

FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

Vol.10 No.1 January — June 2024

Research Article

- Pneumatic Rambutan Seed Boring Machine** 1
*Roitis Yartjaroen Krisorn ruaypom Channarong Chusui
and Manasanan Bunpalwong*
- The Design and Development of Sugarcane Shoot Tip and Corn for Dairy Cows** 9
*Sukanya Thongyothee Apsornrat Numsong Chainarong Lomchangkum
and Chawanan Thongyothee*
- A Comparative Study of Prediction Model Case Study Commercial
Cane Sugar Prediction** 21
Lalita Khamthong and Sirorat Pattanapairoj
- Inventory Management Approach Based on Machine Learning Model for
Demand Forecasting in the Steel Wire Mesh Industry** 31
Nonthaphat Sukolkit Sirawadee Arunyanart and Arthit Apichottanakul
- A Development of Equipment for Detecting Small Stones in a Rubber Cup Lump** 47
Pongsakorn Promin Mitchai Chongcheawchamnan and Sahapong Somwong
- Application of Activity-based Costing Systems for Process Cost Analysis
Inventory Storage Case Study: XYZ Company** 60
Wanpichit Bangcheen and Pattanapong Praykaw
- A Study Capacity and Comparison of Sugarcane Loading into The Truck
between Labor and Elevator Cooperated with Labor** 75
*Chainarong Lomchangkum Chaiyan Junsiri Pattarapong Boonnadee
Atsawut Srinoi Prayoon Jomlaperatikul Arpapon Jomlaperatikul
Dechawut Manklang Bhuchiss Tanwanichkul Panuwat Supprung and Prasit Sopa*
- Programming Guidelines for Sequential Automation Tasks in Low-Cost Systems** 83
*Shutchon Premchaisawatt Narong Boonsaner Krit Tashoo
Chanchai Laoha and Pijit Buarapha*
- Development of economical cold storage using R-22 split type air conditioner system** 97
Suparat Sasrimuang Apichart Artnaseaw and Chanu Photiphitag

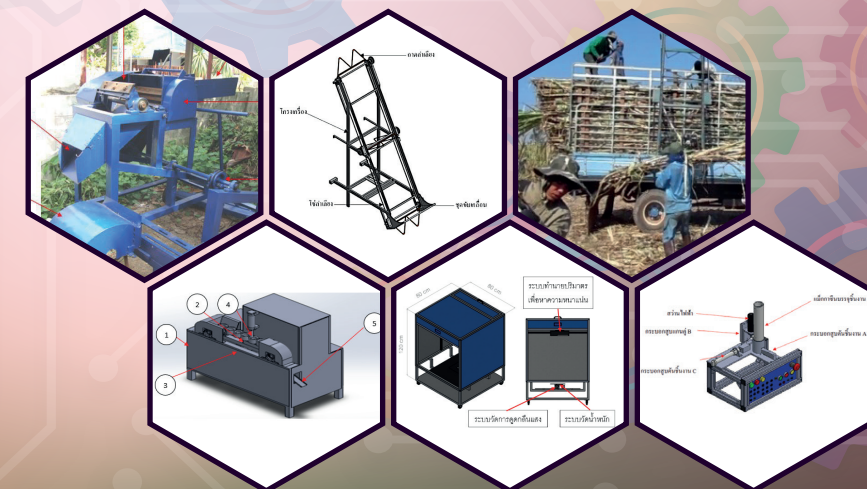


Farm Engineering And Automation Technology
Research Group , Khon Kaen University

FEAT JOURNAL

วารสาร
วิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยี
การควบคุมอัตโนมัติ

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL



Vol.10 No.1 January – June 2024

ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2567

ISSN 2408-0985

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

กองบรรณาธิการ

รศ.ดร. ชัยยันต์	จันทร์ศิริ	สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร. ชนิษฐา	คำวิลัยศักดิ์	สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร. กัลยากร	ขวัญมา	สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ดร. วาอิส	ลีลาภัทร	สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รศ.ดร. ธนา	ราชภักดิ์	สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร. วีระชัย	อาจหาญ	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ผศ.ดร. นิยม	กำลังดี	สำนักวิชาวิทยาศาสตร์	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
ผศ. คำธณ	พิทักษ์	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผศ.ดร. วิภาดา	สนองราชบุรี	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร. สิริวิชัย	เดชะเกษราษฎร์	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ. ฤกษ์ชัย	ศรีวรมาศ	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รศ.ดร. จักรมาศ	เลาหวนิช	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร. จำเริญ	เกณท์สาคร	ภาควิชาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

บรรณาธิการ

ฝ่ายจัดการวารสาร

สำนักงาน

รศ.ดร. รัชพล สันติวรการ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยขอนแก่น

นางสาวฉัตรเกล้า มะชะศรี

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

กำหนดเผยแพร่

พิมพ์ที่

ISSN

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

โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น

: 2408 - 0985

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	Maharakham University
Asst.Prof.Dr.Rampai Gaensakoo	Department of Biotechnology	Maharakham 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 และไม่ใช้ผลงานที่คัดลอกโดยวารสารมีกำหนดออกทุก 6 เดือน ปีละ 2 ฉบับ ซึ่งบทความทุกบทความจะต้องผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 3 ท่าน ทั้งจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยขอนแก่น มีการเผยแพร่ในรูปแบบเล่มสำหรับจัดส่งให้หน่วยงานหรือผู้ที่สนใจ 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. 085-559-2669 Email: feat.kku@gmail.com

บทบรรณาธิการ

เรียน ท่านสมาชิกวารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ
และผู้อ่านทุกท่าน



วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ (Farm Engineering and Automation Technology Journal: FEAT Journal) ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 ประจำเดือน มกราคม – มิถุนายน 2567 ฉบับนี้เป็นปีที่ 10 ของกลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยมีวัตถุประสงค์มุ่งเน้นที่จะเผยแพร่องค์ความรู้ด้านวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติให้นักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษา ผู้ประกอบการ และประชาชนทั่วไปได้ทราบ และสามารถเรียนรู้ นำไปต่อยอดความรู้ และแก้ไขปัญหาในการทำงานด้านวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติได้วารสารนี้ มีกำหนดตีพิมพ์ทุก 6 เดือน ปีละ 2 ฉบับ ซึ่งบทความทุกบทความจะต้องผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 3 ท่าน ทั้งจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยขอนแก่น ในฉบับนี้มีบทความวิจัยจำนวน 9 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

24 มิถุนายน 2567

จริยธรรมของการตีพิมพ์ (Publication Ethics)

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

บรรณาธิการวารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติจะแต่งตั้งผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อพิจารณาคุณภาพของบทความทุกบทความ อย่างน้อย 3 ท่าน ที่มีความเชี่ยวชาญหรือเกี่ยวข้องกับเนื้อหาของบทความและไม่ใช่ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้แต่งบทความ โดยการประเมินผู้ทรงคุณวุฒิเป็นแบบ double blinded คือ มีการปกปิดชื่อเจ้าของบทความแก่ผู้ทรงคุณวุฒิ และเจ้าของบทความไม่ทราบชื่อของผู้ทรงคุณวุฒิ ผลการประเมินมี 5 แบบ คือ รับผิดชอบบทความ ให้ผู้แต่งแก้ไข โดยให้บรรณาธิการพิจารณาต่อ ให้ผู้แต่งแก้ไขโดยผู้ประเมินขอพิจารณาอีกครั้ง ให้ผู้แต่งส่งบทความให้วารสารอื่น และไม่รับผิดชอบบทความ ดังนั้น เพื่อให้การสื่อสารทางวิชาการเป็นไปอย่างถูกต้อง สอดคล้องกับมาตรฐานการตีพิมพ์นานาชาติ จึงได้กำหนดจริยธรรมของการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัยไว้สำหรับการดำเนินงานของวารสาร โดยทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องจะต้องปฏิบัติตามหลักการและมาตรฐานด้านจริยธรรมในการตีพิมพ์อย่างเคร่งครัด ตามบทบาทหน้าที่ดังนี้

บทบาทหน้าที่ของผู้เขียน

1. ผลงานของผู้เขียนต้องเป็นผลงานที่ไม่เคยตีพิมพ์หรือเผยแพร่ที่ไหนมาก่อน
2. ผู้เขียนต้องอ้างอิงผลงานของผู้อื่นหากมีการนำข้อความใดๆ มาใช้ในผลงานของตนเองรวมทั้งต้องทำเอกสารอ้างอิงไว้ท้ายบทความ
3. ผู้เขียนต้องเขียนบทความวิจัยให้ถูกต้องตามรูปแบบที่กำหนดไว้ในวารสาร
4. ผู้เขียนที่มีชื่อปรากฏในบทความทุกคนต้องเป็นผู้ที่มีส่วนร่วมในการดำเนินการวิจัยจริง
5. ผู้เขียนต้องไม่คัดลอกผลงานของผู้อื่น และต้องมีการอ้างอิงทุกครั้งเมื่อนำผลงานของผู้อื่นมานำเสนอหรืออ้างอิงในเนื้อหาของบทความของตนเอง
6. ผู้เขียนต้องยินยอมโอนลิขสิทธิ์ให้แก่วารสารก่อนการตีพิมพ์ และไม่นำผลงานไปเผยแพร่หรือตีพิมพ์กับแหล่งอื่นๆ หลังจากที่ได้รับการตีพิมพ์กับวารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติแล้ว
7. หากมีการวิจัยในมนุษย์หรือสัตว์ทดลอง ผู้เขียนจะต้องแนบหนังสือรับรองที่ได้รับอนุญาตให้ทำการวิจัยในมนุษย์หรือสัตว์ทดลองจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์หรือคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการใช้สัตว์ทดลองตามแต่กรณีและระบุหมายเลขหรือรหัสการรับรองลงในบทความ

บทบาทหน้าที่ของบรรณาธิการ

1. บรรณาธิการมีหน้าที่พิจารณาและตรวจสอบบทความที่ส่งมาเพื่อเข้ารับการพิจารณาตีพิมพ์กับวารสารทุกบทความ โดยพิจารณาเนื้อหาบทความที่สอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของวารสาร รวมถึงการตรวจสอบคุณภาพบทความในกระบวนการประเมินและคุณภาพบทความก่อนการตีพิมพ์
2. บรรณาธิการต้องใช้เหตุผลทางวิชาการในการพิจารณาบทความทุกครั้งโดยปราศจากอคติที่มีต่อบทความและผู้เขียนในด้านเชื้อชาติเพศ ศาสนา วัฒนธรรม การเมือง และสังกัดของผู้เขียน
3. บรรณาธิการต้องไม่มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้เขียนหรือผู้ทรงคุณวุฒิ ไม่นำบทความหรือวารสารไปใช้ประโยชน์ในเชิงธุรกิจหรือนำไปเป็นผลงานทางวิชาการของตนเอง
4. บรรณาธิการต้องไม่แก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงเนื้อหาบทความและผลประโยชน์ของผู้ทรงคุณวุฒิ รวมถึงไม่ปิดกั้นหรือแทรกแซงข้อมูลที่ใช้แลกเปลี่ยนระหว่างผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เขียน
5. บรรณาธิการต้องปฏิบัติตามกระบวนการและขั้นตอนต่าง ๆ ของวารสารอย่างเคร่งครัด

บทบาทหน้าที่ของผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ

1. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องคำนึงถึงคุณภาพบทความเป็นหลักพิจารณาบทความภายใต้หลักการและเหตุผลทางวิชาการ โดยปราศจากอคติหรือความคิดเห็นส่วนตัว และไม่มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้เขียน
2. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องไม่แสวงหาประโยชน์จากผลงานทางวิชาการที่ตนเองได้ทำการประเมิน
3. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องตระหนักว่าตนเองมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาของผลงานวิชาการที่รับประเมินอย่างแท้จริง
4. หากผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบพบว่าบทความที่รับประเมินเป็นบทความที่คัดลอกผลงานชิ้นอื่น ๆ ผู้ทรงคุณวุฒิต้องแจ้งให้บรรณาธิการทราบทันที
5. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องรักษาระยะเวลาประเมินตามกรอบเวลาประเมินที่กำหนด รวมถึงไม่เปิดเผยข้อมูลของบทความให้ผู้ที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องได้รับรู้

บทความวิจัย

เครื่องคว้านเมล็ดเงาะระบบนิวแมติกส์	1
ร้อยทิศ ญาติเจริญ ไกรสร รวยป้อม ชาญณรงค์ ชูสุข และ มนัสนันท์ บุญปลาวงศ์	
การออกแบบและพัฒนาเครื่องสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพดเพื่อเป็นอาหารโคนม	9
สุกัญญา ทองโยธี อัปสรรัชย์ น้ำทรง ชัยณรงค์ หล่มช่วงคำ และ ชวนันท์ ทองโยธี	
การเปรียบเทียบแบบจำลองที่ใช้ในการพยากรณ์ค่าความหวานของอ้อย	21
ลลิตา ขำทอง และ ศิโรรัตน์ พัฒนไพโรจน์	
รูปแบบการจัดการสินค้าคงคลังที่อาศัยวิธีการเรียนรู้ของเครื่องสำหรับพยากรณ์ความต้องการในอุตสาหกรรมตะแกรงเหล็กไวร์เมช	31
นนทพัทธ์ ศุกลกิจ ศิรวดี อรัญนารถ และ อาทิตย์ อภิโชติธนกุล	
การพัฒนาเครื่องตรวจจับกรวดหินในยางก้อนถ้วย	47
พงศกร พรหมอินทร์ มิตรชัย จงเขียวชำนาญ และ สหพงศ์ สมวงศ์	
การประยุกต์ใช้ระบบต้นทุนฐานกิจกรรม เพื่อการวิเคราะห์ต้นทุนกระบวนการจัดเก็บสินค้าคงคลัง กรณีศึกษา: บริษัท XYZ	60
วันพิชิต เบ็งจีน และ พัฒนพงษ์ พลายแก้ว	
การศึกษาความสามารถและเปรียบเทียบการลำเลียงมัดอ้อยขึ้นรถบรรทุกระหว่างแรงงานคนกับเครื่องลำเลียงร่วมกับแรงงานคน	75
ชัยณรงค์ หล่มช่วงคำ ชัยยันต์ จันทร์ศิริ ภัทรพงษ์ บุญนาดี อัสภาวุฒิ ศรีน้อย ประยูร จอมหล้าพีรติกุล อาภาภรณ์ จอมหล้าพีรติกุล เดชาวัต มั่นกลาง ภูษิสส์ ดันวานิชกุล ภาณุวัฒน์ ทรัพย์ปรง และ ประสิทธิ์ โสภา	
แนวทางการพัฒนาโปรแกรมระบบอัตโนมัติในการควบคุมแบบซีคอนซ์สำหรับระบบอัตโนมัติราคาประหยัด	83
ชัชชล เปรมชัยสวัสดิ์ ณรงค์ บุญเสนอ กฤษ ตราฐู ชาญชัย เหลาหา และ พิจิตร บัวระภา	
สร้างห้องเย็นราคาประหยัดโดยใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิด R-22	97
ธัญสุภรัตน์ สาครีเมือง อภิชาติ อาจนาลัย และ ชานู โพธิพิทักษ์	

Research Article

Pneumatic rambutan seed boring machine	1
<i>Roitis Yartjaroen Krisorn ruaypom Channarong Chusui and Manasanan Bunpalwong</i>	
The Design and Development of Sugarcane Shoot Tip and Corn for Dairy Cows	9
<i>Sukanya Thongyothee Apsornrat Numsong Chainarong Lomchangkum and Chawanan Thongyothee</i>	
A Comparative Study of Prediction Model Case Study Commercial Cane Sugar Prediction	21
<i>Lalita Khamthong and Sirorat Pattanapairoj</i>	
Inventory Management Approach Based on Machine Learning Model for Demand Forecasting in the Steel Wire Mesh Industry	31
<i>Nonthaphat Sukolkit Sirawadee Arunyanart and Arthit Apichottanakul</i>	
A development of equipment for detecting small stones in a rubber cup lump	47
<i>Pongsakorn Promin Mitchai Chongcheawchamnan and Sahapong Somwong</i>	
Application of activity-based costing systems for process cost analysis Inventory Storage Case Study: XYZ Company	60
<i>Wanpichit Bangcheen and Pattanapong Praykaw</i>	
A Study Capacity and Comparison of sugarcane loading into the truck between labor and elevator cooperated with labor	75
<i>Chainarong Lomchangkum Chaiyan Junsiri Pattarapong Boonnadee Atsawut Srinoi Prayoon Jomlaperatikul Arpapon Jomlaperatikul Dechawut Manklang Bhuchiss Tanwanichkul Panuwat Supprung and Prasit Sopa</i>	
Programming Guidelines for Sequential Automation Tasks in Low-Cost Systems	83
<i>Shutchon Premchaisawatt Narong Boonsaner Krit Tashoo Chanchai Laoha and Pijit Buarapha</i>	
Development of economical cold storage using R-22 split type air conditioner system	97
<i>Suparat Sasrimuang Apichart Artnaseaw and Chanu Photiphitag</i>	



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

เครื่องคว้านเมล็ดเงาะระบบนิวแมติกส์

Pneumatic rambutan seed boring machine

ร้อยทิศ ญาติเจริญ, ไกรสร รวยป้อม, ชาญณรงค์ ชูสุข และ มนัสนันท์ บุญपालวงศ์*

Roitis Yartjaroen, Krisorn ruaypom, Channarong Chusui and Manasanan Bunpalwong*

สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร

*สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสังคม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี

Department of Mechanical Technology, Faculty of Agricultural Industry Technology.

*Department of Information Technology, Faculty of Social Technology, Rajamangala University of Technology

Tawan-ok Chanthaburi Campus.

Received: 11 September 2023

Revised: 15 March 2024

Accepted: 19 March 2024

Available online: 26 June 2024

บทคัดย่อ

เครื่องคว้านเมล็ดเงาะระบบนิวแมติกส์ มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบสมรรถนะและประเมินสมรรถนะของเครื่องคว้านเมล็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ ทดสอบผลเงาะที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 37-40 มิลลิเมตร ครั้งละ 20 ลูก ทำการทดสอบ 5 ซ้ำ ลักษณะทางกายภาพผลเงาะ มีค่าเฉลี่ย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 39.08 ± 3.90 มิลลิเมตร ความสูง 50.28 ± 5.02 มิลลิเมตร น้ำหนักทั้งลูก 37.83 ± 3.78 กรัม เปลือกเงาะ 15.96 ± 1.59 กรัม เม็ดเงาะ 3.83 ± 0.38 กรัม และเนื้อเงาะ 12.54 ± 1.25 กรัม ผลการหาสมรรถนะการคว้านเมล็ดเงาะ โดยเฉลี่ย เปลือกเงาะเฉลี่ย 42.09% เม็ดเงาะเฉลี่ย 10.18% เนื้อติดเม็ดเฉลี่ย 8.88% เนื้อเงาะเฉลี่ย 33.10% ค่าความสูญเสียเฉลี่ยได้ 5.80% ต่อน้ำหนักเงาะที่ใช้ในการทดสอบ ผลการประเมินสมรรถนะ อัตราความพร้อมการเดินเครื่อง 61.80%

ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง 98.33% ความสามารถในการผลิตอัตราคุณภาพ 88.99% ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร 77.86% ความสามารถของเครื่อง 1,945.95 ลูกต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพของเครื่อง 89%

คำสำคัญ: เมล็ดเงาะ ระบบนิวแมติกส์ เครื่องคว้านเมล็ด

Abstract

This research aim to Pneumatic rambutan seed boring machine the objective is to test the performance and evaluate the performance of the semi-automatic rambutan boring machine. Test rambutan results with a diameter between 37-40 mm, 20 nut at a time. It has an average diameter of 39.08 ± 3.90 mm, a height of 50.28 ± 5.02 mm, and a total weight of 37.83 ± 3.78 grams. 15.96 $\pm$ 1.59 grams of rambutan bark, 3.83 $\pm$ 0.38 grams of rambutan and 12.54 $\pm$ 1.25 grams of rambutan plup. The results showed the average rambutan boring performance, average rambutan bark 42.09% rambutan average 10.18%, average grain texture 8.88%, rambutan average 33.10%, average loss of 5.80% per total rambutan weight used in the test. Performance Assessment 61.80% Running Efficiency 98.33% Productivity 88.99% Overall Efficiency 77.86% Machine Capacity 1,945.95 nuts per hour Machine Efficiency 89%

Keywords: Rambutan seeds: Pneumatic system: Reamer

*ติดต่อ: yart_3@hotmail.com, krisorn_ru@mutto.ac.th

1. บทนำ

เงาะเป็นผลไม้ที่มีชื่อเสียงของประเทศไทยได้รับความนิยมอย่างสูงทั้งในประเทศและต่างประเทศ มีมากในจังหวัดภาคใต้และภาคตะวันออกของประเทศ ปัจจุบันเงาะได้รับการส่งเสริมเป็นผลไม้เศรษฐกิจ คุณค่าของผลเงาะทั้งคุณประโยชน์ทางโภชนาการ รสชาติ กลิ่นและเนื้อสัมผัส เงาะจึงถูกแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆอีกหลายชนิด ได้แก่ เนื้อเงาะในไซรัป เนื้อเงาะเชื่อม น้ำและเนื้อเงาะบรรจุกระป๋อง แยมเนื้อเงาะ ฯลฯ ซึ่งแต่เดิมผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีราคาสูงมาก เนื่องจากวัตถุดิบต้องถูกแบ่งจากผลผลิตเงาะบริโภคสดส่วนหนึ่ง แต่เมื่อปริมาณ

เงาะในตลาดมีสูงขึ้นประกอบกับราคาจำหน่ายผลบริโภคสดตกต่ำ การแปรรูปเงาะเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆจึงมีความจำเป็นเร่งด่วน ทั้งนี้เพื่อเพิ่มการใช้ผลเงาะในฐานะวัตถุดิบประการหนึ่ง และเพื่อเพิ่มมูลค่าแก่ผลิตภัณฑ์เงาะแปรรูปแล้วในอีกประการหนึ่งด้วยการส่งออกในเดือนมกราคม 2561 การส่งออกผักผลไม้กระป๋องและแปรรูป เดือน ม.ค.- ม.ค. 2561 ปริมาณ 129,466 ตัน คิดเป็น มูลค่า 162.74 ล้านบาท เหรียญสหรัฐ ลดลงร้อยละ 5.93 เมื่อเทียบกับช่วงเวลาเดียวกันของปีที่ผ่านมา โดยตลาดหลักที่ไทยมีมูลค่าส่งออกเพิ่มขึ้น ได้แก่ สหรัฐอเมริกา ขยายตัวร้อยละ 11.02 และ รัสเซีย ขยายตัวร้อยละ

38.27 แบ่งเป็น – การส่งออกผลไม้กระป๋องและแปรรูป ปริมาณ 109,561 ตัน คิดเป็นมูลค่า 138.23 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ลดลงร้อยละ 7.25 เมื่อเทียบกับช่วงเวลาเดียวกันของปีที่ผ่านมา โดยการส่งออกหลักคือ สีนํ้า สับปะรดกระป๋อง มีปริมาณ 27,722 ตัน คิดเป็นมูลค่า 23.76 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ลดลงร้อยละ 41.91 คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 14.59 ของการส่งออกผักผลไม้กระป๋อง แปรรูปทั้งหมด (สำนักส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตรและอุตสาหกรรม กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ, 2561) ขั้นตอนการเตรียมผลเงาะเป็นวัตถุดิบสำหรับการแปรรูปที่สำคัญขั้นตอนหนึ่ง คือการควั่นเมล็ดเงาะออกและปอกเปลือก เพื่อให้เหลือแต่เนื้อเงาะเพียงอย่างเดียว ซึ่งวิธีการปฏิบัติในปัจจุบันยังต้องใช้แรงงานคนที่มีความชำนาญสูงในการทำ ทำให้มีความสามารถในการทำงานต่ำ เกิดความสูญเสียสูง และใช้เวลาปฏิบัติมาก ในฤดูกาลเพาะปลูกซึ่งผลผลิตระบายสู่ตลาดปริมาณสูงมากอย่างต่อเนื่องจะทำให้แปรรูปผลิตภัณฑ์เงาะได้ไม่ทันทั่วทั้งที่ เกิดความเสียหายจากการเสื่อมสลายของผลผลิต ประกอบกับการใช้มีดเป็นอุปกรณ์ทำงานย่อมมีความเสี่ยงต่อการเกิดบาดเจ็บกับผู้ปฏิบัติ

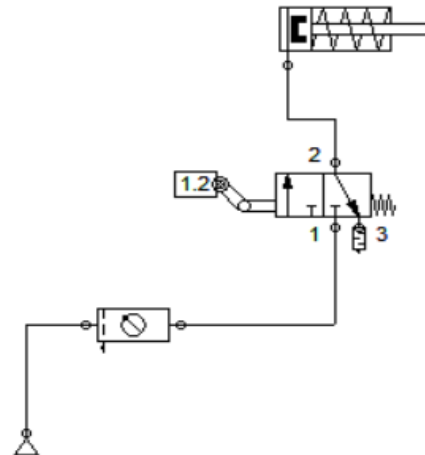
คณะผู้วิจัยจึงต้องการที่จะสร้างเครื่องควั่นเมล็ดเงาะระบบนิวแมติกส์เพื่อลดเวลาการปฏิบัติงาน เพื่อช่วยเร่งการแปรรูปผลผลิตเงาะให้ทันในฤดูกาล ลดจำนวนผู้ปฏิบัติงานลงและไม่จำเป็นต้องใช้แรงงานฝีมือ ลดต้นทุน และเป็นเครื่องจักรที่มีความปลอดภัย

2. วิธีการการวิจัย

2.1. ศึกษาข้อมูลและออกแบบวงจรควบคุมระบบนิวแมติกส์

จากการศึกษาข้อมูลเรื่อง เครื่องควั่นเมล็ดเงาะระบบนิวแมติกส์แบบกึ่งอัตโนมัติ และได้ทำการออกแบบวงจรระบบนิวแมติกส์เบื้องต้น เพื่อให้ในการเจาะและควั่นเมล็ดเงาะ วงจรนิวแมติกส์ประกอบไปด้วย ถังลม, ชุดปรับคุณภาพลม, วาล์ว 3/2, กระบอกสูบทางเดียว [1], [2], [3]

หลักการทำงานวงจร เมื่อกดหัวโรลเลอร์ทิวป์ (Roller) ตำแหน่ง 1.2 ทำให้ลมไหลผ่านวาล์ว 3/2 ทำงาน ทำให้ลูกสูบเลื่อนออกและเลื่อนกลับทันที [4] โดยสปริงในกระบอกสูบ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การออกแบบวงจรนิวแมติกส์ [4]

2.2. คำนวณระบบนิวแมติกส์

กระบอกสูบชนิดทำงานทางเดียว จังหวะลูกสูบเลื่อนออก [5], [6], [7], [8]

$$F_{th(out)} = (A \times P) \quad (1)$$

เมื่อ F_{th} = แรงลูกสูบทางทฤษฎี (N)
 A = พื้นที่หน้าตัดลูกสูบ (cm²)
 P = ความดันใช้ (N/m²)
 F_R = แรงเสียดทาน (N)

January – June 2024; 10(1) : 1 – 8

กำหนดค่าความดันในระบบ $P = 4 \text{ bar}$

$$= 87.02 \text{ lb/in}^2$$

$$= 64 \text{ N}$$

จากการทดสอบเจาะผิวเนื้อเงาะโดยใช้

เครื่องวัด Force Gauge = 57.1 N

$$= 12.94 \text{ lb}$$

$$\begin{aligned} \text{จากสูตรแรงดัน } P &= \frac{F}{A} \\ &= \frac{12.94 \text{ lb}}{87.02 \text{ lb}^2} \\ &= 0.148 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = 0.43 \text{ in}^2$$

∴ เลือกใช้กระบอกสูบขนาด 1 นิ้ว $d = 1 \text{ in}^2$

นำค่ากระบอกสูบที่คำนวณได้ มาทดสอบหาค่าแรง

$$\text{จากสูตร} \quad P = \frac{F}{A}$$

$$F = A \times P = 87.02 \times 1$$

$$F = 87.02 \text{ lb}$$

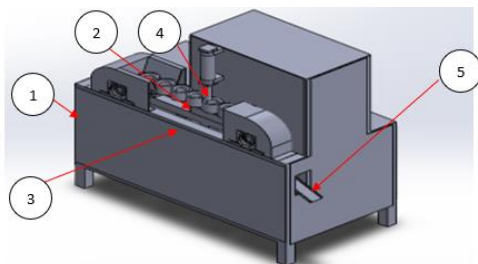
∴ จากการคำนวณพบว่าได้ค่าแรงจากการคำนวณ

ใช้กระบอกสูบขนาด 1 นิ้ว แรงดัน 4 บาร์ มีค่าแรง

87.02 lb มีค่ามากกว่าค่าที่ได้ทำการทดสอบโดยใช้

เครื่องมือวัด Force Gauge

จากการศึกษาออกแบบวงจรและคำนวณ ทำการออกแบบเครื่องตัวอย่างเบื้องต้นดังนี้



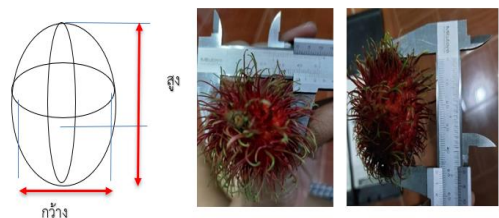
รูปที่ 2 เครื่องคว้านเมล็ดเงาะระบบนิวแมติกส์
ตัวอย่างเบื้องต้น

หลักการทำงานของเครื่อง

ทำการเปิดสวิตช์หมายเลข 1 ตัวเครื่องจะทำงานโดยใช้ลำเลียงหมายเลข 3 จะเริ่มเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่จะทำการคว้านเมล็ดเงาะโดยควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยเฟืองเจนิวา ทำการบรรจุเงาะลงในเบ้าบรรจุเงาะหมายเลข 2 ทีละ 1 ลูก โดยนำเงาะด้านที่เป็นหัวของลูกเงาะคว่ำลงในเบ้าบรรจุเงาะและกดให้แน่น ใช้ลำเลียงจะลำเลียงเงาะมายังตำแหน่งหมายเลข 4 เพื่อทำการคว้านเมล็ดเงาะ กระบอกสูบหมายเลข 4 จะกดลง เพื่อทำการคว้านเมล็ดเงาะ ควบคุมการทำงานของกระบอกสูบโดยใช้วาล์วควบคุมที่ติดตั้งอยู่ด้านบนของเฟืองเจนิวา เมื่อทำการคว้านเสร็จใช้ลำเลียงจะนำเงาะออกทางช่องหมายเลข 5

2.3. การเตรียมวัสดุทดสอบ

1) ทำการคัดขนาดของเงาะโดยการวัดขนาดทั้ง 2 ด้าน ด้านกว้างและด้านยาวแต่ละลูกเพื่อคัดแยกขนาด ด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ ความละเอียด 0.05 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การวัดขนาดของเงาะที่ใช้ทดสอบ

2.4. การทดสอบ

1) ทำการกำหนดความเร็วรอบของเฟืองเจนิวา ในการทดสอบ 37 รอบ/นาที

January – June 2024; 10(1) : 1 – 8

2) นำเงาะที่ทำการคัดแยกใส่ลงในบ้ำที่ละ 1 ลูก ดังรูปที่ 4 โดยให้หัวของลูกเงาะอยู่ในตำแหน่ง ด้านล่างของบ้ำบรรจุเงาะทุกครั้ง



รูปที่ 4 การบรรจุเงาะใส่บ้ำ

3) ทำการเปิดเครื่อง จับเวลาการทำงานของเครื่อง โดยเริ่มต้นจากลูกที่ 1 ถึง ลูกที่ 20 แบบต่อเนื่องและ เก็บผลทดสอบจำนวน 5 ครั้ง



รูปที่ 5 ทำการจับเวลาการทดสอบแต่ละครั้ง

4) ตรวจสอบสภาพของเงาะที่ผ่านการทดสอบ ว่า มีลักษณะสมบูรณ์หรือไม่สมบูรณ์



(ก) ลูกที่สมบูรณ์ (ข) ลูกที่ไม่สมบูรณ์

รูปที่ 6 การเปรียบเทียบลักษณะของเงาะที่ผ่านการเจาะ

5) นำเงาะที่ผ่านการทดสอบมาแยก เนื้อเงาะ เปลือก เม็ด และเนื้อที่ติดเม็ด



(ก) เนื้อเงาะ



(ข) เปลือกเงาะ



(ค) เม็ดเงาะ



(ง) เนื้อติดเม็ด

รูปที่ 7 ส่วนต่างๆ ของเงาะที่ผ่านการทดสอบ

3. ผลการวิจัย

3.1. ผลการทดสอบลักษณะทางกายภาพเครื่อง คว้านเม็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ

ผลการทดสอบลักษณะทางกายภาพเครื่องคว้าน เม็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยการคว้านจำนวน 5 ครั้ง ครั้งละ 20 ลูก โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ของลูกเงาะระหว่าง 37-40 มิลลิเมตร ที่ความเร็ว รอบในการทำงาน 37 รอบต่อนาที ได้ผลการทดสอบ ลักษณะทางกายภาพของเงาะ ดังตารางที่ 1

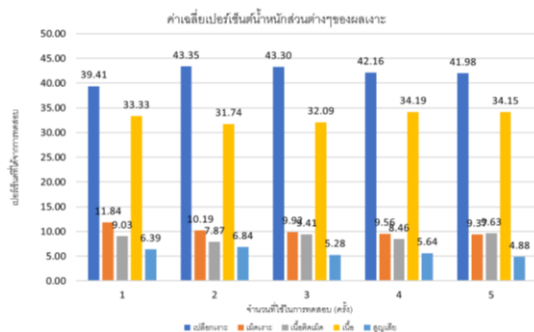
ตารางที่ 1

ลักษณะทางกายภาพของเงาะที่ใช้ในการทดสอบ

รายละเอียด	Min	Max	Mean	S.D.	% C.V.
เส้นผ่านศูนย์กลาง (มม.)	37	40	39.08	0.81	2.08
ความสูง (มม.)	37.2	57.8	50.28	3.02	6
น้ำหนักเงาะทั้งลูก (กรัม)	27	47	37.83	4.28	11.31
เปลือก (กรัม)	8	22	15.96	2.77	17.38
เม็ด (กรัม)	2	5	3.83	0.49	12.88
เนื้อติดเม็ด (กรัม)	2	7	3.36	0.98	29.16
เนื้อ (กรัม)	6	20	12.54	2.14	17.06
สูญเสีย (กรัม)	0	3	2.19	0.92	41.91

3.2. ผลการหาสมรรถนะเครื่องคว้านเม็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ

ผลการหาสมรรถนะเครื่องคว้านเม็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยรวมจากการทดสอบทั้ง 5 ครั้ง ครั้งละ 20 ลูก โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเงาะระหว่าง 37-40 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบในการทำงาน 37 รอบนาที ได้ผลการหาสมรรถนะเครื่องคว้านเม็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ



รูปที่ 8 กราฟค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์น้ำหนักรุ่นต่างๆของลูกเงาะ

จากรูปที่ 8 ผลการหาสมรรถนะเครื่องคว้านเม็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ เปลือกเงาะมีค่าต่ำสุด 39.41% สูงสุด 43.35% เฉลี่ยได้ 42.09% ต่อน้ำหนักเงาะที่ใช้ในการทดสอบ เม็ดเงาะมีค่าต่ำสุด 9.37% สูงสุด 11.84% เฉลี่ยได้ 10.18% ต่อน้ำหนักเงาะที่ใช้ในการทดสอบ เนื้อติดเม็ดมีค่าต่ำสุด 7.87% สูงสุด 9.63% เฉลี่ยได้ 8.88% ต่อน้ำหนักเงาะที่ใช้ในการทดสอบ เนื้อเงาะมีค่าต่ำสุด 31.74% สูงสุด 34.19% เฉลี่ยได้ 33.10% ต่อน้ำหนักเงาะที่ใช้ในการทดสอบ ค่าความสูญเสียต่ำสุดมีค่า 4.88% สูงสุด 6.84% เฉลี่ยได้ 5.80% ต่อน้ำหนักเงาะที่ใช้ในการทดสอบ

3.3. การประเมินสมรรถนะเครื่องคว้านเม็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ

ผลการหาสมรรถนะเครื่องคว้านเม็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยรวมจากการทดสอบทั้ง 5 ครั้ง ครั้งละ 20 ลูก โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเงาะระหว่าง 37-40 มิลลิเมตร ที่ความเร็วรอบในการทำงาน 37 รอบต่อนาที

1) อัตราการเดินเครื่อง คือ ความพร้อมเครื่องจักรในการทำงานเปรียบเทียบกับระยะเวลาเดินเครื่องกับเวลาให้บริการงาน

$$\text{Availability Rate (A)} = \frac{L}{T} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{อัตราการเดินเครื่อง} = \frac{3,600 \text{ s} - 1,375 \text{ s}}{3,600 \text{ s}} \times 100 = 61.80\%$$

2) ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง คือ สมรรถนะการทำงานของเครื่องจักรโดยเปรียบเทียบระหว่างเวลาเดินเครื่องสุทธิกับเวลาเดินเครื่อง

$$\text{Performance Efficiency (P)} = \frac{N}{T} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{3,600 \text{ s} - 60 \text{ s}}{3,600 \text{ s}} \times 100 = 98.33\%$$

3) อัตราคุณภาพ คือ ความสามารถในการผลิตของดีตรงตามข้อกำหนดที่ลูกค้าต้องการเปรียบเทียบกับจำนวนที่ผลิตได้ทั้งหมด

$$\text{Quality Rate (Q)} = \frac{O}{q} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{อัตราคุณภาพ} = \frac{1,945 \text{ ลูกต่อชั่วโมง} - 214 \text{ ลูกที่ไม่สมบูรณ์}}{1,945 \text{ ลูกต่อชั่วโมง}} \times 100 = 88.99\%$$

4) ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร คือ วิธีคำนวณความสามารถในการทำงานทั้งหมดของเครื่องจักร โดยการคำนวณ OEE จะมีส่วนประกอบ

3 อย่าง คือ อัตราการเดินเครื่อง,ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง,อัตราคุณภาพ

$$OEE = \frac{A}{100} \times \frac{P}{100} \times \frac{Q}{100} \times 100 \quad (5)$$

การวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร

$$= \frac{61.80}{100} \times \frac{98.33}{100} \times \frac{88.99}{100} \times 100 = 77.86\%$$

5) การหาค่าความสามารถของเครื่อง คือนำผลที่ได้จากการทดสอบมาเปรียบเทียบกับค่าความสามารถของเครื่อง

$$\text{ความสามารถของเครื่อง} = \frac{20 \text{ ลูก}}{37 \text{ วินาที}} \times \frac{3,600 \text{ วินาที}}{1 \text{ ชั่วโมง}}$$

$$\text{ค่าความสามารถเชิงวัสดุ} = 1,945.95 \text{ ลูก/ชั่วโมง}$$

การหาประสิทธิภาพของเครื่อง คือนำผลการทดสอบมาทำการแยกหาประสิทธิภาพของเครื่อง

$$\text{ความสามารถของเครื่อง} = \frac{89 \text{ ลูก}}{100 \text{ ลูก}} \times 100\%$$

$$\text{ค่าประสิทธิภาพเชิงวัสดุ} = 89\%$$

3.4. วิจัยรณัผลการทดสอบ

1) จากการทดสอบเครื่องคว้านเม็ดเงาะ ยังมีลูกที่ไม่สมบูรณ์เนื่องจากการทำงานของตัวเครื่องที่ยังมีความเร็วและการบรรจุผลเงาะในเบ้าเงาะอาจจะไม่ตรงตำแหน่ง จึงทำให้หัวเงาะที่คว้านเม็ดเงาะเกิดการคลาดเคลื่อนทำให้เนื้อเงาะฉีกขาดจากการบรรจุเงาะ

2) จากการทดสอบ ลูกที่ไม่สมบูรณ์เกิดจากเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกเงาะและขนาดของเม็ดเงาะภายในมีขนาดที่ไม่เท่ากัน จึงทำให้เกิดการสูญเสีย

3) จากการทดสอบเครื่องเม็ดการบรรจุเงาะลงเบ้าบรรจุแบบคว่ำตัวของลูกเงาะ กับหางยั่วตัวของลูกเงาะมีผลต่อความสมบูรณ์ของเงาะที่คว้าน พบว่าการคว่ำ

ตัวของลูกเงาะความสมบูรณ์มากกว่าหางยั่วตัวของลูกเงาะเพราะสามารถจัดตำแหน่งของลูกเงาะให้อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของเบ้าบรรจุได้ จึงเลือกการคว่ำตัวของลูกเงาะขึ้นในการทดสอบ

4. สรุป

การทดสอบสมรรถนะเครื่องคว้านเม็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยทดสอบการคัดขนาดลูกเงาะที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 37-40 มิลลิเมตร ในการคว้านเม็ดเงาะที่ความเร็วรอบ 37 รอบต่อนาที ครั้งละ 20 ลูก ทำการทดสอบ 5 ครั้ง ลักษณะทางกายภาพเม็ดเงาะเฉลี่ย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 39.08 ± 3.90 มม. ความสูงของผลเงาะ 50.28 ± 5.02 มม. น้ำหนักเงาะ 37.83 ± 3.78 กรัม เปลือกเงาะ 15.96 ± 1.59 กรัม เนื้อเงาะ 12.54 ± 1.25 กรัม ตามลำดับ

ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องคว้านเม็ดเงาะแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยการคว้านพบว่า เปลือกเงาะเฉลี่ยได้ 42.09% เม็ดเงาะเฉลี่ยได้ 10.18% เนื้อติดเม็ดเฉลี่ยได้ 8.88% เนื้อเงาะเฉลี่ยได้ 33.10% ค่าความสูญเสียเฉลี่ยได้ 5.80% ต่อน้ำหนักเงาะที่ใช้ในการทดสอบ

ผลการประเมินสมรรถนะเครื่องคว้านเม็ดเงาะ อัตราการเดินเครื่อง 61.80% ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง 98.33% อัตราคุณภาพ 88.99% ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร 77.86%

ความสามารถของเครื่อง 1,945.95 ลูกต่อชั่วโมง
ประสิทธิภาพของเครื่อง 89%

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกที่ให้ความอนุเคราะห์ทุนอุดหนุนสนับสนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] วีรศักดิ์ โกเมฆ. พัฒนาเครื่องคว้านเมล็ดลิ้นจี่. กรมวิชาการเกษตร; 2559.
- [2] เดชฤทธิ์ มณีธรรม. คัมภีร์การใช้งานระบบนิวแมติกส์. สำนักพิมพ์วี.พรินท์: กรุงเทพฯ; 2560.
- [3] ปานเพชร ชินินทร. นิวแมติกส์อุตสาหกรรม. ซีเอ็ดยูเคชั่น: กรุงเทพฯ; 2521.
- [4] ภัทรธร ภัทรธนกุลชัย. ไฮดรอลิกส์และนิวแมติกส์. ซีเอ็ดยูเคชั่น: กรุงเทพฯ; 2559.
- [5] มาสสุภา ไพริรอด. การสร้างเครื่องแกะเปลือกเมล็ดบัวหลวง. [วิทยานิพนธ์] คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี; 2559.
- [6] ศุภกิตต์ สายสุนทร. การออกแบบหัวคว้านและเครื่องคว้านเมล็ดเงาะ. คณะเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน; 2560.
- [7] อำพล ชี้อตรง. งานนิวแมติกส์และไฮดรอลิกส์เบื้องต้น. ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ: กรุงเทพฯ; 2556.

- [8] Admin. (สื่อบนออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 พฤษภาคม 2565]. เทคนิคคว้านเงาะ. เข้าถึงได้จาก: <https://thaitopnews.info/เทคนิคคว้านเงาะ>



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การออกแบบและพัฒนาเครื่องสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพดเพื่อเป็นอาหารโคนม

The Design and Development of Sugarcane Shoot Tip and Corn for Dairy Cows

สุกัญญา ทองโยธี^{*1} อัสพรรัชช์ น้ำทรง¹ ชัยณรงค์ หล่มช่วงคำ² และ ชวนันท์ ทองโยธี³Sukanya Thongyothee^{*1} Apsornrat Numsong¹ Chainarong Lomchangkum² and Chawanant Thongyothee³¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร ² สาขาวิชาวิศวกรรมอาหารและชีวภาพ ³ สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40000

¹ Agricultural Machinery Engineering ² Food and Biological Engineering ³ Metallurgical Engineering

Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Isan, Campus Khonkaen, Khonkaen Province 40000

Received: 29 September 2023

Revised: 19 March 2024

Accepted: 20 March 2024

Available online: 26 June 2024

บทคัดย่อ

ผลการออกแบบเครื่องสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพดเพื่อเป็นอาหารโคนม มีข้อมูลเบื้องต้นในการศึกษาลักษณะทางกายภาพของอ้อยพันธุ์มรกตและข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ ได้ถูกนำมาเป็นเงื่อนไขในการศึกษาเครื่องสับใช้เครื่องยนต์ดีเซลไถเดินตามเป็นเครื่องต้นกำลัง โดยความเร็วรอบที่เหมาะสม 700 รอบ/นาที ที่ระดับการป้อน 3 กิโลกรัม มีขนาดความยาวผ่านการสับ 2.5 เซนติเมตร ความสามารถในการสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพด 607.10 และ 685.59 กิโลกรัม/ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย 5 และ 5.7% ประสิทธิภาพการสับ 95 และ 94.3% ซึ่งการนำเครื่องสับยอดอ้อยไปใช้งานจริงจะสามารถช่วยลดต้นทุนแรงงาน ประหยัดเวลาในการเพิ่มผลผลิตได้จุดคุ้มทุน 47,825.55 กิโลกรัม/ปี ผลกำไร 324,266.78 บาท/ปี และสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 22 วัน เมื่อนำไปรับจ้างสับต้นข้าวโพดจะได้จุดคุ้มทุน 46,566.98 กิโลกรัม/ปี ผลกำไร 378,895.82 บาท/ปี และสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 19 วัน

คำสำคัญ: ยอดอ้อย-ต้นข้าวโพด อัตราการป้อน เครื่องสับ

Abstract

The purposes of design of sugarcane shoot tip and corn dairy cows were to present in this article which provides basic information on the physical characteristics of Marcos and sugarcane varieties Suwan corn varieties. Have been used as a condition in the design of a power sowing machine using a power walking tractor. By testing for the optimum speed 700 revolution per minute at feed rate of 3 kilogram, the size after chopped was 2.5 centimeters, the capability in chopping is 607.10 kilograms per hour for the sugarcane shoot tip and is 685.59 kilograms per hour for the corn. The percentages of loss for sugarcane shoot tip and corn are 5 and 5.7 percents respectively. The chopping performance for sugarcane shoot tip and corn are 95 and 94.3 percent respectively. The use of the proposed cutting machine can help reduce labor costs. Save time to increase productivity, it will give the break even point at 47,825.55 kilograms per year with a profit of 324,266.78 baht per year. The payback period is 22 days, and when taking the machine for corn chopping, it will give the break even point at 46,566.98 kilograms per year with a profit of 378,895.82 baht per year and the payback period is 19 days.

