

การออกแบบกำลังขับเคลื่อนและการทดสอบระบบบังคับหยุดการเคลื่อนที่ของรถไฟต้นแบบ Design of Propulsion Power and Test of Stopping Systems of a Prototype Train โดย : นพพร เปรมใจ มานพ แยมแพง มนพร คุปตาสา ปณณธร ศลิขภูธรวัฒน์ อภิสิทธิ์ เหมือนเมือง และศราวุฒิ วิมลวชิรเมธี	1
การใช้มอร์ตาร์แข็งตัวเร็วเป็นพื้นปรับระดับสำหรับงานเคลือบผิวโพลียูรีเทน The Use of Rapid Setting Mortar as Floor Leveling in Polyurethane Coating โดย : ศิวกร ดีช่วย และวินัย อวยพรประเสริฐ	13
การศึกษาปัจจัยความล่าช้าและแนวทางป้องกันในทัศนคติของผู้รับเหมาก่อสร้างโครงการหมู่บ้านจัดสรร ในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล A Study of Delay Factors and Preventive Guidelines in the Attitudes of Construction Contractors for Housing Projects in Bangkok and its Vicinity โดย : จารุวัฒน์ พันธุ์จินดาพรรณ กิตติพงษ์ สุวีโร และวุฒิพงศ์ เมื่อน้อย	25
การพัฒนาแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และส่งเสริมแนวคิดขยะเหลือศูนย์ Development of Particleboard from Durian Branch Waste for Adding Value to Agricultural Waste Material and Promoting Zero Waste Concept โดย : ภควัต เกอะประสิทธิ์ อธิธิ ผลิตศิริ ปราโมทย์ วีรานุกุล และกิตติพงษ์ สุวีโร	37
ระบบจ่ายน้ำให้พืชอัตโนมัติด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์พร้อมการแจ้งเตือน Automated Plant Watering System using Microcontroller with Notification โดย : ไพโรจน์ ทองประศรี และทรงชัย จิตภักดิ์ดินทร์	47
วิธีอย่างง่ายในการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินเหนียวที่มีกำลังเพิ่มขึ้นตามความลึก Simplified Method for Analyzing Slope Stability of Clay Layer of Increasing Strength With Depth โดย : วรณวรารค์ รัตนานิคม และสยาม ยิ้มศิริ	57
การพัฒนาแบบการบริหารจัดการและการวางแผนการผลิตสำหรับวิสาหกิจชุมชนปลูกมะม่วงบ้านแฮด Development of Management Model and Production Planning for the Ban Haad Mango Community Enterprise โดย : วนิตา บุญโถม พรเทพินทร์ สุขแสงประสิทธิ์ สุรเชษฐ์ เกื้อนแก้วสิงห์ และยุพาภรณ์ ชัยเสนา	69
ระบบควบคุมเครื่องหยอดสบู่ลงแม่พิมพ์ The Control System of the Machine for Dropping Soap into Molds โดย : ชินโรส ละอองวรรณ	81



วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏธนบุรี

คณะกรรมการจัดทำวารสาร วิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏธนบุรี

คณะกรรมการที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

กองบรรณาธิการ

รศ. ดร. เข็มชัย เหมะจันทร์	คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ. ดร. ศิริวรรณ ศรีสรณ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
รศ. ดร. กันวรัช พูลปราชญ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
รศ. ดร. อารงรัตน์ มุ่งเจริญ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
รศ. ณรงค์ บวบทอง	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
รศ. ดร. สมเจตน์ พิชร์พันธ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
รศ. ดร. กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ. ดร. จักรี ศรีนนท์ฉัตร	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ. ดร. สุนันมาลย์ เนียมกลาง	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ. ดร. ธรรมศักดิ์ ไรจน์วิรุฬห์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ. ดร. ณัฐภัทร พันธุ์คง	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ. ดร. ปฐมทัศน์ จิระเดชะ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
ผศ. ดร. อังคณา พันธุ์หล่อ	วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต
ผศ. ขวลิต แสงสวัสดิ์	33 ซอยอุดมสุข แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260

หัวหน้ากองบรรณาธิการ

ผศ. ดร. ประภัส สิริสุวัฒน์

เลขานุการ

นางสาวอมรรัตน์ ยิ้มอยู่

ผู้ดูแลระบบงานเทคโนโลยีสารสนเทศ

นายพัฒนรพี สุนันทพจน์



Journal of Engineering, RMUTT

Editorial Board Members

Consultant Board Members

President of Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Vice President of Academic Affairs

Dean, Faculty of Engineering

Editorial Board

Assoc. Prof. Dr. Khemchai Hemachandra	Faculty of Science Chulalongkorn University
Assoc. Prof. Dr. Siriwan Srisorrachatr	Faculty of Engineering Srinakharinwirot University
Assoc. Prof. Dr. Ganwarich Pluphrach	Faculty of Engineering Srinakharinwirot University
Assoc. Prof. Dr. Thumrongrat Mungcharoen	Faculty of Engineering, Kasetsart University
Assoc. Prof. Narong Buabthong	Faculty of Engineering Thammasat University
Assoc. Prof. Dr. Somjate Patcharaphun	Faculty of Engineering, Kasetsart University
Assoc. Prof. Dr. Krischonme Bhumkittipich	Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assoc. Prof. Dr. Jakkree Srinonchat	Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assoc. Prof. Dr. Sumonman Niamlang	Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assoc. Prof. Dr. Thammasak Rojviroon	Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assoc. Prof. Dr. Nathabhat Phankong	Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst. Prof. Dr. Pathomthat Chiradeja	Faculty of Engineering Srinakharinwirot University
Asst. Prof. Dr. Ankana Punlor	College of Engineering Rangsit University
Asst. Prof. Chavalit Sangswasd	33 Soi Udomsuk 28 BangNa District Bangkok 10260

Editor in Chief

Asst. Prof. Dr. Porakoch Sirisuwan

Secretary

Miss Amonrat Yimyoo

System administrator

Mr. Patrapee Sunantapot



วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏบรียบุรี

บทบรรณาธิการ

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏบรียบุรี ฉบับนี้เป็นการตีพิมพ์ปีที่ 21 ฉบับที่ 2 ประจำเดือน กรกฎาคม ถึง เดือน ธันวาคม ปีพุทธศักราช 2566 จำนวนบทความตีพิมพ์ 8 บทความ โดยในฉบับนี้ยังคงมีเนื้อหาทั้งทางด้าน วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมเครื่องกล และวิศวกรรมอุตสาหกรรม ซึ่งวารสารยังคงมุ่งมั่นที่จะเป็นสื่อกลาง ในการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสู่สาธารณชนอย่างเสมอมา

ในอนาคตอันใกล้ นี้ กองบรรณาธิการฯ ได้มีแผนดำเนินการพัฒนาปรับปรุง ปรับเปลี่ยนกองบรรณาธิการ วารสารให้มีความหลากหลายทางสายวิชาการที่มากขึ้นและเป็นผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญในการทำวิจัยและ ตีพิมพ์ผลงานทางวิชาการอย่างต่อเนื่องและมีชื่อเสียง อีกทั้งมีแผนในการปรับเปลี่ยนชื่อวารสารใหม่เพื่อให้สอดคล้อง กับแนวทางการพัฒนาวารสารตามนโยบายของศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI)

กองบรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏบรียบุรี ขอขอบคุณคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิประเมิน บทความ ผู้เขียน และผู้อ่านทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนในการเผยแพร่ผลงานวิจัยต่างๆ เสมอมา หวังเป็นอย่างยิ่งว่าทุกๆ ท่านจะมีสุขภาพ พลานามัยที่แข็งแรง ปราศจากโรคร้ายต่างๆ และยังคงติดตามการเผยแพร่ผลงานของวารสารฯ ต่อไป

กองบรรณาธิการ

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิผู้พิจารณาบทความ

ผศ. ดร. ธวัชชัย โทอินทร์	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผศ. ดร. ปราโมทย์ วีรานุกูล	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ผศ. จิตติ หมอรักษา	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ผศ. ดร. อุมาวดี เดชอึ้งค์	คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ
รศ. ดร. ปิติศานต์ กรั้วมาตร	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ. ดร. สุรินทร์ แห่งมงาม	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ. ดร. กัณวรัช พลุปราชญ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
รศ. ดร. นที อธิคุณากร	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
รศ. ดร. พิมพ์พรรณ ปรี่องาม	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
ผศ. ดร. มานพ แยมแพง	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ. ดร. กฤษดา เสือเอี่ยม	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
รศ. ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผศ. ดร. วิลาวัลย์ คณิตชัยเดชา	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ดร. ภัทรพร พรเทพเกษมสันต์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
รศ. ดร. นรรัตน์ วัฒนมงคล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
รศ. ดร. จารุวัฒน์ เจริญจิต	คณะวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏศรีวิชัย สงขลา
ผศ. ดร. มงคล อิทธิพลิน	คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ. ดร. ธนาพล สุขชนะ	คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
รศ. ดร. ธนกร ชมภูรัตน์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา
รศ. ดร. พูลพงษ์ พงษ์วิทยภาณุ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
รศ. ดร. สาลินี อาจารย์	วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ. ดร. อังคณา พันธุ์หล่อ	วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต
ผศ. ดร. กระวี ตรีอำรรค	สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Peer Reviews

Asst. Prof. Dr. Tawatchai Thoin	Faculty of Technical Education Rajamangala University of Technology Lsan Khonkaen campus
Asst. Prof. Dr. Pramot Weeranukul	Faculty of Industrial Education Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Asst. Prof. Thiti Mhoraksa	Faculty of Agro-Industrial Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok
Asst. Prof. Dr. Umawadee Detthamrong	Faculty of Business Administration, Chaiphum Rajabhat University
Assoc. Prof. Dr. Pitisan Krammart	Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst. Prof. Dr. Surin Ngaemngam	Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assoc. Prof. Dr. Ganwarich Pluphrach	Faculty of Engineering Srinakharinwirot University
Assoc. Prof. Dr. Nathee Athigakunagorn	Faculty of Engineering, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus
Assoc. Prof. Dr. Pimpan Pruengam	Faculty of Engineering Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus
Asst. Prof. Dr. Manop Yamfang	Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst. Prof. Dr. Gritsada Sua-lam	Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Assoc. Prof. Dr. Niphat Jantharamin	Faculty of Engineering, Naresuan University
Asst. Prof. Dr. Wilawan Khanitchaidecha	Faculty of Engineering, Naresuan University
Dr. Patraphorn Phornthepkasemsant	Faculty of Engineering, Burapha University
Assoc. Prof. Dr. Norrarat Wattanamongkhon	Faculty of Engineering, Burapha University
Assoc. Prof. Dr. Jaruwat Jareanjit	Faculty of Engineering Rajamangala Sriwichai Songkhla
Asst. Prof. Dr. Mongkon Ittiphalin	Faculty of Engineering and Technology, King Mongkut's. University of Technology North Bangkok
Asst. Prof. Dr. Thanaphol Sukchana	Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
Assoc. Prof. Dr. Thanakorn Chompoorat	Faculty of Engineering University of Phayao
Assoc. Prof. Dr. Pulpong Pongvithayapanu	Faculty of Engineering at Sriracha Kasetsart University Sriracha Campus

Peer Reviews

Assoc. Prof. Dr. Salinee R-jaree

College of Industrial Technology, King Mongkut's University
of Technology North Bangkok

Asst. Prof. Dr. Ankana Punlor

College of Engineering Rangsit University

Asst. Prof. Dr. Krawee Treeamnuk

Institute of Engineering Suranaree University of Technology

การออกแบบกำลังขับเคลื่อนและการทดสอบระบบบังคับหยุดการเคลื่อนที่ของ รถไฟฟ้าต้นแบบ

นพพร เปรมใจ¹ มานพ แยมแพง^{1*} มนพร คุปตาสา¹ ปันณธร ศลิขภูธรวัฒน์¹ อภิสิทธิ์ เหมือนเมือง¹
และศราวุฒ วิมลวชิรเมธี¹
nopporn_p@rmutt.ac.th¹, manop.y@en.rmutt.ac.th^{1*}, manaporn_g@rmutt.ac.th¹,
punnathorn_s@rmutt.ac.th¹, apisit_m@mail.rmutt.ac.th¹, klasarawut221140@gmail.com¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

(Received: 5-Oct-2023 Revised: 8-Nov-2023 Accepted: 10-Nov-2023)

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระบบขับเคลื่อนและระบบบังคับหยุดการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้าต้นแบบโดยการใช้มอเตอร์แกนชัก ควบคุมการทำงานด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโน วังบนทางรถไฟขนาดความกว้าง 0.459 เมตร โดยมีสถานีจำลองทั้งหมด 3 สถานี ระยะทางรวม 100 เมตร แต่ละสถานีมีระยะห่าง 50 เมตร การทดสอบระบบบังคับหยุดการเคลื่อนที่ของรถไฟ ออกเป็น 2 ส่วน คือ 1.การเปลี่ยนแปลงความเร็วรถไฟ 3 ค่า คือ ความเร็วที่ 2.7 3.9 และ 4.5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง 2.การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักรถไฟมี 3 ค่า คือ 360 420 และ 480 กิโลกรัม ผลการทดลอง พบว่า ความเร็วและน้ำหนักรถไฟจำลองที่เหมาะสมที่ส่งผลให้รถไฟหยุดใกล้สถานีมากที่สุด คือ 3.9 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และน้ำหนักรถไฟ 480 กิโลกรัม โดยมีระยะหยุดเฉลี่ยขาไป และขากลับ -3.0 และ -3.2 เซนติเมตร (หยุดก่อนถึงสถานี) ตามลำดับ

คำสำคัญ: รถไฟ ระบบเบรก สถานี การขับเคลื่อน

Design of Propulsion Power and Test of Stopping Systems of a Prototype Train

Nopporn Preamjai¹, Manop Yamfang^{1*}, Manaporn Guptasa¹, Punnathorn Salidthanawat¹,
Apisit Muanmuang¹ and Sarawut Vimolvachirametee¹
nopporn_p@rmutt.ac.th¹, manop.y@en.rmutt.ac.th^{1*}, manaporn_g@rmutt.ac.th¹,
punnathorn_s@rmutt.ac.th¹, apisit_m@mail.rmutt.ac.th¹, klasarawut221140@gmail.com¹

¹ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

(Received: 5-Oct-2023 Revised: 8-Nov-2023 Accepted: 10-Nov-2023)

Abstracts

The purpose of this article is to study the propulsion power and stopping systems of a prototype train using a push-pull motor linear actuator. The prototype train is controlled by an Arduino microcontroller board and runs on a 0.459-meter-wide track with a total of 3 simulated stations totaling a distance of 100 meters. Each station has a distance of 50 meters. The test of the stopping systems of the train is divided into 2 parts: 1. Changing the train speed: There are three speeds, including 2.7, 3.9, and 4.5 kilometers per hour. 2. The change in weight of the train has three values: 360, 420, and 480 kilograms. The experimental results found that the appropriate speed and weight of the prototype train that causes the train to stop closest to the station is 3.9 kilometers per hour and the train's weight is 480 kilograms. Furthermore, there is an average stopping distance for the outbound and return trips of -3.0 and -3.2 centimeters (stopping before reaching the station), respectively.

Keywords: train, brake system, station, propulsion power

1. บทนำ

ในการพัฒนาประเทศที่ผ่านมามุ่งเน้นการพัฒนาเศรษฐกิจเป็นหลักทำให้มีการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้กรุงเทพมหานครกลายเป็นเมืองใหญ่เพียงเมืองเดียวของประเทศที่เป็นศูนย์กลางความเจริญในทุก ๆ ด้าน ทำให้เกิดการอพยพย้ายถิ่นเข้ามาอาศัยในกรุงเทพมหานครมากขึ้น โดยมีประชากรโดยรวมประมาณ 9 ล้านคน การเพิ่มขึ้นของประชากรอย่างมากทำให้เกิดปัญหาในอีกหลายด้าน ซึ่งหนึ่งในปัญหาที่มีความสำคัญและรุนแรงมากขึ้นในปัจจุบันนี้คือปัญหาด้านการจราจร ส่งผลให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจและสังคมอย่างมหาศาล [1] ปัจจุบันการแก้ไขปัญหาการจราจรการขนส่งและสาธารณูปโภคภายในประเทศนั้นรัฐบาลได้มีการนำระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนมาใช้ นอกเหนือจากระบบขนส่งมวลชนเดิมที่มีอยู่ในปัจจุบันเพื่อช่วยบรรเทาปัญหาการจราจรที่เป็นอยู่ เพื่อลดระยะเวลาในการเดินทางและลดการเดินทางโดยรถยนต์ส่วนบุคคล ช่วยในการเชื่อมโครงข่ายการคมนาคมขนส่งในเมืองกับการขนส่งทางเมืองให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น [2] โดยองค์ประกอบสำคัญของการเดินทางคือ ทางรถไฟ รถจักร รถพ่วง ระบบอาณัติสัญญาณรถไฟ และสถานีรถไฟ [3] รถไฟเป็นยานพาหนะขนส่งทางบกขนาดใหญ่ที่มีกำลังสูงและมีน้ำหนักมาก การเคลื่อนที่ของรถไฟนั้นถูกจำกัดอยู่บนเส้นทางเฉพาะคือรางรถไฟ จึงทำให้รถไฟมีความไหลลื่นค่อนข้างสูง เนื่องด้วยขนาดของรถไฟแล้วหากรถไฟต้องการเบรกเพื่อหยุดอาจต้องใช้ระยะในการเบรก และด้วยน้ำหนักของรถไฟที่ค่อนข้างมากทำให้มีแรงเฉื่อยที่สูง [4] การเบรคนั้นจึงมีความสำคัญอย่างมากในเรื่องความปลอดภัย ซึ่งหลักการเบรกของรถไฟนั้นมีวัตถุประสงค์เดียวกันกับรถยนต์ทั่วไปคือ เพื่อจะทำการหยุดรถที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว ในการเบรกของรถยนต์นั้นจะใช้ผ้าเบรกกดลงที่จานเบรกจึงเกิดแรงเบรกขึ้นที่ล้อรถ โดยแรงเบรกที่เกิดขึ้นนี้จะพยายามหยุดล้อที่กำลังหมุน โดยอาศัยแรงเสียดทานระหว่างหน้ายางกับผิวถนน ส่วนการเบรกของรถไฟนั้นก็อาศัยหลักการเดียวกันเพียงแต่รถไฟจะประกอบไปด้วยรถพ่วงหลายคันต่อกัน จึงทำให้

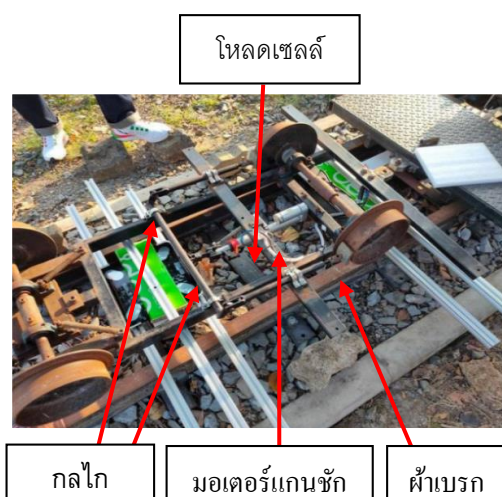
มีน้ำหนักมากกว่ามากและจะต้องทำการเบรกพร้อม ๆ กัน เพื่อไม่ให้เกิดการกระชากซึ่งอาจทำให้ผู้โดยสารรู้สึกไม่สบายและไม่ปลอดภัย โดยระบบเบรกรถไฟในปัจจุบันนิยมใช้กันอยู่ 2 ระบบ คือ 1.ระบบเบรกแบบไฟฟ้า (Electro Dynamics Brake) หลักการทำงานคือ เมื่อมอเตอร์ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานที่เกิดจากการขับเคลื่อนก็จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ไดนามิคเบรก (Dynamic Brake) ส่วนที่ 2 รีเจนเนอเรทีฟ (Regenerative Brake) 2.ระบบเบรกแบบลม (Electro Pneumatic Brake) หลักการทำงานระบบเบรกแบบลมเป็นการเบรกต่อจากการเบรกแบบไฟฟ้าเมื่อความเร็วของรถไฟลดลงเหลือ 8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เบรกแบบไฟฟ้าจะถูกแทนที่ด้วยระบบเบรกโดยใช้ลม เบรกแบบลมจะทำงานโดยจะเปลี่ยนลมที่สะสมอยู่ในรูปของแรงกดอากาศให้กลายเป็นแรงเสียดทานไปยังเบรกดิสก์ที่อยู่ล้อและส่งจากล้อลงสู่ราง เพื่อให้ล้อรถไฟที่เคลื่อนที่หยุดตามระยะที่กำหนดไว้ ซึ่งระบบเบรกที่นำมาศึกษาเป็นระบบเบรกผ่านแรงเสียดทานระหว่างล้อกับราง (Adhesion Brake) เป็นระบบเบรกกลโดยใช้ผ้าเบรกกดจานเบรกที่ล้อ [5], [6] ระบบเบรกเป็นระบบที่มีความสำคัญอย่างมากในรถไฟ เนื่องจากมีผลกระทบโดยตรงเรื่องความปลอดภัยต่อผู้โดยสาร โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบเบรกของรถไฟ เช่น การทดสอบระบบควบคุมการเบรกแบบคืนพลังงานของรถไฟที่ขับเคลื่อนโดยเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดสวิตซ์รีลักแทนซ์โดยใช้มอเตอร์สวิตซ์รีลักแทนซ์ ในการควบคุมการเบรกแบบคืนพลังงาน ซึ่งระบบควบคุมใช้ความเร็วตัวมอเตอร์ลากจูงและกระแสมาเป็นตัวป้อนกลับเพื่อควบคุมให้โหมดการทำงานเปลี่ยนแปลงไปตามความเร็วของรถไฟแบบจำลอง ผลที่ได้จากชุดทดลองมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 5% [7] การเพิ่มพลังงานที่ได้จากการเบรกแบบคืนพลังงานในรถไฟ [8] การหาขนาดของตัวสะสมพลังงานให้เหมาะสมสำหรับการเบรกคืนพลังงานในระบบรถไฟใต้ดิน [9] ระบบเบรกรีเจนเนอเรทีฟ (regenerative braking) โดยใช้มอเตอร์เป็นเจนเนอเรเตอร์ชะลอรถ [10]

บทความนี้จึงได้นำเสนอการออกแบบระบบขับเคลื่อนจำลองการเคลื่อนที่ของรถไฟและระบบเบรก โดยการใช้มอเตอร์แกนชัก (Linear Actuator) เป็นตัวต้นกำลังต้นกลไกเบรกพร้อมกับโหลดเซลล์ในการหยุดการทำงานเบรก ใช้เซนเซอร์ตรวจจับวัตถุโฟโตอิเล็กทริกแบบอินฟราเรดตรวจสอบระยะที่เปลี่ยนไปรถไฟที่สถานีรถไฟมีบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการทำงาน ระบบเบรกมอเตอร์แกนชักจะมีลักษณะการทำงานคล้ายกับระบบเบรกที่ใช้จริงของรถไฟเพียงแต่ใช้ระบบกลไกมาใช้ในการเบรกโดยไม่มีสารทำงานเช่น ลมหรือน้ำมันมาใช้ในการเบรกเหมือนระบบเบรกของรถไฟที่ใช้งานอยู่

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 การออกแบบ

เพื่อศึกษาระบบการหยุดการเคลื่อนที่ของรถไฟจำลองซึ่งมีขนาดความกว้างรางรถไฟอยู่ที่ 0.459 เมตร ณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี โดยการออกแบบโครงสร้างระบบเบรกเป็นกลไกระบบดรัมเบรก ใช้มอเตอร์แกนชักควบคุมกลไกการทำงานผ่านบอร์ดควบคุม ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ระบบเบรกจำลอง

2.2 การคำนวณหาขนาดมอเตอร์

ในการเลือกขนาดมอเตอร์ของงานวิจัยนี้ ได้กำหนดภาระงานที่รถไฟจำลองต้องรับดังนี้

1. รถไฟจำลองรับน้ำหนักถ่วงและอุปกรณ์ต่างๆ รวมน้ำหนักทั้งสิ้น 480 กิโลกรัม
2. ทางรถไฟจำลองที่ใช้ทดลองเป็นทางวิ่งในแนวราบ (ไม่มีทางชัน)
3. รถไฟจำลองสามารถวิ่งได้ความเร็วสูงสุดไม่เกิน 2 เมตรต่อวินาที

2.2.1 คำนวณหาแรงต้านทานการ

หมุนของล้อเหล็กกับรางเหล็ก [11]

$$F_r = Wk_R \quad (1)$$

2.2.2 คำนวณหาแรงต้านทานจาก

อากาศ [12]

$$R_a = k_a \times A \times v^2 \quad (2)$$

2.2.3 คำนวณหาแรงบิดของภาระ

งาน [12]

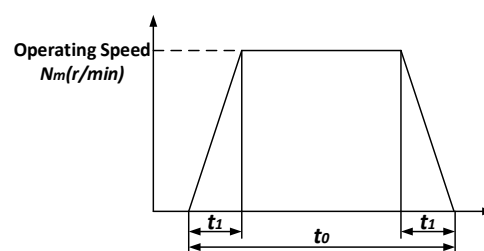
$$T_L = (F_r + R_a) \times r \quad (3)$$

2.2.4 คำนวณหาแรงบิดรวมเพื่อ

นำไปใช้เลือกมอเตอร์ดังนี้

การคำนวณหาทอร์กในการเร่งของรถไฟ[13]

$$T_a = \frac{J_L}{9.55} \times \frac{N_m}{t_1} \quad (4)$$



รูปที่ 2 กราฟโปรไฟล์ความเร็ว

การคำนวณหาโมเมนต์ความเฉื่อย [13]

$$J_L = m \left(\frac{N}{2\pi} \right)^2 \quad (5)$$

การคำนวณหาความเร็วเชิงมุมมอเตอร์ [13]

$$N_m = \frac{v}{N} \quad (6)$$

การคำนวณหาแรงบิดรวม [13]

$$T_{total} = (T_a + T_L) \times \text{Safetyfactor} \quad (7)$$

การหาแรงบิดที่ผ่านเกียร์ทดรอบ 1:10.5 [13]

$$T_R = T_{total} \times \left(\frac{1}{10.5} \right) \quad (8)$$

การคำนวณหาความเร็วมอเตอร์ผ่านเกียร์ทดรอบ 1:10.5 [13]

$$N_{M,R} = N_m \times 10.5 \quad (9)$$

จากการคำนวณหาขนาดมอเตอร์จะได้แรงบิดรวม 37.79 นิวตัน-เมตร เมื่อผ่านเกียร์ทดรอบ 1:10.5 จะได้แรงบิด เท่ากับ 3.60 นิวตัน-เมตร และความเร็วรอบที่ต้องการอย่างน้อย 2,000 รอบต่อนาที

ค่าพารามิเตอร์ (parameter) ที่ใช้คำนวณ

F_r คือ แรงต้านทานการหมุนของล้อหลักกับรางเหล็ก, $F_r = 9.42$ นิวตัน

W คือ แรงจากน้ำหนักของตัวรถและน้ำหนักคนที่กระทำมายังล้อทั้งหมด, $W = 4709$ นิวตัน

k_r คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านทานการกลิ้งระหว่างล้อรถไฟกับรางเหล็ก, $k_r = 0.002$ [14]

R_a คือ แรงต้านทานอากาศ, $R_a = 2.27$ นิวตัน

k_a คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ, $k_a = 0.66$ กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร [15]

A คือ พื้นที่หน้าตัดรถ, $A = 0.86$ ตารางเมตร

v คือ ความเร็วสูงสุดที่ใช้, $v = 2$ เมตรต่อวินาที

T_L คือ แรงบิดของภาระงาน, $T_L = 1.17$ นิวตัน-เมตร

r คือ รัศมีล้อ, $r = 0.1$ เมตร

T_a คือ แรงบิดในการเร่งของรถไฟ, $T_a = 15.32$ นิวตัน-เมตร

J_L คือ โมเมนต์ความเฉื่อย, $J_L = 3.08$ กิโลกรัม-ตารางเมตร

t_1 คือ เวลา, กำหนดให้ $t_1 = 4$ วินาที

m คือ มวลของตัวรถ, $m = 300$ กิโลกรัม

N คือ ระยะการเคลื่อนที่เชิงเส้นของรถต่อการหมุนของมอเตอร์ 1 รอบ, $N = 0.63$ เมตรต่อรอบ

N_m คือ ความเร็วเชิงมุมมอเตอร์ $N_m = 190$ รอบต่อนาที

T_{total} คือ แรงบิดรวม $T_{total} = 24.74$ นิวตัน-เมตร

T_R คือ แรงบิดที่ผ่านเกียร์ทดรอบ $T_R = 2.36$ นิวตัน-เมตร

$N_{M,R}$ คือ ความเร็วรอบมอเตอร์ที่ผ่านเกียร์ทดรอบ

$N_{M,R} = 1995$ รอบต่อนาที

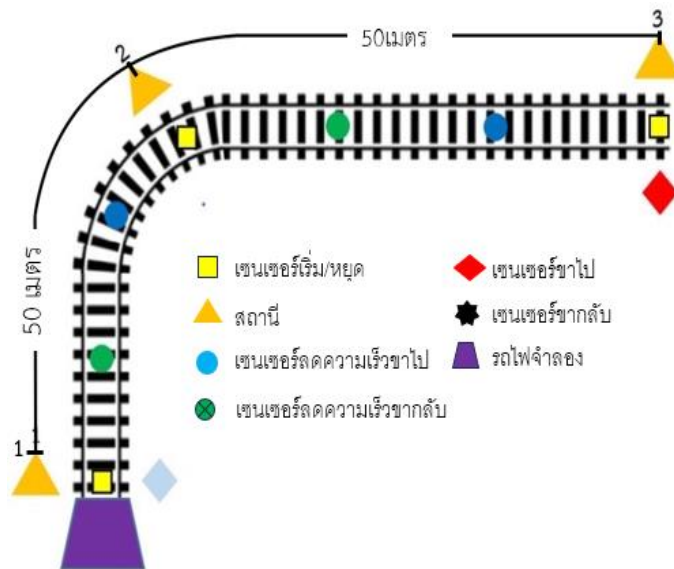
Safetyfactor คือ ค่าความปลอดภัยในการนำไปใช้ในการเลือกใช้มอเตอร์ เท่ากับ 1.5



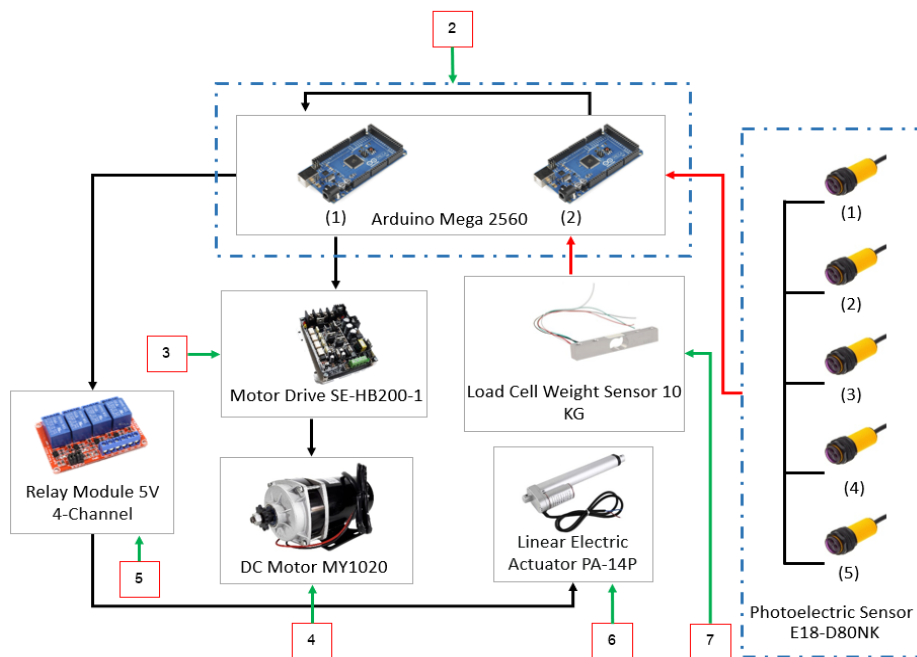
รูปที่ 3 รถไฟจำลอง

2.3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

รถไฟจำลอง ดังรูปที่ 3 สามารถรับน้ำหนักของผู้โดยสารไม่เกิน 180 กิโลกรัม ซึ่งรถไฟจำลองมีการติดตั้งตำแหน่งเซนเซอร์และเส้นทางการเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 4 โดยเซนเซอร์ที่ใช้ในการเดินรถไฟจำลองประกอบด้วย เซนเซอร์เริ่มหรือหยุด เซนเซอร์ขาไป-ขากลับ เซนเซอร์ลดความเร็วขาไป-ขากลับ



รูปที่ 4 เส้นทางการเดินทางรถไฟ และตำแหน่งติดตั้งเซนเซอร์



รูปที่ 5 โครงสร้างวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมรถไฟ

การเคลื่อนที่ของรถไฟต้นแบบระบบอัตโนมัติระยะทางการเคลื่อนที่รวม 100 เมตร มี 3 สถานี แต่ละสถานีมีระยะห่าง 50 เมตร การทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1.การเปลี่ยนแปลงความเร็วรถไฟ 3 ค่า คือ ความเร็วที่ 2.7 3.9 และ 4.5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง 2. การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักรถไฟ 3 ค่าคือ 360 420 และ 480 กิโลกรัม ซึ่งน้ำหนักที่ใช้ทั้ง 3 ค่าเป็นน้ำหนักตัวรถ

รวมกับน้ำหนักคนที่โดยสารประมาณ 3 คน ส่วนความเร็วที่นำมาใช้ทดลองเป็นความเร็วของตัวรถที่สามารถเคลื่อนที่ได้และความปลอดภัย วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมรถไฟหมายเลข (1) จากรูปที่ 5 เซนเซอร์ตรวจจับวัตถุ โฟโตอิเล็กทริกแบบอินฟราเรดเป็นตัวตรวจจับระยะห่างจากตัวรถไฟกับพื้นรางส่งค่าให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโนหมายเลข (2)

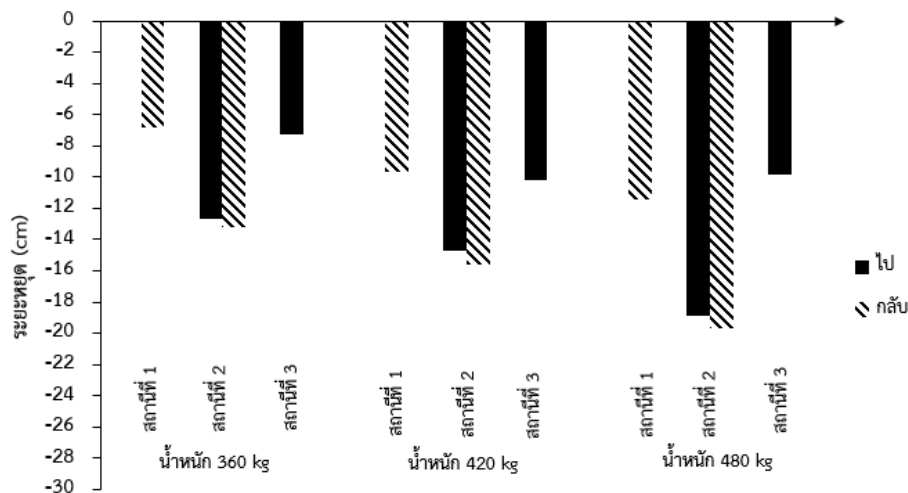
บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโนประมวลผลควบคุมการทำงานของรถไฟ เมื่อเซนเซอร์ตรวจจับพบตำแหน่งพื้นที่เปลี่ยนไปของสถานีที่รถไฟจอดอยู่เมื่อสั่งทำงานรถไฟจะเริ่มการทำงานเคลื่อนที่ไป และในระหว่างสถานีหากเซนเซอร์ตรวจจับระยะตำแหน่งที่เปลี่ยนไปจากอุปกรณ์ที่ติดตั้งใต้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโนจะสั่งให้อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ทำให้รถไฟชะลอความเร็วลง เมื่อถึงสถานีเซนเซอร์ตรวจจับระยะที่เปลี่ยนไปได้จากตำแหน่งที่พื้นรางทำให้ระบบเบรกทำงานส่งผลให้รถไฟหยุดที่สถานี หมายเลข (3) เป็นอุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ สามารถควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์และควบคุมให้มอเตอร์หมุนกลับทางได้โดยสั่งผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโนเป็นแบบสัญญาณพัลส์ หมายเลข (4) คือ มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ต้นกำลังของรถไฟ หมายเลข (5) คือรีเลย์เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นตัวกลางระหว่างบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโนกับมอเตอร์แกนชัก เพื่อสั่งให้มอเตอร์แกนชักเคลื่อนที่เข้า-ออก หมายเลข (6) คือ มอเตอร์แกนชักเป็นมอเตอร์เคลื่อนที่แบบเชิงเส้นขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า DC 24 โวลต์ เพื่อนำไปใช้ในการเบรก หมายเลข (7) คือโพลิตเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนแรงดันจากมอเตอร์แกนชักเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าแล้วส่งไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโนเพื่อประมวลผลแล้วสั่งให้หน้าคอนแทกรีเลย์ เปิด-ปิดให้มอเตอร์แกนชักอยู่ในตำแหน่งกลับสุด

3. ผลการทดลอง

จากรูปที่ 6 ผลการทดลองการหยุดของรถไฟที่ความเร็ว 2.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง น้ำหนักที่ใช้คือ 360 420 และ 480 กิโลกรัม ตามลำดับ แบ่งออกเป็น 3 การทดลอง พบว่า

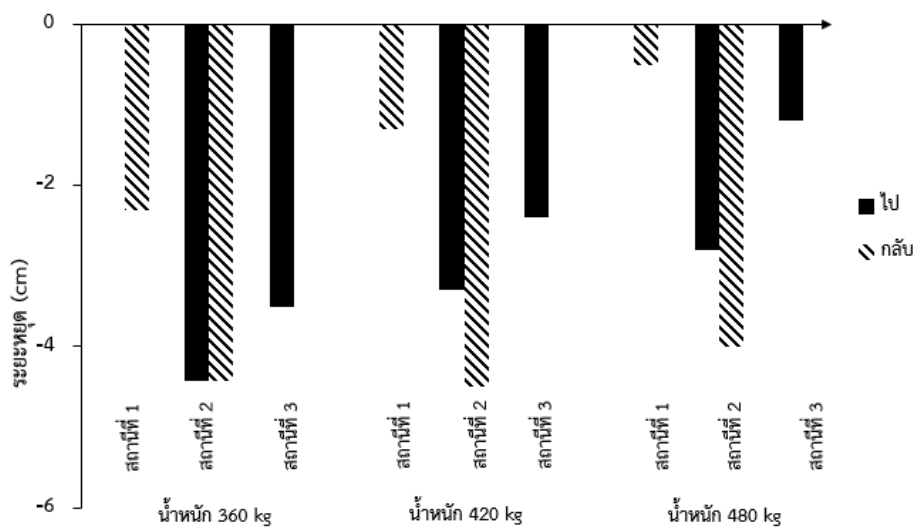
1. การหยุดของรถไฟ ที่น้ำหนัก 360 กิโลกรัม พบว่าในการเคลื่อนที่จากสถานี 1 ไปยังสถานี 2 และสถานี 3 มีระยะหยุดเฉลี่ย -12.7 และ -7.3 เซนติเมตร ตามลำดับ ในการเคลื่อนที่กลับจากสถานี 3 ไปยังสถานี 2 และสถานี 1 มีระยะหยุดเฉลี่ย -13.2 และ -6.8 เซนติเมตร ตามลำดับ
2. การหยุดของรถไฟที่น้ำหนัก 420 กิโลกรัม พบว่าในการเคลื่อนที่จากสถานี 1 ไปยังสถานี 2 และสถานี 3 มีระยะหยุดเฉลี่ย -14.7 และ -10.2 เซนติเมตร ตามลำดับ ในการเคลื่อนที่กลับจากสถานี 3 ไปยังสถานี 2 และสถานี 1 มีระยะหยุดเฉลี่ย -15.6 และ -11.4 เซนติเมตร ตามลำดับ
3. การหยุดของรถไฟที่น้ำหนัก 480 กิโลกรัม พบว่าในการเคลื่อนที่จากสถานี 1 ไปยังสถานี 2 และสถานี 3 มีระยะหยุดเฉลี่ย -5.5 และ 15.0 เซนติเมตร ตามลำดับ ในการเคลื่อนที่กลับจากสถานี 3 ไปยังสถานี 2 และสถานี 1 มีระยะหยุดเฉลี่ย -10.7 และ -17.0 เซนติเมตร ตามลำดับ

3.1 การทดสอบความเร็วของการศึกษาการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วที่ 2.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 6 ระยะหยุดที่ความเร็ว 2.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

3.2 การทดสอบความเร็วของการศึกษาการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วที่ 3.9 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 7 ระยะหยุดที่ความเร็ว 3.9 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

จากรูปที่ 7 ผลการทดลองการหยุดของรถไฟ ที่ความเร็ว 3.9 กิโลเมตรต่อชั่วโมง น้ำหนักที่ใช้คือ 360 420 และ 480 กิโลกรัม ตามลำดับ แบ่งออกเป็น 3 การทดลอง พบว่า

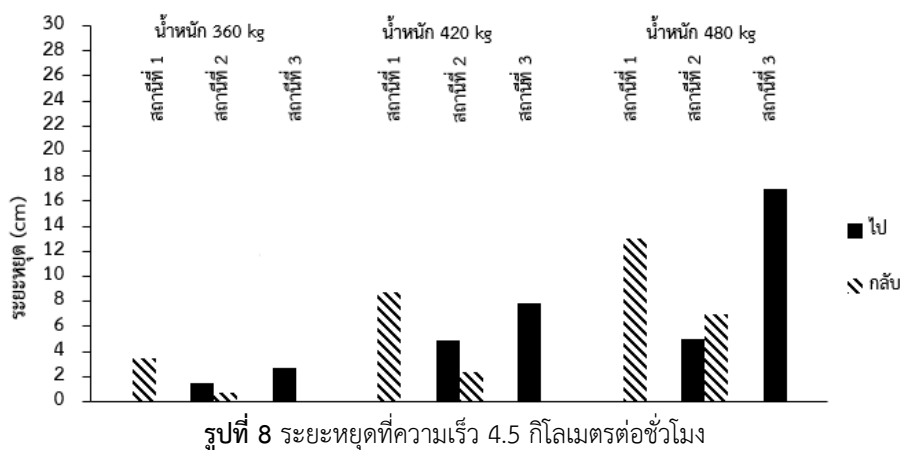
1. การหยุดของรถไฟ ที่น้ำหนัก 360 กิโลกรัม ในการเคลื่อนที่จากสถานี 1 ไปยังสถานี 2 และสถานี 3 มีค่าระยะหยุดเฉลี่ย -4.7 และ -3.5 เซนติเมตร ตามลำดับ ในการเคลื่อนที่กลับจากสถานี 3 ไปยังสถานี 2 และสถานี 1 มีค่าระยะหยุดเฉลี่ย -5.7 และ -2.3 เซนติเมตร ตามลำดับ

2. การหยุดของรถไฟ ที่น้ำหนัก 420 กิโลกรัม ในการเคลื่อนที่จากสถานี 1 ไปยังสถานี 2 และสถานี 3 มีค่า

ระยะหยุดเฉลี่ย -3.3 และ -2.4 เซนติเมตร ตามลำดับ ในการเคลื่อนที่กลับจากสถานี 3 ไปยังสถานี 2 และสถานี 1 มีค่าระยะหยุดเฉลี่ย -5.2 และ -1.3 เซนติเมตร ตามลำดับ

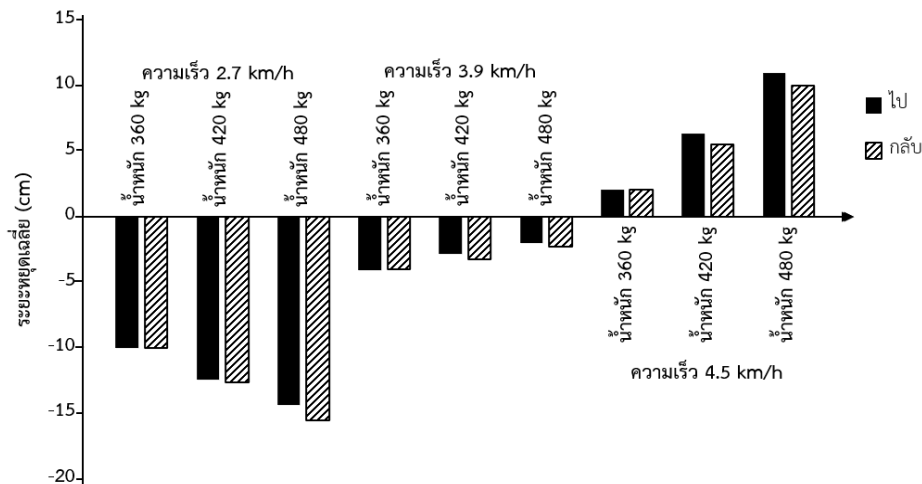
3. การหยุดของรถไฟ ที่น้ำหนัก 480 กิโลกรัม ในการเคลื่อนที่จากสถานี 1 ไปยังสถานี 2 และสถานี 3 มีค่าระยะหยุดเฉลี่ย -2.8 และ -1.2 เซนติเมตร ตามลำดับ ในการเคลื่อนที่กลับจากสถานี 3 ไปยังสถานี 2 และสถานี 1 มีค่าระยะหยุดเฉลี่ย -4.0 และ -0.5 เซนติเมตร ตามลำดับ

3.3 การทดสอบความเร็วของการศึกษาการเคลื่อนที่ของรถไฟความเร็วที่ 4.5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 8 ระยะหยุดที่ความเร็ว 4.5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

3.4 ผลการทดสอบระยะหยุดที่ความเร็วต่างๆ



รูปที่ 9 ระยะหยุดเฉลี่ยที่ความเร็วต่างๆ

จากรูปที่ 8 ผลการทดลองการหยุดของรถไฟ ที่ความเร็ว 4.5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง น้ำหนักที่ใช้คือ 360 420 และ 480 กิโลกรัม ตามลำดับ แบ่งออกเป็น 3 การทดลอง พบว่า

1. การหยุดของรถไฟ ที่น้ำหนัก 360 กิโลกรัม ในการเคลื่อนที่จากสถานี 1 ไปยังสถานี 2 และสถานี 3 มีค่าระยะหยุดเฉลี่ย 1.5 และ 2.7 เซนติเมตร ตามลำดับ ในการเคลื่อนที่กลับจากสถานี 3 ไปยังสถานี 2 และสถานี 1 มีค่าระยะหยุดเฉลี่ย 0.7 และ 3.5 เซนติเมตร ตามลำดับ
2. การหยุดของรถไฟ ที่น้ำหนัก 420 กิโลกรัม ในการเคลื่อนที่จากสถานี 1 ไปยังสถานี 2 และสถานี 3 มีค่าระยะหยุดเฉลี่ย 4.9 และ 7.8 เซนติเมตร ตามลำดับ ในการเคลื่อนที่กลับจากสถานี 3 ไปยังสถานี 2 และสถานี 1 มีค่าระยะหยุดเฉลี่ย 2.4 และ 8.7 เซนติเมตร ตามลำดับ
3. การหยุดของรถไฟ ที่น้ำหนัก 480 กิโลกรัม ในการเคลื่อนที่จากสถานี 1 ไปยังสถานี 2 และสถานี 3 มีค่าระยะหยุดเฉลี่ย 5.0 และ 17.0 เซนติเมตร ตามลำดับ ในการเคลื่อนที่กลับจากสถานี 3 ไปยังสถานี 2 และสถานี 1 มีค่าระยะหยุดเฉลี่ย 7.0 และ 13.0 เซนติเมตร ตามลำดับ

จากรูปที่ 9 ผลการทดสอบระยะหยุดเฉลี่ยที่ความเร็วต่างๆ พบว่า ที่ความเร็ว 2.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีระยะหยุดเฉลี่ยขาไป และขากลับ หยุดก่อนถึงสถานี -12.3 และ -12.7 เซนติเมตร ตามลำดับ ที่ความเร็ว 3.9 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีระยะหยุดเฉลี่ยขาไป และขากลับ หยุดก่อนถึงสถานี -3.0 และ -3.2 เซนติเมตร ตามลำดับ และความเร็ว 4.5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีระยะหยุดเฉลี่ยขาไป และขากลับ หยุดเลยสถานี 6.5 และ 5.9 เซนติเมตร ตามลำดับ มีความเร็วที่มีระยะหยุดเฉลี่ยใกล้สถานีที่สุด เมื่อพิจารณาน้ำหนักที่เหมาะสม ที่ส่งผลให้รถไฟหยุดใกล้สถานี คือ 480 กิโลกรัม ซึ่งเส้นทางโค้งของรางจะส่งผลต่อระยะเบรกเนื่องจากความเร็วของรถไฟต้นแบบลดลงเนื่องจากบังใบของล้อเสียดสีกับรางทำให้แรงเสียดทานเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความเร็วรถไฟลดลง ทำให้ความคลาดเคลื่อนของระยะเบรกเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเส้นทางตรง

4. อภิปรายและสรุปผล

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองระบบบังคับหยุดของรถไฟจำลองผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโน โดยให้รถไฟเคลื่อนที่ไปยังสถานีที่กำหนดไว้จำนวน 3 สถานี ระยะทางรวม 100 เมตร แต่ละสถานีมีระยะห่าง 50 เมตร ที่ความเร็ว 2.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยใช้ น้ำหนัก 3 ค่า พบว่าค่าเฉลี่ยระยะหยุดไม่ตรงสถานี

เนื่องจากมีความเร็วรถไฟช้าทำให้รถไฟหยุดก่อนถึงสถานี ที่ความเร็ว 3.9 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยใช้ น้ำหนัก 3 ค่า พบว่าค่าเฉลี่ยระยะหยุดใกล้เคียงกับตำแหน่งสถานี จึงเป็นความเร็วที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นความเร็วของรถไฟต้นแบบที่สร้างขึ้น และที่ความเร็ว 4.5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยใช้ น้ำหนัก 3 ค่า พบว่าค่าเฉลี่ยระยะหยุดไม่ตรงสถานีเนื่องจากมีความเร็วรถไฟมากทำให้รถไฟหยุดเลยตำแหน่งสถานี เพราะน้ำหนักบรรทุกและความเร็วจะส่งผลต่อระยะทางหยุดรถ ซึ่งถ้าน้ำหนักมากและความเร็วน้อยจะทำให้รถหยุดก่อนถึงสถานีแต่น้ำหนักน้อยและความเร็วมากจะทำให้รถหยุดเลยสถานีในกรณีแรงที่ใช้เบรกมีค่าคงที่ ดังนั้นผลของระยะหยุดที่ได้จึงสามารถนำไปปรับระยะการติดตั้งตำแหน่งเซนเซอร์เพื่อลดความเสี่ยงความคลาดเคลื่อนดังกล่าว

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Office of the National Economic and Social Development Council. Report on national development results in the past 5 years (2014–2018) [Internet]. 2019 [cited 2022 Dec 16] Available from: https://www.nesdc.go.th/Ewt_news.php?nid=8636&filename=index
- [2] Office of the Secretariat of the House of Representatives Parliamentary Budget Office. Guidelines for developing the country's transportation system. Bangkok: Publishing House Office of the Secretariat of the House of Representatives [Internet]. 2019[cited 2022 Dec 19] Available from:https://www.parliament.go.th/ewtadmin/ewt/parbudget/ewt_dl_link.php?nid=680
- [3] Wikipedia. Railway [Internet]. 2022. [cited 2022 Dec 16], Available from: <https://th.m.wikipedia.org/wiki/train>
- [4] Paknam536. Driving through a railway intersection correctly [Internet]. 2022.[cited 2022 Dec 16], Available from: <https://www.autospinn.com/2020/10/driving-ips-drive-across-railway-80667>
- [5] Saisanit T, Kotchapong W. A case study of the BTS electric train braking system of bangkok mass transit system public company limited. Thesis of Engineering. Siam University. 2013. (In Thai)
- [6] Chantson N. Railway mechanic. Pathumthani: NSTDA; 2017.
- [7] Kerdkub P, Simma T, Kittiratsatcha S. Regenerative braking control system for trains driven by electric machines. Type of reluctance switch. The 3rd Conference on Thailand Rapid Transit System Academic, Bangkok, Thailand. Sep 1-2, 2015: TRAS2015. (In Thai)
- [8] Lu, Shaofeng, Weston, Paul, Hillmansen, Stuart, Beng Gooi, Hoay, Roberts, Clive. Increasing the regenerative braking energy for railway vehicles. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2015; 15(6):2506-15.
- [9] Foiadelli F, Roscia M, Zaninelli D. Optimization of storage devices for regenerative braking energy in subway systems. IEEE Power Engineering Society General Meeting. 2006:1-6.
- [10] Okada Yuruki, Koseki Takafumi, Sone Satoru. Energy management for regenerative brakes on a DC feeding system. In The Proceedings of International Symposium on Seed-up and Service Technology for Railway and Maglev Systems STECH. 2003.
- [11] Nathaphan S. and Suwantarok K. A study of useage influence affecting tyre rolling coefficient (research report) Bangkok: Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. (2020). (In Thai)

- [12] Suwanprathip T. Automotive Engineering. Bangkok: Wittayapat. 2009. (In Thai)
- [13] ORIENTAL MOTOR (THAILAND) CO., LTD. Calculation of motor selection. [Internet]. 2023. [cited 2022 Dec 16], Available from: <https://www.orientalmotor.co.th/om/technical/general/motor-sizing-calculations.html>.
- [14] Afrilcate.Coefficient of Rolling Friction (Fully Explained). [Internet]. 2022. [cited 2022 Dec 16], Available from: <http://afrilcate.com/coefficient-of-rolling-friction/>
- [15] The Engineering ToolBox. Drag Coefficient. [Internet]. 2022. [cited 2022 Dec 16], Available from: https://www.engineeringtoolbox.com/drag-coefficient-d_627.

