าขนมอินทนิลสูตรต้นแบบ การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์ของขนมอินทนิลเสริมไข่ฝ่ำร้อยละ 25 ตรวจไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ขนมไทย (มผช.1/2552)

เอกสารอ้างอิง

- Boonwittaya, W., Tongcom, N., & Rittilert, P. (2016). Effects of added water meal added chocolate chip muffin quality. **VRU Research and Development Journal Science and Technology**, 11(3), 41-53. (In Thai)
- Esan Information @Ubon Ratchathani. (2024). **Isan Arts and Culture: Kai Pam – The World’s Ultimate Food**. Retrieved from <https://www.esanpedia.oar.ubu.ac.th/esaninfo/?p=6708> [2024, 21 Oct.] (In Thai)
- Itthikhanesorn, V. (2022). **Longan Inthanin Dessert Recipe**. Retrieved from <https://www.facebook.com/groups/912155456346525> [2024, 21 Jan.] (In Thai)
- Kaethykitchen. (2022). **Inthanin Dessert Recipe**. Retrieved from <https://www.tiktok.com/@kaethykitchen/video/7098250398078602522> [2024, 21 Jan.] (In Thai)
- On-Nom, N., Promdang, P., Inthachat, W., Kanoongon, P., Sahasakul, Y., Chupeerach, C., Suttisansanee, U., & Temviriyankul, P. (2023) Wolffia globosa-Based nutritious Snack Formulation with High Protein and Dietary Fiber Contents. **Foods**, 12(14), 2647.
- Plienboonlert, N. (2021). **Inthanin**. Retrieved from <https://krua.co/recipe/intanin> [2023, 20 Nov.] (In Thai)
- Puttame K., & Ninlanon, W. (2021). Development of dried alkaline noodle product supplemented with Water Meal. **VRU Research and Development Journal Science and Technology**, 16(2), 57-69. (In Thai)
- Sisang, S. (2020.) **Properties of flour affecting the processing of aquatic products**. Retrieved from https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20200722153849_1_file.pdf [2024, 10 Dec.] (In Thai)
- Subanmanee, N. (2021). Properties of Pre-Gelatinize Jackfruit Seed Flour in Thai Glutinous Rice Balls (Bua loi). **Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University**, 23(1), 61-70. (In Thai)
- Technology Chaoban Online. (2023). **Predicting future food trends: “Kai Pam & Crickets” – natural superfoods with a bright growth outlook**. Retrieved from <https://www.technologychaoban.com> [2024, 10 Sep.] (In Thai)
- Thai Industrial Standards Institute. (2009). **Community product standards: Thai dessert (TCPS 1/2009)**. Retrieved from https://tcps.tisi.go.th/pub/tcps1_52.pdf [2024, 10 Oct.] (In Thai)
- The Koi. (2022). **Intanin dessert**. Retrieved from <https://shorturl.asia/FpCrX> [2024, 21 Jan.] (In Thai)
- Thongkham, P. (2019). **Effect of temperature on antioxidant activity in water meal (Wolffia arrhiza (L.) Wimm) and application in food products**. (Master of Science). Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani (In Thai)
- Unwet, W. (2022). **“Kai Pam”: From local aquatic plant to the food of the future**. Retrieved from <https://theprincipia.co/wolffia/> [2024, 20 Nov.] (In Thai)

DESIGN AND DEVELOPMENT OF AGRICULTURAL PRODUCT TRACEABILITY TO SUPPORT THE AGRICULTURAL SAFETY

Rataphol Sangkhasuk* and Pornthep Anussornnitisarn

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900

*E-mail: srataphol@gmail.com

Received: 20-05-2025

Revised: 27-06-2025

Accepted: 09-07-2025

ABSTRACT

This research aimed to develop a traceability system for agricultural products in alignment with Thailand's food safety policies and international standards, including ThaiGAP, GlobalGAP, Organic Thailand, ACT, ISO 9001:2015, ISO 22000:2018, GHP, BRC Food Issue 8, and global coding standards. A prototype platform, KasetTrace.com, was designed to support barcode-based tracking (ITF-14, EAN-13, GS1-128, and QR Code) and enable access for both producers and consumers, with no login required for consumers. The research methodology involved field studies, in-depth interviews, and focus group discussions with stakeholders across the supply chain—including farmers, collectors, processors, distributors, and consumers—to analyze current logistics processes and design a system suitable for real-world application. The system also integrates Plus Codes technology to enhance geolocation accuracy and reduce search time. Experimental implementation with five agricultural products showed that the average traceability response time was 42.12 seconds, with complete and accurate data retrieval in every instance. Furthermore, user satisfaction was evaluated among 300 participants, yielding an overall average score of 4.06 out of 5, indicating a high level of satisfaction regarding usability, accuracy, and reliability. The findings suggest that the developed system can enhance transparency in agricultural logistics, promote food safety, and strengthen the competitiveness of Thai agricultural products in global markets.

Keywords: Agricultural traceability, Food safety, Global standardized codes, Plus codes

Introduction

Thailand is a predominantly agricultural country, playing a vital role in both the national economy and export sector. In 2023, the export value of agricultural and agro-processed products totaled USD 49.2 billion, accounting for 17.3% of the country's total exports (Department of Internal

Trade, 2023). However, persistent concerns regarding pesticide residues in fruits and vegetables remain a significant obstacle to consumer confidence and hinder acceptance in international markets, particularly within the European Union and China. Despite government policies banning hazardous chemical usage and promoting organic farming practices (Department of Agriculture, 2023), the absence of an integrated information system within the agricultural logistics chain continues to pose a critical limitation. Current systems primarily focus on the physical movement of goods, with minimal attention given to digital data collection, integration, and real-time feedback mechanisms. This results in ineffective traceability and a limited capacity to address food quality and safety issues, ultimately undermining consumer trust and increasing the risk of non-tariff trade barriers.

The agricultural supply chain in Thailand includes a wide range of stakeholders, from farmers and intermediaries to processors, distributors, retailers, and consumers. However, this complex network often lacks efficient communication and data-sharing mechanisms, making it difficult to trace product origins or provide timely feedback to producers. The integration of modern technologies—such as QR codes, Plus Codes for location precision, and cloud-based databases—can significantly enhance traceability and transparency in this context. To ensure compatibility with international food safety benchmarks, traceability systems must comply with well-established standards. Thailand has implemented various food safety certifications and schemes that emphasize traceability, including ThaiGAP, Organic Thailand, ACT (Organic Agriculture Certification Thailand), ISO 9001, ISO 22000, GHP (Good Hygiene Practices), JAS (Japanese Agricultural Standard), GlobalGAP, BRC (British Retail Consortium), and NOP (National Organic Program). These standards provide essential frameworks to ensure the quality, safety, and credibility of agricultural products in both domestic and global markets.

The findings of this study align with prior research. For instance, Tantidlatanes and Boonying (2018) developed a community-based organic rice traceability system that emphasized transparency and consumer trust. Similarly, Lv, Zheng, and Huang (2021) demonstrated the value of blockchain technology in enhancing transparency within agricultural supply chains. Zhang, Zhang, and Liu (2020) highlighted the combined role of IoT and blockchain in improving traceability and food safety, particularly in seafood supply chains. Furthermore, Fernández-Caramés, Suárez-Albela, and Fraga-Lamas (2018) emphasized the importance of integrating emerging technologies such as blockchain, IoT, and international standards like GS1 to enable real-time monitoring, transparency, and sustainable production practices.

Building on these foundations, the present study aims to develop an international-standard traceability system for agricultural products by integrating a web-based platform, mobile accessibility, and standardized identification mechanisms. The proposed system incorporates technologies

such as Plus codes and QR codes while aligning with the traceability requirements of the aforementioned food agricultural Standards. This well-integrated approach offers a practical, scalable, and cost-effective solution that supports food safety, enhances supply chain transparency, and promotes the long-term sustainability of Thai agriculture in line with global trends.

Methods

1. Field Survey on Problems and Needs in Agricultural Logistics Systems

A field survey was conducted in selected target areas to gather qualitative data from key stakeholders across the agricultural supply chain. The sample group consisted of 5 farmers, 6 intermediaries—including collectors, processing facility operators, and distributors—and 10 consumers. Focus group discussions were employed as the primary data collection method. The objective of this study was to identify and analyze critical issues and stakeholder requirements related to agricultural logistics systems and traceability mechanisms.

2. Data Collection on Agricultural Product Flows

This phase focused on analyzing the flow of agricultural products from upstream to downstream. Focus group discussions were held with farmers and collectors to gather in-depth information on each stage of the supply chain. Based on the collected data, an “As-is” process diagram was developed to reflect actual logistics activities and connections observed in the field. This diagram (Figure 1) served as a foundational reference for designing a traceability system tailored to the context and needs of stakeholders, ensuring practical implementation in the agricultural sector.

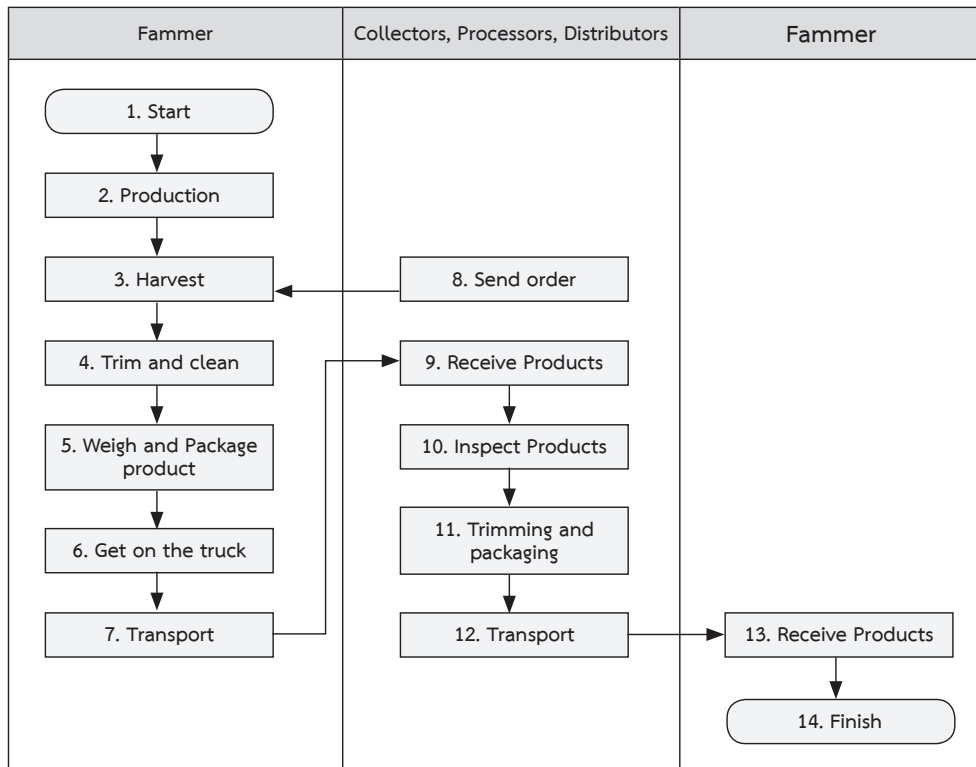


Figure 1 Current Process Flow Diagram (As-is)

As illustrated in Figure 1, the As-is process flow diagram depicts the logistics stream of agricultural products from upstream production to downstream delivery. The process begins with the farmer, who is responsible for initiating production, harvesting, trimming and cleaning the crops, weighing and packaging the products, and loading them onto transportation vehicles. The goods are then transported to collectors, processors, and distributors, who serve as intermediaries responsible for placing purchase orders, receiving and inspecting the products, conducting additional trimming and packaging if necessary, and organizing further transportation. In the final stage, the end recipient—such as consumers or downstream agricultural actors—receives the products, thereby completing the logistics cycle. This process reflects a clear and sequential connection between stakeholders in the agricultural supply chain, driven by demand signals (purchase orders) that trigger upstream production and enable product flow through various operational phases. The model also highlights opportunities for digital integration, such as real-time product tracking and geolocation encoding (e.g., QR codes or Plus Codes), to enhance transparency, traceability, and overall logistics efficiency within the agricultural sector.

3. Literature Review on Agricultural Logistics Data Collection

A comprehensive review of relevant literature was conducted to guide the design of an agricultural product traceability system. The key components identified include cultivation, harvesting, processing, storage, transportation, and distribution. Previous research has proposed various approaches to enhance transparency and traceability efficiency in agricultural supply chains. For instance, Worawitratnakul (2020) utilized smart contracts to increase legal transparency, while Tantidlatanes and Boonying (2020) developed a community-level traceability system for organic rice. Waisayadamrong (2021) implemented GS1 standards in food traceability systems. Other studies integrated IoT with predictive quality control (Praphathip, 2022) and combined blockchain with IoT to improve data security, immutability, and real-time traceability (Lv et al., 2023; Zhang et al., 2021; Fernández-Caramés et al., 2024).

4. Analysis of Agricultural Standards and plus codes technology in Traceability Systems

The agricultural product traceability system developed in this study is based on ten internationally recognized agricultural standards: Thai GAP, Organic Thailand, ACT, ISO 9001:2015, ISO 22000:2018, GHP, JAS, Global GAP, BRC Food Issue 8, and the National Organic Program (NOP). These standards were analyzed to extract key traceability requirements for vegetable production to ensure compliance with regulatory frameworks. To enhance traceability at the farm level, geolocation technologies were integrated into the system, particularly Plus Codes, an open-source digital addressing method. Plus Codes have been shown to offer location accuracy comparable to decimal degree GPS coordinates, with an average deviation of less than one meter—sufficient for identifying farm plots with high reliability (Google, 2020; Pradhan, Das, & Singh, 2022). A major advantage of Plus Codes is their ease of use, as they do not rely on conventional street names or address systems and can be easily converted into alphanumeric codes or QR codes for simplified sharing. This makes them especially suitable for rural or unmapped areas. Traditional GPS systems, meanwhile, retain an advantage in precision, offering centimeter-level accuracy that is ideal for precision agriculture and automated machinery applications.

From a long-term operational perspective, the traceability platform was developed as a web-based system with minimal ongoing maintenance costs. Annual domain renewal costs range from approximately 400 to 800 Thai Baht, while server hosting costs vary from 2,000 to 10,000 Thai Baht per year, depending on system capacity, bandwidth, and security requirements. These costs are considered affordable and manageable. Notably, the participating agricultural packing house expressed its willingness to assume responsibility for ongoing system maintenance, including technical support and renewal fees. Furthermore, since the system has been in use for a

considerable period in field operations, its reliability and stability have been demonstrated. This long-term deployment has built confidence among agricultural producers and processors regarding the system’s practical usability and sustainability, thereby reinforcing its potential to support long-term compliance with traceability standards in diverse agricultural contexts.

Table 1 Roles of Stakeholders under Agricultural Standards

Standard	Farmer	Collector	Processor	Distributor	Consumer
ThaiGAP	✓	✓	✓	✓	X
Organic Thailand	✓	X	✓	✓	✓
ACT	✓	X	✓	✓	✓
ISO ๙๐๐๑	✓	✓	✓	✓	X
ISO ๒๒๐๐๐	✓	✓	✓	✓	X
GHP	✓	✓	✓	✓	X
JAS	✓	X	✓	✓	✓
GlobalGAP	✓	✓	✓	✓	✓
BRC	✓	✓	✓	✓	X
NOP	✓	X	✓	✓	✓

Note: ✓ = Participates in the system / X = Does not directly participate in the system

Table 1 summarizes the involvement of key stakeholders—farmers, collectors, processors, distributors, and consumers—across ten widely recognized agricultural standards. While all standards engage farmers, processors, and distributors to varying degrees, only a few, such as Global GAP and organic standards (e.g., NOP, JAS, ACT), explicitly incorporate consumer participation. In contrast, standards like ISO 9001, ISO 22000, and GHP primarily focus on internal quality control within upstream operations, excluding consumers from direct engagement. The analysis highlights the varying scope of stakeholder inclusion, emphasizing the importance of selecting traceability standards that balance regulatory compliance with transparency and consumer trust.

5. Design of Barcode-Based Traceability System

To enhance traceability of agricultural products in Thailand, a barcode system based on international standards was developed. This system enables accurate, structured tracking of products throughout the supply chain. Additionally, Plus Codes were integrated to increase geolocation accuracy at the farm level. The system architecture is summarized in Table 2.

Table 2 Core Structure of the Integrated Traceability System

Stakeholders	Standard Name	Application Identifier (AI)	Data Description	Data Format
Farm	ITF-14	-	Packaging type, country code, company code, product code, check digit	N14
	GS1-128	2	Packaging type + product code	N2+N14
		10	Lot number (plot code, year, month, day)	N2+X...20
		11	Production date (year, month, day)	N2+N6
		37	Quantity in package	N2+N...
		91	Farm location (Pluscode)	N2+X7
Collectors, Processors, Distributors	EAN-13	-	Country code, company code, product code, check digit	N13
	GS1-128	2	Packaging type + product code	N2+N14
		10	Lot number	N2+X...20
		13	Packaging date (year, month, day)	N2+N6
		15	Expiration date (year, month, day)	N2+N6
		37	Quantity in package	N2+N...
		91	Processing plant location (Pluscode)	N2+X7
Customer	QR Code	-	Mobile QR code scanning system providing product information, user rating, and feedback features	-

6. Conceptual Framework for Traceability System Development

The traceability system was designed by integrating the current “As-is” process data with established traceability frameworks and agricultural Standards. GS1 standards were applied to build a stakeholder database, linking farmers via ITF-14 and GS1-128 codes, and connecting collectors, processors, and distributors through EAN-13 and GS1-128. Consumers can trace product origins and receive alerts regarding potential safety issues, thereby enhancing trust and supporting compliance with food safety regulations.

FRAMEWORK FOR THE DEVELOPMENT OF AGRICULTURAL PRODUCT TRACEABILITY SIMS

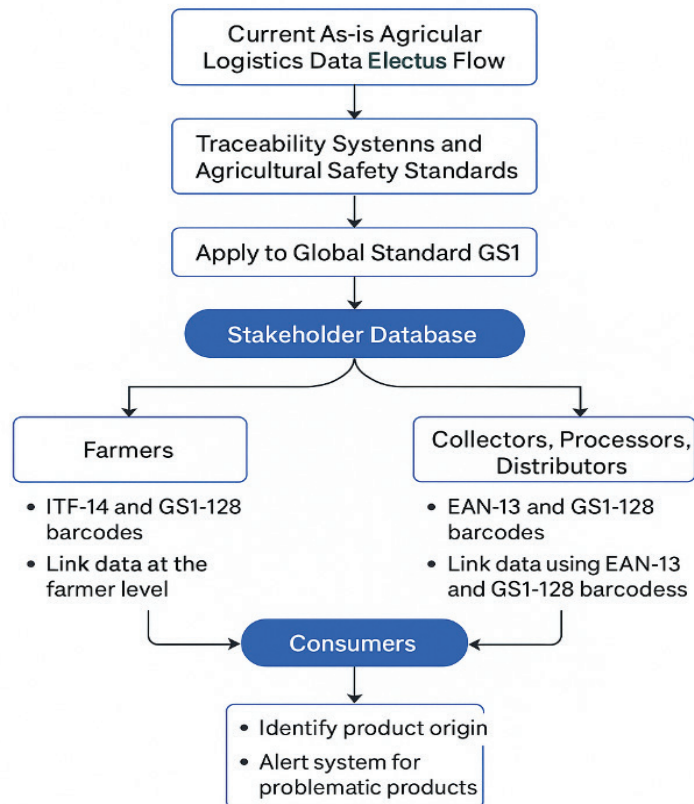


Figure 2 Conceptual Framework for Agricultural Traceability System

Figure 2 illustrates the conceptual framework of the agricultural product traceability system, which aims to manage data across the entire agricultural supply chain—ranging from farmers, collectors, processors, and distributors to consumers. The system begins with the integration of current agricultural logistics data into traceability mechanisms and agricultural safety standards, adopting the globally recognized GS1 standard. All stakeholder-related data is recorded and linked through a centralized stakeholder database. Each stakeholder contributes three categories of input data: (1) fixed data that remains unchanged across production cycles, such as farmer ID, farmer name, and farm plot coordinates; (2) variable data that changes per production cycle, including crop quantity and plot identification number; and (3) system-generated data, such as product lot numbers and goods receipt numbers, which are automatically created to support traceability functions. Farmers utilize ITF-14 and GS1-128 barcodes to link data at the farm level, while collectors, processors, and distributors use EAN-13 and GS1-128 barcodes to link data using EAN-13 and GS1-128 barcodes. Both groups feed into Consumers, who then use the system to identify product origin and have an alert system for problematic products.

and distributors employ EAN-13 and GS1-128 barcodes to integrate data throughout processing and distribution. The processing steps involve feeding all collected data into the system under GS1 protocols, storing and linking it within the stakeholder database, associating it through standardized barcodes, and enabling real-time data exchange and retrieval through a tracking platform. The system outputs allow consumers to identify product origin, receive alerts on problematic or unsafe products, and foster greater confidence in food safety and product quality. Nonetheless, the system constraints include technological limitations among small-scale producers, varying levels of digital literacy among stakeholders, inconsistency of data from multiple sources, and the cost of system installation and maintenance. These factors must be carefully considered to ensure the effectiveness and sustainability of application development for agricultural traceability.

7. Development of the Agricultural Traceability Platform

The website www.kasetTrace.com was developed as a web-based traceability platform designed to manage agricultural product data throughout the entire supply chain—from farm-level production to end-consumer distribution. The primary objective of the system is to promote transparency, accountability, and consumer trust by implementing traceability mechanisms aligned with international standards. To ensure data security, the platform employs a segregated database structure in which each stakeholder group—including farmers, collectors, processors, distributors, and consumers—is assigned a dedicated database with access controlled through individualized usernames and passwords. A notable feature of the system is its ability to enable traceability at the individual farm plot level using Plus Codes technology, which allows for the precise identification of geolocations and production sources. In addition, the system incorporates analysis and compliance mapping with ten key agricultural safety and certification standards: ThaiGAP, Organic Thailand, ACT, ISO 9001, ISO 22000, GHP, JAS, GlobalGAP, BRC, and NOP. Traceability operations are further supported by QR code technology, enabling users to scan and retrieve product data in real time using smartphones—eliminating the need for specialized barcode scanners or computers. This feature enhances accessibility and usability across the supply chain. The platform also supports cross-stakeholder traceability, allowing users to track product movement and history across multiple actors in the supply chain. Compared to traditional systems in Thailand, this approach offers a more robust, granular, and mobile-enabled traceability solution, contributing to improved food safety, regulatory compliance, and supply chain transparency.

