FEAT JOURNAL
FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL
Vol.9 No.1 January - June 2023

Research Article

Development Automatic Silk Drying Machine by Embedded System 1
Thanyaphob Sirimaskasem and Thanet Thangjitjaroenlert

The Efficiency Improvement of Transportation System in Beverage Industry 15
Case Study: Distribution Center of ABC Company
Phatcharin Khonnasee and Komkrit Pitiruek

Robust Tracking Control Scheme for a Ship Maneuvering with Uncertain Dynamics 27
Using Modified Fuzzy Logic Variable Structure Controller Approach
Phongsak Phakamach Udomvit Chaisakulkiet and Suriya Wachirawongpaisarn

Water Quality Control System in Shrimp Pond Using Internet of Things 39
Atirarj Suksawad Chaluemwut Noyunsan Piyanuch Tangkittipon
and Jagraphon Obma

Engineering Applications for Smart Agriculture in Thailand 48
Jarinee Jongpluempiti Surin Ahonnom Somsin Wangkhuntod
and Ponthep Vengsungnle

Evaluationg Machine Spare Parts of Concrete Batching Plant 65
by Using ABC Classification and Cost Ratio Analysis
Pichaya Thamvirat Kiatfa Tangchaichit and Sirorat Pattanapairoj

Effect of Condensate Temperature on Lard Pyrolysis 75
Charitr Puinta Chatchai Benjapiyaporn Julaporn Benjapiyaporn
Nattadon Pannucharoenwong and Keyoon Duanguppama

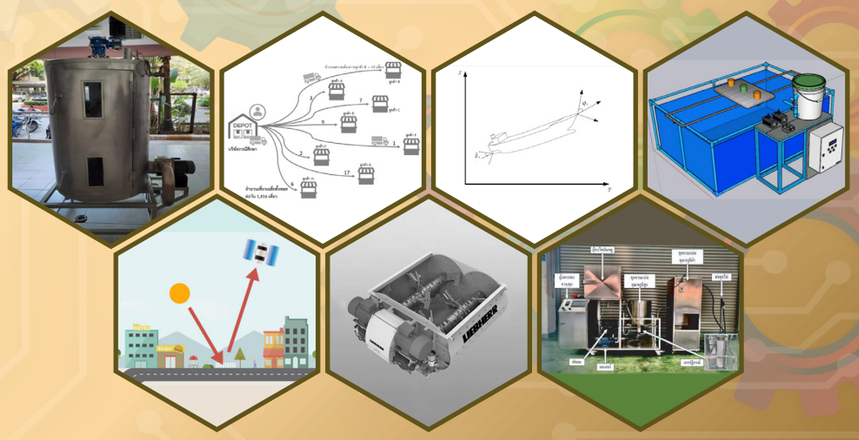
FEAT JOURNAL
FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

FEAT
Farm Engineering And Automation Technology
Research Group , Khon Kaen University

FEAT JOURNAL

วารสาร
วิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL



Vol.9 No.1 January – June 2023
ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2566
ISSN 2408-0985

FEAT
Farm Engineering And Automation Technology Research Group , Khon Kaen University

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

Farm Engineering and Automation Technology Journal

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ เป็นแหล่งข้อมูลที่สามารถเข้าถึงได้ในระบบออนไลน์ และบทความทุกเรื่องได้รับการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิแบบ double blinded มีกำหนดตีพิมพ์เผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ (มกราคม - มิถุนายน และ กรกฎาคม - ธันวาคม) โดยกลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น รับผลงานทางวิชาการที่มีเนื้อหาครอบคลุมด้านวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ และวารสารวารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติตอบรับบทความวิจัย และบทความทางวิชาการที่เป็นต้นฉบับภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ ซึ่งไม่เคยเผยแพร่ที่ใดมาก่อน ทุกๆ บทความได้รับการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 3 ท่าน ในสาขาที่เกี่ยวข้อง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประชาสัมพันธ์ เผยแพร่ความรู้ ผลงานทางวิชาการ และงานวิจัย ในด้านวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

กองบรรณาธิการ

รศ.ดร. ชัยยันต์	จันทร์ศิริ	สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร. ขนิษฐา	คำวิลัยศักดิ์	สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร. กัลยกร	ขวัญมา	สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ดร.วาธิส	ลีลาภัทร	สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร.ธนา	ราษฎร์ภักดี	สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.วีรชัย	อาจหาญ	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผศ.ดร.นิยม	กำลังดี	สำนักวิชาวิทยาศาสตร์	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
ผศ.คำรณ	พิทักษ์	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผศ.ดร.วิภาดา	สนองราษฎร์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร.สิริวิชญ์	เตชะเจษฎารังสี	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ฤกษ์ชัย	ศรีวรมาศ	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รศ.ดร.จักรมาศ	เลาหวนิช	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร.รำไพ	เกณฑ์สาคู	ภาควิชาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
บรรณาธิการ	รศ.ดร. รัชพล	สันติวรากร สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ฝ่ายจัดการวารสาร	นางสาวปุญญิศา	ไชยบท	

สำนักงาน กลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 123 หมู่ 16 ถ.มิตรภาพ ต.ในเมือง อ.เมืองขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002

กำหนดเผยแพร่ ปีละ 2 ฉบับ ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน และ ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม

พิมพ์ที่ โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ISSN : 2408 - 0985

FEAT
Farm Engineering And Automation Technology Research Group , Khon Kaen University

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

Farm Engineering and Automation Technology Journal

Farm Engineering and Automation Technology Journal is an open access and peer-reviewed (double blinded) journal published twice a year by Farm Engineering and Automation Technology Research Group, Khon Kaen University (January - June and July - December). We welcome submission from all fields of Farm Engineering and Automation Technology. The journal accepts Thai/English manuscripts of original research and review articles, which have never been published elsewhere. Every published manuscripts are reviewed by at least 3 experts in the relevant field. Our purpose in to promote and disseminate knowledge, academic work and research in Farm Engineering and Automation Technology.

Editorial Board

Assoc.Prof.Dr.Chaiyan Chansiri	Department of Agricultral Engineering	Khon Kaen University
Assoc.Prof.Dr.Khanita Khamwilaisak	Department of Chemical Engineering	Khon Kaen University
Assoc.Prof.Dr.Kulyakorn Khunmar	Department of Environmental Engineering	Khon Kaen University
Dr.Watis Leelapatra	Department of Computer Engineering	Khon Kaen University
Assoc.Prof.Dr.Thana Radpukdee	Department of Industrial Engineering	Khon Kaen University
Asst.Prof.Dr.Weerachai Arjharn	School of Mechanical Engineering	Suranaree University of Technology
Asst.Prof.Dr.Niyom Kamlangdee	School of Science	Walailak University
Asst.Prof.Kumron Pitaks	Department of Industrial Engineering	Prine of Songkla University
Asst.Prof.Dr.Wipada Sanongraj	Department of Environmental Engineering	Ubon Ratchathani University
Asst.Prof.Dr.Sirivit Taechajedcadarungsri	Department of Mechanical Engineering	Ubon Ratchathani University
Asst.Prof.Rerkchai Srivoramas	Department of Civil Engineering	Ubon Ratchathani University
Assoc.Prof.Dr.Juckamas Laohavanich	Department of Mechanical Engineering	Mahasarakham University
Asst.Prof.Dr.Rampai Gaensakoo	Department of Biotechnology	Mahasarakham University
Editor-in-chief	Assoc.Prof.Dr.Ratchaphon Suntivarakorn	Khon Kaen University
Production team	Ms.Bhunyisa Chaiyabot	

Editorial Office Farm Engineering and Automation Technology Research Group, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University,123 Moo16 Mittraphap Road, Nai Mueang Sub-district, Mueang Khon Kaen District, Khon Kaen Province, 40002

Publication Frequency Biannual (Issue 1, January - June, Issue 2, July - December)

Printing House Khon Kaen University Printing

ISSN : 2408-0985

จุดมุ่งหมายและขอบเขต

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น หรือ FEAT JOURNAL (Farm Engineering and Automation Technology Journal) เป็นวารสารทางวิชาการ ซึ่งบทความทุกเรื่องได้รับการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิทั้งจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยขอนแก่น (peer-reviewed journal) แบบ double blinded วารสารรับผลงานทางวิชาการที่เป็นต้นฉบับ (original) ในด้านวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ เพื่อเผยแพร่เทคโนโลยีที่มีคุณค่าแก่นักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษา และผู้สนใจทั่วไป โดยวารสารเคร่งครัดในเรื่องผลงานวิชาการที่เป็นต้นฉบับ และไม่ใช่ผลงานที่คัดลอก โดยวารสารมีกำหนดออกทุก 6 เดือน ปีละ 2 ฉบับ ซึ่งบทความทุกบทความจะต้องผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 3 ท่าน ทั้งจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยขอนแก่น มีการเผยแพร่ในรูปเล่มสำหรับจัดส่งให้หน่วยงานหรือผู้ที่สนใจ และเผยแพร่ผ่านเว็บไซต์ของกลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่เว็บไซต์ https://www.tci-thaijo.org/index.php/featkku/index

ขอบเขตของเนื้อหาที่ตีพิมพ์ในวารสาร ประกอบด้วยบทความที่เกี่ยวข้อง ในประเด็นดังต่อไปนี้

1. Farm Engineering and Technology
2. Automation Technology
3. Environmental Technology and Management
4. Energy Conservation and Alternative Energy Technology
5. Agricultural Machine Design
6. Material Engineering Technology
7. Innovation Technology for Farm and related Industries
8. Logistics
9. Farm and related Industries Management
10. Related Topics for Farm Engineering and Automation Technology

จัดทำและเผยแพร่โดย กลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (Farm Engineering and Automation Technology: FEAT) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมืองขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002 โทร. 090-024-4998 Email: feat.kku@gmail.com

FEAT JOURNAL
FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL
วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทบรรณาธิการ

เรียน ท่านสมาชิกวารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ และผู้อ่านทุกท่าน

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ (Farm Engineering and Automation Technology Journal: FEAT Journal) ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 ประจำเดือน มกราคม – มิถุนายน 2566 ฉบับนี้เป็นปีที่ 9 ของกลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยมีวัตถุประสงค์มุ่งเน้นที่จะเผยแพร่องค์ความรู้ด้านวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ ให้นักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษา ผู้ประกอบการ และประชาชนทั่วไปได้ทราบ และสามารถเรียนรู้ นำไปต่อยอดความรู้ และแก้ไขปัญหาในการทำงานด้านวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติได้ วารสารนี้ มีกำหนดตีพิมพ์ทุก 6 เดือน ปีละ 2 ฉบับ ซึ่งบทความทุกบทความจะต้องผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 3 ท่าน ทั้งจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยขอนแก่น ในฉบับนี้มีบทความวิจัยจำนวน 7 บทความ ซึ่งท่านสามารถติดตามและอ่านบทความต้นฉบับได้ที่เว็บไซต์ https://www.tci-thaijo.org/index.php/featkku/index

กลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารเล่มนี้จะเป็นแหล่งเรียนรู้ด้านวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติให้แก่ผู้สนใจทั่วไปได้ และขอขอบพระคุณนักวิจัยที่ได้ส่งบทความมาลงตีพิมพ์ หากมีคำติชมหรือข้อเสนอแนะใดเกี่ยวกับวารสาร สามารถติดต่อได้โดยตรงที่กลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ผ่านเว็บไซต์ข้างต้น หรือ Email: feat.kku@gmail.com

รองศาสตราจารย์รัชพล สันติวรากร
บรรณาธิการ
ratchaphon@kku.ac.th
23 มิถุนายน 2566

จริยธรรมของการตีพิมพ์ (Publication Ethics)

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

บรรณาธิการวารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติจะแต่งตั้งผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อพิจารณาคุณภาพของบทความทุกบทความ อย่างน้อย 3 ท่าน ที่มีความเชี่ยวชาญหรือเกี่ยวเนื่องกับเนื้อหาของบทความและไม่เป็นผู้มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้แต่งบทความ โดยการประเมินผู้ทรงคุณวุฒิเป็นแบบ double blinded คือ มีการปกปิดชื่อเจ้าของบทความแก่ผู้ทรงคุณวุฒิ และเจ้าของบทความไม่ทราบชื่อของผู้ทรงคุณวุฒิ ผลการประเมินมี 5 แบบ คือ รับตีพิมพ์บทความ ให้ผู้แต่งแก้ไขโดยให้บรรณาธิการพิจารณาต่อ ให้ผู้แต่งแก้ไขโดยผู้ประเมินขอพิจารณาอีกครั้ง ให้ผู้แต่งส่งบทความให้วารสารอื่น และไม่รับตีพิมพ์บทความ ดังนั้น เพื่อให้การสื่อสารทางวิชาการเป็นไปอย่างถูกต้อง สอดคล้องกับมาตรฐานการตีพิมพ์นานาชาติ จึงได้กำหนดจริยธรรมของการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัยไว้สำหรับการดำเนินงานของวารสาร โดยทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องจะต้องปฏิบัติตามหลักการและมาตรฐานด้านจริยธรรมในการตีพิมพ์อย่างเคร่งครัด ตามบทบาทหน้าที่ดังนี้

บทบาทหน้าของผู้เขียน

1. ผลงานของผู้เขียนต้องเป็นผลงานที่ไม่เคยตีพิมพ์หรือเผยแพร่ที่ใดมาก่อน
2. ผู้เขียนต้องอ้างอิงผลงานของผู้อื่นหากมีการนำข้อความใดๆ มาใช้ในผลงานของตนเองรวมทั้งต้องทำเอกสารอ้างอิงไว้ท้ายบทความ
3. ผู้เขียนต้องเขียนบทความวิจัยให้ถูกต้องตามรูปแบบที่กำหนดไว้ในวารสาร
4. ผู้เขียนที่มีชื่อปรากฏในบทความทุกคนต้องเป็นผู้ที่มีส่วนร่วมในการดำเนินการวิจัยจริง
5. ผู้เขียนต้องไม่คัดลอกผลงานของผู้อื่น และต้องมีการอ้างอิงทุกครั้งเมื่อนำผลงานของผู้อื่นมานำเสนอหรืออ้างอิงในเนื้อหาบทความของตนเอง
6. ผู้เขียนต้องยินยอมโอนลิขสิทธิ์ให้แก่วารสารก่อนการตีพิมพ์ และไม่นำผลงานไปเผยแพร่หรือตีพิมพ์กับแหล่งอื่น ๆ หลังจากที่ได้รับการตีพิมพ์กับวารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติแล้ว
7. หากมีการวิจัยในมนุษย์หรือสัตว์ทดลอง ผู้เขียนจะต้องแนบหนังสือรับรองที่ได้รับอนุญาตให้ทำการวิจัยในมนุษย์หรือสัตว์ทดลองจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์หรือคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการใช้สัตว์ทดลองตามแต่กรณีและระบุหมายเลขหรือรหัสการรับรองลงในบทความ

บทบาทหน้าที่ของบรรณาธิการ

1. บรรณาธิการมีหน้าที่พิจารณาและตรวจสอบบทความที่ส่งมาเพื่อเข้ารับการพิจารณาตีพิมพ์กับวารสารทุกบทความ โดยพิจารณาเนื้อหาบทความที่สอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของวารสาร รวมถึงการตรวจสอบคุณภาพบทความในกระบวนการประเมินและคุณภาพบทความก่อนการตีพิมพ์

2. บรรณาธิการต้องใช้เหตุผลทางวิชาการในการพิจารณาบทความทุกครั้งโดยปราศจากอคติที่มีต่อบทความและผู้เขียนในด้านเชื้อชาติเพศ ศาสนา วัฒนธรรม การเมือง และสังกัดของผู้เขียน

3. บรรณาธิการต้องไม่มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้เขียนหรือผู้ทรงคุณวุฒิ ไม่นำบทความหรือวารสารไปใช้ประโยชน์ในเชิงธุรกิจหรือนำไปเป็นผลงานทางวิชาการของตนเอง

4. บรรณาธิการต้องไม่แก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงเนื้อหาบทความและผลประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิ รวมถึงไม่ปิดกั้นหรือแทรกแซงข้อมูลที่ใช้แลกเปลี่ยนระหว่างผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เขียน

5. บรรณาธิการต้องปฏิบัติตามกระบวนการและขั้นตอนต่าง ๆ ของวารสารอย่างเคร่งครัด

บทบาทหน้าที่ของผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ

1. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องคำนึงถึงคุณภาพบทความเป็นหลักพิจารณาบทความภายใต้หลักการและเหตุผลทางวิชาการ โดยปราศจากอคติหรือความคิดเห็นส่วนตัว และไม่มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้เขียน

2. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องไม่แสวงหาประโยชน์จากผลงานทางวิชาการที่ตนเองได้ทำการประเมิน

3. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องตระหนักว่าตนเองมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาของผลงานวิชาการที่รับประเมินอย่างแท้จริง

4. หากผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบพบว่าบทความที่รับประเมินเป็นบทความที่คัดลอกผลงานชิ้นอื่น ๆ ผู้ทรงคุณวุฒิต้องแจ้งให้บรรณาธิการทราบทันที

5. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องรักษาระยะเวลาประเมินตามกรอบเวลาประเมินที่กำหนด รวมถึงไม่เปิดเผยข้อมูลของบทความให้ผู้ที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องได้รับรู้

FEAT
Farm Engineering And Automation Technology Research Group , Khon Kaen University

วารสาร FEAT

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม – มิถุนายน 2566

บทความวิจัย

การพัฒนาเครื่องอบแห้งเส้นไหมแบบอัตโนมัติด้วยสมองกลฝังตัว 1

ธัญภพ ศิริมาศเกษม และ ธเนศ ตั้งจิตเจริญเลิศ

การเพิ่มประสิทธิภาพระบบการขนส่งสินค้าในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม 15
กรณีศึกษา: ศูนย์กระจายสินค้า บริษัท ABC

พัชรินทร์ คอนนาสี และ คมกฤช ปิติฤกษ์

Robust Tracking Control Scheme for a Ship Maneuvering with Uncertain 27
Dynamics Using Modified Fuzzy Logic Variable Structure Controller Approach

Phongsak Phakamach Udomvit Chaisakulkiet

and Suriya Wachirawongpaisarn

ระบบควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อพักกุ้งโดยใช้อินเตอร์เน็ทของสรรพสิ่ง 39

อติราช สุขสวัสดิ์ เฉลิมวุฒิ น้อยอุ่นแสน ปิยะนุช ตั้งกิตติพล

และ จักรพนธ์ อบมา

การประยุกต์ใช้งานวิศวกรรมสำหรับเกษตรอัจฉริยะในประเทศไทย 48

จาริณี จงปลื้มปิติ สุรินทร์ อ่อนน้อม สมสิน วางขุนทด และ พลเทพ เวงสูงเนิน

การประเมินความคุ้มค่าของการจัดเก็บอะไหล่สำหรับหน่วยผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ 65
ด้วยวิธีวิเคราะห์ความสำคัญแบบ ABC และวิธีวิเคราะห์สัดส่วนต้นทุน

พิชญะ ธรรมวิรัตน์ เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต และ ศิโรรัตน์ พัฒนไพโรจน์

ผลของอุณหภูมิชุดควบแน่นจากการไพโรไลซิสน้ำมันหมู 75

จาริตร ปูอินต๊ะ ฉัตรชัย เบญจปิยะพร จุฬาภรณ์ เบญจปิยะพร

ณัฐดนย์ พรรณุเจริญวงษ์ และ เกยูร ดวงอุปมา

FEAT
Farm Engineering And Automation Technology Research Group , Khon Kaen University

วารสาร FEAT

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

Vol.9 No.1 January - June 2023

Research Article

Development automatic silk drying machine by embedded system 1
Thanyaphob Sirimaskasem and Thanet Thangjitjaroenlert

The Efficiency Improvement of Transportation System in Beverage Industry Case Study: Distribution Center of ABC Company 15
Phatcharin Khonnasee and Komkrit Pitiruek

Robust Tracking Control Scheme for a Ship Maneuvering with Uncertain Dynamics Using Modified Fuzzy Logic Variable Structure Controller Approach 27
Phongsak Phakamach Udomvit Chaisakulkiet and Suriya Wachirawongpaisarn

Water Quality Control System in Shrimp Pond Using Internet of Things 39
Atirarj Suksawad Chaluemwut Noyunsan Piyanuch Tangkittipon And Jagraphon Obma

Engineering Applications for Smart Agriculture in Thailand 48
Jarinee Jongpluempiti Surin Ahonnom Somsin Wangkhuntod and Ponthep Vengsungnle

EVALUATING MACHINE SPARE PARTS OF CONCRETE BATCHING PLANT BY USING ABC CLASSIFICATION AND COST RATIO ANALYSIS 65
Pichaya Thamvirat Kiatfa Tangchaichit and Sirorat Pattanapairoj

Effect of condensate temperature on lard pyrolysis 75
Charitr Puinta Chatchai Benjapiyaporn Julaporn Benjapiyaporn Nattadon Pannucharoenwong and Keyoon Duanguppama

FEAT JOURNAL
FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL
วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การพัฒนาเครื่องอบแห้งเส้นไหมแบบอัตโนมัติด้วยสมองกลฝังตัว

Development automatic silk drying machine by embedded system

ธัญภพ ศิริมาศเกษม* และ ธเนศ ตั้งจิตเจริญเลิศ

Thanyaphob Sirimaskasem* and Thanet Thangjitjaroenlert

สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร

Department of Electrical Engineering Technology, Faculty of Industrial Technology,

Phranakhon Rajabhat University, Bangkok

Received: 29 March 2022

Revised: 21 November 2022

Accepted: 29 November 2022

Available online: 23 June 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาและสร้างเครื่องอบแห้งเส้นไหมแบบอัตโนมัติด้วยสมองกลฝังตัว มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งเส้นไหมแบบอัตโนมัติด้วยสมองกลฝังตัว และ2) หาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งเส้นไหมแบบอัตโนมัติด้วยสมองกลฝังตัว วิธีวิจัยโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับอุปกรณ์ไฟฟ้าในการควบคุมและแสดงผล ใช้พลังงานไฟฟ้า 220 โวลต์ 1 เฟส ใช้ขดลวดความร้อนทางไฟฟ้าเป็นตัวกำเนิดความร้อน มอเตอร์พัดลมแบบหอยโข่งเป็นตัวพาความร้อน และมอเตอร์เกียร์เป็นตัวหมุนชุดแขวนไจไหม และการเปรียบเทียบค่าความชื้นของเส้นไหมช่วงก่อนอบและหลังการอบด้วยเครื่องอบแห้งเส้นไหมแบบอัตโนมัติด้วยสมองกลฝังตัว ดำเนินการทดสอบเส้นไหมถูกอบที่อุณหภูมิ 35 40 และ 45 องศาเซลเซียส ที่ช่วงเวลาอบ 2, 4, 6, 8 และ10 นาที วัสดุอบใช้ไหมเปลือกหรือไหมหลีบชุบน้ำบิดหมาด เส้นไหมจำนวน 7 ไจ ต่อ 1 รอบการอบ ผลการวิจัยพบว่า ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งเส้นไหมแบบอัตโนมัติด้วยสมองกลฝังตัว ณ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 16.55 อุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพภาเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 18.66 และ 45 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 19.58 การเพิ่มอุณหภูมิและระยะเวลาจะส่งผลต่อปริมาณ ความชื้นที่ลดลง ชี้ให้เห็นว่าอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยส่งผลต่อปริมาณความชื้นในเส้นไหม

คำสำคัญ: เครื่องอบ เส้นไหม อัตโนมัติ สมองกลฝังตัว

Abstract

The objectives of research were 1) to design and build an embedded automatic silk drying machine and 2) to determine the efficiency of an embedded automatic silk drying machine. Research method by using microcontroller together with electrical devices to control and display results. It uses electricity 220 volts, 1 phase, uses an electric heating coil as a heat generator. Centrifugal fan motors are heat carriers and the gear motor is the rotation of the hanger and the comparison of the silk moisture content before and after drying by the embedded automatic silk drying machine. Test threads were annealed at 35, 40 and 45 degrees Celsius at baking times of 2, 4, 6, 8 and 10 minutes baked. The results showed that the efficiency of the embedded automatic silk dryer at a temperature of 35 had an average efficiency of 16.55%. A temperature of 40 had an average efficiency of 18.66% and 45 °C had average efficiency of 19.58%. Temperature and duration will affect the quantity reduced humidity Point out that the mutual influence between the two factors affects the moisture content of the silk.

Keywords: Dryer: Silk: Automatic: Embedded

---

*ติดต่อ: thanyaphob.s@pnru.ac.th, 081-910-8936

1. บทนำ

ผ้าไหมและผลิตภัณฑ์จากไหมของไทยเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายและขึ้นชื่อแห่งหนึ่งของโลก ได้การยอมรับจากต่างประเทศในด้านคุณภาพและความสวยงามที่เป็นเอกลักษณ์ การผสมผสานของวัฒนธรรมและภูมิปัญญาท้องถิ่นในการนำเส้นไหมมาใช้ในการถักทอเพื่อให้เกิดเป็นผ้าไหมและผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ชุดผ้าไหมผู้ชาย ชุดผ้าไหมผู้หญิง ผ้าพันคอ เนคไท หมอนอิง กระเป๋า ของที่ระลึกและอื่น ๆ การได้มาของผลิตภัณฑ์จากผ้าไหมที่มีคุณภาพและความสวยงาม มีขั้นตอนกระบวนการที่หลากหลาย ตั้งแต่ขั้นตอนการเลี้ยงไหม การสาวไหม การเตรียมเส้นไหม การมัดหมี่ การย้อมสี การแก้หมี่ การทอผ้าไหม เป็นต้น [1] สีสันของเส้นไหมที่สวยงาม ได้มาจากการขั้นตอนการย้อมสี และการตากเส้นไหม ที่ผ่านมาขั้นตอนหลังการย้อมสีของชุมชนหรือท้องถิ่นจะใช้วิธีแบบธรรมชาติ โดยการนำเส้นไหมมาบิดหมาด ๆ แล้วนำไปใส่ราวผึ่งหรือตากให้แห้งในที่ร่ม [2] ซึ่งไม่สามารถควบคุมในเรื่องของเวลาการแห้งที่ต้องขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในช่วงเวลาหรือฤดูกาลช่วงนั้น รวมถึงต้องใช้แรงงานคนในการกลับเส้นไหมเพื่อให้เกิดความแห้งอย่างสม่ำเสมอ ทำให้กระบวนการถัดไปของการทำผลิตภัณฑ์จากไหมเกิดความล่าช้า ผลิตไม่ทันตามกำหนด ผลิตภัณฑ์ไม่ได้มาตรฐาน ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าและการควบคุมอัตโนมัติได้พัฒนาไปมาก มีการนำเทคโนโลยีเข้ามาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาในงานด้านต่าง ๆ มากมาย อาทิเช่น วัฒนพงษ์ รักษ์วิเชียร์ และคณะ [3] ได้พัฒนาส่งเสริมและเผยแพร่การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์เพื่อแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้สูงขึ้น ถัดมาเป็นงานวิจัยของ สังวาล เพ็งพัด และวัฒนพงษ์ รักษ์วิเชียร [4] ได้ทำการอบแห้งผลิตภัณฑ์เนื้อและปลาด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระดับอุตสาหกรรมในครัวเรือนโดยตู้อบแห้งเป็นแบบผสมสามารถใช้กับพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานเสริมจากแก๊ส LPG ดังนั้น จากปัญหาการตากเส้นไหมข้างต้น คณะผู้วิจัยได้มีการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งเส้นไหมแบบอัตโนมัติด้วยสมองกลฝังตัว ซึ่งเป็นการนำความรู้ทางเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้าและระบบควบคุมอัตโนมัติ เข้ามาช่วยแก้ปัญหาโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ร่วมกับอุปกรณ์ไฟฟ้าในการควบคุมและแสดงผลผ่านหน้าจอผลึกเหลว ใช้พลังงานไฟฟ้า 220 โวลต์ 1 เฟส ใช้ขดลวดความร้อนทางไฟฟ้าเป็นตัวกำเนิดความร้อน มอเตอร์พัดลมแบบหอยโข่งเป็นตัวพาความร้อนให้หมุนเวียนภายใน และมอเตอร์เกียร์เป็นตัวหมุนชุดแขวนไจไหมเพื่อให้เส้นไหมแห้งอย่างทั่วถึง ตัวเครื่องสามารถเลือกช่วงอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งเส้นไหมได้ วัตถุประสงค์งานวิจัยนี้ เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งเส้นไหมแบบอัตโนมัติด้วยสมองกลฝังตัว และหาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งเส้นไหมแบบอัตโนมัติด้วยสมองกลฝังตัว ทั้งนี้เพื่อทำให้กระบวนอบแห้งเส้นไหมมีประสิทธิภาพดีขึ้น และเป็นประโยชน์ต่อชุมชน

2. วิธีการวิจัย

2.1 การออกแบบและสร้าง

เครื่องอบแห้งเส้นไหมแบบอัตโนมัติด้วยสมองกลฝังตัว ออกแบบเป็นทรงกระบอกสองชั้น ชั้นที่ 1 กั้นความร้อน ชั้นที่ 2 เป็นช่องลมหมุนเวียนอากาศภายในตู้ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 77.60 เซนติเมตร (2.55 ฟุต) สูง 122 เซนติเมตร (4.00 ฟุต) ปริมาตรภายในตู้อบ 9,467.20 ลูกบาศก์เซนติเมตร (0.334 ลูกบาศก์ฟุต) มอเตอร์หมุนเวียนลมภายในตู้อบเป็นแบบหอยโข่ง ขนาด 1/8 แรงม้า แรงดัน 220 โวลต์ มอเตอร์เกียร์ขนาด 1/4 แรงม้า แรงดัน 220 โวลต์ ใช้ขดลวดความร้อนขนาด 4,500 วัตต์ 220 โวลต์ ขนาดของขดลวดความร้อนหาได้จากสมการ

$$KW = \frac{CF \times Temp}{3000 \times Heat\ up\ Time} \quad (1)$$

CF คือ ปริมาตรตู้อบ (ลูกบาศก์ฟุต)

Temp คือ อุณหภูมิที่ต้องการ – เริ่มต้น (°C)

Heat up time คือ ระยะเวลาที่ต้องการ (ชั่วโมง)

การหาขนาดของมอเตอร์หมุนไจไหมได้จากสมการ

$$Power = \frac{2\pi \times RPM \times Torque}{60} \quad (2)$$

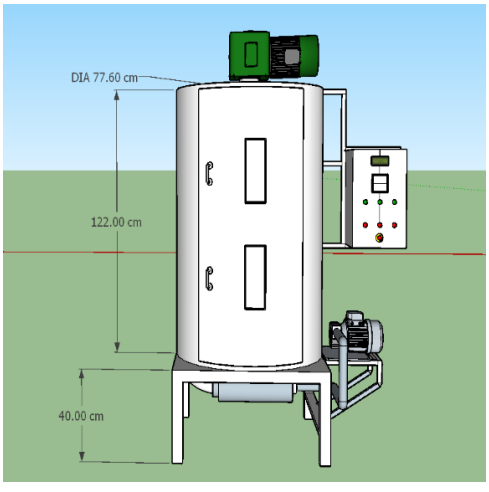
Power คือ กำลังวัตต์ของมอเตอร์ (วัตต์)

RPM คือ ความเร็วรอบของมอเตอร์ (รอบต่อนาที :rpm)

Torque คือ แรงบิดที่แกนของมอเตอร์ (นิวตัน-เมตร)

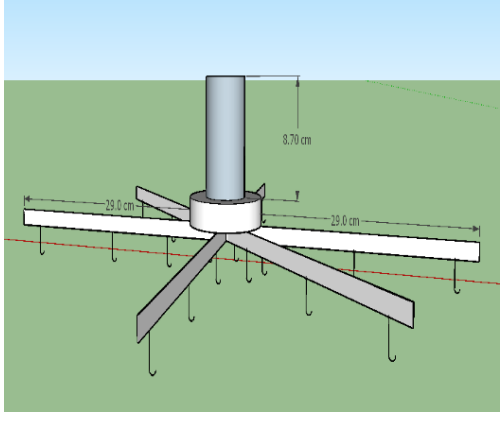
2.2 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งไหม

โครงสร้างการออกแบบตัวเครื่อง การติดตั้งชุดขดลวดความร้อนไฟฟ้าอยู่ภายนอกเครื่องด้านล่างของตู้อบ ชุดหมุนเวียนลมร้อนอยู่ภายนอกด้านข้างของตู้อบ ชุดหมุนไจไหมอยู่ด้านบนของตู้อบ และชุดควบคุมการทำงานติดตั้งด้านข้างตู้อบ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การออกแบบขนาดเครื่องอบเส้นไหม

นอกจากนี้ยังได้ออกแบบชุดแขวนไจไหมแบบ 6 ก้าน แต่ละก้านความยาว 29.00 เซนติเมตร (0.95 ฟุต) แขนไหมได้ก้านละ 3 ไจ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การออกแบบแกนหมุนและที่แขวนไจไหม

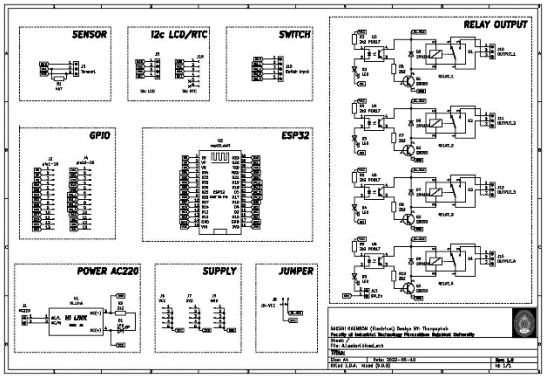
การสร้างและประกอบชุดหมุนเวียนลมร้อนใช้มอเตอร์ชนิดหอยโข่ง ชุดหมุนไจไหมใช้มอเตอร์เกียร์ทดรอบอัตราส่วน 30 :1 ดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 เครื่องอบเส้นไหมแบบอัตโนมัติ

ภายในตู้ควบคุมประกอบไปด้วย ภาคควบคุม และภาคขับกำลัง ใช้แมกเนติกร่วมกับรีเลย์กำลัง เป็นตัวขับการทำงานของขดลวดความร้อน มอเตอร์พัดลมหมุนเวียน และมอเตอร์หมุนไจไหม ดังรูปที่ 4

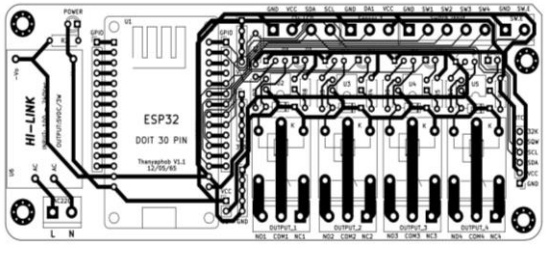
รูปที่ 4 ชุดควบคุมการทำงานของเครื่อง

ออกแบบชุดควบคุมอัตโนมัติโดยใช้สมองกลฝังตัว [5] รุ่น Arduino Nano V3.0 ATmega328P มีช่องรับส่งสัญญาณดิจิตอล 14 ช่อง และช่องรับสัญญาณอนาลอก 6 ช่อง จอแสดงผลแบบผลึกเหลวสื่อสารรูปแบบ I2C และรีเลย์ควบคุมจำนวน 4 ตัว สำหรับขับการทำงานของแมกเนติกและอุปกรณ์ทางไฟฟ้า เซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบดิจิตอลสื่อสารรูปแบบ I^2C ดังรูปที่ 5



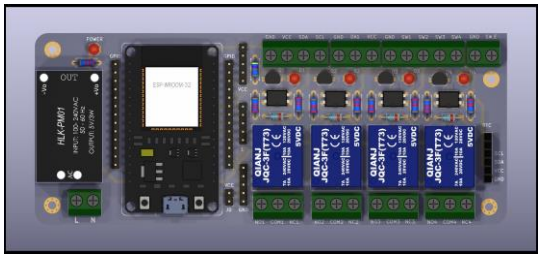
รูปที่ 5 ผังวงจรอิเล็กทรอนิกส์ชุดสมองกลฝังตัว

ผังวงจรการออกแบบและวางตำแหน่งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ก่อนการสร้างแผงวงจรพิมพ์และการประกอบอุปกรณ์ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผังวงจรอุปกรณ์ชุดสมองกลฝังตัว

สร้างแผงวงจรพิมพ์และเชื่อมประกอบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เขียนโปรแกรมด้วยภาษา C/C++ รับค่าอุณหภูมิจากเซนเซอร์ [6] การประมวลผลและการควบคุมส่วนต่าง ๆ ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ตัวควบคุมและแสดงผลด้วยสมองกลฝังตัว

หน้าจอแสดงผลแบบผลึกเหลว ขนาด 20 ตัวอักษร 4 บรรทัด แสดงการตั้งค่าอุณหภูมิ ค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ การตั้งค่าเวลา เวลาที่เหลือ และการแจ้งเตือนเมื่อจบการทำงาน [7] ดังรูปที่ 8

รูปที่ 8 หน้าจอแสดงผลแบบผลึกเหลว

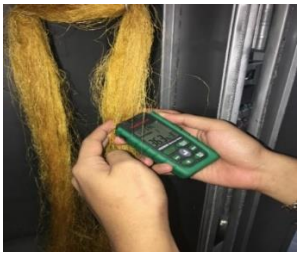
2.3 **หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งไหม**

การทำงานเครื่องอบเส้นไหมอัตโนมัติด้วยสมองกลฝังตัว มี 2 ระบบ คือ ระบบควบคุมด้วยมือ ใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิทางไฟฟ้า (Temperature Controller) ในการตั้งค่าและควบคุมอุณหภูมิ หยุดการทำงานด้วยการกดปุ่มหยุด ไม่สามารถตั้งเวลาหยุดการทำงานของเครื่องได้ ระบบควบคุมอัตโนมัติ (Auto) ใช้สมองกลฝังตัวรับค่าจากเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ [8] เพื่อควบคุมการทำงานและแสดงผลด้วยจอผลึกเหลวขนาด 20 ตัวอักษร 4 บรรทัด ใช้แมกเนติกร่วมกับรีเลย์กำลังเป็นภาคขับการทำงานขดลวดความร้อน มอเตอร์พัดลมหมุนเวียน และมอเตอร์หมุนไจไหม สามารถตั้งเวลาหยุดการทำงานเครื่องได้อัตโนมัติ ขั้นตอนทำงาน กดปุ่มเริ่มทำงานเลือกการควบคุมแบบมือหรือแบบอัตโนมัติ ตั้งค่าอุณหภูมิและเวลาใช้งาน (สำหรับการควบคุมแบบอัตโนมัติ) กดปุ่มยืนยัน มอเตอร์พัดลมเริ่มหมุนเวียนลมผ่านขดลวดความร้อน และมอเตอร์หมุนไจไหมเริ่มทำงาน เซนเซอร์อ่านค่าอุณหภูมิส่งสัญญาณเข้าสมองกลฝังตัวเพื่อควบคุมชุดขับขดลวดความร้อนให้ทำงานหรือหยุดทำงานตามค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ จอแสดงผลแบบผลึกเหลวแสดงข้อมูล 4 ค่า อุณหภูมิที่ตั้งค่า อุณหภูมิภายในตู้ เวลาทำงานที่ตั้งค่าและเวลาที่เหลือในการทำงาน [9] กรณีเกิดเหตุขัดข้องสามารถหยุดระบบได้ทันทีด้วยปุ่มหยุดฉุกเฉินทางไฟฟ้า เมื่อครบกำหนดเวลาระบบหยุดทำงานอัตโนมัติและแจ้งเตือนจบการทำงานผ่านจอแสดงผลแบบผลึกเหลว ดังรูปที่ 9

รูปที่ 9 หน้าจอแจ้งเตือนจบการทำงาน

2.4 วิธีการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการอบเป็นชนิดไหมเปลือกชุบน้ำบิดหมาด จำนวน 7 ไจ ต่อ 1 รอบการอบ ทดสอบที่อุณหภูมิ 2 ช่วง คือ 35 40 และ 45 องศาเซลเซียส ช่วงเวลา 2, 4, 6, 8 และ 10 นาที วัดความชื้นด้วยเครื่องวัดแบบดิจิตอล หน่วยวัดความชื้นเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 การวัดความชื้นด้วยเครื่องวัดดิจิตอล

