



วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
Phranakhon Rajabhat Research Journal (Science and Technology)

ปีที่ 21 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2569

Vol. 21 No.1 January - June 2026

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.เปรี๊ญ กิจรัตน์ภร
รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพัชร์ เพ็ชรอาภรณ์
รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภลักษณ์ ใจเรือง
รองศาสตราจารย์ ดร.โอภาส วัฒนาศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.อนันตกุล อินทรผดุง

อธิการบดี
รองอธิการบดี
คณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฬาลักษณ์ ชาญกุล

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

รองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัตมี แสงศิริมงคลยิ่ง

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร. พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ
ศาสตราจารย์ ดร. เรณูมาศ วิจิตรรัตน์
ศาสตราจารย์ ดร. สุนทรี สุวรรณสิขณน์
ศาสตราจารย์ ดร. ณัฏฐ์ มากุล
รองศาสตราจารย์ ดร. ปรีชา กอเจริญ
รองศาสตราจารย์ ดร. มนตรี ทองคำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
สถาบันเทคโนโลยีจิตรลดา
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร. สุพัตรา โพธิ์เอี่ยม

รองศาสตราจารย์ ดร. อรรถพล แก้ววิลัย

รองศาสตราจารย์ ดร. ภาสุระ อังกุลานนท์

รองศาสตราจารย์ ดร.วศิน อิงค์พัฒนกุล

รองศาสตราจารย์ ดร.ธนภูมิ ศิริงาม

รองศาสตราจารย์ ดร.อะเคื้อ กุลประสูติติก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กิตติพงษ์ เยาวาจา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมฤดี สักการเวช

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริทิพ วะสินรัตน์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลดดา มัทธูรส

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรสิน สุภวาลัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวิติ สุขัยยะ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อธิยา รัตนพิทยาภรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธงชัย ทองอยู่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พัชรพงษ์ ตริวิริยานุภาพ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธีรายุ ปิ่นทอง

ดร. มลธิดา ภัทรนันท์กุล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ

ทหารลาดกระบัง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยศิลปากร

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์

และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

เลขานุการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุขุมล เจริญทอง

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ผู้ช่วยเลขานุการ

นางสาวทัศนีย์ ปิ่นทอง

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

ผู้ช่วยกองบรรณาธิการ

นางสาวมัทนา เกตุโพธิ์ทอง

นางสาวนวมล พลบุญ

นางสาวศุภราพร เกตุกลม

นายรัชตะ อนวัชกุล

นายจักรพันธ์ ก้อนมณี

นางสาววราภรณ์ แสงสุริศรี

นางสาวธนพร ขนาธิปกรณ์

นายวิวัช หล่อศรีจันทร์

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

บทบรรณาธิการ

วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ปีที่ 21 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2569 เป็นวารสารวิชาการระดับชาติที่อยู่ในฐานข้อมูลของ TCI ได้รวบรวมบทความเพื่อเผยแพร่แลกเปลี่ยนความรู้ทางวิชาการและการวิจัยของคณาจารย์ นักศึกษาและผู้ทรงคุณวุฒิทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย

เนื้อหาสาระในวารสารฉบับนี้ ได้นำเสนอผลงานวิจัยที่สะท้อนถึงความหลากหลาย โดยประกอบด้วยบทความวิชาการ 1 เรื่องและบทความวิจัย 5 เรื่อง บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ทั้ง 6 เรื่องในฉบับนี้ ครอบคลุมองค์ความรู้ในหลายสาขาที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาประเทศในมิติต่าง ๆ ได้แก่ ด้านวิทยาศาสตร์อาหาร ฟิสิกส์ วิศวกรรมและเทคโนโลยีในศาสตร์ด้านวิศวกรรมเครื่องกลและวิศวกรรมโยธา รวมไปถึงการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ ซึ่งทุกเรื่องล้วนมีความน่าสนใจและเป็นประโยชน์เหมาะสมแก่ผู้สนใจเป็นอย่างยิ่ง

ทุกบทความในวารสารฉบับนี้ได้ผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยที่มีความเชี่ยวชาญในเรื่องนั้น ๆ เป็นที่เรียบร้อยแล้ว กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าบทความวิจัยในฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อคณาจารย์ นักวิจัย นักศึกษา ตลอดจนผู้สนใจทั่วไป และสามารถนำไปต่อยอดเชิงวิชาการและการประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติ อันจะนำไปสู่การพัฒนาสังคม เศรษฐกิจ และคุณภาพชีวิตอย่างยั่งยืนต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฬาลักษณ์ ชาญกุล

บรรณาธิการ

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ (Readers)

ประจำวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)

รองศาสตราจารย์ อรุณเดช บุญสูง
 รองศาสตราจารย์ ดร.จิระยุทธ สืบสุข
 รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทรี สุวรรณลิขันธ์
 รองศาสตราจารย์ ดร.กสิณ รังสิกรรพุม
 รองศาสตราจารย์ ดร. วิสุทธนา สมุทธนาศรี
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ชัย แนนจันทร์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกษม ตรีตระการ
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธรรมบุญ ทวีชัย
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทิพย์วิมล แตะกระโทก
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา ปรีชญากุล
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชนิภา นิवासานนท์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณรัตน์ คงมัน
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย
 อาจารย์ ดร.กันยาลักษณ์ โพธิ์ตัง
 อาจารย์ ดร.นวลทิพย์ วันทนะ
 อาจารย์ ดร.เกียรติดินทร์ หวังเลิศพาณิชย์
 อาจารย์ ดร.ศรินทร์ สุวรรณรงค์

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
 มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 มหาวิทยาลัยนเรศวร
 มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
 มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

สารบัญ

	หน้า
บทบรรณาธิการ	D
รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ (Readers) ประจำวารสารวิจัยราชภัฏพระนคร (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)	E
สารบัญ	F
บทความวิจัย	
การประยุกต์ใช้เสาดินซีเมนต์ในการเสริมเสถียรภาพระบบป้องกันดินที่ใช้กำแพงไดอาแฟรม ในงานขุดดินลึก: กรณีศึกษา ชาญชัย ทรัพย์มณีวงศ์*	1
การปลูกผลึกเดี่ยวของสารประกอบ NaCuPO_4 กนกธีร์ กิจเกียรติพงษ์* เกษภา ประทุมสิทธิ์ และ ชโนภาส ขนมลักษ์ณดาว	19
การพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟรนช์ฟรายส์เสริมโปรตีนจากด้วงสาคร ณัฐพงศ์ เมธิ์ธวัชสรณ์* และ ดวงเดือน วัฒนานุรักษ์	29
การพัฒนาระบบลงทะเบียนออนไลน์เพื่อการบริหารจัดการโครงการอบรมและสัมมนา: กรณีศึกษามหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปรารธนา รูปสมุทร* และ ศิวกร หลงสมบูรณ์	41
การลดปริมาณรางเลื่อนเบาะรถยนต์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดโดยใช้การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง มงคล ชินโคตร และ นิธิเดช คูหาทองสัมฤทธิ์*	55
การลดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นตามข้อกำหนดในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์พลาสติกโดยใช้ การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียล 2^k พิทักษ์ อนุรักษ์ และ นิธิเดช คูหาทองสัมฤทธิ์*	69
ภาคผนวก	83
รายละเอียดการเตรียมบทความ	84
ขั้นตอนการพิจารณาบทความ	88
รูปแบบบทความเพื่อส่งตีพิมพ์	89
จริยธรรมในการตีพิมพ์	93

การประยุกต์ใช้เสาเข็มซีเมนต์ในการเสริมเสถียรภาพระบบป้องกันดินที่ใช้กำแพงไดอาแฟรม
ในงานขุดดินลึก: กรณีศึกษา
SOIL CEMENT COLUMN APPLICATION FOR STABILIZED SOIL PROTECTION SYSTEMS
IN DEEP EXCAVATION WORKS USING DIAPHRAGM WALLS: CASE STUDY

ชาญชัย ทรัพย์มณีวงศ์*

สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร 10220

Chanchai Submaneewong*

Civil Engineering Technology, Faculty of Industrial Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok, 10220

*E-mail: chanchai.s@pnru.ac.th

Received: 08-10-2025

Revised: 20-03-2026

Accepted: 20-03-2026

บทคัดย่อ

ระบบป้องกันดินสำหรับงานขุดดินลึกในเขตเมืองใหญ่ โดยเฉพาะในกรุงเทพฯ จะต้องคำนึงถึงเสถียรภาพของดินและความปลอดภัยของระบบป้องกันดิน นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงการเคลื่อนตัวของดินที่อาจส่งผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง โดยต้องควบคุมค่าการเคลื่อนตัวของดินโดยรอบขุด ให้อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งก่อสร้างข้างเคียง เสาเข็มซีเมนต์เป็นวิธีการปรับปรุงดินที่มีประสิทธิภาพ จึงได้นำมาประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างใต้ดินโดยนำระบบเสาเข็มซีเมนต์มาใช้ร่วมกับกำแพงกันดินสำหรับงานขุดดินเพื่อลดการเคลื่อนตัวของดินและเพิ่มความมั่นคงของระบบป้องกันดิน บทความนี้นำเสนอแนวคิดการออกแบบ เทคนิคการก่อสร้าง และกรณีศึกษาขุดดินลึกที่มีการปรับปรุงและเสริมเสถียรภาพระบบป้องกันดินที่ใช้กำแพงไดอาแฟรมด้วยเสาเข็มซีเมนต์ โดยก่อสร้างเสาเข็มซีเมนต์ 2 รูปแบบคือ 1) การจัดวางเสาเข็มซีเมนต์เพื่อลดแรงดันดินเชิงรุก (แรงกระทำ) และ 2) การจัดวางเสาเข็มซีเมนต์เพื่อเพิ่มแรงดันดินเชิงรับ (แรงต้าน) ซึ่งผลการศึกษาพบว่าการใช้เสาเข็มซีเมนต์สามารถลดการเคลื่อนตัวของดินได้อย่างมีนัยสำคัญ และช่วยเพิ่มความปลอดภัยของระบบป้องกันดินในระหว่างการขุดดินลึก ทั้งนี้ยังสามารถลดความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างข้างเคียง

คำสำคัญ: เสาเข็มซีเมนต์ กำแพงไดอาแฟรม การเคลื่อนตัวของดิน

ABSTRACT

In deep excavation works within major urban areas particularly in Bangkok, the safety of soil protection systems is concerned. In addition, soil movement must be carefully controlled to prevent the impacts on adjacent nearby structures. Soil cement columns, an effective ground improvement technique, have been applied in underground construction to enhance stability

and reduce soil displacement. This paper presents the design concept, construction techniques, and case studies of deep excavation projects where Diaphragm walls were stabilized with soil-cement columns. Two construction approaches are considered: 1) the arrangement of soil-cement columns to reduce active earth pressure, and 2) the arrangement of soil cement columns to increase passive earth pressure. The study results indicate that the use of soil cement columns can significantly reduce ground movements and enhance the safety of soil protection systems during deep excavation. Moreover, this method helps minimize the risk of damage to nearby structures.

Keywords: Soil cement column, Diaphragm wall, Soil movement

บทนำ

ในปัจจุบันงานขุดดินเพื่อก่อสร้างโครงสร้างใต้ดินขนาดใหญ่ เช่น อาคารชั้นใต้ดิน ปล่องอุโมงค์ สถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน อาคารที่จอดรถใต้ดิน ฯลฯ ที่มีความลึกดินขุดมากในเขตเมืองใหญ่โดยเฉพาะในพื้นที่กรุงเทพฯ มักจะขุดดินโดยเลือกใช้ระบบกำแพงกันดินแบบแข็ง (Rigid wall) ได้แก่ กำแพงเสาเข็มเจาะเรียงต่อเนื่อง (Pile wall) หรือกำแพงไดอะแฟรม (Diaphragm wall) ซึ่งเป็นกำแพงกันดินชนิดชุด-หล่อในที่เป็นระบบป้องกันดิน เพื่อลดผลกระทบกับโครงสร้างข้างเคียง (Thasnanipan et al., 2008) โดยการใช้จะพิจารณาปัจจัยร่วมต่าง ๆ ได้แก่ สภาพพื้นที่ ลักษณะชั้นดิน ขั้นตอนการทำงาน และผลกระทบต่อโครงสร้างข้างเคียงตลอดจนต้นทุนค่าก่อสร้าง

ปัจจุบันด้วยข้อกำหนดการจัดทำรายงานผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment, EIA) ในงานก่อสร้าง ซึ่งต้องประเมินผลกระทบจากการขุดดินเพื่อก่อสร้างโครงสร้างใต้ดินต่อสิ่งก่อสร้างข้างเคียง ทำให้บางโครงการที่มีข้อจำกัดเรื่องระยะห่างจากโครงสร้างข้างเคียง จึงต้องออกแบบระบบป้องกันดินโดยคำนึงถึงผลกระทบจากการเคลื่อนตัวของดินในระหว่างงานขุดดิน การใช้เสาดินซีเมนต์ (Soil cement column) มาเสริมเสถียรภาพกำแพงกันดินจึงเป็นแนวคิดที่สามารถออกแบบเพื่อลดการเคลื่อนตัวของดินโดยรอบบ่อขุด ซึ่งจะช่วยลดผลกระทบต่ออาคารข้างเคียงได้

ในบางโครงการงานก่อสร้างใต้ดิน อาจมีการเปลี่ยนแปลงระดับขุดภายหลังการก่อสร้างระบบกำแพงกันดินแล้วเสร็จ การออกแบบใหม่จึงต้องมีการปรับปรุงดินโดยใช้เสาดินซีเมนต์มาเสริมเสถียรภาพกำแพงกันดินเดิมให้แข็งแรง เพื่อให้สอดคล้องกับระดับขุดที่มีการเปลี่ยนแปลง

Aye et al. (2007) ศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงระดับขุดในงานก่อสร้างที่ใช้ระบบกำแพงไดอะแฟรม (Diaphragm wall) สามารถใช้เสาดินซีเมนต์มาช่วยเพิ่มเสถียรภาพงานขุดได้ โดยต้องมีการออกแบบและสอบทานติดตามผลการก่อสร้างอย่างต่อเนื่องจนงานขุดดินแล้วเสร็จ

เทคนิคการปรับปรุงดินด้วยระบบเสาดินซีเมนต์

เสาดินซีเมนต์จะใช้วิธีการผสมปูนซีเมนต์กับดินเหนียวอ่อนหรือทรายหลวม ก่อสร้างในลักษณะเป็นเสาในดิน คล้ายเสาเข็ม โดยปูนซีเมนต์จะทำปฏิกิริยากับน้ำและแร่ประกอบในดิน เกิดการแข็งตัว (Cementation) ทำให้ดินมีความแข็งแรงและความทนทานเพิ่มขึ้น

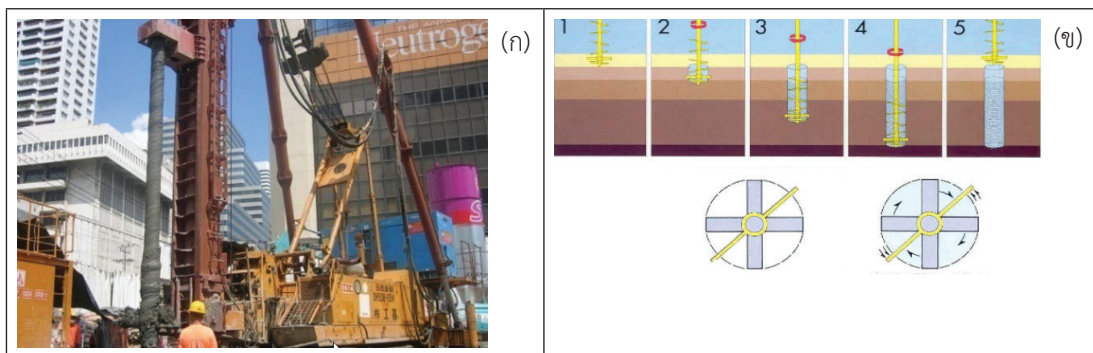
ข้อดีของเสาเข็มซีเมนต์ มีดังนี้

- เพิ่มกำลังรับแรงเฉือน (shear strength) ของดินอ่อน
- ลดการซึมผ่านของน้ำใต้ดิน (permeability)
- ลดการทรุดตัว (settlement) ของดินภายใต้น้ำหนักที่มากระทำ
- ลดแรงดันดิน (earth pressure) และเพิ่มแรงต้านที่กระทำต่อโครงสร้างกันดิน
- ลดการเคลื่อนตัวของดิน

การปรับปรุงดินด้วยระบบเสาเข็มซีเมนต์สามารถทำการก่อสร้างได้ 2 วิธี คือวิธีผสมแห้ง (Dry mixing) และวิธีผสมเปียก (Wet mixing) แต่ที่นิยมใช้ในการปรับปรุงดินสำหรับงานชุดดินเป็นวิธีผสมเปียก ซึ่งสามารถก่อสร้างได้ 2 ระบบ ได้แก่ระบบการใช้แรงดันต่ำ (Low pressure grout / Mechanical mixing) กับระบบการใช้แรงดันสูง (High-pressure grout)

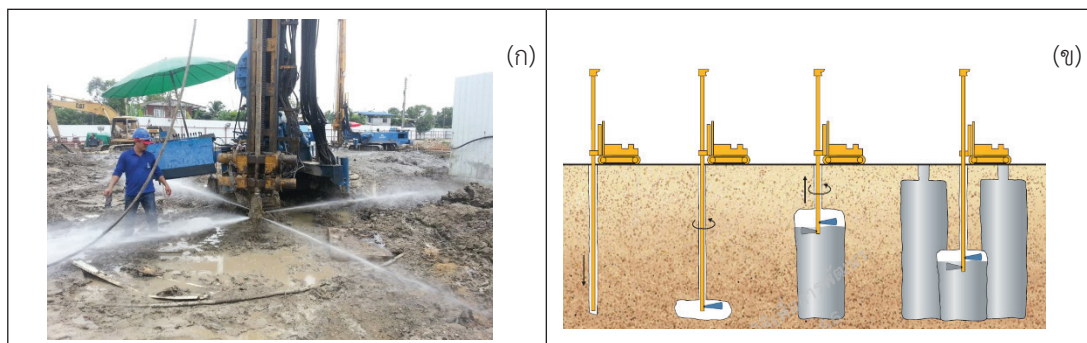
ระบบแรงดันต่ำจะใช้เครื่องผสมระบบ Rotary (ภาพที่ 1) โดยการใช้ใบพัดตีดินให้แตกตัวแล้วทำการผสมดินกับน้ำปูนด้วยแรงดันต่ำประมาณ 10-30 บาร์ แล้วจะใช้ใบพัดตีดินต่อไป ตามความลึกที่ได้ออกแบบ เพื่อให้ น้ำปูนผสมกับดิน เกิดปฏิกิริยาทางเคมีทำให้ดินมีกำลังสูงขึ้น

วิธีการผสมโดยใช้แรงดันสูงใช้วิธีการอัดฉีดน้ำปูน (Jet-grouting technique) โดยการฉีดน้ำด้วยแรงดันสูงประมาณ 200-400 บาร์ผ่านทางหัวฉีด (ภาพที่ 2) เพื่อเป็นทำลายอนุภาคของดินให้แตกตัวโดยละเอียด จนถึงความลึกที่ได้ออกแบบ หลังจากนั้นจะฉีดน้ำผสมซีเมนต์ด้วยแรงดันสูง พร้อมทั้งยกตีก้านเจาะขึ้นเป็นจังหวะ น้ำปูนซีเมนต์ความดันสูงจะผสมกับดินรวมเป็นเนื้อเดียวกัน การทำงานจะควบคุมด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เริ่มเจาะจนถึงระดับความลึกที่ต้องการ



ภาพที่ 1 ระบบแรงดันต่ำ (ก) เครื่องจักร (ข) ขั้นตอนการก่อสร้าง

ที่มา : Submanee Wong et al. (2015)



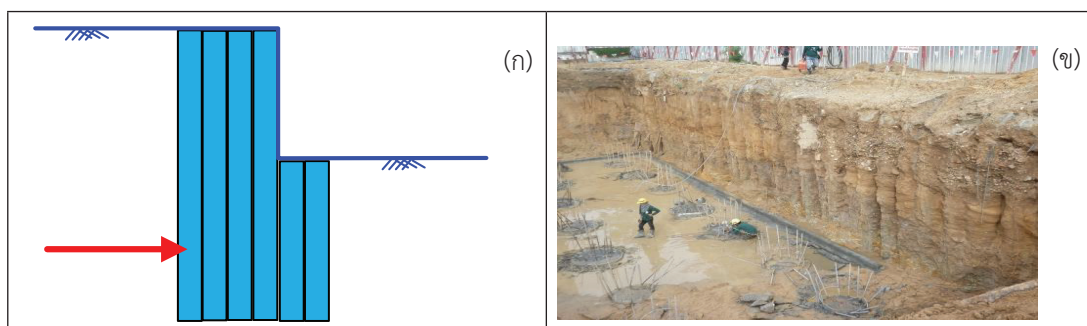
ภาพที่ 2 การอัดฉีดน้ำด้วยแรงดันสูง (ก) เครื่องจักร (ข) ขั้นตอนการก่อสร้าง
ที่มา : www.soilcrete.co.th

แนวความคิดการปรับปรุงดินโดยใช้เสาเข็มซีเมนต์เพิ่มเสถียรภาพของกำแพงกันดิน

แนวความคิดการออกแบบการประยุกต์ใช้ระบบเสาเข็มซีเมนต์มาเพิ่มเสถียรภาพของกำแพงกันดิน โดยออกแบบให้สามารถลดแรงดันดิน ด้านทานแรงดันดินและลดการเคลื่อนตัวของดิน การใช้เทคนิคการปรับปรุงดินด้วยระบบเสาเข็มซีเมนต์ สำหรับงานขุดดินสามารถออกแบบเป็น 2 ลักษณะคือ

1. ใช้เสาเข็มซีเมนต์เป็นระบบกำแพงกันดินแบบ Gravity wall โดยออกแบบให้ระบบเสาเข็มซีเมนต์ซึ่งเจาะขบกันและจัดเรียงเป็น Block มีเสถียรภาพด้วยน้ำหนักตัวเอง ในลักษณะไม่มีระบบค้ำยัน ดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งต้องสามารถต้านทานการเลื่อนไถล (Sliding) การหมุนพลิกคว่ำ (Overturning) และรับน้ำหนักแบกทานของดิน (Bearing capacity) ได้อย่างปลอดภัย (Submaneeewong & Siripoun, 2015)

2. ใช้เสาเข็มซีเมนต์มาเสริมเสถียรภาพของระบบกำแพงกันดิน โดยก่อสร้างจัดเรียงเสาเข็มซีเมนต์ให้ติดกับกำแพงกันดิน ดังแสดงในภาพที่ 4 และภาพที่ 5

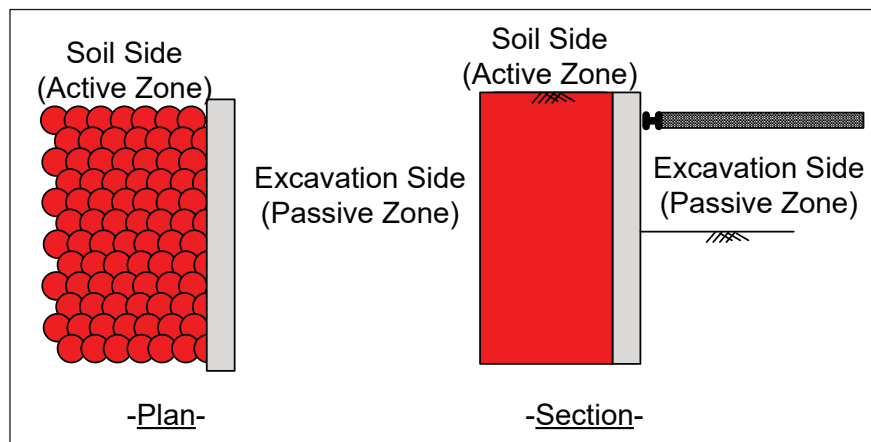


ภาพที่ 3 งานขุดดินโดยใช้เสาเข็มซีเมนต์รูปแบบ Gravity wall (ก) รูปแบบแนวคิด (ข) รูปตัวอย่างงานขุด
ที่มา : Submaneeewong & Siripoun (2015)

รูปแบบการจัดวางเสาเข็มซีเมนต์ เพื่อเพิ่มเสถียรภาพกำแพงกันดิน โดยทำการก่อสร้างจัดเรียงเสาเข็มซีเมนต์ให้ติดกับกำแพงกันดิน มี 2 รูปแบบ ดังนี้

1. การจัดวางเสาเข็มซีเมนต์เพื่อลดแรงดันดินเชิงรุก-แรงกระทำ (Active earth pressure)

การจัดวางเสาเข็มซีเมนต์เพื่อลดแรงดันดินเชิงรุก-แรงกระทำ จะออกแบบเสาเข็มซีเมนต์โดยก่อสร้างเป็นแบบขบกัน (Block type) ด้านหลังกำแพงกันดินโซนแรงกระทำ (Active zone) เพื่อลดแรงดันดินที่กระทำซึ่งแสดงในภาพที่ 4

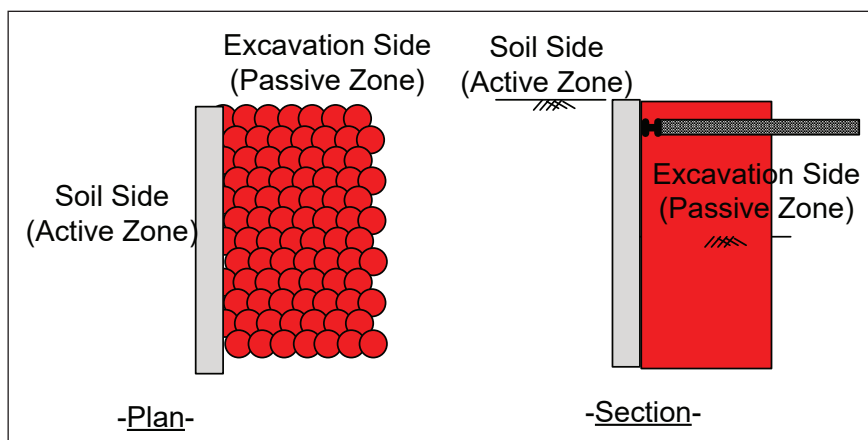


ภาพที่ 4 การจัดวางเสาเข็มซีเมนต์เพื่อลดแรงดันดินเชิงรุก-แรงกระทำ

การจัดเรียงรูปแบบนี้ จะช่วยลดแรงกระทำจากแรงดันดิน ทำให้โมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในกำแพงกันดิน และค่าการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินลดลง โดยอาจไม่จำเป็นต้องก่อสร้างเสาเข็มซีเมนต์จากระดับผิวดินทั้งนี้รูปแบบและระดับ/ตำแหน่ง ขึ้นอยู่กับการออกแบบ ที่จะทำให้เกิดประสิทธิภาพในแต่ละกรณีไป

2. การจัดวางเสาเข็มซีเมนต์เพื่อเพิ่มแรงดันดินเชิงรับ-แรงต้าน (Passive earth pressure)

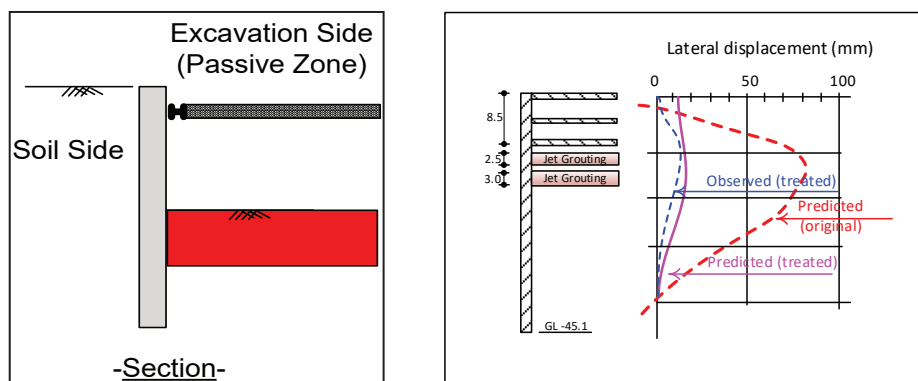
การจัดวางเสาเข็มซีเมนต์เพื่อเพิ่มแรงดันดินเชิงรับ-แรงต้าน จะออกแบบเสาเข็มซีเมนต์โดยก่อสร้างเป็นแบบขบกัน (Block type) ด้านหน้ากำแพงกันดินที่โซนแรงต้าน (Passive zone) เพื่อเพิ่มแรงต้านของกำแพงกันดินดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การจัดวางเสาดินซีเมนต์เพื่อเพิ่มแรงดันดินเชิงรับ-แรงดัน

การจัดเรียงรูปแบบนี้ โดยทั่วไปจะก่อสร้างเสาดินซีเมนต์ตั้งแต่ผิวดิน เพื่อเพิ่มแรงดันในแต่ละชั้นตอนการขุดดินและติดตั้งค้ำยัน ซึ่งจะช่วยลดค่าการเคลื่อนตัวตามเวลา (Creep) ของดินจากชั้นตอนการติดตั้งค้ำยันในแต่ละชั้น ในกรณีก่อสร้างเสาดินซีเมนต์บริเวณใต้ระดับดินขุด (ภาพที่ 6) เพื่อช่วยเพิ่มเสถียรภาพดินอัด (Heave) ใต้บ่อขุด และช่วยเพิ่มแรงต้านการเคลื่อนที่ของกำแพง เปรียบเสมือนติดตั้งค้ำยันอีกชั้นใต้บ่อขุดก่อนการขุดดิน จะทำให้เสถียรภาพของกำแพงกันดินสูงขึ้นและการเคลื่อนตัวของกำแพงกันดินจะลดลง (Tan et al., 2003) และทำให้สัดส่วนความปลอดภัยต่อการรูดของดินใต้บ่อขุดเพิ่มขึ้น (Tanseng & Boonkert, 2023)

จากการศึกษาของ Sugawara et al. (1996) พบว่าสำหรับงานขุดดินโครงการ Bugis Junction สิงคโปร์ พบว่าค่าการเคลื่อนตัวในกรณีทำการปรับปรุงดินด้วยเสาดินซีเมนต์ มีค่าน้อยกว่าค่าออกแบบ ที่ไม่ได้มีการปรับปรุงดิน (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 6 การจัดวางเสาดินซีเมนต์เพื่อเพิ่ม ภาพที่ 7 ผลกระทบของงานปรับปรุงดินในโครงการ
แรงดันดินด้านใต้ระดับดินขุด Bugis Junction, สิงคโปร์

ที่มา : Sugawara et al. (1996)

บทความนี้จะนำเสนอกรณีศึกษาการใช้ระบบเสาเข็มดินซีเมนต์มาเสริมเสถียรภาพของกำแพงไดอาแฟรม (Diaphragm wall) ในงานขุดดินลึก โดยใช้หลักการจัดวางรูปแบบเสาเข็มดินซีเมนต์เพื่อให้เกิดแรงดันดินเชิงรุก-แรงกระทำ (active earth pressure) และรูปแบบเสาเข็มดินซีเมนต์ที่เพิ่มแรงดันดินเชิงรับ-แรงต้าน (Passive earth pressure)

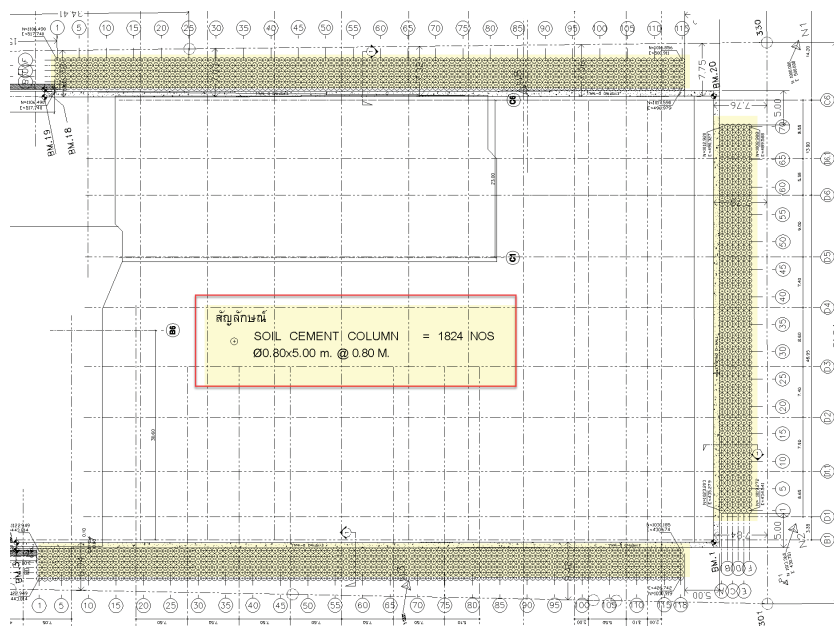
กรณีศึกษาที่ 1: การปรับปรุงดินโดยใช้เสาเข็มดินซีเมนต์ลดแรงดันดินเชิงรุก-แรงกระทำ Diaphragm wall

1. ลักษณะโครงการ

โครงการนี้ตั้งอยู่ริมถนนสุขุมวิท กรุงเทพฯ พื้นที่ข้างเคียงประกอบด้วย อาคารบ้านพักอาศัย และอาคารชุดคอนโดมิเนียมโดยมีพื้นที่ติดโครงการและมีระยะร่น 6 เมตรโดยรอบ

กรณีศึกษาเป็นงานขุดดินลึกประมาณ 13.7 เมตร เพื่อก่อสร้างห้องใต้ดิน 4 ชั้น แต่เนื่องจากโครงการนี้เป็นโครงการที่มีการพัฒนาอสังหาริมทรัพย์เสร็จ พ.ศ. 2540 โดยได้ออกแบบและก่อสร้าง Diaphragm wall หนา 80 เซนติเมตร ลึก 21.0 เมตร สำหรับงานขุดดินใต้ดินลึก 3 ชั้น ที่ความลึกขุดประมาณ -11.0 เมตร จากผิวดินแล้วเสร็จ หลังจากเกิดวิกฤตการณ์เศรษฐกิจจึงถูกทิ้งร้างมาเกือบ 20 ปี

ภายหลังมีการรื้อฟื้นโครงการโดยทำการออกแบบงานขุดดินใหม่เพื่อก่อสร้างชั้นใต้ดินที่มีการเปลี่ยนแปลงจำนวนชั้นใต้ดินจาก 3 ชั้นเป็น 4 ชั้น ทำให้ความลึกดินขุดที่เคยออกแบบไว้ที่ -11.0 เมตร ต้องออกแบบใหม่ที่ -13.7 เมตร โดยใช้โครงสร้าง Diaphragm wall เดิม การออกแบบจึงต้องประยุกต์ใช้ การปรับปรุงดินโดยก่อสร้างเสาเข็มดินซีเมนต์อยู่ติดด้านหลัง Diaphragm wall โซนแรงกระทำ (Active zone) เพื่อลดแรงดันดินเชิงรุก-แรงกระทำ (ภาพที่ 8) ตลอดจนออกแบบตำแหน่งระดับค้ำยัน และกำหนดขั้นตอนงานขุดดินใหม่เพื่อก่อสร้างชั้นใต้ดินโดยใช้ระบบก่อสร้างล้างชั้นบน แล้วเพิ่มค้ำยันชั่วคราวเป็น 3 ชั้น เพื่อให้ Diaphragm wall เดิมสามารถรับแรงได้



ภาพที่ 8 พังโครงการงานขุดดินลึก 13.7 เมตร

ที่มา : แบบก่อสร้างโครงการงานขุดดินลึกประมาณ 13.7 เมตร ริมถนนสุขุมวิท กรุงเทพฯ

2. ลักษณะชั้นดินบริเวณโครงการงานขุดดินลึกประมาณ 13.7 เมตร

ลักษณะชั้นดินโครงการประกอบด้วยชั้นดินเหนียวอ่อน หนาประมาณ 13 เมตร หลังจากนั้นพบชั้นดินเหนียวแข็ง ที่ความลึกประมาณ -17.2 เมตร จากผิวดิน และมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ประมาณ -1.0 เมตร จากผิวดิน ลักษณะชั้นดินโครงการ แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะชั้นดินโครงการงานขุดดินลึกประมาณ 13.7 เมตร

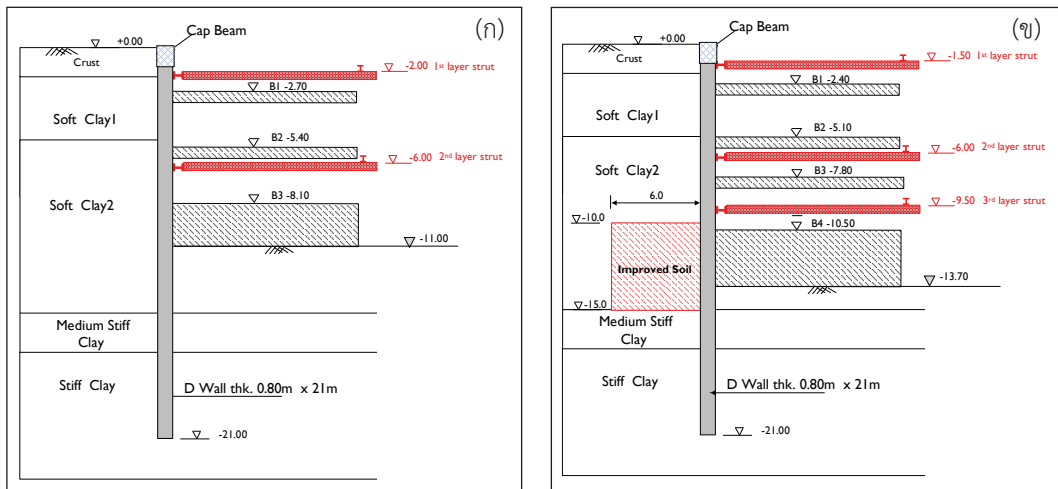
ความลึก (ม.)		ลักษณะชั้นดิน	กำลังรับแรงเฉือนดิน, Su (ตัน/ตารางเมตร)	ค่าทดสอบมาตรฐาน, SPT (ครั้ง/ฟุต)
จาก	ถึง			
0	1.0	Pavement/top soil	-	-
1.0	5.0	Soft Clay 1	1.3	-
5.0	15.0	Soft Clay 2	1.8	-
15.0	17.2	Medium Stiff Clay	4.0	-
17.2	19.5	Stiff Clay		18

3. แนวคิดการออกแบบ

โครงการนี้ในอดีตได้มีการออกแบบและก่อสร้าง Diaphragm wall แล้วเสร็จ Diaphragm wall ที่ก่อสร้างไว้หนา 0.80 เซนติเมตร ลึก 21.0 เมตร เหล็กเสริมได้ออกแบบสำหรับงานขุดดินลึก -11.0 เมตร โดยในแบบกำหนดมีค้ำยันชั่วคราว 2 ชั้นที่ระดับ -2.0 เมตร และ -6.0 เมตร (ภาพที่ 9 (ก))