การใช้มอร์ตาร์แข็งตัวเร็วเป็นพื้นปรับระดับสำหรับงานเคลือบผิวโพลียูรีเทน

ศิวกร ดีช่วย^{1*} และวินัย อวยพรประเสริฐ¹

sivawork5061@hotmail.com^{1*} owinai@yahoo.com¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

(Received: 10-Apr-2023 Revised: 26-Jul-2023 Accepted: 27-Jul-2023)

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบส่วนผสมมอร์ตาร์แข็งตัวเร็ว สำหรับเป็นพื้นปรับระดับในงานเคลือบผิวโพลียูรีเทน มอร์ตาร์เร่งด่วนจำเป็นต้องมีสารลดน้ำอย่างมาก และสารเร่งการก่อตัว เพื่อให้ได้อัตราการไหลแผ่ร้อยละ 130 ± 5 รวมถึงกำลังอัดที่อายุ 8 และ 24 ชั่วโมง ไม่น้อยกว่า 200 และ 400 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ เมื่อกำหนดให้โอกาสที่มอร์ตาร์จะผ่านเกณฑ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 ค่าเฉลี่ยกำลังอัดเป้าหมายของมอร์ตาร์ควรมีค่าไม่น้อยกว่า 217 และ 435 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ จากนั้นออกแบบส่วนผสมมอร์ตาร์ตามวิธีของ ACI211.1-91 และหลอมมอร์ตาร์เพื่อทำการทดสอบกำลังอัดและกำลังดึงโดยการหล่อ ณ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน คือ $29-32^{\circ}\text{C}$, $32-34^{\circ}\text{C}$ และมากกว่า 34°C จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าภูมิภาคส่วนผสมของมอร์ตาร์ที่เหมาะสม คือ อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.35 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3 ปริมาณ 588 กก./ลบ.ม. สารลดน้ำอย่างมากร้อยละ 1.2 และสารเร่งการก่อตัวร้อยละ 0.28 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ จะได้กำลังอัด 217 กก./ตร.ซม. ใน 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ $29-32^{\circ}\text{C}$ และที่อายุ 24 ชั่วโมง กำลังอัดจะสูงกว่า 435 กก./ตร.ซม. ทุกช่วงอุณหภูมิ โดยไม่ต้องเติมสารเร่งการก่อตัว ส่วนกำลังดึงของมอร์ตาร์เร่งด่วนจะน้อยกว่าวัสดุผสมโพลียูรีเทน แต่เมื่อทดสอบการใช้งานมอร์ตาร์ปรับระดับพื้นเคลือบผิวด้วยโพลียูรีเทน ไม่พบรอยแตกหรือการหลุดกะเทาะของพื้นผิว ดังนั้น มอร์ตาร์เร่งด่วนจึงอาจใช้เป็นพื้นปรับระดับทดแทนวัสดุผสมโพลียูรีเทนสำหรับงานเคลือบผิวโพลียูรีเทนได้ โดยมีต้นทุนการก่อสร้างที่ต่ำกว่า

คำสำคัญ: การออกแบบส่วนผสมมอร์ตาร์ มอร์ตาร์แข็งตัวเร็ว สารเร่งการก่อตัว พื้นโพลียูรีเทน

The Use of Rapid Setting Mortar as Floor Leveling in Polyurethane Coating

Sivagorn Deechuay^{1*} and Winai Ouypornprasert¹
sivawork5061@hotmail.com^{1*}, owinai@yahoo.com¹

¹ Department of Civil Engineering, Collage of Engineering, Rangsit University

(Received: 10-Apr-2023 Revised: 26-Jul-2023 Accepted: 27-Jul-2023)

Abstract

The purpose of this paper was to determine rapid setting mortar mix design for the use as a leveling layer in polyurethane floor coating. Rapid setting mortar required superplasticizer and accelerator to satisfy with the flow rate of mortar within 130 ± 5 percent and compressive strength of mortar not less than 200 and 400 ksc at 8 hours and 24 hours, respectively. For at least 95% probability of passing the required compressive strength, target means should be 217 ksc and 435 ksc, respectively. Then mortar mix proportions were designed according to the ACI 211.1-91 method. Then mortar mix proportions obtained were examined with the flow table test, the compression test and the tensile test. The mortars were cast within a range of atmospheric temperatures, 29- 32°C, 32- 34°C and more than 34°C. Results from the study showed that the optimum mortar proportion was water to cement ratio of 0.35, Portland cement type 3 content of 588 kg/m³, superplasticizer 1.2% by weight of cement, and the accelerator 0.28% by weight of cement. The mortar reached compressive strength 217 ksc in 8 hours for the casting temperature 29°C- 32 °C. And at 24 hours, mortar could reach compressive strength of 435 ksc at all of temperature ranges without adding accelerator. Although the tensile strength of the rapid setting mortar was less than polyurethane, in the application of the rapid setting mortar as floor leveling layer together with the polyurethane coating, no crack or peeling at the surface was found. Thus, rapid setting mortar might be used as floor leveling in place of the polyurethane composite at the much lower cost of construction.

Keywords: Mortar Mix Design, Rapid Setting Mortar, Accelerator, Polyurethane Floor

1. บทนำ

วัสดุโพลียูรีเทน (Polyurethane: PU) เป็นวัสดุที่มีทั้งความแข็งแรงและความยืดหยุ่นในตัวเอง และสามารถปรับเปลี่ยนสมบัติให้ตรงตามความต้องการใช้งานได้หลากหลาย เพียงแค่ดัดแปลงโพลีออล (Polyol) หรือไอโซไซยาเนต (Isocyanate) [1] ในปัจจุบันวัสดุ PU ได้รับความนิยม และถูกนำมาใช้ในวงการอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะงานพื้น PU ขั้นตอนการทำงานต้องมีการปรับระดับพื้นเดิมก่อนทำการเคลือบผิวด้วยโพลียูรีเทน ในปัจจุบันการปรับระดับพื้นใช้สารโพลียูรีเทนผสมทรายซึ่งมีราคาแพง ด้วยเหตุนี้จึงมีความต้องการที่จะลดต้นทุนพื้น ปรับระดับโดยใช้วัสดุทางเลือกอื่นมาแทนโพลียูรีเทนผสมทราย โดยงานวิจัยนี้ได้แนวคิดจากงานวิจัยผิวถนนคอนกรีตเร่งด่วน [2] ที่มีการนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3 มาทำผิวถนนคอนกรีต โดยการเติมสารลดน้ำอย่างมากและสารเร่งการก่อตัว เป็นผลให้ได้ผิวถนนคอนกรีตที่มีกำลังอัดสูง พร้อมใช้งานได้เร็ว และประหยัดต้นทุนค่าวัสดุได้มาก

งานวิจัยนี้จึงต้องการนำแนวคิดดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับมอร์ตาร์ซึ่งเป็นที่ยอมรับในการปรับระดับพื้นทั่วไปและมีราคาถูกกว่า มาแทนการใช้สารโพลียูรีเทนผสมทรายที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน แต่การจะนำมอร์ตาร์มาใช้นั้น ยังต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่น เช่น สมบัติทางวิศวกรรมและเวลาการทำงานด้วย โดยต้องไม่ทำให้ผิวเคลือบโพลียูรีเทนเกิดความเสียหาย เนื่องจาก PU ที่ใช้ในงานปรับระดับพื้นสามารถแข็งตัวได้เร็วและให้กำลังอัดที่สูง งานวิจัยนี้ต้องการออกแบบส่วนผสมของมอร์ตาร์แข็งตัวเร็ว โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3 ซึ่งมีขนาดของโมเลกุลที่เล็ก มีไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium Silicate: C_3S) ปริมาณมาก ทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันได้เร็ว แข็งตัวได้เร็ว และให้กำลังอัดสูงในช่วงต้น [3] นอกจากนี้การเติมสารเร่งปฏิกิริยาเข้าไปในส่วนผสมมอร์ตาร์สามารถทำให้อัตราความร้อนจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์เพิ่มขึ้นและเกิดความร้อนสูงสุดได้เร็วขึ้น ส่งผลให้เกิดแคลเซียมซิลิเกต ไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate: CSH) ซึ่งเป็นผลผลิตที่ทำให้เกิดกำลังได้เร็วขึ้น การพัฒนา

กำลังของมอร์ตาร์มีอัตราเร็วขึ้นด้วย นอกจากนี้การเพิ่มอุณหภูมิขณะบ่มก็ช่วยเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้อีกด้วย [4] ด้วยเหตุนี้การนำมอร์ตาร์แข็งตัวเร็วที่มีการพัฒนากำลังสอดคล้องกับการทำงานปรับระดับพื้นมาแทนการใช้โพลียูรีเทนผสมทรายจึงเป็นงานที่น่าสนใจ

2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบส่วนผสมมอร์ตาร์แข็งตัวเร็ว โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3 และสารผสมเพิ่มให้ได้สมบัติตามที่ต้องการ ประกอบด้วย กำลังอัด และการไหลแผ่จากนั้นจึงเปรียบเทียบสมบัติด้านกำลังอัดและกำลังดึงของมอร์ตาร์แข็งตัวเร็วและวัสดุผสมโพลียูรีเทน นอกจากนี้ทำการตรวจสอบการใช้งานมอร์ตาร์แข็งตัวเร็วในงานปรับระดับพื้นก่อนเคลือบด้วยผิวโพลียูรีเทนเมื่อได้ส่วนผสมที่ใช้งานได้ดีแล้วทำการเปรียบเทียบราคาระหว่างมอร์ตาร์แข็งตัวเร็วที่เสนอกับวัสดุผสมโพลียูรีเทนที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย มีดังนี้

3.1 วัสดุที่ใช้

งานวิจัยนี้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3 ทรายแม่น้ำ น้ำประปา ผสมสารลดน้ำอย่างมาก ลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลเข้ม ประเภท Naphthalene Based และสารเร่งการก่อตัว ลักษณะเป็นผงสีขาว ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก SiO_2 50.11%, Al_2O_3 31.58% และ Na_2O 16.77% [5] โดยศึกษาเปรียบเทียบกับวัสดุผสมโพลียูรีเทนจากโรงผลิต

3.2 การกำหนดเป้าหมายสมบัติทางวิศวกรรมของมอร์ตาร์แข็งตัวเร็วที่ต้องการ

งานพื้น PU มีข้อได้เปรียบหลายประการ เช่น สามารถทนทานต่อสารเคมีได้หลายประเภท ขึ้นอยู่กับการปรับปรุงส่วนผสม สามารถทนความร้อนได้สูงถึง $130^{\circ}C$ และมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนใกล้เคียงกับคอนกรีต นอกจากนี้ยังสามารถรับกำลังได้สูงมีความยืดหยุ่นดูดซับแรงจากการกระแทกได้ดี

ทำให้เกิดการแตกร้าวได้ยาก ในบางส่วนผสม PU สามารถรับแรงอัดได้มากถึง 510 กก./ตร.ซม. [6] จึงเป็นที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภท

ส่วนงานพื้น PU ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ สารโพลียูรีเทน เรซิน และส่วนเติมเต็ม เมื่อผสมรวมกันทั้งสามส่วนจะได้วัสดุเคลือบพื้น PU มีคุณสมบัติรับแรงกระแทก การเสียดสี การสึกกร่อน ลักษณะการทำงาน สาร PU เป็นวัสดุผสมที่มีความเหลว สามารถการไหลได้ดี เมื่อทำการผสม PU ในถังผสมแล้วเทราดไปบนพื้น จากนั้นจึงเกลี่ย PU ให้ทั่วพื้นที่ให้ได้ความหนาที่ต้องการ โดยส่วนมากพื้น PU จะมีชั้นปรับระดับพื้นซึ่งเป็นวัสดุผสมโพลียูรีเทนที่มีส่วนผสมของทราย และมีชั้นเคลือบผิวที่เป็นโพลียูรีเทนตามสูตรของผู้ผลิตอีกชั้นหนึ่ง คุณสมบัติของมอร์ตาร์ที่ต้องการในการทำชั้นปรับระดับพื้น แทนสารโพลียูรีเทนคือ ค่าเฉลี่ยกำลังอัดของตัวอย่างมอร์ตาร์รูปลูกบาศก์ขนาด 5 ซม. ที่อายุ 8 และ 24 ชั่วโมง ไม่น้อยกว่า 200 และ 400 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ เพื่อให้แข็งตัวได้เร็วใกล้เคียงกับวัสดุผสมโพลียูรีเทนทำให้จบงานได้ใน 1 วัน และต้องการอัตราการไหลแผ่ร้อยละ 130 ± 5 เพื่อให้สามารถทำงานได้ง่าย

ในงานวิจัยนี้จึงใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 ที่ให้กำลังอัดสูงในช่วงต้นได้เร็ว ผสมกับสารลดน้ำอย่างมาก (Superplasticizers: Sp) ซึ่งเป็นสารผสมเพิ่ม ประเภท F และสารเร่งการก่อตัว (Accelerators: Ac) ซึ่งเป็นสารผสมเพิ่ม ประเภท C [7] เพื่อจะทำให้ได้มอร์ตาร์ที่มีคุณสมบัติตามต้องการ

3.3 การหาค่ากำลังอัดเฉลี่ยเป้าหมายจากข้อกำหนดทางวิศวกรรม

การวิเคราะห์ข้อมูลทางวิศวกรรมโดยหลักสถิติ ในการออกแบบค่ากำลังอัดตามข้อกำหนดทางวิศวกรรมจะใช้ข้อมูลทางสถิติที่ได้จากกำลังอัดเฉลี่ยในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน (Coefficient of Variation Ω) เท่ากับ 0.05 หากสมมุติว่ากำลังอัดของมอร์ตาร์มีรูปแบบการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) และมีโอกาสที่ผลิตมันช์จะมีกำลังอัดต่ำกว่ากำลังอัดที่ต้องการ ไม่เกินร้อยละ 5

จะสามารถคำนวณหาค่ากำลังอัดเฉลี่ยเป้าหมาย (μ) ที่ต้องการได้จากสมการต่อไปนี้ [8]

$$\mu = \frac{x_{spec}}{1 + \Omega \cdot \Phi^{-1}(p)} \quad (1)$$

โดยที่ x_{spec} คือ กำลังอัดที่ต้องการ

Ω คือ สัมประสิทธิ์การแปรผันของค่ากำลังอัด

p คือ ความน่าจะเป็นที่ตัวอย่างจะมีกำลังอัดน้อยกว่าข้อกำหนดทางวิศวกรรม

$\Phi^{-1}(p)$ คือ อินเวอร์สของความน่าจะเป็น p สำหรับการแจกแจงปกติมาตรฐาน

ดังนั้นหากต้องการกำลังอัดที่ 200 และ 400 กก./ตร.ซม. จากการคำนวณโดยใช้หลักสถิติดังสมการที่ (1) ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยกำลังอัดเป้าหมายที่ต้องการ มีค่าเป็น 217 และ 435 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ

3.4 การทดสอบสมบัติเบื้องต้นของวัสดุ

ทดสอบสมบัติเบื้องต้นของวัสดุที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณออกแบบส่วนผสมของมอร์ตาร์แข็งตัวเร็ว ประกอบไปด้วย ค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3 ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C188 [9] ค่าความถ่วงจำเพาะของทราย ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C127 – 01 [10] และโมดูลัสความละเอียดของทราย ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C33 / C33M – 18 [11] ได้ผลการทดสอบ ดังนี้

ตารางที่ 1 สมบัติเบื้องต้นของวัสดุ

วัสดุ	ความถ่วงจำเพาะ	โมดูลัสความละเอียด
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3	3.16	-
ทราย	2.62	2.81

3.5 สมบัติของวัสดุที่นำมาใช้ในการคำนวณส่วนผสมของมอร์ตาร์

สมบัติของวัสดุที่ต้องนำมาใช้ในการคำนวณส่วนผสมมอร์ตาร์ในการออกแบบตามคำแนะนำของสถาบันคอนกรีตแห่งอเมริกา (ACI 211.1 – 91) [12] ซึ่งการออกแบบที่กำหนดตามมาตรฐาน ACI ดังกล่าว

เป็นการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต จึงมีส่วนผสมของหินรวมอยู่ในการคำนวณด้วย แต่เนื่องด้วยการออกแบบส่วนผสมของมอร์ตาร์ไม่มีหินเป็นส่วนประกอบ และได้ทำการเติมสารลดน้ำอย่างมาก และสารเร่งการก่อตัวด้วย ในงานวิจัยนี้นอกจากสมบัติของวัสดุในข้อ 3.4 จึงได้อ้างอิงสมบัติและขอบเขตปริมาณวัสดุต่าง ๆ จากงานวิจัยผิวนนเร่งด่วน [2] แล้วทำการปรับปรุงเพื่อให้เหมาะสมกับมอร์ตาร์เร่งด่วนต่อไป

สมบัติของวัสดุต่าง ๆ ที่นำมา ใช้ในการออกแบบส่วนผสมมอร์ตาร์ สรุปได้ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณส่วนผสมมอร์ตาร์

สมบัติ	ค่าที่ใช้ออกแบบ
ค่าการยุบตัว	25-75 มม.
ปริมาณฟองอากาศ	2%
ปริมาณน้ำ	130-180 กก./ลบ.ซม.
ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ	19 มม.
โมดูลัสความละเอียดของมวลรวมหยาบ	6.9
ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบ	2700
น้ำหนักแห้งของมวลรวมหยาบ	1604 กก./ลบ.ม.
ปริมาตรของมวลรวมหยาบ	ร้อยละ 0.62 ของปริมาตรคอนกรีต
อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์	0.35-0.48
ปริมาณสารลดน้ำอย่างมาก	ร้อยละ 1.0-1.2 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์

3.6 การคำนวณส่วนผสมของมอร์ตาร์

คำนวณส่วนผสมมอร์ตาร์ในการออกแบบตามคำแนะนำของสถาบันคอนกรีตแห่งอเมริกา (ACI 211.1 – 91) [12] ตัวอย่างการคำนวณการออกแบบส่วนผสมของมอร์ตาร์ จะแสดงตัวอย่างการออกแบบ

โดยกำหนดให้ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.48 และปริมาณน้ำเท่ากับ 180 กก. มีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าการยุบตัวของคอนกรีต ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าการยุบตัวของคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่างๆ

ประเภทของงาน	ค่ายุบตัว (มม.)	
	สูงสุด	ต่ำสุด
ผนังและพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก	75	25
พื้นถนน	75	25
คานและผนัง	100	25
เสา	100	25
พื้นถนน	75	25
โครงสร้างขนาดใหญ่	50	25

ขั้นตอนที่ 2 เลือกขนาดโตสุดของมวลรวม

ขั้นตอนที่ 3 เลือกปริมาณอากาศอากาศที่จะเกิดขึ้น จะได้ปริมาณน้ำที่ต้องใช้ ดังแสดงในตารางที่ 4

ขั้นตอนที่ 4 กำหนด w/c

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ ปริมาณน้ำ÷w/c (จากขั้นตอนที่ 3 และ 4)

ขั้นตอนที่ 6 นำ F.M. ทราฟที่ได้มาคำนวณปริมาณหิน จากสูตร

ปริมาณหิน = ปริมาตรxหน่วยน้ำหนักหิน

ขั้นตอนที่ 7 หาปริมาตรทราฟ

ปริมาตรคอนกรีต-ปริมาตรส่วนผสม

น้ำหนักทราฟ = ปริมาตรทราฟx F.M. ทราฟx

ความถ่วงจำเพาะของน้ำ

การคิดส่วนผสมของมอร์ตาร์ต้องตัดปริมาตรของหินออกและปรับอัตราส่วนเพิ่มเติมของส่วนผสมอื่นๆ เพื่อให้ได้ปริมาตรตามที่ต้องการ โดยอัตราส่วนผสมในปริมาตร 1 ลบ.ม. หลังจากได้ปริมาตรของส่วนผสมต่าง ๆ ที่ต้องการแล้ว จึงนำกลับมาแปลงเป็นหน่วยน้ำหนักอีกครั้งเพื่อทำการซึ่งส่วนผสมไปทำการทดสอบต่อไป ดังตัวอย่างในตารางที่ 6

ตารางที่ 4 ปริมาณน้ำและฟองอากาศสำหรับคอนกรีตที่มีค่ายุบตัวและขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบต่าง ๆ

ค่ายุบตัว		ปริมาณน้ำเป็นกิโลกรัมต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร สำหรับวัสดุผสมขนาดต่าง ๆ						
มม.	นิ้ว	9.5 มม.	12.5 มม.	19 มม.	25 มม.	37.5 มม.	50 มม.	75 มม.
คอนกรีตที่ไม่มีสารกักกระจายฟองอากาศ (Non-Air-Entrained Concrete)								
30-50	1-2	210	200	185	180	160	155	130
80-100	3-4	225	215	200	195	175	170	145
150-180	6-7	240	230	210	205	185	180	160
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร ในคอนกรีตที่ไม่มีสารกักกระจายฟองอากาศ								
คอนกรีต (%)		3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3
คอนกรีตที่มีสารกักกระจายฟองอากาศ (Air-Entrained Concrete)								
30-50	1-2	180	175	165	160	145	140	120
80-100	3-4	200	190	180	175	160	155	135
150-180	6-7	215	205	190	185	170	165	155
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร ในคอนกรีตที่มีสารกักกระจายฟองอากาศ								
ปริมาณสารน้อย		4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5
ปริมาณสารปานกลาง		6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5
ปริมาณสารมาก		7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.5	4.5

ตารางที่ 5 ปริมาตรของมวลรวมหยาบแยกตามขนาด
ใหญ่สุดและโมดูลัสความละเอียดของทราย

ขนาดโตสุด ของมวลรวม หยาบ (มม.)	ปริมาตรของวัสดุหยาบในสภาพแห้ง และอัดแน่นต่อหน่วยปริมาตรของ คอนกรีตสำหรับค่าโมดูลัสความ ละเอียดของมวลรวมละเอียดต่างๆ กัน			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.76	0.74	0.72	0.70
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

ตารางที่ 6 ตัวอย่างปฏิภาคส่วนผสมของมอร์ตาร์ 1 ลบ.ม.

ส่วนผสม	คอนกรีต (ลบ.ม.)	มอร์ตาร์ (ลบ.ม.)	น้ำหนักของ ส่วนผสม (กก.)
ปูนซีเมนต์	0.119	0.186	588
น้ำ	0.130	0.206	206
หิน	0.368	-	-
ทราย	0.364	0.576	1,510
อากาศ	0.020	0.032	0.03
รวม	1.000	1.000	2,304.03

3.7 การทดลองเบื้องต้นเพื่อหาค่าอัตราส่วน น้ำต่อปูนซีเมนต์ ปริมาณน้ำ และปริมาณสารลดน้ำ อย่างมากที่สุดที่เหมาะสม

หลังจากคำนวณปฏิภาคส่วนผสมมอร์ตาร์
ได้แล้วตามหัวข้อ 3.6 ทำการเพิ่มสารลดน้ำอย่างมากที่สุด
ปริมาณที่ ดังแสดงในตารางที่ 2 จากนั้นทำการผสม
มอร์ตาร์ตามสัดส่วนผสมที่คำนวณได้ แล้วทำการ
ทดสอบเพื่อหาค่าการไหลแผ่ ตามมาตรฐาน ASTM

C230 [13] และทดสอบกำลังอัด ตามมาตรฐาน ASTM C109 [14] ที่อายุ 6, 7, 8 และ 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงทำการปรับส่วนผสม โดยปรับปรุงที่ค่าอัตราส่วนน้ำต่อน้ำซีเมนต์ ปริมาณน้ำและสารลดน้ำอย่างมาก เพื่อให้ได้มอร์ตาร์ที่มีค่าการไหลแผ่ที่เหมาะสมและมีกำลังอัดสูงที่สุดตามระยะเวลาที่กำหนด ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 กำลังอัดของมอร์ตาร์เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อน้ำซีเมนต์ ปริมาณซีเมนต์ และปริมาณสารลดน้ำอย่างต่างกัน

อัตราส่วนน้ำต่อน้ำซีเมนต์	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 3 (ก./ลบ.ม.)	ปริมาณสารลดน้ำอย่างสูง (%)	อัตราการไหลแผ่ (ก.)	กำลังอัด (กก./ตร.ซม.)			
				6 ชม.	7 ชม.	8 ชม.	24 ชม.
0.48	594	1.2	>400	-	-	61	316
0.38	625	1.0	150	49	89	129	450
0.38	500	1.1	94	73	117	152	409
0.35	588	1.1	105	93	150	211	504
0.35	588	1.2	127	84	153	214	480

หมายเหตุ: - หมายถึง ไม่ได้ทำการทดสอบ เนื่องจากมอร์ตาร์ยังไม่แข็งตัว

จากผลการทดสอบ สามารถสรุปได้ว่า ปริมาณส่วนผสมของมอร์ตาร์ที่จะทำให้ได้คุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ต้องการ คือ อัตราส่วนน้ำต่อน้ำซีเมนต์ 0.35 ปริมาณซีเมนต์ 588 กก./ลบ.ม. ปริมาณสารลดน้ำอย่างสูงร้อยละ 1.2 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ซึ่งจะได้กำลังอัด 214 กก./ตร.ซม. ที่อายุ 8 ชั่วโมง และได้อัตราการไหลแผ่ร้อยละ 127 ซึ่งใกล้เคียงกับที่ต้องการ

3.8 การทดลองหาปริมาณสารเร่งการก่อตัวที่เหมาะสม เปรียบเทียบกำลังอัดและกำลังดึงระหว่างมอร์ตาร์แข็งตัวเร็วกับวัสดุผสมโพลียูรีเทน ทดสอบการใช้งานร่วมกัน และเปรียบเทียบราคา

3.8.1 ทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ตามมาตรฐาน ASTM C109 โดยใช้ปริมาตรส่วนผสมที่เหมาะสมซึ่งได้แสดงไว้ในหัวข้อ 3.7 มาปรับปรุงต่อโดยเติมสารเร่งการก่อตัวอ้างอิงปริมาณการเติมจากงานวิจัยผิวนนคอนกรีตเร่งด่วน [2] ร้อยละ 0.26, 0.28, 0.30, 0.32 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ นอกจากนี้ในการทดลองนี้มีการควบคุมอุณหภูมิในขณะบ่มให้ตรงตามสภาพการทำงานจริงในประเทศไทยด้วยด้วย โดยทำการกันห้องขนาดเล็กและใช้อีเทอร์เพื่อควบคุมอุณหภูมิ แล้วทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 29-32, 32-34 และมากกว่า 34°C

จากการทดลองขั้นต้น ทำให้ทราบว่ามอร์ตาร์ที่อายุ 6 ชั่วโมง ยังคงมีกำลังอัดที่ต่ำจนไม่สามารถปรับปรุงให้ผ่านข้อกำหนดทางวิศวกรรมที่ต้องการได้ ในหัวข้อนี้ จึงทำการเปลี่ยนมาทดสอบกำลังอัดของ มอร์ตาร์ที่อายุ 7, 8, 9 และ 24 ชั่วโมง

3.8.2 เปรียบเทียบกำลังอัดและกำลังดึงของมอร์ตาร์แข็งตัวเร็วกับวัสดุผสมโพลียูรีเทน โดยทดสอบกำลังดึงของมอร์ตาร์แข็งตัวเร็ว ใช้ตัวอย่างทดสอบชนิดบรีเคตามมาตรฐาน ASTM C190 [15] ทดสอบเฉพาะส่วนผสมที่ผ่านข้อกำหนดทางวิศวกรรมที่ต้องการ (จากผลในข้อ 3.8.1) จากนั้นทดสอบกำลังอัดของวัสดุผสมโพลียูรีเทน ตามมาตรฐาน ASTM C109 และกำลังดึง ตามมาตรฐาน ASTM D638 TYPE I [16] ความหนา 5 มม. เพื่อเปรียบเทียบกัน ที่อายุ 8 และ 24 ชั่วโมง

3.8.3 ทดสอบการใช้งานร่วมกันของมอร์ตาร์แข็งตัวเร็วกับผิวโพลียูรีเทนในแปลงทดสอบขนาด 30x30 ซม. จำนวน 4 แปลง ในพื้นที่กลางแจ้งบริเวณข้างห้องปฏิบัติการ โดยในแต่ละแปลงจะโดนแสงอาทิตย์ในเวลาที่แตกต่างกันในระหว่างวัน กำหนดความหนาของมอร์ตาร์แข็งตัวเร็ว 2 มม. และชั้นเคลือบผิวใช้สารโพลียูรีเทนเคลือบผิวให้มีความหนา 2 มม. หลังจากนั้นทิ้งไว้ในสภาวะปกติ สังเกตว่า

เมื่อเวลาผ่านไปมอร์ต้าเร่งด่วน และผิวโพลียูรีเทนสามารถใช้งานร่วมกันได้ดีหรือไม่

3.8.4 ทดสอบการใช้งานมอร์ต้าเร่งด่วน
 แข็งตัวเร็วปรับระดับพื้นเคลือบด้วยโพลียูรีเทนในแปลงทดสอบของโรงงานแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร โดยใช้มอร์ต้าเร่งด่วนเพื่อปรับพื้นก่อนลงผิวโพลียูรีเทนในการทำพื้นลานจอดรถที่มีขนาด 30 ตร.ม. หลังจากนั้นจะทำการทดสอบการใช้งานเพื่อทดสอบว่าเมื่ออยู่ในสภาพใช้งานจริงที่ต้องรับน้ำหนักหรือแรงกดต่าง ๆ แล้วชิ้นงานที่ได้มีความเสียหายเกิดขึ้นหรือไม่

3.8.5 เปรียบเทียบราคาในการทำพื้นปรับระดับระหว่างมอร์ต้าเร่งด่วนและโพลียูรีเทน

4. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้าที่ผสมสารเร่งการก่อตัว

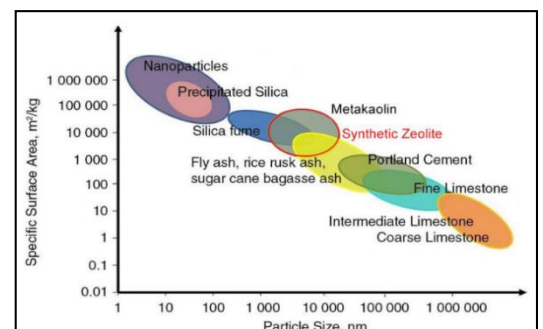
ตารางที่ 8 แสดงกำลังอัดของมอร์ต้าผสมสารเร่งการก่อตัวในปริมาณต่างกัน และบ่มในอุณหภูมิต่างกัน พบว่าที่อุณหภูมิ 29-32 °C จำเป็นต้องเติมสารเร่งการก่อตัว ในปริมาณ 0.28% ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ จะได้กำลังอัด 217 กก./ตร.ซม. ในเวลา 8 ชั่วโมง และที่อุณหภูมิ 32-34 °C ถ้าไม่เติมสารเร่งการก่อตัว จะได้กำลังอัด 226 กก./ตร.ซม. ในเวลา 8 ชั่วโมง แต่ถ้าเติมสารเร่งการก่อตัว 0.28% ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ จะได้กำลังอัด 218 กก./ตร.ซม. ในเวลา 7 ชั่วโมง ในขณะที่อุณหภูมิสูงกว่า 34 °C ไม่จำเป็นต้องเติมสารเร่งการก่อตัว ก็จะได้กำลังอัด 217 กก./ตร.ซม. ในเวลา 7 ชั่วโมง

จากผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ต้า จะเห็นว่าการเติมสารเร่งการก่อตัวทำให้กำลังอัดของมอร์ต้าเพิ่มขึ้นมากกว่าการไม่เติมในอายุที่เท่ากัน เนื่องจากสารเร่งการก่อตัวที่ใช้มีองค์ประกอบหลักเป็นซิลิกา (SiO₂) เช่นเดียวกับที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์ถึงร้อยละ 50.11 [5] ซึ่งจะทำให้ปฏิกิริยาได้ผลผลิตที่มีกำลังอัดสูง และการที่สารเร่งการก่อตัวมีอนุภาคที่เล็กและมีพื้นที่ผิวสัมพัทธ์มาก ดังแสดงในรูปที่ 1 [5] ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็ว โดยกราฟความร้อนจากการเกิดปฏิกิริยาจะขึ้นสู่จุดสูงสุดได้เร็วและมีความร้อนสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2 [5, 17] ทำให้เกิด CSH ได้

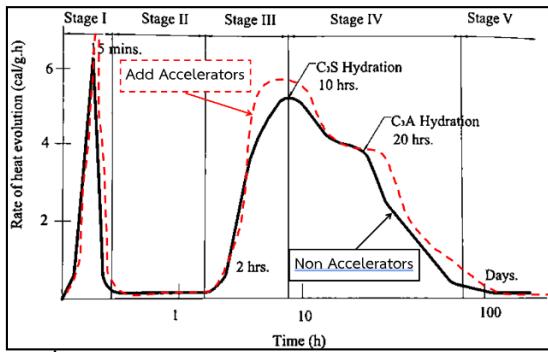
อย่างรวดเร็ว มอร์ต้าที่เติมสารเร่งการก่อตัวจึงมีกำลังอัดสูงขึ้นในช่วงต้น

ตารางที่ 8 กำลังอัดของมอร์ต้าผสมสารเร่งการก่อตัวในปริมาณต่างกัน และบ่มตัวในอุณหภูมิต่างกัน

Temp. (°C)	Ac (%)	Flow (%)	Compressive Strength (ksc)			
			7 hr.	8 hr.	9 hr.	24 hr.
29-32	0.00	129	147	204	263	486
	0.26	132	136	201	277	480
	0.28	131	165	217	285	499
	0.30	130	126	211	296	475
	0.32	134	125	187	247	465
32-34	0.00	134	156	226	286	450
	0.26	132	197	243	295	438
	0.28	131	218	239	300	463
	0.30	137	211	287	320	492
	0.32	136	243	271	307	485
>34	0.00	130	217	287	317	481
	0.26	134	192	240	284	437
	0.28	131	235	291	298	458
	0.30	125	208	248	323	439
	0.32	124	199	256	327	481

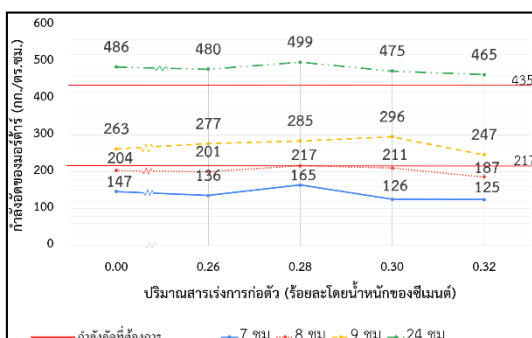


รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและพื้นที่ผิวสัมพัทธ์ของสารเร่งการก่อตัวที่ใช้ในงานวิจัย เปรียบเทียบกับสารประเภทอื่น ๆ [5]



รูปที่ 2 อัตราการเกิดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ที่เปลี่ยนไปหลังเติมสารเร่งการก่อตัว (ดัดแปลงจาก [5, 17])

การเติมสารเร่งการก่อตัวต้องเติมในปริมาณที่เหมาะสม จากผลการทดลอง (รูปที่ 3) สรุปได้ว่าปริมาณที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 0.28 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ได้กำลังอัดที่ 217 กก./ตร.ซม. ใน 8 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 29-32°C หากเติมสารเร่งการก่อตัวในปริมาณมากเกินไป (ร้อยละ 0.30 และ 0.32 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์) กำลังอัดของมอร์ตาร์จะต่ำลง เพราะการเติมสารเร่งการก่อตัวในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้เกิด CSH ได้ดีกว่าการเติมปริมาณมากเกินไป [5] นอกจากนี้การเติมสารเร่งการก่อตัวจะเร่งการเกิดผลึกที่มีลักษณะเป็นเข็มสั้นหรือเอพทริงไคต์ (Ettringite) และผลึกที่มีลักษณะเป็นเข็มยาวหรือมัลไลต์ (Mullite) [5] ซึ่งการเติมในปริมาณที่เหมาะสมจะทำให้มอร์ตาร์มีโครงสร้างที่แข็งแรงมีช่องว่างน้อย ในทางกลับกันการเติมในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้เกิดมัลไลต์ในปริมาณมากเกินไปทำให้ความหนาแน่นลดลงกำลังอัดจึงต่ำลงด้วย [5]



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ของกำลังอัดของมอร์ตาร์กับการเติมสารเร่งการก่อตัวในปริมาณต่าง ๆ

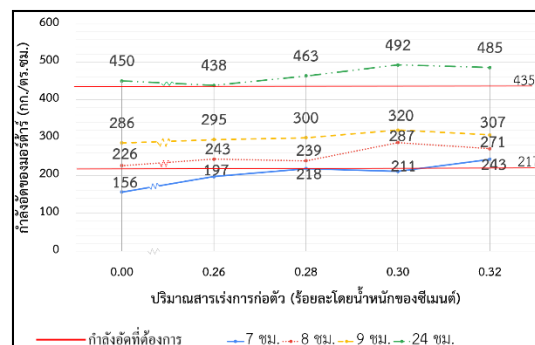
(ปมตัวที่อุณหภูมิ 29°C -32°C)

นอกจากนี้ยังสามารถวิเคราะห์ถึงผลของอุณหภูมิที่มีต่อกำลังอัดของมอร์ตาร์แข็งตัวเร็วได้ดังนี้

1. ในกรณีที่ไม่มีเติมสารเร่งการก่อตัวกำลังอัดในช่วงต้นของมอร์ตาร์มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออยู่ในอุณหภูมิที่สูงขึ้น

2. ในกรณีที่ต้องการเติมสารเร่งการก่อตัวหากทำงานที่อุณหภูมิต่ำ (29-32 °C) จำเป็นต้องระมัดระวังเรื่องปริมาณสารเร่งการก่อตัว โดยต้องใช้ในปริมาณที่เหมาะสม ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

3. ในกรณีที่อุณหภูมิสูง (32-34°C ขึ้นไป) การเติมสารเร่งการก่อตัวในทุกปริมาณที่ทดลอง จะมีผลให้กำลังอัดของมอร์ตาร์สูงขึ้นได้อย่างรวดเร็วในช่วงต้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นสามารถกระตุ้นให้สารประกอบซิลิกาที่อยู่ในสารเร่งการก่อตัวทำปฏิกิริยาไฮเดรชันได้เร็วขึ้นทำให้ได้ผลผลิตมอร์ตาร์ที่มีกำลังอัดสูง ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของกำลังอัดของมอร์ตาร์กับการเติมสารเร่งการก่อตัวในปริมาณต่าง ๆ

(ปมตัวที่อุณหภูมิ 32-34°C)

4.2 การเปรียบเทียบสมบัติของมอร์ตาร์กับวัสดุผสมโพลียูรีเทน

ทดสอบกำลังอัดและกำลังดึงของมอร์ตาร์กับวัสดุผสมโพลียูรีเทน โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.35 ปริมาณซีเมนต์ 588 กก./ลบ.ม. ปริมาณสารลดน้ำอย่างมากร้อยละ 1.2 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ และใช้ปริมาณสารเร่งการก่อตัวที่ทำให้มอร์ตาร์แข็งตัวเร็วที่ผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดทางวิศวกรรมทั้งหมด 3 ส่วนผสมตามผลที่ได้คือ

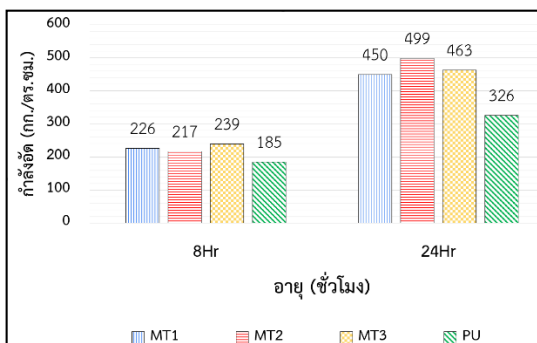
1. ส่วนผสมที่ 1 (MT1) ไม่เติมสารเร่งการก่อตัว ปมตัวที่อุณหภูมิ 32-34°C

2. ส่วนผสมที่ 2 (MT2) เติมสารเร่งการก่อตัว ร้อยละ 0.28 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ปมตัวที่อุณหภูมิ 29-32°C

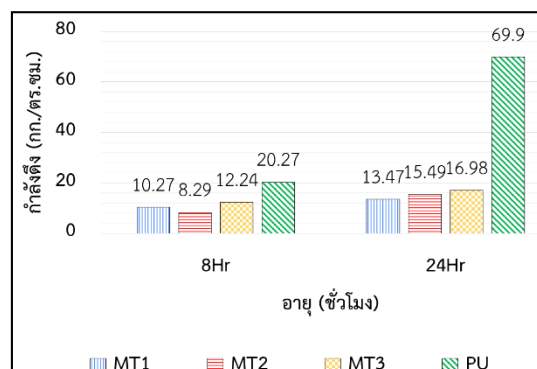
3. ส่วนผสมที่ 3 (MT3) เติมสารเร่งการก่อตัว ร้อยละ 0.28 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ปมตัวที่อุณหภูมิ 32-34°C

4. วัสดุผสมโพลียูรีเทน (PU)

ทำการทดสอบกำลังอัดและกำลังดึงที่อายุ 8 และ 24 ชั่วโมง ได้ผลการทดสอบดังนี้



รูปที่ 5 กำลังอัดของมอร์ตาร์เทียบกับวัสดุผสมโพลียูรีเทน ที่อายุ 8 และ 24 ชั่วโมง



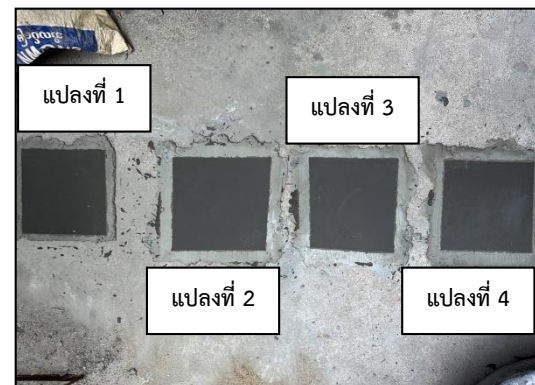
รูปที่ 6 กำลังดึงของมอร์ตาร์เทียบกับวัสดุผสมโพลียูรีเทน ที่อายุ 8 และ 24 ชั่วโมง

จากผลการทดสอบจะเห็นว่า กำลังอัดของมอร์ตาร์มีค่ามากกว่าวัสดุผสมโพลียูรีเทนในทุกช่วงอายุ แต่ผลการทดสอบกำลังดึงจะเห็นว่า มอร์ตาร์มีกำลังดึงต่ำกว่าวัสดุผสมโพลียูรีเทนมาก ดังที่แสดงในรูปที่ 5 และรูปที่ 6

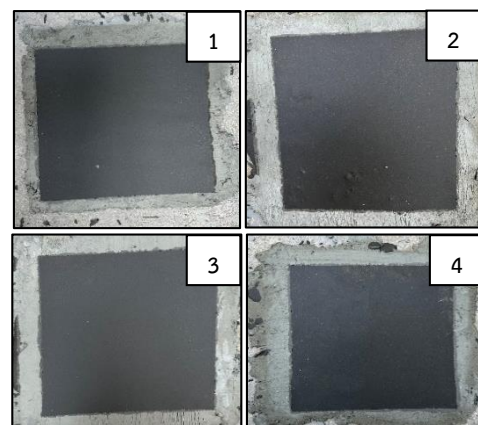
4.3 ผลการทดสอบการใช้งานร่วมกันของมอร์ตาร์กับผิวโพลียูรีเทนในแปลงทดสอบกลางแจ้ง

ใช้มอร์ตาร์แข็งตัวเร็วทำการปรับระดับพื้นหนา 2 มิลลิเมตร โดยใช้ส่วนผสมที่ให้ผลของกำลังอัดดีที่สุด คือ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.35 ปริมาณซีเมนต์ 588 กก./ลบ.ม. ปริมาณสารลดน้ำอย่างมากร้อยละ 1.2 และสารเร่งการก่อตัวร้อยละ 0.28 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ หลังจากนั้นทิ้งไว้จนมอร์ตาร์แข็งตัว เคลือบผิวด้วยโพลียูรีเทน ให้มีความหนา 2 มิลลิเมตร ทดสอบทั้งหมด 4 แปลง โดยแปลงที่ 1 โดนแสงอาทิตย์ตลอดวัน แปลงที่ 2 โดนแสงอาทิตย์ช่วงเช้าถึงบ่าย แปลงที่ 3 โดนแสงอาทิตย์ช่วงบ่ายถึงเย็น แปลงที่ 4 ไม่โดนแสงอาทิตย์ตลอดวัน

หลังจากดูผลเป็นเวลามากกว่า 5 เดือน พบว่าทั้ง 4 แปลง พื้นผิวยึดเกาะกันได้ดีไม่มีการหลุดกะเทาะของผิวหน้า ดังแสดงในรูปที่ 7 และ 8



รูปที่ 7 การทดสอบการใช้งานร่วมกันของมอร์ตาร์แข็งตัวเร็วกับผิวโพลียูรีเทนในแปลงทดสอบกลางแจ้ง



รูปที่ 8 แปลงทดสอบทั้ง 4 แปลงหลังจากผ่านไป 5 เดือน

4.4 ผลการทดสอบใช้งานมอร์ตาร์แข็งตัวเร็ว ปรับระดับพื้นเคลือบด้วยผิวโพลียูรีเทนในแปลงทดสอบ

นำมอร์ตาร์แข็งตัวเร็วไปใช้ในการปรับผิวของพื้นที่ลานจอดรถของโรงงานแห่งหนึ่งในกรุงเทพมหานคร แล้วเคลือบด้วยผิวโพลียูรีเทน มีพื้นที่ทดสอบทั้งหมด 30 ตร.ม. มีรถยนต์ที่มีน้ำหนัก 1.9 ตัน เข้าไปใช้งานจริงโดยการขนวัสดุไปหน้างานทุกวันและจอดทิ้งไว้ในเวลากลางคืน ส่วนพื้นที่ที่เหลือใช้สำหรับวางถังวัสดุ แปลงทดสอบมีทั้งพื้นที่โดนแสงอาทิตย์ 9 ตร.ม. และพื้นที่ไม่โดนแสงอาทิตย์ 21 ตร.ม.