8. Core Functions of the System

8.1 Membership Management The system supports registration and user role management for stakeholders such as farms, packing houses, and intermediaries, as illustrated in Figure 3(a).

8.2 Product and Lot Management Users can record and manage product information and packaging details using ITF-14 barcodes. Lot tracking and data editing functionalities are also supported, as shown in Figure 3(b).

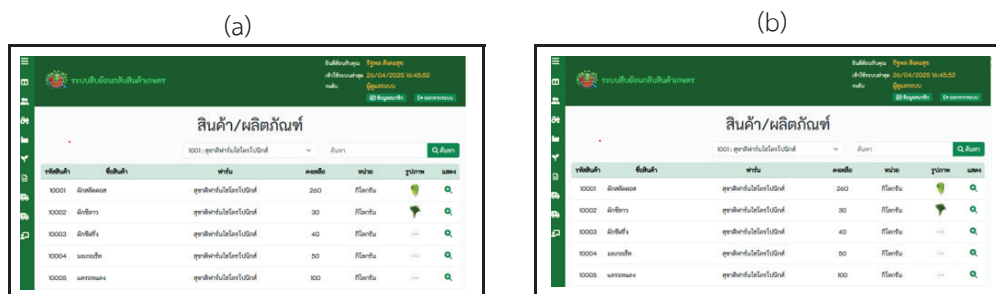


Figure 3. Member Management Interface (a) Product and Lot Management (b)

8.3 Document Management for Inbound and Outbound Goods The system allows the creation of inbound and outbound documents and printing of barcode stickers in EAN-13, ITF-14, and QR Code formats, as illustrated in Figure 4(a).

8.4 Traceability Search via Barcode Scanning Users can trace the origin of products by scanning or entering barcode data, which displays traceability results back to the farm and packing house, as shown in Figure 4(b).

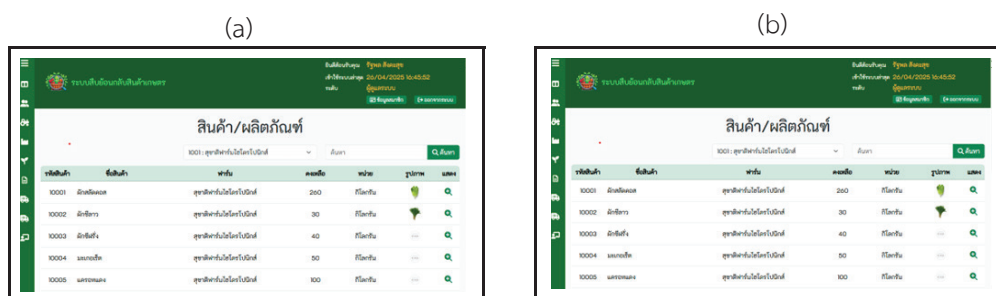


Figure 4. Document Management (a) Traceability Search Function (b)

8.5 Employee and Customer Data Management Farms and packing houses can store and manage employee and customer information to improve operational efficiency.

9. Agricultural Product Traceability System

The traceability system supports data exchange among all stakeholders in the supply chain, including farmers, collectors, processors, and distributors. Operated through the web

platform www.kasetTrace.com, the system requires login credentials and complies with international barcode standards (ITF-14, GS1-128). Stakeholders can scan QR codes using barcode readers or mobile devices to log and retrieve data. The system links data between all supply chain actors. For consumers, traceability information is accessible without login via www.kasetTrace.com. Consumers can use EAN-13 or GS1-128 codes—internationally accepted formats—to retrieve product information by entering the code or scanning a QR code, as shown in Figure 5.

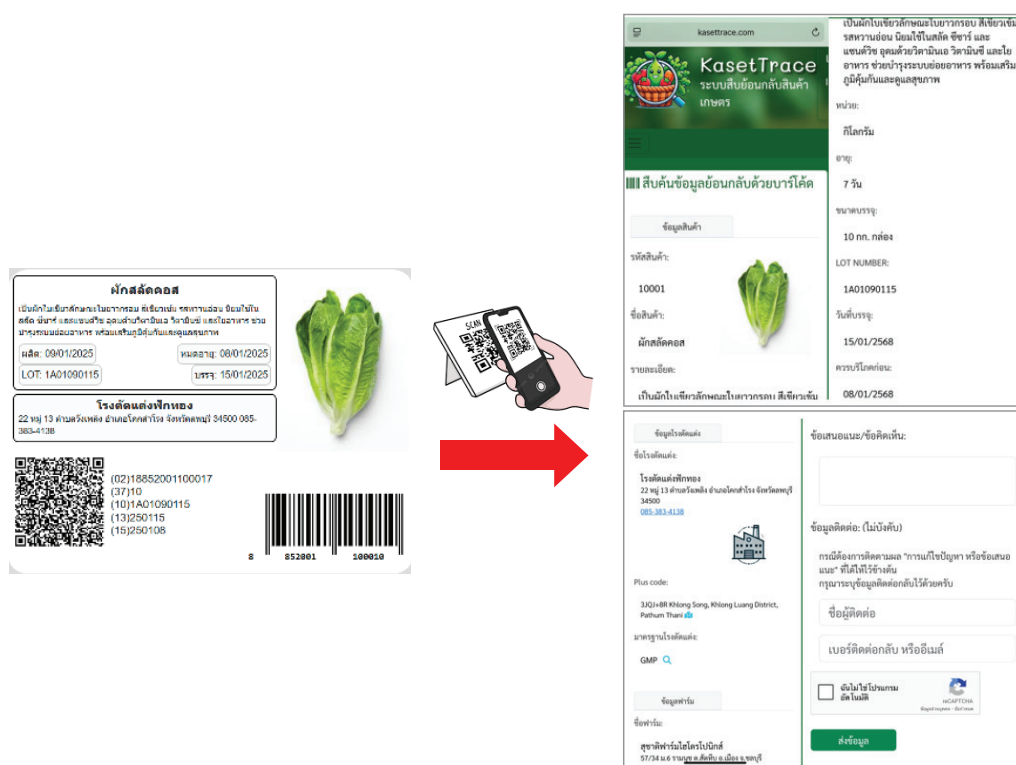


Figure 5. Consumer-End Traceability Access

10. Key Features of the System

- Supports international barcode standards (EAN-13 and ITF-14)
- Enhances transparency throughout the supply chain and builds consumer trust
- User-friendly interface compatible with desktop and mobile devices
- Automated data linkage reduces management errors
- Cost-effective through open-source platform development without licensing fees

System evaluations indicate a significant improvement in data transparency and operational efficiency within agricultural logistics. These outcomes demonstrate the system's potential for broader adoption in the future.

Results and Discussions

1. Data Collection on Traceability Time

In this study, a field experiment was conducted to evaluate the traceability time of agricultural products. The experimental design followed a repeated measures design, allowing for accurate comparison of traceability times across different product types while minimizing variability from confounding factors. Data collection was carried out in the form of quantitative data, focusing on five distinct agricultural products. For each product, five traceability trials were conducted under simulated customer request scenarios. The time taken (in seconds) for the system to complete each traceability operation was recorded. The collected data were then used to calculate the average traceability time and standard deviation for each product to assess the system's performance in terms of speed. The results of the experiment are presented in Table 3.

Table 3 Traceability Time Performance

Product Code	Experiment No.					Average (sec)	Standard Deviation (sec)
	1	2	3	4	5		
10001	38	40	42	48	39	41.4	3.97
10003	42	45	39	42	41	41.8	2.17
10005	39	41	44	43	40	41.4	2.07
10009	45	42	39	40	42	41.6	2.3
10012	47	45	42	47	41	44.4	2.79
Overall Average						42.12	1.29

Table 3 presents the results of traceability time performance for five agricultural product codes, with five repeated trials conducted for each product. The average traceability times ranged from 41.4 to 44.4 seconds. The standard deviations ranged between 2.07 and 3.97 seconds, indicating low variability within groups. The overall mean traceability time was 42.12 seconds, and the average standard deviation across all products was 1.29 seconds, reflecting the system's stability and consistent retrieval performance. Furthermore, a statistical power analysis was conducted at a significance level of $\alpha=0.05$ to assess the adequacy of the sample size. Using an estimated effect size of approximately $f \approx 0.5$, which is considered large, and a sample structure of five groups with five observations each, the analysis yielded a statistical power of approximately 0.85–0.90. This exceeds the commonly accepted threshold of 0.80, indicating that the data set is sufficiently reliable and capable of detecting statistically significant differences in traceability time across product groups.

2. User Satisfaction Assessment

A total of 324 participants were involved in the user satisfaction survey for the traceability system, comprising 45 farmers, 9 intermediaries, processors, or distributors, and 270 consumers. This diverse sample of respondents reflects the key stakeholders across the agricultural supply chain, thereby enabling a comprehensive assessment of user satisfaction in terms of system usability, accessibility, and perceived effectiveness. User satisfaction was evaluated using a structured questionnaire developed based on established information system evaluation criteria. The instrument was designed following the Information System Success Model by DeLone and McLean (2003), which encompasses multiple dimensions of system performance and user experience. The interpretation of satisfaction scores was based on a five-point Likert scale, with the following thresholds: 1) 4.01–5.00 = Very high satisfaction 2) 3.41–4.20 = High satisfaction 3) 2.61–3.40 = Moderate satisfaction 4) 1.81–2.60 = Low satisfaction 5) 1.00–1.80 = Very low satisfaction

The results of the user satisfaction assessment for the agricultural traceability system are summarized in Table 4.

Table 4 User Satisfaction Assessment Results

Evaluation Criteria	Mean	Standard Deviation
1. Ease of Use	4.04	0.26
2. Accuracy and Reliability of Information	4.07	0.33
3. System Efficiency in Traceability	4.04	0.31
4. Accessibility and Reporting Capabilities	3.97	0.26
5. System Support and Services	4.17	0.38
6. Overall Satisfaction	4.04	0.37
Overall Average	4.06	0.07

As shown in Table 4, the overall average satisfaction score was 4.06 with a standard deviation of 0.07, indicating a high level of satisfaction. The highest-rated aspect was system support and services (mean = 4.17), followed by accuracy and reliability of information (mean = 4.07), and both ease of use and system efficiency (mean = 4.04). The lowest-rated aspect was accessibility and reporting (mean = 3.97). Nevertheless, all aspects scored above 3.50, indicating that the system effectively meets user needs and maintains a high level of reliability.

3. Discussion

The findings of this study align with previous research in several key areas. For instance, Tantidlatanes and Boonying (2018) developed a community-based traceability system for organic rice that emphasized transparency and consumer trust. Similarly, Lv, Zheng, and Huang (2021) highlighted the role of blockchain technology in enhancing transparency within agricultural supply chains, while Zhang, Zhang, and Liu (2020) proposed the integration of blockchain and the Internet of Things (IoT) to improve traceability and food safety, particularly for seafood products. These insights are consistent with the system developed in this study, which integrates modern information technologies and GS1 standards. As Fernández-Caramés, Suárez-Albela, and Fraga-Lamas (2018) suggested, combining these technologies facilitates real-time traceability, enhancing transparency, safety, and sustainability in agricultural production. Compared to existing systems, the traceability platform developed in this study offers advantages in accessibility and usability, especially for small-scale farmers, by enabling system use via smartphones without the need for additional specialized equipment. Notably, the system supports compliance with ten agricultural standards, a feature not commonly found in prior studies, and incorporates Plus Codes technology to pinpoint farm locations at the plot level, significantly improving traceability precision. From a cost-efficiency perspective, the platform was designed as a low-maintenance web-based system, with annual domain renewal costs ranging from 400 to 800 Thai Baht and server hosting costs between 2,000 and 10,000 Thai Baht, depending on service capacity and security needs—making it financially manageable for smallholders and SMEs. The system has also been tested in real field conditions over an extended period, during which a participating agricultural packing facility committed to ongoing technical support and maintenance. This field deployment demonstrates the system’s stability, reliability, and user acceptance, thereby reinforcing its practical viability and long-term potential for supporting traceability standard compliance in diverse agricultural contexts.

Conclusions

This study aimed to design and develop an agricultural product traceability system that aligns with Thailand’s national food safety policies and international standards, including ThaiGAP, GlobalGAP, Organic Thailand, ACT, ISO 9001:2015, ISO 22000:2018, Good Hygiene Practices (GHP), and BRC Global Standard for Food Safety Issue 8. The research process began with field studies, in-depth interviews, and focus group discussions involving stakeholders across the supply chain to analyze the current (“As-is”) processes and guide the development of a context-appropriate system. The resulting system integrates barcode technologies—ITF-14, EAN-13, GS1-128, and QR Code—and is implemented through the KasetTrace.com platform, which supports both business operators and

consumers, with public access available without requiring login. Trial implementation with five agricultural products demonstrated successful retrieval of complete and accurate traceability data within an average time of 42.12 seconds. The system also incorporates Google's Plus Codes geolocation technology to enhance the precision of source identification and accelerate data access, thereby strengthening transparency and supporting food safety objectives. A user satisfaction survey conducted with 300 participants yielded an average score of 4.06 out of 5, reflecting high levels of satisfaction with system usability, data accuracy, and overall reliability. To support nationwide scalability, the database architecture was designed to accommodate large volumes of data and concurrent users. The growing availability of high-speed internet across rural areas, increased smartphone penetration, and a user-friendly interface that requires minimal technical expertise enhance accessibility among stakeholders. Personal data security is addressed through role-based data classification, and long-term system maintenance is planned under the supervision of agricultural processing facilities, ensuring sustainability and continued adoption in Thailand's agricultural sector.

Acknowledgement

The author gratefully acknowledges the guidance and support of Asst. Prof. Dr. Pornthep Anussornnitisarn throughout the course of this research. Appreciation is also extended to the Department of Industrial Engineering, Kasetsart University, for providing the necessary resources.

References

- Abdulqader, A., Ali, F., Ismail, A., & Esa, N.M. (2019). Antioxidant compounds and capacities of Gac (*Momordica cochinchinensis Spreng*) fruits. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, **9**(4), 158–167.
- DeLone, W. H., & McLean, E. R. (2003). The DeLone and McLean model of information systems success: A ten-year update. *Journal of Management Information Systems*, **19**(4), 9–30.
- Department of Agriculture. (2023). **Guidelines for reducing the use of hazardous chemicals in agriculture**. Office of the Permanent Secretary, Ministry of Agriculture and Cooperatives. (In Thai)
- Department of Internal Trade. (2023). **Agricultural export situation report 2023**. Ministry of Commerce. (In Thai)
- Fernández-Caramés, T.M., Suárez-Albela, M., & Fraga-Lamas, P. (2018). A review on the use of blockchain for the internet of things. *IEEE Access*, **6**, 32979–33001.
- Fernández-Caramés, T.M., Fraga-Lamas, P., & Suárez-Albela, M. (2024). UAV and blockchain-based automated warehouses for agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, **213**, 108057.

- Google. (2020). **Open Location Code (Plus Codes): An open-source addressing system**. Retrieved from <https://plus.codes>
- Lv, Y., Zheng, Z., & Huang, X. (2023). Blockchain and IoT for agri-food traceability: A survey. **Computers and Electronics in Agriculture**, 206, 107653.
- Pradhan, P., Das, A., & Singh, R. (2022). A comparative analysis of location encoding systems for rural geospatial applications. **Journal of Geospatial Technology and Applications**, 14(1), 45–58.
- Praphathip, P. (2022). Application of IoT and predictive quality control in agricultural logistics. **Journal of Smart Agricultural Technology**, 3, 100084.
- Tantidlatanes, T., & Boonying, W. (2020). Community-level traceability system for organic rice using blockchain. **Agricultural Information Journal**, 12(1), 45–54.
- Waisayadamrong, W. (2021). Development of food traceability system using GS1 standard. **Thai Journal of Agricultural Technology**, 9(2), 98–107.
- Worawitratnakul, C. (2020). Legal transparency through smart contract in food traceability system. **Law and Technology Journal**, 15(1), 66–78.
- Zhang, Y., Liu, Y., Lv, Y., & Zhang, M. (2021). Improving aquatic product traceability with blockchain and IoT. **Computers and Electronics in Agriculture**, 187, 106285.
- Zhang, Y., Zhang, M., & Liu, Y. (2020). Real-time traceability in seafood supply chain using blockchain and IoT. **Journal of Food Engineering**, 276, 109884.

การพัฒนาหุ่นยนต์ตรวจสอบสภาพใบกังหันลมผลิตไฟฟ้า DEVELOPMENT OF A WIND TURBINE BLADE INSPECTION ROBOT

นภนต์ ศรีคำภา* และ พงศธร พรหมบุตร

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

Naphon Srikhumpha* and Pongtorn Prombut

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900

*E-mail: hatori_008@hotmail.com

Received: 07-01-2025

Revised: 22-07-2025

Accepted: 25-07-2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาหุ่นยนต์สำหรับตรวจสอบสภาพการทำงานและความเสียหายของใบกังหันลมผลิตไฟฟ้า โดยหุ่นยนต์จะบันทึกภาพและส่งข้อมูลแบบไร้สายไปยังผู้ปฏิบัติงานภาคพื้นดินเพื่อประเมินสภาพและความเสียหายของใบกังหันลม การพัฒนาหุ่นยนต์ต้นแบบใช้บอร์ดควบคุม รุ่น Raspberry Pi 4 ในการควบคุมการเคลื่อนที่ผ่านสัญญาณไร้สายและการสื่อสารข้อมูลโดยใช้ Robot Operating System (ROS) ผลการทดสอบพบว่า หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ในความชันต่าง ๆ และทำงานตามชุดคำสั่งฟังก์ชันที่ได้รับอย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งสามารถส่งสัญญาณภาพถ่ายเรียลไทม์และบันทึกภาพได้ โดยใช้เวลาในการเดินทาง 0.44 นาที ถอยหลัง 0.38 นาที เลี้ยวซ้าย 1.19 นาที และเลี้ยวขวา 1.35 นาที บนพื้นผิวที่ไม่มีความชัน ในการทดสอบบนพื้นผิวที่มีความชัน 20 องศา หุ่นยนต์ยังสามารถทำงานได้แต่ใช้เวลามากกว่าในพื้นที่ราบโดยใช้เวลาในการเดินทาง 9.24 นาที ถอยหลัง 4.26 นาที เลี้ยวซ้าย 10.43 นาที และเลี้ยวขวา 9.31 นาที และบนพื้นผิวที่มีความชัน 30 องศา หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปในทิศทางต่าง ๆ ได้เล็กน้อย สาเหตุเกิดจากแรงดูดของ Vacuum Pump ที่ไม่เพียงพอในการรับน้ำหนักหุ่นยนต์ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงความสามารถของหุ่นยนต์ในการตรวจสอบใบกังหันลมและเปิดโอกาสในการพัฒนาต่อไปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานในสถานะที่หลากหลาย

คำสำคัญ: ใบกังหันลมผลิตไฟฟ้า ระบบปฏิบัติการหุ่นยนต์ หุ่นยนต์ตรวจสอบสภาพ

ABSTRACT

This research aims to develop a robot for inspecting the operational condition and damage of wind turbine blades. The robot captures images and wirelessly transmits data to ground operators for assessment. The prototype robot is controlled using a Raspberry Pi 4 board, which manages movement via wireless signals and data communication through the Robot Operating System (ROS). Test results indicate that the robot can move on various inclinations and execute programmed functions effectively.

It successfully transmits real-time images and records footage. On a flat surface, the movement times were 0.44 minutes for forward motion, 0.38 minutes for backward motion, 1.19 minutes for left turns, and 1.35 minutes for right turns. On a 20-degree inclined surface, the robot remained operational but required more time compared to a flat surface, taking 9.24 minutes to move forward, 4.26 minutes to move backward, 10.43 minutes to turn left, and 9.31 minutes to turn right. At a 30-degree incline, the robot exhibited limited movement in different directions due to insufficient suction force from the vacuum pump to support its weight. This study demonstrates the robot's capability in wind turbine blade inspection and provides opportunities for further development to enhance its efficiency in diverse operational conditions.