2.5 การหาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งไหม

การหาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งเส้นไหมแบบอัตโนมัติด้วยสมองกลฝังตัว เป็นการหาอัตราส่วนการลดความชื้นได้จากสมการ

$$\eta = \frac{MC_i - MC_o}{MC_o} \times 100 \qquad (3)$$

η คือ ประสิทธิภาพการลดความชื้น

MC_I คือ ความชื้นเส้นไหมก่อนการอบ (%)

MC_O คือ ความชื้นเส้นไหมหลังการอบ (%)

3. ผลการทดสอบ

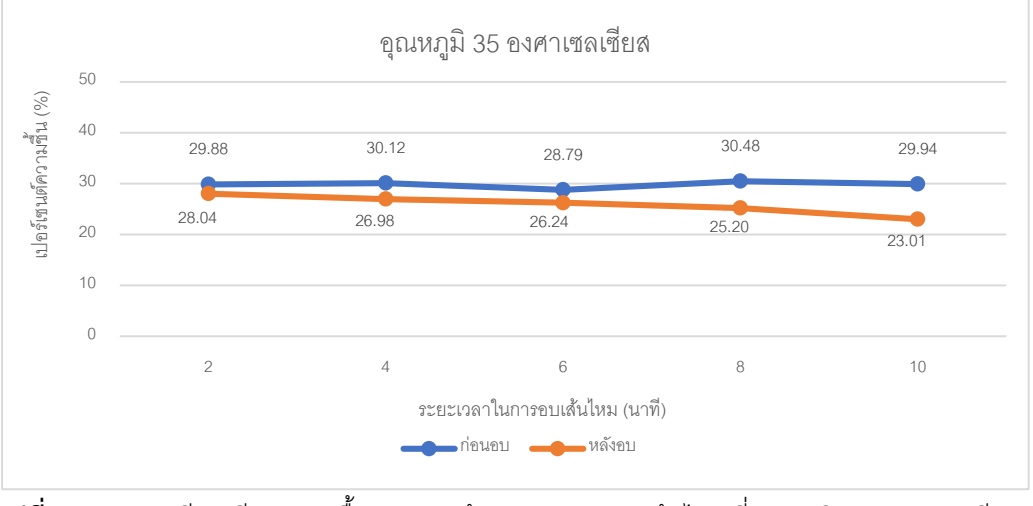
3.1 ผลการทดสอบเครื่องอบเส้นไหมด้วยสมองกลฝังตัวที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

ผลการทดสอบเครื่องอบเส้นไหมด้วยสมองกลฝังตัว ทดสอบอบเส้นไหมที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส จำนวนไหม 7 ไจ ต่อ 1 รอบการอบไหมเปรียบเทียบความชื้นวัดของเส้นไหมก่อนและหลังการอบด้วยเครื่องวัดความชื้นแบบดิจิตอล จำนวน 5 ช่วงเวลา คือ 2, 4, 6, 8 และ 10 นาที ความชื้นก่อนเข้าเครื่องอบเส้นไหมร้อยละ 29.88, 30.12, 29.78, 30.48 และ 29.94 ความชื้นหลังออกจากเครื่องอบลดลงร้อยละ 28.04, 26.98, 26.24, 26.20 และ 23.01 ตามลำดับ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความชื้น 5 ช่วงเวลา ที่ 35 องศาเซลเซียส

เส้นไหมไจที่	2 นาที		4 นาที		6 นาที		8 นาที		10 นาที	
	เปอร์เซนต์ความชื้น (%)		เปอร์เซนต์ความชื้น (%)		เปอร์เซนต์ความชื้น (%)		เปอร์เซนต์ความชื้น (%)		เปอร์เซนต์ความชื้น (%)	
	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ
1	30.40	28.80	29.50	26.90	30.10	26.70	33.00	24.20	30.00	23.10
2	29.60	28.60	30.40	27.00	29.40	26.50	29.50	25.30	29.70	24.10
3	29.50	27.70	30.30	27.50	29.10	26.00	30.10	24.60	29.60	22.40
4	29.90	27.30	30.90	26.70	30.00	26.50	30.00	26.50	30.50	23.60
5	30.10	28.10	29.30	27.10	30.90	26.30	30.60	25.30	29.40	22.50
6	29.20	27.60	30.80	26.90	29.20	25.60	30.60	25.40	30.80	22.30
7	30.50	28.20	29.70	26.80	29.80	26.10	29.60	25.10	29.60	23.10
ค่าเฉลี่ย	29.88	28.04	30.12	26.98	29.78	26.24	30.48	25.20	29.94	23.01

รูปแสดงผลการเปรียบเทียบความชื้นก่อนการเข้าเครื่องอบเส้นไหมและหลังการอบเส้นไหม 5 ช่วงเวลา 2, 4, 6, 8 และ 10 นาที ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ผลการเปรียบเทียบความชื้นก่อนการเข้าและหลังการอบเส้นไหม ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

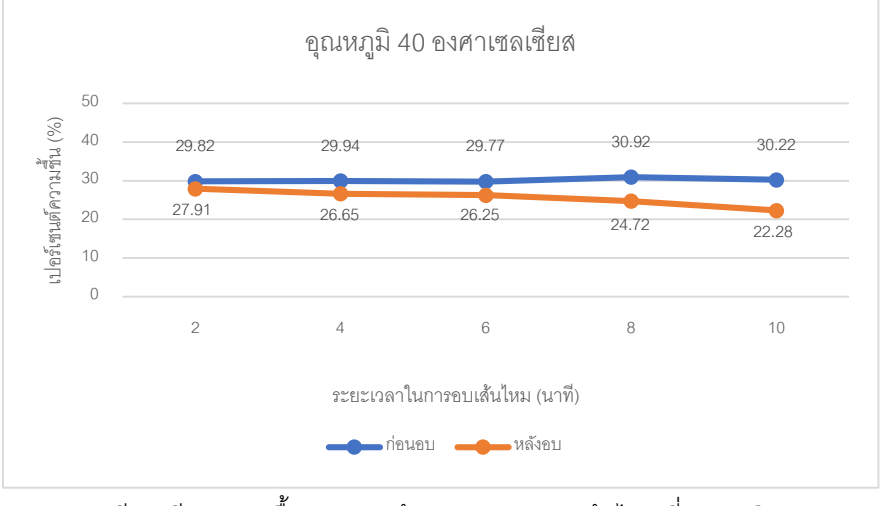
3.2 ผลการทดสอบเครื่องอบเส้นไหมด้วยสมองกลฝังตัวที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ผลการทดสอบเครื่องอบเส้นไหมอัตโนมัติด้วยสมองกลฝังตัว ทดสอบอบเส้นไหมที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จำนวนไหม 7 ไจ ต่อ 1 รอบการอบไหมเปรียบเทียบความชื้นวัดของเส้นไหมก่อนและหลังการอบด้วยเครื่องวัดความชื้นแบบดิจิตอล จำนวน 5 ช่วงเวลา คือ 2, 4, 6, 8 และ 10 นาที ความชื้นก่อนเข้าเครื่องอบเส้นไหมร้อยละ 29.82, 29.94, 29.77, 34.92 และ 30.22 ความชื้นหลังออกจากเครื่องอบลดลงร้อยละ 28.04, 26.98, 26.24, 26.20 และ 23.01 ตามลำดับ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความชื้น 5 ช่วงเวลา ที่ 40 องศาเซลเซียส

เส้นไหมไจที่	2 นาที		4 นาที		6 นาที		8 นาที		10 นาที	
	เปอร์เซนต์ความชื้น (%)		เปอร์เซนต์ความชื้น (%)		เปอร์เซนต์ความชื้น (%)		เปอร์เซนต์ความชื้น (%)		เปอร์เซนต์ความชื้น (%)	
	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ
1	29.80	28.20	30.50	26.80	30.30	26.60	32.00	24.10	32.10	22.10
2	29.90	28.30	30.20	26.70	29.00	26.70	30.10	24.60	29.60	21.80
3	30.00	27.90	29.80	26.50	29.50	26.30	30.50	25.60	30.20	22.60
4	29.20	27.60	29.60	26.90	29.70	26.30	30.80	25.50	30.10	22.60
5	29.60	28.20	29.80	26.40	30.70	25.60	29.50	24.30	29.70	22.80
6	30.20	27.40	29.80	26.60	30.00	26.50	31.40	24.20	30.10	21.30
7	30.10	27.80	29.90	26.70	29.20	25.80	29.70	24.80	29.80	21.10
ค่าเฉลี่ย	29.82	27.91	29.94	26.65	29.77	26.25	34.92	24.72	30.22	22.28

รูปแสดงผลการเปรียบเทียบความชื้นก่อนการอบและหลังการอบเส้นไหม 5 ช่วงเวลา 2, 4, 6, 8 และ 10 นาที ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 ผลการเปรียบเทียบความชื้นก่อนการเข้าและหลังการอบเส้นไหม ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

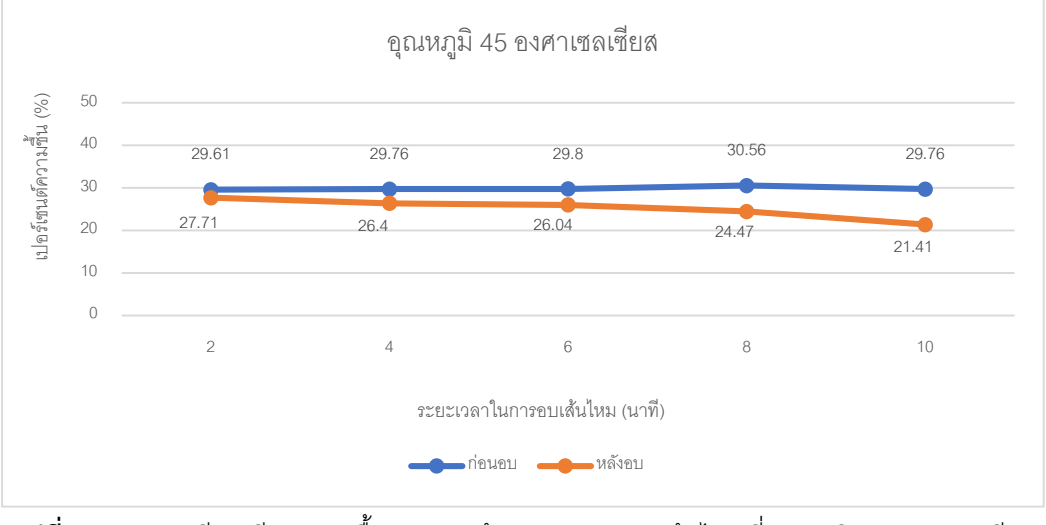
3.3 ผลการทดสอบเครื่องอบเส้นไหมด้วยสมองกลฝังตัวที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

ผลการทดสอบเครื่องอบเส้นไหมอัตโนมัติด้วยสมองกลฝังตัว ทดสอบอบเส้นไหมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จำนวนไหม 7 ไจ ต่อ 1 รอบการอบ ไหมเปรียบเทียบความชื้นวัดของเส้นไหมก่อนและหลังการอบด้วยเครื่องวัดความชื้นแบบดิจิตอล จำนวน 5 ช่วงเวลา คือ 2, 4, 6, 8 และ 10 นาที ความชื้นก่อนเข้าเครื่องอบเส้นไหมร้อยละ 29.61, 29.76, 29.80, 30.56 และ 29.76 ความชื้นหลังออกจากเครื่องอบลดลงร้อยละ 27.71, 26.40, 26.04, 24.47 และ 21.41 ตามลำดับ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความชื้น 5 ช่วงเวลา ที่ 45 องศาเซลเซียส

เส้นไหมไจที่	2 นาที		4 นาที		6 นาที		8 นาที		10 นาที	
	เปอร์เซนต์ความชื้น (%)		เปอร์เซนต์ความชื้น (%)		เปอร์เซนต์ความชื้น (%)		เปอร์เซนต์ความชื้น (%)		เปอร์เซนต์ความชื้น (%)	
	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ
1	29.20	28.00	30.00	26.20	30.00	26.10	31.00	23.00	30.00	20.00
2	29.60	28.00	30.00	26.40	29.10	26.60	29.90	24.20	29.40	21.30
3	29.80	27.50	29.30	26.20	30.00	25.80	31.40	25.40	30.00	22.30
4	29.10	27.40	29.50	26.70	29.50	26.00	31.20	25.60	30.20	22.50
5	29.80	28.20	29.50	26.00	30.50	25.20	29.40	24.20	29.00	21.90
6	30.00	27.50	30.00	26.70	30.00	26.70	31.50	24.20	30.20	21.10
7	29.80	27.40	30.00	26.60	29.50	25.90	29.50	24.70	29.50	20.80
ค่าเฉลี่ย	29.61	27.71	29.76	26.40	29.80	26.04	30.56	24.47	29.76	21.41

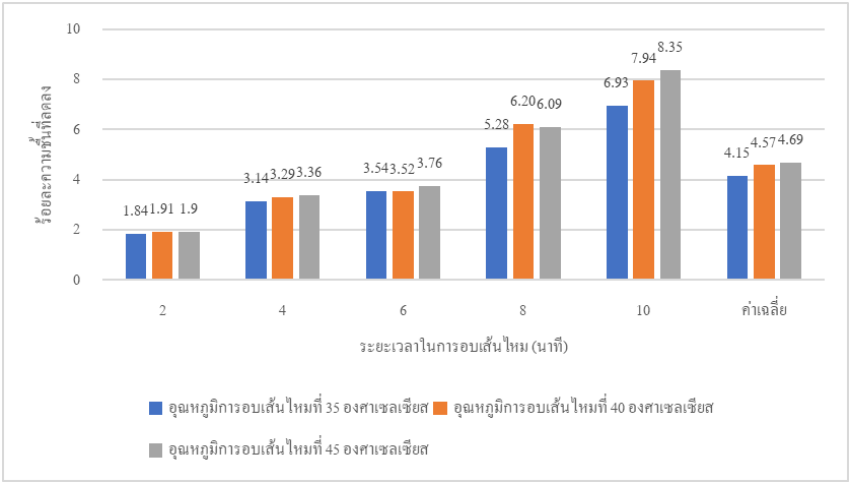
รูปแสดงผลการเปรียบเทียบความชื้นก่อนการเข้าเครื่องอบเส้นไหมและหลังการอบเส้นไหม 5 ช่วงเวลา 2, 4, 6, 8 และ 10 นาที ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 ผลการเปรียบเทียบความชื้นก่อนการเข้าและหลังการอบเส้นไหม ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

3.4 ผลทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งเส้นไหมแบบอัตโนมัติด้วยสมองกลฝังตัวที่อุณหภูมิ 35 40 และ 45 องศาเซลเซียส

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งเส้นไหมแบบอัตโนมัติด้วยสมองกลฝังตัว โดยการเปรียบเทียบปริมาณความชื้นที่ลดลง หลังการอบที่อุณหภูมิ 35 40 และ 45 องศาเซลเซียส จำนวน 5 ช่วงเวลา คือ 2, 4, 6, 8 และ 10 นาที ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 ปริมาณความชื้นที่ลดลงหลังจากการอบที่อุณหภูมิ 35 40 และ 45องศาเซลเซียส

ผลการเปรียบเทียบความชื้นหลังเข้าเครื่องอบเส้นไหมแบบอัตโนมัติ 5 ช่วงเวลา คือ 2, 4, 6, 8 และ 10 นาที ที่อุณหภูมิ 35 40 และ 45 องศาเซลเซียส ความชื้นลดลงเฉลี่ยร้อยละ 4.15, 4.57 และ 4.69 ตามลำดับ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ร้อยละความชื้นที่ลดลง ณ อุณหภูมิ 35 40 และ 45 องศาเซลเซียส

ระยะเวลา	อุณหภูมิการอบเส้นไหมที่ 35 องศาเซลเซียส	อุณหภูมิการอบเส้นไหมที่ 40 องศาเซลเซียส	อุณหภูมิการอบเส้นไหมที่ 45 องศาเซลเซียส
2	1.84	1.91	1.9
4	3.14	3.29	3.36
6	3.54	3.52	3.76
8	5.28	6.20	6.09
10	6.93	7.94	8.35
ค่าเฉลี่ย	4.15	4.57	4.69

ผลทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งเส้นไหมแบบอัตโนมัติด้วยสมองกลฝังตัว 5 ช่วงเวลา คือ 2, 4, 6, 8 และ 10 นาที ที่อุณหภูมิ 35 40 และ 45 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งเส้นไหมแบบอัตโนมัติด้วยสมองกลฝังตัว ณ อุณหภูมิ 35 40 และ 45 องศาเซลเซียส

นาที	35 องศาเซลเซียส	40 องศาเซลเซียส	45 องศาเซลเซียส
2	6.56	6.84	6.86
4	11.64	12.35	12.73
6	13.49	13.41	14.44
8	20.95	25.08	24.89
10	30.12	35.64	39.00
ค่าเฉลี่ย	16.55	18.66	19.58

จากตารางที่ 5 พบว่าประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งเส้นไหมแบบอัตโนมัติด้วยสมองกลฝังตัว ณ อุณหภูมิ 35 มีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 16.55 อุณหภูมิที่ 40 มีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 18.66 และ 45 องศาเซลเซียสมีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 19.58

4. การอภิปรายผล

ผลการวิจัยพบว่า ประสิทธิภาพการอบเส้นไหมด้วยเครื่องอบเส้นแห้งเส้นไหมแบบอัตโนมัติด้วยสมองกลฝังตัวที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ที่ช่วงเวลาอบ 2, 4, 6, 8 และ 10 นาที มีประสิทธิภาพเท่ากับ 6.56, 11.64, 13.49, 20.95 และ 30.12 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการอบเส้นไหมด้วยเครื่องอบเส้นแห้งเส้นไหมแบบอัตโนมัติด้วยสมองกลฝังตัวที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาอบ 2, 4, 6, 8 และ 10 นาที มีประสิทธิภาพเท่ากับ 6.84 , 12.35 , 13.41, 25.08 และ 35.64 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการอบเส้นไหมด้วยเครื่องอบแห้งเส้นไหมแบบอัตโนมัติด้วยสมองกลฝังตัวที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาอบ 2, 4, 6, 8 และ 10 นาที มีประสิทธิภาพเท่ากับ 6.86, 12.73, 14.44, 24.89 และ 39.00 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากอุณหภูมิในการอบจะเห็นได้ว่า การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ปริมาณความชื้นในเส้นไหมลดลง และเมื่อพิจารณาจากช่วงเวลาในการอบจะเห็นได้ว่า ระยะเวลาในการอบส่งผลให้ความชื้นในเส้นไหมมีปริมาณลดลงเช่นเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจาก การเพิ่มอุณหภูมิและระยะเวลาจะส่งผลต่อปริมาณน้ำในเส้นไหมลดลง (ความชื้นลดลง) ชี้ให้เห็นว่าอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย (ระดับอุณหภูมิและระยะเวลาอบแห้ง) ส่งผลต่อปริมาณความชื้นในเส้นไหม

5. สรุป

สรุปผลการวิจัยเครื่องอบแห้งเส้นไหมแบบอัตโนมัติด้วยสมองกลฝังตัว พบว่า ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งเส้นไหมแบบอัตโนมัติด้วยสมองกลฝังตัว ณ อุณหภูมิ 35 มีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 16.55 อุณหภูมิที่ 40 มีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ

ร้อยละ 18.66 และ 45 องศาเซลเซียสมีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 19.58 ที่ช่วงเวลา 2 – 10 นาที ความแตกต่างของความชื้นก่อนและหลังการอบจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบ อย่างไรก็ตาม การอบเส้นไหมที่อุณหภูมิสูงกับเวลาที่นานเกินไปจะทำให้เส้นไหมแห้งและแข็ง เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้เป็นการมุ่งเน้นหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องอบเส้นไหมแบบอัตโนมัติด้วยสมองกลฝังตัวในการลดความชื้น ดังนั้นงานวิจัยในครั้งถัดไปจะเป็นการหาค่าความเหมาะสมของอุณหภูมิ ความชื้น และเวลาในการอบเส้นไหมที่มีหลากหลายในประเทศให้มีคุณภาพและมาตรฐาน รวมถึงการพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติด้วยสมองกลฝังตัวเป็นแบบไร้สายเพื่อรองรับกับเทคโนโลยีใหม่ ๆ ในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร และสาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Ravitep Musikapan. Development of Natural Dye Shades from Colored Hol Silk Wisdom to Expand the Silk Textile Product Innovation of the Termtem Studio Brand. Journal of Fine Arts, Chiang Mai University. 2021; 12: 207-38.

[2] เครือวัลย์ มาลาศรี. การพัฒนาศักยภาพชุมชนในการทอผ้าไหมย้อมสีธรรมชาติและการผลิตสีย้อมธรรมชาติชุมชนเทศบาล ตำบลสะอาด อำเภอน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น. การประชุมวิชาการด้านมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ระดับชาติ ครั้งที่ 2, 5-6 สิงหาคม 2562. จังหวัดสงขลา; 2562.

[3] วัฒนพงษ์ รักษ์วิเชียร์ และคณะ. การพัฒนาส่งเสริมและเผยแพร่การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร; 2548.

[4] สังวาล เพ็งพัด และ วัฒนพงษ์ รักษ์วิเชียร. การอบแห้งผลิตภัณฑ์เนื้อและปลาด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานพลังงานแสงอาทิตย์ระดับอุตสาหกรรมในครัวเรือน. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร; 2538.

[5] จิราวุธ วารินทร์. Arduino Uno พื้นฐานสำหรับงาน IOT. Prompt: กรุงเทพฯ; 2561

[6] จำรูญ ตันติพิศาลกุล. การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล 1. เม็ดทรายพริ้นติ้ง: กรุงเทพฯ; 2540.

[7] ดอนสัน ปงผาบ. ภาษาซีและ Arduino. สำนักพิมพ์ภาษาและวัฒนธรรม สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น): กรุงเทพฯ; 2560.

[8] ไชยันต์ สุวรรณชีวะศิริ. วิศวกรรมควบคุม 1. ศูนย์ผลิตตำราเรียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ: กรุงเทพฯ; 2562.

[9] ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ. คู่มือประกอบการอบรม โครงการค่ายอิเล็กทรอนิกส์และสารสนเทศ. งานพัฒนากำลังคนด้านอิเล็กทรอนิกส์และสารสนเทศ (HRDS) ฝ่ายบริหารโครงสร้างพื้นฐาน (IMD): ปทุมธานี; 2563.

FEAT JOURNAL
FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL
วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การเพิ่มประสิทธิภาพระบบการขนส่งสินค้าในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม กรณีศึกษา: ศูนย์กระจายสินค้า บริษัท ABC

The Efficiency Improvement of Transportation System in Beverage Industry Case Study: Distribution Center of ABC Company

พัชรินทร์ คอนนาสี[1)] และ คมกฤช ปิติฤกษ์[2)]

Phatcharin Khonnasee[1)] and Komkrit Pitiruek[2)]

[1)] สาขาวิชาวิศวกรรมนวัตกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

[2)] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

[1)] Program of Innovation Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand

[2)] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand

Received: 9 May 2022

Revised: 3 October 2022

Accepted: 6 October 2022

Available online: 23 June 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ช่วยแก้ปัญหาการจัดรถขนส่งสินค้าภายใต้เงื่อนไขความสามารถของลูกค้าในการรองรับรถขนส่งแต่ละประเภท ช่วงเวลาการรับสินค้าของลูกค้า และข้อจำกัดด้านความสามารถในบรรทุกสินค้าของรถขนส่ง ซึ่งระบบการจัดรถขนส่งในปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษาใช้วิธีการจัดโดยใช้ประสบการณ์ของพนักงาน แต่หลังจากที่วิเคราะห์ผลการจัดเส้นทางในอดีต พบว่าการมีการจัดส่งสินค้าด้วยรถบรรทุกที่ไม่เหมาะสมกับปริมาณสินค้า ส่งผลให้มีต้นทุนการขนส่งสินค้าเกินความจำเป็น และไม่สามารถตรวจสอบได้ว่าเป็นเส้นทางที่มีความคุ้มค่าหรือไม่ ดังนั้นจึงได้ประยุกต์ใช้วิธีการหาคำตอบด้วยตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีตัวชี้วัด คือ จำนวนเที่ยวรถที่น้อยลงและค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการจัดรถขนส่งในปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษาโดยใช้ประสบการณ์ของพนักงาน ผลจากการศึกษา พบว่าค่าใช้จ่ายในการขนส่งลดลงร้อยละ 5.76 และมีจำนวนเที่ยวในการจัดส่งสินค้าทั้งหมดลดลงร้อยละ 3.35 ภายใน 30 วัน

คำสำคัญ: การจัดงานรถขนส่ง การเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่ง ปัญหาการขนส่ง

Abstract

The objective of this research is to apply mathematical model for selecting delivery truck with various truck capacities and customers' constraints. Currently, employees manually planned the truck scheduling based on their experiences. However, the analytical results of vehicle planning in the past indicated that most truck delivery plans were not matched between numbers of goods and the truck capacity. Consequently, the freight cost was increased and could not guarantee that the actual shipping is compiled to the plans. Therefore, a mathematical model was developed and applied to assist in the decision making on the vehicle planning. The proposed model resulted in reducing number of trips and transportation costs compared to the existing vehicle planning methods. The result for transportation costs was reduced by 5.76% as well as the total number of shipments was decreased by 3.35% within 30 days.

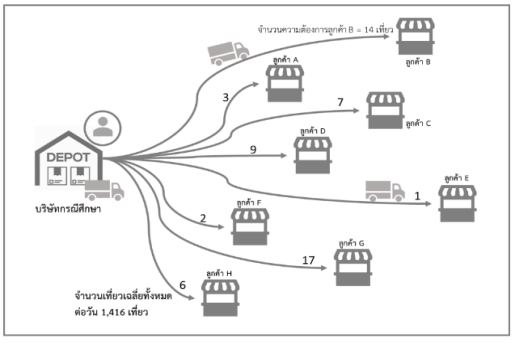
Keywords: Transportation Arrangement: Transport Optimization: Transportation Problems

*ติดต่อ: phatcharin.k@kkumail.com

1. บทนำ

ในปัจจุบันสภาวะราคาน้ำมันเชื้อเพลิงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี สะท้อนให้เห็นถึง ต้นทุนด้านการขนส่งที่ต้องเพิ่มขึ้นในสัดส่วนเดียวกับราคาน้ำมันเชื้อเพลิง การจัดเส้นทางเป็นกิจกรรมสำคัญที่ส่งผลต่อต้นทุนการขนส่งโดยตรง การจัดเส้นทางอย่างมีประสิทธิภาพช่วยให้ธุรกิจสามารถลดต้นทุนการขนส่งได้อย่างมาก มีผลต่อปริมาณการใช้เชื้อเพลิงน้อยลง ทำให้ปริมาณการจราจรทางถนนลดลง ลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่อากาศ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักหนึ่งของฝุ่น PM 2.5 และทำให้เกิดภาวะโลกร้อนด้วย

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทให้บริการโลจิสติกส์บุคคลที่ 3 (Third-Party Logistics: 3PL) ให้บริการกับตัวแทนจำหน่ายผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องดื่มที่มีคำสั่งขนให้ทำการจัดส่งสินค้าไปยังร้านลูกค้า แสดงได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แนวทางในการขนส่งจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้า

จากภาพที่ 1 แสดงตัวอย่างปริมาณงานที่พนักงานแผนกขนส่งต้องทำการจัดแผนงานให้รถขนส่งสินค้า ซึ่งใช้ข้อมูลในการวางแผนการจัดรถขนส่งสินค้าอ้างอิงตามปริมาณความต้องการสินค้าและช่วงเวลารับสินค้าที่แต่ละร้านกำหนด ความจุของรถขนส่งที่มีความแตกต่างกัน เนื่องจากสถานที่ของร้านลูกค้าแต่ละแห่งมีข้อจำกัดของพื้นที่และ

ขนาดของรถขนส่งบางประเภทที่ไม่สามารถเข้าถึงได้ ปัจจุบันบริษัทคำนวณการบรรทุกสินค้าเป็นปริมาตรความจุ ใช้หน่วยเป็นพาเลท การวางแผนจัดงานรถขนส่งเป็นกระบวนการทำงานที่จัดอยู่ในระดับปฏิบัติการที่ต้องทำทุกวัน ปัญหาการจัดเส้นทางเป็นปัญหาขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนมาก ดังนั้นการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางโดยอาศัยประสบการณ์และความชำนาญ อาจส่งผลให้แผนการขนส่งสินค้าไม่มีประสิทธิภาพหากต้องพิจารณาอย่างครบถ้วนทุกรายละเอียด อาจทำให้ตัดสินใจได้ไม่ทันเวลา โดยเฉพาะในช่วงที่มีปริมาณงานเพิ่มขึ้น ซึ่งการอาศัยประสบการณ์ของพนักงานในการจัดงานให้กับรถขนส่งนั้นถือเป็นความสามารถเฉพาะบุคคล อาจจะเกิดการใช้รถขนส่งที่ไม่เหมาะสม ส่งผลต่อต้นทุนการขนส่งสินค้าเพิ่มสูงขึ้น และอาจส่งผลในระยะยาวหากมีการปรับเปลี่ยนหน้าที่ หรือพนักงานคนเดิมได้ลาออกไป จะทำให้บริษัทได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์ดังกล่าวทันที

จากการศึกษาพบว่า การจัดงานรถขนส่งยังสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพให้การวางแผนจัดงานให้มีความเหมาะสมในการจัดส่งสินค้า ส่งผลให้ช่วยลดต้นทุนในการขนส่งสินค้า และตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ทันตามความต้องการ รวมทั้งเป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจให้กับผู้ปฏิบัติงานในการวางแผนงานให้เกิดการเลือกใช้รถขนส่งได้เต็มประสิทธิภาพ ลดเวลาในการจัดงานรถขนส่งที่ต้องทำเป็นประจำทุกวันลงได้ เช่น งานวิจัยของ Rinmukda และคณะ [1] นำเสนอแนวทางปรับปรุงพัฒนาระบบการขนส่งสินค้าให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เพื่อลดต้นทุนค่าขนส่งสินค้าให้กับบริษัทกรณีศึกษาที่มีวางแผนการจัดเส้นทางโดยใช้ประสบการณ์และความชำนาญเส้นทางของพนักงาน ขาดการพิจารณาเส้นทางที่เป็นมาตรฐานและการวางแผนงานที่มีประสิทธิภาพ เช่นเดียวกับ Hongsuwan [2] ได้ศึกษาการวางแผนเส้นทางรถขนส่งน้ำดื่ม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งให้มีระยะทางสั้นที่สุด หากนำปัญหาที่มีความซับซ้อนมาศึกษา ทำความเข้าใจ ให้ครบถ้วน แล้วสร้างเป็นแบบจำลอง ซึ่งงานวิจัยของ พิศาล [3] แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) ไม่จำเป็นต้องเป็นแบบจำลองที่ต้องการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเสมอไป และบางแบบจำลองอาจจะเป็นการอธิบายอินพุต (input) กับเอาต์พุต (output) เท่านั้น แบบจำลองเพื่อการตัดสินใจ (Decision model) ใช้ประกอบกระบวนการตัดสินใจ ผู้ตัดสินใจไม่จำเป็นต้องตัดสินใจตามผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง ผู้ตัดสินใจอาจมีปัจจัยอื่นที่คำนึงถึงแต่ไม่อยู่ในแบบจำลอง หรือไม่สามารถนำเข้ามาไว้ในแบบจำลองได้ แบบจำลองบนสเปรดชีต (Spreadsheet model) จัดข้อมูลให้อยู่ในแนวนอนและแนวตั้ง แล้วเชื่อมโยงระหว่างข้อมูลต่างๆ เข้าด้วยกัน สเปรดชีตมีความสามารถที่หลากหลายทำให้มีความเหมาะสมต่อการสร้างแบบจำลอง เช่น Velarde และคณะ [4] ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มสำหรับการกำหนดเส้นทางการกระจายสินค้าออกจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้า แม้ว่าแนวทางของงานวิจัยที่นำเสนอจะทำให้มีต้นทุนในการดำเนินงานต่อวันที่เพิ่มขึ้น แต่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พาหนะให้ดีขึ้นจากเดิม 65% เป็น 87% ปัจจุบันมีการสร้างตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประยุกต์ใช้กับปัญหาการขนส่ง เช่น X.W.Qin และคณะ [5] Ma และ Zhang [6]

Yang และคณะ [7] Gao [8] Zhang และคณะ [9] ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ด้านงานวิจัยของน้ำมนต์ และสรวิชญ์ [10] ทำการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากงานวิจัยของ Bektas [11] ที่ได้รวบรวมปัญหา mTSP ไปประยุกต์ใช้งานในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ เช่น ด้านการจัดตารางเครื่องพิมพ์ Gorenstein [12] ต่อมาพัฒนาโดย Carter และ Ragsdale [13] นอกจากนี้ยังมีการนำไปใช้จัดตารางเดินรถนักเรียนในงานวิจัยของ Angel [14] รวมถึงนำไปใช้ในการจัดตารางลูกเรือ Svestka และ Huckfeldt [15] โดยงานวิจัยของน้ำมนต์ และสรวิชญ์ [10] ได้ปรับปรุงต่อยอดแบบจำลอง Assignment-based และ Flow-based ด้วยการเพิ่มเงื่อนไขกำหนดจำนวนสาขาของร้านสะดวกซื้อที่รถบรรทุกแต่คันจะต้องไปส่ง และกำหนดเวลาให้รถแต่ละคันไม่เกิน 8 ชั่วโมง ทำการทดสอบด้วยปัญหาทดสอบจำนวน 27 ปัญหา แบ่งเป็น 3 รูปแบบ พบว่าแบบจำลอง Flow-based เหมาะสมกับกรณีศึกษา ต่อมามีงานวิจัยของ วริศรา และสร-วิชญ์ [16] ที่ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งแบบมีกรอบเวลาและคำนึงถึงระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลาของวัน สำหรับบริษัทกรณีศึกษาในธุรกิจค้าปลีกแห่งหนึ่ง เพื่อหาระยะเวลาในการเดินทางต่ำที่สุด และลดต้นทุนการขนส่งของบริษัท จากโจทย์ปัญหาทดสอบทั้งหมด 12 โจทย์ปัญหา แบ่งเป็น 4 ขนาดตามจำนวนสาขาของร้านสะดวกซื้อ ผลสรุปว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ในบางปัญหาเท่านั้น จึงยังไม่ตอบสนองต่อการปฏิบัติงานจริง ส่วนงานวิจัยของสวิชญ์ และชนะ [17] ได้พัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ช่วยแก้ปัญหาการจัดตารางรถบรรทุกรับส่งสินค้า เพื่อใช้อัตราหมุนรถ และการใช้ประโยชน์ของรถที่ดีที่สุด และพิจารณาเส้นทางการขนส่งทั้งหมด 96 เส้นทาง ด้วยวิธี Tree Searching Algorithm (TSA) ภายใต้ข้อจำกัดที่รถแต่ละคันรับส่งสินค้าได้ไม่เกิน 24 ชั่วโมง พบว่า จำนวนรถที่ใช้ลดลงร้อยละ 20.30 ต่อวัน จำนวนการหมุนรถเพิ่มขึ้นร้อยละ 25.20

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะแก้ปัญหาการขนส่ง (Transportation Problem) โดยนำตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการแก้ปัญหา ในงานวิจัยนี้กำหนดให้การขนส่งมีต้นทางจุดรับสินค้าเป็นคลังสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา และมีจุดส่งสินค้าปลายทางคือร้านลูกค้าที่บริษัทกรณีศึกษาต้องทำการจัดส่ง โดยมีเป้าหมายเพื่อหาผลรวมของค่าใช้จ่ายการขนส่งที่ต่ำที่สุด ซึ่งปัญหาการขนส่งถูกนำเสนอครั้งแรกโดย Hitchcock [18] ได้นำเสนอการศึกษาการกระจายสินค้าสินค้าจากแหล่งต้นทาง (Sources) ไปยังปลายทาง (Destinations) โดยมีเป้าหมายในการหาระยะทางและค่าขนส่งที่ต่ำที่สุด โดยอยู่ภายใต้ข้อจำกัดของความสามารถในการผลิตและความต้องการสินค้านั้น ส่วนปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย Traveling Salesman Problem: TSP) มีการศึกษาและนำมาใช้ในด้านการขนส่งเพื่อลดต้นทุนที่เกิดจากการขนส่ง และงานวิจัยของ Benavent และคณะ [19] ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับพาหนะของพนักงานขายในหมู่เกาะชนบทที่ต้องให้บริการโดยใช้เรือลำเดียวตามเส้นทางเดียว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดค่าขนส่งจากเรือและรถบรรทุก ต่อมา Miranda และคณะ [20] ศึกษาปัญหาการกระจายสินค้า สร้าง

แบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยเส้นทางที่สั้นที่สุด และลดระยะเวลาที่ใช้ในการขนส่ง ตามทฤษฎีของ TSP เช่นเดียวกันกับ งานวิจัยของ ไพฑูรย์ [21] เสนอวิธีการลดต้นทุนการขนส่งโดยการประยุกต์ใช้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย โดยโปรแกรมสำเร็จรูปที่พัฒนาขึ้นในการจัดเส้นทางพาหนะให้กับธุรกิจชานม สามารถลดต้นทุนพลังงานที่ใช้ลงได้ 18.15% งานวิจัยของ Puchongkawarin & Ransikarbum [22] พัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (DSS) แบบสองขั้นตอน ยกระดับคุณภาพของโลจิสติกส์การท่องเที่ยวและบริการขนส่งสาธารณะ โดยใช้การวิจัยแบบผสมผสานอาศัยการวิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระดับความพึงพอใจและการเลือกจุดหมายปลายทางของนักท่องเที่ยว ใช้แบบจำลอง TSP มาวิเคราะห์การบริการขนส่งและเส้นทาง เครื่องมือที่งานวิจัยเสนอนี้ได้รับการตรวจสอบโดยใช้กรณีศึกษาสองกรณีเกี่ยวกับโลจิสติกส์เพื่อการท่องเที่ยวและรถมินิบัสที่มีอยู่ในจังหวัดอุบลราชธานีของประเทศไทย ซึ่งมีแนวทางที่ได้นำเสนอมีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพและเส้นทางของระบบที่มีอยู่ได้

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาและงานวิจัยเกี่ยวกับปัญหาการขนส่ง มีการแก้ปัญหาได้หลายวิธี ซึ่งมีความแตกต่างกันไปตามเงื่อนไขของปัญหาที่พบในกรณีศึกษา เพื่อให้สามารถบรรลุผลลัพธ์ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนั้น สำหรับงานวิจัยนี้ควรเลือกใช้วิธีการค้นหาคำตอบด้วยการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์เนื่องจากต้องการหาค่าผลลัพธ์ดีที่สุดที่ตรงกับเป้าหมาย คือ การจัดงานให้รถขนส่งภายใต้ข้อจำกัด โดยมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าน้อยที่สุด

2. วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้แก้ปัญหาการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษา ผู้ให้บริการโลจิสติกส์ในอุตสาหกรรมประเภทเครื่องดื่ม โดยการแก้ปัญหาการจัดงานรถขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า ด้วยรถบรรทุกที่มีความจุ 3 ประเภท ได้แก่ 2 พาเลท 7 พาเลท และ 8 พาเลท เครื่องมือในการวิเคราะห์หาผลรวมค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่ต่ำที่สุด คือ โปรแกรม Lingo 19.0 ในการแก้ปัญหาแบบ Optimization โดยมีสมการวัตถุประสงค์ เพื่อหาค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่มีค่าที่ที่สุด (Minimize cost) ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

การสร้างรูปแบบสมการคณิตศาสตร์ การกำหนดตัวแปรของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดงานรถขนส่ง โดยมีวัตถุประสงค์ในการหาต้นทุนค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งที่ต่ำที่สุด และการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้พิจารณาในตัวแบบทางคณิตศาสตร์นี้ คือ ต้นทุนการขนส่งของรถขนส่งแต่ละประเภท มีหน่วยเป็น บาท/กิโลเมตร และระยะทางในการจัดส่งสินค้าจากบริษัทกรณีศึกษาไปยังจุดส่งสินค้าที่ลูกค้ากำหนด ซึ่งตัวแปรและพารามิเตอร์สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

ดัชนี (Index)