ในวันที่ทำการทดสอบมีอุณหภูมิเฉลี่ย 29°C จึงใช้มอร์ตาร์ส่วนผสม MT2 ในการทดสอบ จากการเก็บตัวอย่างมอร์ตาร์แข็งตัวเร็วไปทำการทดสอบ พบว่า ที่อายุ 7 และ 24 ชั่วโมง มอร์ตาร์แข็งตัวเร็วมีกำลังอัดอยู่ที่ 342 และ 437 กก./ตร.ซม. ซึ่งมากกว่าข้อกำหนดทางวิศวกรรมที่ต้องการ และผลการทดสอบหลังจากการใช้งานเป็นเวลา มากกว่า 4 เดือน พบว่ายังสามารถใช้งานได้ดี ไม่มีความเสียหายเกิดขึ้น



รูปที่ 9 การทดสอบใช้งานมอร์ตาร์แข็งตัวเร็วปรับระดับพื้นเคลือบด้วยผิวโพลียูรีเทนและทดลองใช้งานจริง

4.5 การเปรียบเทียบราคาต้นทุนของ มอร์ตาร์แข็งตัวเร็วกับวัสดุผสมโพลียูรีเทน

จากผลการทดสอบหาประสิทธิภาพส่วนผสมที่เหมาะสมของมอร์ตาร์ในการใช้งานเป็นพื้นปรับระดับแทนการใช้วัสดุผสมโพลียูรีเทน ได้นำผลดังกล่าวมาทำการคำนวณเปรียบเทียบงบประมาณในการปรับระดับ โดยลองคิดในกรณีการทำพื้นปรับระดับหนา 2 มิลลิเมตร ในพื้นที่ 100 ตารางเมตร ได้ผลดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 งบประมาณในการทำพื้นปรับระดับโดยการใช้มอร์ตาร์แข็งตัวเร็ว

ส่วนผสม	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต่อหน่วย (บาท)	รวม (บาท)
ปูนซีเมนต์	117.6	กก.	2.2	258.72
ทราย	305.21	กก.	0.22	67.15
สารลดน้ำอย่าง มาก	1.41	กก.	14.17	19.98
สารเร่งการก่อตัว	0.33	กก.	28	9.24
ค่าแรง	0.2	ลบ.ม.	426	85.2
รวมราคา				440.29

หมายเหตุ: - ราคาจ้างเหมางานปรับพื้นด้วยโพลียูรีเทนในพื้นที่ กทม. 110 บาท/ตร.ม. รวมราคาเป็น 11,000 บาท

- ค่าแรงคิดจาก บัญชีค่าแรงงาน/ดำเนินการสำหรับถอดแบบคำนวณราคางานก่อสร้าง กรมบัญชีกลาง ปรับปรุง 3 มี.ค. 66

- ราคาค่าดำเนินการอาจมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นกับผู้ประกอบการ

จากตารางที่ 9 จะเห็นได้ว่ามอร์ตาร์แข็งตัวเร็วมีราคาที่ถูกกว่าวัสดุผสมโพลียูรีเทนมาก ดังนั้น การใช้มอร์ตาร์มาแทนที่วัสดุผสมโพลียูรีเทนในการปรับระดับพื้นจึงสามารถลดต้นทุนการผลิตได้เป็นอย่างมาก ด้วยเหตุนี้จึงสามารถเพิ่มความหนาของมอร์ตาร์แข็งตัวเร็วเพื่อลดความเสี่ยงที่จะเกิดการเสียหายได้

5. สรุป

จากการวิจัย สามารถสรุปผลได้ ดังนี้

1. การเติมสารลดน้ำอย่างมาก และสารเร่งการก่อตัวสามารถทำให้มอร์ตาร์มีกำลังอัดในช่วงต้นที่สูงขึ้นได้ โดยประสิทธิภาพส่วนผสมที่เหมาะสมต่อการใช้งานปรับระดับพื้นก่อนเคลือบด้วยผิวโพลียูรีเทนมากที่สุดคือ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.35 ปริมาณซีเมนต์ 588 กก./ลบ.ม. ปริมาณสารลดน้ำอย่างมากร้อยละ 1.2 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ สารเร่งการก่อตัวร้อยละ 0.28 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์

2. มอร์ตาร์แข็งตัวเร็วจะมีกำลังอัดมากกว่าวัสดุผสมโพลียูรีเทน ในขณะที่กำลังดึงจะต่ำกว่า

3. ในการทดสอบใช้งานมอร์ตาร์แข็งตัวเร็วเป็นพื้นปรับระดับ แทนการใช้วัสดุผสมโพลียูรีเทนแบบเดิมแล้วเคลือบผิวด้วยโพลียูรีเทน พบว่าสามารถใช้งานได้ดีตามสภาพการใช้งานจริง ไม่มีการหลุดกะเทาะเกิดขึ้น

4. การใช้งานมอร์ตาร์แข็งตัวเร็วเป็นพื้นปรับระดับแทนวัสดุผสมโพลียูรีเทน สามารถช่วยลดต้นทุนในการทำพื้นปรับระดับได้มาก

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยรังสิตที่อนุญาตให้ใช้ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือทดสอบโดยมีอาจารย์วินัย อวยพรประเสริฐ และอาจารย์ธีรพงษ์ ลีสนกุล ให้คำปรึกษาและแนะนำอย่างใกล้ชิด รวมถึงนายธนวัฒน์ ทาทอง ผู้ช่วยทำการวิจัยครั้งนี้ให้เป็นไปตามแผนโดยสมบูรณ์

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Abhijit D, Prakash M. A brief discussion on advances in polyurethane applications. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*. 2020;3(3):93-101.

[2] Changthong T, Hitmengsong K, Boonruangsri N. Concrete Pavement for Urgent Usage [senior project]. Pathumthani: Rangsit University; 2019. (in Thai)

[3] Sukontasukkul P. Concrete. Bangkok: Wankawee Publisher; 2013.

[4] Ramachandran VS, Paroli RM, Beaudoin JJ, Delgado AH. Handbook of thermal analysis of construction materials. New York: Noyes Publication; 2002.

[5] Tanasagul R, Pantongsuk T, Srichumpong T, Junsomboon J, Prakayapan W, Chaysuwan D. Effect of zeolite on early strength of portland cement mortars. *Key Engineering Materials*. 2019;798:358-63.

[6] Maj M, Ubysz A, Tamrazyan A. Durability of polyurethane - cement floors. *MATEC Web Conf*. 2018;251(2).

[7] ASTM C494/C494M-99a: Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete. *Annual Book of ASTM Standards*. Vol. 04.02. Philadelphia; 2001. p. 261-69.

[8] Kamollertvara K, Ouyompasert W. Determination of the target mean values for mass production from the specifications for common distribution in civil engineering. *Journal of Engineering, RMUTT*. 2019;17(2):49-62. (in Thai)

[9] ASTM C188, Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement, ASTM International, West Conshohocken, PA; 2017.

[10] ASTM C127-01, Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate, ASTM International, West Conshohocken, PA; 2001.

[11] ASTM C33/C33M-18, Standard Specification for Concrete Aggregates, ASTM International, West Conshohocken, PA; 2018.

[12] ACI211.1-91: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete. *ACI Manual of Concrete Practice*. Part 1. Michigan; 1991.

[13] ASTM C230, Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement. *Annual Book of ASTM Standards*. Vol.04.01. West Conshohocken; 2001.

[14] ASTM C109/C109M, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars, *Annual Book of ASTM Standards*. Vol. 04.01. Philadelphia; 2001.

[15] ASTM C190, Standard Test Method for Tensile Strength of Hydraulic Cement Mortars. *Annual Book of ASTM Standards*. Vol.04.01. West Conshohocken; 2001.

[16] ASTM D638, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. ASTM International, West Conshohocken; 2014.

[17] Ramachandran VS and Feldman RF. *Cement Science, Concrete Admixtures Handbook*, William Andrew Publishing; 1995.

การศึกษาปัจจัยความล่าช้าและแนวทางป้องกันในทัศนคติของผู้รับเหมาก่อสร้าง โครงการหมู่บ้านจัดสรรในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล

จารุวัฒน์ พันธุ์จินดาวรรณ¹ กิตติพงษ์ สุวีโร^{1*} และวุฒิพงศ์ เมืองน้อย²

jaruwat_p@mail.rmutt.ac.th¹, kittipong.s@en.rmutt.ac.th^{2*}, wutthipong.mou@kmutt.ac.th²

^{1*} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

² ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

(Received: 18-Apr-2023 Revised: 17-Jul-2023 Accepted: 24-Jul-2023)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาทัศนคติของผู้รับเหมาก่อสร้างต่อปัจจัยความล่าช้างานก่อสร้าง และแนวทางการป้องกันความล่าช้าในโครงการหมู่บ้านจัดสรรในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล เป็นการวิจัยเชิงปริมาณโดยใช้แบบสอบถาม ทำการสุ่มตัวอย่างอย่างง่ายร่วมกับสูตรคำนวณขนาดตัวอย่างของยามาเนได้จำนวนโครงการ 86 โครงการ จากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 110 โครงการ โดยใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ดัชนีชี้วัดลำดับความสำคัญ (Relative Importance Index: RII) และการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis: FA) ผลจากการศึกษาทัศนคติของผู้รับเหมาก่อสร้างพบว่าปัจจัยความล่าช้าที่มีความสำคัญ 3 อันดับแรกได้แก่ 1) การขาดช่างที่มีฝีมือหรือความชำนาญในการทำงาน 2) การจัดส่งวัสดุก่อสร้างล่าช้า 3) การเปลี่ยนแปลงราคาวัสดุก่อสร้าง เมื่อนำปัจจัยความล่าช้างานก่อสร้างทั้งหมด 33 ปัจจัย มาจัดกลุ่มใหม่โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบ (FA) ได้ 8 กลุ่มปัจจัย ได้แก่ 1) ปัจจัยด้านการบริหารงาน และความเสี่ยง 2) ปัจจัยด้านแรงงาน 3) ปัจจัยภายนอก 4) ปัจจัยด้านการสื่อสาร และติดต่อประสานงาน 5) ปัจจัยด้านงบประมาณก่อสร้าง 6) ปัจจัยด้านการวางแผนงานก่อสร้าง 7) ปัจจัยด้านการจัดการผู้รับเหมา 8) ปัจจัยด้านกฎระเบียบข้อบังคับ และสัญญา และทางคณะผู้วิจัยได้เสนอแนวทางการป้องกันความล่าช้าของแต่ละกลุ่มไว้เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้รับเหมาได้เห็นปัญหาที่เกิดขึ้นและช่วยลดความเสียหายที่เกิดจากความล่าช้าในงานก่อสร้าง

คำสำคัญ: ความล่าช้างานก่อสร้าง หมู่บ้านจัดสรร ผู้รับเหมาก่อสร้าง ปัจจัยความล่าช้า การป้องกันความล่าช้างานก่อสร้าง

A Study of Delay Factors and Preventive Guidelines in the Attitudes of Construction Contractors for Housing Projects in Bangkok and its Vicinity

Jaruwat Panjindawan¹, Kittipong Suweero^{1*} and Wutthipong Muengnoi²
jaruwat_p@mail.rmutt.ac.th¹, kittipong.s@en.rmutt.ac.th^{1*}, wutthipong.mou@kmutt.ac.th²

¹ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

² Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi

(Received: 18-Apr-2023 Revised: 17-Jul-2023 Accepted: 24-Jul-2023)

Abstract

This research aims to investigate contractors' attitudes towards factors causing construction delays and measures for prevention of construction delays in Bangkok and its vicinity. In particular, quantitative research was adopted. A questionnaire was administered to collect the data from 86 housing projects selected through simple random sampling based on Yamane's formula for sample size determination. Statistics used to analyze the data included the relative importance index (RII) and factor analysis (FA). The results demonstrated that the three most notable factors contributing to construction delays were identified as: 1) a shortage of skilled or experienced workers; 2) delayed delivery of construction materials; and 3) changes in the prices of construction materials. In addition, all 33 factors of construction delays were thematically classified into eight categories of factors by using factor analysis (FA) as follows: 1) project and risk management; 2) labor; 3) external factors; 4) communication and coordination; 5) construction budgets; 6) construction planning; 7) contractor management; and 8) laws, regulations and contracts. Moreover, measures for prevention of construction delays are proposed to enable contractors to recognize the problems and to minimize the potential damage attributed to delays in construction.

Keywords: construction delays, housing estate, contractors, contractors, factors of delays, prevention of construction delays

1. บทนำ

ความล่าช้า (Delay) หมายถึง การเลื่อนกิจกรรมที่กำหนดไว้ออกไปโดยที่ไม่ได้วางแผนเนื่องจากสาเหตุบางประการหรือเหตุการณ์ที่ขัดขวางในการทำงาน [1] หรือหมายถึง การที่ไม่สามารถดำเนินการตามกำหนดเวลาหรือสัญญาที่กำหนดได้ [2-3] ซึ่งเห็นได้ว่า การสิ้นสุดของโครงการก่อสร้างตามเวลาที่กำหนดถือเป็นตัวแปรที่สามารถชี้วัดความสำเร็จหรือความล้มเหลวในการบริหารโครงการได้ [4] ดังนั้น การป้องกันการเกิดปัญหาความล่าช้า หรือการลดความเสียหายจากความล่าช้าในการดำเนินโครงการจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ [5-6] โดยเฉพาะอย่างยิ่งความล่าช้าในการก่อสร้างโครงการบ้านจัดสรรในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล ซึ่งปัจจุบันมีแนวโน้มเติบโตเพิ่มขึ้นทุกปีเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากร การย้ายถิ่นฐาน และการขยายตัวของอุตสาหกรรม ทำให้ความต้องการที่อยู่อาศัยในพื้นที่ดังกล่าวเพิ่มมากขึ้น [7] ทั้งนี้การก่อสร้างบ้านจัดสรรล่าช้าหรือก่อสร้างไม่เสร็จตามระยะเวลาที่กำหนดในสัญญา จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อผู้เกี่ยวข้องหลายฝ่าย เช่น ผู้ว่าจ้างหรือเจ้าของโครงการไม่สามารถส่งมอบบ้านทำให้บริษัทขาดรายได้ ลูกค้านำไม่บ้านตามระยะเวลาที่ต้องการทำให้อาจมีค่าใช้จ่ายด้านที่อยู่อาศัยเพิ่มขึ้น ผู้รับเหมาต้องแบกรับค่าปรับ และต้นทุนทรัพยากรที่เพิ่มสูงขึ้น เป็นต้น

จากปัญหาความล่าช้าในโครงการก่อสร้างบ้านจัดสรรดังกล่าว ผู้รับเหมาก่อสร้างเป็นผู้ที่มีความเกี่ยวข้องและรับรู้ถึงสาเหตุของปัญหามากที่สุด ผลการศึกษาทัศนคติของผู้รับเหมาก่อสร้างโครงการหมู่บ้านจัดสรรในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑลที่มีต่อการเกิดความล่าช้า ตลอดจนแนวทางการป้องกันที่ได้ จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อลดโอกาสที่จะเกิดปัญหาความล่าช้า หรือลดความเสียหายจากปัญหาความล่าช้าได้อย่างกว้างขวาง

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษา และจัดลำดับปัจจัยที่ทำให้เกิดความล่าช้าในการก่อสร้างโครงการหมู่บ้านจัดสรร

ในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑลจากทัศนคติของผู้รับเหมาก่อสร้าง

2.2 เพื่อจัดกลุ่มปัจจัยที่ทำให้เกิดความล่าช้าในการก่อสร้างโครงการหมู่บ้านจัดสรรในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑลจากทัศนคติของผู้รับเหมาก่อสร้าง พร้อมทั้งเสนอแนวทางการแก้ไข

3. วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้เป็น การวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) โดยใช้แบบสอบถามในการเก็บข้อมูล ซึ่งวิธีการดำเนินงานสามารถสรุปได้ดังนี้

3.1 การรวบรวมปัจจัยความล่าช้า

ดำเนินการศึกษา ค้นคว้า และรวบรวมปัจจัยที่เป็นสาเหตุของความล่าช้าในการดำเนินโครงการก่อสร้างต่างๆ จากบทความในวารสาร และการประชุมวิชาการทั้งระดับชาติ และนานาชาติ จนได้ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของความล่าช้า จำนวน 33 ปัจจัย ดังตารางที่ 2

3.2 ประชากรที่ใช้ในการศึกษา

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาคั้งนี้ คือ ผู้รับเหมาก่อสร้างโครงการหมู่บ้านจัดสรร ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร และปริมณฑลทั้งหมด จำนวน 110 โครงการ ซึ่งได้จากข้อมูลการขออนุญาตจัดสรรที่ดินจากกรมที่ดินในปี พ.ศ.2563 ทั้งบ้านเดี่ยว บ้านแฝด และทาวน์โฮม (หรือทาวน์เฮาส์ หรือบ้านแถว)

3.3 การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างของผู้รับเหมาก่อสร้างโครงการหมู่บ้านจัดสรร ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร และปริมณฑลทั้งหมดจากประชากรทั้งหมด 110 โครงการนั้น สามารถคำนวณได้ตามสมการของยามาเน่ (Yamane)

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} \quad (1)$$

เมื่อ n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

N = ขนาดของประชากร

e = ความคลาดเคลื่อน ($e = 0.05$)

จากการคำนวณดังกล่าวที่ค่าความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทำให้ได้ขนาดหรือจำนวนตัวอย่างที่ต้องศึกษา จำนวน 86 ตัวอย่าง หรือโครงการหมู่บ้านจัดสรร จำนวน 86 โครงการ กำหนดให้ตัวแทนผู้รับเหมาก่อสร้างที่ตอบแบบสอบถาม 1 คน จาก 1 โครงการ

3.4 การสร้างเครื่องมือ

สร้างแบบสอบถาม แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนที่ 1 เป็นคำถามปลายปิดเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนที่ 2 เป็นคำถามปลายปิดเกี่ยวกับทัศนคติของผู้ตอบแบบสอบถามที่มีต่อปัจจัยหรือสาเหตุที่ทำให้โครงการก่อสร้างบ้านจัดสรรเกิดความล่าช้า จำนวน 33 ปัจจัย ที่ได้จากการค้นคว้ารวบรวม โดยใช้ระดับความเห็นด้วย 5 ระดับ ของลิเคิร์ท (Likert Scale) ได้แก่ ระดับ 5 เห็นด้วยมากที่สุด ระดับ 4 เห็นด้วยมาก ระดับ 3 เห็นด้วยปานกลาง ระดับ 2 เห็นด้วยน้อย และระดับ 1 เห็นด้วยน้อยที่สุด และส่วนที่ 3 เป็นคำถามปลายเปิดเพื่อให้ข้อเสนอแนะ

3.5 การตรวจสอบเครื่องมือ

ทำการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องมือหรือเนื้อหา โดยให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน ประกอบด้วย อาจารย์ที่มีความเชี่ยวชาญในการก่อสร้างจากภาควิชาวิศวกรรมโยธา จำนวน 2 ท่าน และผู้จัดการโครงการก่อสร้างหมู่บ้านจัดสรร จำนวน 3 ท่าน จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าความเที่ยงตรง โดยคำนวณจากความสอดคล้องระหว่างปัจจัยที่ต้องการวัดกับคำถามที่สร้างขึ้นด้วยดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถาม และวัตถุประสงค์ (Item-Objective Congruence Index; IOC) กำหนดค่าคะแนนระดับความสอดคล้องดังนี้ 1 = สอดคล้อง, 0 = ไม่แน่ใจ, -1 = ไม่สอดคล้อง ทำการตรวจสอบปัจจัยความล่าช้าทั้งหมด 33 ปัจจัย จากสมการดังนี้

$$IOC = \frac{\sum R}{n} \quad (2)$$

เมื่อ R = ผลรวมค่าคะแนนระดับความสอดคล้องของผู้เชี่ยวชาญทุกท่านต่อปัจจัย
 n = จำนวนผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด

โดยค่า IOC จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ซึ่งปัจจัยที่มีความเที่ยงตรงของเนื้อหา ควรมีค่า IOC เข้าใกล้ 1 ส่วนปัจจัยที่มีค่า IOC ต่ำกว่า 0.5 ถือว่าไม่มีความเที่ยงตรงของเนื้อหาและต้องตัดออก โดยผลการตรวจสอบพบว่า ปัจจัยทั้ง 33 ปัจจัย มีค่า IOC มากกว่า 0.5 หรือมีความเที่ยงตรงของเนื้อหาทั้งหมด ดังตารางที่ 2

จากนั้นทำการตรวจสอบความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม โดยใช้สัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha Coefficient) ด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics เวอร์ชัน 28 โดยใช้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 ตัวอย่าง พบว่า แบบสอบถามมีค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค เท่ากับ 0.942 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.7 จึงถือว่าแบบสอบถามมีความน่าเชื่อถือ

3.6 การสุ่มตัวอย่างและการเก็บข้อมูล

ทำการสุ่มตัวอย่าง หรือรายชื่อของโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่ต้องตอบแบบสอบถาม จำนวน 86 ตัวอย่าง จากประชากร จำนวน 110 ตัวอย่าง โดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple random sampling) ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel 2016 จากนั้นติดต่อส่งเอกสารแบบสอบถามไปยังกลุ่มตัวอย่างทางจดหมาย อีเมล โทรศัพท์ หรือเดินทางไปสอบถามด้วยตนเอง เพื่อให้กลุ่มตัวอย่างตอบแบบสอบถาม

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อรวบรวมแบบสอบถามจากกลุ่มตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว จึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลดังนี้

3.7.1 การจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่ทำให้เกิดปัญหาความล่าช้าในโครงการก่อสร้างหมู่บ้านจัดสรร โดยใช้ดัชนีชี้วัดลำดับความสำคัญ (Relative Importance Index, RII) ดังสมการที่ 3

$$RII = \frac{\sum w}{A \times N} \quad (3)$$

เมื่อ w = ค่าระดับที่ได้จากผู้ตอบแบบสอบถาม ($w = 1$ ถึง 5)
 A = ค่ามากที่สุดของระดับตัวเลือก ($A = 5$)
 N = จำนวนผู้ตอบแบบสอบถาม

3.7.2 การจัดกลุ่มปัจจัยที่เป็นสาเหตุของความล่าช้าในงานก่อสร้าง เป็นการใชโปรแกรม IBM SPSS Statistics เวอร์ชัน 28 มาวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis: FA) ด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Components Analysis, PCA) และตรวจสอบความเหมาะสมในการจัดกลุ่มด้วยวิธี Kaiser–Meyer–Olkin (KMO) ดังสมการที่ 4 หากค่า KMO สูงกว่า 0.5 แสดงว่าข้อมูลมีความเหมาะสมในการจัดกลุ่มด้วยวิธีดังกล่าวได้

$$KMO = \frac{\sum_{i \neq j} \sum r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} \sum r_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} \sum a_{ij}^2} \quad (4)$$

เมื่อ r_{ij} = ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร i และ j
 a_{ij} = ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร i และ j

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการศึกษาข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม จำนวน 86 คน สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1 พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นเพศชายที่มีอายุระหว่าง 31 – 40 ปี สำเร็จการศึกษาระดับ ปวส./อนุปริญญา ปฏิบัติงานอยู่ในฝ่ายผู้รับเหมาหลัก มีประสบการณ์ในการก่อสร้างประมาณ 11 – 15 ปี ปัจจุบันทำการก่อสร้างโครงการหมู่บ้านจัดสรรที่มีมูลค่า 100 – 500 ล้านบาท ลักษณะโครงการเป็นบ้านเดี่ยว โดยมีจำนวนยูนิตในโครงการระหว่าง 50 – 100 ยูนิต

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ข้อมูล	จำนวน	
	(คน)	(ร้อยละ)
เพศ		
- ชาย	77	89.53
- หญิง	9	10.47
อายุ		
- 20 – 30 ปี	4	4.65
- 31 – 40 ปี	52	60.47
- 41 – 50 ปี	27	31.40
- 51 – 60 ปี	3	3.49
การศึกษา		
- ปวช./มัธยมศึกษาตอนปลาย	7	8.14
- ปวส./อนุปริญญา	50	58.14
- ปริญญาตรี	24	27.91
- ปริญญาโท	5	5.81
ประเภทผู้รับเหมา		
- ผู้รับเหมาหลัก	73	84.88
- ผู้รับเหมาย่อย	13	15.12
ประสบการณ์ในการก่อสร้าง		
- น้อยกว่า 5 ปี	4	4.65
- 5 – 10 ปี	2	2.33
- 11 – 15 ปี	55	63.95
- 16 – 20 ปี	16	18.60
- 21 – 25 ปี	5	5.81
- 26 – 30 ปี	1	1.16
- มากกว่า 30 ปี	3	3.49
มูลค่าโครงการปัจจุบันที่ทำอยู่		
- น้อยกว่า 100 ล้านบาท	12	13.95
- 100 – 500 ล้านบาท	67	77.91
- 500 – 1,000 ล้านบาท	6	6.98
- มากกว่า 1,000 ล้านบาท	1	1.16
ลักษณะโครงการที่ทำอยู่		
- บ้านเดี่ยว	36	41.86
- บ้านแฝด	7	8.14
- บ้านแถว	13	15.12
- บ้านเดี่ยว/ บ้านแฝด	13	15.12
- บ้านแฝด/ บ้านแถว	4	4.65
- บ้านเดี่ยว/ บ้านแฝด	13	15.12
จำนวนยูนิตของโครงการที่ทำอยู่		
- น้อยกว่า 50 ยูนิต	5	5.81
- 50 – 100 ยูนิต	38	44.19
- 100 – 200 ยูนิต	25	29.07
- 200 – 300 ยูนิต	13	15.12
- 300 – 400 ยูนิต	3	3.49
- 400 – 500 ยูนิต	1	1.16
- มากกว่า 500 ยูนิต	1	1.16

ตารางที่ 2 ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา ผลการหาดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ดัชนีชี้วัดลำดับสำคัญ (RII) และการจัดลำดับ

ปัจจัยที่ทำให้เกิดความล่าช้า	เอกสารอ้างอิง	IOC	RII	ลำดับ
F01. ความผิดพลาดของแบบก่อสร้างหรือเอกสารในโครงการ	[13]	0.6	0.685	23
F02. ความล่าช้าในการอนุมัติแบบก่อสร้างหรือวัสดุก่อสร้างที่ใช้	[13]	0.6	0.670	32
F03. การวางแผน และกำหนดเวลาก่อสร้างไม่เหมาะสมหรือไม่ประสิทธิภาพ	[8, 13]	0.8	0.700	10
F04. การจัดการสถานที่ก่อสร้างไม่ดี	[8]	1	0.683	26
F05. การประสานงานกับฝ่ายต่าง ๆ ไม่มีประสิทธิภาพ	[9, 15]	1	0.725	5
F06. ความล่าช้าในการทำงานของผู้รับเหมาช่วง	[13]	1	0.690	20
F07. การขาดช่างที่มีฝีมือหรือความชำนาญในการทำงาน	[9]	1	0.745	1
F08. การจัดส่งวัสดุก่อสร้างล่าช้า	[8]	0.8	0.730	2
F09. ผู้รับเหมามีปัญหาด้านเงินทุนที่ใช้ในการก่อสร้าง	[9, 13, 15]	1	0.713	8
F10. ความล่าช้าในการจ่ายเงินของเจ้าของโครงการ	[13]	1	0.700	10
F11. การตัดสินใจที่ล่าช้าของผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานก่อสร้าง	[8]	1	0.728	4
F12. เกิดภัยพิบัติจากธรรมชาติ เช่น อุทกภัย พายุ แผ่นดินไหว เป็นต้น	[13]	0.8	0.698	16
F13. เจ้าของโครงการเปลี่ยนแปลงคำสั่งหรือแบบก่อสร้างบ่อยครั้ง	[9]	1	0.698	16
F14. สภาพอากาศไม่เหมาะสมกับการทำงาน	[8, 9, 14]	1	0.678	28
F15. การขาดแคลนวัสดุก่อสร้าง	[9]	1	0.675	30
F16. การขออนุญาตดำเนินการก่อสร้างจากหน่วยงานราชการที่ล่าช้า	[8]	1	0.700	10
F17. การทำงานของผู้รับเหมาไม่ตรงตามแผนงานที่ระบุในสัญญา	[14]	0.8	0.700	10
F18. ประสิทธิภาพของผู้รับเหมาไม่เพียงพอ	[8]	1	0.715	7
F19. การควบคุมผู้รับเหมาช่วงที่ไม่เพียงพอ	[8]	0.8	0.718	6
F20. การใช้วิธีการก่อสร้างที่ไม่เหมาะสม	[8, 14]	1	0.693	18
F21. เกิดอุบัติเหตุในโครงการก่อสร้าง	[8, 14]	0.8	0.678	28
F22. เกิดความขัดแย้งกับเจ้าของงานหรือผู้เกี่ยวข้องอื่น	[14]	1	0.675	30
F23. การเปลี่ยนแปลงราคาวัสดุก่อสร้าง	[8]	0.6	0.730	2

ตารางที่ 2 ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา ผลการหาดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ดัชนีชี้วัดลำดับสำคัญ (RII) และการจัดลำดับ (ต่อ)

ปัจจัยที่ทำให้เกิดความล่าช้า	เอกสารอ้างอิง	IOC	RII	ลำดับ
F24. การสำรวจสภาพพื้นที่ก่อสร้างที่ไม่เพียงพอ	[8]	0.6	0.685	23
F25. การขาดแคลนผู้เชี่ยวชาญในการใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์เฉพาะทาง	[8]	0.8	0.710	9
F26. โครงสร้างองค์กรไม่เหมาะสม	[8]	0.8	0.685	23
F27. การจัดเก็บวัสดุไม่เหมาะสมทำให้เกิดความเสียหาย	[8]	1	0.693	18
F28. การขาดแรงจูงใจในการทำงานให้เสร็จรวดเร็วของผู้รับเหมาก่อสร้าง	[8, 15]	0.6	0.688	21
F29. การเปลี่ยนแปลงกฎระเบียบหรือกฎหมายของภาครัฐที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้าง	[8]	0.8	0.700	10
F30. ความล่าช้าในการตรวจสอบหรือการรับรองโดยบุคคลที่สาม	[14]	1	0.700	10
F31. การขาดงาน และหยุดงานที่บ่อยเกินไปของผู้รับเหมาก่อสร้าง	[14]	1	0.688	21
F32. การเปลี่ยนแปลงผู้รับเหมาช่วงบ่อยครั้ง	[9, 13]	1	0.683	26
F33. ผู้รับเหมาไม่จำนวนโครงการก่อสร้างมากเกินไป	[9, 13]	1	0.600	33

4.2 ผลการจัดลำดับปัจจัยที่ทำให้เกิดความล่าช้าในการก่อสร้าง

การจัดลำดับปัจจัยที่ทำให้เกิดความล่าช้าในการก่อสร้างโครงการหมู่บ้านจัดสรรในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑลจากทัศนคติของผู้รับเหมาก่อสร้าง โดยใช้ดัชนีชี้วัดลำดับความสำคัญ (RII) สามารถสรุปผลค่าดัชนีชี้วัดลำดับความสำคัญ และจัดลำดับได้ดังตารางที่ 2 โดยปัจจัยที่ผู้รับเหมาก่อสร้างในกรุงเทพมหานคร และปริมณฑลมีทัศนคติว่าทำให้เกิดความล่าช้ามากที่สุดคือ F07 การขาดช่างที่มีฝีมือหรือความชำนาญในการทำงาน มีค่า RII = 0.745 โดยมีความคิดเห็นตรงกับ Hemanta Doloi [8-9] กล่าวไว้ว่าสาเหตุนี้อยู่ในปัจจัยการวางแผนที่ไม่เหมาะสมซึ่งเกิดจากการไม่ได้วางแผนทรัพยากรบุคคลที่มีความชำนาญ หรือมีทักษะที่ตรงกับสายงานนั้น ๆ ซึ่งถ้าช่างไม่มีความชำนาญจะทำให้เกิดงานล่าช้า และไม่เป็นไปตามแผนงานที่วางไว้ ใน

ปัจจุบันช่างที่มีฝีมือหรือมีความชำนาญหายาก และมีจำนวนน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณงานในท้องตลาด ส่วนคณะผู้วิจัยมีความเห็นว่า การขาดช่างฝีมือในการทำงานโดยเฉพาะงานที่ต้องใช้ฝีมือ หรือประสบการณ์นั้น อาจทำให้เกิดความผิดพลาดในงานนั้น เช่น งานการวางท่อระบบสุขาภิบาล เป็นต้น ซึ่งถ้าเป็นช่างที่ประสบการณ์ใหม่ อาจดูแบบไม่ละเอียดทำให้การวางท่อ Sleeve ผิด ต้องกลับมาแก้ไขงานใหม่ทำให้เกิดความล่าช้าในงานก่อสร้างได้ หรือการเก็บสับน้ดักก็ควรต้องใช้ช่างที่มีประสบการณ์ในการผสมสีเพื่อให้สีที่เก็บดูเนียน และสวยงาม

ส่วนสาเหตุรองลงมาคือ F08 การจัดส่งวัสดุก่อสร้างล่าช้า มีค่า $RII = 0.730$ ซึ่งผู้จำหน่ายวัสดุก่อสร้างขาดการวางแผนส่งของวัสดุให้กับทางผู้รับเหมาก่อสร้าง โดยสาเหตุที่ส่งช้าอาจเกิดจากต้นทุนในการทำเปลี่ยนแปลงราคา หรือวัสดุในท้องตลาดขาดแคลน จึงทำให้ไม่สามารถส่งวัสดุได้ตามที่กำหนดไว้ซึ่งเป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้เกิดความล่าช้าในโครงการได้ โดยพบว่ากรณีที่ผู้จำหน่ายวัสดุก่อสร้างส่งของล่าช้าไม่ทันตามกำหนดทำให้พนักงานไม่สามารถทำงานได้ ซึ่งผู้รับเหมาต้องแบกรับต้นทุน ค่าแรงคนงาน อีกทั้งยังส่งมอบงานไม่ทันตามกำหนดของเจ้าของโครงการ เช่น ผู้จำหน่ายอิฐมวลเบาส่งของล่าช้า ทำให้ผู้รับเหมาไม่สามารถทำงานในกิจกรรมถัดมา เช่น งานวางท่อระบบไฟฟ้า งานวางท่อระบบประปา งานก่ออาบ ซึ่งส่งผลกระทบต่อหลายงาน ดังนั้นผู้จำหน่ายวัสดุก่อสร้างจะต้องคอยเช็คแผนกับผู้รับเหมา หรือผู้ควบคุมงานก่อสร้างอยู่เสมอเพื่ออัปเดตข้อมูล และผลิตอิฐให้ได้ตามระยะเวลาที่ตกลงกันได้

นอกจากสาเหตุการขาดช่างที่มีฝีมือหรือความชำนาญในการทำงาน และการจัดส่งวัสดุก่อสร้างล่าช้าแล้ว ผู้รับเหมายังเห็นว่า F23 การเปลี่ยนแปลงราคาวัสดุก่อสร้าง เป็นสาเหตุที่มีผลต่อความล่าช้ามากเป็นอันดับที่ 3 เนื่องจาก มีค่า $RII = 0.730$ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jeffrey Boon Hui Yap [10-12] กล่าวว่าปัจจัยนี้จัดอยู่ในกลุ่มของการบริหารความเสี่ยงในงานก่อสร้าง โดยที่ความล่าช้าที่เกิดขึ้นไม่มีความแน่นอน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อต้นทุนของ

โครงการ หรือด้านคุณภาพของวัสดุจะต้องทำความเข้าใจของสาเหตุที่เกิดขึ้น และต้องมีมาตรการจัดการความเสี่ยงอย่างมีประสิทธิภาพซึ่งจะสามารถลดผลกระทบได้ และเพื่อไม่ให้กระทบต่อต้นทุนของโครงการมากเกินไปที่กำหนดไว้ ส่วนในความคิดเห็นของคณะผู้วิจัยพบว่า การเปลี่ยนแปลงราคาวัสดุก่อสร้างมีผลโดยตรงทั้งต่อเจ้าของโครงการ และผู้รับเหมา ซึ่งราคาวัสดุก่อสร้างที่มีการเปลี่ยนแปลงมีสาเหตุหลักมาจากต้นทุนวัตถุดิบสำคัญราคาสูงขึ้น เช่น น้ำมัน เหล็ก และอลูมิเนียม เป็นต้น ซึ่งมีผลมาจากสถานการณ์ความรุนแรงในต่างประเทศ และการลดกำลังผลิตของกลุ่มประเทศที่ผลิต ดังนั้นสาเหตุที่กล่าวมาข้างต้นไม่สามารถควบคุมได้จึงต้องมีมาตรการจัดการความเสี่ยงนี้ที่จะเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ

ส่วนสาเหตุที่มีผลต่อความล่าช้าในทัศนคติของผู้รับเหมาน้อยที่สุดคือ F33. ผู้รับเหมามีจำนวนโครงการก่อสร้างมากเกินไปมีค่า $RII = 0.600$ เพราะผู้รับเหมาไม่ประเมินความสามารถของตนเองทำให้รับงานเกินตัว ขาดสภาพคล่องทางการเงินทำให้หมุนเงินไม่ทัน และไม่สามารถนำเงินไปใช้จ่ายกับโครงการที่ผู้รับเหมาทำงานไปแล้ว พนักงานไม่สามารถดำเนินการก่อสร้างได้ จึงทำให้ผู้รับเหมาไม่สามารถส่งงวดงานได้ และเป็นแบบนี้หลาย ๆ โครงการ ถ้าไม่มีเงินสดมาหมุนอาจทำให้บริษัทของผู้รับเหมาล้มละลายได้ ดังนั้นผู้รับเหมาควรประเมินสภาพทางการเงิน และความสามารถของตัวเองก่อนที่จะรับงาน ส่วนสาเหตุที่มีผลต่อความล่าช้ารองลงมาคือ F02. ความล่าช้าในการอนุมัติแบบก่อสร้างหรือวัสดุก่อสร้างที่ใช้มีค่า $RII = 0.670$ ส่วนสาเหตุที่มีผลต่อความล่าช้าในงานก่อสร้างน้อยเป็นอันดับที่ 3 คือ F15. การขาดแคลนวัสดุก่อสร้างมีค่า $RII = 0.675$ และ F22. เกิดความขัดแย้งกับเจ้าของงานหรือผู้เกี่ยวข้องอื่นมีค่า $RII = 0.675$

4.3 ผลการจัดกลุ่มปัจจัยที่ทำให้เกิดความล่าช้าในการก่อสร้าง และแนวทางการแก้ไข

การนำปัจจัยที่ทำการศึกษาทั้ง 33 ปัจจัย ไปประยุกต์ใช้เพื่อลดโอกาสที่จะเกิดปัญหาความล่าช้าหรือลดความเสียหายจากปัญหาความล่าช้านั้น เป็นสิ่งที่ทำได้ยาก เนื่องจากจำนวนปัจจัยที่มากเกินไปจะทำ

ให้ผู้รับเหมาก่อสร้างไม่สามารถวางแผนกำหนดกลยุทธ์หรือควบคุมการทำงานได้อย่างทั่วถึง จึงมีการนำสาเหตุทั้ง 33 ปัจจัยมาจัดกลุ่มด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis: FA) ดังตารางที่ 3 พบว่า สามารถจัดกลุ่มปัจจัยได้ 8 กลุ่ม โดยมีค่า KMO เท่ากับ 0.837 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 และมากกว่า 0.5 แสดงว่าการจัดกลุ่มดังกล่าวมีความเหมาะสม โดยกลุ่มปัจจัยที่จัดทั้ง 8 กลุ่ม ประกอบด้วยกลุ่มต่างๆ ดังนี้

4.3.1 กลุ่มที่ 1 ด้านการบริหารงานและความเสี่ยง เป็นกลุ่มที่สามารถอธิบายความผันแปรได้มากที่สุด โดยอธิบายความผันแปรได้ร้อยละ 11.469 ประกอบด้วย F22. เกิดความขัดแย้งกับเจ้าของงานหรือผู้เกี่ยวข้องอื่น F26. โครงสร้างองค์กรไม่เหมาะสม F21. เกิดอุบัติเหตุในโครงการก่อสร้าง F12. เกิดภัยพิบัติจากธรรมชาติ เช่น อุทกภัย พายุ แผ่นดินไหว เป็นต้น F27. การจัดเก็บวัสดุไม่เหมาะสมทำให้เกิดความเสียหาย F20. การใช้วิธีการก่อสร้างที่ไม่เหมาะสม F07. การขาดช่างที่มีฝีมือหรือความชำนาญในการทำงาน

4.3.2 กลุ่มที่ 2 ด้านแรงงาน เป็นกลุ่มที่สามารถอธิบายความผันแปรทั้งหมดได้ร้อยละ 10.632 ประกอบด้วย F31. การขาดงานและหยุดงานที่บ่อยเกินไปของผู้รับเหมาก่อสร้าง F32. การเปลี่ยนแปลงผู้รับเหมาช่วงบ่อยครั้ง F28. การขาดแรงจูงใจในการทำงานให้เสร็จรวดเร็วของผู้รับเหมาก่อสร้าง F24. การสำรวจสภาพพื้นที่ก่อสร้างที่ไม่เพียงพอ F19. การควบคุมผู้รับเหมาช่วงที่ไม่เพียงพอ