เมื่อถึงขั้นตอนงานขุดดิน ทางโครงการได้มีการเปลี่ยนแปลงจำนวนชั้นใต้ดินโดยกำหนดระดับงานขุดใหม่เพิ่มเป็นระดับ -13.7 เมตร จากการวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่า โมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นที่ระดับงานขุดใหม่สูงเกินกว่าเหล็กเสริม Diaphragm wall ที่ก่อสร้างไว้แล้ว จะสามารถรับได้

แนวทางแก้ปัญหาจึงกำหนดให้ทำการปรับปรุงดินเพื่อเสริมเสถียรภาพด้านหลัง Diaphragm wall เพื่อลดแรงกระทำ ด้วยระบบเสาเข็มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.80 เมตร แบบเรียงชิดกันจำนวน 6 แถว ที่ระดับ -10.0 เมตร ถึง -15.0 เมตร กำหนดค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ 5 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร และแก้ไขระบบค้ำยันชั่วคราวเป็น ชั้น ที่ระดับ -1.5 เมตร -6.0 เมตร และ -9.5 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 9 (ข)

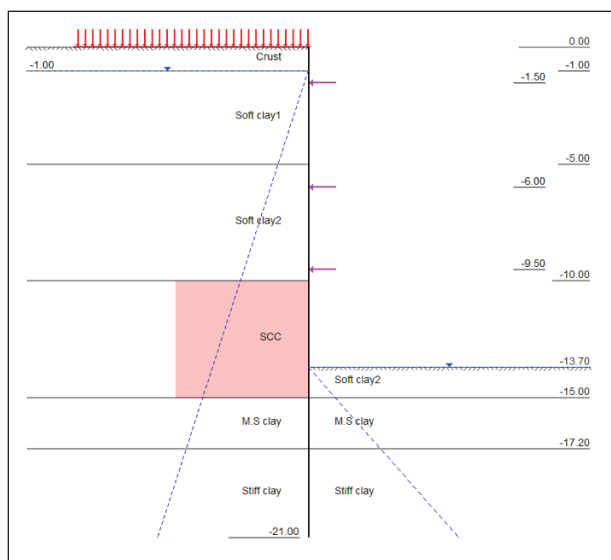


ภาพที่ 9 รูปตัดงานชุดดิน (ก) รูปแบบเดิม (ข) รูปแบบปรับปรุง

4. ผลการวิเคราะห์

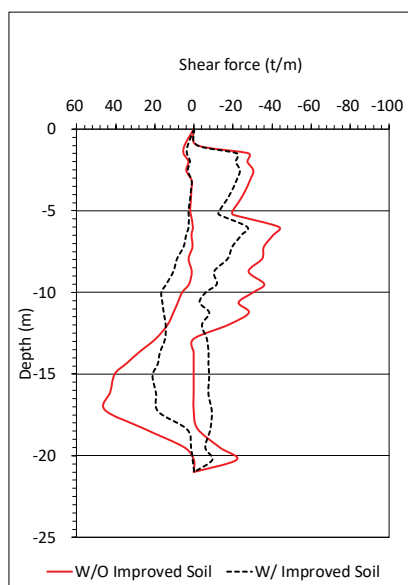
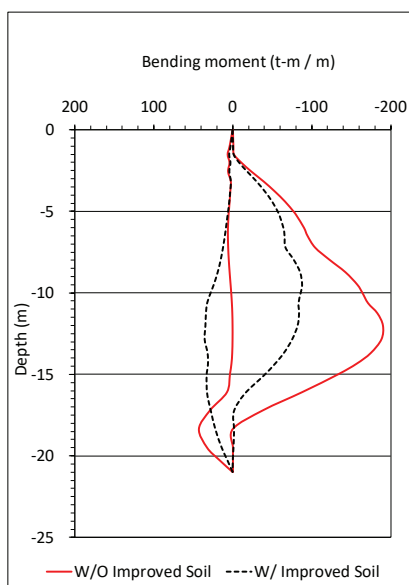
ก่อนการวิเคราะห์ ผู้ออกแบบจะทำการจัดวางตำแหน่งค้ำยันให้สอดคล้องกับระดับชุดและพื้นที่ชั้นใต้ดินในแต่ละชั้น ตามข้อมูลใหม่ที่ได้เปลี่ยนแปลง หลังจากนั้นทำการลองจัดวางตำแหน่งโชนการปรับปรุงดินด้วยเสาตึ้นซีเมนต์ด้านหลัง Diaphragm wall แล้วจึงทำการวิเคราะห์ เพื่อหาค่าโมเมนต์ดัด แรงเฉือนและค่าการเคลื่อนตัว ซึ่งผลวิเคราะห์พบว่าโชนการปรับปรุงดินด้วยเสาตึ้นซีเมนต์ที่เหมาะสมคือที่ระดับ -10.0 เมตร ถึง -15.0 เมตร ซึ่งให้ค่าโมเมนต์ดัดและแรงเฉือน ที่ระบบป้องกันดิน Diaphragm wall เดิม ภายใต้เหล็กเสริมที่ติดตั้งไว้แล้ว สามารถรับได้ จึงกำหนดค่าการเคลื่อนตัวของ Diaphragm wall เพื่อใช้สอบทานความถูกต้องในการออกแบบ

ผลการวิเคราะห์พฤติกรรม Diaphragm wall ตามขั้นตอนการชุดดินใหม่ที่กำหนดขึ้น ใช้วิธีจำลองพฤติกรรมของคานที่วางอยู่บนสปริง (Beam on elasto-plastic spring) ซึ่งเป็นวิธีที่คำนวณแรงที่เกิดขึ้นใน Diaphragm wall และแสดงค่าโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนเปรียบเทียบกับระหว่างกรณีมีการปรับปรุงดิน และไม่มีการปรับปรุงดิน ซึ่งพบว่าการปรับปรุงดินช่วยลดโมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 10



SUMMARY OF BENDING MOMENT ENVELOPE

SUMMARY OF SHEAR FORCE ENVELOPE



ภาพที่ 10 ผลวิเคราะห์ค่าโมเมนต์ดัดและแรงเฉือนของ Diaphragm wall

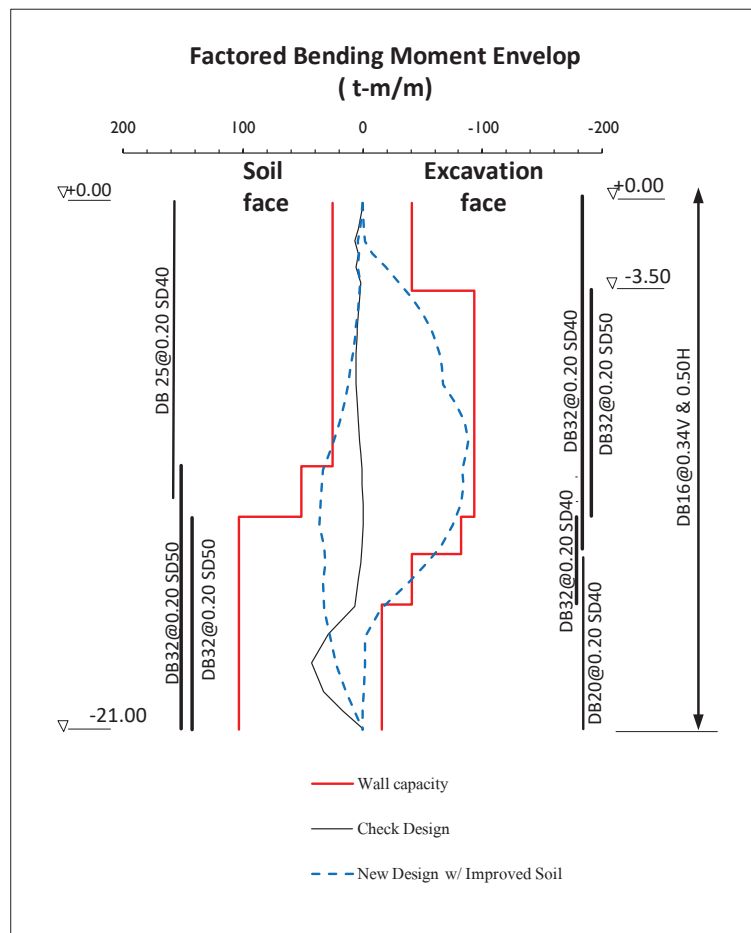
ผลการตรวจสอบความแข็งแรงของ Diaphragm wall พบว่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับความสามารถในการต้านทานโมเมนต์ดัดของ Diaphragm wall เดิม ดังแสดงในภาพที่ 11

5. การตรวจวัดทางธรณีเทคนิค

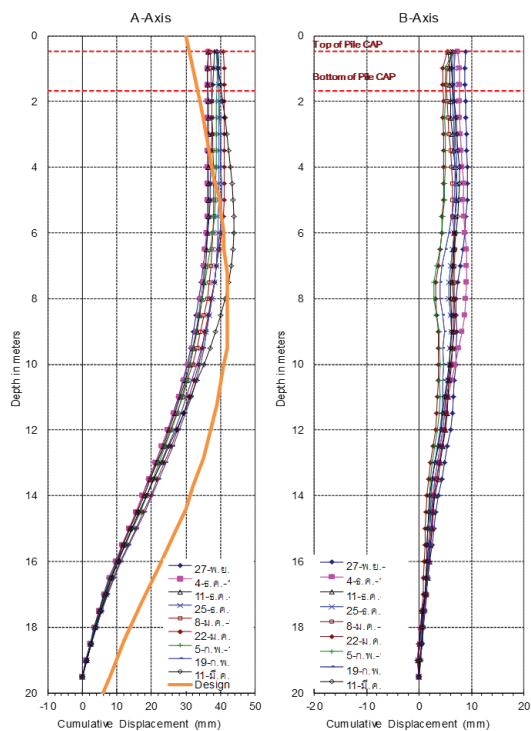
การสอบทานความถูกต้องในการออกแบบ โดยใช้การวัดค่าการเคลื่อนตัวของ Diaphragm wall ด้วย Inclinometer ที่ติดตั้งโดยรอบข้อุด ในทุก ๆ ขั้นตอนการขุดดินและติดตั้งค้ำยัน พบว่าค่าการเคลื่อนตัวที่วัดได้ สอดคล้องกับค่าการประเมินในขั้นตอนการออกแบบ (ภาพที่ 12) ซึ่งช่วยลดแรงกระทำด้วยการปรับปรุงดินบริเวณ ที่ออกแบบไว้ ทำให้ Diaphragm wall เดิม มีเสถียรภาพเพียงพอสำหรับงานขุดดินที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับ ดินขุดมากกว่าเดิม

6. สรุปผลการดำเนินการ

กรณีศึกษาโครงการนี้ เป็นงานขุดดินที่เพิ่มจำนวนชั้นใต้ดินและความลึกดินขุดจากเดิม ประมาณ 13.7 เมตร เพื่อก่อสร้างห้องใต้ดิน 4 ชั้น โดยใช้ Diaphragm wall เดิมที่ออกแบบและก่อสร้างมาก่อน งานออกแบบจึงต้อง ทำการลดแรงดันดินที่กระทำต่อ Diaphragm wall โดยการเสริมเสถียรภาพด้วยเสาดินซีเมนต์ ผลการขุดดินพบว่า ค่าการเคลื่อนตัวของ Diaphragm wall ที่วัดได้อยู่ในเกณฑ์ที่ออกแบบไว้ ซึ่งแสดงว่าการเปลี่ยนแปลงระดับดินขุด ที่มากกว่าเดิม ไม่กระทบกับความสามารถในการต้านทานโมเมนต์และแรงเฉือนของ Diaphragm wall เดิม



ภาพที่ 11 ผลการตรวจสอบความแข็งแรงของ Diaphragm wall

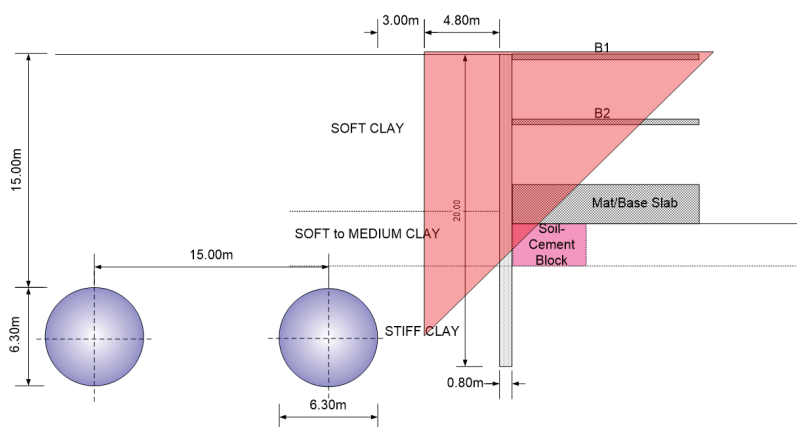


ภาพที่ 12 ผลการตรวจสอบค่าการเคลื่อนตัวของ Diaphragm wall ที่วัดได้

กรณีศึกษาที่ 2: การปรับปรุงดินโดยใช้เสาตึ้นซีเมนต์เพิ่มแรงดันดินเชิงรับ-แรงต้าน Diaphragm wall

1. ลักษณะโครงการ

กรณีศึกษาเป็นงานขุดดินลึกประมาณ 11.0 เมตร เพื่อก่อสร้างห้องใต้ดิน 2 ชั้น ตั้งอยู่ริมถนน ห่างจากแนวอุโมงค์รถไฟ. ในแนวราบ ประมาณ 7.5–9.0 เมตร โดยโครงการตั้งอยู่ในเขตที่อาจถูกกระทบตามกฎหมายเพิ่มเติมคุ้มครองความปลอดภัยของโครงสร้างใต้ดินของระบบรถไฟฟ้าตามโครงการรถไฟฟ้ามหานครซึ่งกำหนดเป็นเขตที่อาจถูกกระทบ (Influence zone) ดังแสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 Influence zone ของระบบรถไฟฟ้าตามโครงการรถไฟฟ้ามหานคร

2. ลักษณะชั้นดินบริเวณโครงการลิกประมาณ 11.0 เมตร

ลักษณะชั้นดินโครงการประกอบด้วยชั้นดินเหนียวอ่อน จากระดับผิวดินจนถึงความลึก 15.0 เมตร จึงเริ่มพบชั้นดินเหนียวแข็ง โดยมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ประมาณ -1.0 เมตรจากผิวดิน ลักษณะชั้นดินแสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะชั้นดินโครงการลิกประมาณ 11.0 เมตร

ความลึก (เมตร)		ลักษณะชั้นดิน	กำลังรับแรงเฉือน	ค่าตอกทดสอบ
จาก	ถึง		ดิน, S_u	มาตรฐาน, SPT
			(ตัน/ตารางเมตร)	(ครั้ง/ฟุต)
0	2.0	Pavement/top soil	-	-
2.0	3.0	Soft Clay	2.0	-
3.0	12.0	Very Soft Clay	1.2	-
12.0	15.0	Medium Stiff Clay	3.5	-
15.0	17.0	Stiff Clay	-	12
17.0		Stiff Clay	-	25

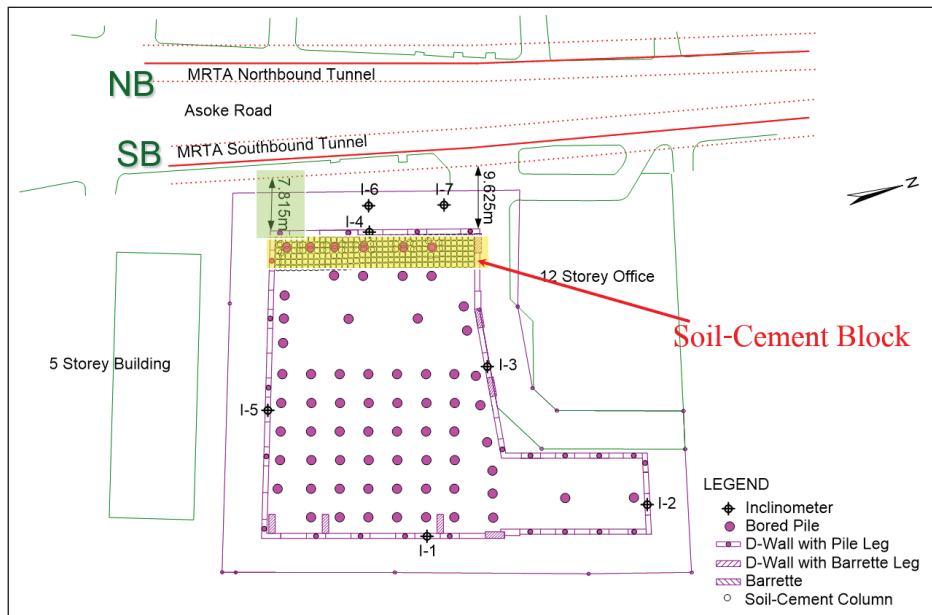
3. แนวคิดการออกแบบ

ในเขตดำเนินการระบบรถไฟฟ้า กฎหมายห้ามก่อสร้างโครงสร้างใด ๆ เว้นแต่จะได้รับอนุญาตถ้าถูกต้องตามหลักเกณฑ์ข้อกำหนดทางวิศวกรรม ซึ่งรายละเอียดที่สำคัญบางข้อดังนี้

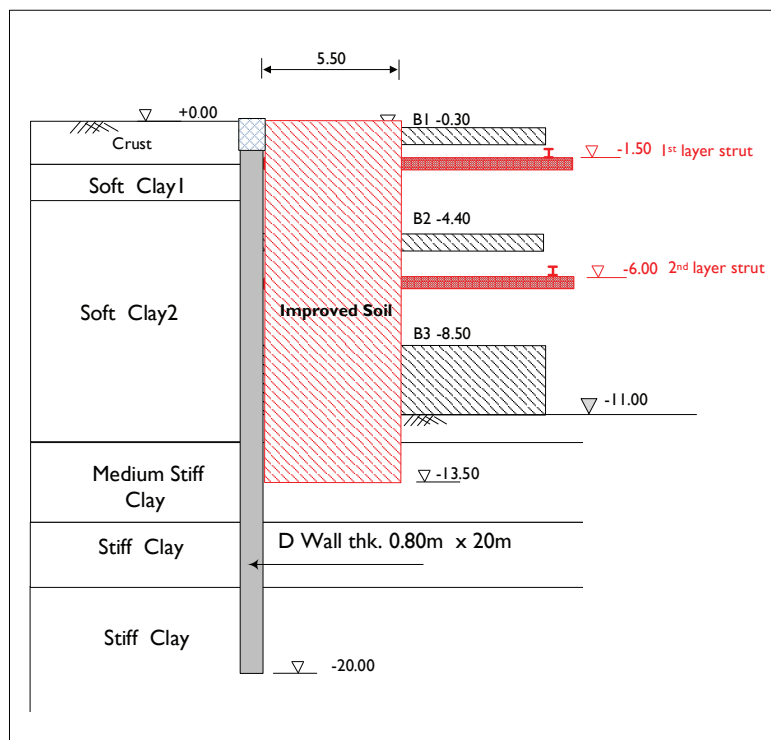
- การก่อสร้างต้องไม่ทำให้เกิดน้ำหนักรวมบนดินเกิน 5 ตัน/ตารางเมตร
- การเคลื่อนตัวที่เป็นผลจากการก่อสร้างจะต้องไม่ให้เกิดการเสียรูปของรางรถไฟฟ้าเกินกว่า 3 มิลลิเมตร ในระยะ 6 เมตร หรือไม่ให้เกิดการเคลื่อนตัวรวมของโครงสร้างสถานีหรืออุโมงค์ในระยะใด ๆ เกิน 6 มิลลิเมตร
- การก่อสร้างเสาเข็มหรือ Diaphragm wall จะต้องไม่ให้เกิดแรงสั่นสะเทือนอันจะทำให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้าง

ตามข้อกำหนดของ การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย โครงการนี้ตั้งอยู่ในเขตที่อาจกระทบ จึงต้องควบคุมค่าการเคลื่อนตัวของโครงสร้างรถไฟฟ้า ไม่เกิน 6 มิลลิเมตร เพื่อลดผลกระทบกับรถไฟฟ้า งานขุดดินเพื่อก่อสร้างชั้นใต้ดินโครงการนี้จึงออกแบบใช้ Diaphragm wall หนา 80 เซนติเมตร ลึก 20 เมตร เป็นระบบป้องกันดิน ขุดดินด้วยระบบก่อสร้างล้างชั้นบน โดยใช้ค้ำยันชั่วคราว 2 ชั้น

สำหรับบริเวณ Diaphragm wall ด้านที่ติดแนวอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน การออกแบบได้มีการเสริมเสถียรภาพด้านหน้า Diaphragm wall หรือด้านดินขุด ด้วยเสาเข็มซีเมนต์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.00 เมตรแบบขบกันจำนวน 6 แถว กว้างรวม 5.5 เมตร ความยาว 13.5 เมตร จากผิวดิน (ภาพที่ 14) โดยกำหนดค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำไม่น้อยกว่า 5 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร เพื่อช่วยเพิ่มแรงดันดินด้านในให้มากขึ้นและลดการคืบ (creep) ของดิน ในระหว่างรอการติดตั้งค้ำยันในแต่ละชั้น และทำการขุดดินโดยใช้ชุดแบบมีคันดิน (soil berm) เพื่อช่วยลดการเคลื่อนตัวของกำแพงให้น้อยลง (Thasnanipan et al., 2006) โดยรูปตัดงานขุดดินแสดงในภาพที่ 15



ภาพที่ 14 ผังโครงการงานขุดดินลึก 11.0 เมตร

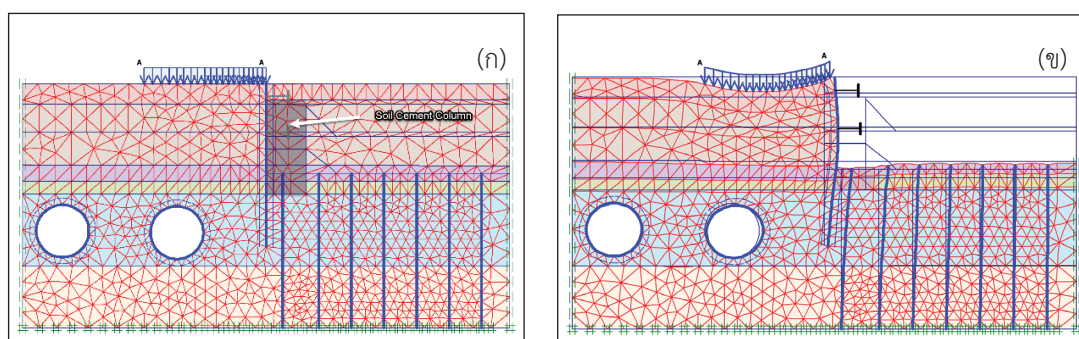


ภาพที่ 15 รูปตัดงานขุดดินลึก 11.0 เมตร

4. ผลการวิเคราะห์

การวิเคราะห์แนว Diaphragm wall ด้านติดแนวอุโมงค์รถไฟฟ้า เป็นด้านที่ต้องควบคุมการเคลื่อนตัวของ Diaphragm wall ให้อยู่ในเกณฑ์ที่ส่งผลกระทบกับการเคลื่อนตัวของแนวอุโมงค์ ซึ่งต้องวิเคราะห์โดยเน้นดูผลการเคลื่อนตัวของดินและอุโมงค์รถไฟฟ้า จึงต้องทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธี Finite Element Method; FEM

ผลการวิเคราะห์ FEM (ภาพที่ 16) และตารางที่ 3 พบว่าการปรับปรุงดินด้วยเสาเข็มซีเมนต์ด้านหน้ากำแพงหรือด้านขุด (Excavation side) ในลักษณะ Soil cement block กว้างรวม 5.5 เมตร ลึก -13.5 เมตร เพื่อเพิ่มแรงต้าน (Passive force) จะช่วยลดการเคลื่อนตัวของ Diaphragm wall และการเสียรูป/เคลื่อนตัวของอุโมงค์ ซึ่งพบว่าผลการวิเคราะห์ให้ค่าการเคลื่อนตัวของ Diaphragm wall ที่ 26.54 มิลลิเมตร โดยการเสียรูป/เคลื่อนตัวของอุโมงค์มีค่า 5.97 มิลลิเมตร ซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนด



ภาพที่ 16 ผลการวิเคราะห์ FEM การปรับปรุงดินด้วยเสาเข็มซีเมนต์ด้านหน้า (ก) ก่อนขุดดิน (ข) หลังขุดดิน

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ FEM

ผลวิเคราะห์	การเคลื่อนตัวของ อุโมงค์รถไฟฟ้า (มิลลิเมตร)	การเคลื่อนตัวของ Diaphragm wall (มิลลิเมตร)	การทรุดตัวมากที่สุดของดิน (มิลลิเมตร)
ไม่มีการเสริมเสถียรภาพ Diaphragm wall	6.88	40.57	38.22
เสริมเสถียรภาพ Diaphragm wall ด้วยเสาเข็มซีเมนต์ด้านหน้ากำแพง	5.97	26.54	25.79

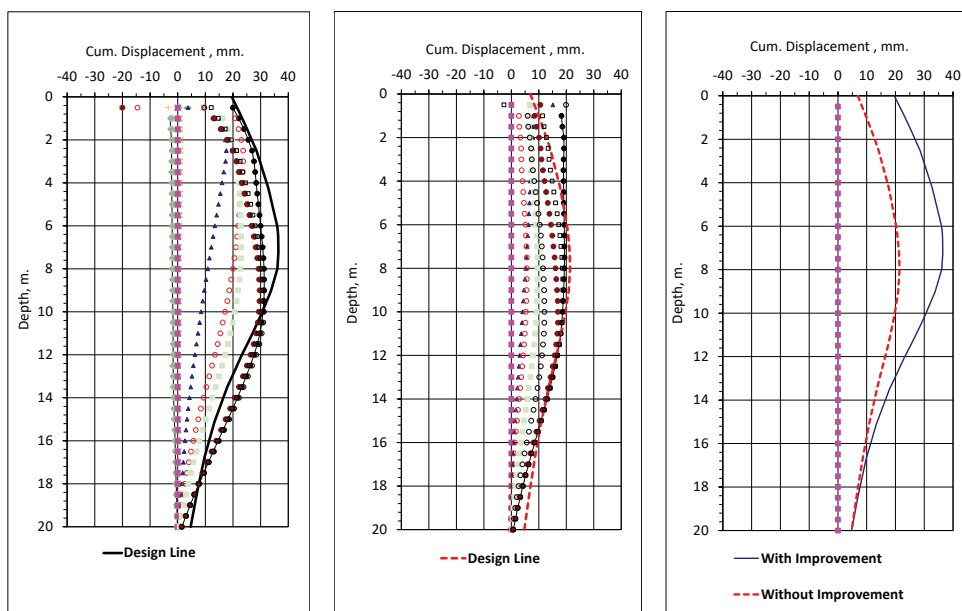
5. การตรวจวัดทางธรณีเทคนิค

การตรวจวัดการเคลื่อนตัวของ Diaphragm wall ในระหว่างงานขุดดินเพื่อก่อสร้างชั้นใต้ดินตามขั้นตอนการก่อสร้างที่ออกแบบไว้ในแต่ละขั้นตอนได้มีการตรวจวัดค่าการเคลื่อนตัวของ Diaphragm wall โดย Inclinator ทั้ง 5 ท่อ พบว่าภายหลังการขุดดินเพื่อก่อสร้างชั้นใต้ดินแล้วเสร็จ แนว Diaphragm wall ด้านที่ไม่มีการทำการปรับปรุงดิน ค่าการเคลื่อนตัวมากที่สุดที่วัดได้คือ 28.5 มิลลิเมตร (ท่อ Inclinator I-5) สำหรับด้านที่มีการปรับปรุงดินที่อยู่ติดแนวอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน มีค่าการเคลื่อนตัวมากที่สุด 18.5 มิลลิเมตร วัดจากท่อ Inclinator I-4

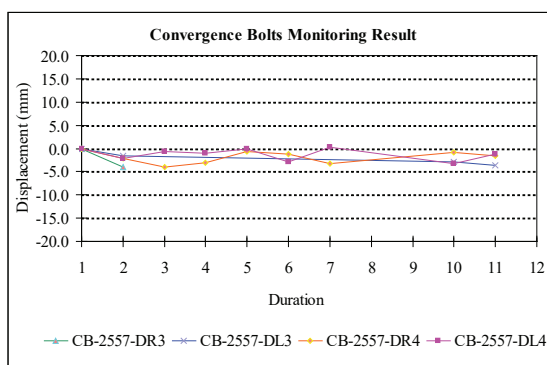
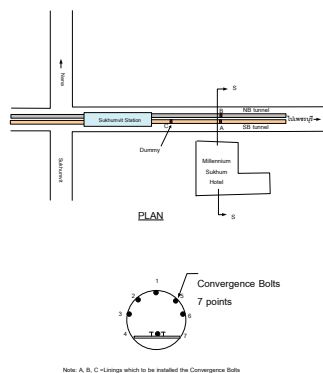
ผลการวัดค่าการเคลื่อนตัวของ Diaphragm wall แสดงในภาพที่ 17 และผลตรวจวัดการเคลื่อนตัว/เสียรูปของอุโมงค์ ด้วย Convergence bolt ที่ติดตั้งในอุโมงค์พบว่า การเสียรูปมากที่สุดมีค่าไม่เกิน 5 มิลลิเมตร (ภาพที่ 18)

6. สรุปผลการดำเนินการ

กรณีศึกษาโครงการนี้ เป็นงานขุดดินลึกประมาณ 11.0 เมตร เพื่อก่อสร้างห้องใต้ดิน 2 ชั้น ซึ่งอยู่ติดแนวอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินใต้ ถนนอโศกมนตรี ซึ่งต้องควบคุมไม่ให้เกิดผลกระทบต่อโครงสร้างอุโมงค์ โดยใช้ระบบป้องกันดิน Diaphragm wall ที่เสริมเสถียรภาพด้วยเสาเข็มซีเมนต์ ผลการขุดดินพบว่าค่าการเคลื่อนตัวของ Diaphragm wall และการเคลื่อนตัว/เสียรูปของอุโมงค์ ที่วัดได้อยู่ในเกณฑ์ที่ออกแบบไว้ ไม่ส่งผลกระทบต่ออุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน



ภาพที่ 17 การเคลื่อนตัวของ Diaphragm wall (ก) ผลวิเคราะห์ (ข) I-4; ด้านที่มีการปรับปรุงดิน (ค) I-5; ด้านที่ไม่มีการปรับปรุงดิน



ภาพที่ 18 ตำแหน่งผลตรวจวัดการเคลื่อนตัว/เสียรูปของอุโมงค์ ด้วย Convergence bolt

บทสรุป

แนวทางการออกแบบระบบป้องกันดินสำหรับงานขุดดินลึก จะต้องพิจารณาข้อมูลประกอบในด้านต่าง ๆ ได้แก่สภาพหน้างาน แบบก่อสร้างและแบบสถาปัตยกรรม ที่กำหนดระดับขุดดินที่ชัดเจน จะทำให้การออกแบบระบบป้องกันดินในส่วนการเลือกใช้ประเภทกำแพงกันดินและระบบค้ำยัน เกิดประสิทธิภาพทั้งในด้านความปลอดภัย ด้านราคาค่าก่อสร้าง ตลอดจนผลกระทบต่อโครงสร้างข้างเคียง

การประยุกต์ใช้ระบบเสาดินซีเมนต์ (Soil cement column) มาเพิ่มเสถียรภาพของ Diaphragm wall เพื่อให้สามารถลดแรงดันดิน ด้านทานแรงดันดินและลดการเคลื่อนตัวของดินโดยรอบขุด ตามกรณีศึกษา ในบทความนี้ เป็นวิธีที่ให้ผลสำเร็จอย่างมีนัย แต่อย่างไรก็ตามการเสริมเสถียรภาพของ Diaphragm wall ด้วยระบบเสาดินซีเมนต์ จะต้องทำการออกแบบให้ตรงตามพฤติกรรมการรับแรงที่ต้องการ และในขณะขุดดินเพื่อก่อสร้างต้องมีการติดตั้งเครื่องมือวัดทางธรณีเทคนิคเพื่อสอบทานความถูกต้องของการออกแบบ

อย่างไรก็ตามการออกแบบการเสริมเสถียรภาพของ Diaphragm wall ด้วยระบบเสาดินซีเมนต์ จะต้องคำนึงถึงสภาพพื้นที่ก่อสร้างโดยรอบ Diaphragm wall ที่ต้องมีพื้นที่เพียงพอที่จะจัดเรียงเสาดินซีเมนต์ในลักษณะ ขบกันเป็น Block ตลอดจนสภาพดินเดิมที่จะก่อสร้างเสาดินซีเมนต์ต้องเป็นดินเหนียวอ่อนหรือทรายหลวม ซึ่งเป็นลักษณะดินที่สามารถทำการก่อสร้างเสาดินซีเมนต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- Aye, Z. Z., Submaneeewong, C., Bunyarak, T., & Chanchad, C. (2007). **Application of observation method in diaphragm wall support basement excavation.** International Symposium on Tunnelling for Urban Developmant. Pattaya City, Thailand.
- Submaneeewong, C., & Siripoun, V. (2015). **Application of soil cement column wall in deep excavation works without bracing system.** In Proceeding of the 2nd National Exhibition and Conference of Geotechnical Engineering Society of Thailand, Bangkok. (In Thai)
- Sugawara, S., Shigenawa, S., Gotoh, H., & Hosoi, T. (1996). **Large-scale jet grouting for pre-strutting in soft clay.** In Proceeding of IS-Tokyo 1996/2nd International conference on Ground Improvement geosystems: Vol 1.
- Tan, T. S., Yong, K. Y., Goh, T. L., & Kongsomboon, T. (2003). **Behaviour of an embedded improved soil layer in an excavation.** Proceedings of Underground Singapore 2003 Conference, Nanyang Technological University, Singapore, 22–23 May 2003, pp. 317–324.
- Tanseng, P., & Boonkert, B. (2023). **Performance of soil cement column wall for a tunnel construction in bangkok soft clay.** In Proceedings of the 28th National Convention on Civil Engineering, Phuket: PSU, Hadyai Campus. (In Thai)

- Thasnanipan, N., Singtokaw, K., & Submaneewong, C. (2006). **Case study: Excavation technique for basement construction adjacent to existing subway tunnels.** In Proceedings of the 11th National Convention on Civil Engineering, Phuket: Kasetsart University, KPS Campus. (In Thai)
- Thasnanipan, N., Singtokaw, K., & Submaneewong, C. (2008). **Wall movement induced by underground construction.** In Proceedings of the 13rd National Convention on Civil Engineering, Chon buri: Sripatum University (In Thai)

การปลูกผลึกเดี่ยวของสารประกอบ NaCuPO_4 SINGLE CRYSTAL GROWTH OF NaCuPO_4 COMPOUND

กนต์ธีร์ กิจเกียรติพงษ์* เจษฎา ประทุมสิทธิ์ และ ชโนภาส ชนม์ลักษณะดาว
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร 10220

Ganatee Gitgertpong* Jedsada Prathumsit and Chanopat Chonlakdao
Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University, Bangkok, 10220

*E-mail: ganatee.g@pnru.ac.th

Received: 22-12-2025

Revised: 16-06-2026

Accepted: 16-06-2026

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ มีจุดประสงค์ในการสังเคราะห์สารประกอบ NaCuPO_4 ทั้งในรูปแบบที่เป็นผงด้วยวิธีการทำปฏิกิริยาสถานะของแข็งที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส และผลึกเดี่ยวโดยให้เกิดผลึกจากการเย็นอย่างช้า ๆ จากสารประกอบที่ละลายจากการเผาด้วยเตาไฟฟ้าแนวตั้งที่อุณหภูมิ 680 องศาเซลเซียส จากการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ พบว่า สารประกอบ NaCuPO_4 ในรูปแบบที่เป็นผง มีโครงสร้างแบบ Orthorhombic และ space group ชนิด $P2_12_12_1$ ตรงกันกับรายงานวิจัยก่อนหน้านี้ เช่นเดียวกับผลึกเดี่ยวที่สังเคราะห์ได้ในงานวิจัยนี้ ผลึกเดี่ยวที่สังเคราะห์ได้ มีขนาดอยู่ในช่วง $1 \times 1 \times 1$ ลูกบาศก์มิลลิเมตร ถึง $1 \times 3 \times 5$ ลูกบาศก์มิลลิเมตร สรุปได้ว่า ผลึกเดี่ยวขนาดใหญ่ของ NaCuPO_4 สามารถปลูกได้ด้วยการใช้เตาเผาแนวตั้ง สามารถนำไปต่อยอดเพื่อศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์อื่น ๆ ต่อไปได้อีกในอนาคต

คำสำคัญ: ผลึกเดี่ยว เตาเผาแนวตั้ง การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

ABSTRACT

This research reports the synthesis of NaCuPO_4 in both powder and single-crystal forms. Powder samples were prepared using the solid-state reaction method at 600 °C, while single crystals were grown by slow cooling from the melt in a vertical electric furnace at 680 °C. X-ray diffraction (XRD) analysis confirmed that the crystal structures of both the powder and single crystals were orthorhombic with space group $P2_12_12_1$, consistent with previous reports. Notably, the single crystals obtained in this work ranges from $1 \times 1 \times 1 \text{ mm}^3$ to $1 \times 3 \times 5 \text{ mm}^3$, larger than those previously reported. These results demonstrate that large NaCuPO_4 single crystals can be successfully grown using a vertical furnace, facilitating future studies of their physical properties.