Keywords: Wind turbine blades, Robot operating system, Inspection robot

บทนำ

พลังงานลมเป็นพลังงานธรรมชาติสะอาดที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ไม่มีวันหมดสามารถนำไปใช้ได้หลายด้าน เช่น ผลิตกระแสไฟฟ้า การสูบน้ำเพื่อการเกษตร การบริโภค ใช้ในภาคอุตสาหกรรม และเพื่อการท่องเที่ยว เป็นต้น ประเทศไทย มีแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP) ระหว่างปี 2561-2580 โดยกำหนดเป้าหมายที่จะผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานลมไว้รวม 3,000 เมกะวัตต์ (Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE), 2020) มีการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านการผลิตกระแสไฟฟ้าจากลมมากขึ้น พลังงานจากลมจึงเป็นตัวเลือกแรก ๆ ที่ได้รับความสนใจในวงกว้างโดยใช้กังหันลมเป็นอุปกรณ์ช่วยผลิตกระแสไฟฟ้าที่ไม่กระทบต่อสิ่งแวดล้อม และก่อให้เกิดมลพิษในอนาคต ปัจจุบันมีการพัฒนาการผลิตกังหันลมเพื่อใช้งานในระดับที่สูงขึ้น มีขนาดใหญ่ขึ้น มีการติดตั้งอยู่ในพื้นที่โล่งกว้าง พื้นที่สูง ทำให้ต้องเผชิญกับปัญหาเรื่องอากาศแปรปรวน อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ถูกฟ้าผ่า หรือใช้งานเป็นเวลานานทำให้เสื่อมสภาพและชำรุดเสียหาย เช่น รอยแตกร้าว หรือการสึกกร่อน เป็นต้น การตรวจสอบและการบำรุงรักษาจึงเป็นเรื่องสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องกระทำสม่ำเสมอเพื่อให้อุปกรณ์ต่าง ๆ อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานตลอดเวลา โดยเฉพาะใบกังหันลมที่เป็นสิ่งสำคัญในการผลิตไฟฟ้า การตรวจสอบและบำรุงรักษาใบกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่ติดตั้งในที่สูงและห่างไกลจะใช้พนักงานปฏิบัติงานโดยใช้รถกระเช้ายกขึ้นจากพื้นหรือการใช้เชือกโรยตัวลงมาจากห้องเครื่อง (Nacelle) ของกังหัน (Jeon, 2012) ซึ่งเป็นการปฏิบัติงานที่ยากและอันตราย รวมทั้งต้องใช้ผู้ปฏิบัติงานจำนวนมากและการใช้โดรนตรวจสอบความเสียหายของใบกังหันลมอาจตรวจสอบได้ไม่ละเอียดเท่าที่ควรและมีข้อจำกัดเรื่องสภาพแวดล้อม เช่น มีพายุลมแรง ฝนตก ฟ้าคะนอง หรือฟ้าผ่าในรัศมี 80 กิโลเมตร โดยรอบของกังหันลม รวมถึงพื้นที่ในการตรวจสอบที่ห้ามบินโดรนในรัศมี 50 เมตร จากตัวกังหันลมหรือระยะปลายใบกังหันลม ทำให้เกิดข้อจำกัดในการปฏิบัติงานซึ่งส่งผลกระทบต่อความเสียหายต่อผิวใบกังหันลมจนทำให้ไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ ดังนั้นการใช้หุ่นยนต์จึงมีความปลอดภัยมากกว่าการใช้มนุษย์และการใช้วิธีอื่น ๆ

จากสาเหตุดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาพัฒนาหุ่นยนต์สำหรับตรวจสอบสภาพการทำงานและความเสียหายของใบกังหันลมผลิตไฟฟ้า โดยหุ่นยนต์จะบันทึกภาพและส่งข้อมูลแบบไร้สายไปยังผู้ปฏิบัติงานภาคพื้นดิน เพื่อประเมินสภาพและความเสียหายของใบกังหันลม ไม่ว่าจะเป็นรอยแตกร้าว หรือการสึกกร่อน ซึ่งการใช้หุ่นยนต์จะมีความน่าเชื่อถือในเรื่องการลดความเสี่ยงของผู้ปฏิบัติงาน ลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา และปลอดภัยมากกว่าการใช้มนุษย์และการใช้วิธีการอื่น ๆ



ภาพที่ 1 พนักงานตรวจสอบใบกังหันโดยการไต่ลงจากห้องเครื่องกังหันลม
ที่มา: Jeon et al. (2012)

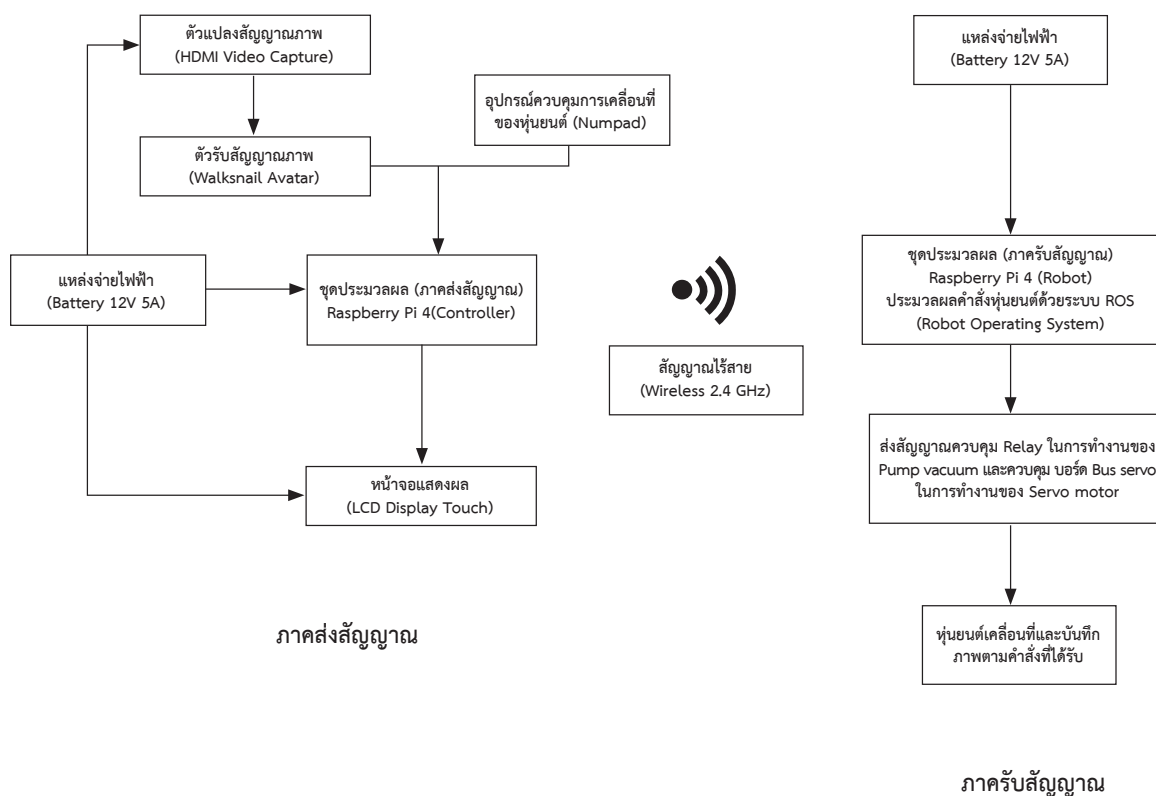
วิธีการ

1. แนวคิดในการออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์สำหรับการตรวจสอบใบกังหันลมผลิตไฟฟ้า ให้มีรูปร่างคล้ายแมงมุมยึดเกาะพื้นผิวด้วยระบบสุญญากาศ (Li, 2023) เป็นการประยุกต์เพื่อให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ โดยใช้ขากระจายน้ำหนักเพื่อความมั่นคง ทรงตัวได้ดีในพื้นที่แคบ พื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอและพื้นที่ยื่นตราบาย ใช้การควบคุมการเคลื่อนที่จากระยะไกลผ่านสัญญาณเชื่อมต่อไร้สาย (Yang, 2013) ในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เพื่อตรวจสอบใบกังหันลม กำหนดระยะการส่งสัญญาณ 10 เมตร ซึ่งเป็นระยะที่หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้จริงทั้งในกังหันลมที่ติดตั้งบนบกและนอกชายฝั่ง มีความยาวใบกังหันตั้งแต่ 10 เมตร ถึง 85 เมตร ตามประเภทและขนาดของกังหันลมนั้น หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่โดยคลานไปบนผิวใบกังหันลมจากโคนใบกังหันลงมาปลายใบกังหันเพื่อตรวจสอบความเสียหาย หุ่นยนต์สามารถแสดงผลภาพแบบเรียลไทม์และบันทึกภาพเพื่อใช้ในการตรวจสอบความเสียหายของใบกังหันลมได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Shen, 2024) การควบคุมระบบทำงานผ่านบอร์ดควบคุม รุ่น Raspberry Pi 4 โดยใช้ระบบปฏิบัติการหุ่นยนต์ Robot Operating System (ROS) ซึ่งมีการแบ่งการทำงานออกเป็นโหนด (Node) แต่ละโหนดสามารถส่งสัญญาณควบคุมผ่านระบบสัญญาณไร้สายไปยังชุดแสดงผล (Quigley et al., 2009) โดยมีการนำระบบ ZeroMQ มาประยุกต์ใช้ร่วมกับ ROS ในการบริหารจัดการการรับส่งข้อมูลและคำสั่งต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ (Lauener & Sliwinski, 2017)

2. การออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์ตรวจสอบใบกังหันลมผลิตไฟฟ้า ผู้วิจัยใช้อะลูมิเนียมและแผ่นอะคริลิกในโครงสร้างของหุ่นยนต์ ขนาดของหุ่นยนต์กว้าง 23x40 เซนติเมตร น้ำหนักโดยรวม 2.5 กิโลกรัม ซึ่งขนาดและน้ำหนักเหมาะสมกับการนำไปใช้งานในสภาพแวดล้อมจริง ใช้บอร์ดควบคุมรุ่น Raspberry Pi 4 เป็นส่วนสำคัญของการออกแบบ ทั้งในส่วนชุดประมวลผลภาคส่งสัญญาณ (Controller) และชุดประมวลผลภาครับสัญญาณ (Robot) โดยการรับและส่งชุดคำสั่งสัญญาณเชื่อมต่อไร้สาย มีรายละเอียดการออกแบบและพัฒนาดังนี้

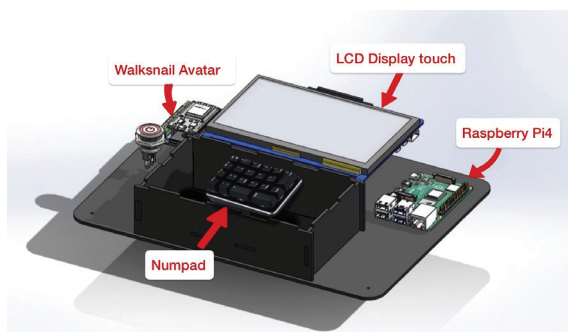


ภาพที่ 2 หุ่นยนต์ตรวจสอบสภาพใบกังหันลมผลิตไฟฟ้า

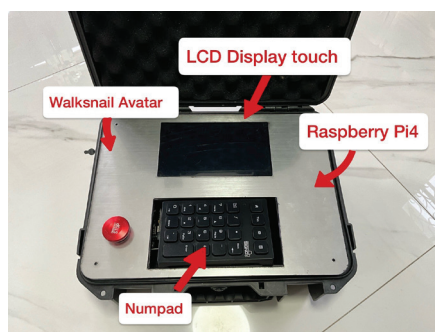


ภาพที่ 3 แผนภาพการออกแบบหุ่นยนต์สำหรับตรวจสอบความเสียหายของใบกังหันลม

2.1 ชุดประมวลผลภาคส่งสัญญาณ (Controller) สร้างและพัฒนาในลักษณะกล่องควบคุมประกอบด้วย หน้าจอแสดงผล LCD ใช้สำหรับการแสดงผลเรียลไทม์ Numpad wireless ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และ ตัวรับสัญญาณภาพเชื่อมต่อไร้สายใช้รับสัญญาณภาพเพื่อแสดงบนหน้าจอ LCD การส่งสัญญาณคำสั่งจาก Numpad โดยใช้สัญญาณเชื่อมต่อไร้สาย 2.4 GHz มีระยะการส่งชุดคำสั่งการเคลื่อนที่ไปที่หุ่นยนต์ระยะ 10 เมตร ซึ่งเป็นระยะที่สามารถดำเนินการได้จริงในการตรวจสอบใบก้างหั่นลมที่มีขนาดแตกต่างกันและมีปัญหาในแต่ละจุด



(ก)



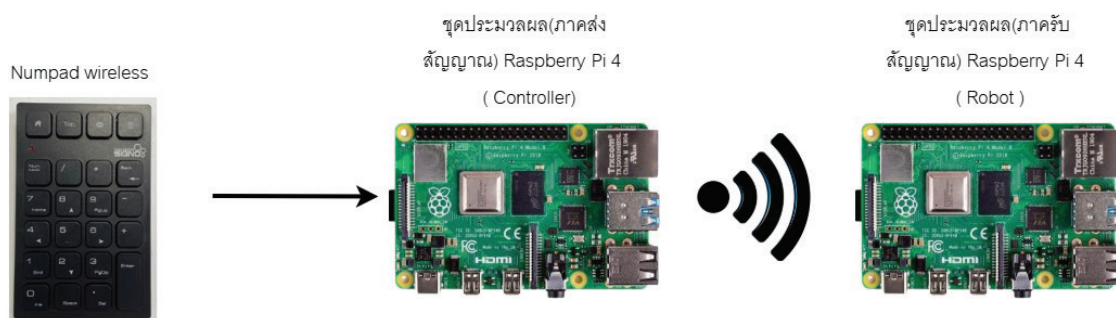
(ข)

ภาพที่ 4 ชุดควบคุมหุ่นยนต์ตรวจสอบสภาพใบก้างหั่นลมผลิตไฟฟ้า
(ก) การออกแบบชุดควบคุมหุ่นยนต์ (ข) ชุดควบคุมหุ่นยนต์ที่สร้างขึ้นจริง

ส่วนชุดคำสั่งของหุ่นยนต์ตรวจสอบสภาพใบก้างหั่นลมผลิตไฟฟ้าพัฒนาจากโปรแกรมภาษา Python โดยใช้โมดูล Flask ของ Python สร้างเป็นเว็บแอปพลิเคชันใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์ โดยมีบอร์ดควบคุมรุ่น Raspberry Pi 4 (Controller) ที่อยู่บนกล่องควบคุมทำหน้าที่ประมวลผลสัญญาณคำสั่งที่ได้รับจากผู้ใช้งานในการบังคับการเคลื่อนที่และการบันทึกภาพของหุ่นยนต์ผ่าน Numpad wireless โดยกดปุ่มเลข 8 หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่เดินหน้า กดปุ่มเลข 4 หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่เลี้ยวซ้าย กดปุ่มเลข 2 หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ถอยหลัง กดปุ่มเลข 6 หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่เลี้ยวขวา กดปุ่มเลข 5 ตั้งค่าหุ่นยนต์ทำเริ่มต้น และกดปุ่มเครื่องหมาย “ - “ หุ่นยนต์จะบันทึกภาพถ่ายภาพ ตามตารางที่ 1 จากนั้นจะส่งผ่านชุดคำสั่งสัญญาณเชื่อมต่อไร้สายไปยังภาครับสัญญาณ (Robot)

ตารางที่ 1 แสดงเงื่อนไขการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

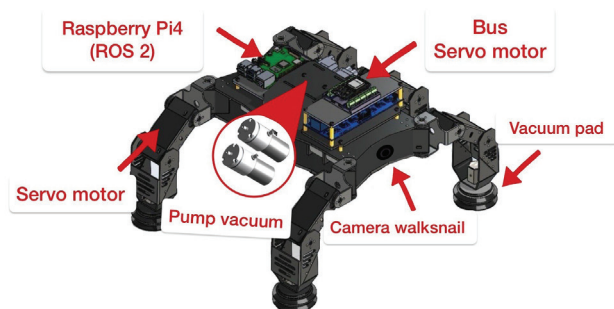
Numpad Wireless	เงื่อนไขคำสั่ง	ผลการแสดงของคำสั่ง (การเคลื่อนที่หุ่นยนต์)
	กดปุ่มเลข 8	หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ไปเดินหน้า
	กดปุ่มเลข 4	หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่เลี้ยวซ้าย
	กดปุ่มเลข 6	หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่เลี้ยวขวา
	กดปุ่มเลข 2	หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ไปถอยหลัง
	กดปุ่มเลข 5	ตั้งค่าหุ่นยนต์ทำเริ่มต้น
	กดปุ่มเครื่องหมาย “ - “	หุ่นยนต์จะบันทึกภาพถ่ายภาพ



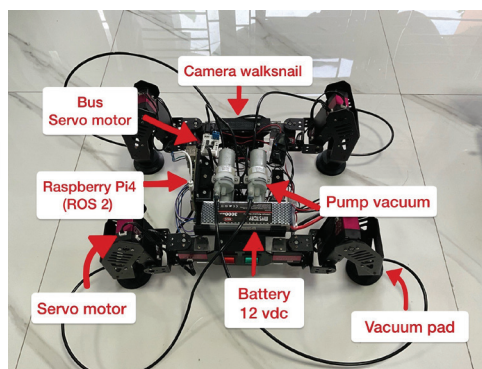
ภาพที่ 5 ลำดับการส่งชุดคำสั่งของภาคส่งสัญญาณ

2.2 ชุดประมวลผลภาครับสัญญาณ (Robot) ออกแบบและพัฒนาให้มีรูปร่างคล้ายแมงมุม มีการออกแบบและติดตั้ง Vacuum Pump อยู่ที่ตัวหุ่นยนต์เพื่อสร้างระบบดูดยึดแบบสุญญากาศ สำหรับเสริมความมั่นคงทั้งในด้านโครงสร้างและการเคลื่อนที่ โดยหุ่นยนต์ขับเคลื่อนด้วยแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 3.75 แอมแปร์ จำนวน 1 ก้อน มีน้ำหนัก 0.3 กิโลกรัม จ่ายพลังงานรวมทั้งหมด 45 วัตต์-ชั่วโมง (Wh) ซึ่งให้พลังงานเพียงพอต่อการใช้งานต่อเนื่องได้นานประมาณ 15 นาที

หลักการทำงานโดยชุดประมวลผลภาครับสัญญาณ (Robot) จะประมวลผลชุดคำสั่งด้วยระบบปฏิบัติการ Robot operating system หรือ ROS เป็นระบบปฏิบัติการเพื่อประมวลผลข้อมูลคำสั่งโดยสามารถควบคุมแบบแยกโหนด (Node) โดยแต่ละโหนด สามารถส่งคำสั่งและรับคำสั่งโดยผ่านระบบระบบปฏิบัติการ ROS ที่ประมวลผลโดยบอร์ดควบคุมรุ่น Raspberry Pi 4 เป็นตัวกลางในการบริหารและจัดการ สำหรับควบคุม Servo Motor และ Vacuum Pump ในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตามฟังก์ชันคำสั่งการเคลื่อนที่ที่กำหนดไว้ เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถดูดยึดเกาะและเคลื่อนที่ไปยังจุดหมายตามคำสั่งผ่าน Numpad wireless ที่ส่งชุดคำสั่งในระยะ 10 เมตรได้



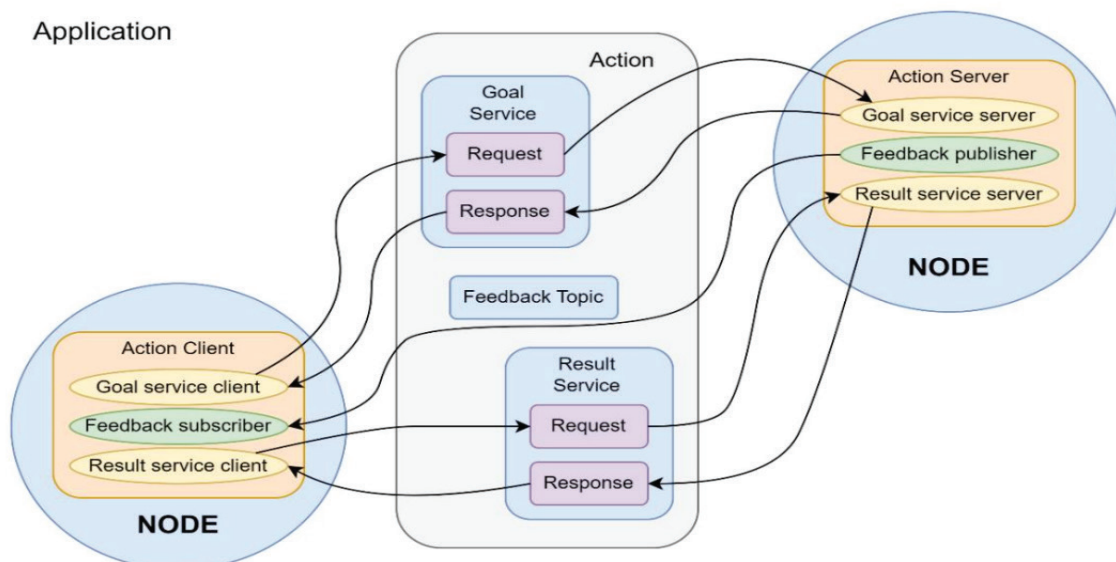
(ก)



(ข)

ภาพที่ 6 หุ่นยนต์ตรวจสอบสภาพใบกังหันลมผลิตไฟฟ้า

(ก) การออกแบบหุ่นยนต์ (ข) หุ่นยนต์ที่สร้างขึ้นจริง

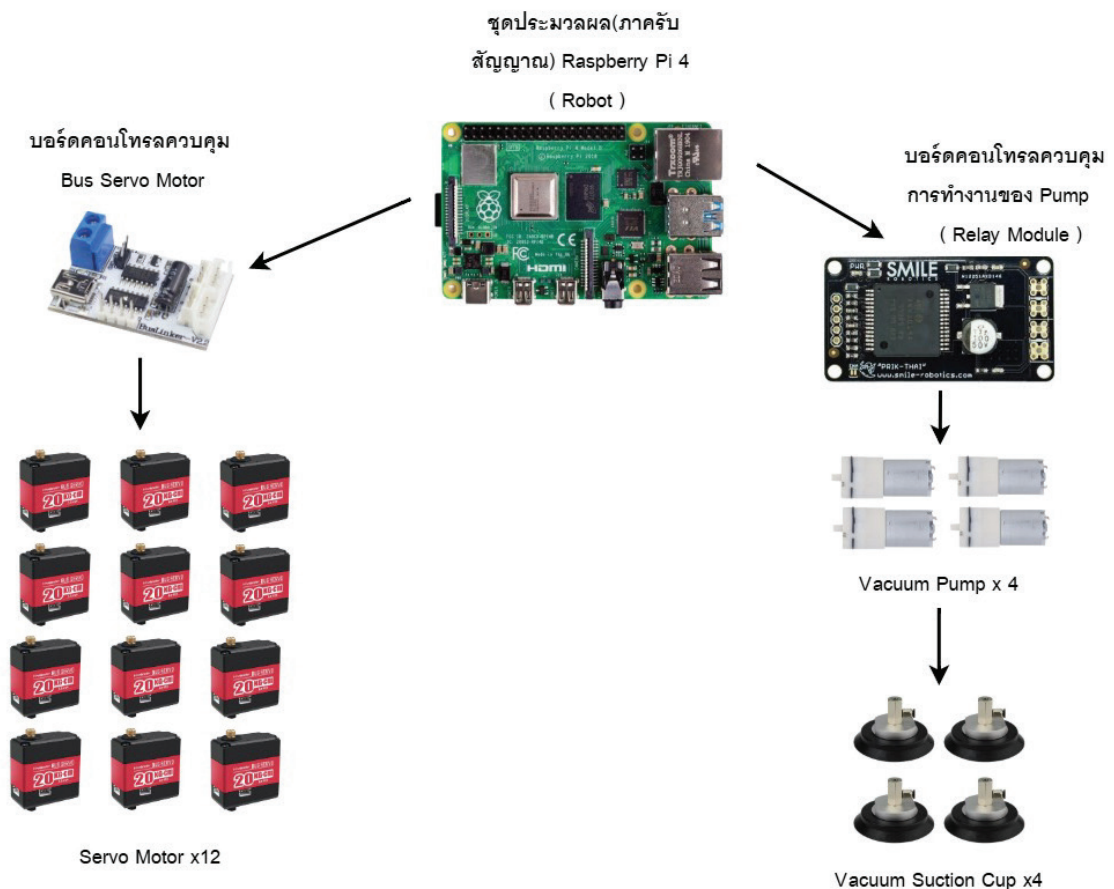


ภาพที่ 7 ลำดับการส่งชุดคำสั่งของภาคส่งสัญญาณแต่ละโหนด

เมื่อการประมวลผลแล้วเสร็จจะส่งชุดคำสั่งด้วยสัญญาณเชื่อมต่อไร้สาย 2.4 กิกะเฮิรตซ์ (GHz) แยกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ชุดคำสั่งส่วนที่ 1 ถูกส่งไปที่บอร์ดควบคุม Bus Servo motor เพื่อประมวลผลและตรวจสอบเงื่อนไขของชุดคำสั่ง จากนั้นจะส่งสัญญาณคำสั่งไปที่เซอร์โวมอเตอร์บังคับส่วนประกอบหุ่นยนต์เพื่อควบคุมการหมุนและเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตามฟังก์ชันคำสั่งที่กำหนดไว้