- i แทน ศูนย์กระจายสินค้า
- j แทน ลูกค้า
- t แทน ประเภทของรถขนส่งที่แบ่งตามความจุ
- n แทน หมายเลขรถขนส่งแต่ละคัน

ตัวแปรเสริม (Parameters)

O_t แทน จำนวนของรถขนส่งประเภท t

CAP_t แทน ความจุสูงสุดของรถขนส่งประเภท t

C_t แทน ต้นทุนแปรผันของรถขนส่งประเภท t

D_{ij} แทน ระยะทางจากศูนย์กระจายสินค้า i ไปยังลูกค้า j

NO_n แทน หมายเลขของรถขนส่งคันที่ n

Q_j แทน ปริมาณความต้องการของลูกค้า j

L_{tj} แทน ค่าเบี้ยเลี้ยงพนักงานขับรถโดยใช้รถขนส่งประเภท t จัดส่งสินค้าไปยังลูกค้า j

G แทน ค่าที่กำหนดเพื่อป้องกันการคำนวณผิดพลาดของตัวแบบทางคณิตศาสตร์

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

V_{ijtn} คือ ปริมาณการขนส่งจากศูนย์กระจายสินค้า i ไปยังลูกค้า j โดยรถประเภท t หมายเลข n

X_{ijtn} เท่ากับ 1 เมื่อตัวแปรตัดสินใจให้ทำการจัดส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้า i ไปยังลูกค้า j โดยรถประเภท t หมายเลข n และเท่ากับ 0 เมื่อไม่มีการตัดสินใจให้ทำการจัดส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้า i ไปยังลูกค้า j โดยรถประเภท t หมายเลข n

สมการเป้าหมาย (Objectives Function):

$$Minimize \ \sum_i \sum_j \sum_t \sum_n ((C_t D_{ij}) + L_{tj}) X_{ijtn} \quad (2.1)$$

สมการข้อจำกัด (Subject To):

$$\sum_i \sum_j X_{ijtn} \leq 1 \quad \forall\, t,n \quad (2.2)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_n X_{ijtn} \leq O_t \quad \forall\, t \quad (2.3)$$

$$V_{ijtn} \leq G.X_{ijtn} \quad \forall\, i,j,t,n \quad (2.4)$$

$$\sum_i \sum_t \sum_n V_{ijtn} \geq Q_j \quad \forall\, j \quad (2.5)$$

$$\sum_i \sum_j V_{ijtn} \leq Cap_t \quad \forall\, t,n \quad (2.6)$$

$$X_{ijtn} \ \epsilon \ (0,1) \quad \forall\, i,j,t,n \quad (2.7)$$

$$V_{ijtn} = Integer \quad \forall\, i,j,t,n \quad (2.8)$$

(2.1) เป็นสมการเป้าหมายเพื่อใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งที่ต่ำที่สุด (Minimize Cost) ประกอบด้วย ต้นทุนที่แปรผันตามระยะทางมีหน่วยเป็นบาทต่อกิโลเมตร คูณกับ ระยะทางที่ใช้ในการจัดส่งสินค้ามีหน่วยเป็นกิโลเมตร

(2.2) เป็นสมการข้อจำกัดกำหนดให้รถหมายเลข n ประเภท t ทำการขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้า i ไปยังลูกค้า j ได้จำนวนไม่เกิน 1 จุดส่งสินค้าต่อเที่ยว

(2.3) เป็นสมการข้อจำกัดจำนวนเที่ยวที่ต้องทำการจัดส่งสินค้าด้วยรถขนส่งประเภท t จากศูนย์กระจายสินค้า i ไปยังลูกค้า j ต้องไม่เกินจำนวนรถขนส่งพร้อมใช้งาน

(2.4) เป็นสมการข้อจำกัดสร้างเงื่อนไขกำหนดการดำเนินการของตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อป้องกันการคำนวณผิดพลาดของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ กล่าวคือ จะไม่มีการกำหนดงานแบบให้รถขนส่งวิ่งเปล่าโดยไม่มีการบรรทุกสินค้าศูนย์กระจายสินค้า i ไปลูกค้า j ด้วยรถขนส่งประเภท t คันที่ n

(2.5) เป็นสมการข้อจำกัดให้ปริมาณสินค้าที่ขนของรถขนส่งประเภท t คันที่ n จากศูนย์กระจายสินค้า i รวมแล้วต้องมีจำนวนเพียงพอต่อปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้า j

(2.6) เป็นสมการข้อจำกัด กำหนดให้การจัดงานรถขนส่งที่ทำการขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้า i ไปลูกค้า j ต้องไม่เกินความสามารถในการบรรทุกของรถขนส่งประเภท t และพิจารณาจำนวนเที่ยวรถพร้อมใช้งานของบริษัทกรณีศึกษาร่วมด้วย

(2.7) เป็นสมการกำหนดเงื่อนไขของตัวแปรตัดสินใจที่จะจัดส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้า i ลูกค้า j ด้วยรถขนส่งประเภท t คันที่ n เป็นตัวแปรแบบไบนารี (Binary) โดยมีเงื่อนไข คือ เมื่อมีค่าเป็น 1 แสดงว่ามีการตัดสินใจให้ทำการจัดส่งสินค้า และมีค่าเป็น 0 หากตัดสินใจไม่จัดส่งสินค้า

(2.8) เป็นสมการกำหนดเงื่อนไขของปริมาณการจัดส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้า i ไปยังลูกค้า j ด้วยรถขนส่งประเภท t คันที่ n ที่กำหนดว่าตัวแปรทุกตัวต้องมีค่าไม่ติดลบ หรือเป็นจำนวนเต็ม

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้น แบ่งเป็นขั้นตอนดำเนินการวิจัยได้ ดังนี้ 1) ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวกับปัญหาการจัดงานรถขนส่ง ปัญหาการขนส่ง 2) ศึกษางานวิจัยที่มีการประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา 3) การพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์และเพิ่มเติมเงื่อนไขข้อจำกัดด้านความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถขนส่งแต่ละคัน และความต้องการสินค้าตามช่วงเวลาที่ลูกค้ากำหนด 5) ทดสอบตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้นด้วย โปรแกรม Lingo 19.0 ประมวลผลหาคำตอบ 6) ปรับปรุงตัวแบบทางคณิตศาสตร์ และ 7) การวิเคราะห์และสรุปผล

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้นสำหรับแก้ปัญหาการจัดงานรถขนส่งสินค้าพิจารณาข้อจำกัดด้านความสามารถในการบรรทุกของรถขนส่งแต่ละประเภท และข้อจำกัดความสามารถรับสินค้าของลูกค้าแต่ละร้าน กรอบเวลาที่ลูกค้ากำหนดช่วงเวลาในการรับสินค้า แบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเช้า-ช่วงบ่าย ตามความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละร้าน และกำหนดระยะเวลาในการประมวลผลหาคำตอบไม่เกิน 30 นาที กำหนดจุดประสงค์ของตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าใช้จ่ายในการขนส่งรวมต่ำที่สุด

ผลลัพธ์การจัดงานรถขนส่งด้วยตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้นแสดงดังตารางที่ 1 และเปรียบเทียบกับวิธีการจัดงานรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีปัจจุบันที่จัดโดยพนักงานของบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งผลการเปรียบเทียบค่าขนส่งต่อวันแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากตัวแบบสำหรับแผนการขนส่ง ชนิดและหมายเลขของรถในหนึ่งวัน

เที่ยวที่	แผนการขนส่ง		ปริมาณการขน	
	วิธีปัจจุบัน (x_{ijtn})	วิธีที่นำเสนอ (x_{ijtn})	วิธีปัจจุบัน	วิธีที่นำเสนอ
1	1, 1, 3, 9	1, 1, 3, 8	7	7
2	1, 1, 3, 10	1, 1, 3, 14	8	8
3	1, 2, 3, 11	1, 2, 3, 9	8	8
4	1, 2, 3, 12	1, 2, 3, 16	8	8
5	1, 3, 1, 1	1, 3, 3, 12	2	2
6	1, 4, 3, 13	1, 4, 1, 24	1	1
7	1, 5, 1, 2	1, 5, 3, 10	1	2
8	1, 5, 1, 3	-	1	-
9	1, 6, 3, 14	1, 6, 3, 21	5	8
10	1, 6, 3, 15	1, 6, 3, 30	7	4

เที่ยวที่	แผนการขนส่ง		ปริมาณการขน	
	วิธีปัจจุบัน (x_{ijtn})	วิธีที่นำเสนอ (x_{ijtn})	วิธีปัจจุบัน	วิธีที่นำเสนอ
11	1, 7, 3, 16	1, 7, 3, 18	6	4
12	1, 7, 3, 17	1, 7, 3, 31	6	8
13	1, 8, 3, 18	1, 8, 3, 7	4	1
14	1, 8, 3, 19	1, 8, 3, 13	5	8
15	1, 9, 2, 4	1, 9, 1, 1	3	2
16	1, 9, 3, 20	1, 9, 3, 17	7	8
17	1, 10, 2, 5	1, 10, 3, 7	2	8
18	1, 13, 3, 21	1, 10, 3, 12	7	1
19	1, 11, 2, 6	1, 11, 1, 2	4	2
20	1, 11, 3, 22	1, 11, 3, 1	6	8
21	1, 11, 3, 23	1, 11, 3, 15	8	8
22	1, 12, 3, 24	1, 12, 3, 5	8	8
23	1, 12, 3, 25	1, 12, 3, 11	8	8
24	1, 1, 3, 26	1, 1, 3, 1	8	8
25	1, 1, 3, 27	1, 1, 3, 4	8	8
26	1, 2, 3, 28	1, 2, 3, 3	8	8
27	1, 2, 3, 29	1, 2, 3, 5	4	4
28	1, 3, 2, 7	1, 3, 3, 2	5	5
ค่าขนส่งและปริมาณการขน	**10,347**	**9,925**	**155**	**155**

จากตารางที่ 1 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากตัวแบบสำหรับแผนการขนส่ง ประเภทและหมายเลขของรถที่ได้จากวิธีปัจจุบันและวิธีที่ได้นำเสนอในหนึ่งวัน สามารถลดต้นทุนจากเดิมมีค่าใช้จ่ายในการขนส่ง 10,347 บาท ลดลงเหลือ 9,925 บาท ในปริมาณการขนส่งที่เท่ากันที่จำนวน 155 พาเลท

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างต้นทุนในการขนส่งสินค้าระหว่างวิธีปัจจุบันกับวิธีที่นำเสนอในหนึ่งเดือน

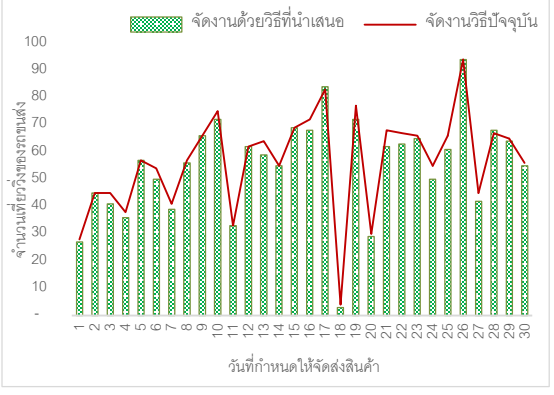
วันที่จัดส่งสินค้า	ปริมาณคำสั่งซื้อ (พาเลท)	ค่าใช้จ่ายขนส่ง (บาท)			เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
		จัดงานด้วยวิธีปัจจุบัน	จัดงานด้วยวิธีที่นำเสนอ	ความแตกต่าง	
1	155	10,347	9,925	422	4.08%
2	227	16,963	16,416	547	3.22%
3	246	16,688	14,449	2,239	13.42%
4	230	13,811	12,770	1,041	7.54%
5	351	19,810	19,487	323	1.63%
6	305	19,811	17,693	2,118	10.69%
7	265	14,982	13,992	990	6.61%
8	338	20,055	18,997	1,058	5.28%
9	447	21,558	21,232	326	1.51%
10	499	25,778	24,057	1,721	6.68%
11	250	11,175	11,190	(15)	-0.13%
12	366	21,626	21,389	237	1.10%
13	388	23,137	20,413	2,723	11.77%
14	365	18,879	18,607	272	1.44%
15	386	24,222	23,444	778	3.21%
16	476	24,165	21,926	2,239	9.26%
17	572	27,921	27,921	-	0.0%
18	11	1,632	1,172	460	28.19%
19	432	27,249	24,777	2,472	9.07%
20	210	10,306	9,959	347	3.37%
21	356	24,577	21,718	2,859	11.63%
22	418	23,435	21,792	1,643	7.01%
23	423	23,832	23,423	410	1.72%
24	323	19,708	17,166	2,542	12.90%
25	389	23,546	21,271	2,275	9.66%
26	625	34,877	34,877	-	0%
27	209	16,665	14,809	1,856	11.14%
28	424	24,663	23,629	1,033	4.19%

วันที่จัดส่งสินค้า	ปริมาณคำสั่งซื้อ (พาเลท)	ค่าใช้จ่ายขนส่ง (บาท)			เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
		จัดงานด้วยวิธีปัจจุบัน	จัดงานด้วยวิธีที่นำเสนอ	ความแตกต่าง	
29	376	24,292	23,322	970	3.99%
30	340	21,094	20,040	1,054	5.00%
รวม	**10,402**	**606,802**	**571,856**	**34,946**	**5.76%**

จากตารางที่ 2 แสดงผลการเปรียบเทียบความแตกต่างต้นทุนในการขนส่งสินค้าระหว่างวิธีปัจจุบันกับวิธีที่นำเสนอ ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้น สามารถลดต้นทุนจากเดิมมีค่าใช้จ่ายในการขนส่ง 606,802 บาท ลดลงเหลือ 571,856 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 5.76

งานวิจัยนี้ต้องการแก้ไขปัญหาการจัดงานรถขนส่ง เพื่อลดต้นทุนค่าใช้จ่ายจากการขนส่งสินค้าให้กับบริษัทกรณีศึกษา โดยการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดสอบด้วยปัญหาจริงของบริษัทกรณีศึกษาภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดด้านการบรรทุก ข้อจำกัดของลูกค้า และปริมาณความต้องการสินค้า ซึ่งจากตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของต้นทุนในการขนส่งสินค้าระหว่างวิธีปัจจุบันกับวิธีที่นำเสนอในหนึ่งเดือน จะเห็นได้ว่า มีเพียงวันที่ 11 วันเดียวที่วิธีการวางแผนในปัจจุบันของพนักงานคำนวณได้ค่าใช้จ่ายได้น้อยกว่าวิธีที่นำเสนอ เนื่องจากในวันดังกล่าวจำนวนตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณยังมีไม่มากพอ อาจทำให้พื้นที่ในการคำนวณแก้ไขปัญหาไม่ได้มากตามไปด้วย เมื่อพิจารณาจากผลลัพธ์พบว่า ส่วนใหญ่แผนการจัดงานรถขนส่งที่ได้จากการคำนวณของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้นำเสนอสามารถวางจัดงานรถขนส่งได้ดีกว่าด้วยต้นทุนค่าใช้จ่ายและจำนวนรถบรรทุกที่ลดลง โดยวิธีการในปัจจุบันที่ทำโดยพนักงาน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่จะช่วยลดต้นทุนให้กับบริษัทกรณีศึกษาได้

ผลลัพธ์จากการใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบเวลาในการวางแผนใช้รถขนส่งด้วยวิธีปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษา โดยสามารถแสดงผลลัพธ์ของการเปรียบเทียบ ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กราฟเปรียบเทียบความแตกต่างจำนวนเที่ยววิ่งของรถขนส่งระหว่างวิธีปัจจุบันกับวิธีที่นำเสนอ

จากภาพที่ 2 กราฟแสดงผลการทดสอบตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อหาค่าใช้จ่ายในการขนส่งรวมต่ำที่สุด ด้วยข้อมูลปริมาณคำสั่งซื้อของลูกค้าในวันที่ 1-30 พบว่า การจัดงานด้วยวิธีปัจจุบันรถขนส่งต้องวิ่งงานทั้งหมด 1,704 เที่ยว และจัดงานด้วยวิธีที่นำเสนอจำนวนเที่ยววิ่งลดลงจำนวน 57 เที่ยว หรือคิดเป็นร้อยละ 3.35

4. สรุป

จากการทดสอบตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับเป็นเครื่องมือในการสนับสนุนการวางแผนการจัดรถขนส่งให้กับผู้ปฏิบัติงาน บริษัทกรณีศึกษา โดยการนำปริมาณสินค้าและค่าใช้จ่ายของรถขนส่งแต่ละประเภทมาใช้ในวางแผนการจัดงานรถขนส่ง รวมทั้งคำนึงถึงความสามารถในการบรรทุกสูงสุดของรถขนส่งแต่ละประเภท ช่วงเวลาในการรับสินค้าของลูกค้าและความสามารถในการรองรับรถขนส่งแต่ละประเภทของลูกค้าแต่ละร้าน ประมวลผลผ่านโปรแกรม Lingo 19.0 ด้วยตัวอย่างโจทย์ปัญหาจากข้อมูลการจัดส่งสินค้าจริงในวันที่ 1-30 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบผลการจัดงานรถขนส่งโดยใช้พนักงานกับการจัดงานรถบรรทุกโดยใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในงานวิจัยนี้ สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมและลดค่าใช้จ่ายในการส่งสินค้าได้

สำหรับข้อเสนอแนะควรพิจารณาข้อจำกัดอื่น ๆ เพิ่มเติม เพื่อให้สอดคล้องกับปัญหาที่พบในการปฏิบัติงานจริง และปัญหามีขนาดใหญ่ซึ่งควรมีการจัดกลุ่มขนาดปัญหา ก่อนการประมวลผลจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการหาคำตอบได้ รวมถึงการพิจารณาเงื่อนไขอื่น ๆ เช่น การจัดงานรถขนส่งแบบ Multi-Objective Optimization การพิจารณาความพึงพอใจของลูกค้า เป็นประเด็นที่น่าสนใจสำหรับการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับช่วยแก้ปัญหาการจัดงานรถขนส่งให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทกรณีศึกษาที่ให้โอกาสในการศึกษาและเอื้อเฟื้อข้อมูลในการทำงานวิจัย ท่านผู้บริหารทุกท่านที่มีความเมตตาให้คำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัย และ ผศ.ดร.คมกฤช ปิติฤกษ์ ที่คอยเอาใจใส่ ให้คำแนะนำตั้งแต่เริ่มต้นการทำงานวิจัยจนกระทั่งสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Rinmukda W, Phitphibun T, Srisuknam and Watthanawonwong A. A Study of The Appropriate Vehicle Routing Model to Reduce Transportation Cost: Case Study of ABC Fruit Trading Company. Panyapiwat Journal 2016; 8(3): 99-110.

[2] Hongsuwan P, Chataraksa Wa and Chupisutikul S. Education for Increasing The Efficiency of Drinking Water Transportation Route Sumut Songkhram Province. [Master Degree Engineering Thesis]. Nakhon Pathom: Mahidol University; 2013.

[3] พิศาล สีนวล. การใช้โปรแกรมทางคณิตศาสตร์สำหรับแก้ปัญหาจัดสรรทรัพยากรเพื่อลดเวลาในการวางแผนการผลิต. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2559.

[4] Velarde JM, García S, López M and Bueno-Solano A. Implementation of a Mathematical Model to Improve Sustainability in the Handling of Transport Costs in a Distribution Network. Sustainability. 2020; 12(1): 63.

[5] Qin XW, Fan YS and Yin CW. The Research on Integration and Optimization of Network Planning of Vehicle Logistics. Computer Integrated Manufacturing System. 2006; 3: 364-76.

[6] Ma SH and Zhang XL. Logistics Capacity Constraints Based on Vehicle Logistics Plan. IE&M. 2006; 06: 15-32.

[7] Yang W, Li T and Li Z. The Research Integration of Vehicle Logistics and Its Solution. Logistics Management. 2005; 10: 46-8.

[8] Gao SP. The Fuzzy Optimization Algorithms and Theory of Transportation Problem. China: Xidian University; 2003.

[9] Zhang J, Tang JF and Pang ZD. Simulation Study on The Integrated Inventory Transportation Problem of Different Transportation Modes. Journal of Northwestern University (Natural Science Edition). 2008; 04: 492-5.

[10] น้ำมนต์ กลิ่นพลับ และ สรวิชญ์ เยาวสุวรรณไชย. แบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับจัดเส้นทางเดินรถขนส่งที่ความจุดไม่จำกัด กรณีศึกษา ผู้ให้บริการขนส่งอาหารแช่แข็ง. วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน. 2560; 5(1): 12-25.

[11] Tolga Bektas. The Multiple Travelling Salesman Problem: An Overview of Formulations and Solution Procedures. Omega. 2006; 34: 209-19.

[12] Gorenstein S. Printing Press Scheduling for Multi-Edition Periodicals. Management Science. 1970; 16(6): 373-83.

[13] Carter AE and Rangsdale CT. Scheduling Pre-Printed Newspaper Advertising Inserts Using Genetic Algorithm. Omega. 2022; 30: 415-21.

[14] Angel RD, Caudle WL, Noonan R and Whinston A. Computer Assisted School Bus Scheduling. Management Science. 1972; 18: 279-88.

[15] Svestka, Joseph, Huckfeldt, and Vaughn E. Computational Experience with an m-Salesman Travelling Salesman Algorithm. Management Science. 1973; 19(7): 790-9.

[16] วริศรา วัชรานุรักษ์ และ สรวิชญ์ เยาวสุวรรณไชย. การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ สำหรับการจัดเส้นทางการเดินรถ เพื่อธุรกิจค้าปลีกแบบมีกรอบเวลาและระยะเวลาเดินทางที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลาของวัน. การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระหว่างสถาบัน ครั้งที่ 6, 6 มิถุนายน 2561, จังหวัดสมุทรปราการ; 2561.

[17] สวิชญ์ เธียรธำรงสุข และ ชนะ รักษ์ศิริ. การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับการจัดตารางรถบรรทุกเพื่อใช้อัตราการหมุนรถและการใช้ประโยชน์ของรถที่ดีที่สุด. การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 4 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา, 28 สิงหาคม 2563, จังหวัดชลบุรี; 2563.

[18] Hitchcock FL. The Distribution of a Product from Several Sources to Numerous Localities. Journal of Mathematics and Physics. 1941; 20: 224-30.

[19] Benavent E, Landete M, Salazar-González J-J, and Tirado G. The Probabilistic pickup-and-delivery travelling salesman problem. Expert Systems with Applications. 2019; 121: 313–23.

[20] Miranda PA, Blazquez CA, Obreque C, Maturana-Ross J and Gutierrez-Jarpa G. The bi-objective insular traveling salesman problem with maritime and ground transportation costs. European Journal of Operational Research. 2018; 271(3): 1014-36.

[21] ไพฑูรย์ ศิริโอฬาร. การลดต้นทุนการขนส่งโดยการจัดเส้นทางพาหนะที่เหมาะสม กรณีศึกษา ธุรกิจเครื่องดื่มชานม. วารสารปัญญาภิวัฒน์. 2557; 5(ฉบับพิเศษ): 272-9.

[22] Puchongkawarin C and Ransikarbum K. An Integrative Decision Support System for Improving Tourism Logistics and Public Transportation in Thailand. Tourism Planning & Development. 2021; 18(6), 614-29

FEAT JOURNAL
FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL
วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

Robust Tracking Control Scheme for a Ship Maneuvering with Uncertain Dynamics Using Modified Fuzzy Logic Variable Structure Controller Approach

Phongsak Phakamach[1)*] Udomvit Chaisakulkiet[2)] and Suriya Wachirawongpaisarn[3)]

[1,2)] Rattanakosin International College of Creative Entrepreneurship,
Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Thailand

[3)] Educational Innovation Institute, Promote Alternative Education Association, Thailand

Received: 5 June 2022
Revised: 6 October 2022
Accepted: 16 November 2022
Available online: 23 June 20223

Abstract

In this paper, the tracking control of ship maneuvering by a Modified Fuzzy Logic Variable Structure Control with an integral compensator or MFLVSC is investigated. The MFLVSC structure consists of an integrator and variable structure system. The integrator ensure the elimination of steady state error due to step and ramp command inputs, while the fuzzy control would maintain the insensitivity to parameter variation and disturbances. The MFLVSC strategy is simulated and applied to a ship handling, namely course keeping, course changing and course tracking are given to demonstrated of the proposed control scheme. Simulation results indicated that MFLVSC system performance with respect to the sensitivity to parameter variations is greatly reduced. Also, its can achieve a rather accurate course tracking and avoids the chattering phenomenon.

Keywords: Ship Maneuvering: Uncertain Dynamics: Variable Structure Control: Fuzzy Logic

* Corresponding author e-mail: pp2552@hotmail.com, phongsak.pha@rmutr.ac.th Tel. 0878288398, Fax. 02-441-6000

1. Introduction

A ship maneuvering is critical for marine safety. In the part, several design methods, e.g., classical controller, adaptive control and other modern control technique [1, 2], for autopilots and ship have been proposed. The nonlinear ship dynamic model is shown in Fig. 1 . The maneuvering problem including course keeping, course tracking, berthing and anti-collision were considered in those papers. As the nonlinear behavior involved in ship maneuvering is very complicated, characterization of ship maneuvering behavior by a pure mathematical model is usually difficult. In real case of ship maneuvering, the parameter uncertainties and external load disturbances should be considered. Consequently, the robustness of controlled system is one of the important factors in controller design. A conventional linear controller may not assure satisfactory requirements.

It has been a subject of active research to design control systems which are insensitive to plant uncertainties and external disturbances. Many researchers have devoted themselves into this subject by utilizing different design methodology. One of the most attractive approaches to deal with this problem is the so called Variable Structure Control (VSC) or Sliding Mode Control (SMC). The important feature in VSC is what is termed sliding mode. The VSC approach possesses other salient advantages such as high speed of response, good transient performance and no need for precise knowledge of the controlled plant. Although the conventional VSC approach has been applied successfully in many applications [3, 4], it cannot perform well in servo applications where the system is designed to track a command input. In order to improve tracking performance, the Integral Variable Structure Control or IVSC approach, presented in [5-7], combines an integral controller with the conventional VSC. The IVSC approach can eliminate the steady tracking error due to a step command input. However, IVSC yields the error when the system has to follow a changing command input, e.g., a ramp input. Note that, this kind of input is generally encountered in servo control applications. The Modified Integral Variable Structure Control or MIVSC approach, proposed in [8, 9], uses a double integral action to solve this problem. Although, the MIVSC method can give a better tracking performance than the IVSC method does at steady state, its performance during transient period needs to be improved. However, the main problem of VSC, IVSC and MIVSC is the chattering phenomenon restricts its application.

Fuzzy control is a practical control method which imitates human being fuzzy reasoning and

decision making processes. Fuzzy logic control is derived from the fuzzy logic and fuzzy set theory that were introduced in 1965 by Professor Lotfi A. Zadeh of the University of California at Berkeley. Fuzzy logic control can be applied in many disciplines such as economics, data analysis, engineering and other areas that involve a high level of uncertainty, complexity or nonlinearity. In engineering, engineers can use the fundamentals of fuzzy logic and fuzzy set theory to create the pattern and the rules, then design the fuzzy controllers, Finally, the output response of many systems can be improved by using a fuzzy controller [10]. The method is applicable to conduct robustness control over target for which a mode is hard to be established. The final program form of the method is simple and easy to achieve. Therefore, combining fuzzy control with the VSC would maintain the insensitivity of sliding mode control to parameter perturbation and external disturbances while in the mean time effectively eliminate the chattering phenomenon.

This paper presents the design and simulation of ship maneuvering tracking control systems using the Modified Fuzzy Logic Variable Structure Control with an integral compensator or MFLVSC approach. This approach, which is the extension of IVSC approach, incorporates a feedforward path and fuzzy control to improved the dynamics response for command tracking and strong robustness. Also, it can achieve a rather accurate servo tracking and is fairly robust to plant parameter variations and external load disturbances. Simulation results are presented for demonstrating the potential of the proposed scheme and the tracking performance can be remarkably improved.

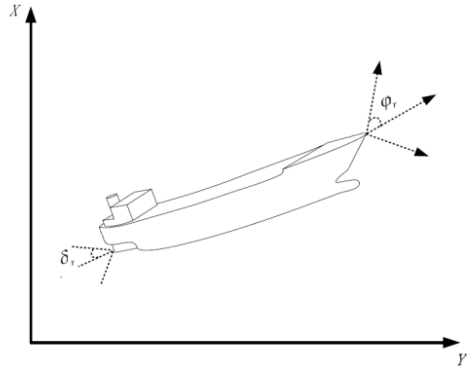


Figure 1 The nonlinear ship dynamic model.

2. Design of MFLVSC System

The structure of MFLVSC is shown in Fig. 2 can be described by the following equation of state

$$\dot{x}_i = x_{i+1}, i=1,\ldots,n\text{-}1 \quad (1a)$$

$$\dot{x}_n = -\sum_{i=1}^{n} a_i x_i + bU - f(t) \quad (1b)$$

$$y = x_1 \quad (1c)$$

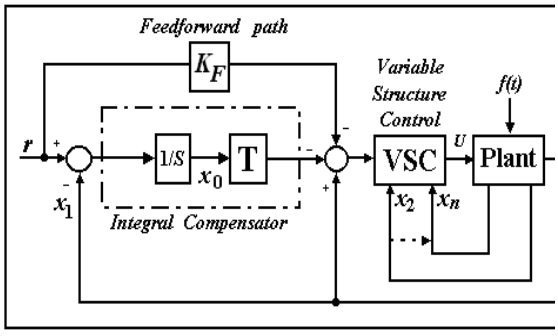


Figure 2 The structure of FLVSC system.

The switching function, σ is given by

$$\sigma = -K_F r - rTK_I + \sum_{i=1}^{n} c_i x_i \qquad (2)$$

where $C_i > 0$=constant, C_n=1 and T=integral time.

The control signal, U can be determined as follows, from (1) and (2), we have

$$\dot{\sigma} = -K_F g - TK_I(r - x_1) + \sum_{i=2}^{n} c_{i-1} x_i - \sum_{i=1}^{n} a_i x_i + bU - f(t) \cdot \qquad (3)$$

where $g = \dot{r}$.

In the defining equation for the switching function r is the desired tracking command, x_1–r is the tracking error, Z is the integral of the tracking error satisfying $\dot{z} = r - x_1$, K_F and K_I are the defined as the gain of feedforward and integral controllers, respectively.

Let a_i=a_i^0+Δa_i ;i = 1,...,n and b=b^0+Δb, where a_i^0 and b are nominal values, and Δa_i, Δb are the variations of a_i and b. Without loss of generality, we assume that b^0>0 and Δb>- b^0.

The control signal can be separated into

$$U = U_{eq} + U_{swF} + U_{swI}. \qquad (4)$$

This condition results in

$$U_{eq} = \{K_F g - c_1 TK_I(r - x_1) - \sum_{i-2}^{n-1} c_{i-1} x_i + \sum_{i=1}^{n-1} a_i^0 x_i\} / b^0 \cdot \qquad (5)$$

The transfer function when the system is on the sliding surface can be shown as

$$H(s) = \frac{X_1(s)}{R(s)} = \frac{\alpha_n}{s^n + \alpha_1 s^{n-1} + \ldots + \alpha_{n-1} s + \alpha_n} \cdot \qquad (6)$$

The transient response of the system can be determined by suitably selecting the poles of the transfer function.

Let $s^n + \alpha_1 s^{n-1} + \ldots + \alpha_{n-1} s + \alpha_n = 0$ (7)

be the desired characteristic equation(closed-loop poles), the coefficient C_1 and T can be obtained by

$$C_{n-1}=\alpha_1,\ C_1=\alpha_{n-1} \text{ and } T = \frac{\alpha_n}{\alpha_{n-1}}.$$

3. Synthesis of Fuzzy Logic Controller

The component U_{swF}, the feedforward-type control, and U_{swI}, the integral-type control, are used to eliminate the influence due to the plant parameter variations Δa_i, Δb and disturbances $f(t)$ in order to guarantee the existence of a sliding mode control. They are given by

$$U_{swF} = k_{1F}(r - x_1) + \sum_{i=2}^{n} k_{iF} x_i \tag{8}$$

and

$$U_{swI} = k_{1I}(x_1 - Tx_0 - rK_I) + \sum_{i=2}^{n} k_{iI} x_i + k_{n0} \tag{9}$$

where

$$k_1 = \begin{cases} \alpha_1 & \text{if } (x_1 - Tx_0 - rK_F)\sigma \rangle 0 \\ \beta_1 & \text{if } (x_1 - Tx_0 - rK_F)\sigma \langle 0 \end{cases},$$

$$k_i = \begin{cases} \alpha_i & \text{if } x_i\sigma \rangle 0 \\ \beta_i & \text{if } x_i\sigma \langle 0 \end{cases}, i = 2,\ldots,n$$

and $$k_{n+1} = \begin{cases} \alpha_{n+1} & \text{if } \sigma \rangle 0 \\ \beta_{n+1} & \text{if } \sigma \langle 0 \end{cases}.$$

The condition for the existence of a sliding mode is known to be

$$\sigma\dot{\sigma} \langle 0 . \tag{10}$$

In order for (10) to be satisfied, the following conditions must be met,

$$k_i = \begin{cases} \alpha_i \langle \text{Inf } [\Delta a_i - a_i^0 \Delta b / b^0 + c_{i-1}\Delta b / b^0 \\ -c_i(c_{n-1} - a_n^0)(1 + \Delta b / b^0)] / b \\ \beta_i \rangle \text{Sup } [\Delta a_i - a_i^0 \Delta b / b^0 + c_{i-1}\Delta b / b^0 \\ -c_i(c_{n-1} - a_n^0)(1 + \Delta b / b^0)] / b \end{cases} \tag{11a}$$

where $i = 1,\ldots,n\text{-}1$, $c_0 = 0$

$$k_n = \begin{cases} \alpha_n \langle \text{Inf } [\Delta a_n + a_n^0 - c_{n-1}] / b \\ \beta_n \rangle \text{Sup } [\Delta a_n + a_n^0 - c_{n-1}] / b \end{cases}$$

and where $$k_{n+1} = \begin{cases} \alpha_{n+1} \langle \text{Inf } [-N] / b \\ \beta_{n+1} \rangle \text{Sup } [-N] / b \end{cases}. \tag{11b}$$

Now we consider the effect of $\Delta k_i (i=1,\ldots n)$, Δk_i is the function is to eliminate the chattering phenomenon of the control system and find out Δk_i by making use of fuzzy set theory. Firstly take positive constants α and β, normalize switching function σ and its rate of change against time.

Suppose $$\sigma_n = \alpha.\sigma, \tag{12}$$

$$\sigma_n = \beta.\sigma \tag{13}$$

The input variable of the fuzzy controller is

$$\sigma_n sign(x_1 - Tx_0 - rK_F),$$

$$\dot{\sigma}_n sign(x_1 - Tx_0 - rK_F),$$

$$\sigma_n sign(x_i)$$

and $\dot{\sigma}_n sign(x_i)\,(i=2,\ldots n)$, the output of the controller is Δk_i.

Secondly, define the language value of σ_n and $\dot{\sigma}_n$ as P, Z, N: Δk_i is language value as PB, PM, PS, ZE, NS, NM, NB; as well as their subordinate functions as in Figs. 3~5:

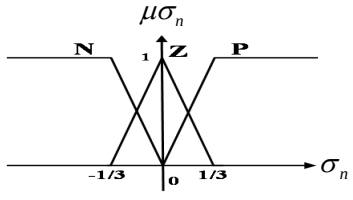


Figure 3 The subordinate function of σ_n.

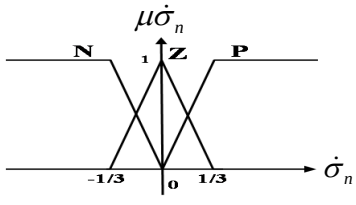


Figure 4 The subordinate function of $\dot{\sigma}_n$.

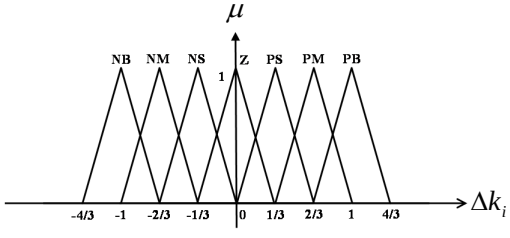


Figure 5 The subordinate function of Δk_i.

Define the following fuzzy control regularity Table 1.

Table 1. Fuzzy control regularity

	N	**Z**	**P**
N	PB	PM	PS
Z	PS	ZE	NS
P	NS	NM	NB

According to the above form, use the fuzzy calculation method introduced in [11] and gravity method to turn fuzzy output into precise control quantity

$$\Delta k_i = \left(\int \Delta k_i \tilde{\mu}_{\Delta k_i} d\Delta k_i\right) / \left(\int \tilde{\mu}_{\Delta k_i} d\Delta k_i\right) \qquad (14)$$

When

(1) $\sigma_n \le -\frac{1}{3}, \dot{\sigma}_n \le -\frac{1}{3}$; it is easy to get Δk_i=1,

and when

(2) $\sigma_n \le -\frac{1}{3}, -\frac{1}{3} \langle \dot{\sigma}_n \le 0$; σ_n (N), $\dot{\sigma}_n$ (N,Z).

The subordinate function of Δk_i(PB, PM) corresponding to is shown in [12].

Thus, points P_1 and P_2's abscissa are $\dot{\sigma}_n + \frac{2}{3}, \dot{\sigma}_n + 1$;

P_3 and P_4's abscissas are $-\dot{\sigma}_n + \frac{2}{3}, \dot{\sigma}_n + \frac{4}{3}$; then

$$\Delta k_i = \frac{-\frac{5}{2}\dot{\sigma}_n^2 - \frac{7}{6}\dot{\sigma}_n + \frac{2}{9}}{-3\dot{\sigma}_n^2 - \dot{\sigma}_n + \frac{1}{3}}$$

Using the same method we get the precise output Δk_i under other circumstances to be

for i=1, σ_n is $\sigma_n sign(x_1 - Tx_0 - rK_F)$ and $\dot{\sigma}_n$ is $\dot{\sigma}_n sign(x_1 - Tx_0 - rK_F)$; for i=1, σ_n is $\sigma_n sign(x_i)$ and $\dot{\sigma}_n$ is $\dot{\sigma}_n sign(x_i)$.

Finally, the control function of MFLVSC approach for simulate is obtained as

$$U = U_{eq} + k_I (x_1 - Tx_0 - rK_F) + \sum_{i=2}^{n} k_i x_i + K\left[\Delta k_i (x_1 - Tx_0 - rK_F) + \sum_{i=2}^{n} \Delta k_i x_i\right]. \quad (16)$$

Among them, U_{eq} is given by (5), k_i is given by inequality (11), Δk_i is given by (15), therefore U is a continuous function.