Keywords: single crystal, vertical furnace, X-ray diffraction

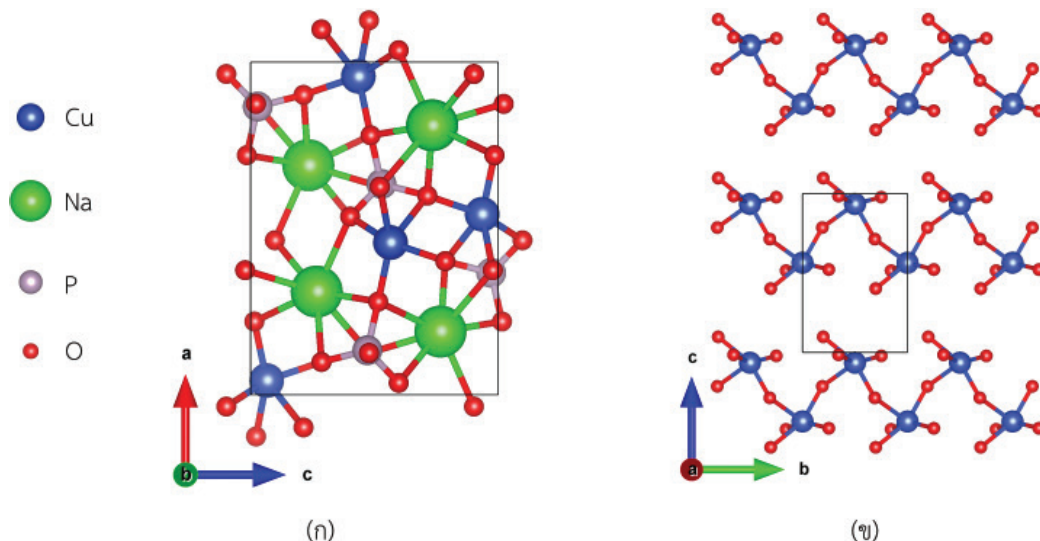
บทนำ

สมมาตร หรือ symmetry ในทางฟิสิกส์ (crystallography) สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ centrosymmetric non-centrosymmetric และ chiral ซึ่งจะแบ่งออกตามการดำเนินการสมมาตร (symmetry operation) อันได้แก่ การเลื่อน (translation) การหมุนรอบแกน (rotational axis) ระนาบกระจก (mirror plane) จุดศูนย์กลางการผกผัน (center of inversion) (Sands, 1993) โดยกลุ่มผลึกที่มีความสมมาตรแบบ centrosymmetric จะมีความสมมาตรครบตามกฎทั้งสี่แบบ จึงถือเป็นกลุ่มที่มีความสมมาตรผลึกสูง ในขณะที่กลุ่ม non-centrosymmetric จะขาดจุดศูนย์กลางการผกผัน ซึ่งถือว่ามีความสมมาตรน้อยกว่าในกลุ่ม centrosymmetric และสุดท้าย กลุ่ม chiral จะขาดทั้งจุดศูนย์กลางการผกผัน และระนาบกระจก นั่นคือ จะเป็นกลุ่มที่มีความสมมาตรผลึกน้อยที่สุด

สมบัติเชิงแม่เหล็กของกลุ่มผลึกที่มีสมมาตรต่ำ ทั้งในกลุ่ม non-centrosymmetric และกลุ่ม chiral ก็คือการทำลายสมมาตร (symmetry breaking) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผลึกเหล่านี้มีทองแดงเป็นส่วนประกอบ เนื่องจากทองแดงมีสปิน (spin) เท่ากับ $1/2$ ทำให้เกิดเป็นระบบแม่เหล็กเชิงควอนตัม ในระบบที่มีสมมาตรต่ำบางระบบ (กลุ่ม non-centrosymmetric และกลุ่ม chiral) รูปแบบของ dispersion relation จะเกิดการทำลายสมมาตร และคลื่นสปิน (spin wave) จะสามารถเกิดการโพลาไรเซชันแยกทิศซ้ายและขวาออกจากกันได้ โดยในเหตุการณ์ดังกล่าวนี้จะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ในสารแม่เหล็กในกลุ่ม centrosymmetric ในปี ค.ศ. 2016 Hayami, Kusunose และ Motome ได้รายงานผลวิจัยเชิงทฤษฎีเรื่องการทำลายสมมาตรในสารแม่เหล็กที่มีสมมาตรแบบ non-centrosymmetric เป็นครั้งแรก และต่อมาได้มีการทดลองพบในสารประกอบ $\alpha\text{-Cu}_2\text{V}_2\text{O}_7$ (Gitgeatpong et al., 2017) ซึ่งโดยปกติแล้ว สารประกอบ $\text{Cu}_2\text{V}_2\text{O}_7$ จะมีอยู่ด้วยกัน 2 เฟส นั่นคือ α และ β แต่เฟส β นั้น มีสมมาตรแบบ centrosymmetric นั้นหมายความว่า การทำลายสมมาตร จะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ในสารแม่เหล็กเฟส β ซึ่งเป็นจริง ดังนั้น โดยรายงานวิจัยล่าสุดในสารประกอบ Zn-doped $\text{Cu}_2\text{V}_2\text{O}_7$ (Gitgeatpong et al., 2022) ซึ่งมีโครงสร้างผลึกและสมบัติทางแม่เหล็กที่เหมือนกับ $\beta\text{-Cu}_2\text{V}_2\text{O}_7$ ได้แสดงให้เห็นว่า คลื่นสปินที่อุณหภูมิต่ำที่วัดได้นั้น มีลักษณะสมมาตรแบบปกติตามทฤษฎีดั้งเดิม

จากงานวิจัยข้างต้น แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของสมมาตรในโครงสร้างผลึก ซึ่งถึงแม้ว่าสารประกอบจะมีองค์ประกอบทางเคมีเหมือนกัน แต่ถ้าหากโครงสร้างผลึกต่างกัน ผลลัพธ์ในรูปของคลื่นสปินจะแตกต่างกันโดยสิ้นเชิง ซึ่งเหตุการณ์นี้ในปัจจุบันยังไม่มีมีการทดลองพบเพิ่มเติมในกลุ่มสารแม่เหล็กแบบแอนติเฟอร์โร นอกจาก $\alpha\text{-Cu}_2\text{V}_2\text{O}_7$ ดังที่ได้กล่าวไปแล้ว อย่างไรก็ตาม การแสวงหาสารประกอบใหม่ ๆ เพื่อทดลองยืนยันการเกิดการทำลายสมมาตร ทำได้ยาก เนื่องด้วยสารตัวอย่างที่ต้องนำมาศึกษานี้ จะต้องอยู่ในรูปของผลึกเดี่ยว ซึ่งมีความยากในการสังเคราะห์ โดยเฉพาะเมื่อสารตัวอย่างต้องประกอบไปด้วยทองแดง เนื่องด้วยความต้องการค่าสปิน $1/2$ เพื่อให้ระบบเป็นสารแม่เหล็กเชิงควอนตัม อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มขอบเขตงานวิจัยไปยังกลุ่มสารแม่เหล็กที่มีสมมาตรแบบ chiral จะพบว่ามีสารประกอบที่มีความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์เพิ่มมากขึ้น นั่นคือสารประกอบ NaCuPO_4 ซึ่งนอกจากความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์สารประกอบชนิดนี้ ยังได้มีรายงานทฤษฎีถึงความเป็นไปได้ในการเกิดการทำลายสมมาตรในผลึกกลุ่ม chiral นี้ด้วย (Proskurin, Stamps, Ovchinnikov, & Kishine, 2017) โดยในปัจจุบัน ยังไม่มีรายงานการทดลองเพิ่มเติมถึงการค้นพบการทำลายสมมาตรผ่านทางวิธีวัดคลื่นสปิน นอกจากนี้ได้พบมาแล้วในสารประกอบ $\alpha\text{-Cu}_2\text{V}_2\text{O}_7$ ดังนั้น สารประกอบ

NaCuPO_4 จึงเป็นตัวเลือกที่มีความน่าสนใจสำหรับการศึกษาสมบัติทางแม่เหล็กต่อไปในอนาคตหากสามารถทำการสังเคราะห์ผลึกเดี่ยวได้



ภาพที่ 1 (ก) โครงสร้างอะตอมของสารประกอบ NaCuPO_4 (ข) พันธะระหว่างอะตอมของทองแดงซึ่งมีสปิน 1/2 ที่เชื่อมผ่านอะตอมของออกซิเจน เกิดเป็นโครงร่างสปีนแบบซิกแซก ในทิศแกนผลึก b

สำหรับสารประกอบ NaCuPO_4 นี้ มีโครงสร้างผลึกชนิด Orthorhombic มี space group แบบ $P2_12_12_1$ ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่ม chiral ในปัจจุบันยังคงไม่มีรายงานผลการสังเคราะห์ผลึกเดี่ยวขนาดใหญ่ ขึ้นมาได้ยกเว้นแต่เพียงสารประกอบในรูปผง (Mansour et al., 2017; Ulutagay-Kartin et al., 2002; Wu et al., 2012) หรือผลึกเดี่ยวขนาดเล็กไม่เหมาะสมสำหรับการศึกษาโครงสร้างเท่านั้น (Quarton & Kolsi, 1983) อีกทั้งการศึกษาสารประกอบชนิดนี้ในเชิงลึกยังคงมีรายงานไม่มากนักนอกจากเพียงลักษณะโครงสร้างอะตอม ดังแสดงในภาพที่ 1 (ก) มีการรายงานว่าอันตรกิริยาระหว่างสปินของทองแดง จะเชื่อมต่อกันผ่านอะตอมของออกซิเจน เป็นโครงข่ายแบบซิกแซก (zig-zag) ดังแสดงในภาพที่ 1 (ข) (Wu et al., 2012) แต่ยังไม่มีการทดลองยืนยัน จึงเป็นโอกาสในการเริ่มต้นสังเคราะห์ผลึกเดี่ยวของสารประกอบดังกล่าวเพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษาสมบัติเชิงแม่เหล็กต่อไปในอนาคต

วิธีการสังเคราะห์ผลึกเดี่ยวที่นิยม ได้แก่ การใช้สารเป็นตัวทำละลาย (flux) การใช้การรวมแสง (optical floating zone) บริดจ์แมนแนวดิ่ง (vertical Bridgman) และวิธีที่เลือกใช้ในงานนี้ คือ vertical gradient ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและประหยัด โดยการทำให้เตาเผาที่มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติในแนวดิ่ง เมื่อนำสารที่ต้องการจะสังเคราะห์เข้าไปในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงสุดที่ตั้งไว้ ทำให้สารเกิดการหลอมเหลว จากนั้นทำการเคลื่อนสารลงในแนวดิ่งผ่านตำแหน่งที่อุณหภูมิของสารมีการเปลี่ยนแปลงลดลง สารตั้งต้นที่อยู่ในสถานะของเหลวจะเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง ซึ่งเมื่อเงื่อนไขอุณหภูมิและอัตราการเย็นตัวมีค่าที่เหมาะสม สารจะสามารถเกิดเป็นผลึกเดี่ยวได้ โดยเตาเผาที่ใช้ในการสังเคราะห์ผลึกด้วยวิธีนี้สามารถสร้างขึ้นเองได้ในห้องปฏิบัติการด้วยงบประมาณไม่มาก

วิธีการ

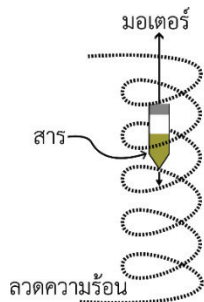
สารประกอบ NaCuPO_4 ในรูปแบบผง สามารถเตรียมได้ด้วยวิธีการทำปฏิกิริยาสถานะของแข็ง (solid state reaction) โดยเริ่มจากสารตั้งต้น ได้แก่ NaCl (99.9% Kemaus Australia) CuO (97% Loba India) และ P_2O_5 (98% Sigma-Aldrich USA) ด้วยการชั่งมวลตามอัตราส่วนโมล ดังสมการ



เมื่อชั่งสารได้ตามที่ต้องการ จึงนำมาผสมรวมกันแล้วนำเข้าเตาเผา โดยใช้ภาชนะเป็นถ้วยอลูมินา (alumina หรือ Al_2O_3) เริ่มต้นที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง เพื่อให้สารเริ่มทำปฏิกิริยา จากนั้นจึงนำสารประกอบมาบด และนำกลับเข้าเตาเผาใหม่ที่อุณหภูมิ 450 เป็นเวลา 10 ชั่วโมง จึงนำออกมาบด และทำซ้ำต่อเนื่องโดยทำการเพิ่มอุณหภูมิครั้งละ 50 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้อุณหภูมิสุดท้ายที่ 600 องศาเซลเซียส กระทั่งสุดท้ายจะได้สารประกอบที่ต้องการ ซึ่งจะมีการนำไปวิเคราะห์โครงสร้างด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์เพื่อทำการยืนยันโครงสร้าง

เมื่อได้สารประกอบ NaCuPO_4 ในรูปแบบผงแล้ว จึงนำสารประกอบที่สังเคราะห์ได้ไปทำการปลูกผลึกเดี่ยวต่อไป โดยนำสารที่เป็นผงใส่ลงในท่อควอทซ์ที่ทำการปิดปลายด้านล่างไว้ โดยในแต่ละครั้งที่ทำการทดลอง จะใส่สารลงไปประมาณ 5 กรัม และปิดปลายด้านบนของท่อควอทซ์ด้วยใยแก้ว (ceramic wool) และรัดไว้กับลวดสแตนเลส ก่อนที่จะนำเข้าไปในเตาเผาแนวตั้ง โดยเตาเผาแนวตั้ง (ภาพที่ 2) เป็นเตาที่สร้างขึ้นเองในห้องปฏิบัติการ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร โดยใช้ลวดทำความร้อนนิโครม (นิกเกิลผสมโครเมียม Nichrome) พันรอบแกนท่ออลูมินา มีกำลังไฟฟ้า 1,500 วัตต์ สามารถทำอุณหภูมิได้สูงสุดประมาณ 1,100 องศาเซลเซียสควบคุมด้วยอุปกรณ์ควบคุมระบบ PID (Omron E5CN) และอ่านค่าอุณหภูมิผ่านหัววัด thermocouple type K เริ่มต้นการปลูกผลึกเมื่อใส่สารที่อยู่ในท่อควอทซ์เข้าในเตาแล้ว ตั้งอุณหภูมิของเตาจนกระทั่งสารเกิดการหลอมเหลว สำหรับสารประกอบ NaCuPO_4 นี้ จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิดังกล่าวอยู่ในช่วง 680–700 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงเริ่มทำการปรับตำแหน่งของท่อควอทซ์ในเตาให้เลื่อนต่ำลง เนื่องจากอุณหภูมิภายในเตาเผาแนวตั้งจะมีค่าสูงสุดที่บริเวณแคบ ๆ ช่วงหนึ่ง และจะมีอุณหภูมิลดลงเมื่อเลื่อนตำแหน่งออกจากจุดดังกล่าวทั้งในทิศขึ้นด้านบน และลงด้านล่าง สำหรับวิธีการปลูกผลึกในงานวิจัยนี้ เรียกว่า vertical gradient technique จะใช้วิธีเลื่อนตำแหน่งลงด้านล่าง ดังนั้น สารตั้งต้นที่เป็นของเหลวแล้วจะเริ่มเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งจากจุดล่างสุดของท่อควอทซ์ที่ใส่สาร และผลึกจะเริ่มก่อขนาดใหญ่ขึ้นด้านบนที่ซึ่งยังคงเป็นของเหลวอยู่เนื่องจากอุณหภูมิมีค่าสูงกว่า ในการเลื่อนตำแหน่งของสารตั้งต้นจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ต่อผ่านเฟืองทด เพื่อให้ได้อัตราการเคลื่อนที่ในระดับ 1 เซนติเมตรต่อวัน ดังนั้น ระยะเวลาในการปลูกผลึกใน 1 รอบ จะใช้เวลาประมาณ 1 สัปดาห์ เมื่อเลื่อนตำแหน่งของสารลงไปได้ระยะ 5–10 เซนติเมตร

สุดท้าย สารประกอบที่ได้ ทั้งในรูปแบบผง และผลึกเดี่ยว จะนำไปวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ซึ่งข้อมูลที่ได้ จะนำมาเทียบกับข้อมูลที่เคยมีรายงานมาก่อนหน้านี้ด้วยวิธี Rietveld refinement โดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ FullProf ในการช่วยวิเคราะห์ (Rodriguez-Carvajal, 1993) ดังแสดงผลการฟิตในภาพที่ 3



(ก)



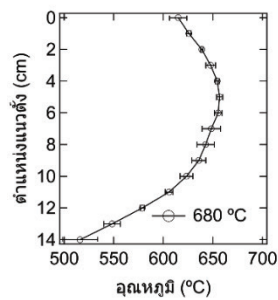
(ข)



(ค)

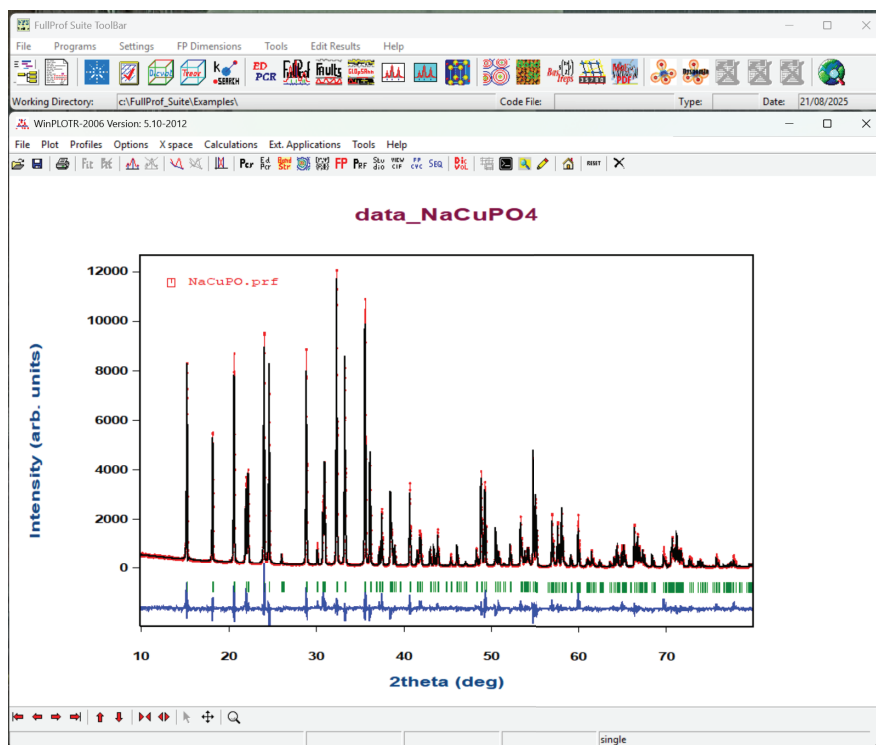


(ง)



(จ)

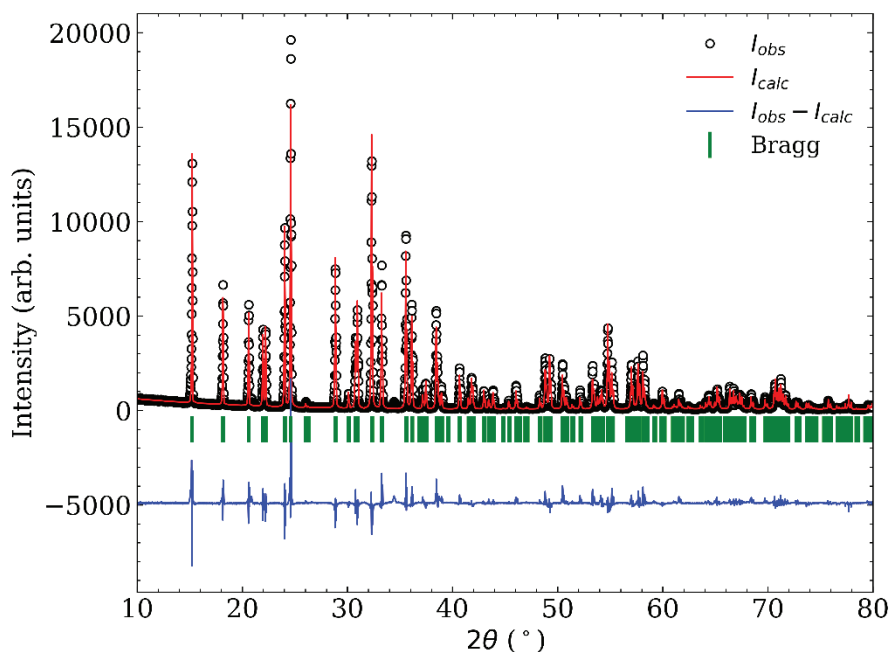
ภาพที่ 2 (ก) แผนภาพเตาแนวตั้งแสดงลักษณะการพันขดหลอดความร้อนรอบท่อเซรามิกและตำแหน่งสารตั้งต้น
ภายในเตา (ข) ตัวควบคุมอุณหภูมิ Omron E5CN (ค) ระบบขับเคลื่อนสาร (ง) ภาพถ่ายเตาแนวตั้ง
ที่สร้างขึ้นเองสำหรับใช้ในการปลูกผลึกเดี่ยวในงานวิจัย และ (จ) อุณหภูมิภายในเตาที่ตำแหน่งต่าง ๆ
เมื่อตั้งค่าอุณหภูมิไว้ที่ 680 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 3 ภาพหน้าจอโปรแกรม FullProf สำหรับวิเคราะห์ข้อมูลการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

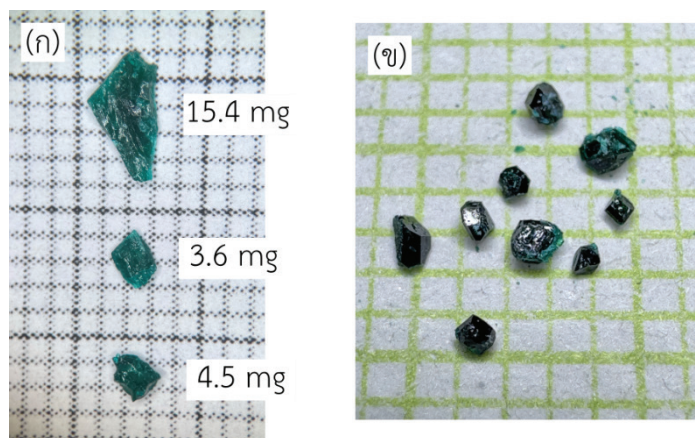
ผลการทดลองและวิจารณ์

จากผลการเตรียมสารประกอบ NaCuPO_4 ด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง พบว่าสารจะเริ่มเปลี่ยนสถานะที่อุณหภูมิประมาณ 680 องศาเซลเซียส ทำให้สารเกิดการเกาะติดกับภาชนะด้วยอลูมินา และไม่สามารถนำออกมาได้ ดังนั้นอุณหภูมิในการเผาแบบผง หรือที่เรียกว่า calcination ไม่ควรเกิน 600 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามหากอุณหภูมิที่ใช้ในการเผามีค่าต่ำเกินไป จะเป็นผลให้สารประกอบมีโครงสร้างของสารชนิดอื่นเจือปน ซึ่งถึงแม้ว่าสมการเคมีจะแสดงถึงการต้องอาศัยออกซิเจน อย่างไรก็ตาม จากการทดลอง calcination ในบรรยากาศที่ไม่มีการใช้ก๊าซออกซิเจน จากการวัดด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ พบว่าให้ผลเป็นสารประกอบ NaCuPO_4 ที่มีโครงสร้างตรงตามรายงาน ผลการวัดด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของสารประกอบที่ผ่านการ calcination เป็นเวลารวม 100 ชั่วโมงในอากาศ แสดงในภาพที่ 4



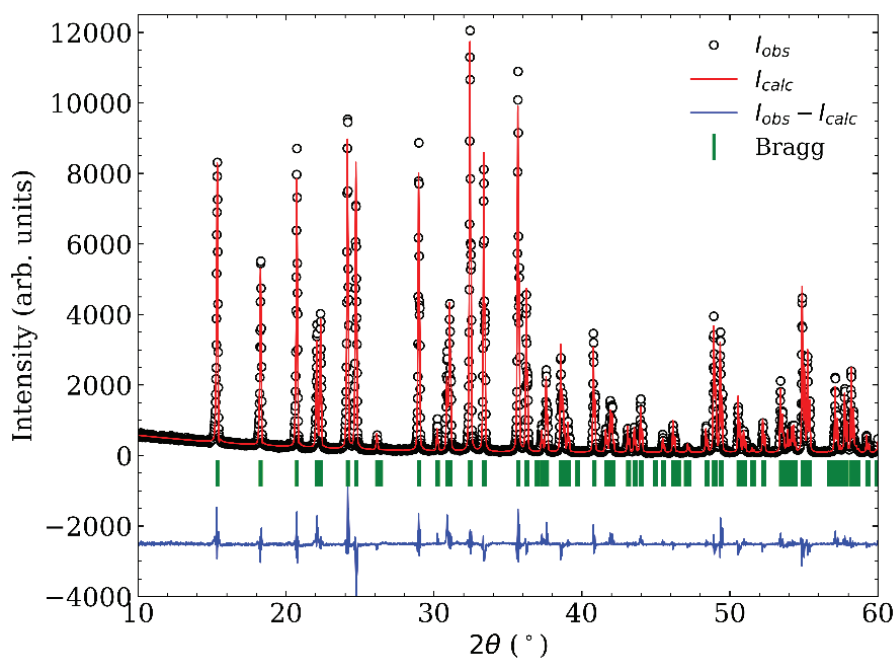
ภาพที่ 4 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จาก NaCuPO₄ ที่เตรียมในรูปแบบเป็นผงซึ่งเผาในบรรยากาศปกติ แสดงข้อมูลดิบ (สีดำ) เส้นฟิต (สีแดง) และฐานข้อมูลอ้างอิง (สัญลักษณ์ขีดแนวตั้งสีเขียว) (Proskurin et al., 2017) ด้วยโปรแกรม FullProf ผลต่างระหว่างผลการวัดและการคำนวณแสดงด้วยเส้นสีน้ำเงิน

เมื่อได้สารประกอบ NaCuPO₄ ในรูปผงแล้ว จึงนำผงที่เตรียมได้ไปทำการสังเคราะห์เป็นผลึกเดี่ยวจากการทดลองปรับเงื่อนไขจนได้แก่ อุณหภูมิในช่วง 640–700 องศาเซลเซียส และอัตราเร็วการเคลื่อนที่ในช่วง 0.5–2 เซนติเมตรต่อวัน พบว่า สามารถสังเคราะห์ผลึกเดี่ยวได้ เมื่อทำการแยกผลึกออกจากท่อควอทซ์แล้ว ผลึกที่ได้จะเกิดการแตกออกจากท่อควอทซ์ได้เป็นผลึกเดี่ยวที่มีขนาดในระดับมิลลิเมตร ภาพที่ 5 (ก) แสดงตัวอย่างของภาพถ่ายผลึกเดี่ยวที่มีมวลในช่วง 3–15 มิลลิกรัม ผลึกเดี่ยวของสารประกอบ NaCuPO₄ มีสีเขียว โปร่งแสง มีข้อสังเกตคือ เมื่อเผาสารประกอบ NaCuPO₄ ที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวนั้นคือมากกว่า 680 องศาเซลเซียส พบว่า สารตั้งต้น NaCuPO₄ จะเกิดการสลายตัวบางส่วน (decomposition) เป็นสารประกอบ Cu₃P₂O₈ ดังแสดงในภาพที่ 5 (ข) อย่างไรก็ตาม หากอุณหภูมิที่ใช้มีค่าต่ำกว่า 640 องศาเซลเซียส สารชนิดนี้จะไม่เปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว และไม่สามารถเกิดการตกผลึกได้ ดังนั้น ช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการปลูกผลึกของสาร NaCuPO₄ นี้จึงอยู่ในช่วงแคบ ๆ ประมาณ 650 ± 20 องศาเซลเซียส เท่านั้น และอัตราการเคลื่อนที่ของสารผ่านช่วงจุดหลอมเหลวไม่ได้มีผลต่อขนาดของผลึกเดี่ยว อย่างไรก็ตาม พบว่า อัตราประมาณ 1 เซนติเมตรต่อวัน เป็นอัตราที่จะพบการเกิดผลึกได้มากที่สุด หากอัตราการเคลื่อนที่มีค่าเร็วขึ้น จะไม่ทำให้สารเกิดการเรียงตัวเป็นผลึกเดี่ยว แต่หากอัตราการเคลื่อนที่มีค่าช้าลง จะทำให้สารบริเวณผิวด้านบนเกิดการเปลี่ยนโครงสร้างผลึก (decompose) เป็นสารประกอบชนิดอื่น ทำให้ได้ขนาดผลึกที่สังเคราะห์ได้ในงานนี้มีขนาดอยู่ในช่วง 1×1×1 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ถึง 1×3×5 ลูกบาศก์มิลลิเมตร



ภาพที่ 5 (ก) ผลึกเดี่ยวของสารประกอบ NaCuPO_4 มีสีเขียว โปร่งแสง (ข) ผลึกเดี่ยวของสารประกอบไม่ทราบโครงสร้าง เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงจนสารตั้งต้นเกิดสลายตัวเป็นสารประกอบ $\text{Cu}_3\text{P}_2\text{O}_8$ มีสีเขียวเข้ม

เมื่อนำผลึกเดี่ยวชิ้นเล็กที่สังเคราะห์ได้หลายชิ้น (ภาพที่ 5 (ก)) มาบดรวมกัน จากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์ด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์พบว่า ผลึกที่สังเคราะห์ได้ มีโครงสร้างตรงกันกับโครงสร้างของ NaCuPO_4 ตามรายงานก่อนหน้านี้ ดังแสดงในภาพที่ 6 และตารางที่ 1



ภาพที่ 6 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จากผลึกเดี่ยว NaCuPO_4 แสดงข้อมูลดิบ (สีดำ) เส้นฟิต (สีแดง) และฐานข้อมูลอ้างอิง (สัญลักษณ์ขีดแนวตั้งสีเขียว) ด้วยโปรแกรม FullProf แสดงด้วยเส้นสีแดง ผลต่างระหว่างผลการวัดและการคำนวณแสดงด้วยเส้นสีน้ำเงิน

เมื่อนำผลการวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์มาทำการเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลโดยใช้โปรแกรม FullProf เพื่อเปรียบเทียบตำแหน่งมุมเลี้ยวเบน (2θ) และความเข้ม (intensity) ระหว่างผลการวัด และผลการคำนวณ พบว่ามีความตรงกันในระดับมากกว่า 90% แสดงด้วยค่า R -factor ในตารางที่ 1 ค่า R -factor นี้แสดงถึงร้อยละความแตกต่างระหว่างความเข้มจากการวัด และความเข้มจากการคำนวณตามโครงสร้างมาตรฐาน ผลลัพธ์ที่ได้นี้คือค่าคงที่โครงสร้าง a b และ c ซึ่งจะพบว่ามีค่าตรงตามผลการรายงานโดย Quarton และ Kolsi (1983)

ตารางที่ 1 ค่าคงที่โครงสร้างของสารประกอบ NaCuPO_4 ที่เตรียมได้จากงานนี้ทั้งในรูปแบบผง และจากผลึกเดี่ยว เปรียบเทียบกับค่าที่เคยมีการรายงานมาก่อนหน้าโดย Quarton และ Kolsi (1983) ตัวเลขในวงเล็บแสดงถึงค่า standard error

	งานวิจัยนี้		Quarton และ Kolsi (1983)
	สารในรูปผง	ผลึกเดี่ยว	
a (Å)	9.7424(4)	9.7589(4)	9.708(5)
b (Å)	4.7989(2)	4.7975(2)	4.805(2)
c (Å)	7.2535(3)	7.2292(3)	7.166(4)
R -factor (%)	7.3	8.4	3.4

สรุป

จากการทดลองสังเคราะห์สารประกอบ NaCuPO_4 ทั้งในรูปผงด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง และรูปผลึกเดี่ยวด้วยวิธี vertical gradient technique พบว่า สารประกอบที่สังเคราะห์ได้ทั้งสองรูปแบบ มีโครงสร้างที่ถูกต้องสอดคล้องกับฐานข้อมูล สำหรับผลึกเดี่ยว NaCuPO_4 ซึ่งเป็นจุดประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ โดยใช้เตาเผาแนวตั้งอุณหภูมิที่ใช้ในการปลูกผลึกอยู่ที่ประมาณ 680 องศาเซลเซียส ทำการเลื่อนสารตั้งต้นผ่านจุดหลอมเหลวที่อัตรา 1 เซนติเมตรต่อวัน สามารถสังเคราะห์ได้ผลในระดับมิลลิเมตร มวลระดับมิลลิกรัม มีสีเขียวอ่อน อย่างไรก็ตามลักษณะภายนอกของผลึกไม่สามารถระบุหน้าผลึกได้ด้วยตาเปล่าอันเป็นเอกลักษณ์ของผลึกเดี่ยวโดยทั่วไป ซึ่งหลังจากนี้ จะได้มีการนำผลึกเดี่ยวที่สังเคราะห์ได้ไปศึกษาเพิ่มเติมในเชิงสมบัติทางแม่เหล็กต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- Gitgeatpong, G., Zhao, Y., Fernandez-Baca, J. A., Hong, T., Sato, T. J., Piyawongwatthana, P., Nawa, K., Saeau, P., & Matan, K. (2022). Magnetic structure and spin dynamics of the quasi-two-dimensional antiferromagnet Zn-doped copper pyrovanadate. **Physical Review B**, **106**, 214438.
- Gitgeatpong, G., Zhao, Y., Piyawongwatthana, P., Qiu, Y., Harriger, L. W., Butch, N. P., Sato, T. J., & Matan, K. (2017). Nonreciprocal magnons and symmetry-breaking in the noncentrosymmetric antiferromagnet. **Physical Review Letters**, **119**, 047201.
- Hayami, S., Kusunose, H., & Motome, Y. (2016). Asymmetric magnon excitation by spontaneous toroidal ordering. **Journal of the Physical Society of Japan**, **85**, 053705.
- Mansour, O. S., Louati, B., & Guidara, K. (2017). Study of complex impedance spectroscopic properties of the α -NaCuPO₄ compound. **Optical and Quantum Electronics**, **49**(9), 311.
- Proskurin, I., Stamps, R. L., Ovchinnikov, A. S., & Kishine, J. (2017). Spin-wave chirality and its manifestations in antiferromagnets. **Physical Review Letters**, **119**, (17)177202.
- Quarton, P. M., & Kolsi, A. W. (1983). Structure de l'Orthophosphate double NaCuPO₄- α . **Acta Crystallographica Section C**, **39**, 664-667
- Rodriguez-Carvajal, J. (1993). Recent advances in magnetic structure determination by neutron powder diffraction. **Physica B: Condensed Matter**, **192**(1-2), 55-69
- Sands, D. E. (1993). **Introduction to crystallography**. New York, NY: Dover Publications.
- Ulutagay-Kartin, M., Etheredge, K., Schimek, G. L., & Hwu, S.-J. (2002). Synthesis, structure, and magnetic properties of two quasi-low-dimensional antiferromagnets, NaMnAsO₄ and β -NaCuPO₄. **Journal of Alloys and Compounds**, **338**(1-2), 80-86
- Wu, Y., Dong, X. L., Yang, H. X., Huang, X. J., Li, J. Q., Zhou, F., Zhou, X. J., & Zhao, Z. X. (2012). Magnetic transition in α -NaCuPO₄ with Cu-O chains. **AIP Advances**, **2**(3), 032172.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟรนช์ฟรายส์เสริมโปรตีนจากด้วงสาคร DEVELOPMENT OF FRENCH FRIES SUPPLEMENTED WITH PROTEIN FROM RED PALM WEEVIL

ณัฐพงศ์ เมธิ์ธังสรณ์* และ ดวงเดือน วัฏฏานุรักษ์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ปทุมธานี 13180

Nathapong Matintarangson* and Duangduan Wattanuruk
Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage,
Pathum Thani, 13180

*E-mail: nathapong@vru.ac.th

Received: 04-07-2025

Revised: 16-06-2026

Accepted: 16-06-2026

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสูตรอาหารเลี้ยงด้วงสาครและผลิตภัณฑ์เฟรนช์ฟรายส์เสริมโปรตีนจากด้วงสาคร ผลการทดลองพบว่าสูตรอาหารที่ 1 ได้แก่ สาครบด, กลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective Microorganisms; EM) กากน้ำตาล อาหารหมู รำข้าว และน้ำเปล่า เสริมโปรตีนถั่วเขียวบด 100 กรัม มีปริมาณโปรตีนสูงสุดมีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณผงโปรตีนด้วงสาครที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่ 2-3 และสูตรอาหารที่ 4 เป็นชุดควบคุม โดยมีปริมาณโปรตีนในผงด้วงสาครเท่ากับร้อยละ 46.5 และเมื่อนำมาพัฒนาสูตรเฟรนช์ฟรายส์พบว่าเฟรนช์ฟรายส์สูตรที่ 3 ที่เสริมผงหนอนด้วงสาครร้อยละ 30 ค่าองค์ประกอบทางเคมีสูงสุด (ความชื้น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และเถ้า) มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพพบว่าค่า a_w มีค่าอยู่ระหว่าง 0.22-0.88 ความชื้น มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 2.17-2.96 และผลการวิเคราะห์ค่าสีของค่าความสว่าง (L^*) อยู่ระหว่าง 32.26-39.34 ค่าสีแดง (a^*) อยู่ระหว่าง 3.56-5.90 และค่าสีเหลือง (b^*) อยู่ระหว่าง 4.16-7.72 โดยค่าสีทุกค่าของทุกสูตรเฟรนช์ฟรายส์ต่ำกว่าสูตรเฟรนช์ฟรายส์ (ควบคุม) อย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

คำสำคัญ: แมลง โปรตีน พัฒนาผลิตภัณฑ์ เฟรนช์ฟรายส์ ด้วงสาคร

ABSTRACT

The objectives of this study were to develop a diet formula for rearing the red palm weevil and develop protein-supplemented french fries. The experimental results found that diet formula 1 consisted mashed sago, Effective Microorganisms; EM, molasses, pig feed, rice bran, plain water and 100 grams of bean protein had the highest of protein content significantly different ($p < 0.05$)

when compared to powder protein of red palm weevil from diet formulas 2, 3 and 4 (control). The protein content was the highest at 46.54%. When developing the french fries formula, it was found that the French fries formula 3 supplemented with 30% red palm weevil powder had the highest chemical composition values (moisture, carbohydrate, protein, fat and ash) with a significantly different ($p < 0.05$). When analyzing the physical properties, it was found that the aw value was between 0.22-0.88, the moisture value was between 2.17-2.96 percent, and the color analysis results of the brightness value (L^*) were between 32.26-39.34, the red value (a^*) was between 3.56-5.90, and the yellow value (b^*) was between 4.16-7.72. The color values of all french fries formulas were significantly lower than those of the French fries (control) formula ($p < 0.05$).