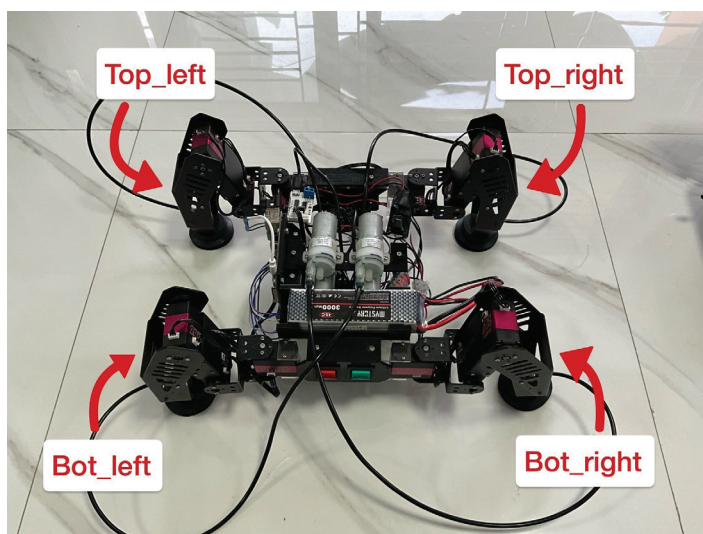
ชุดคำสั่งส่วนที่ 2 ถูกส่งไปที่บอร์ดรับสัญญาณคำสั่งสำหรับควบคุมการทำงานของ Pump Vacuum เพื่อประมวลผลและตรวจสอบเงื่อนไขตามคำสั่ง จากนั้น Vacuum pump จะส่งลมดูดสุญญากาศขนาด 0.65 กิโลกรัมไปที่อุปกรณ์ยึดเกาะหุ่นยนต์กับพื้นผิว (Vacuum Suction Cup) เพื่อยึดตัวหุ่นยนต์กับพื้นผิว ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ลำดับการส่งชุดคำสั่งของภาครับสัญญาณ

การสร้าง ROS แบบ 2 โหนด (Node) คือการสร้างชุดคำสั่งเพื่อควบคุมอุปกรณ์หลายอุปกรณ์ทำงานร่วมกัน โดยมี Robot operating system หรือ ROS และระบบ ZeroMQ เป็นตัวบริหารและจัดการการทำงาน เพื่อรับและส่งชุดคำสั่ง รวมถึงบันทึกข้อความสถานะไปยังหุ่นยนต์ การบันทึกข้อความสถานะจำเป็นต้องใช้ Pub socket และการรับคำสั่งผ่าน rep_socket โดยมีการจัดการ shutdown เมื่อเกิดข้อผิดพลาดหรือต้องการหยุดการทำงาน จากนั้นดำเนินการใช้ GPIO และ ZeroMQ ในการสื่อสารกับ ROS ทั้ง 2 โหนด (Node) โดยสามารถควบคุมเซอร์โวมอเตอร์และการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตามคำสั่งที่ส่งมา ชุดคำสั่งมีการแบ่งการทำงานออกเป็นฟังก์ชันต่าง ๆ เพื่อให้สามารถสั่งงานหุ่นยนต์ได้ตามคำสั่ง เช่น เคลื่อนไปข้างหน้า ถอยหลัง หมุนซ้าย หมุนขวา

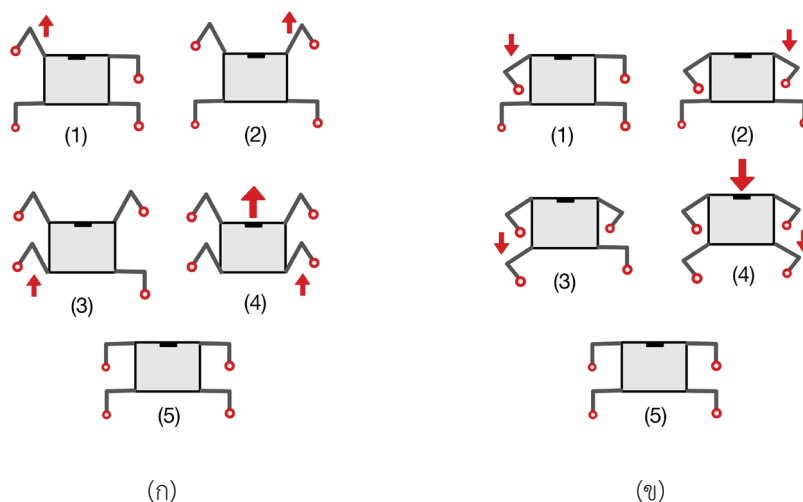
3. การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ มีวิธีการที่ใช้ส่งสัญญาณคำสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่และหมุนตัวตามฟังก์ชัน คือ เมื่อตั้งค่าการทำงานของ Servo motor และ Vacuum Pump แล้วผู้วิจัยได้กำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ โดยกำหนดการเคลื่อนที่เดินหน้า การเคลื่อนที่ถอยหลัง การเคลื่อนที่เลี้ยวซ้ายและการเคลื่อนที่เลี้ยวขวา ซึ่งในงานวิจัยได้กำหนดแต่ละขาเป็น ขาซ้ายหน้า (top_left) ขาขวามือหน้า (top_right) ขาซ้ายหลัง (bot_left) และ ขาขวามือหลัง (bot_right)



ภาพที่ 9 การกำหนดชื่อขาของหุ่นยนต์ตรวจสอบสภาพใบกังหันลมผลิตไฟฟ้า

เมื่อเริ่มส่งคำสั่งการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าหุ่นยนต์จะมีหลักการเคลื่อนที่โดยจะเริ่มจากการเคลื่อนที่ขาซ้ายหน้า (top left) ยกและเคลื่อนที่ในตำแหน่งทิศทางขึ้น 30 องศา เมื่อถึงตำแหน่งที่กำหนดไว้ Vacuum Pump จะเปิดเพื่อดูดยึดขาซ้ายหน้า (top left) กับพื้นผิวไว้ จากนั้นขาขวามือหน้า (top_right) จะยกและเคลื่อนที่ขึ้น 30 องศา และ Vacuum Pump จะดูดยึดพื้นผิวเพื่อยึดเกาะหุ่นยนต์ไม่ให้ลื่นออกจากพื้นผิว ลำดับต่อไปขาซ้ายหลัง (bot_left) และ ขาขวามือหลัง (bot_right) ก็จะเคลื่อนที่ขึ้น 30 องศา และ Vacuum Pump ก็จะทำงานในลักษณะเดียวกัน เมื่อทุกขาทำงานครบตัวหุ่นยนต์ก็จะเคลื่อนที่กลับจุดเริ่มต้นเพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนที่

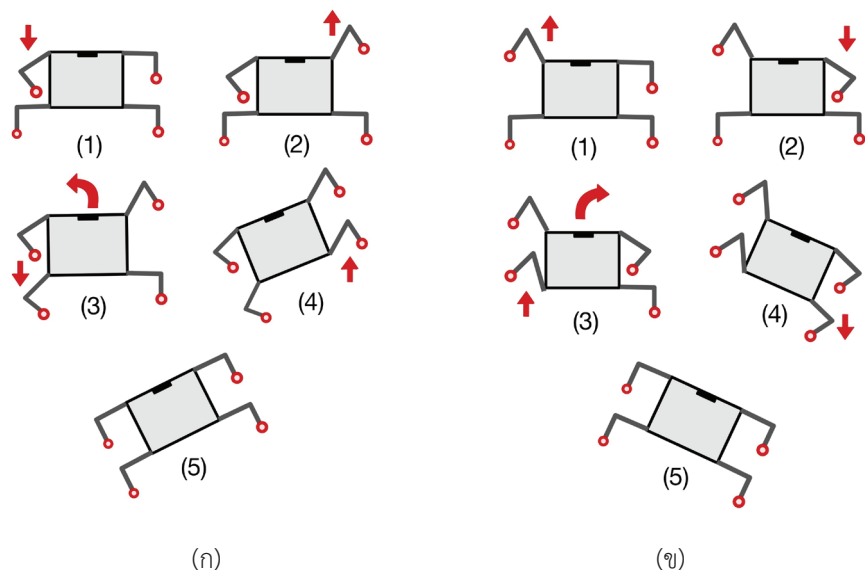
เมื่อเริ่มส่งคำสั่งการเคลื่อนที่ให้หุ่นยนต์ถอยหลัง จะมีหลักการเคลื่อนที่คล้ายกับการเคลื่อนที่เดินหน้า โดยจะเริ่มจากการเคลื่อนที่ขาซ้ายหน้า (top_left) ยกและเคลื่อนที่ในตำแหน่งทิศทางถอยหลัง 30 องศา และ Vacuum Pump จะเปิดเพื่อดูดยึดขาซ้ายหน้า (top_left) กับพื้นผิวไว้ จากนั้นขาขวาหน้า (top_right) จะยกและเคลื่อนที่ถอยหลัง 30 องศา และ Vacuum Pump จะดูดยึดพื้นผิวเพื่อยึดเกาะหุ่นยนต์ไม่ให้ลื่นออกจากพื้นผิว ลำดับต่อไปขาซ้ายหลัง (bot_left) และ ขาขวาหลัง (bot_right) ก็จะเคลื่อนที่ถอยหลัง 30 องศา และ Vacuum Pump ก็จะทำงานในลักษณะเดียวกัน เมื่อทุกขาทำงานครบตัวหุ่นยนต์ก็จะเคลื่อนที่กลับจุดเริ่มต้นเพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนที่



ภาพที่ 10 การเคลื่อนที่เดินหน้าและถอยหลังของหุ่นยนต์
(ก) หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้า (ข) หุ่นยนต์เคลื่อนที่ถอยหลัง

เมื่อเริ่มส่งคำสั่งการเคลื่อนที่เลี้ยวซ้ายหุ่นยนต์จะมีหลักการเคลื่อนที่โดยจะเริ่มจากการเคลื่อนที่ขาซ้ายหน้า (top_left) ยกและเคลื่อนที่ในตำแหน่งทิศทางลง 30 องศา เมื่อถึงตำแหน่งที่กำหนดไว้ Vacuum Pump จะเปิดเพื่อดูดยึดขาซ้ายหน้า (top_left) กับพื้นผิวไว้ จากนั้นขาขวาหน้า (top_right) จะยกและเคลื่อนที่ขึ้น 30 องศา และ Vacuum Pump จะดูดยึดพื้นผิวเพื่อยึดเกาะหุ่นยนต์ไม่ให้ลื่นออกจากพื้นผิว ลำดับต่อไปขาซ้ายหลัง (bot_left) เคลื่อนที่ลงและขาขวาหลัง (bot_right) ก็จะเคลื่อนที่ขึ้น 30 องศา เพื่อให้หุ่นยนต์เกิดการหมุนไปทางด้านซ้าย และ Vacuum Pump ก็จะทำงานในลักษณะเดียวกัน เมื่อทุกขาทำงานครบตัวหุ่นยนต์ก็จะเคลื่อนที่กลับจุดเริ่มต้นเพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนที่

เมื่อเริ่มส่งคำสั่งการเคลื่อนที่เลี้ยวขวาหุ่นยนต์จะมีหลักการเคลื่อนที่โดยจะเริ่มจากการเคลื่อนที่ขาซ้ายหน้า (top_left) ยกและเคลื่อนที่ในตำแหน่งทิศทางขึ้น 30 องศา และ Vacuum Pump จะเปิดเพื่อดูดยึดขาซ้ายหน้า (top_left) กับพื้นผิวไว้ จากนั้นขาขวาหน้า (top_right) จะยกและเคลื่อนที่ลง 30 องศา และ Vacuum Pump จะดูดยึดพื้นผิวเพื่อยึดเกาะหุ่นยนต์ไม่ให้ลื่นออกจากพื้นผิว ลำดับต่อไปขาซ้ายหลัง (bot_left) เคลื่อนที่ขึ้นและขาขวาหลัง (bot_right) ก็จะเคลื่อนที่ลง 30 องศา เพื่อให้หุ่นยนต์เกิดการหมุนไปทางด้านขวา และ Vacuum Pump ก็จะทำงานในลักษณะเดียวกัน เมื่อทุกขาทำงานครบตัวหุ่นยนต์ก็จะเคลื่อนที่กลับจุดเริ่มต้นเพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนที่

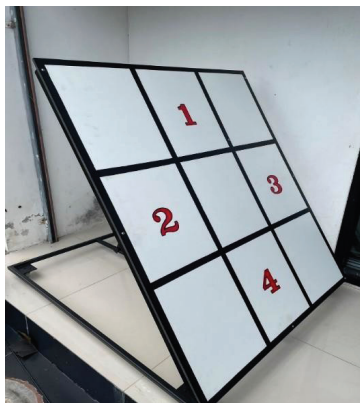


ภาพที่ 11 การเคลื่อนที่เลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวาของหุ่นยนต์
(ก) หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปเลี้ยวซ้าย (ข) หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปเลี้ยวขวา

4. การทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตรวจสอบความเสียหายใบกังหันลมผลิตไฟฟ้าจะดำเนินการผ่านการสั่งงานด้วยการส่งสัญญาณเชื่อมต่อไร้สายบนสถานีทดสอบการเคลื่อนที่ ที่จำลองความชันหลากหลายรูปแบบ ซึ่งออกแบบให้ใกล้เคียงกับมุมต่าง ๆ ของใบกังหันลมที่ใช้ทั่วไป ซึ่งมีค่าความชันประมาณ 0-20 องศา เพื่อทดสอบความสามารถของหุ่นยนต์ในการเคลื่อนที่และปฏิบัติงานตามคำสั่งบนพื้นผิวที่มีความชันแตกต่างกัน โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 รูปแบบดังต่อไปนี้

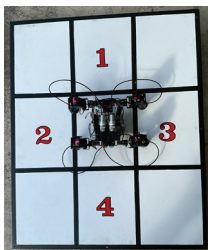
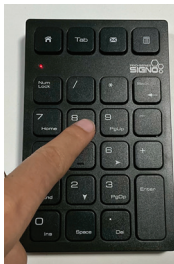
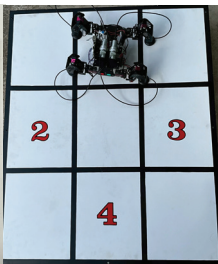
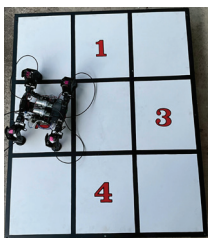
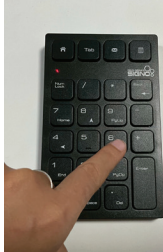
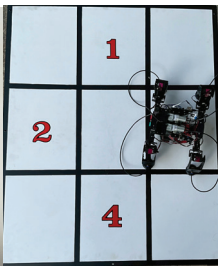
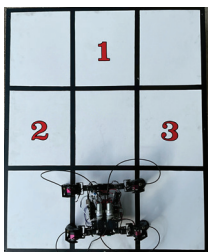
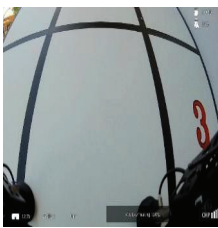
1. ทดสอบการเคลื่อนที่ด้วยการส่งสัญญาณเชื่อมต่อไร้สายบนสถานีทดสอบให้เป็นไปตามที่กำหนด
2. ทดสอบการเคลื่อนที่ด้วยการส่งสัญญาณเชื่อมต่อไร้สายและยึดเกาะพื้นผิวที่ความชัน 20 องศา และการบันทึกภาพ
3. ทดสอบการเคลื่อนที่ด้วยการส่งสัญญาณเชื่อมต่อไร้สายและยึดเกาะพื้นผิวที่ความชัน 30 องศา และการบันทึกภาพ

โดยสถานีทดสอบการเคลื่อนที่นั้นจะถูกแบ่งเป็นตาราง 9 ช่อง โดยช่องตรงกลางจะเป็นช่องสำหรับการเริ่มต้นการทดสอบในแต่ละรอบการทดสอบ ส่วนในช่องที่เหลือจะมีหมายเลขติดไว้ในช่อง เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังช่องจุดหมายจะต้องสามารถบันทึกภาพถ่ายได้

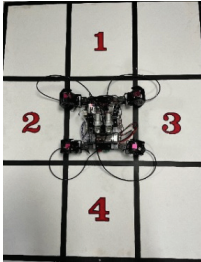
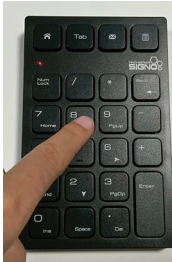
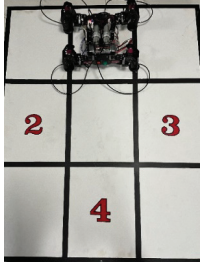
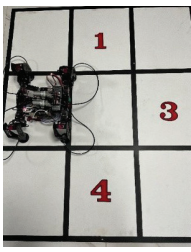
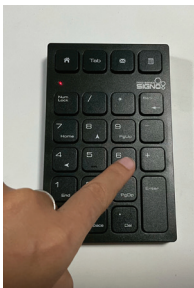
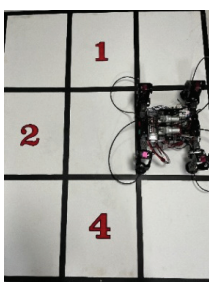
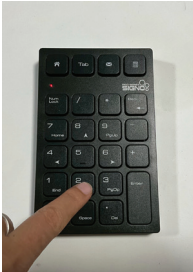
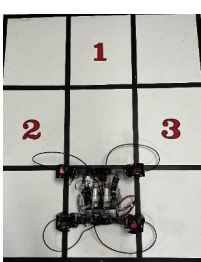
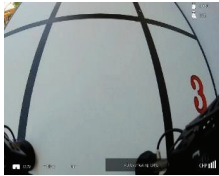


ภาพที่ 12 สถานีทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตรวจสอบสภาพใบกังหันลมผลิตไฟฟ้า

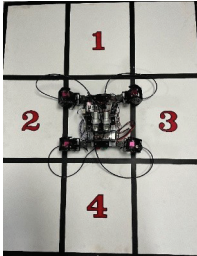
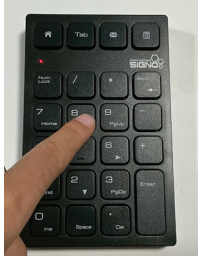
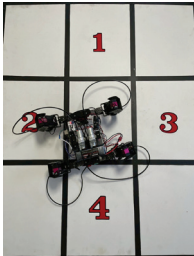
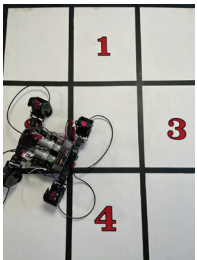
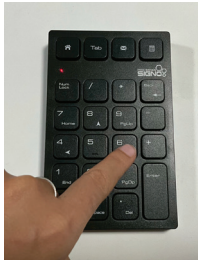
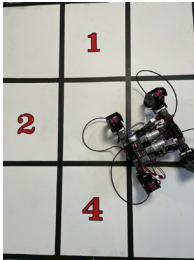
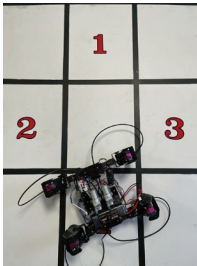
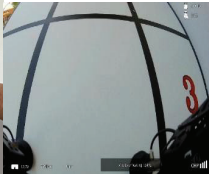
ตารางที่ 2 ทดสอบการเคลื่อนที่ด้วยการส่งสัญญาณเชื่อมต่อไร้สายบนสถานีทดสอบการเคลื่อนที่

Function การทำงาน	เงื่อนไขการทำงาน	ผลการทดสอบ	Function การทำงาน	เงื่อนไขการทำงาน	ผลการทดสอบ
เริ่มต้น การทดสอบ หุ่นยนต์ หยุดนิ่ง			หุ่นยนต์ เคลื่อนที่ เดินทางไป หมายเลข 1		
หุ่นยนต์ เคลื่อนที่ เลี้ยวซ้ายไป หมายเลข 2			หุ่นยนต์ เคลื่อนที่ เลี้ยวขวาไป หมายเลข 3		
หุ่นยนต์ เคลื่อนที่ ถอยหลังไป หมายเลข 4			ทดสอบ การบันทึก ภาพถ่าย		

ตารางที่ 3 ทดสอบการเคลื่อนที่ด้วยการส่งสัญญาณเชื่อมต่อไร้สายบนสถานีทดสอบการเคลื่อนที่และยึดเกาะ
พื้นผิวที่มีความชัน 20 องศา และการบันทึกภาพ

Function การทำงาน	เงื่อนไขการทำงาน	ผลการทดสอบ	Function การทำงาน	เงื่อนไขการทำงาน	ผลการทดสอบ
เริ่มต้น การทดสอบ หุ่นยนต์ หยุดนิ่ง			หุ่นยนต์ เคลื่อนที่ เดินทางไป หมายเลข 1		
หุ่นยนต์ เคลื่อนที่ เลี้ยวซ้ายไป หมายเลข 2			หุ่นยนต์ เคลื่อนที่ เลี้ยวขวาไป หมายเลข 3		
หุ่นยนต์ เคลื่อนที่ ถอยหลังไป หมายเลข 4			ทดสอบ การบันทึก ภาพถ่าย		