4.3.3 กลุ่มที่ 3 ด้านปัจจัยภายนอก เป็นกลุ่มที่สามารถอธิบายความผันแปรทั้งหมดได้ร้อยละ 9.830 ประกอบด้วย F14. สภาพอากาศไม่เหมาะสมกับการทำงาน F15. การขาดแคลนวัสดุก่อสร้าง F29. การเปลี่ยนแปลงกฎระเบียบหรือกฎหมายของภาครัฐที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้าง

4.3.4 กลุ่มที่ 4 ด้านการสื่อสารและติดต่อประสานงานเป็นกลุ่มที่สามารถอธิบายความผันแปรทั้งหมดได้ร้อยละ 9.324 ประกอบด้วย F01. ความผิดพลาดของแบบก่อสร้างหรือเอกสารใน

โครงการ F08. การจัดส่งวัสดุก่อสร้างล่าช้า F18. ประสิทธิภาพของผู้รับเหมาไม่เพียงพอ F06. ความล่าช้าในการทำงานของผู้รับเหมาช่วง F11. การตัดสินใจที่ล่าช้าของผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการก่อสร้าง F05. การประสานงานกับฝ่ายต่างๆไม่มีประสิทธิภาพ

4.3.5 กลุ่มที่ 5 ด้านงบประมาณก่อสร้าง เป็นกลุ่มที่สามารถอธิบายความผันแปรทั้งหมดได้ร้อยละ 7.455 ประกอบด้วย F09. ผู้รับเหมา มีปัญหาด้านเงินทุนที่ใช้ในการก่อสร้าง F10. ความล่าช้าในการจ่ายเงินของเจ้าของโครงการ

4.3.6 กลุ่มที่ 6 ด้านการวางแผนงานก่อสร้าง เป็นกลุ่มที่สามารถอธิบายความผันแปรทั้งหมดได้ร้อยละ 7.368 ประกอบด้วย F03. การวางแผนและกำหนดเวลาก่อสร้างไม่เหมาะสมหรือไม่มีประสิทธิภาพ F02. ความล่าช้าในการอนุมัติแบบก่อสร้างหรือวัสดุก่อสร้างที่ใช้ F04. การจัดการสถานที่ก่อสร้างไม่ดี

4.3.7 กลุ่มที่ 7 ด้านการจัดการผู้รับเหมา เป็นกลุ่มที่สามารถอธิบายความผันแปรทั้งหมดได้ร้อยละ 7.271 ประกอบด้วย F23. การเปลี่ยนแปลงราคาวัสดุก่อสร้าง F33. ผู้รับเหมา มีจำนวนโครงการก่อสร้างมากเกินไป F30. ความล่าช้าในการตรวจสอบหรือการรับรองโดยบุคคลที่สาม F25. การขาดแคลนผู้เชี่ยวชาญในการใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์เฉพาะทาง F17. การทำงานผู้รับเหมาไม่ตรงตามแผนงานที่ระบุในสัญญา

4.3.8 กลุ่มที่ 8 ด้านกฎระเบียบข้อบังคับ และสัญญา เป็นกลุ่มที่สามารถอธิบายความผันแปรทั้งหมดได้ร้อยละ 5.828 ประกอบด้วย F16. การขออนุญาตดำเนินการก่อสร้างจากหน่วยงานราชการที่ล่าช้า F13. เจ้าของโครงการเปลี่ยนแปลงคำสั่งหรือแบบก่อสร้างบ่อยครั้ง

จากผลการจัดกลุ่มปัจจัยทั้ง 33 ปัจจัย เป็น 8 กลุ่ม ด้วยการวิเคราะห์ปัจจัย (FA) สามารถอธิบายความผันแปรได้ทั้งหมดรวมได้มากถึงร้อยละ 69.177 ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์ และประยุกต์ใช้เป็นแนวทางการแก้ไขได้โดยที่จำนวนปัจจัยไม่มากนักไป

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ปัจจัย (FA)

ปัจจัยที่ทำให้เกิดความล่าช้า	กลุ่ม 1	กลุ่ม 2	กลุ่ม 3
F22. เกิดความขัดแย้งกับเจ้าของงานหรือผู้เกี่ยวข้องอื่น	0.737		
F26. โครงสร้างองค์การไม่เหมาะสม	0.685		
F21. เกิดอุบัติเหตุในโครงการก่อสร้าง	0.670		
F12. เกิดภัยพิบัติจากธรรมชาติ เช่น อุทกภัย พายุ แผ่นดินไหว เป็นต้น	0.616		
F27. การจัดเก็บวัสดุไม่เหมาะสมทำให้เกิดความเสียหาย	0.557		
F20. การใช้วิธีการก่อสร้างที่ไม่เหมาะสม	0.483		
F07. การขาดช่างที่มีฝีมือหรือความชำนาญในการทำงาน	0.462		
F31. การขาดงาน และหยุดงานที่บ่อยเกินไปของผู้รับเหมาก่อสร้าง		0.809	
F32. การเปลี่ยนแปลงผู้รับเหมาช่วงบ่อยครั้ง		0.765	
F28. การขาดแรงจูงใจในการทำงานให้เสร็จรวดเร็วของผู้รับเหมาก่อสร้าง		0.569	
F24. การสำรวจสภาพพื้นที่ก่อสร้างที่ไม่เพียงพอ		0.522	
F19. การควบคุมผู้รับเหมาช่วงที่ไม่เพียงพอ		0.535	
F14. สภาพอากาศไม่เหมาะสมกับการทำงาน			0.791
F15. การขาดแคลนวัสดุก่อสร้าง			0.734
F29. การเปลี่ยนแปลงกฎระเบียบหรือกฎหมายของภาครัฐที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้าง			0.426
% of Variance	11.469	10.632	9.830
Cumulative %	11.469	22.101	31.931
ปัจจัยที่ทำให้เกิดความล่าช้า	กลุ่ม 4	กลุ่ม 5	กลุ่ม 6
F01. ความผิดพลาดของแบบก่อสร้างหรือเอกสารในโครงการ	0.788		
F08. การจัดส่งวัสดุก่อสร้างล่าช้า	0.542		
F18. ประสิทธิภาพของผู้รับเหมาไม่เพียงพอ	0.541		
F06. ความล่าช้าในการทำงานของผู้รับเหมาช่วง	0.517		
F11. การตัดสินใจที่ล่าช้าของผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานก่อสร้าง	0.425		
F05. การประสานงานกับฝ่ายต่างๆไม่มีประสิทธิภาพ	0.413		
F09. ผู้รับเหมามีปัญหาด้านเงินทุนที่ใช้ในการก่อสร้าง		0.690	
F10. ความล่าช้าในการจ่ายเงินของเจ้าของ		0.660	
F03. การวางแผนและกำหนดเวลาก่อสร้างไม่เหมาะสมหรือไม่มีประสิทธิภาพ			0.740
F02. ความล่าช้าในการอนุมัติแบบก่อสร้างหรือวัสดุก่อสร้างที่ใช้			0.642
F04. การจัดการสถานที่ก่อสร้างไม่ดี			0.576
% of Variance	9.324	7.455	7.368
Cumulative %	41.255	48.710	56.078

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ปัจจัย (FA) (ต่อ)

ปัจจัยที่ทำให้เกิดความล่าช้า	กลุ่ม 7	กลุ่ม 8
F23. การเปลี่ยนแปลงราคาวัสดุก่อสร้าง	0.729	
F33. ผู้รับเหมามีจำนวนโครงการก่อสร้างมากเกินไป	0.613	
F30. ความล่าช้าในการตรวจสอบหรือการรับรองโดยบุคคลที่สาม	0.472	
F25. การขาดแคลนผู้เชี่ยวชาญในการใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์เฉพาะทาง	0.455	
F17. การทำงานของผู้รับเหมาไม่ตรงตามแผนงานที่ระบุในสัญญา	0.407	
F16. การขออนุญาตดำเนินการก่อสร้างจากหน่วยงานราชการที่ล่าช้า		0.769
F13. เจ้าของโครงการเปลี่ยนแปลงคำสั่งหรือแบบก่อสร้างบ่อยครั้ง		0.526
% of Variance	7.271	5.828
Cumulative %	63.349	69.177

หมายเหตุ Extraction Method: Principal Component Analysis. Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization. Rotation converged in 34 iterations.

4.4 ผลการเสนอแนะทางการแก้ไขปัญหาการเกิดความล่าช้าในการก่อสร้าง

คณะผู้วิจัยสามารถนำกลุ่มปัจจัยทั้ง 8 กลุ่มมาเสนอเป็นแนวทางการป้องกันความล่าช้าที่จะเกิดขึ้นต่อโครงการหมู่บ้านจัดสรรในเขตกรุงเทพมหานคร และในปริมณฑลได้ดังต่อไปนี้

4.4.1 กลุ่มปัจจัยที่ 1 ด้านการบริหารงาน และความเสี่ยง ทางคณะผู้วิจัยเสนอแนวทางการป้องกันความล่าช้าที่เกิดจากด้านการบริหารงาน และความเสี่ยง โดยใช้วิธี PDCA หรือ Plan, Do, Check, Action ซึ่งเป็นเครื่องมือใช้บริหารงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังสามารถลดความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นต่อโครงการได้ เช่น กรณีพบปัจจัยที่ทำให้เกิดความล่าช้าต่อโครงการให้ระบุและวิเคราะห์ปัญหา (Plan) ที่เกิดขึ้น จากนั้นปฏิบัติตามแผน (Do) ที่วางไว้ว่าเป็นไปตามแผนหรือไม่ และกลับมาตรวจสอบประเมินแผน (Check) ดังกล่าวว่าเป็นไปตามผลลัพธ์ที่ระบุไว้ถ้าประสบผลสำเร็จนำแผนมาประยุกต์ปรับปรุงให้เหมาะสม (Action) กับสถานการณ์นั้น ๆ ดังนั้น การใช้วิธี PDCA จึงเหมาะแก่การบริหารงาน และลดความเสี่ยงที่เกิดขึ้น

4.4.2 กลุ่มปัจจัยที่ 2 ด้านแรงงาน ทางคณะผู้วิจัยเสนอแนวทางการป้องกันความล่าช้าที่เกิดจากด้านแรงงาน โดยการจัดตั้งกลุ่มหรือบุคคลคอยดูแลด้านแรงงานโดยต้องมีระเบียบแบบแผนที่ชัดเจนเพื่อให้แรงงานปฏิบัติตามข้อกำหนดที่วางไว้ เช่น หยุดงานจะต้องแจ้งล่วงหน้าอย่างน้อย 3 วันเพื่อให้หัวหน้างานจัดแผนงานใหม่ และให้งานดำเนินการต่อไปได้ ส่วนในกรณีผู้รับเหมาช่วงมีการเปลี่ยนงานบ่อย ทางคณะผู้วิจัยเสนอให้หักเงินค่าประกันผลงานไว้เพื่อการันตีผู้รับเหมาช่วงจะไม่ทิ้งงาน และยังสามารถลดความเสี่ยงต่อเจ้าของงานกรณีผู้รับเหมาช่วงทิ้งงานที่ต้องมารับภาระค่าแรงรับเหมา

4.4.3 กลุ่มปัจจัยที่ 3 ด้านปัจจัยภายนอก ทางคณะผู้วิจัยเสนอแนวทางการป้องกันความล่าช้าที่เกิดจากด้านปัจจัยภายนอก โดยให้ผู้ควบคุมงานคอยติดตามสภาพอากาศ เพื่อลดความเสี่ยงในกรณีที่ต้องทำงานกลางแจ้ง เช่น งานโครงสร้างหลังคา งานวางท่อระบบสุขาภิบาล งานก่ออิฐฉาบปูน เป็นต้น ส่วนการขาดแคลนวัสดุให้ผู้ควบคุมงานทำแผนส่งวัสดุล่วงหน้า 1 เดือนเพื่อให้ผู้จำหน่ายวัสดุก่อสร้างเตรียมของทันกำหนดส่ง และคอยอัปเดตกับทางผู้จำหน่ายวัสดุก่อสร้างเป็นประจำซึ่งจะช่วยลดปัญหาวัสดุมาไม่ทันกำหนดอีกทั้งยังช่วยให้งานเป็นไปตามแผนที่ตั้งไว้

4.4.4 กลุ่มปัจจัยที่ 4 ด้านการสื่อสาร และติดต่อประสานงาน ทางคณะผู้วิจัยเสนอแนวทางการป้องกันความล่าช้าที่เกิดจากด้านการสื่อสาร และติดต่อประสานงาน โดยในการสื่อสารหรือประสานงานที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้าง งานเอกสารหรืองานแบบก่อสร้างที่ต้องมีการอนุมัติก่อนทำงาน ต้องมีเอกสารยืนยัน และมีลายเซ็นผู้ที่เกี่ยวข้องเซ็นรับทราบ เพื่อลดปัญหาในกรณีที่ไม่มีคนรับผิดชอบ เพราะการประสานงานถ้าสื่อสารกันผิดพลาดหรือเข้าใจไม่ตรงกันจะก่อให้เกิดความล่าช้าต่อโครงการได้

4.4.5 กลุ่มปัจจัยที่ 5 ด้านงบประมาณก่อสร้าง ทางคณะผู้วิจัยเสนอแนวทางการป้องกันความล่าช้าที่เกิดจากด้านงบประมาณก่อสร้าง โดยให้ผู้รับเหมาจ้างวิศวกรคุมหน้างานที่มี

ประสบการณ์ในงานก่อสร้าง คอยตรวจเช็คงวดงาน ควบคุมคนงานควบคุมคุณภาพของงานให้เป็นไปตามมาตรฐานของผู้ว่าจ้างเพื่อที่จะสามารถส่งงวดงานได้ตามเวลาที่กำหนดและยังช่วยไม่ให้โดนค่าปรับล่าช้าอีกด้วย ดังนั้นเรื่องงบประมาณในงานก่อสร้างจึงมีความสำคัญมากเพราะถ้าไม่มีการบริหารจัดการก็จะทำให้ทั้งระบบในงานก่อสร้างของผู้รับเหมาหยุดชะงัก และยังอาจจะโดนยึดงานได้

4.4.6 กลุ่มปัจจัยที่ 6 ด้านการวางแผนงานก่อสร้าง ทางคณะผู้วิจัยเสนอแนวทางการป้องกันความล่าช้าที่เกิดจากการวางแผนงานก่อสร้าง โดยให้ผู้รับเหมาตรวจเช็คสัญญางานก่อสร้างก่อนที่จะลงนามว่าสัญญา มีความสมเหตุสมผลหรือไม่ การกำหนดการใช้วัสดุ มาตรฐานของงานก่อสร้าง ค่าปรับล่าช้ากรณีที่หมดสัญญา เพราะสิ่งเหล่านี้จะส่งผลโดยตรงต่อผู้รับเหมาบ้านซึ่งบางโครงการมีมาตรฐานที่สูงอาจส่งผลทำให้ผู้รับเหมาขาดช่วงที่มีฝีมือในการทำงาน ในส่วนที่ก่อนจะเริ่มงานก่อสร้างผู้รับเหมาต้องไปตรวจเช็คความเรียบร้อยหน้างานก่อนเสมอเพื่อเจอปัญหาติดขัดจะได้แจ้งเจ้าของโครงการลดปัญหากรณีที่สัญญาเริ่มแล้วแต่ไม่สามารถทำงานได้

4.4.7 กลุ่มปัจจัยที่ 7 ด้านการจัดการผู้รับเหมา ทางคณะผู้วิจัยเสนอแนวทางการป้องกันความล่าช้าที่เกิดจากการจัดการผู้รับเหมาโดยการวางแผนงานก่อสร้างให้มีประสิทธิภาพต้องจัดลำดับงานก่อนหลังตามความสำคัญ และสร้างผังขั้นตอนการทำงานเพื่อทำงานให้เสร็จสมบูรณ์ ผู้รับเหมาต้องคอยประเมินความก้าวหน้างานเกี่ยวกับเป้าหมายงานก่อสร้างให้เสร็จตามที่วางแผนไว้ โดยจะแบ่งการวางแผนไว้มี 4 ขั้นตอนคือ การวางแผนกลยุทธ์ให้ผู้รับเหมาองปัญหาที่เกิดขึ้นว่ามีปัญหาอะไรบ้างที่กระทบต่อความล่าช้างานก่อสร้าง จากนั้นวางแผนยุทธวิธีโดยให้ผู้รับเหมากำหนดวางแผนวัตถุประสงค์ที่ต้องการเพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ จากนั้นวางแผนปฏิบัติการซึ่งต้องคิดวางแผนให้เป็นระบบ และสามารถปฏิบัติตามให้ได้ตามแผนเพื่อให้งานสำเร็จ จากนั้นวางแผนสำรองฉุกเฉินคือการวางแผนเกี่ยวกับ

เหตุการณ์ที่ไม่คาดฝันต้องเตรียมแนวทางการปฏิบัติทันตามสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลง

4.4.8 กลุ่มที่ 8 ด้านกฎระเบียบ ข้อบังคับ และสัญญา ทางคณะผู้วิจัยเสนอแนวทางการป้องกันความล่าช้าที่เกิดจากด้านกฎระเบียบข้อบังคับ และสัญญาผู้รับเหมาต้องศึกษากฎระเบียบข้อบังคับต่างๆ ของหน่วยงานราชการให้เข้าใจ และเรื่องเอกสารต้องเตรียมให้พร้อมครบถ้วนสมบูรณ์เพื่อที่เวลาไปยื่นเอกสารต่อหน่วยงานราชการจะได้ไม่มีปัญหา และมีความรวดเร็วถูกต้อง ส่วนในกรณีที่เจ้าของโครงการมีการเปลี่ยนแปลงแบบก่อสร้างบ่อยให้ทางผู้รับเหมาทำหนังสือยื่นขยายสัญญางานก่อสร้างกับเจ้าของโครงการ เพื่อให้ผู้รับเหมาสามารถทำงานให้เสร็จได้ทันตามกำหนดของสัญญา และไม่โดนค่าปรับงานล่าช้า แต่ทั้งนี้ผู้รับเหมาต้องมีหลักฐานหรือรูปถ่ายหรือบันทึกความก้าวหน้างานเพื่อที่จะคำนวณวันที่จะต่อสัญญาได้ตามความเป็นจริง

5. สรุป

จากการศึกษาปัจจัย และแนวทางการป้องกันปัญหาความล่าช้าในโครงการก่อสร้างหมู่บ้านจัดสรรในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑลของผู้รับเหมาแต่ละโครงการอาจประกอบไปด้วย บ้านเดี่ยว บ้านแฝด และทาวน์โฮม พบว่า ทศนคติของผู้รับเหมาที่ให้ความสำคัญต่อปัจจัยความล่าช้า 3 อันดับแรกคือ 1) การขาดช่างที่มีฝีมือหรือความชำนาญในการทำงาน 2) การจัดส่งวัสดุก่อสร้างล่าช้า 3) การเปลี่ยนแปลงราคาวัสดุก่อสร้าง จากนั้นนำปัจจัยความล่าช้าทั้งหมด 33 ปัจจัยมาจัดกลุ่มใหม่โดยวิธี Factor Analysis สามารถแบ่งกลุ่มปัจจัยได้ทั้งหมด 8 กลุ่ม ได้แก่ ปัจจัยด้านการบริหารงาน และความเสี่ยง ปัจจัยด้านแรงงาน ปัจจัยภายนอก ปัจจัยด้านการสื่อสาร และติดต่อประสานงาน ปัจจัยด้านงบประมาณก่อสร้าง ปัจจัยด้านการวางแผนงานก่อสร้าง ปัจจัยด้านการจัดการผู้รับเหมา และปัจจัยด้านกฎระเบียบข้อบังคับ และสัญญา

นอกจากนี้ทางคณะผู้วิจัยได้เสนอแนวทางการป้องกันความล่าช้าของแต่ละกลุ่มปัจจัยที่กล่าว

มาทั้ง 8 กลุ่ม ซึ่งน่าจะเป็นประโยชน์ต่อผู้รับเหมาที่กำลังจะก่อสร้างโครงการหมู่บ้านจัดสรร ซึ่งจะเป็นการสร้างความตระหนักและการเตรียมแนวทางการแก้ไข ป้องกันปัญหาความล่าช้าที่อาจเกิดขึ้น ซึ่งจะช่วยให้การก่อสร้างของผู้รับเหมาประสบความสำเร็จ หรือลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากความล่าช้าได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณครอบครัวที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนมาโดยตลอด จนทำให้บทความฉบับนี้สำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี คณะผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Business Dictionary. What is delay definition and meaning [Internet]. 2020 [cited 2023 Feb 22]. Available from: <http://www.businessdictionary.com/definition/delay.html>
- [2] Agyekum-Mensah G, Knight AD. The professionals perspective on the causes of project delay in the construction industry. Engineering Construction and Architectural Management. 2017;24(5):828–41.
- [3] Assaf SA, Al-Hejji S. Causes of delay in large construction projects Int. J. Project Manage. 2006;24(4):349–57.
- [4] Arantes A, Ferreira L. Underlying causes and mitigation measures of delays in construction projects an empirical study. Journal of Financial Management of Property and Construction. 2020;25(2):165–81.
- [5] Aziz RF, Hakam A. Exploring delay causes of road construction projects in Egypt. Alexandria Engineering Journal. 2016;55(2):1515–39.
- [6] Durdyyev S, Hosseini MR. Causes of delays on construction projects: a comprehensive list. International Journal of Managing Projects in Business. 2019;13(1):20–46.

- [7] Onsrirombat W. Study of factor that cause building construction delay in the northeast region [Master's thesis]. Nakhon Ratchasima :Suranaree University of Technology;2013.
- [8] Doloi H, Sawhney A, Iyer KC, Rentala S. Analysing factors affecting delays in Indian construction projects. *International Journal of project management*. 2012;30:479–89.
- [9] Sambasivan M, Soon YW. Causes and effects of delays in Malaysian construction industry. *International Journal of project management*. 2007;25:517–26.
- [10] Yap J, Goay P, Woon Y, Skitmore M. Revisiting critical delay factors for construction analysing projects in Malaysia. *Alexandria Engineering Journal*. 2021;60:1717–29.
- [11] Zarei B, Sharifi H, Chaghoeue Y. Delay causes analysis in complex construction projects: a Semantic Network Analysis approach. *Production Planning & Control*. 2018;29(1):29–40.
- [12] Hossen MM, Kang S, Kim J. Construction schedule delay risk assessment by using combined AHP-RII methodology for an international NPP project. *Nuclear Engineering and Technology*. 2015;47(3):362–79.
- [13] Elhusseiny H, Nosair I, Ezeldin A. Systematic processing framework for analyzing the factors of construction projects' delays in Egypt. *Ain Shams Engineering Journal*. 2021 June;12(2):1501-11.
- [14] Aziz R. Ranking of delay factors in construction projects after Egyptian revolution. *Alexandria Engineering Journal*. 2013;52:387–406.
- [15] Alsuliman J. Causes of delay in Saudi public construction projects. *Alexandria Engineering Journal*. 2019;58:801–8.

การพัฒนาแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้วัสดุเหลือทิ้งทาง การเกษตรและส่งเสริมแนวคิดขยะเหลือศูนย์

ภควัต เกอะประสิทธิ์¹ อิทธิ พลิตศิริ^{2*} ปราโมทย์ วีรานุกุล³ และกิตติพงษ์ สุวิโร⁴

pakawat.k@rmutp.ac.th¹, itthi.w@rmutsb.ac.th², pramot.w@rmutp.ac.th³, kittipong.s@en.rmutt.ac.th⁴

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

^{2*} สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

³ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

⁴ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

(Received: 9-May-2023 Revised: 23-Oct-2023 Accepted: 4-Nov-2023)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียน (สายพันธุ์หมอนทอง) สำหรับใช้ในงานวัสดุตกแต่ง ทำการออกแบบส่วนผสมของเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนและกาวไดไอโซไซยานต (pMDI) ที่แตกต่างกันจำนวน 6 อัตราส่วน อัดขึ้นรูปเป็นแผ่นขึ้นไม้อัดโดยใช้ความร้อน 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที ทำการทดสอบตามมาตรฐาน มอก.876-2547 เรื่องแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดราบ จากผลการทดสอบพบว่า แผ่นขึ้นไม้อัดที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้เป็นวัสดุตกแต่ง คือ แผ่นขึ้นไม้อัดที่ควบคุมความหนาแน่น 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ผสมกาวไดไอโซไซยานตร้อยละ 8 และใช้ขนาดเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนผสมระหว่างการไสและการบดย่อย แผ่นขึ้นไม้อัดเทียมดังกล่าวมีค่าความหนาแน่นประมาณ 597.25 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความชื้นร้อยละ 4.48 การพองตัวตามความหนาร้อยละ 5.34 ความต้านทานแรงดัด 6.05 เมกะพาสคัล โมดูลัสยืดหยุ่น 378.25 เมกะพาสคัล และความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า 0.37 เมกะพาสคัล แผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนที่พัฒนาสามารถช่วยเพิ่มมูลค่าและลดปริมาณขยะเหลือทิ้งทางการเกษตรภายในสวนทุเรียนให้หมดไปตามแนวคิดขยะเหลือศูนย์ได้

คำสำคัญ: แผ่นขึ้นไม้อัด เศษกิ่งไม้ต้นทุเรียน วัสดุตกแต่ง กาวไดไอโซไซยานต

Development of Particleboard from Durian Branch Waste for Adding Value to Agricultural Waste Material and Promoting Zero Waste Concept

Pakawat Kerprasit¹ Itthi Plitsiri^{2*} Pramot Weeranukul³ and Kittipong Suweero⁴

pakawat.k@rmutp.ac.th¹, itthi.w@rmutsb.ac.th², pramot.w@rmutp.ac.th³, kittipong.s@en.rmutt.ac.th⁴

¹ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

^{2*} Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

³ Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

⁴ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

(Received: 9-May-2023 Revised: 23-Oct-2023 Accepted: 4-Nov-2023)

Abstract

This research aims to develop particleboard from durian (Monthong variety) branch waste for use as a decorative material. The ratio of durian branch waste to Polymeric Diphenyl Methane Diisocyanate (pMDI) was designed and edited into six ratios with varying amounts of pMDI. The particleboard samples were cast using heat at 150°C for 7 minutes and tested following TIS.876-2004 (particleboard product) standards. According to the results, the particleboards with a density of 600 kg/m³, 8% pMDI, and mixed durian wood chips (shaved wood chips and ground wood chips) were suitable for decoration work. The properties of the particleboard included a density of 597.25 kg/m³, 4.48% moisture, 5.34% thickness swelling, 6.05 MPa bending strength, 378.25 MPa elastic modulus, and 0.37 MPa tensile strength perpendicular to the surface. The developed particleboard from durian branch waste can add value and reduce the amount of agricultural waste left in durian orchards in accordance with the zero waste concept.

Keywords: particleboard, durian branch waste, decoration material, polymeric diphenyl methane diisocyanate

1. บทนำ

แผ่นขึ้นไม้อัด (particleboards) เป็นวัสดุทดแทนไม้เทียมที่เหมาะสมกับการนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุตกแต่ง ทั้งแผ่นฝ้าเพดาน แผ่นกรุตกแต่งผนัง และเฟอร์นิเจอร์ภายในอาคาร วัสดุเหล่านี้ใช้กากเป็นสารเชื่อมประสาน ซึ่งสามารถยึดเส้นใยชนิดต่างๆ ให้เข้ากันสามารถขึ้นรูปได้ทั้งวิธีการอัดราบ (flat pressed particleboards) และวิธีอัดกระทุ้ง (extruded pressed particleboards) เป็นแผ่นไม้ที่มีความสวยงาม คงทน รับแรงได้ น้ำหนักเบา และเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี [1-2] ปัจจุบันความต้องการแผ่นขึ้นไม้อัดมีสูง และทรัพยากรป่าไม้มีจำนวนลดลงอย่างต่อเนื่อง ทำให้แผ่นขึ้นไม้อัดมีแนวโน้มราคาสูงขึ้น และการหาวัสดุทดแทนไม้สำหรับนำมาขึ้นรูปแผ่นขึ้นไม้อัดจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ

จากการสำรวจเศษกิ่งไม้ที่เหลือทิ้งจากการตัดแต่งกิ่ง หรือวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรโดยเฉพาะเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียน ซึ่งประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกและส่งออกมากเป็นอันดับ 1 ของโลก หรือประมาณ 937,607 ไร่ คิดเป็นผลผลิต 1,017,097 ตัน [3] โดยพบว่ากิ่งไม้ต้นทุเรียนเป็นวัสดุที่ไม่ถูกนำไปใช้ประโยชน์เท่าที่ควร และเกษตรกรต้องแบกรับภาระการกำจัดเนื่องจากทางราชการได้ขอความร่วมมือเกษตรกรให้ลดหรือห้ามการกำจัดขยะโดยการเผา เพราะจะส่งผลกระทบต่อมลพิษทางอากาศ แม้ว่าจะมีเกษตรกรบางรายที่นำเศษกิ่งไม้ดังกล่าวไปทำปุ๋ยหมักหรือทำการฝังกลบ แต่ก็ไม่สามารถกำจัดเศษวัสดุขนาดใหญ่ได้ และอาจก่อให้เกิดปัญหาเชื้อราได้

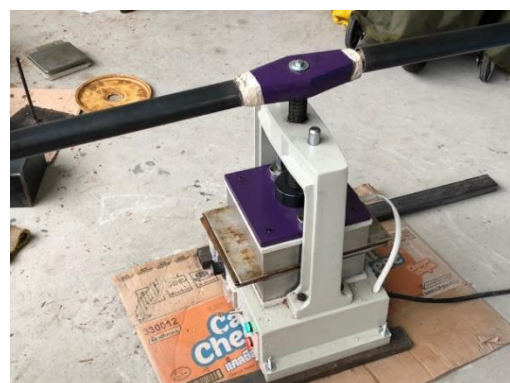
การพัฒนาแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียน จึงเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและส่งเสริมแนวคิดขยะเหลือศูนย์ (Zero Waste) ซึ่งเป็นแนวทางในการลดขยะตั้งแต่ต้นทาง ทำให้ขยะที่จะถูกนำไปกำจัดเหลือน้อยที่สุด ลดต้นทุนการทำเกษตรของเกษตรกร ลดการเผาสร้างมลพิษทางอากาศ ช่วยสร้างอาชีพและรายได้ให้กับคนในชุมชน ส่งเสริมการใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมทั้งในระยะสั้นและระยะยาว นอกจากนี้ยังเชื่อมโยงการท่องเที่ยวหรือภาคบริการอื่นให้เข้มแข็งอีกด้วย

2. วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ ประกอบด้วย เศษกิ่งไม้ต้นทุเรียน สายพันธุ์หมอนทอง จากตำบลไชยราช อำเภอบางสะพานน้อย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ กาวไดไอโซไซยาเนต หรือ กาวชนิด Polymeric Diphenyl Methane Diisocyanate (pMDI) เป็นกาวที่ไม่มีสารฟอร์มาลดีไฮด์ ถึงผสม กากพ่นสีแบบกบับ บีบลม กบไสไม้ไฟฟ้าขนาด 3 นิ้ว เครื่องบดย่อยพลาสติก พร้อมตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะ จำนวน 2 ขนาด ได้แก่ ขนาด 25 มิลลิเมตร และ 10 มิลลิเมตร เครื่องชั่งน้ำหนัก แบบหล่อขนาด 20 x 20 เซนติเมตร หนา 6 มิลลิเมตร อุปกรณ์ช่วยจัดเรียงวัสดุ เหล็กกระทุ้ง และแผ่นเทพล่อน เครื่องขึ้นรูปแผ่นขึ้นไม้อัดด้วยความร้อนชนิดอัดราบ พร้อมท่อนเหล็กช่วยผ่อนแรง ขนาด 1 เมตร จำนวน 2 ท่อน ตู้อบ เครื่องทดสอบแรงกดแบบสากล (universal testing machine, UTM) และ กล้องจุลทรรศน์แบบดิจิทัล



รูปที่ 1 เครื่องบดย่อยพลาสติก พร้อมตะแกรง



รูปที่ 2 เครื่องขึ้นรูปแผ่นขึ้นไม้อัดด้วยความร้อน พร้อมท่อนเหล็กช่วยผ่อนแรง

3. การออกแบบส่วนผสม

ออกแบบอัตราส่วนผสมโดยใช้เศษกิ่งไม้ต้นทุเรียน 1 ส่วนโดยน้ำหนัก ต่อ กาวไดไอโซไซยาเนต (pMDI) ตั้งแต่ 0.08 ถึง 0.16 ส่วนโดยน้ำหนัก รวม 3 อัตราส่วน ซึ่งเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนที่ใช้ผ่านการย่อยขนาด แบ่งเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ เศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนที่ย่อยขนาดด้วยการไสเพียงอย่างเดียว และเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนที่ย่อยขนาดด้วยการไสและการบดอย่างละครึ่ง ทั้งนี้การย่อยขนาดด้วยการไส เป็นการนำเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนมาไสด้วยกบไฟฟ้าให้ได้เศษไม้ที่มีความหนาประมาณ 0.6 – 0.8 มิลลิเมตร ส่วนการย่อยขนาดด้วยการบดย่อย เป็นการนำเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนมาบดย่อยด้วยเครื่องบดพลาสติกด้วยตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะ ขนาด 25 มิลลิเมตร และ 10 มิลลิเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้เศษไม้ต้นทุเรียนทั้งที่ผ่านการไสและผ่านการบดย่อยต้องมีการควบคุมความชื้นไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก รวมเป็นอัตราส่วนผสมที่ใช้ทั้งสิ้น 6 อัตราส่วน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก

อัตราส่วน*	เศษกิ่งไม้ที่ไส (ส่วนโดยน้ำหนัก)	เศษกิ่งไม้ที่ไสและบดย่อย (ส่วนโดยน้ำหนัก)	กาว pMDI (ส่วนโดยน้ำหนัก)
D-0.08	1	-	0.08
M-0.08	0.5	0.5	0.08
D-0.12	1	-	0.12
M-0.12	0.5	0.5	0.12
D-0.16	1	-	0.16
M-0.16	0.5	0.5	0.16

หมายเหตุ * สัญลักษณ์ของแต่ละอัตราส่วนมีความหมายดังนี้

D-ปริมาณกาว หมายถึง ใช้เศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนที่ไส 1 ส่วนโดยน้ำหนัก และกาว pMDI ในปริมาณส่วนโดยน้ำหนักตามที่ระบุ

M-ปริมาณกาว หมายถึง ใช้เศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนที่ไส 0.5 ส่วนโดยน้ำหนัก และเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนที่บดย่อย 0.5 ส่วนโดยน้ำหนัก และกาว pMDI ในปริมาณส่วนโดยน้ำหนักตามที่ระบุ

ตัวอย่างเช่น D-0.08 เป็นอัตราส่วนที่ใช้เศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนที่ไส 1 ส่วนโดยน้ำหนัก และกาว pMDI ในปริมาณ 0.08 ส่วนโดยน้ำหนัก เป็นต้น



รูปที่ 3 ลักษณะของกิ่งต้นทุเรียน



รูปที่ 4 ลักษณะเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนที่ไสแล้ว



รูปที่ 5 ลักษณะเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนที่บดย่อยแล้ว

4. การขึ้นรูปตัวอย่าง

นำเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนที่ย่อยขนาดแล้ว และ กาวไดไอโซไซยาเนต มาชั่งน้ำหนักตามอัตราส่วนที่ออกแบบ แล้วนำเศษกิ่งไม้มาใส่ลงในกระป๋องผสม จากนั้นฉีดพ่นกาวไดไอโซไซยาเนตด้วยกาพ่นสี และปั๊มลงลงในกระป๋องผสม ทำการหมุนถึงผสมจน

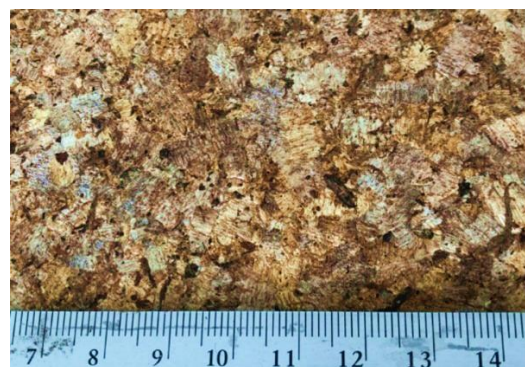
ฉีดยกาวและเปิดฝาดังเพื่อถนอมส่วนผสม ไม่น้อยกว่า 4 ครั้ง เพื่อให้กาวกระจายทั่วเศษไม้มากยิ่งขึ้น นำเศษกิ่งไม้ที่ฉีดยกาวทั่วแล้วไปอัดขึ้นรูป โดยส่วนผสมลงในแบบหล่อเหล็ก พร้อมบดอัดส่วนผสมเบื้องต้นให้แน่น อยู่ภายในแบบหล่อด้วยเหล็กกระทุ้ง แล้วประกบส่วนผสมด้วยแผ่นเทพล่อน และแผ่นอลูมิเนียมทั้ง 2 ด้าน แล้วจึงนำเศษกิ่งไม้ที่อยู่ในแบบหล่อและประกบแผ่นเทพล่อนและแผ่นอลูมิเนียมแล้ว ไปใส่ในเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เมื่อใช้ความหนาแผ่น เทากับ 6 มิลลิเมตร ทำการควบคุมความหนาแน่นของแผ่นไม้ที่ขึ้นรูปที่ 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นำแผ่นขึ้นไม้อัดที่ขึ้นรูปออกมาเพื่อถอดแบบ จากนั้นนำแผ่นเหล็กและแผ่นเทพล่อนออกจากแผ่นขึ้นไม้อัดที่ขึ้นรูป รอให้อุณหภูมิลดลงจนสามารถถือด้วยมือเปล่า ได้แผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนสำหรับนำไปทดสอบหรือนำไปใช้งานต่อไป



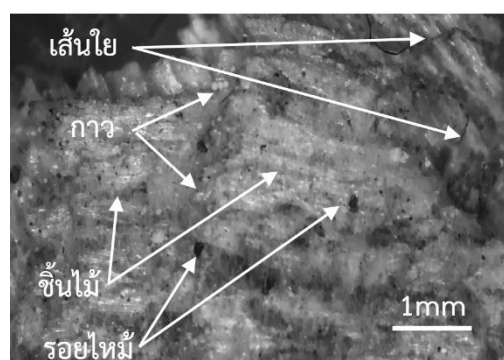
รูปที่ 6 ส่วนผสมก่อนนำไปอัดขึ้นรูป



รูปที่ 7 นำแผ่นเทพล่อนออกจากแผ่นขึ้นไม้อัดที่ขึ้นรูป



รูปที่ 8 ผิวหน้าของแผ่นขึ้นไม้อัดที่ขึ้นรูป



รูปที่ 9 ผิวหน้าของแผ่นขึ้นไม้อัดจากกล้องจุลทรรศน์
ดิจิทัลที่กำลังขยาย 40 เท่า

5. การทดสอบคุณสมบัติของตัวอย่าง

ทดสอบตัวอย่างแผ่นขึ้นไม้อัดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ (มอก. 876- 2547) [4] และมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการใช้งาน ประกอบด้วย ลักษณะทั่วไป ความหนาแน่น ปริมาณความชื้น การพองตัวตามความหนา ความต้านทางแรงดัด โมดูลัสยืดหยุ่น ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า และความยึดแน่นของผิวหน้า โดยใช้จำนวนตัวอย่างทดสอบ 5 ตัวอย่างต่อค่าการทดสอบแต่ละค่า



รูปที่ 10 การทดสอบความต้านทานแรงดัดของแผ่นขึ้นไม้อัด



รูปที่ 11 การทดสอบความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นขึ้นไม้อัด

6. ผลการดำเนินงานวิจัย

ผลการพัฒนาแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและส่งเสริมแนวคิดขยะเหลือศูนย์ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ (มอก.876- 2547) [4] สรุปได้ดังนี้

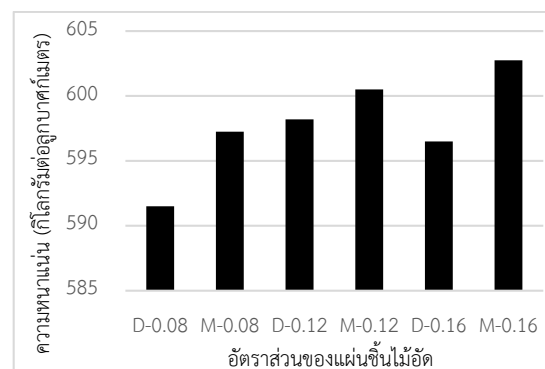
6.1 ลักษณะทั่วไป

ลักษณะทั่วไปของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนที่ขึ้นรูปทั้ง 6 อัตราส่วน พบว่า แผ่นขึ้นไม้อัดทั้งหมดมีขอบที่ได้อากกับระนาบผิว ผิวหน้ามีเนื้อค่อนข้างเรียบ และกาวยาไซไฮยาเนตสามารถยึดเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนเป็นแผ่นขึ้นไม้อัดได้ดี โดยผิวหน้าของแผ่นขึ้นไม้อัดที่ขึ้นรูปจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนที่ใช้วิธีการไสจะมีผิวหน้าที่ค่อนข้างเรียบกว่าแผ่นขึ้นไม้อัดที่ขึ้นรูป

จากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนที่ใช้วิธีการไสผสมกับวิธีการบดย่อยเล็กน้อย สีของแผ่นขึ้นไม้อัดค่อนข้างเหลืองอ่อน โดยจะมีสีออกน้ำตาลของเปลือกไม้และรอยไหม้ของเศษขึ้นไม้อยู่เล็กน้อย ดังรูปที่ 8 และ 9 หากต้องการให้เนื้อแผ่นขึ้นไม้อัดมีสีสม่ำเสมอสามารถไสเปลือกไม้ออกก่อนที่จะทำการไสหรือบดย่อย และอาจปรับลดอุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปลง

6.2 ความหนาแน่น

ผลการทดสอบความหนาแน่นของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนที่ขึ้นรูปทั้ง 6 อัตราส่วนพบว่า แผ่นขึ้นไม้อัดทั้งหมดมีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 591.50 ถึง 602.75 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งต่ำกว่าความหนาแน่นที่ออกแบบ คือ 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้เป็นผลมาจากกระบวนการอัดขึ้นรูปแผ่นขึ้นไม้อัดที่ใช้เป็นเครื่องแบบมือหมุน ทำให้ไม่สามารถอัดแผ่นไม้ได้แน่นเหมือนกับเครื่องอัดแผ่นแบบไฮดรอลิค จากความหนาแน่นดังกล่าวจะเห็นได้ว่า แผ่นขึ้นไม้อัดที่มีการผสมระหว่างเศษกิ่งไม้ที่ไสและบดย่อย หรือแผ่นขึ้นไม้อัดที่ใช้ปริมาณกาวมาก จะมีแนวโน้มความหนาแน่นที่สูงกว่าแผ่นขึ้นไม้อัดที่มีการผสมระหว่างเศษกิ่งไม้ที่ไสเพียงอย่างเดียวหรือใช้ปริมาณกาวน้อย [1, 4] อย่างไรก็ตามความหนาแน่นทั้ง 6 อัตราส่วน ยังคงมีค่าความหนาแน่นเป็นไปตามมาตรฐาน มอก.876-2547 ที่กำหนดให้แผ่นขึ้นไม้อัดมีค่าความหนาแน่นระหว่างร้อยละ 400 ถึง 900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร [4] ดังรูปที่ 12



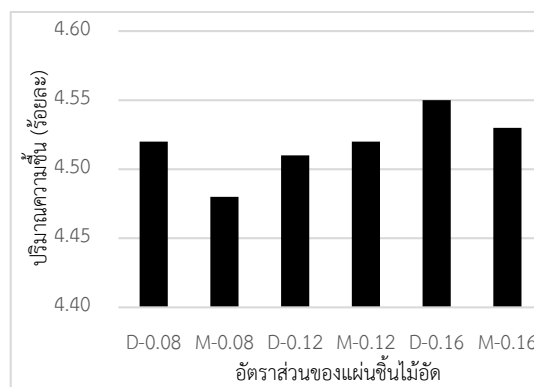
รูปที่ 12 ความหนาแน่นของแผ่นขึ้นไม้อัด

6.3 ปริมาณความชื้น

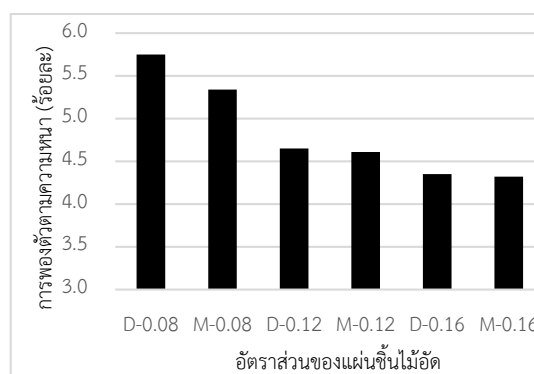
ผลการทดสอบปริมาณความชื้นของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนที่ขึ้นรูปทั้ง 6 อัตราส่วน พบว่า แผ่นขึ้นไม้อัดทั้งหมดมีปริมาณความชื้นใกล้เคียงกัน โดยมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 4.48 - 4.55 ซึ่งเป็นปริมาณความชื้นของแผ่นขึ้นไม้อัดที่อยู่ในช่วงตามมาตรฐาน มอก.876-2547 กำหนด คือมีค่าระหว่างร้อยละ 4 - 13 [4] ดังรูปที่ 13

6.4 การพองตัวตามความหนา

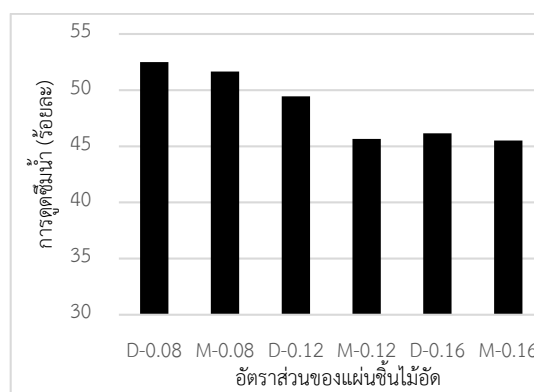
ผลการทดสอบการพองตัวตามความหนาของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนที่ขึ้นรูปทั้ง 6 อัตราส่วน ในรูปที่ 14 พบว่า แผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนที่ใช้กาวมากที่สุด (ร้อยละ 16) เป็นแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนที่มีแนวโน้มค่าการพองตัวต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนที่ใช้กาวน้อยกว่า [5-7] ส่วนการใช้เศษกิ่งไม้ที่ผ่านการไสมาผสมกับเศษกิ่งไม้ที่ผ่านการบดย่อยในการขึ้นรูปเป็นแผ่นขึ้นไม้อัดก็จะมีแนวโน้มการพองตัวตามความหนาที่ต่ำกว่าแผ่นขึ้นไม้อัดที่ใช้เศษกิ่งไม้ที่ผ่านการไสเท่านั้น และเมื่อนำค่าการพองตัวมาเปรียบเทียบกับค่าการพองตัวทั้งหมดกับมาตรฐาน มอก.876-2547 ซึ่งกำหนดให้ต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 12 [4] พบว่า แผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนทั้งหมดมีการพองตัวตามความหนาผ่านตามที่มาตรฐาน มอก.876-2547 กำหนด เมื่อนำแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนทั้งหมดไปทดสอบค่าการดูดซึมน้ำในรูปที่ 15 พบว่า การพองตัวตามความหนาเป็นคุณสมบัติที่มีแนวโน้มเช่นเดียวกับการดูดซึมน้ำ โดยแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนที่มีปริมาณกาวมาก หรือผสมเศษไม้ทั้งที่ผ่านการไสและการบดย่อยก็จะมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำเช่นเดียวกับการพองตัวตามความหนา