Keywords: insect, protein, product development, french fries, red palm weevil

บทนำ

ด้วงสาคร (Red palm weevil) หรือด้วงวงมะพร้าว ด้วงไฟ ด้วงลานหรือแมงหว้าง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Rhynchophorus ferrugineus* Olivier จัดอยู่ในวงศ์ Curculionidae อันดับ Coleoptera เป็นแมลงเศรษฐกิจมีความสำคัญเป็นแมลงกินได้ (Edible insect) และแหล่งอาหารโปรตีน เดิมทีด้วงสาครเป็นแมลงศัตรูพืชที่สำคัญของพืชตระกูลปาล์ม เช่น มะพร้าว ต้นสาคร หรือต้นลาน ด้วงสาครจะทำลายมะพร้าวโดยเจาะเข้าไปในลำต้นและส่วนยอด ระยะตัวหนอนจะเจาะเข้าไปกัดกินและเจริญเติบโตอยู่ภายในลำต้นมะพร้าว ตัวหนอนจะกัดกินไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งต้นเป็นโพรงใหญ่ไม่ลำเลียงอาหารไปถึงยอดได้ ทำให้ต้นมะพร้าวตายในที่สุด (Plant Protection Research & Development Office, 2017) ด้วงสาครมีขนาดลำตัวยาวประมาณ 2.2-3.5 เซนติเมตร ตัวเต็มวัยมีสีน้ำตาลอมส้มหรือสีน้ำตาลปนดำ ปากยาวแบบงวง มีวงโค้ง มีจุดแต้มสีน้ำตาลเข้มด้านบนของอกปล้องแรก จุดแต้มนี้มีหลากหลายรูปแบบ ปีกคู่หน้ามีรอยเป็นเส้น ๆ ตามความยาวของปีก ปีกคลุมไม่มีดลลำตัวเห็นส่วนปลายท้อง ตัวผู้และตัวเมียมีลักษณะแตกต่างกัน โดยตัวผู้จะมีขนเป็นแนวที่ส่วนกลางตามความยาวของวง ตัวเมียมีปลายวงยาวเรียว ตัวเมียใช้เวลาวางไข่ 5-8 สัปดาห์ ในปริมาณเฉลี่ย 400 ฟอง ตัวหนอนมีสีเหลืองปนน้ำตาล ดักแด้เป็นปลอกทำด้วยเศษชิ้นส่วนจากพืชที่กินเป็นอาหาร (Al-Dosary et al. 2016) มีหลายงานวิจัยพบว่าด้วงสาครอุดมไปด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์มากมาย เช่น จากงานวิจัยของ Leatemia et al., (2021) พบว่าระยะหนอนวัย 4 และ 5 ของด้วงสาครมีสารอาหารคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมันวิตามิน และแร่ธาตุต่าง ๆ โดยเฉพาะโปรตีนมีปริมาณร้อยละ 27.97 และมีไขมันปริมาณร้อยละ 59.71 นอกจากนี้ยังมีโอมีก้า 3 และ 6 อีกด้วย

เฟรนช์ฟรายส์ (French fries) คือมันฝรั่งหั่นแท่งทอดในน้ำมันท่วมแบบกรอบหรือนุ่มด้านในโรยเกลือ เฟรนช์ฟรายส์เป็นขนมขบเคี้ยวหรืออาหารจานด่วนที่ทานกับซอสมะเขือเทศ มายองเนส น้ำส้มสายชู หรือซอสบาร์บีคิว นอกจากนี้ยังรับประทานกับเนยแข็ง ซอสทาร์ทาร์ หรือน้ำสลัดเทาซันด์ไอแลนด์ รูปแบบเฟรนช์ฟรายส์มีหลากหลาย เช่น แบบงวง แบบหยัก หรือใช้มันเทศแทนมันฝรั่ง Noiduang & Boonpa (2016) ปัจจุบันผลิตภัณฑ์อาหารปรุงด่วน (fast food) มีบทบาทต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์อย่างมาก อย่างไรก็ตามอาหารปรุงด่วนที่วางจำหน่ายกันนั้นมีคุณค่าด้านโภชนาการน้อย เนื่องจากมีองค์ประกอบหลักเป็นแป้งและไขมัน เฟรนช์ฟรายส์เป็นอาหารปรุงด่วนชนิดหนึ่งที่มีนิยมนบริโภคกันมาก โดยทั่วไปเฟรนช์ฟรายส์ผลิตจากการนำมันฝรั่งบดหรือโดแป้งมันฝรั่ง

มาผสมกับเครื่องเทศ สารให้กลิ่นรสและสารให้ความคงตัว แล้วนำมาทอดแบบน้ำมันท่วม (deep fat frying) จากงานวิจัยของ Prakash et al., (2010) พบว่าการบริโภคอาหารฟาสต์ฟู้ด (fast food) เช่น เฟรนช์ฟรายส์จะเป็นแหล่งชักนำให้เกิดโรคไขมัน โดยมีการทดลองในหนูทดลองพบว่าค่าของ Cholesterol, Triglyceride, Low Density Lipoprotein (LDL) และ Very Low Density Lipoprotein (VLDL) สูงขึ้นร้อยละ 12.30, 29.48, 25.77 และ 34.66 ตามลำดับ ซึ่งจะส่งผลต่อการเป็นโรคอ้วนและโรคหัวใจ

จากความสำคัญดังกล่าวจึงนำมาสู่งานวิจัยที่จะเลี้ยงด้วงสาหร่ายด้วยสูตรอาหารที่เสริมด้วยโปรตีนจากแหล่งธรรมชาติ ด้วงสาหร่ายเป็นแมลงที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยเฉพาะโปรตีน และหลังจากนั้นนำผงด้วงสาหร่ายที่มีโภชนาการสูงมาพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟรนช์ฟรายส์เสริมโปรตีน ซึ่งจะมีคุณค่าทางโภชนาการขึ้นเหมาะสำหรับผู้บริโภคทั่วไปโดยเฉพาะเยาวชนและผู้ที่ต้องการสารอาหารจากโปรตีน และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์แปรรูปจากแมลงเศรษฐกิจ นอกจากนี้ยังเป็นการต่อยอดภูมิปัญญาท้องถิ่นในการใช้ประโยชน์จากแมลงเป็นแหล่งอาหารทางชีวภาพที่มีคุณค่าโภชนาการสูง และส่งเสริมการใช้ทรัพยากรจากธรรมชาติอย่างคุ้มค่าเพื่อให้ได้ประโยชน์อย่างสูงสุด

วิธีการ

1. แมลงที่ใช้ในการทดลอง

ตัวเต็มวัยด้วงวงงวงสาหร่ายได้รับความอนุเคราะห์จากฟาร์มด้วงสาหร่าย จ.พัทลุง โดยความแตกต่างระหว่างเพศผู้และเพศเมียด้วงวงงวง ให้สังเกตบริเวณงวง (Rostrum) เพศผู้จะสั้นและขรุขระ และมีขนสั้นเล็ก ๆ กระจายที่ปลายงวง ในขณะที่เพศเมีย งวงจะเรียวยาว ไม่มีขนที่ปลายงวง (ภาพที่ 1) มาเลี้ยงในสูตรอาหารพื้นฐาน (ชุดควบคุม) และสูตรอาหารเสริมโปรตีน



(a)



(b)

ภาพที่ 1 ความแตกต่างระหว่างเพศผู้และเพศเมียของด้วงวงงวง (a) เพศผู้ (b) เพศเมีย
ที่มา: Nangai & Martin (2017)

2. การทดสอบการเปรียบเทียบการเลี้ยงด้วงสาหร่ายในสูตรอาหารพื้นฐานและสูตรอาหารเสริมโปรตีน

นำพ่อแม่พันธุ์ด้วงวงงวงจำนวน 5 คู่ มาเลี้ยงในสูตรอาหารพื้นฐาน ประกอบด้วย สาหร่ายจากกลุ่มผู้เลี้ยง ด้วงวงงวง 900 กรัม EM ยี่ห้อคิวเค (Kazu) 15 มิลลิลิตร กากน้ำตาล ยี่ห้อเอ็มโมลาส 15 มิลลิลิตร อาหารหมู 0.5 กิโลกรัม รำข้าว 0.5 กิโลกรัม น้ำเปล่า 2 ลิตร (ชุดควบคุม) และสูตรอาหารเสริมโปรตีน ได้แก่ ถั่วเขียวบด โปรตีนเกษตร และ ผงสาหร่าย ดังนี้

สูตรที่ 1 (เสริมโปรตีนถั่วเขียวบด ยี่ห้อคุณ) ประกอบด้วย สา쿠บด 900 กรัม EM 15 มิลลิลิตร กากน้ำตาล 15 มิลลิลิตร อาหารหมู 0.5 กิโลกรัม รำข้าว 0.5 กิโลกรัม น้ำเปล่า 2 ลิตร เสริมโปรตีนถั่วเขียวบด 100 กรัม

สูตรที่ 2 (เสริมโปรตีนเกษตร ยี่ห้อโยตา) ประกอบด้วย สาคุบด 700 กรัม EM 15 มิลลิลิตร กากน้ำตาล 15 มิลลิลิตร อาหารหมู 0.5 กิโลกรัม รำข้าว 0.5 กิโลกรัม และน้ำเปล่า 2 ลิตร เสริมโปรตีนเกษตรบด 100 กรัม

สูตรที่ 3 (เสริมโปรตีนผงสาหร่าย ยี่ห้อ Herbal One) ประกอบด้วย สาคุบด 700 กรัม EM 15 มิลลิลิตร กากน้ำตาล 15 มิลลิลิตร, อาหารหมู 0.5 กิโลกรัม, รำข้าว 0.5 กิโลกรัม และน้ำเปล่า 2 ลิตร เสริมผงสาหร่าย 100 กรัม

สูตรที่ 4 (ชุดควบคุม) ประกอบด้วย สาคุบด 1 กิโลกรัม EM 15 มิลลิลิตร กากน้ำตาล 15 มิลลิลิตร อาหารหมู 0.5 กิโลกรัม รำข้าว 0.5 กิโลกรัม และน้ำเปล่า 2 ลิตร

ทำการผสมอาหารเลี้ยงดั่งสาคุให้เข้ากันในกะละมังขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 66.50 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร ที่มีฝาปิด หลังจากนั้นนำเปลือกมะพร้าวที่แช่น้ำไว้มาวางปกคลุมบนผิวหน้าอาหารเพื่อเป็นวัสดุสำหรับวางไข่ของด้วงสาคุ และนำกล้วยน้ำว้า 1 ผล วางไว้สำหรับเป็นแหล่งอาหารสำหรับตัวเต็มวัย ปล่อยตัวเต็มวัย ด้วงสาคุจำนวน 5 คู่ (เพศผู้ 5 ตัว เพศเมีย 5 ตัว) ลงในกะละมังเพื่อให้ด้วงสาคุผสมพันธุ์และวางไข่พัฒนาเจริญเติบโตต่อไป นำไปวางไว้ในโรงเลี้ยงแมลงที่มีอากาศถ่ายเทได้ดี วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design; CRD) แต่ละสูตรอาหารเลี้ยงดั่งสาคุทำการทดลอง 5 ซ้ำ หลังจากเลี้ยงหนอนด้วงสาคุระยะเวลา 15 และ 30 วันให้นำหนอนด้วงสาคุออกเพื่อทำการเปลี่ยนอาหารครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ตามลำดับ จนกระทั่งถึงระยะเวลา 40-45 วัน หลังจากนั้นจึงนำด้วงสาคุออกมาเพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนต่อไป (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ด้วงสาคุ

3. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

นำพริกแห้งสดมาล้างในสุรอาหารแต่ละสูตรจำนวน 100 ตัว มาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น แล้วนำมาอบแห้งในตู้อบแมลงที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 วัน หลังจากนั้นนำมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นเป็นผงละเอียดผ่านรูดะแกรงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 80 แมช (ภาพที่ 3) หลังจากนั้นนำพริกแห้งสดมาวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนทั้งหมดโดยวิธีเจลดทาล์ (Kjeldahl method) (AOAC, 2000) มีวิธีการดังนี้ นำพริกแห้งสด 2.5 กรัม ใส่ลงใน Kjeldahl flask เติม Mixed catalyst: CuSO_4 0.1 กรัม NaSO_4 2 กรัม และ conc. H_2SO_4 25 กรัม จากนั้นนำมาย่อยบนเตาหลุมให้ความร้อนไฟฟ้า (heating mantle) ยี่ห้อ MTOPOS, Korea โดยให้ความร้อนอ่อนๆ แล้วค่อยเพิ่มความร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส รอจนสารละลายมีสีใสทั้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่นลงในหลอดย่อย 10-15 มิลลิตร นำหลอดย่อยมาต่อเข้ากับเครื่องกลั่น เติม 40 เปอร์เซ็นต์ของ NaOH 40-50 มิลลิตร นำ receiving flask ที่มี 4 เปอร์เซ็นต์ของ กรดบอริก (Boric acid) อยู่ 20-25 มิลลิตร และเติม indicator เรียบร้อยแล้วมารองรับสารละลายที่กลั่นได้ กลั่นจนได้สารละลายประมาณ 25 มิลลิตร ไทเทรตสารละลายที่กลั่นได้ด้วย 0.1 N กรดไฮโดรคลอริก (HCl) จนกระทั่งสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงอมชมพูทำ blank โดยไม่ต้องใส่ตัวอย่าง เปรียบเทียบปริมาณโปรตีนของพริกแห้งสดที่เลี้ยงในสุรอาหาร โดยคำนวณหาปริมาณโปรตีนจากสูตร

$$\text{ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)} = \frac{(A-B) \times N \times 1.4 \times F}{W_t} \quad (1)$$

- A คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)
B คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรตกับ blank (มิลลิลิตร)
 W_t คือ น้ำหนักของตัวอย่าง
N คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก (N)
F คือ ค่าแฟคเตอร์



ภาพที่ 3 ผงโปรตีนจากพริกแห้ง

4. การพัฒนาเฟรนช์ฟรายส์เสริมโปรตีนจากด้วงสาคร

นำผงด้วงสาครที่วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนสูงสุดมาเสริมโปรตีนในเฟรนช์ฟรายส์ โดยมีอัตราส่วนตามสูตรอาหารดังนี้ สูตรที่ 1 เฟรนช์ฟรายส์ + ผงหนอนด้วงสาครร้อยละ 10, สูตรที่ 2 เฟรนช์ฟรายส์ + ผงหนอนด้วงสาครร้อยละ 20 สูตรที่ 3 เฟรนช์ฟรายส์ + ผงหนอนด้วงสาครร้อยละ 30 และ สูตรที่ 4 เฟรนช์ฟรายส์ (ชุดเปรียบเทียบ) โดยวิธีการขึ้นรูปเฟรนช์ฟรายส์โดยวิธีการผสมผงด้วงเข้าไปในเนื้อ แสดงให้เห็นว่าเป็นแบบบดผสมขึ้นรูป (reconstituted) เพื่อความสม่ำเสมอของสารอาหาร หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ โปรตีน (protein) คาร์โบไฮเดรต (Nitrogen free extract) ไขมัน (Ether extract) การวิเคราะห์เยื่อใยหยาบ (crude fiber) การวิเคราะห์ความชื้น (moisture) เถ้า (ash) โดยวิธี Proximate analysis ตามวิธีของ AOAC (2000) และวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าวอเตอร์แอคติวิตี (a_w) วัดด้วยเครื่อง Aqua Lab (3TE, USA) ค่าความชื้นวัดด้วยเครื่อง Moisture Analyzer ยี่ห้อ Sartorius (MA37, Germany) ค่าสีวัดด้วยเครื่อง Konica Minolta (CR-400, Japan) วัดค่าเนื้อสัมผัส ได้แก่ ค่าความแข็ง (hardness) และค่าความแตกหัก (fracturability) ด้วยเครื่องวัด Brookfield (CT3, USA)

5. การวิเคราะห์สถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Complete Randomized Design, CRD) นำค่าเฉลี่ยที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน Analysis of Variances (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติร้อยละ 95

ผลการทดลองและวิจารณ์

1. ผลการเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนในผงด้วงสาครที่เลี้ยงในสูตรอาหารต่างชนิดกัน

จากผลการเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนในผงด้วงสาครที่เลี้ยงในสูตรอาหารต่างชนิดกัน ได้แก่ สูตรอาหารที่ 1-3 และสูตรอาหารที่ 4 เป็นชุดควบคุม ผลการทดลองพบว่าสูตรอาหารที่ 1 ได้แก่ สาครบด 900 กรัม, EM 15 มิลลิลิตร, กากน้ำตาล 15 มิลลิลิตร, อาหารหมู 0.5 กิโลกรัม, รำข้าว 0.5 กิโลกรัม, น้ำเปล่า 2 ลิตร, เสริมโปรตีนถั่วเขียวบด 100 กรัม มีปริมาณโปรตีนสูงสุดมีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณผงโปรตีนด้วงสาครที่เลี้ยงในสูตรอาหารที่ 2-3 และสูตรอาหารที่ 4 เป็นชุดควบคุม โดยมีปริมาณโปรตีนในผงด้วงสาครเท่ากับร้อยละ 46.54 ในขณะที่สูตรอาหารที่ 2-3 มีปริมาณโปรตีนในผงด้วงสาครเท่ากับ 43.02 และ 42.46 ในขณะที่ชุดควบคุมมีปริมาณโปรตีนในผงด้วงสาครเท่ากับร้อยละ 38.64 (ตารางที่ 1) สารอาหารในอาหารที่เลี้ยงด้วงสาครเป็นปัจจัยหลักที่มีผลทำให้ด้วงสาครมีสารอาหารสะสมเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะแหล่งโปรตีนถ้าให้อาหารเหล่านี้แก่หนอนด้วงสาครในด้วงสาครก็จะมีสารอาหารโปรตีนเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากการเลี้ยงหนอนด้วงสาครที่เสริมโปรตีนในสูตรอาหารที่ 1-3 มีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับหนอนด้วงสาครที่เลี้ยงจากสูตรอาหารที่ 4 (ชุดควบคุม) จากผลการทดลองหนอนด้วงสาครที่เลี้ยงจากสูตรอาหารที่ 1 ที่เสริมด้วยถั่วเขียวบดมีปริมาณโปรตีนสูงสุด เพราะเป็นแหล่งธัญพืชอาหารโปรตีนที่ดีที่สุด ซึ่งจะเห็นได้ว่าโปรตีนเป็นแหล่งสารอาหารที่ให้พลังงาน สร้างเซลล์และเนื้อเยื่อของร่างกาย การเสริมโปรตีนด้วยถั่วเขียวบดในอาหารเลี้ยงด้วงสาครส่งผลให้ด้วงสาครมีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเปรียบเทียบกับด้วงสาครที่เลี้ยงในสูตรอาหารพื้นฐาน มีหลายงานวิจัย

ที่ทำการทดลองโดยเสริมโปรตีนลงไปในสูตรอาหารพื้นฐานแล้วนำไปให้สัตว์หรือแมลงกินเข้าไปส่งผลให้สัตว์หรือแมลงมีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น จากงานวิจัยใช้ถั่วเขียวบดเป็นโปรตีนเสริมในอาหารเลี้ยงดักสาหร่ายซึ่งในงานวิจัยของ Sapapporn & Chaumphol (2024) ศึกษาคุณสมบัติของโปรตีนถั่วเขียว พบว่าเมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณสารอาหารและกรดอะมิโน พบว่าอุดมไปด้วยสารอาหารมากมายส่วนใหญ่เป็นโปรตีนเท่ากับ 62.05 กรัม/100 กรัม มีกรดอะมิโนจำเป็นปริมาณมาก เช่น ไลซีน ฟีนิลอลานีน และลิวซีน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต ดังนั้นถั่วเขียวบดจึงเหมาะสมที่จะใช้เป็นอาหารเสริมโปรตีนในสูตรอาหารเลี้ยงดักสาหร่าย เพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนให้มีค่าเพิ่มขึ้น จากงานวิจัยของ Sangthong et al., (2022) ทำการศึกษามลของระดับโปรตีนในอาหารชั้นต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตและการใช้ประโยชน์ได้ของโกขนะของแพะพื้นเมืองไทยเพศผู้ พบว่าเมื่อวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในเนื้อแพะมีปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อแพะที่เลี้ยงในสูตรอาหารพื้นฐาน นอกจากนี้ยังส่งผลให้น้ำหนักของแพะเพิ่มขึ้นด้วย

ตารางที่ 1 ปริมาณโปรตีนของดักสาหร่ายที่เลี้ยงในสูตรอาหารแตกต่างกัน

สูตรอาหาร	ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)
สูตรอาหาร 1 (ถั่วเขียวบด)	46.54 ^a
สูตรอาหาร 2 (โปรตีนเกษตร)	43.02 ^b
สูตรอาหาร 3 (ผงสาหร่าย)	42.46 ^b
สูตรอาหาร 4 (ควบคุม)	38.64 ^c

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี Duncan's multiple range test.

2. ผลการเปรียบเทียบการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีของเฟรนช์ฟรายส์ที่เสริมโปรตีนจากผงหนอนดักสาหร่าย

จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของเฟรนช์ฟรายส์ที่เสริมโปรตีนจากผงหนอนดักสาหร่ายในปริมาณที่ต่างกัน ผลการทดลองพบว่าค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.22-0.48 ความชื้น มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 2.17-2.96 โดยพบว่าจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มผงโปรตีนจากดักสาหร่าย เนื่องจากผงโปรตีนได้ผ่านกระบวนการอบแห้งทำให้ลดปริมาณน้ำในวัตถุดิบ และผลการวิเคราะห์ค่าสีของค่าความสว่าง (L^*) อยู่ระหว่าง 32.26-39.34 ค่าสีแดง (a^*) อยู่ระหว่าง 3.56-5.90 และค่าสีเหลือง (b^*) อยู่ระหว่าง 4.16-7.72 (ตารางที่ 2) โดยค่าสีทุกค่าของทุกสูตรเฟรนช์ฟรายส์ต่ำกว่าสูตรเฟรนช์ฟรายส์ (ควบคุม) อย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดักสาหร่ายเป็นแมลงที่มีโปรตีนสูงสามารถนำมาใช้ในการบริโภคหรือมาเป็นส่วนผสมเสริมคุณค่าทางโภชนาการโดยเฉพาะโปรตีน จากการศึกษาของ Nilklang & Leejoewara (2022) ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์อาหารจากดักสาหร่าย พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่รู้จักและเคยบริโภคดักสาหร่ายและผลิตภัณฑ์ แปรรูปจากดักสาหร่าย ปัจจุบันที่

มีอิทธิพลต่อการยอมรับการบริโภคผลิตภัณฑ์จากด้วงมะพร้าว อย่างมี นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 การนำผงโปรตีนจากด้วงสาครมาเสริมกับอาหารหรือขนมที่รับประทานเล่นเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้สูงขึ้น จากงานวิจัยของ Songian et al. (2024) ทำการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสดเสริมโปรตีนจากด้วงสาคร ผลการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการพบว่าด้วงสาครแบบสด มีโปรตีนร้อยละ 7.74 ไขมันร้อยละ 17.89 และโอเมก้า 3 (ALA) ร้อยละ 0.03 ซึ่งมีผลให้คุกกี้เนยสดเสริมโปรตีนจากด้วงด้วนสาคร 100 กรัม มีพลังงาน 566.63 กิโลแคลอรี ไขมันร้อยละ 36.39 โปรตีนร้อยละ 9.32 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 50.46 โอเมก้า 3 (ALA) ร้อยละ 0.10 เถ้าร้อยละ 1.00 กรัม และความชื้นร้อยละ 2.81 โดยปริมาณโปรตีนและไขมันสูงกว่าคุกกี้เนยสดสูตรพื้นฐาน ผลศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อคุกกี้เนยสดเสริมโปรตีนจากด้วงด้วนสาคร ผู้บริโภคทั่วไปร้อยละ 99.17 ให้การยอมรับ เพราะผลิตภัณฑ์มีความแปลกใหม่น่าสนใจ รสชาติดี อร่อย และมีคุณค่าทางโภชนาการ และจากงานวิจัยของ Kueachan et al., (2024) ทำการศึกษาศึกษาการทดแทนแป้งสาลีด้วยผงจิ้งหรีดพันธุ์ทองดำในบราวนี่กรอบที่ร้อยละ 0 (สูตรควบคุม) 10, 20 และ 30 ของน้ำหนักแป้ง พบว่าปริมาณผงจิ้งหรีดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณโปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ และเถ้าเพิ่มขึ้น แต่ค่าความสว่าง (L*) ปริมาณน้ำ อีเธอร์ และคาร์โบไฮเดรตของผลิตภัณฑ์ลดลง บราวนี่กรอบ ที่มีปริมาณผงจิ้งหรีดมากที่สุด (ร้อยละ 30) ให้ค่าความแข็งน้อยที่สุด เมื่อวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ ความชื้น คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน เส้นใยหยาบ และเถ้า เท่ากับร้อยละ 3.57, 52.92, 21.89, 9.40, 10.15 และ 1.76 (น้ำหนักเปียก) ตามลำดับ

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของเฟรนช์ฟรายส์ที่เสริมด้วยผงโปรตีนจากด้วงสาคร

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ	สูตรควบคุม	ผงสาหร่าย 100 กรัม	โปรตีนเกษตร 100 กรัม	ถั่วเขียวบด 100 กรัม
ปริมาณน้ำอีเธอร์ (a_w)	0.48±0.34 ^a	0.22±0.16 ^b	0.24±0.32 ^b	0.32±0.20 ^b
ความชื้น (moisture)	2.96±0.34 ^a	2.17±0.09 ^b	2.38±0.24 ^b	2.24±0.18 ^b
L*	39.34±1.20 ^a	33.86±0.88 ^b	33.14±1.32 ^b	32.76±1.06 ^b
a*	5.90±0.20 ^a	4.12±0.54 ^b	3.86±0.44 ^b	3.56±0.38 ^b
b*	7.72±1.42 ^a	5.06±0.48 ^b	4.52±0.52 ^b	4.16±0.64 ^b
ค่าความแข็ง (Hardness/g.)	1854±0.32 ^c	2482±1.38 ^a	2265±0.42 ^b	2206±1.63 ^b
ค่าความแตกหัก (Fracturability/g.)	1628±1.68 ^c	2670±1.52 ^a	2238±1.08 ^b	2144±1.24 ^b

หมายถึง ค่า L* หมายถึง ค่าความสว่าง (ดำ = 0, ขาว = 100)

a* หมายถึง สีแดงหรือสีเขียว (+ สีแดง, - สีเขียว)

b* หมายถึง สีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (+ สีเหลือง, - สีน้ำเงิน)

^{a-c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่อยู่ในแนวนอนเดียวกันที่มีตัวอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ ($p < 0.05$)

จากผลการทดลองการเปรียบเทียบการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของเฟรนช์ฟรายส์ที่เสริมโปรตีนจากผงหนอนด่างสาคุ พบว่าเฟรนช์ฟรายส์สูตรที่ 3 ที่เสริมผงหนอนด่างสาคุร้อยละ 30 มีค่าองค์ประกอบทางเคมีสูงสุด (ความชื้น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และเถ้า) มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ 1, 2 และ สูตรที่ 4 (ควบคุม) โดยมีค่าเท่ากับ 2.50 ± 0.48 , 44.64 ± 1.14 , 47.06 ± 1.60 , 8.36 ± 0.28 และ 8.80 ± 0.74 ในขณะที่สูตรที่ 4 (ควบคุม) มีค่าเท่ากับ 0.46 ± 0.14 , 40.16 ± 1.68 , 40.34 ± 1.80 , 6.08 ± 0.82 , 7.22 ± 0.48 และ 1.04 ± 0.06 (ตารางที่ 3) ในขณะที่สีและรูปร่างของเฟรนช์ฟรายส์จะมีสีโทนสีน้ำตาลรูปทรงอ่อนน้อม ไม่แข็งเกินไป รูปทรงเฟรนช์ฟรายส์สามารถเกาะตัวเป็นรูปร่างที่ไม่แตกสามารถนำไปอบหรือทอดในการบริโภคได้ (ภาพที่ 5) จากงานวิจัยของ Dholvitayakhun et al., (2023) ทำการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ผักแผ่นอบกรอบเสริมโปรตีนจากจิ้งหรีด พบว่าเสริมผงโปรตีนจากจิ้งหรีดร้อยละ 10 มีคะแนนการยอมรับมากที่สุดอยู่ในเกณฑ์ชอบปานกลาง (7.27 ± 1.17) ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความสว่าง (L^*) 14.43 ค่าสีแดง (a^*) 4.73 ค่าสีเหลือง (b^*) 21.37 ความหนา 0.26 มิลลิเมตร และปริมาณน้ำอิสระ 0.54 โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณค่าทางโภชนาการประกอบด้วย โปรตีนร้อยละ 24.38 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 48.37 ไขมันร้อยละ 5.32 ปริมาณเถ้าทั้งหมดร้อยละ 6.22 ปริมาณเส้นใยร้อยละ 8.56 ค่าพลังงานความร้อน 423.98 กิโลแคลอรีต่อตัวอย่าง 100 กรัม และหนึ่งหน่วยบริโภค 30 กรัม มีปริมาณโปรตีน 7 กรัม นอกจากนี้ยังมีการใช้โปรตีนจากแมลงในการเป็นอาหารเสริมอีก เช่น จากงานวิจัยของ Dornchai et al., (2023) ทำการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบเสริมมันเทศและโปรตีนจากแมลง พบว่าการใช้แป้งมันสำปะหลังผงจิ้งหรีดและมันเทศปริมาณ 428, 200 และ 372 กรัม ตามลำดับ มีองค์ประกอบทางเคมีในด้านโปรตีน ในอาหาร และแร่ธาตุสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวเกรียบทางการค้า (ข้าวเกรียบกุ้งและข้าวเกรียบปลา) ส่วนอัตราการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบเสริมมันเทศและโปรตีนจากแมลงมีค่าไม่แตกต่างจากข้าวเกรียบกุ้ง แต่มีค่าสูงกว่าข้าวเกรียบปลา ($p \leq 0.05$) โปรตีนจึงเป็นสารอาหารที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต การสร้างเซลล์และเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต ในอนาคตโปรตีนจากเนื้อสัตว์จะขาดแคลนและไม่เพียงพอต่อการบริโภคของประชากรโลก โปรตีนจากแมลงจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะมาทดแทนหรือใช้เป็นอาหารเสริมโปรตีนได้ โดยมีหลายงานวิจัยที่ได้อธิบายว่าโปรตีนจากแมลงมีคุณค่าทางโภชนาการทางอาหารใกล้เคียงกับโปรตีนจากเนื้อสัตว์

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์คุณภาพทางทางเคมีของเฟรนช์ฟรายส์ที่เสริมด้วยผงโปรตีนจากด้วงสาคว

การวิเคราะห์ คุณภาพทางเคมี	ร้อยละน้ำหนักแห้ง (ร้อยละ)			
	สูตรอาหาร 4 (ควบคุม)	สูตรอาหาร 3	สูตรอาหาร 2	สูตรอาหาร 1 (ควบคุม)
ความชื้น	0.46±0.14 ^c	2.50±0.48 ^a	1.34±0.30 ^b	1.26±0.65 ^b
คาร์โบไฮเดรต	40.16±1.68 ^b	44.64±1.14 ^a	41.02±1.60 ^b	40.78±1.36 ^b
โปรตีน	40.34±1.80 ^c	47.06±1.60 ^a	44.84±1.72 ^b	43.76±1.66 ^b
ไขมัน	6.08±0.82 ^b	8.36±0.28 ^a	6.84±0.08 ^b	6.26±0.14 ^b
เถ้า	7.22±0.48 ^b	8.80±0.74 ^a	7.84±0.68 ^b	7.52±0.42 ^b
เส้นใย	0.60±0.04 ^a	1.08±0.08 ^a	0.78±0.12 ^a	0.60±0.04 ^a

* ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดังแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยวิธี Duncan's multiple range test.



ภาพที่ 5 เฟรนช์ฟรายส์ที่เสริมด้วยผงโปรตีนจากด้วงสาคว

สรุปผลการวิจัย

การเสริมโปรตีนถั่วเขียวบดในอาหารเลี้ยงด้วงสาควในสูตรอาหารพื้นฐานเป็นการเพิ่มปริมาณโปรตีนในด้วงสาควซึ่งเป็นแหล่งโปรตีนในธรรมชาติ ด้วงสาควเป็นแมลงศัตรูมะพร้าว พืชตระกูลปาล์ม จากรายงานการวิจัยระยะหนอนสามารถนำมารับประทานได้ มีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยเฉพาะสารอาหารประเภทโปรตีนสามารถนำมาเป็นอาหารเสริมโปรตีนได้ เฟรนช์ฟรายส์เป็นอาหารว่างเมื่อรับประทานเดี่ยว ๆ จะส่งผลเสียต่อร่างกายซึ่งอาจจะทำให้เกิดการสะสมของไขมันในร่างกาย ส่งผลทำให้ร่างกายอ้วนและเกิดโรคต่าง ๆ ตามมา การพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟรนช์ฟรายส์

ที่เสริมด้วยโปรตีนจากผงหนอนด้วงสาคุเป็นการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้สูงขึ้น ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์แก่ผู้บริโภคโดยเฉพาะเด็กเยาวชน และคนทั่วไปที่นิยมชอบรับประทานเฟรนช์ฟรายส์เป็นของว่าง ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์เฟรนช์ฟรายส์เสริมโปรตีนจากผงหนอนด้วงสาคุมีประโยชน์ทางคุณค่าทางโภชนาการ โดยโปรตีนจากหนอนด้วงสาคุเป็นโปรตีนที่ได้จากธรรมชาติ นอกจากนี้ยังเป็นการต่อยอดภูมิปัญญาท้องถิ่นในการใช้ประโยชน์จากแมลงเป็นแหล่งอาหารทางชีวภาพที่มีคุณค่าโภชนาการสูง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ในการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วงสาคุ ตลอดจนอาจารย์ เจ้าหน้าที่ แม่บ้านที่คอยอำนวยความสะดวกในการใช้สถานที่ในการทดลองและคอยให้กำลังใจตลอดมา

เอกสารอ้างอิง

- Al-Dosary, N. M. N., Al-Dobai, S., & Faleiro, J. R. (2016). Review on the management of red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* olivier in date palm *Phoenix dactylifera* L. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, 28(1), 34-44.
- AOAC. (2000). **Official methods of AOAC international**. 17th ed. The Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, Maryland.
- Dholvitayakhun, A., Krisomros, J., Chantharasiri, P., Wutthichat, W., & Sanguanval, A. (2023). Development of crispy vegetable chip with protein supplement from crickets. **Recent Science and Technology**, 15(1), 60-73. (in Thai)
- Dornchai, P., Phusoomta, R., Patatayo2and, O., & Thammapat, P. (2023). Development of rice crispy fortified with sweet potato and protein from insect. **Prawarun Agriculture Journal**, 20(1), 11-18. (in Thai)
- Kueachan, T., Worrarat, T., Parisut Chalermchaiwat, P., & Sangteerakij, D. (2024). Effects of wheat flour substitution with cricket powder (*Gryllus bimaculatus*) on physical, chemical and sensory properties of brownie brittle. **Recent Science and Technology**, 16(2), 316-329. (in Thai)
- Leatemala, J. A., Patty, J. A., Masauna, D., Noya, S. H., & Hasinu, J. V. (2021). Utilization of sago grub (*Rhynchophorus ferrugineus* Olivier) (Coleoptera: Curculionidae) as an alternative source of protein. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, 800, doi:10.1088/1755-1315/800/1/012028.
- Nangai, L. V., & Martin, B. (2017). Interpreting the Acoustic Characteristics of Rpw Towards Its Detection-A Review. **Materials Science and Engineering**, 225, doi:10.1088/1757-899X/225/1/012178.

- Nilklang, S., & Leejoeiwara, B.(2022). The consumer adoption of food product made from coconut beetle for commercial distribution of tambol namphong community enterprise, namphong district, hkon kaen province. **Journal of Modern Learning Development**, 7(10), 79-92.
- Noiduang, P., & Boonpa, Y. (2016). Production of Nutrition-supplemented Cassava French Fries with Sesame. **The Agricultural Science Journal**, 47(2) (Suppl.), 237-240. (in Thai)
- Plant Protection Research & Development Office. (2017). **Coconut insect pests management**. 1st.operative Printing House of Thailand Limited. (in Thai)
- Prakash, M. M., Gaherwal, S., & Chaurasia, R. (2010). Fast food (French fries) induced changes in lipid profile. **International Journal of Biological & Medical Research**, 1(3), 82-84.
- Sangthong, K., Noosen, P., & Ngampongsai, W. (2022). Effects of dietary protein levels in concentrate on growth performance and nutrient utilization of Thai indigenous male goat. **Khon Kaen Agriculture Journal**, 50(2), 448-459. (in Thai)
- Sapapporn, N., & Chaumphol, P. (2024). Study on properties of mung bean protein waste. **Journal of Agri. Research & Extension**, 41(2), 135-144. (in Thai)
- Songian, J., Kee-ariya, C., & Suteebut, N. (2024). Product development of protein-enhanced butter cookies from sago beetles. **Journal of Technical Education Development**, 37(132), 130-140.

การพัฒนาระบบลงทะเบียนออนไลน์เพื่อการบริหารจัดการโครงการอบรมและสัมมนา:
กรณีศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
DEVELOPMENT OF AN ONLINE REGISTRATION SYSTEM FOR TRAINING AND
SEMINAR MANAGEMENT: A CASE STUDY OF KING MONGKUT'S UNIVERSITY
OF TECHNOLOGY NORTH BANGKOK

ปรารธนา ธูปสมุทร^{1*} และ ศิวกร หลงสมบุญ²

¹กองส่งเสริมวิชาการ สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10800

²สำนักคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10800

Prattana Thoopsamut^{1*} and Siwakorn Longsomboon²

¹Academic Enhancement Department, Office of the President, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, 10800

²Institute of Computer and Information Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, 10800

*E-mail: prattana.t@op.kmutnb.ac.th

Received: 17-04-2025

Revised: 16-06-2026

Accept: 16-06-2026

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษา รวบรวมความต้องการและพัฒนาระบบลงทะเบียนออนไลน์ มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาระบบลงทะเบียนออนไลน์สำหรับผู้จัดประชุม อบรม และสัมมนาที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ทุกหน่วยงาน ทั้งภายในและภายนอก และให้มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ มีระบบสำหรับบริหารจัดการ การรับรายชื่อและลงทะเบียนเข้าร่วมการประชุม อบรม หรือสัมมนาที่เป็นมาตรฐานเดียวกัน ช่วยลดข้อผิดพลาด และ ลดระยะเวลาในการปฏิบัติงานได้ จากการเปิดใช้งานและประเมินความพึงพอใจ พบว่าคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจ ในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด มีคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจเท่ากับ 4.61 ผู้บริหารมีคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจ เท่ากับ 4.94 อาจารย์ มีคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจเท่ากับ 4.36 และบุคลากร มีคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจเท่ากับ 4.66 เมื่อแยกตามกลุ่มผู้ใช้ระบบ พบว่าผู้ใช้ที่เป็นทั้งผู้จัดโครงการและผู้เข้าร่วมโครงการ มีคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจ ในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด มีคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจเท่ากับ 4.50 ผู้ใช้ที่เป็นผู้เข้าร่วมโครงการ มีคะแนน เฉลี่ยความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด มีคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจเท่ากับ 4.67

คำสำคัญ: การลงทะเบียนออนไลน์ การพัฒนาบุคลากร เว็บแอปพลิเคชัน ฐานข้อมูล การบูรณาการระบบ

ABSTRACT

This research involves the study, requirement gathering, and development of an online registration system. The objective is to develop a registration system for meeting, training, and seminar organizers that can be applied to any internal or external organization. Furthermore, it aims to provide King Mongkut's University of Technology North Bangkok with a standardized system for managing participant lists and event registrations, effectively reducing errors and operational time. Following its implementation and a user satisfaction evaluation, the results indicated that overall satisfaction was at the highest level, with an average score of 4.61. Specifically, the average satisfaction scores were 4.94 for executives, 4.36 for lecturers, and 4.66 for staff. When categorized by user group, individuals acting as both project organizers and attendees reported satisfaction at the highest level, with an average score of 4.50. Similarly, users who were solely attendees also indicated the highest level of overall satisfaction, with an average score of 4.67.