ตารางที่ 4 ทดสอบการเคลื่อนที่ด้วยการส่งสัญญาณเชื่อมต่อไร้สายบนสถานีทดสอบการเคลื่อนที่และยึดเกาะ
พื้นผิวที่มีความชัน 30 องศา และการบันทึกภาพ

Function การทำงาน	เงื่อนไขการทำงาน	ผลการทดสอบ	Function การทำงาน	เงื่อนไขการทำงาน	ผลการทดสอบ
เริ่มต้น การทดสอบ หุ่นยนต์ หยุดนิ่ง			หุ่นยนต์ เคลื่อนที่ เดินทางไป หมายเลข 1		
หุ่นยนต์ เคลื่อนที่ เลี้ยวซ้าย ไปหมายเลข 2			หุ่นยนต์ เคลื่อนที่ เลี้ยวขวาไป หมายเลข 3		
หุ่นยนต์ เคลื่อนที่ ถอยหลังไป หมายเลข 4			ทดสอบ การบันทึก ภาพถ่าย		

ผลการทดลองและวิจารณ์

การดำเนินการทดสอบหุ่นยนต์ตรวจสอบความเสียหายใบกังหันลมผลิตไฟฟ้าโดยทดสอบการเคลื่อนที่ด้วยการส่งสัญญาณเชื่อมต่อไร้สาย เพื่อให้หุ่นยนต์ตรวจสอบความเสียหายใบกังหันลมผลิตไฟฟ้าสามารถทำงานได้ตามคำสั่งที่ต้องการและทดสอบการเคลื่อนที่ด้วยสัญญาณเชื่อมต่อไร้สายบนพื้นผิวที่มีความชันที่แตกต่างกัน โดยมีการทดสอบ 3 รูปแบบ ดังต่อไปนี้

1. ทดสอบการเคลื่อนที่ด้วยการส่งสัญญาณเชื่อมต่อไร้สายบนสถานีทดสอบการเคลื่อนที่ที่ระดับความชัน 0 องศา ให้เป็นไปตามที่กำหนด ผลปรากฏว่าหุ่นยนต์สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ และมีความเสถียรในการเคลื่อนที่ด้วยสัญญาณเชื่อมต่อไร้สายบนสถานีทดสอบการเคลื่อนที่และการส่งสัญญาณภาพถ่ายเรียลไทม์รวมถึงการบันทึกภาพโดยเวลาในการเคลื่อนที่เดินทาง 0.44 นาที การเคลื่อนที่ถอยหลัง 0.38 นาที การเคลื่อนที่เลี้ยวซ้าย 1.19 นาที และการเคลื่อนที่เลี้ยวขวา 1.35 นาที

2. ทดสอบการเคลื่อนที่ด้วยการส่งสัญญาณเชื่อมต่อไร้สายบนสถานีทดสอบการเคลื่อนที่และยึดเกาะพื้นผิวที่ความชัน 20 องศาและการบันทึกภาพ ผลปรากฏว่า หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่เดินทาง ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย และเลี้ยวขวาได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ การส่งสัญญาณภาพถ่ายเรียลไทม์รวมถึงการบันทึกภาพได้ดี แต่ค่อนข้างใช้เวลาในการเคลื่อนที่มากกว่าการเคลื่อนที่แบบพื้นราบ โดยเวลาในการเคลื่อนที่เดินทาง 9.24 นาที การเคลื่อนที่ถอยหลัง 4.26 นาที การเคลื่อนที่เลี้ยวซ้าย 10.43 นาที และการเคลื่อนที่เลี้ยวขวา 9.31 นาที

3. ทดสอบการเคลื่อนที่ด้วยการการส่งสัญญาณเชื่อมต่อไร้สายบนสถานีทดสอบการเคลื่อนที่และยึดเกาะพื้นผิวที่ความชัน 30 องศา และการบันทึกภาพ ผลปรากฏว่าหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางต่าง ๆ ได้เพียงเล็กน้อย เนื่องจากแรงดูดของ Vacuum Pump ไม่เพียงพอที่จะดูดยึดหุ่นยนต์เพื่อรับน้ำหนักโดยรวมของตัวหุ่นยนต์ไว้ได้ ทำให้หุ่นยนต์มีการไถลลงตามแรงโน้มถ่วงของโลก

สรุป

การออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์ตรวจสอบใบกังหันลมผลิตไฟฟ้า มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์สำหรับตรวจสอบสภาพการทำงานและความเสียหายของใบกังหันลมผลิตไฟฟ้า แนวคิดในการออกแบบหุ่นยนต์มีรูปร่างคล้ายแมงมุมที่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ มีขากระจายน้ำหนัก เพื่อความมั่นคง ทรงตัวได้ดีในพื้นที่แคบ พื้นที่ที่ไม่สม่ำเสมอ พื้นที่ยื่นตราบและบนพื้นผิวที่มีความชันได้ โดยอาศัยระบบเกาะยึดพื้นผิวแบบสุญญากาศ การทำงานของหุ่นยนต์ควบคุมด้วยระบบปฏิบัติการ Robot Operating System หรือ ROS ผ่านบอร์ดควบคุมรุ่น Raspberry Pi 4 สามารถควบคุมแบบแยกโหนด (Node) และมีระยะการส่งชุดคำสั่งการเคลื่อนที่ไปที่หุ่นยนต์ในระยะ 10 เมตร ซึ่งเป็นระยะที่ปฏิบัติงานได้จริงในการตรวจสอบใบกังหันลมที่มีขนาดแตกต่างกันและมีปัญหาในแต่ละจุดพร้อมส่งข้อมูลภาพเคลื่อนที่ผ่านสัญญาณเชื่อมต่อไร้สาย 2.4 GHz หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่และบันทึกภาพได้ตามฟังก์ชันที่กำหนด

การทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ตรวจสอบใบกังหันลมผลิตไฟฟ้าสามารถเคลื่อนที่ด้วยการส่งสัญญาณเชื่อมต่อไร้สายบนสถานีทดสอบการเคลื่อนที่และทำงานได้เต็มประสิทธิภาพตามที่กำหนด เมื่อทดสอบการเคลื่อนที่ด้วยการส่งสัญญาณเชื่อมต่อไร้สายบนสถานีทดสอบ การเคลื่อนที่ที่ระดับความชัน 0 องศา หุ่นยนต์สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพและมีความเสถียรในการเคลื่อนที่ เมื่อทดสอบการเคลื่อนที่และการยึดเกาะพื้นผิวที่ความชัน 20 องศา บนสถานีทดสอบหุ่นยนต์ยังสามารถเคลื่อนที่เดินทาง ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย และเลี้ยวขวาได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ การส่งสัญญาณภาพถ่ายเรียลไทม์รวมถึงการบันทึกภาพได้ แต่ค่อนข้างใช้เวลาในการเคลื่อนที่มากกว่าการเคลื่อนที่แบบไม่มี ความชันและเมื่อทดสอบการเคลื่อนที่และการยึดเกาะพื้นผิวที่ความชัน 30 องศา หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางต่าง ๆ ได้เพียงเล็กน้อย เนื่องจากแรงดูดของ Vacuum Pump ในแต่ละขามีค่าอยู่ที่ประมาณ 0.65 กิโลกรัม เมื่อหุ่นยนต์ทำการยกขาเพื่อเคลื่อนที่ แรงดูดจากขาที่ยึดพื้นไม่เพียงพอในการรับน้ำหนักรวมของหุ่นยนต์ที่มีน้ำหนักประมาณ 2.5 กิโลกรัม ส่งผลให้หุ่นยนต์เกิดการไถลลงตามแรงโน้มถ่วงของโลก โดยการทดสอบนี้ไม่ได้นำปัจจัยเรื่องแรงลมมาพิจารณาทดสอบการเคลื่อนที่บนสถานีทดสอบ

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นความสามารถของหุ่นยนต์ที่ผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นสามารถตรวจสอบใบกังหันลมได้ตามฟังก์ชันที่กำหนดไว้ โดยเคลื่อนที่ไปตรวจสอบในส่วนที่มีปัญหาได้แต่ยังต้องได้รับการพัฒนา หรือต่อยอดเพิ่มเติมในส่วนรูปร่างของตัวหุ่นยนต์โดยใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบากว่าและส่วนอุปกรณ์อาจมีการเปลี่ยนรุ่นของ Vacuum Pump ที่สามารถเพิ่มกำลังแรงดูดสุญญากาศ หรือติดตั้งถังเก็บอากาศเพื่อให้หุ่นยนต์สามารถทำงานได้ในสภาวะการณ์ที่หลากหลายและมีประสิทธิภาพในการยึดเกาะมากขึ้น ซึ่งการใช้หุ่นยนต์จะมีความน่าเชื่อถือ ในเรื่องการลดความเสี่ยงของผู้ปฏิบัติงาน ลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา และปลอดภัยมากกว่าการใช้มนุษย์และการใช้วิธีการอื่น ๆ

เอกสารอ้างอิง

- Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE). (2020). **Alternative energy development plan 2018-2037 (AEDP 2018)**. Ministry of Energy, Thailand. (In Thai)
- Electricity Generating Authority of Thailand. (2023). **Unseen EGAT by ENGY repair wind turbine**. Retrieved from <https://www.egat.co.th/home/20230518-art01> [2024, 18 May.] (In Thai)
- Elkmann, N., Felsch, T., & Forster, T. (2010). **Robot for Rotor Blade Inspection**. In the 1st International Conference on Applied Robotics for the Power Industry Delta Centre-Ville (pp. 1-5) Montréal, Canada. Retrieved from <https://doi.org/10.1109/CARPI.2010.5624444>
- Gong, C., & Fan, L. (2023). Design and experiments of a hexapod robot for inspection of wind turbine blades. **2023 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)**, 1-6.
- Jeon, M., Byunggon, K., Park, S., & Hong, D. (2012). **Maintenance robot for wind power blade cleaning**. 2012 Proceedings of the 29th ISARC, Eindhoven, Netherlands: The International Association for Automation and Robotics in Construction.
- Jung, S., Shin, J., Myeong, W., & Myung, H. (2015). Mechanism and system design of MAV (Micro Aerial Vehicle)-type wall-climbing robot for inspection of wind blades and non-flat surfaces. **2015 15th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)**, 1757-1761.
- Katsaprakakis, D, A., Papadakis, N., & Ntintakis, I. (2021). A comprehensive analysis of wind turbine blade damage. **Energies**, **14**(18), 5974.
- Lauener, J., & Sliwinski, W. (2017). **How to design & implement a modern communication middleware based on ZeroMQ**. Conference: ICALEPCS 2017 - International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems, Barcelona, Spain. Retrieved from <https://accelconf.web.cern.ch/icalepcs2017/papers/mobpl05.pdf> [2023, 13 Jan.]
- Li, Zhengyang., Li, Zhenjing., Tam, L.M., & Xu, Q. (2023). Design and development of a versatile quadruped climbing robot with obstacle-overcoming and manipulation capabilities. **IEEE/ASME Transactions on Mechatronics**, **28**, 1649-1661.
- Nitta, Y., Tamura, S., & Takase, H. (2019). **ZytleBot: FPGA integrated development platform for ROS based autonomous mobile robot**. Retrieved from <https://doi.org/10.1109/FPL.2019.00077> [2023, 22 Aug.]

- Quigley, M., Gerkey, B., Conley, K., Faust, J., Foote, T., Leibs, J., Berger, E., Wheeler, R., & Ng, A. (2009). **ROS: an open-source Robot Operating System**. Paper presented at the ICRA Workshop on Open Source Software, Kobe, Japan. Retrieved from <https://robotics.stanford.edu/~ang/papers/icraoss09-ROS.pdf>
- Shen, L., Zhao, X., Gao, C., & Shen, R. (2024). **Design of wind turbine cabin inspection robot system**. Conference: 2024 7th International Conference on Intelligent Robotics and Control Engineering (IRCE). Retrieved from <https://doi.org/10.1109/IRCE62232.2024.10739809> [2024, 18 Dec.]
- Yang, Y. Z., Ai, C. S., & Lee, K. (2013). A study of robot platform based on WiFi remote control. **Applied Mechanics and Materials**, **418**, 20-24.

แนวทางการออกแบบศูนย์การเรียนรู้ของชุมชนกลุ่มจักสานผักตบชวา บ้านคลองนกระทุง
เพื่อส่งเสริมแหล่งการเรียนรู้ทางภูมิปัญญาท้องถิ่น
DESIGN GUIDELINES OF WATER HYACINTH BASKETRY COMMUNITY BAN KHLONG
NOK KRATHUNG'S LEARNING CENTER TO PROMOTE LEARNING
RESOURCES OF LOCAL WISDOM

พิมพวรรณ ภักดีสุวรรณ* และ ศาสตรา ศรีหาภาค

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร 10300

Pimphawan Phakdeesuwana* and Sastra Srihabhak

Faculty of Architecture and Design, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok 10300

*E-mail: pimphawan.p@rmutp.ac.th

Received: 08-12-2024

Revised: 25-06-2025

Accepted: 20-11-2025

บทคัดย่อ

วิสาหกิจชุมชนจักสานผักตบชวาบ้านคลองนกระทุง มีความประสงค์จะจัดตั้งศูนย์การเรียนรู้ขึ้นเพื่อเป็นสถานที่ถ่ายทอดความรู้ ส่งเสริมและพัฒนาองค์ความรู้ด้านการจักสาน โดยคณะผู้วิจัยมีแนวคิดในการศึกษาพฤติกรรมการใช้พื้นที่และปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบศูนย์การเรียนรู้ผ่านกระบวนการออกแบบอย่างมีส่วนร่วม มีวัตถุประสงค์ของการวิจัย คือ 1. ศึกษาพฤติกรรมของผู้ใช้งานพื้นที่ศูนย์การเรียนรู้ 2. วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลในการออกแบบศูนย์การเรียนรู้ของชุมชนกลุ่มจักสานผักตบชวา 3. เสนอแนะแนวทาง และประเมินความพึงพอใจ การออกแบบศูนย์การเรียนรู้ของชุมชนกลุ่มจักสานผักตบชวาผ่านกระบวนการออกแบบอย่างมีส่วนร่วม ผลการวิจัย พบว่าพฤติกรรมผู้ใช้งานพื้นที่ของวิสาหกิจชุมชนมีปัญหาในเรื่องพื้นที่เก็บสินค้าที่ไม่เพียงพอ และไม่เป็นระเบียบเรียบร้อย ไม่มีการจัดสรรพื้นที่อาคารที่ดีพอ และปัจจัยที่มีผลในการออกแบบ ได้แก่ ข้อจำกัดด้านพื้นที่และการคงโครงสร้างอาคารเดิม ซึ่งจำเป็นต้องออกแบบให้รองรับการใช้ประโยชน์ที่หลากหลายและเชื่อมโยงพื้นที่อย่างต่อเนื่อง มีผลประเมินความพึงพอใจเกี่ยวกับแนวทางการออกแบบศูนย์การเรียนรู้ของชุมชนกลุ่มจักสานผักตบชวาอยู่ในระดับมากที่สุดในทุกด้าน พบว่ารูปแบบอาคารและสถาปัตยกรรมมีความเหมาะสมในการใช้งานพื้นที่มากยิ่งขึ้น มีการจัดสรรพื้นที่ให้ใช้สอยได้ตามความต้องการ และมีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถแก้ปัญหาเรื่องพื้นที่จัดเก็บสินค้าที่ไม่เพียงพอได้ การนำเอกลักษณ์การจักสานของกลุ่มมาพัฒนาสู่แนวความคิดในการออกแบบส่งผลให้อาคารมีความน่าสนใจยิ่งขึ้น การออกแบบมีการคำนึงถึงการรับลมและแสงธรรมชาติ โดยออกแบบตามการใช้งานและสภาพโครงสร้างอาคารเดิม การออกแบบภายในและการเลือกวัสดุเน้นเลือกโทนสีธรรมชาติและอบอุ่นให้สอดคล้องกับบริบทที่ตั้งและอัตลักษณ์ท้องถิ่น

คำสำคัญ: การออกแบบ ศูนย์การเรียนรู้ จักสาน บ้านคลองนกระทุง ภูมิปัญญาท้องถิ่น

ABSTRACT

The Water Hyacinth Basketry Community Enterprise of Ban Khlong Nok Krathung seeks to establish a learning center dedicated to knowledge transfer, promotion, and development in the art of weaving. The research team investigate the spatial usage behaviors and factors influencing the design of the learning center through a participatory design approach. The research objectives are as follows: 1. To study the behaviors of users within the learning center area; 2. To analyze the factors influencing the design of the Water Hyacinth Basketry Community's learning center; 3. To propose design guidelines and evaluate user satisfaction for the learning center through a participatory design process. The research findings indicated that community enterprise users faced significant challenges with inadequate and disorganized product storage, primarily stemming from suboptimal building area allocation. Given key design constraints, specifically limited physical space and the mandate to preserve the existing structure, the resultant design was required to support multipurpose use and continuous spatial connectivity. The evaluation results indicated satisfaction levels regarding the design guidelines for the learning center are exceptionally high across all aspects. It was determined that the architectural design of the building is better suited for spatial utilization. Space allocation aligns with user needs more efficiently, effectively addressing issues of inadequate storage. The incorporation of the group's distinct weaving styles into the design concept enhanced the building's appeal. The design prioritized natural ventilation and light while adapting to the existing building structure. Interior design and material selection reflect natural and warm tones, harmonizing with the location's context and local identity.

Keywords: Design, Learning Center, Basketry, Ban Khlong Nok Krathung, Local Wisdom

บทนำ

วิสาหกิจชุมชนจักสานผักตบชวาบ้านคลองนกกระทุง เกิดจากการรวมกลุ่มของชุมชนที่ต้องการรายได้เสริม นอกเหนือจากการทำไร่ทำนา โดยมีนายชั้น ฉ้ออนชม เป็นผู้นำได้ไปศึกษาเรียนรู้จากกลุ่มศิลปาชีพบางไทร และนำมาเผยแพร่สู่ชาวบ้านในชุมชนจึงก่อให้เกิดรายได้มากขึ้น และเริ่มรวมตัวกันก่อตั้งเป็นวิสาหกิจชุมชนจักสานผักตบชวาบ้านคลองนกกระทุง อ.บางเลน จ.นครปฐม โดยทางชุมชนมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับงานจักสาน มีความเชี่ยวชาญชำนาญจนสามารถที่จะถ่ายทอดองค์ความรู้ภูมิปัญญาของชุมชน (Local wisdom) เป็นภูมิปัญญาที่สั่งสม และสืบทอดติดต่อกันมาอย่างต่อเนื่องจากรุ่นสู่รุ่นจนกลายเป็นค่านิยมของชุมชน (Department of Agricultural Extension, 2021) ในด้านการจักสานแก่กลุ่มชุมชน นักเรียน นักศึกษา เยาวชน หรือบุคคลที่มีความสนใจเรื่องของการจักสาน เพื่อเป็นการต่อยอดองค์ความรู้ และการส่งเสริมและพัฒนาองค์ความรู้ด้านการจักสาน ชุมชนจึงมีความประสงค์ที่จะจัดตั้งศูนย์การเรียนรู้ขึ้น เพื่อเป็นสถานที่ถ่ายทอดองค์ความรู้ ส่งเสริมและพัฒนาองค์ความรู้ด้านการจักสาน เพื่อเป็นพื้นที่เรียนรู้เชิงปฏิบัติการและพื้นที่ในการทำกิจกรรมการเรียนรู้ทางภูมิปัญญาท้องถิ่น โดยการออกแบบศูนย์การเรียนรู้ชุมชนเป็นศูนย์กลางรวบรวมข้อมูลข่าวสารความรู้ของชุมชนที่จะนำไปสู่การส่งเสริมกระบวนการเรียนรู้สำหรับประชาชนในชุมชน เป็นแหล่งเสริมสร้างโอกาสในการเรียนรู้ การถ่ายทอด การแลกเปลี่ยนประสบการณ์ การสืบทอดภูมิปัญญา

วัฒนธรรม ค่านิยม และเอกลักษณ์ของชุมชน (Community Development Department, 2008) เป็นการออกแบบด้วยกระบวนการการมีส่วนร่วมโดยการที่ฝ่ายหนึ่งฝ่ายใดที่ไม่เคยได้เข้าร่วมในกิจกรรมต่าง ๆ หรือเข้าร่วมการตัดสินใจหรือเคยมาเข้าร่วมด้วยเล็กน้อย ได้เข้าร่วมด้วยมากขึ้น เป็นไปอย่างมีอิสรภาพ เสมอภาค ไม่ใช่มิมีส่วนร่วมอย่างผิวเผินแต่เข้าร่วมด้วยอย่างแท้จริงยิ่งขึ้นและการเข้าร่วมนั้นต้องเริ่มตั้งแต่ขั้นแรกจนถึงขั้นสุดท้ายของโครงการ (Narinchai, 2003) ในระดับต่าง ๆ ได้แก่ การให้ข้อมูลศูนย์การเรียนรู้ต่อผู้ใช้งาน เปิดรับฟังความคิดเห็น เพื่อให้ได้มีการแลกเปลี่ยนข้อมูลและรับทราบความต้องการของผู้ใช้งาน นำมาพัฒนาแบบศูนย์การเรียนรู้

ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงศึกษาแนวทางการออกแบบศูนย์การเรียนรู้ของชุมชนกลุ่มจักสานผักตบชวาบ้านคลองนกกระทุง จ.นครปฐม เพื่อส่งเสริมแหล่งการเรียนรู้ทางภูมิปัญญาท้องถิ่น โดยพื้นที่ศูนย์การเรียนรู้ประกอบไปด้วยพื้นที่ดังนี้ ส่วนแสดงงานหัตถกรรมจักสานผักตบชวา ส่วนแสดงศูนย์การเรียนรู้ สาธิตกระบวนการหัตถกรรมจักสานผักตบชวา และส่วนจัดแสดงสินค้า ผลิตภัณฑ์จากภูมิปัญญาท้องถิ่น หัตถกรรมจักสานผักตบชวา โดยการศึกษาพฤติกรรมการใช้พื้นที่และปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบศูนย์การเรียนรู้ผ่านกระบวนการออกแบบอย่างมีส่วนร่วม เพื่อเป็นแนวทางการออกแบบศูนย์การเรียนรู้ให้แก่ชุมชนกลุ่มจักสานผักตบชวา