Keywords: sugarcane-corn: feeding rates: cutting machine

*ติดต่อ: sukanya.tn@rmuti.ac.th, 081-444-0833

1. บทนำ

อ้อยและข้าวโพดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย โดยสถานการณ์พื้นที่ปลูกอ้อยปีการผลิต 2565/2566 มีพื้นที่เพาะปลูกอ้อยรวมทั้งสิ้น 11,398,823 ไร่ เพิ่มขึ้นจำนวน 376,475 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 3.42 ทำรายได้ให้กับเกษตรกรและผลิตอ้อยได้เป็นลำดับที่ 4 รองลงมาจากบราซิล อินเดีย และจีน ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีพื้นที่ปลูกอ้อย 4,950,053 ไร่ เพิ่มขึ้นจำนวน 288,258 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 6.18 ของพื้นที่การเพาะปลูก จังหวัดขอนแก่นมีพื้นที่ในการเพาะปลูกอ้อยประมาณ 651,492 ไร่ ผลผลิต 10.75 ตัน/ไร่ ได้ปริมาณอ้อยส่งเข้าโรงงาน

5,957,877 ตัน สำหรับข้าวโพดเนื้อที่ในการเพาะปลูกตามภูมิภาค 13,685,870 ไร่ เนื้อที่เก็บเกี่ยว 13,432,776 ไร่ ผลผลิต 9,796,708 ตัน จังหวัดขอนแก่นมีเนื้อที่ในการเพาะปลูก 10,475 ไร่ ผลผลิต 7,687 ตัน [1]

ยอดอ้อยและต้นข้าวโพดสดที่เก็บมาจากไร่มีคุณค่าทางโภชนาการที่ดีมีโปรตีนหยาบ 5% และพลังงาน 1,500,000 แคลอรี/กก. มีเยื่อใยค่อนข้างสูงทำให้ปริมาณการกินอาหารของสัตว์ลดลง สัตว์จะเลือกกินแต่ใบก่อนส่วนปลายของลำต้นอ่อน ที่มีลักษณะแข็ง ยังคงเหลืออยู่จำนวนมากทำให้เกิดการสูญเสีย ส่วนยอดอ้อยและต้นข้าวโพดสดจะนำมาสับด้วย

เครื่องจักร เช่น เครื่องสับหญ้าเนเปียร์ ซึ่งไม่สามารถสับได้ในปริมาณมาก และขนาดหลังการสับด้วยเครื่องจะไม่ได้ขนาดตามที่เกษตรกรต้องการ มีอัตราการป้อนไม่ต่อเนื่องเกิดการติดๆ ขัดๆ ขณะป้อนจึงนิยมใช้แรงงานคนในการสับ ซึ่งสามารถสับยดอ้อยและต้นข้าวโพดได้ตามขนาดที่ต้องการแต่จะใช้เวลานานในการสับ [2] ซึ่งขนาดของยดอ้อยและต้นข้าวโพดที่เกษตรกรสับได้จะยาวประมาณ 3-5 ซม. ซึ่งสัตว์กินได้ง่ายทุกส่วนทำให้เกิดการสูญเสียร้อยละ 10-15 แต่ขนาดมาตรฐานการย่อยอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง สามารถย่อยได้ดีคือ 2-3 ซม. โดยเฉพาะโคนมสามารถให้น้ำนมปริมาณเพิ่มมากขึ้นและมีคุณภาพขึ้นดี [3]

ดังนั้นจากปัญหาดังกล่าว จึงมีแนวทางการศึกษาลักษณะทางกายภาพ เพื่อนำไปออกแบบทดสอบและประเมินผลชุดสับย่อยยดอ้อยและต้นข้าวโพดเพื่อเป็นอาหารโคนมและหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพความสามารถในการสับลดขนาดผลผลิตทางการเกษตรประเภทเยื่อใยให้สูงขึ้นและลดต้นทุนการผลิต (size reduction equipment of fibrous materials) โดยศึกษาออกแบบชุดลูกกลิ้งในการป้อนให้มีความต่อเนื่อง, ชุดใบมีดสับและความเร็วรอบที่เหมาะสมของเครื่องสับยดอ้อยและต้นข้าวโพด ปัจจุบันได้มีการศึกษาเครื่องสับเพื่อนำมาใช้ในการเกษตรและการแปรรูปวัตถุดิบ เช่น ปี พ.ศ.2551 [4] ได้ทำการศึกษาคู่มือเครื่องสับยดอ้อยเพื่อลดขนาดไปเป็นส่วนผสมอาหารหยาบ โดยมีชุดป้อนสองลูกหมุนเข้าหากันที่ความเร็วรอบต่างกันป้อนได้เพียงยดอ้อยชนิดเดียวเท่านั้น จึงไม่สามารถทำงานได้ตลอดปี มีการส่งกำลังด้วยชุดสายพาน ผลการทดสอบเครื่องยนต์ต้นกำลังได้ความเร็วรอบที่

เหมาะสม 700 รอบ/นาที สามารถสับยดอ้อยได้ขนาด 4-5 ซม. ความสามารถในการทำงาน 383.84 กก./ชม. ประสิทธิภาพการทำงาน 80% เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย 8% ต่อมาในปีเดียวกัน [5] ได้ศึกษาการออกแบบและพัฒนาเครื่องสับไม้ขนาดเล็กเพื่อผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลในระดับชุมชน โดยได้ออกแบบให้เครื่องสับไม่มีสมรรถนะกำลังการผลิตเฉลี่ย 8.8 ตัน/ชม. ใช้มอเตอร์ขนาด 30 แรงม้าเป็นต้นกำลัง ใช้ล้อหมุนสับไม้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 ซม. หนา 10 ซม. ความเร็วรอบในการสับ 900 รอบ/นาที จำนวนใบมีด 6 ใบ ขนาดใบมีดกว้าง 15 ซม. ยาว 25 ซม. หนา 2 ซม. ได้ทดสอบกับไม้โตเร็วจำนวน 2 ชนิด คือ ไม้กระถินและไม้มะม่วง พบว่ามีสมรรถนะการผลิตเฉลี่ย 5.36 และ 6.19 ตัน/ชม. ตามลำดับ และมีการใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 20.34 กิโลวัตต์ โดยสามารถสับไม้ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุด 6 นิ้ว ความยาวของไม้ 70 ซม. และมีระยะเวลาคั่นทุน 3 เดือน ต่อมาในปี พ.ศ. 2553 [6] ได้ทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องสับย่อยใบอ้อยและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล โดยออกแบบลักษณะการสับย่อยแบบใบมีดหมุนสับ จำนวน 15 ใบ ปลายใบมีดมีลักษณะโค้งงอ ความเร็วรอบในการสับ 2,416 รอบ/นาที มีต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้า วัสดุที่ใช้ทดสอบได้แก่ ใบอ้อย ใบไม้ ฟางข้าว และเปลือกไม้ยูคาลิปตัส โดยศึกษาสมรรถนะการทำงานและการใช้พลังงานไฟฟ้า รวมถึงการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตผลการทดสอบพบว่าวัสดุที่ใช้ทดสอบใบอ้อย ใบไม้ ฟางข้าว และเปลือกไม้ยูคาลิปตัสมีสมรรถนะการผลิตเฉลี่ย 52.72 69.90 49.65 88.34 กก./ชม. ตามลำดับ โดยมีการใช้พลังงานไฟฟ้า 0.017 0.007 0.072 และ

0.005 kWh/kg. ตามลำดับ [7] ได้ศึกษางานวิจัย เครื่องสับย่อยต้นสาคุ เพื่อเป็นการเปรียบเทียบ สมรรถนะการได้เนื้อสาคุย่อยที่ชาวบ้านใช้วิธีในการ ปอกเปลือกและย่อยแบบภูมิปัญญาชาวบ้านกับ เครื่องย่อยต้นสาคุที่สร้างขึ้น ซึ่งสามารถย่อยต้นสาคุ ได้ตั้งแต่เส้นผ่านศูนย์กลางของต้นสาคุ 30-60 ซม. ซึ่งเป็นขนาดที่ชาวบ้านนำต้นสาคุมาใช้ประโยชน์และ ขณะปอกเปลือกต้นสาคุสามารถย่อยเนื้อของสาคุไป พร้อมกันได้ ใช้มอเตอร์หรือเครื่องยนต์เป็นต้นกำลัง และเคลื่อนย้ายได้โดยการลากจูงกับรถยนต์ ผลการ เปรียบเทียบสมรรถนะได้เนื้อสาคุจากการย่อยต้นสาคุ 3 แบบ คือ ย่อยด้วยแรงงานคน เครื่องที่ชาวบ้านใช้ งานอยู่หรือมีจำหน่ายในท้องตลาด และเครื่องย่อยที่ ออกแบบสร้างขึ้น โดยทำการย่อย 3 ช่วงขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลางลำต้น คือ 30-40 40-50 และ 50-60 ซม. พบว่าการย่อยต้นสาคุใน 3 ช่วงขนาดใช้เวลาใน การย่อยต้นสาคุ 0.45 1 และ 1.30 นาที ได้ปริมาณ สาคุ 40 57 และ 76 กก. ตามลำดับ

2. วิธีการวิจัย

2.1. ศึกษาลักษณะทางกายภาพของยอดอ้อยและ ต้นข้าวโพดตัวอย่างการทดสอบ ดังรูปที่ 1 โดยหา ความยาว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง น้ำหนัก ความชื้น และความต้านทานแรงกดของยอดอ้อยและต้น ข้าวโพดก่อนการย่อย เพื่อนำค่ามาใช้ในการคำนวณ และทดสอบหาค่าอัตราการบด ใช้ตลับเมตรและ เวอร์เนียคาลิเปอร์ โดยวัดจากจุดตัดถึงปลายของ ยอดอ้อยและต้นข้าวโพด จำนวน 90 ต้น จดบันทึก และหาค่าเฉลี่ย ดังรูปที่ 2



ก) ยอดอ้อย

ข) ต้นข้าวโพด

รูปที่ 1 ตัวอย่างทดสอบ



ก) วัดความยาวและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางยอดอ้อย



ข) วัดความยาวและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางข้าวโพด



ค) การทดสอบความต้านทานแรงกดของยอดกล้วยและต้นข้าวโพด

รูปที่ 2 การวัดขนาดทางกายภาพ และ ความต้านทานแรงกดของยอดกล้วยและต้นข้าวโพด

สำหรับการทดสอบความชื้นอ้างอิงตามมาตรฐาน [8] นำตัวอย่างการทดสอบอบตู้อบลมร้อนและคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก ดังสมการที่ 1 เพื่อเป็นแนวทางในการหาความชื้นเริ่มต้นของวัสดุก่อนสับ และเป็นตัวบ่งบอกคุณภาพของยอดกล้วยและต้นข้าวโพดในการเตรียมเป็นอาหารโคเนื้อ สมการการหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก

$$MC_{wb} = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ MC_{wb} = ความชื้นมาตรฐานเปียก (เปอร์เซ็นต์)

W_i = น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)

W_f = น้ำหนักหลังอบ (กรัม)

2.2. การออกแบบชุดสับย่อยยอดกล้วยและต้นข้าวโพดเพื่อเป็นอาหารโคเนื้อ ในการออกแบบเชิงวิศวกรรมหลักการทำงานจากเครื่องสับทั่วไป เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบเครื่องสับ ดังนี้

1. ชุดโครงสร้าง ทำจากเหล็กฉาก 430 x 897 x 800 มม. โดยเชื่อมไฟฟ้าจับระดับฉากให้มีความแข็งแรงมั่นคง ไม่สั่นสะเทือนเกินไป

2. ชุดใบมีดสับย่อย ทำจากเหล็กกล้าจำนวน 2 ใบ ขนาด 250 x 68 x 141 มม. ใช้หลักการทำงานแบบวน 2 ใบมีด ปรับตั้งมุมเฉือนชุดใบมีด โดยทดสอบชุดใบมีดปรับมุมที่ 0 5 10 และ 15 องศา เพื่อหามุมในการสับที่สามารถสับได้ขนาด 2-3 ซม. ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ชุดใบมีดสับย่อยและการปรับมุมของเครื่องสับยอดกล้วยและต้นข้าวโพด

3. ลูกกลิ้งป้อน ทำจากเหล็กเพลากลมตันจำนวน 2 ลูก ซึ่งลูกบนลักษณะเป็นพื้นดาว รัศมี 43 มม. ลูกกลิ้งด้านล่างมีลักษณะผิวเรียบ เพื่อความคล่องตัวในการไหลของวัสดุ ขนาดความยาว 300 มม. รัศมี 25.4 มม. หมุนเข้าหากันด้วยความเร็ว 240 รอบ/นาที ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง 5 มม. ลูกกลิ้งจะขับเคลื่อนส่งกำลังกับชุดใบมีดสับด้วยความเร็ว 500 - 1,000 รอบ/นาที เพื่อให้สามารถสับยอดกล้วยและต้นข้าวโพดให้ได้ขนาดตามต้องการ โดยใช้ค่าคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุพิจารณาให้สัมพันธ์กับระยะห่างลูกกลิ้งและเพิ่มจำนวนการป้อนให้มีปริมาณมากขึ้น เพื่อป้องกันไม่ให้วัสดุเกิดการอุดตันติดในชุดลูกหนีบ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ลูกกลิ้งบดขยี้และดันข้าวโพด

4. ชุดส่งกำลัง ใช้พูลเลย์ในการส่งถ่ายกำลังไปยังเฟืองขับซึ่งเป็นตัวทดกำลัง และความเร็วรอบจากเครื่องยนต์ต้นกำลังส่งกำลังไปยังพูลเลย์ของชุดบดใบมีดสับประกอบไปด้วยพูลเลย์ขนาด 3 นิ้ว 5 นิ้ว และ 18 นิ้ว เฟืองขนาด 30 ฟัน จำนวน 4 ตัว เพลาขนาด 1 นิ้ว และยาว 580 มม. ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 พูลเลย์และชุดเฟืองขับส่งกำลัง

5. รางบดขยี้และดันข้าวโพด ใช้เหล็กเรียบหนา 0.2 มม. ขนาด 400 x 600 x 150 มม. สามารถรองรับขยี้และดันข้าวโพดเข้าไป เพื่อป้องกันอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในขณะที่มีการปฏิบัติงาน

6. ฝาครอบใบมีด ใช้เหล็กแผ่นเรียบหนา 0.9 มม. มีขนาด 430 x 494 x 245 มม. ลักษณะเป็นรูปครึ่งวงกลมเพื่อไม่ให้ขยี้และดันข้าวโพดฟุ้งกระจายและป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้นในขณะที่ชุดใบมีดสับทำงาน

7. ช่องทางออก ใช้เหล็กแผ่นเรียบหนา 0.2 มม. ลักษณะลาดเอียงเพื่อให้วัสดุตกลงภาชนะรองรับและมีฝาปิดเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายซึ่งมีขนาด 220 x 600 x 150 มม. ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ส่วนประกอบและติดตั้งเครื่องยนต์ต้นกำลังกับเครื่องสับขยี้และดันข้าวโพด

2.3. ทดสอบและประเมินผลเครื่องสับยอด้้อยและต้นข้าวโพดเพื่อเป็นอาหารโคนม ที่อัตราการบ่อนความเร็วรอบที่เหมาะสมและการประเมินผลเครื่องสับโดยใช้ความเร็วรอบของชุดใบมีดสับ ให้ความเร็ว 500, 700 และ 1,000 รอบ/นาที โดยนำยอด้้อยและต้นข้าวโพดซึ่งน้ำหนักมดละ 1 2 3 และ 4 กก. น้ำหนักละ 3 ตัวอย่าง ใช้ 4 อัตราการบ่อนในการสับตั้งแต่เริ่มบ่อนจนกระทั่งสับย่อยหมด จับเวลาแต่ละอัตราการบ่อนหลังการสับวัดความยาวยอด้้อยและต้นข้าวโพด จากนั้นทำการคัดแยกวัสดุที่สับไม่ได้ขนาด แล้วนำไปซึ่งน้ำหนักหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย บันทึกผลการทดสอบ โดยการคำนวณ ดังนี้

2.3.1. การคำนวณเพลาส่งกำลังของชุดใบมีด ของโมเมนต์บิดที่เกิดขึ้น, ความเค้นเฉือนของใบมีดสับสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 3 และ 4 [9]

$$T = \frac{r \cdot J}{R} \quad (2)$$

$$J = \frac{\pi \cdot d^4}{32} \quad (3)$$

$$\tau = \frac{GR \cdot \theta}{L} = \frac{16 \cdot TR}{J} \quad (4)$$

เมื่อ T = แรงบิดของเพลาลำใบมีดสับ (นิวตัน.เมตร)

J = โมเมนต์แรงเฉือนของพื้นที่ (เมตร⁴)

R = รัศมี (เมตร)

G = โมดูลัสของเหล็ก (นิวตัน/ตารางเมตร)

L = ความยาวของเหล็ก (เมตร)

τ = ความเค้นเฉือน (นิวตัน/ตารางเมตร)

2.3.2. ความสามารถในการทำงานจริง จากน้ำหนักยอด้้อยและต้นข้าวโพดหลังการสับต่อเวลาที่ใช้ในการสับ (กก./ชม.) [10] ดังสมการที่ 5

$$\text{ความสามารถในการทำงานจริง} = \frac{\text{น้ำหนักหลังการสับ}}{\text{เวลาที่ใช้ในการสับ}} \quad (5)$$

2.3.3. การคำนวณประสิทธิภาพในการทำงาน คือ น้ำหนักยอด้้อยและต้นข้าวโพดหลังการสับย่อยต่อน้ำหนักก่อนการสับ (เปอร์เซ็นต์) ดังสมการที่ 6

$$\text{ประสิทธิภาพการทำงาน} = \frac{\text{น้ำหนักหลังการสับ}}{\text{น้ำหนักก่อนการสับ}} \times 100 \quad (6)$$

2.3.4. เปอร์เซ็นต์วัสดุสับไม่ได้ขนาด คือ น้ำหนักยอด้้อยและต้นข้าวโพดหลังการสับย่อยไม่ได้ขนาดต่อน้ำหนักก่อนการสับ (เปอร์เซ็นต์) ดังสมการที่ 7

$$\% \text{ วัสดุสับไม่ได้ขนาด} = \frac{\text{น้ำหนักหลังการสับไม่ได้ขนาด}}{\text{น้ำหนักก่อนการสับ}} \times 100 \quad (7)$$



รูปที่ 7 ลักษณะการบ่อนยอด้้อยและต้นข้าวโพด

2.4. การทดสอบความสามารถการสับยอด้้อยและต้นข้าวโพดของแรงงานคน โดยใช้แรงงานจำนวน 2 คน นำยอด้้อยและต้นข้าวโพดใช้ในการทดสอบแบ่งเป็นมัดๆ และซึ่งน้ำหนักมดละ 4 กก. ทดสอบตัวอย่างละ 1 ครั้ง ทำการจับเวลาเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการสับเป็นตัวชี้วัด



รูปที่ 8 การสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพดโดยใช้
แรงงานคน

2.5. การคำนวณเชิงเศรษฐศาสตร์ [11] เพื่อประเมินค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ย ระยะเวลาคืนทุน และจุดคุ้มทุนในการสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพดมาใช้ในการประเมินค่าใช้จ่ายโดยรวมประกอบด้วยต้นทุนคงที่ (Fixed cost) และต้นทุนผันแปร (Variable cost) โดยต้นทุนคงที่ได้แก่ ค่าเสื่อมราคาของชุดทดสอบ และค่าเสียโอกาสของเงินทุน สำหรับต้นทุนผันแปรเป็นต้นทุนเปลี่ยนแปลงตามปริมาณการทำงาน ได้แก่ ค่าจ้างแรงงานคนเพื่อทำงานร่วมกับชุดทดสอบ ค่าไฟฟ้า ค่าบำรุงรักษา และค่าซ่อมแซม ส่วนการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Pay-back period) จะได้ผลตอบแทนกลับคืนมาในจำนวนเงินเท่ากับที่ลงทุนไป โดยคิดจากราคาในการลงทุนสร้างชุดทดสอบหารกับผลประโยชน์สุทธิที่คาดว่าจะได้รับ ดังสมการที่ 8

$$PBP = \frac{P}{R} \quad (8)$$

เมื่อ PBP = ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)

P = ราคาเครื่องจักร (บาท)

R = กำไรสุทธิต่อปี (บาท/ปี)

ส่วนการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break-even point) จะคำนวณหาจุดคุ้มทุนในการใช้งาน โดยการเปรียบเทียบระหว่างต้นทุนในการทำงานกับแรงงานคน ดังสมการที่ 9

$$BEP = \left(\frac{Fc}{B-VC} \right) \quad (9)$$

เมื่อ BEP = จุดคุ้มทุน (ชม./ปี)

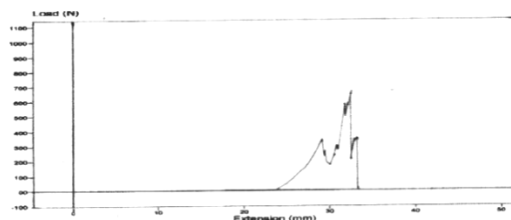
Fc = ค่าใช้จ่ายคงที่ (บาท)

B = อัตราการรับจ้าง (บาท/ชม.)

VC = ค่าใช้จ่ายในการทำงาน (บาท/ชม.)

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1. ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ วัดความยาวยอดอ้อยและต้นข้าวโพดจากจุดตัดถึงปลายใบ ชนิดละ 90 ตัวอย่าง ยอดอ้อยและต้นข้าวโพดมีความยาวเฉลี่ย 165.08 166.43 ซม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 3.27 2.75 ซม. น้ำหนัก 285 283 กรัม และการทดสอบแรงกดของยอดอ้อยและต้นข้าวโพดในห้องปฏิบัติการ พบว่าแรงที่ใช้กระทำต่อยอดอ้อย 688 N และต้นข้าวโพด 590 N และค่าความชื้นโดยการแบ่งพื้นที่สุ่มเก็บตัวอย่างของยอดอ้อย 71.13% ต้นข้าวโพดสด 73.44% จากข้อมูลดังกล่าวพบว่าคุณสมบัติทางกายภาพของยอดอ้อยและต้นข้าวโพดมีค่าและขนาดไม่แตกต่างกันมาก



รูปที่ 9 ค่าความต้านทานแรงเค้นการทดสอบจาก
ห้องปฏิบัติการ

3.2. ผลการออกแบบเครื่องสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพดเพื่อเป็นอาหารโคนม ผลการออกแบบทดสอบเครื่องสับ ใช้ความเร็วรอบชุดใบมีดสับที่เหมาะสมเป็นเกณฑ์ ที่ความเร็ว 500 700 1,000 รอบ/นาที อัตราการป้อน 1 2 3 4 กก. ป้อนวัสดุตั้งแต่เริ่มป้อนจนสับหมด ได้มุมใบมีดการสับที่เหมาะสม 15 องศา สามารถสับขาดได้ดีมีขนาดความยาวเฉลี่ย 2.5 และ 2.8 ซม. ตามต้องการ ซึ่งสัมพันธ์กับความเร็วรอบของลูกกลิ้งส่งถ่ายกำลังด้วยสายพานรื่อง B เนื่องจากยอดอ้อยและต้นข้าวโพดมีการสับตามฤดูกาลไม่ได้ใช้งานตลอดปี จึงใช้ใบมีดที่ปรับมุมได้เพื่อใช้งานกับพืชชนิดอื่นๆ โดยใช้สกรูยึดติดกับโครงใบมีดสับเพื่อง่ายในการปรับเปลี่ยนมุม ซึ่งเวลาในการสับทั้ง 3 ความเร็วรอบมีค่าที่ไม่แตกต่างกันมาก แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างยอดอ้อยและต้นข้าวโพดพบว่าต้นข้าวโพดมีเวลาในการสับ 14.86 วินาที ซึ่งเร็วกว่ายอดอ้อย 16.90 วินาที เนื่องจากต้นข้าวโพดไม่มีเส้นใยและลำต้นมีความแข็งน้อยกว่า จะได้ความเร็วรอบในการสับที่ 700 รอบ/นาที โดยการป้อนที่ 3 กก. ซึ่งมีความเร็วรอบในการสับที่เหมาะสม เมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วรอบที่ 500 และ 1,000 รอบ/นาที จะได้ขนาดของยอดอ้อย และต้นข้าวโพด หลังการสับ 2.5 2.83 ซม. ดังแสดงตารางที่ 1

ตารางที่ 1

ขนาดความยาว เวลาในการสับต่อความเร็วรอบเครื่องต้นกำลังระดับต่างๆ ที่ปริมาณการป้อน 3 กิโลกรัม

ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	ขนาด (ซม.)		เวลาในการสับ (วินาที)	
	ยอดอ้อย	ต้นข้าวโพด	ยอดอ้อย	ต้นข้าวโพด
500	3.90	4.10	20.84	16.96
700	2.50	2.83	16.90	14.86
1,000	1.90	1.80	14.69	12.46



ก) ยอดอ้อย



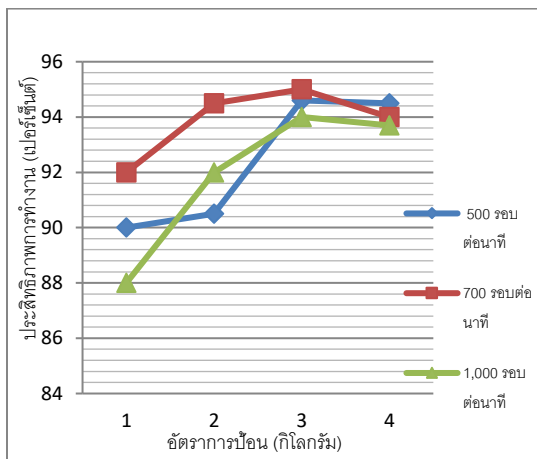
ข) ต้นข้าวโพด

รูปที่ 10 ลักษณะของยอดอ้อยและต้นข้าวโพดที่ผ่านการสับที่มีความเร็วรอบ 700 รอบ/นาที

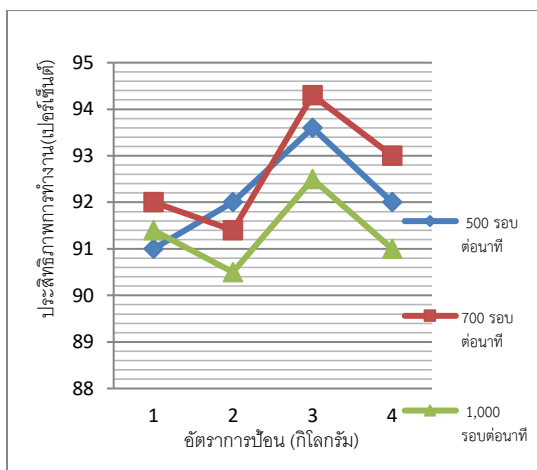
เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพดที่อัตราการป้อน 3 กก. ความเร็วรอบ 700 รอบ/นาที ได้ขนาดความยาวในการสับที่ 2-3 ซม. ซึ่งเป็นที่ต้องการของเกษตรกร ความสามารถในการสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพด 607.10 กก./ชม. และ 685.59 กก./ชม. โดยคัดแยกยอดอ้อยและต้นข้าวโพดที่สับไม่ได้ขนาด ดังรูปที่ 11 นำไปชั่งน้ำหนักได้เปอร์เซ็นต์ที่ไม่ถูกสับ 4% และ 5% เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย 5% และ 5.7% ประสิทธิภาพการทำงานจริงในการสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพด เป็นค่าการสับสูงสุด 95 % 94.30 % ดังรูปที่ 12



รูปที่ 11 ลักษณะยอดอ้อยและต้นข้าวโพดที่สับไม่ได้ขนาดตามต้องการ



ก) ความสัมพันธ์อัตราการป้อนกับประสิทธิภาพการสับยอดอ้อย



ข) ความสัมพันธ์อัตราการป้อนกับประสิทธิภาพการสับต้นข้าวโพด

รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนกับ

ประสิทธิภาพการสับยอดอ้อย (ก) และต้นข้าวโพด (ข)

3.3. ผลการทดสอบความสามารถการสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพดของแรงงานคน การสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพดทดสอบความสามารถในการสับโดยใช้แรงงาน จำนวน 2 คน จำนวนของยอดอ้อยที่ใช้ในการทดสอบ โดยรวมเท่ากับ 4 กก. ในการสับแต่ละครั้ง

รวมประมาณ 200 กก. ในการสับแรงงานคนใช้เวลาเฉลี่ยในการสับยอดอ้อยเท่ากับ 21.1 20.90 วินาที/กก. สับได้ขนาดที่ 4.1 4.5 ซม. ความสามารถในการสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพดในเวลา 1 ชม. สามารถสับได้ 170.60 178.90 กก./ชม. และเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพดที่การป้อนน้ำหนัก 4 กก. จำนวนยอดอ้อยและต้นข้าวโพด 22.66 ต้น พบว่าเวลาที่ใช้ในการสับด้วยแรงงานคนเท่ากับ 90 วินาที (3.85 วินาที/กก.) สามารถลดระยะเวลาในการสับลงได้ 81.75% และความสามารถในการสับด้วยเครื่องสับเท่ากับ 2,051.14 กก./ชม. ดังแสดงตารางที่ 2

ตารางที่ 2

การเปรียบเทียบความสามารถการสับระหว่างเครื่องสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพดกับแรงงานคน

ความสามารถการสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพด	น้ำหนักยอดและต้นข้าวโพด (กก.)	จำนวนยอดและต้นข้าวโพดทดสอบ (ต้น)	เวลาที่ใช้สับ (วินาที)	ขนาดหลังการสับ (ซม.)	ความสามารถในการสับในเวลา 1 ชั่วโมงโดยเฉลี่ย (กก./ชม.)
แรงงานคน	4	22.66	90	4.1	170.6
เครื่องสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพด	4	22.66	7	4.78	2,051.14

3.4. ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ผลการคำนวณหาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สามารถคิดค่าใช้จ่ายในการทำงานจากต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผัน จากการคิดค่าเสื่อมราคา (Depreciation, DP) แบบ Straight-line method DP โดยการออกแบบเครื่องสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพดเพื่อเป็นโคนม มีต้นทุนในการสร้าง 17,000 บาท

ค่าเสื่อมราคา 1,530 บาท/ปี เมื่อนำไปรับจ้างสับยอด
อ้อย กิโลกรัมละ 0.50 บาท จะได้จุดคุ้มทุน 47,825.55
กิโลกรัม/ปี ได้กำไร 324,266.78 บาท/ปี ระยะเวลาคืน
ทุน 22 วัน และนำไปรับจ้างสับต้นข้าวโพด จะได้
จุดคุ้มทุน 46,566.98 กิโลกรัม/ปี ผลกำไร 378,895.82
บาท/ปี และสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 19 วัน

4. สรุป

ผลการศึกษาคำนวณสมบัติทางกายภาพของยอดอ้อย
และต้นข้าวโพด เพื่อนำมาวิเคราะห์ผลและประเมินผล
เครื่องสับยอดอ้อยและต้นข้าวโพด พบว่าที่ความเร็ว
รอบ 700 รอบ/นาที ประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีที่สุด
คืออัตราการป้อนที่ 3 กก. มีขนาดความยาวเฉลี่ย 2.5
ชม. ความสามารถในการสับยอดอ้อย 607.10 กก./ชม.
ต้นข้าวโพด 685.59 กก./ชม. เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย
5 และ 5.7% ประสิทธิภาพในการสับยอดอ้อย 95%
และต้นข้าวโพด 94.3% ซึ่งเป็นที่ยอมรับและมีความ
พึงพอใจของเกษตรกร เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนา
ระดับชุมชนให้เหมาะสมกับการใช้งานสามารถช่วยลด
ต้นทุน ประหยัดเวลาในการเพิ่มผลผลิตต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
อีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์พื้นที่ใน
การออกแบบการทดสอบ สนับสนุนอุปกรณ์เครื่องมือ
ต่างๆ และขอบคุณผู้ช่วยวิจัยทุกท่านที่สละเวลาทุ่มเท
ทำงานจนแล้วเสร็จอย่างสมบูรณ์

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Office of Agricultural Economics. Agricultural Statistics of Thailand for the year 2022/2023 [Internet]. Bangkok: Office of Agricultural Economics. [cited 2023 December 20]. Available from: http://www.oae.go.th/oae_report/expot_import/export_result.php; 2023.
- [2] Agricultural Information Technology Center. Agricultural Cultivation Information for Thailand for the year 2022/2023. [Internet]. Bangkok: Agricultural Information Technology Center. [cited 2023 December 20]. Available from: http://www.oae.go.th/oae_report/expot_import/export_result.php; 2023.
- [3] Department of Animal Development. Cattle Feed. [Internet]. [cited 2022 December 20]. Available from: <http://nutrition.dld.go.th/nutrition/index.php/2015-08-06-09-03-12/606-2004;2018>.
- [4] Uplee C, Lomchangkam C, Pinijaklang A. Design and construction of a sugarcane shredder for calf feed. [Bachelor's thesis, Faculty of Engineering], Khon Kaen: Faculty of

- Engineering, Rajamangala University of Technology Isan: Campus Khon Kaen, Khon Kaen Province; 2008.
- [5] Sirichat A, Santivorakorn P. Design and development of a wood chipper. Proceedings of the Conference on Technology and Innovation for Sustainable Development; 2008 January 28 - 29; Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen; 2008.
- [6] Sarakarn S, Santivorakorn R. Design and development of a leaf shredder and agricultural waste materials for agricultural purposes. Proceedings of the Thai Mechanical Engineering Network Conference, Network of Thai Mechanical Engineering, 24th edition; 2010 October 20-22; Ubon Ratchathani; 2010.
- [7] Khatthayanawat T, Jantaurai S. Subsoiling machine for taro roots [Internet]. [cited 2023 December 20]. Available from: http://rms.pnu.ac.th/rdbms/abstract/061117_114652a.pdf; 2016.
- [8] AOAC. Standard Methods for Food Analysis Volume I Official Methods of Analysis of AOAC International, 19th Edition. The Association, Arlington, VA; 2010.
- [9] Uengphakorn W, Thanadnang C. Machine Design 2. CEDUCATION: Bangkok; 2013.
- [10] Rueangpraya S. Seed planting and weed removing machine testing. UniEd Book: Bangkok; 2004.
- [11] Langkapin J. Economic analysis of the preliminary use of agricultural machinery. Document of knowledge in the field of Agricultural and Industrial Engineering, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi Province; 2023.



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การเปรียบเทียบแบบจำลองที่ใช้ในการพยากรณ์ค่าความหวานของอ้อย

A Comparative Study of Prediction Model

Case Study Commercial Cane Sugar Prediction

ลลิตา ขำทอง และ ศิโรรัตน์ พัฒนไพโรจน์¹⁾Lalita Khamthong and Sirorat Pattanapairoj¹⁾¹⁾สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand

Received: 26 March 2024

Revised: 17 April 2024

Accepted: 17 April 2024

Available online: 26 June 2024

บทคัดย่อ

ค่าความหวานของอ้อยเป็นหนึ่งในปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาด้านปริมาณการผลิตน้ำตาลของอุตสาหกรรมน้ำตาลและเกี่ยวข้องกับระบบการซื้อขายอ้อยของเกษตรกร บทความนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหวานของอ้อยโดยใช้วิธีการถดถอยแบบขั้นบันได (Stepwise Regression) ซึ่งการศึกษานี้แบ่งปัจจัยที่ศึกษาออกเป็น 2 กรณี คือ กรณี 1 ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวกับการปลูกอ้อย และกรณี 2 ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวกับการปลูกอ้อยร่วมกับปัจจัยที่เกี่ยวกับการดูแลระหว่างการปลูกอ้อย จากนั้นนำปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหวานของอ้อยมาสร้างแบบจำลองที่ใช้ในการพยากรณ์ค่าความหวานของอ้อย โดยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) วิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) และวิธีการสุ่มป่าไม้ (Random Forest) ร่วมกับแบ่งข้อมูลแบบตรวจสอบไขว้ (K-fold Cross-Validation) ผลการศึกษพบว่าแบบจำลองที่ใช้ในการพยากรณ์ค่าความหวานของอ้อยที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ได้แก่ แบบจำลองที่ถูกสร้างจากวิธีการสุ่มป่าไม้ รองลงมาคือวิธีต้นไม้ตัดสินใจ และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ตามลำดับ

คำสำคัญ: ค่าความหวานของอ้อย การถดถอยแบบขั้นบันได โครงข่ายประสาทเทียม ต้นไม้ตัดสินใจ การสุ่มป่าไม้

Abstract

Commercial Cane Sugar (CCS) is major concern in the sugar industry, impacting both production quantity and the trading systems of sugarcane farmers. The purpose of this article is to examine the factors related to CCS using the Stepwise Regression method. This research comprises two case studies: Case 1 focused on 13 factors related to sugarcane planting, while Case 2 investigates 17 factors associated with both planting and cultivation care. The study then incorporates various factors found to impact CCS levels to construct three forecasting models: Artificial Neural Network, Decision Tree, and Random Forest, together with a K-fold Cross-Validation. The findings reveal that Random Forest is the most effective CCS forecasting model, followed by Decision Tree and Artificial Neural Network.

Keywords: CCS: Stepwise Regression: Artificial Neural Network: Decision Tree: Random Forest

*ติดต่อ: Lalita.kt@kkumail.com

1. บทนำ

ประเทศไทยคือหนึ่งในประเทศที่มีอุตสาหกรรม การเกษตรเป็นตัวขับเคลื่อนเศรษฐกิจ เนื่องจากตั้งอยู่ในเขตรมรสุมเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีสภาพภูมิประเทศ ทรัพยากร สิ่งแวดล้อม และภูมิอากาศที่เอื้ออำนวยต่อการทำเกษตร โดยอุตสาหกรรม การเกษตรถือว่าเป็นธุรกิจทางการเกษตรที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและการแปรรูปที่ต้องผ่านกระบวนการทางเครื่องจักรด้านอุตสาหกรรมให้ออกมาเป็นสินค้า หรือผลิตภัณฑ์สำหรับจัดจำหน่าย ซึ่งประเทศไทยมีการส่งออกสินค้าอุตสาหกรรมเกษตรไปยังหลาย ประเทศในภูมิภาคต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นสหรัฐอเมริกา

จีน อินเดีย และจากสถิติมูลค่าการส่งออกสินค้า อุตสาหกรรมเกษตรของประเทศไทยในช่วง ทศวรรษที่ผ่านมา พบว่า สินค้าส่งออกอันดับต้นๆ ของ ประเทศไทย ได้แก่ อาหารทะเลแปรรูป ผลิตภัณฑ์ข้าว สาลี น้ำตาลทราย อาหารสัตว์เลี้ยง และผลไม้กระป๋อง ซึ่งจะเห็นว่าน้ำตาลทรายเป็นหนึ่งในสินค้า อุตสาหกรรมเกษตรที่สำคัญต่อการส่งออกสินค้า ของประเทศไทย ทั้งนี้สำหรับอุตสาหกรรมน้ำตาลจะ ใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต

อ้อยถือเป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของ ประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2565 ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูก อ้อยรวม 47 จังหวัด รวมทั้งสิ้น 11.39 ล้านไร่ โดย กระจายอยู่ตามภาคเหนือ ภาคกลาง และภาค

ตะวันออกเฉียงเหนือ มีปริมาณอ้อยเข้าหีบรวม 92.1 ล้านตัน ดังนั้นอ้อยเข้าหีบเฉลี่ยอยู่ที่ 8.08 ตันต่อไร่ และสามารถผลิตน้ำตาลทรายได้เพียง 10.02 ล้านตัน [1] ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำตาลทรายที่ผลิตจากอ้อยมีหลายปัจจัย หนึ่งในนั้นคือค่าความหวานของอ้อย (Commercial Cane Sugar: CCS) และค่าความหวานของอ้อยถือว่าเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อปัญหาด้านปริมาณการผลิตน้ำตาลในแต่ละปีของอุตสาหกรรมน้ำตาลในปัจจุบัน จากสารานุกรมเยาวชน เล่มที่ 5 เรื่องอ้อย ระบุความหมายของค่าความหวานของอ้อยไว้ว่า ความหวานของอ้อย คือ ปริมาณร้อยละของน้ำตาลซูโครสที่มีอยู่ในอ้อย ซึ่งสามารถสกัดออกมาได้ในรูปของน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ ตัวอย่างเช่น ถ้าอ้อยมีค่าความหวานเท่ากับ 10 ซี.ซี.เอส หมายถึง อ้อยที่มีน้ำหนัก 1 ตัน (1,000 กิโลกรัม) จะสามารถนำมาผลิตเป็นน้ำตาลซูโครสได้สูงสุด 0.1 ตัน (100 กิโลกรัม) [2] ค่าความหวานของอ้อยจะถูกวัดค่าในช่วงฤดูกาลการผลิตน้ำตาลหรือฤดูกาลหีบอ้อย โดยฤดูกาลหีบอ้อยจะใช้ระยะเวลาประมาณ 3 ถึง 4 เดือน คือ ในช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคมของทุกปี หรือขึ้นอยู่กับปริมาณอ้อยที่นำมาส่งโรงงานในปีนั้นๆ และนอกจากค่าความหวานของอ้อยจะส่งผลต่อปริมาณผลผลิตน้ำตาลทรายแล้วยังเกี่ยวข้องกับระบบการซื้อขายอ้อย นั่นคือ รายได้ของเกษตรกรที่ได้จากการขายอ้อยจะคิดคำนวณตามค่าความหวาน โดยสำหรับการผลิต พ.ศ. 2565-2566 มีอัตราราคาอ้อยขั้นต่ำอยู่ที่ 1,080 บาทต่อหนึ่งตันอ้อย ณ ค่าความหวาน 10 ซี.ซี.เอส และมีอัตราราคาขึ้นลงเท่ากับ 64.80 บาทต่อค่าความหวาน 1 ซี.ซี.เอส กล่าวคือ หากอ้อยมีความหวาน 11 ซี.ซี.เอส เกษตรกร

จะสามารถขายอ้อยได้ในราคา 1,144.80 บาท แต่ถ้าหากอ้อยมีค่าความหวาน 9 ซี.ซี.เอส เกษตรกรจะขายอ้อยได้ในราคาเพียง 1,015.30 บาท

จากที่กล่าวมาผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของค่าความหวานของอ้อย จึงได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหวานของอ้อยและสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ค่าความหวานของอ้อย ซึ่งผลการวิจัยนี้จะส่งผลดีต่อโรงงานน้ำตาลและเกษตรกร โดยโรงงานน้ำตาลสามารถคาดการณ์ผลผลิตน้ำตาลได้ล่วงหน้าด้วยแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพ ส่วนเกษตรกรสามารถนำไปวางแผนการปลูกอ้อยเพื่อเพิ่มรายได้ในฤดูกาลผลิตต่อไป

ซึ่งแบบจำลองการพยากรณ์มีประสิทธิภาพจะสามารถให้คำตอบที่มีความแม่นยำและใกล้เคียงค่าข้อมูลจริง สำหรับการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์มีหลากหลายวิธี ตัวอย่างเช่น Attapol (2014) [3] ได้สร้างแบบจำลองการพยากรณ์ผลผลิตข้าวจากเทคนิคพยากรณ์ 3 วิธี คือ วิธีโครงข่ายประสาทเทียม การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณ และวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์เกรสชัน Duongduen et al. (2020) [4] ได้ศึกษาวิธีสุ่มป่าไม้ วิธีโครงข่ายประสาทเทียม วิธีต้นไม้สุ่ม วิธี K-nearest neighbor และวิธี K-star สำหรับพยากรณ์ปริมาณการจัดเก็บวัสดุอะไหล่ในคลัง Nieto et al. (2024) [5] ศึกษาการพยากรณ์จุดวิกฤตของอุณหภูมิวัสดุตัวนำยิ่งยวดด้วยวิธีการสุ่มป่าไม้ โครงข่ายประสาทเทียม ต้นไม้ตัดสินใจแบบ M5 และการถดถอยแบบพหุตัวแปร โดยสำหรับการศึกษาผู้วิจัยใช้วิธีโครงข่ายประสาทเทียม วิธีต้นไม้ตัดสินใจแบบ M5 และวิธีการสุ่มป่าไม้ เนื่องจากศึกษาการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ที่มี

ปัจจัยส่งออกหนึ่งตัวแต่มีหลายปัจจัยนำเข้า และข้อมูลที่ศึกษาไม่จำเป็นต้องมีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1. การถดถอยแบบขั้นบันได (Stepwise Regression)

วิธีการถดถอยแบบขั้นบันได เป็นวิธีที่ดำเนินการเลือกแบบไปข้างหน้าในการคัดเลือกปัจจัยเข้าไปในตัวแบบถดถอยและใช้วิธีกำจัดแบบถดถอยหลังในการคัดเลือกปัจจัยออก โดยมีหลักการ คือ ปัจจัยอิสระแรกที่ถูกพิจารณาเข้าไปในตัวแบบถดถอยจะมีความสัมพันธ์กับปัจจัยตามมากที่สุด และมีความสามารถในการพยากรณ์ค่าปัจจัยตาม จากนั้นจะใช้วิธีกำจัดแบบถดถอยหลังในการคัดเลือกปัจจัยอิสระออกจากตัวแบบถดถอย หากค่าปัจจัยอิสระที่อยู่ก่อนมีความสำคัญในการพยากรณ์ค่าปัจจัยตาม จะทำวิธีดำเนินการเลือกแบบไปข้างหน้าซ้ำ ซึ่งวิธีเลือกปัจจัยอิสระด้วยวิธีการถดถอยแบบขั้นบันไดจะทำ 2 วิธีนี้สลับกันจนกระทั่งได้ตัวแบบถดถอยที่เหมาะสม และวิธีการถดถอยแบบขั้นบันไดจะสิ้นสุดการดำเนินการก็ต่อเมื่อไม่สามารถคัดเลือกปัจจัยอิสระที่เหลืออยู่เข้ามาในตัวแบบถดถอยได้ [6]

2.2. วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN)

เป็นวิธีที่สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ถูกพัฒนาในการประมวลผลให้มีการทำงานคล้ายกับโครงข่ายประสาทในสมองของมนุษย์ ซึ่งสามารถเรียนรู้ ผูกพัน และนำการเรียนรู้ที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในการแก้ปัญหา โดยพื้นฐานของโครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วย 3 ชั้น คือ ชั้นข้อมูลนำเข้า ชั้นซ่อน และ

ชั้นข้อมูลส่งออก ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของโครงข่ายประสาทเทียมได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว และโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น [7]

โดยสำหรับการศึกษานี้จะใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับ (Back Propagation Neural Network: BPNN) ซึ่งเป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นที่สามารถเรียนรู้และปรับปรุงแก้ไขได้ด้วยตนเอง เนื่องจากการประมวลผลของแต่ละชั้นของโครงข่ายประสาทเทียมจะเชื่อมโยงกันอย่างต่อเนื่องหรือสามารถย้อนกลับได้ โดยหากการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้คำตอบที่ผิดโครงข่ายจะปรับค่าน้ำหนักจนกว่าค่าความผิดพลาดไม่เกิดเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งคำตอบที่จะได้รับในครั้งถัดไปจะมีความแม่นยำเพิ่มขึ้น

2.3. วิธีต้นไม้ตัดสินใจแบบ M5

วิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) เป็นวิธีที่สร้างแบบจำลองหรือพยากรณ์ล่วงหน้า ที่มีลักษณะโครงสร้างคล้ายกับต้นไม้กลับหัว คือ มีรากของต้นไม้ อยู่ส่วนบนและใบอยู่ส่วนล่าง สำหรับวิธีต้นไม้ตัดสินใจแบบ M5 ถูกพัฒนาโดย Quinlan ปี พ.ศ. 2535 ซึ่งเป็นวิธีที่ได้การยอมรับและนำไปใช้ในการพยากรณ์อย่างกว้างขวาง วิธี M5 เป็นวิธีที่ใช้หลักการการดัดแปลงฟังก์ชันที่ไม่เชิงเส้น (Nonlinear Function) โดยแบ่งให้เป็นส่วนย่อยหลาย ๆ ส่วน แล้วนำแต่ละส่วนย่อยมาคำนวณหาความสัมพันธ์โดยใช้ฟังก์ชันถดถอยเชิงเส้น โดยในการสร้างแบบจำลองด้วยวิธี M5 จะประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการสร้างต้นไม้ ขั้นตอนการตัดกิ่ง และขั้นตอนการทำให้เรียบ [8]

2.4. วิธีการสุ่มป่าไม้ (Random Forest)

เป็นหนึ่งในวิธีที่ได้รับความนิยมสำหรับการแก้ปัญหาการจำแนกและการวิเคราะห์ถดถอย โดยวิธีการสุ่มป่าไม้เป็นวิธีที่ได้รับการต่อยอดมาจากวิธีต้นไม้ตัดสินใจ แต่ต่างกันที่วิธีการสุ่มป่าไม้เป็นการเพิ่มจำนวนต้นไม้เป็นหลายๆ ต้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการพยากรณ์และป้องกันการเกิดปัญหาการเรียนรู้เกินความเป็นจริง (Over Fitting) ซึ่งวิธีการสุ่มป่าไม้มีหลักการทำงาน คือ จะแบ่งข้อมูลออกเป็นต้นไม้ตัดสินใจหลายๆ ต้น โดยจะสร้างจากการสุ่มข้อมูลตัวอย่างแบบเลือกแล้วใส่กลับ ทำให้ต้นไม้ตัดสินใจแต่ละต้นจะได้รับคุณลักษณะและข้อมูลที่ไม่เหมือนกันทั้งหมด เพื่อให้ต้นไม้ตัดสินใจมีความหลากหลายและมีเป็นอิสระต่อกันมากขึ้น สำหรับค่าพยากรณ์ที่เหมาะสมของการแก้ปัญหาการวิเคราะห์ถดถอย จะคำนวณจากค่าเฉลี่ยของค่าพยากรณ์ของต้นไม้ตัดสินใจแต่ละต้น [9]

3. วิธีการการวิจัย

การวิจัยนี้ได้ศึกษาหาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหวานของอ้อย โดยใช้วิธีการถดถอยแบบขั้นบันได (Stepwise Regression) จากนั้นนำปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหวานของอ้อยมาใช้ในการสร้างแบบจำลองที่ใช้ในการพยากรณ์ค่าความหวานของอ้อย โดยมีรายละเอียดขั้นตอน ดังนี้

3.1. การเตรียมข้อมูล

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหวานของอ้อยมีหลากหลายงานวิจัย ตัวอย่างเช่น Prasit et al. (2013) [10] ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการพยากรณ์ค่าความหวานของอ้อยในฤดูกาลหีบอ้อย

โดยเก็บข้อมูลในรูปของอุณหภูมิและค่าความชื้นสะสม Hongthong et al. (2017) [11] ได้ศึกษาปัจจัยสาเหตุของความผันแปรรายวันของค่าความหวานของอ้อยในช่วงฤดูกาลหีบอ้อย โดยได้ศึกษาปัจจัยเกี่ยวกับอ้อยจำนวน 12 ปัจจัย Pelioia et al. (2019) [12] ได้สร้างต้นไม้ตัดสินใจสำหรับการพยากรณ์ผลผลิตของโรงงานน้ำตาลโดยมีปัจจัยที่ใช้ในการสร้างต้นไม้จำนวน 68 ปัจจัย ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษาปัจจัยที่ถูกเลือกใช้ในหลายงานวิจัย ปัจจัยที่สามารถเก็บได้ตามข้อกำหนดและปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อค่าความหวานของอ้อย

โดยข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยถูกรวบรวมจากโรงงานน้ำตาลแห่งหนึ่งในจังหวัดสิงห์บุรี และเกษตรกรที่ส่งอ้อยให้โรงงานน้ำตาล ในช่วงฤดูกาลผลิตปี พ.ศ. 2565-2566 ซึ่งแบ่งกลุ่มปัจจัยที่จะถูกนำมาพิจารณาในการค้นหาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหวานของอ้อยออกเป็น 2 กรณี ได้แก่

กรณีที่ 1 พิจารณากลุ่มปัจจัยที่เกี่ยวกับการปลูกอ้อยจำนวน 13 ปัจจัย ประกอบด้วย สายพันธุ์อ้อย ประเภทของอ้อย ประเภทของดิน ประเภทของปุ๋ย ระยะเวลาปลูกอ้อย ลักษณะในการตัดอ้อย ปริมาณน้ำฝนสะสม ปริมาณน้ำฝนมากที่สุด จำนวนวันที่ฝนตกตลอดปี ประเภทของแหล่งน้ำที่ใช้ การใช้ประโยชน์จากที่ดินก่อนการปลูกอ้อย เวลาที่ใช้เดินทางจากไร่ถึงโรงงาน และค่าความหวานของอ้อย และกรณีที่ 2 พิจารณากลุ่มปัจจัยที่เกี่ยวกับการปลูกอ้อย ร่วมกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการดูแลระหว่างการปลูกอ้อยอีกจำนวน 4 ปัจจัย ได้แก่ จำนวนครั้งในการใส่ปุ๋ยตลอดการปลูก ระยะห่างในการใส่ปุ๋ย จำนวนครั้งในการกำจัดวัชพืช และจำนวนครั้งในการให้น้ำตลอดการปลูก รวมเป็น 17 ปัจจัย

ข้อมูลปัจจัยผ่านการคัดกรองและกำจัดข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์หรือขาดหายทิ้ง ออกจากข้อมูลทั้งหมดด้วยวิธีตัดแถวข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ (List wise Deletion) และแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปมาตรฐานด้วยวิธี Min-Max Normalization เพื่อลดความเอนเอียงของข้อมูล