The above equations represent the process of designing a standard slide mode control method step by step as well as the application of fuzzy control methods for more efficient process control applications depend on both the time domain and the frequency domain. The following sections describe the process control equation model.

$$\Delta k_i = \begin{cases} 1 & \sigma_n \le \frac{1}{3} \quad \dot{\sigma}_n \le \frac{1}{3} \\ \frac{-\frac{5}{2}\dot{\sigma}_n^2 - \frac{7}{6}\dot{\sigma}_n + \frac{2}{9}}{-3\dot{\sigma}_n^2 - \dot{\sigma}_n + \frac{1}{3}} & \sigma_n \le \frac{1}{3} \quad -\frac{1}{3} \langle \dot{\sigma}_n \le 0 \\ \frac{-\frac{3}{2}\dot{\sigma}_n^2 + \frac{1}{6}\dot{\sigma}_n + \frac{2}{9}}{-3\dot{\sigma}_n^2 - \dot{\sigma}_n + \frac{1}{3}} & \sigma_n \le \frac{1}{3} \quad 0 \langle \dot{\sigma}_n \le \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} & \sigma_n \le \frac{1}{3} \quad \dot{\sigma}_n \rangle \frac{1}{3} \\ \frac{-4\dot{\sigma}_n^2 - 2\dot{\sigma}_n + \frac{1}{9}}{-6\dot{\sigma}_n^2 - 2\dot{\sigma}_n + \frac{1}{3}} & -\frac{1}{3} \langle \sigma_n \le 0 \quad \dot{\sigma}_n \le \frac{1}{3} \\ \frac{-3\dot{\sigma}_n^2 - 2\sigma_n - \frac{1}{2}\dot{\sigma}_n^2 - \frac{1}{2}\dot{\sigma}_n}{-3\dot{\sigma}_n^2 - 2\sigma_n - 3\dot{\sigma}_n^2 - \dot{\sigma}_n + \frac{1}{3}} & -\frac{1}{3} \langle \sigma_n \le 0 \quad -\frac{1}{3} \langle \dot{\sigma}_n \le 0 \\ \frac{-2\dot{\sigma}_n^2 - \frac{4}{3}\sigma_n + \frac{1}{2}\dot{\sigma}_n^2 - \frac{1}{2}\dot{\sigma}_n}{-3\dot{\sigma}_n^2 - 2\sigma_n - 3\dot{\sigma}_n^2 - \dot{\sigma}_n + \frac{1}{3}} & -\frac{1}{3} \langle \sigma_n \le 0 \quad 0 \langle \dot{\sigma}_n \le \frac{1}{3} \\ \frac{-\frac{2}{3}\sigma_n - \frac{1}{9}}{-6\dot{\sigma}_n^2 - 2\sigma_n + \frac{1}{3}} & -\frac{1}{3} \langle \sigma_n \le 0 \quad \dot{\sigma}_n \rangle \frac{1}{3} \\ \frac{-\frac{2}{3}\sigma_n - \frac{1}{9}}{-6\dot{\sigma}_n^2 + 2\sigma_n + \frac{1}{3}} & 0 \langle \sigma_n \le \frac{1}{3} \quad \dot{\sigma}_n \le \frac{1}{3} \\ \frac{-\dot{\sigma}_n^2 + \frac{3}{2}\dot{\sigma}_n^2 + \frac{1}{6}\dot{\sigma}_n - \frac{1}{9}}{-3\sigma_n^2 - 3\dot{\sigma}_n^2 - \dot{\sigma}_n + \frac{2}{3}} & 0 \langle \sigma_n \le \frac{1}{3} \quad -\frac{1}{3} \langle \dot{\sigma}_n \le 0 \\ \frac{\frac{5}{2}\dot{\sigma}_n^2 - \frac{7}{6}\dot{\sigma}_n - \frac{2}{9}}{-3\sigma_n^2 - 3\dot{\sigma}_n^2 - \dot{\sigma}_n + \frac{2}{3}} & 0 \langle \sigma_n \le \frac{1}{3} \quad 0 \langle \dot{\sigma}_n \le \frac{1}{3} \\ \frac{4\dot{\sigma}_n^2 - 2\dot{\sigma}_n - \frac{1}{9}}{-6\sigma_n^2 + 2\sigma_n + \frac{1}{3}} & 0 \langle \sigma_n \le \frac{1}{3} \quad \dot{\sigma}_n \rangle \frac{1}{3} \\ -\frac{1}{3} & \sigma_n \le \frac{1}{3} \quad \dot{\sigma}_n \le \frac{1}{3} \\ \frac{\frac{3}{2}\dot{\sigma}_n^2 + \frac{1}{6}\dot{\sigma}_n - \frac{2}{9}}{-3\dot{\sigma}_n^2 - \dot{\sigma}_n + \frac{1}{3}} & \sigma_n \le \frac{1}{3} \quad -\frac{1}{3} \langle \dot{\sigma}_n \le 0 \\ \frac{\frac{5}{2}\dot{\sigma}_n^2 - \frac{7}{6}\dot{\sigma}_n - \frac{2}{9}}{-3\dot{\sigma}_n^2 + \dot{\sigma}_n + \frac{1}{3}} & \sigma_n \le \frac{1}{3} \quad 0 \langle \dot{\sigma}_n \le \frac{1}{3} \\ -1 & \sigma_n \le \frac{1}{3} \quad \dot{\sigma}_n \le \frac{1}{3} \end{cases} \quad (15)$$

4. Dynamics modeling of the ship

The nonlinear ship model [1] relates the yaw angle φ_r to the rudder angle δ_r, as shown in Fig. 1, according to

$$\ddot{\varphi}_r + \frac{K}{T} H(\dot{\varphi}_r) = \frac{K}{T} \delta_r \tag{17}$$

The linearized model of system (17) is shown as follows:

$$x_1 = x_2,\ \dot{x}_2 = -\frac{K}{T} \alpha x_2 + \frac{K}{T} \delta_r, \tag{18}$$

where K is the gain, T is a time constant and $H(\dot{\varphi}_r) = \alpha \dot{\varphi}_r + \beta \dot{\varphi}_r^{\,3}$ (α and β are constants) is a nonlinear function in φ_r determined experimentally from the standard spiral test. The original nonlinear system can be piecewisely linearized under some cruise conditions. In this research, the nominal cruise speed is set to be 30 knots. The nominal rudder angle, heading angle and the change rate of heading angle are set to zero degree in this simulation. Moreover, for a more complete description of the ship model, the rudder servomechanism has to be taken into account. For instance, a natural constraint of the steering machine is given by

$$-\delta_{\max} \le \delta \le \delta_{\max} \tag{19}$$

where $\delta_{\max} = 35$ degree is the maximum rudder angle.

In general, the environment disturbance of the ship steering should be considered, especially the wave, which can affect the yaw angle of ship heading. For simplicity of illustration, the disturbance $f(t)$ in (1b) is generated by

$$f(s) = h(s)\omega(s) \tag{20}$$

where $\omega(\bullet)$ is a zero-mean Gaussian white noise and the transfer function $h(s)$ is given by

$$h(s) = \frac{K_\omega s}{s^2 + 2\zeta\omega_0 s + \omega_0^2} \tag{21}$$

In (19), ζ is the damping coefficient, ω_0 is the dominating wave frequency, and $K_\omega = 2\zeta\omega_0\delta_\omega$ is the gain constant with representing the wave intensity. We then take $F(t)$ in (3) as $F(t) = |f(t)|$.

5. MFLVSC for the ship system

The conventional maneuvering problems can be classified into four types, namely course keeping handling, course changing handling, course tracking handling, and special motion handling (for instance, marine search handling, rescue handing). In this section, the handling problems of course keeping, course changing, and course tracking, will be investigated by using the proposed integral and feedforward controller [13-14].

The reference model is chosen as

$$\dot{x}_{m1} = x_{m2},\ \dot{x}_{m2} = x_{m3} \quad (22a)$$

$$\dot{x}_{m3} = -a_{m1}x_{m1} - a_{m2}x_{m2} - a_{m3}x_{m3} + b_m U_m. \quad (22b)$$

Defining $e_i = x_{pi} - x_{mi}$;(i= 1,2,3), the FLVSC system can be represented as $\dot{e}_1 = e_2$, $\dot{e}_2 = e_3$ and

$$\dot{e}_3 = -a_{p1}e_1 - a_{p2}e_2 - a_{p3}e_3 + (a_{m1} - a_{p1})x_{m1} + (a_{m2} - a_{p2})x_{m2} + (a_{m3} - a_{p3})x_{m1} - b_m U_m + \mathrm{b}_p U_p - f(t). \quad (23)$$

The objective of the control is to keep the course position of the ship to follow the desired trajectory as closely as possible. The nominal values of the MFLVSC controller are listed in Table 2.

Table 2. Parameters of the MFLVSC controller

Parameter	Value
λ_1, λ_2	-13.126±28.463i
λ_3, λ_4	-23.234, -11.109
C_1, C_2, K_I, K_F	837, 41.25, 20.22, 11.06
φ_1, φ_2, φ_3, φ_4	-1, -0.05, -0.0005, -0.005
a_{m1}, a_{m2}, a_{m3}, b_m	8,000, 335, 23, 7,500
${a_{p2}}^0$, ${a_{p3}}^0$, ${b_p}^0$	2,446.47, 875, 34,926.65
δ_0, δ_1	0.05, 0.5

Following the design procedure we have the control law to simulate as:

$$U_P = \{c_1(K_I\dot{z}) + a_{p1}^0 e_1 + a_{p2}^0 e_2 - [(a_{m1} - a_{p1}^0)x_{m1} + (a_{m2} - a_{p2}^0)x_{m2} + (a_{m3} - a_{p3}^0)x_{m3} + b_m U_m)] + (c_2 - a_3^0)[c_1(e_1 - K_I z - rK_F) + c_2 e_2]\}/b^0 + (\varphi_1|e_1 - K_I z - rK_F| + \varphi_2|e_2| + \varphi_3|e_3| + \varphi_4)M_\delta(\sigma) \quad (24)$$

The switching function, σ from (5), is

$$\sigma = c_1(e_1 - K_I z - rK_F) + c_2 e_2 + e_3 \ ; r = U_m. \quad (25)$$

In the simulation, the course keeping problem is considered. The main goal of course keeping handling is to keep the handling angle of vessel on the fixed direction. The desired output is set to be nine degree. The problem of the ship maneuvering in restricted water, such as harbors, canals, river inlets, etc., is of major concern from the viewpoint of marine safety. It is very important for a shipmaster to make a ship-handling plan before approaching such maritime space just mentioned. The vessel must navigate in the desired course tracking problems. The next section presents a plant control simulation using MATLAB software package to show the response to input track and testing of plant parameter variations and external load disturbances.

6. Simulation results and discussion

In order to evaluate the tracking performance of the MFLVSC approach for both steady and transient periods, a ramp command is first introduced for certain period of time before it is changed abruptly to a constant value. In the simulation of course tracking handling, the desired heading angle φ_d is 10sin(0.2πt/180). In addition the results are compared with those obtained from MIVSC and IVSC approaches under the same testing conditions, as shown in Fig. 6 and Fig. 7. It is clear from the figures that the MFLVSC can follow the course command input extremely well during steady state as well as transient periods. That is, it converges very fast to zero but the other give rise to steady state errors. It is apparent that the performance of the MFLVSC is quite good. Although MIVSC seems to track well during the steady state of the ramp command input, it gives a noticeable overshoot and tracking error during the input change. Among them, IVSC performs poorly, it gives a substantially sustained course tracking error.

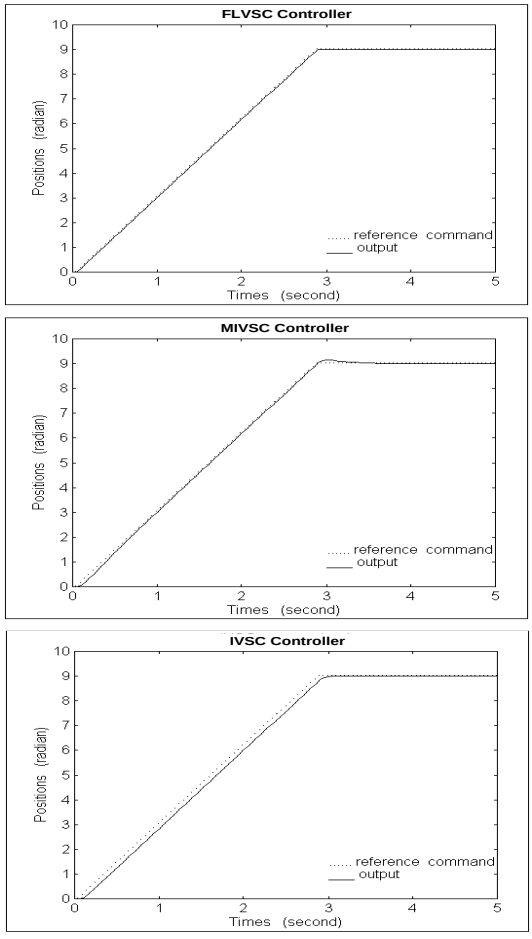


Figure 6 Comparison of ramp course tracking.

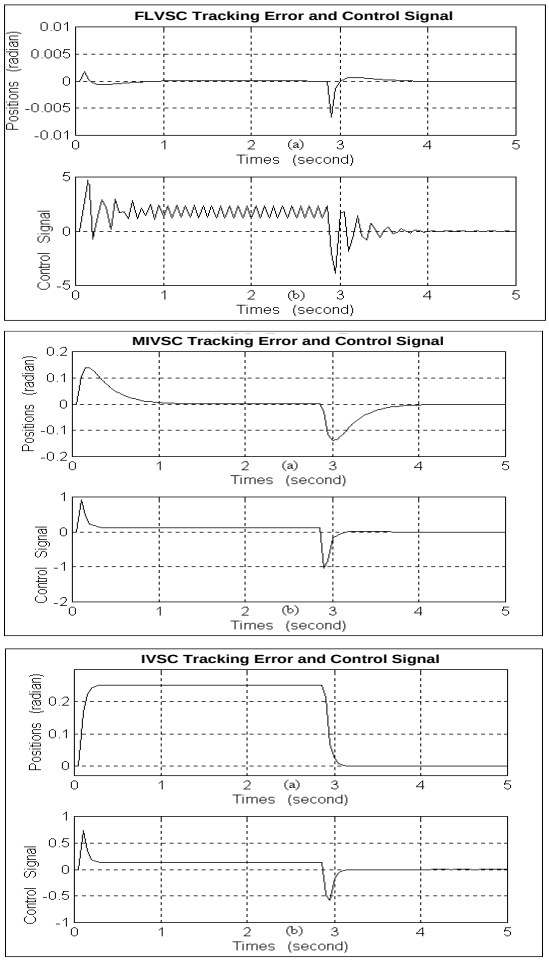


Figure 7 Comparison of course tracking error and control signal.

7. Conclusions

In this paper, the MFLVSC approach for a ship maneuvering is presented. The marine vessel maneuvering problems have been solved by using the MFLVSC strategy. It exhibits good feature of the conventional IVSC with proportional and integral controller, such as robustness in the face of model error and parameter variations. The application of FLVSC to a ship tracking control system has illustrated that the MFLVSC method can improve the course tracking performance by 52% and 68% when compared to the MIVSC and IVSC approaches, respectively. Moreover, we firmly believe that the MFLVSC is useful for solved the problems, also for the maritime search and rescue problems. In further research, it can be applied in this controller for the design of other process control methods requiring tolerance of internal plant parameter deviations and external load disturbances, as well as stability testing in both the time and frequency domains.

8. Acknowledgements

Authors of the paper would like to acknowledge the support of Rattanakosin International College of Creative Entrepreneurship, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Thailand.

9. References

[1] Fossen TI. Guidance and Control of Ocean Vehicles. John Wiley & Sons: New York; 1994.

[2] Ohtsu K, Shoji K and Okazaki T. Minimum-Time Maneuvering of a Ship with Wind Disturbances. Control Engineering Practice. 1996; 4(3): 385-92.

[3] Utkin VI, Guldner J and Shi J. Sliding Mode Control in Electromechanical Systems. Taylor & Francis: London; 1999.

[4] John HY, Weibing G and James CH. Variable Structure Control. IEEE Transaction on Industrial Electronics. 1993; 40(1): 1-22.

[5] Chern TL and Wong J. DSP-Based Integral Variable Structure Control for DC Motor Servo Drivers. IEE Proceedings. Control Theory Applications. 1995; 142(5): 444-50.

[6] Chern TL and Chang J. DSP-Based Induction Motor Drivers Using Integral Variable Structure Model Following Control Approach. IEEE International Electric Machine and Drives Conference Record. 1997; 20: 9.1-9.3.

[7] Yu K-W and Wu C-E. Tracking Control of a Ship by PI-Type Sliding Controller. Journal of Marine Science and Technology. 2004; 12(3): 183-8.

[8] Nungam S and Daungkua P. Modified Integral Variable Structure Control for Brushless DC Servomotor. 21st Electrical Engineering Conference; Thailand. 1998 November; 138-41.

[9] Phakamach P. A Variable Structure Control Based on Fuzzy Logic Algorithm with an Integral Compensation for a DC Servomotor Drives. The International MultiConference of Engineers and Computer Scientists. Hong Kong; 2007.

[10] Thongchai S. Behavior-based Learning Fuzzy Rules for Mobile Robots. American Control Conference. Alaska, USA; 2002.

[11] Shiyong L. Fuzzy Control. Ha Gong Da Publication Co., China; 1996.

[12] Wang SY, Hong CM and Yang WT. Design of a Static Reactive Power Compensator Using Fuzzy Sliding Mode Control. International Journal of Control. 1996; 63(2): 390-3.

[13] Phakamach P. Development of a Discrete Sliding mode Model Following Control for an Automatic Voltage Regulator Control Systems. International Congress on Natural Sciences and Engineering (ICNSE'2014), Kyoto, Japan; 2014.

[14] Worapongpat N, Phakamach P and Chaisakulkiet U. A Flexible Arm Manipulator Control System Using Modified Discrete Sliding mode Model Following Controller with Sinusoidal Command Input. UTK Journal. 2020; 14(1): 14-22.

FEAT JOURNAL
FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL
วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

ระบบควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อพักกุ้งโดยใช้อินเตอร์เน็ทของสรรพสิ่ง

Water Quality Control System in Shrimp Pond Using Internet of Things

อติราช สุขสวัสดิ์[1)] เฉลิมวุฒิ น้อยอุ่นแสน[1)] ปิยะนุช ตั้งกิตติพล[1)] และจักรพนธ์ อบมา[1*)]

Atirarj Suksawad[1)] Chaluemwut Noyunsan[1)] Piyanuch Tangkittipon[1)] Jagraphon Obma[1*)]

[1)]สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

[1)]Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology ISAN Khonkaen Campus

Received: 8 October 2022
Revised: 2 November 2022
Accepted: 7 November 2022
Available online: 23 June 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอระบบควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อพักกุ้งโดยใช้อินเตอร์เน็ทของสรรพสิ่ง เพื่อควบคุมแบบอัตโนมัติในการให้สารอาหาร แร่ธาตุ ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ โดยใช้ตัวรับรู้ค่า TDS , PH และอุณหภูมิส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ท แสดงผลผ่านจอ LCD และสั่งการ แป้นพิมพ์หน้าบ่อกุ้ง และเว็ปแอปพลิเคชั่น จะใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ ESP32 สั่งการอุปกรณ์ควบคุมบ่อกุ้งและทำงานร่วมกับ Raspberry pi เพื่อเชื่อมต่อสู่ Platform Thingsboard การทดสอบความถูกต้องของค่าที่วัดได้จาก Temperature Sensor, TDS Sensor, และ PH Sensor กับอุปกรณ์เครื่องมือวัดมาตรฐานจากการทดสอบ พบว่าเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดที่เกิดจากตัวรับรู้ค่าอุณหภูมิ, ตัวรับรู้ค่า TDS, และ ตัวรับรู้ค่า PH เมื่อเปรียบเทียบเครื่องมือวัดมาตรฐานตามช่วงเวลา 1 วัน เป็นจำนวน 10 ครั้ง ตัวรับรู้ค่าอุณหภูมิมีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 0.4 เปอร์เซ็นต์, ตัวรับรู้ค่า TDS มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 1.4 เปอร์เซ็นต์, และ ตัวรับรู้ค่า PH มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 1.32 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: ระบบควบคุมคุณภาพน้ำ บ่อพักกุ้ง อินเตอร์เน็ทของสรรพสิ่ง

Abstract

This research presents a water quality control system in shrimp pond using Internet of Things to automatically control the feeding of nutrients, minerals, adjust PH and temperature sensors by using TDS, PH and temperature sensors to transmit data over the internet to show the status on an LCD screen and controlled by a keyboard placed in front of the shrimp pond. The web application uses an ESP32 microcontroller to operate a shrimp pond controller and works with a Raspberry pi connected to the Thingsboard Platform. The accuracy test of the measured values from the temperature sensor, TDS sensor, and PH sensor compared with the standard instrumentation devices ten times throughout the period of one day found that the percentage of the error caused by the temperature sensor was 0.4 percent, the TDS sensor had an error of 1.4 percent, and the PH sensor had an error of 1.32 percent.

Keywords: Water Quality Control System: Shrimp Pond: Internet of Things

*ติดต่อ: jagraphon.ob@rmuti.ac.th, 089-445-6171

1. บทนำ

เกษตรกรของประเทศไทยมีการเพาะเลี้ยงกุ้งนำไปขายเพื่อการบริโภคของคนในประเทศและส่งออกต่างประเทศ เพื่อให้ทันกับความต้องการของผู้บริโภคในแต่ละช่วงแต่ละฤดูกาล [1] สร้างรายได้ให้เกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงกุ้งและรายได้ให้กับประเทศไทยอย่างเป็นรูปธรรม แต่การเพาะเลี้ยงกุ้งยังมีข้อจำกัดตั้งแต่สภาพดิน สภาพภูมิอากาศ สภาพแวดล้อม สภาพน้ำ [2] มี สารเจือปนในกุ้งจากแหล่งน้ำเสียจากชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม [3] เกษตรกรบางกลุ่มจึงนิยมเลี้ยงกุ้งในบ่อปิดเพื่อป้องกันเหตุปัจจัยดังกล่าว เพราะสามารถควบคุมอากาศ แร่ธาตุ ค่าความเป็นกรด-ด่าง อาหารตามที่กุ้งต้องการ มีผลทำให้กุ้งเจริญเติบโตเร็วขึ้น น้ำหนักกุ้งที่มากขึ้น สิ่งเหล่านี้มีผลต่อรายได้ของเกษตรกร ทั้งสิ้นจากการศึกษางานวิจัยการเลี้ยงกุ้งในบ่อปิดและพัฒนาการบริหารจัดการบ่อกุ้งบนบก [4] ที่เน้นในทางการปรับปรุงคุณภาพน้ำตั้งแต่การเลือกวัสดุพื้นถิ่นเพื่อดูดซับแอมโนเนียที่ทำให้มีผลต่อคุณภาพของน้ำ แต่การเฝ้าระวังเรื่องค่าต่าง ๆ ในน้ำมีความจำเป็นต้องใช้ระบบหรือตัวรับรู้ค่า ph อากาศ แร่ธาตุในน้ำเพื่อเฝ้าระวังอย่างต่อเนื่อง [5] มีการพัฒนาระบบการควบคุมคุณภาพน้ำผ่านการส่งสัญญาณผ่านระบบเครือข่ายไร้สายหรือส่งข้อมูลผ่านโมดูล Zigbee สามารถเฝ้าระวังและควบคุมค่าอากาศ ค่าความเป็นกรด - ด่าง และอุณหภูมิ [6-7] แต่ระบบดังกล่าวยังไม่สามารถเชื่อมต่อระบบเข้าสู่เครือข่าย

อินเตอร์เน็ทเพื่อเป็นการเพิ่มศักยภาพในการเฝ้าระวัง ควบคุม และเก็บฐานข้อมูลอย่างเป็นระบบ

มีนักวิจัยที่พัฒนาระบบจัดการคุณภาพน้ำผ่านระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ทที่สามารถเฝ้าระวังและควบคุมค่าอากาศ ค่า PH แร่ธาตุในน้ำ และนำข้อมูลเก็บลงในฐานข้อมูล [8] โดยเรียกเทคโนโลยีนี้ว่าอินเตอร์เน็ทของทุกสรรพสิ่งหรือ IOT [9-10] ที่สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ เช่น มอเตอร์ ตัวรับรู้ หรืออุปกรณ์ที่สามารถควบคุมอัตโนมัติผ่านไมโครคอนโทรเลอร์สู่เครือข่ายอินเตอร์เน็ทสามารถเฝ้าระวัง ควบคุม ได้ทุกที่ทั่วโลกที่มีเครือข่ายอินเตอร์เน็ท โดยนักวิจัยบางกลุ่มได้นำมาเฝ้าระวังและปรับปรุงคุณภาพน้ำของฟาร์มบ่อปลาผ่าน IOT [11-12] โดยเฝ้าระวังและควบคุม อุณหภูมิ แสงสว่าง ผ่านระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ทโดยส่งข้อความผ่านโทรศัพท์มือถือและแอปพลิเคชั่นไลน์ และเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูล โดยมีนักวิจัยที่นำเทคโนโลยีนี้มาเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการในบ่อกุ้งเพื่อลดการใช้ค่าไฟ [13]

จากการปริทัศน์วรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงหรือปรับสมดุลในน้ำแบบอัตโนมัติจึงได้ศึกษางานวิจัยเรื่องระบบควบคุมสมดุลน้ำอัตโนมัติในบ่อกุ้งโดยใช้อินเตอร์เน็ทของสรรพสิ่งโดยศึกษาจากกุ้งก้ามกราม เป็นการควบคุมและเฝ้าระวังมีค่าที่เกี่ยวข้องคือค่า PH อยู่ระหว่าง PH 7 – 8.5 , ค่า TDS (Total dissolved solids) คือการวัดปริมาณของแข็ง สารอนินทรีย์และอินทรีย์ทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำอยู่ระหว่าง 80-150 mg/l อุณหภูมิในน้ำช่วงระหว่าง 28-31 องศาเซลเซียส ที่ส่งผลต่อการลอกคราบ การเจริญเติบโตของกุ้ง โดยให้อากาศ (Oxygen) และวนน้ำในระบบตลอดเวลา เฝ้าระวังและควบคุมผ่านระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ท เพื่อความสะดวก และควบคุมปัจจัยให้ผลผลิตของสัตว์น้ำให้มีคุณภาพเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรผู้เพาะเลี้ยงกุ้งต่อไป

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบตัวรับรู้ 3 ค่าคือ การวัดปริมาณของแข็ง สารอนินทรีย์และอินทรีย์ทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำ (TDS) , การวัดค่าความเป็นกรด-ด่างในน้ำ (PH) และอุณหภูมิ เริ่มจากค่า TDS แปรผันตรงกับ Electrical Conductivity หรือ EC และค่า EC มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิดังสมการที่ 1

$$TDS = KE \times EC \quad (1)$$

โดยที่

EC = ค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย mS/cm

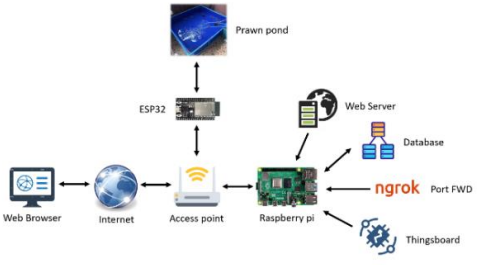
KE = ค่าคงที่ระหว่าง EC กับ TDS มีค่า = 0.5

ต่อมาเป็นค่า PH ที่เป็นค่าแสดงความเป็นกรดและด่างโดยค่าที่มีผลต่อการดำรงชีวิตต่อสัตว์น้ำตั้งแต่ PH 6.5 -9.0 ค่าความเป็นกรดและด่างแสดงความเข้มข้นของไฮโดรเจน (H^+) หรือไฮโดรเนียมไอออน ($H3O^+$) ค่าลบลอการิทึมของผลรวมไอออนไฮโดรเจน ดังสมการที่ 2

$$pH = -\log [H+] \quad (2)$$

เมื่อ H+ = ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในหน่วยโมลต่อลิตร

2.2 การออกแบบระบบและโครงสร้าง



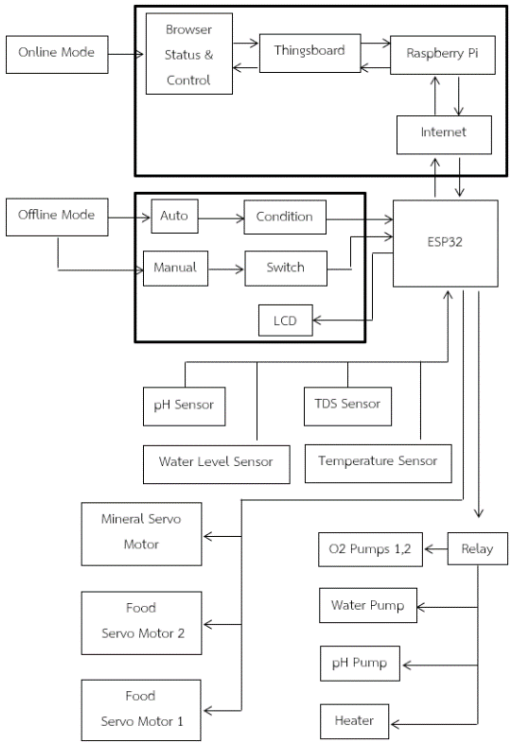
รูปที่ 1 การออกแบบระบบ

การออกแบบระบบใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ ESP32 ควบคุมตัวรับรู้ค่า TDS ชุดโมดูล SEN-0244 , ตัวรับรู้ค่า PH ชุดโมดูล E-201-C, ปั๊มน้ำ , มอเตอร์ให้สารอาหาร และแร่ธาตุ, ตัวรับรู้ค่าอุณหภูมิ DS18B20 ตัวทำความร้อนและปั๊มน้ำ โดยควบคุมแบบอัตโนมัติ รับ-ส่งข้อมูลผ่านไปยัง Raspberry pi ที่สร้างระบบฐานข้อมูล และเว็ปแอปพลิเคชั่นทำ Port forword โดย ngrok เชื่อมต่อไปยัง Platform Thingsboard โดยการเชื่อมต่อทั้งหมดผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ทดังรูปที่ 1 เว็ปแอปพลิเคชั่นดังกล่าวสามารถแสดงข้อมูลค่า PH TDS และอุณหภูมิ และสั่งการให้ควบคุมเพื่อให้ได้ค่าตามที่ต้องการดังแสดงในรูปที่ 2

รูปที่ 2 แสดงค่าสถานะและควบคุมระบบผ่าน Platform ของ Thingsboard

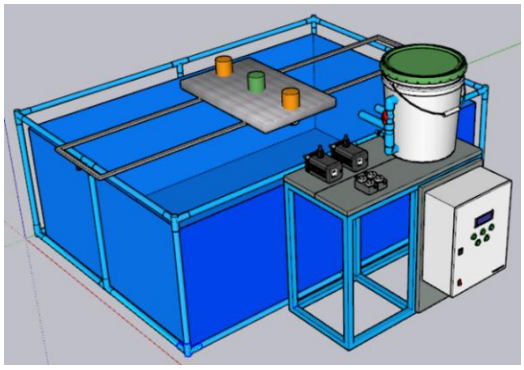
การออกแบบการทำงานทั้งหมดของระบบแบ่งออกเป็น 2 ประเภทการทำงาน ประเภทที่ 1 คือ การทำงานแบบออนไลน์ (Online Mode) ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบค่าสถานะและควบคุมระบบผ่าน Platform ของ Thingsboard โดยเริ่มจากผู้ใช้งานต้องเข้าสู่ระบบ (Login) โดยหน้าแผงควบคุม (Dashboard) จะแสดงผลข้อมูล ได้แก่ อุณหภูมิ ค่าคุณภาพน้ำ ค่ากรด-ด่าง ระดับน้ำในบ่อ ในหน้า Controller จะแสดงสวิตช์ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ ได้แก่ สวิตช์ปรับเปลี่ยนการทำงาน สวิตช์ปิด/ปิดปั๊มออกซิเจน 1 และ 2 สวิตช์เปิด/ปิดกระบอกอาหารและแร่ธาตุ เมื่อมีคำสั่ง ESP32 จะประมวลผลค่าที่ได้รับเพื่อสั่งการอุปกรณ์ที่ได้ติดตั้งไว้ และดึงค่าจากเซนเซอร์กลับมาแสดงผลยังหน้าแผงควบคุม

ประเภทที่ 2 คือ การทำงานแบบออฟไลน์ (Offline Mode) จะถูกแบ่งรูปแบบการทำงานออกเป็น 2 โหมด ได้แก่ โหมดอัตโนมัติ (Automatic) เป็นค่าเริ่มต้นการทำงานของระบบ ทำงานภายใต้เงื่อนไขที่ผู้จัดทำได้ตั้งค่าเอาไว้ โหมดควบคุมเอง (Manual) ผู้ใช้งานสามารถควบคุมระบบได้จากการกดสวิตช์ควบคุมที่ด้านหน้าของตู้คอนโทรล ดังนี้ ควบคุมมอเตอร์กระบอกอาหาร ควบคุมมอเตอร์กระบอกแร่ธาตุ ควบคุมรีเลย์ปั๊มออกซิเจนตัวที่ 1 และ 2 ควบคุมรีเลย์ปั๊มน้ำ ควบคุมสารให้ความเป็นกรดด่าง ควบคุมอุณหภูมิ ควบคุมคุณภาพน้ำ ควบคุมระดับน้ำ เมื่อมีการกดสวิตช์ ESP32 จะทำการประมวลผลข้อมูลและทำการสั่งอุปกรณ์ให้ทำงาน และส่งค่าปัจจุบันที่ได้รับจากเซนเซอร์กลับมาแสดงผลยังจอ LCD ดังผังงานในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงการออกแบบการทำงานของระบบ

ต่อมาเป็นการออกแบบโครงสร้างของบ่อกุ้งที่นำระบบอินเตอร์เน็ทของสรรพสิ่งมาใช้งานมีขนาด (กว้างxยาวxสูง) 100x150x50 เซนติเมตร ที่ติดตั้งตัวรับรู้ค่า PH , TDS และอุณหภูมิมีความสูงจากพื้น 50 เซนติเมตร และติดตั้งกระบอกใส่สารกรดและด่างและแร่ธาตุ อาหาร โดยติดตั้งสเตปมอเตอร์เพื่อให้ทำงานตอนสั่งการ ปั๊มน้ำจำนวน 2 ชุด , ตัวรับรู้ค่า TDS , PH , อุณหภูมิ ดังรูปที่ 4 และสร้างเพื่อทดสอบการทำงานจริงดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 โครงสร้างการออกแบบของบ่อกุ้ง

รูปที่ 5 โครงสร้างจริงของบ่อกุ้งที่ทำการทดสอบ

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

จากการทดสอบระบบปรับสมดุลน้ำในบ่อกุ้งโดยใช้อินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่ง การทดสอบการควบคุมจากค่า PH ผ่านและเว็ปแอปพลิเคชั่นของ Platform Thingsboard แบบอัตโนมัติ โดยให้เงื่อนไขการทำงานที่ค่า PH มากกว่า 7 ปั๊ม PH UP จะทำงานเพื่อให้ค่า PH และ PH เข้าสู่ภาวะปกติที่ตั้งค่าไว้คือ PH MIN = 7 และ PH MAX = 8.5 ดังตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 แสดงการทำงานของปั๊ม PH MIN ในโหมดการทำงานแบบอัตโนมัติ

PH MIN	ปั๊ม PH UP	ปั๊ม PH DOWN
< 7	OFF	OFF
> 7	ON	OFF

ตารางที่ 2 แสดงการทำงานของปั๊ม PH MAX ในโหมดการทำงานแบบอัตโนมัติ

PH MAX	ปั๊ม PH UP	ปั๊ม PH DOWN
< 8.5	OFF	ON
> 8.5	OFF	OFF

ต่อมาเป็นการทดสอบการควบคุมจากค่า TDS ผ่านและเว็ปแอปพลิเคชั่นของ Platform Thingsboard แบบอัตโนมัติหากค่า TDS ไม่อยู่ภายในช่วงที่กำหนด จะควบคุมการทำงานของปั๊มน้ำเพื่อดูดน้ำภายในบ่อกุ้งออกและเติมน้ำเข้าไป หรือควบคุมให้มอเตอร์ที่บรรจุแร่ธาตุทำงานเพื่อให้ค่า TDS อยู่ในช่วงที่กำหนด คือ TDS MIN = 90 และ TDS MAX = 150 ดังตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 แสดงการทำงานของปั๊มน้ำ TDS ในโหมดการทำงานแบบอัตโนมัติ

TDS MAX	มอเตอร์ให้แร่ธาตุ
< 150	ON
> 150	OFF

ตารางที่ 4 แสดงการทำงานของมอเตอร์ให้แร่ธาตุในโหมดการทำงานแบบอัตโนมัติ (AUTO)

TDS MIN	มอเตอร์ให้แร่ธาตุ
< 90	OFF
> 90	ON

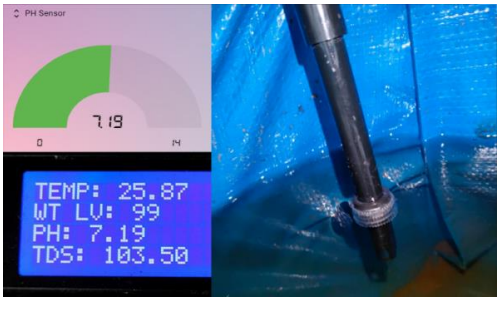
การทดสอบการควบคุมจากค่าอุณหภูมิ ผ่านและเว็ปแอปพลิเคชั่นของ Platform Thingsboard ข้อมูลอุณหภูมิที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้ คืออุณหภูมิตั้งไว้อยู่ระหว่าง 28-32 องศาเซลเซียส (°C) หากอุณหภูมิไม่อยู่ภายในช่วงที่กำหนด จะควบคุมการทำงานของ Heater ทำความร้อน เพื่อให้อุณหภูมิอยู่ในช่วงที่กำหนด โดยการควบคุมการทำงานของ Heater จะมีการทำงานตามดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงการทำงานของ Heater ในโหมดการทำงานแบบอัตโนมัติ

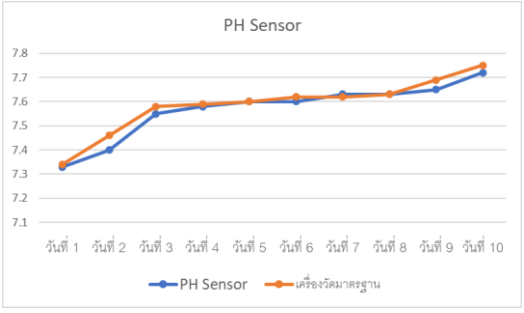
อุณหภูมิ(°C)	Heater
< 28	OFF
> 28	ON

การทดสอบการเปรียบเทียบค่า PH , TDS และอุณหภูมิ โดยใช้เครื่องมือวัดมาตรฐาน EC900 AMTAST KIT 9-IN-1 เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากตัวรับรู้ค่า TDS , PH และอุณหภูมิที่ออกแบบและแสดงผ่านจอ LED หน้าเครื่องและเว็ปแอปพลิเคชั่นของ Platform Thingsboard โดยทำการวัด 10 ช่วงเวลา วันละ 1 ครั้งในช่วงเวลาเดียวกัน

จากการทดสอบการเปรียบเทียบค่า PH จากเครื่องวัดมาตรฐานมีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 1.32 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 6 และ 7



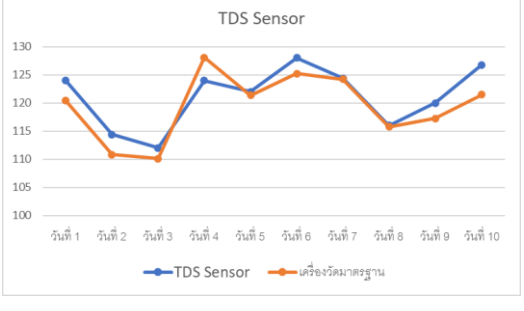
รูปที่ 6 ภาพแสดงผลการทำงานของ PH Sensor



รูปที่ 7 แผนภาพแสดงการทำงาน PH Sensor กับเครื่องมือวัดมาตรฐานที่ความลึก 10 เซนติเมตร

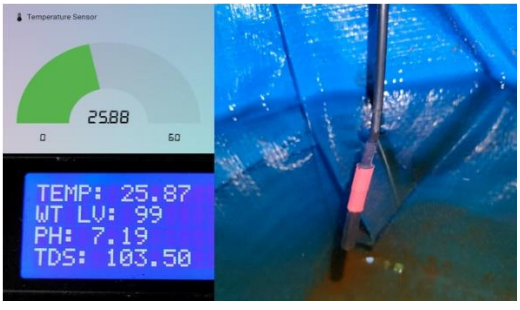
ต่อมาเป็นการทดสอบการเปรียบเทียบค่า TDS จากเครื่องวัดมาตรฐานมีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 1.4 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 8 และ 9

รูปที่ 8 ภาพแสดงผลการทำงานของ TDS Sensor

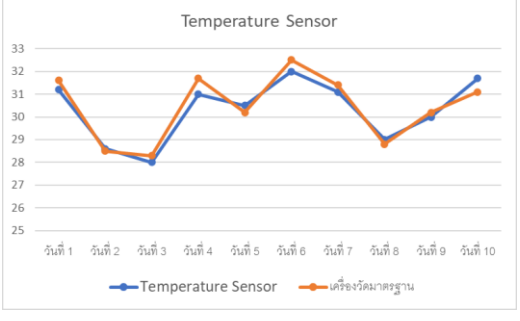


รูปที่ 9 แผนภาพแสดงการทำงาน TDS Sensor กับเครื่องมือวัดมาตรฐานที่ความลึก 5 เซนติเมตร

สุดท้ายเป็นการทดสอบการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิ จากเครื่องวัดมาตรฐานมีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 0.9 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 10 และ 11



รูปที่ 10 ภาพแสดงผลการทำงานของ Temperature Sensor



รูปที่ 11 แผนภาพแสดงการทำงาน Temperature Sensor กับเครื่องมือวัดมาตรฐานที่ความลึก 15 เซนติเมตร

4. สรุป

ระบบควบคุมคุณภาพน้ำอัตโนมัติในบ่อกุ้งโดยใช้อินเตอร์เน็ทของสรรพสิ่ง เพื่อควบคุมแบบอัตโนมัติในการให้สารอาหาร แร่ธาตุ ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ โดยใช้ตัวรับรู้ค่า TDS , PH และอุณหภูมิ ส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ท เมื่อทำการควบคุมแบบอัตโนมัติตามเงื่อนไขสามารถทำงานได้ตรงตามเงื่อนไขที่ตั้งไว้ ต่อมานำมาเทียบกับอุปกรณ์วัดค่าแบบมาตรฐานทำให้ทราบว่าตัวรับรู้ที่ใช้งาน

สามารถทำงานได้ใกล้เคียงกับเครื่องวัดมาตรฐาน โดยสามารถนำมาควบคุมและปรับค่าสมดุลน้ำในบ่อกุ้งในอย่างมีประสิทธิภาพควบคุมเป็นระบบปิดได้ ระยะเวลาของผลผลิตเร็วขึ้น โดยทั่วไป นำกุ้งก้ามกรามมาคัดขนาดได้ตั้งแต่ 6-12 เดือน ได้กุ้ง 1-2 รุ่นต่อปี เมื่อควบคุมปัจจัยได้ลงทุนกับระบบไม่เกิน 1 หมื่นบาทและลงทุนจำนวนกุ้งตามปกติจะสามารถเริ่มคัดได้ตั้งแต่ 4-6 เดือนขึ้นไปทำให้ลดระยะเวลาไป 6-8 เดือน สามารถถ่ายน้ำและเลี้ยงกุ้งรุ่นต่อไปได้ โดยระยะเวลาคืนทุนจะสั้นลงในแต่ละบ่อ ระบบที่สร้างขึ้นจะเลี้ยงกุ้งได้ 2-4 รุ่นต่อปี ส่งผลดีต่อเกษตรกรผู้เลี้ยงกุ้งต่อไป

ข้อแนะนำในงานวิจัยครั้งต่อไป ควรเพิ่มการตรวจสอบหรือแยกแร่ธาตุต่าง ๆ เพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากการตรวจสอบค่า TDS เป็นการตรวจสอบของแข็งในน้ำและเพิ่มเติมระบบวัดค่าอากาศถ้าระบบนั้นไม่มีระบบให้อากาศตลอดเวลา ถ้าต้องมีการขยายขนาดของบ่อพักกุ้งจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มตัวรับรู้เพื่อให้คงประสิทธิภาพการทำงานของระบบควบคุม ทั้ง การควบคุมค่า TDS, PH, อุณหภูมิ มีผลต่อการเจริญเติบโตของกุ้ง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น สำหรับการสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] พัชราวลัย ศรียะศักดิ์, นิวุฒิ หวังชัย, ชนกันต์ จิตมนัส, จงกล พรมยะ และ หลุยส์ เลอเบล. ผลกระทบจากสภาพอากาศและฤดูกาลต่อคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ. วารสารวิจัย มข. ; 19(5): 743-50.