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมของผู้ใช้งานพื้นที่ศูนย์การเรียนรู้
2. เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลในการออกแบบศูนย์การเรียนรู้ของชุมชนกลุ่มจักสานผักตบชวา ผ่านกระบวนการออกแบบอย่างมีส่วนร่วม
3. เพื่อเสนอแนะแนวทาง และประเมินความพึงพอใจ การออกแบบศูนย์การเรียนรู้ของชุมชนกลุ่มจักสานผักตบชวา ผ่านกระบวนการออกแบบอย่างมีส่วนร่วม

วิธีการ

กระบวนการออกแบบศูนย์การเรียนรู้ของชุมชนกลุ่มจักสานผักตบชวา บ้านคลองนกกระทุง เพื่อส่งเสริมแหล่งการเรียนรู้ทางภูมิปัญญาท้องถิ่น มีวิธีการดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. การรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นด้วยการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับโครงการ ประกอบด้วยข้อมูลเบื้องต้นของกลุ่มจักสาน ข้อมูลทฤษฎีเกี่ยวกับเรื่องภูมิปัญญาท้องถิ่น การมีส่วนร่วม การออกแบบศูนย์การเรียนรู้ ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะงานของปาริชาติ ศรีเมือง ที่ศึกษาการนำแรงบันดาลใจจากหัตถกรรมจักสานมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบสถาปัตยกรรมร่วมสมัย โดยมุ่งเน้นการสื่อสารอัตลักษณ์ไทยผ่านรูปแบบพื้นที่ใช้สอยและโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมที่ต่อเนื่องและสลับไหล เหมาะสมกับที่ว่างภายในของโครงการ เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบปรับปรุงศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ ผลการออกแบบชี้ให้เห็นว่างานจักสานสามารถเป็นแรงบันดาลใจในการสร้างสรรค์สถาปัตยกรรมทางด้านวัสดุและแนวคิดได้ (Parichad, 2018)

2. ลงพื้นที่เก็บข้อมูลระยะที่ 1 สํารวจข้อมูลทางกายภาพและสังคม วิถีชีวิตของพื้นที่วิจัย คือวิสาหกิจชุมชนจักสานผักตบชวาบ้านคลองนกกระทุง อ.บางเลน จ.นครปฐม โดยการสำรวจพื้นที่ตั้ง สังเกตและสอบถามข้อมูลผ่านการมีส่วนร่วม



ภาพที่ 1 ลงพื้นที่เก็บข้อมูลระยะที่ 1

3. สรุปรูปข้อมูลจากการลงพื้นที่เก็บข้อมูลระยะที่ 1
4. ลงพื้นที่เก็บข้อมูลในระยะที่ 2 โดยการสัมภาษณ์กลุ่มเป้าหมายที่ใช้งานพื้นที่ ประชากร คือ สมาชิกวิสาหกิจชุมชนจักสานผักตบชวาบ้านคลองนกกระทุง จ. นวนน 50 คน และก าหนดกลุ่มตัวอย่างสมาชิกวิสาหกิจชุมชนจำนวน 11 คน โดยใช้วิธีการเชิงคุณภาพ ทั้งการสังเกตและการสัมภาษณ์ เพื่อสำรวจและรังวัดอาคารเดิมที่จะปรับปรุงผ่านการมีส่วนร่วม



ภาพที่ 2 ลงพื้นที่เก็บข้อมูลในระยะที่ 2

5. สรุปรูปข้อมูลจากการลงพื้นที่เก็บข้อมูลระยะที่ 2
6. วิเคราะห์ ประมวลผลข้อมูล และนำมาออกแบบศูนย์การเรียนรู้ของชุมชนกลุ่มจักสานผักตบชวาบ้านคลองนกกระทุง เพื่อนำเสนอแนวทางสถาปัตยกรรมที่เหมาะสมกับโครงการ
7. นำต้นแบบแนวทางการออกแบบทางสถาปัตยกรรมที่ได้ออกแบบผ่านการมีส่วนร่วม ไปนำเสนอต่อกลุ่มเป้าหมายที่ใช้งานพื้นที่



ภาพที่ 3 นำเสนอแนวทางการออกแบบ

8. ปรับแก้ไข ดำเนินการทำแบบนำเสนอการใช้งานพื้นที่
9. นำผลที่ได้จากนำเสนอ มาสรุป และอภิปรายผลการศึกษา

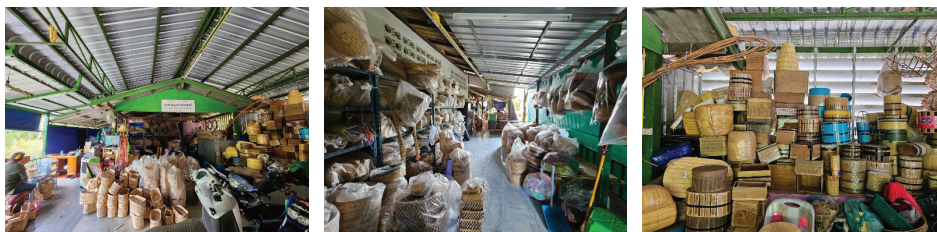
ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการดำเนินการวิจัยมีดังต่อไปนี้

1. พฤติกรรมของผู้ใช้งานพื้นที่ศูนย์การเรียนรู้ จากการลงพื้นที่เก็บข้อมูล รับฟังปัญหา สัมภาษณ์สอบถามความต้องการทางวิสาหกิจชุมชนจักสานผักตบชวาบ้านคลองนกกระทุง และสำรวจพื้นที่ปัจจุบัน ผ่านกระบวนการมีส่วนร่วมเพื่อศึกษาพฤติกรรมของผู้ใช้งานพื้นที่และเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลในการออกแบบ โดยใช้รูปแบบการมีส่วนร่วมคือการปรึกษาหารือระหว่างผู้ดำเนินการโครงการกับผู้ที่เกี่ยวข้องและได้รับผลกระทบ เพื่อรับฟังความคิดเห็นและตรวจสอบข้อมูลเพิ่มเติม ให้เกิดข้อเสนอแนะประกอบทางเลือกในการตัดสินใจ (Paiboon & Pantip, 2008)



ภาพที่ 4 สภาพพื้นที่ภายนอกปัจจุบันของวิสาหกิจชุมชนจักสานผักตบชวาบ้านคลองนกกระทุง



ภาพที่ 5 สภาพพื้นที่ภายในปัจจุบันของวิสาหกิจชุมชนจักสานผักตบชวาบ้านคลองนกกระทุง

พบว่าพฤติกรรมผู้ใช้งานพื้นที่ของวิสาหกิจชุมชนมีปัญหาในเรื่องพื้นที่เก็บสินค้าที่ไม่เพียงพอ และไม่เป็นระเบียบเรียบร้อย ไม่มีการจัดสรรพื้นที่อาคารที่ดีพอ ทางเข้าด้านหน้าอาคารไม่มีจุดสนใจที่โดดเด่นที่จะดึงดูดความสนใจได้ตามภาพที่ 4 และภาพที่ 5 ทางวิสาหกิจชุมชนมีความต้องการพื้นที่ในส่วนการจัดแสดงประวัติชุมชนและการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมแหล่งการเรียนรู้ทางภูมิปัญญา พื้นที่จัดแสดงสินค้า พื้นที่ทำงานจักสานและอบรมเชิงปฏิบัติการ (Workshop) พื้นที่ไลฟ์สด (Live) ขายสินค้า

2. ปัจจัยที่มีผลในการออกแบบศูนย์การเรียนรู้ของชุมชนกลุ่มจักสานผักตบชวา พบว่า ปัจจัยที่มีผลในการออกแบบ ได้แก่ ข้อจำกัดด้านพื้นที่และการคงโครงสร้างอาคารเดิม ซึ่งจำเป็นต้องออกแบบให้รองรับการใช้ประโยชน์ที่หลากหลายและเชื่อมโยงพื้นที่อย่างต่อเนื่อง

3. แนวทางและผลประโยชน์ความพึงพอใจการออกแบบศูนย์การเรียนรู้ของชุมชนกลุ่มจักสานผักตบชวา ผลการวิเคราะห์การออกแบบศูนย์การเรียนรู้ของชุมชนกลุ่มจักสานผักตบชวา บ้านคลองนกกระทุง เพื่อส่งเสริมแหล่งการเรียนรู้ทางภูมิปัญญาท้องถิ่น มีผลดังนี้



(ก)

(ข)

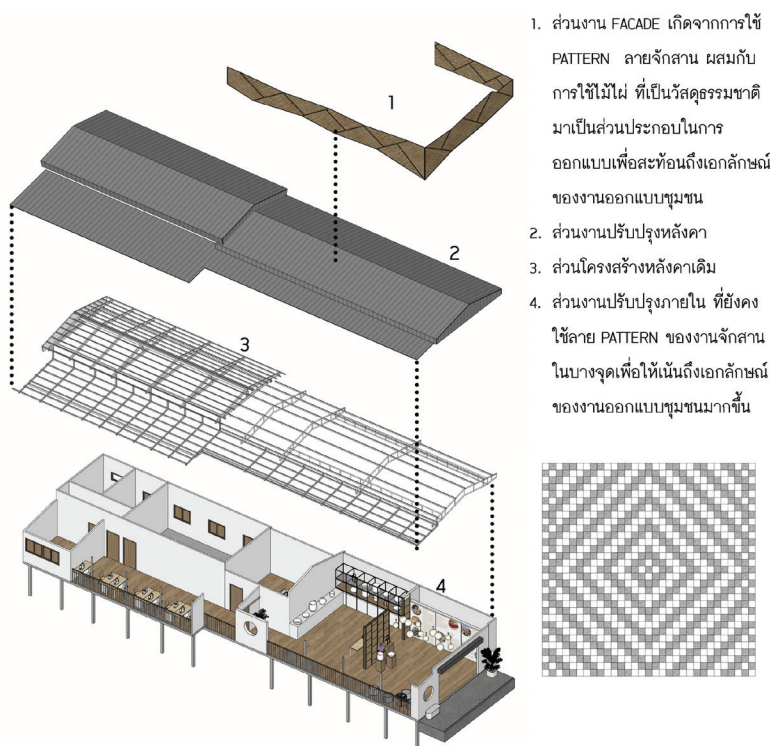
(ค)

ภาพที่ 6 ลายจักสานผักตบชวาของวิสาหกิจชุมชนจักสานผักตบชวาบ้านคลองนกกระทุง

(ก) ลายชะลอ (ข) ลายรวงข้าว (ค) ลายเสือ

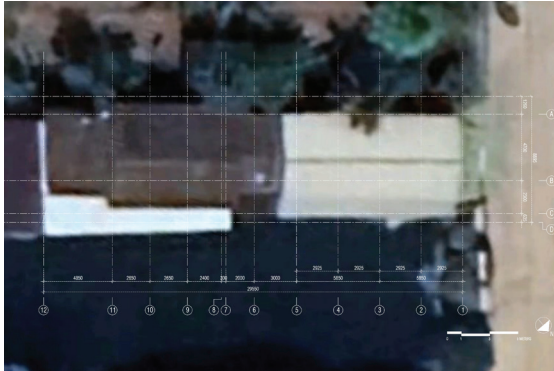
จากการสำรวจข้อมูลทางกายภาพและสังคม วิถีชีวิต อัตลักษณ์ชุมชนของพื้นที่วิจัย คือ วิสาหกิจชุมชนจักสานผักตบชวาบ้านคลองนกกระทุง อ.บางเลน จ.นครปฐม พบว่ามีเอกลักษณ์ในการจักสานและความเชี่ยวชาญการจักสานผักตบชวา (ก) ลายชะลอ (ข) ลายรวงข้าว และ (ค) ลายเสือตามภาพที่ 6 โดยได้นำลายจักสานนี้เป็นต้นแบบแนวคิดในการออกแบบผนังกันพื้นที่ และเปลือกอาคาร (Facade) ของอาคาร

จากการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลทุกมิติ ผ่านการออกแบบอย่างมีส่วนร่วม การเปิดโอกาสให้บุคคลหรือกลุ่มบุคคลเข้ามามีส่วนร่วมในกิจกรรมไม่ว่าจะเป็นทางตรงหรือทางอ้อม ในลักษณะของการร่วมรับรู้ ร่วมคิด ร่วมทำ ร่วมตัดสินใจ ร่วมติดตามผล (Mett, 2010) นำไปสู่การเสนอแนะแนวทางการออกแบบศูนย์การเรียนรู้ของชุมชนกลุ่มจักสานผักตบชวา บ้านคลองนกกระทุง เพื่อส่งเสริมแหล่งการเรียนรู้ทางภูมิปัญญาท้องถิ่น ดังนี้

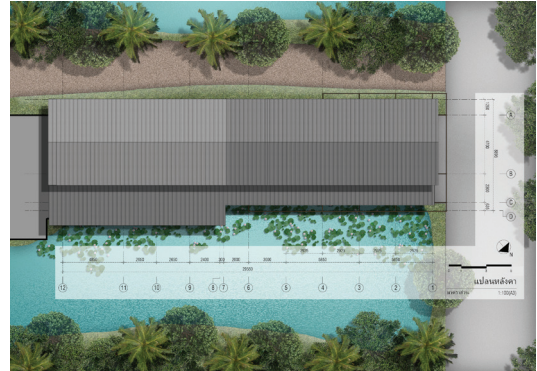


ภาพที่ 7 แผนภาพแนวความคิดในการออกแบบอาคาร

แนวคิดในการออกแบบ คือ นำลายจกสานที่เป็นเอกลักษณ์ของกลุ่ม มาใช้ในการออกแบบปรับปรุงอาคารในส่วนของผนังกันพื้นที่ระหว่างส่วนจัดแสดงประวัติและการเรียนรู้ กับพื้นที่จัดแสดงสินค้าให้มีลายการสานและขัดกัน และนำมาออกแบบเปลือกอาคาร (Facade) ให้มีลายสานและขัดกันโดยใช้ไม้ไผ่ ดังภาพที่ 7

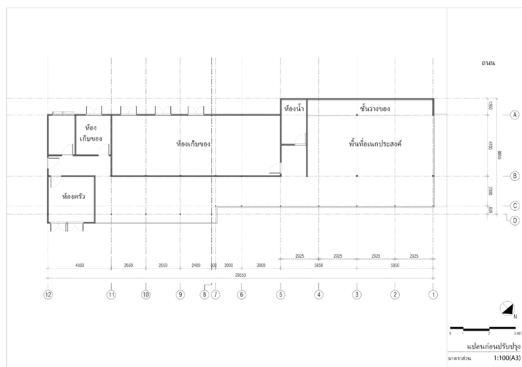


(ก)



(ข)

ภาพที่ 8 ผังหลังคา (ก) ผังหลังคาปัจจุบันก่อนออกแบบปรับปรุง (ข) ผังหลังคาหลังออกแบบปรับปรุง



(ก)

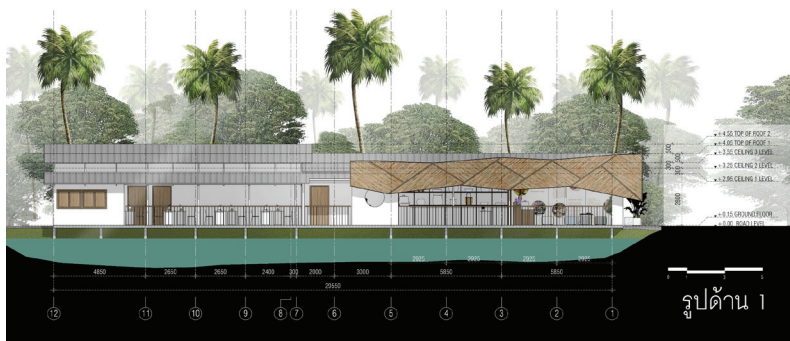


(ข)

ภาพที่ 9 ผังพื้นอาคาร (ก) ผังพื้นก่อนออกแบบปรับปรุง (ข) ผังพื้นหลังออกแบบปรับปรุง

จากภาพที่ 8 แสดงผังหลังคาปัจจุบันก่อนออกแบบปรับปรุง และหลังออกแบบปรับปรุง (ข) มีการออกแบบปรับปรุงหลังคาส่วนด้านหน้าให้เป็นระดับเดียวกัน เพื่อการใช้งานในอนาคตที่แข็งแรงตามความต้องการของวิสาหกิจชุมชน ภาพที่ 9 แสดงผังพื้นปัจจุบันก่อนออกแบบปรับปรุง และหลังออกแบบปรับปรุง (ข) มีการออกแบบปรับปรุงพื้นที่โดยส่วนบริเวณด้านหน้าเป็นส่วนจัดแสดงนิทรรศการ ประวัติของวิสาหกิจชุมชน ประตูทางเข้าออกแบบใช้ประตูไม้วนเก็บขึ้นด้านบน มีการออกแบบผนังส่วนที่จัดแสดงประวัติให้เป็นตู้โชว์เก็บของด้วยเพื่อเพิ่มพื้นที่จัดเก็บของที่เป็ระเบียบ และเพิ่มพื้นที่ส่วนนั่งพักคอย ส่วนถัดมาเป็นพื้นที่ส่วนแสดงสินค้าและร้านค้า พื้นที่ชำระเงิน มีการออกแบบชั้นแสดงสินค้าที่มีพื้นที่มาก โดยระหว่างพื้นที่ทั้งสองส่วนนั้นมีการออกแบบผนังกันโดยใช้ลายจกสานมาใช้ในการออกแบบ ถัดมาจะเป็น

ห้องพื้นที่ไลฟ์สด (Live) ขายสินค้า มีพื้นที่แยกเพื่อความเป็นส่วนตัวหากมีการขายสินค้าออนไลน์ ถัดมาเป็นส่วนพื้นที่ทำงานจักษุและอบรมเชิงปฏิบัติการ (Workshop) โดยมีการออกแบบให้รับลมและแสงธรรมชาติบริเวณระเบียงริมน้ำ ถัดมาจะเป็นห้องเก็บของสินค้าสำรอง ที่มีชั้นและแยกสัดส่วนให้เก็บของได้มากขึ้น



(ก)



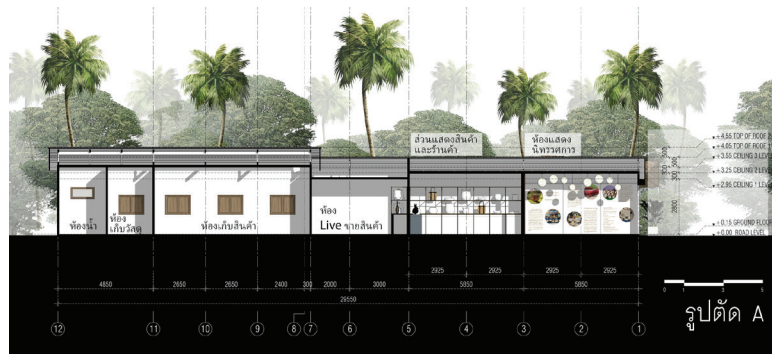
(ข)



(ค)

ภาพที่ 10 รูปด้านอาคาร (ก) รูปด้านที่ 1 (ข) รูปด้านที่ 2 (ค) รูปด้านที่ 3

จากภาพที่ 10 แสดงรูปด้านอาคาร โดยรูปด้านที่ 1 (ก) เป็นมุมมองจากสระน้ำ การออกแบบยังคงเปิดระเบียงเพื่อรับลมเนื่องจากเป็นทิศตะวันออกและติดริมน้ำ มีความเย็นตลอดวัน รูปด้านที่ 2 (ข) เป็นมุมมองจากด้านหน้าอาคาร เน้นการออกแบบเปลือกอาคาร (Facade) ให้มีลายสานและขัดกันโดยใช้ไม้ไผ่ และการออกแบบช่องเปิดวงกลม เพื่อความสวยงามเป็นเป็นการเปิดมุมมองดึงดูดความสนใจ รูปด้านที่ 3 (ค) เป็นมุมมองด้านข้างติดถนนส่วนบุคคล โดยในด้านนี้จะมีต้นไม้ปิดบังสายตา จึงออกแบบเปลือกอาคาร (Facade) ลายสานในบางส่วนเพื่อประหยัดงบประมาณ แต่ยังคงสวยงาม



(ก)



(ข)

ภาพที่ 11 รูปตัดอาคาร (ก) รูปตัด A (ข) รูปตัด B

จากภาพที่ 11 แสดงรูปตัดอาคาร โดยออกแบบตามการใช้งานและสภาพโครงสร้างอาคารเดิม คือ โครงสร้างเสา คานและโครงหลังคาเดิม เปลี่ยนวัสดุผนังหลังคาใหม่ มีการปรับปรุงแบ่งส่วนและห้องต่างๆ ตามความต้องการใช้งานของพื้นที่



ภาพที่ 12 ทรรศนียภาพภายนอกโครงการ

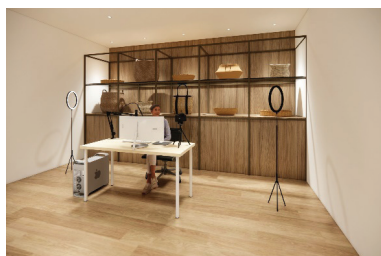
จากภาพที่ 12 แสดงทัศนียภาพภายนอกโครงการออกแบบและปรับปรุงเปลือกอาคาร (Facade) ให้มีลายสาน และขัดกันโดยใช้ไม้เพื่อเน้นทางเข้าโครงการและมีจุดเด่น



(ก)



(ข)



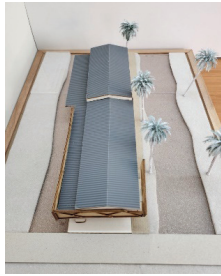
(ค)



(ง)

ภาพที่ 13 ทัศนียภาพภายในโครงการ (ก) ส่วนจัดแสดงนิทรรศการ (ข) ส่วนแสดงสินค้าและร้านค้า (ค) ห้องไลฟ์สด (Live) ขายสินค้า (ง) ส่วนพื้นที่ทำงานจักสานและอบรมเชิงปฏิบัติการ (Workshop)