Keywords: Online Registration, Human Resource Development, Web Application, Database,

บทนำ

ปัจจุบันองค์กรภาครัฐและสถาบันอุดมศึกษากำลังขับเคลื่อนสู่การเป็นองค์กรดิจิทัล (digital transformation) ซึ่งมีได้หมายถึงเพียงการนำเทคโนโลยีมาใช้งานเท่านั้น แต่ครอบคลุมถึงการปรับเปลี่ยนโครงสร้าง กระบวนการทำงาน และรูปแบบการบริหารจัดการ โดยมุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพ ความโปร่งใสและความสามารถในการบูรณาการเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างระบบสารสนเทศต่าง ๆ ภายในองค์กร โดยเฉพาะในบริบทของมหาวิทยาลัย การบูรณาการระบบสารสนเทศระหว่างส่วนงานถือเป็นองค์ประกอบสำคัญของการเปลี่ยนผ่านสู่มหาวิทยาลัยดิจิทัลอย่างยั่งยืน Castro Benavides et al. (2020) ชี้ให้เห็นว่า Digital Transformation ในสถาบันอุดมศึกษาครอบคลุมมิติสำคัญ ได้แก่ ด้านการสอน (teaching) โครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure) การบริหารจัดการ (administration) กระบวนการธุรกิจ (business process) และการกำกับดูแลด้านดิจิทัล (Digital transformation governance) ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าการพัฒนาระบบสารสนเทศควรบูรณาการทั้งด้านเทคโนโลยีและกระบวนการทำงานควบคู่กัน

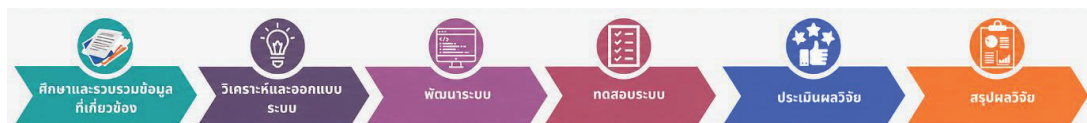
ในด้านระบบลงทะเบียน สถาบันการศึกษาหลายแห่งได้ดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศเพื่อยกระดับประสิทธิภาพการบริหารจัดการ อาทิ Kaewsuwan & Khwunnak (2022) ได้พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับระบบลงทะเบียน โดยมุ่งเน้นการจัดการข้อมูลผู้ลงทะเบียนผ่านฐานข้อมูลออนไลน์เพื่อลดขั้นตอนการทำงานแบบเดิมที่ต้องรวบรวมข้อมูลด้วยตนเอง จากการทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 497 คน พบว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 3.95) แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของระบบสารสนเทศในการลดความซ้ำซ้อนและเพิ่มความถูกต้องของข้อมูล ในทำนองเดียวกัน Ismail & Sumarno (2025) ได้พัฒนาระบบเว็บแบบบูรณาการสำหรับการลงทะเบียนสำเร็จการศึกษาและระบบติดตามศิษย์เก่าโดยเชื่อมต่อกับบริการ Google Workspace เพื่อสนับสนุนกระบวนการทำงานแบบอัตโนมัติ ช่วยลดความผิดพลาดจากการป้อนข้อมูล เพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการฐานข้อมูล และแก้ไขข้อจำกัดของระบบเดิมที่ยังอาศัยเอกสารกระดาษและการจัดเก็บข้อมูลแบบแยกส่วน

แม้งานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นจะสะท้อนให้เห็นว่า การพัฒนาระบบสารสนเทศเกี่ยวกับการจัดการ การลงทะเบียนในบริบทการศึกษา มีบทบาทสำคัญในการลดขั้นตอนการทำงานแบบดั้งเดิม เพิ่มความถูกต้องของ ข้อมูล และยกระดับประสิทธิภาพการบริหารจัดการในระดับองค์กร อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่เน้นการ พัฒนาระบบลงทะเบียนหรือระบบจัดการเรียนรู้ในลักษณะเฉพาะด้าน ยังขาดการพัฒนาาระบบลงทะเบียน แบบบูรณาการที่สามารถเชื่อมโยงข้อมูลกับฐานข้อมูลทรัพยากรมนุษย์หรือระบบฐานข้อมูลของนักศึกษาโดยตรง ในการออกแบบระบบครั้งนี้ ทีมผู้วิจัยได้นำกรอบแนวคิดของ Moshoeu & Bruhns (2025) ในการประเมินระบบ ลงทะเบียนออนไลน์ในสถาบันอุดมศึกษา มาเป็นแนวทางในการกำหนดองค์ประกอบของระบบ ทั้งในด้านคุณภาพ ระบบ (system quality) คุณภาพข้อมูล (information quality) คุณภาพการให้บริการ (service quality) และ ประสบการณ์ผู้ใช้งาน (user experience) เพื่อให้ระบบมีความครอบคลุมทั้งมิติด้านเทคนิคและการใช้งานจริง ในบริบทมหาวิทยาลัย ในด้านคุณภาพระบบ (system quality) ได้นำมาพิจารณาในการออกแบบกระบวนการ ทำงานของระบบให้มีขั้นตอนที่ชัดเจน ใช้งานง่าย และสามารถเชื่อมโยงข้อมูลกับระบบ HRIS ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในด้านคุณภาพข้อมูล (information quality) ได้นำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบกลไกการเชื่อมโยงข้อมูลบุคลากร จากระบบสารสนเทศทรัพยากรมนุษย์ (Human Resource Information System: HRIS) และ ICIT Account ผ่าน API (Institute of Computer and Information Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 2024) เพื่อลดความผิดพลาดจากการป้อนข้อมูลด้วยตนเอง และเพิ่มความถูกต้อง ครบถ้วนของข้อมูล ในด้านคุณภาพการให้บริการ (service quality) ระบบสามารถรองรับผู้ใช้งานจำนวนมาก การกำหนดสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูล และการอำนวยความสะดวกแก่ผู้จัดโครงการ และในด้านประสบการณ์ผู้ใช้งาน (user experience) ได้นำมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบหน้าจอและกระบวนการลงทะเบียนให้เข้าใจง่าย ลดขั้นตอนที่ซ้ำซ้อน และได้มีการออกแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการพัฒนาระบบลงทะเบียนออนไลน์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ มาแก้ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น เพื่อเพิ่มความสะดวก และลดระยะเวลาในการปฏิบัติงาน โดยแนวคิด ของระบบลงทะเบียนออนไลน์ที่พัฒนาขึ้นจะมีการเชื่อมโยงข้อมูลบุคลากรจากระบบสารสนเทศทรัพยากรมนุษย์ และระบบจัดการบัญชีผู้ใช้งานของมหาวิทยาลัย หรือ ICIT Account ผ่าน API ทำให้ผู้เข้าร่วมประชุม อบรม หรือ สัมมนาสามารถยืนยันตัวตนด้วย ICIT Account หรือหมายเลขประจำตัวประชาชนได้ และระบบจะดึงข้อมูลค่านำหน้า ชื่อ นามสกุล สังกัดส่วนงาน และหน่วยงานให้อัตโนมัติ ลดความผิดพลาดจากการพิมพ์ได้ อีกทั้งส่วนงานที่เป็น เจ้าภาพในการจัดอบรม หรือสัมมนาเพื่อพัฒนาบุคลากร จะต้องสรุปรายชื่อ และบันทึกข้อมูลบุคลากรที่เข้าร่วม โครงการทั้งหมดในระบบสารสนเทศทรัพยากรมนุษย์ ตามที่กำหนดในคู่มือการลงข้อมูลการพัฒนาบุคลากรในระบบ HRIS (Human Resource Management Department, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 2021) เพื่อเป็นประวัติการพัฒนาให้กับบุคลากร ทั้งนี้ ถ้าจำนวนผู้เข้าร่วมมีจำนวนมาก จะต้องใช้เวลามาก ในการบันทึกข้อมูลเข้าระบบสารสนเทศทรัพยากรมนุษย์ แต่หากใช้ระบบลงทะเบียนออนไลน์ ในการลงทะเบียน เข้าร่วมโครงการ ก็จะสามารถเชื่อมโยงข้อมูลผู้เข้าร่วมไปยังระบบสารสนเทศทรัพยากรมนุษย์ได้ นอกจากนี้ ยังมีแนวคิดให้ระบบสามารถจัดทำแบบฟอร์มสำหรับส่งรายชื่อได้ ปัจจุบันหลายส่วนงานที่เป็นผู้จัดโครงการอบรม หรือ โครงการสัมมนามีการประยุกต์ใช้ Google Form หรือ Microsoft Form ในการจัดทำแบบฟอร์มสำหรับให้ส่วนงานอื่น ส่งรายชื่อเพื่อเข้าร่วมโครงการ ข้อจำกัดของการสร้างแบบฟอร์มด้วยแอปพลิเคชันดังกล่าว ผู้ส่งรายชื่อจะต้องพิมพ์ ข้อมูลส่วนตัวด้วยตนเอง เช่น ชื่อ นามสกุล ซึ่งอาจเกิดความผิดพลาดในการพิมพ์ได้อีกทั้งไม่สามารถจำกัดจำนวนผู้เข้าร่วมได้ ซึ่งบางโครงการอาจเปิดรับจำนวนจำกัด โดยระบบลงทะเบียนออนไลน์จะสามารถกำหนดจำนวนผู้เข้าร่วมได้

วิธีการ

ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย เรื่อง การพัฒนาระบบลงทะเบียนออนไลน์ ทีมผู้วิจัยแบ่งขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย ออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังภาพที่ 1



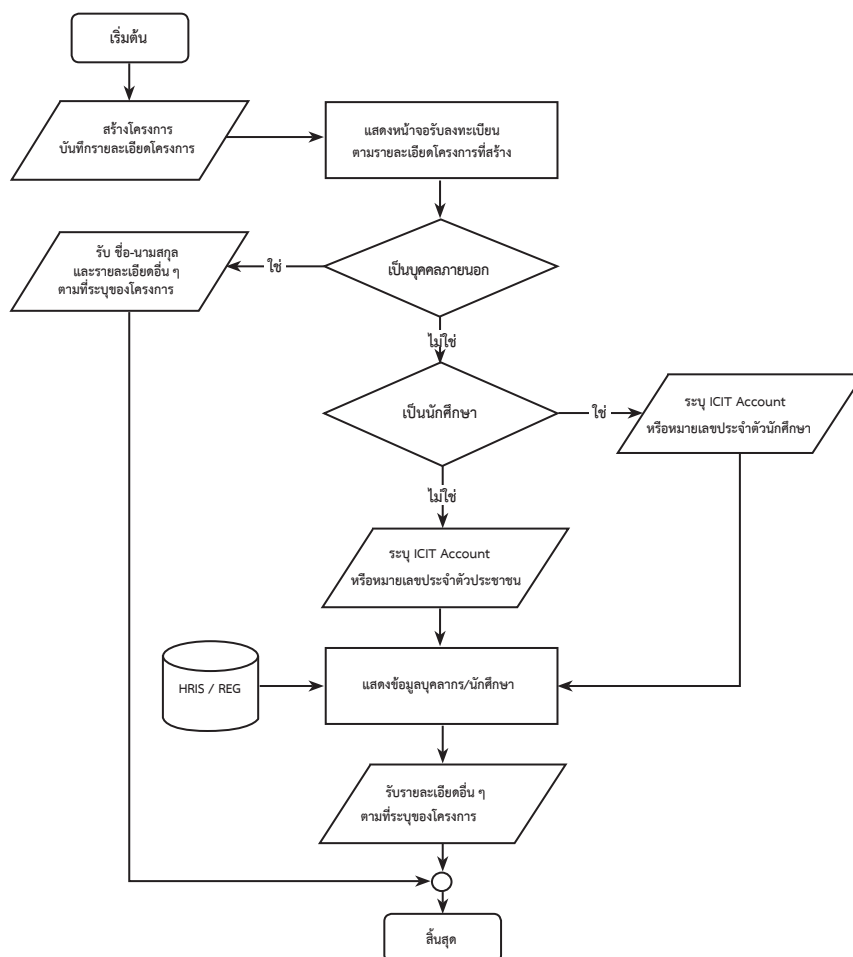
ภาพที่ 1 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

ทีมผู้วิจัย ได้มีการศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการลงทะเบียน จากส่วนงานต่าง ๆ ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ โดยรวบรวมแบบฟอร์มรับรายชื่อเข้าร่วมโครงการประชุมอบรม หรือสัมมนา ศึกษาข้อมูลประกอบ อาทิ วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ระเบียบ/ประกาศที่เกี่ยวข้องกับการจัดประชุมอบรม สัมมนา และรวบรวมข้อคิดเห็นจากผู้บริหาร และผู้ปฏิบัติงานที่เป็นผู้จัดประชุม อบรม สัมมนา โดยแบ่งการลงทะเบียนออกเป็น 2 รูปแบบ ดังนี้

1) การลงทะเบียน ก่อนวันจัดประชุม อบรมหรือสัมมนา ส่วนงานที่เป็นเจ้าภาพจัด จะมีการลงทะเบียนสำหรับผู้สนใจเข้าร่วมประชุม อบรมหรือสัมมนา โดยบางส่วนงานที่เป็นเจ้าภาพจัดมีการจัดทำแบบฟอร์มจากโปรแกรม Microsoft Word และพิมพ์แจ้งเวียนให้ส่วนงานอื่นเขียนส่งรายชื่อ บางส่วนงานมีการประยุกต์ใช้ Google Form หรือ Microsoft Form ในการจัดทำแบบฟอร์มสำหรับให้ส่วนงานอื่นกรอกข้อมูลส่งรายชื่อเพื่อเข้าร่วมโครงการ ข้อจำกัดของการลงทะเบียนเข้าร่วมประชุม อบรมหรือสัมมนาแบบเดิม ผู้ส่งรายชื่อจะต้องเขียนหรือพิมพ์ข้อมูลส่วนตัวด้วยตนเอง เช่น ชื่อ นามสกุล สังกัด อีเมลซึ่งอาจเกิดความผิดพลาดในการเขียนหรือพิมพ์ หรือทางผู้จัดอาจอ่านลายมือคลาดเคลื่อนได้ อีกทั้งไม่สามารถจำกัดจำนวนผู้เข้าร่วม จากการรวบรวมข้อมูล สามารถสรุปข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการลงทะเบียนที่ทางผู้จัดต้องการ ได้ดังนี้ คำนำหน้าชื่อ (ภาษาไทย) ชื่อ (ภาษาไทย) นามสกุล (ภาษาไทย) คำนำหน้าชื่อ (ภาษาอังกฤษ) ชื่อ (ภาษาอังกฤษ) นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) สังกัด อีเมล หมายเลขโทรศัพท์ที่ติดต่อได้ ประเภทอาหาร ตำแหน่งงาน สายงาน ตำแหน่งทางวิชาการ ทั้งนี้ บางการประชุม อบรมหรือสัมมนา ข้อมูลที่ต้องการจะไม่เหมือนกัน และอาจจะมีการจำกัดจำนวนผู้เข้าร่วม

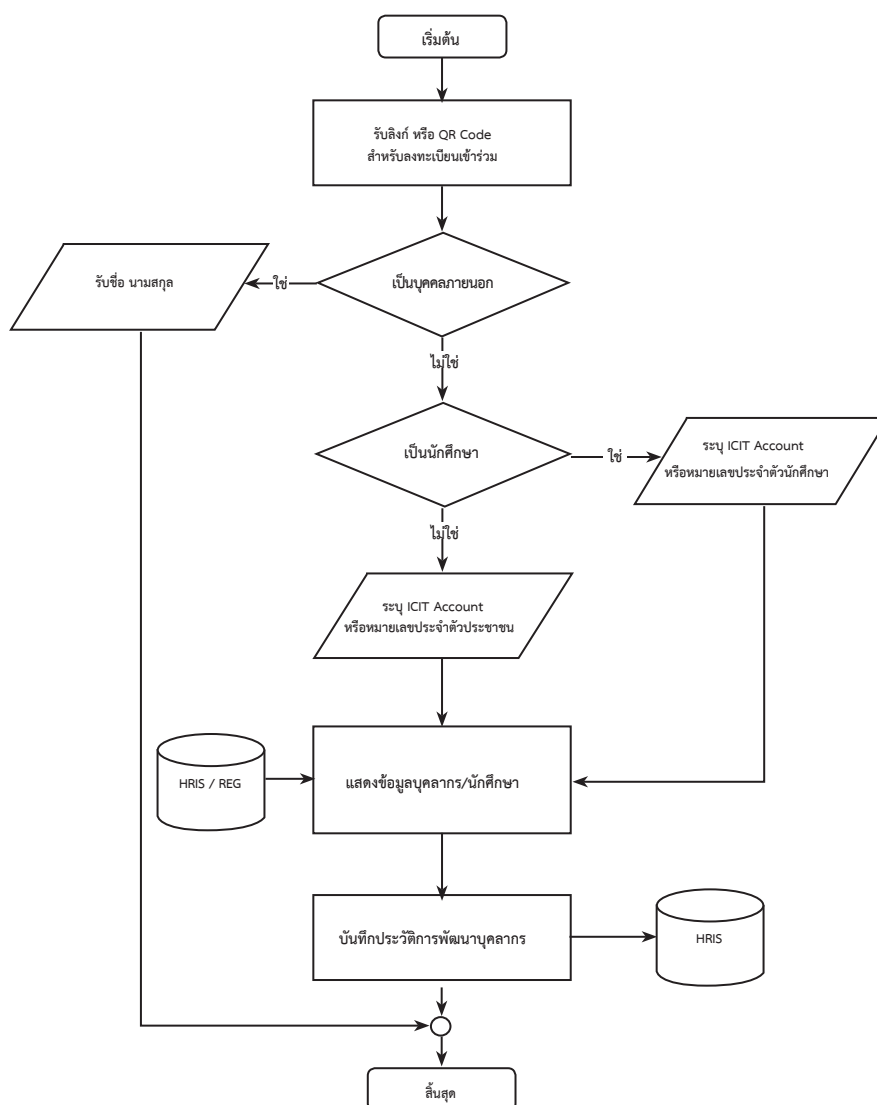
การวิเคราะห์และออกแบบระบบ

จากการศึกษาและรวบรวมการเก็บข้อมูลของผู้จัดประชุม อบรมหรือสัมมนา รวมถึงข้อมูลประวัติการพัฒนาบุคลากรที่กองบริหารและจัดการทรัพยากรมนุษย์กำหนดไว้ในระบบสารสนเทศทรัพยากรมนุษย์ (Human Resource Information System: HRIS) นั้น ทีมผู้วิจัยจึงได้ออกแบบหน้าจอตัวเลือก เพื่อให้ผู้จัดสะดวกในการสร้างแบบฟอร์มลงทะเบียนที่สอดคล้องกับความต้องการ แสดงผังการไหลของขั้นตอนการลงทะเบียน ก่อนวันจัดประชุม อบรมหรือสัมมนา ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ผังการไหลของขั้นตอนการลงทะเบียน ก่อนวันจัดประชุม อบรมหรือสัมมนา

2) การลงทะเบียน ณ วันจัดประชุม อบรมหรือสัมมนา ทางผู้จัดจะให้ผู้เข้าร่วมลงลายมือชื่อเป็นหลักฐานว่า มาเข้าร่วมประชุม อบรมหรือสัมมนาจริง หลังจากจบการประชุม อบรมหรือสัมมนา ทางผู้จัดต้องไปลิสต์รายชื่ออีกครั้ง เพื่อบันทึกในระบบสารสนเทศทรัพยากรมนุษย์ ถ้ากรณีที่มีผู้เข้าร่วมเพิ่มเติมจากรายชื่อที่ลงทะเบียนไว้ จะต้องเขียน รายชื่อต่อเพิ่มเติม ซึ่งอาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดจากการอ่านลายมือ สำหรับในกรณีที่เป็นการจัดประชุม อบรมหรือ สัมมนาผ่านออนไลน์ จะให้ผู้เข้าร่วมยืนยันการเข้าร่วมโดยพิมพ์ชื่อ นามสกุล หน่วยงานลงในช่องแชท หรือแคปหน้าจอ รายชื่อผู้เข้าร่วมประชุม ซึ่งอาจทำให้เกิดการตกหล่นของรายชื่อผู้เข้าร่วมได้ ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้ทางผู้จัด สามารถ Export QR Code และรับลิงก์สำหรับลงทะเบียน สำหรับให้ผู้เข้าร่วมประชุม อบรม หรือสัมมนาลงทะเบียน ผ่านออนไลน์ เจ้าภาพผู้จัดสามารถคัดลอกลิงก์หรือ Download QR Code จากโครงการที่สร้างเพื่อให้ผู้ที่มาเข้าร่วมจริง ณ วันงานลงทะเบียนยืนยันการมาเข้าร่วมจริง โดยกรณีที่บุคคลภายนอก จะระบุชื่อและนามสกุล กรณีที่เป็น นักศึกษา สามารถระบุ ICIT Account หรือหมายเลขประจำตัวนักศึกษา และกรณีที่บุคคลากร สามารถระบุ ICIT Account หรือหมายเลขประจำตัวประชาชน ระบบจะบันทึกวัน-เวลาที่ลงทะเบียน และเชื่อมโยงรายชื่อบุคลากรที่ เข้าร่วมโครงการไปบันทึกเป็นประวัติการพัฒนาศักยภาพให้ในระบบสารสนเทศทรัพยากรมนุษย์ แสดงผังการไหล ของขั้นตอนการลงทะเบียน ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ผังการไหลของขั้นตอนการลงทะเบียน ในวันจัดประชุม อบรมหรือสัมมนา

การพัฒนาระบบ

ทีมผู้วิจัย ได้พัฒนาระบบลงทะเบียนออนไลน์ สำหรับลงทะเบียนเข้าร่วมการประชุม อบรมหรือสัมมนา ให้กับทางผู้จัดโครงการและผู้เข้าร่วมโครงการ ผู้วิจัยเลือกใช้ภาษา PHP เป็นภาษาหลักในการพัฒนา โดยประยุกต์ใช้เฟรมเวิร์ก Yii 2.0 ซึ่งพัฒนาตามแนวคิด Model-View-Controller (MVC) เพื่อแยกโครงสร้างการทำงาน ของระบบออกเป็น ส่วนการจัดการข้อมูล (Model) ส่วนประมวลผล (controller) และส่วนแสดงผล (view) ส่งผลให้ระบบมีโครงสร้างที่เป็นระเบียบ ลดความซ้ำซ้อนของโค้ด และเอื้อต่อการบำรุงรักษาในระยะยาว ส่วนการจัดเก็บและบริหารข้อมูลใช้ระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ MariaDB สำหรับจัดเก็บข้อมูลผู้ใช้งาน ข้อมูลโครงการ และข้อมูลการลงทะเบียน โดยออกแบบโครงสร้างฐานข้อมูลให้รองรับการเชื่อมโยงข้อมูลกับระบบสารสนเทศ

> φόρμαรับข้อมูลลงทะเบียน

❖ คำอธิบาย เป็นกรณีก่อนการสมัครงานที่จำเป็นต้องกรอกข้อมูลให้ผู้จัดกิจกรรมต้องการใช้งาน และระบบจะแจ้งรายการข้อมูลเหล่านี้ให้ผู้ลงทะเบียนได้รับทราบก่อนการลงทะเบียน

ข้อมูลที่ต้องการรับในขั้นตอนการลงทะเบียน

- ☒ ชื่อ - สกุล (ภาษาไทย)
- ☐ ชื่อ - สกุล (ภาษาอังกฤษ)
- ☐ เลขประจำตัวนักศึกษา
- ☐ ตำแหน่งงาน
- ☐ ตำแหน่งทางวิชาการ (ถ้ามี)
- ☐ หน่วยงาน
- ☐ อีเมล
- ☐ หมายเลขโทรศัพท์
- ☐ ประเภทอาหาร (ปกติ, อิสลาม, มังสวิรัติ, ไข่)
- ☐ ระบุข้อมูลผู้ที่ต้องการเข้าพักด้วย (กรณีมีห้องพัก) (กรณีมีห้องพัก)
- ☐ ข้อมูลทะเบียนรถ (กรณีต้องการขออนุญาตจอดรถค้างคืนที่มหาวิทยาลัย)
- ☐ วิธีการเดินทาง (เดินทางด้วยรถที่จัดไว้ให้ (รถบัส, รถตู้), เดินทางด้วยตนเอง)

ไป บันทึก

ภาพที่ 5 หน้าจอกรอกรายละเอียดของโครงการ ส่วนที่ 2

ผู้จัดโครงการจะระบุรายละเอียดของโครงการ ประกอบด้วย ชื่อกิจกรรม รายละเอียดของโครงการกิจกรรม วัน-เวลาเริ่มและสิ้นสุดกิจกรรม สถานที่จัดกิจกรรม Online URL และรหัสผ่าน กรณีที่มีการจัดผ่านออนไลน์ สามารถแนบไฟล์โครงการหรือรายละเอียดอื่น ๆ เพิ่มเติม รวมถึงระบุประเภทโครงการ รูปแบบกิจกรรม จำนวนชั่วโมง และประโยชน์ที่ได้รับกรณีที่ต้องการบันทึกเป็นประวัติการพัฒนาศักยภาพ รายละเอียดของผู้จัดโครงการ ประกอบด้วย ส่วนงานผู้จัด เว็บไซต์ และหมายเลขโทรศัพท์ รายละเอียดการเปิดรับลงทะเบียน ประกอบด้วย จำนวนคนที่จำกัดให้เข้าร่วมในแบบ Onsite จำนวนคนที่จำกัดให้เข้าร่วมผ่าน Online จำนวนบุคลากรที่จำกัดให้เข้าร่วม จำนวนนักศึกษาที่จำกัดให้เข้าร่วม จำนวนบุคคลภายนอกที่จำกัดให้เข้าร่วม ช่วงวันที่เปิดให้ลงทะเบียน และช่วงวัน-เวลาที่เปิดให้ check-in เข้าร่วม และรายละเอียดการเก็บข้อมูลของผู้เข้าร่วมโครงการ โดยคลิกเลือกข้อมูลที่ต้องการให้ระบบเก็บข้อมูลของผู้เข้าร่วมโครงการ สำหรับ ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) ชื่อ-สกุล (ภาษาอังกฤษ) เลขประจำตัวนักศึกษา ตำแหน่งงาน ตำแหน่งทางวิชาการ (ถ้ามี) หน่วยงาน กรณีที่เป็นนักศึกษาและบุคลากรระบบจะดึงข้อมูลให้อัตโนมัติโดยไม่ต้องกรอก สำหรับอีเมล หมายเลขโทรศัพท์ ประเภทอาหาร ระบบจะแสดงช่องให้ผู้ลงทะเบียนกรอกข้อมูล

หลังจากที่ผู้จัดโครงการเพิ่มกิจกรรมเรียบร้อยแล้ว ทางผู้จัดสามารถคัดลอกลิงก์ หรือดาวน์โหลด QR Code ส่งประชาสัมพันธ์ให้ผู้สนใจลงทะเบียน ได้ดังภาพที่ 6 โดยเมื่อเข้าสู่ลิงก์จะแสดงหน้าจอสำหรับลงทะเบียนดังภาพที่ 7 รวมถึงทางผู้จัดสามารถดูรายชื่อ และสามารถ Export ข้อมูลรายชื่อเป็นไฟล์ Excel ได้ ดังภาพที่ 8

Register link



<http://register.kmutnb.ac.th/web/event/event-register?token=7bfff61f2-3164-4a1e-8de7-41b3f4df35c4>

Copy



Download QRcode

Close

ภาพที่ 6 แสดงหน้าจอสำหรับคัดลอกลิงก์ และดาวน์โหลด QR Code

โครงการอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง การใช้งานระบบลงทะเบียนออนไลน์

📅 20 กันยายน 2566 เวลา 09:00 - 16:00 น.

📍 Onsite ณ ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ห้อง 406 ชั้น 4 สำนักคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (จำกัดจำนวน 10 ท่าน)

🔗 Online link : <https://meet.google.com/vod-fbdp-pgn> (จำกัดจำนวน 150 ท่าน)

👤 จำนวนรับ บุคลากร : จำกัดจำนวน 110 ท่าน บุคคลภายนอก : จำกัดจำนวน 50 ท่าน

📄 ลงทะเบียนแล้ว 1 ท่าน บุคลากร : 0 บุคคลภายนอก : 1

🕒 เช็กอินแล้ว 0 ท่าน

รายละเอียดกิจกรรม

📎 ดาวน์โหลดรายละเอียด

ติดต่อสอบถาม

📞 กองส่งเสริมวิชาการ ☎ 2235 🌐 <https://aed.op.kmutnb.ac.th/>

👤 สร้างกิจกรรมโดย : ประธนา สัมพันธ์รัตนชัย (กองส่งเสริมวิชาการ สำนักงานอธิการบดี)

📅 รับลงทะเบียน 26 มิถุนายน 2566 เวลา 09:00 น. - 20 กันยายน 2566 เวลา 14:00 น.

ลงทะเบียนสำหรับบุคลากร

! ระบบจะไม่เปิดเผยข้อมูลหมายเลขประจำตัวประชาชน ใช้ในการเชื่อมโยงข้อมูลชื่อ นามสกุล และสังกัดกับระบบ HRIS ของมหาวิทยาลัยเท่านั้น

เลขประจำตัวประชาชน/รหัสนักศึกษา

รูปแบบการเข้าร่วม

☐ Onsite ☐ Online

ประเภทอาหาร

☐ ปกติ ☐ อิสลาม ☐ มังสวิรัติ ☐ ไม่รับอาหาร

หมายเหตุ (เช่น แพ้อาหารทะเล, กุ้ง, ถั่วลิสง ฯลฯ)

[← กลับ](#)

ภาพที่ 7 แสดงหน้าจอลงทะเบียนสำหรับผู้สนใจเข้าร่วมโครงการ

รายการอาหาร								
แสดง 1 ถึง 2 จาก 2 ผลลัพธ์								
#	ชื่อ - สกุล	หน่วยงาน	ประเภทผู้ลงทะเบียน	ประเภทอาหาร	ปกติ	อิสลาม	มังสวิรัติ	ไม่รับอาหาร
								หมายเหตุ
1	น.ส.ปรารถนา สัมพันธ์รัตนชัย	สำนักงานอธิการบดี กองส่งเสริมวิชาการ	บุคลากร	ปกติ	✓			ไม่ทานเนื้อวัว
2	ศิวกร หลงสมบูรณ์	ทดสอบ	บุคคลภายนอก	ปกติ	✓			

ภาพที่ 8 หน้าจอแสดงรายชื่อผู้ลงทะเบียน

ผลการวิจัย

ทีมผู้วิจัยได้พัฒนาระบบลงทะเบียนออนไลน์เพื่อรองรับการลงทะเบียนเข้าร่วมการประชุม อบรมหรือสัมมนา สำหรับผู้จัดโครงการและผู้เข้าร่วมโครงการ ภายหลังการพัฒนาเรียบร้อยแล้ว ได้นำระบบไปทดลองใช้งานจริงในส่วนงานต่าง ๆ ของมหาวิทยาลัย เพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบและความพึงพอใจของผู้ใช้งาน โดยใช้แบบสอบถามความพึงพอใจที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล แบบสอบถามดังกล่าวได้รับการตรวจสอบคุณภาพด้านความตรงเชิงเนื้อหา (content validity) โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ผลการประเมินค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) พบว่าข้อคำถามส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 0.67–1.00 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (0.50) แสดงถึงความเหมาะสมของข้อคำถามในการวัดตัวแปรตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ทั้งนี้ มีเพียงบางข้อที่มีค่า IOC เท่ากับ 0.33 ซึ่งทีมผู้วิจัยได้ดำเนินการปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญก่อนนำไปใช้เก็บข้อมูลจริง สรุปข้อคำถามของแบบสอบถามความพึงพอใจ ออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม เป็นข้อคำถามแบบตัวเลือก

1. ประเภทผู้รับบริการ ประกอบด้วย ผู้บริหาร บุคลากร นักศึกษา
2. กลุ่มผู้ใช้ระบบ ประกอบด้วย เป็นทั้งผู้จัดและผู้เข้าร่วมโครงการ ผู้เข้าร่วมโครงการ

ตอนที่ 2 แบบสอบถามความพึงพอใจต่อระบบเป็นข้อคำถามแบบระดับความพึงพอใจแบ่งเป็น 5 ระดับได้แก่ มากที่สุด มีค่าคะแนนเท่ากับ 5 มาก มีค่าคะแนนเท่ากับ 4 ปานกลาง มีค่าคะแนนเท่ากับ 3 น้อย มีค่าคะแนนเท่ากับ 2 และน้อยที่สุด มีค่าคะแนนเท่ากับ 1

แบ่งข้อคำถามทั้งหมด 4 ด้าน ดังนี้

ด้านที่ 1 ด้านกระบวนการ/ขั้นตอนของระบบ ประกอบด้วย 1) ระบบมีขั้นตอนการทำงานเป็นลำดับเข้าใจง่าย และ 2) การเข้าถึงระบบทำได้ง่ายและรวดเร็ว

ด้านที่ 2 ด้านการออกแบบ ประกอบด้วย 1) ความสวยงาม และความน่าสนใจของระบบ 2) การจัดรูปแบบง่ายต่อการใช้งาน และ 3) ข้อความสื่อความหมายชัดเจน

ด้านที่ 3 ด้านประสิทธิภาพและความปลอดภัยของระบบ ประกอบด้วย 1) ระบบมีการตรวจสอบสิทธิ์ในการเข้าถึงข้อมูลอย่างเหมาะสม และ 2) ความถูกต้อง ชัดเจน น่าเชื่อถือของข้อมูล

ด้านที่ 4 ด้านการนำไปใช้ประโยชน์ ประกอบด้วย 1) ระบบสามารถช่วยอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงานได้ดีขึ้น 2) ระบบสามารถตอบสนองต่อความต้องการ และ 3) ระบบช่วยลดระยะเวลาในการปฏิบัติงานได้

ตอนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่น ๆ ที่มีต่อระบบ เป็นข้อคำถามแบบอัตนัย แบบสอบถามเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) 5 ระดับ โดยการใช้การประยุกต์เกณฑ์ ดังนี้

คะแนนเฉลี่ย	ความหมาย
4.21 – 5.00	มากที่สุด
3.41 – 4.20	มาก
2.61 – 3.40	ปานกลาง
1.81 – 2.60	น้อย
1.00 – 1.80	น้อยที่สุด

และใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล ประกอบด้วย ค่าร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) มีผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมด 71 คน เป็นผู้บริหาร 5 คน อาจารย์ 14 คน บุคลากร 52 คน และมีผู้ตอบแบบสอบถามที่เป็นทั้งผู้จัดโครงการและผู้เข้าร่วมโครงการ 20 คน เป็นผู้เข้าร่วมโครงการ 51 คนการประเมินความพึงพอใจของระบบลงทะเบียนออนไลน์ มีผลประเมินในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด มีคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจเท่ากับ 4.61 คิดเป็นร้อยละ 92.26 จากผลการประเมิน 4 ด้าน ดังนี้

ด้านที่ 1 ด้านกระบวนการ/ขั้นตอนของระบบ มีผลประเมินในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด คะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจเท่ากับ 4.66 คิดเป็นร้อยละ 93.24 แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินความพึงพอใจด้านกระบวนการ/ขั้นตอนของระบบ

รายการ	$\bar{X}$	S.D.	ร้อยละ	การแปลความหมาย
ระบบมีขั้นตอนการทำงานเป็นลำดับเข้าใจง่าย	4.65	0.66	92.96	มากที่สุด
การเข้าถึงระบบทำได้ง่ายและรวดเร็ว	4.67	0.55	93.52	มากที่สุด
รวม	4.66	0.61	93.24	มากที่สุด

ด้านที่ 2 ด้านการออกแบบ มีผลประเมินในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด คะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจเท่ากับ 4.58 คิดเป็นร้อยละ 91.55 แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจด้านการออกแบบ

รายการ	$\bar{X}$	S.D.	ร้อยละ	การแปลความหมาย
ความสวยงาม และความน่าสนใจของระบบ	4.56	0.60	91.27	มากที่สุด
การจัดรูปแบบง่ายต่อการใช้งาน	4.55	0.75	90.99	มากที่สุด
ข้อความสื่อความหมายชัดเจน	4.62	0.72	92.39	มากที่สุด
รวม	4.57	0.69	91.55	มากที่สุด

ด้านที่ 3 ด้านประสิทธิภาพและความปลอดภัยของระบบ มีผลประเมินในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด คะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจเท่ากับ 4.68 คิดเป็นร้อยละ 93.52 แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการประเมินความพึงพอใจด้านประสิทธิภาพและความปลอดภัยของระบบ

รายการ	$\bar{X}$	S.D.	ร้อยละ	การแปลความหมาย
ระบบมีการตรวจสอบสิทธิ์ในการเข้าถึงข้อมูลอย่างเหมาะสม	4.66	0.70	93.24	มากที่สุด
ความถูกต้อง ชัดเจน น่าเชื่อถือของข้อมูล	4.69	0.58	93.80	มากที่สุด
รวม	4.68	0.64	93.52	มากที่สุด

ด้านที่ 4 ด้านการนำไปใช้ประโยชน์ มีผลประเมินในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด คะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจเท่ากับ 4.57 คิดเป็นร้อยละ 91.46 แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการประเมินความพึงพอใจด้านการนำไปใช้ประโยชน์

รายการ	$\bar{X}$	S.D.	ร้อยละ	การแปลความหมาย
ระบบสามารถช่วยอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงานได้ดีขึ้น	4.63	0.78	92.68	มากที่สุด
ระบบสามารถตอบสนองต่อความต้องการ	4.55	0.89	90.99	มากที่สุด
ระบบช่วยลดระยะเวลาในการปฏิบัติงานได้	4.54	0.95	90.70	มากที่สุด
รวม	4.57	0.87	91.46	มากที่สุด

สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยพัฒนาระบบลงทะเบียนออนไลน์ สามารถสรุปผลได้ว่าระบบที่พัฒนาสามารถนำไปใช้งานได้จริง และทำงานได้อย่างถูกต้อง และมีประสิทธิภาพ สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งาน ช่วยลดระยะเวลาในการทำงาน และช่วยอำนวยความสะดวกในการปฏิบัติงานได้ดีขึ้น

1. สรุปผลประเมินความพึงพอใจ

การประเมินความพึงพอใจของระบบลงทะเบียนออนไลน์แบ่งการประเมินความพึงพอใจออกเป็น 4 ด้าน ประกอบด้วย ด้านกระบวนการ/ขั้นตอนของระบบ ด้านการออกแบบ ด้านประสิทธิภาพและความปลอดภัยของระบบ และด้านการนำไปใช้ประโยชน์ โดยคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด มีคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจเท่ากับ 4.61 คิดเป็นร้อยละ 92.26 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.73 เมื่อแยกตามกลุ่มผู้ใช้ระบบ พบว่าผู้ใช้ที่เป็นทั้งผู้จัดโครงการและผู้เข้าร่วมโครงการ มีคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด มีคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจเท่ากับ 4.50 คิดเป็นร้อยละ 90.00 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.76 ผู้ใช้ที่เป็นผู้เข้าร่วมโครงการ มีคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด มีคะแนนเฉลี่ยความพึงพอใจเท่ากับ 4.67 คิดเป็นร้อยละ 93.42 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.75

2. สรุปผลการพัฒนาระบบ

จากการใช้งานระบบลงทะเบียนออนไลน์ ในการรับลงทะเบียนเข้าร่วมประชุม อบรมหรือสัมมนา แทนรูปแบบเดิม เช่น ส่งผ่าน Google form/Microsoft form เขียนส่งกระดาษ เป็นต้น พบว่า การใช้ระบบลงทะเบียนออนไลน์สามารถช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ได้ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สรุปการเปรียบเทียบรูปแบบเดิมกับใช้ระบบลงทะเบียนออนไลน์

รูปแบบเดิม	ใช้ระบบลงทะเบียนออนไลน์
บางคนไม่ระบุคำนำหน้าชื่อ หรือไม่ระบุตำแหน่งทางวิชาการต้องใช้เวลาในการค้นหาข้อมูลเพิ่มเติมเมื่อจัดทำคำสั่ง หรือพิมพ์ชื่อ นามสกุลไม่ถูกต้อง/อ่านลายมือคลาดเคลื่อนทำให้ ชื่อ หรือนามสกุลไม่ถูกต้อง	คำนำหน้า ชื่อ และนามสกุล มีความถูกต้อง เนื่องจากดึงข้อมูลจากระบบสารสนเทศทรัพยากรมนุษย์ (Human Resource Information System: HRIS)
ได้รับรายชื่อคนลงทะเบียนเกินจากจำนวนที่ต้องการ	สามารถจำกัดจำนวนคนลงทะเบียนเข้าร่วมได้ โดยจำกัดจำนวนแยกตามการเข้าร่วมผ่าน Online/ Onsite และแยกจำกัดจำนวนตามประเภทคนเข้าร่วม อาทิ บุคลากร นักศึกษา และบุคคลภายนอก
ผู้ลงทะเบียนไม่สามารถตรวจสอบได้ว่าผู้จัดโครงการได้รับข้อมูลเรียบร้อยแล้วหรือไม่	ผู้ลงทะเบียนสามารถตรวจสอบรายชื่อของตนเองได้