[2] ปัทมา วิริยะพัฒนทรัพย์. 3 สะอาด แนวทางการเลี้ยงกุ้งในยุคปัจจุบัน. วารสารเกษตรพระวรุณ. 2562; 15(1): 31-40.

[3] เบญญาภา ธีระวิทยเลิศ, นิลาวรรณ งามขำ, วรางคณา วิเศษมณี ลี, ยิ่งเจริญ คูสกุลรัตน์ และ ธวัช เพชรไทย. การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากโลหะหนักที่ปนเปื้อนในกุ้ง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ. 2560; 3(1): 52-60.

[4] Muhammad Junda. Development of Intensive Shrimp Farming, Litopenaeus vannamei In Land-Based Ponds: Production and Management. 2 nd International Conference on Statistics, Mathematics, Teaching, and Research; 2017 October 9 –10 Makassar, Indonesia; 2017.

[5] สร้อยดาว วินิจนันทรัตน์, รัตติกานต์ เนียมจันทร์, ภาวิณี พัฒนจันทร์, บัณฑิต ติรชุลี, ธาณี ดาวเรือง, ศิววรรณ พูลพันธุ์และ จิรทยา พันธุ์สุข. การใช้วัสดุพื้นถิ่นเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่ออนุบาลกุ้งกุลาดำ. วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต. 2563; 8(1): 184-97.

[6] Francisco J, Epinosa-Faller, Guillermo E and Rendon- Rodriguez. A ZigBee wireless sensor network for monitoring an aquaculture recirculating system. Journal of Applied Research and Technology. 2012; 10(3): 380-7.

[7] Daudi S. Simbeye and Shi Feng Yang. Water Quality Monitoring and Control for Aquaculture Based on Wireless Sensor Networks. JOURNAL OF NETWORKS. 2014; 9(4): 840-9.

[8] Jen-Yung Lin, Huan-Liang Tsai and Wei-Hong Lyu. An Integrated Wireless Multi-Sensor System for Monitoring the Water Quality of Aquaculture. MDPI Journal (Sensors). 2021; 21(8179): 1-20.

[9] วิวัฒน์ มีสุวรรณ์. อินเทอร์เน็ตเพื่อสรรพสิ่ง (Internet of Things) กับวารสารวิชาการนวัตกรรมสื่อสารสังคม. 2559; 4(2): 83-92.

[10] ธีรพงศ์ สงผัด และจุฑามณี รุ้งแก้ว. อินเตอร์เน็ตในสรรพสิ่งสำหรับการควบคุมการใช้ไฟฟ้าผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ. 2565; 2(2): 22-30.

[11] Nocheski S and Naumoski A. WATER MONITORING IOT SYSTEM FOR FISH FARMING PONDS. INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL. 2018; 3(2): 77-9.

[12] Preetham K, Mallikarjun BC and Umesha K. Aquaculture monitoring and control system: An IoT based approach. International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology. 2019; 5(2): 1167-70.

[13] นิฏฐิตา เชิดชู และ วีระศักดิ์ ชื่นตา. การเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการฟาร์มกุ้งด้วยการลดการใช้ไฟฟ้าที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์และควบคุมการเลี้ยงด้วยเทคโนโลยีการเลี้ยงสัตว์น้ำแม่นยำ .วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี. 2562; 9(2): 85-96.

FEAT JOURNAL
FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL
วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การประยุกต์ใช้งานวิศวกรรมสำหรับเกษตรอัจฉริยะในประเทศไทย

Engineering Applications for Smart Agriculture in Thailand

จาริณี จงปลื้มปิติ[1], สุรินทร์ อ่อนน้อม[2], สมสิน วางขุนทด[2] และ พลเทพ เวงสูงเนิน[3*]

Jarinee Jongpluempiti[1], Surin Ahonnom[2], Somsin Wangkhuntod[2] and Ponthep Vengsungnle[3*]

[1]สาขาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร [2]สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

[3]สถาบันนวัตกรรมอาหาร แปรรูปสินค้าเกษตรเพิ่มมูลค่า และเกษตรแม่นยำ

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน 744 อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

[1]Agricultural Machinery Engineering [2]Electrical Engineering

[3]Institute of Food Innovation, Value-Added Agricultural Products Processing and Precision Agriculture

Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Isan,

744 Muang Nakhon Ratchasima Province 30000

Received: 3 November 2022

Revised: 10 February 2023

Accepted: 7 March 2023

Available online: 23 June 2023

บทคัดย่อ

การพัฒนาเศรษฐกิจชีวภาพ เศรษฐกิจหมุนเวียน และเศรษฐกิจสีเขียว (Bio-Circular-Green Economy Model) เป็นวาระแห่งชาติที่จะพาไทยไปสู่เป้าหมายของการเป็นประเทศที่มีรายได้สูงและเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน หนึ่งในอุตสาหกรรมที่สำคัญที่จะนำพาประเทศไทยไปสู่เป้าหมายดังกล่าวคืออุตสาหกรรมเกษตรและอาหาร ซึ่งเทคโนโลยีที่กำลังมีแนวโน้มที่ถูกนำมาใช้มากขึ้นอย่างต่อเนื่องคือการทำเกษตรแม่นยำ การนำเอาระเบียบวิธีการต่าง ๆ มาใช้สำหรับการทำเกษตรไม่ว่าจะเป็นการใช้อินเตอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง คอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรม การสำรวจข้อมูลระยะไกล อากาศยานไร้คนขับ เหมืองข้อมูล ปัญญาประดิษฐ์ การประมวลผลภาพ การโปรแกรม ฯลฯ ซึ่งเทคโนโลยีต่าง ๆ เหล่านี้จะช่วยเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนในการทำการเกษตรของประเทศไทยทั้งในปัจจุบันและอนาคต

คำสำคัญ: วิศวกรรม เกษตรอัจฉริยะ เกษตรแม่นยำ อินเตอร์เน็ตสรรพสิ่ง ระบบควบคุม

Abstract

Bioeconomy development circular economy and green economy (Bio-Circular-Green Economy Model) is a national agenda that will lead Thailand towards the goal of becoming a high-income country and sustainable development goals. One of the key industries that will lead Thailand towards this goal is the agricultural and food industries. The technology that is becoming more and more likely to be used continuously is precision farming. adoption of farming methods, whether using the Internet of Things, Computer Aided Engineering, Remote Sensing, Unmanned Aerial Vehicles, Data Mining, Artificial Intelligence, Image Processing, Computer Programming, etc. These will help increase productivity and reduce the cost of agriculture in Thailand now and in the future.

Keywords: Engineering: Smart Agriculture: Precision Agriculture: Internet of Things: Control System

*ติดต่อ: ponthep.ve@rmuti.ac.th

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ประชากรส่วนใหญ่ทำอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก จากข้อมูลจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ที่สรุปในปี 2563 พบว่าเกษตรกรที่ประกอบอาชีพในประเทศไทยนั้นเป็นเกษตรกรที่หาเลี้ยงชีพด้วยการปลูกพืชหรือคิดเป็น 52.31% ซึ่งถือว่าเป็นอันดับ 1 ของการทำการเกษตร รองลงมาคือการเลี้ยงสัตว์ 9.11% เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ 0.71% ที่เหลือเป็นการทำการเกษตรแบบอื่น ๆ ข้อมูลจากสำนักงานสถิติแห่งชาติแสดงให้เห็นว่าในปี 2557 นั้นประเทศไทยมีเกษตรกรจำนวน 6,047,824 ครัวเรือนและในปี 2564 มีเกษตรกรเพิ่มขึ้นเป็น 7,363,226 ครัวเรือน ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีจำนวนเพิ่มขึ้นถึง 21.75% นั่นคือในอนาคตหากไม่มีการวางแผนในการเพิ่มอาหารต่อหน่วยพื้นที่ให้มากขึ้นก็จะส่งผลให้เกิดการขาดแคลนอาหารได้ หรือหากมีการส่งเสริมหรือมีการนำเอานโยบายต่าง ๆ เข้ามาช่วยเหลือเกษตรกรให้สามารถดำเนินกิจกรรมทางการเกษตรได้ดีขึ้นหรือมีประสิทธิภาพมากขึ้น ก็จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ หรือค่า Gross Domestic Product (GDP) มีค่าเพิ่มขึ้นได้ ซึ่งเทคโนโลยีที่กำลังมีการพัฒนากันอย่างแพร่หลาย และมีแนวโน้มที่มากขึ้นคือเทคโนโลยีเกษตรอัจฉริยะ (Smart Farm Technology) ซึ่งจากผลงานวิจัยของต่างประเทศมีรายงานว่าการนำเอาเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้อาจเพิ่มมูลค่าการทำการเกษตรได้ถึง 20% [1]

2. เกษตรและอาหารของโลก

องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติได้รายงานว่า เมื่อวันที่ 25 กันยายน พ.ศ. 2558 ประเทศสมาชิก 193 แห่งขององค์การสหประชาชาติได้รับรอง 17 เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) ของวาระ ค.ศ.2020 (พ.ศ.2573) เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน วัตถุประสงค์ระดับโลกที่คาดว่าจะเป็น

แนวทางในการดำเนินการของประชาคมระหว่างประเทศในอีก 15 ปีข้างหน้า (ค.ศ.2016-2030 หรือ พ.ศ.2559 - 2573) [2] เพื่อแก้ปัญหาความยากจนและปัญหาการขาดแคลนอาหารของโลก จากข้อมูลของ https://www.worldometers.info/ แสดงให้เห็นว่าประชากรโลกในขณะนี้มีประมาณ 7.8 พันล้านคน โดยคาดว่าจะมีประชากรประมาณ 8.0 พันล้านคนในปี 2023 (พ.ศ.2566) และหมื่นล้านคนในปี 2055 (พ.ศ.2598) [3] จากข้อมูลปี ค.ศ. 2000 – 2020 แสดงให้เห็นว่าในแต่ละปีมีประชากรเพิ่มขึ้นเฉลี่ยทั่วโลกประมาณ 82 ล้านคน หรือบวกลบเฉลี่ย 1.2% ± 0.02% นั่นคือหากปริมาณอาหารไม่เพียงพอต่อความต้องการของประชากรที่เพิ่มขึ้นในทุก ๆ ปี ก็อาจจะส่งผลเสียต่อโลกในอนาคตได้ นั่นคือหากประเทศไทยมีเป้าหมายที่จะเป็นครัวของโลกนั้นจะต้องมีเทคโนโลยีที่นำมาซึ่งการใช้ทรัพยากรพื้นที่อย่างจำกัด เพื่อให้ได้ผลผลิตต่อพื้นที่สูงที่สุด โดยข้อมูลจากกรุงเทพธุรกิจแสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีมูลค่าส่งออกกลุ่มอาหารมากถึงปีละกว่า 1 ล้านล้านบาท ซึ่งหากมีการพัฒนาเทคโนโลยีต่าง ๆ และนำมาใช้จริงอาจจะส่งผลให้ผลผลิตที่มีอยู่สูงขึ้น หรือต้นทุนที่ใช้ในการผลิตลดลง โดยหนึ่งในเทคโนโลยีที่ถูกพูดถึงในระดับโลกคือเทคโนโลยีเกษตรแม่นยำ (Precision Agriculture Technology) เทคโนโลยีเกษตรอัจฉริยะ (Smart Agriculture Technology) หรือเทคโนโลยีการทำการเกษตรอัจฉริยะ (Smart Farming Technology) นั่นเอง

3. การเกษตรในประเทศไทย

การทำการเกษตรในประเทศไทยนั้นตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง แต่อาจจะยังขาดการนำเอาเทคโนโลยีต่าง ๆ เข้าไปประยุกต์ใช้กับการทำการเกษตรและอาหาร [4] โดยการทำการเกษตรของประเทศไทยนั้นมีผู้ประกอบอาชีพเกษตรกรรมร้อยละ 60 ของประเทศ ในยุคเริ่มต้นเป็นเกษตรที่เรียกว่าเกษตรแบบดั้งเดิมจนมีการพัฒนามาเป็นการทำการเกษตรแบบเกษตรเคมีภัณฑ์คือมีการใช้สารสกัดเพื่อเพิ่มผลผลิตให้แก่การทำการเกษตรและเป็นการทำการเกษตรแบบยั่งยืนตามลำดับ

นับตั้งแต่พุทธศักราช 1543 ประเทศไทยเริ่มทำการเกษตรที่เรียกว่าเกษตรแบบดั้งเดิม หรือเกษตรยุคโบราณโดยพึ่งพาเพียงธรรมชาติส่งผลให้ผลผลิตต่ำ ต่อมาจึงพัฒนาเป็นการทำการเกษตรแบบร่วมสมัยคือการใช้สารสกัดหรือปุ๋ยเข้ามามีส่วนในการดำเนินกิจกรรมทางการเกษตรทำให้ได้ผลผลิตเพิ่มมากยิ่งขึ้น ได้แก่การทำการเกษตรเชิงเดี่ยว (monoculture) ซึ่งจะเป็นการทำการเกษตรโดยอาศัยการทำปศุสัตว์ชนิดเดียว หรือปลูกพืชชนิดเดียวเท่านั้น จุดแข็งของหลักการนี้คือสามารถบริหารจัดการกิจกรรมการปลูกพืชได้ง่าย ปลูกพืชได้เป็นระเบียบ การนำเอาสารอาหารให้แก่พืชหรืออื่น ๆ สามารถทำได้ง่าย แต่จุดอ่อนของวิธีการนี้คือพืชจะดูดซึมเอาแร่ธาตุเดิมจากดินออกเป็นจำนวนมากโดยไม่มีการทดแทน จึงส่งผลให้ดินเกิดความเสื่อมโทรมง่ายขึ้น [5,6] จากนั้นจึงมีการพัฒนาระบบการทำการเกษตรของประเทศไทยมาเป็นการทำการเกษตรแบบยั่งยืน หรือระบบเกษตรกรรมทางเลือก ซึ่งเป็นการทำการเกษตรแบบมีการทำให้เกิดสมดุลของสภาพแวดล้อมทั้งในแง่ของ

ระบบนิเวศ ผลิตทางการเกษตรที่ได้ คุณภาพของผลผลิต ปริมาณที่เพียงพอต่อการบริโภคและการจำหน่ายในเชิงพานิชย์ [7] ต่อมาเป็นการทำเกษตรยั่งยืนแบบเกษตรผสมผสาน เป็นระบบการจัดการกิจกรรมทางการเกษตรที่มีการทำการเกษตรแบบปลูกพืชและทำปศุสัตว์หลายๆ ชนิดในพื้นที่เดียวกัน เพื่อให้เกิดการเอื้อประโยชน์ซึ่งกันและกัน

4. เทคโนโลยีสำหรับเกษตรอัจฉริยะ

ในการนำเอาเทคโนโลยีเกษตรแม่นยำ เทคโนโลยีเกษตรอัจฉริยะ หรือเทคโนโลยีการทำการเกษตรอัจฉริยะ มาใช้ในการทำการเกษตรในประเทศไทยนั้นเป็นการนำเอาหลักการวิศวกรรมมาใช้ในการบริหารจัดการการทำกิจกรรมทางการเกษตร ซึ่งตัวอย่างของเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การใช้เซ็นเซอร์ในการรับรู้สภาวะแวดล้อม สถานะของพืชหรือสัตว์ที่อยู่ในการดูแลของเกษตรกร การบริหารจัดการชลประทาน ไม่ว่าจะเป็นระดับน้ำในแหล่งน้ำ ประสิทธิภาพการให้น้ำ สภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อการระเหยน้ำ เป็นต้น [8] อีกส่วนคือซอฟแวร์หรือโปรแกรมที่นำมาใช้ในการทำงานกิจกรรมต่าง ๆ ระบบโครงข่ายสำหรับการรับส่งข้อมูล การระบุพิกัด สัญญาณดาวเทียม หุ่นยนต์ และการวิเคราะห์ข้อมูล (data analytics) เป็นต้น ในบทความนี้จะทำการสรุปเทคโนโลยีที่กำลังจะก้าวมาเป็นส่วนสำคัญสำหรับการพัฒนาระบบเกษตรอัจฉริยะต่อไปในอนาคต ซึ่งสามารถสรุปภาพรวมได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางสรุปเทคโนโลยีต่าง ๆ สำหรับเกษตรแม่นยำในอนาคต

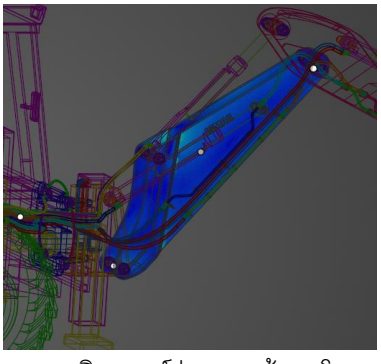
เทคโนโลยี	ความสามารถ	อ้างอิง
อินเตอร์เน็ตสรรพสิ่ง	เชื่อมต่อโครงข่ายรับส่งข้อมูลอุปกรณ์ต่ออุปกรณ์สำหรับการทำการเกษตร	[9-12]
คอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรม	จำลองการเกิดสถานการณ์ต่าง ๆ ก่อนการดำเนินการจริงในการทำการเกษตร	[13-16]
การสำรวจข้อมูลระยะไกล	สำรวจและประเมินผลตรวจติดตามสภาพพื้นที่ สภาพแวดล้อมและผลผลิตทางการเกษตร	[17-24]
อากาศยานไร้คนขับ	ดำเนินกิจกรรมอารักขาพืชหรือสัตว์ เฝ้าประเมินผลตรวจติดตามพื้นที่ทางการเกษตรระยะไกลแบบจำเพาะเจาะจง	[25-32]
เหมืองข้อมูล	หาความสัมพันธ์ของข้อมูลขนาดใหญ่ในการทำการเกษตรเพื่อการทำนายข้อมูลในอนาคต	[33-39]
ปัญญาประดิษฐ์	หาความสัมพันธ์ของข้อมูลทางการเกษตรเพื่อใช้ในการทำนายข้อมูลในอนาคตพร้อมตัดสินใจ	[40-44]
การประมวลผลภาพ	แปลงข้อมูลจากภาพเป็นข้อมูลในรูปแบบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น ชนิด พันธุ์ ความสมบูรณ์ การเกิดโรค ฯลฯ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถนำมาใช้ในการจัดการทางด้านเกษตรได้เป็นอย่างดี	[45-55]
การโปรแกรม	เป็นพื้นฐานของการสร้างเทคโนโลยีทางการเกษตรในโลกอนาคต	[56-59]

4.1 อินเตอร์เน็ตสรรพสิ่ง

อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things) หรือ IoT เป็นระบบของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่มีปฏิสัมพันธ์กันระหว่าง อุปกรณ์ดิจิตอล เครื่องจักร เครื่องยนต์ วัตถุ สัตว์ หรือบุคคลที่มีตัวระบุเฉพาะ (Unique identifier: UID) และความสามารถในการถ่ายโอนข้อมูลผ่านเครือข่ายโดยไม่ต้องใช้การปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับคอมพิวเตอร์ [9] ในปัจจุบันการนำเอา IoT มาใช้สำหรับการสร้างระบบอัจฉริยะถือว่ากำลังได้รับความนิยมและมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นในอนาคต สำหรับการทำฟาร์มอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยี IoT นั้นมีส่วนช่วยให้ผู้ปลูกและเกษตรกรสามารถลดของเสียและเพิ่มผลผลิตได้ตั้งแต่ ปริมาณปุ๋ยที่ใช้ [10,11] ไปจนถึงข้อมูลการใช้ยานพาหนะในฟาร์ม และช่วยให้สามารถใช้ทรัพยากรอย่างน้ำ ไฟฟ้า สารอาหาร ปุ๋ย ฯลฯ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โซลูชันการทำฟาร์มด้วยระบบ IoT นั้นเป็นระบบที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการตรวจสอบพื้นที่เพาะปลูกโดยใช้เซ็นเซอร์ เช่น วัดแสง ความชื้น อุณหภูมิ ความชื้นในดิน สุขภาพของพืชผล ฯลฯ รวมไปถึงการนำเอาระบบไปใช้ในการทำระบบชลประทานอัตโนมัติ [12] โดย https://www.iotsworldcongress.com รายงานว่าการนำอุปกรณ์ IoT มาใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตรจะสูงถึง 75 ล้านอุปกรณ์ในปี พ.ศ.2606 เพิ่มขึ้น 20% ต่อปี และตลาดเกษตรอัจฉริยะทั่วโลกคาดว่าจะเพิ่มขึ้นสามเท่าภายในปี พ.ศ.2568 คิดเป็นมูลค่า 15.3 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ (มากกว่าปี พ.ศ.2559 อยู่ประมาณ 5 พันล้านดอลลาร์) ซึ่งจะเห็นว่ามูลค่าสูงขึ้นในทุกปี

4.2 คอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรม

คอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรม หรือ Computer-Aided Engineering (CAE) เป็นการออกแบบและการทดสอบเสมือนจริง เป็นการวิเคราะห์ที่ซับซ้อนไปจนถึงการวางแผนการผลิตทางวิศวกรรมโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในกระบวนการส่วนใหญ่ ประเภทการวิเคราะห์แบบจำลองที่ใช้บ่อย ได้แก่ การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis: FEA) พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamic: CFD) การวิเคราะห์เชิงความร้อน (Thermal Analysis) พลศาสตร์การเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนหลายชิ้นส่วน (Multibody Dynamic) และการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimizations) [13] เป็นต้น

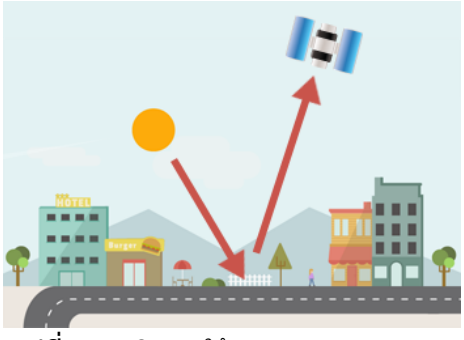


รูปที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าความเค้นบนโครงสร้างรถ

ในงานวิจัยของ Dongming Gao และคณะได้นำเสนอการหารูปร่างที่เหมาะสมที่สุดของชุดดายหญ้าสำหรับติดตั้งรถแทร็กเตอร์แสดงให้เห็นว่าสามารถลดการสั่นสะเทือนของชุดต่อพ่วงและช่วยให้น้ำหนักลดลงได้ [14] การนำเอาพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณไปใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความชื้นในโรงเรือนปลูกพืช [15] เนื่องจากความชื้นที่สูงของเรือนกระจกในช่วงกลางคืนจะส่งผลให้เกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำบนใบของพืช [16] ซึ่งสามารถใช้คอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรมมาใช้แก้ปัญหาได้

4.3 การสำรวจข้อมูลระยะไกล

การสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) เป็นเทคโนโลยีเชิงพื้นที่ประเภทหนึ่ง โดยใช้เครื่องมือวัดแบบไม่มีการสัมผัสโดยตรงกับวัตถุที่ต้องการวัด [17] ซึ่งจะใช้การวัดสะท้อนรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าจากระบบนิเวศ เพื่อตรวจจับและตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ เซ็นเซอร์ที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูล 2 รูปแบบด้วยกันได้แก่ เซ็นเซอร์แบบพาสซีฟซึ่งจะไม่ได้อาศัยตัวกระตุ้นเพื่อให้เกิดการสะท้อนของข้อมูล และเซ็นเซอร์แบบแอคทีฟเป็นเซ็นเซอร์ที่จำเป็นต้องอาศัยตัวกระตุ้นส่งผลให้ใช้พลังงานมากกว่าแบบพาสซีฟ แต่มีความละเอียดมากกว่า



รูปที่ 2 แนวคิดการใช้ passive sensor [18]

รูปที่ 3 แนวคิดการใช้ active sensor [18]

ในการทำการเกษตรกรรมนั้นมีการใช้ระบบการสำรวจระยะไกลกับการเกษตรแบบหมุนเวียน โดยเก็บรวบรวมข้อมูลการศึกษาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 (พ.ศ. 2513) ทำการเปรียบเทียบจุดเด่น จุดด้อยของการสำรวจระยะไกล พร้อมทั้งวิวัฒนาการการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี [19] ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีนี้ได้ให้ความสำคัญกับรูปแบบทางภูมิศาสตร์และการเปลี่ยนแปลงทางโลกมากขึ้น การสำรวจระยะไกลแหล่งน้ำและตัวชี้วัดพื้นที่ทางการเกษตรถูกพัฒนาขึ้นเพื่อติดตามและประเมินการพัฒนาการทำการเกษตรในด้านต่าง ๆ [20] หนึ่งในนั้นก็คือสามารถระบุดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) ได้ ซึ่งตัวแปรตัวนี้เป็นดัชนีไร้มิติที่อธิบายความแตกต่างระหว่างการสะท้อนแสงที่มองเห็นได้และใกล้อินฟราเรดที่ปกคลุมพืชพรรณ และสามารถนำมาใช้ในการประมาณความหนาแน่นของสีเขียวบนพื้นที่ที่ดิน [21] โดยคำนวณจากคำนวณเป็นความแตกต่างระหว่างการสะท้อนแสงใกล้อินฟราเรด (NIR) และสีแดง (RED) หารด้วยผลรวมทั้งหมด [22] นอกจากนั้นค่า NDVI ยังสามารถนำไปใช้ในการคำนวณดัชนีสภาพพืชพรรณ (Vegetation Condition Index: VCI) เพื่อใช้ในการเฝ้าระวังภัยแล้งในพื้นที่ [23,24] ได้อีกด้วย

4.4 อากาศยานไร้คนขับ

อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicles: UAVs) เป็นอุปกรณ์ที่ถูกนำมาใช้ทั้งภาคพื้นดินและทางอากาศ ซึ่งสามารถปฏิบัติภารกิจแทนมนุษย์ได้ตั้งแต่ระดับความอันตรายต่ำถึงความอันตรายสูง เช่น การสอดแนมทางการทหาร การลาดตะเวน หรือการสู้รบทางการทหาร เป็นต้น [25] มีรายงานว่าในประเทศสหรัฐอเมริกามียอดขาย UAV 8,000,000 ลำในปี ค.ศ.2020 (พ.ศ.2563) ซึ่งบันทึกว่าเพิ่มขึ้น 120% เมื่อเทียบกับปีก่อนหน้า นอกจากนี้

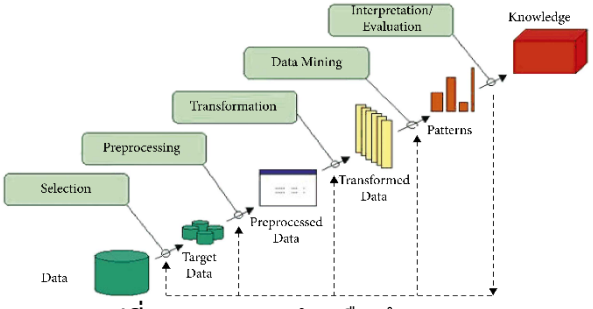
ตามการเชื่อมโยงของระบบยานพาหนะไร้คนขับ พบว่ามากกว่า 85% ของ UAV ได้รับการออกแบบเพื่อการเกษตร [26] ดังนั้นจึงเห็นได้ชัดว่า UAV จะมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มผลผลิตและการพัฒนาโดยรวมของภาคการเกษตร

ในการดำเนินกิจกรรมทางการเกษตรก็เช่นเดียวกัน อากาศยานไร้คนขับถูกนำมาใช้ในวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมการปฏิบัติทางการเกษตรที่หลากหลาย เช่น การทำนายความแห้งแล้ง [27] การประเมินสุขภาพพืชผล การชลประทาน การตรวจสอบพืชผล [28] การฉีดพ่นพืชผล [29] การปลูก การวิเคราะห์ดินและการสำรวจภาคสนาม เป็นต้น [30] โดรนมีทั้งแบบที่ไม่ติดตั้งเซ็นเซอร์และแบบที่ติดตั้งเซ็นเซอร์ที่ใช้ในงานเฉพาะด้าน [31] โดรนที่มีการติดตั้งเซ็นเซอร์ความร้อนหรือมัลติสเปกตรัมจะสามารถระบุพื้นที่ที่ต้องการน้ำหรือไม่ต้องการน้ำได้ เมื่อพืชผลเริ่มเติบโต เซ็นเซอร์จะระบุสุขภาพและคำนวณดัชนีพืชพรรณ ซึ่งจะส่งผลให้ลดการใช้น้ำ ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสารเคมีที่ไหลลงสู่น้ำใต้ดินได้ [32] เป็นต้น

4.5 เหมืองข้อมูล

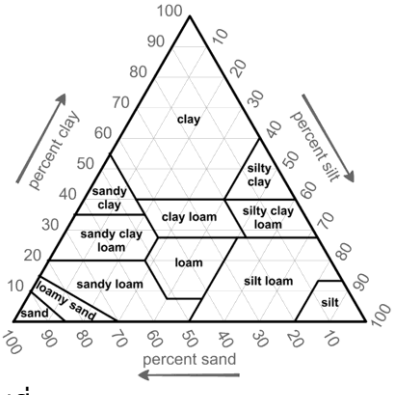
การทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) เป็นกระบวนการจัดเรียงชุดข้อมูลขนาดใหญ่เพื่อระบุรูปแบบและความสัมพันธ์ที่สามารถช่วยแก้ปัญหาทางธุรกิจผ่านการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งการทำเหมืองข้อมูลนั้นเป็นขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการที่สำคัญในการค้นพบความรู้ในฐานข้อมูล (Knowledge Discovery in Databases :KDD) ผ่านกระบวนการรวบรวมข้อมูล (Data Gathering) การเตรียมข้อมูล (Data Preparation) การวินิจฉัยข้อมูลหรือการขุดข้อมูล (Mining The Data) และการพิจารณาและตีความหมาย (Data Analysis and Interpretation) [33] เทคนิคและเครื่องมือในการทำเหมืองข้อมูลช่วยให้องค์กรต่าง ๆ สามารถคาดการณ์แนวโน้มในอนาคตและตัดสินใจทางธุรกิจได้อย่างมีข้อมูลมากขึ้น [34]

การทำเหมืองข้อมูลในการเกษตร หรือการเกษตรอัจฉริยะนั้นเป็นหัวข้อการวิจัยที่ปัจจุบันกำลังมีแนวโน้มได้รับการวิจัยมากยิ่งขึ้น [35] เนื่องจากปัญหาของการทำการเกษตรมีความซับซ้อนและไม่เป็นเชิงเส้น อย่างเช่น การวางแผนประเมินผลผลิตที่ได้รับหลังจากการทำการเกษตร ซึ่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นคุณภาพดิน คุณภาพน้ำ สายพันธุ์หรืออิทธิพลจากสภาพดินฟ้าอากาศ [36] เป็นต้น การเกิดโรคในพืชก็เป็นอีกหัวข้อหนึ่งที่มีความซับซ้อนซึ่งสามารถนำเอาเทคนิคการทำเหมืองข้อมูลไปใช้ในการหาความสัมพันธ์เพื่อแก้ปัญหาการเกิดโรคได้ [37] ดังนั้นการนำเอาเทคนิคนี้มาใช้จึงการแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ [33]



รูปที่ 4 แนวทางการทำเหมืองข้อมูล

ในเรื่องของการใช้ดินการมีความสำคัญสำหรับการทำกิจกรรมทางการเกษตรเช่นเดียวกัน เทคโนโลยีเหมืองข้อมูลได้ถูกนำไปใช้สำหรับจำแนกข้อมูลประเภทของดินโดยใช้เทคนิค Texture Triangle-Fuzzy C-Means (TEXTRI-FCM) [38] โดยใช้ USDA Soil Texture Triangle ดังรูปที่ 5 ในการระบุสัดส่วนและใช้อัลกอลิทึม Fuzzy C-Means (FCM) เพื่อมาแบ่งประเภทของดิน



รูปที่ 5 USDA Soil Texture Triangle. [39]

4.6ปัญญาประดิษฐ์

ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence :AI) หมายถึงการจำลองความฉลาดของมนุษย์บรรจุลงในเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ได้รับการตั้งโปรแกรมให้คิดและเลียนแบบการกระทำเหมือนมนุษย์ เช่น การเรียนรู้ การแก้ปัญหา การเรียนรู้ภาษา การจดจำเสียงพูด หรือการมองเห็น เป็นต้น [40,41] คุณลักษณะในอุดมคติของปัญญาประดิษฐ์คือ ความสามารถในการหาเหตุผลและเป้าหมายของปัญหา หนึ่งในการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการแก้ไขปัญหาคือการใช้เทคนิค Machine learning (ML) ซึ่งเป็นแนวคิดที่โปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถเรียนรู้และปรับให้เข้ากับข้อมูลใหม่โดยอัตโนมัติโดยไม่ได้รับความช่วยเหลือจากมนุษย์ โดยมีเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก (Deep learning: DL) ช่วยให้การเรียนรู้อัตโนมัติสามารถเรียนรู้ข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้างจำนวนมากได้ เช่น ข้อความ รูปภาพ หรือวิดีโอ เป็นต้น โดยปัญญาประดิษฐ์ยังสามารถนำไปใช้ร่วมกับเทคนิคอื่น ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำการเกษตร เช่น การสำรวจระยะไกล [42] การทำเหมืองข้อมูล [43] หรือการประมวลผลภาพ [44] เป็นต้น

4.7 การประมวลผลภาพ

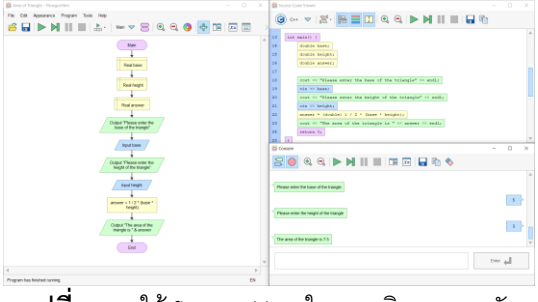
การประมวลผลภาพ (Image Processing) คือวิธีการดำเนินการบางอย่างกับรูปภาพ เป็นอีกหนึ่งประเภทของการประมวลผลสัญญาณที่อินพุตเป็นภาพและเอาต์พุตอาจเป็นภาพหรือลักษณะ/คุณลักษณะที่เกี่ยวข้องกับภาพนั้น หรือเพื่อให้ได้ภาพที่ปรับปรุงแล้วหรือเพื่อดึงข้อมูลที่เป็นประโยชน์บางส่วนออกมา เช่น การค้นหารูปร่าง การนับวัตถุ การระบุสี หรือการวัดคุณสมบัติของวัตถุ เป็นต้น [45] การประมวลผลภาพเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่เติบโตอย่างรวดเร็ว เป็นพื้นที่การวิจัยหลักในสาขาวิศวกรรมศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ด้วย [46] สำหรับการประยุกต์ใช้งานในเชิงลึกสำหรับงานวิจัยขั้นสูงนั้นก็ทำได้ เช่น นำเอาการประมวลผลภาพไปใช้ในการประเมินติดตามพฤติกรรมการไหลปั่นป่วนของอนุภาคขนาดเล็กที่ไม่สามารถบันทึกได้ด้วยกล้องปกติได้ [47,48] การตรวจวัดรอยเชื่อมเลเซอร์ในอุตสาหกรรมที่ใช้ความละเอียดสูง [49] เทคโนโลยีการจัดการน้ำท่วมร่วมกับ Machine Learning [50] หรือจะเป็นการประยุกต์เทคนิคการประมวลผลภาพกับการใช้นับจำนวนสิ่งของหรือวัตถุที่ต้องการทราบ ดัง**รูปที่** 6 เป็นการนำเอาไปใช้ร่วมกับการรับจำนวนกระถางเครื่องปั้นดินเผาซึ่งเป็นสินค้าของชุมชนจังหวัดนครราชสีมา เป็นต้น

รูปที่ 6 การใช้การประมวลผลภาพในการแบ่งแยกกลุ่มภาพและนับจำนวน

ทางด้านการเกษตรแม่นยำก็มีการนำเอาเทคนิคการประมวลผลภาพมาใช้เกี่ยวกับการประเมินติดตามการเจริญเติบโตของพืช การวินิจฉัยความผิดปกติของเมล็ดพันธุ์ การติดตามสถานะของค่าสามารถอาหารในดินหรือปุ๋ย การจำแนกประเภทของการปลูกพืชหรือช่วงอายุของพืช [51] นอกจากนี้เทคนิคการประมวลผลภาพยังสามารถนำไปใช้ทางด้านการเกษตรในเรื่องโรคที่เกิดขึ้นในพืชหรือสัตว์ เช่น การใช้สำหรับจำแนกโรคที่เกิดบนแอปเปิล [52] หรือการตรวจสอบสุขภาพของพืชผ่านใบ [53] ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพก็สามารถทำให้นักวิจัยได้ทราบถึงโรคที่เกิดขึ้นบนพืชที่ดูแลได้ และยังสามารถใช้ในการวิเคราะห์ระดับสารอาหาร [54] โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพไฮเปอร์สเปกตรัม (Hyperspectral Image Processing) ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถทราบได้ถึงลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีของผลผลิตทางการเกษตรและอาหารได้อีกด้วย [55]