จากภาพที่ 13 แสดงทัศนียภาพภายในโครงการ สภาพแวดล้อมภายในทั้งทางเดินตลอดจนพื้น ผนัง ฝ้า เป็นรายละเอียดที่เสริมบรรยากาศภายในนิทรรศการ โดยการออกแบบต้องคำนึงถึงโทนสีของวัสดุ เพื่อกำหนดอุณหภูมิสีที่เหมาะสม รวมถึงการคำนวณค่าความสว่างที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดสมดุลของแสงภายในห้อง (AVL Design Co., Ltd., 2020) โดยการออกแบบภายในและวัสดุนั้นเลือกโทนสีธรรมชาติและอบอุ่น เช่น สีขาว สีน้ำตาล วัสดุไม้หรือลายไม้ เพื่อให้เกิดความรู้สึกอบอุ่นและเป็นกันเอง เป็นการใช้วัสดุจากธรรมชาติตามที่กลุ่มจักสานผักตบชวาใช้



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 14 หุ่นจำลองอาคาร (ก) มุมมองทั้งโครงการ (ข) มุมมองด้านหน้าอาคาร
(ค) มุมมองด้านข้างอาคารบริเวณสระน้ำ

จากภาพที่ 14 แสดงหุ่นจำลองมุมมองภายนอกอาคาร โดยการออกแบบปรับปรุงเปลือกอาคาร (Facade) ให้มีลายสานและขัดกันโดยใช้ไม้ไผ่เพื่อเน้นทางเข้าโครงการและมีจุดเด่น เน้นการใช้วัสดุโทนสีจากธรรมชาติ

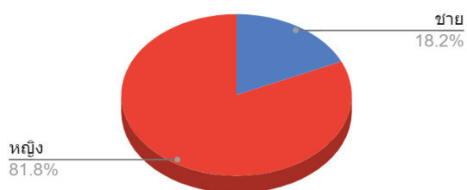


ภาพที่ 15 หุ่นจำลองมุมมองภายในอาคาร

จากภาพที่ 15 แสดงหุ่นจำลองมุมมองภายในอาคาร ในส่วนพื้นที่บริเวณด้านหน้าเป็นส่วนจัดแสดงนิทรรศการ ส่วนนั่งพักคอย ส่วนถัดมาเป็นพื้นที่ส่วนแสดงสินค้าและร้านค้า พื้นที่ชำระเงิน ส่วนพื้นที่ทำงานจักสานและอบรมเชิงปฏิบัติการ (Workshop) มีการแบ่งการใช้งานเป็นสัดส่วนและใช้พื้นที่ได้มากยิ่งขึ้น

ผลการประเมินความพึงพอใจต่อรูปแบบใหม่ของศูนย์การเรียนรู้ของชุมชนกลุ่มจักสานผักตบชวา บ้านคลองนกกระทุง เพื่อส่งเสริมแหล่งการเรียนรู้ทางภูมิปัญญาท้องถิ่น โดยมีกลุ่มตัวอย่างสมาชิกวิสาหกิจชุมชนจักสานผักตบชวา บ้านคลองนกกระทุง ร่วมประเมินผลความพึงพอใจการออกแบบโครงการ จำนวน 11 คน โดยทั้งหมดอาศัยอยู่บ้านคลองนกกระทุง

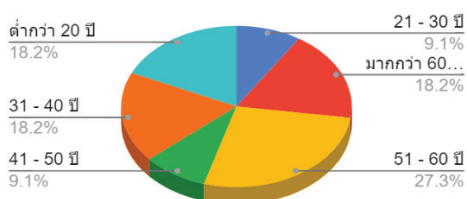
เพศ



ภาพที่ 16 แผนภูมิแสดงเพศของผู้ประเมินความพึงพอใจ

ผู้ประเมินความพึงพอใจเป็นเพศหญิงมากถึงร้อยละ 81.8 และเพศชายร้อยละ 18.2

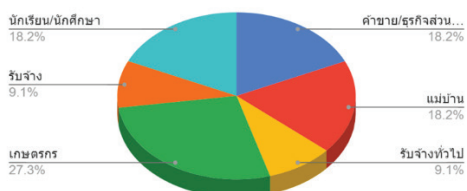
อายุ



ภาพที่ 17 แผนภูมิแสดงอายุของผู้ประเมินความพึงพอใจ

ผู้ประเมินความพึงพอใจมีช่วงอายุต่ำกว่า 20 ปี ถึง มากกว่า 60 ปี อยู่ในช่วงอายุ 51-60 ปี มากที่สุดร้อยละ 27.3

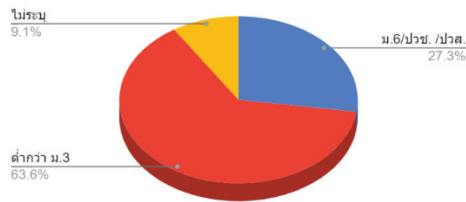
อาชีพ



ภาพที่ 18 แผนภูมิแสดงอาชีพของผู้ประเมินความพึงพอใจ

ผู้ประเมินความพึงพอใจมีอาชีพหลากหลาย ทั้งค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว นักเรียน/นักศึกษา แม่บ้าน รับจ้าง และเป็นเกษตรกรมากที่สุดคือร้อยละ 27.3

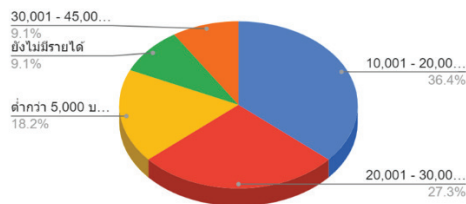
ระดับการศึกษา



ภาพที่ 19 แผนภูมิแสดงระดับการศึกษาของผู้ประเมินความพึงพอใจ

ผู้ประเมินความพึงพอใจมีระดับการศึกษา ต่ำกว่า ม.3 มากที่สุดคือร้อยละ 63.6 รองลงมาคือ ม.6/ปวช./ปวส. ร้อยละ 27.3

รายได้



ภาพที่ 20 แผนภูมิแสดงรายได้ของผู้ประเมินความพึงพอใจ

ผู้ประเมินความพึงพอใจมีรายได้ต่ำสุดคือยังไม่มีรายได้ สูงสุดในช่วง 30,001 - 45,000 บาท ช่วงรายได้ 10,001 - 20,000 บาท มีมากที่สุดคือร้อยละ 36.4

ผลประเมินความพึงพอใจเกี่ยวกับแนวทางการออกแบบศูนย์การเรียนรู้ของชุมชนกลุ่มจักสานผักตบชวา บ้านคลองนกกระทุง เพื่อส่งเสริมแหล่งการเรียนรู้ทางภูมิปัญญาท้องถิ่น มีดังตารางนี้

ตารางที่ 1 ผลตารางแสดงผลประเมินความพึงพอใจเกี่ยวกับแนวทางการออกแบบศูนย์การเรียนรู้ของชุมชน กลุ่มจักสานผักตบชวา บ้านคลองนกกระทุง เพื่อส่งเสริมแหล่งการเรียนรู้ทางภูมิปัญญาท้องถิ่น

ลำดับ	รายการประเมินผล	ผลคะแนน ความ พึงพอใจ
1	การออกแบบศูนย์การเรียนรู้ของชุมชนกลุ่มจักสานผักตบชวา บ้านคลองนกกระทุง มีความเหมาะสมสอดคล้องกับการใช้งานในบริเวณพื้นที่ชุมชนบ้านบ้านคลองนกกระทุง โดยภาพรวม	4.91
2	ความพึงพอใจต่อการออกแบบพื้นที่บริเวณส่วนจัดแสดงนิทรรศการและจัดแสดงสินค้าในระดับใด	4.73
3	ความพึงพอใจต่อการออกแบบพื้นที่บริเวณส่วนพื้นที่สาธิตและทำงานจักสานในระดับใด	4.91

ลำดับ	รายการประเมินผล	ผลคะแนน ความ พึงพอใจ
4	ความพึงพอใจต่อการออกแบบพื้นที่บริเวณส่วนพื้นที่ห้อง Live ขายสินค้าในระดับใด	4.73
5	ความพึงพอใจต่อการรูปแบบ และสามารถนำไปต่อยอดในการพัฒนาหรือก่อสร้างงานจริงได้	4.82

จากตารางที่ 1 แสดงผลประเมินความพึงพอใจเกี่ยวกับแนวทางการออกแบบศูนย์การเรียนรู้ของชุมชนกลุ่มจักสานผักตบชวา บ้านคลองนกกระทุง ชำรงต้นนั้น มีคะแนนความพึงพอใจในทุกหัวข้ออยู่ในระดับมากที่สุด ในส่วนข้อเสนอแนะ มีข้อเสนอให้เพิ่มพื้นที่ร้านค้าขนาดเล็กเพิ่มเติม เพื่อรองรับนักท่องเที่ยวที่อาจเพิ่มขึ้นในอนาคต ทั้งนี้มีความคิดเห็นในเชิงบวกเกี่ยวกับลักษณะความสวยงามของแนวทางการออกแบบศูนย์การเรียนรู้ของชุมชนกลุ่มจักสานผักตบชวา บ้านคลองนกกระทุง

สรุป

กระบวนการเพื่อสร้างการเรียนรู้แนวทางการออกแบบศูนย์การเรียนรู้ของชุมชนกลุ่มจักสานผักตบชวา บ้านคลองนกกระทุง เพื่อส่งเสริมแหล่งการเรียนรู้ทางภูมิปัญญาท้องถิ่น โดยผ่านกิจกรรมการมีส่วนร่วม รับฟังปัญหา สัมภาษณ์สอบถามความต้องการทางวิสาหกิจชุมชนจักสานผักตบชวาบ้านคลองนกกระทุง และสำรวจพื้นที่ปัจจุบัน ผ่านการมีส่วนร่วม เพื่อศึกษาพฤติกรรมของผู้ใช้งานพื้นที่ วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลในการออกแบบ การสำรวจและรังวัดอาคารเดิมที่จะปรับปรุงเพื่อนำไปพัฒนาจัดทำแบบนำเสนอทางสถาปัตยกรรม การนำเสนอผลงาน การออกแบบต้นแบบสถาปัตยกรรมและถ่ายทอดองค์ความรู้แนวทางการออกแบบศูนย์การเรียนรู้ของชุมชนกลุ่มจักสานผักตบชวาผ่านการมีส่วนร่วมแก่วิสาหกิจชุมชนจักสานผักตบชวา บ้านคลองนกกระทุง

คณะผู้วิจัยพบว่าพฤติกรรมผู้ใช้งานพื้นที่ของวิสาหกิจชุมชนมีปัญหาด้านพื้นที่เก็บสินค้าที่ไม่เพียงพอ การจัดสรรพื้นที่ไม่เหมาะสม และขาดจุดเด่นบริเวณทางเข้าอาคาร ปัจจัยที่มีผลในการออกแบบ ได้แก่ ข้อจำกัดด้านพื้นที่ และการคงโครงสร้างอาคารเดิม ซึ่งต้องออกแบบให้รองรับการใช้สอยที่หลากหลายและเชื่อมโยงพื้นที่อย่างเหมาะสม และได้นำเสนอแนวทางการออกแบบตลอดจนประเมินผลความพึงพอใจ สรุปผลได้ว่ารูปแบบอาคารและสถาปัตยกรรม มีความเหมาะสมในการใช้งานพื้นที่มากขึ้น มีการจัดสรรพื้นที่ให้ใช้สอยได้เต็มประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถแก้ปัญหาเรื่องพื้นที่จัดเก็บสินค้าที่ไม่เพียงพอได้ มีการจัดสัดส่วนพื้นที่การใช้งานได้ตามความต้องการของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ในส่วนของออกแบบผนังกันพื้น และนำมาออกแบบเปลือกอาคาร (Facade) ให้มีลายสานและขัดกัน ที่นำเอกลักษณ์การจักสานของกลุ่ม มาใช้เป็นแนวคิดในการออกแบบ ทำให้อาคารมีความน่าสนใจเมื่อมองจากด้านหน้าอาคารและด้านข้างอาคาร ส่งผลให้เกิดการรับรู้ด้านการเข้าถึงอาคารและดึงดูดความสนใจได้มากขึ้น ในส่วนพื้นที่ทำงานจักสานและอบรมเชิงปฏิบัติการ (Workshop) โดยมีการออกแบบให้มีการรับลมและแสงธรรมชาติบริเวณระเบียงริมน้ำเนื่องจากเป็นด้านทิศตะวันออก และติดสระน้ำทำให้เกิดการระบายอากาศ มีลมเย็นตลอดทั้งวัน โดยออกแบบตามการใช้งานและสภาพโครงสร้างอาคารเดิม มีการปรับปรุงแบ่งส่วนและห้องต่างๆ ตามความต้องการการใช้งานของพื้นที่ การออกแบบภายในและวัสดุพื้นเลือกโทนสีธรรมชาติและอบอุ่น เช่น สีขาว สีน้ำตาล วัสดุไม้หรือลายไม้ ให้ความรู้สึกอบอุ่นและเป็นกันเอง และเป็นการใช้วัสดุธรรมชาติตามที่กลุ่มจักสานผักตบชวา โดยทางวิสาหกิจชุมชนจักสานผักตบชวาบ้านคลองนกกระทุง ได้นำต้นแบบทางสถาปัตยกรรมที่คณะผู้วิจัยออกแบบผ่านกระบวนการมีส่วนร่วม ไปนำเสนอเพื่อของบประมาณ

จากหน่วยงานเอกชนในการปรับปรุงอาคารต่อไป มีข้อเสนอแนะในการออกแบบพื้นที่สำโรงในอนาคต ควรเพิ่มส่วนร้านค้าขนาดเล็ก เพื่อรองรับความต้องการของลูกค้าและนักท่องเที่ยว การออกแบบเปลือกอาคาร (Facade) หากมีการปรับปรุงอาคารและก่อสร้างจริงในอนาคตสามารถปรับใช้วัสดุที่หาได้ในท้องถิ่นหรือราคาไม่สูงมากนัก เช่น ไม้ไผ่ และการบูรณาการในการออกแบบอย่างมีส่วนร่วมจะสำเร็จไม่ได้หากขาดความร่วมมือที่ดีจากชุมชน

ผลการวิจัยที่เน้นกระบวนการออกแบบอย่างมีส่วนร่วม และการจัดการกับปัญหาพื้นที่ใช้งานจริงของชุมชน เช่น การจัดเก็บสินค้าและการจัดสรรพื้นที่ ส่งผลให้ระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งานอยู่ในระดับสูงสุด โดยรูปแบบการมีส่วนร่วมอย่างแท้จริง การร่วมรับรู้ ร่วมคิด ร่วมทำ (Mett, 2010) ได้สนับสนุนผลลัพธ์ที่นำไปสู่ความเหมาะสมในการใช้งานจริงของพื้นที่ นอกจากนี้การประยุกต์ใช้เอกลักษณ์ลายจักสานของกลุ่มมาพัฒนาเป็นเปลือกอาคาร (Facade) ยังสอดคล้องกับแนวคิดการสร้างอัตลักษณ์สถาปัตยกรรม เพื่อเพิ่มความน่าสนใจและส่งเสริมการรับรู้คุณค่าทางวัฒนธรรมของชุมชน (Parichad, 2018)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุน ววน.): งบประมาณด้าน ววน. ประเภท Fundamental Fund ประจำปีงบประมาณ 2566 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ วิสาหกิจชุมชนจักสานผักตบชวา บ้านคลองนกกระทุง ที่สนับสนุนให้การวิจัยสำเร็จลุล่วง

เอกสารอ้างอิง

- AVL Design Co., Ltd. (2020). **Learning center design Meticulousness to Further Learning**. Retrieved from <https://avl.co.th/blogs/design-learning-center-for-further-learning/> [2023, 24 Apr]. (in Thai)
- Community Development Department. (2008). **Community Learning Center Manual, Citizen Edition**. Bangkok, Thailand: Suphachanin Printing Group. (in Thai)
- Department of Agricultural Extension. (2021). **Basic Knowledge about Local Wisdom in Agricultural Promotion**. Nonthaburi, Thailand: The Printing Agricultural Co-operative Federation of Thailand. (in Thai)
- Mett, M. (2010). **Participatory education management: citizens, Local Government Organizations and government agencies**. (2nd ed.). Bangkok, Thailand: Bookpoint. (in Thai)
- Narinchai, P. (2003). **Participation: Basic Principles Techniques and example cases**. (2nd ed.). Bangkok, Thailand: Sirilak Printing. (in Thai)
- Paiboon, W. & Pantip, P. (2008). **Social administration Science of the century for Thai society and world society**. Bangkok, Thailand: Community Organizations Development Institute. (in Thai)
- Parichad, S. (2018). **Wicker work handicrafts as architectural concept Thai cultural exhibition and convention center**. (Bachelor of Architecture). Sripatum University, Bangkok. (in Thai)

ภาคผนวก

รายละเอียดการเตรียมบทความ

วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

Preparation Process of PNRU Research Journal Science and Technology

วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นวารสารราย 6 เดือน เผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน และ ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม จัดทำขึ้นเพื่อเผยแพร่ผลงานในลักษณะบทความวิจัย (Research Article) บทความวิชาการ (Academic Article) และบทความปริทัศน์ (Review Article) ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแก่นักวิจัย นักวิชาการ และบุคคลทั่วไปที่สนใจ

ขอบเขตของผลงานที่ตีพิมพ์

วารสารวิจัยราชภัฏพระนครสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีตีพิมพ์บทความด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ สาขาคณิตศาสตร์สถิติฟิสิกส์เคมีชีววิทยา ชีวเคมี จุลชีววิทยา เทคโนโลยีชีวภาพ เกษตรศาสตร์วิทยาศาสตร์การอาหาร คหกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ทางทะเล วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์สุขภาพ การพยาบาล การสาธารณสุข คอมพิวเตอร์ วัสดุศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรม สถาปัตยกรรม หรือวิทยาศาสตร์ประยุกต์

การพิจารณาบทความ

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารนี้จะได้รับการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง (Peer Review) อย่างน้อย 3 ท่าน โดยผู้แต่งและผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความจะไม่ทราบชื่อซึ่งกันและกัน (Double-blind Peer Review)

ประเภทของบทความที่รับตีพิมพ์

1. บทความวิจัย (Research Article)

เป็นการนำเสนอผลงานวิจัยอย่างเป็นระบบ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาวัตถุประสงค์การดำเนินการวิจัย

2. บทความวิชาการ (Academic Article)

งานเขียน ซึ่งเป็นเรื่องที่น่าสนใจ เป็นความรู้ใหม่ กล่าวถึงความเป็นมาของปัญหา วัตถุประสงค์แนวทางการแก้ไขปัญหา มีการใช้แนวคิดทฤษฎีผลงานวิจัยจากแหล่งข้อมูล เช่น หนังสือ วารสารวิชาการ อินเทอร์เน็ตประกอบการวิเคราะห์ วิเคราะห์เสนอแนวทางแก้ไข

3. บทความปริทัศน์ (Review Article)

งานวิชาการที่ประเมินสถานะล่าสุดทางวิชาการ (State of the art) เฉพาะทางที่มีการศึกษาค้นคว้ามีการวิเคราะห์และสังเคราะห์องค์ความรู้ทั้งทางกว้าง และทางลึกอย่างทันสมัย โดยให้ข้อพิพาทที่ชี้ให้เห็นแนวโน้มที่ควรศึกษาและพัฒนาต่อไป

หลักเกณฑ์ในการส่งบทความ

1. บทความที่ผู้แต่งส่งมาเพื่อตีพิมพ์จะต้องเป็นบทความที่ยังไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่หรืออยู่ระหว่างการเสนอขอตีพิมพ์จากวารสารอื่น ๆ

2. เนื้อหาในบทความต้องไม่คัดลอก ลอกเลียน หรือไม่ตัดทอนจากบทความอื่นโดยเด็ดขาด (การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้แต่งเท่านั้น)

3. ผู้แต่งต้องเขียนบทความตามรูปแบบที่กำหนดไว้ในระเบียบการส่งบทความของวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

4. การพิจารณาบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จะพิจารณาเฉพาะบทความที่ได้รับการประเมินให้ตีพิมพ์เผยแพร่จากผู้ทรงคุณวุฒิเท่านั้น

5. กรณีข้อเสนอแนะจากผู้ทรงคุณวุฒิผู้แต่งตั้งต้องปรับแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิและชี้แจงการแก้ไขต้นฉบับดังกล่าว มายังกองบรรณาธิการ

คำแนะนำการเตรียมต้นฉบับ

รับการตีพิมพ์บทความทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ จัดพิมพ์ด้วยโปรแกรม Microsoft Word 2003 ขึ้นไป โดยใช้ตัวหนังสือแบบ TH SarabunPSK ขนาด 14 pt. ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ กำหนดตั้งค่าหน้ากระดาษ บน 1.5 นิ้ว ซ้าย 1.5 นิ้ว ล่าง 1.0 นิ้ว ขวา 1.0 นิ้ว โดยความยาวของบทความควรเป็นดังนี้

- | | |
|--|--------------------------|
| 1. บทความวิจัย (Research article) | ประมาณ 12 หน้า ต่อบทความ |
| 2. บทความทางวิชาการ (Academic article) | ประมาณ 8 หน้า ต่อบทความ |
| 3. บทความปริทัศน์ (Review article) | ประมาณ 8 หน้า ต่อบทความ |
- โดยมีส่วนประกอบดังนี้

บทความวิจัย (Research Article)	บทความวิชาการ (Academic Article)	บทความปริทัศน์ (Review Article)
1. บทนำ (Introduction)	1. บทนำ (Introduction)	1. บทนำ (Introduction)
2. วิธีการ (Methods)	2. เนื้อหา (Context)	2. เนื้อหา (Context)
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ (Results and Discussions)	3. สรุป (Conclusions)	3. สรุป (Conclusions)
4. สรุป (Conclusions)	4. เอกสารอ้างอิง (References)	4. เอกสารอ้างอิง (References)
5. เอกสารอ้างอิง (References)		

ชื่อเรื่อง ควรมีความกระชับและชัดเจน ไม่ยาวจนเกินไป บทความภาษาไทยต้องมีชื่อเรื่องทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยใช้ตัวพิมพ์ใหญ่ทั้งหมด

ชื่อผู้แต่ง ระบุชื่อเต็มและนามสกุลเต็มของผู้แต่งทุกคนทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษโดยไม่ใส่ยศหรือตำแหน่งสำหรับผู้แต่งหลักต้องใส่ E-mail address ที่ติดต่อได้และลงเครื่องหมายดอกจันกำกับ

บทคัดย่อ บทคัดย่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษควรมีความยาวระหว่าง 200 ถึง 250 คำ

คำสำคัญ ให้มีคำสำคัญ 3-5 คำ ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

รูปภาพ แยกบันทึกเป็นไฟล์ภาพที่มีนามสกุล TIFF, หรือ JPEG ถ้าเป็นภาพถ่ายกรุณาส่งภาพต้นฉบับเพื่อคุณภาพในการพิมพ์หมายเลขรูปภาพและกราฟ ให้เป็นเลขอารบิกคำบรรยายและรายละเอียดต่างๆอยู่ด้านล่างของรูปภาพ ปรับรูปแบบให้เหมาะสมกับการตีพิมพ์แบบขาว-ดำ หรือ Greyscale

เนื้อหา ใช้ตัวหนังสือแบบ TH SarabunPSK ขนาด 14 พอยท์จัดเนื้อหาตามรูปแบบบทความวิจัย (Research Article) บทความวิชาการ (Academic Article) หรือบทความปริทัศน์ (Review Article) หน่วยที่ใช้ให้เป็นไปตามรูปแบบสากล ศัพท์ภาษาอังกฤษในวงเล็บให้ใช้ตัวพิมพ์เล็กทั้งหมดยกเว้นชื่อเฉพาะ หากมีสมการให้ใช้ Equation Editor โดยจัดให้อยู่ในตำแหน่งกลางหน้ากระดาษ พร้อมระบุหมายเลขสมการ

ตาราง หมายเลขตารางให้เป็นเลขอารบิก คำบรรยายและรายละเอียดต่าง ๆ อยู่ด้านบนของตาราง

เอกสารอ้างอิง เป็นรายชื่อเอกสารที่ใช้อ้างถึงในบทความ โดยให้แปลเป็นภาษาอังกฤษทุกรายการ และจัดรูปแบบอ้างอิงตามระบบ APA 6th edition

รูปแบบการอ้างอิง

1. การอ้างอิงในเนื้อหา (In-text citation)

กรณีอ้างอิงชื่อผู้แต่งก่อนข้อความ

ตัวอย่าง

ชื่อผู้แต่ง (ปีที่พิมพ์).....