รูปที่ 13 ปริมาณความชื้นของแผ่นขึ้นไม้อัด



รูปที่ 14 การพองตัวตามความหนาของแผ่นขึ้นไม้อัด



รูปที่ 15 การดูดซึมน้ำของแผ่นขึ้นไม้อัด

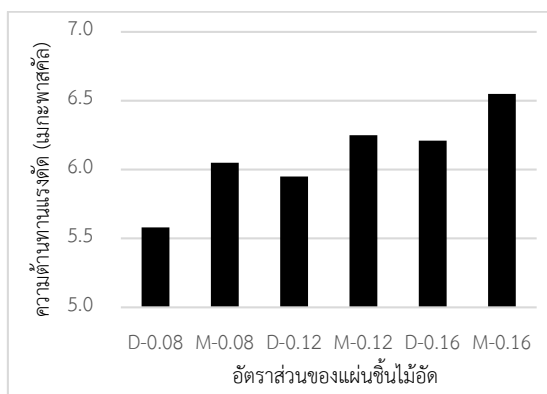
6.5 ความต้านทานแรงดัด

สำหรับผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนในรูปที่ 16 พบว่า ปริมาณกาวไดไอโซไซยานตที่เพิ่มขึ้น และการใช้เศษกิ่งไม้ที่ผ่านการไสผสมกับเศษกิ่งไม้ที่ผ่านการบดย่อยมีผลต่อแนวโน้มของความต้านทานแรงดัดของแผ่นขึ้นไม้อัดที่เพิ่มขึ้น [5, 8-10] โดยแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษ

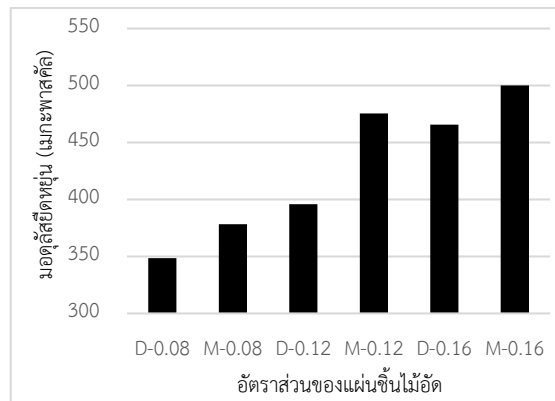
กิ่งไม้ต้นทุเรียนที่มีค่าความต้านทานแรงดัดสูงที่สุดคือ แผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนที่มีปริมาณการ ร้อยละ 16 และใช้เศษกิ่งไม้ที่ผ่านการไสผสมกับที่ผ่าน การบดย่อย (M-16) ส่วนแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้น ทุเรียนที่มีค่าความต้านทานแรงดัดต่ำที่สุดคือ แผ่นขึ้น ไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนที่มีปริมาณการร้อยละ 8 และใช้เศษกิ่งไม้ที่ผ่านการไสเท่านั้น (D-08) เมื่อ เปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก.876-2547 พบว่าแผ่น ขึ้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนทั้งหมดมีค่าความ ต้านทานแรงดัดต่ำกว่ามาตรฐานซึ่งกำหนดให้มีค่าไม่ น้อยกว่า 14 เมกะพาสคัล [4] ทั้งนี้หากพิจารณาจาก ลักษณะการเสียหายของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้น ทุเรียนที่ทำการทดสอบความต้านทานแรงดัดจะเห็นได้ ว่าตัวแผ่นขึ้นไม้อัดมีลักษณะหลุดจากกันอย่างมาก แสดงว่าแผ่นขึ้นไม้อัดทั้งหมดมีเนื้อที่ไม่แน่นเพียงพอจะ รับความต้านทานแรงดัดได้

6.6 มอดุลัสยืดหยุ่น

ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านมอดุลัสยืดหยุ่น ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนที่ขึ้นรูปแล้ว ทั้ง 6 อัตราส่วนในรูปที่ 17 พบว่า มอดุลัสยืดหยุ่นเป็น คุณสมบัติที่มีความสัมพันธ์กับค่าความต้านทานแรงดัด [8] ปริมาณการไผ่ไฮโซยานะที่มาก และการใช้เศษ กิ่งไม้ที่ผ่านการไสผสมกับเศษกิ่งไม้ที่ผ่านการบดย่อยมี แนวโน้มที่จะมีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นสูงตามไปด้วย [10] เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก. 876-2547 กำหนดให้มอดุลัสยืดหยุ่นมีค่าไม่น้อยกว่า 1,950 เมกะ ปาสคัล ที่ความหนา 3 – 6 มิลลิเมตร พบว่า แผ่นขึ้น ไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนทั้งหมดมีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นที่ ต่ำกว่ามาตรฐานเช่นเดียวกับความต้านทานแรงดัด



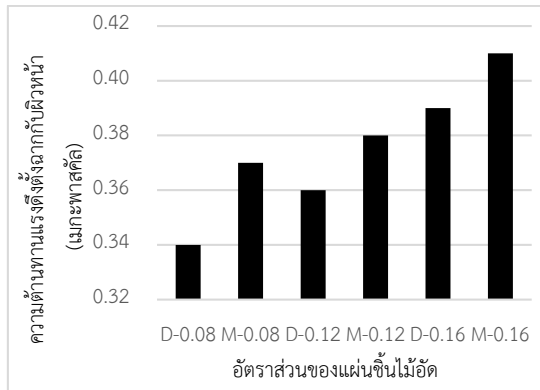
รูปที่ 16 ความต้านทานแรงดัดของแผ่นขึ้นไม้อัด



รูปที่ 17 มอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นขึ้นไม้อัด

6.7 ความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้า

ในส่วนของการทดสอบความต้านแรงดัดตั้ง ฉากกับผิวหน้าของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้น ทุเรียนที่ขึ้นรูปแล้วทั้ง 6 อัตราส่วนในรูปที่ 18 พบว่า แผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนที่มีค่าความต้าน แรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้าสูงที่สุดจะเป็นแผ่นขึ้นไม้อัดที่มี ปริมาณการไผ่ไฮโซยานะที่มาก และการใช้เศษ กิ่งไม้ที่ผ่านการไสผสมกับเศษกิ่งไม้ที่ผ่านการบดย่อย และแผ่นขึ้นไม้อัดจาก เศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนที่มีค่าความต้านแรงดัดตั้งฉากกับ ผิวหน้าต่ำที่สุดจะเป็นแผ่นขึ้นไม้อัดที่มีปริมาณการไผ่ไฮโซ ยานะที่น้อย และการใช้เศษกิ่งไม้ที่ผ่านการไสเพียงอย่างเดียว [10- 11] และเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก.876-2547 [4] ซึ่งกำหนดให้แผ่นขึ้นไม้อัดต้องมีความต้านแรงดัดตั้ง ฉากกับผิวหน้าสูงกว่า 0.4 เมกะพาสคัล และความ ยืดหยุ่นของผิวหน้าต้องสูงกว่า 0.8 เมกะพาสคัล จะ เห็นว่าแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนทั้งหมดต่ำ กว่ามาตรฐานกำหนด โดยน่าจะเป็นผลมาจากเนื้อของ แผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนที่ไม่แน่นเท่าที่ควร เช่นเดียวกับคุณสมบัติด้านความต้านทานแรงดัดและ มอดุลัสยืดหยุ่น [12]



รูปที่ 18 ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นชั้นไม้อัด

7. สรุปผล และข้อเสนอแนะ

จากผลการดำเนินงานข้างต้น สามารถเป็นสรุปผลและข้อเสนอแนะได้ดังนี้

7.1 สรุปผล

จากผลการดำเนินโครงการ “การพัฒนาแผ่นชั้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและส่งเสริมแนวคิดขยะเหลือศูนย์” สามารถสรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะได้ดังนี้

7.1.1 จากการศึกษากรรมวิธีการผลิตแผ่นชั้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียน เมื่อนำเศษกิ่งไม้จากต้นทุเรียนมาผสมกับกาวไดไอโซไซยาเนต และอัดขึ้นรูปให้มีความหนา 6 มิลลิเมตร โดยใช้ความร้อน 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที สามารถอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นชั้นไม้อัดที่มีความแข็งแรงเหมาะสมสำหรับการใช้งานเป็นวัสดุตกแต่ง หรือสินค้าที่ระลึกได้

7.1.2 จากผลการทดสอบสมบัติของแผ่นชั้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียน ทั้ง 6 อัตราส่วน สามารถสรุปได้ว่า แผ่นชั้นไม้อัดทั้งหมดมีความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และการพองตัวตามความหนาผ่านตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2547 กำหนด แต่ยังคงมีความต้านทานแรงดัด โมดูลัสยืดหยุ่น และความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าที่ต่ำกว่ามาตรฐาน ซึ่งจากผลการทดสอบสามารถสรุปปัจจัยที่ทำให้แผ่นชั้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนมีความต้านทานแรงดัด โมดูลัสยืดหยุ่น และความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าที่ต่ำกว่ามาตรฐานเป็น

ผลมาจากความหนาแน่นของแผ่นชั้นไม้อัดที่ยังไม่แน่นอนเพียงพอ

7.1.3 จากการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแผ่นชั้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนสามารถสรุปได้ว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแผ่นชั้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนคือ แผ่นชั้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนที่ผสมกาวร้อยละ 8 และมีการใช้เศษกิ่งไม้ที่ผ่านการไล่กับเศษกิ่งไม้ที่ผ่านการบดย่อยผสมกันอย่างละครึ่ง (อัตราส่วน M-8) เนื่องจากอัตราส่วนดังกล่าวใช้ปริมาณกาวที่ไม่มากเกินไป แต่ยังคงมีผลการทดสอบความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และการพองตัวตามความหนาที่ผ่านตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.876-2547 กำหนด แม้ว่าค่าความต้านทานแรงดัดและความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้ายังต่ำกว่ามาตรฐานแต่ก็เพียงพอต่อการนำไปใช้เป็นวัสดุตกแต่งสินค้าที่ระลึก หรือผลิตภัณฑ์ได้เช่นเดียวกับแผ่นชั้นไม้อัดทั่วไปได้

7.2 ข้อเสนอแนะ

7.2.1 ควรมีการพัฒนาคุณสมบัติด้านความแข็งแรงของแผ่นชั้นไม้อัดที่พัฒนาให้ผ่านมาตรฐาน มอก.846-2547 เพื่อให้ใช้ประโยชน์ได้หลากหลายยิ่งขึ้น

7.2.2 ต้นทุนการผลิตแผ่นชั้นไม้อัดจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนที่พัฒนาหลักๆ คือ ต้นทุนของกาว pMDI ราคาประมาณ 170 บาทต่อกิโลกรัม คิดเป็นต้นทุนประมาณร้อยละ 90 ของต้นทุนการผลิตแผ่นชั้นไม้อัดทั้งหมด ส่วนอีกร้อยละ 10 เป็นค่าไฟฟ้าสำหรับเครื่องไสไม้ เครื่องบดย่อยไม้ ปั่นลม และเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน เมื่อนำมาคำนวณเป็นต้นทุนการผลิตแผ่นชั้นไม้อัดจะมีต้นทุนประมาณ 8,976 และ 17,952 บาทต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อใช้กาว pMDI เท่ากับ 0.08 และ 0.16 ส่วนโดยน้ำหนัก ตามลำดับ ส่วนไม้อัดทั่วไปมีราคาประมาณ 14,700 ถึง 21,000 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

7.2.3 ควรมีการพัฒนาแผ่นชั้นไม้อัดเทียมจากเศษกิ่งไม้ต้นทุเรียนเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบต่างๆ เพิ่มเติม เพื่อช่วยในการนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณ
แผ่นดินมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ประจำปี 2565 ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Kerprasit, P., Weeranukul, P., Weeranukul, I., Suweero, K., & Muangprab, K. . Development of particleboard from northern black wattle tree bark for using as decorative materials. Journal of Engineering, RMUTT. 2021; 19(1):125–35. (in Thai)
- [2] Weeranukul P, Suweero K, Weeranukul I. Coconut coir ceiling board product with thermal insulation property. Journal of Engineering, RMUTT. 2018;16(2):129-38. (in Thai)
- [3] Office of Trade Policy and Strategy. Durian, the king of Thai fruits, foreigners like. Bangkok: Grassroots Economic Development Group, Division of Trade Strengthening Policy, Office of Trade Policy and Strategy; 2020. (in Thai)
- [4] Thai Industrial Standards Institute (TISI). Thai industrial standard no.876-2004: particleboard product. Bangkok: TISI; 2004. (in Thai)
- [5] Cheng X, He X, Xie J, Quan P, Xu K, Li X, Cai Z. Effect of the particle geometry and adhesive mass percentage on the physical and mechanical properties of particleboard made from peanut hull. Bio Resources. 2016;11(3):7271-81.
- [6] Nemli G, Örs Y, Kalaycıoğlu H. The choosing of suitable decorative surface coating material types for interior end use applications of particleboard. Construction and Building Materials. 2005;19(4): 307-12.
- [7] Yenjai P, Jarusombuti S, Veenin T. Particleboard manufacturing from waste of cajuput (*Melaleuca cajuputi* Powell). VRU Research and Development

Journal Science and Technology. 2016;11(2):131-40. (in Thai)

[8] Bledzki AK, Gassan J. Composites reinforced with cellulose based fibers. Progress in Polymer Science. 1999;24(2):221-74.

[9] Lin CJS, Hiziroglu SMK, Lai HW. Manufacturing particleboard panels from betel palm (*Areca catechu* Linn.). Journal of materials processing technology. 2008;197(1-3):445-8.

[10] Sekaluvu L, Tumutegyeize P, Kiggundu N. Investigation of factors affecting the production and properties of maize cob-particleboards. Waste Biomass Valor. 2014;5(1):27–32.

[11] Hazrat BM, Zarea HH, Daliri SM, Abginechi Z, Hemmati A. Mechanical and insulating performances of ultralight thick particleboard from sugarcane residues and woods planer shaving. Eur. J. Wood Prod. 2016;74(2):161–8.

[12] Faherty KF, Williamson TG. Wood Engineering and Construction Handbook. New York: McGraw-Hill, Inc.; 1995.

ระบบจ่ายน้ำให้พืชอัตโนมัติด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์พร้อมการแจ้งเตือน

ไพโรจน์ ทองประศรี¹ และทรงชัย จิตภักดีบัณฑิต^{1*}

pairrote@eng.src.ku.ac.th¹, songchai@eng.src.ku.ac.th^{1*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

(Received: 15-Jun-2023 Revised: 9-Oct-2023 Accepted: 4-Nov-2023)

บทคัดย่อ

ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ต ส่งผลให้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเข้ามามีบทบาทมากขึ้นในชีวิตประจำวัน ตลอดจนการประยุกต์ใช้ในภาคการเกษตร ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถติดตามการทำงานได้แบบทันทีทันใด บทความนี้นำเสนอระบบจ่ายน้ำให้พืชอัตโนมัติผ่านสปริงเกอร์ บนพื้นที่ขนาด 119 ตารางเมตร ซึ่งปลูกไม้ยืนต้นและไม้พุ่มอยู่แล้วมีขนาดพื้นที่ 92 และ 27 ตารางเมตร ตามลำดับ แหล่งจ่ายน้ำถูกเก็บสะสมไว้ในถังพักน้ำตั้งสูง 5 เมตร โดยใช้ประโยชน์จากพลังงานศักย์เพื่อหาความดันของไหล ผลที่ได้ถูกนำมาคำนวณหาจำนวนของสปริงเกอร์ที่ใช้เหมาะสมโดยไม่ต้องใช้ปั้มน้ำเพื่อลดต้นทุน ระบบมีโหมดการทำงาน 2 โหมด คือ MANUAL และ AUTO ประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU สามารถทำงานได้ตามเวลาและเงื่อนไขที่กำหนด สปริงเกอร์ถูกควบคุมด้วยวาล์วโซลินอยด์โดยใช้ค่าความชื้นในดินและปริมาณน้ำในแหล่งกักเก็บเป็นปัจจัยหลัก ระบบสามารถควบคุมและแสดงผลแบบทันทีผ่านทางแอปพลิเคชัน Blynk บนสมาร์ตโฟน และแจ้งเตือนการทำงานผ่านทางแอปพลิเคชัน LINE ไปยังผู้ใช้งาน โดยระบบจะจ่ายน้ำให้พืชตามเงื่อนไขที่กำหนด คือ เมื่อค่าความชื้นในดินต่ำกว่า 70% และระดับน้ำในถังกักเก็บมีไม่น้อยกว่า 30% โดยผลการทดลองทั้ง 2 โหมด ระบบสามารถจ่ายน้ำให้กับพืชและสามารถแจ้งเตือนไปอย่างผู้ใช้งานได้อย่างแม่นยำ

คำสำคัญ: ระบบจ่ายน้ำให้พืชอัตโนมัติ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ไมโครคอนโทรลเลอร์ Blynk LINE

Automated Plant Watering System using Microcontroller with Notification

Pairote Thongprasri¹ and Songchai Jitpakdeebodin^{1*}

pairote@eng.src.ku.ac.th¹, songchai@eng.src.ku.ac.th^{1*}

¹Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus

(Received: 15-Jun-2023 Revised: 9-Oct-2023 Accepted: 4-Nov-2023)

Abstract

The advancement of Internet technology has resulted in an increased role of Internet of Things (IoT) technology in our daily lives, including its application in agriculture. It enables users to monitor operations in real-time. This paper presents an automatic plant watering system through sprinklers on an area of 119 square meters in which trees and shrubs are already planted with an area of 92 and 27 square meters, respectively. The water supply is stored in a 5-meter high reservoir, utilizing potential energy to determine the fluid pressure. The results were calculated to determine the number of sprinklers that can be used effectively without the need for water pumps in order to reduce costs. The system has 2 operating modes: MANUAL and AUTO, processed by NodeMCU microcontroller. It can operate according to predefined time and conditions. The sprinklers are controlled by solenoid valve, using soil moisture and water level in the reservoir as primary factors. The system can control and display real-time data through the Blynk mobile application and notify users of its operation via the LINE messaging application. The system requires the soil moisture to be less than 70% and the water level in the reservoir to be above 30% in order to function. In both modes, the experimental results demonstrate that the system can effectively supply water to plants and accurately notify the users.

Keywords: automatic plant watering system, internet of things, microcontroller, blynk, line

1. บทนำ

ภาคการเกษตรนับว่ามีความสำคัญต่อเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทยเป็นอย่างมาก โดยมีจำนวนประชากรในภาคเกษตรมากถึง 25 ล้านคน หรือคิดเป็นร้อยละ 40 ของประชากรทั้งหมด และสร้างรายได้ต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศประมาณร้อยละ 9 ของ GDP เมื่อฝนตกหรือดินได้รับน้ำในปริมาณมากเกินไปเกินกว่าความสามารถที่ดินจะอุ้มไว้ได้ สภาพเช่นนี้เรียกว่า “ดินอมน้ำ” ซึ่งไม่ถือว่าเป็นประโยชน์ต่อพืชช่วงของการใช้น้ำหรือความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอย่างเต็มที่เรียกว่า “ความชื้นชลประทาน” เมื่อความชื้นลดลงจนถึงจุดของความชื้นวิกฤต พืชยังสามารถดูดน้ำไปใช้ได้แต่น้อยลง พืชมักแสดงอาการเหี่ยวเฉาให้เห็นพบได้ในช่วงบ่ายถึงเย็น พอรุ่งเช้าพืชกลับมาปกติ ถ้าความชื้นในดินลดลงจนน้อยเกินกว่ารากของพืชจะดูดน้ำไปใช้ได้ ความชื้นที่จุดนี้เรียกว่า “จุดเหี่ยวเฉาถาวร” พืชจะไม่มีโอกาสฟื้นกลับมา ดังนั้นช่วงความชื้นชลประทานเป็นประโยชน์ต่อพืชมากที่สุด ถ้ารักษาความชื้นในระดับนี้ไว้ได้ตลอดฤดูกาลเพาะปลูก พืชจะเติบโตและให้ผลผลิตดีที่สุด การให้น้ำพืชจึงควรให้เมื่อความชื้นลดลงใกล้จุดเหี่ยวเฉาถาวร ถ้าความชื้นในดินลดลงไปอยู่ในช่วง 50-70% ของความชื้นที่พืชเอาไปใช้ได้ เกษตรกรจำเป็นต้องให้น้ำแก่พืชทันที [1][2] น้ำเป็นสิ่งสำคัญสำหรับพืช กรณีจำเป็นต้องนำน้ำเก็บสะสมไว้ที่ถังพักน้ำแล้วจึงนำไปใช้ประโยชน์ การวางถังพักน้ำไว้ตำแหน่งสูงที่เหมาะสม ส่งผลให้อัตราการไหลของน้ำที่อยู่ในท่อส่งน้ำเพียงพอโดยไม่จำเป็นต้องใช้ปั๊มน้ำ ถึงเก็บน้ำแบบยกสูงถูกออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อให้สามารถส่งน้ำโดยใช้พลังงานศักย์ [3]

การให้น้ำแก่พืชในภาคเกษตรกรรมโดยใช้แรงงานมนุษย์มีข้อจำกัด ได้แก่ ความสามารถทำงานในสภาพอากาศที่ร้อน ปริมาณของน้ำที่พืชที่เหมาะสม ระบบรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติโดยใช้ปั๊มน้ำ มีเซนเซอร์วัดความชื้นในดินส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ประมวลผลควบคุมปั๊มน้ำ [4] ระบบรดน้ำอัตโนมัติโดยใช้สปริงเกอร์ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO สามารถตั้งโปรแกรมรดน้ำต้นไม้ [5] อุปกรณ์วาล์วโซลินอยด์สำหรับเปิด-ปิดระบบน้ำ

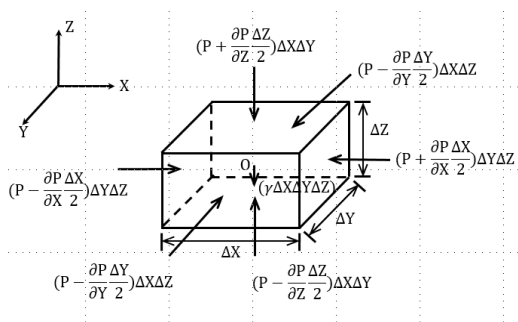
อัตโนมัติควบคุมด้วยเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน ระบบที่นำเสนอใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino เป็นตัวประมวลผล [6] ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตรวมถึงเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย ทำให้เกิดการพัฒนาระบบเทคโนโลยีอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องตามมา ได้แก่ เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ซึ่งการนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้ในการเกษตร สามารถช่วยให้อำนวยความสะดวก ลดภาระงาน ประหยัดเวลาและช่วยให้สามารถควบคุมการใช้งานทรัพยากรได้อย่างแม่นยำและเกิดประโยชน์สูงสุด โดยสามารถประหยัดปริมาณน้ำที่ใช้ได้ถึงราว 50 % [7] ไมโครคอนโทรลเลอร์รวมเข้ากับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งควบคุมระบบรดน้ำอัตโนมัติ มีการแจ้งเตือนไปยังสมาร์ตโฟนของผู้ใช้ เมื่อเปิดหรือปิดอุปกรณ์น้ำผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ผลการทดสอบระบบมีศักยภาพสำหรับใช้ในระบบการรดน้ำต้นไม้ [8] การออกแบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อตรวจสอบอุณหภูมิ และความชื้นในดินของเรือนกระจกแบบทันสมัย สำหรับปรับปรามิเตอร์และการใช้น้ำให้เหมาะสมโดยอัตโนมัติ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ประมวลผลควบคุมข้อมูลผ่านแอปพลิเคชัน Blynk [9] เครื่องฉีดน้ำอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เพื่อแก้ปัญหาการเจริญเติบโตและการพัฒนาพืช สภาพความชื้นแสดงผลผ่านจอแอลซีดี โดยสามารถควบคุมผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการ Android ได้ [10]

งานวิจัยนี้ใช้พื้นที่ขนาด 119 ตารางเมตร ซึ่งปลูกไม้ยืนต้นและไม้พุ่มอยู่แล้วมีขนาด 92 และ 27 ตารางเมตร ตามลำดับ สำหรับใช้ทดสอบระบบจ่ายน้ำให้พืชอัตโนมัติผ่านทางแอปพลิเคชัน Blynk บนสมาร์ตโฟน สามารถส่งสถานะแจ้งเตือนการทำงานผ่านทางแอปพลิเคชัน LINE ไปยังผู้ใช้งาน แหล่งจ่ายน้ำถูกเก็บสะสมไว้ที่ถังพักน้ำตั้งอยู่สูง 5 เมตร เพื่อใช้ประโยชน์จากพลังงานศักย์หาความดันของไหล ทำให้สามารถคำนวณจำนวนของสปริงเกอร์ที่ใช้ได้อย่างเหมาะสมโดยไม่ต้องใช้ปั๊มน้ำช่วย ระบบควบคุมใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU เป็นตัวประมวลผลระบบการจ่ายน้ำให้พืชสามารถทำงานได้ตามเวลาและ

เงื่อนไขที่กำหนดไว้ โดยใช้ค่าความชื้นในดินและปริมาณน้ำในแหล่งกักเก็บเป็นปัจจัยหลัก

2. ระบบจ่ายน้ำให้พืช

ของไหลที่หยุดนิ่งขนาดของ $\Delta X, \Delta Y$ และ ΔZ ที่จุดใดจุดหนึ่งในรูปที่ 1 แรงที่เกิดจากความดันของไหลส่วนที่สัมผัสและกระทำกับผิวหน้าด้านอื่นๆ มีทั้งหมด 6 แรง กระทำตั้งฉากกับผิวหน้าของชิ้นส่วนของไหล ถ้าให้ γ เป็นน้ำหนักจำเพาะของไหล สำหรับน้ำหนักของชิ้นส่วนของไหลที่กระทำลงด้านล่างจะเท่ากับ $\gamma \Delta X \Delta Y \Delta Z$ เมื่ออยู่ในสภาวะสมดุลผลรวมทางพีชคณิตของแรงที่กระทำในแต่ละแนวมีค่าเป็นศูนย์ ความดัน P ที่จุดใดๆ ในของไหลที่หยุดนิ่งกับที่จะไม่แปรค่าตามทิศทาง X และ Y แต่แปรค่าเฉพาะทิศทาง Z ดังสมการ (1) โดยเครื่องหมาย (-) หมายถึงความดันจะลดลงเมื่อค่า Z เพิ่มขึ้นในทิศทางขึ้นบน



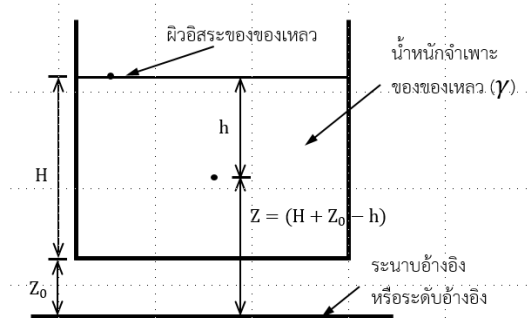
รูปที่ 1 ของไหลขณะหยุดนิ่งและสมดุลภายใต้แรงต่างๆ

$$\frac{\partial P}{\partial Z} = -\gamma \quad (1)$$

ของเหลวจัดเป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้ ดังนั้นค่าน้ำหนักจำเพาะ γ ของไหลจะคงที่ เมื่ออินทิเกรตสมการ (1) จะได้

$$P = -\gamma Z + c \quad (2)$$

โดยที่ P เป็นความดันจุดใดจุดหนึ่งที่ระดับ Z และ c เท่ากับ $(P_a + \gamma(H + Z_0))$ เป็นค่าคงที่ของเหลวมีผิวอิสระที่ความดันบรรยากาศ (P_a)



รูปที่ 2 ความดันที่จุดใดๆ ในของเหลว

ในรูปที่ 2 ถ้าจุดที่อยู่ในของเหลวลึกเป็นระยะ h ต่ำกว่าผิวอิสระของของเหลวในแนวตั้ง Z ที่ $H + Z_0 - h$ เมื่อแทนลงในสมการ (2) ผลที่ได้คือ

$$P = P_a + \gamma h \quad (3)$$

เมื่อความดันบรรยากาศมีค่าคงที่ที่จุดใดๆ ในของเหลวที่หยุดนิ่ง จากสมการ (3) เมื่อพิจารณาเฉพาะความดันที่เกินกว่าบรรยากาศ โดยน้ำหนักจำเพาะของของไหล (γ) เกิดจากแรงดึงดูดของโลกที่กระทำกับของไหลในหนึ่งหน่วยปริมาตร ดังนั้นความดันของของไหลสามารถหาได้จาก

$$P = \rho g h \quad (4)$$

เมื่อ P คือความดันของของไหล (N / m^2)

h คือความสูงของของไหล (m)

ρ คือความหนาแน่นของของไหลค่าเท่ากับ

$1,000 kg / m^3$ และ g เป็นค่าอัตราเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกมีค่าเท่ากับ $9.81 m / s^2$



รูปที่ 3 ถังพักน้ำที่ความสูง 5 เมตร

ตำแหน่งของถังพักน้ำในงานวิจัยนี้อยู่ที่ความสูง 5 เมตร ดังรูปที่ 3 สามารถคำนวณหาความดันของไหลจากสมการ (4) ได้ดังนี้

$$P = 1,000 \times 9.81 \times 5 = 49,050 \text{ N / m}^2$$

หรือ

$$P = \frac{49,050}{760 \times 133.33} = 0.484 \text{ bar}$$

เมื่อความดัน 1 bar มีค่าเท่ากับ 760 mmHg และ 1 mmHg เท่ากับ 133.33 N / m²



รูปที่ 4 หัวจ่ายน้ำหรือสปริงเกอร์

หัวจ่ายน้ำหรือสปริงเกอร์เป็นอุปกรณ์ให้น้ำกับพืชดังรูปที่ 4 ถูกออกแบบมามีลักษณะคล้ายฝนสามารถเลือกได้ตามความเหมาะสมกับขนาดพื้นที่งานวิจัยนี้ใช้หัวจ่ายน้ำที่มีอัตราการไหล 1.33 L / min (ลิตร/นาที) รับความดันได้ 0.5 – 2 bar (บาร์)

อัตราการไหล (Q : มีหน่วยเป็น m³ / s) คือปริมาตรของไหลซึ่งไหลผ่านท่อในหนึ่งหน่วยเวลาสามารถหาได้จาก

$$Q = VA \quad (5)$$

เมื่อ A คือพื้นที่หน้าตัดแนวตั้งฉาก (m²)

V คืออัตราเร็วของน้ำที่ไหล (m / s) โดยทฤษฎีของ Torricelli กำหนดอัตราเร็วของน้ำที่ไหลออกมาจากท่อหรือรูข้างที่เปิดฝาทิ้ง โดยท่อหรือรูอยู่ต่ำกว่าผิวน้ำในถังเป็นระยะ h ค่าของ $V = \sqrt{2gh}$

รัศมีของท่อที่ใช้ในงานวิจัยมีขนาด 0.01 เมตร และความสูง 5 เมตร เมื่อน้ำหนักของน้ำ 1 m³ มีค่าเท่ากับ 1,000 L จากสมการ (5) สามารถหาอัตราการไหลได้ดังนี้

$$\begin{aligned} Q &= VA = (\sqrt{2gh})(\pi r^2) \\ &= (\sqrt{2 \times 9.81 \times 5})(\pi \times 0.01^2) \\ &= 0.00311 \text{ m}^3 / \text{s} \\ &= 186.6 \text{ L / min} \end{aligned}$$

หัวจ่ายน้ำที่ใช้มีอัตราการไหล 1.33 L / min ดังนั้นจำนวนหัวจ่ายน้ำสามารถใช้ได้สูงสุด 140.3 หัว (186.6/1.33) โดยในงานวิจัยนี้ใช้ทั้งหมด 30 หัว ซึ่งเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของพื้นที่ใช้ทดลอง

3. ความต้องการน้ำของพืช

การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชมีหลายวิธี ความนิยมใช้วิธีคำนวณจากข้อมูลของสภาพภูมิอากาศ ซึ่งเป็นการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชด้วยการใช้ข้อมูลการคายระเหยน้ำของพืช หรือที่เรียกว่า "ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง" (potential evapotranspiration : ET_p) และ "สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช" (crop coefficient : K_C) ซึ่งเป็นวิธีการที่องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติให้การยอมรับ [11] สามารถคำนวณได้จาก

$$ET_C = K_C \times ET_p \quad (6)$$

โดยที่ ET_C คือการใช้น้ำของพืช (mm / d : มิลลิเมตร/วัน)

ตัวอย่างปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงของจังหวัดชลบุรีและใกล้เคียง ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยมีค่าการใช้น้ำของพืชสูงสุดของปออยู่ในช่วงฤดูแล้ง คือในเดือนเมษายน มีค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชสูงสุดที่ 5.69 mm / d ในงานวิจัยนี้พื้นที่ทดสอบระบบควบคุมอยู่ที่จังหวัดชลบุรี ช่วงเดือนมกราคม ดังนั้นปริมาณการใช้น้ำของพืชมีค่า 4.23 mm / d สำหรับสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชค่าสูงสุดจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.75 - 1 ขึ้นอยู่กับปัจจัยสภาพแวดล้อม ได้แก่ แสงแดด อุณหภูมิ ความชื้นในอากาศ เป็นต้น

ตารางที่ 1 ตัวอย่าง ET_p ของพืชอ้างอิง [12]

เดือน \ สถานี	$ET_p (mm / d)$		
	ชลบุรี	จันทบุรี	ระยอง
มกราคม	4.23	4.13	3.98
กุมภาพันธ์	4.85	4.79	4.53
มีนาคม	5.40	4.49	4.91
เมษายน	5.69	4.85	5.11
พฤษภาคม	4.94	4.27	4.40
มิถุนายน	4.97	4.09	3.98
กรกฎาคม	4.62	3.90	4.00
สิงหาคม	4.38	3.72	3.85
กันยายน	4.37	3.90	3.79
ตุลาคม	4.23	3.98	3.84
พฤศจิกายน	4.35	4.26	3.94
ธันวาคม	4.18	4.08	3.83



รูปที่ 5 พื้นที่สำหรับใช้ทดสอบระบบควบคุม

พื้นที่ใช้ทดสอบระบบในงานวิจัยนี้มีขนาด 119 ตารางเมตร ดังรูปที่ 5 แบ่งเป็นพื้นที่ที่ปลูกไม้ยืนต้นและไม้พุ่มอยู่แล้วมีขนาด 92 และ 27 ตารางเมตร ตามลำดับ โดย

ไม้ยืนต้น ได้แก่ ต้นหมาก ส่วนไม้พุ่ม ประกอบด้วย ต้นเข็ม และพลับพลึง ดังรูปที่ 6



(ก) ต้นหมาก



(ข) ต้นเข็มและพลับพลึง

รูปที่ 6 ไม้ยืนต้นและไม้พุ่ม

จากสมการ (6) ตัวอย่างปริมาณการใช้น้ำของพืช ถ้าอยู่ในช่วงเดือนมกราคม (ฤดูหนาว) ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของไม้ยืนต้น 0.6 และไม้พุ่ม 0.68 และปริมาณการใช้น้ำของพืชมีค่าสูงสุด $4.23 \text{ mm} / d$ สามารถคำนวณได้ดังนี้

i. ปริมาณการใช้น้ำของไม้ยืนต้น

$$ET_C = 0.6 \times 4.23$$

$$= 2.54 \text{ mm} / d$$

ii. ปริมาณการใช้น้ำของไม้พุ่ม

$$ET_C = 0.68 \times 4.23$$

$$= 2.88 \text{ mm} / d$$

พืชต่างชนิดกันผลการคำนวณปริมาณการใช้น้ำที่ได้ไม่เท่ากัน และไม่สามารถใช้ได้ตลอดปี เนื่องจากค่า ET_p และ K_C ขึ้นอยู่กับปัจจัยสภาพแวดล้อม

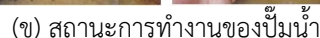
งานวิจัยนี้ใช้หลักการให้น้ำพืชเมื่อความชื้นลดลงใกล้จุดเหี่ยวเฉาการ โดยหลักการนี้เมื่อความชื้นในดินลดลงไปประมาณ 50-70% ของความชื้นที่พืชเอาไปใช้ได้ จะเป็นช่วงเวลาที่ต้องให้น้ำแก่พืชทันที จะไม่ปล่อยให้ลดลงมากกว่านี้ ซึ่งเหมาะกับพื้นที่สำหรับปลูกพืชมากกว่า 1 ชนิด หรือปลูกพืชสวนผสม

ตัวประมวลผลสำหรับควบคุมระบบที่ใช้คือ NodeMCU (ESP8266) เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตไร้สาย (Wi-Fi) ได้ดังแสดงรูปที่ 7 โปรแกรมควบคุมการทำงานเขียนด้วยภาษา C ด้วยความที่เป็น open source ทำให้ใช้งานได้โดยไม่มีค่าใช้จ่ายจึงได้รับความนิยมสูง ESP8266 ใช้งานร่วมกับ Blynk ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มที่สามารถประยุกต์ใช้กับระบบ iOS และ Android ได้ โดย สนับสนุนฮาร์ดแวร์สำหรับเชื่อมโยงกับอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things : IoT) การเขียนกราฟิกควบคุมทำได้ง่ายออกแบบผ่าน widgets

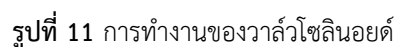
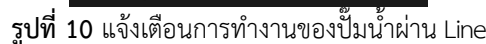


ระบบแรงดันและจ่ายน้ำให้กับพืชรูปที่ 8 มีอุปกรณ์เชื่อมต่อกับตัวควบคุมประกอบด้วย เซ็นเซอร์วัดอัตราการไหลทำหน้าที่วัดอัตราการไหลของน้ำต้นทางก่อนเข้าปั้มน้ำ โดยถ้าอัตราการไหลน้อยกว่า 1 L/min ปั้มน้ำหยุดทำงาน เนื่องจากน้ำมีจำนวนน้อยเกินไปที่จะปั้ไปเก็บยังถังพักน้ำ ในทางตรงข้ามปั้มน้ำทำงานดังรูปที่ 9 (ก) โดยไฟสีเขียวและสีแดงแสดง

(ก) อัตราการไหลมากกว่า $1 \text{ L} / \text{min}$ ป้อนน้ำทำงาน

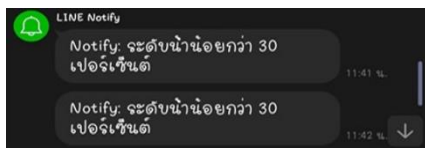


รูปที่ 9 การทำงานของเซนเซอร์วัดอัตราการไหล



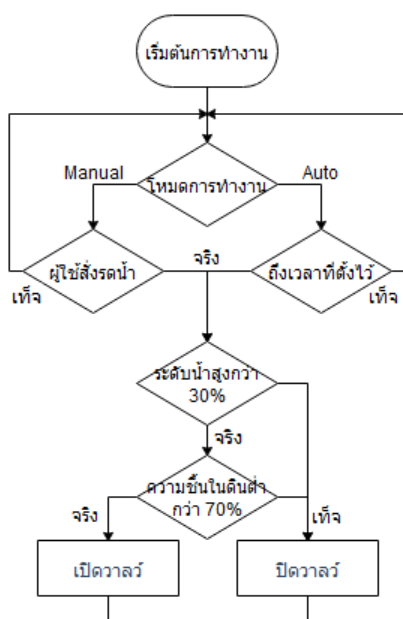
การจ่ายน้ำให้พืชรูปที่ 8 ถูกจ่ายผ่านสปริงเกอร์
ถูกควบคุมด้วยวาล์วโซลินอยด์ ซึ่งวาล์วโซลินอยด์จะทำงาน
หรือหยุดทำงานขึ้นอยู่ระดับน้ำในถังพักน้ำ สำหรับ

อุปกรณ์วัดระดับน้ำประยุกต์ใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิก ถ้าระดับน้ำถึงพิกน้ำต่ำกว่า 30% ของความสูงถึงพิกน้ำ ตัวควบคุมจะทำการสั่งหยุดการทำงานของวาล์วโซลินอยด์ ดังแสดงในรูปที่ 11 และมีการแจ้งเตือนผ่าน Line เมื่อระดับน้ำในถังพิกน้ำต่ำกว่า 30 % ด้วยข้อความ “ระดับน้ำน้อยกว่า 30 เปอร์เซนต์” ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 แจ้งเตือนน้ำในถังพิกมีระดับน้อยผ่าน Line

ระบบควบคุมการจ่ายน้ำให้พืชมี 2 โหมด คือ MANUAL และ AUTO โดยมีการทำงานดังนี้



รูปที่ 13 Flowchart แสดงการทำงานของระบบ

i. การทำงานในโหมด MANUAL วาล์วโซลินอยด์ สำหรับควบคุมการจ่ายน้ำให้กับสปริงเกอร์ ผู้ใช้งานควบคุมที่สมาร์ตโฟนโดยตรง แต่วาล์วโซลินอยด์จะทำงานได้หรือไม่ขึ้นอยู่กับระดับน้ำในถังพิกน้ำ และค่าความชื้นในดิน (ประยุกต์ใช้เซนเซอร์วัดความชื้นในดินดังรูปที่ 8) โดยวาล์วโซลินอยด์สามารถทำงานได้ เงื่อนไขคือระดับน้ำในถังพิกมากกว่าหรือเท่ากับ 30% และค่าความชื้นในดินต่ำกว่า 70% (สามารถปรับเปลี่ยนได้ที่จอโทรศัพท์ที่เครื่องหมาย +

หรือ -) อ้างอิงตามทฤษฎีเมื่อความชื้นในดินอยู่ในช่วง 50-70% จำเป็นต้องให้น้ำแก่พืชทันที

ตารางที่ 2 การทำงานของวาล์วโซลินอยด์ โหมด MANUAL

กรณี	ระดับน้ำในถังพิกน้ำ (%)	ความชื้นในดิน (%)	วาล์วโซลินอยด์
1	26	35	ไม่ทำงาน
2	20	85	ไม่ทำงาน
3	95	46	ทำงาน
4	66	77	ไม่ทำงาน

ทดสอบการทำงานระบบจ่ายน้ำให้พืชในโหมด MANUAL โดยควบคุมวาล์วโซลินอยด์ที่สมาร์ตโฟนโดยตรงจากผู้ใช้ งาน ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งจะแสดงเฉพาะกรณีที่สอดคล้องกับการตั้งเงื่อนไข โดยกรณี 3 วาล์วโซลินอยด์สามารถทำงานได้ เนื่องจากระดับน้ำในถังพิกน้ำสูงกว่า 30% และความชื้นในดินต่ำกว่า 70% ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 ผลทดสอบการทำงานกรณี 3

ii. การทำงานในโหมด AUTO วาล์วโซลินอยด์ สำหรับควบคุมการจ่ายน้ำให้กับสปริงเกอร์สามารถทำงานได้อัตโนมัติตามเงื่อนไขดังนี้ ช่วงเวลาที่กำหนดซึ่งสามารถตั้งได้ 2 ช่วง ในการทดลองระบบกำหนดเวลา 8.00 น. และ 17.00 น. น้ำในถังพิกมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 30% และค่าความชื้นในดินต่ำกว่า 70%

ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3 โดยกรณีที่ 1 ถึง 4 ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ส่งผลให้วาล์วโซลินอยด์ทำงานและหยุดทำงานอัตโนมัติ ส่วนกรณีที่ 5 และ 6 วาล์วโซลินอยด์ไม่ทำงาน เนื่องจากในกรณีที่ 5 ระดับน้ำในถังพิก

ต่ำกว่า 30% และในกรณีที่ 6 ความชื้นในดินสูงกว่า 70% (มีฝนตกทำให้ดินมีความชื้นสูง) ตามลำดับ

ตารางที่ 3 วาล์วโซลินอยด์ทำงาน/ไม่ทำงานในโหมด AUTO

กรณี	เวลา (น.)	ระดับน้ำในถังพัก (%)	ความชื้นในดิน (%)	
			ก่อนวาล์วโซลินอยด์ทำงาน	หลังวาล์วโซลินอยด์ไม่ทำงาน
1	08.00	100	18	72
2	17.00	100	42	71
3	08.00	65	55	71
4	17.00	89	38	71
5	08.00	25	51	-
6	17.00	95	85	-

รูปที่ 15 แสดงผลที่เกิดขึ้นในกรณี 1 วาล์วโซลินอยด์ทำงานอัตโนมัติ และเมื่อระบบจ่ายน้ำให้กับพืชจนค่าความชื้นในดินสูงกว่า 70% วาล์วโซลินอยด์หยุดทำงานอัตโนมัติดังรูปที่ 16



รูปที่ 15 วาล์วโซลินอยด์ทำงานอัตโนมัติ

5. สรุป

ระบบจ่ายน้ำให้พืชอัตโนมัติที่นำเสนอสามารถทำงานได้ 2 โหมด คือ MANUAL และ AUTO โดยโหมด MANUAL สามารถควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วโซลินอยด์โดยตรง ในขณะที่โหมด AUTO จะเป็นการตั้งเวลาการทำงานของวาล์วโซลินอยด์ 2 ช่วงเวลา สามารถกำหนดเองได้ (เช้า-เย็น) การทำงานทั้ง 2 โหมด ควบคุมและแสดงผลบน



รูปที่ 16 วาล์วโซลินอยด์หยุดทำงานอัตโนมัติ

สมาร์ทโฟน โดยจะตรวจสอบค่าความชื้นในดินไม่เกิน 70% ผ่านเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน และปริมาณน้ำในแหล่งกักเก็บต้องมีมากกว่า 30% ระบบจะอนุญาตให้วาล์วโซลินอยด์ทำงานได้ ตัวประมวลผลของระบบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ตั้งค่าการทำงานของระบบจากระยะไกลผ่านการใช้งานแอปพลิเคชัน Blynk โดยผู้ใช้งานจะได้รับการแจ้งเตือนสถานะการทำงานของระบบผ่านทางแอปพลิเคชัน LINE ผลการทดลองระบบสามารถจ่ายน้ำให้กับพืชและสามารถแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งานได้อย่างแม่นยำ

ในกรณีที่แหล่งจ่ายน้ำถูกเก็บสะสมไว้ในถังพักน้ำตั้งสูง จำนวนของสปริงเกอร์ที่ใช้ในระบบสามารถคำนวณจำนวนที่ใช้ได้อย่างเหมาะสม ผลที่ได้ไม่จำเป็นต้องใช้ปั๊มน้ำเพื่อเพิ่มอัตราการไหลที่ปลายท่อสำหรับการหาปริมาณการใช้น้ำของพืช ถ้าใช้วิธีคำนวณจากข้อมูลของสภาพภูมิอากาศ พืชต่างชนิดกันผลการคำนวณปริมาณการใช้น้ำที่ได้ไม่เท่ากัน และไม่สามารถใช้ได้ตลอดปี เนื่องจากค่า ET_p และ K_c ขึ้นอยู่กับปัจจัยสภาพแวดล้อม ดังนั้นระบบที่นำเสนอเหมาะกับเกษตรกรที่ปลูกพืชสวนผสม เนื่องจากใช้ความชื้นของดินเป็นตัวกำหนดการให้น้ำตามช่วงเวลาของการให้น้ำแก่พืช

การประยุกต์ใช้กับพื้นที่เพาะปลูกมากกว่านี้ จำเป็นต้องเพิ่มจำนวนของเซนเซอร์ตรวจวัดความชื้นในดินให้เหมาะสม ทั้งนี้สามารถศึกษาได้จากรายละเอียดของเซนเซอร์ ในกรณีแหล่งจ่ายน้ำอยู่ที่ราบหรือใช้แหล่งน้ำตามธรรมชาติ ต้องเพิ่มปั๊มน้ำเพื่อช่วยให้มีอัตราการไหลถึงปลายท่อ และสามารถใช้น้ำของวาล์วโซลินอยด์มากกว่า 1 ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของพื้นที่เกษตรกร

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะ
วิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยา
เขตศรีราชา

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Theodore W.T. Humidity and plants. BioScience. Jun. 1979;29(6):358–63.