4.8 การโปรแกรม

การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Computer Programming) หรือการโปแกรม (Programming) เป็นกระบวนการในการให้ชุดคำสั่งแก่ส่วนประมวลผลที่อธิบายว่าควรดำเนินการกิจกรรมอย่างไร เริ่มต้นด้วยการใช้ตัวแก้ไขโค้ดหรือ Integrated Development Environment (IDE) [56] เพื่อเขียนสิ่งที่เรียกว่าซอร์สโค้ด เพื่อให้หน่วยประมวลผลทำงานตามที่ต้องการ ปัจจุบันมีโปรแกรมหลากหลายที่ถูกนำมาพัฒนาเพื่อใช้ในการประมวลผลต่าง ๆ เช่น Python, JavaScript, C/C++, Java, C#, Ruby และ PHP [57] ซึ่งหากโปรแกรมเมอร์มีแนวคิดหรือกรอบการคิดเบื้องต้นที่ดีแล้วก็จะช่วยให้สามารถเขียนโปรแกรมได้หลากหลายภาษา เนื่องจากในแต่ละภาษามีกรอบแนวคิดคล้ายคลึงกันแตกต่างกันเพียงโครงสร้างการเขียนโปรแกรม ตัวอย่างในรูปที่ 7 เป็นตัวอย่างของโปรแกรมที่ใช้ในการเรียนรู้โครงสร้างกรอบแนวคิดของการเขียนโปรแกรมเพื่อนำเอาไปใช้ในการเขียนโปรแกรมแบบเต็มรูปแบบ



รูปที่ 7 การใช้ flowgorithm ในการอธิบายแผนผัง

ในประยุกต์ใช้งานทางด้านวิศวกรรมกับเกษตรอัจฉริยะนั้นการโปรแกรมถือเป็นหัวใจหลักที่สำคัญที่จะเชื่อมต่อเทคโนโลยีต่าง ๆ เข้ากับการทำการเกษตร รวมไปถึงการสร้างลำดับการแก้ไขปัญหาในการทำการเกษตรนั้นก็ต้องอาศัยการโปรแกรมทั้งสิ้น ไม่ว่าจะ

เป็นการนำเอาปัญญาประดิษฐ์ไปบรรจุในการสร้างระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งให้อุปกรณ์ เครื่องมือหรือเครื่องจักรสามารถคุยกันและประมวลผลได้ หรือจะเป็นการสร้างเงื่อนไขในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของโครงสร้างโดยการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยงานทางวิศวกรรมก็จำเป็นต้องพึ่งการโปรแกรม การใช้เทคนิค Deep Learning ก็เช่นกัน การวิจัยทางการเกษตรแม่นยำสมัยใหม่ชี้ให้เห็นว่าโครงข่ายประสาทเทียมเป็นรากฐานที่สำคัญสำหรับการเกษตรแม่นยำ [58] เนื่องจากการสามารถแก้ไขปัญหาที่มีความซับซ้อนทางด้านการเกษตรได้ นักวิจัยหรือผู้พัฒนาจำเป็นต้องมีพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการโปรแกรม เทคนิคนี้สามารถนำไปใช้ทางการเกษตรร่วมกับเทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อใช้ในการตรวจสอบพื้นที่ทางการเกษตรที่สนใจ [59]

5. สรุป

การประยุกต์ใช้งานวิศวกรรมสำหรับเกษตรอัจฉริยะหรือเกษตรแม่นยำนั้นถือว่าเป็นสิ่งที่เป็นเรื่องที่ท้าทายสำหรับประเทศไทย และสำหรับโลก เนื่องจากหากจะต้องแก้ปัญหาทางด้านอาหารของโลกที่กำลังจะเกิดขึ้นในอนาคตนั้นจำเป็นต้องมีการทำการเกษตรที่ใช้พื้นที่น้อยแล้วให้ได้ผลผลิตที่สูงกว่าเดิมจึงจะสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้

บทความนี้ได้นำเสนอการนำเอาหลากหลายเทคนิคทางด้านงานวิศวกรรมที่นักวิจัยทั่วโลกกำลังวิจัยเพื่อจะนำมาใช้ในการทำการเกษตรเพื่อจะทำให้กิจกรรมการทำการเกษตรเป็นเกษตรอัจฉริยะ ไม่ว่าจะเป็น อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง คอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรม การสำรวจข้อมูลระยะไกล (remote sensing) อากาศยานไร้คนขับ เหมืองข้อมูล ปัญญาประดิษฐ์ การประมวลผลภาพถ่าย หรือการโปรแกรม เป็นระเบียบวิธีการแห่งอนาคตสำหรับการทำการเกษตรที่มีความซับซ้อนของปัจจัยที่สูง ซึ่งจะสังเกตได้ว่าบทความหรืองานวิจัยส่วนใหญ่นั้นในการนำไปใช้ทางด้านการเกษตรอัจฉริยะจริง ๆ แล้วจำเป็นทีจะต้องใช้เทคนิคที่หลากหลายมารวมกันเพื่อแก้ปัญหาหรือสร้างกระบวนการการพัฒนา ซึ่งหากประเทศไทยนำเอาหลักการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย เช่น ข้าว มันสำปะหลัง อ้อย หรือยางพารา [60] ไม่ว่าจะเป็นการบำรุงรักษา การเพิ่มผลผลิต หรือการประเมินติดตามการเจริญเติบโตของการเพาะปลูกพืชต่าง ๆ เหล่านี้ ก็จะช่วยให้เกษตรกรมีผลผลิตเพิ่มมากยิ่งขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นในการพิจารณาถึงภาพรวมขององค์กรแล้วหากเกษตรกรหรือองค์กรใดมีองค์ความรู้เหล่านี้ก็จะช่วยส่งเสริมธุรกิจหรือองค์กรมีการพัฒนาได้อย่างรวดเร็วกว่าองค์กรที่ไม่มีองค์ความรู้เหล่านี้ นอกจากนี้ก็ยังมีอีกหลากหลายเทคนิคที่ไม่ได้กล่าวในบทความนี้และเป็นเทคนิคที่สำคัญสำหรับการทำการเกษตรในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสาขาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร และสถาบันนวัตกรรมอาหาร แปรรูปสินค้าเกษตรเพิ่มมูลค่า และเกษตรแม่นยำ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่กรุณาสนับสนุนข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับการเขียนบทความฉบับนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Norris J and Bland J. Precision Agriculture: Almost 20% increase in income possible from smart farming | Nesta [Internet]. www.nesta.org.uk2015 [cited 2022 Sep 6]. Available from: https://www.nesta.org.uk/blog/precision-agriculture-almost-20-increase-in-income-possible-from-smart-farming/

[2] Overview | Sustainable Development Goals | Food and Agriculture Organization of the United Nations [Internet]. [cited 2022 Aug 21]. Available from: https://www.fao.org/sustainable-development-goals/overview/en/

[3] Worldometer - real time world statistics [Internet]. [cited 2022 Aug 21]. Available from: https://www.worldometers.info/

[4] Thongmeethip K. Agricultural Development in Thailand in Terms of Community Development and Quality of Life. PSDS Journal of Development Studies. 2021; 4(1): 132-62.

[5] Andrén O and Kätterer T. Agriculture Systems. Encyclopedia of Ecology. 2008; 5: 96–101.

[6] Advantages and Disadvantages of Monoculture Farming - Conserve Energy Future [Internet]. [cited 2022 Sep 3]. Available from: https://www.conserve-energy-future.com/advantages-disadvantages-examples-monoculture.php

[7] Boonjarat M. Volcanic Minerals and Organic Farming in Thailand. Journal of interdisciplinary innovation review. 2022; 5.

[8] Said Mohamed E, Belal AA, Kotb Abd-Elmabod S, El-Shirbeny MA, Gad A and Zahran MB. Smart farming for improving agricultural management. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science. 2021; 24: 971–81.

[9] Gillis AS. What is the internet of things (IoT)? [Internet]. [cited 2022 Sep 3]. Available from: https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/Internet-of-Things-IoT

[10] Lavanya G, Rani C and Ganeshkumar P. An automated low cost IoT based Fertilizer Intimation System for smart agriculture. Sustainable Computing: Informatics and Systems. 2020; 28: 100300.

[11] Andrianto H, Suhardi, Faizal A, Budi Kurniawan N and Praja Purwa Aji D. Performance evaluation of IoT-based service system for monitoring nutritional deficiencies in plants. Information Processing in Agriculture. 2023; 10(1): 52-70.

[12] Almetwally SAH, Hassan MK and Mourad MH. Real Time Internet of Things (IoT) Based Water Quality Management System. Procedia CIRP. 2020; 91: 478–85.

[13] What is CAE | Computer-Aided Engineering? | SimScale [Internet]. [cited 2022 Sep 4]. Available from: https://www.simscale.com/docs/simwiki/general/what-is-cae-computer-aided-engineering/

[14] Gao D, Wang D, Wang G and Hao L. Topology optimization of conditioner suspension for mower conditioner considering multiple loads. Math Comput Model. 2013; 58: 489–96.

[15] Zhang C, Liu R, Liu K, Yang X, Liu H, Diao M, et al. A CFD transient model of leaf wetness duration on greenhouse cucumber leaves. Computers and Electronics in Agriculture. 2022; 200: 107257.

[16] Mashonjowa E, Ronsse F, Mubvuma M, Milford JR and Pieters JG. Estimation of leaf wetness duration for greenhouse roses using a dynamic greenhouse climate model in Zimbabwe. Computers and Electronics in Agriculture. 2013; 95: 70–81.

[17] Xu J, Gu B and Tian G. Review of agricultural IoT technology. Artificial Intelligence in Agriculture. 2022; 6: 10–22.

[18] Passive vs Active Sensors in Remote Sensing - GIS Geography [Internet]. [cited 2022 Sep 4]. Available from: https://gisgeography.com/passive-active-sensors-remote-sensing/

[19] Jiang N, Li P and Feng Z. Remote sensing of swidden agriculture in the tropics: A review. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2022; 112: 102876.

[20] Zahran SAES, Saeed RAH and Elazizy IM. Remote sensing based water resources and agriculture spatial indicators system. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science. 2022; 25: 515–27.

[21] Jurado JM, López A, Pádua L and Sousa JJ. Remote sensing image fusion on 3D scenarios: A review of applications for agriculture and forestry. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2022; 112: 102856.

[22] Sruthi S and Aslam MAM. Agricultural Drought Analysis Using the NDVI and Land Surface Temperature Data; a Case Study of Raichur District. Aquatic Procedia. 2015; 4: 1258–64.

[23] Liu WT and Kogan FN. Monitoring regional drought using the Vegetation Condition Index. http://dx.doi.org/10.1080/01431169608949106 [Internet]. 2007 [cited 2022 Sep 10]. Available from: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431169608949106

[24] Dabrowska-Zielinska K, Kogan F, Ciolkosz A, Gruszczynska M and Kowalik W. Modelling of crop growth conditions and crop yield in Poland using AVHRR-based indices. International Journal of Remote Sensing. 2002; 23: 1109–23.

[25] What Is a Drone? Drone Definition and Uses. | Built In [Internet]. builtin.com2022 [cited 2022 Sep 7]. Available from: https://builtin.com/drones

[26] Singh PK and Sharma A. An intelligent WSN-UAV-based IoT framework for precision agriculture application. Computers and Electrical Engineering. 2022; 100: 107912.

[27] Arshad S, Reza Mobasheri M, Arshad S, Morid S and Agha Alikhani M. Development of Agricultural Drought Risk Assessment Model for Kermanshah Province (Iran), using satellite data a... Related papers Monit oring and forecast ing drought impact on dryland farming areas Development of Agricultural Drought Risk Assessment Model for Kermanshah Province (Iran), using satellite data and intelligent methods. Option Mediterrianeennes Series A. 2008; 80.

[28] He XK, Bonds J, Herbst A and Langenakens J. Recent development of unmanned aerial vehicle for plant protection in East Asia. International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2017; 10: 18–30.

[29] Mogili UR and Deepak BBVL. Review on Application of Drone Systems in Precision Agriculture. Procedia Computer Science. 2018; 133: 502–9.

[30] Boursianis AD, Papadopoulou MS, Diamantoulakis P, Liopa-Tsakalidi A, Barouchas P, Salahas G, et al. Internet of Things (IoT) and Agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in smart farming. A comprehensive review Internet of Things. 2022; 18: 100187.

[31] Abbassi Y and Benlahmer H. The Internet of Things at the service of tomorrow's agriculture. Procedia Computer Science. 2021; 191: 475–80.

[32] 5 IoT Applications in Agriculture Industry | Smart Farming Solutions [Internet]. [cited 2022 Sep 3]. Available from: https://www.biz4intellia.com/blog/5-applications-of-iot-in-agriculture/

[33] Majumdar J, Naraseeyappa S and Ankalaki S. Analysis of agriculture data using data mining techniques: application of big data. J Big Data [Internet]. 2017 [cited 2022 Sep 6]. Available from: https://journalofbigdata.springeropen.com/articles/10.1186/s40537-017-0077-4

[34] What is Data Mining? [Internet]. [cited 2022 Sep 6]. Available from: https://www.techtarget.com/searchbusinessanalytics/definition/data-mining

[35] Ait Issad H, Aoudjit R and Rodrigues JJPC. A comprehensive review of Data Mining techniques in smart agriculture. Engineering in Agriculture, Environment and Food. 2019; 12(4): 511–25.

[36] Mohammed S, Elbeltagi A, Bashir B, Alsafadi K, Alsilibe F, Alsalman A, et al. A comparative analysis of data mining techniques for agricultural and hydrological drought prediction in the eastern Mediterranean. Computers and Electronics in Agriculture. 2022; 197: 106925.

[37] Ait Issad H, Aoudjit R and Rodrigues JJPC. A comprehensive review of Data Mining techniques in smart agriculture. Engineering in Agriculture, Environment and Food. 2019; 12: 511–25.

[38] Aarthi R and Sivakumar D. An Enhanced Agricultural Data Mining Technique for Dynamic Soil Texture Prediction. Procedia Computer Science. 2020; 171: 2770–8.

[39] Groenendyk DG, Ferré TPA, Thorp KR, and Rice AK. Hydrologic-Process-Based Soil Texture Classifications for Improved Visualization of Landscape Function. PLoS One [Internet]. 2015 [cited 2022 Sep 10]. 10:e0131299. Available from: https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0131299

[40] What Is Artificial Intelligence (AI)? [Internet]. [cited 2022 Sep 6]. Available from: https://www.investopedia.com/terms/a/artificial-intelligence-ai.asp

[41] What is Artificial Intelligence (AI)? Definition, Benefits and Use Cases [Internet]. [cited 2022 Sep 6]. Available from: https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/AI-Artificial-Intelligence

[42] Jung J, Maeda M, Chang A, Bhandari M, Ashapure A and Landivar-Bowles J. The potential of remote sensing and artificial intelligence as tools to improve the resilience of agriculture production systems. Current Opinion in Biotechnology. 2021; 70: 15–22.

[43] Liu LW, Ma X, Wang YM, Lu CT and Lin WS. Using artificial intelligence algorithms to predict rice (Oryza sativa L.) growth rate for precision agriculture. Computers and Electronics in Agriculture. 2021; 187: 106286.

[44] Patrício DI and Rieder R. Computer vision and artificial intelligence in precision agriculture for grain crops: A systematic review. Computers and Electronics in Agriculture. 2018; 153: 69–81.

[45] da Silva EAB and Mendonca GV. Digital Image Processing. The Electrical Engineering Handbook. 2005; 891–910.

[46] 1. Introduction to image processing | Digital Image Processing [Internet]. [cited 2022 Sep 6]. Available from: https://sisu.ut.ee/imageprocessing/book/1

[47] la Forgia N, Herø EH and Jakobsen HA. High-speed image processing of fluid particle breakage in turbulent flow. Chemical Engineering Science: X. 2021; 12: 100117.

[48] Kim Y and Dodbiba G. A novel method for simultaneous evaluation of particle geometry by using image processing analysis. Powder Technology. 2021; 393: 60–73.

[49] Patil DB, Nigam A and Mohapatra S. Image processing approach to automate feature measuring and process parameter optimizing of laser additive manufacturing process. Journal of Manufacturing Processes. 2021; 69: 630–47.

[50] Munawar HS, Hammad AWA and Waller ST. A review on flood management technologies related to image processing and machine learning. Automation in Construction. 2021; 132: 103916.

[51] Xu N. Image Processing Technology in Agriculture. Journal of Physics: Conference Series. 2021; 1881: 32097.

[52] Samajpati BJ and Degadwala SD. Hybrid approach for apple fruit diseases detection and classification using random forest classifier. International Conference on Communication and Signal Processing. 2016; 1015–9.

[53] Singh V, Varsha and Misra AK. Detection of unhealthy region of plant leaves using image processing and genetic algorithm. Conference Proceeding - 2015 International Conference on Advances in Computer Engineering and Applications. 2015; 1028–32.

[54] Suganya E, Sountharrajan S, Shandilya SK and Karthiga M. IoT in Agriculture Investigation on Plant Diseases and Nutrient Level Using Image Analysis Techniques. Internet of Things in Biomedical Engineering. 2019; 117–30.

[55] Jia B, Wang W, Ni X, Lawrence KC, Zhuang H, Yoon SC, et al. Essential processing methods of hyperspectral images of agricultural and food products. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems. 2020; 198: 103936.

[56] What is an IDE? [Internet]. www.redhat.com2019 [cited 2022 Sep 7]. Available from: https://www.redhat.com/en/topics/middleware/what-is-ide

[57] Wilkins J. What is Computer Programming? [Internet]. www.freecodecamp.org/2021 [cited 2022 Sep 7]. Available from: https://www.freecodecamp.org/news/what-is-programming/

[58] Dhanya VG, Subeesh A, Kushwaha NL, Vishwakarma DK, Nagesh Kumar T, Ritika G, et al. Deep learning based computer vision approaches for smart agricultural applications. Artificial Intelligence in Agriculture [Internet]. 2022 [cited 2022 Oct 4]. Available from: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2589721722000174

[59] Din A, Ismail MY, Shah B, Babar M, Ali F and Baig SU. A deep reinforcement learning-based multi-agent area coverage control for smart agriculture. Computers and Electrical Engineering. 2022; 101: 108089.

[60] กรรณิการ์ ดวงเนตร และ สุพรรณิกา ลือชารัศมี การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างราคาพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย. วารสารเศรษฐศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2018; 22(1): 59-92.

FEAT JOURNAL
FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL
วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การประเมินความคุ้มค่าของการจัดเก็บอะไหล่สำหรับหน่วยผลิตคอนกรีตผสมเสร็จด้วยวิธีวิเคราะห์ความสำคัญแบบ ABC และวิธีวิเคราะห์สัดส่วนต้นทุน

EVALUATING MACHINE SPARE PARTS OF CONCRETE BATCHING PLANT BY USING ABC CLASSIFICATION AND COST RATIO ANALYSIS

พิชญะ ธรรมวิรัตน์[1)*] เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต[1)] และ ศิโรรัตน์ พัฒนไพโรจน์[2)]

Pichaya Thamvirat[1)*], Kiatfa Tangchaichit[2)] and Sirorat Pattanapairoj[2)]

[1)] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

[2)] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

[1)] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

[2)] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

Received: 7 March 2023

Revised: 20 March 2023

Accepted: 21 March 2023

Available online: 23 June 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์วิธีการวิเคราะห์ความสำคัญแบบ ABC และวิเคราะห์สัดส่วนต้นทุนกับการจัดเก็บอะไหล่เครื่องจักรของหน่วยผลิตคอนกรีตผสมเสร็จภายในประเทศไทย เพื่อป้องกันการหยุดเครื่องจักรโดยไม่ได้วางแผน อันเป็นผลมาจากสาเหตุของการไม่มีอะไหล่จัดเก็บอยู่ภายในหน่วยผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ โดยเริ่มดำเนินการสำรวจข้อมูลเครื่องจักรที่มีขนาดและยี่ห้อที่ถูกใช้งานมาก รวบรวมข้อมูลอะไหล่ของเครื่องจักร วิเคราะห์ความสำคัญของอะไหล่ตามเกณฑ์ และนำมาวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการจัดเก็บอะไหล่จากการประเมินค่าความเสียหายเนื่องจากไม่มีอะไหล่จัดเก็บเปรียบเทียบกับต้นทุนในการจัดเก็บอะไหล่ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการจากศึกษาวิจัยนี้ คือสามารถจำแนกอะไหล่ที่มีความคุ้มค่าในการจัดเก็บ ผลการศึกษาพบว่ามีอะไหล่จำนวน 52 รายการ หรือร้อยละ 29 ของอะไหล่ทั้งหมด เป็นอะไหล่ที่มีค่าสัดส่วนต้นทุน มากกว่า 1.00 ซึ่งเป็นอะไหล่กลุ่มที่ถูกประเมินให้เป็นอะไหล่ที่คุ้มค่าในการจัดเก็บในหน่วยผลิต และสามารถใช้เป็นแนวทางประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรกลขนาดอื่น ๆ รวมถึงงานด้านงานวิศวกรรมอื่น ๆ ยกตัวอย่างเช่น อู่ซ่อมรถยนต์ เครื่องจักรกลสำหรับบรรจุบรรจุภัณฑ์ หรือเครื่องจักรกลด้านการเกษตร เป็นต้น

คำสำคัญ : การวิเคราะห์ความสำคัญแบบ ABC ค่าความเสียหายเนื่องจากไม่มีอะไหล่จัดเก็บ ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ สัดส่วนต้นทุน

Abstract

This research aims to apply ABC classification and cost ratio analysis to ready mixed concrete machine spare parts in Thailand. Considering the goal to prevent unplanned machine breakdown caused of the lack of spare parts stored in the plant. Starting from a survey of spare parts data of concrete mixer machines. Select most of the machine sizes and brands to assume the scope of the study. Evaluate the worthiness of machine spare parts by finding the damage cost in case of no spare parts in store compared with inventory cost. Expectations of the study will provide the benefit of classifying spare parts that are worthwhile for the concrete batching plant that should be kept in storage. The result of the study found 52 machine spare parts have a cost ratio over 1.00, which is recommended spare parts for keep in the concrete batching plant spare part store and a guideline for applying to other sizes of machines, including other engineering machineries such as automobile repair shops, packing machine or agricultural machine, etc.

Keywords: ABC classification: Cost of Stockout: Cost of stock: Cost ratio

*ติดต่อ: E-mail: Pichaya_t@kkumail.com

1. บทนำ

ปัจจุบันหน่วยงานก่อสร้างนิยมใช้งานผลิตภัณฑ์คอนกรีตผสมเสร็จกันอย่างแพร่หลาย เนื่องด้วยความสะดวก รวดเร็ว สามารถผลิตได้เป็นจำนวนมากและประหยัดค่าใช้จ่ายด้านกำลังคนในหน่วยงานก่อสร้าง จึงทำให้หน่วยผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ (Concrete batching plant) มีบทบาทสำคัญในทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทย เกิดการแข่งขันกันในภาคธุรกิจอย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นด้านราคาของผลิตภัณฑ์ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ การบริการหลังการขาย รวมไปถึงการรักษาความต่อเนื่องในการผลิตก็มีความสำคัญตามไปด้วย โดยกระบวนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จในปัจจุบันใช้อุปกรณ์ เครื่องจักรกลไปจนถึงระบบควบคุมอัตโนมัติ เข้ามาช่วยเพิ่มในประสิทธิภาพในการผลิต ทั้งในกระบวนการเก็บรักษาวัตถุดิบ ชั่งตวงปริมาณวัตถุดิบ ลำเลียงวัตถุดิบ หรือการผสมวัตถุดิบ เพื่อให้ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์คอนกรีตผสมเสร็จที่มีคุณสมบัติที่ดีตามการใช้งาน [1] ลดเวลาในกระบวนการผลิต รวมถึงช่วยลดต้นทุนการผลิต ซึ่งปัจจุบันบุคลากรในหน่วยผลิตยังขาดความรู้และประสบการณ์ในการบำรุงรักษาเครื่องจักร ส่งผลให้เกิดการหยุดชะงักของเครื่องจักรและกระบวนการผลิต ใช้พลังงานหรือวัตถุดิบในการผลิตมากเกินความจำเป็น ก่อให้เกิดความเสียหายต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์คอนกรีตผสมเสร็จ สูญเสียรายได้จากค่าเสียโอกาสในการผลิตและการขาย เกิดการล่าช้าในการนำส่งผลิตภัณฑ์คอนกรีต ซึ่งปัญหาของ

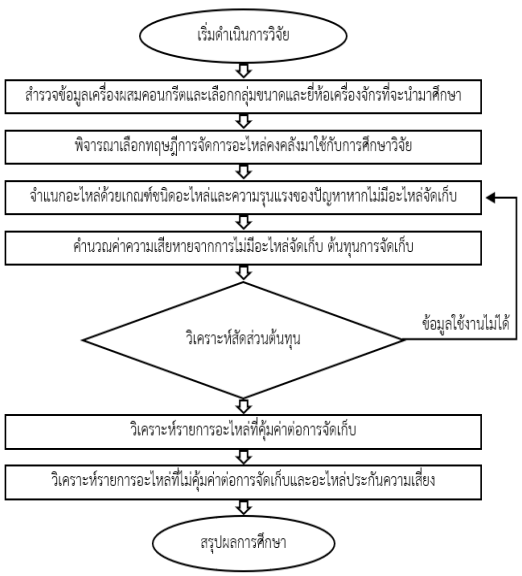
เครื่องจักรกลที่เกิดขึ้นแต่ละปัญหาต้องใช้องค์ความรู้และประสบการณ์ในการแก้ปัญหาที่แตกต่างกันออกไป หนึ่งสาเหตุสำคัญของการสูญเสียความต่อเนื่องในการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จคือการหยุดเครื่องจักรเนื่องจากต้องรออะไหล่ของเครื่องจักรในกระบวนการผลิต เพราะในปัจจุบันหน่วยผลิตเหล่านี้ไม่มีนโยบายการจัดเก็บอะไหล่สำรอง หน่วยผลิตบางแห่งเลือกที่จะจัดเก็บเฉพาะอะไหล่มีอายุการใช้งานสั้น อะไหล่ที่มีการสึกหรอ หรืออะไหล่ที่มีการกำหนดระยะเวลาการเปลี่ยนที่แน่นอนเพื่อการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ด้วยเหตุผลที่ว่าไม่สามารถประเมินได้ว่าอะไหล่รายการใดมีความสำคัญควรจะต้องมีจัดเก็บไว้ อะไหล่รายการใดสามารถจัดหาได้ในพื้นที่ เนื่องจากไม่มีหลักการประเมินความคุ้มค่าของการจัดเก็บอะไหล่โดยเปรียบเทียบระหว่างความเสียหายในด้านของการขายเปรียบเทียบกับต้นทุนของการจัดเก็บอะไหล่รายการนั้น

ปัจจุบันพบว่ามีการนำเอารูปแบบการวิเคราะห์อะไหล่คงคลังมาประยุกต์ใช้ในธุรกิจต่าง ๆ มากมาย ในแต่ละรูปแบบก็ได้รับผลการดำเนินการที่แตกต่างกันออกไป จากการศึกษาพบว่าชมพูนุทและคณะใช้การวิเคราะห์วิธีการวิเคราะห์ความสำคัญแบบ ABC มาประยุกต์ใช้ทฤษฎีการจัดการสินค้าคงคลังสำหรับโรงงานผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ส่งผลให้สามารถลดต้นทุนรวมของการจัดการสินค้าคงคลังลงได้ร้อยละ 76.4 และลดมูลค่าคงคลังเฉลี่ยลงได้ร้อยละ 6.1 [2] ธงชัยและปวีณาได้นำเอาหลักการความสำคัญอะไหล่แบบหลายปัจจัยมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงระบบจัดการอะไหล่ในโรงงานบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษ ส่งผลให้สามารถกำหนดนโยบายการจัดซื้อใหม่และมูลค่าคงคลังลดลง 514,382 บาทต่อปี โดยคงประสิทธิภาพของการเบิกจ่าย (Service Level) ไว้ได้ที่ร้อยละ 99.77 [3] หัสนัยและคณะใช้หลักการหาปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีการวิเคราะห์ความสำคัญแบบ ABC เพื่อใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารการจัดการคลังอะไหล่ในธุรกิจงานซ่อมเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ โดยสามารถลดระยะเวลารอคอยอะไหล่เฉลี่ยลงได้จาก 14.8 วัน เป็น 8.6 วัน คิดเป็นร้อยละ 41.66 [4] ปริญญาและศิริจันทร์นำวิธีการวิเคราะห์สัดส่วนต้นทุน มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงระบบคงคลังอะไหล่สำหรับเครื่องจักรการผลิต สามารถจำแนกอะไหล่ออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ อะไหล่ที่คุ้มค่าในการจัดเก็บ อะไหล่ที่ไม่คุ้มค่าในการจัดเก็บและอะไหล่ประกันความเสี่ยง สามารถจำแนกอะไหล่ที่ไม่ต้องการใช้แล้วและอะไหล่ที่ไม่คุ้มค่าในการจัดเก็บ มูลค่าคงคลังอะไหล่ลดลงถึงร้อยละ 18 อัตราการหมุนเวียนคงคลังเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 63 เป็นร้อยละ 81 [5]

การศึกษาวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการประเมินวิธีการจัดการรูปแบบของการจัดการอะไหล่ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรในกระบวนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ ซึ่งได้แก่เครื่องผสมคอนกรีต เนื่องจากมีความสำคัญเปรียบเสมือนหัวใจของหน่วยผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ โดยจะใช้วิธีการจำแนกอะไหล่ตามเกณฑ์ คำนวณค่าความเสียหายเนื่องจากการไม่มีอะไหล่จัดเก็บ คำนวณค่าต้นทุนการจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลสัดส่วนต้นทุนของอะไหล่เครื่องจักร ให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่บุคลากรในหน่วยผลิตจะนำไปใช้ในการตัดสินใจเลือกและวางแผนปรับปรุงรูปแบบการจัดการอะไหล่ในหน่วยผลิตคอนกรีตผสมเสร็จที่ดูแล เพื่อลดการหยุดเครื่องจักรแบบไม่ได้วางแผนเนื่องจากต้องรออะไหล่เครื่องจักรในกระบวนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ

2. วิธีดำเนินการวิจัย

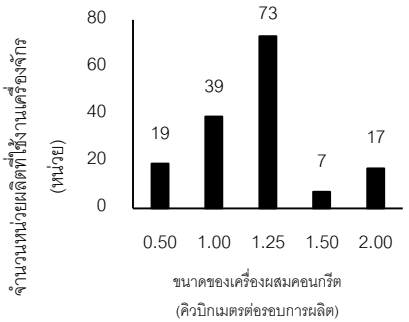
วิธีดำเนินการวิจัยนี้มีทั้งหมด 6 ขั้นตอน แสดงในรูปที่ 1 ดังนี้



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินการ

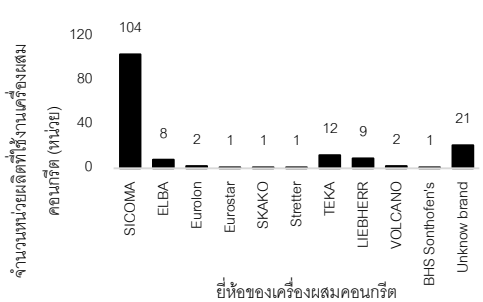
2.1 การสำรวจข้อมูลเครื่องผสมคอนกรีตและเลือกกลุ่มขนาดและยี่ห้อเครื่องจักรที่จะนำมาศึกษา

ผลการสำรวจข้อมูลหน่วยผลิตจากทุกภูมิภาคภายในประเทศไทย ที่ทำสัญญาประเภทเฟรนไชส์ จำนวน 155 หน่วยผลิต พบว่าหน่วยผลิตจำนวน 73 หน่วยผลิตหรือคิดเป็นร้อยละ 47 ของหน่วยผลิตคอนกรีตทั้งหมด เป็นหน่วยผลิตที่มีขนาดพิกัด 1.25 คิวบิกเมตร/รอบการผลิต ดังแสดงในรูปที่ 2 จึงถูกกำหนดให้เป็นขนาดที่จะนำมาศึกษาวิจัย

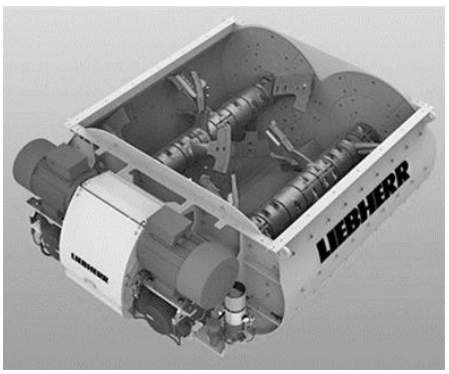


รูปที่ 2 การสำรวจขนาดเครื่องผสมคอนกรีตหน่วยผลิตภายในประเทศไทย

เครื่องผสมคอนกรีตพิกัด 1.25 คิวบิกเมตร/รอบการผลิต เป็นขนาดที่นิยมใช้กันในประเทศไทย การออกแบบและยี่ห้อแตกต่างกันออกไป โดยอะไหล่ของแต่ละยี่ห้อก็มีการออกแบบที่แตกต่างกันและไม่สามารถทดแทนกันได้ เป็นเหตุให้มีความจำเป็นต้องกำหนดยี่ห้อของเครื่องผสมคอนกรีตที่จะนำมาศึกษา โดยการสำรวจยี่ห้อของเครื่องผสมคอนกรีต พบว่าหน่วยผลิตจำนวน 104 หน่วยผลิตหรือคิดเป็นคิดเป็นร้อยละ 67 ของหน่วยผลิตทั้งหมด เป็นเครื่องผสมคอนกรีตยี่ห้อ SICOMA ดังแสดงในรูปที่ 3 ประเภทเพลาคู่ (Twin shaft mixer) ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งจะถูกกำหนดให้เป็นยี่ห้อเครื่องผสมคอนกรีตที่จะถูกนำมาวิเคราะห์ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้



รูปที่ 3 การสำรวจยี่ห้อเครื่องผสมคอนกรีตในประเทศไทย



รูปที่ 4 เครื่องผสมคอนกรีตแบบเพลาคู่

2.2 การพิจารณาเลือกทฤษฎีการจัดการอะไหล่คงคลังมาใช้กับการศึกษาวิจัย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้มีการพิจารณาเลือกทฤษฎีการจัดการอะไหล่คงคลังที่จะนำมาใช้กับการศึกษาวิจัยด้วยการประเมินความเหมาะสมโดยเปรียบเทียบกับวัตถุประสงค์งานการศึกษา

วิธีวิเคราะห์ความสำคัญแบบ ABC เป็นวิธีการจำแนกอะไหล่ที่มีเกณฑ์การจำแนกทีครั้งละ 1 เกณฑ์ ซึ่งไม่เหมาะสมกับกรณีที่ต้องจำแนกด้วยเกณฑ์การจำแนกหลายเกณฑ์ [2] แตกต่างจากวิธีวิเคราะห์ความสำคัญอะไหล่แบบหลายปัจจัยที่จะสามารถจำแนกอะไหล่ ภายใต้เกณฑ์การจำแนกที่ซับซ้อนได้ [3] เพราะฉะนั้นแล้วการจำแนกอะไหล่โดยใช้เกณฑ์ชนิดของอะไหล่และจำแนกความเสียหายเนื่องจากไม่มีอะไหล่จัดเก็บในการศึกษาครั้งนี้ไม่มีความซับซ้อนมากนัก จึงเหมาะสมกับวิธีวิเคราะห์ความสำคัญแบบ ABC ส่วนวิธีกำหนดปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดจะมีเป้าหมายเพื่อกำหนดปริมาณของวัตถุดิบหรืออะไหล่ที่จะสั่งซื้อให้ได้มาซึ่งความตอบสนองความต้องการและในด้านของต้นทุนการสั่งซื้อ [4] คล้ายกันกับวิธีการกำหนดจุดสั่งซื้อใหม่ซึ่งจะกำหนดระดับการสั่งซื้ออะไหล่ให้อยู่ในจุดที่เหมาะสม ไม่สั่งซื้อครั้งละมากเกินหรือสั่งซื้อหลายครั้งเกินจำเป็น [3] แตกต่างจากจุดประสงค์ของการศึกษาวิจัยนี้ที่ต้องการจำแนกอะไหล่ที่คุ้มค่าและไม่คุ้มค่าต่อการจัดเก็บ โดยหากประเมินจากกรณีศึกษางานวิจัยที่ใช้ทดลองกับอะไหล่เครื่องจักร การผลิตในธุรกิจอื่น พบว่าวิธีที่มีแนวโน้มที่ผลลัพธ์จะประสบความสำเร็จ ได้แก่ วิธีการวิเคราะห์สัดส่วนต้นทุน ซึ่งเป็นวิธีที่ประยุกต์ใช้ได้กับอะไหล่เครื่องจักรในหลายธุรกิจ โดยคำนวณความคุ้มค่าของการจัดเก็บอะไหล่โดยเปรียบเทียบระหว่างค่าความเสียหายเนื่องจากไม่มีอะไหล่จัดเก็บกับค่าต้นทุนการจัดเก็บอะไหล่รายการนั้น [6]

2.3 การจำแนกอะไหล่ด้วยเกณฑ์ชนิดอะไหล่และความรุนแรงของปัญหาเนื่องจากไม่มีอะไหล่จัดเก็บ

การสำรวจข้อมูลอะไหล่ทั้งหมดของเครื่องผสมคอนกรีตยี่ห้อ SICOMA ขนาดเครื่องผสมคอนกรีตพิกัด 1.25 คิวบิกเมตร/รอบการผลิต พบว่ามีอะไหล่ทั้งหมด 177 รายการ จำนวน 886 ชิ้น ซึ่งในงานศึกษาวิจัยนี้ใช้หลักการวิเคราะห์ความสำคัญแบบ ABC ในวิเคราะห์อะไหล่แต่ละรายการโดยจำแนกอะไหล่ออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ อะไหล่ทั่วไปที่สามารถจัดหาได้ตามพื้นที่ทั่วไปหรือสามารถทดแทนอย่างเหมาะสมด้วยอะไหล่ให้ใกล้เคียงได้ และอะไหล่พิเศษ ซึ่งเป็นอะไหล่ที่ออกแบบพิเศษจากผู้ออกแบบไม่สามารถจัดหาได้ในพื้นที่หรือทดแทนได้ ทั้งนี้อะไหล่ที่ต้องเปลี่ยนก่อนครบกำหนดอายุตามระยะเวลาและการใช้งาน (จำนวนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ) เพื่อให้สอดคล้องกับวิธีการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน [7] จะไม่ถูกนำมาวิเคราะห์ในการศึกษาวิจัยนี้ด้วย เนื่องจากหน่วยผลิตสามารถวางแผนการจัดซื้อได้ก่อนจะถึงเวลาหยุดเครื่องจักรได้

การประเมินความเสียหายเนื่องจากไม่มีอะไหล่จัดเก็บ ใช้หลักการหลักการการวิเคราะห์ความสำคัญแบบ ABC ในการจำแนก กรณีการหยุดทำให้เครื่องผสมคอนกรีตหยุดทำงานทันที เครื่องผสมคอนกรีตทำงานผิดปกติ หรือผลิตภัณฑ์ไม่มีคุณภาพ จะถูกจัดให้เป็นความเสียหายรุนแรง ในทางกลับกันกรณีการหยุดมีความเสียหายกับเครื่องผสมคอนกรีตเล็กน้อย ทำให้เครื่องผสมคอนกรีตมีความผิดปกติเล็กน้อย หรือคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ผลิตยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน จะถูกจัดให้เป็น ความเสียหายไม่รุนแรง

การจำแนกอะไหล่จะใช้วิธีการสัมภาษณ์ผู้มีประสบการณ์ด้านการซ่อมบำรุงเครื่องผสมคอนกรีต ข้อมูลจากการสำรวจพบว่าหน่วยผลิตจำนวน 162 หน่วยผลิตมีจำนวนผู้มีประสบการณ์ในการซ่อมบำรุงเครื่องผสมคอนกรีตไม่ต่ำกว่า 3 ปี จำนวน 16 ท่าน เนื่องจากบางหน่วยผลิตที่มีหลายสาขาแยก มักจะใช้ผู้ดูแลคนเดียวกันหรือบางหน่วยผลิตที่ไม่มีผู้ซ่อมบำรุงหน่วยผลิตและใช้การว่าจ้างเป็นกรณีไป ซึ่งข้อมูลที่ได้จะถูกใช้กำหนดเป็นอะไหล่ที่ใช้ในการวิเคราะห์ในการศึกษาวิจัยนี้ต่อไป