3.2. การวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหวานของอ้อย

การวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหวานของอ้อย จะถูกแบ่งออกเป็น 2 กรณีดังที่ได้กล่าวมาในหัวข้อ 3.1. สำหรับการคัดเลือกปัจจัยงานวิจัยนี้ได้ใช้การคัดเลือกปัจจัยด้วยวิธีการถดถอยแบบขั้นบันได ซึ่งปัจจัยที่ถูกวิเคราะห์ว่ามีผลต่อค่าความหวานของอ้อยจะถูกนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองที่ใช้ในการพยากรณ์ค่าความหวานต่อไป

3.3. การสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ค่าความหวานของอ้อย

ในการสร้างแบบจำลองที่ใช้ในการพยากรณ์ค่าความหวานของอ้อยจะใช้ข้อมูลปัจจัยที่ได้จากการคัดกรองด้วยวิธีการถดถอยแบบขั้นบันไดเป็นข้อมูลนำเข้า (Input) ให้กับแบบจำลองที่สร้างขึ้นจากวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) วิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) และวิธีการสุ่มป่าไม้ (Random Forest) โดยข้อมูลนำเข้านั้นจะถูกแบ่งออกเป็นชุดข้อมูลสำหรับแบบจำลองได้เรียนรู้เพื่อค้นหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหวานของอ้อยกับค่าความหวานของอ้อย และชุดข้อมูลสำหรับทดสอบประสิทธิภาพในการพยากรณ์ค่าความหวานของอ้อยของแบบจำลองที่สร้างขึ้น งานวิจัยนี้ใช้วิธีการแบ่งข้อมูลแบบตรวจสอบ

ไขว้ (K-fold Cross Validation) กล่าวคือ ข้อมูลทั้งหมดจะถูกแบ่งออกเป็น K กลุ่ม โดยข้อมูลทุกกลุ่มจะถูกสลับเป็นทั้งชุดข้อมูลเรียนรู้และชุดข้อมูลทดสอบ เช่น หากใช้ $K=3$ ข้อมูลทั้งหมดจะถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ในครั้งแรกข้อมูลในกลุ่มที่ 1 และ 2 จะถูกใช้เป็นข้อมูลสำหรับให้แบบจำลองได้เรียนรู้เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหวานของอ้อยกับค่าความหวานของอ้อย และข้อมูลกลุ่มที่ 3 จะถูกนำไปใช้เป็นชุดข้อมูลสำหรับทดสอบประสิทธิภาพในการพยากรณ์ค่าความหวานของอ้อย ในครั้งที่สอง ข้อมูลกลุ่มที่ 1 และ 3 จะถูกใช้เป็นข้อมูลสำหรับให้แบบจำลองได้เรียนรู้เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหวานของอ้อยกับค่าความหวานของอ้อย และข้อมูลกลุ่มที่ 2 จะถูกนำไปใช้เป็นชุดข้อมูลสำหรับทดสอบประสิทธิภาพในการพยากรณ์ค่าความหวานของอ้อย

และในครั้งที่สาม ข้อมูลกลุ่มที่ 2 และ 3 จะถูกใช้เป็นข้อมูลสำหรับให้แบบจำลองได้เรียนรู้เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหวานของอ้อยกับค่าความหวานของอ้อย และข้อมูลกลุ่มที่ 1 จะถูกนำไปใช้เป็นชุดข้อมูลสำหรับทดสอบประสิทธิภาพในการพยากรณ์ค่าความหวานของอ้อย เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ K มีค่าเท่ากับ 2 ถึง 5 และทำการสุ่มแบ่งข้อมูลในแต่ละ K จำนวน 20 ครั้ง เพื่อลดความเอนเอียงในการสุ่มข้อมูล

3.4. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองการพยากรณ์

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลองการพยากรณ์สามารถใช้ได้หลายวิธี โดยงานวิจัยนี้จะใช้

วิธีรากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) [12] ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับ ความนิยมและแปลผลง่าย RMSE สามารถคำนวณได้ จากสมการ

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i' - Y_i)^2} \quad (1)$$

โดยที่ Y_i' คือ ค่าข้อมูลจากการพยากรณ์

Y_i คือ ค่าข้อมูลจริง

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

4. ผลการวิจัย

4.1. ผลการคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหวาน ของอ้อย

ผลการคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหวานของ อ้อย โดยใช้วิธีการถดถอยแบบขั้นบันไดผ่านโปรแกรม สำเร็จรูป IBM SPSS Statistics v.23 แบ่งออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 เมื่อพิจารณาปัจจัยนำเข้า 12 ปัจจัย และ ปัจจัยส่งออก 1 ปัจจัย จากข้อมูลจำนวน 383 ข้อมูล พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหวานของอ้อย ได้แก่ ระยะเวลาปลูกอ้อย ประเภทของอ้อย ลักษณะในการ ตัดอ้อย ปริมาณน้ำฝนมากที่สุด และการใช้ประโยชน์ จากที่ดินก่อนการปลูกอ้อย รวม 5 ปัจจัย

กรณีที่ 2 เมื่อพิจารณาปัจจัยนำเข้า 16 ปัจจัย และ ปัจจัยส่งออก 1 ปัจจัย จากข้อมูลจำนวน 103 ข้อมูล พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหวานของอ้อย ได้แก่ ระยะเวลาปลูกอ้อย ประเภทของอ้อย จำนวนวันที่ฝน ตก ระยะห่างในการใส่ปุ๋ยตลอดการปลูก และปริมาณ น้ำฝนสะสม รวม 5 ปัจจัย แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1

ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหวานของอ้อย

ปัจจัยที่ศึกษา	ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหวานของอ้อย	
	กรณี 1	กรณี 2
1. สายพันธุ์อ้อย		
2. ประเภทของอ้อย	✓	✓
3. ประเภทของดิน		
4. ประเภทของปุ๋ย		
5. ระยะเวลาปลูก	✓	✓
6. ลักษณะในการตัดอ้อย	✓	
7. ปริมาณน้ำฝนสะสม		✓
8. ปริมาณน้ำฝนมากที่สุด	✓	
9. จำนวนวันที่ฝนตก		✓
10. ประเภทของแหล่งน้ำที่ใช้		
11. การใช้ประโยชน์จากที่ดิน	✓	
12. เวลาที่ใช้ในการเดินทาง		
13. จำนวนครั้งในการใส่ปุ๋ย		
ปัจจัยที่ศึกษา	ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหวานของอ้อย	
	กรณี 1	กรณี 2
14. ระยะห่างในการใส่ปุ๋ย		✓
15. จำนวนครั้งในการกำจัดวัชพืช		
16. จำนวนครั้งในการให้น้ำตลอดการปลูก		

4.2. ประสิทธิภาพแบบจำลองการพยากรณ์ค่า

ความหวานของอ้อย

ตารางที่ 2

ค่า RMSE ของแบบจำลองที่สร้างขึ้นจากการใช้ปัจจัยกรณี 1 เป็นข้อมูลนำเข้า

K-fold	แบบจำลองค่าความหวานของอ้อย		
	โครงข่ายประสาทเทียม	ต้นไม้ตัดสินใจ	การสุ่มป่าไม้
K – fold 2	1.2945	1.0805	1.0788
K – fold 3	1.1885	1.0740	1.0738
K – fold 4	1.1648	1.0689	1.0683
K – fold 5	1.1801	1.0996	1.0779

ตารางที่ 3

ค่า RMSE ของแบบจำลองที่สร้างขึ้นจากการใช้ปัจจัยกรณี 2 เป็นข้อมูลนำเข้า

K-fold	แบบจำลองค่าความหวานของอ้อย		
	โครงข่ายประสาทเทียม	ต้นไม้ตัดสินใจ	การสุ่มป่าไม้
K – fold 2	1.5986	1.3881	0.9059
K – fold 3	1.3384	0.9249	0.8727
K – fold 4	1.3230	0.9188	0.8613
K – fold 5	1.2003	0.9377	0.8507

สำหรับการสร้างแบบจำลองค่าความหวานของอ้อย จะสร้างผ่านโปรแกรมสำเร็จรูป WEKA 3.8.3 และการกำหนดพารามิเตอร์ของวิธีโครงข่ายประสาทเทียมจะกำหนดอัตราการเรียนรู้ (Learning Rate) เท่ากับ 0.1 ค่าโมเมนตัม (Momentum) เท่ากับ 0.1 และรอบการเรียนรู้ (Learning Cycle) เท่ากับ 5,000 รอบ

จากตารางที่ 2 และ 3 แสดงให้เห็นว่า แบบจำลองที่สร้างขึ้นจากการใช้ปัจจัยที่ได้จากวิธีการถดถอยแบบขั้นบันไดร่วมกับวิธีการสุ่มป่าไม้มีความแม่นยำในการพยากรณ์ค่าความหวานของอ้อยมากกว่าวิธีต้นไม้

ตัดสินใจ และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม ในทุกระดับ K เนื่องจากเป็นวิธีที่ให้ค่า RMSE ต่ำสุด

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหวานของอ้อยโดยใช้วิธีการถดถอยแบบขั้นบันได และสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ค่าความหวานของอ้อยด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม วิธีต้นไม้ตัดสินใจ และวิธีการสุ่มป่าไม้ โดยแบ่งกลุ่มปัจจัยที่ศึกษาออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 กลุ่มปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการปลูกอ้อย จำนวน 13 ปัจจัย และกรณีที่ 2 กลุ่มปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการปลูกอ้อยร่วมกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการดูแลระหว่างการปลูกอ้อย จำนวน 17 ปัจจัย ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหวานของอ้อย พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหวานของอ้อยของกรณีที่ 1 ประกอบด้วย ระยะเวลาปลูก ประเภทของอ้อย ลักษณะในการตัดอ้อย ปริมาณน้ำฝนมากที่สุด และการใช้ประโยชน์จากที่ดิน ก่อนการปลูกอ้อย รวม 5 ปัจจัย ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหวานของอ้อยกรณีที่ 2 ประกอบด้วย ระยะเวลาปลูก ประเภทของอ้อย จำนวนวันที่ฝนตก ระยะห่างในการใส่ปุ๋ยตลอดการปลูก และปริมาณน้ำฝนสะสม รวม 5 ปัจจัย ซึ่งจากปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหวานของอ้อยกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 พบว่า ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำฝนสอดคล้องกับงานวิจัยของ Prasit et al. ที่ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการพยากรณ์ค่าความหวานของอ้อยในช่วงฤดูกาลหีบอ้อยให้อยู่ในรูปของอุณหภูมิและปริมาณ ส่วนปัจจัยระยะเวลาปลูกอ้อยสอดคล้องกับผลการศึกษาปัจจัยสาเหตุความผันแปรของความ

หวานอ้อยในฤดูกาลเก็บอ้อยของ Hongthong et al. สำหรับการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์วิธีการสุ่มป่าไม้มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ค่าความหวานของอ้อยมากกว่าวิธีต้นไม้ตัดสินใจ และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม เนื่องจากเป็นวิธีที่เพิ่มความแม่นยำ (Accuracy) จากการสร้างต้นไม้หลายๆ ต้น และมีการป้องกันการเกิดปัญหาการเรียนรู้ดีเกินความเป็นจริง (Over Fitting) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของกฤษฎาณ [13] ที่ได้ทำการเปรียบเทียบแบบจำลองสำหรับจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม วิธีต้นไม้ตัดสินใจ วิธีการสุ่มป่าไม้ และวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์ ซึ่งผลการวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ทั้งโรงงานน้ำตาลและเกษตรกร โดยโรงงานน้ำตาลสามารถคาดการณ์ผลผลิตน้ำตาลได้ล่วงหน้าด้วยแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพ ส่วนเกษตรกรสามารถนำไปวางแผนการปลูกอ้อยเพื่อเพิ่มรายได้ในฤดูกาลผลิตต่อไปได้ อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้เป็นการศึกษาที่มีข้อจำกัดในการเก็บรวบรวมข้อมูล และศึกษาการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์เพียง 3 วิธีเท่านั้น ซึ่งในอนาคตสามารถปรับเปลี่ยนเพิ่มเติม ปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวกับการปลูกอ้อย หรือศึกษาการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ให้เหมาะสมกับข้อมูลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการพยากรณ์มากขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาล. รายงานสถานการณ์การปลูกอ้อยปีการผลิต 65/66 (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 24 สิงหาคม 2566]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.ocsb.go.th/upload/journal/fileupload/13813-1585.pdf>
- [2] เกษม สุขสถาน. อ้อย (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 สิงหาคม 2566]. เข้าถึงได้จาก : <http://saranukromthai.or.th/sub/book/book.php?book=5&page=main>
- [3] อัดพล คุณเลิศ. การศึกษาแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณผลผลิตข้าว [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2557.
- [4] ดวงเดือน อ่องรุ่งเรือง, ศุภศิริ ไทยวิรัช, วินทนี ประจวบศุภกิจ. ตัวแบบการพยากรณ์ปริมาณการจัดเก็บวัสดุอะไหล่ในคลังโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง: กรณีศึกษาบริษัทผลิตปูนซีเมนต์. PSRU Journal of Science and Technology. 2020; 5(1): 81-92.
- [5] Nieto PJ, Gonzala EG, Garcia LA, Prado LA, Sanchez AB. Predicting the critical superconducting temperature using the random forest, MLP neural network, M5 model tree and multivariate linear regression. Alexandria Engineering Journal. 2024; 86: 144-156.
- [6] ธิดาเดียว มยุรีสุวรรณ. การคัดเลือกตัวแปรและการสร้างตัวแบบ. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น: ขอนแก่น; 2558.
- [7] ธนาวุฒิ ประกอบผล. โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network). วารสารมชกวิชาการ. 2552; 12: 73-87.

- [8] Ditthakit P, Chinnarasri C. Estimation of pan coefficient using M5 model tree. *American Journal of Environmental Sciences*. 2012; 8: 95-103.
- [9] สุภาภรณ์ พัฒนาวาส์ปราการ. การวิเคราะห์เทคนิคการจำแนกประเภทข้อมูลกรณีศึกษา การทำนายระดับชั้นผู้รับเหมาก่อสร้างสำหรับโครงการก่อสร้างของภาครัฐ [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2563.
- [10] Somjinda P, Trakootingcharoen P, Sangkhasila K. Mathematical Model for Predicting the Effects of Air Temperature and Heat Degree Days. *Journal of Science and Technology Kasetsart University*. 2013; 2: 31-55.
- [11] Hongthong P, Patanothai A. Causal Factors of Daily Variation in Commercial Cane Sugar Value of Processed sugarcane Throughout the Milling Season in Northeast Thailand. *Thai Journal of Agricultural Science*. 2017; 50: 49-65.
- [12] Peloia PR, Bocca FF, Rodrigues LHA. Identification of patterns for increasing production with decision trees in sugarcane mill data. *Science Agricola*. 2019; 76(4): 281-289.
- [13] กฤษฎาณ อินทร์ตัน. การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินในจังหวัดนครนายกด้วยอัลกอริทึมการเรียนรู้เครื่องและภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-2. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*. 2565; 27: 1153-1171.
- [14] ขนิษฐา กุลนาวิน, วันเพ็ญ โพธิ์เกษม และ ศันสนีย์ เลี้ยงพานิชย์. การออกแบบแบบจำลองการพยากรณ์ผลผลิตมันสำปะหลังในเขตพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาด้วยเทคนิคเมื่องข้อมูล. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 2565; 1: 1-16.



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

รูปแบบการจัดการสินค้าคงคลังที่อาศัยวิธีการเรียนรู้ของเครื่องสำหรับพยากรณ์ความต้องการในอุตสาหกรรมตะแกรงเหล็กไวร์เมช

Inventory Management Approach Based on Machine Learning Model for Demand Forecasting in the Steel Wire Mesh Industry

นนทพัทธ์ สุกolkit¹⁾ ศิรวดี อรัญนารต¹⁾ และ อาทิตย์ อภิโชติธนกุล^{1, 2)*}Nonthaphat Sukolk¹⁾ Sirawadee Arunyanart¹⁾ and Arthit Apichottanakul^{1, 2)*}¹⁾ ศูนย์วิจัยห่วงโซ่อุปทานและระบบโลจิสติกส์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น²⁾ สาขาวิชาเทคโนโลยีระบบการผลิตและการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น¹⁾ Supply Chain and Logistics System Research Unit, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University²⁾ Department of Production System Technology and Industrial Management, Faculty of Technology, Khon Kaen University

Received: 29 February 2024

Revised: 23 April 2024

Accepted: 23 April 2024

Available online: 26 June 2024

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการจัดการสินค้าคงคลังมีบทบาทสำคัญต่อความสำเร็จและความยั่งยืนของธุรกิจ อีกทั้งความต้องการและราคาเหล็กในปัจจุบันมีความผันผวนเป็นอย่างมาก ส่งผลให้งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอการจัดการสินค้าคงคลัง โดยอาศัยการพยากรณ์ยอดขายตะแกรงเหล็กไวร์เมช โดยทำการพยากรณ์สามวิธี ได้แก่ Holt-Winters, Random Forest และ XGBoost และใช้การแบ่งข้อมูลออกเป็นชุดเรียนรู้และชุดทดสอบ โดยแบ่งเป็นสองอัตราส่วน จากการเปรียบเทียบพบว่าวิธี Random Forest ให้ค่าความแม่นยำในการพยากรณ์สูงสุดที่อัตราส่วน 90:10 โดยมีค่าร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย 4.50 เมื่อได้แบบจำลองการพยากรณ์ที่มีความ

แม่นยำแล้ว จึงนำข้อมูลความต้องการเข้ารูปแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อวางแผนนโยบายสินค้าคงคลังแบบ (Q, r) และกำหนดนโยบายการสั่งซื้อวัสดุดิบ โดยเป็นการกำหนดการสั่งซื้อที่ประหยัดที่สุดและจุดสั่งซื้อใหม่เพื่อให้ต้นทุนในการบริหารจัดการสินค้าต่ำที่สุด ผลจากรูปแบบทางคณิตศาสตร์พบว่าสามารถลดต้นทุนรวมของโรงงานในการวางแผนการจัดการนโยบายสินค้าคงคลังได้ถึงร้อยละ 4.75 และต้นทุนที่ได้จากข้อมูลการพยากรณ์ได้มีความใกล้เคียงกับค่าข้อมูลจริง

คำสำคัญ: นโยบายสินค้าคงคลัง การสั่งซื้อที่ประหยัดที่สุด จุดสั่งซื้อใหม่ การพยากรณ์ การเรียนรู้ของเครื่อง

Abstract

Nowadays, inventory management plays an important role in the success and sustainability of a business. Moreover, the current demand and price of steel fluctuate significantly. As a result, the objective of this research is to propose inventory management based on the sales forecast of the steel wire mesh. It performed predictions using three methods: Holt-Winters, Random Forest, and XGBoost. The data were divided into a train set and a test set, with two ratios. From the comparison, it was found that the Random Forest method yielded the highest forecast accuracy at a ratio of 90:10 with a mean absolute percentage error of 4.50. After obtaining an accurate forecast model, the research incorporated demand data into mathematical models to plan inventory policies (Q, r) and determine raw material purchasing policies. It determined the most economical order quantity and re-ordering points for the minimum inventory management costs. The results from the mathematical model revealed that it is possible to reduce the overall cost of factory operations in inventory management planning by up to 4.75% and the costs obtained from the forecast data were close to the actual data values.

Keywords: Inventory policy: Economic order quantity: Reorder point: Forecasting: Machine learning

*ติดต่อ: arthap@kku.ac.th

1. บทนำ

ปัจจุบันการจัดการสินค้าคงคลังมีบทบาทสำคัญต่อความสำเร็จและความยั่งยืนของธุรกิจในอนาคตมากขึ้น โดยใช้การจัดการระดับสินค้าคงคลังอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้ธุรกิจสามารถใช้ทรัพยากรให้เกิด

ประโยชน์สูงสุด ลดต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการมีสินค้าคงคลังที่สูงเกินไป นอกจากนี้ยังช่วยให้สามารถวางแผนการทำงานได้ดีขึ้น และช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดของเสีย [1] โดยงานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการจัดการสินค้าคงคลังโดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุที่

เกี่ยวข้องกับเหล็ก ซึ่งเป็นหนึ่งในองค์ประกอบพื้นฐานสำหรับการก่อสร้าง การผลิต และโครงสร้างพื้นฐานหนึ่งในวัสดุที่นำเหล็กมาแปรรูปที่มีความน่าสนใจในปัจจุบัน คือ ตะแกรงเหล็กไวร์เมช (Steel wire mesh) [2] โดยเหล็กชนิดนี้เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการก่อสร้างถนน เป็นวัสดุที่ช่วยเสริมแรงและความมั่นคงให้กับพื้นผิวคอนกรีต และมักถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ เช่น การสร้างถนน สะพาน และเขื่อน โดยหน้าที่หลักของตะแกรงเหล็กไวร์เมช คือ ช่วยกระจายน้ำหนักในวัสดุที่นำไปเสริมแรง ซึ่งสามารถช่วยลดอาการแตกร้าวและการเกิดความล้าของวัสดุได้ อีกทั้งยังช่วยยืดอายุการใช้งานของถนนและลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา นอกจากนี้ยังช่วยให้กระบวนการก่อสร้างเร็วขึ้นอีกด้วย

อย่างไรก็ตามความต้องการและราคาเหล็กในปัจจุบันกลับมีความผันผวนอย่างมาก ซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยต่างๆ รวมถึงภาวะทางเศรษฐกิจโดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศกำลังพัฒนาที่มีแนวโน้มต่อความต้องการเหล็กที่เพิ่มสูงขึ้น [1] ส่งผลให้การคาดการณ์ความต้องการมีความจำเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นวิธีที่จะช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถวางแผนและจัดสรรทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การตอบสนองความต้องการของลูกค้าโดยที่สามารถควบคุมต้นทุนให้ต่ำได้ เป็นปัจจัยที่สามารถสร้างความได้เปรียบในภาคอุตสาหกรรม โดยการมีวัตถุดิบหรือสินค้าคงคลังให้น้อยที่สุด เนื่องจากการมีวัตถุดิบหรือสินค้าคงคลังจะก่อให้เกิดต้นทุนทั้งในด้านการดูแลวัตถุดิบหรือสินค้า รวมถึงต้นทุนอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับถือครองวัตถุดิบหรือสินค้า การจัดการระบบสินค้าคงคลังเป็นอีกหนึ่งสิ่งที่ดีสำหรับส่วน

ใหญ่ให้ความสำคัญเป็นอันดับต้นๆ เนื่องจากอุตสาหกรรมในปัจจุบันเกิดความไม่แน่นอนจากปัจจัยต่างๆ บ่อยครั้ง ไม่ว่าจะเป็นความไม่แน่นอนของเครื่องจักร แรงงาน แหล่งวัตถุดิบ และที่สำคัญที่สุดคือ ความไม่แน่นอนของความต้องการของลูกค้า อย่างไรก็ตามเพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ทันเวลา จึงทำให้สินค้าคงคลังสำรองมีบทบาทอย่างมาก แต่การจัดเก็บสินค้าคงคลังสำรองที่มีมากเกินไป อาจทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บวัตถุดิบหรือสินค้า

จากความสำคัญที่กล่าวมาข้างต้นส่งผลให้ผู้วิจัยทำการศึกษาวิธีการวางแผนนโยบายการสั่งซื้อวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมตะแกรงเหล็กไวร์เมช โดยเริ่มจากการประยุกต์ใช้วิธีพยากรณ์ต่างๆ ที่มีความแม่นยำเพื่อพยากรณ์ยอดขาย และทำการสร้างรูปแบบทางคณิตศาสตร์ในการวางแผนการสั่งซื้อวัตถุดิบให้เหมาะสมเพื่อลดต้นทุนรวมในการสั่งซื้อวัตถุดิบ การศึกษานี้ใช้วิธีการพยากรณ์อนุกรมเวลาแบบไม่แปรผัน (Univariate time series forecasting) เพื่อคาดการณ์ความต้องการของตะแกรงเหล็กไวร์เมชสำหรับบริษัทผลิตตะแกรงเหล็กในประเทศไทย โดยใช้วิธี Holt-Winters, Random Forest และ XGBoost เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการพยากรณ์แต่ละวิธี รวมถึงใช้การแบ่งชุดข้อมูลการเรียนรู้และการทดสอบ จากนั้นวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองการพยากรณ์โดยใช้การวัดผล 2 ค่า ได้แก่ รากที่สองของค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) และค่าร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) จากนั้นนำข้อมูลที่พยากรณ์ได้จากแบบจำลองที่มีความ

แม่นยำที่สุดไปใช้ในการวางแผนการสั่งซื้อวัตถุดิบเพื่อกำหนดปริมาณในการสั่งซื้อในแต่ละครั้งและจุดในการสั่งซื้อใหม่ โดยใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์กำหนดนโยบายสินค้าคงคลังแบบ (Q, r) และหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) เพื่อให้ได้ต้นทุนรวมของนโยบายการสั่งซื้อต่ำที่สุด

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ธีระพงษ์ และคณะ รวมไปถึง ธนัยชนกและอมรินทร์ ได้ศึกษาวิธีการพยากรณ์ยอดขายสินค้าแช่แข็งและยางชิลิโคนตามลำดับ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการพยากรณ์ จากนั้นใช้ข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์กำหนดจำนวนในการสั่งซื้อวัตถุดิบโดยพิจารณาจากต้นทุนต่าง ๆ [3],[4] กุลบัณฑิต และคณะ มีเป้าหมายในลดต้นทุนสินค้าคงคลังโดยใช้วิธีการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลา เพื่อหาปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด จุดสั่งซื้อซ้ำในการควบคุมต้นทุนสินค้าคงคลัง และลดปริมาณสินค้าเสื่อมสภาพ [5] Koo และคณะ Sugiarto และคณะ รวมไปถึง Makatjane และ Moroke ใช้ Holt-Winters เพื่อคาดการณ์ปริมาณไฟฟ้าและยอดขายในระยะสั้น โดยงานวิจัยเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงความสามารถของ Holt-Winters ในการคาดการณ์ ซึ่งสามารถช่วยปรับปรุงการวางแผนการจัดการและการตัดสินใจ [6-8] โดยวิธี Holt-Winters สามารถใช้งานได้ดีในชุดข้อมูลขนาดเล็กถึงขนาดกลางที่มีฤดูกาลหรือรูปแบบของข้อมูลชัดเจน อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันการพยากรณ์ด้วยวิธีทางสถิติเป็นวิธีการที่ต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจและความชำนาญอย่างมากในการเลือกใช้วิธีการพยากรณ์ให้เหมาะสม หากขาดความเชี่ยวชาญจะ

ส่งผลให้ไม่สามารถนำการพยากรณ์ไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ผู้วิจัยจำนวนมากหันมาใช้วิธีการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine learning) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการพยากรณ์ข้อมูล เนื่องจากการแจกแจงของข้อมูลและการถูกรบกวนของข้อมูลไม่มีผลต่อการพยากรณ์ ส่งผลให้บางวิธีมีความแม่นยำและความยืดหยุ่นสูงกว่าการใช้วิธีทางสถิติทั่วไป

Costas และคณะ รวมถึง Ledmaoui และคณะ ใช้วิธี Random Forest และ XGBoost ในการพยากรณ์การใช้ไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่และการผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ตามลำดับ ผลจากการศึกษาเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการพยากรณ์ที่มีความน่าสนใจ [9],[10] Nasser และคณะ พบแนวทางในการประเมินประสิทธิภาพที่ใช้วิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) เป็นพื้นฐาน ในการพยากรณ์ช่วงของข้อมูลที่แตกต่างกัน เช่น การพยากรณ์ระยะสั้น ระยะกลาง และระยะยาว [11] Jnr และ Ziggah ใช้ข้อมูลความต้องการรายชั่วโมงสำหรับการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าโดยใช้วิธี Random Forest และวัดผลโดยใช้รากที่สองของค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย และค่าร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย [12] Kabir และคณะ ได้เปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์หลายวิธีรวมถึง Random Forest เพื่อคาดการณ์และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต จากผลการเปรียบเทียบพบว่า Random Forest เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการคาดการณ์ [13] จากงานวิจัยของ Akande และคณะ รวมไปถึง Zhu และคณะ ได้ทำการศึกษาการใช้ XGBoost สำหรับคาดการณ์ยอดขาย และความต้องการอะไหล่รถยนต์ตามลำดับ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากรากที่สองของค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยและ

คำร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย พบว่าวิธี XGBoost สามารถใช้คาดการณ์ยอดขายและความต้องการชิ้นส่วนอะไหล่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [14],[15] XGBoost เป็นแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่องที่มีประสิทธิภาพสูงและถูกใช้กันอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตามการปรับไฮเปอร์พารามิเตอร์มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพในการพยากรณ์เป็นอย่างมาก [16] วிரากานต์ และคณะ สร้างแบบจำลองการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ของเครื่องยนต์อากาศยานด้วยวิธี XGBoost และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการคาดการณ์ความเสียหายของเครื่องยนต์อากาศยาน [17] ปวีริศ และพิศิษฐ์ ได้พัฒนาด้านแบบการพยากรณ์โดยใช้วิธี XGBoost เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่งสินค้า [18]

การพยากรณ์ยอดขายที่มีความแม่นยำและถูกต้องเป็นเป้าหมายที่สำคัญสำหรับการวางแผนที่ต้องอาศัยการตัดสินใจ และมีความเสี่ยงมาเกี่ยวข้อง ยกตัวอย่างเช่น วางแผนการสั่งซื้อวัตถุดิบ วางแผนการผลิต วางแผนการขนส่ง เป็นต้น หากการพยากรณ์มีค่าที่ถูกต้องแม่นยำส่งผลให้เกิดความได้เปรียบในการแข่งขันทางธุรกิจในอนาคต จากงานของ เมอร์ริญา และธัญภัส พบว่าบริษัทผู้ผลิตเหล็กสำหรับการก่อสร้าง เกิดปัญหาในกระบวนการสั่งซื้อวัตถุดิบ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดที่สุดของวัตถุดิบ จากผลการวิจัยพบว่าการใช้รูปแบบการสั่งซื้อที่เหมาะสมสามารถลดต้นทุนรวมได้ [1] พัชรา และเชษฐา ได้ศึกษาการจัดการวัตถุดิบคงคลังของบริษัทกรณีศึกษาเพื่อหาปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดที่สุด และการกำหนดจุดสั่งซื้อใหม่ที่ส่งผลให้เกิต้นทุนรวมต่ำที่สุด [19] ชูลีกร

Istiningrum และคณะ รวมถึง จิรายุ และปวีณา ได้ศึกษาการพยากรณ์ปริมาณความต้องการของบรรจุภัณฑ์ของกาแฟ และธุรกิจค้าวัสดุก่อสร้างตามลำดับ โดยหาปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดที่สุดและจุดสั่งซื้อใหม่ เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจในการสั่งซื้อวัตถุดิบได้อย่างเหมาะสม [20-22] ชีระพงษ์ และคมกฤษ ได้พยากรณ์ความต้องการของลูกค้า และสร้างแบบจำลองระดับคงคลังเป้าหมายในการกำหนดระดับสินค้าคงคลังที่เหมาะสม หลังจากนำค่าพยากรณ์เข้ามากำหนดนโยบายสินค้าคงคลัง พบว่าสามารถลดการจัดเก็บสินค้าคงคลังจากเดิมได้ และหากพิจารณาถึงต้นทุนการจัดเก็บ สามารถลดต้นทุนได้เช่นกัน โดยไม่ก่อผลให้เกิดภาวะการขาดส่งสินค้า [23]

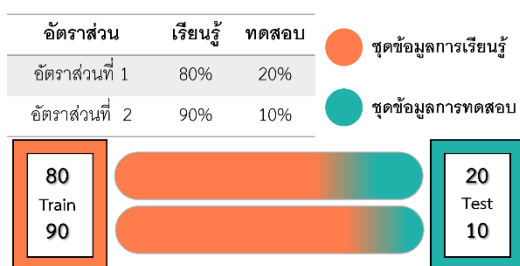
3. วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้สามารถแบ่งขั้นตอนการวิจัยได้เป็น 2 ส่วน ส่วนแรก คือ การพยากรณ์ความต้องการตะแกรงเหล็กไวร์เมชโดยใช้วิธีต่างๆ ส่วนที่สอง คือ กำหนดนโยบายการสั่งซื้อวัตถุดิบ การพยากรณ์ข้อมูลในงานนี้ใช้วิธีการพยากรณ์ที่หลากหลาย ได้แก่ Holt-Winters, Random Forest และ XGBoost วิธีการเหล่านี้มีจุดแข็งและการใช้งานที่แตกต่างกัน สามารถจัดการกับข้อมูลในรูปแบบที่หลากหลายและนำไปประยุกต์ใช้กับข้อมูลอนุกรมเวลาโดยเฉพาะ โดยเริ่มต้นจากการเลือกแบบจำลองการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำสูงที่สุด ทำการเขียนชุดคำสั่งโดยใช้ภาษา Python ผ่านโปรแกรม Google colaboryatory จากนั้นวางแผนนโยบายการสั่งซื้อวัตถุดิบโดยใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อกำหนดนโยบายสินค้าคงคลังแบบ (Q, r) โดยใช้ฟังก์ชัน Solver ในโปรแกรม

Microsoft Excel มีสมการเป้าหมายคือ ต้นทุนรวมของนโยบายการสั่งซื้อต่ำที่สุด โดยเป็นการกำหนดปริมาณการสั่งซื้อในแต่ละครั้ง และระดับการให้บริการโดยพิจารณาถึงต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนการถือครองสินค้า ต้นทุนการขนส่ง ต้นทุนคงที่ และค่าปรับจากการขาดส่งเป็นต้น

3.1. การเก็บรวบรวมข้อมูลและการเตรียมข้อมูล

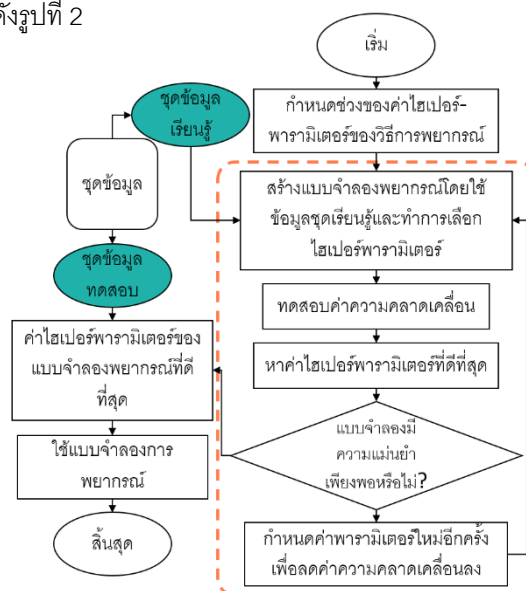
งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลยอดขายตะแกรงเหล็กไวร์เมชของบริษัทแห่งหนึ่งในประเทศไทย โดยเป็นข้อมูลย้อนหลังตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2556 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2566 ซึ่งเป็นข้อมูลยอดขายตะแกรงเหล็กไวร์เมชรวมโดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ได้ทำการแบ่งข้อมูล ออกเป็นข้อมูลการเรียนรู้ (Train) และข้อมูลการทดสอบ (Test) โดยแยกเป็นอัตราส่วนได้แก่ 80:20 และ 90:10 ดังรูปที่ 1 จากนั้นใช้กระบวนการล้างข้อมูล (Clean data) เพื่อจัดการกับข้อมูลดิบที่ไม่สมบูรณ์ และไม่ถูกต้อง วัตถุประสงค์ของกระบวนการนี้ คือ เพื่อแก้ไขข้อมูลที่ได้รับความเสี่ยง จากนั้นได้กำหนดข้อมูลในการคำนวณต้นทุนที่ใช้ในการวางแผนนโยบายการสั่งซื้อวัตถุดิบ



รูปที่ 1 การแบ่งชุดข้อมูลการเรียนรู้และชุดข้อมูลทดสอบ

3.2. การสร้างแบบจำลองการพยากรณ์

งานวิจัยนี้ใช้วิธีการพยากรณ์ต่างๆ ดังที่ได้กล่าวไปข้างต้น โดยวิธีเหล่านี้มีจุดแข็งและการใช้งานที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถใช้วิธีการเหล่านี้ในการจัดการกับรูปแบบการพยากรณ์กับข้อมูลอนุกรมเวลา โดยผลงานในการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 วิธีการในการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์

3.2.1. Holt-Winters

วิธี Holt-Winters หรือที่รู้จักกันในชื่อ Triple exponential smoothing เป็นวิธีที่ใช้กันทั่วไปในการพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีแนวโน้ม และฤดูกาลชัดเจน โดยใช้ค่าปรับให้เรียบสามค่า ได้แก่ α , β และ γ มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยที่ α เป็นตัวปรับน้ำหนักของระดับ β เป็นตัวปรับน้ำหนักของแนวโน้ม และ γ เป็นตัวปรับน้ำหนักของฤดูกาล โดยสมการหลักของวิธีนี้เป็นไปดังสมการที่ (1) และประกอบด้วยสมการย่อยดังสมการที่ (2)-(4) โดย

แบบจำลองการพยากรณ์จะทำการปรับค่าตัวแปรต่างๆ ให้เข้ากับค่าข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ โดยใช้การประมาณการแนวโน้มวิเคราะห์ระดับ และคำนวณองค์ประกอบตามฤดูกาลด้วยค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย วิธีนี้จึงมีความสามารถในการจับรูปแบบที่ซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทำให้วิธีนี้มีศักยภาพในการนำไปใช้ในการพยากรณ์ในข้อมูลรูปแบบต่าง ๆ

$$\hat{y}_{t+h} = l_t + hb_t + s_{t+h-m} \quad (1)$$

$$l_t = \alpha (y_t - s_{t-m}) + (1-\alpha)(l_{t-1} + b_{t-1}) \quad (2)$$

$$b_t = \beta (l_t - l_{t-1}) + (1-\beta)b_{t-1} \quad (3)$$

$$s_t = \gamma (y_t - l_{t-1} - b_{t-1}) + (1-\gamma)s_{t-m} \quad (4)$$

โดยที่ y_t คือ ข้อมูลจริง ณ เวลา t , l_t คือ ค่าประมาณการของระดับ ณ เวลา t , s_t คือ ค่าประมาณการของฤดูกาล ณ เวลา t , b_t คือ ค่าประมาณการของแนวโน้ม ณ เวลา t , l_{t-1} และ b_{t-1} คือ ค่าประมาณการของระดับและแนวโน้ม ณ เวลาก่อนหน้า ตามลำดับ, s_{t-m} คือ ส่วนประกอบตามฤดูกาล ณ เวลา t ปรับตามระดับ α , β และ γ พารามิเตอร์สำหรับการปรับให้เรียบของ ระดับ แนวโน้ม และฤดูกาล ตามลำดับ, h คือ ช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์

3.2.2. Random Forest

Random Forest เป็นแบบจำลองที่นำวิธีต้นไม้ตัดสินใจหลายต้นมาเรียนรู้ร่วมกัน (ตั้งแต่ 10 ต้นหรืออาจมากกว่า 1,000 ต้น) โดยที่ต้นไม้ตัดสินใจเป็นแบบจำลองแบบมีเงื่อนไข (Rule based) โดยไม่มีสมการมากำกับความสัมพันธ์ ต้นไม้ตัดสินใจแต่ละแบบใน Random Forest ถือว่าเป็นแบบจำลองที่มีความแม่นยำไม่สูงมากนัก (Weak learner) แต่เมื่อนำต้นไม้ตัดสินใจจำนวนหลายต้นมาทำการเรียนรู้

ร่วมกัน จะได้แบบจำลองรวมที่มีความแม่นยำมากกว่าแบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจแบบต้นเดียว โดยหลักการของ Random Forest เป็นการแบ่งข้อมูลจากชุดข้อมูลทั้งหมดให้ได้ข้อมูลออกมาจำนวน n ชุด ที่ไม่เหมือนกัน ตามจำนวนต้นไม้ตัดสินใจใน Random Forest ที่กำหนด ระหว่างการพยากรณ์ต้นไม้ตัดสินใจแต่ละต้นทำการพยากรณ์ในแบบจำลองของตัวเอง และเลือกผลการพยากรณ์สุดท้ายด้วยการใช้ผลการลงคะแนนที่ถูกเลือกจากต้นไม้ตัดสินใจมากที่สุด เมื่อแบบจำลองเป็นการจำแนกประเภทหรือ Classification หรือใช้การหาค่าเฉลี่ยจากผลลัพธ์ของต้นไม้ตัดสินใจเมื่อเป็นแบบจำลองการถดถอยหรือ Regression ข้อดีของวิธีการนี้คือสามารถใช้ได้กับข้อมูลที่มีโครงสร้างชัดเจน (ข้อมูลลักษณะเป็นแถวหรือเป็นตาราง) และข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้างชัดเจน (เช่น รูปภาพหรือตัวหนังสือ) อีกทั้งยังทำการปรับไฮเปอร์พารามิเตอร์ (Hyper-parameter tuning) ได้ง่ายและเกิดการจดจำมากกว่าเรียนรู้หรือที่เรียกว่า Overfitting

3.2.3. eXtreme Gradient Boosting

XGBoost มีหลักการคล้ายกับวิธี Random Forest เป็นการเรียนรู้แบบหลายแบบจำลองเรียนรู้ร่วมกันหรือ Multiple learners เป็นแบบจำลองที่นำวิธีต้นไม้ตัดสินใจมาเรียนรู้ต่อเนื่องกัน โดยที่ต้นไม้ตัดสินใจแต่ละต้นจะเรียนรู้จากค่าความผิดพลาดของต้นก่อนหน้า ทำให้ความแม่นยำในการพยากรณ์สูงขึ้น เมื่อมีการเรียนรู้ของแบบจำลองต่อเนื่องจนมีความลึกมากพอ และแบบจำลองจะหยุดเรียนรู้ต่อเมื่อไม่เหลือรูปแบบ (Pattern) ของค่าความผิดพลาดจากแบบจำลองก่อนหน้าให้เรียนรู้แล้ว สำหรับการเรียนรู้

สามารถแบ่งวิธีการเป็น 3 ตัว ดังนี้ Bagging, Boosting และ Stacking

- Bagging: คือการสร้างตัวเรียนรู้หลายตัว และให้แต่ละตัวเรียนรู้ชุดข้อมูลย่อยของข้อมูลทั้งหมด จากนั้นทำการลงคะแนนให้แบบจำลอง และพิจารณาว่าเสียงส่วนมากหรือหาค่าเฉลี่ยเพื่อพิจารณาว่าแบบจำลองควรตอบคำตอบอย่างไร

- Boosting: คือการเรียนรู้แบบเป็นลำดับโดยตัวเรียนรู้ก่อนหน้าเรียนรู้ แล้วนำข้อผิดพลาดของตัวเรียนรู้มาปรับปรุงตัวเรียนรู้ต่อไปเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนจากตัวเรียนรู้ก่อนหน้า ส่งผลให้แบบจำลองมีความแม่นยำที่สูงกว่าวิธี Bagging (ลดความลำเอียง) แต่อาจทำให้เกิด Overfitting ของแบบจำลองได้ง่าย

- Stacking: มีหลักการคล้ายกับ Boosting แต่มีการแบ่งแบบจำลองเรียนรู้จำนวนหลายกลุ่ม แล้วนำข้อมูลทั้งหมดให้แบบจำลองเรียนรู้ชุดแรกเรียน จากนั้นนำคำตอบของแบบจำลองเรียนรู้ชุดแรกมารวมกัน และส่งต่อไปให้แบบจำลองเรียนรู้ต่อไปมาเรียนรู้ต่อเนื่องกัน

XGBoost เป็นการรวมวิธีย่อย 3 วิธีที่ได้กล่าวไปข้างต้น ส่งผลให้มีความสามารถเพิ่มสูงขึ้นและมีความน่าสนใจ ยกตัวอย่างเช่น สามารถลดการเกิด Overfitting ของแบบจำลอง และสามารถจัดการกับข้อมูลที่ขาดหายได้แบบอัตโนมัติ เป็นต้น

3.3 การวัดผลแบบจำลองการพยากรณ์

ในงานนี้ผู้วิจัยใช้การวัดผลของวิธีการพยากรณ์โดยวัดค่าความคลาดเคลื่อนจากรากที่สองของค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยและค่าร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย ดังสมการที่ (5) และ (6) ตามลำดับ

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (5)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \quad (6)$$

โดยที่ n คือ จำนวนข้อมูล, y_i คือ ข้อมูลจริง ณ เวลา i และ $\hat{y}_i$ คือ ข้อมูลการพยากรณ์ ณ เวลา i

3.4 การประยุกต์ใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับวางแผนนโยบายสินค้าคงคลังแบบ (Q, r) เพื่อกำหนดนโยบายการสั่งซื้อวัตถุดิบ โดยเป็นการกำหนดการสั่งซื้อที่ประหยัดที่สุดและจุดสั่งซื้อใหม่ มีเป้าหมายในการลดต้นทุนการดำเนินงานให้ต่ำที่สุด โดยใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์ มีสัญลักษณ์และตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

ตารางที่ 1

ตัวแปร	คำอธิบาย	ค่าของตัวแปร
D	ความต้องการเฉลี่ยในหนึ่งช่วงเวลา (Mean demand)	ค่าจากการพยากรณ์
sd_D	ค่าส่วนเบี่ยงมาตรฐานของความถี่ความต้องการเฉลี่ยในหนึ่งช่วงเวลา (S.D. in demand)	ค่าจากการพยากรณ์
L	ระยะเวลาการรอคอยวัตถุดิบในหนึ่งช่วงเวลา (Lead time)	0.47 เดือน
sd_L	ค่าส่วนเบี่ยงมาตรฐานของระยะเวลาการรอคอยวัตถุดิบในหนึ่งช่วงเวลา (S.D. in lead time)	0.05 เดือน
K	ต้นทุนคงที่สำหรับการสั่งซื้อ โดยไม่คำนึงถึงปริมาณในการสั่งซื้อ (Fixed cost)	300,000 บาท/ครั้ง
P	ค่าปรับต่อหนึ่งหน่วยสินค้าเมื่อเกิดการขาดส่ง (Penalty cost)	70 บาท/ก.ก.

H	ต้นทุนการถือครองต่อหนึ่งหน่วย สินค้าในหนึ่งช่วงเวลา (Holding cost)	20 บาท/ ก.ก.
HP	ต้นทุนการถือครองต่อหนึ่งหน่วย สินค้าในหนึ่งช่วงเวลา ขณะการ ขนส่ง (Holding cost on pipeline)	20 บาท/ ก.ก.
CM	ต้นทุนการซื้อต่อหนึ่งหน่วยสินค้า (Purchase cost)	35 บาท/ ก.ก.
TC	ต้นทุนการขนส่งต่อหนึ่งหน่วย สินค้า (Transport cost)	3 บาท/ก.ก.