การใช้ระบบลงทะเบียนออนไลน์ในการ Check-in เข้าร่วมโครงการ ทำให้สามารถรวบรวมรายชื่อได้อย่างรวดเร็ว และลดข้อผิดพลาดในการรวบรวมรายชื่อ รวมถึงสามารถบันทึกข้อมูลประวัติการพัฒนาบุคลากรได้อย่างรวดเร็ว การบันทึกข้อมูลประวัติการพัฒนาบุคลากร เดิมผู้เข้าร่วมโครงการ 100 คน จะใช้เวลาในการบันทึก ประมาณ

30 นาที ปัจจุบันดึงข้อมูลผ่านระบบลงทะเบียนออนไลน์ใช้เวลาไม่ถึง 1 นาที สามารถลดเวลาในการปฏิบัติงานได้ถึงร้อยละ 97 ซึ่งสะท้อนถึงการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงกระบวนการ (process efficiency) อย่างมีนัยสำคัญ รายละเอียดการเปรียบเทียบก่อนและหลังการใช้ระบบ แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการปฏิบัติงานก่อนและหลังการใช้ระบบลงทะเบียนออนไลน์

ตัวชี้วัด	ก่อนใช้ระบบ	หลังใช้ระบบ	เปลี่ยนแปลง
เวลาบันทึกรายชื่อผู้ผ่านโครงการ 100 คน	30 นาที	< 1 นาที	ลดลงร้อยละ 97
ความผิดพลาดของรายชื่อ	พบ	ไม่พบ	ลดลงร้อยละ 100
การกรอกข้อมูลซ้ำซ้อน	พบ	ไม่พบ	ลดลงร้อยละ 100

อภิปรายผล

ผลการวิจัยสะท้อนให้เห็นว่า การพัฒนาระบบลงทะเบียนออนไลน์แบบบูรณาการสามารถสนับสนุนการขับเคลื่อนองค์กรสู่การเป็นองค์กรดิจิทัล (digital transformation) ได้อย่างเป็นรูปธรรม โดยเฉพาะในมิติของการปรับปรุงกระบวนการทำงาน (process transformation) และการบูรณาการข้อมูล (data integration) ภายในมหาวิทยาลัย ระบบที่พัฒนาขึ้นไม่เพียงแต่ทดแทนกระบวนการลงทะเบียนแบบเดิมที่ใช้เอกสารหรือแบบฟอร์มออนไลน์เท่านั้น แต่ยังสามารถเชื่อมโยงข้อมูลกับระบบสารสนเทศทรัพยากรมนุษย์ (HRIS) ได้โดยอัตโนมัติ ซึ่งช่วยลดความซ้ำซ้อนของการทำงาน ลดข้อผิดพลาดจากการป้อนข้อมูล และเพิ่มความถูกต้องของฐานข้อมูลบุคลากรในระดับมหาวิทยาลัย

ผลการประเมินความพึงพอใจในภาพรวมที่อยู่ในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.61) สอดคล้องกับแนวคิดของ Moshoeu & Bruhns (2025) ที่ระบุว่าคุณภาพระบบ (system quality) และคุณภาพข้อมูล (information quality) เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการยอมรับและการใช้งานระบบลงทะเบียนออนไลน์ในสถาบันอุดมศึกษา โดยเฉพาะด้านประสิทธิภาพและความปลอดภัยของระบบที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุด (4.68) แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้งานมีความเชื่อมั่นในกระบวนการยืนยันตัวตนและความถูกต้องของข้อมูล

นอกจากนี้ การลดระยะเวลาในการบันทึกข้อมูลประวัติการพัฒนาศักยภาพบุคลากรจากประมาณ 30 นาทีต่อผู้เข้าร่วม 100 คน เหลือไม่ถึง 1 นาที สะท้อนถึงประสิทธิภาพเชิงกระบวนการที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยสามารถลดเวลาในการปฏิบัติงานได้ถึงร้อยละ 97

ในเชิงองค์กร ระบบดังกล่าวยังช่วยสร้างมาตรฐานกลางในการบริหารจัดการข้อมูลการลงทะเบียนของมหาวิทยาลัย ลดความแตกต่างของรูปแบบการดำเนินงานระหว่างส่วนงาน และสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหารจากข้อมูลที่ถูกต้องและเป็นปัจจุบัน เป็นพื้นฐานสำคัญขององค์กรดิจิทัลในยุคปัจจุบัน

กิตติกรรมประกาศ

ทีมผู้วิจัยต้องขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ชูพันธุ์ รัตนโกศา ผู้อำนวยการสำนักคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศที่ให้ความอนุเคราะห์เป็นที่ปรึกษา ช่วยเหลือและให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ขอขอบคุณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพพร วิสิฐพงศ์พันธ์ ผู้ช่วยอธิการบดีฝ่ายวิจัยและเทคโนโลยีสารสนเทศ คอยให้คำชี้แนะและแนะนำเกี่ยวกับการพัฒนาระบบสารสนเทศ ขอขอบคุณคุณคุณธิติมา ไชยกิจ ผู้อำนวยการกองส่งเสริมวิชาการ ที่ให้การสนับสนุนส่งเสริมให้บุคลากรทำวิจัย อีกทั้ง ขอขอบคุณผู้ประเมินความพึงพอใจทุกท่าน ที่สละเวลาในการตอบแบบประเมินความพึงพอใจ และให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการวิจัย และขอขอบคุณสำนักวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ให้โอกาสและสนับสนุนทุนให้แก่ทีมผู้วิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Castro Benavides, L. M., Tamayo Arias, J. A., Arango Serna, M. D., Branch Bedoya, J. W., & Burgos, D. (2020). Digital transformation in higher education institutions: A systematic literature review. *Sensors*, 20(11), 3291. <https://doi.org/10.3390/s20113291>
- Human Resource Management Department, King Mongkut's University of Technology North Bangkok. (2021). **User manual for recording personnel development information in the Human Resource Information System (HRIS)**. Retrieved from <https://hris.kmutnb.ac.th/web/downloads/20210323-hris-personnel-development-manual.pdf> [2024, 5 Oct.]
- Institute of Computer and Information Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok. (2024). **KMUTNB SSO API documentation**. Retrieved from <https://sso.kmutnb.ac.th/site/api-document> [2024, 22 Dec.]
- Ismail, I. A., & Sumarno, W. (2025). **An Integrated Web-Based Graduation Registration and Alumni Tracer Study System with Google Workspace Automation**. CERN on behalf of the European Commission. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17226945>
- Kaewsuwan, S., & Khwunnak, C. (2022). The development of web-based application of registration system. *Engineering Access*, 8(1), 101–105. <https://doi.org/10.14456/mijet.2022.14>
- Moshoeu, H. M., & Bruhns, E. (2025). A framework for assessing student online registration in higher education institutions in South Africa. *South African Journal of Information Management*, 27(1), Article a2040. <https://doi.org/10.4102/sajim.v27i1.2040>
- Muangsanam, P. (2025). Development of a curriculum management information system aligned with AUN-QA. *Journal of Information Science Research and Practice*, 43(3), 1–100. <https://doi.org/10.14456/jiskku.2025.19>
- Royal Thai Government Gazette. (2019). **Personal Data Protection Act, B.E. 2562 (2019)**. Royal Thai Government Gazette, 136 (Special Section 78 Ng). Retrieved from <https://ratchakitcha.soc.go.th/documents/17082307.pdf> [2024, 5 Oct.]
- Tarigan, I. M. B., Tarigan, S., & Ginting, R. (2024). Optimalisasi Efektivitas Program MBKM: Sistem Monitoring Berbasis Lokasi dan Analisis aktivitas dengan TF-IDF. *Journal of Information System Research (JOSH)*, 6(1), 359–370. <https://doi.org/10.47065/josh.v6i1.5945>

การลดปริมาณรางเลื่อนเบาะรถยนต์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดโดยใช้การออกแบบ
และวิเคราะห์การทดลอง
REDUCTION OF NONCONFORMING SEAT-SLIDE RAILS USING DESIGN AND
ANALYSIS OF EXPERIMENTS

มงคล ชินโคตร¹ และ นิติเดช คูหาทองสัมฤทธิ์^{2*}

¹สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร 10240

²ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร 10240

Mongkhon Chinnakort¹ and Nitidetch Koothongsumrit^{2*}

¹Engineering Management and Technology, Faculty of Engineering, Ramkhamhaeng University, Bangkok 10240

²Department of Statistics, Faculty of Science, Ramkhamhaeng University, Bangkok 10240

*E-mail: nitidetch.k@ru.ac.th

Received: 06-01-2025

Revised: 16-06-2026

Accepted: 16-06-2026

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณรางเลื่อนเบาะรถยนต์รุ่นปรับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าสี่ทิศทางที่มีค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนเฉลี่ยต่ำกว่า 1.40 มิลลิเมตร ปัญหาดังกล่าวเกิดจากการตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องเจาะรูหยุดตลับลูกปืนตามประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงาน โดยเครื่องเจาะรูหยุดตลับลูกปืนมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ระยะการเจาะ แรงดันลม และขนาดแผ่นเหล็กรองฐานแม่พิมพ์ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้ได้ใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับกำหนดสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องเจาะรูหยุดตลับลูกปืน ผลการวิจัยพบว่าควรกำหนดระดับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมต่อการเจาะรูหยุดตลับลูกปืนคือ ระยะการเจาะเท่ากับ 3.00 มิลลิเมตร แรงดันลมเท่ากับ 160.00 บาร์ และขนาดแผ่นเหล็กรองฐานแม่พิมพ์เท่ากับ 5.00 มิลลิเมตร จากการนำผลการวิจัยไปทดลองใช้กับกระบวนการผลิตพบว่ารางเลื่อนเบาะรถยนต์มีค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนเฉลี่ยเท่ากับ 1.81 มิลลิเมตร ซึ่งสูงกว่า 1.40 มิลลิเมตร และไม่เกิน 1.90 มิลลิเมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยบริษัทกรณีศึกษาสามารถลดจำนวนรางเลื่อนเบาะรถยนต์รุ่นปรับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าสี่ทิศทาง ที่มีค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนต่ำกว่าข้อกำหนดลดลงร้อยละ 92 เมื่อเทียบกับอัตราผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดแบบเดียวกันก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิต ประโยชน์จากการวิจัยนี้ช่วยยกระดับคุณภาพผลิตภัณฑ์และปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อสนับสนุนกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมยานยนต์อย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลสามระดับ รางเลื่อนเบาะรถยนต์ การลดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนด การปรับปรุงกระบวนการผลิต

ABSTRACT

The purpose of this study is to reduce the number of defective nonconforming four-way electric motor-adjustable automotive seat-slide rails with an average bearing stopper hole depth below 1.40 millimeters. This problem arises from the parameter settings of the bearing stopper hole drilling machine based on operator experience. The related parameters include drilling depth, air pressure, and steel-plate thickness. To address this problem, this study employed Three-level factorial design of experiments to identify the optimal conditions for the drilling process. The results indicated that the appropriate parameter settings consist of drilling depth of 3.00 millimeters, an air pressure of 160.00 bar, and a steel-plate thickness of 5.00 millimeters. After implementing these parameter settings in the actual production process, the average bearing stopper hole depth of the automotive seat-slide rails reached 1.81 millimeters, which is statistically significantly higher than the specification of 1.40 millimeters and remains below the upper threshold of 1.90 millimeters. As a result, the case study achieved a 92% reduction in the number of four-way electric motor-adjustable seat-slide rails with bearing stopper hole depths below the specification, compared to the nonconforming rate prior to the process improvement. The benefits of this study enhance product quality and improve production process consistency to supporting sustainable manufacturing performance in the automotive industry.

Keywords: Three-level factorial design of experiments, Seat-slide rail, Reduction of nonconforming product, Production process improvement.

บทนำ

จากข้อมูลสถิติการจดทะเบียนรถยนต์ของประเทศไทยพบว่าในช่วงเดือน มกราคม ถึงเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2568 มีจำนวนรถยนต์บรรทุกส่วนบุคคลสะสมทั้งสิ้น 99,984 คัน (Transport statistics sub-division planning division department of land transport, 2025) ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงการขยายตัวอย่างต่อเนื่องในอุตสาหกรรมยานยนต์ เบาะรถยนต์เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของรถยนต์ทุกประเภท ทำหน้าที่รองรับสรีระเพื่อสร้างความสะดวกสบาย ลดความเมื่อยล้าในขณะเดินทาง และเพิ่มความสวยงามภายในห้องโดยสาร การผลิตเบาะรถยนต์ทุกตัวต้องมีรางเลื่อนเบาะ (Seat-Slide Rail) เพื่อเป็นชิ้นส่วนที่ใช้ยึดติดเบาะเข้ากับตัวถังรถยนต์ ทำให้สามารถปรับตำแหน่งของการนั่งและเพิ่มความปลอดภัยในขณะโดยสาร จากข้อมูลสถิติการจดทะเบียนรถยนต์ในช่วงต้นส่งผลให้ความต้องการใช้รางเลื่อนเบาะรถยนต์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย (Koothathongsumrit & Chankham, 2026)

บริษัทกรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตและจำหน่ายรางเลื่อนเบาะรถยนต์ จำนวน 3 ประเภท ได้แก่ รุ่นปรับด้วยตัวเองสองทิศทาง รุ่นปรับด้วยตัวเองสี่ทิศทาง และรุ่นปรับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าสี่ทิศทาง แสดงดังภาพที่ 1 โดยบริษัทประสบปัญหาการผลิตรางเลื่อนเบาะรถยนต์ไม่ผ่านข้อกำหนด จากสำรวจข้อมูลการผลิตย้อนหลัง พบว่ารางเลื่อนของเบาะรถยนต์ รุ่นปรับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าสี่ทิศทาง มีปริมาณการผลิตสูงสุดจำนวน 24,090 ชิ้น มีผลิตภัณฑ์ที่

ไม่ผ่านข้อกำหนดจำนวน 793 ชิ้น คิดเป็นมูลค่าเท่ากับ 713,700 บาท แสดงดังตารางที่ 1 โดยรางเลื่อนเบาะรถยนต์รุ่นปรับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าสี่ทิศทาง มีความซับซ้อนของตำแหน่งรูหยุดตลับลูกปืนมากที่สุด เนื่องจากต้องกำหนดตำแหน่งหยุดของตลับลูกปืนให้สัมพันธ์กับระยะของเกียร์วหมนมอเตอร์ ทำให้ต้องการความแม่นยำสูงเมื่อเทียบกับรางเลื่อนเบาะรถยนต์รุ่นอื่น ส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดจำนวนมาก ดังนั้นการศึกษาวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาเฉพาะรางเลื่อนเบาะรถยนต์รุ่นปรับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าสี่ทิศทางเท่านั้น

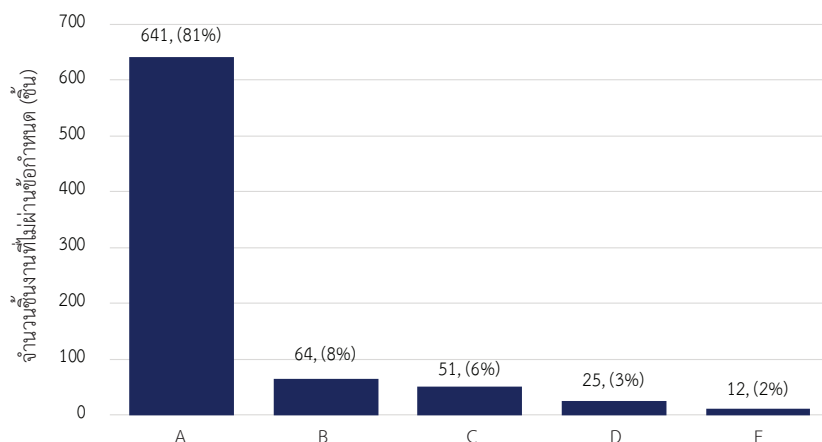


ภาพที่ 1 รางเลื่อนเบาะรถยนต์แต่ละประเภท

ตารางที่ 1 จำนวนการผลิตรางเลื่อนของเบาะรถยนต์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดรุ่นปรับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าสี่ทิศทาง

เดือน	ปริมาณการผลิต (ชิ้น)	ไม่ผ่านข้อกำหนด (ชิ้น)	สัดส่วน (ร้อยละ)	มูลค่า (บาท)
มกราคม	3,760	128	3.40	115,200
กุมภาพันธ์	3,450	112	3.25	100,800
มีนาคม	3,600	120	3.33	108,000
เมษายน	2,700	87	3.22	78,300
พฤษภาคม	3,460	115	3.32	103,500
มิถุนายน	3,650	118	3.23	106,200
กรกฎาคม	3,470	113	3.26	101,700
รวม	24,090	793	3.29	713,700

เมื่อนำรางเลื่อนเบาะรถยนต์รุ่นปรับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าสี่ทิศทางที่ไม่ผ่านข้อกำหนด มาจำแนกลักษณะความบกพร่อง สามารถจำแนกได้ 5 ลักษณะ ได้แก่ ค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนต่ำกว่าข้อกำหนด (A) ค่าความผิดของรางเลื่อนเบาะรถยนต์สูงกว่าข้อกำหนด (B) ค่าระยะเคลื่อนที่ของรางเลื่อนเบาะรถยนต์ไม่ผ่านข้อกำหนด (C) ค่าเสียงดังของรางเลื่อนเบาะรถยนต์สูงกว่าข้อกำหนด (D) และอื่น ๆ (E) โดยพบว่าลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดมากที่สุดคือค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนต่ำกว่าข้อกำหนดจำนวน 641 ชิ้น จำนวนเฉลี่ย 92 ชิ้นต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 81 เมื่อเทียบกับปริมาณของรางเลื่อนเบาะรถยนต์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดทั้งหมด แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ลักษณะของจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนด

เมื่อศึกษาปัญหาค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนต่ำกว่าข้อกำหนด พบว่ามีค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนเฉลี่ยเท่ากับ 1.20 มิลลิเมตร ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด คือสูงกว่าหรือเท่ากับ 1.40 มิลลิเมตร และไม่เกิน 1.90 มิลลิเมตร หน้าที่ของรูหยุดตลับลูกปืนเพื่อป้องกันไม่ให้ตลับลูกปืนหลุดออกจากรางและทำหน้าที่ให้เบาะรถยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างมั่นคงปลอดภัย เมื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาพบว่าเกิดจากการตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องเจาะรูหยุดตลับลูกปืน ได้แก่ ระยะเวลาเจาะ แรงดันลม และขนาดแผ่นเหล็กรองฐานแม่พิมพ์ไม่เหมาะสม ซึ่งขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงานเพียงอย่างเดียว ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในกระบวนการผลิต ตัวอย่างเช่น หากการตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องเจาะรูหยุดตลับลูกปืนสูงไป จะส่งผลให้ขาดความแม่นยำของตำแหน่งเจาะรูหยุดตลับลูกปืนและทำให้แม่พิมพ์แตกหัก แต่หากการตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องเจาะรูหยุดตลับลูกปืนต่ำเกินไป จะส่งผลให้ค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนต่ำกว่าข้อกำหนด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องเจาะรูหยุดตลับลูกปืนเพื่อลดปัญหาผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนด

เมื่อทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องจักรเพื่อใช้ในการลดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนด พบว่างานวิจัยส่วนใหญ่ใช้การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) ในการแก้ปัญหาดังกล่าว เช่น งานวิจัยของ Chayarathi et al. (2021) ศึกษาการลดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดในกระบวนการชุบโครเมียมด้วยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ ซึ่งสามารถลดสัดส่วนลดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดลงจากร้อยละ 22.02 เป็นร้อยละ 8.42 ของปริมาณการผลิตทั้งหมด งานวิจัยของ Mahanil et al. (2024) ประยุกต์ใช้หลักการ DMAIC เพื่อลดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดในกระบวนการเชื่อมประกอบรถยนต์ โดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ สามารถลดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดเหลือเพียงร้อยละ 0.02 ของปริมาณการผลิตทั้งหมด งานวิจัยของ Silaloy & Na-Badalung (2024) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตอุปกรณ์เชื้อระดับน้ำมันโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง ทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดเหลือเพียงร้อยละ 1.68 จากปริมาณผลิตทั้งหมด งานวิจัยของ Wadsungnoen & Osothsilp (2023) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการ

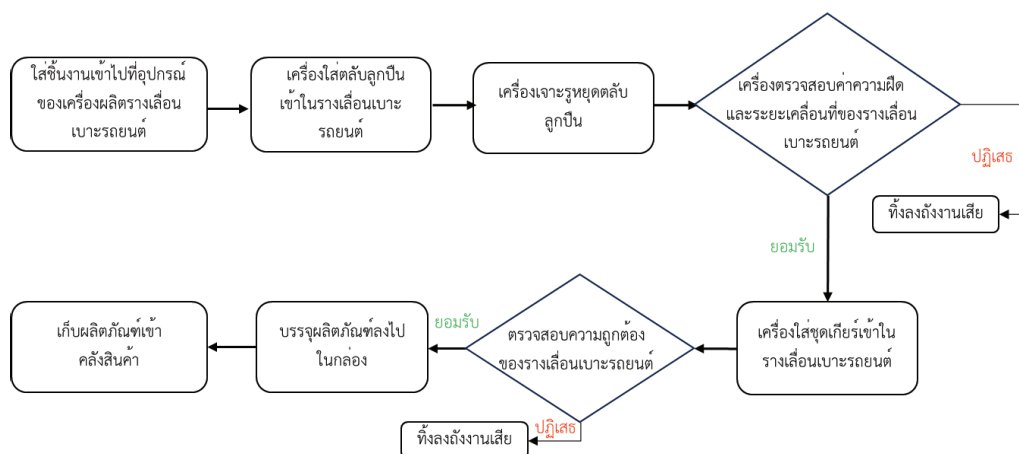
ลดของเสียจากข้อบกพร่องสีแตกและสีบางในกระบวนการพ่นสีฝุ่นบนกรอบกระจกของหลังคารถกระบะเบเนกประสงค์ โดยใช้การออกแบบการทดลองและพื้นผิวตอบสนอง พบว่าสามารถลดสัดส่วนของเสียลงจากร้อยละ 8 เป็นร้อยละ 1.13 ของปริมาณการผลิตทั้งหมด งานวิจัยของ Yimyam & Koothongsumrit (2025) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการลดจำนวนแบตเตอรี่จักรยานยนต์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด โดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ สามารถช่วยลดแบตเตอรี่ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดเฉลี่ยจาก 127 ลูกต่อเดือน ลดลงเหลือ 46 ลูกต่อเดือน โดยวรรณกรรมในข้างต้นแสดงให้เห็นว่ามีการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองด้วยวิธีต่าง ๆ เพื่อแก้ปัญหาในกระบวนการผลิต แต่ยังไม่มียานวิจัยใดที่นำแนวคิดการออกแบบการทดลองมาใช้แก้ปัญหาในกระบวนการผลิตรางเลื่อนเบาะรถยนต์

จากความสำคัญของปัญหาที่กล่าวมาในข้างต้น การศึกษาวิจัยนี้จึงต้องการเติมช่องว่างงานวิจัยด้วยการนำการออกแบบการทดลองมาใช้ลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดของบริษัทรถจักรยานยนต์ โดยต้องการลดจำนวนรางเลื่อนเบาะรถยนต์รุ่นปรับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าสี่ทิศทางที่มีค่าความลึกของรูลูกบิดกลับลูกปืนต่ำกว่าข้อกำหนด ศึกษาอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมของพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับปรับตั้งเครื่องเจาะรูลูกบิดกลับลูกปืน ได้แก่ แรงดันลมระยะการเจาะ และขนาดแผ่นรองฐานแม่พิมพ์ พร้อมทั้งกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องจักรดังกล่าว ผลลัพธ์จากการศึกษาวิจัยนี้นำไปสู่การปรับปรุงกระบวนการผลิตและรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง ตลอดจนเสริมสร้างความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ในระยะยาว

วิธีการ

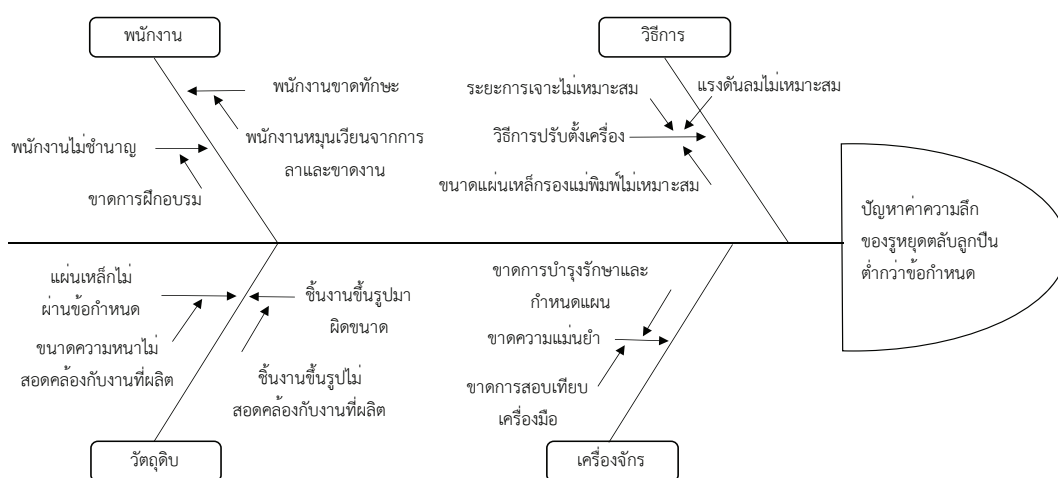
การศึกษานี้ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเพื่อลดปริมาณรางเลื่อนเบาะรถยนต์รุ่นปรับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าสี่ทิศทางที่มีค่าความลึกของรูลูกบิดกลับลูกปืนต่ำกว่าข้อกำหนด มีวิธีการดำเนินงานวิจัยดังนี้

1. ศึกษากระบวนการผลิต กระบวนการผลิตรางเลื่อนเบาะรถยนต์เป็นแบบสายพานการผลิต เริ่มจากการให้พนักงานประกอบรางเลื่อนด้านบนและด้านล่างเข้าด้วยกัน แล้วจึงประกอบชิ้นส่วนอุปกรณ์ภายในรางเลื่อนเบาะรถยนต์ จากนั้นเครื่องจะทำการเจาะรูลูกบิดกลับลูกปืนเพื่อป้องกันไม่ให้ลูกบิดกลับลูกปืนไหลออกจากราง และสายพานการผลิตจะส่งต่อกระบวนการถัดไปจนเสร็จสิ้น โดยกระบวนการผลิตรางเลื่อนเบาะรถยนต์ มีทั้งหมด 8 ขั้นตอน ได้แก่ ใส่ชิ้นงานเข้าไปที่อุปกรณ์ของเครื่องผลิตรางเลื่อนเบาะรถยนต์ เครื่องบรรจุลูกบิดกลับลูกปืนเข้าในรางเลื่อนเบาะรถยนต์ เครื่องเจาะรูลูกบิดกลับลูกปืน เครื่องตรวจสอบค่าความผิดและระยะการเคลื่อนที่ของรางเลื่อนเบาะรถยนต์ เครื่องบรรจุชุดเกียร์เข้าในรางเลื่อนเบาะรถยนต์ ตรวจสอบความถูกต้องของรางเลื่อนเบาะรถยนต์ บรรจุผลิตภัณฑ์ลงในกล่อง และเก็บผลิตภัณฑ์เข้าคลังสินค้า แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กระบวนการผลิตรางเลื่อนเบาะรถยนต์รุ่นปรับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าสี่ทิศทาง

2. วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา โดยใช้แผนภาพแสดงเหตุและผล เพื่อสำรวจความคิดเห็นจากผู้ที่เกี่ยวข้อง มาร่วมกันระดมสมองเพื่อวิเคราะห์สาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาค่าความลึกของรูหยุดตั้กลับลูกปืนต่ำกว่าข้อกำหนด ได้แก่ ฝ่ายผลิต ฝ่ายควบคุมคุณภาพ ฝ่ายซ่อมบำรุง และฝ่ายวิศวกรรมการผลิต การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพแสดงเหตุและผล (Lin, 2024) แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพแสดงเหตุและผล

การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนต่ำกว่าข้อกำหนด พบว่ามีสาเหตุมาจาก 1) พนักงาน (Man) เนื่องจากพนักงานมีการหมุนเวียนจากการขาดงานและลางาน ทำให้ขาดทักษะและไม่ชำนาญในการปรับตั้งเครื่องเจาะรูหยุดตลับลูกปืน อีกทั้งยังขาดการฝึกอบรมทบทวนทักษะอย่างสม่ำเสมอ 2) วิธีการ (Method) จากการวิเคราะห์ปัญหาพบว่ายังไม่มีการระบุค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม สำหรับแรงดันลม ระยะการเจาะและขนาดแผ่นเหล็กรองฐานแม่พิมพ์ ของรางเลื่อนเบาะรถยนต์รุ่นปรับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าสี่ทิศทาง ดังนั้นการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องเจาะรูหยุดตลับลูกปืนด้วยประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงานเพียงอย่างเดียว ซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้ค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนมีความแปรผัน 3) วัตถุดิบ (Material) พบแผ่นเหล็กไม่ผ่านข้อกำหนดและชิ้นงานขึ้นรูปมาผิดขนาดเนื่องจากเกณฑ์การทวนสอบความหนาของชิ้นงานในขั้นตอนรับเข้าไม่ครอบคลุมเพียงพอ และ 4) เครื่องจักร (Machine) เครื่องเจาะรูหยุดตลับลูกปืนขาดความแม่นยำ เนื่องจากขาดการวางแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกัน และขาดการสอบเทียบเครื่องมือวัด ตามรอบระยะเวลาที่กำหนด

เมื่อนำสาเหตุของปัญหามาประเมินความล้มเหลวของผลกระทบ โดยประเมินสาเหตุของปัญหาด้านความรุนแรง (Severity: S) ความถี่โอกาสที่จะเกิด (Occurrence: O) และความสามารถในการตรวจสอบ (Detection: D) ด้วยผู้ประเมิน ได้แก่ หัวหน้าฝ่ายผลิต หัวหน้าฝ่ายควบคุมคุณภาพ หัวหน้าฝ่ายซ่อมบำรุง และวิศวกรควบคุมการผลิต เพื่อร่วมกันหาฉันทามติให้คะแนนตามเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้ และคำนวณคะแนนค่าความเสี่ยง (Risk Priority Number: RPN) โดยสาเหตุที่มีค่า RPN มากกว่า 80 คะแนนขึ้นไปจะถูกนำไปแก้ไข ผลการวิเคราะห์และการประเมินความเสี่ยงของสาเหตุ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์และการประเมินความเสี่ยงของสาเหตุ

ปัจจัย	สาเหตุ	S	O	D	RPN
พนักงาน	พนักงานขาดการฝึกอบรม	3	2	3	$3 \times 2 \times 3 = 18$
พนักงาน	พนักงานหมุนเวียน จากการลาและขาดงาน	3	2	3	$3 \times 2 \times 3 = 18$
วัตถุดิบ	ขนาดความหนาไม่สอดคล้องกับงานที่ผลิต	2	2	1	$2 \times 2 \times 1 = 4$
วัตถุดิบ	ชิ้นงานขึ้นรูปไม่สอดคล้องกับงานที่ผลิต	2	2	1	$2 \times 2 \times 1 = 4$
วิธีการ	ระยะการเจาะไม่เหมาะสม	5	5	5	$5 \times 5 \times 5 = 125$
วิธีการ	แรงดันลมไม่เหมาะสม	5	5	5	$5 \times 5 \times 5 = 125$
วิธีการ	ขนาดแผ่นเหล็กรองฐานแม่พิมพ์ไม่เหมาะสม	5	5	5	$5 \times 5 \times 5 = 125$
เครื่องจักร	ขาดการบำรุงรักษาและกำหนดแผน	2	2	2	$2 \times 2 \times 2 = 8$
เครื่องจักร	ขาดการสอบเทียบเครื่องมือ	2	2	2	$2 \times 2 \times 2 = 8$

จากการวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงของสาเหตุในข้างต้น พบว่าปัจจัยที่มีค่า RPN อยู่ในระดับที่ต้องดำเนินการควบคุมและเร่งดำเนินการแก้ไข ได้แก่ ระยะการเจาะไม่เหมาะสม แรงดันลมไม่เหมาะสม และขนาดแผ่นเหล็กรองฐานแม่พิมพ์ไม่เหมาะสม เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวมีความแปรผันสูงและยังไม่ได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องเจาะรูหยุดตลับลูกปืน ดังนั้นจึงได้ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยหลักและอิทธิพลร่วมเพื่อกำหนดระดับพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

3. กำหนดระดับพารามิเตอร์ของการทดลอง เครื่องเจาะรูหยุดตลับลูกปืน มีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ระยะการเจาะ แรงดันลม และขนาดแผ่นเหล็กรองฐานแม่พิมพ์ แสดงดังตารางที่ 3 และมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ระยะการเจาะ หมายถึง ระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับเครื่องเจาะรูหยุดตลับลูกปืน โดยจากอดีตที่ผ่านมา ระยะการเจาะที่ใช้สูงสุดเท่ากับ 4.00 มิลลิเมตร เป็นการแนะนำตามคู่มือของผู้ผลิตเครื่องเจาะรูหยุดตลับลูกปืน ระยะการเจาะที่ใช้เป็นประจำเท่ากับ 2.00 มิลลิเมตร และระยะการเจาะที่ใช้ต่ำสุดเท่ากับ 2.00 มิลลิเมตร

3.2 แรงดันลม หมายถึง แรงดันลมที่เครื่องใช้เจาะรูหยุดตลับลูกปืน โดยจากอดีตที่ผ่านมา แรงดันลมที่ใช้สูงสุดเท่ากับ 170.00 บาร์ เป็นการแนะนำตามคู่มือของผู้ผลิตเครื่องเจาะรูหยุดตลับลูกปืน แรงดันลมที่ใช้เป็นประจำเท่ากับ 160.00 บาร์ และแรงดันลมที่ใช้ต่ำสุดเท่ากับ 150.00 บาร์

3.3 ขนาดแผ่นเหล็กรองฐานแม่พิมพ์ หมายถึง การปรับระยะของแม่พิมพ์เพื่อใช้เจาะรูหยุดตลับลูกปืน โดยจากอดีตที่ผ่านมา ขนาดแผ่นเหล็กรองฐานแม่พิมพ์ที่ใช้สูงสุดเท่ากับ 5.10 มิลลิเมตร เป็นการแนะนำตามคู่มือของผู้ผลิตเครื่องเจาะรูหยุดตลับลูกปืน ขนาดแผ่นเหล็กรองฐานแม่พิมพ์ที่ใช้เป็นประจำเท่ากับ 5.10 มิลลิเมตร และขนาดแผ่นเหล็กรองฐานแม่พิมพ์ที่ใช้ต่ำสุดเท่ากับ 4.90 มิลลิเมตร

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์และค่าของแต่ละระดับพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ระดับพารามิเตอร์		
		ต่ำ	กลาง	สูง
ระยะการเจาะ (มิลลิเมตร)	A	2.00	3.00	4.00
แรงดันลม (บาร์)	B	150.00	160.00	170.00
ขนาดแผ่นเหล็กรองฐานแม่พิมพ์ (มิลลิเมตร)	C	4.90	5.00	5.10

4. วิเคราะห์ข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลและการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับเครื่องเจาะรูหยุดตลับลูกปืน รุ่นปรับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าสี่ทิศทาง กำหนดให้มี 3 พารามิเตอร์ แต่ละพารามิเตอร์มี 3 ระดับ ทำการทดลองจำนวน 5 ซ้ำ มีจำนวนการทดลองเท่ากับ 135 ครั้ง โดยประยุกต์ใช้โปรแกรม Minitab มาช่วยในการวิเคราะห์ ผลกระทบของพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืน เมื่อพิจารณาผลกระทบของอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วม โดยกำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 หากค่า P-Value ของอิทธิพลใด ๆ มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญจะถือว่าอิทธิพลดังกล่าวส่งผลกระทบต่อค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ พร้อมทั้งตรวจสอบค่า R-sq และ R-sq (adj) ต้องมีค่ามากกว่า 0.80 เพื่อเป็นการยืนยันว่า ผลลัพธ์สามารถอธิบายความแตกต่างของพารามิเตอร์ได้และความพอเพียงของจำนวนข้อมูลที่น่าวิเคราะห์ (Montgomery, 2017) หลังจากที่ได้ทราบว่ามีอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมใดที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองแล้ว ต่อมาจึงกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับเครื่องเจาะรูหยุดตลับลูกปืนด้วยคำสั่ง Response optimizer (Uluskan & Karşı, 2023)

5. ยืนยันผลการทดลอง เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ โดยนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมมาตั้งค่าเครื่องเจาะรูหยุดตลับลูกปืน เพื่อทดลองใช้ในการผลิตรางเลื่อนเบาะรถยนต์รุ่นปรับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าสี่ทิศทางจำนวน 55 ชิ้น จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทดสอบสมมติฐานทางสถิติเพื่อตรวจสอบว่าค่าความลึก

ของรูหยุดตลับลูกปืนเฉลี่ยมีค่ามากกว่า 1.40 มิลลิเมตร และไม่เกิน 1.90 มิลลิเมตร โดยใช้สถิติทดสอบ Z-test ทำการทดสอบ กำหนดสมมติฐานของการทดสอบ ได้แก่ 1) การทดสอบค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนสูงกว่าหรือเท่ากับ 1.40 มิลลิเมตร ที่ยอมรับได้ต่ำสุด กำหนดสมมติฐานหลัก (H_0) ค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนเฉลี่ยสูงกว่าหรือเท่ากับ 1.40 มิลลิเมตร ($H_0 : \mu \geq 1.40$) และสมมติฐานรอง (H_1) ค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนเฉลี่ยต่ำกว่า 1.40 มิลลิเมตร ($H_1 : \mu < 1.40$) หากค่าสถิติทดสอบต่ำกว่าค่าวิกฤติ หรือค่า P-Value ต่ำกว่าระดับนัยสำคัญ จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก และ 2) การทดสอบค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนต้องต่ำกว่า 1.90 มิลลิเมตร ที่ยอมรับได้สูงสุด กำหนดสมมติฐานหลัก (H_0) ค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนเฉลี่ยต่ำกว่าหรือเท่ากับ 1.90 มิลลิเมตร ($H_0 : \mu \leq 1.90$) และสมมติฐานรอง (H_1) ค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนเฉลี่ยสูงกว่า 1.90 มิลลิเมตร ($H_1 : \mu > 1.90$) หากค่าสถิติทดสอบสูงกว่าค่าวิกฤติ หรือค่า P-Value ต่ำกว่าระดับนัยสำคัญ จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Chutima, 2002)