2.4 คำนวณหาค่าค่าความเสียหายเนื่องจากไม่มีอะไหล่จัดเก็บ ต้นทุนการจัดเก็บ และค่าสัดส่วนต้นทุน

การวิเคราะห์สัดส่วนต้นทุนคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$CR = \frac{CSO}{CS} \qquad (1)$$

เมื่อ CR คือ ค่าสัดส่วนต้นทุน (Cost Ratio) เป็นตัวแปรที่ไม่มีหน่วย ซึ่งเกิดจากสัดส่วนระหว่าง CSO คือ ค่าความเสียหายเนื่องจากไม่มีอะไหล่จัดเก็บ (Cost of Stockout) และ CS คือ ค่าต้นทุนการจัดเก็บ (Cost of Stock) มีหน่วยเป็นบาทเช่นเดียวกันกับค่าความเสียหายเนื่องจากไม่มีอะไหล่จัดเก็บ [5]

ค่าความเสียหายเนื่องจากไม่มีอะไหล่จัดเก็บในการศึกษาวิจัยครั้งนี้คำนวณจากผลคูณระหว่างค่าเสียโอกาสในการผลิตคอนกรีตต่อชั่วโมง ราคาผลิตภัณฑ์ และเวลาที่ใช้ในการรออะไหล่เครื่องจักร ซึ่งผลการสำรวจการผลิตโดยเฉลี่ยต่อวันของหน่วยผลิตคอนกรีตผสมเสร็จในประเทศไทย ซึ่งพบว่าเฉลี่ยแล้วมียอดการผลิต 1,819 คิวบิกเมตรต่อเดือน ผลิตคอนกรีตเป็นเวลาเฉลี่ย 30 วันต่อเดือน และเปิดทำการ 8 ชั่วโมงต่อวัน คิดเฉลี่ยเป็นปริมาตรคอนกรีตเท่ากับ 7.58 คิวบิกเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งใกล้เคียงค่าเฉลี่ยของการจับเวลาการผลิตโดยตรงของเครื่องผสมขนาด 0.5 คิวบิกเมตร/รอบการผลิต [8] โดยมีปัจจัยขึ้นอยู่กับที่ตั้งของหน่วยผลิตคอนกรีตด้วย รวมถึงการสำรวจราคาคอนกรีตผสมเสร็จเฉลี่ยในทุก ๆ ชั้นคุณภาพกำลังอัดของปี พ.ศ. 2563 อยู่ที่ 2,604 บาทต่อคิวบิกเมตร เพราะฉะนั้นหากมีการหยุดเครื่องจักรที่ 1 ชั่วโมง จะก่อให้เกิดค่าเสียโอกาสในการผลิตเป็นมูลค่า 5,336 บาท โดยจะใช้ข้อมูลค่าเสียโอกาสในการผลิตนี้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์หาข้อมูลค่าความเสียหายเนื่องจากไม่มีอะไหล่จัดเก็บต่อไป

การหาความเสียหายเนื่องจากไม่มีอะไหล่จัดเก็บใช้การสัมภาษณ์ความคิดเห็นผู้มีประสบการณ์ด้านการซ่อมบำรุงเครื่องผสมคอนกรีต จำนวน 16 ท่าน โดยหัวข้อการสำรวจข้อมูลคือค่าเวลาที่สูญเสียจากเวลาสูญเสียเนื่องจากรออะไหล่ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าความเสียหายเนื่องจากไม่มีอะไหล่จัดเก็บ ตามสมการที่ 2

$$CSO = Q'hr \times Poc \qquad (2)$$

เมื่อ CSO คือ ค่าความเสียหายเนื่องจากไม่มีอะไหล่จัดเก็บ ซึ่งเกิดจากผลคูณระหว่าง Q'hr คือ ปริมาณผลิตคอนกรีตผสมเสร็จเฉลี่ย มีหน่วยเป็นคิวบิกเมตรต่อชั่วโมงและ Poc คือ ราคาเฉลี่ยคอนกรีตต่อคิวบิกเมตร มีหน่วยเป็นบาทต่อคิวบิกเมตร [5]

กรณีศึกษาการพิจารณาทางเลือกในการเพิ่มพื้นที่จัดเก็บสินค้าโดยใช้หลักการทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ณ กิจการจำหน่ายล้อยางยนต์ในจังหวัดอุบลราชธานี มีค่าเช่าโกดังเฉลี่ยในพื้นที่เท่ากับ 88.89 บาทต่อตารางเมตรต่อปี [9] จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าความสูญเสียพื้นที่ในการจัดเก็บซึ่งมีหน่วยเป็นบาทต่อปีและเนื่องจากหน่วยผลิตโดยส่วนมากเป็นหน่วยผลิตใหม่ มีข้อมูลอายุการใช้งานอะไหล่ไม่มาก จึงกำหนดค่ากลางของเวลาเฉลี่ยที่ใช้เก็บอะไหล่เป็นระยะเวลา 5 ปี สำหรับรายการที่ไม่มีข้อมูลเวลาเฉลี่ยในการเก็บอะไหล่ จากนั้นคำนวณต้นทุนการจัดเก็บอะไหล่ด้วยสมการที่ 3

$$CS = Pop + Dc + Ic \quad (3)$$

เมื่อ CS คือ ต้นทุนการจัดเก็บอะไหล่ มีหน่วยเป็นบาท เกิดจากผลรวมระหว่าง Pop คือ ราคาอะไหล่ Dc คือ ค่าขนส่งอะไหล่ Ic คือ ค่าการสูญเสียพื้นที่เพื่อจัดเก็บอะไหล่ [5]

2.5 วิเคราะห์รายการอะไหล่ที่คุ้มค่าต่อการจัดเก็บ

ผลจากการวิเคราะห์สัดส่วนต้นทุนทำให้สามารถจำแนกอะไหล่ที่คุ้มค่าต่อการจัดเก็บได้โดยหากอะไหล่รายการนั้นมีค่าความเสียหายเนื่องจากไม่มีอะไหล่จัดเก็บมากกว่าหรือเท่ากับต้นทุนการจัดเก็บหรือมีค่าสัดส่วนต้นทุนมากกว่า 1.0 จะถือว่าเป็นอะไหล่ที่คุ้มค่าต่อการจัดเก็บ [5]

2.6 วิเคราะห์รายการอะไหล่ที่ไม่คุ้มค่าต่อการจัดเก็บและอะไหล่ประกันความเสี่ยง

อะไหล่ที่มีค่าสัดส่วนต้นทุนน้อยกว่า 1.0 จะถูกพิจารณาว่าเป็นอะไหล่ที่ไม่คุ้มค่าต่อการจัดเก็บ แต่หากอะไหล่รายการนั้นที่มีค่าความเสียหายเนื่องจากการไม่มีอะไหล่จัดเก็บสูงก็มีความเป็นไปได้ว่าจะถูกพิจารณาให้เป็นอะไหล่ประกันความเสี่ยง ทั้งนี้การกำหนดจุดของอะไหล่ประกันความเสี่ยงจะขึ้นอยู่กับขีดจำกัดและสถานการณ์ด้านงบประมาณการซ่อมบำรุงเครื่องจักรของหน่วยผลิตนั้น

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลสำรวจข้อมูลด้วยการสัมภาษณ์ความคิดเห็นผู้มีประสบการณ์เกี่ยวกับเครื่องผสมคอนกรีต จำนวน 16 ท่าน พบว่ามีอะไหล่ทั่วไปจำนวน 50 รายการ คิดเป็นร้อยละ 28 และอะไหล่พิเศษจำนวน 127 รายการ คิดเป็นร้อยละ 72 และผลการจำแนกอะไหล่โดยใช้เกณฑ์ความเสียหายเนื่องจากไม่มีอะไหล่จัดเก็บพบว่ามีอะไหล่พิเศษที่ก่อให้เกิดความเสียหายรุนแรงจำนวน 66 รายการ คิดเป็นร้อยละ 52 ตัวอย่างการจำแนกอะไหล่ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการจำแนกโดยใช้เกณฑ์ชนิดของอะไหล่และความเสียหายเนื่องจากไม่มีอะไหล่จัดเก็บ

ชื่ออะไหล่	จำนวน	ชนิด	ผลกระทบ	ผล
Screw (Mouting-1)	2	ทั่วไป	ไม่รุนแรง	ไม่นำมาวิเคราะห์
Screw (Mouting-2)	4	ทั่วไป	ไม่รุนแรง	
Middle arm	8	พิเศษ	ไม่รุนแรง	
Wear Plate	24	พิเศษ	ไม่รุนแรง	
Middle blade	8	พิเศษ	ไม่รุนแรง	
Splined shaft	2	พิเศษ	รุนแรง	นำไปวิเคราะห์ต่อ
Bush	4	พิเศษ	รุนแรง	
Gearbox support	4	พิเศษ	รุนแรง	
Mixer bearing	4	พิเศษ	รุนแรง	
Reduction gear	4	พิเศษ	รุนแรง	

ผลการนำอะไหล่พิเศษที่ก่อให้เกิดความเสียหายรุนแรงเนื่องจากไม่มีอะไหล่จัดเก็บมาคำนวณค่าความเสียหายเนื่องจากไม่มีอะไหล่จัดเก็บและต้นทุนการจัดเก็บต่อ ดังแสดงตัวอย่างการคำนวณในตารางที่ 2 และตารางที่ 3 ตามลำดับ การประเมินเบื้องต้นข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญค่อนข้างสมเหตุสมผล ยกตัวอย่างเช่น อะไหล่เพลาเครื่องผสมคอนกรีต (Splined shaft) มีค่าความเสียหายเนื่องจากไม่มีอะไหล่จัดเก็บมากกว่าอะไหล่ลูกปืนเครื่องผสมคอนกรีต (Mixer bearing) เนื่องจากอะไหล่ใช้เวลาในการผลิตอะไหล่มากกว่า ส่งผลให้เวลารออะไหล่มากกว่าลูกปืนเครื่องผสมคอนกรีตแต่ยังน้อยกว่าอะไหล่ชุดเกียร์เครื่องผสมคอนกรีต (Reduction gear) สาเหตุเพราะชุดเกียร์เครื่องผสมคอนกรีตเป็นอะไหล่ที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศเป็นต้น

ตารางที่ 2 การคำนวณความเสียหายเนื่องจากไม่มีอะไหล่จัดเก็บ

ชื่ออะไหล่	เวลารออะไหล่ (ชั่วโมง)	ค่าความเสียหายเนื่องจากไม่มีอะไหล่จัดเก็บ (บาท)
Splined shaft	12	236,860
Bush	3	59,215
Gearbox support	12	236,860
Mixer bearing	6	118,430
Reduction gear	40	789,533

ตารางที่ 3 การคำนวณต้นทุนการจัดเก็บ

ชื่ออะไหล่	ราคาอะไหล่ (บาท)	ค่าขนส่งอะไหล่ (บาท)	ค่าพื้นที่จัดเก็บ (บาท)	ต้นทุนการจัดเก็บ (บาท)
Splined shaft	45,000	5,000	1,200	51,200
Bush	7,500	1,000	80	8,580
Gearbox support	4,500	1,000	200	5,700
Mixer bearing	6,500	500	80	7,080
Reduction gear	75,000	10,000	200	85,200

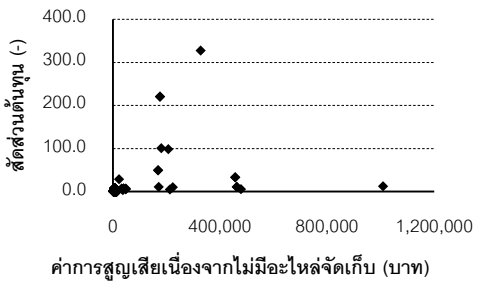
ผลวิเคราะห์สัดส่วนต้นทุนของอะไหล่เครื่องผสมคอนกรีต พบว่ามีอะไหล่จำนวน 52 รายการหรือคิดเป็นร้อยละ 29 ของอะไหล่ทั้งหมด เป็นอะไหล่ที่มีค่าสัดส่วนต้นทุนมากกว่า 1.0 หรือเป็นอะไหล่ที่มีค่าความเสียหายเนื่องจากไม่มีอะไหล่จัดเก็บมากกว่าค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ ตัวอย่างการคำนวณสัดส่วนต้นทุนดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยที่ผ่านมา [5] แต่มีความแตกต่างที่ผลการศึกษานี้ไม่พบอะไหล่ประกันความเสี่ยง เนื่องจากอะไหล่ที่มีความเสียหายเนื่องจากไม่มีอะไหล่จัดเก็บมาก ถูกจัดอยู่ในกลุ่มอะไหล่ที่มีค่าสัดส่วนต้นทุนมากกว่า 1.0 หรืออะไหล่ที่คุ้มค่าในการจัดเก็บในคลังอะไหล่ของหน่วยผลิต

ตารางที่ 4 การคำนวณสัดส่วนต้นทุน

ชื่ออะไหล่	ต้นทุนการจัดเก็บ (บาท)	ความเสียหายเนื่องจากไม่มีอะไหล่ (บาท)	สัดส่วนต้นทุน (บาท)
Splined shaft	51,200	236,860	4.63
Bush	8,580	59,215	6.90
Gearbox support	5,700	236,860	41.55
Mixer bearing	7,080	118,430	16.73
Reduction gear	85,200	789,533	9.27

วิธีการวิเคราะห์สัดส่วนต้นทุน เป็นวิธีการวิเคราะห์นโยบายการจัดการอะไหล่จะให้สามารถจำแนกอะไหล่ที่คุ้มค่าในการจัดเก็บ ทำให้หน่วยผลิตสามารถตัดสินใจที่จะจัดเก็บได้ง่ายขึ้น โดยสามารถประเมินจากสัดส่วนต้นทุนหรือค่าความเสียหายเนื่องจากไม่มีอะไหล่จัดเก็บ ซึ่งอะไหล่บางรายการจะแสดงให้เห็นว่ามีความเสี่ยงสูงหากไม่มีการจัดเก็บดังแสดงในรูปที่ 5 อีกทั้งยังประยุกต์ใช้กับธุรกิจหน่วยผลิตคอนกรีตผสมเสร็จขนาดและยี่ห้ออื่น ๆ ได้ต่อไป ผนวกกับอนาคตธุรกิจหน่วยผลิตคอนกรีตจะมีข้อมูลอะไหล่ที่เก็บไว้มากขึ้น เช่น อายุการใช้งานอะไหล่

อายุการจัดเก็บอะไหล่ ลักษณะพฤติกรรมของการใช้งานอะไหล่ จะทำให้สามารถวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการเลือกอะไหล่ที่จะจัดเก็บได้แม่นยำและครอบคลุมมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 5 แผนภูมิผลวิเคราะห์สัดส่วนต้นทุน

4. สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้ใช้การจำแนกอะไหล่ โดยวิธีจัดลำดับความสำคัญแบบ ABC เพื่อจำแนกอะไหล่ของเครื่องผสมคอนกรีตยี่ห้อ SICOMA ขนาดเครื่อง 1.25 คิวบิกเมตร/รอบการผลิต โดยใช้เกณฑ์ชนิดของอะไหล่และความเสียหายเนื่องจากไม่มีอะไหล่จัดเก็บ พบว่ามีอะไหล่พิเศษที่ก่อให้เกิดความเสียหายรุนแรงเนื่องจากไม่มีอะไหล่จัดเก็บ จำนวน 66 รายการจากจำนวนอะไหล่ทั้งหมด 177 รายการ

ผลการวิเคราะห์สัดส่วนต้นทุนของอะไหล่เครื่องผสมคอนกรีต สำหรับหน่วยผลิตคอนกรีตผสมเสร็จดังแสดงในรูปที่ 5 จะพบว่าอะไหล่ส่วนมากจะจับกลุ่มอยู่ในช่วงที่มีค่าสัดส่วนต้นทุนต่ำกว่า 50 โดยมีเพียง 2 รายการที่มีค่าสัดส่วนต้นทุนสูงกว่า 50 โดยหากวิเคราะห์ลึกลงไปจะพบว่า เป็นอะไหล่ที่เปรียบเสมือนแกนหลักที่ขับเครื่องผสมคอนกรีตให้สามารถทำงานได้แต่มีต้นทุนการจัดเก็บไม่สูงมากนัก ซึ่งได้แก่ มอเตอร์ขับเครื่องผสมคอนกรีตและมอเตอร์เกียร์ไฮโดรลิค ซึ่งสอดคล้องตามหลักการวิเคราะห์สัดส่วนต้นทุนที่การศึกษานี้ได้ศึกษามา โดยสรุปผลการศึกษาพบว่ามีอะไหล่จำนวน 52 รายการหรือคิดเป็นร้อยละ 29 ของอะไหล่ทั้งหมด เป็นอะไหล่ที่คุ้มค่าในการจัดเก็บ มูลค่าการจัดเก็บรวมทั้งนโยบายเท่ากับ 479,270 บาท ซึ่งคิดเป็นเพียงร้อยละ 7.5 หากเปรียบเทียบกับค่าความสูญเสียเนื่องจากไม่มีอะไหล่จัดเก็บของอะไหล่พิเศษที่มีความเสียหายรุนแรงทั้งหมด 66 รายการ จากการคำนวณเท่ากับ 6,423,504 บาท นับว่าเป็นค่าความเสียหายที่สูงมากหากเทียบกับมูลค่าของเครื่องจักร อีกทั้งยังไม่รวมถึงกรณีที่นำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรที่มีขนาดใหญ่กว่านี้จะยิ่งช่วยลดค่าความเสียหายได้อีกมาก ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถใช้เป็นแนวทางให้บุคลากรหน่วยผลิตคอนกรีตตัดสินใจเลือกจัดเก็บอะไหล่ตามความต้องการหรือตามงบประมาณ โดยรวมแล้วข้อมูลที่นำเสนอในบทความนี้จะเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานนำไปประยุกต์ใช้ได้ดีอย่างยิ่ง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยขอนแก่นที่ให้การสนับสนุนด้านสถานที่สำหรับดำเนินการวิจัยและขอขอบคุณ บริษัท นครหลวงคอนกรีต จำกัด (มหาชน) ที่ให้การสนับสนุนในด้านข้อมูลอะไหล่เครื่องผสมคอนกรีตที่ใช้วิเคราะห์ในการศึกษาครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ฆนนัช พระพุทธคุณ และ ธีรเดช วุฒิพรพันธ์. การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2554; 21(12): 313-20.

[2] ชมพูนุท เกษมเศรษฐ์, ศิวัช ปริญญาเมธี และ ธีรโชติ สกุลศึกษาดี. การประยุกต์ใช้ทฤษฎีการจัดการสินค้าคงคลังสำหรับโรงงานผลิตภัณฑ์เบเกอรี่. วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี. 2557; 4(11): 12-26.

[3] ธงชัย วุฒิจันทร์ และ ปวีณา เชาวลิตวงศ์. การปรับปรุงระบบจัดการอะไหล่ในโรงงานบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษ. การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 10, 6-7 ธันวาคม 2556, จังหวัดนครปฐม; 2556.

[4] หัสนัย สำเร็จ, ศักดิ์ชาย รักการ, ปพน สีหอมชัย และอนัญญา จินดาวัฒนะ. การเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารการจัดการคลังอะไหล่ กรณีศึกษา: ธุรกิจงานซ่อมเครื่องนึ่งฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ. วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต. 2557; 4(11): 28-40.

[5] ปริญญา จันทรวินิจ และ ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ. การปรับปรุงระบบการคงคลังอะไหล่สำหรับเครื่องจักรการผลิต. วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา. 2556; 24(11): 58-66.

[6] วัฒนา เชียงกูล, ดลดิษฐ์ เมืองแมน และ เกรียงไกร ดำรงรัตน์. การจัดการงานบำรุงรักษาด้วย Reliability. SE-EDUCATION PCL.: กรุงเทพ; 2553.

[7] สุจิตรา อดุลย์เกษม, อภิรัตน์ สุวรรณเพ็ชร์, นิชาภัทร ผ่องใส และ อรวรรณ เชาวลิต. ต้นแบบระบบการควบคุมและจัดการเครื่องจักรและอะไหล่เครื่องจักร: กรณีศึกษาโรงงานผลิตน้ำตาล. Veridian E-Journal Science and Technology Silpakorn University. 2558; 2(12): 89-101.

[8] พรศิริ คำหล้า, เจษฎา ยาโสภา, ธัญญารัตน์ ไชยกำบัง, ปิยณัฐ โตอ่อน, รัชฎา แต่งภูเขียว ณัฐนันท์ อิสสระพงศ์ และคณะ. การศึกษาเวลามาตรฐานในกระบวนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จด้วยการจับเวลาโดยตรง. Industrial Technology Journal. 2564; 6(12): 41-51.

[9] ศุภกร รัตนบวร และ ธารชุดา พันธ์นิกุล. การพิจารณาทางเลือกในการเพิ่มพื้นที่จัดเก็บสินค้าโดยใช้หลักการทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 2558; 8(12): 48-61.

FEAT JOURNAL
FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL
วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

ผลของอุณหภูมิชุดควบแน่นจากการไพโรไลซิสน้ำมันหมู

Effect of condensate temperature on lard pyrolysis

จาริตร ปูอินต๊ะ[1], ฉัตรชัย เบญจปิยะพร[1], จุฬาภรณ์ เบญจปิยะพร[1],
ณัฐดนย์ พรรณุเจริญวงษ์[2*] และ เกยูร ดวงอุปมา[3]

Charitr Puinta[1], Chatchai Benjapiyaporn[1], Julaporn Benjapiyaporn[1],
Nattadon Pannucharoenwong[2*] and Keyoon Duanguppama[3]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 40002, ประเทศไทย
[2]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทาลัยธรรมศาสตร์, 12120, ประเทศไทย
[3]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, 46000, ประเทศไทย

[1]Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, 40002, Thailand
[2]Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat School of Engineering, Thammasat University, 12120, Thailand
[3]Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University, 46000, Thailand

Received: 27 March 2023
Revised: 27 April 2023
Accepted: 1 May 2023
Available online: 23 June 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาผลของอุณภูมิชุดควบแน่นจากการไพโรไลซีสน้ำมันหมู โดยมีเงื่อนไขการทดลอง คือ อุณหภูมิไพโรไลซีส 500 °C ระยะเวลา 3 ชั่วโมง และอุณหภูมิชุดควบแน่นสอง -10 °C ซึ่งปรับเปลี่ยนอุณหภูมิของชุดควบแน่นแรก 5 ระดับ คือ 40, 50, 60, 70 และ 80 °C เพื่อศึกษาปริมาณและสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง ผลการศึกษา พบว่า อุณภูมิชุดควบแน่น 60 °C ให้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงหนักสูงสุดร้อยละ 41 โดยน้ำหนัก ขณะที่อุณหภูมชุดควบแน่น 80 °C ให้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงเบาสูงสุดร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก ผลวิเคราะห์

สมบัติน้ำมันเชื้อเพลิง พบว่า อุณหภูมิชุดควบแน่นที่แตกต่างกันทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงมีสมบัติที่แตกต่างกัน โดยน้ำมันเชื้อเพลิงหนักมีความหนาแน่น 927 kg/m^3 ความหนืด 8.69 cSt ค่าความร้อนสูง 39 MJ/kg และติดไฟได้ที่อุณหภูมิ 31.37 °C ขณะที่น้ำมันเชื้อเพลิงเบามีความหนาแน่น 696.67 kg/m^3 ความหนืด 1.67 cSt และค่าความร้อน 40 MJ/kg. ซึ่งผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า น้ำมันเชื้อเพลิงหนักมีองค์ประกอบทางเคมีของสารในกลุ่มที่เป็นกรดเป็นองค์ประกอบหลัก ขณะที่น้ำมันเชื้อเพลิงเบามีองค์ประกอบทางเคมีของสารในกลุ่มน้ำมันเบนซินเป็นองค์ประกอบหลัก

คำสำคัญ: อุณหภูมิชุดควบแน่น ไพโรไลซีส น้ำมันหมู น้ำมันเชื้อเพลิง

Abstract

This research focuses on the effect of condensation set temperature on lard pyrolysis. The experimental conditions were a pyrolysis temperature of 500 °C for 3 hours and a second condensing unit temperature of -10 °C. It adjusted the temperature of the first five-stage condenser to 40, 50, 60, 70, and 80 °C to study the quantity and properties of the fuel. The results showed that the condensate temperature was 60 °C. The maximum amount of heavy fuel was 41 wt%, while the condensing unit temperature was 80 °C and the maximum amount of light fuel was 4 wt%. Different heavy fuel oils have a density of 927 kg/m^3, a viscosity of 8.69 cSt, and a high calorific value of 39 MJ/kg. And it ignites at a temperature of 31.37 °C, while a light fuel has a density of 686.67 kg/m^3, a viscosity of 1.67 cSt, and a calorific value of 40 MJ/kg. The chemical composition analysis found that heavy fuel oil has a chemical composition with acidic substances as the main component. While light fuels have the chemical composition of substances in the gasoline group as the main constituents

Keyword: Condensation temperature: Pyrolysis: Lard: Fuels

---

*ติดต่อ: Charitrpuinta@kkumail.com, pnattado@engr.tu.ac.th เบอร์โทรศัพท์ 062-294-8222

1.บทนำ

ที่ผ่านมาประเทศไทยรวมถึงทั่วโลก มีการนำพลังงานเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในการพัฒนาและขับเคลื่อนประเทศเดินไปข้างหน้าโดยพลังงานทั่วไปที่ทั่วโลกใช้นั้นมักจะมาจากก๊าซ,น้ำมัน (Fossil), ถ่านหินแต่ด้วยปัญหาด้านมลภาวะที่เป็นพิษ รวมถึง ทรัพยากรที่ลดลง จึงทำให้นักวิจัยหลากหลายประเทศหันมาสนใจศึกษาพลังงานทดแทน (Renewable energy) อาทิพลังงานลม, พลังงานแสงอาทิตย์, พลังงานน้ำ และเชื้อเพลิงชีวภาพ ซึ่งพลังงานเหล่านี้เป็นพลังงานที่สามารถนำกลับมาใช้ได้อย่างไม่สิ้นสุด และยังเป็นพลังงานทดแทนที่มีความสะอาดรวมถึงส่งผลกระทบทางด้านมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมน้อย

เมื่อเปรียบเทียบกับ พลังงานจากเชื้อเพลิงปิโตรเลียม [1] เชื้อเพลิงชีวภาพ คือ ผลิตภัณฑ์ประเภทเชื้อเพลิงที่ผลิตจากชีวมวล ที่ได้จากผลผลิตของสิ่งมีชีวิต เช่น มูลสัตว์ ซากพืช โดยเชื้อเพลิงชีวภาพ เป็นพลังงานทดแทน รวมถึงยังเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่เหมือนพลังงานจากแหล่งธรรมชาติอื่น ๆ เช่น ปิโตรเลียม ถ่านหิน และเชื้อเพลิง โดยในปัจจุบันการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ เริ่มมีการแพร่หลายโดยการนำพืชมาผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ เช่น อ้อย มันสำปะหลัง กากมะพร้าว ปาล์ม สาหร่าย เป็นต้น [2-3] ในอีกมุมนึงการนำของเหลือจากสัตว์มาปรับเปลี่ยนเป็นพลังงานเชื้อเพลิงชีวภาพยังไม่ค่อยแพร่หลายโดยเฉพาะน้ำมันหมู

น้ำมันหมูเกิดจากการเจียวไขมันหมูบนกระทะใบบัว ทั้งนี้แล้วน้ำมันหมูที่ผลิตมาได้นั้นยังมีข้อเสียหลัก ๆ คือ แข็งตัวเร็วและมีกลิ่นหืนง่าย จึงทำให้ไม่นิยมนำไปประกอบอาหาร ดังนั้นน้ำมันหมูจึงถูกนำมาผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงโดยผ่านกระบวนการไพโรไลซิส [4-6] โดยนำน้ำมันหมูอบในเตาความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดแรงดันจนน้ำมันหมูระเหยตัวกลายเป็นไอ จากนั้นควบแน่นไอที่ได้จากน้ำมันหมูที่อุณหภูมิต่าง ๆ จะได้ของเหลว และหากนำตัวเร่งปฏิกิริยามาเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทาง [7] เคมีของไอก่อนการควบแน่นจะได้ของเหลวที่มีสมบัติใกล้เคียงน้ำมันเชื้อเพลิงปิโตรเลียม [8-9] Syamsiro และคณะ [4] ได้ศึกษาน้ำมันเชื้อเพลิงจากพลาสติก พบว่าพลาสติกให้ปริมาณของเหลวร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เมื่อวิเคราะห์สมบัติของเหลว พบว่าของเหลวจากพลาสติกมีค่าความร้อน 46 MJ/kg Duanguppama et al [9] ได้ศึกษาน้ำมันเชื้อเพลิงจากไขมันหมู พบว่า อุณหภูมิหม้อสกัดน้ำมันหมู 175 °C และอุณหภูมิเตาปฏิกรณ์ 500 °C ได้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงสูงสุดร้อยละ 25.1 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นปริมาณที่ค่อนข้างต่ำ รวมถึงมีค่าความร้อนสูงสุด 34.74±0.9 MJ/kg และจุดติดไฟ-จุดวาปไฟต่ำสุด 30.15±0.7 °C ต่อมาในปี 2022 Puinta et al. [10] ได้ศึกษาน้ำมันเชื้อเพลิงจากกากไขมันหมู พบว่า ชุดควบแน่นแรกควรกำหนดอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 40 °C และชุดควบแน่นสองควรควบแน่นที่อุณหภูมิติดลบเพื่อเพิ่มปริมาณและคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิง แต่ยังไม่แน่ชัดว่าการเพิ่มอุณหภูมิชุดควบแน่นแรกจาก 40-80 °C และชุดควบแน่นสอง -10 °C จะส่งผลต่อปริมาณและสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงอย่างไร

ดังนั้น งานวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นเพื่อศึกษาน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันหมูด้วยการไพโรไลซีส ภายใต้อุณหภูมิ 500 °C และระยะเวลาทดลอง 3 ชั่วโมง โดยศึกษาผลของชุดควบแน่นอุณหภูมิ (5 ระดับ) คือ 40 50 60 70 และ 80 °C และชุดควบแน่นสองที่ -10°C ต่อปริมาณและสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง

2.อุปกรณ์และการทดลอง

2.1 กระบวนการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้เริ่มต้นจากการเตรียมไขมันหมูด้วยการนำไปหั่นให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาดความยาวไม่เกิน 3 เซนติเมตร จากนั้นเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับกระบวนการผลิต คือ หม้อสกัดน้ำมันหมู เตาปฏิกรณ์ และชุดควบแน่น 2 ชุด โดยการทดลองแต่ละครั้งใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกนำไปสมดุลมวลเพื่อหาปริมาณผลได้ของผลิตภัณฑ์ และ น้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์หาคุณสมบัติต่าง ๆ ตามขอบเขตงานที่กำหนดไว้ โดยผลการสมดุลมวลที่พบว่าเกิดความผิดพลาดของกระบวนการทดลองนั้นจะถูกทดลองซ้ำใหม่อีกครั้ง ซึ่งแต่ละการทดลองจะทำซ้ำทั้งหมด 3 รอบต่อการทดลอง

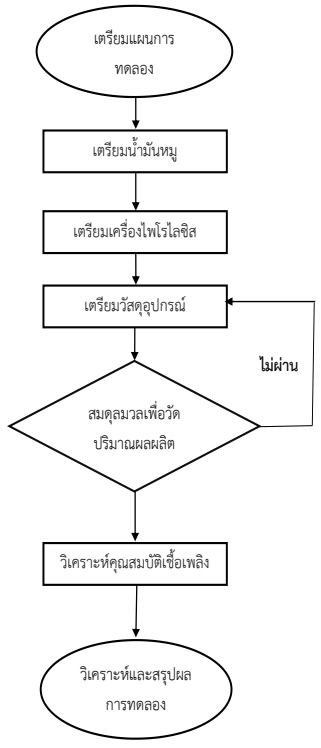
น้ำมันเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากชุดควบแน่นทั้งสอง คือ ผลิตภัณฑ์หลักสำหรับนำไปวิเคราะห์ตามมาตรฐานของสมบัติน้ำมันเชื้อเพลิง โดยผลการวิเคราะห์สมบัติจะถูกนำมาพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนเพื่อให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ หากพบความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น จะพิจารณากระบวนการวิเคราะห์ หรืออาจต้องเริ่มต้นการผลิต ใหม่ในกรณีที่เกิดความคลาดเคลื่อน

2.2 กระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันหมู ส่วนประกอบเครื่องผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันหมู

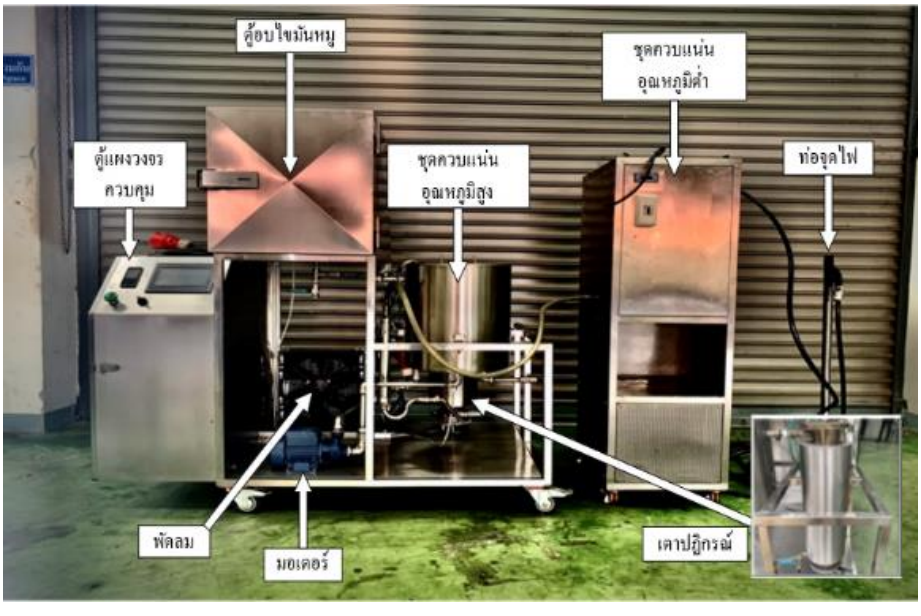
ส่วนประกอบของเครื่องผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันหมูใน รูปที่ 2 ประกอบด้วย ชุดควบคุม, หม้อสกัดน้ำมันหมู, ชุดแลกเปลี่ยนความร้อน, ปั๊มน้ำ, เตาปฏิกรณ์, ชุดควบแน่นอุณหภูมิสูง, ชุดควบแน่นอุณหภูมิต่ำ และท่อแก๊ส โดยกำหนดหม้อสกัดน้ำมันหมูที่อุณหภูมิ 175 °C กำหนดอุณหภูมิเตาปฏิกรณ์ (อุณหภูมิไพโรไลซีส) 500 °C ขณะที่ชุดควบแน่นอุณหภูมิสูงกำหนดอุณหภูมิ (5 ระดับ) 40 50 60 70 และ 80 °C ชุดควบแน่นอุณหภูมิต่ำ กำหนดอุณหภูมิ -10 °C ตามเงื่อนไขการทดลอง

ตารางที่ 1 อุณหภูมิในการทดลอง

อุณหภูมิสกัดหมู	อุณหภูมิชุดควบแน่นสูง (°C)	อุณหภูมิชุดควบแน่นต่ำ
175	40	-10
175	50	-10
175	60	-10
175	70	-10
175	80	-10



รูปที่ 1 กระบวนการวิจัย



รูปที่ 2 แสดการทดลองการผลิตน้ำมัน
เชื้อเพลิงชีวภาพจากน้ำมันหมู

2.3 วิธีการทดลอง

เริ่มจากนำไขมันหมูมาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ เพื่อจากนั้นนำมันหมูที่หั่นเตรียมไว้เสร็จแล้วใส่ถาด 3 ถาด ถาดละ 1 กิโลกรัม รวมเป็น 3 กิโลกรัม แล้วใส่ในตู้อบมันหมูปิดตู้อบและล็อคให้สนิท เสร็จแล้วเติมน้ำที่ถังควบแน่นอุณหภูมิสูงให้ท่วมขดท่อ เปิดเครื่องไพโรไลซีสตั้งอุณหภูมิตู้อบ 175 °C เพื่อจะได้กากมันหมูที่สุกกรอบพอดีสามารถรับประทานได้ ตั้งอุณหภูมิถังควบแน่นอุณหภูมิสูงตั้งที่ 60 °C และ 80 °C ตามตารางที่ 1 ตั้งอุณหภูมิควบแน่นอุณหภูมิต่ำที่ -10 °C ตามตารางที่ 1 เมื่อเครื่อง ไพโรไลซีสทำงานได้ประมาณ 1 ชั่วโมง จนกว่าจะมีน้ำมันไหลออกมาจากวาล์ว รวมถึงมีควันสีขาวออกมาจากท่อเผาไหม้จากนั้นให้จุดไฟ เมื่อไฟที่ท่อเผาไหม้ดับลงหรือประมาณ 3 ชั่วโมง ปิดเครื่องและชั่งน้ำหนักกากมันหมู น้ำมันเชื้อเพลิงหนัก น้ำมันเชื้อเพลิงเบา กากยางเหนียว และเตาปฏิกรณ์ บันทึกข้อมูล ทำความสะอาดเครื่องทดลองให้สะอาดและทำการทดลองรอบต่อไป

2.4 สมดุลมวล

น้ำมันเชื้อเพลิง กากมันหมู และแก๊ส คือผลิตภัณฑ์หลักที่ได้จากการสกัดมันหมูแบบแยกกาก ซึ่งปริมาณ ผลได้ของผลิตภัณฑ์หลักนี้คำนวณจากน้ำหนักของส่วนต่าง ๆ ของเครื่องต้นแบบก่อนและหลังการทดลอง ประกอบด้วย น้ำหนักของไขมันหมู เตาปฏิกรณ์ ข้อต่อ ถังเก็บน้ำมัน สำหรับปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงคำนวณจากน้ำหนักของของเหลวที่อยู่ในชุดควบแน่นพร้อมถังเก็บ ขณะที่ปริมาณกากมันหมูคำนวณจากน้ำหนักกากมันหมูที่เหลือจากการสกัดน้ำมัน สำหรับปริมาณแก๊สคำนวณโดยความต่างของปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงและกากมันหมู โดยคำนวณได้จากสมการดังนี้

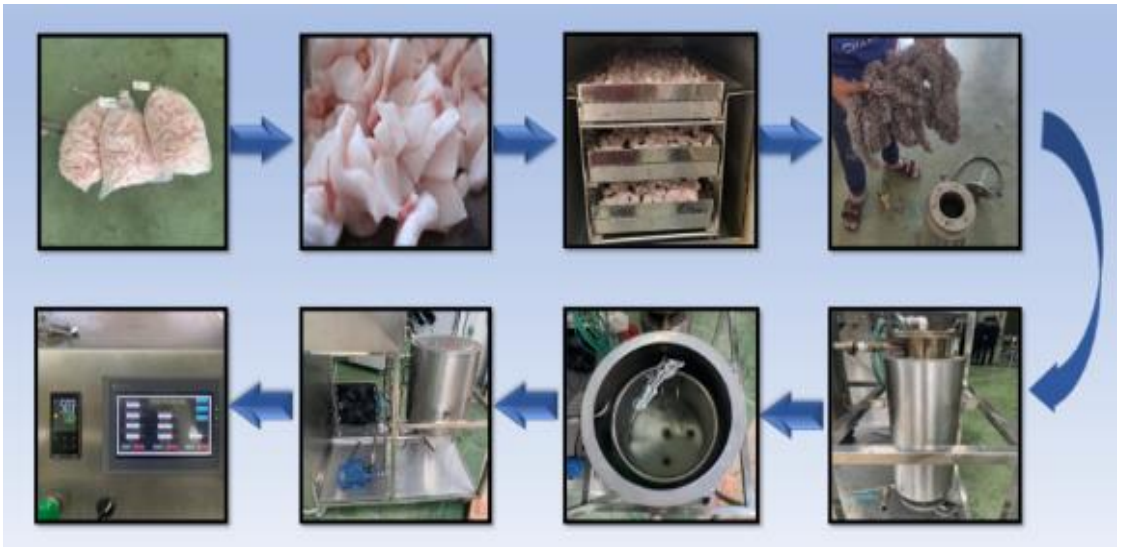
$$\frac{\text{น้ำหนักผลิตภัณฑ์}}{\text{น้ำหนักไขมันหมู}} \times 100 = \text{ปริมาณผลิตภัณฑ์}$$