สมการเป้าหมาย (Objective function)

$$MIN = C_{Total}$$

โดยที่

$$โดยที่ C_{Total} = C_{ORD} + C_{CYC} + C_{SFT} + C_{PEN} + C_{PIPE} + C_{PURCH} + C_{TRANS}$$

C_{ORD} คือ ต้นทุนคงที่สำหรับการสั่งซื้อแต่ละครั้ง

$$โดยที่ C_{ORD} = (K * \frac{D}{Q})$$

C_{CYC} คือ ต้นทุนการถือครองสินค้า

$$โดยที่ C_{CYC} = H * \frac{Q}{2}$$

C_{SFT} คือ ต้นทุนการถือครองสินค้าคงคลังขั้นต่ำ

$$โดยที่ C_{SFT} = H * (R - MLD + b(r))$$

C_{PEN} คือ ค่าปรับเมื่อเกิดการขาดส่ง

$$โดยที่ C_{PEN} = P * D * \frac{b(r)}{Q}$$

C_{PIPE} คือ ต้นทุนการถือครองสินค้าขณะการขนส่ง

$$โดยที่ C_{PIPE} = HP * MLD$$

C_{PURCH} คือ ต้นทุนการซื้อสินค้า

$$โดยที่ C_{PURCH} = D * CM$$

C_{TRANS} คือ ต้นทุนการขนส่ง

$$โดยที่ C_{TRANS} = TC * D$$

ตัวแปร (Variables)

MLD คือ ความต้องการที่เกิดขึ้นขณะอยู่ในระยะการ
รอคอยวัตถุดิบ

$$MLD = L * D$$

sd_0 คือ ค่าส่วนเบี่ยงมาตรฐานของความต้องการใน
ช่วงเวลาการรอคอยวัตถุดิบ

$$sd_0 = \sqrt{L * sd_D^2 + D^2 * sd_L^2}$$

R คือ จุดสั่งซื้อใหม่ โดยจะสั่งซื้อวัตถุดิบเมื่อสินค้าคง
คลังรวมกับสินค้าขณะขนส่งลดลงต่ำกว่าจุดสั่งซื้อ
ใหม่

$$R = MLD + sd_0$$

SS คือ สินค้าคงคลังขั้นต่ำ

$$SS = R - MLD$$

$F(r)$ คือ ความน่าจะเป็นที่จะไม่ทำให้เกิดการขาดส่ง
สินค้า หากจุดสั่งซื้อใหม่คือ r

$$F(r) = P * \frac{D}{P * D + H * Q} = F(Z);$$

$F(Z)$ คือ ความน่าจะเป็นที่ตัวแปรจากการแจก
แจงแบบปกติจะน้อยกว่าหรือเท่ากับ Z หรืออีกนัยหนึ่งคือ
ระดับการให้บริการ

$b(r)$ คือ จำนวนสินค้าที่คาดว่าจะเกิดการขาดส่ง
ขณะรอคอยวัตถุดิบ หากจุดสั่งซื้อใหม่คือ r

$$b(r) = sd_0 * L((r - MLD)/sd_0) = sd_0 * L(Z);$$

$L(Z)$ คือ ฟังก์ชันการสูญเสีย หรือจำนวนยอดขาย
ที่คาดว่าจะเกิดการขาดส่ง

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables)

Q คือ จำนวนการสั่งซื้อ ณ จุดสั่งซื้อ (Order quantity)

Z คือ ค่าคะแนนมาตรฐาน (Z score)

สมการข้อจำกัด (Constraints)

สมการข้อจำกัด 2 สมการนี้เป็นสมการที่ช่วยให้
สามารถแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ได้รวดเร็วขึ้น

Q เริ่มหาปริมาณการสั่งซื้อจากสมการที่คำนวณได้

$$\text{โดยที่ } Q \geq \sqrt{2 * K * D / H}$$

Z กำหนดให้หาค่า Z อยู่ระหว่าง -3 ถึง 3

$$\text{โดยที่ } -3 \leq Z \leq 3$$

4. ผลการวิจัยและอภิปราย

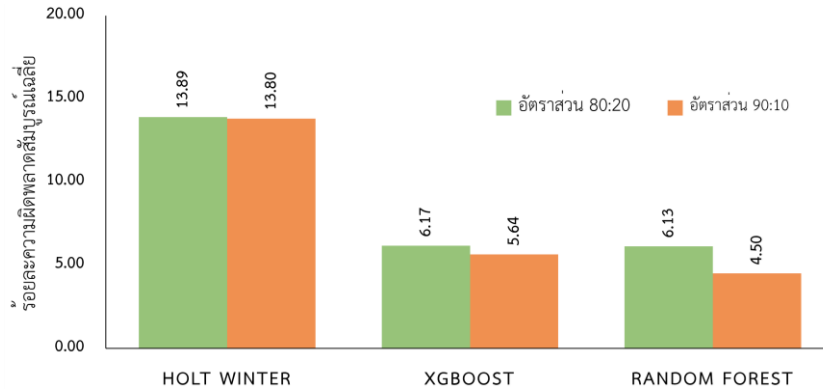
ในงานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองการพยากรณ์สามวิธีได้แก่ Holt-Winters, Random Forest และ XGBoost และใช้วิธีการแบ่งข้อมูลเป็นชุดการเรียนรู้และชุดทดสอบ โดยแบ่งออกเป็น 2 อัตราส่วน ได้แก่ 80:20 และ 90:10 ได้ผลการเปรียบเทียบดังรูปที่ 3 เป็นการเปรียบเทียบความแม่นยำของทุกวิธีและทุกอัตราส่วนด้วยค่าร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย โดยนำข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองการพยากรณ์มาเปรียบเทียบกับชุดข้อมูลทดสอบ ในทำนองเดียวกันตารางที่ 2 เป็นการแสดงรากที่สองของค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยและค่าร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย โดยแสดงเป็นตัวเลขโดยตรงเพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบ

ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองการพยากรณ์แสดงให้เห็นว่าวิธี Random Forest ให้ผลการพยากรณ์ดีที่สุด ในทั้งสองอัตราส่วน ผลของรากที่สองของค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยและค่าร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ยมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือที่อัตราส่วน 90:10 ให้ผลที่มีความแม่นยำสูงกว่า 80:20 โดยวิธี Random Forest มีความแม่นยำสูงสุดที่อัตราส่วน 90:10 ให้ค่าร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ 4.50 และให้รากที่สองของค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 493,172 อย่างไรก็ตามวิธี Holt-Winters ให้ผลที่ตรงข้ามกัน คือที่อัตราส่วน 80:20 ให้ค่าร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์

เฉลี่ยที่ต่ำกว่าอัตราส่วน 90:10 แต่ในรากที่สองของค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยอัตราส่วน 90:10 กลับให้ผลที่ดีกว่า โดยที่ Holt-Winters ที่อัตราส่วน 90:10 ให้รากที่สองของค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยเท่ากับ 439,172 และวิธี Holt-Winters ที่ 80:20 มีค่าร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ยสูงที่สุดโดยมีค่าอยู่ที่ 13.89 อย่างไรก็ตามวิธี XGBoost กลับให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่สูงกว่าวิธี Random Forest ซึ่งอาจเกิดจากแบบจำลองไม่สามารถเรียนรู้ชุดข้อมูลชุดนี้ได้ดีเท่าวิธี Random Forest

จากผลการเปรียบเทียบทั้งสามวิธีสามารถสรุปได้ว่าวิธี Random Forest ให้ผลที่ดีที่สุด และการแบ่งข้อมูลการเรียนรู้ที่อัตราส่วน 90:10 ให้ผลที่ดีกว่า 80:20 เล็กน้อยในทุกวิธีการ โดยพบว่าอัตราส่วนของข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้และการทดสอบส่งผลต่อความแม่นยำของการพยากรณ์ โดยหากมีข้อมูลที่มากเพียงพอจะส่งผลให้แบบจำลองมีความแม่นยำสูงขึ้นสำหรับผลของรูปแบบทางคณิตศาสตร์ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้จำลองเหตุการณ์เพื่อทำการเปรียบเทียบ โดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณี

กรณีที่ 1 เป็นการเปรียบเทียบต้นทุนรวมระหว่างการคำนวณต้นทุนโดยใช้ความต้องการจริงร่วมกับรูปแบบทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับการคำนวณต้นทุนโดยใช้ความต้องการจริง



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองการพยากรณ์

ตารางที่ 2

การเปรียบเทียบแบบจำลองการพยากรณ์

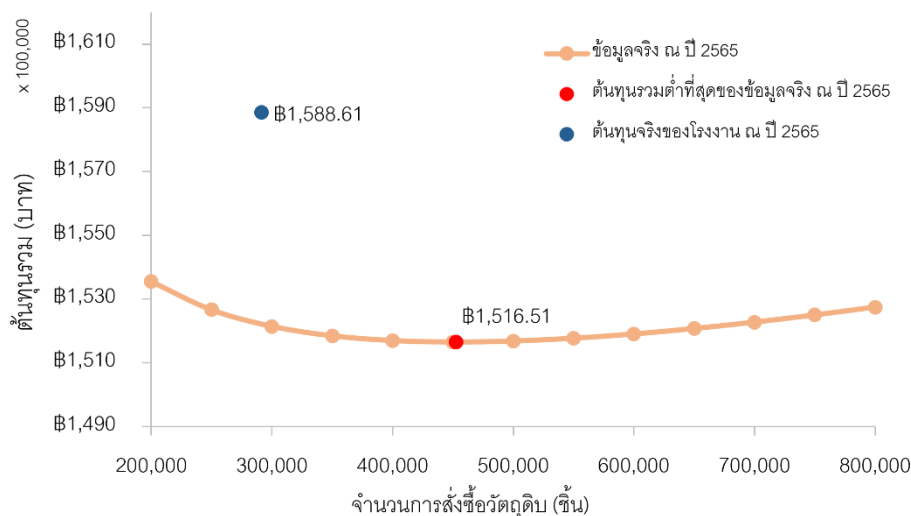
ค่าวัดประสิทธิภาพ	วิธีการพยากรณ์	อัตราส่วน 80:20	อัตราส่วน 90:10
รากที่สองของค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (RMSE)	Holt-Winters	425,972	439,172
	XGBoost	249,051	212,644
	Random Forest	248,483	149,372
ค่าร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE)	Holt-Winters	13.89	13.80
	XGBoost	6.17	5.64
	Random Forest	6.13	4.50

โดยเป็นการคำนวณต้นทุนที่โรงงานกรณีศึกษาใช้ในปัจจุบัน โดยที่ต้นทุนรวมก่อนการใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์มีค่าเท่ากับ 158,860,596 บาท/ปี และหลังจากใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์มีค่าเท่ากับ 151,651,418 บาท/ปี จากการเปรียบเทียบพบว่าหลังจากใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์สามารถลดต้นทุนรวมได้ถึงร้อยละ 4.75 ดังรูปที่ 4

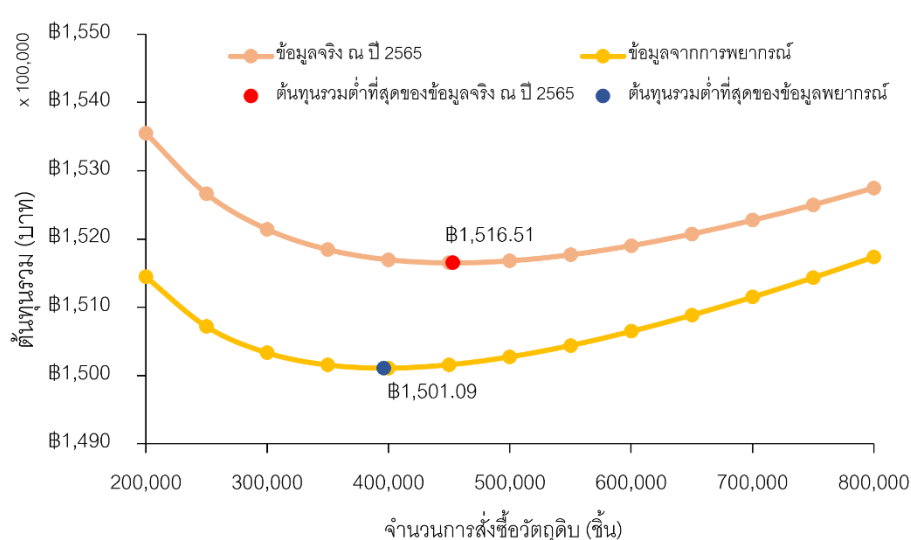
ซึ่งความแตกต่างนี้เกิดจากต้นทุนที่คำนวณจากรูปแบบทางคณิตศาสตร์สามารถยอมให้เกิดการขาดส่งสินค้าได้ โดยมีระดับการให้บริการอยู่ที่ร้อยละ

96.14 และมีปริมาณการสั่งซื้อต่อครั้งอยู่ที่ 452,790 กิโลกรัม

กรณีที่ 2 เป็นการเปรียบเทียบต้นทุนรวมเมื่อใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์กับข้อมูลความต้องการจริง ปี 2565 และข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์ของปี 2565 จากรูปที่ 5 พบว่าต้นทุนระหว่างข้อมูลจริงและข้อมูลพยากรณ์สามารถนำมาเป็นแนวทางในการวางแผนการสั่งซื้อสินค้าในอนาคตได้ เนื่องจากค่าที่ได้จากการพยากรณ์เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าจริงนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีแตกต่างเพียงร้อยละ 1.02



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบต้นทุนรวมจากแบบทางคณิตศาสตร์เทียบกับต้นทุนในปัจจุบัน



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบต้นทุนรวมจากแบบทางคณิตศาสตร์เทียบกับข้อมูลจริง ณ ปี 2565

5. สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่การประยุกต์ใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อวางแผนการสั่งซื้อวัตถุดิบ โดยอาศัยการพยากรณ์ยอดขายโดยใช้วิธีการพยากรณ์ที่ไม่แปรผันเพื่อสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ โดยเฉพาะการพยากรณ์อนุกรมเวลาโดยใช้วิธี Holt-Winters, Random Forest และ XGBoost เพื่อปรับปรุงการวางแผนการสั่งซื้อวัตถุดิบ งานนี้ใช้ข้อมูลยอดขายในอดีตจากผู้ผลิตตะแกรงเหล็กไวร์เมชในประเทศไทย โดยได้เปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์และการแบ่งข้อมูลสำหรับเรียนรู้แบบจำลอง จากนั้นทำการวัดประสิทธิภาพโดยใช้รากที่สองของความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยและค่าร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าวิธี Random Forest ที่อัตราส่วน 90:10 ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด และจากผลการเปรียบเทียบพบว่า ที่อัตราส่วน 80:20 ของวิธีการพยากรณ์ทั้งหมดให้ค่าร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ยต่ำสุด หลังจากได้แบบจำลองการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำ จึงนำข้อมูลความต้องการเข้ารูปแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อวางแผนนโยบายสินค้าคงคลังแบบ (Q, r) และกำหนดนโยบายการสั่งซื้อวัตถุดิบ โดยเป็นการกำหนดการสั่งซื้อที่ประหยัดที่สุดและจุดสั่งซื้อใหม่ ผลจากรูปแบบทางคณิตศาสตร์พบว่าหลังจากใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์สามารถลดต้นทุนรวมในการวางแผนการสั่งซื้อวัตถุดิบได้ถึงร้อยละ 4.75 และเมื่อนำค่าที่ได้จากการพยากรณ์ไปเปรียบเทียบกับค่าจริงในปีเดียวกัน พบว่าต้นทุนรวมมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีความคลาดเคลื่อนเพียงร้อยละ 1.02 ซึ่งผลจากรูปแบบทางคณิตศาสตร์สามารถลด

ต้นทุนรวมของโรงงานได้ และต้นทุนที่ได้จากข้อมูลการพยากรณ์ได้มีความใกล้เคียงกับค่าข้อมูลจริง

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] เฉอรรีภา คุ่มถนอม และ ธัญภัส เมืองบัน. ปริมาณการสั่งซื้อวัตถุดิบหลักที่เหมาะสมกรณีศึกษา บริษัทผลิตเหล็กแท่งและเหล็กเส้น ก่อสร้าง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธนบุรี. 2564; 5(1): 1-11.
- [2] Grand View Research. Steel Wire Market Size, Share & Trends Analysis Report By Material (Carbon Steel, Stainless Steel, Alloy Steel), By Application, By Region, And Segment Forecasts, 2022 – 2030. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อ วันที่ 10 มกราคม 2567] . เข้า ถึง ได้ จ า ก <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/steel-wire-market-report/>.
- [3] วีระพงษ์ ทับพร ยอดนภา เกษเมือง เอกพล ทับพร และ ภาณุดิษฐ์ แปงจิตต์. การพยากรณ์ยอดขายและการบริหารสินค้าคงคลัง ของสินค้าคงหมักยักษ์แช่แข็ง : บริษัทสยามแม็คโคร จำกัด มหาชน. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธนบุรี (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี). 2561; 2(2): 28-41.

- [4] อันย์ชนก จันท์ และ อมรินทร์ เทวตา. การพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาเพื่อกำหนดการสั่งซื้อที่ประหยัดที่สุดของโรงงานผลิตยางซิลิโคนแห่งหนึ่ง. วารสารวิทยาลัยโอดิสซีส และชีพพลายเซน. 2565; 8(2): 28-49.
- [5] กุลบัณฑิต แสงดี อภัสรา นภัทระวี และ ศิริมาพร เจริญในวงศ์เฝ้า. การลดต้นทุนสินค้าคงคลังไฟฟ้าพลังงานทดแทนชนิดเรียบบรหัส 85 กรณีศึกษา โรงงานบรรจุภัณฑ์พลาสติก. วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์. 2565; 12(2): 189-204.
- [6] Koo B, Kim M, Kim K, Lee H, Park J, Kim C. Short- term electric load forecasting using data mining technique. In 2013 7th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO). 2013; 153-157.
- [7] Sugiarto V, Sarno R, Sunaryono D. Sales forecasting using Holt-Winters in Enterprise Resource Planning at sales and distribution module. In 2016 International Conference on Information & Communication Technology and Systems (ICTS). 2016; 8-13.
- [8] Makatjane K, Moroke N. Comparative study of holt-winters triple exponential smoothing and seasonal Arima: forecasting short term seasonal car sales in South Africa. Risk governance & control: financial markets & institutions 2016; 6(1).
- [9] Costas M, Villanueva D, Eguía-Oller P, Comesaña M, Ramos S. Load forecasting with machine learning and deep learning methods. Applied Sciences. 2023; 13(13): 7933.
- [10] Ledmaoui Y, Maghraoui A, Aroussi M, Saadane R, Chebak A, Chehri A. Forecasting solar energy production: A comparative study of machine learning algorithms. Energy Reports. 2023; 10: 1004-1012.
- [11] Nasser M, Falatouri T, Brandtner P, Darbanian F. Applying Machine Learning in Retail Demand Prediction—A Comparison of Tree- Based Ensembles and Long Short- Term Memory-Based Deep Learning. Applied Sciences. 2023; 13(19): 11112.
- [12] Jnr E, Ziggah Y. Electricity demand forecasting based on feature extraction and optimized backpropagation neural network. e-Prime-Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy. 2023; 6: 100293.
- [13] Kabir M, Roy S, Alam F, Nam S, Im K, Tijjig L, Shon H. Machine learning-based prediction and optimization of green hydrogen production

- technologies from water industries for a circular economy. *Desalination*. 2023; 567: 116992
- [14] Akande Y, Idowu J, Misra A, Misra S, Akande O, Ahuja R. Application of XGBoost Algorithm for Sales Forecasting Using Walmart Dataset. In *International Conference on Advances in Electrical and Computer Technologies*. 2021; 147-159.
- [15] Zhu Q, Yang L, Liu Y. Research on vehicle spare parts demand forecast based on XGBoost- LightGBM. In *Proceedings of the 2023 5th International Conference on Pattern Recognition and Intelligent Systems*. 2023; 109-114.
- [16] Tran N, Tran T, Nguyen T, Lam M. A new grid search algorithm based on XGBoost model for load forecasting. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*. 2023; 12(4): 1857-1866.
- [17] วิรากานต์ กิตติบวรกุล ศรายุทธ นนท์ศิริ และ พิชิตชัย คำอินทร์. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องสำหรับการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์สำหรับเครื่องยนต์อากาศยาน. *วารสารวิชาการสมาคมสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย*. 2565; 11(1): 1-14.
- [18] ปวีริศ เวชวรรณกิจกุล และ พิศิษฐ์ จารุมณีโรจน์. การพยากรณ์ระยะเวลาการเดินทางด้วยวิธีการเรียนรู้ของเครื่อง โดยใช้ข้อมูลจากพาดหัว และโทรศัพท์มือถือในจังหวัดกรุงเทพมหานคร. *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*. 2565; 10(2): 54-62.
- [19] พัทธรา ศรีพระบุญ และ เชษฐา ชำนาญหล่อ. การหาปริมาณการสั่งซื้อน้ำมันเชื้อเพลิงอย่างประหยัด: กรณีศึกษาบริษัท รับขนส่งสินค้า. *วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร*. 2565; 16(2): 54-64.
- [20] ชุติกร ชูโชติถาวร. การพยากรณ์และการหาปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม เพื่อเป็นแนวทางในการจัดเก็บบรรจุภัณฑ์สำหรับการผลิต กรณีศึกษาบริษัทแปรรูปผลิตภัณฑ์การเกษตร จังหวัดพัทลุง. *วารสารเครือข่ายส่งเสริมการวิจัยทางมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์*. 2563; 3(3): 92-108.
- [21] จิรายุ ฤทธิแสง และ ปวีณา กองจันทร์. ความยืดหยุ่นในการประยุกต์ใช้ปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดที่สุดและจุดสั่งซื้อใหม่: กรณีศึกษาธุรกิจค้าวัสดุก่อสร้างขนาดกลาง. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น (ฉบับบัณฑิตศึกษา) สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์*. 2560; 5(1): 92-104.
- [22] Istiningrum A, Sono S, Putri V. Inventory Cost Reduction and EOQ for Personal Protective Equipment: A Case Study in Oil and Gas Company. *Jurnal Logistik Indonesia*. 2021; 5(2): 86-103.

- [23] ธีระพงษ์ ชุมณี และ คมกฤษ ปิติฤกษ์. การ
ประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์กับการ
พยากรณ์สินค้าในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม.
วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการ
ควบคุมอัตโนมัติ. 2565; 8(2): 88-98.



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การพัฒนาเครื่องตรวจจับกรวดหินในยางก้อนถ้วย

A development of equipment for detecting small stones in a rubber cup lump

พงศกร พรหมอินทร์^{1)*} มิตรชัย จงเชื้อวานานาญ¹⁾ และ สหพงศ์ สมวงศ์²⁾Pongsakorn Promin^{1)*} Mitchai Chongcheawchamnan¹ Sahapong Somwong²⁾¹⁾ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและชีวการแพทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์²⁾ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย¹⁾ Department of Electrical and Biomedical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkhla University²⁾ Department of Electronic Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya

Received: 19 March 2024

Revised: 25 April 2024

Accepted: 25 April 2024

Available online: 26 June 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาเครื่องตรวจจับกรวดหินในยางก้อนถ้วย หลักการตรวจจับกรวดหินในยางก้อนถ้วย โดยใช้เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีความยาวคลื่นระหว่าง 700-2,500 นาโนเมตร และโหลดเซลล์ ซึ่งเป็นเทคนิคแบบไม่ทำลายตัวอย่างและตรวจได้รวดเร็วและแม่นยำ เพื่อช่วยในการคัดแยกยางก้อนถ้วยที่มีกรวดหินและทรายออกไปจากสายการผลิตยางเครพก่อนที่จะทำให้เครื่องรีดยางเครพเสียหาย ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในยางก้อนถ้วยโดยทดลองกับแบบจำลองยางก้อนถ้วยจำนวน 40 ตัวอย่าง ขนาด 240 ลูกบาศก์เซนติเมตร น้ำหนัก 400 กรัม มีตัวอย่างทั้งหมด 40 ตัวอย่าง มีค่าความแม่นยำโดยรวมเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 82.5 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ร้อยละ 17.5 ซึ่งความคลาดเคลื่อนในการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมจะอยู่ระหว่างช่วงของยางก้อนถ้วยที่ไม่มีสิ่งแปลกปลอมและยางก้อนถ้วยที่มีสิ่งแปลกปลอมร้อยละ 10

คำสำคัญ: การตรวจจับกรวดหิน ยางก้อนถ้วย เนียร์อินฟราเรด โหลดเซลล์ สิ่งแปลกปลอม

Abstract

This research presents the development of a stone lump detection machine for rubber cup lump. The principle involves detecting stone lumps in rubber cup lump using near infrared spectroscopy with a wavelength range between 700 and 2500 nanometers and load cells. This non-destructive technique allows for rapid and accurate detection to assist in separating rubber cup lump containing stone lumps and sand from the production line before causing damage to rubber pressing machines. In this study, the efficiency of detecting anomalies in rubber cup lump was investigated by conducting experiments with a model of rubber cup lump, consisting of 40 samples, each measuring 240 cubic centimeters and weighing 400 grams. The overall accuracy of anomaly detection averaged 82.5%, with an error rate of 17.5%. The margin of error in detecting anomalies falls within the range between rubber cup lump samples without anomalies and those with anomalies at a rate of 10%.

Keywords: Rock Detection: Rubber cup lump: Near infrared: load cell: Adulteration

*ติดต่อ: pongsakorn2cj@gmail.com, 081-542-3747

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นหนึ่งในผู้ผลิตยางธรรมชาติรายใหญ่ที่สุดของโลก โดยมีส่วนแบ่งประมาณร้อยละ 35 ของปริมาณการผลิตทั่วโลก ยางก้อนถ้วยเป็นผลผลิตต้นน้ำรูปแบบหนึ่งที่สำคัญที่ได้จากต้นยางพาราซึ่งจะนำไปแปรรูปเป็น ยางแท่ง (Standard Thai Rubber : STR) ที่เป็นผลิตภัณฑ์ยางพาราที่โรงงานในอุตสาหกรรมปลายน้ำ เช่น โรงงานยางรถยนต์ และโรงงานผลิตสายพานลำเลียงต้องการ การผลิตยางแท่ง STR จากยางก้อนถ้วยจะผลิตหลายเกรด ขึ้นอยู่กับค่าความชื้นของยางก้อนถ้วย ซึ่งเป็นคุณภาพของยางก้อนถ้วย [1]

ปัจจุบัน เกษตรกรกว่าร้อยละ 50 ในประเทศนิยมผลิตยางก้อนถ้วย เนื่องจากขั้นตอนการผลิตง่าย ไม่ยุ่งยากและเร็ว ที่สำคัญคือ รายได้เมื่อหักต้นทุนการ

ผลิตแล้วจะดีกว่าการขายยางแผ่นดิบ จุดรับซื้อและโรงงานจะรับซื้ออย่างก้อนถ้วยตามค่าความชื้นและน้ำหนัก อย่างไรก็ตามในหลายกรณีที่ยางก้อนถ้วยที่รับซื้อมามีคุณภาพต่ำ เนื่องจากหลายสาเหตุ อาทิ การใช้สารจับตัวยางที่ไม่ใช่เกรดฟอรั่มิค สิ่งแปลกปลอมที่ไม่ใช่ยาง เช่น เศษไม้ เปลือกยาง ก้อนหิน กรวด ดิน และทราย กรณีวัดดูในยางก้อนถ้วยที่เป็นของแข็งที่พบเจอนอกจากจะทำให้น้ำหนักชั่งเกินความเป็นจริงแล้ว ยังทำให้ใบมีดของเครื่องรีดยางเครพสึกหรอเร็วและอาจชำรุดได้ เกษตรกรมักจะถูกกดราคารับซื้ออยู่ในช่วงร้อยละ 10-15 โดยผู้รับซื้อที่จะจ้างผู้ประเมินคุณภาพยางก้อนถ้วย [2] คุณภาพของยางก้อนถ้วยใช้ค่าความชื้นเป็นเกณฑ์ ซึ่งจะใช้การประเมินจากการสังเกตสี จำนวนชั้น และความแน่นของเนื้อยางก้อนถ้วย โดยทั่วไป คุณภาพยางก้อน

ถ้วยจะแบ่งเป็น 3 ระดับดังนี้ (1) ยางก้อนถ้วยสด อายุประมาณ 1-3 วัน ผิวของยางจะมีสีขาวจนถึงขาวขุ่น และความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 45-55 (2) ยางก้อนถ้วยหมัก อายุประมาณ 4-5 วัน ผิวยางจะแข็งและมีสีขาวขุ่นจนถึงสีน้ำตาลอ่อน ความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 35-45 และ (3) ยางก้อนถ้วยแห้ง มีอายุมากกว่า 7 วัน ผิวยางจะแห้ง แข็ง และสีน้ำตาลเข้ม ความชื้นจะน้อยกว่าร้อยละ 35 [3]

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า มีเทคนิคเนียร์อินฟราเรด (NIRs) ความยาวคลื่นช่วง 900-1,700 นาโนเมตร ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่พัฒนาการวัดค่าหรือตรวจสอบคุณภาพและคุณลักษณะของยางก้อนถ้วยหรือยางแผ่น [4] มีงานวิจัยนำเสนอเทคนิค NIRs ในการวิเคราะห์คุณภาพอาหารและเครื่องดื่ม [5] และมีการรับรองให้ใช้ตรวจสอบคุณภาพอาหารสัตว์ วัตถุดิบ และเมล็ดธัญพืชไปตามมาตรฐาน ISO 12099 (ISO 2010) สำหรับการวิจัยด้านยางพารามีการใช้เทคนิค NIRs ในการวิเคราะห์คุณภาพและปริมาณยางพารา [6] การกำหนดปริมาณน้ำมันของปาล์มน้ำมันหลังการเก็บเกี่ยวสำหรับอุปกรณ์เคลื่อนที่ [7] การคัดเกรดทะลายปาล์มจะมีการอธิบายกลไกการสุกของทะลายปาล์มอัลกอริทึมในการกำหนดลักษณะและการจัดลำดับทะลายปาล์มขึ้นอยู่กับคุณภาพ คุณสมบัติของปาล์มโดยใช้วิธีการประมวลผลภาพ [8] และการประมาณค่าน้ำหนักและลักษณะเฉพาะของโคนมโดยใช้กล้อง 3 มิติ [9]

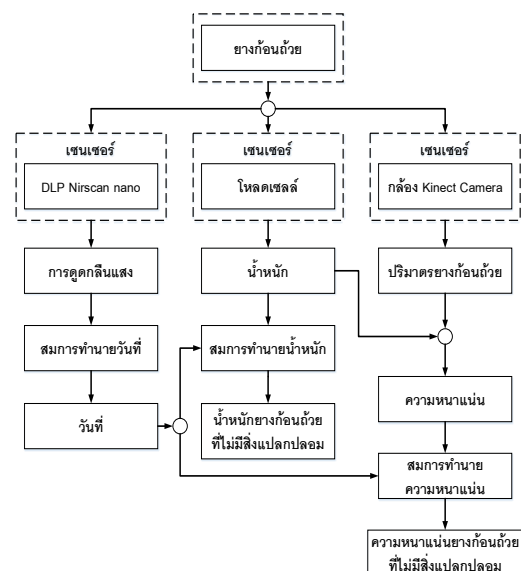
ดังนั้น จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา คณะผู้วิจัยจึงนำเสนอกระบวนการวิเคราะห์เพื่อตรวจจบกาวดินในยางก้อนถ้วยในยางก้อนถ้วยเพื่อลดโอกาสที่จะสร้างความเสียหายของเครื่องจักรในกระบวนการผลิต

ยางเครพ โดยใช้เทคนิคNIRs กับโพลีเอสเตอร์ เทคนิคนี้จะเป็นเทคนิคที่สามารถให้ผลรวดเร็วและไม่ทำลายยางก้อนถ้วย

2. วิธีการวิจัย

2.1. หลักการทำงานของเครื่องตรวจจบก้อนหินในยางก้อนถ้วย

ภาพรวมการทำงานของเครื่องตรวจจบก้อนหินในยางก้อนถ้วย เริ่มจากการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงของยางก้อนถ้วย การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอายุวันกับน้ำหนักและการวิเคราะห์ความหนาแน่นของยางก้อนถ้วยจากนั้นนำข้อมูลไปวิเคราะห์การปลอมปนของกาวดินในยางก้อนถ้วยดังรูปที่ 1



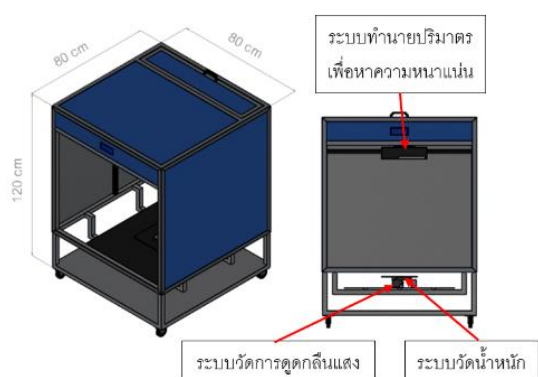
รูปที่ 1 ภาพรวมการทำงานของเครื่องตรวจจบก้อนหินในยางก้อนถ้วย

รูปที่ 1 ลำดับขั้นตอนการทำนายสิ่งแปลกปลอมในยางก้อนถ้วย โดยเริ่มจากทำนายอายุวันของยางก้อนถ้วยจากการวัดค่าดูดกลืนแสง เพื่อกำหนดช่วงอายุของยางก้อนถ้วย ต่อมาเป็นการทำนายน้ำหนักของ

ยางก้อนถ้วย เมื่อนำค่าของอายุวันมาแทนค่าในสมการทำนายน้ำหนักจะได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอายุวันและน้ำหนักของยางก้อนถ้วยก่อนหน้านี้ จะเป็นการทำนายความหนาแน่นได้มาจากค่าสัดส่วนระหว่างน้ำหนักและปริมาตรของยางก้อนถ้วยที่ได้จากการใช้อัลกอริทึมคำนวณ จากนั้นนำค่าอายุวันแทนค่าในสมการทำนายความหนาแน่น เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างอายุวันและความหนาแน่นของยางก้อนถ้วย และวิเคราะห์การปลอมปนกรดหินในยางก้อนถ้วย

2.2. การออกแบบและสร้าง

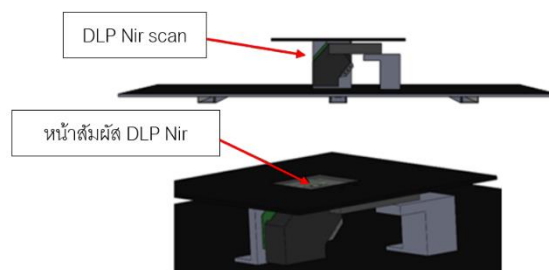
ในการถ่ายภาพที่ใช้กล้อง NIRs จะออกแบบให้ติดตั้งกล้องถ่ายภาพในห้องปิด ขนาด 80×80×120 เซนติเมตร ส่วนประกอบของระบบตรวจจับก้อนหินในยางก้อนถ้วย มีการติดตั้งชุดตัวตรวจรู้และอุปกรณ์ต่างๆ และชุดควบคุมการทำงานภายในเครื่องตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในยางก้อนถ้วยประกอบไปด้วย ระบบวัดการดูดกลืนแสง ระบบวัดน้ำหนักและระบบทำนายปริมาตรเพื่อหาความหนาแน่น ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การออกแบบห้องบันทึกข้อมูลของเครื่อง

2.2.1. ระบบวัดการดูดกลืนแสง

การออกแบบระบบวัดการดูดซับของแสง จะใช้เซนเซอร์ NIRs รูปแบบการวัดแบบสะท้อนกลับ (reflectance mode) มีช่วงความยาวคลื่น 900-1,700 นาโนเมตร มีความละเอียด 5 นาโนเมตร [10] สำหรับวัดค่าการดูดซับแสงในยางก้อนถ้วย โดยติดตั้งกับฐานของโพลีคาร์บอเนต เซนเซอร์ NIRs มีระยะวัดระหว่างหน้าสัมผัสของเซนเซอร์กับวัตถุที่ต้องการวัดที่ต้องไม่เกิน 3 มิลลิเมตร ดังนั้น การติดตั้งจะต้องติดกับฐานของโพลีคาร์บอเนต เพื่อที่จะได้ค่าที่เที่ยงตรงและแม่นยำในการวัด ดังรูปที่ 3

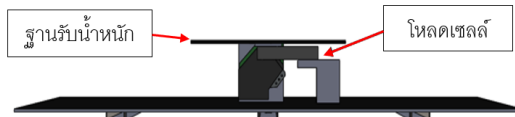


รูปที่ 3 การติดตั้งเซนเซอร์ NIRs

2.2.2. ระบบวัดน้ำหนัก

โครงสร้างระบบวัดน้ำหนัก จากรูปจะออกแบบให้ฐานรองรับยางก้อนถ้วยขนาด 20×20 เซนติเมตร ฐานรองทำจากแผ่นอะคริลิกหนา 3 มิลลิเมตร เซนเซอร์วัดน้ำหนักใช้โพลีคาร์บอเนตที่วัดน้ำหนักได้ 0-3 กิโลกรัม ดังรูปที่ 4 การวัดค่าน้ำหนักยางก้อนถ้วย จะควบคุมด้วยสมองกลฝังตัว Arduino Uno R3 ATmega328 ที่มีช่องรับ ส่งสัญญาณดิจิทัล 14 ช่อง และช่องรับ สัญญาณ แอนะล็อก 6 ช่อง ใช้บอร์ดวงจรขยายสัญญาณ รุ่น HX711 (amplifier module dual channel) ซึ่งเป็นโมดูลสำหรับขยายสัญญาณจากโพลีคาร์บอเนตให้มีขนาดใหญ่เพื่อให้บอร์ด Arduino

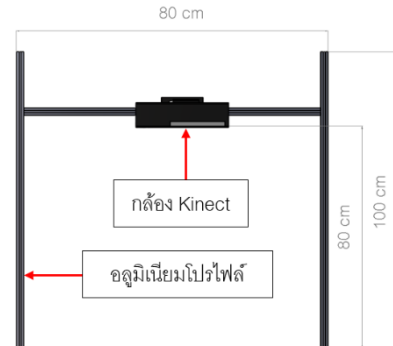
อ่านสัญญาณได้ สัญญาณที่เข้าบอร์ด Arduino เป็น สัญญาณดิจิทัล 24 บิต



รูปที่ 4 ตำแหน่งติดตั้งโหลดเซลล์เพื่อวัดน้ำหนัก

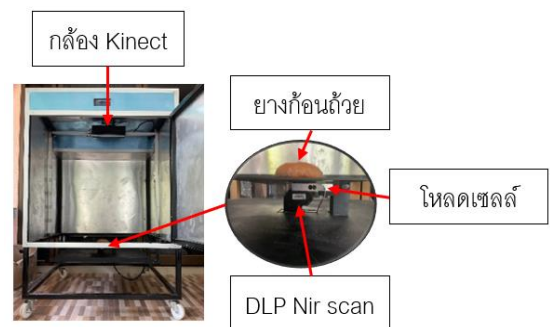
2.2.3. ระบบการทำนายปริมาตรเพื่อหาความหนาแน่น

ในการออกแบบระบบนี้จะใช้กล้อง Kinect ถ่ายภาพและติดตั้งอัลกอริทึมคำนวณปริมาตรของวัตถุใดๆ ซึ่งภายในกล้อง Kinect ประกอบด้วยอุปกรณ์ฉายแสงอินฟราเรด (Infrared) กล้องวัดความลึกของภาพ (depth camera) กล้องวิดีโอ (video camera) และเซ็นเซอร์ประมวลผล งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้กล้อง Kinect วัดระยะหรือความลึกของวัตถุต่างๆ ประกอบด้วยอุปกรณ์ 2 ชนิด คือ ตัวส่ง Infrared Laser Projector และตัวรับ Monochrome CMOS Sensor Infrared Laser Projector จะส่งแสงอินฟราเรดไปกระทบกับวัตถุ เมื่อแสงอินฟราเรดกระทบกับวัตถุก็จะสะท้อนกลับมาที่ตัวรับ Monochrome CMOS Sensor จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณระยะทางโดยอาศัยเวลาการเดินทางของแสงอินฟราเรด การติดตั้งกล้อง Kinect จะติดตั้งสูงจากฐานวางยางก้นถ้วยที่ระยะจากฐาน 80 เซนติเมตร ยึดกับรางอลูมิเนียมสามารถปรับโฟกัสกล้องได้โดยการปรับรางให้สูงขึ้นหรือต่ำลง ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ระบบคำนวณปริมาตรด้วยกล้อง Kinect

โครงสร้างของเครื่องตรวจจับก้อนหิน จะเป็นเหล็กชุบกลวไนซ์ แต่ละด้าน 2.54 เซนติเมตร เป็นโลหะที่คงทน เป็นสนิมยาก และแข็งแรงเหมาะที่จะทำเป็นโครงสร้าง ผนังห้องจะใช้แผ่นอลูมิเนียมหนา 0.4 มิลลิเมตร มีความแข็งแรงและยืดหยุ่น ผนังด้านล่างของเครื่องจะเปิดโล่งเพื่อให้แสงสว่างจากภายนอกเข้ามาเพียงพอสำหรับการบันทึกข้อมูล การติดตั้งส่วนประกอบต่างๆ และตำแหน่งการติดตั้งชุดตัวตรวจรู้และอุปกรณ์ต่างๆ ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น จะแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 เครื่องตรวจจับก้อนหินในยางก้นถ้วย

2.3. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.3.1. การเตรียมตัวอย่างยางก้อนถ้วย

การเตรียมตัวอย่างยางก้อนถ้วย [11] คณะผู้วิจัยได้นำน้ำยางสดจากสวนยางพารามาผลิตยางก้อนถ้วยในโรงเรือน ซึ่งวิธีนี้เป็นการผลิตยางก้อนถ้วยที่ได้คุณภาพที่สุด ซึ่งจะแบ่งกรรมวิธีการผลิตยางก้อนถ้วยจะเป็น 2 ชนิด คือ ยางก้อนถ้วยที่มีและไม่มีกรวดหิน คณะผู้วิจัยได้ทดสอบยางก้อนถ้วยที่ถ้วยรองน้ำยาง 400 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นมาตรฐานที่นิยมใช้กันมากในภาคใต้ ในการทดลองครั้งนี้ทางคณะผู้วิจัยเตรียมตัวอย่างทั้งหมด 40 ตัวอย่าง แยกเป็นยางก้อนถ้วยไม่มีการปลอมปน 10 ตัวอย่าง และยางก้อนถ้วยที่มีการปลอมปนร้อยละ 10 , 20 และ 30 ชนิดละ 10 ตัวอย่าง ตามลำดับ ดังรูปที่ 7

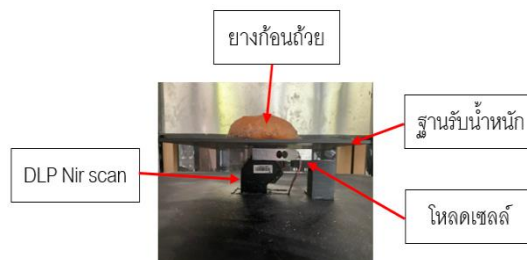


รูปที่ 7 ตัวอย่างยางก้อนถ้วย

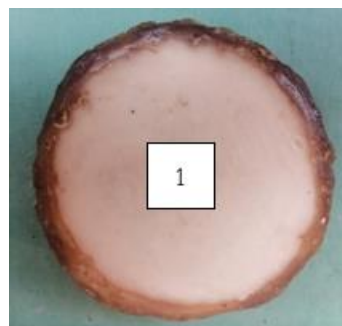
2.3.2. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอายุวันกับความชื้นที่ผิวของยางก้อนถ้วย

ในกระบวนการแรกเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอายุวันของยางก้อนถ้วยและความชื้นที่ผิวด้วยการวัดการดูดกลืนแสงที่ผิว เพื่อใช้ในการทำนายการกรวดหิน โดนนํายางก้อนถ้วยที่เตรียมไว้มาวัดการดูดกลืนแสงที่ผิวทุกวัน ตลอดระยะเวลา 7 วัน ซึ่งการวางยางก้อนถ้วยบนอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบดังรูปที่ 8 ในการวัดเซนเซอร์จะแตะตรงกึ่งกลางส่วนหน้า

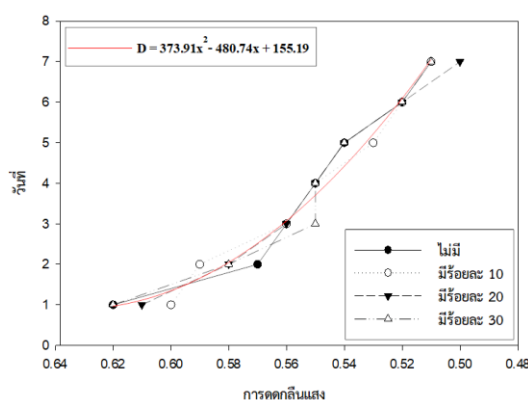
ของยางก้อนถ้วย (ปากถ้วย) ดังรูปที่ 9 โดยจะบันทึกค่าอัตราการดูดซับแสงแต่ละตัวอย่าง 3 ค่า และนำมาเฉลี่ย ดังรูปที่ 10



รูปที่ 8 การวางยางก้อนถ้วยบนอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ



รูปที่ 9 ตำแหน่งในการตรวจวัดยางก้อนถ้วย



รูปที่ 10 ค่าการดูดซับแสงจากการทำนาย

รูปที่ 10 จากข้อมูลการดูดกลืนแสงสามารถสร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดกลืนแสงกับอายุของยางก้อนถ้วย ดังสมการที่ 1

$$D = 373.91x^2 - 480.74x + 155.19 \quad (1)$$

เมื่อ D = อายุวัน

x = ค่าการดูดกลืนแสง

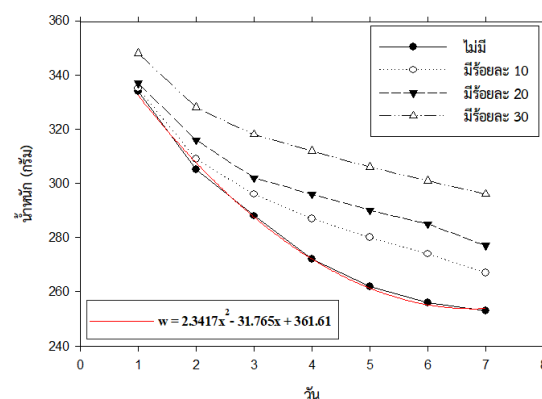
ด้วยเหตุนี้พบว่าค่าเฉลี่ยของค่าการดูดกลืนแสงภายในยางก้อนถ้วยที่มีกรวดหินและไม่มีกรวดหินใน 7 วัน โดยใช้ DLP Nirscan nano จะสอดคล้องกับการดูดกลืนแสงของน้ำซึ่งประกอบด้วยพันธะ O-H เมื่อปริมาณความชื้นในยางก้อนถ้วยลดลงพบว่าค่าการดูดกลืนแสงลดต่ำลงด้วย ซึ่งพบว่าที่ความยาวคลื่น 1,447 นาโนเมตร [11] ตรงกับค่าการดูดกลืนแสงของน้ำและมีอิทธิพลต่อการทำนายความชื้นมาก โดยในผลการทดลองนี้มีจำนวนตัวอย่างยางก้อนถ้วย 40 ตัวอย่าง โดยเป็นยางก้อนถ้วยที่ไม่มีการปลอมปนจำนวน 10 ตัวอย่าง มีการปลอมปนร้อยละ 10 , 20 และ 30 ชนิดละ 10 ตัวอย่าง ตามลำดับ สังเกตได้ว่าการดูดกลืนแสงของยางก้อนถ้วย สามารถแยกความแตกต่างของค่าความชื้นในแต่ละวันได้ ซึ่งค่าความชื้นจะลดลงในช่วงที่ยางก้อนถ้วยเปียก เนื่องจากการคายความชื้นมากและจะมีการคายความชื้นน้อยลงเรื่อยๆ จนถึงยางก้อนถ้วยแห้ง

นอกจากนี้ยังพบว่าทั้งตัวอย่างยางก้อนถ้วยที่ไม่มีการปลอมปนกรวดหิน และยางก้อนถ้วยที่มีการปลอมปนกรวดหิน ให้ผลการเปลี่ยนแปลงของระดับการดูดกลืนแสงที่ใกล้เคียงกัน แสดงว่าการดูดกลืนแสงนั้นสามารถวิเคราะห์ระดับความชื้นของยางก้อนถ้วยในแต่ละวันได้

2.3.3. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระยะวันกับน้ำหนักของยางก้อนถ้วย

นำยางก้อนถ้วยที่เตรียมไว้มาตรวจวัดน้ำหนักกับเครื่องตรวจจับก้อนหินในยางก้อนถ้วยดังรูปที่ 9 ค่าน้ำหนักที่อ่านจากโหลดเซลล์ได้จะส่งไปบันทึกและแสดงผลบนจอแสดงผล

ข้อมูลที่บันทึกได้จะนำไปสร้างสมการทำนายค่าน้ำหนักของยางก้อนถ้วยในแต่ละวันดังรูปที่ 11 เพื่อใช้ในการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมในยางก้อนถ้วย



รูปที่ 11 ค่าน้ำหนักจากการทำนาย

จากการบันทึกผลการทดลองสามารถสร้างสมการทำนายน้ำหนักของก้อนยางที่ไม่มีสิ่งแปลกปลอมได้ดังสมการที่ 2

$$w = 2.3417x^2 - 31.765x + 361.61 \quad (2)$$

เมื่อ w = น้ำหนักที่ทำนายได้

x = อายุวัน

จากการทดลองพบว่าค่าเฉลี่ยน้ำหนักของยางก้อนถ้วยที่มีกรวดหินและไม่มีกรวดหินใน 7 วัน ซึ่งมีจำนวนตัวอย่างยางก้อนถ้วยทั้งหมดจำนวน 40 ตัวอย่าง ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบวัดน้ำหนักของยางก้อนถ้วย เห็นได้ว่าน้ำหนักของยางก้อนถ้วยที่ไม่มีกรวดหินในแต่ละวัน

จะมีค่าน้ำหนักที่น้อยกว่าอย่างก้นด้วยที่มีกรวดหินผสมอยู่ และระหว่างอย่างก้นด้วยที่มีกรวดหินแต่ละระดับร้อยละ 10 , 20 และ 30 ตามลำดับ สามารถแยกความแตกต่างของระดับชั้นของน้ำหนักได้ ซึ่งจะสามารถแยกความแตกต่างระหว่างอย่างก้นด้วยที่ไม่มีกรวดหินและมีกรวดหินได้

2.3.4. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระยะวันกับความหนาแน่นของยางก้นด้วย

ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอายุวันกับความหนาแน่นของยางก้นด้วย จำเป็นต้องหาปริมาณของยางก้นด้วยมาก่อน จากนั้นนำปริมาณที่ได้ไปคำนวณความหนาแน่นของยางก้นด้วย เพื่อวิเคราะห์การปลอมปนกรวดหินในก้นยาง เนื่องจากยางก้นด้วยที่ไม่มีการปลอมปนของกรวดหินจะมีความหนาแน่นที่ไม่เท่ากันกับยางก้นด้วยที่มีการปลอมปนกรวดหิน โดยการหาปริมาณของยางก้นด้วยโดยใช้เทคนิคการถ่ายภาพความลึกโดยใช้กล้อง Kinect ในการถ่ายภาพซึ่งเป็นตัวตรวจรู้หลายมิติ ควบคู่กับการใช้อัลกอริทึมในการคำนวณปริมาตรของวัตถุใด ๆ โดยขั้นตอนเริ่มจากการถ่ายภาพตัวอย่างยางก้นด้วยโดยใช้กล้อง Kinect โดยใช้อัลกอริทึมในการถ่ายภาพรูป [8] ตัวอย่างของยางก้นด้วย ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ออกมาในรูปแบบของไฟล์รูปภาพ RGB กับรูปภาพอินฟราเรด (infrared) และข้อมูลภาพความลึกในรูปแบบไฟล์ข้อมูล .csv จากนั้นนำข้อมูลมาประมวลผลโดยใช้อัลกอริทึมในการประมวลผลหาปริมาตรของยางก้นด้วยผ่านโปรแกรม Matlab โดยผลที่ได้จากการประมวลผลด้วยอัลกอริทึมจะแสดงผลออกมาเป็นค่าปริมาตรของยางก้นด้วยแต่ละตัวอย่าง จากนั้นนำค่าปริมาตรที่ได้ไปประมวลผล

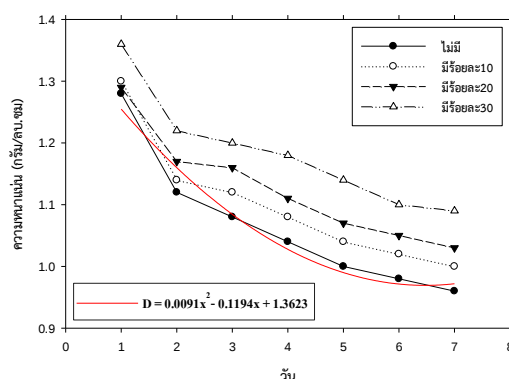
ควบคู่กับค่าน้ำหนักของยางก้นด้วยที่วัด เพื่อหาความหนาแน่นของตัวอย่างนั้นๆ จากสมการทำนายค่าความหนาแน่นในแต่ละวัน ดังรูปที่ 12 เพื่อหาความหนาแน่นของยางก้นด้วย ซึ่งจะใช้ในการวิเคราะห์การปลอมปนของกรวดหินโดยทำให้แยกความแตกต่างระหว่างยางก้นด้วยที่มีกรวดหินและยางก้นด้วยที่ไม่มีกรวดหินได้ ซึ่งจะได้สมการในการทำนายค่าความหนาแน่น ดังสมการที่ 3

$$D = \frac{m}{v} \quad (3)$$

เมื่อ D = ความหนาแน่น

m = น้ำหนักยางก้นด้วย

v = ปริมาตรของยางก้นด้วย



รูปที่ 12 ค่าความหนาแน่นจากสมการทำนาย

จากการคำนวณค่าความหนาแน่นของยางก้นด้วยที่ไม่มีการปลอมปน และที่มีการปลอมปนในระดับต่างๆ ทั้ง 7 วัน สามารถวิเคราะห์สมการในการทำนายความหนาแน่นในการตรวจจบบางก้นด้วยที่ไม่มีกรวดหินได้สมการ ดังนี้

$$D = 0.0091x^2 - 0.1194x + 1.3623 \quad (4)$$

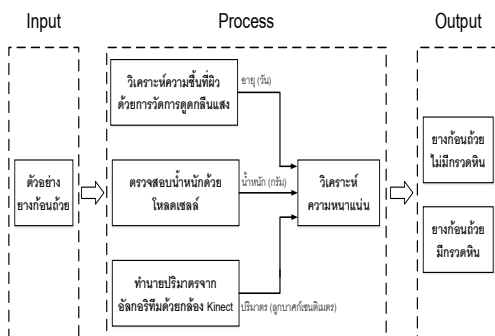
เมื่อ D = ความหนาแน่น

x = อายุวัน

จากการทดสอบ ค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นของยางก้อนถ้วยที่มีกรวดหินและไม่มีกรวดหินใน 7 วัน ทั้งหมด 40 ตัวอย่าง โดยใช้อัลกอริทึมในการหาปริมาตรของยางก้อนถ้วยควบคู่กับค่าน้ำหนักของยางก้อนถ้วยจากโหลดเซลล์ในการหาค่าความหนาแน่นของยางก้อนถ้วยระหว่างยางก้อนถ้วยที่มีกรวดหินกับยางก้อนถ้วยที่ไม่มีกรวดหิน จะเห็นได้ว่าความหนาแน่นของยางก้อนถ้วยที่ไม่มีกรวดหินในแต่ละวันจะมีค่าความหนาแน่นที่น้อยกว่ายางก้อนถ้วยที่มีกรวดหินผลสมอยู่ร้อยละ 10, 20 และ 30 ตามลำดับ ดังนั้นจากผลการทดสอบนี้สามารถแยกความแตกต่างระหว่างยางก้อนถ้วยที่ไม่มีกรวดหินและมีกรวดหินได้อย่างมีนัยสำคัญ