Kelly (2004) แสดงให้เห็นว่า.....

Saikaew & Kaewsarn (2009) ได้ศึกษาเกี่ยวกับ.....

Lui et al. (2000) พบว่า.....

Saikaew & Kaewsarn (2009) และ Lui et al. (2000) พบว่า

กรณีอ้างอิงชื่อผู้แต่งท้ายข้อความ

ตัวอย่าง

..... (ชื่อผู้แต่ง, ปีที่พิมพ์)

..... (Kelly, 2004)

..... (Saikaew & Kaewsarn, 2009)

..... (Lui et al., 2000)

..... (Saikaew & Kaewsarn, 2009; Lui et al., 2000)

2. การอ้างอิงในส่วนท้ายบทความ (References)

2.1 อ้างอิงจากหนังสือ (Books)

รูปแบบ ชื่อผู้เขียน. (ปีที่พิมพ์). **ชื่อหนังสือ**. (ครั้งที่พิมพ์). สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง Crawley, R. B., Dockery, L. M., Branson, T. S., Carmichael, L. E., Carson, J. C., Findlay, A. F., & Smith, D. M. (2015). **Manor houses of the early 1900s**. London, England: Taylor & Francis.

2.2 อ้างอิงจากบทความวารสาร (Journal articles)

รูปแบบ ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร, ปีที่(ฉบับที่), หน้าแรก-หน้าสุดท้าย.

ตัวอย่าง Yingsanga,P., & Mathurasa,L. (2009).Yellowing developmentof ChineseKale (Brassica oleraceavar.alboglabla).Phranakhon Rajabhat Research Journal: Science and Technology, 14(1), 76-90. (In Thai)

Morrisa, G.A., Fosterb, T.J., & Hardinga, S.E. (2000). The effect of the degreeof esterification on the hydrodynamic properties of citrus pectin. **Food Hydrocolloids**, 14(3), 227-235.

2.3 อ้างอิงจากวิทยานิพนธ์ (Theses and Dissertations)

รูปแบบ ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). **ชื่อวิทยานิพนธ์**. (ระดับวิทยานิพนธ์). มหาวิทยาลัย, เมืองที่ตั้งมหาวิทยาลัย.

ตัวอย่าง Caprette, C.L. (2005). **Conquering the cold shudder: The origin and evolution of snake eyes**. (Doctoral dissertation). Ohio State University, Columbus, OH.

2.4 อ้างอิงจากรายงานการวิจัย/รายงานทางวิชาการ (Technical/Research reports)

รูปแบบ ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). **ชื่อเรื่อง** (ประเภทของเอกสาร). สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง Tayama, T. (2006). **Velocity influence on detection and prediction of changes in color and motion direction** (Report No. 38). Sapporo, Japan: Psychology Department, Hokkaido University.

2.5 บทความ/บทในหนังสือการประชุม (Proceedings of meeting and symposium)

รูปแบบ ชื่อผู้แต่งในบท. (ปีพิมพ์). **ชื่อเรื่อง**. ใน ชื่อบรรณาธิการ, (บรรณาธิการ), ชื่อการประชุม (หน้าแรก-หน้าสุดท้าย). สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง Deci, E.L., & Ryan, R.M. (1991). **A motivational approach to self: Integration in personality**. In R. Dienstbier (Ed.), Nebraska Symposium on motivation: Vol. 38 Perspectives on motivation (237-288). Lincoln, NM: University of Nebraska Press.

2.6 อ้างอิงจากสื่ออิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ

รูปแบบ ชื่อผู้แต่ง. (ปีพิมพ์). **ชื่อเรื่อง**. Retrieved from <http://.....>[ใส่วันที่สืบค้น].

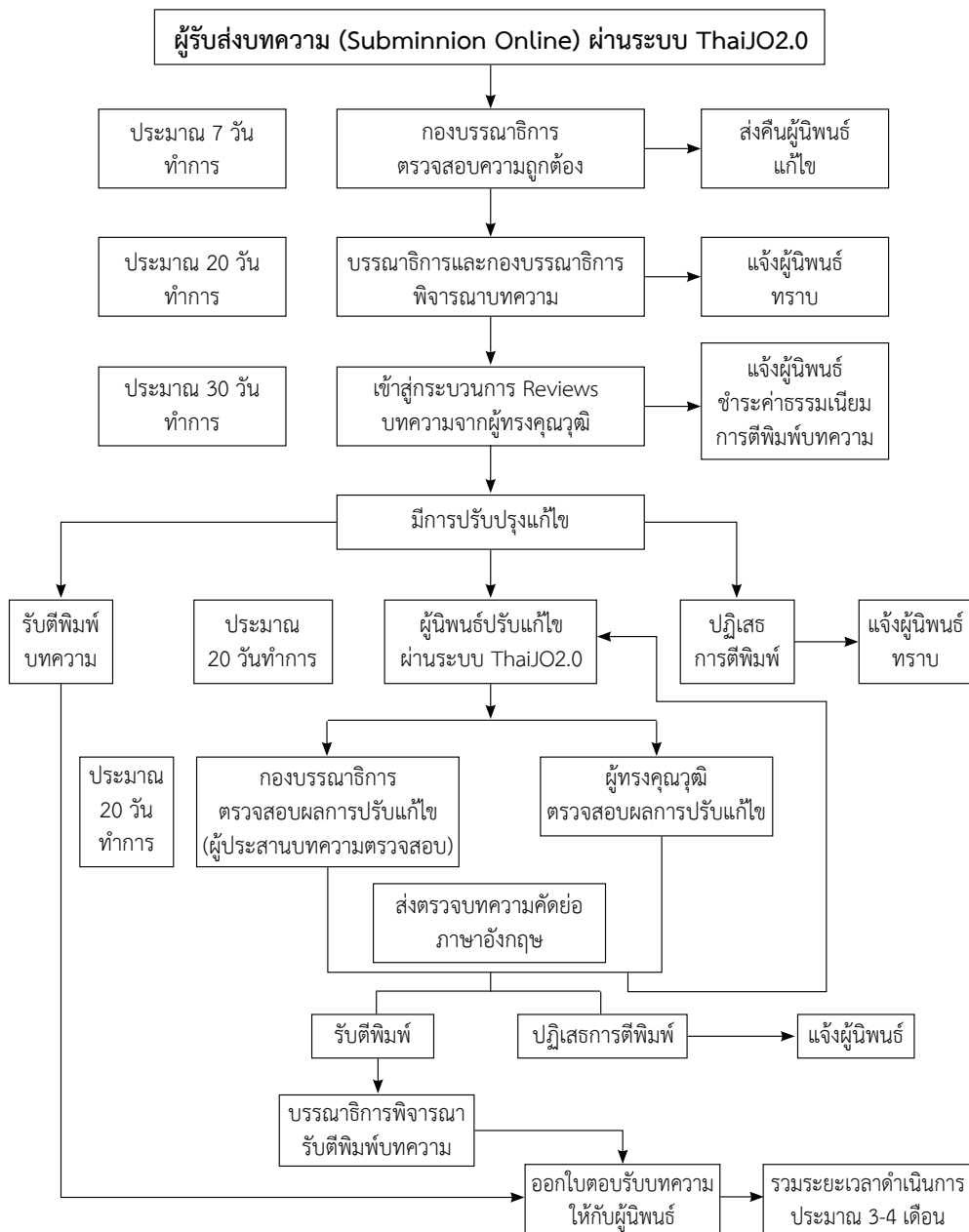
ตัวอย่าง Centers for Disease Control and Prevention. (2003). **Take charge of your diabetes**. Retrieved from <http://www.cdc.gov/diabetes/pubs/paf/ted.pdf> [2015, 25 Oct.]

2.7 อ้างอิงอื่น ๆ

รูปแบบ ชื่อผู้ให้สัมภาษณ์. (ปีที่ให้สัมภาษณ์, วัน เดือน). **สัมภาษณ์**. ตำแหน่งผู้ให้สัมภาษณ์. หน่วยงาน.

ตัวอย่าง Phae-ngam, W. (2016, 10 Jan.). **How to write a good research article**. Assistant Professor. Faculty of Science and Technology. Phranakhon Rajabhat University

ขั้นตอนการพิจารณาบทความ วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี



หมายเหตุ: ทางวารสารขอสงวนสิทธิ์ที่จะเรียบเรียงและอาจปรับปรุงการนำเสนอบทความตามความเหมาะสม

**รูปแบบบทความเพื่อส่งตีพิมพ์ในวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ภาษาไทย)**

ชื่อเรื่องภาษาไทย (TH SarabunPSK ขนาด 16pt. ตัวหนา)

ENGLISH TITLE (TH SarabunPSK 16pt. bold)

ชื่อ-สกุล ผู้แต่งบทความ^{1*} ชื่อ-สกุล ผู้แต่งบทความ² (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวปกติ)

¹ชื่อหน่วยงานที่สังกัด (TH SarabunPSK ขนาด 12pt. ตัวปกติ)

²ชื่อหน่วยงานที่สังกัด (TH SarabunPSK ขนาด 12pt. ตัวปกติ)

Author^{1*}, Author ²

(TH SarabunPSK 14pt. normal)

¹Affiliation(TH SarabunPSK 12pt. normal)

²Affiliation (TH SarabunPSK 12pt. normal)

*E-mail: address@mailservice.com (TH SarabunPSK 12pt. normal)

Received: xx-xx-xx

Revised: xx-xx-xx

Accepted: xx-xx-xx

บทคัดย่อ (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา)

เนื้อหาบทคัดย่อในกรณีเป็นบทความภาษาไทยต้องมีบทคัดย่อเป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ยกเว้นบทวิจารณ์หนังสือ บทคัดย่อควรมีย่อหน้าเดียว ไม่ควรเกิน 250 คำ บทคัดย่อควรกล่าวถึงวัตถุประสงค์หลักของบทความ ผลลัพธ์ หรือ สรุปผลที่ได้จากการทำวิจัย คำสำคัญที่เป็นภาษาไทยไม่ต้องมีเครื่องหมายจุลภาค (,) ระหว่างคำ

(TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวปกติ).....

คำสำคัญ: คำสำคัญ1 คำสำคัญ2 คำสำคัญ3 คำสำคัญ4 คำสำคัญ5 (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวปกติ)

ABSTRACT (TH SarabunPSK 14pt. bold)

For a Thai article, an abstract in English must accompany the Thai version. The abstract should contain a single paragraph and its length should not exceed 250 words. It should be prepared in concise statement of objectives and summary of important results.

Keywords: keyword1, keyword2, keyword3, keyword4, keyword5 (TH SarabunPSK 14pt. normal)

บทนำ (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา)

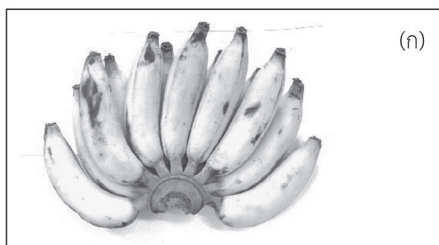
เนื้อหา (TH SarabunPSK ขนาด14pt.ตัวปกติ).....

วิธีการ (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา)

เนื้อหา (TH SarabunPSK ขนาด14pt.ตัวปกติ).....

ผลการทดลองและวิจารณ์ (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา)

เนื้อหา (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวปกติ).....



ภาพที่ 1 ชื่อภาพ....(ก)..... (ข)..... (ค)..... (ง).....

ตารางที่ 1 ชื่อตาราง

เวลาที่ใช้ (นาท)	ความดัน (mbar)				ความดันเฉลี่ย (mbar)
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 4	
90	0.000061	0.000053	0.000037	0.000048	0.000050
95	0.000055	0.000053	0.000038	0.000044	0.000048
100	0.000055	0.000052	0.000037	0.000048	0.000048

หมายเหตุ : (TH SarabunPSK ขนาด 12pt. ตัวปกติ)

สรุป (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา)

เนื้อหา (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวปกติ).....

กิตติกรรมประกาศ (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา) (อาจมีหรือไม่มีก็ได้)

เนื้อหา (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวปกติ).....

เอกสารอ้างอิง (TH SarabunPSK ขนาด 14pt. ตัวหนา)

เนื้อหา (TH SarabunPSK ขนาด 14pt.)

.....

.....

**รูปแบบบทความเพื่อส่งตีพิมพ์ในวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร
สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ภาษาอังกฤษ)**

ENGLISH TITLE (TH SarabunPSK 16pt. bold)

Author 1*, Author ² (TH SarabunPSK14pt.normal)

¹Affiliation(TH SarabunPSK12pt.normal)

²Affiliation(TH SarabunPSK12pt.normal)

*E-mail: address@mailservice.com (TH SarabunPSK 12pt. normal)

Received: xx-xx-xx

Revised: xx-xx-xx

Accepted: xx-xx-xx

ABSTRACT (TH SarabunPSK 14pt. bold)

The abstract should contain a single paragraph and its length should not exceed 250 words. It should be prepared in concise statement of objectives and summary of important results.

Keywords: keyword1, keyword2, keyword3, keyword4, keyword5 (TH SarabunPSK 14pt. normal)

Introduction (TH SarabunPSK 14pt. bold)

(TH SarabunPSK 14pt. normal)

.....

Methods (TH SarabunPSK 14pt. bold)

(TH SarabunPSK 14pt. normal)

.....

Results and Discussions (TH SarabunPSK 14pt. bold)

(TH SarabunPSK 14pt. normal)

.....

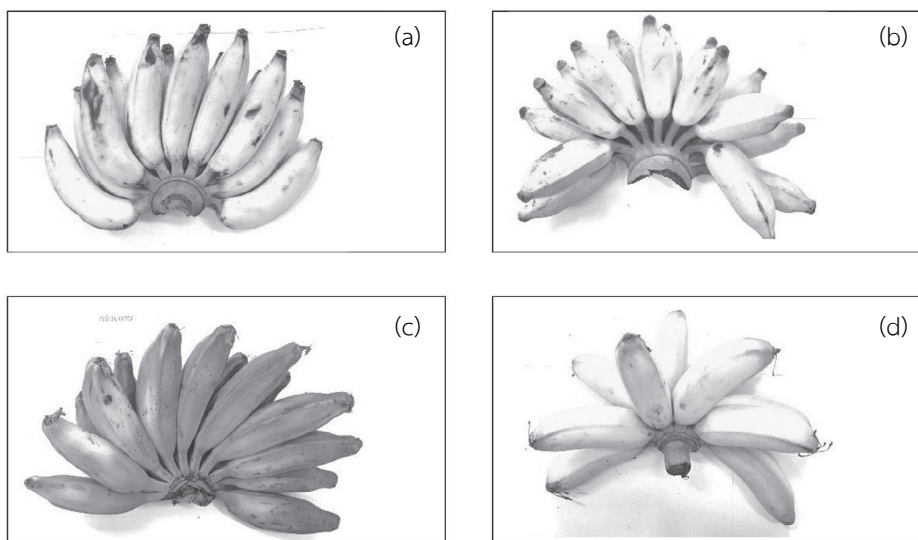


Figure 1(a)..... (b)..... (c)..... (d).....

Table 1 table name

Time (minuts)	Pressure (mbar)				Avg. Pressure (mbar)
	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	
90	0.000061	0.000053	0.000037	0.000048	0.000050
95	0.000055	0.000053	0.000038	0.000044	0.000048
100	0.000055	0.000052	0.000037	0.000048	0.000048

Note: (TH SarabunPSK 12pt. normal)

Conclusions (TH SarabunPSK 14pt. bold)

(TH SarabunPSK 14pt.).....
.....

Acknowledgement (TH SarabunPSK 14pt. bold) (optional)

(TH SarabunPSK 14pt.).....
.....

References (TH SarabunPSK 14pt. bold)

(TH SarabunPSK 14pt.)
.....
.....

จริยธรรมในการตีพิมพ์

Publication Ethics

วารสารวิจัยราชภัฏพระนครสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีมาตรฐานทางจริยธรรมในการตีพิมพ์บทความ ดังนี้

จริยธรรมของผู้แต่งบทความ

1. บทความที่ส่งต้องเป็นบทความที่ไม่เคยมีการตีพิมพ์หรือเผยแพร่ที่ไหนมาก่อน และต้องไม่คัดลอกผลงานผู้อื่นโดยขาดการอ้างอิงที่ถูกต้อง ยกเว้นบทความที่แปลจากภาษาต่างประเทศที่ผู้แต่งบทความได้รับการยินยอม และมีหลักฐานแสดงแก่วารสาร
2. ชื่อบทความ ข้อความ รูปภาพ ตารางประกอบ และอื่น ๆ ที่ปรากฏในบทความเป็นความคิดเห็นของผู้แต่ง ถือว่าเป็นความรับผิดชอบของผู้แต่ง กองบรรณาธิการไม่มีส่วนรับผิดชอบร่วมใด ๆ ทั้งสิ้น
3. บทความต้องรายงานผลการทดลอง รวมถึงข้อมูลต่าง ๆ ตามข้อเท็จจริง
4. หากมีการทดลองเกี่ยวกับมนุษย์หรือสัตว์ผู้แต่งต้องปฏิบัติตามหลักจริยธรรมในการวิจัยและข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง
5. บทความต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ของวารสารอย่างเคร่งครัดตาม "คำแนะนำสำหรับผู้แต่ง" ทั้งในรูปแบบการจัดบทความ การเขียนอ้างอิง และควรระบุแหล่งทุนที่สนับสนุนการวิจัย (ถ้ามี)
6. เมื่อผู้แต่งได้รับผลการประเมินบทความจากผู้ทรงคุณวุฒิควรเคารพความคิดเห็นทางวิชาการและแก้ไขตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิแล้วส่งกลับมายังกองบรรณาธิการตามระยะเวลาที่กำหนด
7. ชื่อผู้แต่งที่ปรากฏในบทความต้องเป็นผู้ที่มีส่วนในผลงานวิชาการนี้จริง

จริยธรรมของบรรณาธิการ

1. บรรณาธิการและกองบรรณาธิการมีหน้าที่ดำเนินงานวารสารให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของวารสาร
2. บรรณาธิการมีหน้าที่พิจารณาความสอดคล้องของเนื้อหาบทความกับวัตถุประสงค์และขอบเขตของวารสาร
3. บรรณาธิการมีหน้าที่กลั่นกรองตรวจสอบคุณภาพและพิจารณาความถูกต้องของบทความร่วมกับกองบรรณาธิการและผู้ทรงคุณวุฒิก่อนการตีพิมพ์
4. บรรณาธิการต้องไม่มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้แต่งผู้ประเมินบทความ และบุคคลอื่น ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง
5. บรรณาธิการต้องสนับสนุนให้มีกระบวนการพิจารณาการประเมินบทความจากผู้ประเมินที่มีความชำนาญต่อเนื้อหาของบทความ รวมถึงระบบการปกปิดความลับของการพิจารณาการประเมิน และระบบการป้องกันข้อมูลส่วนตัวของผู้แต่งและผู้ประเมินบทความ (Double blinded)
6. บรรณาธิการมีหน้าที่รักษามาตรฐานของวารสาร รวมถึงพัฒนาวารสารให้มีคุณภาพอยู่เสมอ

จริยธรรมของผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ

1. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องตระหนักถึงความเชี่ยวชาญตามศาสตร์ของตนเองในการรับประเมินบทความ และพิจารณาบทความตามหลักวิชาการและจริยธรรมสากลโดยปราศจากอคติหรือความคิดเห็นส่วนตัวที่ไม่มีข้อมูลทางวิชาการรองรับ และไม่มีส่วนได้เสียหรือผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้แต่ง
2. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องตรวจสอบความซ้ำซ้อนของบทความกับงานตีพิมพ์อื่น ๆ
3. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องไม่เปิดเผยข้อมูลทุกส่วนของบทความที่ทำการประเมินให้แก่บุคคลอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องในระหว่างการประเมินบทความ
4. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องไม่นำข้อมูลในบทความที่ตนประเมินไปเป็นผลงานของตนเองก่อนบทความนั้นได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่
5. ผู้ทรงคุณวุฒิควรตรงต่อเวลาในการส่งผลการประเมินบทความ และหากตรวจพบเนื้อหาในบทความที่มีความซ้ำซ้อนกับผลงานอื่น ผู้ทรงคุณวุฒิต้องแจ้งให้กับบรรณาธิการทราบ และปฏิเสธการตีพิมพ์บทความนั้น ๆ

PHRANAKHON RAJABHAT
RESEARCH JOURNAL

Science and Technology