[2] Chia S.Y., Lim M.W, A critical review on the influence of humidity for plant growth forecasting. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2022:1-6.

[3] NarsimhaRao B.V, Mahalakshmi S, TEJA D, Santhosh P. Elevated water tank. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. Oct. 2019;8(12S2):271–6.

[4] Divani A, Patil P, Punjabi S.K. Automated plant watering system. Int. Conf. on Computation of Power, Energy Information and Communication 2016:180-2.

[5] Nu Y.Y, Lwin S.S, Maw W.W. Automatic plant watering system using arduino UNO for university park. International Journal of Trend in Scientific Research and Development. May. 2019;3(4):902–6.

[6] Prasojo I, Maseleno A, Tanane O, Shahu N, Design of automatic watering system based on arduino. Journal of Robotics and Control. Mar. 2020;1(2):55-8.

[7] C. Z. Z., N. N. N., Wireless Sensor Network and Internet of Things (IoT) Solution in Agriculture. Pertanika J. Sci. & Technol, 2017; 25(1):91–100.

[8] Waworundeng J.M.S, Suseno N.C, Manaha R.R.Y. Automatic watering system for plants with IoT monitoring and notification. Cogito Smart Journal. Dec. 2018;4(2):316-26.

[9] Al-Humairi S.N.S, Manimaran P, Abdullah A.I, A smart automated greenhouse: soil moisture, temperature monitoring and automatic water supply system (Peaty, Loam and Silty). IEEE Conf. on Sustainable Utilization and Development in Engineering and Techno-logies, 2019: 111-115.

[10] Siskandar R, Fadhil M.A, Kusumah B.R, Irmansyah I, Irzaman I. Internet of things: automatic plant watering system using android. Jurnal Teknik Pertanian Lampung. Nov, 2020; 9(4):297-310.

[11] Richard G. A, Luis S.P, Dirk R, Martin S. Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. 1998.

[12] Direk T, Wittaya T, Nawee J, Itthisuntorn N. Plant irrigation design and technology. Kehakaset Magazine; 2002:4708.

วิธีอย่างง่ายในการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินเหนียวที่กำลังเพิ่มขึ้นตามความลึก

วรรณวรงค์ รัตนานิคม¹ และสยาม ยัมศิริ^{1*}

wanwarangr@eng.buu.ac.th¹, ysiam@buu.ac.th^{1*}

¹ หน่วยงานวิจัยวิศวกรรมโยธาและโครงสร้างพื้นฐานเพื่อความยั่งยืน, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา

(Received: 27-Jun-2023 Revised: 5-Sep-2023 Accepted: 14-Sep-2023)

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินมีความสำคัญมากในงานด้านวิศวกรรมปฐพี ซึ่งมักเกี่ยวข้องกับการก่อสร้างในงานขุดและถม การวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินจะช่วยให้สามารถกำหนดรูปร่างของลาดดินที่เหมาะสมและปลอดภัยสำหรับการก่อสร้างใหม่ และช่วยประเมินความเสี่ยงของเสถียรภาพลาดดินในโครงสร้างเดิม นอกจากนี้ยังสามารถช่วยในการประเมินกำลังของดินในกรณีที่เกิดการวิบัติได้จากการคำนวณย้อนกลับ ปัจจุบันมีวิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินหลากหลายวิธี โดยแต่ละวิธีมีสมมติฐาน ข้อจำกัดและความซับซ้อนที่แตกต่างกันออกไป การวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินโดยละเอียดส่วนใหญ่จะใช้เครื่องมือคำนวณ เช่น ซอฟต์แวร์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีสมมูลขีดจำกัดหรือวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ส่งผลให้การประเมินเสถียรภาพลาดดินเบื้องต้นในหน้างานทำได้ยากในทางปฏิบัติ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแผนภูมิเสถียรภาพความลาดสำหรับชั้นดินเหนียวที่กำลังเพิ่มขึ้นตามความลึกโดยวิธี Morgenstern and Price และพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อเสถียรภาพลาดดินต่าง ๆ ได้แก่ มุมลาดเอียง, ความสูงของลาดดิน, ความลึกของชั้นดินแข็ง, น้ำหนักบรรทุก และรอยแตกเนื่องจากแรงดึง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินเบื้องต้น จากผลการวิจัยพบว่าแผนภูมิเสถียรภาพความลาดในงานวิจัยนี้สามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย โดยความคลาดเคลื่อนจากการวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนปลอดภัยจากแผนภูมิเสถียรภาพความลาดของคณะวิจัยในกรณีมีน้ำหนักบรรทุก แต่ไม่มีรอยแตกเนื่องจากแรงดึง และกรณีไม่มีน้ำหนักบรรทุก แต่มีรอยแตกเนื่องจากแรงดึงมีค่าต่ำ แต่สำหรับกรณีที่มีทั้งน้ำหนักบรรทุกและรอยแตกเนื่องจากแรงดึง ผลการวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนปลอดภัยจากแผนภูมิเสถียรภาพความลาดของคณะวิจัยมีค่าน้อยกว่าการวิเคราะห์จากโปรแกรม GeoStudio 2012 ในกรณีที่มุมลาดเอียงสูง

คำสำคัญ: ความลาด เสถียรภาพ แผนภูมิเสถียรภาพความลาด ดินเหนียว กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ

Simplified Method for Analyzing Slope Stability of Clay Layer of Increasing Strength With Depth

Wanwarang Ratananikom¹ and Siam Yimsiri^{1*}
wanwarangr@eng.buu.ac.th¹, ysiam@buu.ac.th^{1*}

¹ Sustainable Civil Engineering and Infrastructure Research Unit, Burapha University

(Received: 27-Jun-2023 Revised: 5-Sep-2023 Accepted: 14-Sep-2023)

Abstract

Stability analysis of slopes plays a crucial role in geotechnical engineering which is often associated with excavation and filling works. It helps designing the layout of a newly constructed slope and assessing the risk of failure of an existing slope. Moreover, it enables a strength of soil of a failed slope to be back-calculated. Nowadays, there are a number of slope stability analysis methods, each of which has different hypothesis, limitations, and complexities. Most detailed slope stability analyses involve computational tools, i.e. computer software with a finite element or limit equilibrium methods. As a result, an initial assessment of slope stability on site is difficult in practice. Therefore, the objective of this research is to propose a set of slope stability charts for homogeneous clay with increasing strength with depth by Morgenstern and Price method. It also considers the factors affecting slope stability such as slope angle, slope height, depth of firm subsoil, surcharge factor, and tension crack factor. The result will be beneficial for preliminary estimation of slope stability analysis. Based on the findings, the slope stability chart developed in this study is considered reliable for practical applications. Errors of safety factors analyzed from the research are low in case of (i) the surcharge factor without considering the tension crack factor and (ii) the tension crack factor without considering the surcharge factor. Nevertheless, it is important to note that the safety factors obtained in this research are comparatively lower than those derived from the GeoStudio 2012 analysis when considering both the surcharge factor and tension crack factor simultaneously, particularly in situations with steep slope angles.

Keywords: slope, stability, slope stability chart, clay, undrained shear strength

1. บทนำ

ลาดดินเป็นสภาพที่เกิดขึ้นเมื่อดินมีความต่างระดับเนื่องจากงานขุดหรืองานถมดิน มวลดินบริเวณลาดดินมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนตัวเนื่องจากผลของแรงโน้มถ่วง ลาดดินจะมีเสถียรภาพอยู่ได้ก็ต่อเมื่อกำลังรับแรงเฉือนของดินมีค่ามากเพียงพอที่จะต้านทานการเคลื่อนตัวของมวลดินไม่ให้เกิดการเลื่อนไถลหรือการวิบัติ สาเหตุของการเลื่อนไถลของลาดดินอาจเกิดจากการรบกวนจากภายนอก เช่น การขุดดินที่ด้านล่างของลาดดิน, การเพิ่มขึ้นของแรงดันน้ำ (pore water pressure), หรือการค่อยๆ สูญเสียกำลังของดิน เป็นต้น โดยส่วนใหญ่แล้วการเลื่อนไถลของลาดดินเกือบทุกกรณีก็มีลักษณะคล้ายคลึงกัน คือการวิบัติจะเริ่มจากการเกิดรอยแตกเนื่องจากแรงดึงที่บริเวณส่วนบนของลาดดิน ระหว่างการเลื่อนไถลส่วนบนของลาดดินจะเคลื่อนตัวลงในขณะที่ส่วนล่างจะบีบอัดตัว ดังนั้นหากผิวเดิมของลาดดินเป็นระนาบภายหลังจากการเลื่อนไถล ผิวดินจะมีลักษณะคล้ายรูปตัว S

การวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินมีความสำคัญมากในงานด้านวิศวกรรมปฐพี ซึ่งมักเกี่ยวข้องกับงานถมหรืองานขุดสำหรับโครงสร้างต่างๆ เช่น ทางหลวง, ทางรถไฟ, หรือคลอง การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินจะช่วยให้สามารถกำหนดรูปร่างของลาดดินที่เหมาะสมและปลอดภัยสำหรับการก่อสร้างโครงสร้างใหม่ ช่วยประเมินความเสี่ยงของเสถียรภาพลาดดินในโครงสร้างเดิม รวมถึงช่วยประเมินกำลังของดินเมื่อเกิดการวิบัติ

ปัจจุบันวิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินมีด้วยกันหลากหลายวิธีและแต่ละวิธีมีสมมติฐานข้อจำกัดและความซับซ้อนที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งวิธี method of slice เป็นวิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินวิธีหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย การวิเคราะห์โดยวิธีนี้จะแบ่งมวลดินที่อยู่เหนือระนาบการเลื่อนไถล (slip surface) เป็นชิ้นส่วนย่อยตามแนวตั้ง โดยสามารถสมมุติระนาบการเลื่อนไถลเป็นแบบวงกลม (circular slip surface) หรือไม่เป็นวงกลม (non-circular slip surface) วิธี circular slip surface จะพิจารณาสมมูลของโมเมนต์รอบจุดศูนย์กลางของ

วงกลมของมวลดินทุกชิ้นส่วน ส่วนวิธี non-circular slip surface สามารถพิจารณาสมมูลของแรงอย่างเดียว หรือสมมูลของแรงและโมเมนต์พร้อมกัน นักวิจัยจำนวนมากได้เสนอสมการการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินโดยอาศัยหลักการเหล่านี้ [1-3] อย่างไรก็ตามจากสมการที่ซับซ้อนในการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินจึงจำเป็นต้องใช้เครื่องมือทางคอมพิวเตอร์ เช่น ซอฟต์แวร์ที่วิเคราะห์ด้วยวิธีสมมูลชุดจำกัดหรือวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ส่งผลให้การประเมินเสถียรภาพลาดดินเบื้องต้นในหน้างานทำได้ยากในทางปฏิบัติ ดังนั้นในกรณีที่มีรูปแบบโครงสร้างลาดดินและคุณสมบัติดินที่ไม่ซับซ้อนวิธีการวิเคราะห์ปัญหาเสถียรภาพลาดดินที่เสนอในรูปแบบแผนภูมิเสถียรภาพความลาด (Slope stability chart) จะสามารถช่วยให้การวิเคราะห์ปัญหาง่ายขึ้น

แผนภูมิเสถียรภาพความลาดเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาเสถียรภาพลาดดินเบื้องต้นอย่างรวดเร็ว แผนภูมิเสถียรภาพความลาดเริ่มต้นพัฒนาโดย Taylor [4, 5] สำหรับดินเหนียวเนื้อเดียวแบบหน่วยแรงรวม (total stress analysis) โดยใช้พื้นฐานของหลักการวิงกลมเสียดทาน (friction circle method) และกำหนดให้ระนาบการเคลื่อนตัวเป็นแบบวงกลม กำลังการรับแรงเฉือนของดินเป็นไปตามกฎของคูลอมบ์ แผนภูมิเสถียรภาพความลาดจะให้ค่าสัมประสิทธิ์เสถียรภาพความลาด (N_s) ซึ่งขึ้นอยู่กับมุมลาดชัน (β), มุมเสียดทาน (ϕ) และ depth factor (D) โดยค่าสัมประสิทธิ์เสถียรภาพความลาดนี้จะมีความสัมพันธ์กับค่าความสูงวิกฤตของความลาด (H_c) และอัตราส่วนปลอดภัย (FS)

ต่อมาได้มีการพัฒนาแผนภูมิเสถียรภาพความลาดสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาลาดดินอย่างต่อเนื่อง [6-8] อย่างไรก็ตาม งานวิจัยแรกที่ศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์ปัญหาลาดดินเหนียวที่มีกำลังเพิ่มขึ้นตามความลึกคือ Gibson และ Morgenstern [9] ซึ่งนำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความปลอดภัย (FS) และมุมลาดเอียง (β) สำหรับกรณีที่ดินมีกำลังการรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำเท่ากับศูนย์ที่ผิวดิน งานวิจัยนี้ถูกพัฒนาต่อโดย Hunter และ Schuster

[10] เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ปัญหาของลาดดินที่มีค่ากำลังการรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำมากกว่าศูนย์ที่ผิวดินได้ โดยการวิเคราะห์ของทั้งสองการศึกษานี้มีตัวแปรเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งตัวคือ strength gradient parameter (M) อย่างไรก็ตามทั้งสองการศึกษานี้ยังคงไม่ได้พิจารณาถึงระดับน้ำใต้ดินที่ต้องเผชิญบริเวณนอกลาดดิน รวมถึงปัจจัยของน้ำหนักบรรทุกทุกบริเวณเนินดินและผลของรอยแตกเนื่องจากแรงดึงของลาดดินซึ่งอาจส่งผลต่อความแม่นยำในการวิเคราะห์ได้ Koppula [11] ได้ทำการวิเคราะห์ optimization ในลักษณะที่คล้ายคลึงกับการวิเคราะห์ของ [10]

2. วัตถุประสงค์

เพื่อสร้างแผนภูมิเสถียรภาพความลาดสำหรับชั้นดินเหนียวที่มีกำลังเพิ่มขึ้นตามความลึกที่สามารถมีค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำมากกว่าศูนย์ที่ผิวดินได้ และพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อเสถียรภาพลาดดินต่างๆ ได้แก่ ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินเหนียว, ค่าความลาดเอียง, ความสูงของลาดดิน ความลึกของชั้นดินแข็ง, น้ำหนักบรรทุก และปัจจัยของรอยแตกเนื่องจากแรงดึง (โดยไม่ได้พิจารณาระดับน้ำใต้ดินที่ต้องเผชิญบริเวณนอกลาดดิน)

3. ขอบเขตการศึกษาและวิธีการดำเนินงาน

ส่วนที่ 1 ทำการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดิน (วิเคราะห์อัตราส่วนปลอดภัย FS) ในกรณีชั้นดินเหนียวที่มีกำลังเพิ่มขึ้นตามความลึก คือ มุมเสียดทานภายในของดินเท่ากับศูนย์ (friction angle, $\phi = 0$) และกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (undrained shear strength, s_u) มีค่าเพิ่มขึ้นตามความลึก โดยใช้วิธี Morgenstern and Price และแปรผันปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อเสถียรภาพลาดดิน (ดูรูปที่ 1) ได้แก่

1. ปัจจัยค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ คือ พิจารณากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำที่ผิวดิน (s_{u0}) เท่ากับ 10 kPa และความเปลี่ยนแปลงของค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำที่เพิ่มขึ้นตามความลึก (Δs_u) ระหว่าง 1 ถึง 5 kPa/m

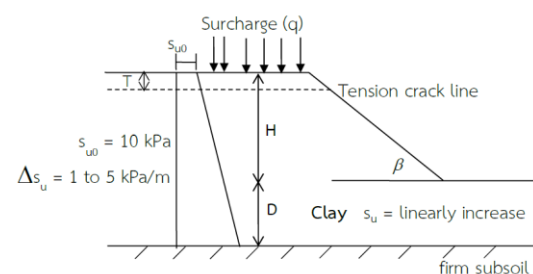
2. ปัจจัยค่าความลาดเอียง คือ พิจารณาความลาดเอียงของลาดดิน (β) ระหว่างมุม 0° ถึง 90°

3. ปัจจัยความสูง (depth factor, D/H) คือ พิจารณาอัตราส่วนระหว่างความลึกของชั้นดินแข็ง (depth of firm subsoil, D) และความสูงของลาดดิน (slope height, H) ระหว่าง 0 ถึง 5

4. ปัจจัยน้ำหนักบรรทุก (surcharge factor, $q/\gamma H$) คือ พิจารณาอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักบรรทุก (surcharge, q) และน้ำหนักของลาดดิน (weight of soil, γH) ระหว่าง 0 ถึง 0.5

5. ปัจจัยของรอยแตกเนื่องจากแรงดึง (tension crack factor, T/H) คือ พิจารณาอัตราส่วนระหว่างความลึกของ tension crack (T) และความสูงของลาดดิน (slope height, H) ระหว่าง 0 ถึง 0.5

ส่วนที่ 2 นำผลการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินหรืออัตราส่วนปลอดภัย FS ของทุกกรณี (ส่วนที่ 1) มาสร้างแผนภูมิเสถียรภาพความลาด (Slope stability chart) เพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินในกรณีชั้นดินเหนียวที่มีกำลังเพิ่มขึ้นตามความลึก



รูปที่ 1 รูปแบบและลักษณะของลาดดินที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพ

4. ผลการศึกษา

จากการพิจารณาปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น สามารถสร้างเป็นกรณีเพื่อวิเคราะห์หาค่าอัตราส่วนปลอดภัยด้วยโปรแกรม GeoStudio 2012 จำนวน 15,000 กรณี จากนั้นนำผลการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินหรืออัตราส่วนปลอดภัยของทุกกรณีมาสร้างเป็นแผนภูมิเสถียรภาพความลาดเพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินในกรณีลาดดินเหนียวที่มีกำลังเพิ่มขึ้นตามความลึก ดังนี้

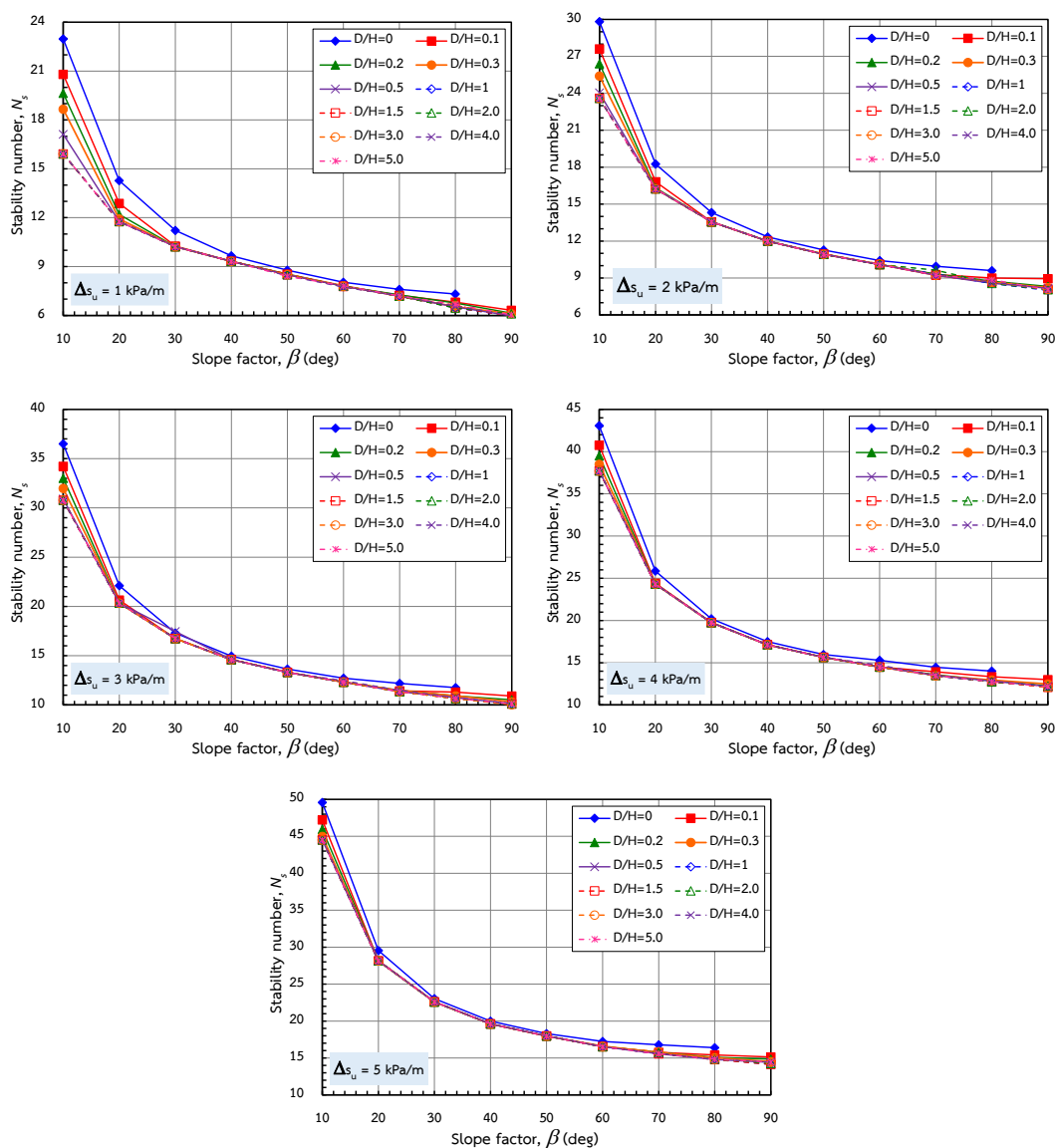
4.1 แผนภูมิเสถียรภาพความลาดพื้นฐาน (ไม่มีปัจจัยน้ำหนักบรรทุกและไม่มียอยแตกเนื่องจากแรงดึง)

ผลการวิเคราะห์ปัญหาเสถียรภาพลาดดินเหนียวมีกำลังเพิ่มขึ้นตามความลึก โดยมีค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ผิวดิน (s_{u0}) เท่ากับ 10 kPa และ Δs_u ระหว่าง 1 ถึง 5 kPa/m ($\phi=0^\circ$, γ คงที่) ในกรณีไม่มีปัจจัยน้ำหนักบรรทุกและไม่มียอยแตกเนื่องจากแรงดึงสามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้แผนภูมิเสถียรภาพความลาดดังแสดงในรูปที่ 2 โดยค่าสัมประสิทธิ์เสถียรภาพความ

ลาด (stability factor, N_s) มีค่าขึ้นอยู่กับมุมลาดเอียง (β) และปัจจัยความสูง (D/H) ค่าความสูงวิกฤตของความลาด (H_c) และอัตราส่วนปลอดภัย (FS) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ

$$H_c = N_s \frac{s_{u0}}{\gamma} \quad (1)$$

$$FS = \frac{H_c}{H} \quad (2)$$



รูปที่ 2 แผนภูมิเสถียรภาพความลาดของชั้นดินเหนียวที่มีกำลังเพิ่มขึ้นตามความลึก
กรณีไม่มีปัจจัยน้ำหนักบรรทุก และไม่มียอยแตกเนื่องจากแรงดึง

4.2 แผนภูมิเสถียรภาพความลาด กรณีมีปัจจัย น้ำหนักรรทุกและรอยแตกเนื่องจากแรงดึง

เพื่อให้การวิเคราะห์ปัญหาเสถียรภาพลาดดินครอบคลุม (i) ปัจจัยน้ำหนักรรทุก และ (ii) ปัจจัยของรอยแตกเนื่องจากแรงดึง ผู้วิจัยจึงได้สร้างสมการความสัมพันธ์สำหรับการวิเคราะห์หาค่าอัตราส่วนปลอดภัยเพื่อให้ครอบคลุมปัจจัยดังกล่าวดังสมการที่ (3)

$$FS = \mu_q \mu_t FS_0 \quad (3)$$

เมื่อ FS = ค่าอัตราส่วนปลอดภัย (กรณีมีปัจจัยน้ำหนักรรทุกและรอยแตกเนื่องจากแรงดึง)

FS_0 = ค่าอัตราส่วนปลอดภัยพื้นฐาน (ไม่มีปัจจัยน้ำหนักรรทุกและไม่มีรอยแตกเนื่องจากแรงดึง โดยวิเคราะห์จากรูปที่ 2 และสมการที่ 2)

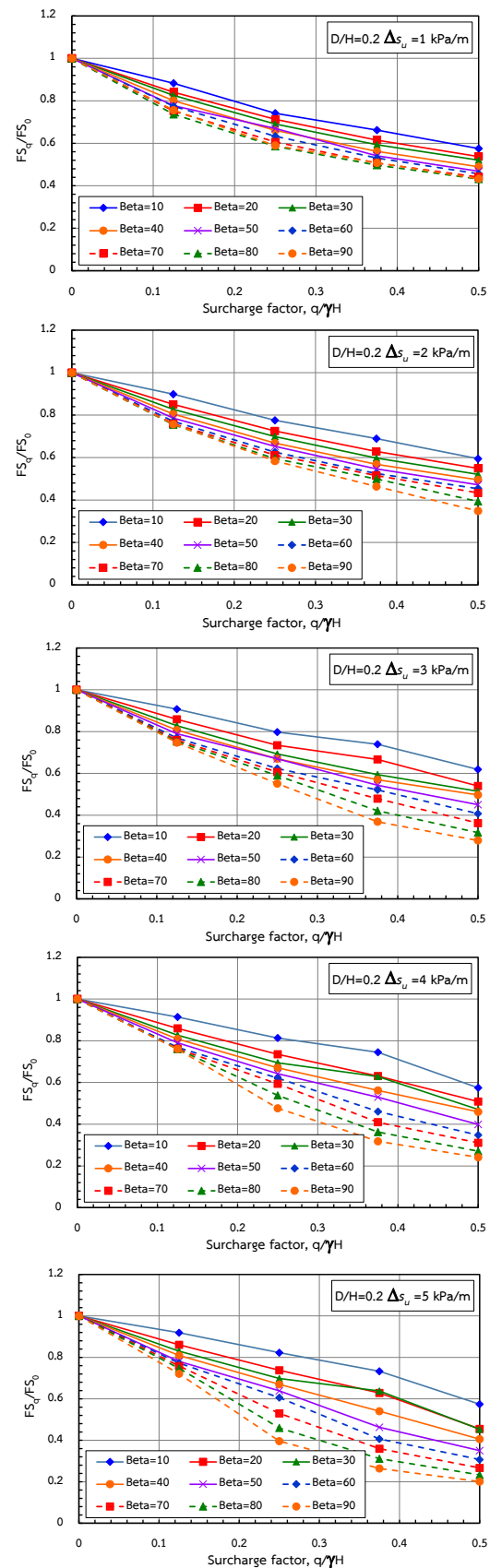
μ_q = ค่าปรับแก้ปัจจัยน้ำหนักรรทุก

μ_t = ค่าปรับแก้ปัจจัยรอยแตกเนื่องจากแรงดึง

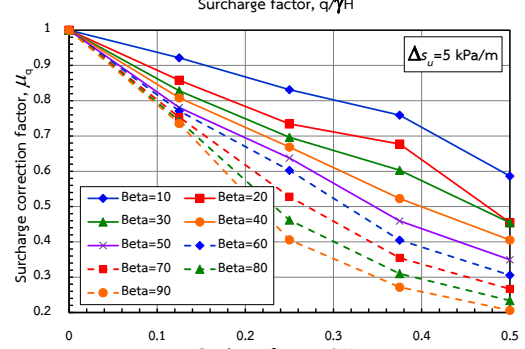
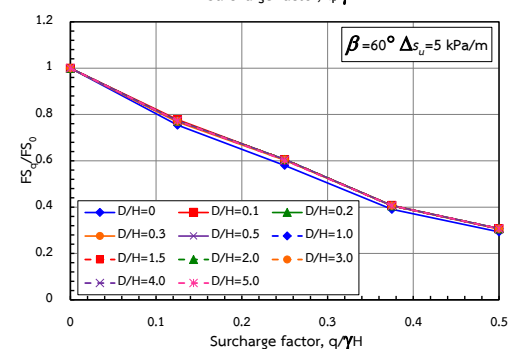
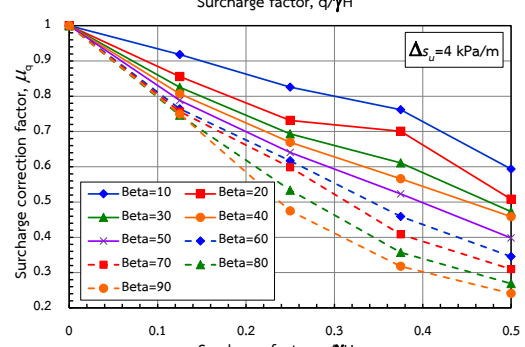
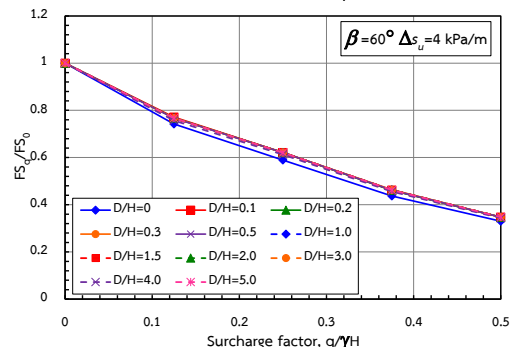
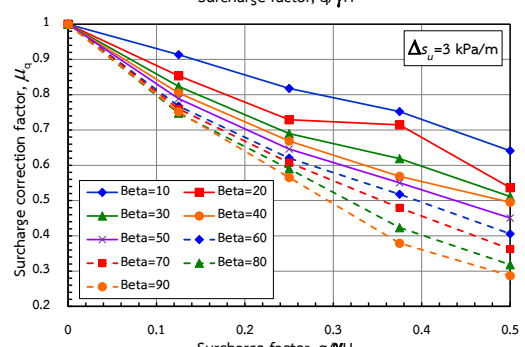
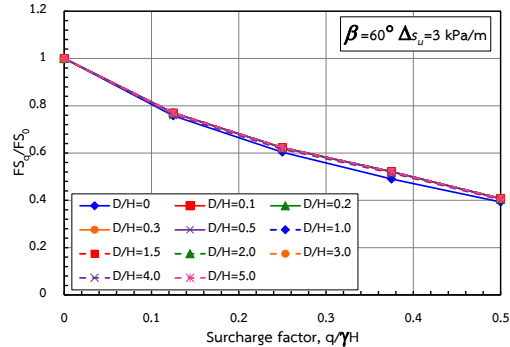
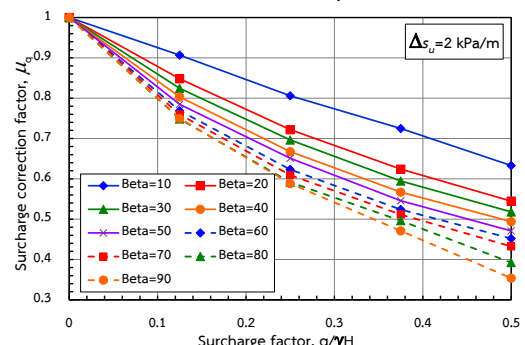
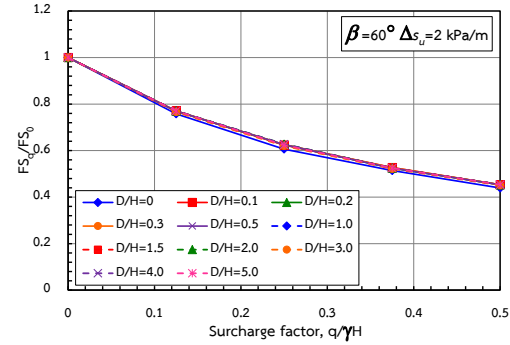
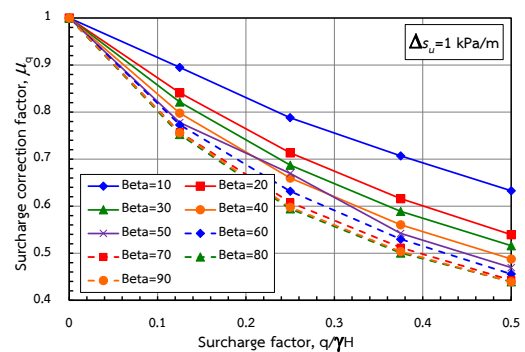
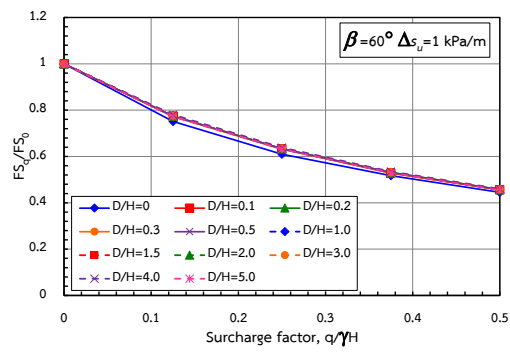
โดยค่าปรับแก้ปัจจัยน้ำหนักรรทุก (μ_q) และค่าปรับแก้ปัจจัยรอยแตกเนื่องจากแรงดึง (μ_t) สามารถวิเคราะห์ได้จากแผนภูมิปรับแก้ดังต่อไปนี้

4.2.1 แผนภูมิปรับแก้ปัจจัย น้ำหนักรรทุก

แผนภูมิปรับแก้ปัจจัยน้ำหนักรรทุกถูกวิเคราะห์มาจากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยน้ำหนักรรทุก ($q/\gamma H$) และ FS_q/FS_0 (สัดส่วนระหว่างค่าอัตราส่วนปลอดภัยในกรณีที่มีน้ำหนักรรทุกและไม่มีน้ำหนักรรทุกที่วิเคราะห์ได้จากโปรแกรม GeoStudio 2012) ตัวอย่างผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 3 (β แปรผัน, $D/H=0.2$) และรูปที่ 4 ($\beta=60^\circ$, D/H แปรผัน)



รูปที่ 3 ผลของปัจจัยน้ำหนักรรทุกต่อค่าอัตราส่วน
ปลอดภัย FS_q/FS_0 (β แปรผัน $D/H=0.2$)



รูปที่ 4 ผลของปัจจัยน้ำหนักบรรทุกต่อค่าอัตราส่วน
ปลอดภัย FS_u/FS_0 ($\beta=60^\circ$ D/H แปรผัน)

รูปที่ 5 แผนภูมิปรับแก้ปัจจัยน้ำหนักบรรทุก

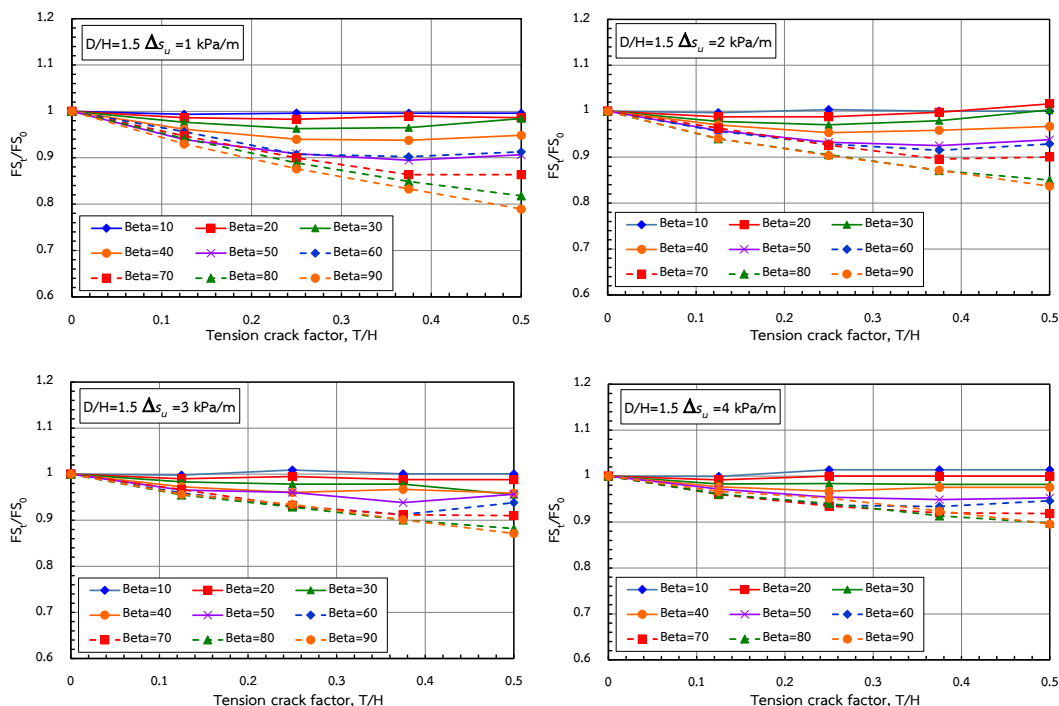
จากรูปที่ 3 และ 4 พบว่าเมื่อลาดดินมีน้ำหนักรรทุกกระทำเพิ่มขึ้น ค่าอัตราส่วนปลอดภัยที่วิเคราะห์ได้ในแต่ละกรณีจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับค่าอัตราส่วนปลอดภัยของลาดดินที่ไม่มีน้ำหนักรรทุกกระทำ นอกจากนี้ค่าอัตราส่วนปลอดภัยของลาดดินที่มีน้ำหนักรรทุกกระทำจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อมุมลาดเอียง (β) เพิ่มขึ้น (ดูรูปที่ 3) แต่มีแนวโน้มคงที่เมื่อปัจจัยความสูง (D/H) เพิ่มขึ้น (ดูรูปที่ 4) นั้นหมายความว่าอัตราส่วนปลอดภัยของลาดดินที่มีน้ำหนักรรทุกกระทำแปรผันตามมุมลาดเอียงแต่ไม่แปรผันตามปัจจัยความสูงของลาดดิน ดังนั้นแผนภูมิปรับแก้ปัจจัยความสูงจึงถูกวิเคราะห์โดยใช้ค่าเฉลี่ยของ FS_u/FS_0 (นิยามเป็นสัญลักษณ์ μ_u) ที่ค่ามุมลาดเอียงต่างๆ แสดงดังรูปที่ 5

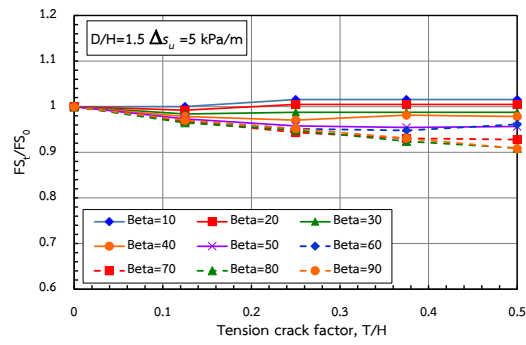
4.2.2 แผนภูมิปรับแก้ปัจจัยรอย

แตกเนื่องจากแรงดึง

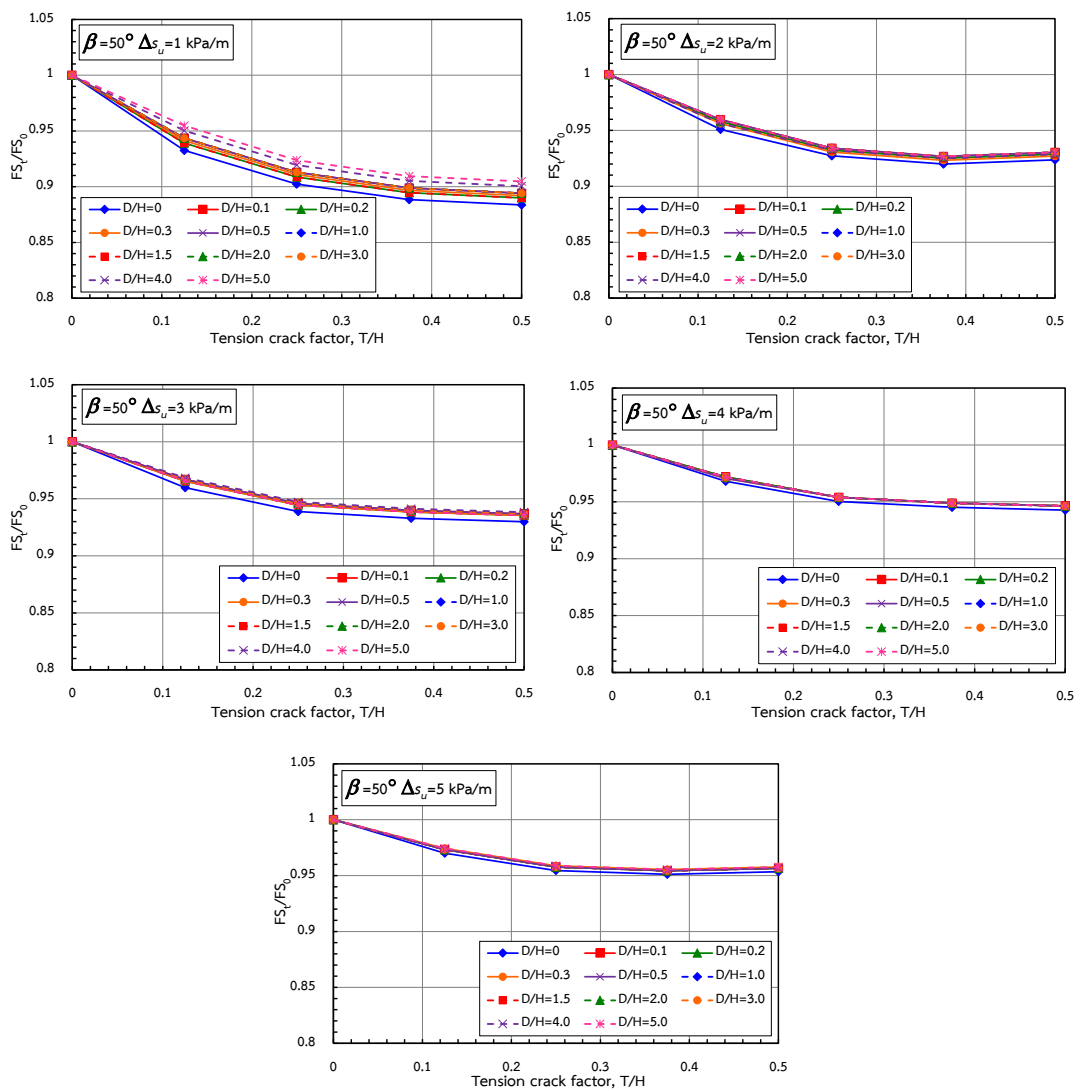
แผนภูมิปรับแก้ปัจจัยรอยแตกเนื่องจากแรงดึงถูกวิเคราะห์มาจากการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยรอยแตกเนื่องจากแรงดึง (T/H) และ FS_u/FS_0 (สัดส่วนระหว่างค่าอัตราส่วนปลอดภัยในกรณี

ที่มีรอยแตกเนื่องจากแรงดึงและไม่มีรอยแตกเนื่องจากแรงดึงที่วิเคราะห์ได้จากโปรแกรม GeoStudio 2012) ตัวอย่างการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 6 (β แปรผัน, D/H=1.5) และ รูปที่ 7 ($\beta=50^\circ$, D/H แปรผัน) พบว่า เมื่อลาดดินมีรอยแตกเนื่องจากแรงดึงเพิ่มขึ้น ค่าอัตราส่วนปลอดภัยที่วิเคราะห์ได้ในแต่ละกรณีจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับค่าอัตราส่วนปลอดภัยของลาดดินที่ไม่มีรอยแตกเนื่องจากแรงดึง นอกจากนั้นค่าอัตราส่วนปลอดภัยของลาดดินที่มีรอยแตกเนื่องจากแรงดึงจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อมุมลาดเอียง (β) เพิ่มขึ้น (ดูรูปที่ 6) แต่มีแนวโน้มคงที่เมื่อปัจจัยความสูง (D/H) เพิ่มขึ้น (ดูรูปที่ 7) นั้นหมายความว่าอัตราส่วนปลอดภัยของลาดดินที่มีรอยแตกเนื่องจากแรงดึงแปรผันตามมุมลาดเอียงแต่ไม่แปรผันตามปัจจัยความสูงของลาดดิน ดังนั้นแผนภูมิปรับแก้ปัจจัยรอยแตกเนื่องจากแรงดึงจึงถูกวิเคราะห์โดยใช้ค่าเฉลี่ยของ FS_u/FS_0 (นิยามเป็นสัญลักษณ์ μ_u) ที่ค่ามุมลาดเอียงต่างๆ แสดงดังรูปที่ 8