2.3.5. แผนผังแบบจำลองในการวิเคราะห์การปลอมปนกรวดหินในยางก้อนถ้วย

จากการวิเคราะห์การดูกลืนแสงของยางก้อนถ้วย การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอายุวันกับน้ำหนัก และการวิเคราะห์ความหนาแน่นของยางก้อนถ้วย สามารถแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์การปลอมปนของกรวดหินในยางก้อนถ้วยได้ ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 แผนผังขั้นตอนการวิเคราะห์การปลอมปนกรวดหินในยางก้อนถ้วย

รูปที่ 13 แสดงลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์การปลอมปนกรวดหินในยางก้อนถ้วย โดยเริ่มจากการทำนายอายุวันของยางก้อนถ้วยจากการวัดค่าการดูกลืนแสง เพื่อกำหนดช่วงอายุของยางก้อนถ้วย ต่อมาเป็นการทำนายน้ำหนักของยางก้อนถ้วย เมื่อนำค่าของอายุวันมาแทนในสมการทำนายน้ำหนักจะได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอายุวันและน้ำหนักของยางก้อนถ้วยก้อนนั้น จากนั้นจะเป็นการทำนายความหนาแน่นของยางก้อนถ้วย โดยค่าความหนาแน่นได้มาจากค่าสัดส่วนระหว่างน้ำหนักและปริมาตรของยางก้อนถ้วยที่ได้จากการใช้อัลกอริทึมคำนวณ จากนั้นนำค่าอายุวันและค่าความหนาแน่นแทนค่าในสมการทำนายเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างอายุวันและความหนาแน่นของยางก้อนถ้วย และวิเคราะห์การปลอมปนกรวดหินในยางก้อนถ้วย

จากการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองการวิเคราะห์การปลอมปนของกรวดหินในยางก้อนถ้วย จากตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองวิเคราะห์การปลอมปนกรวดหินในยางก้อนถ้วย 40 ตัวอย่าง พบว่าแบบจำลองมีความแม่นยำร้อยละ 87.5 ดังตารางที่ 1

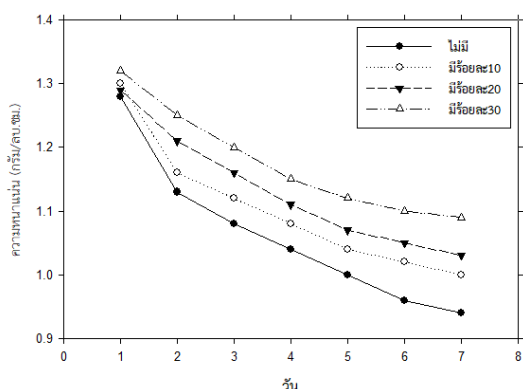
ตารางที่ 1

การวิเคราะห์แบบจำลองการปลอมปนกรวดหินในยางก้อนถ้วยด้วย Confusion matrix

		ผลการปลอมปนกรวดหิน (% โดยมวล)				
		0	10	20	30	ทั้งหมด
% การปลอมปนกรวดหิน (% โดยมวล)	ผลทำนาย	0	10	20	30	ทั้งหมด
	0	8	2	0	0	10
	10	3	7	0	0	10
	20	0	0	10	0	10
	30	0	0	0	10	10
	ทั้งหมด	11	9	10	10	40

3. ผลการวิเคราะห์การปลอมปนกรดหินด้วยเครื่องตรวจจับกรดหินในยางก้อนถ้วย

ในการทดสอบประสิทธิภาพการวิเคราะห์การปลอมปนกรดหินในยางก้อนถ้วย ทางคณะผู้วิจัยได้จัดทำยางก้อนถ้วยสำหรับทดสอบอีกจำนวน 40 ตัวอย่าง โดยมีน้ำหนักของยางก้อนถ้วยเท่ากันทั้งหมดระหว่างยางก้อนถ้วยที่มีกรดหินและยางก้อนถ้วยไม่มีกรดหิน ซึ่งแบ่งยางก้อนถ้วยที่ไม่มีกรดหิน 10 ตัวอย่าง ยางก้อนถ้วยที่มีกรดหินร้อยละ 10, 20 และ 30 ชนิดละ 10 ตัวอย่าง ตามลำดับ ซึ่งในการทดสอบใช้เวลาในการทดสอบทั้งหมด 7 วัน ในการวัดค่าต่างๆ มีการตรวจวัด 3 ชั่วโมง โดยเริ่มจากการทำนายอายุวันของยางก้อนถ้วยจากการวัดค่าการดูดกลืนแสง การตรวจสอบน้ำหนักของยางก้อนถ้วย เพื่อคำนวณหาความหนาแน่น และสุดท้ายนำค่าอายุวันได้และค่าความหนาแน่นไปวิเคราะห์การปลอมปนกรดหินในยางก้อนถ้วย ได้ผลแสดง ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 ความหนาแน่นของยางก้อนถ้วย

รูปที่ 14 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของยางก้อนถ้วยระหว่างยางก้อนถ้วยที่มีกรดหินกับยางก้อนถ้วยที่ไม่มีกรดหิน จะเห็นว่าความหนาแน่นของยางก้อนถ้วยที่ไม่มีกรดหินในแต่ละวันจะมีค่าที่

น้อยกว่ายางก้อนถ้วยที่มีกรดหินผสมอยู่ระดับร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยมวล ตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นว่าสามารถบอกความแตกต่างของค่าการดูดกลืนแสงในแต่ละวันได้ โดยค่าของช่วงในวันต่างๆ เมื่อทราบอายุของยางก้อนถ้วย จากนั้นตรวจสอบยางก้อนถ้วยที่มีกรดหินโดยค่าน้ำหนักที่วัดได้จากโหลเซลล์ จากผลการวิจัยยางก้อนถ้วยที่ไม่มีกรดหินจะมีน้ำหนักเบาว่ายากก้อนถ้วยที่มีกรดหิน โดยในแต่ละวันระหว่างยางก้อนถ้วยทั้งสองชนิดจะมีน้ำหนักลดลงเรื่อยๆ จากยางก้อนถ้วยเปียกจนถึงยางก้อนถ้วยแห้ง และในขั้นตอนสุดท้ายเพื่อตรวจจับกรดหินให้มีความเที่ยงตรงโดยใช้อัลกอริทึมในการหาปริมาตรจากการถ่ายภาพด้วยกล้อง Kinect เพื่อตรวจสอบปริมาตรและลักษณะของยางก้อนถ้วย และนำค่าปริมาตรที่คำนวณได้มาใช้ในการหาความหนาแน่นของยางก้อนถ้วย โดยค่าปริมาตรที่คำนวณได้จากภาพถ่ายยางก้อนถ้วยโดยใช้อัลกอริทึมที่ขนาดก้อนยางก้อนถ้วยมีค่าประมวลผลออกมาได้ใกล้เคียงกัน เมื่อนำมาประมวลผลควบคู่กับค่าของน้ำหนัก ซึ่งในแต่ละวันค่าของน้ำหนักยางก้อนถ้วยที่มีกรดหินและไม่มีกรดหินจะลดลง ซึ่งจะสอดคล้องกับความหนาแน่นที่ลดลงจากยางก้อนถ้วยเปียก ยากก้อนถ้วยหมาดและยางก้อนถ้วยแห้ง

ดังนั้น จากผลการทดสอบนี้สามารถแยกความแตกต่างระหว่างยางก้อนถ้วยที่ไม่มีกรดหินและมีกรดหินได้ ซึ่งประสิทธิภาพของการตรวจจับกรดหินในยางก้อนถ้วยแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการตรวจจับกรวดหินในยางก้อนถ้วยด้วย Confusion matrix

ผลจริง ผลทำนาย		% การปลอมปนกรวดหิน (% โดยมวล)				
		0	10	20	30	ทั้งหมด
% การปลอมปนกรวดหิน (% โดยมวล)	0	7	3	0	0	10
	10	4	6	0	0	10
	20	0	0	10	0	10
	30	0	0	0	10	10
	ทั้งหมด	11	9	10	10	40

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพของการตรวจจับกรวดหินในยางก้อนถ้วย มีตัวอย่างทั้งหมด 40 ตัวอย่าง มีความแม่นยำโดยรวมเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 82.5 ซึ่งความคลาดเคลื่อนในการตรวจจับกรวดหินจะอยู่ระหว่างช่วงของยางก้อนถ้วยที่ไม่มีกรวดหินกับยางก้อนถ้วยที่มีกรวดหินร้อยละ 10 ซึ่งในช่วงยางก้อนถ้วยที่ไม่มีกรวดหินกับยางก้อนถ้วยที่มีกรวดหินร้อยละ 20 และร้อยละ 30 มีความแม่นยำเฉลี่ยร้อยละ 100 จากผลการทดลองนี้สามารถตั้งสมมุติฐานได้ว่าในระหว่างช่วงของยางก้อนถ้วยที่ไม่มีกรวดหินกับยางก้อนถ้วยที่มีกรวดหินร้อยละ 10 จะมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการแยกการปลอมปนขึ้นได้ เนื่องจากน้ำหนักและปริมาตรที่ระบบตรวจวัดของยางก้อนถ้วยที่ไม่มีกรวดหินกับยางก้อนถ้วยที่มีกรวดหินร้อยละ 10 ที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งต่างจากช่วงของยางก้อนถ้วยที่ไม่มีกรวดหินกับยางก้อนถ้วยที่มีกรวดหินร้อยละ 20 และร้อยละ 30 ที่สามารถแยกการปลอมปนของยางก้อนถ้วยได้โดยมีความแม่นยำสูง เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักและปริมาตรของยางก้อนถ้วยที่ไม่

มีการปลอมปนและยางก้อนถ้วยที่มีการปลอมปนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

4. สรุปผลการดำเนินงาน

การวิจัยการตรวจจับกรวดหินในยางก้อนถ้วย ในบทความนี้ได้นำเสนอการนำเอาหลากหลายเทคนิคเข้ามาใช้ร่วมกันเพื่อจำให้การตรวจจับสิ่งแปลกปลอมที่ได้ความแม่นยำและมีความเที่ยงตรงและให้เหมาะสมแก่การนำไปใช้งานในอนาคต ไม่ว่าจะเป็นโหลดเซลล์ วัดน้ำหนัก กล้อง Kinect และ DLP Nirscan nano เข้ามาช่วยในงานวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งในแต่ละเทคนิคมีหน้าที่ ที่ต่างกัน โดย DLP Nirscan nano มีหน้าที่ในการตรวจวัดการดูดซับของแสงเพื่อจำแนกความขึ้นของยางก้อนถ้วยในแต่ละวันและจะเป็นตัวกำหนดอายุของยางก้อนถ้วยโดยที่จะแบ่งเป็น 3 ช่วง คือ วันที่ 1-3 จะเป็นยางก้อนถ้วยเปียก วันที่ 4-6 จะเป็นยางก้อนถ้วยหมาดและวันที่ 7 เป็นต้นไปจะเป็นยางก้อนถ้วยแห้ง โดยสามารถแยกความแตกต่างของค่าความขึ้นในแต่ละวันได้ ซึ่งยางก้อนถ้วยเปียกจะมีการคายความขึ้นออกมามากและจะมีการคายความขึ้นน้อยลงเรื่อยๆ จนถึงยางก้อนถ้วยแห้ง โหลดเซลล์ทำหน้าที่ตรวจสอบน้ำหนักโดยยางก้อนถ้วยที่ไม่มีกรวดหินจะมีน้ำหนักเบากว่ายางก้อนถ้วยที่มีกรวดหินโดยในแต่ละวันระหว่างยางก้อนถ้วยทั้งสองชนิดจะมีน้ำหนักที่ลดลงเรื่อยๆ จากยางก้อนถ้วยเปียกจนถึงยางแห้ง และกล้อง Kinect ทำหน้าที่ในการหาปริมาตรจากการถ่ายภาพ เพื่อตรวจสอบปริมาตรและลักษณะของยางก้อนถ้วย และนำค่าปริมาตรที่ได้มาใช้ในการหาความหนาแน่นของยางก้อนถ้วย เพื่อนำมาประมวลผลควบคู่กับค่าของน้ำหนักเพื่อวิเคราะห์การปลอมปน

กรวดหินในยางก้อนถ้วย โดยงานวิจัยนี้มีความแม่นยำในการวิเคราะห์การปลอมปนกรวดหินในยางก้อนถ้วยประมาณร้อยละ 82.5

จากผลการวิเคราะห์การปลอมปนกรวดหินในยางก้อนถ้วย ทางผู้วิจัยมองเห็นว่าค่าความแม่นยำในการตรวจจับกรวดหินในยางก้อนถ้วยสามารถเพิ่มความแม่นยำในการวัดได้ โดยการปรับระยะในการติดตั้งเซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดและใช้จำนวนตัวอย่างยางก้อนถ้วยให้มีจำนวนมากกว่าเดิม เพื่อให้ได้ความแม่นยำในการวิเคราะห์การปลอมปนกรวดหินในยางก้อนถ้วยมากขึ้นต่อไปในอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)/N41D640039 และ ทุน บัณฑิต วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในการสนับสนุนงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Suchat S, Theanjumol P, Karila S. Rapid moisture determination for cup lump natural rubber by near infrared spectroscopy. *Industrial Crop and Products* 2015; 76:772-780.
- [2] ชัยวัช ไขวเจริญสุข. อุตสาหกรรมยางพาราแปรรูป. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อ 10 ตุลาคม 2563.]. เข้าถึงได้จาก: https://km.raot.co.th/uploads/dip/userfiles/1_km/IO_Rubber_190617_TH_EX.pdf
- [3] ณัฐวดี ศิริประสมทรัพย์. ปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์เนื้อยางของยางก้อนถ้วย. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 ตุลาคม 2563]. เข้าถึงได้จาก: <https://km.raot.co.th/km-knowledge/detail/224>
- [4] อมรเดช พุทธิพิพัฒน์ขจร. การพัฒนาอุปกรณ์พกพาเพื่อหาปริมาณความชื้นของยางพาราแผ่นดิบด้วยวิธีเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 2563; 28:1845-1856.
- [5] Cornish K, Myers MD, Kelley S. Latex quantification in homogenate and purified latex samples from various plant species using near infrared reflectance spectroscopy. *Industrial Crop and Products* 2004; 19:283-296.
- [6] Rittiron R, Seehalak W. Moisture content in raw rubber sheet analyzed by transfectance near infrared spectroscopy. *Journal of innovation optical health sciences* 2014; 7(4): 1350068-1–1350068-6.
- [7] Pamornak B, Limsiroratana S, Chongcheawchamnan M. Oil content determination scheme of postharvest oil palm for mobile devices. *Biosystems engineering* 2015; 134:8-9.
- [8] Pamornak B, Pamornak S, Khaorapapong T, Chongcheawchamnan M, Ruckelshausen A. An automatic and rapid system for grading palm bunch using a Kinect

- camera. computers and Electronic in Agriculture 2017; 143: 227-237.
- [9] Martins BM, et al. Estimating body weight, body condition score, and type traits in dairy cows using three dimensional cameras and manual body measurements. Livestock Science 2020; 236:104054.
- [10] ปรีดีเปรม ทศนกุล. เอกสารคำแนะนำสำหรับชาวสวนยาง คู่มือการผลิตยางก้อนถ้วยคุณภาพดี. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 9 กันยายน 2563]. เข้าถึงได้จาก: https://www.raot.co.th/ewt_dl_link.php?nid=4911
- [11] ภาณุวัฒน์ ทรัพย์ปลั่ง, จุฬวัญ ฝุ่นป่า, ศักดิ์ นรินทร์ ตรีศุณย์ และ ประสิทธิ์ โสภา. การหาปริมาณเนื้อยางแห้งในยางก้อนถ้วยแบบรวดเร็วโดยใช้เทคนิค FT-NIRs และ DLP-NIRs. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติครั้งที่ 19, 26-27 เมษายน 2561, จังหวัดประจวบคีรีขันธ์; 2561.



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การประยุกต์ใช้ระบบต้นทุนฐานกิจกรรม เพื่อการวิเคราะห์ต้นทุนกระบวนการ
การจัดเก็บสินค้าคงคลัง กรณีศึกษา: บริษัท XYZ

Application of activity-based costing systems for process cost analysis Inventory

Storage Case Study: XYZ Company

วันพิชิต เบ้งจีน¹⁾ พัฒนพงษ์ พลายแก้ว²⁾Wanpichit Bangcheen¹⁾ Pattanapong Praykaw²⁾¹⁾ วิทยาลัยโลจิสติกส์และซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยศรีปทุม วิทยาเขตขอนแก่น²⁾ ศูนย์วิจัยธุรกิจและเศรษฐกิจอีสาน คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น¹⁾ College of Logistics and Supply Chain Sripatum University Khon Kaen Campus²⁾ E-SAAN Center for Business and Economic Research (ECBER) Faculty of Economics : Khon Kaen University

Received: 6 May 2024

Revised: 23 May 2024

Accepted: 27 May 2024

Available online: 26 June 2024

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์กิจกรรม และต้นทุนของกระบวนการจัดเก็บสินค้าคงคลัง ด้วยระบบต้นทุนฐานกิจกรรม (Activity-Based Costing: ABC) กรณีศึกษา บริษัท XYZ ผลการศึกษาพบว่ากระบวนการจัดเก็บสินค้าคงคลังมีกิจกรรมหลักในการปฏิบัติงานทั้งหมด 4 กิจกรรมประกอบด้วย การรับสินค้าเข้าคลังสินค้า การขนย้ายสินค้าเข้าคลังสินค้า การจัดเก็บสินค้าภายในคลังสินค้า และการเคลื่อนย้ายสินค้าออกจากคลังสินค้า และผลการวิเคราะห์ต้นทุนของแต่ละกิจกรรมด้วยระบบต้นทุนฐานกิจกรรม (Activity-Based Costing: ABC) พบว่าต้นทุนรวมของกระบวนการจัดเก็บสินค้าคงคลังทั้ง 4 กิจกรรม มีค่า 88,038 บาทต่อเดือน ซึ่งกิจกรรมที่มีต้นทุนสูงที่สุดคือกิจกรรมการเคลื่อนย้ายสินค้าออกจากคลังสินค้า 27,808.81 บาทต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 31.59 ของต้นทุนรวมทั้ง 4 กิจกรรม รองลงมาคือต้นทุนกิจกรรมการจัดเก็บสินค้าภายในคลังสินค้า 26,538.22

บาทต่อเดือนคิดเป็นร้อยละ 30.14 ถัดมาคือต้นทุนกิจกรรมการขนย้ายสินค้าเข้าคลังสินค้า 21,434.40 บาทต่อเดือนคิดเป็นร้อยละ 24.35 และต้นทุนที่ต่ำที่สุดคือต้นทุนกิจกรรมการรับสินค้าเข้าคลังสินค้า 12,256.57 บาทต่อเดือนคิดเป็นร้อยละ 13.92

คำสำคัญ : ต้นทุนฐานกิจกรรม ต้นทุนโลจิสติกส์ กระบวนการจัดเก็บสินค้าคงคลัง

Abstract

The objective of this research is to analyze the activities and costs of the inventory storage process using the Activity-Based Costing (ABC) system. This case study focuses on XYZ Company. The study reveals that the inventory storage process consists of four main activities: receiving goods into the warehouse, moving goods into the warehouse, storing goods within the warehouse, and moving goods out of the warehouse. The cost analysis of each activity using the ABC system indicates that the total cost of the inventory storage process for these four activities amounts to 88,038 THB per month. The activity with the highest cost is moving goods out of the warehouse, which costs 27,808.81 THB per month, accounting for 31.59% of the total cost. This is followed by storing goods within the warehouse, which costs 26,538.22 THB per month, accounting for 30.14%. Next is moving goods into the warehouse, which costs 21,434.40 THB per month, accounting for 24.35%. The activity with the lowest cost is receiving goods into the warehouse, which costs 12,256.57 THB per month, accounting for 13.92%.

Keyword: Activity-Based Costing; Logistics costs; Inventory storage process

*ติดต่อ: ppraykaw9@gmail.com

1. บทนำ

การบริหารจัดการการเก็บสินค้าคงคลังเป็นกิจกรรมด้านโลจิสติกส์ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการสนับสนุนดำเนินงานของธุรกิจเพื่อให้ดำเนินงานได้อย่างเป็นระบบโดยคำนึงถึงต้นทุนที่ต่ำที่สุดและใช้พื้นที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด [11] สำหรับการคิดต้นทุนในการดำเนินธุรกิจมีหลายวิธี เช่น ต้นทุนแบบดั้งเดิม ต้นทุนฐานกิจกรรม การคิดต้นทุนตามงาน การคิดต้นทุน

ตามกระบวนการ เป็นต้น การคำนวณต้นทุนแบบดั้งเดิมมีข้อจำกัดต่อการระบุและวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตหรือการบริการอย่างแม่นยำ ข้อมูลที่ได้รับจากระบบนี้มักไม่เพียงพอและไม่ชัดเจนเพียงพอสำหรับการตัดสินใจในสภาพแวดล้อมทางธุรกิจที่มีการแข่งขันสูง เนื่องจากระบบบัญชีต้นทุนแบบดั้งเดิมมีการตั้งสมมติฐานว่าหน่วยหรือปริมาณการผลิตเป็นปัจจัยหลักในการกำหนดต้นทุน ส่งผลให้ข้อมูลที่ได้มาจากระบบบัญชีดังกล่าวอาจเบี่ยงเบนจากความเป็น

จริงและไม่สามารถสะท้อนต้นทุนที่แท้จริงได้อย่างเหมาะสม [4]

ระบบต้นทุนฐานกิจกรรม (Activity-Based Costing System: ABC) นำเสนอวิธีการคำนวณต้นทุนที่มีความถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น โดยแนวคิดหลักของระบบนี้คือการระบุว่าต้นทุนเกิดจากกิจกรรมแต่ละกิจกรรมในกระบวนการผลิต ในขณะที่ผลิตภัณฑ์เป็นผลลัพธ์ที่ใช้ทรัพยากรจากกิจกรรมต่าง ๆ แนวคิดดังกล่าวทำให้เกิดการวิเคราะห์ทรัพยากรที่ใช้ในแต่ละกิจกรรมอย่างละเอียดถี่ถ้วน ส่งผลให้ข้อมูลที่ได้รับมีความถูกต้องและแม่นยำยิ่งกว่าการใช้ระบบบัญชีต้นทุนแบบดั้งเดิม การคำนวณต้นทุนในลักษณะนี้สามารถช่วยให้ผู้บริหารสามารถเห็นภาพรวมของต้นทุนและค่าใช้จ่ายของทรัพยากรที่ใช้ในแต่ละกิจกรรมในกระบวนการผลิตได้อย่างชัดเจน ทำให้สามารถตัดสินใจในการจัดการต้นทุนและทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น [9]

บริษัทกรณีศึกษาคือบริษัทผู้นำเข้าและส่งออกอุปกรณ์กีฬาและเครื่องดนตรี โดยกิจกรรมหลักของการดำเนินธุรกิจเกิดขึ้นที่คลังสินค้า ซึ่งประกอบด้วย การรับสินค้าเข้าคลัง การขนย้ายสินค้าเข้าคลัง การจัดเก็บสินค้าในคลัง และการเคลื่อนย้ายสินค้าออกจากคลัง อย่างไรก็ตาม บริษัทกรณีศึกษายังไม่สามารถระบุชัดเจนถึงต้นทุนในกระบวนการจัดเก็บสินค้าได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเสนอการประยุกต์ใช้ระบบต้นทุนฐานกิจกรรม (Activity-Based Costing System: ABC) ในการวิเคราะห์ต้นทุนสำหรับทุกกิจกรรมในกระบวนการจัดเก็บสินค้าคงคลัง การนำ ABC มาใช้จะช่วยให้องค์กรกรณีศึกษาทราบถึงกิจกรรมและต้นทุนที่แท้จริงของแต่ละกิจกรรม ข้อมูล

ที่ได้จะเป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจในเรื่องการกำหนดราคาสินค้า การควบคุมต้นทุน และการปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดเก็บสินค้าคงคลังในอนาคต

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อวิเคราะห์กิจกรรม และต้นทุนของกระบวนการจัดเก็บสินค้าคงคลัง ด้วยระบบต้นทุนฐานกิจกรรม (Activity-Based Costing: ABC) กรณีศึกษา บริษัท XYZ

2. วิธีการวิจัย

2.1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรในการศึกษาค้างนี้ประกอบด้วยพนักงานคลังสินค้าจำนวน 5 ราย ซึ่งมีหน้าที่ดำเนินงานตั้งแต่กระบวนการรับสินค้าเข้าสู่คลังสินค้าจนถึงการขนย้ายสินค้าออกจากคลังสินค้า และพนักงานแผนกบัญชีจำนวน 1 ราย เพื่อให้ข้อมูลเกี่ยวกับค่าแรงของพนักงานที่ปฏิบัติงานภายในคลังสินค้า การเลือกกลุ่มตัวอย่างดำเนินการโดยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความเฉพาะเจาะจงและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการศึกษา

2.2. ระยะเวลาศึกษาและรวบรวมข้อมูล

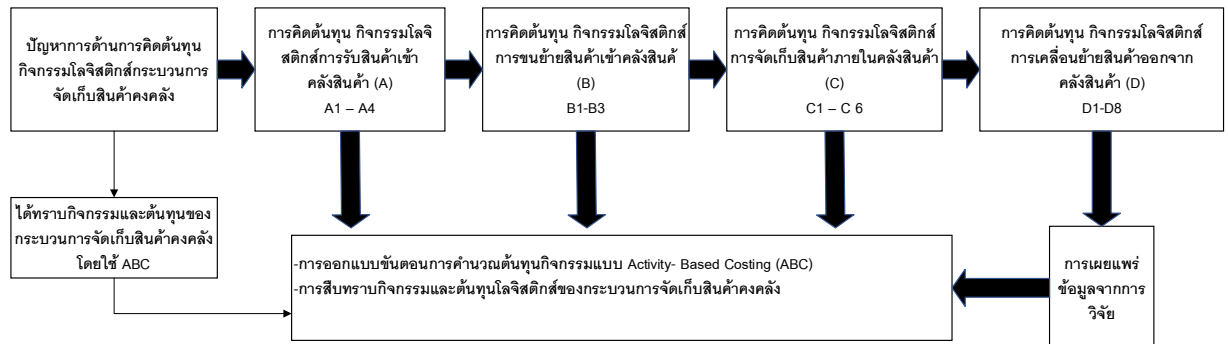
การศึกษานี้ดำเนินการ ตั้งแต่วันที่ 26 มิถุนายน พ.ศ. 2566 ถึงวันที่ 8 ธันวาคม พ.ศ. 2566

2.3. ขอบเขตด้านเนื้อหาการดำเนินการ

ผู้วิจัยได้ออกแบบกรอบแนวคิดการวิจัยตามวัตถุประสงค์ในการดำเนินงานวิจัย โดยมีการสืบค้นสำรวจ และเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับกิจกรรมและ

ต้นทุนโลจิสติกส์ของกระบวนการจัดเก็บสินค้าคงคลัง

ทั้ง 4 กิจกรรม ซึ่งแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงรอบแนวความคิดการวิจัย

2.4. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

แบบสัมภาษณ์ที่ไม่มีโครงสร้างเพื่อใช้ในการสัมภาษณ์พนักงานคลังสินค้า และพนักงานแผนกบัญชีและโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อใช้บันทึกข้อมูล และคำนวณต้นทุนของแต่ละกิจกรรม

2.5. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.5.1. ศักยภาพผู้ที่เกี่ยวข้อง

ผังงาน (Flow chart)

การเขียนผังงานเป็นแสดงให้เห็นถึงแนวคิด และขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม เพื่อช่วยอธิบายภาพรวมของโปรแกรมทำให้เขียนโปรแกรมได้ง่ายขึ้น การเขียนผังงานนิยมใช้สัญลักษณ์ต่างๆ แทนคำอธิบายและกระบวนการทำงานของโปรแกรมตั้งแต่เริ่มแรก จนถึงสิ้นสุดการทำงาน [3]

โลจิสติกส์และกิจกรรมโลจิสติกส์

โลจิสติกส์ (Logistics) คือ การจัดการลำเลียงสินค้า เพื่อให้เกิดต้นทุนโดยรวมในการกระจายสินค้าต่ำที่สุด เกี่ยวข้องตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบไปจนถึงจุดการบริโภคของสินค้านั้น [4]

แบ่งเป็น 13 กิจกรรมสำคัญ ได้แก่

1. การบริการลูกค้า
2. การดำเนินงานตามคำสั่งซื้อ
3. การพยากรณ์ความต้องการของลูกค้า
4. การจัดการสินค้าคงคลัง
5. คลังสินค้าและการจัดเก็บ
6. การขนส่ง
7. การจัดซื้อ-จัดหา
8. โลจิสติกส์ย้อนกลับ
9. การสนับสนุนผลิตภัณฑ์และการบริการ
10. การเลือกที่ตั้งโรงงานและคลังสินค้า
11. การเคลื่อนย้ายวัสดุ
12. บรรจุภัณฑ์
13. การสื่อสารด้านโลจิสติกส์

ระบบต้นทุนฐานกิจกรรม (Activity-Based Costing: ABC) เป็นเครื่องมือในการบริหารงานฐานคุณค่า (Value-Based Management) เน้นการเชื่อมโยงการบริหารระดับองค์กรลงสู่การปฏิบัติงานประจำวันแบบ Cross-Functional และ Integrated

View โดยมีวัตถุประสงค์สำคัญ คือ การให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการเข้าใจพฤติกรรมต้นทุนและตัวผลักดันต้นทุน มุ่งเน้นการคำนวณต้นทุนการผลิตหรือบริการอย่างเป็นระบบ ผ่านขั้นตอนการกำหนดกิจกรรม คำนวณหาต้นทุนของทรัพยากร กระจายต้นทุนตามกิจกรรม การคำนวณต้นทุนรายกิจกรรม เก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณงาน และคำนวณต้นทุนต่อหน่วยของกิจกรรมทั้งหมด เป็นการใช้ข้อมูลเชิงลึกเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพทางด้านต้นทุนและการจัดการโลจิสติกส์ให้เป็นระบบและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น [16]

2.5.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กานติมา อัมศร [1] ปี 2012 ได้ศึกษาต้นทุนโลจิสติกส์ของอุตสาหกรรมกุ้งแปรรูปด้วยระบบต้นทุนฐานกิจกรรมมีวัตถุประสงค์ คือ (1) ศึกษากิจกรรมผู้ประกอบการแพกุ้ง และ (2) ศึกษาต้นทุนโลจิสติกส์ด้วยระบบต้นทุนฐานกิจกรรมของผู้ประกอบการแพกุ้ง โดยใช้แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมโลจิสติกส์ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ กิจกรรมการจัดการวัตถุดิบ กิจกรรมการเคลื่อนย้ายวัตถุดิบ กิจกรรมการบรรจุภัณฑ์และหีบห่อ ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมโลจิสติกส์ในอุตสาหกรรมกุ้งแปรรูปดังกล่าว

ในปี 2019 [15] สุกฤษฏี เพชรสวัสดิ์, ธัชชัย เทพกรณ์, ณัฐพร ตั้งเจริญชัย และหทัยชนก พวงแย้ม โดยทำการศึกษารื่องการวิเคราะห์ต้นทุนที่แท้จริงในการส่งออกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองด้วยการประยุกต์ใช้ระบบต้นทุนฐานกิจกรรมการคำนวณหาต้นทุนที่แท้จริงของการส่งออกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองกรณีศึกษา ชมรมผู้ปลูกมะม่วงอำเภอเนินมะปราง จังหวัดพิษณุโลก ด้วยการใช้ระบบต้นทุนฐานกิจกรรม

ในขอบเขตพื้นที่การศึกษา 1 ไร่ ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า ต้นทุนที่แท้จริงของการส่งออกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองมีค่าเท่ากับ 32.76 บาทต่อกิโลกรัม หรือ 12.12 บาทต่อกิโล ซึ่งได้ทำการแบ่งกิจกรรมออกเป็น 9 กิจกรรมหลัก สรุปได้ว่า กิจกรรมที่มีสัดส่วนที่ทำให้เกิดต้นทุนมากที่สุดคือกิจกรรมที่ 7 ซึ่งมีสัดส่วน 49.43% และรองลงมาคือ กิจกรรมที่ 6 มีสัดส่วนถึง 33.88% และกิจกรรมที่มีสัดส่วนในการทำให้เกิดต้นทุนน้อยที่สุดคือ กิจกรรมที่ 4 มีสัดส่วนเพียง 0.08% ของต้นทุนทั้งหมด

ต่อมา ปี 2020 รัชฎา แต่งภูเขียว, กฤษณา ดลประเสริฐ และนริศรา สำราญสม [12] โดยทำการศึกษา เรื่องการศึกษาต้นทุนโลจิสติกส์ โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ต้นทุนฐานกิจกรรมกรณีศึกษา เกษตรกรผู้ปลูกหญ้าเนเปียร์แควะ” การสัมภาษณ์เชิงลึกเกษตรกรกลุ่มตัวอย่างที่ปลูกหญ้าเนเปียร์แควะ จำนวน 30 ราย และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ต้นทุนฐานกิจกรรม ผลการศึกษพบว่า กิจกรรมหลักในการปฏิบัติงานของเกษตรกรผู้ปลูกหญ้าเนเปียร์แควะ ประกอบไปด้วย 5 กิจกรรมหลัก ได้แก่ (1) กิจกรรมการเตรียมแปลงปลูก (2) กิจกรรมการปลูก (3) กิจกรรมการดูแลรักษา (4) กิจกรรมการเก็บเกี่ยว และ (5) กิจกรรมการขนส่ง สำหรับต้นทุนฐานกิจกรรมในภาพรวมมีค่าเท่ากับ 2,059,500 บาทต่อปี ซึ่งกิจกรรมหลักที่มีต้นทุนสูงที่สุด คือ กิจกรรมการปลูก มีต้นทุนรวมเท่ากับ 686,700 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 33.34 อันดับที่สองคือกิจกรรมการขนส่ง มีต้นทุนรวมเท่ากับ 576,000 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 27.97 อันดับที่สามคือ กิจกรรมการเก็บเกี่ยว

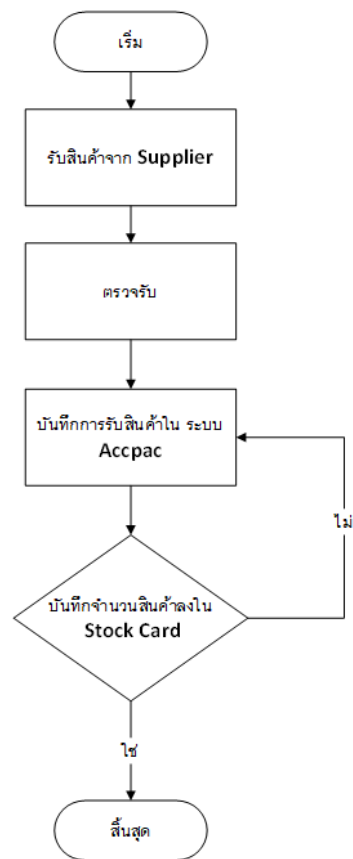
มีต้นทุนรวมเท่ากับ 398,400 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 19.34

และ ศุภัญญา โชตยะกุล และวราธร ปัญญางาม [13] โดยทำการศึกษาเรื่อง การออกแบบการประเมินต้นทุนการผลิตสำหรับประมาณการต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ การประมาณการต้นทุนจากสภาพการทำงานในอดีตในช่วง 1 ปี ก่อนหน้าเพื่อเป็นต้นแบบโครงสร้างทางต้นทุนในแต่ละกิจกรรมการผลิตและพัฒนาระบบการคำนวณต้นทุนโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Microsoft Excel เมื่อนำวิธีการประเมินต้นทุนและโปรแกรมที่ออกแบบไว้ไปประยุกต์ใช้ในการประเมินต้นทุนของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง 5 ราย พบว่าจากการปรับเปลี่ยนวิธีการคำนวณต้นทุนการผลิตแบบใหม่โดยปรับมาใช้ในการคำนวณต้นทุนกิจกรรม ทำให้ทราบถึงความแตกต่างของต้นทุนผลิตภัณฑ์ตัวอย่างทั้ง 5 รายพบว่าต้นทุนการผลิตแบบเดิมของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง A, B, C, D และ E มีค่าเท่ากับ 8.1, 15.3, 63.0, 22.5 และ 58.5 บาทต่อชิ้นตามลำดับ ในขณะที่การคำนวณด้วยวิธีต้นทุนกิจกรรมของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง A, B, C, D และ E มีค่าเท่ากับ 28.7, 15.2, 42.1, 23.4 และ 49.5 บาทต่อชิ้นตามลำดับ ผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้พบว่าการประยุกต์ใช้หลักการต้นทุนฐานกิจกรรมทำให้สามารถประเมินต้นทุนผลิตภัณฑ์ใหม่ตามความต้องการของลูกค้า เพื่อนำไปสู่การกำหนดราคาขายสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำมากขึ้น

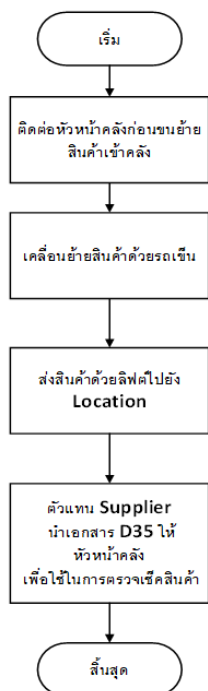
2.5.3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

จากการสัมภาษณ์ และเก็บรวบรวม ข้อมูลเกี่ยวกับขั้นตอนการปฏิบัติงานจากพนักงานคลังสินค้าที่ 5 คน พบกิจกรรมหลักสำหรับการจัดเก็บสินค้าคงคลัง

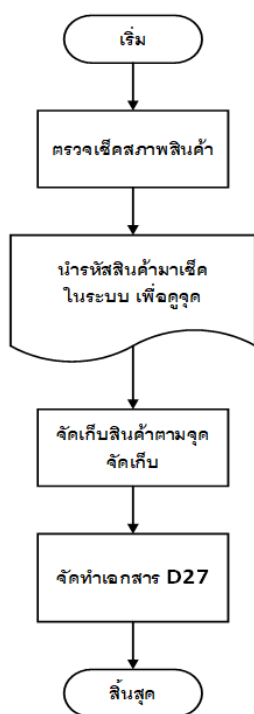
ทั้งหมด 4 กิจกรรม ได้แก่ การรับสินค้าเข้าคลังสินค้า การขนย้ายสินค้าเข้าคลังสินค้า การจัดเก็บสินค้าภายในคลังสินค้า และการเคลื่อนย้ายสินค้าออกจากคลังสินค้า จากนั้นผู้วิจัยจึงนำขั้นตอนการปฏิบัติงานมาทำการบันทึกข้อมูลด้วยผังงานการไหล (Flow chart) แสดงดังรูปที่ 2-5



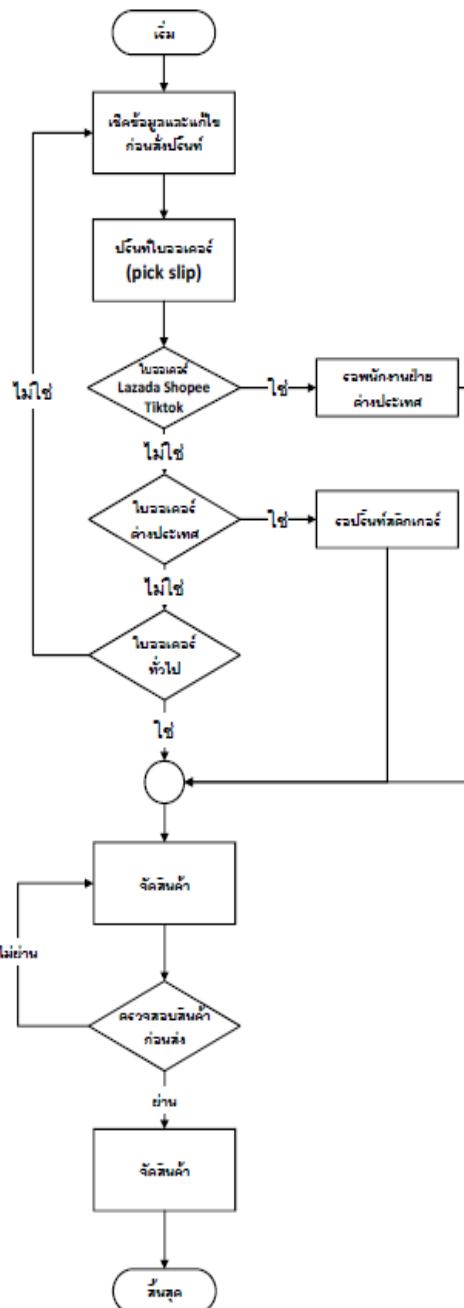
รูปที่ 2 กิจกรรมการรับสินค้า



รูปที่ 3 กิจกรรมการขนย้ายสินค้าเข้าคลังสินค้า



รูปที่ 4 กิจกรรมการจัดเก็บสินค้า

รูปที่ 5 กิจกรรมการเคลื่อนย้ายสินค้าออกแต่ละ
กิจกรรมหลักจะประกอบด้วยกิจกรรมย่อยทำให้เกิด
ค่าใช้จ่าย ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1

กิจกรรมหลักและกิจกรรมย่อยของกระบวนการ
จัดเก็บสินค้าคงคลัง

กิจกรรมหลัก	กิจกรรมย่อย	ตัวหลักต้นทุน
การรับ สินค้า (A)	ค่าแรงงานพนักงานตรวจรับสินค้า (A1)	ระยะเวลาในการปฏิบัติงาน
	ค่าเอกสารการรับสินค้า (A2)	จำนวนครั้งในการปฏิบัติงาน
	ค่าพื้นที่ในการรับสินค้า (A3)	พื้นที่ในการปฏิบัติงาน
	ค่ากระดาษ Stock Card (A4)	จำนวนครั้งในการปฏิบัติงาน
การขน ย้าย สินค้าเข้า คลังสินค้า (B)	ค่าเสื่อมสภาพของรถเข็น 1 (B1)	จำนวนครั้งในการปฏิบัติงาน
	ค่าแรงพนักงานขนย้ายสินค้า (B2)	ระยะเวลาในการปฏิบัติงาน
	ค่าบำรุงรักษาสภาพของลิฟต์ 1 (B3)	ระยะเวลาในการปฏิบัติงาน
การจัดเก็บ สินค้า (C)	ค่าแรงงานพนักงานตรวจเช็คสภาพ สินค้า (C1)	ระยะเวลาในการปฏิบัติงาน
	ค่าแรงพนักงานเก็บสินค้า(C2)	ระยะเวลาในการปฏิบัติงาน
	ค่ากระดาษในการจัดทำเอกสาร D27 (C3)	จำนวนครั้งในการปฏิบัติงาน
	ค่าเสื่อมสภาพรถเข็น 2 (C4)	จำนวนครั้งในการปฏิบัติงาน
	ค่าพื้นที่คลังสินค้า (C5)	พื้นที่ในการปฏิบัติงาน
	ค่าไฟในการจัดเก็บสินค้า (C6)	ระยะเวลาในการปฏิบัติงาน
การ เคลื่อนย้าย สินค้าออก จากคลัง (D)	ค่าการใช้ไฟเข้าระบบ Intranet (D1)	ระยะเวลาในการปฏิบัติงาน
	ค่ากระดาษริบปอร์ช (Pick slip) (D2)	จำนวนครั้งในการปฏิบัติงาน
	ค่ากระดาษสต็อกเกอร์ (D3)	จำนวนครั้งในการปฏิบัติงาน
	ค่าเสื่อมสภาพเครื่องพิมพ์ใบ Pick Slip (D4)	ระยะเวลาในการปฏิบัติงาน
	ค่าเสื่อมสภาพเครื่องพิมพ์สต็อกเกอร์ (D5)	ระยะเวลาในการปฏิบัติงาน
	ค่าแรงงานพนักงานต่างชาติ (D6)	ระยะเวลาในการปฏิบัติงาน
	ค่าแรงงานพนักงานจัดสินค้า (D7)	ระยะเวลาในการปฏิบัติงาน
	ค่าบำรุงรักษาสภาพของลิฟต์ 2 (D8)	ระยะเวลาในการปฏิบัติงาน

2.5.4. การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ต้นทุนด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ต้นทุน

ฐานกิจกรรม

การวิเคราะห์ต้นทุนการใช้ทรัพยากร และกิจกรรมโลจิสติกส์ทั้ง 4 กิจกรรม ได้แก่ การรับสินค้าเข้าคลังสินค้า การขนย้ายสินค้าเข้าคลังสินค้า การจัดเก็บสินค้าภายในคลังสินค้า และการเคลื่อนย้ายสินค้าออกจากคลังสินค้า พบรายการค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงมาสรุปเป็นต้นทุน โดยงานวิจัยนี้ได้แบ่งต้นทุนออกเป็น 4 ด้าน ได้แก่ ด้านบุคลากร ด้านพื้นที่ และสาธารณูปโภค ด้านเครื่องจักรอุปกรณ์ และด้านวัสดุสิ้นเปลือง สำหรับตัวหลักต้นทุนได้พิจารณาระยะเวลาการปฏิบัติงาน พื้นที่ปฏิบัติงาน และจำนวนครั้งการปฏิบัติงาน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2

ผลต้นทุนการใช้ทรัพยากร

ประเภท ทรัพยากร	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อ		
	หน่วย	จำนวน	เดือน
A1	353	1 คน	10,590
B2	353	2 คน	21,180
C1	353	1 คน	4,633.65
C2	353	1 คน	6,619.50
D6	353	2 คน	7,943.40
D7	353	1 คน	10,590
C5	-	-	-
C6	4.91	103.53 หน่วย	15,249.97
D1	4.91	44.37 หน่วย	6,535.70
B1	2.12	4 คัน	254.40
C4	2.12	1 คัน	63.60
B3	1,441.17	1 ตัว	1,441.17

D8	1,441.17	1 ตัว	1,441.17
D4	6,690	1 เครื่อง	139.38
D5	9,200	1 เครื่อง	255.56
A2	0.39	360 แผ่น/เดือน	140.40
A4	0.85	100 แผ่น/เดือน	85
C3	0.39	90 แผ่น/เดือน	35.10
D2	120	4 ม้วน/เดือน	480
D3	120	3 ม้วน/เดือน	360

จากตารางที่ 2 พบว่าค่าใช้จ่ายในส่วนของพื้นที่ในการรับสินค้า และพื้นที่คลังสินค้าไม่มีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้น เนื่องจากพื้นที่ทั้งหมดเป็นของเจ้าของกิจการเอง ไม่ได้มีการเช่าพื้นที่จึงไม่เกิดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ สำหรับการคำนวณค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ มีรายละเอียด ดังนี้

1. ค่าแรงงานพนักงานตรวจรับสินค้า
 $= 353 \text{ บาท/วัน/คน} \times 30 \text{ วัน/คน}$
2. ค่าแรงงานขนย้ายสินค้า
 $= 353 \text{ บาท/วัน/คน} \times 30 \text{ วัน/คน}$
3. ค่าแรงงานพนักงานคลังตรวจเช็คสภาพสินค้า
 $= (353 \text{ บาท/8 ชั่วโมง} = 44.13 \text{ บาท/ชั่วโมง}) \times 3.5 \text{ ชั่วโมง/วัน} \times 30 \text{ วัน/คน}$
4. ค่าแรงงานเก็บสินค้า
 $= (353 \text{ บาท/8 ชั่วโมง} = 44.13 \text{ บาท/ชั่วโมง}) \times 5 \text{ ชั่วโมง/วัน} \times 30 \text{ วัน/คน}$
5. ค่าแรงงานพนักงานต่างชาติ
 $= (353 \text{ บาท/8 ชั่วโมง} = 44.13 \text{ บาท/ชั่วโมง}) \times 3 \text{ ชั่วโมง/วัน} \times 30 \text{ วัน/คน}$
6. ค่าแรงงานพนักงานจัดสินค้า
 $= 353 \text{ บาท/วัน/คน} \times 30 \text{ วัน/คน}$

7. ค่าไฟรวมของคลังสินค้า (DK4) หน่วยละ 4.91

บาท/หน่วย

- ค่าไฟในการจัดเก็บสินค้าจะคิดเป็น 70% จะเท่ากับ $103.53 \text{ หน่วย/วัน} \times 4.91 \text{ บาท/หน่วย} \times 30 \text{ วัน}$
- ค่าการใช้ไฟเข้าระบบ Intranet จะคิดเป็น 30% จะเท่ากับ $44.37 \text{ หน่วย/วัน} \times 4.91 \text{ บาท/หน่วย} \times 30 \text{ วัน}$