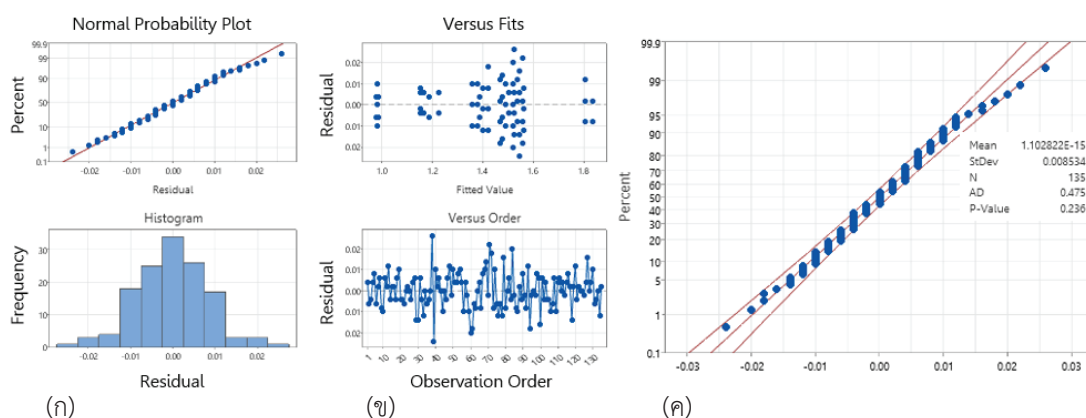
ผลการทดลองและวิจารณ์

เมื่อทำการทดลองและเก็บข้อมูลค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนรุ่นปรับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าสี่ทิศทางตามแผนการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ ข้อมูลค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืน ถูกนำมาวิเคราะห์อิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมของพารามิเตอร์ต่าง ๆ พบว่าอิทธิพลหลัก คือ ระยะเวลาเจาะ แรงดันลม และขนาดแผ่นเหล็กรองฐานแม่พิมพ์ มีค่า P-Value เท่ากับ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าทั้ง 3 พารามิเตอร์มีผลต่อค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืน อิทธิพลร่วมระหว่าง 2 พารามิเตอร์ ได้แก่ ระยะเวลาเจาะร่วมกับแรงดันลม ระยะเวลาเจาะร่วมกับขนาดแผ่นเหล็กรองฐานแม่พิมพ์ แรงดันลมร่วมกับระยะเวลาเจาะ แต่ละคู่มีค่า P-Value เท่ากับ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 พารามิเตอร์ทั้งหมดมีผลต่อค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืน อิทธิพลร่วมระหว่าง 3 พารามิเตอร์ ได้แก่ ระยะเวลาเจาะร่วมกับแรงดันลมร่วมกับขนาดแผ่นเหล็กรองฐานแม่พิมพ์ มีค่า P-Value เท่ากับ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าอิทธิพลร่วมระหว่าง 3 พารามิเตอร์มีผลต่อค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืน แสดงดังตารางที่ 4 นอกจากนี้ยังพบว่า R-sq และ R-sq (adj) มีค่าเท่ากับ 0.99 และ 0.98 ตามลำดับ แสดงว่าผลลัพธ์สามารถอธิบายความแตกต่างของพารามิเตอร์ได้และจำนวนข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์มีความพอเพียง

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์อิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วม

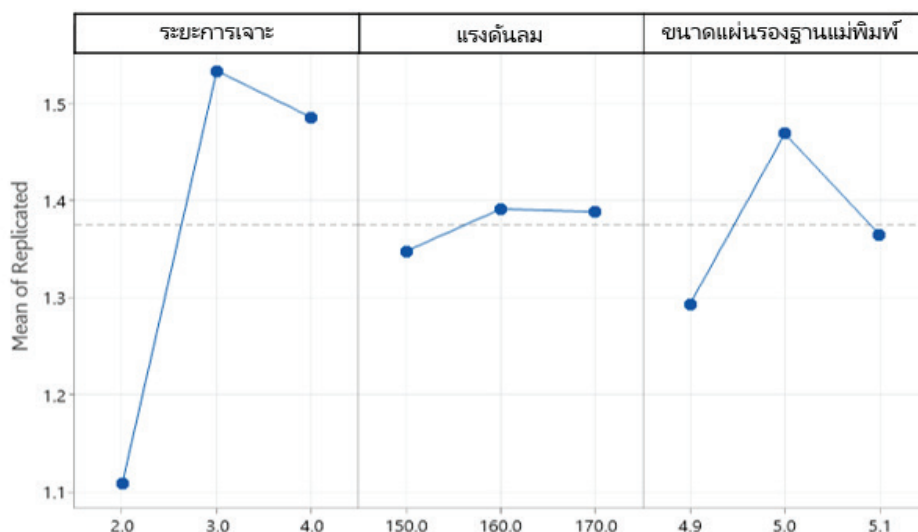
แหล่งความผันแปร	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
อิทธิพลหลัก A	2	4.86	2.43	26903.25	0.00
อิทธิพลหลัก B	2	0.05	0.03	290.91	0.00
อิทธิพลหลัก C	2	0.70	0.35	3850.68	0.00
อิทธิพลร่วม 2 พารามิเตอร์ A x B	4	0.05	0.01	139.70	0.00
อิทธิพลร่วม 2 พารามิเตอร์ A x C	4	0.76	0.19	2111.45	0.00
อิทธิพลร่วม 2 พารามิเตอร์ B x C	4	0.05	0.01	131.16	0.00
อิทธิพลร่วม 3 พารามิเตอร์ A x B x C	8	0.22	0.03	299.27	0.00
ความคลาดเคลื่อน (Error)	108	0.01	0.00		
ผลรวม (Total)	134	6.70			

เมื่อนำส่วนตกค้างไปตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ พบว่าการตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Versus Fits) มีการกระจายตัวของส่วนตกค้างเป็นรูปแบบการกระจายตัวอิสระ ไม่สามารถทำนายรูปแบบได้ แสดงให้เห็นว่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน การตรวจสอบค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดโดยพิจารณาจาก แผนภูมิการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Versus Order) พบว่าส่วนตกค้างในแต่ละระดับมีการกระจายตัวในด้านบวก และลบมีความสมดุลกัน จึงประมาณได้ว่าค่าเฉลี่ยของส่วนตกค้างมีค่าใกล้เคียงศูนย์ จึงสรุปว่าข้อมูลการทดลองนี้ มีความเหมาะสม สามารถนำผลการวิจัยไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไปได้ (Weremfo et al., 2022) การตรวจสอบ ความการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Probability Plot) ของค่าส่วนตกค้าง พบว่ามีการกระจายตามแนวเส้น ตรง และยังพบว่ามีค่า P-Value เท่ากับ 0.24 ซึ่งมีค่าสูงกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักคือข้อมูล มีการแจกแจงแบบปกติ แสดงดังภาพที่ 5



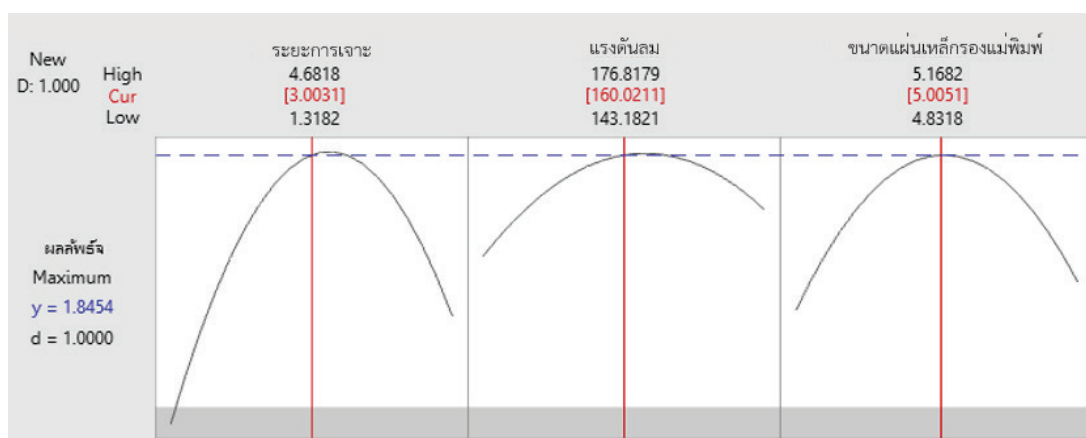
ภาพที่ 5 การตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบส่วนตกค้าง

เมื่อทำการวิเคราะห์หิทธิพลหลักพบว่าเมื่อปรับระยะการเจาะจาก 2.00 มิลลิเมตร เป็น 3.00 มิลลิเมตร ค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและสูงสุดที่ระดับ 3.00 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มระยะเป็น 4.00 มิลลิเมตร ค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนกลับมีแนวโน้มลดลง ดังนั้นระยะการเจาะที่ 3.00 มิลลิเมตร คือจุดที่เหมาะสมที่สุดในแง่ของอิทธิพลหลัก แรงดันลม พบว่าอิทธิพลของแรงดันลมให้ผลลัพธ์ ในทิศทางเดียวกัน โดยค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนจะเพิ่มขึ้นเมื่อแรงดันลมอยู่ที่ 160.00 บาร์ และจะเริ่มคงตัว หรือลดลงเล็กน้อยหากใช้แรงดันสูงเกินกว่านั้น ขนาดแผ่นเหล็กรองฐานแม่พิมพ์ พบว่าขนาดแผ่นเหล็กรองฐาน แม่พิมพ์ที่ 5 มิลลิเมตร ส่งผลให้ได้ค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนสูงสุด แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 อิทธิพลหลักของพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืน

ต่อมาทำการวิเคราะห์ระดับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องเจาะรูหยุดตลับลูกปืนโดยใช้คำสั่ง Response optimizer ในโปรแกรม Minitab กำหนดให้ค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนเป็นแบบมากที่สุด (Maximize) โดยพบว่าควรกำหนดค่าพารามิเตอร์เครื่องเจาะรูหยุดตลับลูกปืน ดังนี้ ระยะการเจาะเท่ากับ 3.00 มิลลิเมตร แรงดันลมเท่ากับ 160.00 บาร์ และขนาดแผ่นเหล็กรองฐานแม่พิมพ์เท่ากับ 5.00 มิลลิเมตร ระดับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องเจาะรูหยุดตลับลูกปืน แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ค่าการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องเจาะรูหยุดตลับลูกปืน

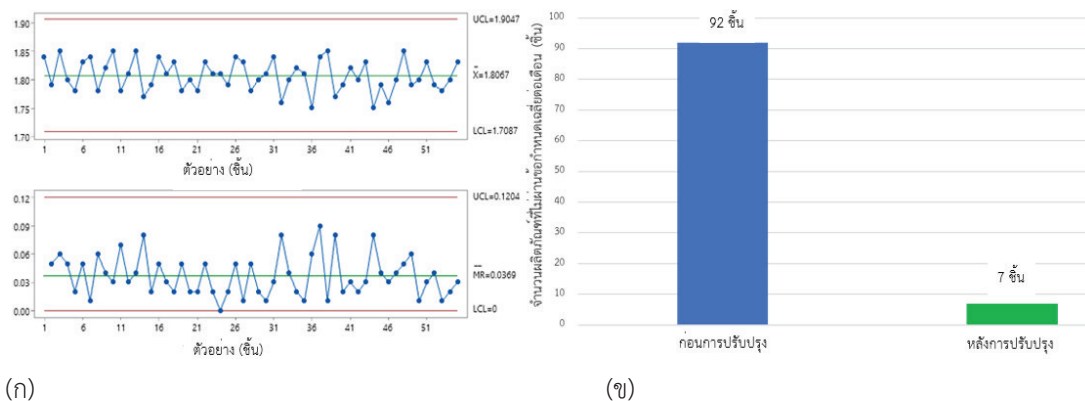
เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมไปใช้ในการผลิตรางเลื่อนเบาะรถยนต์จริงและทดสอบค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืน โดยเก็บข้อมูลค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนจากจำนวนรางเลื่อนเบาะรถยนต์รุ่นปรับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าสี่ทิศทาง จำนวน 55 ชิ้น พบว่ามีค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนเฉลี่ยเท่ากับ 1.81 มิลลิเมตร จากนั้นนำไปทดสอบสมมติฐานทางสถิติตามที่ได้กำหนดไว้ในข้างต้น ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ

สมมติฐาน	ค่าสถิติทดสอบ Z	ค่าวิกฤติ	P-Value	ระดับนัยสำคัญ	ผลลัพธ์
$H_0: \mu \geq 1.40, H_1: \mu < 1.40$	119.15	-1.65	1.00	0.05	ยอมรับ H_0
$H_0: \mu \leq 1.90, H_1: \mu > 1.90$	-27.32	1.65	1.00	0.05	ยอมรับ H_0

การทดสอบเพื่อยืนยันว่าค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนเฉลี่ยต้องสูงกว่า 1.40 มิลลิเมตร พบว่าค่าสถิติทดสอบ Z เท่ากับ 119.15 ซึ่งมากกว่าค่าวิกฤติ และค่า P-Value เท่ากับ 1.00 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก สรุปได้คือค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนเฉลี่ยสูงกว่า 1.40 มิลลิเมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การทดสอบเพื่อยืนยันว่าค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนเฉลี่ยต้องไม่เกิน 1.90 มิลลิเมตร พบว่าค่าสถิติทดสอบ Z เท่ากับ -27.32 ซึ่งต่ำกว่าค่าวิกฤติ และค่า P-Value เท่ากับ 1.00 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก สรุปได้คือค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนเฉลี่ยไม่เกิน 1.90 มิลลิเมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อนำข้อมูลค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนมาตรวจสอบความผันผวนของกระบวนการผลิตรางเลื่อนเบาะรถยนต์รุ่นปรับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าสี่ทิศทาง ด้วยการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมตัวอย่างเดี่ยวและพิสัยเคลื่อนที่ (Individual and moving-range charts: X and MR charts) พบว่าการผันแปรของกระบวนการผลิตอยู่ภายใต้การควบคุม เนื่องจากไม่มีข้อมูลใดอยู่นอกเหนือขีดจำกัดควบคุมและไม่มีการกระจายตัวที่ผิดปกติของข้อมูล นอกจากนี้ยังใช้การวิเคราะห์เปรียบเทียบเพื่อแสดงค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืน โดยพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดก่อนการปรับปรุงมีจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 92 ชิ้นต่อเดือน และผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดหลังการปรับปรุงลดลงจำนวนเฉลี่ยเท่ากับ 7 ชิ้นต่อเดือน คิดเป็นการลดลงร้อยละ 92 เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดก่อนการปรับปรุง ดังนั้นการตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องเจาะรูหยุดตลับลูกปืนเป็นไปตามสมมติฐานมีความเหมาะสมและสามารถควบคุมค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนให้อยู่ภายใต้ขอบเขตที่กำหนด ผลที่เกิดขึ้นจากการนำผลลัพธ์การวิจัยไปใช้กับกระบวนการผลิตจริง แสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ผลที่เกิดจากการนำผลลัพธ์การวิจัยไปใช้กับกระบวนการผลิตจริง

สรุป

การศึกษาวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์ต้องการลดปริมาณรางเลื่อนเบาะรถยนต์รุ่นปรับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าสี่ทิศทาง ที่มีค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนต่ำกว่าข้อกำหนด ซึ่งกำหนดไว้สูงกว่าหรือเท่ากับ 1.40 มิลลิเมตร และไม่เกิน 1.90 มิลลิเมตร มีสาเหตุมาจากการตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องเจาะรูหยุดตลับลูกปืนไม่เหมาะสม ได้แก่ ระยะการเจาะ แรงดันลม และขนาดแผ่นเหล็กรองฐานแม่พิมพ์ การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับได้ถูกนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาการเจาะรูหยุดตลับลูกปืนต่ำกว่ากำหนด ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์ทั้งหมดมีอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมต่อการเจาะรูหยุดตลับลูกปืนโดยสภาวะการเจาะรูหยุดตลับลูกปืนที่เหมาะสมและควรกำหนดค่าพารามิเตอร์ ดังนี้ ระยะการเจาะเท่ากับ 3 มิลลิเมตร แรงดันลมเท่ากับ 160 บาร์ และขนาดแผ่นเหล็กรองฐานแม่พิมพ์เท่ากับ 5 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมไปทดลองเพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์สภาพการผลิตและตรวจสอบความถูกต้องของระดับพารามิเตอร์ที่ได้พบว่ารางเลื่อนเบาะรถยนต์รุ่นปรับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าสี่ทิศทางมีค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนเฉลี่ยเท่ากับ 1.81 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ ผลลัพธ์จากการวิจัยในครั้งนี้ส่งผลให้บริษัทกรณีศึกษาสามารถลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนต่ำกว่าข้อกำหนดจากเฉลี่ย 92 ชิ้นต่อเดือน เหลือเพียงเฉลี่ย 7 ชิ้นต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 92 เทียบกับจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิต และสามารถลดมูลค่าความสูญเสียจากการผลิตที่มีค่าความลึกของรูหยุดตลับลูกปืนต่ำกว่าข้อกำหนดจากเฉลี่ย 82,800 บาทต่อเดือน เหลือเพียง 6,300 บาทต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 92 เทียบกับมูลค่าความสูญเสียก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิต

การศึกษาวิจัยในอนาคตสามารถนำแนวทางการแก้ปัญหาไปประยุกต์ใช้กับลักษณะความบกพร่องอื่นที่ยังไม่ได้รับการแก้ไข เช่น ค่าความผิดของรางเลื่อนเบาะรถยนต์สูงกว่าข้อกำหนด ค่าระยะเคลื่อนที่ของรางเลื่อนเบาะรถยนต์ไม่ผ่านข้อกำหนด และค่าเสียงดังของรางเลื่อนเบาะรถยนต์เกินข้อกำหนด นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาวิธีการที่นำเสนอร่วมกับระบบควบคุมอัตโนมัติด้วยการติดตั้งระบบเซนเซอร์ตรวจจับข้อมูลแบบเรียลไทม์ เพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องจักรและความผิดปกติของกระบวนการผลิตได้ในขณะปฏิบัติงานทันที

เอกสารอ้างอิง

- Chayarathi, C., Rakkran, S., & Plongmai, J. (2021). Design of experiment to reduce waste in plating process. **Journal of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University**, 1(1), 29-38. (In Thai)
- Chutima, P. (2002). **Engineering design of experiments**. Bangkok, Thailand: Chulalongkorn University Press. (In Thai)
- Koohathongsumrit, N., & Chankham, W. (2026). Electric vehicle purchase decision: A hybrid multi-criteria decision-making method. **EURO Journal on Decision Processes**, 14, 100070.
- Lin, C.-Y. (2024). Cause-and-effect diagram-based supersaturated designs. **Quality Engineering**, 36(4), 651-666.
- Mahanil, N., Wangraiklang, B., Jongaramreung, S., Winitchai, W., & Jattukul, W. (2024). Application of DMAIC principles based on the concept of six sigma to reduce defects in the automotive assembly welding process. **Journal of science and Technology, Southeast Bangkok University**, 4(1), 68-81. (In Thai)
- Montgomery, D. C. (2017). **Design and analysis of experiments**. (9). Hoboken NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Silaloy, S., & Na-Badalung, C. (2024). Determining the optimal parameters of oil checking processing using engineering experimental design techniques. **Journal of Engineering and Digital Technology**, 12(2), 48-54. (In Thai)
- Transport statistics sub-division planning division department of land transport. (2025). **New vehicle registration statistics**. Retrieved from <https://web.dlt.go.th/statistics/> [2025, 5 Jul.]
- Uluskan, M., & Karşı, M. G. (2023). predictive six sigma for Turkish manufacturers: utilization of machine learning tools in DMAIC. **International Journal of Lean Six Sigma**, 14(3), 630-652.
- Weremfo, A., Abassah-Oppong, S., Adulley, F., Dabie, K., & Seidu-Larry, S. (2022). Response surface methodology as a tool to optimize the extraction of bioactive compounds from plant sources. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 103(1), 26-36.
- Wadsungnoen, P., & Osothsilp, N. (2023). Defective Reduction from Cracking Paint and Thin Paint in Powder Coated Painting Process of Window Frame of Canopy. **Srinakharinwirot University Engineering Journal**, 18(1), 31-42. (In Thai)
- Yimyam, R., & Koohathongsumrit, N. (2025). Defect reduction of motorcycle battery using design and analysis of experiment. **Kasem Bundit Engineering Journal**, 15(2), 1-16. (In Thai)

การลดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นตามข้อกำหนดในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์พลาสติกโดยใช้
การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียล 2^k
REDUCTION OF NONCONFORMING PRODUCTS IN PLASTIC-PACKAGING INDUSTRY
USING 2^k FACTORIAL EXPERIMENT DESIGN

พิทักษ์ อนุรักษ์¹ และ นิติเดช คูหาทองสัมฤทธิ์^{2*}

¹สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร 10240

²ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร 10240

Pitak Anurak¹ and Nitidetch Koohathongsumrit^{2*}

¹ Engineering Management and Technology, Faculty of Engineering, Ramkhamhaeng University, Bangkok 10240

² Department of Statistics, Faculty of Science, Ramkhamhaeng University, Bangkok 10240

*E-mail: nitidetch.k@ru.ac.th

Received: 02-03-2006

Revised: 16-06-2026

Accepted: 16-06-2026

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณถุงสูญญากาศที่มีจำนวนรอยตำหนิบนผิวเกินกว่าข้อกำหนดโดยใช้การออกแบบการทดลอง โดยปัญหาดังกล่าวเกิดจากการตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องเป่าฟิล์มที่ไม่เหมาะสม เมื่อเครื่องเป่าฟิล์มมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ อัตราการป้อนเม็ดพลาสติก อุณหภูมิหลอมในชุดขึ้นรูปฟิล์ม และอุณหภูมิในการหลอมพลาสติกของสกรูจำนวนสามตัว การวิจัยได้ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียล 2^k เพื่อกำหนดสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องเป่าฟิล์ม ผลการศึกษาพบว่าพารามิเตอร์ทั้งหมดมีอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมต่อรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ โดยควรกำหนดค่าพารามิเตอร์เครื่องเป่าฟิล์มที่เหมาะสมดังนี้ อัตราการป้อนเม็ดพลาสติกเท่ากับ 485 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อุณหภูมิหลอมในชุดขึ้นรูปฟิล์มเท่ากับ 205 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิในการหลอมของสกรูจำนวนสามตัวเท่ากับ 185, 200 และ 195 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมไปทดลองใช้จริง พบว่าสามารถลดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่มีรอยตำหนิเกินกว่าข้อกำหนดได้ร้อยละ 11.04 เมื่อเทียบกับปริมาณผลิตภัณฑ์ที่มีรอยตำหนิเกินกว่าข้อกำหนดก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิต ผลการวิจัยนี้ช่วยยกระดับคุณภาพและเพิ่มความสม่ำเสมอของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์พลาสติกแบบถุงสูญญากาศได้อย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียล รอยตำหนิ การปรับปรุงกระบวนการผลิต ถุงสูญญากาศ

ABSTRACT

The purpose of this study is to reduce the total number of vacuum bags with surface defects exceeding specification limits by applying the design of experiment. The problem arose from inappropriate parameter settings of the film-blowing machine used in the production of vacuum plastic bags. The relevant parameters include the feed rate, the melt temperature at the film-forming die, and the melt temperatures of three extrusion screws. The study used 2^k factorial experiment design to identify the optimal parameters of the film-blowing machine. The results revealed that all the parameters exhibited main and interaction effects on surface defects of the product. The optimal parameter settings were determined as follows: a feed rate of 485 kg/h, melt temperature at the film-forming die of 205°C, and screw melt temperatures of 185°C, 200°C, and 195°C, respectively. When these optimal conditions were implemented in the actual production, the nonconforming products with surface defects exceeding specification limits decreased by 11.04% compared with the pre-improvement process. The findings confirm that the systematic application of factorial experimental design can effectively enhance product quality and improve process consistency in the vacuum plastic packaging industry, thereby supporting sustainable quality improvement in manufacturing operations.

Keywords: Factorial experimental design, Defect, Process improvement, Vacuum bag

บทนำ

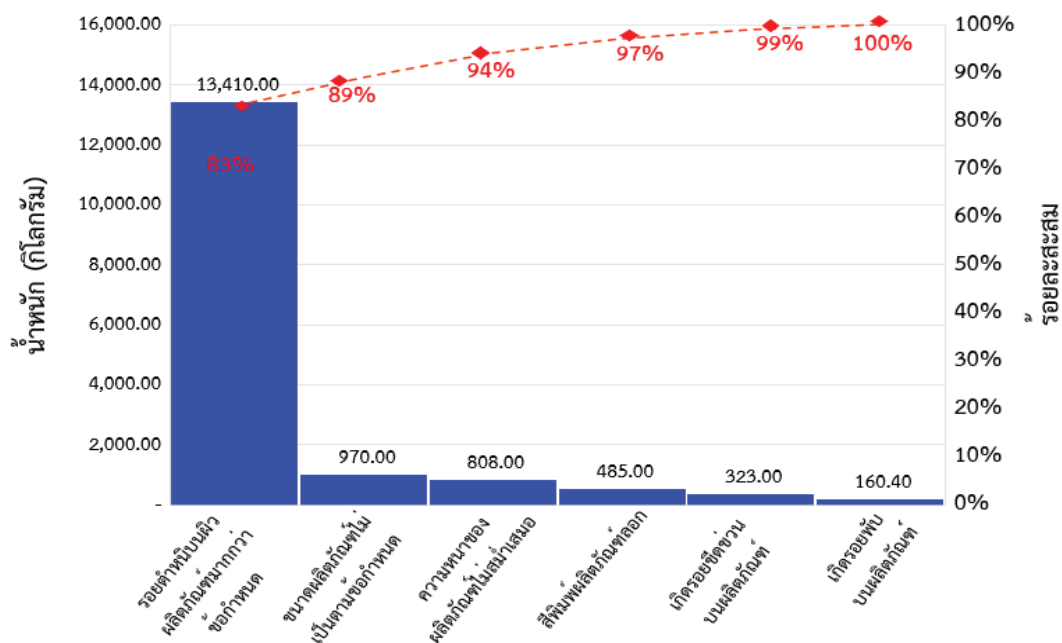
จากข้อมูลการส่งออกปี พ.ศ. 2563-2567 มูลค่าการส่งออกเม็ดพลาสติกและผลิตภัณฑ์พลาสติกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 339,391.09 ล้านบาทต่อปี (Thailand's Trade Statistic Report System of Ministry of Commerce, 2024) ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงปัญหาเศรษฐกิจทำให้ต้นทุนเม็ดพลาสติกมีค่าสูงขึ้น อีกทั้งค่าแรงงานยังปรับตัวสูงขึ้นด้วย ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้นตาม นอกจากนี้ยังประสบปัญหาสภาวะการแข่งขันอย่างรุนแรงเนื่องจากในประเทศไทยมีผู้ประกอบการอุตสาหกรรมพลาสติกจำนวนมาก จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมพลาสติกต้องมีการปรับตัวเพื่อให้ธุรกิจสามารถอยู่รอดได้ในสภาวะปัจจุบัน โดยการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นตามข้อกำหนดลงนั้นก็นับว่าเป็นวิธีหนึ่งที่สำคัญที่สามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตได้

บริษัท รมศึกษาเป็นผู้ผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์พลาสติกสำเร็จรูป ดำเนินธุรกิจในรูปแบบการผลิตตามคำสั่งซื้อของลูกค้า ผลิตภัณฑ์หลักของบริษัท ได้แก่ ถุงสุญญากาศ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ขนาด ได้แก่ ถุงสุญญากาศขนาด 24×27.5 มิลลิเมตร ถุงสุญญากาศขนาด 18.5×20 มิลลิเมตร และถุงสุญญากาศขนาด 15×21.5 มิลลิเมตร แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ถุงสุญญากาศแต่ละขนาด

จากข้อมูลรายงานการผลิตพบว่าในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2568 ถุงสุญญากาศขนาด 24×27.5 มิลลิเมตร มีปริมาณการผลิตสูงสุดเท่ากับ 650,740.10 กิโลกรัม เป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นตามข้อกำหนดจำนวน 16,156.40 กิโลกรัม คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4,039.10 กิโลกรัมต่อเดือน แบ่งออกเป็น 6 ลักษณะสำคัญแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นตามข้อกำหนด

การเกิดรอยตำหนิบนผลิตภัณฑ์เป็นหนึ่งในลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นตามข้อกำหนดมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 83 ของปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นตามข้อกำหนดทั้งหมด โดยการเกิดรอยตำหนิบนผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็น จุดนูนใสส่งผลให้ผิวผลิตภัณฑ์ไม่เรียบ ทั้งนี้ตามมาตรฐานกำหนดไว้ว่าจำนวนรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ต้องไม่เกิน 4 จุด ต่อตารางเมตร เมื่อศึกษาเบื้องต้นพบว่าปัญหาดังกล่าวเกิดจากการตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องเป่าฟิล์มไม่เหมาะสม ได้แก่ อัตราการป้อนเม็ดพลาสติก อุณหภูมิหลอมในชุดขึ้นรูปฟิล์ม อุณหภูมิในกระบอกหลอมพลาสติกจำนวน 3 กระบอก โดยใช้การตั้งค่าตามประสบการณ์การทำงานของผู้ควบคุมเครื่องจักร ส่งผลให้เกิดปัญหาต่าง ๆ เช่น หากตั้งอุณหภูมิสูงเกินไป อาจทำให้เกิดรอยตำหนิเพิ่มขึ้น แต่หากตั้งอุณหภูมิที่ต่ำเกินไปจะทำให้เครื่องจักรหยุดการทำงานมากขึ้น ในทำนองเดียวกันหากกำหนดอัตราป้อนเม็ดพลาสติกสูงเกินไป อาจทำให้ฟิล์มพลาสติกมีรอยตำหนิมากขึ้น ทั้งนี้เครื่องเป่าฟิล์มยังมีพารามิเตอร์ที่ควบคุมไม่ได้ ได้แก่ ชนิดเม็ดพลาสติกเนื่องจากเป็นข้อกำหนดของทางลูกค้า เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงต้องการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการตั้งค่าเครื่องเป่าฟิล์มเพื่อแก้ปัญหาการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีรอยตำหนิบนผิวมากกว่าข้อกำหนด

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องจักรเพื่อลดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนด พบว่างานวิจัยส่วนใหญ่ใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^k (2^k Factorial Experiment Design) ซึ่งเป็นวิธีการออกแบบการทดลองที่ประกอบด้วยปัจจัยจำนวน k ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ (ต่ำและสูง) (Montgomery, 2017) เพื่อศึกษาทั้งอิทธิพลหลัก (main effects) และอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย (interaction effects) ได้แก่ งานวิจัยของ Chayarithi et al. (2021) ได้ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^5 ในการกำหนดสภาวะที่เหมาะสมกระบวนการชุบโครเมียมเพื่อลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด งานวิจัยของ Sonthipermphoon et al. (2023) ได้ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^3 กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการเชื่อมแบบจุดเพื่อให้ได้ค่าความต้านทานแรงดึงเฉือนที่เป็นไปตามมาตรฐาน งานวิจัยของ Meenu & Peopayom (2026) ได้ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^3 เพื่อการศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการสึกหรอของเครื่องมือตัดเคลือบ TiAlN ในการกัดเหล็กกล้า SKD61 งานวิจัยของ Tinsok & Koohathongsumrit (2025) ได้ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^3 เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเกี่ยวกับการลดปริมาณเครื่องประดับไทเทเนียมที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอีกกลุ่มหนึ่งที่นำวิธีการออกแบบการทดลองวิธีอื่นมาใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องจักร ได้แก่ การออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิ การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design และการทดลองแบบส่วนผสมกลาง ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Kanjanakarn et al. (2023) ได้ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบวิธีทากูชิ ในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมการฉีดขึ้นรูปพลาสติกพอลิโพรพิลีนในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก 2 คาวิตี งานวิจัยของ Na Nakorn et al. (2026) ได้ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง ผลกระทบของปัจจัยการอัดรีดต่อคุณสมบัติเชิงกลของเส้นใยพลาสติก ABS รีไซเคิล งานวิจัยของ Taptimdee et al. (2026) ได้ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design กระบวนการพารามิเตอร์การตัดด้วยเลเซอร์ CO_2 ต่อความกว้างรอยตัดบนวัสดุ PMMA อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ได้เลือกใช้ 2^k เนื่องจากมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์แต่ละพารามิเตอร์เป็น 2 ระดับ และสอดคล้องกับกระบวนการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา

จากความสำคัญของปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น การศึกษาวิจัยนี้ต้องการประยุกต์การออกแบบการทดลอง 2^k ในการตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องเป่าฟิล์มเพื่อแก้ปัญหาลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีรอยตำหนิ พร้อมทั้งศึกษาอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมของพารามิเตอร์ต่าง ๆ และสุดท้ายกำหนดระดับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการตั้งค่าเครื่อง

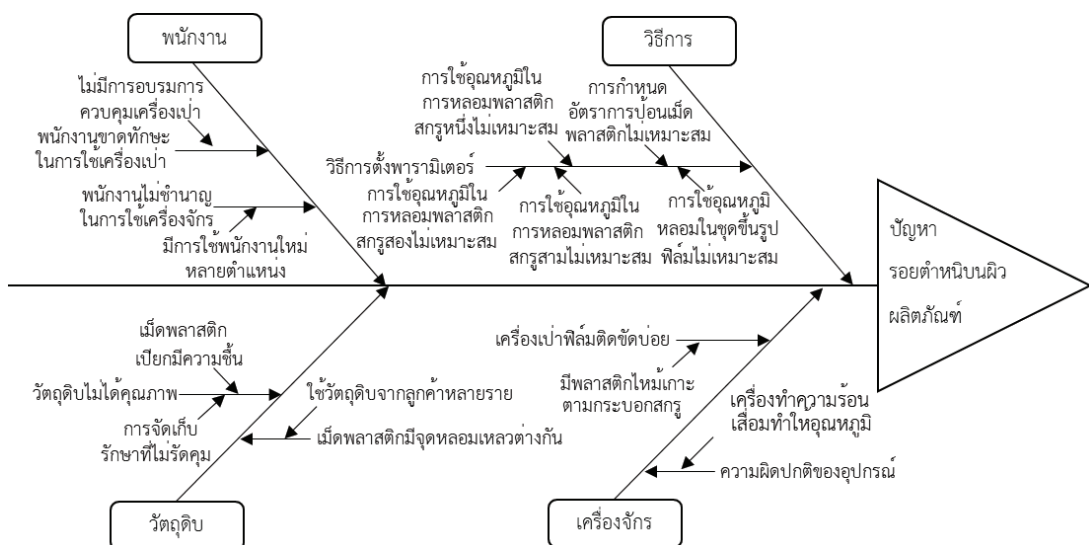
เป่าฟิล์ม ประโยชน์จากการวิจัยนี้จะช่วยลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มคุณภาพของฟิล์มพลาสติก ตลอดจนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและเสถียรภาพของกระบวนการผลิตให้สามารถดำเนินงานได้อย่างเหมาะสมและมีมาตรฐานมากยิ่งขึ้น

วิธีการ

งานวิจัยนี้ประยุกต์วิธีการออกแบบการทดลองแฟกทอเรียล 2^k เพื่อลดปริมาณรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าข้อกำหนด โดยมีวิธีการดำเนินงานวิจัยดังนี้

1. การผลิตฟิล์มแบบเป่าเริ่มจากการเตรียมเม็ดพลาสติกและลำเลียงเข้าสู่ถังพักก่อนส่งเข้าสู่เครื่องอัดรีดแบบสกรูเพื่อหลอมด้วยความร้อนและแรงเฉือน พลาสติกหลอมเหลวถูกส่งผ่านชุดขึ้นรูปฟิล์มเป็นท่อและทำให้เย็นตัวด้วยลมเป่าพร้อมทั้งอัดอากาศให้เกิดการพองตัวเพื่อกำหนดความกว้างและความหนา ฟิล์มที่ได้จะผ่านระบบตรวจวัดความหนาอัตโนมัติ ก่อนถูกพับฟิล์มและดึงให้เป็นแผ่นเรียบสม่ำเสมอ ปรับสภาพผิวฟิล์มเพื่อเพิ่มการยึดเกาะของหมึกพิมพ์แล้วจึงม้วนเก็บเป็นม้วนฟิล์ม ภายหลังดำเนินการตรวจสอบคุณภาพตามมาตรฐานและติดป้ายซีบ่งก่อนนำเข้าสู่คลังสินค้าเพื่อรอการส่งมอบต่อไป

2. วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา แผนภาพแสดงเหตุและผลถูกนำมาใช้เพื่อสำรวจความคิดเห็นจากผู้ที่เกี่ยวข้องร่วมกันระดมสมองเพื่อวิเคราะห์สาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหารอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ (Srinivasan et al., 2024) ได้แก่ ผู้ช่วยผู้จัดการควบคุมคุณภาพ หัวหน้าฝ่ายวิจัยและพัฒนา วิศวกรผลิต และผู้ช่วยผู้จัดการผลิต ผลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพแสดงเหตุและผล แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพแสดงเหตุและผล

การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหารอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ พบว่ามีสาเหตุมาจาก 1) พนักงาน (man) เนื่องจากพนักงานใหม่ พนักงานไม่ชำนาญในการใช้เครื่องเป่าฟิล์ม ไม่มีการอบรมควบคุมเครื่องเป่าฟิล์มพนักงานขาดทักษะในการใช้เครื่องเป่าฟิล์ม 2) วิธีการ (method) การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องเป่าฟิล์มไม่เหมาะสม

เนื่องจากอัตราการป้อนเม็ดพลาสติกไม่เหมาะสม อุณหภูมิหลอมในชุดขึ้นรูปฟิล์มไม่เหมาะสม อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูหนึ่งไม่เหมาะสม อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสองไม่เหมาะสม และอุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสามไม่เหมาะสม 3) วัสดุดิบ (material) ใช้วัสดุดิบต่างชนิดกันมีช่วงจุดหลอมเหลวต่างกัน เม็ดพลาสติกเปียกมีความชื้นจากการจัดเก็บไม่ดี ทำให้ไม่มีคุณภาพ และ 4) เครื่องเป่าฟิล์ม (Machine) ฮีตเตอร์เสื่อมทำให้อุณหภูมิไม่คงที่ที่เกิดจากความผิดปกติของอุปกรณ์ มีพลาสติกไหม้เกาะตามสกรูเกิดจากการบำรุงรักษาไม่ดี

จากนั้นทำการประเมินความสำคัญของสาเหตุ โดยใช้การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure mode and effects analysis: FMEA) โดยใช้ฉันทามติจากผู้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเป่าฟิล์ม ซึ่งเป็นผู้ประเมินกลุ่มเดียวกับที่ทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา โดยประเมินสาเหตุของปัญหาทั้ง 3 องค์ประกอบ ได้แก่ ความรุนแรง (Severity: S) ความถี่โอกาสที่จะเกิด (Occurrence: O) และความสามารถในการตรวจสอบ (Detection: D) โดยใช้ผู้ประเมินชุดเดียวกันกับที่ทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาในขั้นตอนที่ผ่านมา ผู้ประเมินทั้งหมดได้ระดมสมองและประเมินระดับของสาเหตุต่าง ๆ ด้วยฉันทามติขององค์ประกอบต่าง ๆ ตามเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้ แสดงดังตารางที่ 1 ต่อมาได้นำระดับขององค์ประกอบทั้งหมดมาคำนวณค่าดัชนีความเสี่ยง (Risk Priority Number: RPN) ซึ่งสาเหตุที่มีค่า RPN มากกว่า 80 คะแนน ขึ้นไปจะถูกนำไปแก้ไข ผลการวิเคราะห์และการประเมินความเสี่ยงของสาเหตุแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 เกณฑ์การประเมินสำหรับการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ

ระดับ	(S) ความรุนแรง	(O) ความถี่โอกาสที่จะเกิด	(D) ความสามารถในการตรวจพบ
1	ส่งผลให้เกิดปริมาณผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านข้อกำหนดไม่เกินร้อยละ 10 จากปริมาณการผลิตทั้งหมด	มีโอกาสดังเกิดขึ้นไม่เกิน 1 ครั้งต่อสัปดาห์	สามารถตรวจพบรอยตำหนิได้ด้วยสายตาไม่ต้องใช้อุปกรณ์ช่วย
2	ส่งผลให้เกิดปริมาณผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านข้อกำหนดมากกว่าร้อยละ 10 แต่ไม่เกินร้อยละ 20 จากปริมาณการผลิตทั้งหมด	มีโอกาสดังเกิดขึ้นมากกว่า 1 ครั้ง แต่ไม่เกิน 2 ครั้งต่อสัปดาห์	สามารถตรวจพบรอยตำหนิด้วยกล้องความละเอียดต่ำ
3	ส่งผลให้เกิดปริมาณผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านข้อกำหนด มากกว่าร้อยละ 20 แต่ไม่เกินร้อยละ 30 จากปริมาณการผลิตทั้งหมด	มีโอกาสดังเกิดขึ้นมากกว่า 2 ครั้ง แต่ไม่เกิน 3 ครั้งต่อสัปดาห์	สามารถตรวจพบรอยตำหนิด้วยกล้องความละเอียดปานกลาง
4	ส่งผลให้เกิดปริมาณผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านข้อกำหนด มากกว่าร้อยละ 30 แต่ไม่เกินร้อยละ 40 จากปริมาณการผลิตทั้งหมด	แต่มีโอกาสดังเกิดขึ้นมากกว่า 3 ครั้ง แต่ไม่เกิน 4 ครั้งต่อสัปดาห์	สามารถตรวจพบรอยตำหนิด้วยกล้องความละเอียดสูง
5	ส่งผลให้เกิดปริมาณผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านข้อกำหนด มากกว่าร้อยละ 40 จากปริมาณการผลิตทั้งหมด	มีโอกาสดังเกิดขึ้นมากกว่า 4 ครั้งต่อสัปดาห์	สามารถตรวจพบรอยตำหนิด้วยผู้เชี่ยวชาญ

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์และการประเมินความเสี่ยงของสาเหตุ

ปัจจัย	สาเหตุ	S	O	D	RPN
คน	พนักงานไม่มีการอบรมการควบคุมเครื่องเป่าฟิล์ม	3	2	3	$3 \times 2 \times 3 = 18$
คน	มีการใช้พนักงานงานใหม่หลายตำแหน่ง	3	2	3	$3 \times 2 \times 3 = 18$
วัตถุดิบ	เม็ดพลาสติกมีความชื้น เกิดจากการจัดเก็บไม่เหมาะสม	2	2	1	$2 \times 2 \times 1 = 4$
วัตถุดิบ	ใช้วัตถุดิบที่ต่างชนิดกันมีช่วงจุดหลอมเหลวที่ต่างกัน	2	2	1	$2 \times 2 \times 1 = 4$
เครื่องจักร	มีพลาสติกไหม้เกาะตามกระบอกรูด จากการบำรุงรักษาไม่ดี	2	3	2	$2 \times 3 \times 2 = 12$
เครื่องจักร	ฮีตเตอร์เสื่อมทำให้อุณหภูมิไม่คงที่	2	3	2	$2 \times 3 \times 2 = 12$
วิธีการ	อัตราการป้อนเม็ดพลาสติกไม่เหมาะสม	5	5	4	$5 \times 5 \times 4 = 100$
วิธีการ	อุณหภูมิหลอมในชุดขึ้นรูปฟิล์มไม่เหมาะสม	5	5	4	$5 \times 5 \times 4 = 100$
วิธีการ	อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูหนึ่งไม่เหมาะสม	5	5	4	$5 \times 5 \times 4 = 100$
วิธีการ	อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสองไม่เหมาะสม	5	5	4	$5 \times 5 \times 4 = 100$
วิธีการ	อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสามไม่เหมาะสม	5	5	4	$5 \times 5 \times 4 = 100$

จากการวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงของสาเหตุในข้างต้น พบว่ามี 5 สาเหตุที่ต้องเร่งดำเนินการแก้ไข ได้แก่ อัตราการป้อนเม็ดพลาสติกไม่เหมาะสม อุณหภูมิหลอมในชุดขึ้นรูปฟิล์มไม่เหมาะสม อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูหนึ่งไม่เหมาะสม อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสองไม่เหมาะสม และอุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสามไม่เหมาะสม ทั้ง 5 สาเหตุ มีค่า RPN เท่ากับ 100 ดังนั้นการแก้ไขปัญหาและหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการตั้งค่าเครื่องเป่าฟิล์ม งานวิจัยนี้ใช้การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียล 2^k เพื่อระบุค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องเป่าฟิล์ม

3. กำหนดพารามิเตอร์ของการทดลอง เครื่องเป่าฟิล์มมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง 5 พารามิเตอร์ ได้แก่ อัตราการป้อนเม็ดพลาสติก อุณหภูมิหลอมในชุดขึ้นรูปฟิล์ม อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูหนึ่ง อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสอง และอุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสาม แสดงดังภาพที่ 4 และตารางที่ 3 โดยพารามิเตอร์ทั้งหมด มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ระดับพารามิเตอร์	
		ต่ำ	สูง
อัตราการป้อนเม็ดพลาสติก (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	A	485	500
อุณหภูมิหลอมในชุดขึ้นรูปฟิล์ม (องศาเซลเซียส)	B	195	205
อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูหนึ่ง (องศาเซลเซียส)	C	185	195
อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสอง (องศาเซลเซียส)	D	190	200
อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสาม (องศาเซลเซียส)	E	185	195

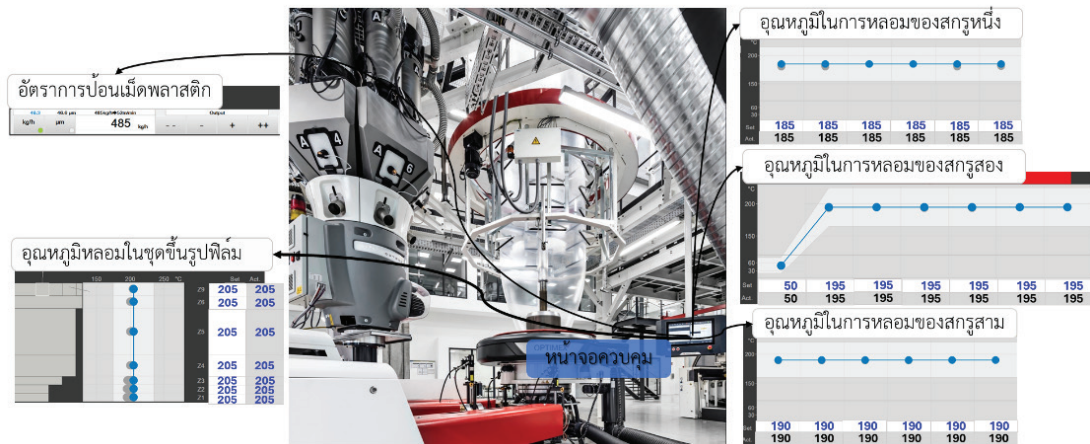
3.1 อัตราการป้อนเม็ดพลาสติก หมายถึง อัตราการป้อนเม็ดพลาสติกเข้าเครื่องเป่าฟิล์ม โดยจากอดีตที่ผ่านมาอัตราการป้อนเม็ดพลาสติกที่ใช้สูงสุดเท่ากับ 500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เป็นการแนะนำตามคู่มือของผู้ผลิตเครื่องเป่าฟิล์ม อัตราการป้อนเม็ดพลาสติก และอัตราการป้อนเม็ดพลาสติกต่ำสุดเท่ากับ 485 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

3.2 อุณหภูมิหลอมในชุดขึ้นรูปฟิล์ม หมายถึง อุณหภูมิหลอมในชุดขึ้นรูปฟิล์มที่เครื่องเป่าฟิล์ม โดยจากอดีตที่ผ่านมาอุณหภูมิหลอมในชุดขึ้นรูปฟิล์มที่ใช้สูงสุดเท่ากับ 205 องศาเซลเซียส เป็นการแนะนำตามคู่มือของผู้ผลิตเครื่องเป่าฟิล์ม และอุณหภูมิหลอมในชุดขึ้นรูปฟิล์มที่ใช้ต่ำสุดเท่ากับ 195 องศาเซลเซียส

3.3 อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูหนึ่ง หมายถึง อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูหนึ่งที่เครื่องเป่าฟิล์ม โดยจากอดีตที่ผ่านมาอุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูหนึ่งที่ใช้สูงสุดเท่ากับ 195 องศาเซลเซียส เป็นการแนะนำตามคู่มือของผู้ผลิตเครื่องเป่าฟิล์ม และอุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูหนึ่งที่ใช้ต่ำสุดเท่ากับ 185 องศาเซลเซียส

3.4 อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสอง หมายถึง อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสองที่เครื่องเป่าฟิล์ม โดยจากอดีตที่ผ่านมาอุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสองที่ใช้สูงสุดเท่ากับ 200 องศาเซลเซียส เป็นการแนะนำตามคู่มือของผู้ผลิตเครื่องเป่าฟิล์ม และอุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสองที่ใช้ต่ำสุดเท่ากับ 190 องศาเซลเซียส

3.5 อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสาม หมายถึง อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสามที่เครื่องเป่าฟิล์ม โดยจากอดีตที่ผ่านมาอุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสามที่ใช้สูงสุดเท่ากับ 195 องศาเซลเซียส เป็นการแนะนำตามคู่มือของผู้ผลิตเครื่องเป่าฟิล์ม และอุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสามที่ใช้ต่ำสุดเท่ากับ 185 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4 เครื่องเป่าฟิล์มและตำแหน่งพารามิเตอร์ในการทดลอง

4. วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การทดลองแฟกทอเรียล 2^k การวิเคราะห์ข้อมูลและการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการลดรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ กำหนดให้มี 5 พารามิเตอร์ แต่ละพารามิเตอร์มี 2 ระดับ ทำการทดลองจำนวน 5 ซ้ำ มีจำนวนการทดลองเท่ากับ 160 ครั้ง โดยประยุกต์โปรแกรม Minitab (Malkoc et al., 2023) มาช่วยในการวิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ เพื่อพิจารณาจากค่าความน่าจะเป็นที่จะยอมรับสมมติฐานหลัก (P-Value) ของอิทธิพลหลัก (main effects) และอิทธิพลร่วม (interaction effects) เมื่อกำหนดระดับนัยสำคัญ (Significant level: α) เท่ากับ 0.05 หากค่า P-Value ของอิทธิพลใด ๆ มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ ถือว่าพารามิเตอร์นั้นมีนัยสำคัญทางสถิติและมีผลกระทบต่อจำนวนรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์อย่างแท้จริง หลังจากที่ทำทราบว่าอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมใดที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองแล้ว (Chutima, 2002) ต่อมาจึงวิเคราะห์ระดับของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เหมาะสมสำหรับการตั้งค่าเครื่องเป่าฟิล์มด้วยคำสั่ง Response optimizer ในโปรแกรม Minitab โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ได้จำนวนรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด

5. วิเคราะห์และยืนยันผลการทดลอง ในขั้นตอนนี้เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของผลการวิเคราะห์โดยนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดมาตั้งค่าเครื่องเป่าฟิล์มซึ่งได้จากการทดลองก่อนหน้านี้ เพื่อทดลองใช้ในการผลิตฟิล์มพลาสติกจำนวน 30 ชุด จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทดสอบสมมติฐานทางสถิติเพื่อตรวจสอบว่าจำนวนรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้มีคุณภาพตามมาตรฐานหรือไม่ โดยใช้สถิติทดสอบ Z-test ทำการทดสอบเมื่อสมมติฐานของการทดสอบ ได้แก่ สมมติฐานหลัก $H_0 : \mu \leq 4$ และสมมติฐานรอง $H_1 : \mu > 4$ หากค่า P-Value ของสถิติทดสอบมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับระดับนัยสำคัญ 0.05 จะยอมรับสมมติฐานหลัก แต่หากค่า P-Value ของสถิติทดสอบมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก

ผลการทดลองและวิจารณ์

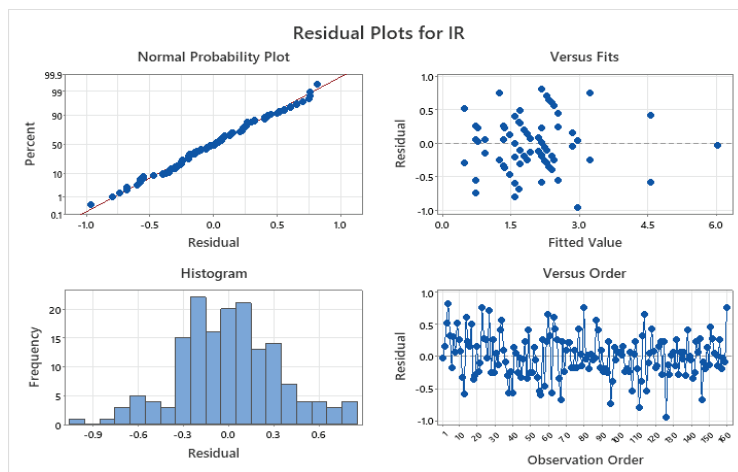
เมื่อทำการทดลองและเก็บข้อมูลจำนวนรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ตามแผนการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ ข้อมูลจำนวนรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ถูกนำมาวิเคราะห์อิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมของพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อตรวจสอบว่าพารามิเตอร์ทั้งหมดมีอิทธิพลต่อรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์หรือไม่ ในการวิเคราะห์พบว่าค่าพารามิเตอร์

ทั้งหมดมีอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมต่อรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ ยกเว้นอิทธิพลร่วมระหว่างพารามิเตอร์ $A \times B$, $B \times D$, $C \times D$ และ $B \times E$ จึงทำการตัดเทอมดังกล่าวและทำการวิเคราะห์อีกครั้งหนึ่ง พบว่าค่าพารามิเตอร์หลักและพารามิเตอร์ร่วมที่เหลือทั้งหมดมีอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมต่อรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 และเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่นำองค์ความเป็นอิสระมาพิจารณา $R\text{-sq (adj)}$ มีค่าเท่ากับร้อยละ 89.95 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ $R\text{-sq}$ มีค่าเท่ากับร้อยละ 88.28 แสดงว่าแบบจำลองสามารถนำไปใช้เพื่อหารอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม (Montgomery, 2017) ผลการวิเคราะห์อิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วม แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์อิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วม

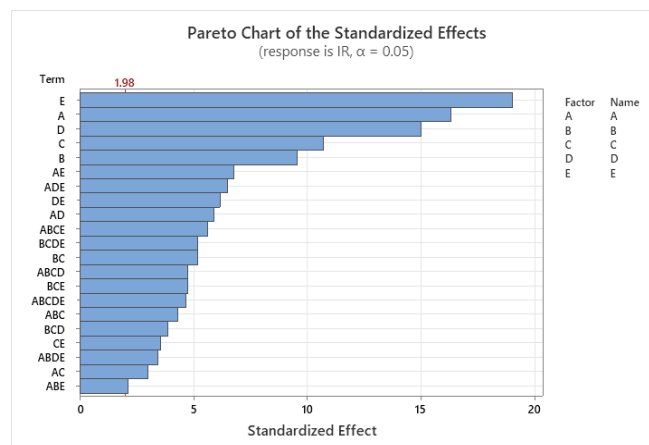
แหล่งความผันแปร	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
อิทธิพลหลักพารามิเตอร์ A	1	34.78	34.78	265.71	0.00
อิทธิพลหลักพารามิเตอร์ B	1	11.99	11.99	91.60	0.00
อิทธิพลหลักพารามิเตอร์ C	1	15.01	15.01	114.64	0.00
อิทธิพลหลักพารามิเตอร์ D	1	29.41	29.41	224.69	0.00
อิทธิพลหลักพารามิเตอร์ E	1	47.31	47.31	361.39	0.00
อิทธิพลร่วม 2 พารามิเตอร์ $A \times C$	1	1.19	1.19	9.09	0.00
อิทธิพลร่วม 2 พารามิเตอร์ $A \times D$	1	4.56	4.56	34.81	0.00
อิทธิพลร่วม 2 พารามิเตอร์ $A \times E$	1	6.01	6.01	45.88	0.00
อิทธิพลร่วม 2 พารามิเตอร์ $B \times C$	1	3.54	3.54	27.05	0.00
อิทธิพลร่วม 2 พารามิเตอร์ $C \times E$	1	1.64	1.64	12.53	0.00
อิทธิพลร่วม 2 พารามิเตอร์ $D \times E$	1	4.97	4.97	37.97	0.00
อิทธิพลร่วม 3 พารามิเตอร์ $A \times B \times C$	1	2.45	2.45	18.72	0.00
อิทธิพลร่วม 3 พารามิเตอร์ $A \times B \times E$	1	0.60	0.60	4.59	0.03
อิทธิพลร่วม 3 พารามิเตอร์ $A \times D \times E$	1	5.55	5.55	42.40	0.00
อิทธิพลร่วม 3 พารามิเตอร์ $A \times C \times D$	1	1.98	1.98	15.13	0.00
อิทธิพลร่วม 3 พารามิเตอร์ $A \times C \times E$	1	2.97	2.97	22.69	0.00
อิทธิพลร่วม 4 พารามิเตอร์ $A \times B \times C \times D$	1	2.97	2.97	22.69	0.00
อิทธิพลร่วม 4 พารามิเตอร์ $A \times B \times C \times E$	1	4.16	4.16	31.78	0.00
อิทธิพลร่วม 4 พารามิเตอร์ $A \times B \times D \times E$	1	1.56	1.56	11.92	0.00
อิทธิพลร่วม 4 พารามิเตอร์ $A \times C \times D \times E$	1	3.54	3.54	27.05	0.00
อิทธิพลร่วม 5 พารามิเตอร์ $A \times B \times C \times D \times E$	1	2.86	2.86	21.87	0.00
ความคลาดเคลื่อน (Error)	128.00	17.30	0.14		
ผลรวม (Total)	159.00	207.11			

เมื่อนำส่วนตกค้างไปตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ (Grozđanić et al., 2025) พบว่าข้อมูลในผังการกระจายตัวแบบปกติ (normal probability plot) มีการกระจายตามแนวเส้นตรง แสดงให้เห็นว่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติ การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (versus fits) พบว่ามีการกระจายตัวของส่วนตกค้างเป็นรูปแบบการกระจายตัวอิสระ ไม่สามารถทำนายรูปแบบได้แน่นอน แสดงให้เห็นว่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน การตรวจสอบค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดโดยพิจารณาจากแผนภูมิการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (versus order) พบว่าส่วนตกค้างในแต่ละระดับมีการกระจายตัวในด้านบวกและลบมีความสมดุลกัน จึงประมาณได้ว่าค่าเฉลี่ยของส่วนตกค้างมีค่าใกล้เคียงศูนย์ จึงสรุปว่าข้อมูลการทดลองนี้มีความเหมาะสม สามารถนำผลการวิจัยไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไปได้ ผลการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบ แสดงดังภาพที่ 5



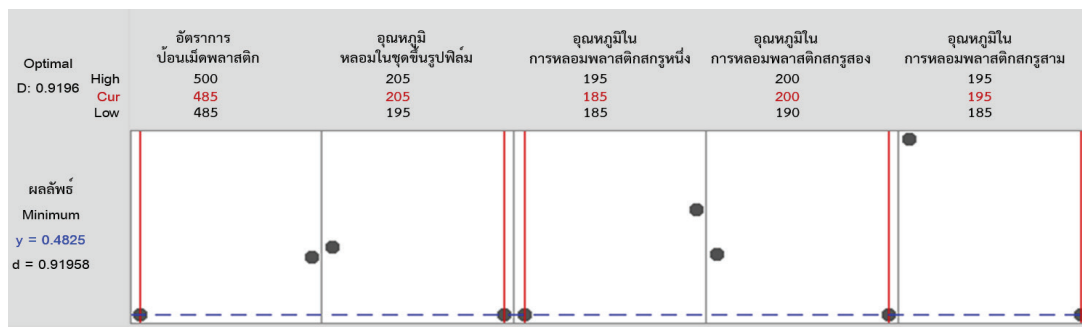
ภาพที่ 5 การตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบ

จากการวิเคราะห์แผนภาพอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมของพารามิเตอร์ทั้งหมด พบว่าพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อย่อยกำหนดนิบนิบผลิตภัณฑ์สูงสุดคืออิทธิพลหลักจากอุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสาม ในขณะที่อิทธิพลร่วมระหว่าง 3 พารามิเตอร์ ได้แก่ อัตราการป้อนเม็ดพลาสติก อุณหภูมิหลอมในชุดขึ้นรูปฟิล์ม และอุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสาม มีผลกระทบต่อย่อยกำหนดนิบนิบผลิตภัณฑ์ต่ำที่สุด แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 อิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมที่ส่งผลต่อค่ารายกำหนดนิบนิบผลิตภัณฑ์

เมื่อนำผลลัพธ์ในข้างต้นมาทำการวิเคราะห์ด้วยคำสั่ง Response Optimizer พบว่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการตั้งค่าเครื่องเป่าฟิล์ม ได้แก่ อัตราการป้อนเม็ดพลาสติกเท่ากับ 485 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อุณหภูมิหลอมในชุดขึ้นรูปฟิล์มเท่ากับ 205 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูหนึ่งเท่ากับ 185 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสองเท่ากับ 200 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสามเท่ากับ 195 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การวิเคราะห์ระดับพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

ผลการทดสอบสมมติฐานเพื่อยืนยันผล เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมไปใช้ในการผลิตฟิล์มพลาสติก ภายใต้สภาพแวดล้อมการทำงานจริงและทดสอบค่าร้อยละความผิดพลาดของฟิล์มผลิตได้ 30 ชิ้น ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าสถิติทดสอบ Z-Value เท่ากับ -14.42 และค่า P-Value เท่ากับ 1.00 จึงยอมรับสมมติฐานหลัก สรุปได้ว่าค่าร้อยละความผิดพลาดของฟิล์มต่อตารางเมตรไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองสามารถควบคุมกระบวนการผลิตให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดได้อย่างเหมาะสม ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ

ขนาดตัวอย่าง	ค่าสถิติทดสอบ	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	P-Value
30	-14.42	1.064	1.00

เมื่อนำผลการวิจัยไปปรับใช้กับกระบวนการผลิตจริงในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2568 ถึงมกราคม พ.ศ. 2569 พบว่าจำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีรอยตำหนิบนผิวเกินกว่าข้อกำหนดเฉลี่ยเท่ากับ 446 กิโลกรัมต่อเดือน คิดเป็นการลดลงร้อยละ 11.04 เมื่อเทียบกับจำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิต

สรุป

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ต้องการลดปริมาณรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าข้อกำหนด ซึ่งกำหนดไว้ต้องไม่เกิน 4 จุดต่อตารางเมตร โดยปัญหาในข้างต้นมีสาเหตุมาจากการตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องเป่าฟิล์ม ได้แก่ อัตราการป้อนเม็ดพลาสติก อุณหภูมิหลอมในชุดขึ้นรูปฟิล์ม อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูหนึ่ง อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสอง และอุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสาม การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลแบบ 2^5 ได้ถูกนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหารอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์ทั้งหมดมีอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมต่อรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ โดยสภาวะเป่าฟิล์มที่เหมาะสมและควรกำหนดค่าทั้ง 5 พารามิเตอร์ดังนี้ อัตราการป้อนเม็ดพลาสติกเท่ากับ 485 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อุณหภูมิหลอมในชุดขึ้นรูปฟิล์มเท่ากับ 205 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูหนึ่งเท่ากับ 185 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสองเท่ากับ 200 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสามเท่ากับ 195 องศาเซลเซียส เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมไปทดลองเพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์สภาพการผลิตและตรวจสอบความถูกต้องของระดับพารามิเตอร์ที่ได้พบว่ารอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์เฉลี่ยไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด ผลลัพธ์จากการวิจัยในครั้งนี้ส่งผลให้บริษัทกรณีศึกษาสามารถลดผลิตภัณฑ์ที่มีรอยตำหนิบนผิวไม่เกินไปตามข้อกำหนดเฉลี่ยเท่ากับ 446 กิโลกรัมต่อเดือนคิดเป็นร้อยละ 11.04 เมื่อเทียบกับจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิต นอกจากนี้ยังสามารถลดมูลค่าความสูญเสียจากการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด รวมถึงเพิ่มเสถียรภาพของกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกแบบถุงสุญญากาศได้อย่างเป็นรูปธรรม

เนื่องจากยังมีจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านกำหนด ดังนั้นการศึกษานี้ในอนาคตสามารถนำสาเหตุอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อปัญหารอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์มาทำการศึกษา เช่น การตรวจรับวัตถุดิบให้เป็นไปตามข้อกำหนด การฝึกอบรมให้ความรู้แก่พนักงานที่เกี่ยวข้อง รวมถึงสามารถนำเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ามาช่วยในการตรวจสอบความผิดปกติของกระบวนการผลิต การนำเซนเซอร์เข้ามาช่วยในการตรวจสอบรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ หรือนำการเรียนรู้ของเครื่องเข้ามาช่วยในการปรับปรุงกระบวนการผลิตอัตโนมัติได้อีกด้วย นอกจากนี้สามารถนำแนวทางการแก้ปัญหาของงานวิจัยนี้ไปประยุกต์กับผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ๆ ที่มีลักษณะคล้ายกันได้

เอกสารอ้างอิง

- Chayarathi, C., Rakkran, S., & Plongmai, J. (2021). Design of experiment to reduce waste in plating process. *Journal of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University*, 1(1), 29-38. (In Thai)
- Chutima, P. (2002). *Engineering design of experiments*. Bangkok, Thailand: Chulalongkorn University Press. (In Thai)
- Grozđanić, M., Mihaljević, M., Cajner, H., & Godec, D. (2025). Influence of layer thickness and disc orientation on additively manufactured disc-shaped reflectors for ultrasonic testing. *Journal of Nondestructive Evaluation*, 44(2), Article Number 60.

- Kanjanakarn, P., Nithikarnjanatharn, S., Nutkhum, W., & Wasanbongngem, N. (2023). CAD / CAE integration and Tagushi method in finding parameters injection molding of polypropylene plastic in 2 cavities plastic injection molds plastic case study pencil box. **Journal of Engineering and Innovation**, **17**(3), 124-133. (In Thai)
- Malkoc, S., Yazici, B., Gürsel, C., & Dikmen, S. (2023). Optimization of the removal of chromium and lead by *Penicillium chrysogenum* using 2k factorial experiments. **Environmental Quality Management**, **32**(3), 209-222.
- Meenu, K., & Peopayom, S. (2026). A 2³ factorial design for studying parameters affecting the wear of TiAlN-Coated cutting tools in SKD61 steel milling. **Srinakharinwirot University Engineering Journal**, **22**(1), 24-34. (In Thai)
- Montgomery, D. C. (2017). **Design and analysis of experiments**. (9). Hoboken NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Na Nakorn, T., Intarakumthornchai, T., & Asawarungsaengkul, K. (2026). A Study on the Effects of Extrusion Factors on the Mechanical Properties of Recycled ABS Plastic Fibers Using Experimental Design. **The Journal of KMUTNB**, **36**(1), 1-19. (In Thai)
- Sonthipermphoon, K., Reanin, C., Kitidet, D., & Duanchi, P. (2023). The parameters optimization for spot-welding of 6061-T6 aluminum alloy in automotive industry. **Srinakharinwirot University Engineering Journal**, **18**(2), 96-110. (In Thai)
- Srinivasan, K., Sarulkar, P., & Yadav, V. K. (2024). Operational excellence of the steel industry using the Lean Six Sigma approach: a case study. **International Journal of Quality & Reliability Management**, **41**(3), 826-849.
- Taptimdee, W., Nasawat, P., & Chourwong, P. (2023). Investigation of the Effects of CO2 Laser Cutting Parameters on Kerf Width in PMMA based on Box–Behnken Design and Response Surface Methodology. **Journal of Engineering and Industrial Technology**, **4**(1), 87-102. (In Thai)
- Thailand's Trade Statistic Report System of Ministry of Commerce. (2024). **New Thailand's trade statistics**. Retrieved from <https://tradereport.moc.go.th/th/stat/dashboardproduct>. [2025, 10 Jan.]
- Tinsok, J., & Koohathongsumrit, N. (2025). Reduction of non-conforming products in the titanium jewelry manufacturing process. **Journal of Applied Statistics and Information Technology**, **10**(1), 33-47. (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 กำหนดตั้งค่าหน้ากระดาษบน 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 ระบุชื่อเต็มและนามสกุลเต็มของผู้แต่งทุกคนทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษโดยไม่ใส่ยศหรือตำแหน่งสำหรับผู้แต่งหลักต่อใส่ E-mail address ที่ติดต่อได้และลงเครื่องหมายดอกจันกำกับ

บทคัดย่อ บทคัดย่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษควรมีความยาวระหว่าง 200 ถึง 250 คำ

คำสำคัญ ให้มีคำสำคัญ 3-5 คำ ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

รูปภาพ แยกบันทึกเป็นไฟล์ภาพที่มีนามสกุล TIFF, หรือ JPEG ถ้าเป็นภาพถ่ายกรุณาส่งภาพต้นฉบับเพื่อคุณภาพในการพิมพ์หมายเลขรูปภาพและกราฟ ให้เป็นเลขอารบิกคำบรรยายและรายละเอียดต่าง ๆ อยู่ด้านล่างของรูปภาพ 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 เป็นรายชื่อเอกสารที่ใช้อ้างอิงในบทความ 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. (ปีพิมพ์). ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร, ปีที่(ฉบับที่), หน้าแรก-หน้าสุดท้าย.
- ตัวอย่าง Yingsanga, P., & Mathurasa, L. (2009). Yellowing development of Chinese Kale (*Brassica oleracea var. alboglabra*). **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 degree of esterification on the hydrodynamic properties of citrus pectin. **Food Hydrocolloids**, 14(3), 227-235.

2.3 อ้างอิงจากวิทยานิพนธ์ (Theses and Dissertations)

- รูปแบบ ชื่อผู้แต่ง. (ปีพิมพ์). 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. (ปีพิมพ์). 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].

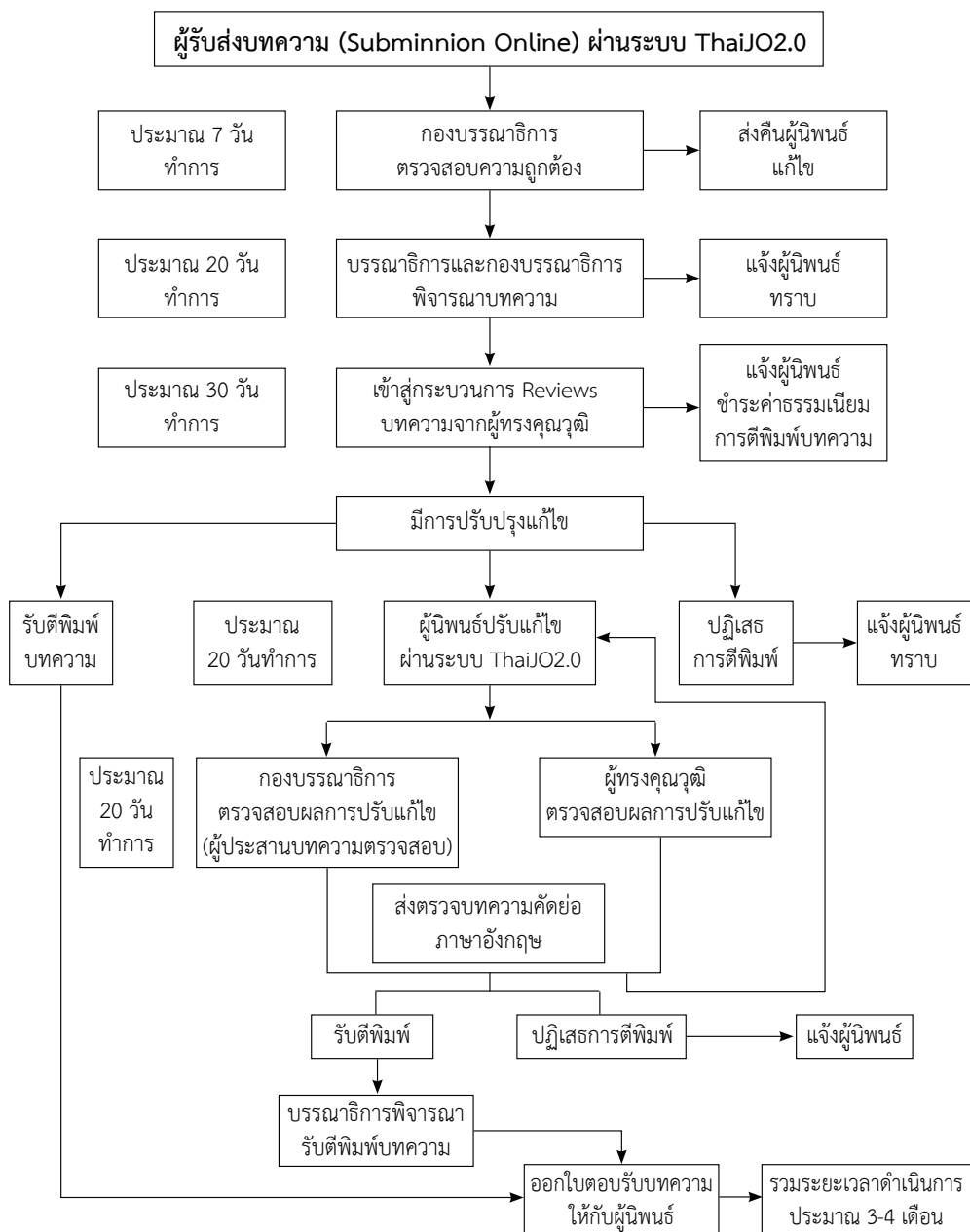
ตัวอย่าง Centers for Disease Control and Prevention. (2003). **Take charge of your diabetes**. Retrieved from <http://www.cdc.gov/diabetes/pubs/paf/ted.pdf> [2015, 25 Oct.]

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)

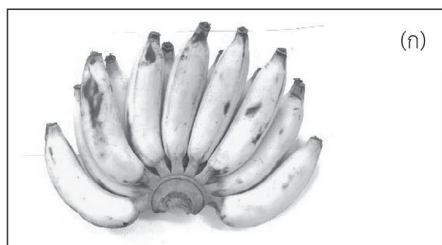
เนื้อหา (TH SarabunPSK ขนาด14pt.ตัวปกติ).....

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)
.....

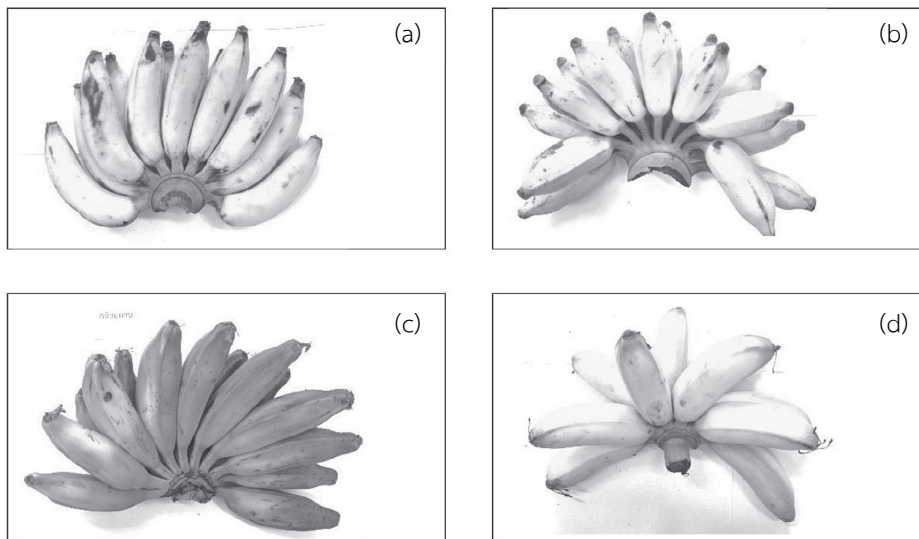


Figure 1(a)..... (b)..... (c)..... (d).....

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 และต้องไม่คัดลอกผลงานผู้อื่น โดยขาดการอ้างอิงที่ถูกต้อง ยกเว้นบทความที่แปลจากภาษาต่างประเทศที่ผู้แต่งบทความได้รับการยินยอม และมีหลักฐานแสดงแก่วารสาร
2. ชื่อบทความ ชื่อความ 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. บรรณาธิการต้องสนับสนุนให้มีกระบวนการพิจารณาการประเมินบทความจากผู้ประเมินที่มีความชำนาญต่อเนื้อหา ของบทความ รวมถึงระบบการปกปิดความลับของการพิจารณาการประเมิน และระบบการป้องกันข้อมูลส่วนตัวของ ผู้แต่งและผู้ประเมินบทความ (Double blinded)
6. บรรณาธิการมีหน้าที่รักษามาตรฐานของวารสาร รวมถึงพัฒนาวารสารให้มีคุณภาพอยู่เสมอ

จริยธรรมของผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ

1. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องตระหนักถึงความเชี่ยวชาญตามศาสตร์ของตนเองในการรับประเมินบทความ และพิจารณาบทความตามหลักวิชาการและจริยธรรมสากลโดยปราศจากอคติหรือความคิดเห็นส่วนตัวที่ไม่มีข้อมูลทางวิชาการรองรับ และไม่มีส่วนได้เสียหรือผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้แต่ง
2. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องตรวจสอบความซ้ำซ้อนของบทความกับงานตีพิมพ์อื่น ๆ
3. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องไม่เปิดเผยข้อมูลทุกส่วนของบทความที่ทำการประเมินให้แก่บุคคลอื่นที่ไม่เกี่ยวข้องในระหว่าง การประเมินบทความ
4. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องไม่นำข้อมูลในบทความที่ตนประเมินไปเป็นผลงานของตนเองก่อนบทความนั้นได้รับการตีพิมพ์ เผยแพร่
5. ผู้ทรงคุณวุฒิควรตรงต่อเวลาในการส่งผลการประเมินบทความ และหากตรวจพบเนื้อหาในบทความที่มีความ ซ้ำซ้อนกับผลงานอื่น ผู้ทรงคุณวุฒิต้องแจ้งให้กับบรรณาธิการทราบ และปฏิเสธการตีพิมพ์บทความนั้น ๆ