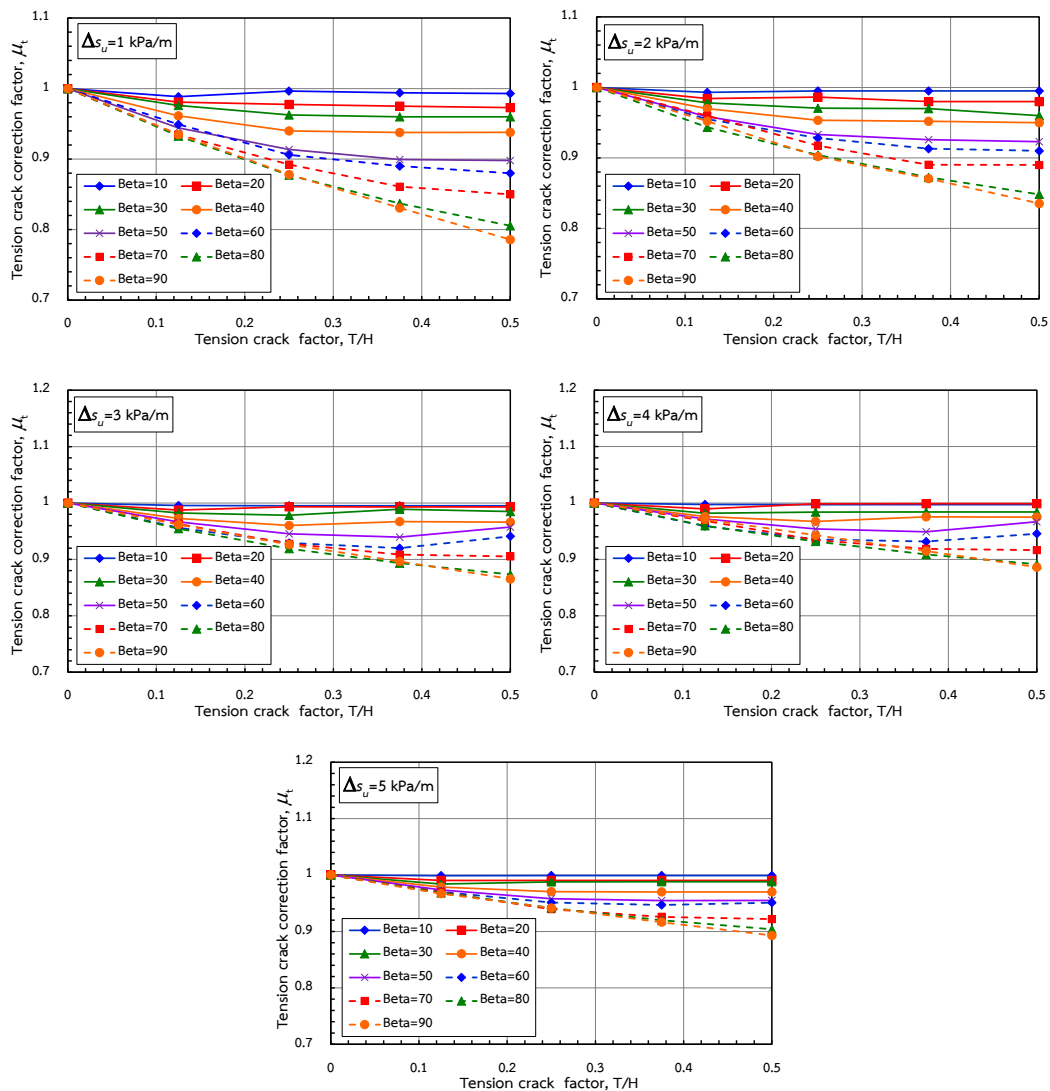




รูปที่ 6 ผลของปัจจัยของรอยแตกเนื่องจากแรงดึงต่อค่าอัตราส่วนปลอดภัย FS_u/FS_0
(β แปรผัน $D/H=1.5$)



รูปที่ 7 ผลของปัจจัยของรอยแตกเนื่องจากแรงดึงต่อค่าอัตราส่วนปลอดภัย FS_u/FS_0
($\beta=50^\circ$ D/H แปรผัน)



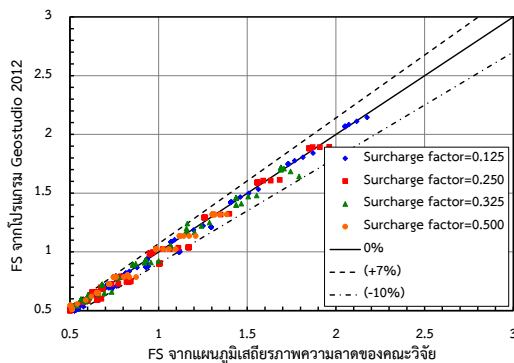
รูปที่ 8 แผนภูมิปรับแก้ปัจจัยรอยแตกเนื่องจากแรงดึง

4.3 ผลการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนปลอดภัยจากแผนภูมิเสถียรภาพความลาดของคณะวิจัยและจากโปรแกรม GeoStudio 2012

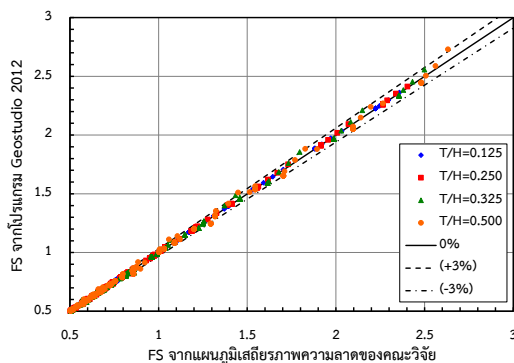
ทำการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนปลอดภัยจากแผนภูมิเสถียรภาพความลาดของคณะวิจัยและจากโปรแกรม GeoStudio 2012 โดยใช้ตัวอย่างทั้งหมด 9,000 กรณี ประกอบด้วย (i) β เท่ากับ 10° , 20° , 30° , 40° , 50° และ 60° , (ii) D/H เท่ากับ 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4 และ 5, (iii) $q/\gamma H$ เท่ากับ 0, 0.125, 0.25, 0.375 และ 0.5, (iv) T/H เท่ากับ 0, 0.125, 0.25, 0.375 และ 0.5, และ (v) Δs_u เท่ากับ 1, 2, 3, 4 และ 5 kPa/m

รูปที่ 9 แสดงผลการเปรียบเทียบกรณีมีน้ำหนักรรทุก แต่ไม่มีรอยแตกเนื่องจากแรงดึง พบว่าค่าอัตราส่วนปลอดภัยจากแผนภูมิเสถียรภาพความลาดของคณะวิจัยและจากโปรแกรม GeoStudio 2012 มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีความคลาดเคลื่อนอยู่ระหว่าง +7% ถึง -10% รูปที่ 10 แสดงผลการเปรียบเทียบกรณีไม่มีน้ำหนักรรทุก แต่มีรอยแตกเนื่องจากแรงดึง พบว่าค่าอัตราส่วนปลอดภัยจากแผนภูมิเสถียรภาพความลาดของคณะวิจัยและจากโปรแกรม GeoStudio 2012 มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีความคลาดเคลื่อนอยู่ระหว่าง +3% ถึง -3% และเมื่อพิจารณาปัญหากรณีที่ทั้งน้ำหนักรรทุกและมีรอยแตกเนื่องจากแรงดึง (รูปที่ 11) พบว่ามีความคลาดเคลื่อนสูงขึ้นคืออยู่ระหว่าง

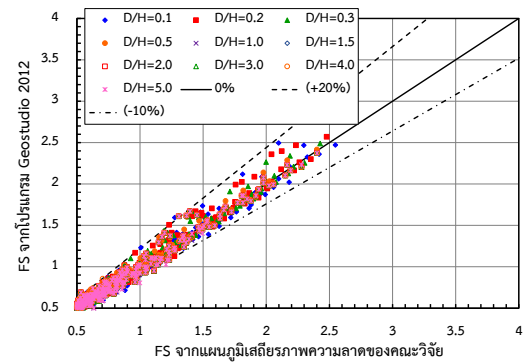
+20% ถึง -10% อย่างไรก็ตามแม้ว่าความคลาดเคลื่อนจากการวิเคราะห์โดยใช้แผนภูมิเสถียรภาพความลาดจะมีค่าค่อนข้างสูง แต่จะเห็นได้ว่าความคลาดเคลื่อนโดยส่วนใหญ่จะมีลักษณะ lower prediction คือ ผลการวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนปลอดภัยจากแผนภูมิเสถียรภาพความลาดของคณะวิจัยมีค่าน้อยกว่าการวิเคราะห์จากโปรแกรม GeoStudio 2012 นั้นหมายความว่าแผนภูมิเสถียรภาพความลาดนี้ยังคงใช้งานได้อย่างปลอดภัย แต่อาจส่งผลทำให้สิ้นเปลืองมากขึ้นเพราะความคลาดเคลื่อนที่ต่ำกว่าของค่าอัตราส่วนปลอดภัยจากการใช้แผนภูมิเสถียรภาพความลาดของคณะวิจัย



รูปที่ 9 ผลการเปรียบเทียบกรณีมีน้ำหนักรบรรทุก แต่ไม่มีรอยแตกเนื่องจากแรงดึง



รูปที่ 10 ผลการเปรียบเทียบกรณีไม่มีน้ำหนักรบรรทุก แต่มีรอยแตกเนื่องจากแรงดึง



รูปที่ 11 ผลการเปรียบเทียบกรณีมีน้ำหนักรบรรทุกและ มีรอยแตกเนื่องจากแรงดึง

5. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้นำเสนอแผนภูมิเสถียรภาพความลาดสำหรับลาดดินเหนียวมีกำลังเพิ่มขึ้นตามความลึกที่ใช้งานง่าย และสามารถพิจารณาปัจจัยเพิ่มเติมที่ส่งผลต่อเสถียรภาพลาดดินต่างๆ ได้แก่ น้ำหนักรบรรทุกและรอยแตกเนื่องจากแรงดึงที่ใช้สำหรับงานงานถมหรืองานขุดสำหรับโครงสร้างต่างๆ ความคลาดเคลื่อนจากการวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนปลอดภัยจากแผนภูมิเสถียรภาพความลาดของคณะวิจัยในกรณีมีน้ำหนักรบรรทุก แต่ไม่มีรอยแตกเนื่องจากแรงดึง และกรณีไม่มีน้ำหนักรบรรทุก แต่มีรอยแตกเนื่องจากแรงดึงมีค่าต่ำ แต่สำหรับกรณีที่ทั้งน้ำหนักรบรรทุกและรอยแตกเนื่องจากแรงดึง ความคลาดเคลื่อนโดยส่วนใหญ่มีลักษณะ lower prediction คือผลการวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนปลอดภัยจากแผนภูมิเสถียรภาพความลาดของคณะวิจัยมีค่าน้อยกว่าการวิเคราะห์จากโปรแกรม GeoStudio 2012 ในกรณีที่มุมลาดเอียงสูง

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยบูรพา “งบประมาณเงินอุดหนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประเภท Fundamental Fund ปีงบประมาณ พ.ศ. 2565” เลขที่สัญญา วรรณ.60/2565 และได้รับการสนับสนุนจากกองทุนวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยบูรพา ในการจัดตั้งหน่วยวิจัยวิศวกรรมโยธาและโครงสร้างพื้นฐานเพื่อความยั่งยืน

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Bishop AW, Morgenstern N. Stability coefficients for earth slopes. *Geotechnique*. 1960;10(4):129–50.
- [2] Morgenstern NR. Stability charts for earth slopes during rapid drawdown. *Geotechnique*. 1963;13(2):121–31.
- [3] Spencer E. A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel inter-slice forces. *Geotechnique*. 1967;17(1): 11-26.
- [4] Taylor DW. Stability of earth slopes. *Journal of the Boston Society of Civil Engineers*. 1973;24(3):337-86.
- [5] Taylor DW. *Fundamentals of Soil Mechanics*. Wiley, Hoboken, NJ; 1948.
- [6] Michalowski RL. Stability charts for uniform slopes. *J Geotech Geoenviron Eng*. 2002;128 (4):351–5.
- [7] Baker, R. 2003. A second look at Taylor’s stability chart. *J. Geotech. Geoenviron. Eng*. 129: 1102–1108.
- [8] Li AJ., Merifield RS., Lyamin AV. Three-dimensional stability charts for slopes based on limit analysis method. *Can. Geotech*. 2010;47:1316-34.
- [9] Gibson RE., Morgenstern N. A note on the stability of cuttings in normally consolidated clay. *Géotechnique*. 1962;2:212–6.
- [10] Hunter JH., Schuster RL. Stability of simple cuttings in normally consolidated clays. *Geotechnique*. 1968;18(3):372–8.
- [11] Koppula SD. On stability of slopes in clay with linearly increasing strength. *Can. Geotech*. 1983;21(3):577-81.

การพัฒนารูปแบบการบริหารจัดการและการวางแผนการผลิต สำหรับวิสาหกิจชุมชนปลุกมะม่วงบ้านแฮด

วนิดา บุญโฉม¹ พรเทพินทร์ สุขแสงประสิทธิ์¹ สุรเชษฐ์ เกื้อนแก้วสิงห์^{2*} และยุพาภรณ์ ชัยเสนา³
vanita.bo@rmuti.ac.th¹, porntepin.so@rmuti.ac.th¹, surached.th@rmuti.ac.th^{2*},
yupaporn.chaise@gmail.com³

¹คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

³คณะบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

(Received: 14-Sep-2023 Revised: 9-Oct-2023 Accepted: 15-Oct-2023)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการบริหารจัดการและการวางแผนการผลิตมะม่วง วิธีการวิจัยเชิงคุณภาพใช้แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล โดยมีผู้ให้ข้อมูลจำนวน 10 ราย และวิธีการวิจัยเชิงปริมาณประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยเทคนิคโปรแกรมเชิงเส้นสำหรับการวางแผนการผลิตมะม่วง ผลการวิจัยพบว่า รูปแบบการบริหารจัดการโดยประธานกลุ่มเป็นผู้มีประสบการณ์มีภาวะผู้นำ ความสัมพันธ์ระหว่างสมาชิกมีความใกล้ชิดและเป็นระบบเครือข่าย ตามระบบสังคมของพื้นที่ชนบท รวมตัวกันและแบ่งงานกันทำตามความถนัด รวมถึงเป็นศูนย์การเรียนรู้ ส่งผลให้เกิดสังคมแห่งการเรียนรู้สร้างเครือข่ายท้องถิ่นตามนโยบายของรัฐบาล เพื่อประโยชน์แก่สมาชิกในการลดต้นทุนการผลิต สร้างผลผลิต และเพิ่มมูลค่าการส่งออกได้เป็นอย่างดีอีกด้วย ซึ่งรูปแบบอธิบายด้วยแม่สีโมเดล (MASEE Model) ได้แก่ M - Management การบริหารจัดการ A - Assignment การกำหนดผู้รับผิดชอบและกระจายความรับผิดชอบตามโครงสร้างการปฏิบัติงานของกลุ่ม S - Social learning สังคมแห่งการเรียนรู้ E - Empathy ทักษะความเห็นใจและเข้าใจความรู้สึกผู้อื่น E - Engagement ความรู้สึกมีส่วนร่วมในความเป็นเจ้าขององค์กรของสมาชิก และผลการวางแผนการผลิตด้วยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ คือ กลุ่มเกษตรกรกรณีศึกษาจะต้องใช้พื้นที่ในการผลิตมะม่วงร้อยละ 73.53 ของพื้นที่ทั้งหมด สามารถผลิตมะม่วงเพื่อตอบสนองต่อความต้องการมะม่วงได้ในทุกรอบ ดังนั้น การปรับเปลี่ยนรูปแบบการดำเนินงานแบบใหม่ที่ประยุกต์ใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อวางแผนการผลิตมะม่วงในแต่ละรุ่นนั้น ช่วยทำให้กลุ่มวิสาหกิจชุมชนสามารถวางแผนการผลิตมะม่วงร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งสอดคล้องกับข้อจำกัดด้านแรงงานและพื้นที่

คำสำคัญ: การพัฒนา วิสาหกิจชุมชน รูปแบบการบริหารจัดการ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มะม่วงขอนแก่น

Development of Management Model and Production Planning for the Ban Haad Mango Community Enterprise

Wanita Boonchom¹, Porntepin Sooksaengprasit¹, Surached Thuankaewsing^{2*} and Yupaporn Chaisena³
vanita.bo@rmuti.ac.th¹, porntepin.so@rmuti.ac.th¹, surached.th@rmuti.ac.th^{2*},
yupaporn.chaise@gmail.com³

¹Faculty of Business Administration and Information Technology, Rajamangala University of Technology Isan,
Khon Kaen Campus

²Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus

³Faculty of Administrative Science, Kalasin University

(Received: 14-Sep-2023 Revised: 9-Oct-2023 Accepted: 15-Oct-2023)

Abstract

This research aimed to study the management model and mango production planning. The qualitative research approach utilized the semi-structured interview as a data collection tool, involving a total of 10 key informants participating. The quantitative research method applied mathematical model using linear programming for mango production planning. Research has found that management by an experienced group leader with leadership qualities, close relationships among members within a kinship system typical of rural societies, coming together to distribute tasks based on skills, and serving as a learning center, results in a learning society. This aligns with government policies to create local networks, benefiting members by reducing production costs, increasing output, and enhancing export value. This model is described by the MASEE Model, consisting of: M: Management, A: Assignment (task delegation based on the group's operational structure), S: Social learning, E: Empathy (skills in understanding others' feelings), E: Engagement (members feeling a sense of ownership in the organization). Furthermore, from a mathematical perspective, the case study farmer group should utilize 73.53% of their total land for mango production to meet the demand for each period. Therefore, adapting a new working model, applying a mathematical approach to plan mango production for each period, can help the case study farmer group plan their mango production more efficiently, considering labor and land constraints.

Keywords: development, community enterprise, management model, mathematical model, organic mango

1. บทนำ (Introduction)

ประเทศไทยมีการส่งเสริมให้มีการปลูกมะม่วงเพื่อการส่งออกอย่างต่อเนื่อง ในปี 2565 ส่งออกมะม่วงสดเป็นปริมาณ 30,433 ตัน มูลค่า 765.31 ล้านบาท ขยายตัวจากปีที่ผ่านมาร้อยละ 3.64[1] ซึ่งเป็นผลมาจากความต้องการของผู้บริโภคจากทั่วโลกที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตลาดส่งออกที่สำคัญอยู่ในกลุ่มทวีปเอเชีย อเมริกา ออสเตรเลีย และยุโรป อีกทั้งมะม่วงปลูกได้ทุกภูมิภาคของประเทศ จึงเป็นพืชเศรษฐกิจที่สร้างรายได้ให้แก่เกษตรกร บริบทของธุรกิจการปลูกมะม่วงเพื่อการส่งออกของกลุ่มเกษตรกรกรณีศึกษาเกิดจากการรวมตัวกันของเกษตรกรที่มีอาชีพปลูกมะม่วงจดทะเบียนในนามกลุ่มวิสาหกิจชุมชนมะม่วงบ้านแฮดเพื่อการส่งออก ประกอบด้วยสมาชิกจาก 6 อำเภอ 3 จังหวัด โดยเข้าร่วมโครงการส่งเสริมการเกษตรแบบแปลงใหญ่เพื่อลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มผลกำไร แต่ปัญหาความท้าทายของเกษตรกรที่ปลูกมะม่วงเกิดจากปัญหาสภาพอากาศ โรคระบาด Covid-19 และเศรษฐกิจที่ชะลอตัว หลายวิสาหกิจชุมชนต้องปิดกิจการไป แต่วิสาหกิจชุมชนปลูกมะม่วงบ้านแฮดนั้นมีแนวทางการบริหารจัดการภายในกลุ่มที่ดีและเข้มแข็งเป็นต้นแบบด้านการบริหารจัดการกลุ่มให้อยู่รอดภายใต้สถานการณ์วิกฤตดังกล่าว



รูปที่ 1 มะม่วงน้ำดอกไม้เกรดส่งออกต่างประเทศ

อย่างไรก็ตาม เกษตรกรยังมีปัญหาในการวางแผนการผลิตที่ไม่เหมาะสม ทำให้ผลผลิตล้นตลาด

ราคาตกต่ำ และปัญหาการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อถอดองค์ความรู้รูปแบบการบริหารจัดการกลุ่มวิสาหกิจชุมชนมะม่วงบ้านแฮด และการพัฒนาวางแผนการผลิตมะม่วงให้เหมาะสมกับความต้องการของตลาด

2. ทบทวนวรรณกรรม (Literature Review)

2.1 แนวคิดด้านการบริหารจัดการ

การบริหารจัดการเป็นกลไกในการขับเคลื่อนให้องค์กรบรรลุเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ การบริหารจัดการเป็นกระบวนการที่มีการดำเนินงานเป็นขั้นตอนตามลำดับและต่อเนื่อง โดยมีเป้าหมายชัดเจนแน่นอน มีการเน้นคนเป็นสำคัญโดยอาศัยความร่วมมือร่วมใจ มีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ มีกิจกรรมเพื่อให้องค์กรมีประสิทธิภาพในการทำงาน ในการบริหารจัดการกลุ่มวิสาหกิจชุมชนมิได้ครอบคลุมเฉพาะในส่วนโครงสร้างและรูปแบบการบริหารจัดการเท่านั้น แต่ยังรวมถึงการจัดให้มีการพัฒนากลุ่ม การให้สมาชิกมีส่วนร่วมในการเสนอความคิดเห็นในการกำหนดนโยบาย ตลอดจนการแก้ปัญหาต่าง ๆ ซึ่งจะช่วยให้สมาชิกรู้สึกถึงการมีส่วนร่วมในกลุ่มวิสาหกิจชุมชน การบริหารจัดการนั้นเป็นการดำเนินการเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพต่อองค์กร มีหน้าที่ช่วยกำหนดทิศทาง การใช้ทรัพยากรต่าง ๆ ให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล บรรลุเป้าหมายตามที่องค์กรได้วางไว้ การใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งจะก่อให้เกิดความคุ้มค่าและเกิดผลประโยชน์มากที่สุด ส่วนประสิทธิผล คือ การปฏิบัติตามแผนงานที่กำหนดไว้ได้สำเร็จลุล่วง[2] ในส่วนของกิจกรรมการบริหารมี 5 องค์ประกอบ คือ การวางแผนงาน การจัดโครงสร้างการทำงาน การสั่งงาน การประสานงาน การควบคุมและติดตามงาน[3] โดยหน้าที่ของการจัดการที่จะทำให้องค์กรบรรลุเป้าหมาย คือการที่ผู้บริหารต้องมีทักษะ ได้แก่ ทักษะด้านเทคนิคการทำงาน การติดต่อสื่อสาร ด้านการคิด การวินิจฉัย ด้านการตัดสินใจ และการบริหารจัดการเวลา[2] ซึ่งมีกระบวนการสร้างคุณค่าจากทรัพยากรที่ไม่มีตัวตน[4] มีลักษณะเป็นกระบวนการที่แบ่งปันความรู้และสร้างกระบวนการเรียนรู้สู่องค์กร[5]

โดยการสร้าง การแสวงหา การใช้ และการมีส่วนร่วมในความรู้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้และพัฒนา ศักยภาพ[6] ซึ่งผู้บริหารสมัยใหม่ต้องปรับตัวและ ยืดหยุ่น รวมถึงการพัฒนากลยุทธ์ควบคู่กับการพัฒนา คน และยังต้องตระหนักถึงการเปลี่ยนของสิ่งแวดล้อม ทั้งภายนอกและภายใน ที่มีผลกระทบต่อธุรกิจทั้ง ทางตรงและทางอ้อม รวมถึงมีการจัดการองค์ความรู้ที่ ดี โดยการจัดการความรู้หรือการแบ่งปันความรู้ คือ ความพยายามนำทรัพยากรข้อมูลหรือต้นทุนทาง ปัญญามาใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อองค์กร[7] ซึ่งการ จัดการความรู้นั้นมีผลกระทบต่อองค์กรในการเพิ่ม ประสิทธิภาพในการบริหารจัดการ[8]

2.2 แนวคิดด้านการผลิต

การวางแผนการผลิต คือ การบริหารภาพรวม ของอุปสงค์ (Demand) - อุปทาน (Supply) โดยเน้น ด้านอุปทาน เพราะในส่วนนี้มีหน้าที่ในการดูแลส่วน ของการผลิต หากการวางแผนการผลิตไม่เหมาะสมจะ ก่อให้เกิดปัญหาในหลายรูปแบบ เช่น การผลิตเกิน ความต้องการของลูกค้า ทำให้สินค้าเกิดการคงค้าง ระบายสินค้าไม่ทัน มีต้นทุนที่ไม่ก่อให้เกิดรายได้และ ค่าใช้จ่ายส่วนเกินอื่น ๆ เช่น การจ้างแรงงานมาดูแล สินค้าคงค้าง แต่ในทางตรงกันข้าม ถ้าผลิตไม่เพียงพอ กับความต้องการของลูกค้า จะทำให้เกิดต้นทุนค่าเสีย โอกาสขาย หรือทำให้ต้นทุนเพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็น เนื่องจากการเร่งผลิต ซึ่งต้องจ่ายค่าล่วงเวลาเพื่อให้งาน เสร็จ หรือในกรณีวัตถุดิบขาดแคลน ส่งผลทำให้เกิด ต้นทุนค่าขนส่งเพิ่มขึ้นหากต้องส่งเร่งด่วน ดังนั้น ผู้รับผิดชอบงานวางแผนการผลิตต้องเห็นความ เคลื่อนไหวโดยรวมในหน่วยผลิต ทั้งยังต้องมีการ ควบคุมเพื่อติดตามกระบวนการผลิตอย่างเป็นระบบ ควบคุมกัน การวางแผนการผลิตยังมีความเกี่ยวเนื่องกับ กระบวนการต่าง ๆ ตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบและ เทคโนโลยีในการผลิต การออกแบบขั้นตอนการผลิต การจัดเก็บและการขนส่งสินค้า ฉะนั้น การวางแผนด้าน อุปทานที่ดีจะช่วยเพิ่มศักยภาพในการผลิตและ ปรับปรุงคุณภาพผลผลิต ก่อให้เกิดความคุ้มค่าแก่ลูกค้า ซึ่งจะสามารถเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันแบบ ยั่งยืน เพื่อความสำเร็จในระยะยาวสำหรับ

ผู้ประกอบการ[9] สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการ วางแผนด้านการเกษตร ได้แก่ การจัดสรรพื้นที่สำหรับ การทำเกษตรแบบผสมผสานโดยปลูกข้าวหลายชนิด เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุดด้วยการโปรแกรมเชิงเป้าหมาย [10] การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการวางแผนการใช้ที่ดินปลูกต้นยูคาลิปตัสให้เกิดการหมุนเวียน ของการเก็บเกี่ยว สามารถเพิ่มการเก็บเกี่ยวต้นยูคา ลิปตัสได้ถึงร้อยละ 60[11] การวางแผนตั้งแต่การสั่งซื้อ เมล็ดพันธุ์ การปลูก การใส่ปุ๋ย การเก็บเกี่ยว และการ เลือกลำใยพาดห่อในการขนส่งผักกาดหอมด้วย แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม สามารถ ลดต้นทุนการดำเนินการได้ร้อยละ 23.77 เมื่อเทียบกับการดำเนินการแบบเดิม[12] ระบบสนับสนุนการ ตัดสินใจ (Decision support system: DSS) ที่รวม แบบจำลองการวางแผนการเพาะปลูกพืชที่เหมาะสม และการจัดการชลประทาน ซึ่งทำให้ทราบรายได้ที่จะ เกิดขึ้นของรูปแบบการปลูกพืชในปัจจุบัน[13] การจัดการพื้นที่ปลูกพืชแบบเกษตรบูรณาการ ประกอบด้วย พืชปรับปรุงดิน ไม้ผล สมุนไพร พืช เศรษฐกิจ และไม้ป่า ภายใต้ข้อจำกัดด้านทรัพยากรที่มี อยู่อย่างจำกัด เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุดและ ก่อให้เกิดรายได้สุทธิสูงสุด โดยประยุกต์ใช้วิธีการหา ค่าที่เหมาะสมเชิงเส้น[14] การหารูปแบบการวางแผน การผลิตทางการเกษตรโดยใช้แบบจำลอง กำหนดการเชิงเส้นตามแนวคิดเศรษฐกิจพอเพียงใน พื้นที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ช่วยให้เกษตรกรมีรายได้ เพิ่มขึ้นจากการผลิตแบบเดิมเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 41.75[15] และการวางแผนการจัดสรรการเพาะปลูก โดยคำนึงถึงการหมุนเวียนพืชผลและการกระจายความ หลากหลายที่ส่งเสริมโดยการเกษตรแบบยั่งยืนด้วย กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming: ILP) ซึ่งสามารถตัดสินใจได้ว่าจะ จัดสรรการเพาะปลูกในแต่ละฤดูกาลอย่างไรเพื่อเพิ่มผล กำไรให้สูงสุด[16] จะเห็นว่าแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์ (Mathematical model) นิยมนำมา ประยุกต์ใช้กับการวางแผนการเพาะปลูกหรือการผลิต พืชผลทางการเกษตร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อก่อให้เกิด รายได้ เพิ่มผลผลิต หรือลดต้นทุน

3. วิธีดำเนินการวิจัย (Methodology)

ส่วนแรกใช้กระบวนการวิจัยเชิงคุณภาพ ประกอบไปด้วยการวิจัยเชิงเอกสาร โดยการทบทวน แนวความคิด ทฤษฎี และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับ กระบวนการบริหารจัดการสำหรับการดำเนินธุรกิจ ชุมชนวิสาหกิจชุมชน

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

พื้นที่และกลุ่มเป้าหมายในการเก็บข้อมูลเพื่อ การวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้เลือกกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกมะม่วง บ้านแฮด เนื่องจากเป็นกลุ่มวิสาหกิจที่มีศักยภาพในการ ปลูกและจำหน่ายมะม่วงส่งออก ผู้ให้ข้อมูลหลัก (Key informant) ในการวิจัยครั้งนี้ ใช้วิธีการคัดเลือกด้วย วิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive sampling) โดย ระบุคุณสมบัติของผู้ให้ข้อมูล คือ เป็นผู้นำหรือผู้มีหน้าที่ บริหารจัดการการดำเนินงานของวิสาหกิจชุมชน เช่น ประธาน รองประธาน และกรรมการบริหารของกลุ่ม รวมทั้งสิ้น 10 ราย โดยอาศัยความสนใจของผู้ที่อยู่ใน พื้นที่ที่ศึกษาที่ต้องการเข้าร่วมโครงการดังกล่าว และ กลุ่มตัวอย่างนี้มีความเชื่อมโยงสัมพันธ์กับวัตถุประสงค์ ที่จะศึกษา เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีประสิทธิภาพเป็นจริง ถูกต้อง

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยเชิงคุณภาพประกอบไปด้วยการวิจัย เชิงเอกสาร โดยการทบทวนแนวความคิด ทฤษฎี และ วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการบริหารจัดการ สำหรับการดำเนินธุรกิจชุมชนวิสาหกิจชุมชน และการ สัมภาษณ์เจาะลึกใช้แบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง ผ่าน การขอรับรองงานวิจัยในมนุษย์รหัส HEC-02-63-022 มีการออกแบบโครงสร้างของข้อคำถามที่สามารถ นำไปใช้ในการสัมภาษณ์แบบปลายเปิด ซึ่งเป็นกระบวนการ วิจัยที่มีความยืดหยุ่นและเปิดกว้าง โดย คณะผู้วิจัยหรือผู้สัมภาษณ์สามารถที่จะดำเนินการ สัมภาษณ์ สอบถาม และติดตามข้อมูลข้อเท็จจริงหรือ รายละเอียดปลีกย่อยที่สำคัญและมีความน่าสนใจในแต่ละ ประเด็นของคำตอบจากผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยหรือ ผู้ให้สัมภาษณ์ รวมถึงการสังเกตแบบไม่มีส่วนร่วม (Non-participation observation) และการอภิปราย กลุ่ม (Focus group) โดยการแบ่งกลุ่มย่อยอภิปราย

เพื่อระดมความคิด ค้นหาปัญหา และกำหนดแนวทาง ในการพัฒนาธุรกิจร่วมกัน อุปกรณ์ที่ใช้ในการสัมภาษณ์ คือ แบบสังเกต เพื่อใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยใช้ เครื่องบันทึกเสียงและแบบบันทึกภาคสนาม (Field note) เพื่อบันทึกการสนทนาระหว่างการสัมภาษณ์เชิง ลึกในรายละเอียด ข้อมูล และประเด็นที่น่าสนใจ เพื่อให้ ครอบคลุมประเด็นจากการสัมภาษณ์อย่างมี ประสิทธิภาพครบถ้วนตามประเด็นหลักในการศึกษา

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ ก่อนทำการ วิเคราะห์ข้อมูลต้องนำข้อมูลมาตรวจสอบและจัด ระเบียบก่อนโดยการตรวจสอบสามเส้าด้านข้อมูล (Data triangulation) คือ การพิสูจน์ว่าข้อมูลที่ได้มา ถูกต้องหรือไม่ วิธีการตรวจสอบให้พิจารณาว่า ถ้าข้อมูลต่างเวลา ต่างสถานที่ ต่างบุคคล จะได้ข้อมูลที่ แตกต่างกันหรือไม่ จากนั้นแยกประเภทข้อมูลเป็นกลุ่ม หรือเป็นหมวดหมู่ต่าง ๆ และคัดข้อมูลที่ไมเกี่ยวข้อง ออก แล้วจึงวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์เนื้อหา (Content analysis)

ส่วนที่สองงานวิจัยเชิงปริมาณ สำหรับการ วางแผนการผลิตมะม่วง ประยุกต์ใช้แบบจำลองทาง คณิตศาสตร์ (Mathematical model) เพื่อแก้ปัญหา ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อก่อให้เกิดผลประโยชน์รวม สูงสุด โดยพิจารณาการวางแผนเพื่อให้ได้ผลผลิตที่ สอดคล้องกับช่วงเวลาและปริมาณอุปสงค์ของลูกค้า ใช้ วิธีการนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้ทั้งหมดมาตรวจสอบ ความถูกต้อง และนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม คอมพิวเตอร์สำเร็จรูป และสร้างแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์เพื่อวางแผนการผลิตมะม่วงในแต่ละรุ่น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้รายได้จากการขายมะม่วง สูงที่สุด บนข้อจำกัดด้านความต้องการมะม่วง แรงงาน ในการจัดการแปลง และพื้นที่แปลง โดยผลคำตอบจะ ทำให้ทราบขนาดพื้นที่แปลงที่จะต้องผลิตมะม่วงในรุ่น ต่าง ๆ สำหรับการผลิตมะม่วงของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน จะแบ่งออกเป็น 4 รุ่น โดยจะเริ่มผลิตรุ่นที่ 1 ในช่วง เดือนกุมภาพันธ์และจะผลิตรุ่นถัดไปทางกันประมาณ หนึ่งเดือน สำหรับการเก็บเกี่ยวผลผลิตมะม่วงจะ สามารถเริ่มเก็บเกี่ยวผลผลิตของรุ่นที่ 1 ได้ในช่วงเดือน

กันยายนและจะเก็บเกี่ยวผลผลิตมะม่วงของรุ่นถัดไปตามลำดับของการผลิต สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อวางแผนการผลิตมะม่วงมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ดัชนี

t: จำนวนรุ่นของผลผลิตมะม่วง โดยมีทั้งหมด 4 รุ่นการผลิต

พารามิเตอร์

R: จำนวนผลผลิตมะม่วงเกรดส่งออกต่อไร่โดยเฉลี่ย (กิโลกรัม/ไร่)

C: ขนาดพื้นที่สูงสุดที่เกษตรกรหนึ่งคนจัดการได้ของมะม่วงในแต่ละรุ่น (ไร่/คน/รุ่น)

P_t: ราคาขายมะม่วงในแต่ละรุ่น (บาท/กิโลกรัม)

D_{min t}: ความต้องการมะม่วงต่ำสุดในแต่ละรุ่น (กิโลกรัม)

D_{max t}: ความต้องการมะม่วงสูงสุดในแต่ละรุ่น (กิโลกรัม)

W: จำนวนแรงงานทั้งหมด (คน)

A: ขนาดพื้นที่ทั้งหมด (ไร่)

ตัวแปรตัดสินใจ

x_t: ขนาดพื้นที่ที่ถูกกำหนดให้ผลิตมะม่วงในแต่ละรุ่น (ไร่)

สมการเป้าหมาย

$$\text{Max } Z = \sum_{t=1}^4 P_t R x_t \quad (1)$$

ข้อจำกัด

$$R x_t \geq D_{\min t}, \forall t \quad (2)$$

$$R x_t \leq D_{\max t}, \forall t \quad (3)$$

$$\frac{x_t}{C} \leq W, \forall t \quad (4)$$

$$\sum_{t=1}^4 x_t \leq A \quad (5)$$

$$x_t \geq 0, \forall t \quad (6)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) ในสมการ (1) เป็นการคำนวณหารายได้จากการขายผลผลิตมะม่วงทุกรุ่น โดยต้องการให้มีรายได้มากที่สุด สมการข้อบ่งชี้ (2) และ (3) กำหนดให้จำนวนผลผลิต

มะม่วงที่ผลิตได้ในแต่ละรุ่นต้องมากกว่าความต้องการต่ำสุดแต่ไม่เกินความต้องการสูงสุดของมะม่วงในรุ่นนั้นๆ สมการ (4) จำกัดจำนวนแรงงานที่ใช้ในการจัดการแปลงมะม่วงในแต่ละรุ่นต้องไม่เกินจำนวนแรงงานทั้งหมดที่มีอยู่ สมการ (5) ขนาดพื้นที่ในการผลิตมะม่วงรวมทุกรุ่นต้องไม่เกินขนาดพื้นที่ทั้งหมด และสมการ (6) เป็นการยืนยันว่าขนาดพื้นที่ที่ถูกกำหนดให้ผลิตมะม่วงต้องไม่เป็นค่าติดลบ

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล (Results and Discussion)

4.1 การบริหารจัดการของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนมะม่วงบ้านแฮดจังหวัดขอนแก่น

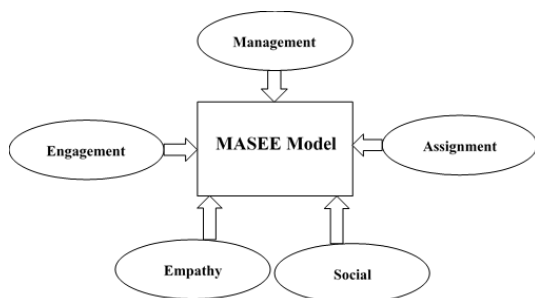
จากการถอดบทเรียนและองค์ความรู้ในการบริหารจัดการองค์กรของวิสาหกิจชุมชนมะม่วงบ้านแฮด พบว่าผู้นำกลุ่มเป็นผู้มีองค์ความรู้ด้านการทำเกษตร เป็นวิทยากรปราชญ์ชาวบ้านให้กับจังหวัดขอนแก่น ให้ความรู้ด้านการเกษตรโดยเฉพาะความรู้การปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองนอกฤดู อีกทั้งยังเป็นผู้วางแผนการทำงาน จัดทำโครงสร้างองค์กร เพื่อแบ่งงานกันทำอย่างชัดเจน มีวัตถุประสงค์ในการรวมกลุ่มคือ เพื่อรวมเกษตรกรผู้ปลูกมะม่วงเพื่อการส่งออกในพื้นที่จังหวัดขอนแก่น เพื่อหาช่องทางในการจัดจำหน่ายทั้งในและต่างประเทศ เพื่อพัฒนาและปรับปรุงสายพันธุ์มะม่วงให้มีคุณภาพและเพิ่มผลผลิต เพื่อช่วยเหลือและให้คำแนะนำกับสมาชิกกลุ่มในการทำมะม่วงนอกฤดู เพื่อเพิ่มรายได้ให้กับครัวเรือนในหมู่บ้าน เพื่อสร้างงานสร้างอาชีพให้กับคนในชุมชนไม่ให้ทิ้งถิ่นฐานไปทำงานต่างแดน และเพื่อสร้างชื่อเสียงและเพิ่มโอกาสในการได้รับการส่งเสริมและสนับสนุนจากหน่วยงานภาครัฐ กระบวนการจัดการของกลุ่มมีกระบวนการ คือ 1) การวางแผน (Planning) ความสำคัญของการวางแผนนับได้ว่าเป็นหัวใจของการบริหารจัดการขั้นตอนแรกของกลุ่ม ซึ่งตั้งแต่เริ่มมีการก่อตั้งกลุ่มแล้วต้องอาศัยกลไกการวางแผนเพื่อขับเคลื่อนการดำเนินงานของกลุ่มมาอย่างต่อเนื่อง โดยประเด็นการวางแผนของกลุ่มจะขึ้นอยู่กับการกำหนดและจัดการภายในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนปลูกมะม่วง

อินทรีในจังหวัดขอนแก่น สำหรับการวางแผนสามารถอธิบายได้ 3 ประเด็น ได้แก่ “การวางแผนทั่วไป” “การวางแผนการตลาด” และ “การวางแผนการผลิต” ดังนี้ การวางแผนทั่วไป ทางกลุ่มมีการจัดการประชุมกลุ่มที่มีการหมุนเวียนไปตามสวนมะม่วงของสมาชิก มีระยะเวลาในการประชุมแต่ละครั้งในช่วงเวลาตั้งแต่ 09.00-16.00 น. และมีการวางแผนตารางการจัดประชุมล่วงหน้าประมาณ 1 ปี โดยจะระบุสถานที่ประชุมล่วงหน้า 1 เดือนก่อนการประชุมครั้งต่อไป (การกำหนดการประชุมจะประเมินตามสถานการณ์ วัน เวลา และสภาพอากาศ) และกลุ่มมีโครงสร้างชัดเจน ประกอบด้วย ประธาน รองประธาน และคณะกรรมการ 15 คน มีการแบ่งหน้าที่ของกรรมการแต่ละฝ่าย ฝ่ายควบคุมภายใน ฝ่ายควบคุมการผลิต ฝ่ายขาย ฝ่ายการตลาด ฝ่ายติดต่อลูกค้า ฝ่ายประสานสมาชิก และฝ่ายจัดเก็บข้อมูล รวมทั้งช่องทางการสื่อสารที่สมาชิกภายในกลุ่มใช้คือช่องทาง LINE Application สำหรับการส่งข้อมูล ข่าวสาร ข้อมูลด้านการผลิต การให้ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนการผลิต การใช้สารเคมี และข้อมูลปัญหาต่าง ๆ การบริหารจัดการศูนย์เรียนรู้กันตั้งแต่ปี 2554 เป็นต้นมา ได้มีเจ้าหน้าที่เกษตรตำบลร่วมเป็นที่ปรึกษาในการบริหารจัดการ โดยร่วมการประชุมในการบริหารจัดการอย่างน้อยปีละ 1-2 ครั้ง ประธานจะเป็นผู้ที่ให้ความรู้แก่สมาชิกในกลุ่มและช่วยเหลือในด้านการปลูกมะม่วงนอกฤดู รวมถึงองค์ความรู้ที่เกิดจากการทดลองปลูกด้วยวิธีการต่าง ๆ ของเกษตรกรเอง ซึ่งนำมาแลกเปลี่ยนเรียนรู้กันกับประธานและสมาชิกคนอื่น รวมถึงมีการจัดฝึกอบรมและให้คำแนะนำเรื่องผลผลิตจากหน่วยงานภาครัฐ การประมาณการในการวางแผนการปลูก การออกดอก การเก็บผล การเก็บเกี่ยว ณ ศูนย์การเรียนรู้ รวมทั้งมีการศึกษาดูงานจากนักเรียน นักศึกษา และผู้ที่สนใจ

2) *การจัดการองค์กร (Organizing)* เกษตรกรที่จะสมัครเป็นสมาชิกกลุ่มจะต้องมีคุณสมบัติตามนโยบายของกลุ่ม การกำหนดบทบาทหน้าที่ของฝ่ายต่าง ๆ โดยแบ่งเป็นคณะกรรมการแปลงใหญ่มะม่วง อ.บ้านแฮด จ.ขอนแก่น 15 คน ฝ่ายควบคุมคุณภาพภายใน 6 คน ฝ่ายการตลาด 3 คน ฝ่ายการเงิน (เหรัญญิก) 3 คน ฝ่าย

รวบรวมข้อมูล/วางแผนการขาย 3 คน 3) *การนำ (Leading)* ประธานกลุ่มมีประสบการณ์ในการปลูกมะม่วงมากกว่า 30 ปี และเป็นผู้ที่ทำมะม่วงนอกฤดูพัฒนาพันธุ์มะม่วง ตลอดจนเป็นผู้จัดตั้งกลุ่มผู้ปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้ของบ้านแฮดนอกฤดู อีกทั้งเป็นผู้ส่งออกมะม่วงไปขายต่างประเทศเป็นรายแรก ๆ ของภาคอีสาน เป็นวิทยากรและพี่เลี้ยงให้กลุ่มมะม่วงน้ำดอกไม้เครือข่ายในจังหวัดอื่น เช่น จังหวัดกาฬสินธุ์ และมหาสารคาม จากการสัมภาษณ์พบว่า ประธานเป็นผู้บริหารจัดการดูแลตั้งแต่ต้นน้ำ เช่น การวางแผนปลูกจนถึงปลายน้ำ คือ การจำหน่าย โดยสมาชิกทุกคนให้ความร่วมมือในการดำเนินงานเป็นอย่างดี ส่งผลให้กลุ่มวิสาหกิจชุมชนมะม่วงบ้านแฮดเพื่อการส่งออก เป็นองค์กรที่เติบโตอย่างยั่งยืน โดยมีสมาชิกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และ 4) *การควบคุม (Controlling)* เป็นส่วนสำคัญในการประเมินการดำเนินงานให้เป็นไปตามที่วางแผนไว้ ดังนั้น การดำเนินงานในองค์กรจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการประเมินหรือข้อบังคับร่วมกัน เพื่อสร้างแนวทางในการดำเนินงานร่วมกัน ซึ่งกระบวนการในการกำหนดกฎระเบียบเพื่อใช้ในการควบคุมองค์กรประกอบไปด้วย การประชุมเพื่อวางแผนการใช้การควบคุม การกระจายการควบคุม และการประเมินการควบคุม และการจัดการความเสี่ยง จากการที่มะม่วงออกผลผลิตตามฤดูกาล เนื่องจากมีสภาพอากาศที่ร้อนและโรคจากแมลงศัตรูพืช ส่งผลทำให้ทางกลุ่มปลูกมะม่วงแบบนอกฤดูได้ผลผลิตจำนวนลดลง จึงทำให้เกิดความเสี่ยงในการไม่มีผลผลิตส่งให้ลูกค้า ทางกลุ่มจึงศึกษาและพัฒนาพันธุ์ การปลูก การเก็บเกี่ยวมะม่วงนอกฤดู รวมทั้งการจัดส่งมะม่วง ซึ่งเป็นผลไม้ที่ขายได้ง่าย โดยทำการเก็บเกี่ยวตั้งแต่เริ่มแก่ ด้วยการทำบรรจุภัณฑ์ที่สามารถรักษาความสดใหม่ของลักษณะภายนอกของมะม่วงได้ดี รวมถึงความเสี่ยงจากการเกิดวิกฤติจาก COVID-19 ไม่สามารถส่งออกไปยังต่างประเทศ จึงจัดการความเสี่ยงด้วยการหาตลาดรองรับในประเทศ ซึ่งเป็นตลาดที่สามารถจำหน่ายได้ในราคาสูง เช่น ห้างสรรพสินค้าหรือร้านที่จำหน่ายผลไม้พรีเมียม ในการพัฒนารูปแบบการบริหารจัดการกลุ่มวิสาหกิจชุมชนมะม่วงบ้านแฮด พบว่ากลุ่มมีการรวมตัว