8. ค่าเสื่อมสภาพรถเข็น

- ล้อ 1 ล้อ มีราคา = 123 บาท/ล้อ $\times 4 \text{ ล้อ/คัน} = 492 \text{ บาท/คัน}$ มีระยะเวลาการใช้งาน 1 ปี จะมีค่าการใช้งานเฉลี่ยเท่ากับ 1.38 บาท/คัน

- ไม้แดงเก่า 1 แผ่น (ขนาด $11 \times 70 \times 1.5$) มีราคา = 180 บาท/แผ่น $\times 3 \text{ แผ่น/คัน} = 540 \text{ บาท/คัน}$ มีระยะเวลาการใช้งาน 2 ปี จะมีค่าการใช้งานเฉลี่ย เท่ากับ 0.75 บาท/คัน $= (1.38 \times 0.75 \text{ บาท/คัน}) \times 30 \text{ วัน}$

9. ค่าบำรุงรักษาสภาพของลิฟต์
 $= \text{บำรุงรักษา 6 เดือน/ครั้ง} \text{ เฉลี่ยต่อเดือนจะได้ } 8,647/6 = 1441.17 \text{ บาท/เดือน}$

10. ค่าเสื่อมสภาพเครื่องพิมพ์ใบ Pick Slip (ระยะเวลาการใช้งาน 4 ปี) = 6,690 บาท/เครื่อง หาร 48 เดือน

11. ค่าเสื่อมสภาพเครื่องพิมพ์สติ๊กเกอร์ (ระยะเวลาการใช้งาน 3 ปี) = 9,200 บาท/เครื่อง หาร 36 เดือน

12. ค่าเอกสารการรับสินค้า D35 (จะมีการรับสินค้า 3 ครั้ง/วัน)

$$= 4 \text{ แผ่น/ครั้ง} \times 3 \text{ ครั้ง/วัน} \times 0.39 \text{ บาท/แผ่น} \times 30 \text{ วัน}$$

13. ค่ากระดาษ Stock Card

$$= 100 \text{ แผ่น/เดือน} \times 0.85 \text{ บาท/แผ่น}$$

14. ค่ากระดาษในการจัดทำเอกสาร D27 (จะมีการรับสินค้า 3 ครั้ง/วัน)

$$= 1 \text{ แผ่น/ครั้ง} \times 3 \text{ ครั้ง/วัน} \times 0.39 \text{ บาท/แผ่น} \times 30 \text{ วัน}$$

15. ค่ากระดาษริปปอร์น (Pick slip)

= 4 ม้วน/เดือน x 120 บาท/ม้วน

16. ค่ากระดาษสติ๊กเกอร์

= 3 ม้วน/เดือน x 120 บาท/ม้วน

2. การวิเคราะห์การกระจายต้นทุนตามกิจกรรม

การวิเคราะห์การกระจายต้นทุนตามกิจกรรม และ
ต้นทุนรวมทั้งหมดของแต่ละกิจกรรม ซึ่งมีกิจกรรม
ทั้งหมด 4 กิจกรรม ได้แก่ กิจกรรมการรับสินค้า

กิจกรรมการขนย้ายสินค้าเข้าคลังสินค้า กิจกรรมการ

จัดเก็บสินค้า และกิจกรรมการเคลื่อนย้ายสินค้าออก
จากคลังสินค้า โดยมีค่าใช้จ่ายด้านทรัพยากรทั้งหมด
4 ประเภท รายละเอียดแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3

ผลการกระจายต้นทุนและต้นทุนรวมของกระบวนการจัดเก็บสินค้าคงคลัง (บาท/เดือน)

ค่าใช้จ่าย	กิจกรรม					(%)
	รับสินค้า	ขนย้าย สินค้าเข้า คลังสินค้า	จัดเก็บ สินค้า	เคลื่อนย้าย สินค้าออก จาก คลังสินค้า	รวม (บาท)	
ด้านบุคลากร						
ค่าแรงงานพนักงานตรวจรับสินค้า	10,590	-	-	-	10,590	
ค่าแรงพนักงานขนย้ายสินค้า	-	21,180	-	-	21,180	
ค่าแรงพนักงานคลังตรวจเช็คสภาพ สินค้า	-	-	4,633.65	-	4,633.65	
ค่าแรงพนักงานเก็บสินค้า	-	-	6,619.50	-	6,619.50	
ค่าแรงงานพนักงานต่างชาติ	-	-	-	7,943.40	7,943.40	
ค่าแรงงานพนักงานจัดสินค้า	-	-	-	10,590	10,590	
รวม	10,590	21,180	11,253.15	18,533.40	61,556.55	69.92
ด้านพื้นที่และสาธารณูปโภค						
พื้นที่ของตนเอง	-	-	-	-	-	
ค่าไฟรวมของคลังสินค้า (DK4)	-	-	15,249.97	6,535.70	21,785.67	
รวม	-	-	15,249.97	6,535.70	21,785.67	24.75
ด้านเครื่องจักรอุปกรณ์						
ค่าเสื่อมสภาพรถเข็น	-	254.40	-	63.60	318	

ค่าบำรุงรักษาสภาพของลิฟต์	1,441.17	-	-	1,441.17	2,882.34	
ค่าเสื่อมสภาพเครื่องพิมพ์ใบ Pick Slip	-	-	-	139.38	139.38	
ค่าเสื่อมสภาพเครื่องพิมพ์สติ๊กเกอร์	-	-	-	255.56	255.56	
รวม	1,441.17	254.40	-	1,899.71	3,595.28	4.08
ด้านวัสดุสิ้นเปลือง						
ค่าเอกสารการรับสินค้า D35	140.40	-	-	-	140.40	
ค่ากระดาษ Stock Card	85	-	-	-	85	
ค่ากระดาษในการจัดทำเอกสาร D27	-	-	35.10	-	35.10	
ค่ากระดาษริปเปอร์ (Pick slip)	-	-	-	480	480	
ค่ากระดาษสติ๊กเกอร์	-	-	-	360	360	
รวม	225.40	-	35.10	840	1,100.50	1.25
ค่าใช้จ่ายรวมตามกิจกรรม	12,256.57	21,434.40	26,538.22	27,808.81	88,038	100
ค่าใช้จ่ายรวมตามกิจกรรม (%)	13.92	24.35	30.14	31.59	100	

จากตารางที่ 3 พบว่าต้นทุนรวมของการจัดเก็บสินค้าคงคลังทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 88,038 บาท กิจกรรมที่มีค่าใช้จ่ายมากที่สุด คือ การเคลื่อนย้ายสินค้าออกจากคลังสินค้า มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 27,808.81 บาท คิดเป็นร้อยละ 31.59 ของต้นทุนรวม ลำดับที่สองเป็นการจัดเก็บสินค้า มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 26,538.22 บาท คิดเป็นร้อยละ 30.14 ลำดับที่สาม การขนย้ายสินค้าเข้าคลังสินค้า มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 21,434.40 บาท คิดเป็นร้อยละ 24.35 และลำดับที่สี่ การรับสินค้า มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 12,256.57 บาท คิดเป็นร้อยละ 13.92 และ ต้นทุนรวมของกระบวนการจัดเก็บสินค้าคงคลังตามฐานกิจกรรมเท่ากับ 88,038 บาทต่อเดือน ซึ่งการใช้ทรัพยากรด้านบุคลากรมีต้นทุนรวมที่สูงที่สุดเท่ากับ 61,556.55 บาทต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 69.92 รองลงมาคือด้านพื้นที่ และ สาธารณูปโภค มีต้นทุนรวมเท่ากับ 21,785.67 บาทต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 24.75 ด้านเครื่องจักร และ

อุปกรณ์ มีต้นทุนรวมเท่ากับ 3,595.28 บาทต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 4.08 และด้านวัสดุสิ้นเปลืองมีต้นทุนรวมเท่ากับ 1,100.50 บาทต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 1.25 ตามลำดับ

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การวิเคราะห์ต้นทุนของกระบวนการจัดเก็บสินค้าคงคลังตามฐานกิจกรรมพบว่าทั้ง 4 กิจกรรมมีการใช้ทรัพยากรบุคลากรเป็นส่วนสำคัญมากที่สุดด้วยร้อยละ 69.92 ของต้นทุนรวม ซึ่งก็เป็นปกติในกิจการที่มีการจัดเก็บสินค้าคงคลัง โดยระบบงานที่ใช้ค่าแรงงานมีบทบาทสำคัญในการรักษาความเป็นไปตามเป้าหมายของการจัดเก็บสินค้าอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยกานติมา อิมสร [1] กล่าวถึงต้นทุนโลจิสติกส์รวมที่เกิดขึ้นของผู้ประกอบการแพคเกจจิ้งมูลค่าทั้งหมด 309,118 บาทต่อเดือน ซึ่งมาจากการใช้ทรัพยากรด้านบุคลากรเป็นส่วนสำคัญที่สุด

โดยมีส่วนร้อยละ 55 ของต้นทุนรวม เนื่องจากต้องใช้แรงงานในการปฏิบัติงานทุกกิจกรรมของโลจิสติกส์ในกระบวนการแพ็คเกจอย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพที่สูง ในทำนองเดียวกันการใช้พื้นที่และสาธารณูปโภคก็มีความสำคัญในการเกิดต้นทุน แม้จะไม่มีน้ำหนักเท่ากับค่าแรงงาน แต่ก็มีผลต่อค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น โดยมีร้อยละ 24.75 ของต้นทุนรวมอีกทั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์ ก็เป็นส่วนที่สำคัญในการทำให้กิจกรรมเกิดประสิทธิภาพมากขึ้น ตัวอย่างงานวิจัยของเอกชัย คุปตาวาทิน, พัลลภ พรหมสาเพ็ชร, และวราสนา ช่อมะลิ [20] การนำต้นทุนฐานกิจกรรมมาใช้ในการคิดต้นทุนโลจิสติกส์ในการทำการเกษตร จะช่วยให้เข้าใจถึงโครงสร้างต้นทุนของงานบริการแต่ละอย่าง เช่น ค่าแรงงาน ค่าวัสดุ ค่าเช่าสถานที่ เป็นต้น และช่วยในการวิเคราะห์ว่าจุดใดในกระบวนการสร้างคุณค่าต้องมีการปรับปรุงเพื่อลดต้นทุนหรือเพิ่มคุณค่า เป็นต้น การวิเคราะห์ผลลัพธ์ของการควบคุมต้นทุนจะช่วยให้เห็นภาพรวมของการดำเนินงานและการสร้างคุณค่าโดยการใช้ตัวชี้วัดเช่น อัตราการลดต้นทุน สัดส่วนต้นทุนที่ลดลง เป็นต้น ดังนั้นการจัดการทรัพยากรทั้งสี่ด้านนี้จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องพิจารณาอย่างละเอียด เพื่อให้การจัดเก็บสินค้าเป็นไปตามเป้าหมายและมีประสิทธิภาพสูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ อย่างไรก็ตามการจัดเก็บสินค้าคงคลังเป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อน ทำให้ต้องมีการคำนึงถึงทุกด้านที่มีผลต่อต้นทุนและประสิทธิภาพในการดำเนินงานอย่างเต็มศักยภาพ

4. สรุป

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์กิจกรรมและต้นทุนของกระบวนการจัดเก็บสินค้าคงคลัง ด้วย

ระบบต้นทุนฐานกิจกรรม (Activity-Based Costing: ABC) ผลจากการลงพื้นที่สำรวจ และเก็บรวบรวมข้อมูลตั้งแต่การรับสินค้าเข้าสู่คลังสินค้าจนกระทั่งการขนย้ายสินค้าออกจากคลังสินค้า จากการศึกษาสามารถจำแนกกิจกรรมหลักทางด้านโลจิสติกส์ทั้งหมด 4 กิจกรรม คือ (1) การรับสินค้าเข้าคลังสินค้า (2) การขนย้ายสินค้าเข้าคลังสินค้า (3) การจัดเก็บสินค้าภายในคลังสินค้า (4) การเคลื่อนย้ายสินค้าออกจากคลังสินค้า ซึ่งผลการวิเคราะห์ต้นทุนรวมของกระบวนการจัดเก็บสินค้าคงคลังทั้ง 4 กิจกรรมด้วยด้วยต้นทุนฐานกิจกรรม (Activity-Based Costing: ABC) เท่ากับ 88,038 บาทต่อเดือน ประกอบด้วย (1) ต้นทุนกิจกรรมการรับสินค้าเข้าคลังสินค้า 12,256.57 บาทต่อเดือน แบ่งเป็นต้นทุนด้านบุคลากร 10,590 บาท ด้านวัสดุสิ้นเปลือง 225.40 บาท และด้านเครื่องจักรและอุปกรณ์ 1141.17 บาท (2) ต้นทุนกิจกรรมการขนย้ายสินค้าเข้าคลังสินค้า 21,434.40 บาทต่อเดือน แบ่งเป็นต้นทุนด้านบุคลากร 21,180 บาท และด้านเครื่องจักรและอุปกรณ์ 254.40 บาท (3) ต้นทุนกิจกรรมการจัดเก็บสินค้าภายในคลังสินค้า 26,538.22 บาทต่อเดือน แบ่งเป็นต้นทุนด้านบุคลากร 11,253.15 บาท ด้านวัสดุสิ้นเปลือง 35.10 บาท ด้านพื้นที่และสาธารณูปโภค 15,249.97 บาท (4) ต้นทุนกิจกรรมการเคลื่อนย้ายสินค้าออกจากคลังสินค้า 27,808.81 บาทต่อเดือน แบ่งเป็นต้นทุนด้านบุคลากร 18,533.40 บาท ด้านวัสดุสิ้นเปลือง 840 บาท ด้านพื้นที่และสาธารณูปโภค 6,535.70 บาท และด้านเครื่องจักรและอุปกรณ์ 1,899.71 บาท

4.1. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งนี้

จากการวิจัยเรื่องผู้วิจัยได้สังเกตเห็นถึงความสำคัญและประโยชน์ของงานวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างยิ่งและเพื่อให้การวิจัยหรือแนวทางในการปฏิบัติงานในครั้งต่อไปมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะ ดังต่อไปนี้

1. จัดทำเอกสารกระบวนการทำงาน (Work Instruction) เพื่อเพิ่มความชัดเจนและเรียบง่ายในการทำงานของพนักงาน โดยรวมแผนผังสำหรับพื้นที่รอส่งสินค้าและการตรวจสอบก่อนจัดส่ง

2. จัดการฝึกอบรมเพื่อปรับปรุงทักษะของพนักงานในการจัดเก็บสินค้าใหม่เพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างเรียบร้อยและมีประสิทธิภาพ

4.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยในครั้งต่อไป

1. ศึกษาวิเคราะห์การลดระยะทางและเวลาการทำงานของรถยกสินค้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน

2. พิจารณาการขยายพื้นที่จัดเก็บสินค้าเพิ่มเติมและการใช้เทคนิคการจัดการพื้นที่ให้เหมาะสมเพื่อลดการใช้พื้นที่ที่ไม่จำเป็น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณะผู้บริหาร พนักงานแผนกคลังสินค้า แผนกบัญชี บริษัท XYZ ที่กรุณาสับสนุนข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับการวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] กานติมา อิมศร. ต้นทุนโลจิสติกส์ของอุตสาหกรรมกุ้งแปรรูปด้วยระบบต้นทุนฐานกิจกรรม บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้; 2012.

[2] เกศินี สีอนิ. การประยุกต์ใช้แบบจำลองอ้างอิงการดำเนินงานโซ่อุปทาน (Supply Chain Operational Reference Model: SCOR Model) เพื่อลดต้นทุนโลจิสติกส์ในกระบวนการปลูกข้าวหอมมะลิ พันธุ์ 105 กรณีศึกษาเกษตรกรปลูกข้าวบ้านเชิงอำเภอยะรัง จังหวัดร้อยเอ็ด. วารสารปัญญาภิวัฒน์ ปีที่ 14 ฉบับที่ 1 มกราคม - เมษายน 2022 : 238 – 253.

[3] กิตินันท์ พลสวัสดิ์. คู่มือเรียนและการใช้ Visual C. อินโฟเพรส: กรุงเทพฯ; 2011.

[4] คำนาย อภิปรัชญาสกุล. การจัดการต้นทุนโลจิสติกส์. โฟกัสมีเดีย แอนด์พับลิชชิง: กรุงเทพฯ; 2008.

[5] จิรวรรณ ปลั่งพงษ์พันธ์. การวิเคราะห์ต้นทุนทางการตลาดดิจิทัลสำหรับผลิตภัณฑ์ชุมชนโดยวิธีต้นทุนฐานกิจกรรมและการบริหารฐานกิจกรรม. Rajapark Journal 17.52 2023: 433-449.

[6] ชาญศักดิ์ ตั้งสันติกุลานนท์. การวิเคราะห์ต้นทุน การผลิตฯเทียมโดยใช้ระบบต้นทุนฐาน กิจกรรม. Ladkrabang Engineering Journal 32.4 2015: 37-42.

[7] ชุติกร ชูโชติถาวร. ต้นทุนฐานกิจกรรมและการจำลองสถานการณ์เพื่อลดต้นทุนกระบวนการ ด้านโลจิสติกส์ในอุตสาหกรรมโก โก้. Silpakorn University e- Journal (Social Sciences, Humanities, and Arts) 2022: 97-110.

- [8] ทศพร มะโนแสน. การวิเคราะห์ต้นทุนการจัดการรับคืนสินค้าด้วยการคิดต้นทุนฐานกิจกรรมเกณฑ์เวลา. [สารนิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. สาขาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน สหสาขาวิชาการจัดการด้านโลจิสติกส์ บัณฑิตวิทยาลัย. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์; 2022.
- [9] เบญจรัตน์ คู่กระสังข์. การประยุกต์ใช้ระบบต้นทุนฐานกิจกรรม เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนน้ำดื่มบรรจุขวด กรณีศึกษาโรงงานน้ำดื่มจุฑาเพชร [งานนิพนธ์ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต] สาขาวิชาการจัดการการขนส่งและโลจิสติกส์ คณะโลจิสติกส์: มหาวิทยาลัยบูรพา; 2013.
- [10] ปรีดา จีวปัญญา และ ภาคภูมิใจ ชมภู. การศึกษาและวิเคราะห์ต้นทุนฐานกิจกรรมใน กระบวนการผลิตข้าวหอมมะลิอินทรีย์ เพื่อหาแนวทางในการกำหนดราคากลุ่มวิสาหกิจชุมชนเกษตรผ่านศึก ตำบลตลุกกลางทุ่ง อำเภอเมือง จังหวัดตาก. วารสารวิจัยและส่งเสริมวิชาการเกษตร 38.2 2021; 107-118.
- [11] เยาวลักษณ์ ชานองหว่า และ ชฎาพร ฑีฆา อุตมากร. การเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารสินค้าคงคลังของ บริษัท ซี เอส สตีล โปรดักส์จำกัด. วารสารวิจัยธุรกิจและการจัดการเพื่อความเป็นเลิศ. 2019; 1(2): 1-14.
- [12] รัชฎา แต่งภูเขียว กฤษณา ดลประเสริฐ และ นริศรา สำราญสม. การศึกษาต้นทุนโลจิสติกส์ โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ต้นทุนฐานกิจกรรม กรณีศึกษาเกษตรกรผู้ปลูกหน่อเนเปียร์แควะ วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชชมงคลธัญบุรี พศจิกายน - มิถุนายน 2020; 77 – 86.
- [13] ศุภชัย ไซตยะกุล และ วราธร ปัญญางาม. การออกแบบการประเมินต้นทุนการผลิตสำหรับประมาณการต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่. วารสารวิชาการปทุมวัน ปีที่ 10 ฉบับที่ 29 กันยายน - ธันวาคม 2020; 15 – 28.
- [14] เศรษฐภูมิ เกชาวี จิรวัดณ์ ตั้งจิตโสมนัส, จิรวดี อินทกาญจน์ อรรถพล ป้อมสถิตย์ นฤมล วิถีธรรมศักดิ์ และ นพวรรณ พรศิริ. การวิเคราะห์และบริหารต้นทุนโลจิสติกส์ของโซ่อุปทานข้าว : กรณีศึกษา จังหวัดนนทบุรี. วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. ปีที่ 13 ฉบับที่ 1 พฤษภาคม – สิงหาคม 2020; 153 – 172.
- [15] สุกฤษฎี เพชรสวัสดิ์ ธัชชัย เทพภรณ์มณัฐพร ตั้งเจริญชัย และ หทัยชนก พวงแย้ม. การวิเคราะห์ต้นทุนที่แท้จริงในการส่งออกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองด้วยการประยุกต์ใช้ระบบต้นทุนฐานกิจกรรม วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ปีที่ 1

- ฉบับที่ 3 กันยายน - ธันวาคม 2019; 81 – 98.
- [16] สุชาดา กุลธง. การศึกษาแนวทางการคิดต้นทุนกิจกรรมต่อหน่วยของโครงการวิจัยสถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเชียงใหม่. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2003.
- [17] สำนักส่งเสริมการค้าสินค้าไลฟ์สไตล์ กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ เรื่องมูลค่าการส่งออกสินค้าเครื่องกีฬาและเครื่องเล่นเกมส์. (สื่อออนไลน์) [เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 มกราคม 2024]. เข้าถึงได้จาก https://www.ditp.go.th/contents_attach/761850/761850.pdf
- [18] สุพจน์ คำมะณี และ สมเกียรติ อินตาวงค์. การวิเคราะห์ต้นทุนทางโลจิสติกส์โดยใช้ระบบ ต้นทุนฐานกิจกรรมของกลุ่มผู้ประกอบการ อำเภอ แม่ลาน้อยจังหวัดแม่ฮ่องสอน. วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม 15.3 2021; 210-216.
- [19] อรปวีณ์ เลิศไกร และ กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์. การบริหารต้นทุนโดยใช้เอบีซีในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ไม้. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปีที่ 15 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม - สิงหาคม 2019; 1 - 16.
- [20] เอกชัย คุปตาวาทิน พัลลภ พรหมสาเพ็ชร และ วาสนา ชอมะลิ. การศึกษาต้นทุนโลจิสติกส์โดยใช้ระบบต้นทุนฐานกิจกรรมกรณีศึกษา เกษตรกรผู้ปลูกสับปะรดจังหวัดชัยภูมิ. วารสารปัญญาวัฒน์. 2013; 8(3) : 89-98.
- [21] อาสาพิศ อุตตลภาณุจนา. การเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตและต้นทุนโลจิสติกส์ของการปลูกผักสลัดแบบไฮโดรโปนิคส์และอินทรีย์ในแต่ละฤดูกาลของจังหวัดนครสวรรค์. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม. มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม 4.1 2022; 74-91.



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การศึกษาความสามารถและเปรียบเทียบการลำเลียงมัดอ้อยขึ้นรถบรรทุก
ระหว่างแรงงานคนกับเครื่องลำเลียงร่วมกับแรงงานคน

A Study Capacity and Comparison of sugarcane loading into the truck
between labor and elevator cooperated with labor

ชัยณรงค์ หล่มช้างคำ¹ ชัยยันต์ จันทร์ศิริ² ภัทรพงษ์ บุญนาดี¹ อธิภาวุฒิ ศรีน้อย¹ ประยูร จอมหล้าพิรติกุล¹
อาภาภรณ์ จอมหล้าพิรติกุล¹ เดชาวัต มั่นกลาง¹ ภูชิษฐ์ ตันวานิชกุล¹ ภาณุวัฒน์ ทรัพย์ปรง¹ และประสิทธิ์ โสภา¹

Chainarong Lomchangkum Chaiyan Junsiri Pattarapong Boonnadee Atsadaewut Srinoi

Prayoon Jomlaperatikul Arpapon Jomlaperatikul Dechawut Manklang

Bhuchiss Tanwanichkul Panuwat Supprung and Prasit Sopa

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอาหารและชีวภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

²สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

¹Department of Food and Biological Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus

²Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

Received: 1 May 2024

Revised: 24 May 2024

Accepted: 27 May 2024

Available online: 26 June 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถและเปรียบเทียบการลำเลียงมัดอ้อยขึ้นรถบรรทุกระหว่างแรงงานคนกับเครื่องลำเลียงมัดอ้อยร่วมกับแรงงานคน กำหนดปัจจัยที่ทำการทดสอบความเร็วรอบลำเลียง 3 ระดับ คือ 10 12 และ 14 rpm ผลการทดสอบพบว่า ความเร็วรอบของโซ่ลำเลียงที่ 12 rpm มีความสามารถในการทำงานจริงได้มากที่สุด แต่เมื่อปรับเพิ่มความเร็วรอบของโซ่ลำเลียงที่ 14 rpm แรงงานคนที่ทำหน้าที่รับมัดอ้อยอยู่บน

รถบรรทุกทำการจัดเรียงมัดอ้อยไม่ทัน แรงงานคนป้อนมัดอ้อยด้านล่างจึงต้องชะลอทำให้ความสามารถของระบบลำเลียงลดลง มีความสามารถในการทำงานจริงโดยเฉลี่ยเท่ากับ 6.40 tons/hr. ซึ่งสูงกว่าการใช้แรงงานคนที่มีความสามารถขนมัดอ้อยขึ้นรถบรรทุก 4 tons/hr. นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าค่าใช้จ่ายของการใช้เครื่องลำเลียงมัดอ้อยขึ้นรถบรรทุกพร้อมกับแรงงานคนต่ำกว่าการใช้แรงงานคนเพียงอย่างเดียว โดยมีจุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 242.64 tons และ 28 วันทำงาน เมื่อใช้ความเร็วรอบของโซ่ลำเลียง 12 rpm

คำสำคัญ: มัดอ้อย การลำเลียง การบรรทุก เครื่องลำเลียง

Abstract

The purpose of this research A Study Capacity and Comparison of sugarcane loading into the truck between labor and elevator cooperated with labor. Determine the test factors for the speed of the conveyor chain in 3 levels, namely 10, 12 and 14 rpm. The test results showed that Conveyor chain speed at 12 rpm. have the ability to work in real life as much as possible However, when increasing the speed of the conveyor chain at 14 rpm. the laborers on the truck were unable to arrange the cane bundles in time. Workers who feed the sugar cane below must slow down the capacity of the conveying system. The average actual working capacity is 6.40 tons/hr. which is 4 tons/hr. higher than manual labor who can load sugar cane into trucks. It was found that the cost of using the sugarcane loading machine together with human labor was lower than using manual labor alone. The break-even point and payback period are 242.64 tons and 28 operating days when using the speed of the conveyor chain 12 rpm.

Keywords: sugarcane bundle: elevator: loading: Conveyor

*ติดต่อ: Lomchangkum.C@hotmail.com, 087-945-1522

1. บทนำ

อ้อย (Sugarcane) เป็นพืชที่มีความสำคัญอันดับต้นๆ ของโลก ทั่วโลกมีพื้นที่เก็บเกี่ยวอ้อยกว่า 28,177,000 ha มีผลผลิตอ้อยกว่า 1,889,268,880 tons/year [1] ประเทศที่มีพื้นที่เก็บเกี่ยวและผลผลิตมากที่สุด คือ ประเทศบราซิล ประเทศอินเดีย ประเทศจีน และประเทศไทย ตามลำดับ สำหรับประเทศไทย

อุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลเป็นอุตสาหกรรมเกษตรอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศสามารถนำรายได้เข้าประเทศปีละประมาณ 73,000 million Baht [2] พื้นที่เพาะปลูกรวมทั้งสิ้นจำนวน 11,022,348 ไร่ พื้นที่เพาะปลูกอ้อยส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและในอนาคตยังมีแนวโน้มว่าการเพาะปลูกเพิ่มมากขึ้น สังเกตได้จากมีการย้าย

โรงงานมาตั้งในพื้นที่เป็นจำนวนมาก [3] ซึ่งฤดูกาลเก็บเกี่ยวอ้อยจะอยู่ระหว่างเดือนตุลาคม-เมษายน โดยเกษตรกรมีการเก็บเกี่ยวอ้อยโดยใช้ทั้งแรงงานคนและใช้รถตัดอ้อยซึ่งต้องลงทุนสูง ดังนั้นเกษตรกรส่วนใหญ่จะจ้างเหมาแรงงานสำหรับตัดอ้อยเป็นหลัก โดยรวบรวมอ้อยลำมามัดรวมกัน 10 ถึง 15 trunk/bundle แล้วลำเลียงขึ้นรถบรรทุกเพื่อขนส่งเข้าโรงงาน ซึ่งเจ้าของไร่อ้อยจะต้องจ่ายค่าจ้าง แรงงานในการตัดอ้อยไม่รวมค่ารถและค่าขนส่งประมาณมัดละ 2 baht [4] โดยแรงงานหนึ่งคนสามารถตัดอ้อยได้ประมาณ 100-150 bundle/day (ทำงาน 7 hr./ day พัก 1 hr.)

การขนหรือลำเลียงมัดอ้อยขึ้นรถบรรทุกมีอยู่ 2 วิธีหลักๆ คือ ใช้แรงงานคนและรถคืบอ้อย สำหรับกรณีใช้แรงงานคน พบว่าสามารถจัดเรียงมัดอ้อยได้เป็นระเบียบทำให้ลดความสมดุลและสามารถบรรทุกได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้แรงงานคนเพียงอย่างเดียว ทำให้ความสามารถในการขนมัดอ้อยขึ้นรถบรรทุกเพียง 0.6 tons/person/hr. และมีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดอันตรายในขั้นตอนการขึ้นขนมัดอ้อยขึ้นรถบรรทุก ส่วนในการใช้รถคืบอ้อยนั้นสามารถขนมัดอ้อยได้เร็ว แม้จะมีค่าใช้จ่ายดำเนินการเพียงหนึ่งในสามของการใช้แรงงาน แต่การจัดเรียงอ้อยบนกระบะจะไม่เป็นระเบียบเสียพื้นที่ในการบรรทุกอีกทั้งมีสิ่งเจือปนไปด้วย อีกทั้งเครื่องคืบอ้อยมีราคาสูงจึงไม่เหมาะกับเกษตรกรรายย่อย [5] จากเหตุผลดังกล่าวหากมีเครื่องมือทุ่นแรงที่ใช้ในการลำเลียงอ้อยขึ้นกระบะรถบรรทุกที่มีราคาไม่สูงมากสำหรับใช้ทดแทนขั้นตอนการเดินขึ้น-ลงรถของแรงงานคน โดยมีน้ำหนักเบาและง่ายต่อการประกอบใช้งานน่าจะเป็นอีกทางเลือกอีกทางหนึ่งที่สามารถลดข้อจำกัดของการ

ลำเลียงอ้อยทั้ง 2 วิธีข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาความสามารถและวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบการลำเลียงอ้อยขึ้นรถบรรทุกโดยแรงงานคนเปรียบเทียบกับการใช้เครื่องลำเลียงอ้อยร่วมกับแรงงานคน เพื่อให้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบการเก็บอ้อยของเกษตรกรรายย่อยต่อไป

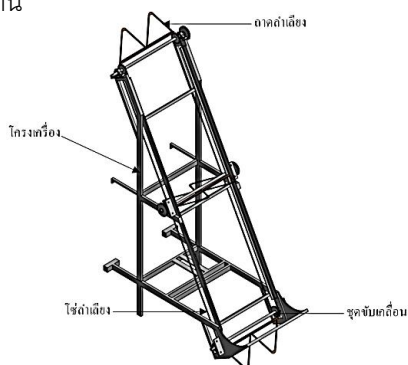
2. วิธีการวิจัย

การศึกษาระบบการลำเลียงมัดอ้อยขึ้นรถบรรทุกแบ่งออกเป็น 2 กิจกรรม ประกอบด้วย การศึกษาระบบการลำเลียงมัดอ้อยด้วยแรงงานคนตามแบบที่เกษตรกรนิยมปฏิบัติ และระบบการลำเลียงมัดอ้อยด้วยแรงงานคนร่วมกับเครื่องลำเลียงมัดอ้อยขึ้นรถบรรทุก ตามลำดับ โดยใช้จำนวนคนทำงานป้อนมัดอ้อย จำนวน 6 person เพศชาย แบ่งออกเป็น คนป้อนมัดอ้อย 3 person และอีก 3 person ทำหน้าที่รับมัดอ้อยอยู่บนรถบรรทุกและจัดเรียงมัดอ้อย วิธีการทดสอบจะทำทดสอบในภาคสนาม โดยใช้มัดอ้อยที่จัดเรียงไว้ในไร่แบบเป็นแถว เดินในแนวราบ จำนวนตัวอย่างละ 3 ซ้ำ ในแต่ละซ้ำใช้เวลา 30 min หยุดพักซ้ำละ 10 min จากนั้นทดสอบระบบการลำเลียงมัดอ้อยด้วยแรงงานคนร่วมกับเครื่องลำเลียงมัดอ้อยขึ้นรถบรรทุก โดยเปลี่ยนเป็นกิจกรรมการเดินขนมัดอ้อยมาวางที่เครื่องลำเลียงมัดอ้อยแทน ทำการทดสอบจำนวนตัวอย่างละ 3 ซ้ำๆ ละ 30 min เช่นเดียวกันเพื่อหาความสามารถในการทำงานของระบบการลำเลียง

2.1. วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่องลำเลียงมัดอ้อยขึ้นรถบรรทุก ดังรูปที่ 1 ใช้เครื่องยนต์เล็ก ขนาดตั้งแต่ 5.5 แรงม้า และเครื่องชั่งน้ำหนัก Digital

2. อ้อยพันธุ์ขอนแก่น 3 ที่ปลูกในเขตพื้นที่จังหวัดขอนแก่น



รูปที่ 1 อุปกรณ์ลำเลียงมัดอ้อยขึ้นรถบรรทุก

(ภาพประกอบเชิงวิศวกรรม)



รูปที่ 2 ทดสอบการลำเลียงมัดอ้อยด้วยแรงงานคนร่วมกับเครื่องลำเลียงมัดอ้อยขึ้นรถบรรทุก



รูปที่ 3 a การเตรียมแปล b การลำเลียงมัดอ้อยขึ้นรถบรรทุกโดยใช้แรงงานคน

สำหรับการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ จะประเมินค่าใช้จ่ายของระบบการลำเลียงมัดอ้อยทั้งสองระบบเพื่อเปรียบเทียบและคำนวณหาจุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุนในกรณีที่ต้องลงทุนซื้อเครื่อง ลำเลียงขนมัดอ้อยมาใช้ในระบบ โดยคำนวณหาจุดคุ้มทุนได้จากสมการที่ (1) [6]

กำหนดให้

$$BEPS = FC / (SPu - VCu) \quad (1)$$

เมื่อ BEPS = จุดคุ้มทุน

FC = ค่าใช้จ่ายคงที่ (Baht)

SPu = ราคาค่าจ้างใช้อุปกรณ์/หน่วย (Baht / tons)

VCu = ค่าใช้จ่ายแปรผันต่อหน่วย (Baht/tons)

และระยะเวลาคืนทุนเป็นปี (PBP)ได้จากสมการที่ 2

$$PBP = MC / P \quad (2)$$

เมื่อ MC = ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องลำเลียง

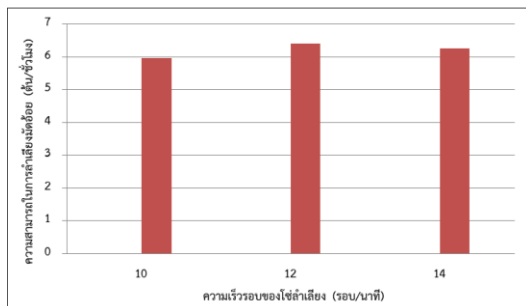
P = กำไร (Baht) หรือ รายได้ - ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (AC)

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1. ผลการทดสอบการทำงานของระบบการลำเลียงมัดอ้อยขึ้นรถบรรทุก

การทดสอบระบบลำเลียงมัดอ้อยขึ้นรถบรรทุกด้วยแรงงานคน โดยใช้แรงงานคน 6 person พบว่ามีความสามารถในการลำเลียงมัดอ้อยโดยเฉลี่ยเท่ากับ 4 tons/hr. ส่วนระบบการใช้แรงงานคนร่วมกับเครื่องลำเลียงมัดอ้อยขึ้นรถบรรทุก โดยใช้เครื่องยนต์ต้นกำลังขนาด 5.5 hp ซึ่งกำหนดปัจจัยที่ทำการทดสอบแปรค่าของโซ่ในการขนมัดอ้อย 3 ระดับ คือ 10 12 และ 14 rpm (ความเร็วเชิงเส้น 0.54 0.58 และ 0.63

m/s) เพื่อศึกษาผลกระทบเมื่อทำงานจริงร่วมกับแรงงานคนพบว่า มีความสามารถในการทำงานโดยเฉลี่ยเท่ากับ 5.95 6.40 และ 6.25 tons/hr. โดยที่ความเร็ว 12 rpm มีความสามารถในการทำงานจริงได้มากที่สุด และเมื่อปรับความเร็วรอบที่ 10 rpm ความสามารถจะลดลง แต่เมื่อปรับเพิ่มความเร็วรอบของโซ่ลำเลียงที่ 14 rpm แรงงานคนที่ทำหน้าที่รับมัดอ้อยอยู่บนรถบรรทุกทำการจัดเรียงมัดอ้อยไม่ทัน แรงงานคนป้อนมัดอ้อยด้านล่างจึงต้องชะลอทำให้ความสามารถของระบบลำเลียงลดลง ดังนั้น ความเร็วรอบของโซ่ลำเลียงที่ 12 rpm เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของเครื่องลำเลียงมัดอ้อยขึ้นรถบรรทุกและเพื่อใช้สำหรับการทดสอบเพื่อวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม



รูปที่ 4 กราฟแสดงความสามารถในการทำงานของเครื่องลำเลียงมัดอ้อยขึ้นรถบรรทุก

3.2. ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบการลำเลียงมัดอ้อยขึ้นรถบรรทุกโดยแรงงานคนเปรียบเทียบกับการใช้เครื่องลำเลียงมัดอ้อยร่วมกับแรงงานคน

ผลการทดสอบความสามารถในการทำงานเชิงระบบในการลำเลียงมัดอ้อย ได้นำมาเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ร่วมกับข้อมูลพื้นฐานทั้งจากการสัมภาษณ์เกษตรกร ค่าใช้จ่ายในการสร้าง

และใช้งานเครื่องลำเลียงมัดอ้อย ซึ่งจะใช้ในการประเมินค่าใช้จ่ายในการสร้างและใช้งานเครื่องลำเลียงมัดอ้อย ซึ่งจะใช้ในการประเมินค่าใช้จ่ายของระบบลำเลียงมัดอ้อยทั้งสองระบบ เพื่อเปรียบเทียบและคำนวณหาจุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุน กำหนดให้ ค่าจ้างเหมาระบบการขนมัดอ้อยด้วยแรงงานคนร่วมกับเครื่องลำเลียงมัดอ้อย (SPU) เท่ากับ 60 Baht/tons ใช้แรงงานคน 6 คน ทำงาน 6 hr./day ความสามารถของเครื่องลำเลียงมัดอ้อยเท่ากับ 6.40 tons/hr. หรือ 38.40 tons/day ในหนึ่งฤดูกาลเพาะปลูกจะใช้งานในการเก็บเกี่ยว 100 day

3.2.1. กรณีใช้แรงงานคนร่วมกับเครื่องลำเลียงมัดอ้อยขึ้นรถบรรทุก มีค่าใช้จ่ายสามารถคำนวณได้ ดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องลำเลียงมัดอ้อย(MC) เท่ากับ 20,000 Baht
2. ค่าเสื่อมราคา (D) เท่ากับ 3,600 Baht/year (คำนวณจากวิธีเส้นตรง $D = (MC - S) / \text{year}$ เมื่อมูลค่าซากของอุปกรณ์ (S) เมื่อสิ้นปีที่ 5% เหลือ 10% ของราคาอุปกรณ์หรือ 2,000 Baht และอัตราดอกเบี้ย (i) เท่ากับ 10%/ year)
3. ค่าเสียโอกาสในการลงทุน (R) เท่ากับ 1,100 Baht/year (คำนวณจาก $R = i (MC + S) / 2$)
4. ค่าใช้จ่ายคงที่ (FC) เท่ากับ 4,700 Baht/year (คำนวณจาก $FC = D + R$)
5. ค่าจ้างแรงงาน เท่ากับ 144,000 Baht/year (แรงงาน 6 person/day x 240 Baht/ day/person x 100 day/year)
6. ค่าน้ำมันและบำรุงรักษา เท่ากับ 12,000 Baht /year (น้ำมัน 100 Baht/day + บำรุงรักษา 20 Baht/day) x 100 day/year)

7. ค่าใช้จ่ายแปรผัน (VC) เท่ากับ 156,000 Baht/year (คำนวณจากค่าจ้างแรงงาน + ค่าน้ำมัน และบำรุงรักษา)

8. ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (AC) เท่ากับ 160,700 Baht/year (คำนวณจาก $AC = FC + VC$)

9. ค่าใช้จ่ายแปรผัน/หน่วย (VCu) เท่ากับ 40.63 Baht/tons (คำนวณจาก $VCu = VC / (38.40 \text{ tons/day} \times 100 \text{ day/year})$)

10. รายได้ เท่ากับ 230,400 Baht/year (คำนวณจากค่ารับจ้าง 60 Baht/tons $\times 38.40 \text{ tons/day} \times 100 \text{ day/year}$)

11. กำไร (P) เท่ากับ 69,700 Baht/year (คำนวณจาก รายได้ – ค่าใช้จ่ายทั้งหมด)

ดังนั้น จุดคุ้มทุน (BEP_s) = $FC / (SP_u - VC_u)$

$$= 242.64 \text{ tons}$$

ระยะเวลาในการคืนทุน (PBP) = $MC/P = 0.28 \text{ year}$ หรือ ประมาณ 28 วันทำงาน

3.2.2. กรณีใช้แรงงานคนลำเลียงมัดอ้อยขึ้นรถบรรทุก มีค่าใช้จ่ายสามารถคำนวณได้ ดังนี้

จากการศึกษาพบว่าแรงงานคนมีความสามารถในการลำเลียงมัดอ้อย 0.6 tons/person/hr. ค่าจ้างแรงงานในการตัดอ้อยไม่รวมค่ารถและค่าขนส่งประมาณมัดละ 2 Baht [4] โดยแรงงานหนึ่งคนสามารถตัดอ้อยได้ประมาณ 150 bundle/day หรือ 300 Baht/person/day (ทำงาน 7 hr./day พัก 1 hr.) เมื่ออ้อยมีน้ำหนักประมาณ 16 kg/bundle แรงงานคนหนึ่งคนสามารถลำเลียงมัดอ้อยขึ้นรถบรรทุกได้ 4 tons/day อย่างไรก็ตาม ระบบการใช้แรงงานเพียงอย่างเดียวจะมีความแตกต่างจากระบบที่มีเครื่องลำเลียงมัดอ้อย ดังนี้

1. หากใช้แรงงานคน 6 person เท่ากัน การใช้แรงงานคนจะลำเลียงมัดอ้อยได้ เท่ากับ 24 tons/day (คำนวณ จาก 4 tons/day/person $\times$ แรงงานคน 6 person/day) น้อยกว่าระบบที่มีเครื่องลำเลียงมัดอ้อยที่ทำได้ 38.40 tons/day

2. หากต้องการให้ระบบแรงงานคนลำเลียงมัดอ้อยให้เท่ากับระบบแรงงานคนร่วมกับเครื่องลำเลียงมัดอ้อยขึ้นรถบรรทุกจะต้องใช้แรงงานคนประมาณ 9.6 person/day (คำนวณจากปริมาณมัดอ้อย 38.40 tons/day ความสามารถในการลำเลียงมัดอ้อยขึ้นรถบรรทุก 4 tons/day/ person)

ตารางที่ 1

สรุปการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายทางเศรษฐศาสตร์

รายการ	จำนวน (หน่วย)
1. ราคาเครื่อง	20,000 (Baht)
2. อายุการใช้งาน	5 (year)
3. ชั่วโมงทำงาน	600 (hr/year)
4. อัตราดอกเบี้ย	10 (%/year)
5. มูลค่าซาก	2,000 (Baht/ year)
6. ค่าเสื่อมราคา	3,600 (Baht/ year)
7. ค่าเสียโอกาสในการลงทุน	1,100 (Baht/ year)
8. ค่าใช้จ่ายคงที่	4,700 (Baht/year)
9. ค่าจ้างแรงงาน	144,000 (Baht/year)
10. ค่าน้ำมันและบำรุงรักษา	12,000 (Baht /year)
11. ค่าใช้จ่ายแปรผัน	156,000 (Baht/year)
12. ค่าใช้จ่ายทั้งหมด	160,700 (Baht/year)
13. รายได้	230,400 (Baht/year)
14. กำไร	69,700 (Baht/year)
15. จุดคุ้มทุน	242.64 (tons)
16. ระยะเวลาในการคืนทุน	0.28 (year)

4. สรุป

ระบบการลำเลียงมัดอ้อยขึ้นรถบรรทุกโดยแรงงานคนร่วมกับเครื่องลำเลียงมัดอ้อย มีความสามารถสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระบบการใช้แรงงานคนเพียงอย่างเดียว ผลการทดสอบการใช้เครื่องลำเลียงมัดอ้อย พบว่า ความเร็วรอบลำเลียงที่ 12 rpm มีความสามารถในการทำงานจริงได้มากที่สุด โดยมีความสามารถในการทำงานจริงโดยเฉลี่ยเท่ากับ 6.40 tons/hr. ซึ่งสูงกว่าการใช้แรงงานคนที่มีความสามารถขนมัดอ้อยขึ้นรถบรรทุก 4 tons/hr. นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า ค่าใช้จ่ายของการใช้เครื่องลำเลียงมัดอ้อยขึ้นรถบรรทุกร่วมกับแรงงานคนต่ำกว่าการใช้แรงงานคนเพียงอย่างเดียว โดยมีจุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 242.64 tons และ 28 วันทำงาน เมื่อใช้ความเร็วรอบของโซ่ลำเลียง 12 rpm

ตารางที่ 2

ผลการทดสอบวิธีการลำเลียงมัดอ้อยขึ้นรถบรรทุกโดยใช้แรงงานคนตามแบบที่เกษตรกรนิยมปฏิบัติในภาคสนาม

รายการ	ข้อมูล
จำนวนคนทำงานป้อนมัดอ้อย (คน)	3
จำนวนคนบนรถบรรทุก (คน)	2
เวลาสูญเสียต่างๆ ต่อการขึ้นอ้อยเต็มคันรถ (ชั่วโมง)	0.5
เวลาที่ใช้ทั้งหมดต่อการขึ้นอ้อยเต็มคันรถ (ชั่วโมง)	4.0
จำนวนมัดอ้อยต่อคันรถบรรทุก (มัด)	652
น้ำหนักอ้อยต่อคันรถบรรทุก (ตัน)	10.10
อัตราการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง (ลิตร/ชั่วโมง)	1.31
ความสามารถในการทำงานจริง (ตัน/ชั่วโมง)	3.10
ประสิทธิภาพทางไร่ (เปอร์เซ็นต์)	74.5

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ตามสัญญาเลขที่ ENG14/66 สำหรับสนับสนุนทุนในการทำวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณแม่สมควร หล่มช้างคำ สำหรับเชื้อเพลิงสถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations [Internet]. Country fact sheet on food and agriculture policy trends, 2024. [cited 2024 Apr 1]. Available from: <http://www.fao.org>.
- [2] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2566/67. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (สื่อบนออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 1 เมษายน 2567]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.oae.go.th>
- [3] สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาล. ปี 2567. (สื่อบนออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อ 2 มกราคม 2567]. เข้าถึงได้จาก <http://www.ocsb.go.th>
- [4] วิธีคิดค่าแรงมัดอ้อยและอัตราค่าแรงการตัดอ้อย. ปี 2567. (สื่อบนออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อ 28 มีนาคม 2567]. เข้าถึงได้จาก <http://guru.google.co.th/guru/thread?tid=52816cf9978f518d>
- [5] จักรมาศ เลหาวิช และ สุพรรณ ยั่งยืน. การเปรียบเทียบการลำเลียงอ้อยขึ้นรถบรรทุกระหว่างแรงงานคนกับเครื่อง

ล้าเลียงร่วมกับแรงงาน. วารสาร
วิทยาศาสตร์เกษตร. 2554; 42(3): 366–
369.

- [6] Hunt D. Power Performance. in Farm
Power and Machinery Management,
10th ed., Ames, IA, USA: Iowa State
University Press, 2001; ch. 2: 50–57.



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

แนวทางการพัฒนาโปรแกรมระบบอัตโนมัติในการควบคุมแบบซีคอนซ์ สำหรับระบบอัตโนมัติราคาประหยัด

Programming Guidelines for Sequential Automation Tasks in Low-Cost Systems

ชัชชล เปรมชัยสวัสดิ์¹⁾ ณรงค์ บุญเสนอ¹⁾ กฤษ ตราฐ¹⁾ ชาญชัย เหลาหา¹⁾ และ พิจิตร บัวระภา¹⁾Shutchon Premchaisawatt¹⁾ Narong Boonsaner¹⁾ Krit Tashoo¹⁾ Chanchai Laoha¹⁾ and Pijit Buarapha¹⁾¹⁾ สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น¹⁾ Department of Industrial Technology, Faculty of Industrial Education,

Rajamangala University of Technology Isan Khon Kaen Campus

Received: 26 April 2023

Revised: 16 June 2024

Accepted: 17 June 2024

Available online: 26 June 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางการเขียนโปรแกรมสำหรับควบคุมระบบอัตโนมัติที่ออกแบบตามแนวคิดแผนภูมิสถานะเครื่องจักร ซึ่งจะช่วยในการพัฒนาซอฟต์แวร์อย่างมีประสิทธิภาพตามหลักการวงจรการพัฒนาซอฟต์แวร์ และลดปัญหาความไม่สอดคล้องกันในการเขียนโปรแกรม ปรับปรุงความเข้าใจได้โดยไม่คำนึงถึงภาษาโปรแกรม การทดลองแบ่งออกเป็นสองกรณีพิจารณาควบคู่กัน ในกรณีแรก ภาษา C++ ใช้ในการเขียนโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์ ในกรณีที่สอง ภาษาแลดเดอร์ใช้ในการเขียนโปรแกรมบน PLC ซึ่งจะพัฒนาซอฟต์แวร์ตามข้อกำหนดของการแข่งขันสำหรับชุดฝึกอบรมของระบบการเจาะอัตโนมัติ MPU-A ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการปฏิบัติตามแนวทางใหม่นี้ส่งผลให้คอนโทรลเลอร์ทั้งสองทำงานตามข้อกำหนดของระบบ โดยมีรูปแบบการเขียนโปรแกรมร่วมกัน อย่างไรก็ตาม เวลาตอบสนองอาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับฮาร์ดแวร์ของตัวควบคุม

คำสำคัญ: การเขียนโปรแกรมระบบอัตโนมัติ แผนภูมิสถานะเครื่องจักร ไมโครคอนโทรลเลอร์ พีแอลซี

Abstract

This research presents programming guidelines for controlling automated systems designed based on the state machine diagram concept. This will help to develop software efficiently within the software development cycle and reduce the problem of inconsistency in programming, improving code understanding regardless of the programming language. The experiments are divided into two cases. The first part uses the C++ language to write programs on a microcontroller. The second part uses the ladder language to write programs on a PLC. This will develop software according to the requirements of the competition for the training set of the MPU-A automatic drilling system. The test results show that following this new approach results in both controllers working properly according to the system requirements, with a common programming style. However, response times may vary depending on the hardware of controllers.