2.5 วิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง

ผลิตภัณฑ์ที่นำมาวิเคราะห์ทดลองประกอบด้วย น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดหนักและน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดเบา เพื่อเปรียบเทียบกับสมบัติของน้ำมันดีเซลและน้ำมันเบนซิน เพื่อให้สามารถเลือกใช้ชนิดเครื่องยนต์ให้เหมาะสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ต่อไป โดยมาตรฐานการวิเคราะห์และความพร้อมของเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง

การวิเคราะห์	รุ่น	เครื่องวิเคราะห์
ความหนาแน่น	ASTM D4052	Digital Scales
ความหนืด	ASTM D445	Kinetic Viscosity Analyzer
ความร้อนสูงสุด	DIN 51900	Torino Bomb Calorimeter
จุดวาบไฟ-จุดติดไฟ	ASTM D93	Flash point - Fire point Set

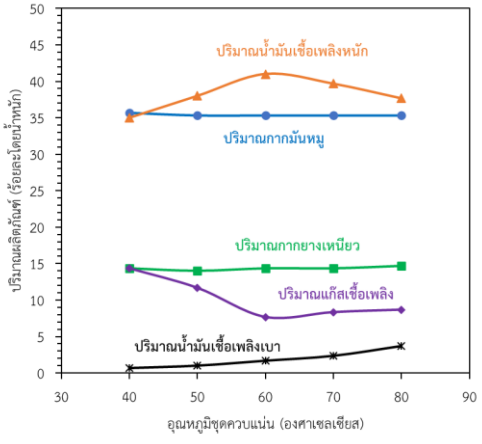


รูปที่ 3 ขั้นตอนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากน้ำมันหมู

3.ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 ผลิตภัณฑ์ที่ได้

ผลผลิตที่ได้จากการสกัดน้ำมันหมูด้วย วิธีการไพโรไลซิสได้ผลิตภัณฑ์มา 5 ชนิด ได้แก่ 1.กากมันหมู หลังจากผ่านกระบวนการ จะมีสีเหลืองกรอบสามารถรับประทานได้ 2.กากยางเหนียว ลักษณะคล้ายกับยางมะตอยมีสีดำ 3.น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดหนัก มีความถ่วงจำเพาะ API ที่ต่ำ และมีจุดไหลเทที่สูงเนื่องจากมีไขมันที่เยอะ 4.น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดเบา จะมีความถ่วงจำเพาะ API ที่สูง และมีความหนืดต่ำ มีจุดไหลเทที่ต่ำเนื่องจากไขมันน้อย จากการวิเคราะห์น้ำมันชนิดเบาที่ผลิตได้นั้นมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับน้ำมันเบนซินและสามารถติดไฟได้ 5.ก๊าซที่ติดไฟได้ มีควันสีขาว เมื่อติดไฟก๊าซนี้จะสร้างเปลวไฟสะอาดไร้ควัน



รูปที่ 4 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากน้ำมันหมู

รูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิชุดควบแน่น จาก 40°C เป็น 60°C ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดหนักนั้นเพิ่มขึ้นสูงสุดจากร้อยละ 35 โดยน้ำหนักเป็นร้อยละ 41 โดยน้ำหนัก นั้นเป็นเพราะการควบแน่นของแก๊สเชื้อเพลิงดีขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้แก๊สเชื้อเพลิงลดลงจาก ร้อยละ 14.3 โดยน้ำหนักเหลือร้อยละ 7.7 โดยน้ำหนัก

ส่วนน้ำมันเชื้อเพลิงเบาที่ผลิตได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนัก เป็นร้อยละ 1.7 โดยน้ำหนัก โดยเพิ่มขึ้นสูงสุดที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นร้อยละ 3.7 โดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตามผลรวมของปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงมีปริมาณมากกว่าหากเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Duanguppama et al [9] ที่ใช้ชุดควบแน่นชุดเดียว และรายงานว่าได้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงสูงสุด 25.1 wt% อย่างไรก็ตามอุณหภูมิชุดควบแน่นที่เพิ่มขึ้นจาก 60 °C เป็น 80 °C ส่งผลให้ปริมาณผลได้ของน้ำมันเชื้อเพลิงหนักมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง นั้นเป็นเพราะว่าน้ำมันเชื้อเพลิงถูกควบแน่นในชุดที่สอง ซึ่งสังเกตเห็นว่าน้ำมันเชื้อเพลิงเบามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามอุณหภูมิชุดควบแน่นที่เพิ่มขึ้น

3.2 คุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง

แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิชุดควบแน่น 1 ที่เพิ่มขึ้นจาก 40 °C เป็น 50 °C ทำให้ค่าความหนาแน่นลดลงจาก 927.06 เป็น 889.06 kg/m^3 และทำให้ค่าความหนืดและค่าความร้อนเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดเบาที่ผลิตได้นั้นสามารถติดไฟได้ตั้งแต่อุณหภูมิ 20 °C นอกจากนี้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดเบา ยังมีความหนืดต่ำกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงจากชุดควบแน่น 1 มากกว่า 3 เท่า

ตารางที่ 3 ผลของอุณหภูมิชุดควบแน่นต่อความหนาแน่น

อุณหภูมิชุดควบแน่น (°C)	น้ำมันเชื้อเพลิงหนัก (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	น้ำมันเชื้อเพลิงเบา (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
40	927.06±2.85	657.33±7.30
50	889.06±5.21	686.67±9.69
60	868.39±5.94	620.67±6.23
70	871.61±1.76	645.33±9.02
80	879.33±2.93	595.33±8.18

จุดวาบไฟ-จุดติดไฟในตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิของชุดควบแน่นที่เพิ่มขึ้นจาก 40 °C เป็น 50 °C ส่งผลให้น้ำมันเชื้อเพลิงหนักที่ผลิตได้จากน้ำมันหมูมี จุดวาบไฟและติดไฟได้ยากขึ้น โดยอุณหภูมิชุดควบแน่น 40 °C จุดติดไฟได้อยู่ในช่วง 42.93±5.87 °C เมื่ออุณหภูมิชุดควบแน่นเพิ่มขึ้นเป็น 60 °C น้ำมันเชื้อเพลิงติดไฟอยู่ในช่วง 42.62±3.76 °C อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มอุณหภูมิชุดควบแน่นขึ้นเป็น 80 °C ช่วยให้น้ำมันเชื้อเพลิงติดไฟได้ง่ายขึ้นอยู่ในช่วง 40.00±1.56 °C ซึ่งอธิบายได้ว่าอุณหภูมิชุดควบแน่น 60 °C แม้จะสามารถผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงได้สูงสุด แต่น้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้ก็ติดไฟยากอย่างไรก็ตาม น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดเบาที่ผลิตได้นั้น สามารถติดไฟได้ที่ อุณหภูมิ 20 °C

ตารางที่ 4 ผลของอุณหภูมิต่อจุดวาบไฟ-จุดติดไฟของน้ำมันเชื้อเพลิงหนัก

อุณหภูมิชุดควบแน่น (°C)	จุดวาบไฟ (°C)	จุดติดไฟ (°C)
40	34.92±1.62	37.52±3.53
50	31.48±1.59	35.10±2.23
60	30.27±0.85	31.37±0.85
70	31.73±1.60	37.48±3.13
80	33.35±2.90	41.98±4.15

สำหรับอุณหภูมิชุดควบแน่นที่เพิ่มขึ้นเป็น 80 °C ช่วยให้น้ำมันเชื้อเพลิงหนักมีความหนืดเพิ่มขึ้นซึ่งการเพิ่มอุณหภูมิชุดควบแน่นแรกขึ้นมากกว่า 60 °C นั้นส่งผลให้ค่าความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดหนัก และชนิดเบา นั้นเพิ่มขึ้น สรุปได้ว่า การเพิ่มขึ้นของค่าความหนืดนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของชุดควบแน่นแรก ถึงแม้ที่อุณหภูมิชุดควบแน่นแรก 50 °C นั้นจะมีค่าความหนืดมากสุดแต่หากเปรียบเทียบปริมาณผลิตภัณฑ์ รวมถึงคุณสมบัติอื่นแล้วอุณหภูมิดังกล่าวไม่เหมาะที่จะนำผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง

ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นสูงสุดเป็น 39 MJ/kg และน้ำมันเชื้อเพลิงเบามีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นสูงสุดเป็น 40.13 MJ/kg เกิดจากการเพิ่มขึ้นของสารประกอบทางเคมีไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งช่วยในการเพิ่มขึ้นของค่าความร้อน ดังตารางที่ 6 จึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิชุดควบแน่นที่สูงกว่า 60 °C ช่วยให้ความหนืดและค่าความร้อนเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 5 ผลของอุณหภูมิชุดควบแน่นต่อความหนืด

อุณหภูมิชุดควบแน่น (°C)	น้ำมันเชื้อเพลิงหนัก (cSt)	น้ำมันเชื้อเพลิงเบา (cSt)
40	6.71±1.71	0.94±0.01
50	12.16±0.40	4.16±0.02
60	8.69±0.58	1.67±0.01
70	9.30±1.04	1.01±0.05
80	10.27±0.77	1.19±0.14

ตารางที่ 6 ผลของอุณหภูมิชุดควบแน่นต่อความร้อน

อุณหภูมิชุดควบแน่น (°C)	น้ำมันเชื้อเพลิงหนัก (MJ/kg)	น้ำมันเชื้อเพลิงเบา (MJ/kg)
40	34.20	33.68
50	34.75	35.46
60	36.76	36.68
70	37.88	37.71
80	39.00	40.13

3.3 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิง

สารประกอบทางเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดหนักที่วิเคราะห์ได้ ดัง ตารางที่ 7ตรวจพบ สารในกลุ่มไฮโดรคาร์บอน C_6-C_{18} เช่น Benzene, 1-Heptene, 1-Octene, 1-Decene, 1-Tridecene รวมถึงสารประกอบจำพวกกรด เช่น n-Hexadecanoic acid, Oleic Acid และ Octadecanoic acid โดยในสารประกอบที่วิเคราะห์มาได้นั้นจะเห็นได้ว่าในน้ำมันเชื้อเพลิงหนักนั้นมีปริมาณของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน C_{10}-C_{15} ในปริมาณมาก เช่น 1-Decene,

1-Tridecene, 1-Tetradecene, 1-Pentadecene ซึ่งสารประกอบเหล่านี้เป็นสารประกอบที่ใกล้เคียงกับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล รวมถึงยังทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าความร้อนสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณมาก โดยที่ 60 °C จะสังเกตว่ามีปริมาณสารประกอบดังกล่าวเยอะที่สุด จึงกล่าวได้ว่าน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดหนักที่ผลิตได้มานั้นมีสารประกอบใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล ถึงแม้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิชุดควบแน่นหนึ่งจะส่งผลให้สารประกอบมีปริมาณน้อยลง แต่อย่างไรก็ตามปริมาณสารประกอบจำพวกกรดไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก

ตารางที่ 7 สารประกอบเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดหนัก

สารประกอบ	อุณหภูมิชุดควบแน่นอุณหภูมิสูง (°C)				
	40	50	60	70	80
Benzene	1.3	0.6	2.3	0.9	0.5
1-Heptene	3.5	2.5	3.3	2.8	2.0
1-Octene	3.4	2.4	3.7	3.1	2.3
1-Decene	2.7	2.1	3.7	2.7	2.2
1-Tridecene	4.6	2.2	3.8	5.0	4.0
1-Tetradecene	1.7	3.8	6.8	8.7	5.6
1-Pentadecene	16.0	7.9	7.4	12.5	9.7
1-Heptadecene	3.5	2.1	2.5	3.9	5.6
Heptadecane	2.3	3.7	2.5	3.8	3.2
1-Octadecene	2.9	0.4	0.5	0.0	0.2
2-Heptadecanone	1.4	1.3	1.4	1.6	1.6
n-Hexadecanoic acid	29.2	28.5	38.1	33.1	34.4
1-Eicosanol	1.8	1.1	1.2	0.0	2.0
Oleic Acid	12.2	16.2	5.7	5.1	9.9
Octadecanoic acid	9.5	10.9	11.1	12.1	10.6
1-Hentetracontanol	1.7	2.6	2.1	0.0	0.0
Behenic alcohol	1.5	3.4	2.6	2.2	2.3
1-Heptacosanol	0.8	8.5	1.2	2.5	4.0
Total (%)	100	100	100	100	100

ขณะที่องค์ประกอบทางเคมีในน้ำมันเชื้อเพลิงเบาใน ดังตารางที่ 8 ตรวจพบ สารในกลุ่มไฮโดรคาร์บอน C_6-C_{15} เช่น Benzene, 1,3-Cyclopentadiene, 1 - methyl-, Cyclohexene, Toluene, 1 - Heptene, Vinylcyclopentane, Heptane, 1-Tetradecene และ 1-Pentadecene

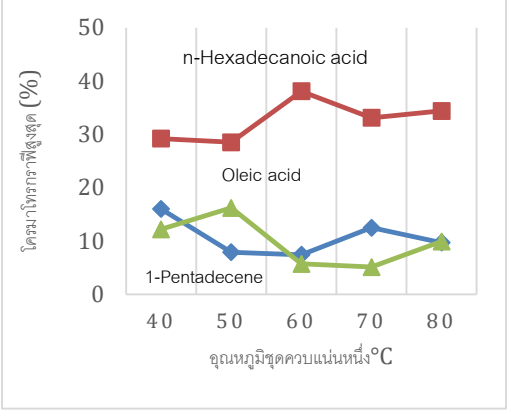
ตารางที่ 8 สารประกอบเคมีของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดเบา

สารประกอบ	อุณหภูมิชุดควบแน่นอุณหภูมิสูง (°C)				
	40	50	60	70	80
Benzene	14.8	8.1	11.4	13.8	13.0
1,3-Cyclopentadiene, 1-methyl-	3.0	2.0	0.0	0.0	0.0
Cyclohexene	4.5	3.4	2.5	3.9	3.0
Toluene	11.0	9.2	8.8	7.8	8.1
1-Heptene	20.3	21.8	13.4	19.8	16.7
Vinylcyclopentane	2.2	2.5	0.0	2.5	1.8
Heptane	5.6	6.6	5.2	8.6	8.0
1-Octene	14.0	22.9	9.0	12.4	12.1
1-Nonene	2.8	5.9	2.3	2.4	2.8
Nonane	2.1	3.4	1.9	2.2	4.1
1-Decene	12.4	10.1	18.2	15.7	16.7
1-Tetradecene	2.1	0.0	1.8	2.6	3.1
1-Pentadecene	2.9	0.0	2.2	3.4	3.1
n-Hexadecanoic acid	2.3	4.0	10.0	2.8	5.2
Oleic Acid	0.0	0.0	2.2	0.0	0.0
Octadecanoic acid	0.0	0.0	7.1	0.0	0.0
Octacosanol	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0
16-Hentriacontanone	0.0	0.0	2.2	2.2	2.3
Total (%)	100	100	100	100	100

โดยจากการวิเคราะห์สารประกอบจะเห็นได้ว่า น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดเบาที่ผลิตมาได้นั้นพบว่ามีสารประกอบไฮโดรคาร์บอน C_6-C_9 เป็นส่วนประกอบสำคัญ ซึ่งสารประกอบเหล่านี้เป็นสารประกอบที่สำคัญของน้ำมันเบนซิน

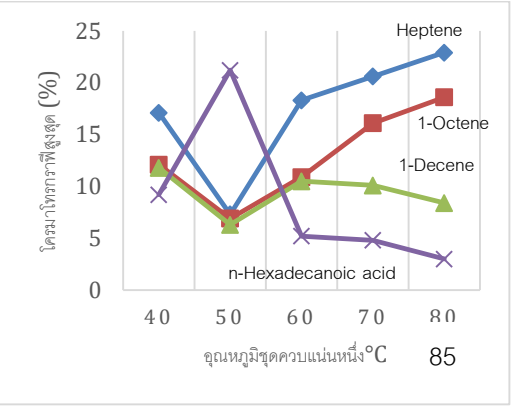
หากสังเกตถึงสารประกอบ Benzene ในน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดเบานี้มีปริมาณที่เยอะหากเปรียบเทียบกับน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดหนัก

โดยเมื่อทำการวิเคราะห์ถึงสารประกอบที่มีปริมาณมากออกมาแสดงในรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่ามีสารประกอบจำพวกกรดในน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดหนักในปริมาณที่มาก นั้นหมายความว่าการปรับอุณหภูมิชุดควบแน่นต่ำให้เป็น -10 °C ไม่ได้ส่งผลให้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดหนักนั้นมีปริมาณกรดลดลง



รูปที่ 5 ปริมาณสารประกอบของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดหนัก

เมื่อทำการวิเคราะห์ถึงสารประกอบที่มีปริมาณมากออกมาแสดงใน รูปที่ 6 จะเห็นว่าปริมาณสารประกอบจำพวกกรดนั้นอ้างอิงจาก n-Hexadecanoic acid จะเห็นว่ามีการลดลงของสารประกอบจำพวกกรด และมีการเพิ่มขึ้นของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 6 ปริมาณสารประกอบของน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดเบา

4. สรุปและข้อเสนอแนะ

การผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากน้ำมันหมูภายใต้อุณหภูมิชุดควบแน่นแรกแตกต่างกัน พบว่าอุณหภูมิชุดควบแน่น 60 °C ให้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงหนักสูงสุดร้อยละ 41 โดยน้ำหนัก ขณะที่อุณหภูมิชุดควบแน่น 80 °C ให้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงเบาสูงสุดร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก ผลวิเคราะห์สมบัติน้ำมันเชื้อเพลิง พบว่า อุณหภูมิชุดควบแน่นที่แตกต่างกันทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงมีสมบัติที่แตกต่างกัน โดยน้ำมันเชื้อเพลิงหนักมีความหนาแน่น 927 kg/m^3 ความหนืด 8.69 cSt ค่าความร้อนสูง 39 MJ/kg และติดไฟได้ที่อุณหภูมิ 31.37 °C ขณะที่น้ำมันเชื้อเพลิงเบามีความหนาแน่น 686.67 kg/m^3 ความหนืด 1.67 cSt และค่าความร้อน 40 MJ/kg ซึ่งผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า น้ำมันเชื้อเพลิงหนักมีองค์ประกอบทางเคมีของสารในกลุ่มที่เป็นกรดเป็นองค์ประกอบหลัก ขณะที่น้ำมันเชื้อเพลิงเบามีองค์ประกอบทางเคมีของสารในกลุ่มน้ำมันเบนซินเป็นองค์ประกอบหลัก

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ รวมถึงคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ สำหรับการสนับสนุนในการทำวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Ram Mohan M. and et al. Swietenia mahagoni seed oil: A new source for biodiesel production. Industrial Crops and Products. 2016; 90: 28-31.

[2] Neha M, Pushpa K, Indu S, Thakur and Shaili S. Biological fixation of carbon dioxide and biodiesel production using microalgae isolated from sewage waste water. India Environmental Science and Pollution Research. 2020; 27: 27319–29.

[3] Caetano NS, Silva VFM and Matab TM. Valorization of Coffee Grounds for Biodiesel Production. Chemical Engineering Transactions. 2012; 26: 267-72.

[4] Syamsiro M, Saptoadi H, Norsujianto T, et al. Fuel Oil Production from Municipal Plastic Wastes in Sequential Pyrolysis and Catalytic Reforming Reactors. Energy Procedia. 2014; 47: 180-8.

[5] Kusenberg M, Eschenbacher A, et al. Opportunities and challenges for the application of post-consumer plastic waste pyrolysis oils as steam cracker feedstocks: To decontaminate or not to decontaminate? Waste Manag. 2022; 138: 83-115.

[6] Yin C. Microwave-assisted pyrolysis of biomass for liquid biofuels production. BioresourceTechnology. 2012; 120(0): 273-84.

[7] Mante OD, Agblevor FA, McClung R. Fluid catalytic cracking of biomass pyrolysis vapors. Biomass Conversion and Biorefinery. 2011; 1(4): 189-201.

[8] Weitkamp J. Zeolites and catalysis. Solid State Ionics. 2000; 131(1–2): 175-88.

[9] Duanguppama K, Kraisoda P, Turakarn C, Chaiphet K, Somsi S, Sasen C, et al. Effect of Lard Extraction Temperature on Fuel Yield and Properties. Research Administration Network Conference. 2021; 14: 192-203.

[10 Puinta C, Benjapiyaporn C, Benjapiyaporn J, Pannucharoenwong N, Duanguppama K, Echaroj S and Rattanadecho P. Biofuel production from pork fat. The 12th TSME International Conference on Mechanical Engineering, 2022 December 13-16; Phuket, Thailand; 2022.

FEAT JOURNAL
FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL
วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

ข้อแนะนำในการส่งต้นฉบับบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีควบคุมอัตโนมัติ (FEAT Journal) มีกำหนดออกเป็นราย 6 เดือน คือ มกราคม - มิถุนายน และ กรกฎาคม - ธันวาคม ของทุกปี จัดพิมพ์โดยกลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีควบคุมอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น เพื่อเป็นการส่งเสริมและเผยแพร่ความรู้ ผลงานทางวิชาการ งานวิจัยทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีพร้อมทั้งยังจัดส่ง เผยแพร่ตามสถาบันการศึกษาต่างๆ ในประเทศด้วย บทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสาร FEAT ทุกบทความนั้นจะต้องผ่านความเห็นชอบจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้องและสงวนสิทธิ์ตาม พ.ร.บ. ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2535

ต้นฉบับบทความ

โปรดปฏิบัติตามหลักเกณฑ์อย่างเคร่งครัด จัดพิมพ์ด้วยโปรแกรม Microsoft Word for Window ชนิดตัวอักษรในบทความฉบับภาษาไทยและภาษาอังกฤษ จะต้องใช้ตัวอักษร Cordia New ทั้งหมด ความยาวของต้นฉบับ ไม่เกิน 12 หน้า รวมรูปภาพและตารางต่างๆ หรือมีจำนวนคำไม่เกิน 10,000 คำ

กรุณาใช้กระดาษขนาด A4 ปรับเค้าโครงขนาดกระดาษ ความกว้าง 7.5 นิ้ว ความสูง 10.5 นิ้ว และรูปแบบหน้าเป็น 2 คอลัมน์ ระยะห่าง 0.19 นิ้ว กรอบของบทความกำหนดดังนี้ ขอบด้านบน 0.88 นิ้ว ขอบด้านล่าง 0.75 นิ้ว ด้านซ้าย 1 นิ้ว และด้านขวา 0.75 นิ้ว

โครงสร้างบทความ

เนื้อเรื่องของบทความต้องประกอบด้วยหัวข้อตามลำดับ ดังนี้

1. บทนำ
2. วิธีการวิจัย
3. ผลการวิจัยและอภิปราย
4. สรุป
5. กิตติกรรมประกาศ
6. เอกสารอ้างอิง

FEAT JOURNAL
FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL
วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

ชื่อบทความภาษาไทย Cordia New (ขนาด 16 จุด ตัวเข้ม)

ชื่อบทความภาษาอังกฤษ Cordia New (ขนาด 16 จุด ตัวเข้ม)

ระบุเฉพาะชื่อ-นามสกุลผู้เขียน ภาษาไทย (ขนาด 14 จุด)
ระบุเฉพาะชื่อ-นามสกุลผู้เขียน ภาษาอังกฤษ (ขนาด 14 จุด)
ระบุหน่วยงานที่สังกัด ผู้เขียน ภาษาไทย (ขนาด 12 จุด)
ระบุหน่วยงานที่สังกัด ผู้เขียน อังกฤษ (ขนาด 12 จุด)

Received: .....
Revised: .....
Accepted: .....
Available online: .....

บทคัดย่อ

ตัวอย่างการจัดพิมพ์เอกสารต้นฉบับสำหรับตีพิมพ์ในวิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยขอนแก่น ควรปฏิบัติตามคำแนะนำอย่างเคร่งครัด บทคัดย่อควรมีเพียงย่อหน้าเดียวที่อธิบายถึง วัตถุประสงค์ วิธีการศึกษา ผลการศึกษา และสรุป ไม่ควรเกิน 300 คำ คำหลักที่เป็นภาษาอังกฤษให้ตัวอักษรคำแรกเป็นตัว พิมพ์ใหญ่ คำในลำดับถัดไปเป็นตัวพิมพ์เล็ก
คำสำคัญ: จำนวน 4 ถึง 6 คำ ภาษาไทยแต่ละคำเว้นวรรค 1 จุด ไม่ต้องมีจุลภาค (,)

Abstract

This is an instruction for manuscript preparation for Publication KKU Engineering Journal. Please follow this guideline strictly. The abstract should contain a single paragraph describing objectives, methodology and a summary of important results and its length should not exceed 300 words.
Keywords: 4-6 keywords, separated by colons. and the first letter of each keyword must be capital letter

*ติดต่อ: E-mail, เบอร์โทรศัพท์, เบอร์โทรสาร

1. บทนำ

บทความนี้แสดงตัวอย่างแนวทางการเตรียมต้นฉบับของคุณเพื่อตีพิมพ์ในวิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยขอนแก่น และโปรดปฏิบัติตามหลักเกณฑ์อย่างเคร่งครัด จัดพิมพ์ด้วยโปรแกรม Microsoft Word for Window ความยาวของต้นฉบับจะต้องไม่เกิน 12 หน้า มีจำนวนคำไม่เกิน 10,000 คำ

1.1 ขนาดกระดาษและระยะขอบ

กรุณาใช้กระดาษขนาด A4 ปรับเค้าโครงขนาดกระดาษความกว้าง 7.5 นิ้ว ความสูง 10.5 นิ้ว และรูปแบบหน้าเป็น 2 คอลัมน์ ระยะห่าง 0.19 นิ้ว กรอบของบทความกำหนดดังนี้ ขอบด้านบน 0.88 นิ้ว ขอบด้านล่าง 0.75 นิ้ว ด้านซ้าย 1 นิ้ว และด้านขวา 0.75 นิ้ว ให้เว้น 1 บรรทัดระหว่างหัวเรื่องทุกครั้ง

1.2 ชนิดตัวอักษร

ในบทความฉบับภาษาไทยและภาษาอังกฤษจะต้องใช้ตัวอักษร Cordia New ทั้งหมด ชื่อบทความใช้ตัวอักษรขนาด 16 จุด ตัวหนา ผู้แต่งใช้ตัวอักษรธรรมดาขนาด 14 จุด สถาบันและข้อมูลติดต่อใช้ตัวธรรมดาขนาด 12 จุด หัวเรื่องและหัวเรื่องย่อยใช้อักษรธรรมดาขนาด 14 จุด การบรรยายและเนื้อหาใช้ตัวธรรมดาขนาด 14 จุด คำในวงเล็บที่เป็นภาษาอังกฤษให้เป็นตัวเล็กทั้งหมด

1.3 สำหรับการลำดับหัวข้อย่อย

ให้ใช้ตัวอักษรขนาด 14 จุด ตัวหนา ให้ชิดทางกรอบซ้าย แต่ละหัวข้อย่อยจะเว้น 1 บรรทัด (ปรับให้บรรทัดมีขนาดเท่ากับอักษรขนาด 8 จุด) ส่วนหัวข้อย่อยให้เขียนตามตัวอย่างดังรายการต่อไปนี้

1. รายการแรกในรายการนี้
2. รายการที่สอง
   2.1. รายการย่อย
3. รายการสุดท้าย

1.4 โครงสร้างบทความ

เนื้อเรื่องของบทความต้องประกอบด้วยหัวข้อตามลำดับดังนี้

1. บทนำ
2. วิธีการการวิจัย
3. ผลการวิจัยและอภิปราย
4. สรุป
5. กิตติกรรมประกาศ
6. เอกสารอ้างอิง

2. ชื่อบทความ

ชื่อบทความให้เริ่มต้นบทความที่บรรทัดแรก โดยใช้ตัวอักษรขนาด 16 จุด และเป็นตัวหนา จัดชื่อบทความชิดทางกรอบซ้าย

3. ชื่อผู้แต่งและสถานที่ติดต่อ

ชื่อผู้แต่งให้พิมพ์ใต้ชื่อบทความ จัดชื่อผู้แต่งให้อยู่ชิดทางกรอบซ้าย ใช้ตัวอักษรธรรมดาขนาด 14 จุด ในกรณีมีผู้ทำวิจัยหลายท่านจากหน่วยงานต่างกันให้กำกับตัวยก [1), 2)] ไว้หลังชื่อ สำหรับ Corresponding ให้ใส่เครื่องหมาย *กำกับไว้ท้ายชื่อ สถานที่ติดต่อ ให้พิมพ์ที่อยู่หน่วยงาน รหัสไปรษณีย์ ประเทศ พิมพ์ใต้ชื่อผู้แต่งใช้ตัวธรรมดาขนาด 12 จุด จัดชิดทางกรอบซ้าย

4. บทคัดย่อ

บทความภาษาไทยจะต้องมีบทคัดย่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ให้เว้น 1 บรรทัดจากสถานที่ติดต่อ พิมพ์บทคัดย่อใต้หัวข้อ “บทคัดย่อ/Abstract” เนื้อความของบทคัดย่อไม่ควรเกิน 15 บรรทัด หรือ 300 คำ ส่วนบทความภาษาอังกฤษไม่ต้องมีบทคัดย่อภาษาไทย

5. คำสำคัญ

บทความแต่ละเรื่องควรจะมีคำสำคัญ 4-6 คำ เพื่อระบุหัวข้อสำคัญที่กล่าวถึงในบทความ ควรใส่คำสำคัญต่อจากบทคัดย่อโดยไม่ต้องเว้นบรรทัด

6. เนื้อความ

เมื่อขึ้นย่อหน้าใหม่ ไม่ต้องเว้นบรรทัดเมื่อจะเริ่มต้นพิมพ์ย่อหน้าใหม่ ให้พิมพ์บทความบนด้านเดียวของกระดาษ A4 โดยไม่ต้องใส่หมายเลขหน้าเวลาพิมพ์บทความ

7. ผลการวิจัย

เสนอผลการวิจัยอย่างชัดเจน ตรงประเด็น ควรมี รูปภาพหรือตารางประกอบ ซึ่งเมื่อมีรูปหรือตารางประกอบต้องระบุเชื่อมโยงในเนื้อหาบทความ การอธิบายไม่ซ้ำซ้อนกัน สำหรับการระบุหน่วยต่าง ๆ ใช้ภาษาไทยและใช้การอธิบายเปอร์เซ็นต์ด้วยคำว่า ร้อยละ ในกรณีที่กำหนดหน่วยเป็นภาษาอังกฤษให้ระบุแบบเดียวกันทั้งหมด

7.1. การลำดับตัวเลข

การลำดับตัวเลขเพื่ออ้างถึง รูปภาพ ตารางและสมการ จะต้องเป็นเลขอาราบิค ทุกสมการจะต้องมีวงเล็บวางไว้ชิดขอบขวา ดังตัวอย่างต่อไปนี้

$$\mathrm{D} = \left(\frac{1.27\mathrm{FRC}}{\mathrm{SGR}}\right) 0.5 \qquad (1)$$

ตัวอักษรในสมการให้ใช้ Cambria Math ขนาด 11 ตัว สัญลักษณ์ให้ใช้ Symbol ขนาด 10 ใช้ Math Type หรือ Equation Editor ในการเขียนสมการ

7.2. รูปภาพและตาราง

รูปภาพและตารางจะต้องมีความกว้างเพียงพอที่จะลงในหนึ่งคอลัมน์ได้ หรือในกรณีจำเป็น เพื่อการรักษารายละเอียดในภาพอาจยอมให้กว้างเต็มหน้ากระดาษ ผู้แต่งจะต้องรับผิดชอบในการจัดภาพให้อยู่ในขนาดที่กำหนดนี้ โดยสามารถมองเห็นรายละเอียดและอ่านตัวหนังสือในภาพได้ชัดเจนโดยตัวอักษรที่ใช้อธิบายรูปจะต้องไม่ต่ำกว่าขนาด 10 รูปภาพลายเส้นจะต้องใช้เส้นหมึกสีดำวาดด้วยโปรแกรม เช่น Visio, Adobe Illustrator, Macromedia Freehand หรือโปรแกรมวาดรูปอื่นๆ ส่วนภาพถ่ายควรเป็นภาพที่มีความคมชัด

รูปภาพควรมีรายละเอียดเท่าที่จำเป็น รูปภาพทุกรูปจะต้องมีหมายเลขและคำบรรยายภาพกำกับใต้ภาพ โดยให้เรียงตามลำดับที่ปรากฏ จาก รูปที่ 1, รูปที่ 2 , ... พิมพ์หมายเลขและชื่อรูปไว้ใต้รูปภาพ จะต้องกำหนดให้อยู่ตรงกลางเอกสาร ให้เว้นช่องว่าง 1 บรรทัด หลังคำบรรยายรูป รูปภาพทุกรูป และตารางทุกตารางที่ปรากฏในบทความจะต้องมีการอ้างอิงในเนื้อหา

ในกรณีที่เป็นตารางจะต้องมีคำบรรยายกำกับตารางไว้เหนือตารางโดยให้เรียงตามลำดับที่ปรากฏ จาก 1, 2, 3,... ตารางจะต้องกำหนดให้ชิดขอบซ้ายของเอกสาร ให้เว้นช่องว่าง 1 บรรทัดก่อนคำบรรยายตารางและหลังตาราง ตามตัวอย่างตารางดังนี้

ตารางที่ 1
ตัวอย่างการเขียนตารางที่ 1

Redox moiety	**Diluent**	**Method**	k_0 **(s^{-1})**
R1	D1	ILIT	3.4×10^4
		CV	3.3×10^4
R2	D2	ILIT	6.0×10^4

ตารางที่ 2
ตัวอย่างการเขียนตารางที่ 2

χ	a_r / m_r	$2\zeta_r\omega_r$
0.1	2.7470e+01	2.7483e+01
0.5	3.5352e+01	3.5360e+01

8. การอภิปรายผล

การอภิปรายผลวิจัย เพื่อให้ผู้อ่านมีความเห็นคล้อยตาม เพื่อเปรียบเทียบกับผลการวิจัยของผู้อื่น เพื่อเสนอลู่ทางที่จะใช้ประโยชน์ หาข้อยุติในการวิจัยบางอย่าง ฯลฯ ผลการวิจัยและการอภิปรายผลอาจนำมาเขียนไว้ในตอนเดียวกัน

9. สรุป

สรุปประเด็นและสาระสำคัญของงานวิจัย ไม่ควรมีความยาวมากเกินไป โดยบทความของท่านควรได้รับการตรวจสอบจากผู้ร่วมเขียนทุกท่านก่อนทำการส่งบทความ

10. กิตติกรรมประกาศ

เพื่อเป็นการแสดงความขอบคุณผู้ให้ทุนสนับสนุนสรุปประเด็นและสาระสำคัญของงานวิจัย ไม่ควรมีความยาวมากเกินไป โดยบทความของท่านควรได้รับการตรวจสอบจากผู้ร่วมเขียนทุกท่านก่อนทำการส่งบทความ

11. เอกสารอ้างอิง

การเขียนเอกสารอ้างอิงใช้ระบบแวนคูเวอร์ (Vancouver Style) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

ทั้งนี้เพื่อความสมบูรณ์และความน่าเชื่อถือของบทความ ท่านควรใช้เอกสารอ้างอิงจากวารสารที่อยู่ในฐาน TCI (Thai Journal Citation Index Centre) ที่สามารถตรวจสอบได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 และควรใช้การอ้างอิงจากรายงานผลการวิจัย เอกสารประกอบการประชุม และหรือวิทยานิพนธ์เท่าที่จำเป็น

11.1. การอ้างอิงในเนื้อหา

แบบการอ้างอิงเอกสารในเนื้อหาของบทความ ใช้ระบบตัวเลข ให้เรียงลำดับเลขตามลำดับของเอกสารที่มีการอ้างถึงในเนื้อหาและหมายเลขที่อ้างถึงในเนื้อเรื่องนั้นจะต้องตรงกับหมายเลขที่มีการกำกับไว้ในส่วนเอกสารอ้างอิงด้วย ให้ใช้ตัวเลข อารบิกในวงเล็บต่อท้ายข้อความที่นำมาอ้างอิงในบทความ เช่น [1] หรือ [2-4, 8, 10] หมายถึงอ้างถึงลำดับผู้แต่งที่ 1 หรือ ลำดับที่ 2, 3, 4, 8, 10 โดยเรียงลำดับจากหมายเลข 1, 2, 3,... ไปจนถึงเลขที่สุดท้าย ตามการอ้างอิงการเขียนเอกสารอ้างอิง

11.2. ตัวอย่างการเขียนเอกสารอ้างอิงท้ายเรื่อง

เขียนอ้างอิงแบบแวนคูเวอร์ และใส่อ้างอิงในท้ายเรื่องเฉพาะที่มีปรากฏในเนื้อหาบทความหรือบทความวิจัยเท่านั้น การเขียนอ้างอิงจากหนังสือ

[1] Murray PR, Rosenthal KS, Kobayashi GS, Pfaller MA. Medical microbiology. 4th ed. St. Louis: Mosby; 2002.

[2] จำรูญ ตันติพิศาลกุล. การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล 1. เม็ดทรายพริ้นติ้ง: กรุงเทพฯ; 2540.

1. การเขียนอ้างอิงจากวารสาร

[3] Ramazan B, Cetinceviz Y. A Water Pumping Control System with A Programmable logic controller (PLC) and Industrial Wireless Modules for Industrial Plants - An Experimental Setup. ISA Transactions 2011; 50(2): 321-8.

[4] สุกัญญา หงส์ทอง และ สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันร้าข้าวด้วยกระบวนการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเมทานอลภาวะเหนือวิกฤต. วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร. 2553; 18(3): 20-6.

<u>คำอธิบายเพิ่มเติม</u> กรณีผู้แต่งเกิน 6 คน ให้ใส่ชื่อผู้แต่ง 6 คนแรก คั่นด้วยเครื่องหมายจุลภาค (comma- ,) และตามด้วย et al. และภาษาไทยใช้คำว่า “และคณะ”

2. การเขียนอ้างอิงจากวิทยานิพนธ์

[5] Promma K, Thong - In W. Algae Cultivation for Biofuel Using Effluent Wastewater [MEn Thesis] . Khon Kaen: Khon Kaen University; 2013.

[6] สิริประภา แพงคำแหง. การลดปริมาณสีย้อมผ้าไหมโดยการประยุกต์ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาดสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอขนาดเล็ก. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2553.

3. การเขียนอ้างอิงจากบทความจากการประชุมวิชาการ

[7] Kimura J, Shibasaki H, editors. Recent Advances in Clinical Neurophysiology. Proceedings of The 10th International Congress of EMG and Clinical Neurophysiology; 1995 Oct 15-19; Kyoto, Japan. Amsterdam: Elsevier; 1996.

[8] นครินทร์ เทอดเกียรติกล พัชรี หอวิจิตร และ สุมนา ราษฎร์ภักดี. การจัดการการใช้น้ำสำหรับกระบวนการย้อม ในอุตสาหกรรมผลิตพรมตามแนวทางเทคโนโลยีสะอาด. การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 14, 27-29 พฤษภาคม 2558, จังหวัดเชียงใหม่; 2558.

4. การอ้างอิงเอกสารอิเล็กทรอนิกส์

[9] Foley KM, Gelband H, editors. Improving palliative care for cancer [Internet] . Washington: National Academy Press; 2001 [cited 2002 Jul 9] . Available from: http://www.nap.edu/ books/0309074029/html/

[10] ทานตะวัน. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 16 กรกฎาคม 2550]. เข้าถึงได้จาก: http://.www.doae.go.th.html.detail.sunflower.t2 .gif