Keywords: Automatic system programming; State machine diagram; Microcontroller; PLC

*ติดต่อ: E-mail: shutchon.pr@rmuti.ac.th,

1. บทนำ

ระบบอัตโนมัติเป็นเทคโนโลยีที่มีความสำคัญสูงในปัจจุบันเนื่องจากมีผลกระทบต่อการทำงานและชีวิตของมนุษย์สูง [1] ตัวอย่างเช่นในด้านการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ระบบอัตโนมัติช่วยลดเวลาที่ใช้ในการทำงานและเพิ่มประสิทธิภาพของการทำงานโดยที่ไม่ต้องใช้งานมนุษย์ในการดำเนินการทำให้สามารถทำงานได้เร็วขึ้นและลดความผิดพลาดได้ ในด้านการลดความเสี่ยงและความเป็นอันตราย ระบบอัตโนมัติสามารถทำงานในสถานะที่อันตรายหรือไม่เหมาะสมสำหรับมนุษย์ เช่น ในการทำงานในสถานะอันตรายในอุตสาหกรรมหรือการตรวจสอบสิ่งที่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่อันตราย ในด้านความแม่นยำ ระบบอัตโนมัติมีความแม่นยำในการทำงานโดยไม่ได้รับผลกระทบจากความเหนื่อยล้าหรือความผิดพลาดของมนุษย์ ทั้งหมดนี้เป็นประโยชน์ของระบบอัตโนมัติในปัจจุบัน และมีแนวโน้มที่จะ

นำไปผสมกับเทคโนโลยีอื่นมากขึ้น [2] เช่น ปัญญาประดิษฐ์ ระบบคลาวด์ เป็นต้น

ระบบอัตโนมัติจึงถูกใช้ในงานอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง แต่ในอดีตการเรียนรู้เรื่องการควบคุมระบบอัตโนมัติทำได้ยากเนื่องจากฮาร์ดแวร์มีราคาสูง ทำให้การเรียนการสอนเรื่องระบบอัตโนมัติอยู่ในวงที่จำกัด [3] ปัจจุบันฮาร์ดแวร์มีราคาที่ถูกลงและมีอุปกรณ์ทางเลือกมากขึ้น เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้มีการนำระบบอัตโนมัติมาใช้งานส่วนบุคคล เช่น การทำฟาร์ม [4][5] การอำนวยความสะดวกในบ้าน [6] เครื่องจักรอำนวยความสะดวก [7] เป็นต้น แต่ในการจะใช้งานระบบอัตโนมัติต้องมีกฎหรือสิ่งที่จะทำให้เครื่องจักรทำงานด้วยตนเอง ซึ่งก็คือการเขียนโปรแกรมควบคุมระบบอัตโนมัติ [8] หนึ่งในรูปแบบการควบคุมระบบอัตโนมัติที่นิยมคือการเขียนโปรแกรมการควบคุมแบบซีควเन्ซ์ [9] ในอุปกรณ์ระดับสูงมีเครื่องมือในการเขียนโปรแกรมให้

เป็นระเบียบเช่น ภาษา SFC แต่ในอุปกรณ์ระดับเริ่มต้นหรืออุปกรณ์เช่นไมโครคอนโทรลเลอร์ อุปกรณ์เหล่านี้การเขียนโปรแกรมในระบบอัตโนมัติยังไม่มีแนวทางที่แน่นอน [8][9] โดยจะพึ่งพิงกับประสบการณ์ของผู้เขียน ทำให้ตรวจสอบและแก้ไขโดยผู้อื่นได้ยากเวลาเปลี่ยนผู้ดูแล [1][8]

บทความวิจัยนี้นำเสนอรูปแบบการพัฒนาโปรแกรมตามแนวทาง SDLC และออกแบบการควบคุมตามหลักการแผนภูมิสถานะที่จะทำให้ดูแลและแก้ไขโปรแกรมแบบซีควนซ์ในระบบอัตโนมัติสะดวกมากขึ้นในอุปกรณ์ราคาประหยัด โดยจะใช้ PLC ราคาประหยัด และไม่โครคอนโทรลเลอร์ทดสอบกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการเรียนรู้เรื่องการเขียนโปรแกรมระบบอัตโนมัติ ซึ่งทั้งรูปแบบการออกแบบและการเขียนโปรแกรมจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การควบคุมแบบซีควนซ์ (Sequential control) หมายถึงการใช้ตัวควบคุมการทำงานของเครื่องจักรในที่นี้คือ PLC เพื่อควบคุมกระบวนการหรือเครื่องจักรตามลำดับขั้นตอนการทำงาน โดยอาศัยการโปรแกรม เพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆในกระบวนการนั้นๆ โดยกำหนดลำดับของการทำงานแต่ละอุปกรณ์จนครบกระบวนการทำงาน (Process) โดยหนึ่งในเครื่องมือที่ช่วยออกแบบลำดับขั้นตอนคือแผนภูมิสถานะเครื่องจักร (State machine diagram) ซึ่งจะช่วยให้บอกว่ามีสถานะ มีลำดับสถานะอย่างไร เงื่อนไขการเปลี่ยนสถานะ แต่ละสถานะมีอุปกรณ์ใดทำงานได้บ้าง ซึ่งจะช่วยให้กระบวนการทำงานเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีความน่าเชื่อถือในการทำงาน เมื่อออกแบบ

แผนภูมิสถานะเสร็จ การที่จะเขียนโปรแกรมลงพีแอลซีเพื่อสั่งการสามารถทำได้ด้วยการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซีควนซ์เชยลฟังก์ชันชาร์ท (Sequential function chart) หรือเรียกอย่างย่อว่าเอสเอฟซี (SFC) ซึ่งใช้หลักการของกราฟเพนทรี (Pentri graph) [10] ซึ่งแสดงการจัดการกระบวนการและโครงสร้างของระบบต่างๆ ในการสร้างโปรแกรม ซึ่งมีความคล้ายกับแผนภูมิสถานะเครื่องจักรที่มนุษย์สามารถอ่านและทำความเข้าใจได้ง่าย จะทำให้การเขียนโปรแกรมและการแก้ไขโปรแกรมมีความสะดวกมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามอุปกรณ์ราคาประหยัดเช่น PLC ระดับล่าง หรือไม่โครคอนโทรลเลอร์ [11] ไม่สามารถเขียนโปรแกรมในลักษณะนี้ได้เนื่องจากข้อจำกัดทางฮาร์ดแวร์ อย่างไรก็ตามการวางแผนในการพัฒนาโปรแกรมที่ดีสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการพัฒนาและดูแลรักษาโปรแกรมได้ [12]

ดังนั้น วิธีการที่จะนำเสนอ คือ การพัฒนาโปรแกรมเป็นขั้นตอนตามลักษณะของวงจรชีวิตการพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อนำมาประยุกต์ให้พีแอลซีและไม่โครคอนโทรลเลอร์สามารถเขียนและแก้ไขโปรแกรมลักษณะซีควนซ์ได้สะดวกมากขึ้น

2.1. วงจรชีวิตการพัฒนาซอฟต์แวร์

วงจรชีวิตการพัฒนาซอฟต์แวร์ (Software Development Life Cycle) เรียกย่อๆว่า SDLC เป็นกระบวนการที่ใช้ในการพัฒนาและบริหารจัดการโปรแกรมหรือซอฟต์แวร์ต่างๆ โดย SDLC จะประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ที่ต้องผ่านเพื่อให้เกิดซอฟต์แวร์ที่มีคุณภาพและสามารถนำไปใช้งานได้ อย่างมีประสิทธิภาพ ขั้นตอนหลักๆ ของ SDLC ประกอบด้วยการวางแผน การออกแบบ การพัฒนา

การทดสอบ การนำเสนอและการบำรุงรักษาซอฟต์แวร์ [10] ซึ่งมีอยู่หลายแบบจำลอง [12] เช่น จำลองแบบน้ำตก (Water fall) แบบจำลองแบบทรงวี (V-Shape) หรือแบบจำลองแบบอจาย (Agile) เป็นต้น โดยในงานวิจัยนี้จะจะเป็นแบบจำลองแบบน้ำตก เพราะเข้าใจง่ายมีลักษณะไหลไปทางเดียวแบบขั้นน้ำตก ประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1.1. วิเคราะห์ความต้องการ (Requirement Analysis) - การวิเคราะห์และเข้าใจความต้องการของระบบ เพื่อกำหนดขอบเขตและคุณสมบัติของระบบที่จะพัฒนา

2.1.2. ออกแบบระบบ (System Design) – การออกแบบและวางแผนระบบที่ตอบสนองต่อความต้องการและคุณสมบัติของระบบที่จะต้องมี

2.1.3. การสร้างระบบ (Implementation) - การพัฒนาระบบโดยใช้เทคโนโลยีและเครื่องมือที่เหมาะสม รวมถึงการเขียนโปรแกรมและการสร้างส่วนติดต่อผู้ใช้ (Human machine Interface)

2.1.4. การทดสอบ (Testing) - การทดสอบระบบเพื่อตรวจสอบว่าระบบทำงานได้ตามความต้องการและคุณสมบัติที่กำหนดไว้ รวมถึงการทดสอบการทำงานร่วมกันของส่วนต่างๆของระบบ

2.1.5. การใช้งานในสภาพแวดล้อมจริง (Deployment) - การนำระบบที่พัฒนาไปใช้งานจริง รวมถึงการติดตั้ง การกำหนดค่า และการทดสอบระบบในสภาพแวดล้อมจริง

2.1.6. การบำรุงรักษา (Maintenance) - การดูแลและบำรุงรักษาระบบเพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิภาพตลอดเวลา รวมถึงการปรับปรุงและพัฒนาาระบบเพื่อตอบสนองต่อความต้องการเพิ่มเติม

2.2. แผนภูมิสถานะเครื่องจักร

แผนภูมิสถานะเครื่องจักร (State machine diagram) [14] เป็นส่วนหนึ่งของยูเอ็มแอล (UML) [13] ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับออกแบบซอฟต์แวร์เป็นแผนภาพที่บ่งบอกสถานะ (State) ทำงานต่างๆ ของเครื่องจักร จะใช้สัญลักษณ์สี่เหลี่ยมแทน State โดยมีชื่อของ State ระบุอยู่ และจะใช้เครื่องหมายลูกศรเพื่อแทนการเปลี่ยนแปลงสถานะ (Transition) โดยลากจาก State เริ่มต้นไปยัง State ที่ต้องการ บนลูกศรมีเงื่อนไขของการเปลี่ยนแปลง Transition กำกับอยู่ด้วย ส่วนด้านในจะมีคำอธิบายสถานะ (State Notation) คือส่วนที่บอกว่าใน State นั้นมีอุปกรณ์ใดทำงานบ้าง แผนภูมิสถานะเป็นสิ่งที่ง่ายที่สุดที่จะอธิบายถึงการทำงานของระบบอย่างครอบคลุม

2.3. ภาษาแลดเดอร์

ภาษาแลดเดอร์ (Ladder) [15] เป็นภาษาโปรแกรมสำหรับการควบคุมอุตสาหกรรม ถูกออกแบบให้เป็นรูปแบบของสัญลักษณ์และภาพแสดงการทำงานเป็นแผนผังทางไฟฟ้า (Electrical Circuit Diagram) ซึ่งมีการเรียงลำดับการทำงานในลักษณะของเส้นสัญญาณไฟฟ้าตามลำดับการทำงานของตัวอุปกรณ์ต่างๆ เช่น การควบคุมรีเลย์ การเปิด/ปิดวงจร เพื่อบังคับให้อุปกรณ์ทำงาน ภาษาแลดเดอร์เป็นภาษาที่ได้รับความนิยมสูงที่สุดในการเขียนโปรแกรมควบคุมด้วย PLC เนื่องจาก PLC แทบทุกรุ่นในปัจจุบัน รองรับการใช้โปรแกรมด้วยภาษาแลดเดอร์

2.4. ภาษา C++

ภาษา C และ ภาษา C++ เป็นภาษาที่ได้รับความนิยมในการเขียนควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

โดยเฉพาะตระกูล Arduino เหมาะกับงานควบคุม อุปกรณ์ขนาดเล็ก เนื่องจากมีราคาไม่แพงและสามารถหาได้ง่าย ทำให้ Arduino ได้รับความนิยมอย่างสูง [4] ทำให้มีนักพัฒนาช่วยเขียนไลบรารีให้เลือกใช้งานจำนวนมาก แต่อย่างไรก็ตาม การเขียนโปรแกรมใน Arduino ไม่สามารถเขียนฟังก์ชันบางอย่างได้ เช่น STL library และ Exception เป็นต้น ทำให้การตรวจสอบโปรแกรมทำได้ยากขึ้น [16]

ในการเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยภาษาแลดเดอร์และภาษา C++ ต่างมีความเหมาะสมในงานของตนเอง แต่เมื่อทำงานในแบบซีคอนซ์ ทั้งการเขียนโปรแกรมแลดเดอร์และ C++ ทำให้หลากหลายวิธีทำให้ทำความเข้าใจและดูแลรักษายาก [17] ดังนั้นจึงควรจะหาแนวทางให้การพัฒนาโปรแกรมเป็นไปทางเดียวกัน

2.5. การแปลงแผนภูมิสถานะเครื่องจักร

จากแผนภูมิสถานะ จะเห็นได้ว่ามีส่วนสำคัญอยู่สามส่วน คือชื่อของสถานะ การเปลี่ยนแปลงและคำอธิบายสถานะ แนวความคิดสำคัญคือเชื่อมโยงสถานะก่อนหน้าและเงื่อนไขการเปลี่ยนสถานะเข้าสู่สถานะปัจจุบัน ซึ่งทางผู้วิจัยขอเสนอการแปลงทั้ง 3 อย่างนี้ เพื่อให้สามารถเขียนอยู่ในรูปแบบของโค้ดที่สามารถพัฒนาตามหลักการของ SDLC ได้

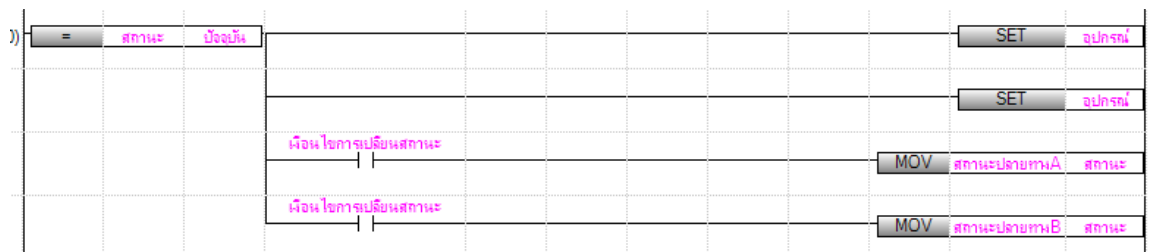
โดยสิ่งที่ต้องทำก่อนการแปลงเป็นโค้ด คือ การเปลี่ยนชื่อ State เป็นตัวเลขและเก็บไว้ในตัวแปรแบบจำนวนเต็มเพื่อใช้ในการเป็นดัชนีของสถานะ และการสร้างตัวแปรเพื่อแทนจุดเชื่อมต่อของอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุต หลังจากนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 กรณี

2.5.1. กรณีภาษาแลดเดอร์เขียนบน PLC

ตัวอย่างจากรูปที่ 1 แยกออกเป็นสามส่วน คือ ส่วนเปรียบเทียบสถานะอยู่ด้านหน้าสุด (มุมบนซ้าย) เป็นส่วนที่บอกว่าสถานะนี้ทำงานหรือไม่ ส่วนถัดมา (มุมบนขวา) คือส่วนที่ต่อจากจากส่วนแรกมักจะตามด้วยคำสั่ง SET หรือ RST เป็นส่วนที่บอกว่าในสถานะนี้อุปกรณ์อะไรทำงานหรือไม่ทำงาน ส่วนสุดท้าย(มุมล่างขวา) คือเงื่อนไขการเปลี่ยนสถานะ มักจะเป็นหน้าสัมผัสปกติเปิด (NO) หรือ ปกติปิด (NC) วางอยู่ก่อนคำสั่ง MOV ซึ่งเป็นตัวกำหนดว่าจะไปสถานะใดต่อไป โดยแต่ละสถานะสามารถมีเส้นทางเพื่อไปสถานะอื่นได้ไม่จำกัดจำนวน

2.5.2. กรณีภาษา C++

ในภาษา C++ ส่วนของการทำงานของแต่ละ State จะถูกรอรับไว้ด้วยการเขียนโปรแกรมด้วยโครงสร้าง 'Switch-Case' ภายในฟังก์ชัน (loop())



รูปที่ 1 ตัวอย่างโค้ดเทียมของการเขียนรูปแบบสถานะในภาษาแลดเดอร์

แต่ละ case เคสก็คือแต่ละ State ภายในนั้นจะมี ส่วนควบคุมอุปกรณ์ และตามด้วยเงื่อนไขการ เปลี่ยน State ครอบด้วย 'If Statement' ซึ่งเป็น เงื่อนไขการเปลี่ยน State และจะถูกยับยั้งแต่ละ State ด้วยคำสั่ง 'break' เพื่อเริ่มต้นวงวนใหม่และ ทำให้ State ปัจจุบันทำงาน ดังรูปที่ 2

```
void loop() {
    switch (State) {
        case 0: //สถานะที่ 0
            // ส่วนอุปกรณ์ทำงาน
            digitalWrite(Y_1, LOW);
            // ส่วนเงื่อนไขการเปลี่ยนสถานะ
            if (เงื่อนไขการเปลี่ยนสถานะ) {
                State = 1; // ไปสถานะที่ 1
            }
            break;
    }
}
```

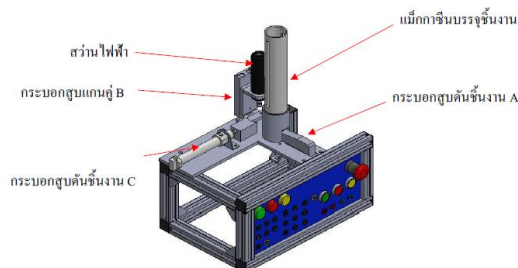
รูปที่ 2 ตัวอย่างโค้ดเทียบของการเขียนรูปแบบ สถานะในภาษา C++

โดยการเปรียบเทียบโค้ดของทั้งสองภาษาจะถูก นำเสนอในผลการทดลอง

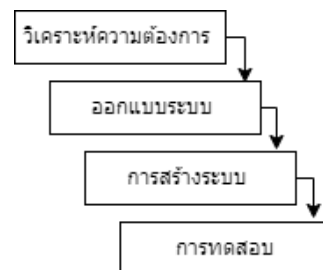
3. ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองได้ทำในห้องปฏิบัติการรวมระบบ อัตโนมัติและหุ่นยนต์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขต ขอนแก่น โดยใช้ชุดการเรียนรู้เกี่ยวกับระบบอัตโนมัติ ในเรื่องการเขียนโปรแกรมแบบซีคอนซ์เซียล โดยใช้ ชุดการเจาะชิ้นงาน MPU-A ของ บริษัท ออโตไดแด็ก ดิก จำกัด เป็นระบบตัวอย่างที่นำมาใช้ในการ ประยุกต์ใช้หลักการเขียนโปรแกรม โดยมีลักษณะดัง

ภาพที่ 3 ซึ่งระบบจะมีขั้นตอนใหญ่ๆ คือ จ่ายชิ้นงาน เจาะชิ้นงาน และส่งชิ้น จากนั้นจะประยุกต์เข้ากับการ พัฒนาตามแนวทางของ SDLC แบบน้ำตกดัง แสดงไว้ในภาพที่ 4 ซึ่งมีลักษณะดังนี้



รูปที่ 3 MPU-A ชุดการเจาะชิ้นงาน



รูปที่ 4 แนวทางในการพัฒนาโปรแกรม

1. ขั้นตอนวิเคราะห์ความต้องการ บ่งบอกถึง พฤติกรรมที่ระบบจะปฏิบัติซึ่งความต้องการจะได้มา จากการเก็บข้อมูลหรือเอกสารที่เกี่ยวข้อง
2. ขั้นตอนการออกแบบจะเป็นการนำผลลัพธ์ ความต้องการมารวมกับข้อมูลกลไกของฮาร์ดแวร์ โดยผลลัพธ์ที่ได้คือแผนภูมิสถานะ และการออกแบบ การเดินสาย
3. ขั้นตอนการสร้างระบบ ในที่นี้คือเขียนโปรแกรม ตามแผนภูมิสถานะโดยยึดแนวทางตามที่น่าเสนอใน งานวิจัยนี้ และการเดินสายฮาร์ดแวร์ตามที่ออกแบบ ไว้โดยการทดสอบจะแบ่งออกเป็นส่วนของ PLC และ ส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์

4. ขั้นตอนการทดสอบ ทำการทดสอบระบบตามเงื่อนไขที่ออกแบบไว้เพื่อให้ได้ครบตามความต้องการและหลีกเลี่ยงความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้น จะสังเกตได้ว่าในงานวิจัยนี้การทดลองจะสิ้นสุดอยู่ขั้นตอนที่ 4 ของแบบจำลองแบบน้ำตก เนื่องจากเป็นชุดฝึกการเรียนรู้จึงไม่มีการติดตั้งใช้งาน และการบำรุงรักษา

4. ผลการทดลอง

การทดลองได้ติดตั้งและทดสอบกับ PLC Mitsubishi FX5U ส่วน ไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้ Arduino Mega 2560 ที่มีขา DIO มากกว่า UNO และเนื่องจาก Arduino ไม่สามารถจ่ายไฟ 24V ได้โดยตรงจึงต้องใช้ตัวแปลงไฟกระแสตรงระหว่าง 24V และ 5V จากขั้นตอนการทดลองนำไปสู่ผลการทดลองได้ ดังนี้

4.1. ขั้นตอนวิเคราะห์ความต้องการ

ความต้องการในที่นี่ได้รับจากโจทย์ชุดฝึกเพื่อการแข่งขันระบบอัตโนมัติซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

4.1.1. กดสวิตช์ S₁ สิ่งเริ่มทำงาน เฉพาะเมื่อกดสวิตช์ S₁ กระบอกสูบ A ผลักขึ้นงานจากแม็กกาซีนเข้าเจาะและผลักขึ้นงานค้างไว้จนจบขั้นตอนที่ 3

4.1.2. กระบอกสูบ B เลื่อนสว่านลงเจาะ Motor₁ เริ่มหมุนดอกสว่าน

4.1.3. กระบอกสูบ B เลื่อนสว่านขึ้น Motor หยุดหมุนเมื่อจบขั้นตอน

4.1.4. กระบอกสูบ A ถอยกลับ

4.1.5. กระบอกสูบ C ผลักขึ้นงานออกทางด้านขวา

4.1.6. กระบอกสูบ C ถอยกลับ

4.2. ขั้นตอนการออกแบบ

ตารางที่ 1

ข้อมูลการต่อฝั่งอินพุต

อินพุต			คำอธิบาย
MPU-A	PLC	MCU	
Reed_1	X1	2	กระบอกสูบ A เคลื่อนที่เข้าสู่สุด
Reed_2	X2	3	กระบอกสูบ A เคลื่อนที่ออกสุด
Reed_3	X3	4	สว่านไฟฟ้า B เคลื่อนที่ขึ้นสุด
Reed_4	X4	5	สว่านไฟฟ้า B เคลื่อนที่ลงสุด
Reed_5	X5	6	กระบอกสูบ C เคลื่อนที่เข้าสู่สุด
Reed_6	X6	7	กระบอกสูบ C เคลื่อนที่ออกสุด
S_1	X10	8	ปุ่ม S1
S_2	X11	9	ปุ่ม S2
S_3	X12	10	ปุ่ม S3

ออกแบบการต่อสายระหว่าง MPU-A กับ PLC และ MPU-A กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) มีการเชื่อมต่อ ดังตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2

ตารางที่ 2

ข้อมูลการต่อฝั่งเอาต์พุต

เอาต์พุต			คำอธิบาย
MPU-A	PLC	MCU	
Y_1	Y1	22	ควบคุมการเคลื่อนที่กระบอกสูบ A
Y_2	Y2	24	ควบคุมสว่านไฟฟ้า B

Y_3	Y3	26	ควบคุมการเคลื่อนที่ กระบอกลูบ C
L_1	Y4	28	ไฟสัญญาณ L1
L_2	Y5	30	ไฟสัญญาณ L2
L_3	Y6	32	ไฟสัญญาณ L3
Motor_1	Y7	34	ควบคุมการหมุนของ สว่านไฟฟ้า

แต่ในเงื่อนไขความต้องการนี้อุปกรณ์ S_3 L_1 L_2 L_3 ไม่ได้ถูกใช้งาน จึงจะไม่ปรากฏอยู่ในการออกแบบโปรแกรม จากความต้องการและการต่ออุปกรณ์สามารถวิเคราะห์และออกแบบลักษณะการทำงานให้สอดคล้องกับความต้องการซึ่งจะเขียนแผนภูมิสถานะเครื่องจักรได้ ดังรูปที่ 5

State 0 สถานะเริ่มต้นเมื่อ PLC หรือไมโครคอนโทรลเลอร์เริ่มต้นทำงาน หรือ ถูกรีเซท ระบบจะกลับเข้าสู่สถานะนี้ ซึ่งอุปกรณ์ทำงานแต่ละตัวจะถูกรีเซทให้กลับเป็นสถานะเริ่มต้น เพื่อเตรียมพร้อมที่จะทำงานต่อไป โดยสถานะที่เป็นค่าเริ่มต้นจะต่อท้ายด้วยเครื่องหมาย * หลังสถานะ ดังรูปที่ 6

State 1 สถานะที่ 1 จะเริ่มต้นทำงานเมื่ออยู่ที่ State0 และ Reed_1 มีสถานะเป็น ON ปุ่ม S_1 ถูกกด จากนั้นเมื่ออยู่ใน State 1 กระบอกลูบ A (Y_1) จะกางออก ส่งผลให้ชิ้นงานออกจากแม่กลอกขึ้นเข้า สู่กระบวนการเจาะ ดังรูปที่ 7

State 2 สถานะที่ 2 จะเริ่มต้นทำงานเมื่ออยู่ที่ State1 และกระบอกลูบ A กางออกสุดจน Reed_2 มีสถานะเป็น ON จากนั้นเมื่ออยู่ใน State 2 กระบอกลูบ B (Y_2) จะเลื่อนลงและสว่าน Motor_1 ทำงาน ส่งผลให้ชิ้นงานได้รับการเจาะ ดังรูปที่ 8

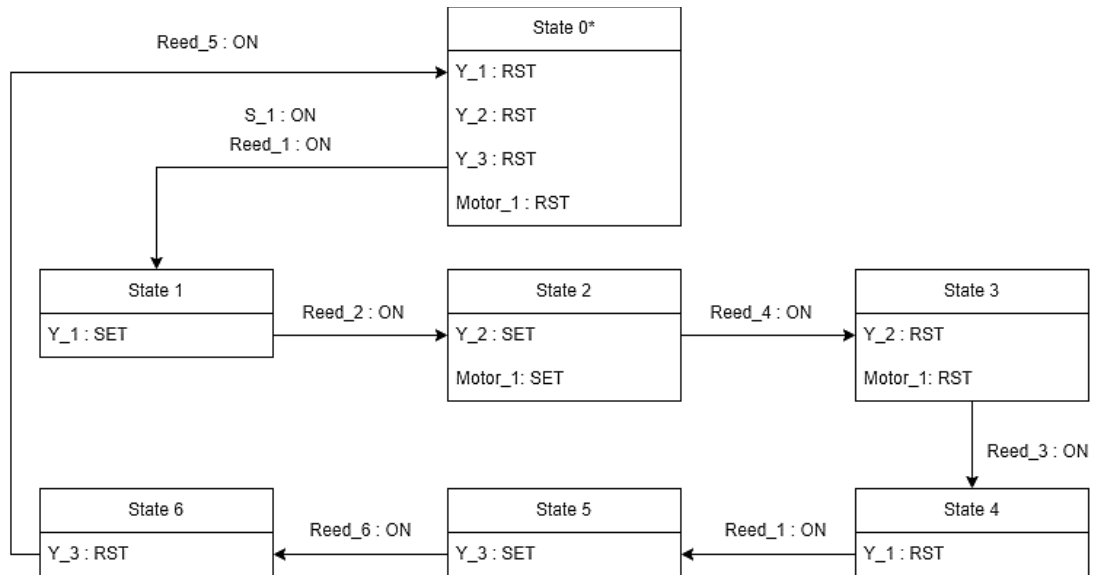
State 3 สถานะที่ 3 จะเริ่มต้นทำงานเมื่ออยู่ที่ State2 และกระบอกลูบ B เลื่อนลงสุดจน Reed_4 มีสถานะเป็น ON เมื่อเข้าสู่ State 3 กระบอกลูบ B จะเลื่อนขึ้นและสว่าน Motor_1 จะหยุดหมุน ส่งผลให้หยุดการเจาะชิ้นงาน ดังรูปที่ 9

State 4 สถานะที่ 4 จะเริ่มต้นทำงานเมื่ออยู่ที่ State3 และกระบอกลูบ B เลื่อนขึ้นสุดจน Reed_3 มีสถานะเป็น ON เมื่อเข้าสู่ State 4 กระบอกลูบ A ที่กางอยู่จะเคลื่อนกลับ ส่งผลให้ขากระบอกลูบ A หุบกลับ ดังรูปที่ 10

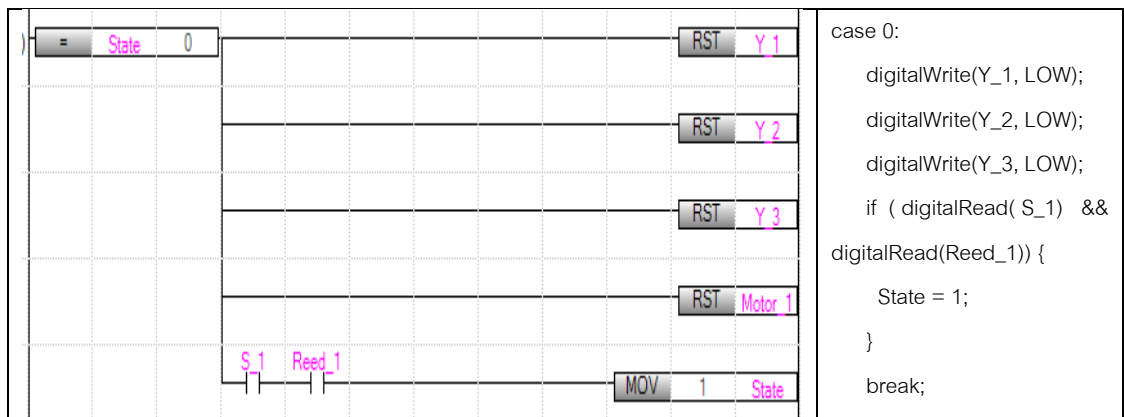
State 5 สถานะที่ 5 จะเริ่มต้นทำงานเมื่ออยู่ที่ State 4 และกระบอกลูบ A จะเคลื่อนกลับสุดจน Reed_1 ทำงาน เมื่อเข้าสู่ State 5 กระบอกลูบ C (Y_3) จะเลื่อนออกสุด ส่งผลให้ชิ้นงานถูกส่งออกจากกระบวนการเจาะ ดังรูปที่ 11

State 6 สถานะที่ 6 จะเริ่มต้นทำงานเมื่ออยู่ใน State 5 และ กระบอกลูบ C เลื่อนออกสุด Reed_6 เมื่อเข้าสู่ State 6 กระบอกลูบ C จะเลื่อนเข้าสุด ส่งผลให้กระบอกลูบ C เก็บ รอจนกว่า Reed_5 มีสถานะ ON จะกลับเข้าสู่ State 0 ดังรูปที่ 12

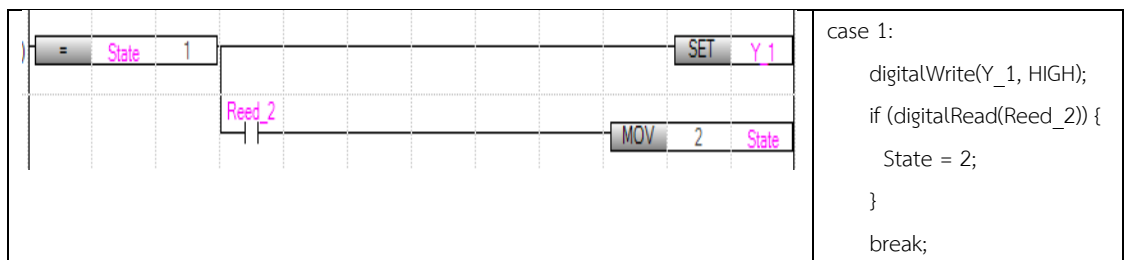
สถานะที่ไม่ได้อยู่ในการออกแบบ แต่ถูกเพิ่มเข้ามาเพื่อใช้ในการตรวจสอบและแก้ไขระหว่างพัฒนา คือ การกดปุ่ม S_2 ในการกลับเข้าไปที่ State 0 ในการเขียนภาษาแลดเดอร์ การเปรียบเทียบถูกใช้สองครั้ง เพื่อระบุสถานะที่สามารถทำการหยุดในที่นี้คือ State 1 ถึง State 6 สามารถกลับมาที่ State 0 ในขณะที่ภาษาซีเขียนเงื่อนไขนี้อยู่ข้างนอกการเปรียบเทียบแบบ switch-case จะทำให้รูปแบบโค้ดกระชับกว่า ดังรูปที่ 12



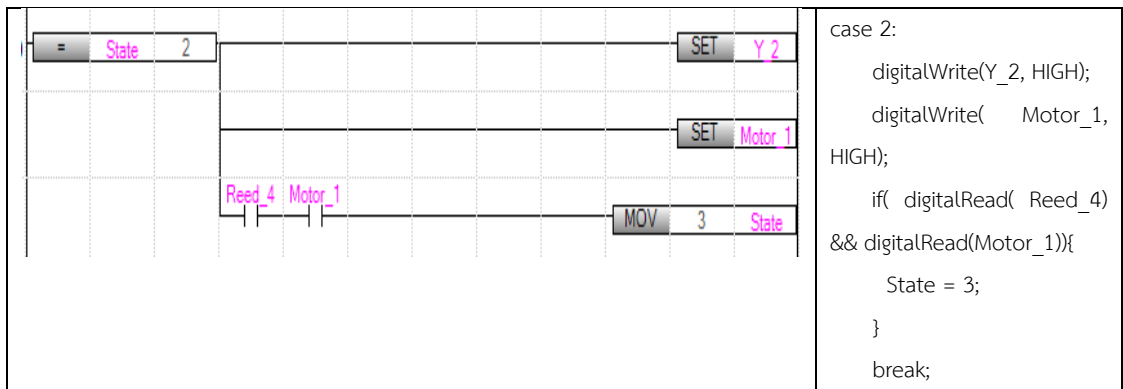
รูปที่ 5 แสดงแผนภูมิสถานะของ MPU-A



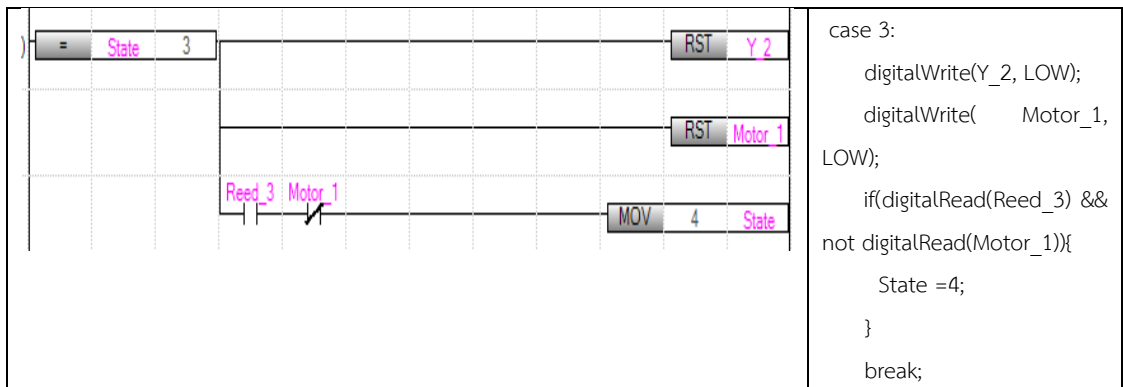
รูปที่ 6 เปรียบเทียบสถานะที่ 0



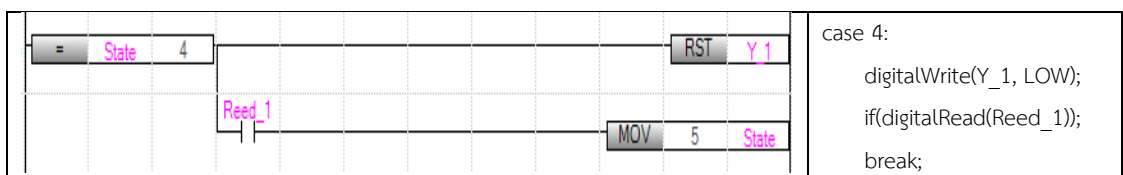
รูปที่ 7 เปรียบเทียบสถานะที่ 1



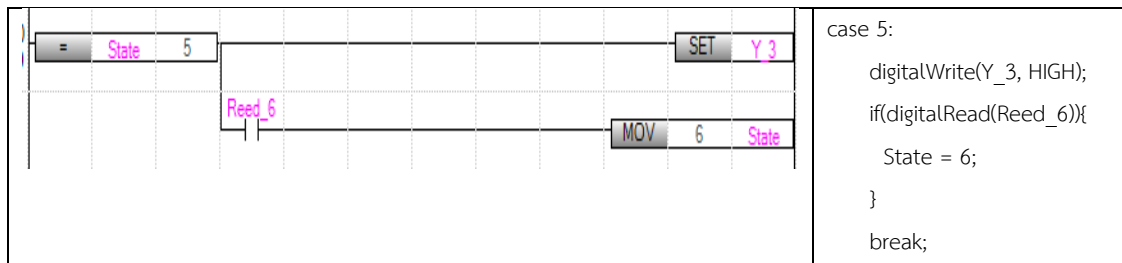
รูปที่ 8 เปรียบเทียบสถานะที่ 2



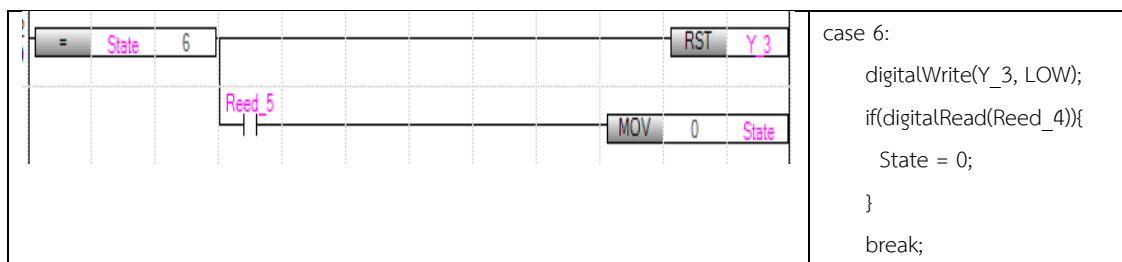
รูปที่ 9 เปรียบเทียบสถานะที่ 3



รูปที่ 10 เปรียบเทียบสถานะที่ 4



รูปที่ 11 เปรียบเทียบสถานะที่ 5



รูปที่ 12 เปรียบเทียบสถานะที่ 6

4.3 ผลของโปรแกรมที่ออกแบบ

การทดสอบระบบการควบคุม MPU-A โดยใช้ PLC และไมโครคอนโทรลเลอร์ พบว่าทั้งสองระบบสามารถทำงานได้ตามความต้องการ แต่ความเร็วในการตอบสนองใกล้เคียงกัน แต่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีกลไกจากวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าหรือรีเลย์เพื่อใช้กับ MPU-A เลยทำให้ตอบสนองช้ากว่าพีแอลซี ดังนั้นการเลือกใช้ตัวควบคุมในจะขึ้นอยู่กับความต้องการในเรื่องของความเร็วในการตอบสนองและงบประมาณที่มี

5. สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอรูปแบบการเขียนโปรแกรมสำหรับควบคุมระบบอัตโนมัติในแนวทางของแผนภูมิสถานะ เพื่อที่จะสามารถพัฒนาโปรแกรมใน

แนวทาง SDLC ซึ่งจะช่วยให้มีประสิทธิภาพในการพัฒนาโปรแกรม นอกจากนี้ยังทำให้สามารถอ่านโค้ดและเห็นภาพรวมของการทำงานได้ โดยในการทดสอบ จะทำการพัฒนาโปรแกรมควบคุมสำหรับชุดฝึกอบรมอัตโนมัติในกระบวนการเจาะ MPU-A โดยใช้ตัวควบคุมราคาประหยัดแยกออกเป็น PLC ที่เขียนด้วยภาษาแลดเดอร์ และ ไมโครคอนโทรลเลอร์เขียนควบคุมด้วยภาษาซีพลัสพลัสซึ่งทั้งสองภาษาสามารถเขียนได้จากการแปลงแผนภูมิสถานะ โค้ดแยกเป็นสามส่วน คือ ส่วนสถานะ ส่วนการเปลี่ยนสถานะ และส่วนการทำงาน ทำให้สามารถพัฒนาและแก้ไขได้ง่ายขึ้นเนื่องจากแต่ละสถานะถูกแบ่งแยกออกจากกันและเป็นอิสระในการแก้ไข

ผลการทดสอบทั้งสองตัวควบคุมสามารถทำตามความต้องการของระบบ แตกต่างกันตรงการ

ตอบสนองที่พีแอลซีตอบสนองได้รวดเร็วกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ต้องผ่านวงจรช่วยทำงานก่อนเนื่องจากงานวิจัยนี้นำเสนอทางด้านการออกแบบโปรแกรม จึงยังไม่ได้ทดสอบด้านอื่น เช่น เวลาในการตอบสนองของเครื่องจักร การเดินสายเครื่อง การทนต่อสิ่งรบกวน หรือทางด้านความคุ้มค่าของอุปกรณ์ ซึ่งต้องทำการวิจัยเพิ่มเติมและทดสอบในโจทย์ปัญหาต่อไป

โดยสรุปรูปแบบการเขียนโปรแกรมที่นำเสนอสามารถช่วยอำนวยความสะดวกในการพัฒนาได้โดยไม่ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีของเจ้าของผลิตภัณฑ์ภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรม แต่ขึ้นอยู่กับกรอบแบบแผนภูมิสถานะเครื่องจักร ทำให้มีความยืดหยุ่นในการพัฒนามากขึ้น และเห็นภาพรวมของระบบได้ง่ายขึ้น แต่ตัวอย่างในการทดลองยังเป็นเพียงการควบคุม แบบซีควีนเชียลง่ายๆ เท่านั้น หากระบบมีความซับซ้อนมากขึ้น สัญลักษณ์หรือการทำงานบางอย่างยังไม่ถูกกล่าวถึง ทางผู้วิจัยจะพัฒนาเพิ่มเติมในงานวิจัยภายหน้า

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Franchetti F, Ritschel N, Holmes R, Li L, Soto M, Jetley R, et al. Language impact on productivity for industrial end users: A case study from Programmable Logic Controllers. Journal of Computer Languages. 2022 Apr 1;69:101087.
- [2] Chakraborti T. From Robotic Process Automation to Intelligent Process Automation: – Emerging Trends– . InBusiness Process Management: Blockchain and Robotic Process Automation Forum: BPM 2020 Blockchain and RPA Forum, Seville, Spain, September 13 – 18; 2020 , Proceedings 18 2020 ; 215-228. Springer International Publishing.
- [3] Beer P, Mulder RH. The effects of technological developments on work and their implications for continuous vocational education and training: A systematic review. Frontiers in Psychology 2020; May 8;11:918.
- [4] Thong-un N, Wongsaroj W. Productivity enhancement using low- cost smart wireless programmable logic controllers: A case study of an oyster mushroom farm. Computers and Electronics in Agriculture. 2022 Apr 1;195:106798.
- [5] Dwinugroho TB, Hapsari YT. Greenhouse automation: Smart watering system for plants in greenhouse using programmable logic control (PLC) . In Journal of Physics: Conference Series 2021 Mar 1 (Vol. 1823 , No. 1 , p. 012014) . IOP Publishing.

- [6] Cheng YH, Chao PJ, Liang HY, Kuo CN. Smart Home Environment Management Using Programmable Logic Controller. *Engineering Letters*. 2020 Dec 1; 28(4).
- [7] Livinsa ZM, Valantina GM, Premi MG, Sheeba GM. A modern automatic cooking machine using arduino mega and IOT. *InJournal of Physics: Conference Series* 2021 Mar 1 (Vol. 1770, No. 1, p. 012027). IOP Publishing.
- [8] Tiegelkamp M, John KH. IEC 61131-3: Programming industrial automation systems. Berlin/Heidelberg, Germany: Springer; 2010.
- [9] Erickson KT. Programmable logic controllers. *IEEE potentials*. 1996 Feb; 15(1): 14-7.
- [10] Bornot S, Huuck R, Lakhnech Y, Lukoschus B. An abstract model for sequential function charts. *Discrete event systems: analysis and control*. 2000: 255-64.
- [11] Sanver U, Yavuz E, Eyupoglu C, Uzun T. Design and implementation of a programmable logic controller using PIC18F4580. *In2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)* 2018 Jan 29; 231-235. IEEE.
- [12] Balaji S, Murugaiyan MS. Waterfall vs. V-Model vs. Agile: A comparative study on SDLC. *International Journal of Information Technology and Business Management*. 2012 Jun 29; 2(1): 26-30.
- [13] Vogel-Heuser B, Obermeier M, Braun S, Sommer K, Jobst F, Schweizer K. Evaluation of a UML-based versus an IEC 61131-3 - based software engineering approach for teaching PLC programming. *IEEE Transactions on Education*. 2012 Nov 29; 56(3): 329-35
- [14] Wagner F, Schmuki R, Wagner T, Wolstenholme P. Modeling software with finite state machines: a practical approach. CRC Press; 2006 May 15.
- [15] DeGuglielmo NP, Basnet SM, Dow DE. Introduce Ladder Logic and Programmable Logic Controller (PLC). *In2020 Annual Conference Northeast Section (ASEE-NE)* 2020 Oct 16; 1-5. IEEE.
- [16] Sanver U, Yavuz E, Eyupoglu C, Uzun T. Design and implementation of a programmable logic controller using PIC18F4580. *In 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in*

Electrical and Electronic Engineering
(EIConRus) 2018 Jan 29; 231-235.
IEEE.

- [17] Hudedmani MG, Umayal RM,
Kabberalli SK, Hittalamani R.
Programmable logic controller (PLC) in
automation. Advanced Journal of
Graduate Research. 2017 May 24;
2(1): 37-45.



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

สร้างห้องเย็นราคาประหยัดโดยใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิด R-22

Development of economical cold storage using R-22 split type air conditioner system

ธัญสุภรณ์ ศาสตร์เมือง¹ อภิชาติ อาจนาศีเยว^{2*} และ ชานู โพธิพิทักษ์³Suparat Sasrimuang¹, Apichart Artnaseaw^{2*} and Chanu Photiphitag³¹ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

85 ถนนสถลมารค อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

²ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

123 ถนนมิตรภาพ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

³คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

295 ถ. นครราชสีมา แขวงดุสิต เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300

¹Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University

85 Sathonlamark Road Warin Chamrap District, Ubon Ratchathani, 34190

²Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

123 Mitrapap Road, Mueang Khon Kaen District, Khon Kaen 40002

³Faculty of Science and Technology, Suan Dusit University

295 Nakhon Ratchasima Road, Dusit District, Bangkok 10300

Received: 2 March 2022

Revised: 26 April 2024

Accepted: 30 April 2024

Available online: 26 June 2024

บทคัดย่อ

ห้องเย็นราคาถูกขนาด 22.5 m³ ถูกสร้างขึ้นโดยใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน สารทำความเย็นเลือกเป็น R-22 ให้มีอุณหภูมิลดลงเหลือ 15 °C เพื่อรักษาความสดให้ผักและผลไม้ก่อนการบรรจุ ใช้น้ำและกลัวยเป็น โหลดความร้อน ทำการทดสอบอุณหภูมิและความดันของสารทำความเย็น ตรวจวัดกำลังไฟฟ้า เพื่อหา COP

ตรวจอุณหภูมิในห้องเย็นและจับเวลา ผลการทดลอง พบว่า ความดันสารทำความเย็นด้าน low มีค่าช่วง 45-55 psig และในด้าน high อยู่ที่ 220-250 psig เมื่อใช้น้ำเป็นโหลด สามารถลดอุณหภูมิจาก 32 °C ลงมาที่ 28 °C ภายในเวลา 180 นาที ส่วนค่า COP ของระบบทำความเย็น ที่อุณหภูมิในห้องเย็นในช่วง 14-25 °C มีค่าในช่วง 4.2-6.7 เมื่อใช้กล้วยเป็นโหลด สามารถลดอุณหภูมิกกล้วยจาก 28 °C ลงมาที่ 15 °C ภายในเวลา 130 นาที ส่วนค่า COP ของระบบทำความเย็น ที่อุณหภูมิในห้องเย็นในช่วง 15-24 °C มีค่าในช่วง 4.1-6.2 มีราคาประมาณ 60,000 บาท

คำสำคัญ: ห้องเย็นราคาถูก กล้วย ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน COP

Abstract

The 22.5 m³ economical cold storage unit is designed with a split air conditioning system, utilizing R-22 refrigerant to regulate the temperature in cold storage at 15 °C, thereby aiding in the preservation of fruits and vegetables before they are packaged. Within this operational configuration, both water and bananas are employed as heat loads. To comprehensively evaluate the system's efficiency, a variety of parameters including refrigerant temperature and pressure, compressor power, storage temperature, and timing were examined to determine the COP. Experimental findings revealed that when water is used as the heat load, the refrigerant pressure fluctuates between 45 and 55 psig on the lower end and between 220 and 250 psig on the higher end. Notably, the temperature of the water can be reduced from 32 °C to 28 °C within 180 min. The COP values of the refrigeration system, operating within a temperature range of 14 to 25 °C within the cold storage, were found to range from 4.2 to 6.7. Conversely, when bananas are used as the heat load, their temperature decreases from 28 °C to 15 °C within 130 min. Under these conditions, the COP values of the refrigeration system, with storage temperatures ranging from 15 to 24 °C, were determined to vary between 4.1 and 6.2.

Keywords: Low-cost refrigerator: Banana: Split type air conditioning system: COP

*ติดต่อ: aapich@kku.ac.th, 081-2667120

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีอุตสาหกรรมอาหารเป็นอุตสาหกรรมหลัก โดยข้อมูลจากสถาบันอาหารปี พ.ศ. 2565 สินค้าประเภทอาหารมีมูลค่าส่งออกกว่า

1.36 ล้านล้านบาท [1] โดยอาหารแช่เย็นเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีศักยภาพ ปัจจุบันระบบห้องเย็นมาพร้อมกับการขยายสาขาของร้านสะดวกซื้อ ห้างสรรพสินค้า รวมไปถึงระบบห้องเย็นที่ใช้ในอาหารทะเล และอาหารสัตว์เพื่อการส่งออก ดังนั้นระบบแช่

เย็นอาหารจึงจำเป็นอย่างมากในอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร เช่น นมพาสเจอร์ไรซ์ ไขมัน เนื้อไก่ เนื้อหมู นม เนย อาหารแปรรูป ผักสด ผลไม้สด และ อาหารทะเล จุดประสงค์เพื่อรักษาความสด [2] โดยทั่วไป สำหรับการผลิตผักและผลไม้สด การสัมผัสกับอากาศภายนอกที่อุณหภูมิ 35 °C 1 ชั่วโมง ในระหว่างการเก็บเกี่ยวและจัดเก็บ สามารถทำให้เสื่อมคุณภาพได้ เทียบเท่ากับ 20 ชั่วโมง ของการจัดเก็บในที่เย็นที่เหมาะสม [3] อาหารที่กำลังเติบโตตามความต้องการอย่างต่อเนื่อง คือ อาหารประเภท ผักสด ผลไม้สด ซึ่งการเก็บรักษาผักและผลไม้ที่มีประสิทธิภาพดี และไม่ทำลายวิตามินบางชนิดในผักและผลไม้ คือ การเก็บภายใต้อุณหภูมิ 8-15 °C [4] ส่วนเมล็ดพันธุ์พืชเก็บที่อุณหภูมิ 15 °C เพื่อรักษาคุณภาพของเมล็ดพันธุ์พืชให้สามารถนำไปใช้ในการเพาะปลูกในฤดูกาลถัดไป และได้ผลผลิตที่ดีไม่ต่างจากเมล็ดพันธุ์ที่เพิ่งเก็บใหม่จากต้นเพาะพันธุ์ [5] ทั้งนี้ยังรวมไปถึงห้องบรรจุสินค้าประเภทอาหารสด ที่ผ่านมาตรฐาน GMP ที่ต้องรักษาอุณหภูมิภายในห้องเย็นให้อยู่ในช่วง 15-18 °C [5] ระบบห้องเย็นแบ่งออกเป็น 5 ประเภท คือ 1.) ห้องแช่เย็นเฉียบพลัน (Air Blast Chill Room) อุณหภูมิที่ใช้ อยู่ที่ประมาณ 2-10 °C 2.) ห้องพักสินค้า (anti room) อุณหภูมิที่ให้อยู่ที่ประมาณ -5-10 °C 3.) ห้องแช่แข็ง (Freezer Room) อุณหภูมิที่ให้อยู่ที่ประมาณ -25-(-5) °C 4.) ห้องเย็นเก็บรักษาสินค้า (Cold Storage Room) อุณหภูมิที่ให้อยู่ที่ประมาณ -25°C และ 5.) ห้องแช่แข็งลมเย็นจัด (Air Blast Freezer Room) อุณหภูมิที่ให้อยู่ที่ประมาณ -35 °C ซึ่งห้องเย็นทุกรูปแบบล้วนมีราคาสูงมาก เฉลี่ยมากกว่า 200,000 บาทขึ้นไป เช่น ห้องเย็นพร้อมระบบทำความเย็น

สำเร็จรูป ที่มีขายทั่วไป มีขนาด ยาว 2.4 เมตร กว้าง 2.4 เมตร สูง 2.4 เมตร มีราคาประมาณ 250,000 บาท [6] และห้องเย็นทุกรูปแบบ สามารถทำความเย็นได้ตั้งแต่ -35-2 °C แต่สำหรับการเก็บรักษาผักและผลไม้ประเภทผลิตก๊าซเอทิลีน เพื่อชะลอความเสียหายที่จะเกิดขึ้นในช่วงที่ผลผลิตออกมามากนั้น ต้องการอุณหภูมิเพียง 13-15 °C เท่านั้น [7] การใช้ห้องเย็นที่มีความสามารถในการทำความเย็นสูงจึงไม่จำเป็น อีกทั้งยังมีราคาสูงด้วย การหาระบบทำความเย็นสำหรับผักและผลไม้ขึ้นมาใหม่ ที่ทำอุณหภูมิได้ในช่วง 13-15 °C ที่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ จึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจ [8,9] จากการสืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมพบว่า ระบบปรับอากาศที่ใช้กันทั่วไป มีราคาถูก และมีการตั้งค่าอุณหภูมิห้องต่ำสุดไว้ที่ 19 °C เท่านั้น แม้ว่าสารทำความเย็นที่ใช้ จะมีความสามารถในการทำความเย็นให้อุณหภูมิต่ำกว่า 19 °C ได้ก็ตาม สารทำความเย็นที่ใช้มีหลายชนิด เช่น R-22 , R410a และ R-32 เป็นต้น แต่ R-22 เป็นสารทำความเย็นที่นิยมใช้มากที่สุด ทำให้ระบบทำความเย็นชนิด R-22 มีราคาถูกที่สุด เมื่อความดันของสารทำความเย็น R-22 ที่ด้าน low pressure เท่ากับ 500 kPa หรือ 72.5 psi สารทำความเย็นจะมีอุณหภูมิ 0.12 °C [10] ดังนั้นระบบทำความเย็นแบบอัดไอ จึงมีศักยภาพในการทำ ความเย็นในห้องเย็นที่ต้องการอุณหภูมิที่ระดับ 13-15 °C ได้ [11,12] โดยคุณสมบัติอื่นของสารทำความเย็นแสดงในตารางที่ 1

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้จะทำการศึกษาและสร้างห้องเย็นราคาประหยัดที่สามารถทำอุณหภูมิได้ระหว่าง 12-15 °C โดยใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ใช้ งานตามอาคารทั่วไป ซึ่งเป็นระบบทำความ

เย็นแบบอัตโนมัติที่มีราคาถูก โดยทำการสร้างผนังห้องเย็น ด้วย คอนกรีตมวลเบา [13] แล้วใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นตัวทำความเย็น จากนั้นทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในห้องเย็นที่มีผลต่อ COP ของระบบ

ตารางที่ 1

คุณสมบัติของสารทำความเย็น

Refrigerant	R22
Molecular weight (kg/Kmol)	86.47
Normal boiling point ($^{\circ}\text{C}$)	-40.9
Critical temperature ($^{\circ}\text{C}$)	96.2
Critical pressure (psi)	723.7
Latent heat of evaporation (kJ/kg)	233.7

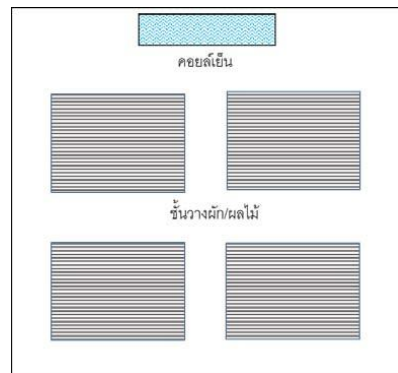
2. วิธีการวิจัย

การทดลองมีขั้นตอน ดังนี้

2.1. สร้างห้องเย็นขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 2.5 เมตร x 3.0 เมตร x 3.0 เมตร ใช้วัสดุคอนกรีตมวลเบาขนาด กว้าง x ยาว x หนา เท่ากับ 20 ซม. X 60 ซม. X 10 ซม. เป็นผนังทั้ง 4 ด้าน ส่วนด้านบนใช้ผ้าแผ่นเรียบที่วางฉนวนกันความร้อนหนา 4 นิ้ว โดยขนาดของระบบทำความเย็น พิจารณาจากสมมุติฐาน ดังนี้ พื้นที่ห้องเย็นที่มีขนาดกว้าง 3 เมตร ยาว 3 เมตร ทำให้สามารถวางชั้นวางผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่มีขนาดกว้าง 0.5 เมตร ยาว 0.9 เมตร สูง 1.5 เมตร ได้ 4 ชุด ดังรูปที่ 1

2.2. ดำเนินการติดตั้งระบบทำความเย็น ใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิด R-22 ที่สามารถหาได้ทั่วไป ซึ่งคุณสมบัติระบบทำความเย็นแสดงในตารางที่ 2 และทำการหันหน้าคอยล์เย็นเข้าหาฝั่งประตู

ทางออกห้องเย็นซึ่งจะทำการติดตั้งคอยล์เย็นสูงจากพื้นห้องเย็น 2 เมตร ติดตั้งให้อยู่ในระยะกึ่งกลางห้องเย็นมากที่สุด



รูปที่ 1 แสดงการจัดวางชั้นวางผัก/ผลไม้

ตารางที่ 2

คุณสมบัติของระบบทำความเย็น

คุณสมบัติ	ข้อมูลจำเพาะ
ความสามารถในการทำความเย็น (BTU)	15,000
กำลังไฟฟ้า (W)	1,740
COP	3.43
ระบบไฟฟ้า (V/phase/Hz)	220/1/50
ฟลักัดกระแสไฟฟ้า (A)	8.3
ค่าการไหลเวียนอากาศ(m^3/h)	1,300

ในแต่ละชุดบรรจุกล้วย ซึ่งถูกเลือกใช้แทนผัก/ผลไม้ได้เท่ากับ 0.1 m^3 โดยกล้วยมีความหนาแน่นประมาณ 1.01 g/cm^3 [14,15] ทำให้สามารถบรรจุได้น้ำหนัก 404 kg มีอุณหภูมิเริ่มต้นของกล้วยเท่ากับอุณหภูมิอากาศเริ่มต้นของห้องเย็น คือ 32°C และอุณหภูมิ

สุดท้ายที่ 14°C ซึ่งความร้อนที่ต้องการดึงออกจาก
กล้วย ($Q_{\text{กล้วย}}$) คำนวณ ดังนี้

$$Q_{\text{กล้วย}} = mc_p\Delta T \quad (1)$$

โดย m คือ มวลกล้วย(kg); c_p คือ ความจุความร้อนจำเพาะกล้วย เท่ากับ 3.50 kJ/kg.K [16]; ΔT คือ อุณหภูมิกล้วยที่เปลี่ยนแปลงไป เท่ากับ $32-14 = 18^{\circ}\text{C}$ ความร้อนที่ต้องการดึงออกจากกล้วย คำนวณได้ ดังนี้

$$Q_{\text{กล้วย}} = mc_p\Delta T = 404 \times 3.50 \times 18 = 25,452 \text{ kJ}$$

กรณีที่ต้องการทำให้เย็นลง 18°C ในเวลา 1 ชั่วโมง
จะมีภาระความร้อนจากกล้วย ดังนี้

$$\dot{Q}_{\text{กล้วย}} = 25,452/3,600 = 7.07 \text{ kW}$$

ภาระความร้อนจากการนำความร้อนผ่าน
ผนังและฝ้า คำนวณได้ ดังนี้ [17]

$$\dot{Q}_{\text{ผนังและฝ้า}} = \left(\frac{k}{x}A(\text{CLTD})\right)_{\text{ผนัง}} + \left(\frac{k}{x}A(\text{CLTD})\right)_{\text{ฝ้า}} \quad (2)$$

$$\dot{Q}_{\text{ผนังและฝ้า}} = (0.648) + (1.3) = 1.948 \text{ kW}$$

เมื่อ k คือ ค่าการนำความร้อน

(ผนัง 0.09 W/m.K , ฝ้า 0.12 W/m.K) [18]

A คือ พื้นที่ (ผนัง 30 m^2 , ฝ้า 7.5 m^2) [19]

CLTD คือ ผลต่างอุณหภูมิ

(ผนัง $36-12 = 24^{\circ}\text{C}$, ฝ้า $25-12 = 13^{\circ}\text{C}$)

x คือ ความหนา (ผนัง 10 cm , ฝ้า 9 mm)

$$\dot{Q}_{\text{รวมของห้องเย็น}} = \dot{Q}_{\text{กล้วย}} + \dot{Q}_{\text{ผนังและฝ้า}} \quad (3)$$

$$\dot{Q}_{\text{รวมของห้องเย็น}} = 7.07 + 1.948 = 9.018 \text{ kW}$$

เมื่อ $1 \text{ kJ} = 0.947817 \text{ Btu}$

$$9.018 \times 3,600 \times 0.947817 = 30,770.69 \text{ Btu/hr}$$

ดังนั้น ในการออกแบบถ้าต้องการลดอุณหภูมิของ
กล้วยให้ได้ภายในเวลา 1 ชั่วโมง สามารถเลือกระบบ
ทำความเย็นขนาด $30,000 \text{ Btu/hr.}$ ได้ แต่ในงานวิจัย
นี้ต้องการทำห้องเย็นราคาถูก จึงเลือกใช้ขนาด
 $15,000 \text{ Btu/hr.}$ แทน แต่การลดอุณหภูมิของกล้วยจะ
ใช้เวลาเพิ่มขึ้นเป็น 2 ชั่วโมง

ในการทดสอบระบบที่สร้างขึ้นเบื้องต้น ผู้วิจัย
เลือกใช้น้ำแทนกล้วย เนื่องจากในขณะทำการทดสอบ
ระบบไม่ใช่ฤดูกาลของกล้วย จึงไม่มีกล้วยมากพอ
ทดสอบ โดยการคำนวณหามวลของน้ำที่ใช้แทนกล้วย
พิจารณาจากความร้อนที่ต้องการดึงออกจากกล้วย

$$(Q_{\text{กล้วย}}) = \text{ความร้อนที่ต้องการดึงออกจากน้ำ}(Q_{\text{น้ำ}})$$

$$Q_{\text{กล้วย}} = Q_{\text{น้ำ}} \quad (4)$$

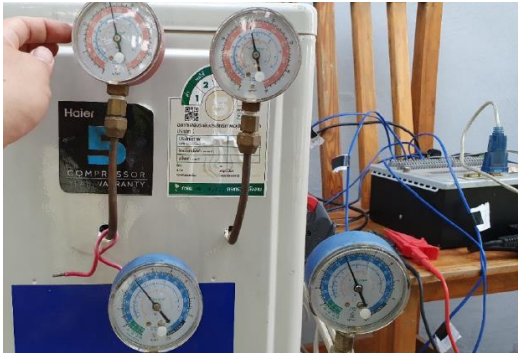
โดย ความจุความร้อนของน้ำ $= 4.18 \text{ kJ/kg.K}$

$$m = \left(\frac{25,412}{4.18(32-14)}\right) ; \quad m = 320 \text{ kg}$$

น้ำที่ใช้เป็นโหลดในระบบทำความเย็น แสดงในรูปที่
2 ควบคุมปริมาณการเติมสารทำความเย็นที่ด้าน low
pressure ให้ไม่เกิน 58.8 psig [20] ดังแสดงในรูปที่
3 ใช้ breaker switch ควบคุมการทำงานของระบบทำ
ความเย็นโดยตรงกับ compressor



รูปที่ 2 น้ำที่ใช้เป็นโหลดในระบบทำความเย็น



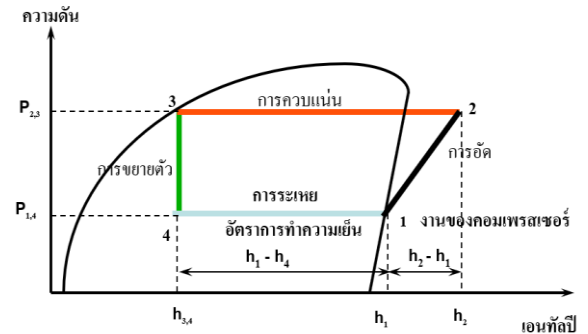
รูปที่ 3 เกจวัดค่าแรงดันของสารทำความเย็น

การวัดคุณสมบัติของสารทำความเย็นจะใช้ pressure gauge และ thermocouple type K โดยจะวัด 4 จุด ดังรูปที่ 4 ส่วนผังการทำงานของระบบแสดงในรูปที่ 5 ทำการบันทึกอุณหภูมิโดยใช้เครื่องบันทึกผล CR23X Micrologger และทำการบันทึกค่าการใช้พลังงานโดยใช้ power analyser 8332 ซึ่งสเปคของเครื่องมือวัดแสดงในตารางที่ 3 มีการตั้งค่าให้เครื่องมือวัดดังกล่าวทำการบันทึกค่าทุก 1 วินาที นับตั้งแต่เริ่มเดินเครื่องจนอุณหภูมิในห้องเย็นลดลงจนกว่าจะมีค่าคงที่ไม่ต่ำกว่า 10 นาที จึงทำการยุติการทดสอบ ซึ่งในระหว่างการทดสอบจะเปิดการทำงาน compressor ของระบบทำความเย็นตลอดเวลาแบบ full load [21]

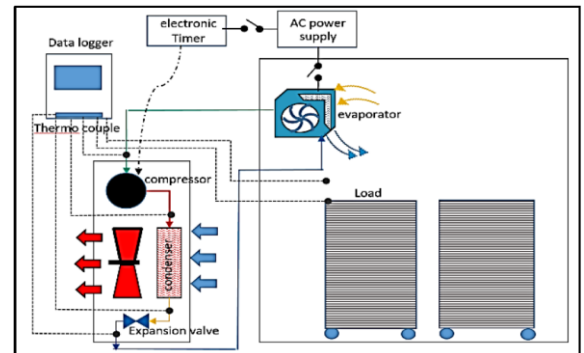
ตารางที่ 3

สเปคของเครื่องมือวัด

Item	Mearsuring range	Accuracy
Pressure gauge	0-120 psi, 0-500 psi	±0.5%
Thermocouple	0-150 °C	±0.1 °C
Power analyzer	0-6000 W	±1%



รูปที่ 4 จุดติดตั้งเครื่องวัดความดันและอุณหภูมิ



รูปที่ 5 ผังการทำงานของระบบ

2.3. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เพื่อหาค่าเอ็นทัลปีของน้ำยาทำความเย็นแต่ละจุด ก่อนนำไปคำนวณหาค่า COP ของระบบต่อไป โดย COP เป็นดัชนีชี้วัดว่าระบบปรับอากาศนั้นๆ มีประสิทธิภาพมากหรือน้อยจากการใช้พลังงานรวมของระบบในแต่ละช่วงอุณหภูมิ การคำนวณหาค่า COP ของระบบทำความเย็น [22] สามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบค่าความร้อนที่ปล่อยออกมาจากเครื่องควบแน่น (Q_e) กับค่าพลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ (W) ซึ่งผู้วิจัยทำการคำนวณ ดังสมการต่อไปนี้

$$Q_e = \dot{m}(h_1 - h_4) \quad (5)$$

$$W_c = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (6)$$

$$COP = \left(\frac{Q_e}{W_c} \right) = \left(\frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \right) \quad (7)$$

เมื่อ Q_e = อัตราการดูดซับความร้อนด้านเย็น (W)

W_c = งานที่ใช้สำหรับคอมเพรสเซอร์ (W)

$\dot{m}$ = อัตราการไหลสารทำความเย็น (kg/s)

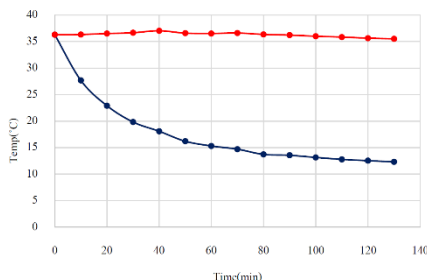
h_1 = เอนทัลปีก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (J/Kg)

h_4 = เอนทัลปีก่อนเข้าเครื่องระเหย (J/Kg)

h_2 = เอนทัลปีก่อนเข้าเครื่องควบแน่น (J/Kg)

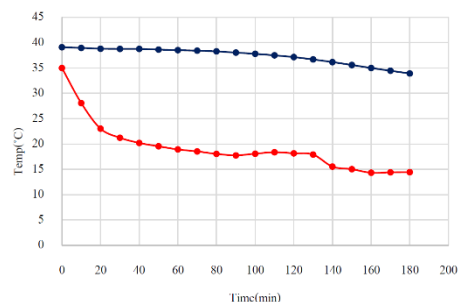
3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ทีมวิจัยเริ่มต้นจากการสร้างห้องเย็นราคาถูกลงที่อยู่ในโกดังที่ไม่โดนแสงแดดโดยตรง แล้วทำการทดสอบระบบเริ่มต้นจากการเดินเครื่องในกรณีที่ไม่มีโหลด ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 6 ที่แสดงอุณหภูมิของอากาศในห้องเย็นและอุณหภูมิของอากาศภายนอกที่เวลาต่างๆ เมื่อระบบทำความเย็นทำงาน พบว่าอุณหภูมิภายในห้องเย็นลดลงจาก 36 °C ลงมาเหลือ 12 °C ได้ในเวลา 120 นาที ส่วนอุณหภูมิอากาศภายนอกตลอดการทดลองมีค่าประมาณ 36 °C ซึ่งในการเดินระบบทำความเย็นนี้ มีการติดตามความดันของสารทำความเย็นด้าน high pressure ตลอดเวลา พบว่า มีค่าในช่วง 220-280 psig ซึ่งความดันนี้เป็นความดันที่ระบบทำความเย็นสามารถทำความเย็นได้ปกติ [21] โดยคอมเพรสเซอร์ทำงาน full load ตลอดเวลา



รูปที่ 6 อุณหภูมิในและนอกห้องเย็นที่เวลาต่างๆ (กรณีไม่มีภาระโหลด)

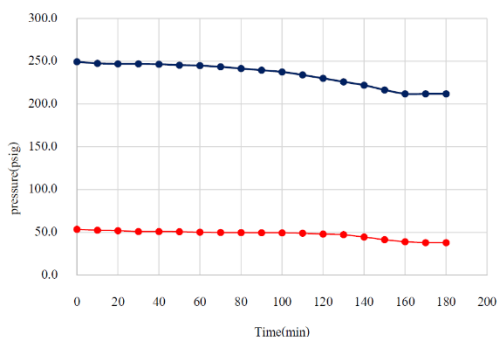
จากนั้นทำการทดสอบระบบในกรณีที่มิมีโหลดน้ำดังแสดงในรูปที่ 7 พบว่า อุณหภูมิภายในห้องเย็นลดลงจาก 35 °C ลงมาเหลือ 12 °C ได้ในเวลา 155 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับค่าคำนวณในทางทฤษฎีดังสมการที่ 3 ที่ควรจะใช้เวลา 120 นาที พบว่าในงานจริงใช้เวลาเพิ่มขึ้น 35 นาที สาเหตุมาจาก 1) การถ่ายเทความร้อนมีมากกว่าล้วยเพราะน้ำอยู่ในถัง 100 ลิตร ทำให้การถ่ายเทความร้อนจากด้านในสุดของถังน้ำมาที่ผิวด้านบนทำได้ยาก และยังมีฉนวนพลาสติกลดการถ่ายเทความร้อนด้วย 2) ภาระความร้อนจากการนำความร้อนผ่านผนังและฝ้า เพิ่มขึ้นเพราะอุณหภูมิภายนอกเพิ่มขึ้นเป็น 40 °C จากที่คำนวณ 36 °C ในการเดินระบบทำความเย็นนี้ มีการติดตามความดันของสารทำความเย็นด้าน high pressure ตลอดเวลา พบว่า มีค่าในช่วง 220-280 psig แสดงว่าระบบทำความเย็นสามารถทำความเย็นได้ปกติ



รูปที่ 7 อุณหภูมิในและนอกห้องเย็นที่เวลาต่างๆ (กรณีมีภาระโหลด)

เมื่อพิจารณาความดันของสารทำความเย็นทั้งด้าน low และ high ที่เวลาต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 8 พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นความดันของสารทำความเย็นจะค่อยๆ ลดลง โดยในด้าน high จะมีความดันอยู่ในช่วง 220-250 psig เนื่องจากภาระโหลดลดน้อยลง

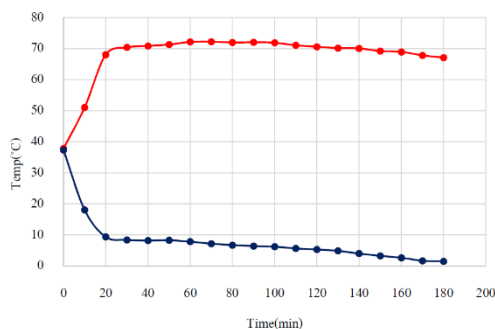
สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sunmonu et. al. [7] ส่วนในด้าน low จะมีแรงดันในช่วง 45-55 psig ซึ่งอยู่ในช่วงแรงดันปกติของสารทำความเย็นชนิด R-22 [7,21]



รูปที่ 8 ความดันสารทำความเย็นที่เวลาต่างๆ

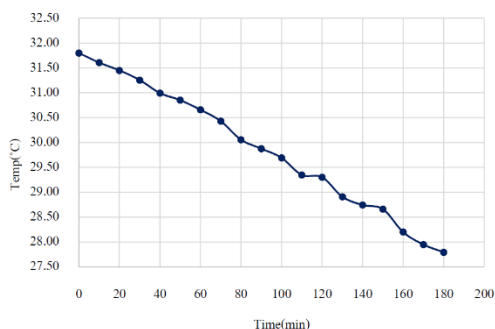
จากรูปที่ 9 แสดงอุณหภูมิของสารทำความเย็นของด้านก่อนเข้าและออกจากคอมเพรสเซอร์ที่เวลาต่างๆ พบว่า เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นอุณหภูมิของสารทำความเย็นของด้านออกจากคอมเพรสเซอร์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที เนื่องจากสารทำความเย็นจะถูกคอมเพรสเซอร์อัดตัวให้มีความดันสูงและมีความร้อนสูงขึ้น เมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที อุณหภูมิของสารทำความเย็นเริ่มคงที่ เนื่องจากระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะเสถียร แต่เมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที อุณหภูมิของสารทำความเย็นจะเริ่มลดลงอย่างช้าๆ ในส่วนอุณหภูมิของสารทำความเย็นด้านเข้าสู่คอมเพรสเซอร์ที่เวลาต่างๆ พบว่า ในช่วง 10 นาทีแรก อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ตำแหน่งนี้ลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากในช่วงนี้ระบบยังไม่ได้เข้าสู่สภาวะเสถียร จากนั้นอุณหภูมิของสารทำความเย็นเริ่มลดลงอย่างช้าๆ จนค่อนข้างคงที่ในช่วง 8-10 °C เมื่อเวลาผ่านไป 20 นาที เนื่องจากในช่วงนี้ระบบเข้าสู่สภาวะเสถียรแล้ว โดยอุณหภูมิสารทำความเย็นทางด้านเข้า

คอมเพรสเซอร์ที่ระบบสามารถรับได้จะต้องไม่ต่ำกว่า -23.3 °C ทั้งนี้ เพื่อเป็นการยืนยันว่าระบบนี้สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง [23]



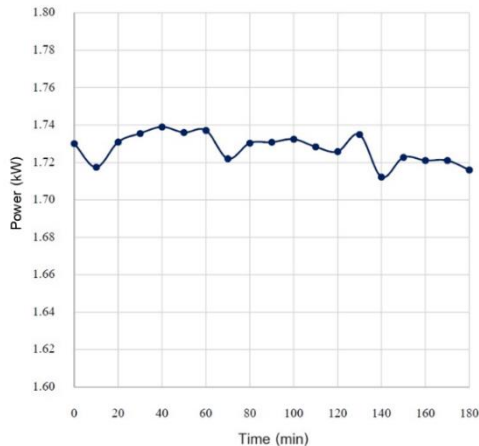
รูปที่ 9 อุณหภูมิสารทำความเย็นที่ตำแหน่งเข้าและออกคอมเพรสเซอร์ที่เวลาต่างๆ

รูปที่ 10 แสดงอุณหภูมิน้ำที่เวลาต่างๆ พบว่า เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น อุณหภูมิของน้ำจะค่อยๆ ลดลง จาก 31.7 °C ลงมาอยู่ที่ 27.6 °C เมื่อเวลาผ่านไป 180 นาที เนื่องจากสารทำความเย็นจะดูดความร้อนจากน้ำออกมาเรื่อยๆ แต่อุณหภูมิต่ำสุดไม่เท่ากับอุณหภูมิกอากาศในห้องเย็นเพราะการถ่ายเทความร้อนจากน้ำออกมาถูกทำให้ลดลงด้วยผนังของถังพลาสติก



รูปที่ 10 อุณหภูมิน้ำที่เวลาต่างๆ

รูปที่ 11 แสดงกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่ระบบทำความเย็นใช้ที่เวลาต่างๆ พบว่า กำลังไฟฟ้าค่อนข้างคงที่ประมาณ 1.72-1.74 kW

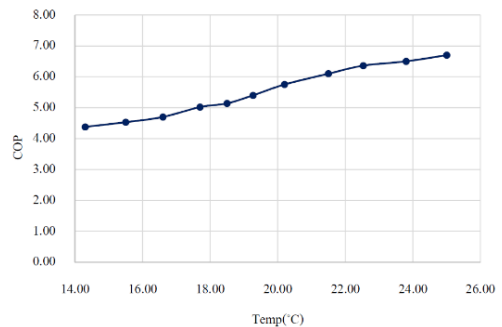


รูปที่ 11 กำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่ระบบทำความเย็นใช้ที่เวลาต่างๆ

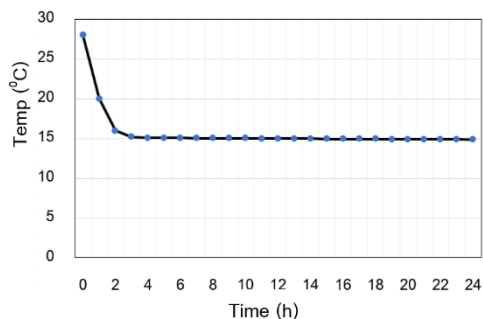
COP คือ ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง รูปที่ 12 แสดงค่า COP ของระบบห้องเย็นที่อุณหภูมิในห้องเย็นในช่วง 14-25 °C พบว่า เมื่ออุณหภูมิในห้องเย็นเพิ่มขึ้น COP จะเพิ่มขึ้นในช่วง 4.2-6.7 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Martínez et al. [24] ที่อุณหภูมิในห้องเย็น 14 °C ค่า COP ของระบบวัดได้ 4.2 ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับข้อมูลคุณสมบัติของระบบปรับอากาศจากบริษัทผู้ผลิตที่ระบุไว้ 3.5 ค่า COP ของระบบทำความเย็นที่ยอมรับได้ คือ มีค่าไม่น้อยกว่า 2.87 [25]

เมื่อใช้กล้วยหนัก 400 kg วางชั้นวางผลิตภัณฑ์ในห้องเย็นเพื่อใช้งานจริง โดยมีการตรวจสอบอุณหภูมิในเนื้อด้านในของกล้วยที่เวลาต่างๆ และค่า COP ของระบบทำความเย็นที่สร้างขึ้น แสดงในรูปที่ 13 และ 14 ตามลำดับ พบว่า กล้วยอุณหภูมิ 28 °C ลงมาที่ 15 °C ภายในเวลา 130 นาที ส่วนค่า COP ของระบบทำ

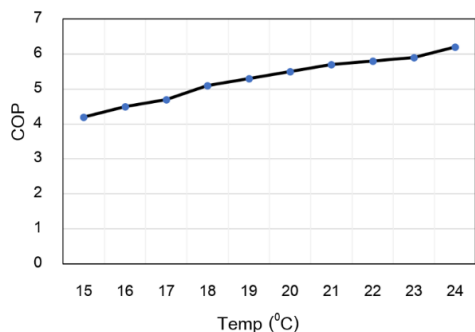
ความเย็น ที่อุณหภูมิในห้องเย็นในช่วง 15-24 °C มีค่าในช่วง 4.1-6.2



รูปที่ 12 COP ของระบบห้องเย็นที่อุณหภูมิต่างๆ ในห้องเย็น



รูปที่ 13 อุณหภูมิกล้วยที่เวลาต่างๆ เมื่อใช้กล้วยเป็นภาระโหลดในห้องเย็น



รูปที่ 14 COP ของระบบที่อุณหภูมิต่างๆ ในห้องเย็นเมื่อใช้กล้วยเป็นภาระโหลดในห้องเย็น

4. สรุป

ห้องเย็นราคาประหยัดขนาด 22.5 m³ ถูกสร้างขึ้นมาโดยใช้ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนชนิด R-22 มีราคาประมาณ 60,000 บาท ความดันสารทำความเย็นด้าน low มีค่าช่วง 45-55 psig และในด้าน high อยู่ที่ 220-250 psig เมื่อใช้น้ำเป็นโหลด สามารถลดอุณหภูมิ น้ำจาก 32 °C ลงมาที่ 28 °C ภายในเวลา 180 นาที ส่วนค่า COP ของระบบทำความเย็นที่อุณหภูมิในห้องเย็นในช่วง 14-25 °C มีค่าในช่วง 4.2-6.7 เมื่อใช้กล้วยเป็นโหลด สามารถลดอุณหภูมิกกล้วยจาก 28 °C ลงมาที่ 15 °C ภายในเวลา 130 นาที ส่วนค่า COP ของระบบทำความเย็น ที่อุณหภูมิในห้องเย็นในช่วง 15-24 °C มีค่าในช่วง 4.1-6.2

5. กิตติกรรมประกาศ

ทีมผู้วิจัยขอขอบพระคุณสำหรับ บริษัท อีซีเทค ฟาร์ม จำกัด ที่สนับสนุนเงินทุนและสถานที่ในการในการศึกษาครั้งนี้ และภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนเครื่องมือและเครื่องทดสอบต่างๆ ในการในการศึกษาครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ฝ่ายวิจัยและกลยุทธ์ สถาบันอาหาร กระทรวงอุตสาหกรรม. สรุปภาวะอุตสาหกรรมอาหารไทยปี 2565 และแนวโน้มปี 2566 :กระทรวงอุตสาหกรรม; 2567.
- [2] Canovas GVB, Alzamora SM, Tapia MS. Handling and preservation of fruits and vegetables by combined methods for rural areas. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome; 2 0 0 3 สังคมศาสตร์ระดับชาติ ครั้งที่ 2, 5-6 สิงหาคม 2562. จังหวัดสงขลา; 2562.
- [3] Makule E, Dimoso N, Tassou SA. Precooling and Cold Storage Methods for Fruits and Vegetables in Sub-Saharan Africa-A Review. Horticulturae. 2022; 8(1): 776-791.
- [4] การแบ่งกลุ่มผักผลไม้ตามอุณหภูมิแช่เย็นและความชื้นสัมพัทธ์. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 25 เมษายน 2567]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2139/การแบ่งกลุ่มผักผลไม้ตามอุณหภูมิแช่เย็นและความชื้นสัมพัทธ์>
- [5] อานนท์ สายคำฟู, วิชัย โอภาณุกุล, ตฤณสิทธิ์ ไกรสินบุรศักดิ์, et al. ออกแบบและพัฒนาระบบปรับอากาศและระบบทำความเย็นสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์พืช. ผลงานวิจัยดีเด่น กรมวิชาการเกษตร. 2558; 168–183.
- [6] 17 ข้อต้องรู้ ก่อนมีห้องเย็น. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 25 เมษายน 2567]. เข้าถึงได้จาก: <https://topcooling.net/th/article/17howto.php>.
- [7] Sunmonu M, Falua K, Basic AD. Development of a low-cost refrigerator for fruits and vegetables storage. International Journal of Basic and Applied Science. 2014; 50(2): 321-8.

- [8] Zappia A, De Bruno A, Torino R. Influence of light exposure during cold storage of minimally processed vegetables (*Valeriana* sp.). *Journal of Quality*. 2018; 2018: 1-7.
- [9] Sabari Priyan J, Sakthivel S, Rajan KS. Design and Development of Modified Air Cooler and Storage System. *International Research Journal of Engineering and Technology*. 2016; 3(4): 2920-2924.
- [10] Lemmon EW, Huber ML, McInden MO. NIST Standard Reference Database 23 NIST Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties-REFPROP User's Guide. US Department of Commerce. Colorado; 2013.
- [11] Thompson J, Kader A, Sylva K. Compatibility Chart for Short-term Transport or Storage. Oakland; 1996.
- [12] Sharma PK, Arun Kumar HS. Solar Powered Movable Cold Storage Structure for Perishables. *Current science*, 2018; 114(10): 2020-2023.
- [13] Meng X, Huang Y, Cao Y. Optimization of the wall thermal insulation characteristics based on the intermittent heating operation. *Case Studies in Construction Materials*. 2018; 9: e00188.
- [14] Wasala WMCB, Dharmasena DAN, Dissanayake TMR. Physical and Mechanical Properties of Three Commercially Grown Banana (*Musa acuminata* Colla) Cultivars in Sri Lanka. *Tropical Agricultural Research*. 2012; 24: 42-53.
- [15] Pawar KR, Atkari VT, Sutar RF. Engineering properties of row banana (*Musa paradisica* L.) fruit. *International Journal of processing and post harvest technology*. 2012; 3: 251-255.
- [16] สมบัติทางความร้อนของกล้วยไข่ (*Musa suerier*) และกล้วยน้ำว้า (*Musa sapientum* Linn.). *ฐานข้อมูลงานวิจัย เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว*. (สืบออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 25 เมษายน 2567]. เข้าถึงได้จาก: https://www.phtnet.org/research/view-abstract.asp?research_id=ag023.
- [17] ตฤย์ มณีวัฒนา และ พงศกร ธีญธาดา. determination of wall CLTD for cooling load calculation in Thailand. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2556.
- [18] อธิฐมวลเบา. (สืบออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 25 เมษายน 2567]. เข้าถึงได้จาก: https://www.xn--l3cahhe4c8f2ab8l2b.com/2011/11/blog-post_09.html.

- [19] Heat Transfer Through The Building Envelope: การถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 25 เมษายน 2567]. เข้าถึงได้จาก : <https://ienergyguru.com/2015/09/heat-transfer-through-the-building-envelope/>.
- [20] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 25 เมษายน 2567]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.thenbs.com/publicationindex/documents?Pub=ASHRAE>.
- [21] Effect of Shorter Compressor On/Off Cycle Times on A/C System Performance. (สื่อออนไลน์). [เข้าถึงเมื่อวันที่ 25 เมษายน 2567]. เข้าถึงได้จาก : <https://core.ac.uk/reader/4822580>
- [22] Raghunatha Reddy DV, Bhramara P, Govindarajulu K. Hydrocarbon Refrigerant mixtures as an alternative to R134a in Domestic Refrigeration system: The state-of-the-art review. NCRTME. 2016: 1240–1251.
- [23] Mishra R, Chaulya SK, Prasad GM. Design of a low cost, smart and stand-alone PV cold storage system using a domestic split air conditioner. Journal of Stored Products Research. 2020; 89: 101720
- [24] Martínez P, Ruiz J, Cutillas CG. Experimental study on energy performance of a split air-conditioner by using variable thickness evaporative cooling pads coupled to the condenser. Applied Thermal Engineering. 2016; 105: 1041–1050.
- [25] Mohammed JAK, Mohammed FM, Jabbar MAS. Investigation of high performance split air conditioning system by using Hybrid PID controller. Applied Thermal Engineering. 2018; 129: 1240–1251.

ข้อแนะนำในการส่งต้นฉบับบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ (FEAT Journal) มีกำหนดออกเป็นราย 6 เดือน คือ มกราคม - มิถุนายน และ กรกฎาคม - ธันวาคม ของทุกปี จัดพิมพ์โดยกลุ่มวิจัยวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น เพื่อเป็นการส่งเสริมและเผยแพร่ความรู้ ผลงานทางวิชาการ งานวิจัยทางด้าน วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีพร้อมทั้งยังจัดส่ง เผยแพร่ตามสถาบันการศึกษาต่างๆ ในประเทศด้วย บทความที่ดีพิมพ์ลงในวารสาร FEAT บทความนั้นจะต้องผ่านความเห็นชอบจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้องและสงวนสิทธิ์ตาม 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

ข้อบทรความภาษาไทย Cordia New (ขนาด 16 จุด ตัวเข้ม)
ข้อบทรความภาษาอังกฤษ 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 ภาษาอังกฤษ (ขนาด 12 จุด)

Received:

Revised:

Accepted:

Available online:

บทคัดย่อ

ตัวอย่างการจัดพิมพ์เอกสารต้นฉบับสำหรับตีพิมพ์ในวารสาร วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยขอนแก่น ควรปฏิบัติตามคำแนะนำอย่างเคร่งครัด บทคัดย่อควรมีเพียงย่อหน้าเดียวที่อธิบายถึง วัตถุประสงค์ วิธีการศึกษา ผลการศึกษา และสรุป ไม่ควรเกิน 300 คำ คำหลักที่เป็นภาษาอังกฤษให้ตัวอักษรคำแรกเป็นตัว พยัญชนะใหญ่ คำในลำดับถัดไปเป็นตัวพิมพ์เล็ก

คำสำคัญ: จำนวน 4 ถึง 6 คำ ภาษาไทยแต่ละคำเว้นวรรค 1 จุด ไม่ต้องมีจุลภาค (.)

Abstract

This is an instruction for manuscript preparation for Publication KCU 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 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 ให้เว้น 1 บรรทัดระหว่างหัวเรื่องทุกครั้ง

1.2 ชนิดตัวอักษร

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

1.3 สำหรับการลำดับหัวข้อย่อย

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

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

1.4 โครงสร้างบทความ

เนื้อเรื่องของบทความต้องประกอบด้วยหัวข้อตามลำดับดังนี้

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

2. ชื่อบทความ

ชื่อบทความให้เริ่มต้นบทความที่บรรทัดแรก โดยใช้ตัวอักษรขนาด 16 จุด และเป็นตัวหนา จัดชื่อบทความชิดทางกรอบซ้าย

3. ชื่อผู้แต่งและสถานที่ติดต่อ

ชื่อผู้แต่งให้พิมพ์ได้ชื่อบทความ จัดชื่อผู้แต่งให้อยู่ชิดทางกรอบซ้าย ใช้ตัวอักษรธรรมดาขนาด 14 จุด ในกรณีมีผู้ทำวิจัยหลายท่านจากหน่วยงานต่างกันให้กำกับด้วยก¹⁾, ²⁾ ไว้หลังชื่อ สำหรับ Corresponding ให้ใส่เครื่องหมาย *กำกับไว้ท้ายชื่อ สถานที่ติดต่อ ให้พิมพ์ที่อยู่หน่วยงานรหัสไปรษณีย์ประเทศ พิมพ์ได้ชื่อผู้แต่งใช้ตัวธรรมดาขนาด 12 จุด จัดชิดทางกรอบซ้าย

4. บทคัดย่อ

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

5. คำสำคัญ

บทความแต่ละเรื่องควรมีคำสำคัญ 4-6 คำ เพื่อระบุหัวข้อสำคัญที่กล่าวถึงในบทความ ควรใส่คำสำคัญต่อจากบทคัดย่อโดยไม่ต้องเว้นบรรทัด

6. เนื้อความ

เมื่อขึ้นย่อหน้าใหม่ ไม่ต้องเว้นบรรทัดเมื่อจะเริ่มต้นพินัยย่อหน้าใหม่ ให้พินัยบทความบนด้านเดียวของกระดาษ A4 โดยไม่ต้องใส่หมายเลขหน้าเวลาพินัยบทความ

7. ผลการวิจัย

เสนอผลการวิจัยอย่างชัดเจน ตรงประเด็น ควรมี รูปภาพหรือตารางประกอบ ซึ่งเมื่อมีรูปหรือตารางประกอบต้องระบุเชื่อมโยงในเนื้อหาบทความ การอธิบายไม่ซ้ำซ้อนกัน สำหรับการระบุหน่วยต่างๆ ใช้ภาษาไทยและใช้การอธิบายเปอร์เซ็นต์ด้วยคำว่า ร้อยละ ในกรณีที่กำหนดหน่วยเป็นภาษาอังกฤษให้ระบุแบบเดียวกันทั้งหมด

7.1. การลำดับตัวเลข

การลำดับตัวเลขเพื่ออ้างถึง รูปภาพ ตารางและสมการ จะต้องเป็นเลขอาราบิก ทุกสมการจะต้องมีวงเล็บวงไว้ขีดขอบขวา ดังตัวอย่างต่อไปนี้

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

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 รูปภาพทุกรูปจะต้องมีหมายเลขและคำบรรยายภาพกำกับได้ภาพ โดยให้เรียงตามลำดับที่ปรากฏ จาก รูปที่ 1, รูปที่ 2 , ... พินัยหมายเลขและชื่อรูปไว้ใต้รูปภาพ จะต้องกำหนดให้อยู่ตรงกลางเอกสาร ให้เว้นช่องว่าง 1 บรรทัด หลังคำบรรยายรูปภาพทุกรูป และตารางทุกตารางที่ปรากฏในบทความ จะต้องมีการอ้างอิงในเนื้อหา

ในกรณีที่เป็นการตารางจะต้องมีคำบรรยายกำกับตารางไว้เหนือตารางโดยให้เรียงตามลำดับที่ปรากฏ จาก 1, 2, 3,... ตารางจะต้องกำหนดให้ขีดขอบซ้ายของเอกสาร 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

X	a_r / m_r	$2\zeta_r \omega_r$
0.1	$2.7470\text{e}+01$	$2.7483\text{e}+01$
0.5	$3.5352\text{e}+01$	$3.5360\text{e}+01$

8. การอภิปรายผล

การอภิปรายผลวิจัย เพื่อให้ผู้อ่านมีความเห็นคล้อยตามเพื่อเปรียบเทียบกับผลการวิจัยของผู้อื่น เพื่อเสนอแนะที่จะใช้ประโยชน์ หาข้อยุติในการวิจัยบางอย่าง ฯลฯ ผลการวิจัยและการอภิปรายผลอาจนำมาเขียนไว้ในตอนเดียวกัน

9. สรุป

สรุปประเด็นและสาระสำคัญของงานวิจัย ไม่ควรมีความยาวมากเกินไป โดยบทความของท่านควรได้รับการตรวจสอบจากผู้ร่วมเขียนทุกท่านก่อนทำการส่งบทความ

10. กิตติกรรมประกาศ

เพื่อเป็นการแสดงความขอบคุณผู้ให้ทุนสนับสนุนรูป ประเด็นและสาระสำคัญของงานวิจัย ไม่ควรมีความยาวมาก เกินไป โดยบทความของท่านควรได้รับการตรวจสอบจากผู้ ร่วมเขียนทุกท่านก่อนทำการส่งบทความ

11. เอกสารอ้างอิง

การเขียนเอกสารอ้างอิงใช้ระบบแวนคูเวอร์ (Vancouver Style) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

ทั้งนี้เพื่อความสมบูรณ์และความน่าเชื่อถือของบทความ ท่านควรใช้เอกสารอ้างอิงจากวารสารที่อยู่ในฐาน TCI (Thai Journal Citation Index Centre) ที่สามารถตรวจสอบได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 และควรใช้การอ้างอิงจากรายงาน ผลการวิจัย เอกสารประกอบการประชุม และหรือวิทยานิพนธ์ เท่าที่จำเป็น

11.1. การอ้างอิงในเนื้อหา

แบบการอ้างอิงเอกสารในเนื้อหาของบทความ ใช้ระบบ ตัวเลข ให้เรียงลำดับเลขตามลำดับของเอกสารที่มีการอ้างถึง ในเนื้อหาและหมายเลขที่อ้างถึงในเนื้อเรื่อนั้นจะต้องตรงกับ หมายเลขที่มีการกำกับไว้ในส่วนเอกสารอ้างอิงด้วย ให้ใช้ ตัวเลข อารบิกในวงเล็บต่อท้ายข้อความที่นำมาอ้างอิง ในบทความ เช่น [1] หรือ [2-4, 8, 10] หมายถึงอ้างถึงลำดับผู้ แต่งที่ 1 หรือ ลำดับที่ 2, 3, 4, 8, 10 โดยเรียงลำดับจาก หมายเลข 1, 2, 3,... ไปจนถึงเลขที่สุดท้าย ตามการอ้างอิง การเขียนเอกสารอ้างอิง

11.2. ตัวอย่างการเขียนเอกสารอ้างอิงท้ายเรื่อง

เขียนอ้างอิงแบบแวนคูเวอร์ และใส่อ้างอิงในท้ายเรื่อง เฉพาะที่มีปรากฏในเนื้อหาของบทความหรือบทความวิจัยเท่านั้น การเขียนอ้างอิงจากหนังสือ

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

[2] จำรูญ ตันติพิศาลกุล. การออกแบบชิ้นส่วน เครื่องจักรกล 1. เม็ดทรายพริ้นต์: 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 ขจรชีพนันทงาม. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันรำข้าวด้วยกระบวนการใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยาและไม่ใช้ ตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยเมทานอลภาวะเหนือวิกฤต. วารสารมหาวิทยาลัย นครสวรรค์. 2553; 18(3): 20-6.

คำอธิบายเพิ่มเติม กรณีผู้แต่งเกิน 6 คน ให้ใส่ชื่อผู้แต่ง 6 คนแรก คั่นด้วยเครื่องหมายจุลภาค (comma- ,) และตาม ด้วย 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. การลดปริมาณสีย้อมผ้าไหม โดยการประยุกต์ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาด สำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอขนาดเล็ก. [วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. 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 เทอดเกียรติกุล พชร หอวิจิตร และ สมณา 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.doe.go.th/html.detail.sunflower.t2.gif>