กันจากประธานกลุ่มซึ่งเป็นผู้มีประสบการณ์และมีภาวะผู้นำ ในระดับชุมชนมีความเป็นกันเองกับสมาชิก โดยมีความใกล้ชิดและเป็นระบบเครือข่าย[17] การบริหารจัดการกลุ่มนั้น ดำเนินการร่วมกันกับสมาชิกภายในกลุ่ม ที่เป็นเครือข่ายสังคมเดียวกัน มีความสัมพันธ์เป็นเครือญาติและคนที่รู้จักสนิทสนม ตามระบบสังคมของพื้นที่ชนบทที่มีการรวมตัวกันและแบ่งงานกันทำตามความถนัด ปัจจุบันมีสมาชิกมากขึ้นและทางกลุ่มได้เข้าร่วมโครงการส่งเสริมการเกษตรแบบแปลงใหญ่ เป็นแปลงใหญ่ไม่ผลัดแปลงแบบแปลงแรกของประเทศ และเป็นศูนย์การเรียนรู้การปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองนอกฤดู ทำให้เกิดการเรียนรู้จากภายในสู่ภายนอก และจากภายนอกสู่ภายใน เกิดสังคมแห่งการเรียนรู้และการสร้างเครือข่ายท้องถิ่น การมีองค์กรแห่งการเรียนรู้นี้จะทำให้องค์กรและบุคลากรมีกระบวนการทำงานที่มีประสิทธิภาพและมีผลการปฏิบัติงานที่มีประสิทธิผล ซึ่งเน้นตามนโยบายของรัฐบาลในการบริหารจัดการต้นน้ำ กลางน้ำและปลายน้ำ เพื่อประโยชน์แก่สมาชิกในการลดต้นทุนการผลิต และมีการบริหารจัดการที่เข้มแข็ง มีพัฒนาการและการเติบโตขององค์การอย่างต่อเนื่อง สร้างผลผลิตและเพิ่มมูลค่าการส่งออก จากการวิเคราะห์ข้อมูลสามารถอธิบายรูปแบบการบริหารจัดการกลุ่มวิสาหกิจชุมชนมะม่วงบ้านแฮดด้วย MASEE Model ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 รูปแบบการบริหารจัดการกลุ่มวิสาหกิจชุมชน

จากรูปที่ 2 รูปแบบการบริหารจัดการกลุ่มวิสาหกิจชุมชน MASEE Model ประกอบด้วย 5 องค์ประกอบหลัก ได้แก่ M - Management การบริหารจัดการกลุ่มวิสาหกิจชุมชน โดยใช้หลักการคิด

เชิงระบบ มีขั้นตอนกระบวนการเป็นการบริหารจัดการดำเนินงานบริหารให้เป็นไปตามขั้นตอนอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล A - Assignment กำหนดผู้รับผิดชอบ เป็นการกำหนดผู้รับผิดชอบและกระจายความรับผิดชอบตามโครงสร้างการปฏิบัติงานของกลุ่ม โดยแบ่งความรับผิดชอบตามหน้าที่ ทั้งนี้เพื่อกระจายความรับผิดชอบให้ชัดเจน ตามความรู้ความสามารถและหน้าที่ที่ได้รับมอบหมายอันก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด S - Social learning สังคมแห่งการเรียนรู้ เป็นการเปิดโอกาสให้สมาชิกกลุ่มได้ศึกษาค้นคว้าจากแหล่งเรียนรู้ที่หลากหลายด้วยตนเอง ทั้งในลักษณะการศึกษาดูงานทั้งภายในและภายนอกประเทศ การมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเป็นศูนย์การเรียนรู้ด้านการปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้สีทองนอกฤดู นำไปสู่การพัฒนาองค์ความรู้ตลอดเวลา E - Empathy การเข้าใจกันระหว่างสมาชิกในกลุ่ม สามารถทำงานร่วมกันและทำหน้าที่แทนกันได้ตามโอกาส และ E - Engagement ความรู้สึกมีส่วนร่วมในความเป็นเจ้าขององค์กรของสมาชิกที่มีต่อองค์กร เป็นกลยุทธ์ที่สำคัญที่จะนำไปสู่ผลการดำเนินงานที่ดีเยี่ยมขององค์กร โดยมีการสะสมทุนเพื่อให้ทุกคนมีส่วนร่วมในการเป็นเจ้าของธุรกิจ

4.2 การวางแผนการผลิตมะม่วง

จากการสัมภาษณ์กลุ่มวิสาหกิจชุมชนกรณีศึกษา สามารถสรุปค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ จำนวนผลผลิตมะม่วงเกรดส่งออกต่อไร่โดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 200 กิโลกรัม/ไร่ แรงงานหนึ่งคนสามารถจัดการแปลงผลผลิตมะม่วงในแต่ละรุ่นได้ไม่เกิน 10 ไร่/คน/รุ่น ราคาขายมะม่วงรุ่นที่ 1 ถึง 4 มีค่าเท่ากับ 140, 132.5, 117.5 และ 97.5 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ปริมาณความต้องการมะม่วงในแต่ละรุ่นแสดงไว้ในตารางที่ 1 เป็นค่าประมาณปริมาณความต้องการมะม่วงของลูกค้าโดยอ้างอิงจากข้อมูลในอดีต มีจำนวนแรงงานภายในกลุ่มทั้งหมด 63 คน และพื้นที่รวม 1,530 ไร่

ตารางที่ 1 ค่าประมาณปริมาณความต้องการมะม่วงสูงสุด-ต่ำสุดในแต่ละรุ่น

รุ่นที่	ความต้องการสูงสุด (กิโลกรัม)	ความต้องการต่ำสุด (กิโลกรัม)
1	72,000	32,500
2	63,000	28,500
3	54,000	22,500
4	36,000	16,500

จากค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ และข้อมูลในตารางที่ 1 สามารถนำมาหาผลเฉลยโดยใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนผลิตมะม่วงในรุ่นต่าง ๆ โดยมีผลลัพธ์ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 2 และมีรายได้จากการขายมะม่วงรวมทุกรุ่นเท่ากับ 28,282,500 บาท

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์ของการวางแผนผลิตมะม่วงในแต่ละรุ่น

รุ่นที่	ขนาดพื้นที่ (ไร่)	ผลผลิตมะม่วง (กิโลกรัม)	จำนวนแรงงาน ที่ใช้ในการ จัดการแปลง มะม่วง (คน)
1	360	72,000	36
2	315	63,000	32
3	270	54,000	27
4	180	36,000	18
รวม	1,125	225,000	-

จากตารางที่ 2 จำนวนพื้นที่ที่ถูกกำหนดให้ผลิตมะม่วงในรุ่นที่ 1 ถึง 4 มีค่าเท่ากับ 360, 315, 270 และ 180 ไร่ ตามลำดับ รวมพื้นที่ทั้งหมด 1,125 ไร่ ได้ผลผลิตมะม่วงเกรดส่งออกในแต่ละรุ่นเท่ากับ 72,000, 63,000, 54,000 และ 36,000 กิโลกรัม รวมมีผลผลิตมะม่วงทั้งหมด 225,000 กิโลกรัม (225 ตัน) และจำนวนแรงงานที่ใช้ในการจัดการแปลงมะม่วงในแต่ละรุ่นเท่ากับ 36, 32, 27 และ 18 คน โดยมะม่วงแต่ละรุ่นมีรายได้ (ผลผลิตมะม่วง x ราคาต่อกิโลกรัม) เท่ากับ 10,080,000, 8,347,500, 6,345,000 และ 3,510,000 บาท ตามลำดับ

5. สรุปและข้อเสนอแนะ (Conclusions and Suggestion)

จากผลการวิจัยพบว่า ด้านการบริหารจัดการประธานกลุ่มซึ่งเป็นผู้มีประสบการณ์ปลูกมะม่วงมายาวนาน และเป็นบุคคลที่มีภาวะผู้นำ ในระดับชุมชนนั้นจะมีความเป็นกันเองกับสมาชิก มีความใกล้ชิดและเป็นระบบเครือข่าย[17] การบริหารจัดการกลุ่มมีการดำเนินการร่วมกันกับสมาชิกภายในกลุ่มที่เป็นเครือข่ายสังคมเดียวกัน มีความสัมพันธ์เป็นเครือญาติ และคนที่รู้จักสนิทสนม ตามระบบสังคมของพื้นที่ชนบทที่มีการรวมตัวกัน แบ่งงานกันทำตามความถนัด นอกจากนั้นกลุ่มเกษตรกรนี้ได้เข้าร่วมแปลงใหญ่ไม่ผลัดดันแบบแปลงแรกของประเทศ มีแนวทางการถอดองค์ความรู้จากผู้ที่มีความรู้ความเป็นเลิศในการทำเกษตร เช่น การปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้้นอกฤดูจากบุคคลที่เป็นปราชญ์ชุมชนหรือบุคคลที่มีภูมิปัญญาท้องถิ่นเกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการการปลูกมะม่วง[18] พัฒนาเป็นศูนย์การเรียนรู้การปลูกมะม่วงน้ำดอกไม้้นอกฤดูทำให้เกิดการเรียนรู้จากภายในสู่ภายนอก และจากภายนอกสู่ภายใน เกิดสังคมแห่งการเรียนรู้และการสร้างเครือข่ายท้องถิ่น การมีองค์กรแห่งการเรียนรู้นี้จะทำให้องค์กรและบุคลากรมีกระบวนการทำงานที่มีประสิทธิภาพและมีผลการปฏิบัติงานที่มีประสิทธิผล ซึ่งเน้นตามนโยบายของรัฐบาลในการบริหารจัดการต้นน้ำ กลางน้ำและปลายน้ำ เพื่อประโยชน์แก่สมาชิกในการลดต้นทุนการผลิตและมีการบริหารจัดการที่เข้มแข็ง มีพัฒนาการและเจริญเติบโตก้าวหน้าเป็นอย่างดี สร้างผลผลิตและเพิ่มมูลค่าการส่งออกได้เป็นอย่างดีอีกด้วย ซึ่งสามารถอธิบายการบริหารจัดการของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนด้วย MASEE Model

ในด้านการผลิต รูปแบบการดำเนินงานแบบเดิมของกลุ่มเกษตรกรกรณีศึกษาขาดการวางแผนผลิตมะม่วงร่วมกัน โดยเกษตรกรแต่ละรายจะตัดสินใจด้วยตนเองว่าต้องการผลิตมะม่วงในรุ่นใด (โดยส่วนมากนิยมผลิตมะม่วงรุ่นที่ 1 หรือ 2 เนื่องจากผลผลิตมะม่วงมีราคาสูง) จึงส่งผลทำให้ผลผลิตมะม่วงที่เก็บเกี่ยวได้ในแต่ละรุ่นไม่สอดคล้องกับความต้องการที่มี โดยมะม่วงบางรุ่นจะมีผลผลิตล้นตลาด ในขณะที่บางรุ่นจะเกิด

ปัญหาการขาดตลาด อีกทั้งอาจก่อให้เกิดการขาดแคลนแรงงานภายในพื้นที่ หากมีเกษตรกรตัดสินใจผลิตมะม่วงในรุ่นเดียวกันเป็นจำนวนมาก ฉะนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ปรับเปลี่ยนรูปแบบการดำเนินงานใหม่โดยประยุกต์ใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการวางแผนผลิตมะม่วงในแต่ละรุ่นร่วมกัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้กลุ่มเกษตรกรกรณีศึกษาได้รายได้จากการขายมะม่วงรวมสูงที่สุด สามารถตอบสนองความต้องการมะม่วงในแต่ละรุ่นได้ อีกทั้งจำนวนแรงงานและพื้นที่ไม่เกินข้อจำกัดที่มี โดยผลลัพธ์ที่ได้จะระบุขนาดพื้นที่แปลงมะม่วงที่จะต้องผลิตในแต่ละรุ่น จากผลลัพธ์ที่ได้พบว่า กลุ่มเกษตรกรกรณีศึกษาจะต้องใช้พื้นที่ในการผลิตมะม่วงรวมทั้งสิ้น 1,125 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 73.53 ของพื้นที่ทั้งหมด สามารถผลิตมะม่วงเพื่อตอบสนองต่อความต้องการมะม่วงได้ในทุกรุ่น โดยผลผลิตมะม่วงที่ผลิตได้มีค่าเท่ากับความต้องการมะม่วงสูงสุดในรุ่นนั้นๆ และจำนวนแรงงานที่ใช้ในการจัดการแปลงมะม่วงในแต่ละรุ่นไม่เกินจำนวนแรงงานทั้งหมดที่มีอยู่ (แต่ละรุ่นใช้แรงงานไม่เกิน 63 คน) ดังนั้น การปรับเปลี่ยนรูปแบบการดำเนินงานแบบใหม่ที่ประยุกต์ใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อวางแผนผลิตมะม่วงในแต่ละรุ่นนั้น จะช่วยให้กลุ่มเกษตรกรกรณีศึกษาสามารถวางแผนการผลิตมะม่วงร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับข้อจำกัดที่มี สำหรับในกรณีที่กลุ่มเกษตรกรกรณีศึกษา ตัดสินใจผลิตมะม่วงโดยใช้พื้นที่ครบทั้งหมด จะส่งผลทำให้มีผลผลิตมะม่วงมากเกินความต้องการ ดังนั้น ควรมีการขยายตลาดการส่งออกไปยังลูกค้ารายใหม่ที่มีศักยภาพในการซื้อหรือมีแนวโน้มความต้องการมะม่วงของประเทศไทยเพิ่มมากขึ้น อาทิเช่น จีน รัสเซีย และยุโรป หรือทำการแปรรูปมะม่วงเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ เพื่อเพิ่มมูลค่า และส่งออกไปขายทั้งในและต่างประเทศ

การนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ด้านวิชาการ ผลการวิจัยสามารถนำไปสู่การสร้างแนวคิดหรือทฤษฎีใหม่ ๆ ในด้านการบริหารจัดการธุรกิจในรูปแบบของวิสาหกิจชุมชน ทำให้มีความรู้สำหรับธุรกิจชุมชนเพิ่มขึ้นและการเข้าใจที่ดียิ่งขึ้น เพื่อเป็นต้นแบบการพัฒนาธุรกิจระดับชุมชนต่อไป การนำผลการวิจัย

ไปใช้ประโยชน์ด้านนโยบาย โดยรูปแบบการวางแผนการผลิตที่มีประสิทธิภาพสามารถช่วยกำหนดแนวทางนโยบายการผลิตของกลุ่ม เป็นการกำหนดแผนการใช้ทรัพยากร รวมถึงนำไปตัดสินใจเพื่อให้การผลิตสามารถตอบสนองต่อความต้องการของตลาด การวิจัยครั้งต่อไป ควรศึกษาในบริบทของวิสาหกิจชุมชนในกลุ่มอื่น ๆ เพื่อทำการเปรียบเทียบการบริหารจัดการกลุ่มของวิสาหกิจชุมชนในบริบทเชิงพื้นที่อื่นต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)

โครงการวิจัยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (สกสว.) ตามสัญญาเลขที่ FRB630010/0174-P2-09

7. เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] Trade Policy and Strategy Office. Analysis of Thailand's Economic Trade Situation by Region. Available at: <https://production.doae.go.th/>. Accessed Oct 6, 2023. (in Thai)
- [2] Neal A, Griffin MA. A study of the lagged relationships among safety climate, safety motivation, safety behavior, and accidents at the individual and group levels. J APPL PSYCHOL. 2006;91(4):946-53.
- [3] Fayol H. General and industrial management. London: Sir Isaac Pitman & Sons; 1949.
- [4] Ping L, Jing X, Othman B, Yuefei F, Kadir ZBA, Ping X. An intercultural management perspective of foreign student's adaptation in Chinese universities: a case study of China Three Gorges University. Eng. Technol. Appl. Sci. Res. 2019;9(2):3971-7.
- [5] Harun A, Mahmud M, Othman B, Ali R, Ismael D. Understanding experienced consumers towards repeat purchase of counterfeit products: the mediating effect of attitude. Manag. Sci. Lett. 2020;10(1):13-28.

- [6] Bishop J, Bouchlaghem D, Glass J, Matsumoto I. Ensuring the effectiveness of a knowledge management initiative. *J KNOWL MANAG.* 2008;12(4):16-29.
- [7] Daft RL. Understanding the theory and design of organization. Mason, OH: Thomson South-Western; 2007.
- [8] Sadq ZM, Othman B, Mohammed HO. Attitudes of managers in the Iraqi Kurdistan region private banks towards the impact of knowledge management on organizational effectiveness. *Manag. Sci. Lett.* 2020;10(8):1835-42.
- [9] Chum-Un M, Bhrmanachote W, Jaikaew A, Srisamran J, Intipeek K, Pheerapongdech K. Supply chain management for value creation of economic plants in muang district, Mae Hongson province. *Journal of Accountancy and Management MSU.* 2020;12(3),49-62. (in Thai)
- [10] Jafari H, Koshteli QR, Khabiri B. An optimal model using goal programming for rice farm. *Appl. Math. Sci.* 2008;23(2):1131-6.
- [11] Balterio LD, Bertomea M, Bertomeu M. Optimal harvest scheduling in eucalyptus plantations a case study in Galicia (Spain). *FOREST POLICY ECON.* 2009;11:548-54.
- [12] Limpianchob C. A mixed-integer linear programming model for cultivating planning and choosing the transportation mode for the lettuce supply chain. *Thai Journal of Operations Research.* 2013;1(2):12-23. (in Thai)
- [13] Jewpanya P, German JD, Nuangpirom P, Maghfiroh MFN, Redi AANP. A decision support system for irrigation management in Thailand: case study of Tak city agricultural production. *Appl. Sci.* 2022;12,10508. <https://doi.org/10.3390/app122010508>
- [14] Songmaa K, Poolsawada N, Chom-ina T, Thanungkanoa W. Optimal crop pattern for the maximum net income using linear optimization in Mae Chaem district, Chiang Mai province. *Thai Journal of Science and Technology.* 2021;10(4):487-99. (in Thai)
- [15] Tantiyanukoon P, Chaipat C, Chalempolyothin L. Planning of agricultural production by using linear programming model based on the concept of sufficiency economy in the area of Prachuap Khiri Khan province. *Rattanakosin Journal of Social Sciences and Humanities.* 2020;3(3):25-34. (in Thai)
- [16] Benini M, Blasi E, Detti P, Fosci L. Solving crop planning and rotation problems in a sustainable agriculture perspective. *COMPUT OPER RES.* 2023;159,106316. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2023.106316>.
- [17] Sricharumedhiyan C, Vaddhano PT. Leadership and community development. Khon Kaen: Mahamakut Buddhist University Isan Campus; 2017. (in Thai)
- [18] Thamsirikhwan P, Chuewong P, Promsila M, Khampet C, Timathan S, Pornpermsub T. The development of virtual learning community model of mango learning center for mango production enterprise group in Bangkhla district, Chachoengsao province. *NRRU Community Research Journal.* 2018;12(1):87-97. (in Thai)

ระบบควบคุมเครื่องหยอดสบู่อัตโนมัติ

ชินอรส ละองวรณ^{1*}

Chinoros.lao@sru.ac.th^{1*}

^{1*}สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

(Received: 24-Oct-2023 Revised: 2-Nov-2023 Accepted: 4-Nov-2023)

บทคัดย่อ

การพัฒนาระบบควบคุมเครื่องหยอดสบู่อัตโนมัติ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์สบู่ของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกร ผู้วิจัยมีแนวคิดนำนวัตกรรมและเทคโนโลยีมาใช้ในการออกแบบ โดยใช้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO สำหรับการประมวลผลการทำงานของเครื่อง ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบประกอบด้วย โครงสร้างถังบรรจุ ระบบควบคุมการทำงานของหัวจ่าย ระบบควบคุมระยะเวลาการหยอด และชุดความร้อน โดยออกแบบให้เครื่องมีหัวจ่าย จำนวน 2 หัว คือ หัวจ่าย A และ B ปัจจัยที่ศึกษา คือ ระยะเวลาการทำงานของหัวจ่าย ตำแหน่งระยะเวลาการหยอดที่เหมาะสมและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างน้ำหนักของก้อนสบู่จาก หัวจ่าย A และ B ผลการทดลอง พบว่าที่ระยะเวลาควบคุมการทำงาน สั่งเปิดวาล์ว 10 วินาที ระยะเวลาการหยอดที่เหมาะสม เท่ากับ 6 เซนติเมตร และผลการเปรียบเทียบน้ำหนักของก้อนสบู่จาก หัวจ่าย A มีน้ำหนักเฉลี่ยก้อนละ 100.55 กรัม และหัวจ่าย B มีน้ำหนักเฉลี่ยก้อนละ 100.62 กรัม ซึ่งไม่ต่ำกว่าน้ำหนักที่กำหนด คือ 100 กรัม โดยลักษณะการไหลของน้ำสบู่มีการหยอดคงที่และมีความสม่ำเสมอ ถึงแม้ปริมาณของน้ำสบู่ภายในถังบรรจุจะลดลง ระบบควบคุมเครื่องหยอดสบู่อัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นสามารถหยอดสบู่ ได้สูงสุดถึง 720 ก้อน/ชั่วโมง จากจำนวน 2 หัวจ่าย และสูงกว่าแรงงานคนถึง 6 เท่า

คำสำคัญ: สบู่ก้อน การหยอดสบู่ เครื่องหยอด ระบบควบคุม

The Control System of the Machine for Dropping Soap into Molds

Chinoros Laongwan^{1*}

Chinoros.lao@sru.ac.th^{1*}

^{1*}Department of Industrial Electrical Technology, Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University

(Received: 24-Oct-2023 Revised: 2-Nov-2023 Accepted: 4-Nov-2023)

Abstract

The Control System of the Machine for Dropping Soap into Molds to increase the efficiency of the production process for a group of housewives in agriculture. The researcher applied the innovation and technology for its design. The micro-controller system of Arduino UNO was used for the operational processing of the machine. The important components of the system were the filling tank, the control system of the injector operation, the control system of dropping length, and the heat set. The machine was designed with 2 injectors namely injector A and injector B. The study factors were the operational duration of injectors, the appropriate dropping length, and the weight of soap cakes which were produced from injector A and injector B. The findings were that at the duration of valve opening at 10 seconds and the appropriate dropping length at 6 centimeters, the average weight was at 100.55 grams for the injector A and 100.62 grams for the injector B which both were not below the setting value at 100 grams. The flow of liquid soap can be dropped continuously and consistently even though the quantity of soap liquid was low. The Control System of the Machine for Dropping Soap into Molds produced the maximum 720 cakes per hour from 2 injectors. Increased more than 6 times with the labor force does.

Keywords: soap cake, dropping soap, the machine for dropping, the control system

1. บทนำ

กลุ่มวิสาหกิจชุมชนศูนย์เรียนรู้บ้านห้วยทราย หมู่ที่ 3 ตำบลทรัพย์ทวี อำเภอบ้านนาเดิม จังหวัดสุราษฎร์ธานี เป็นกลุ่มผู้ผลิตและจำหน่ายสบู่อ่อนสูตรต่างๆ ได้แก่ สบู่ผ้าฝ้าย สบู่ผ้าฝ้ายมะขาม และสบู่ขมิ้นน้ำผึ้ง มีกำลังการผลิตโดยใช้แรงงานคนต่อวัน 30-50 ก้อน (ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ซื้อ) ในขั้นตอนการหยอดน้ำสบูลงแม่พิมพ์ หยอดได้ครั้งละ 1 ช่อง ช่องละ 30-40 วินาที (คิด 30 วินาที) ได้ 2 ก้อน/1 นาที ผลิต 50 ก้อน/วัน ใช้เวลาการหยอด 25 นาที ซึ่งกระบวนการผลิตสบู่อ่อนของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนศูนย์เรียนรู้บ้านห้วยทราย ประกอบด้วยขั้นตอน ดังรูปที่ 1 ปัจจุบันกลุ่มประสบปัญหาจากกระบวนการผลิตสบู่อ่อน ขั้นตอนหยอดน้ำสบูลงแม่พิมพ์ ผู้หยอดใช้วิธีการเทน้ำสบูจากหม้อตุ๋นลงใส่กาต้มน้ำและหยอดน้ำสบูลงแม่พิมพ์ซิลิโคน ซึ่งแม่พิมพ์ซิลิโคน 1 ชุด แบ่งเป็น 5 แถวๆ ละ 2 ช่อง ช่องละ $5.5 \times 7.5 \times 2.5$ เซนติเมตร (ซม.) หรือมีปริมาตรช่อง 103.125 ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3) ดังรูปที่ 4

โดยผู้หยอดจะต้องควบคุมให้น้ำสบูไหลออกจากปากของกาอย่างช้าๆ และมีความสม่ำเสมอ เพื่อไม่ทำให้เกิดฟองอากาศขึ้นในก้อนสบู่ จึงต้องใช้ความระมัดระวังเป็นอย่างมาก เนื่องจากน้ำสบูยังคงมีอุณหภูมิสูงประมาณ 35-40 องศาเซลเซียส ประกอบกับสมาชิกกลุ่มผู้ผลิตฯ ส่วนใหญ่เป็นผู้สูงอายุ เมื่อต้องปฏิบัติงานอยู่ในท่าเดิมเป็นระยะเวลานานอาจจะทำให้เกิดความเมื่อยล้าได้ ส่งผลให้ระยะเวลาในการบรรจุนานขึ้น ยิ่งไปกว่านั้น ถ้าบรรจุช้าและส่วนผสมของกลีเซอรินแข็งตัวเร็ว จำเป็นต้องนำกลีเซอรินกลับไปให้ความร้อนใหม่อีกครั้ง อาจมีผลต่อการรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ เพื่อลดระยะเวลาในขั้นตอนการหยอดน้ำสบูลงแม่พิมพ์ ดังกล่าว ผู้วิจัยมีแนวคิดจะนำระบบควบคุมการทำงานของเครื่องหยอดสบูลงแม่พิมพ์เข้ามาช่วยในขั้นตอนการหยอดน้ำสบู



ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเครื่องหยอดและบรรจุภัณฑ์ เช่น การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบสบู่อ่อนสูตร ซึ่งสามารถหยอดน้ำสบูลงในแม่พิมพ์ได้ 1,440 ก้อน ภายในเวลา 1 ชั่วโมง [1] การออกแบบและพัฒนาเครื่องบรรจุน้ำพริกน้ำเงี้ยว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการบรรจุ การบรรจุทั้งหมด 3 ขนาด คือ 100 500 และ 1,000 กรัม ตามลำดับ โดยมีอัตราการผลิต 60 กิโลกรัมต่อวัน [2] การออกแบบเครื่องบรรจุน้ำปลาร้ากึ่งอัตโนมัติ โดยควบคุมอัตราการไหลของน้ำปลาร้าให้มีปริมาตรการบรรจุที่แม่นยำ ภายในติดตั้งใบพัดป้องกันการตกตะกอน มีชุดโซลินอยด์วาล์วควบคุมการทำงานของกระบอกลมและหัวจ่ายสำหรับดันน้ำปลาร้าเข้าภายในกระบอกสูบ โดยทดลองบรรจุ น้ำปลาร้า 330 430 และ 530 มิลลิลิตร ตามลำดับ แต่ละขนาดจะปรับลดคอขวดเหลือเพียง 20 มิลลิลิตร บรรจุได้ครั้งละ 2 หัว อัตราการไหลของหัวจ่าย A และหัวจ่าย B เท่ากับ $1.92 \text{ m}^3/\text{min}$ ทำให้สามารถบรรจุ น้ำปลาร้าได้อย่างสะดวกและรวดเร็วมีความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการบรรจุไม่เกิน $6\pm\%$ [3] นอกจากนี้ ได้มีการออกแบบเครื่องบรรจุน้ำซุสแบบอัตโนมัติ

หัวบรรจุ 6 หัว ในการออกแบบชุดเติมน้ำซุบจะติดตั้ง คอลโทรลวาล์ว(Control Valve) แบบ Pneumatic Double Control Valve คู่กับ บอลวาล์ว(Ball Valve) ทำหน้าที่เปิด-ปิด ควบคุมการไหลของน้ำซุบตามเวลาที่ ผู้ใช้งานได้ตั้งค่าโปรแกรมไว้ ลักษณะการเปิด-ปิด Control Valve จะเป็นการหน่วงเวลามีหน่วยเป็น วินาที ผลการทดลองหาปริมาณการเติมน้ำซุบลงในถ้วย ใช้เวลา 2 วินาที สามารถควบคุมค่ามาตรฐานของ น้ำหนักปริมาณน้ำ คือ 250 กรัม/ถ้วย [4] และมีการ พัฒนาต้นแบบระบบการผลิตน้ำตาลแว่นแบบต่อเนื่อง เป็นระบบอัตโนมัติ โดยใช้เฟืองคู่ควบน้ำตาลเหลวในถัง ส่งผ่านลงมายังทางออก จำนวน 5 ช่อง ลงมาใส่ในถาด ของแม่พิมพ์ และชุดสายพานลำเลียงจะมีอัตราทด 1:60 รอบต่อนาที โดยทำหน้าที่ในการส่งหรือลำเลียง น้ำตาลแว่นจนสุดสายพานลำเลียง ซึ่งเมื่อสุดสายพาน ลำเลียงน้ำตาลแว่นก็จะแห้งหรือแข็งตัวทันเวลาพอดี เครื่องหยอดน้ำตาลแว่นจะมีความสามารถในการหยอด น้ำตาลแว่นประมาณ 274.44 กิโลกรัมต่อชั่วโมง [5]

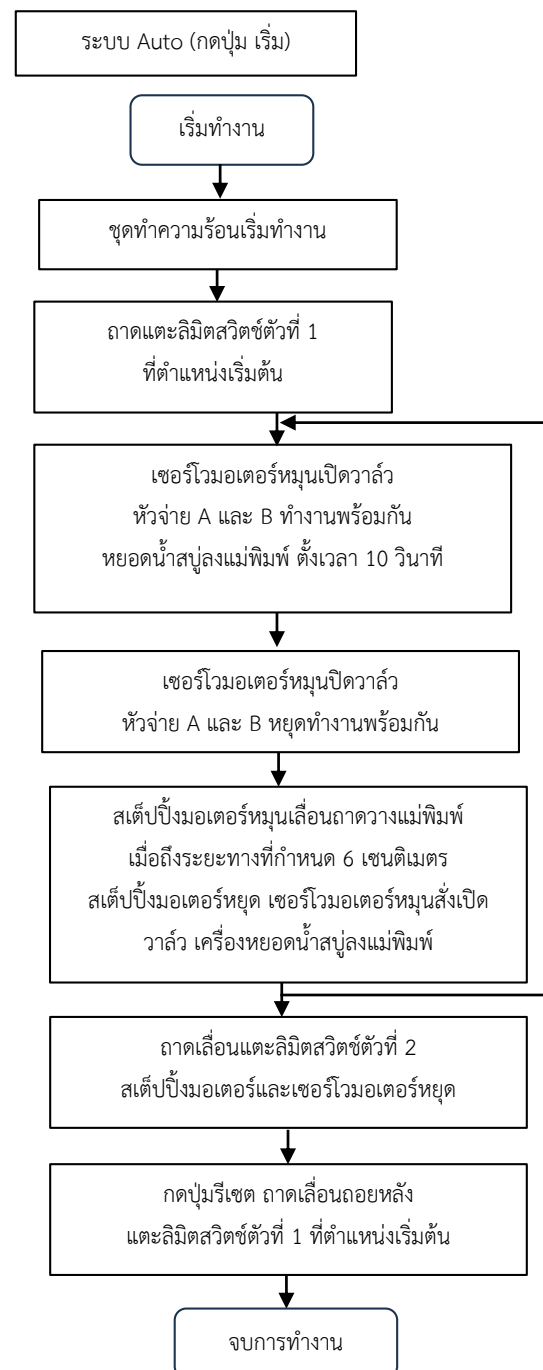
จากการศึกษางานวิจัยสามารถใช้เป็นแนวทางการออกแบบระบบควบคุมเครื่องหยอดสบู่งลงแม่พิมพ์ ในขั้นตอนการหยอดน้ำสบู่งลงแม่พิมพ์ของกลุ่ม วิสาหกิจชุมชนศูนย์เรียนรู้บ้านห้วยทราย ด้วยหลักการ ประยุกต์ใช้วงจรกรรมและเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการ ออกแบบและระบบควบคุมการไหลของของเหลว มี วัตถุประสงค์เพื่อลดระยะเวลาในขั้นตอนการหยอดน้ำ สบู่งลงแม่พิมพ์ เลือกแบบอัตโนมัติหรือแมนนอลได้ สามารถหยอดน้ำสบู่งอย่างสม่ำเสมอและมีปริมาณ เท่ากันทุกก้อน โดยการทดลองหาระยะเวลาการหยอด สบู่งลงแม่พิมพ์ และหาตำแหน่งระยะการทางการเลื่อน ถาดแม่พิมพ์ที่เหมาะสม ทำให้เครื่องหยอดสบู่งสามารถ ทำงานได้ตามความต้องการของกลุ่มผู้ผลิตสบู่ง และสามารถลดระยะเวลาในกระบวนการผลิตรวมได้

2. การออกแบบระบบควบคุมการทำงาน

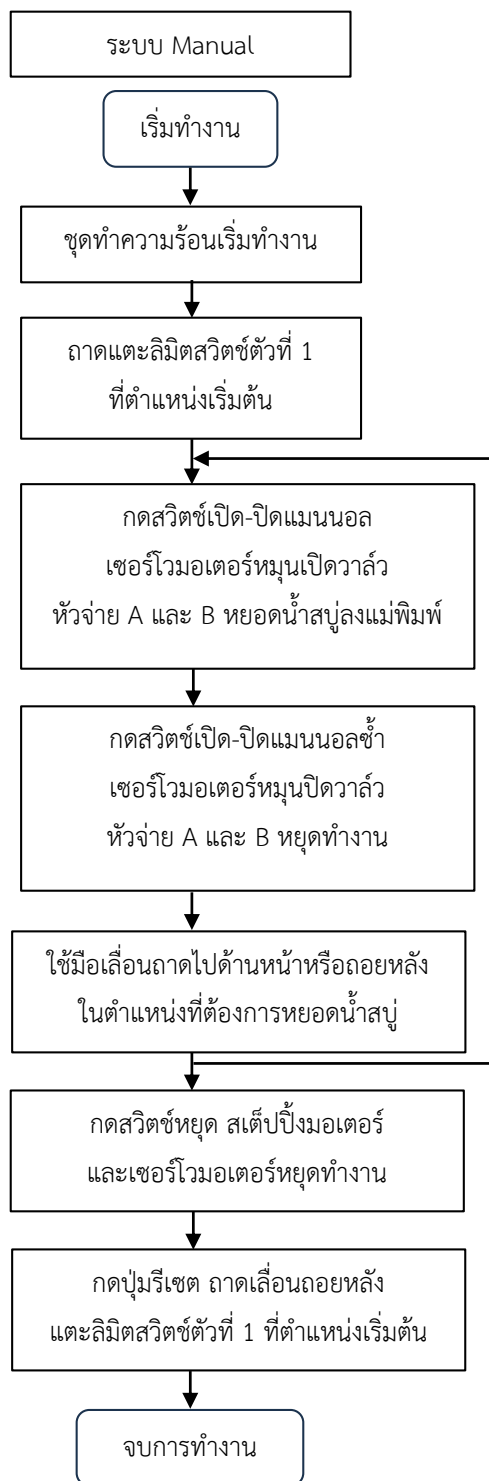
2.1 ศึกษากระบวนการผลิตโดยทั่วไปของสบู่ง ก่อนกระบวนการผลิตสบู่งของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้าน ห้วยทรายและข้อมูลที่เกี่ยวข้องพบว่า ปัญหาขั้นตอน การเทส่วนผสมลงภาตัมน้ำและหยอดสบู่งลงแม่พิมพ์

โดยต้องเทน้ำสบู่งใส่ภาตัมที่มีลักษณะปากแคบ น้ำสบู่งเป็น ของเหลวข้นที่มีอุณหภูมิประมาณ 45-50 องศาเซลเซียส ผู้หยอดต้องใช้ความระมัดระวัง เพื่อควบคุมการหยอด น้ำสบู่งให้คงที่และสม่ำเสมอ ไม่ช้าหรือเร็วเกินไป เพราะอาจจะทำให้เกิดฟองอากาศและอาจทำให้น้ำสบู่ง แข็งตัวได้

2.2 แนวคิดและหลักการพัฒนาระบบควบคุม การทำงานเครื่องหยอดลงแม่พิมพ์



รูปที่ 2 ระบบการทำงานแบบอัตโนมัติ (Auto)



รูปที่ 3 ระบบการทำงานแบบแมนนอล(Manual)

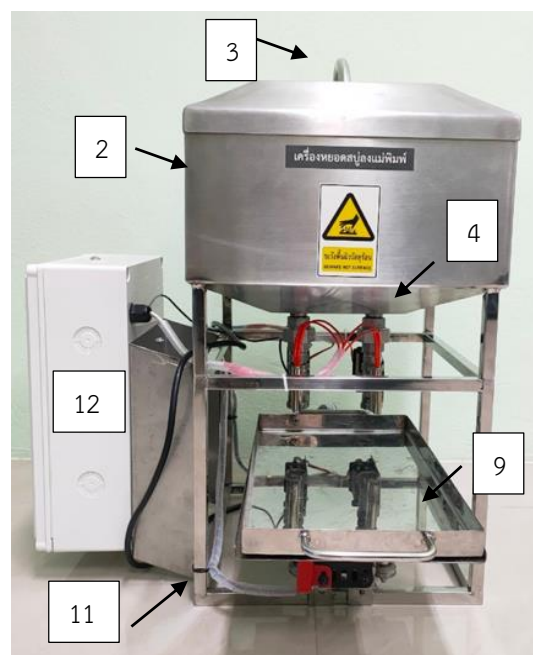
ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องหยอดสบูลงแม่พิมพ์ ออกแบบโดยใช้ระบบปฏิบัติการแบบอัตโนมัติ ควบคุมการทำงานด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO ซึ่งทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลและ ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์แบบอัตโนมัติ แบ่งการ

ทำงานเป็น 2 ระบบได้แก่ ระบบควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติ(Auto) และระบบควบคุมการทำงานแบบแมนนอล (Manual) ดังรูปที่ 2 และรูปที่ 3 ตามลำดับ

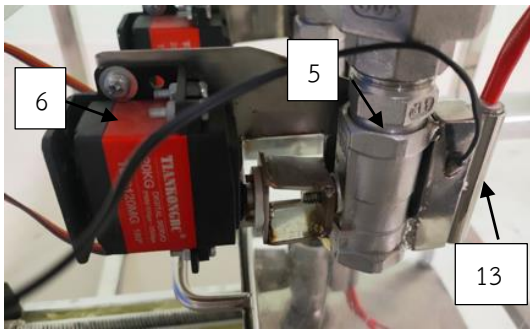
2.3 โครงสร้างเครื่องหยอดสบูลงแม่พิมพ์ การออกแบบโครงสร้างและการทำงานของระบบควบคุมเป็นไปตามความต้องการของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านห้วยทรายและเป็นไปตามหลักการทางวิศวกรรมประกอบด้วย (1) แม่พิมพ์ทำจากซิลิโคน 1 ชุด จำนวน 10 ช่อง (2) ถังบรรจุขนาด 14 ลิตร (3) ฝาปิดแบบมีหูจับด้านบน (4) หัวจ่าย A และ B (5) บอลวาล์วเปิด-ปิด (6) เซอร์โวมอเตอร์ (7) ลิมิตสวิตช์ (8) สเต็ปปั๊มมอเตอร์ (9) ถาดวางแม่พิมพ์ (10) รางเลื่อนแม่พิมพ์ (11) โครงสร้างเครื่อง (12) กล่องบรรจุชุดควบคุมการทำงาน (13) ชุดความร้อน โครงสร้างเครื่องหยอดสบู ดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 แม่พิมพ์ซิลิโคน



รูปที่ 5 เครื่องหยอดสบูลงแม่พิมพ์



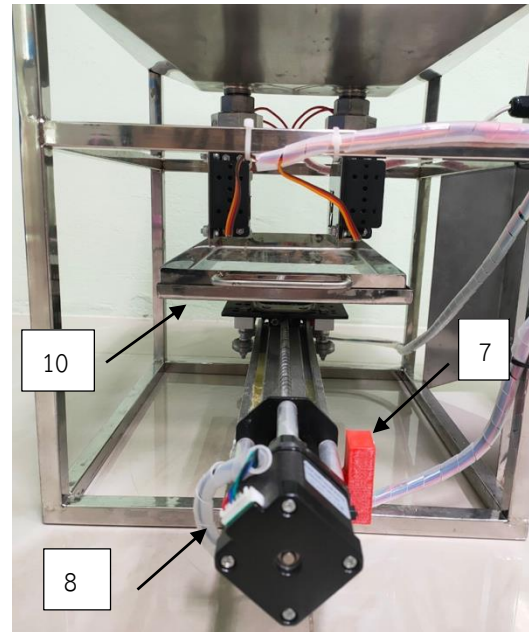
รูปที่ 6 ชุดควบคุมการทำงานของหัวจ่าย

2.4 ระบบควบคุมการทำงานใช้บอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานและประมวลผลข้อมูล โดยกำหนดค่าสั่งตามความต้องการของกลุ่มผู้ผลิตสบู่ เขียนโปรแกรมสั่งการบอร์ด Arduino UNO ด้วยชุดการทำงาน ดังนี้

2.4.1 ชุดระบบควบคุมการทำงานของหัวจ่าย ทำหน้าที่ปรับค่าเวลาทำงานของอุปกรณ์ให้เปิดปิด สำหรับตั้งระยะเวลาในการไหลของน้ำสบู่ลงแม่พิมพ์ ซึ่งมีหลักการควบคุมอุปกรณ์ที่สำคัญ ได้แก่

เซอร์โวมอเตอร์ (Servo motor) แบบแรงบิดสูง (Digital Servo Motor High Torque) Digital Servo PWM500 – 2500 μ s 180 องศา ขนาด 20 kg เนื่องจากเป็นมอเตอร์ที่ควบคุมความเร็ว (Speed Control) แรงบิดของมอเตอร์ (Torque Control) ระยะทางในการเคลื่อนที่ (หมุน) (Position Control) ได้ดี และทำงานร่วมกับชุดเซอร์โวดрай (Servo Drives) รับคำสั่งจากบอร์ด Arduino UNO เพื่อกำหนด Servo Motor ให้ทำงานอย่างถูกต้องและแม่นยำ Servo Motor สามารถควบคุมตำแหน่งด้วยการกำหนดองศา [6] เช่น กำหนดให้หมุนไปที่ตำแหน่ง 0 องศา หรือหมุนไปที่ตำแหน่ง 90 องศา วิธีการควบคุมให้มอเตอร์หมุนไปยังตำแหน่งที่ต้องการ ใช้วิธีการส่งพัลส์ที่มีความกว้างต่างกันออกไป คือ มอเตอร์หมุนไปที่ตำแหน่ง 0 ส่งพัลส์ที่มีความกว้าง 1 ms และต้องการไปยังตำแหน่ง 90 องศา ส่งพัลส์กว้าง 1.5 ms บอลวาล์ว (Ball Valve) ทำจากวัสดุสแตนเลส 316 ขนาด 1/2 นิ้ว สำหรับใช้งานอุตสาหกรรมที่มีความดันใช้งาน W.O.G/1000 PSI (69 BAR) ทำหน้าที่ เป็นหัวจ่าย (หัวจ่าย A และ B)

หมุนในการเปิด-ปิดวาล์ว ใช้สำหรับควบคุมการไหลของน้ำสบู่ด้วยลูกบอลโรตารี (rotary ball) ที่มีรู โดยการหมุนลูกบอลหนึ่งในสี่รอบ (90 องศา) รอบแกนของตัวกลางสามารถไหลผ่านหรือถูกบล็อกได้ ตัว Ball Valve โดยจะติดกันยึดกับเพลลาของชุด Servo motor แทนการใช้มือจับหมุนแบบแมนนอล (Manual) ดังรูปที่ 6



รูปที่ 7 ชุดควบคุมระยะการหยอด

2.4.2 ชุดควบคุมระยะการหยอด โดยออกแบบให้เครื่องต้นแบบฯ มีจำนวน 2 หัวจ่าย คือ หัวจ่าย A และ B เนื่องจากถูกจำกัดด้วยรูปแบบของแม่พิมพ์ที่มีใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ดังแสดงในรูปที่ 4 ชุดควบคุมระยะการหยอดจะทำหน้าที่ปรับระยะห่างตำแหน่งการหยอดให้เหมาะสมกับช่องของแม่พิมพ์ซิลิโคน มีอุปกรณ์ที่สำคัญ ดังรูปที่ 7 ได้แก่

สเต็ปมอเตอร์ (Stepping Motor) แบบไบโพลาร์ [6] เลือกใช้เบอร์ 42BYGH48-P4170 เป็นมอเตอร์ที่หมุนตามสัญญาณพัลส์แบบลำดับ หมุนแกนได้ 360 องศา มีขดลวด 2 ขด มีสายสัญญาณควบคุม 4 สาย คือ A+A-B+ และ B- สามารถควบคุมทิศทางและตำแหน่งหรือมุมในการหมุนได้ แต่ละสเต็ปจะเคลื่อนที่ตามองศาที่กำหนดไว้ โดยวิธีการสั่งงานจะใช้สัญญาณพัลส์ส่งไปยังมอเตอร์ เพื่อป้อนเป็นกระแสไฟฟ้าจ่ายไปยังชุด

ขดลวดตามลำดับ และจังหวะเวลาที่เหมาะสม ทำให้
สแตมป์มอเตอร์หมุนตามที่กำหนดได้ ดังรูปที่ 7

2.4.3 ชุดความร้อน ใช้ฮีตเตอร์แบบ
แท่ง (Cartridge Heater) นิยมใช้กับเครื่องซิลสายพาน
ผู้วิจัยใช้ Heater ขนาด 40 วัตต์ 24VDC จำนวน 2
แท่ง ติดตั้งคู่กับตัว Ball Valve ทั้ง 2 ตัว ทำหน้าที่ให้
ความร้อนบริเวณหัวจ่าย A และ B เพื่อป้องกันการ
แข็งตัวของน้ำสบู ไม่ทำให้เกิดอุดตันบริเวณช่อง
ทางออกขณะหยอดสบูไหลลงสู่แม่พิมพ์ ดังรูปที่ 6

2.5 การตั้งค่านัยเวลาการไหลของน้ำสบู และ
การคำนวณอัตราการไหลของหัวจ่าย A และ B

คำนวณหาความหนาแน่น density ของ
สบูก้อน มีวิธีการหาโดยการชั่งน้ำหนักของก้อนสบู และ
การคำนวณจากสมการ (1)

กลีเซอรินเป็นส่วนผสมหลักในการทำสบู
โดยคุณสมบัติของกลีเซอริน มีค่าความหนาแน่น 1.261
g/cm³ มวลอะตอม 92.093 g/mol จุดหลอมเหลว 18
องศาเซลเซียส ความหนืด 1.2 pa-s แรงตึงผิว(20
องศาเซลเซียส) 63.4 mN/m [7]

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

เมื่อ

ρ คือ ความหนาแน่นสบูก้อน (g/cm³)

m คือ มวลสบูก้อน (g)

V คือ ปริมาตรแม่พิมพ์ (cm³)

การทดลองหาค่า density ด้วยวิธีการหามวลจาก
การชั่งน้ำหนักของสบู จากขนาดก้อนสบูมีปริมาตร
เท่ากับ 103.125 cm³ ได้มวลสบูก้อนจากการชั่ง
น้ำหนักเท่ากับ 100 กรัม คำนวณหา density จาก
สมการ ได้ค่า density เท่ากับ 0.9696 g/cm³

อัตราการไหลเชิงปริมาตร (Volume flow rate)
มีหน่วยเป็น m³/s สามารถคำนวณจากสมการ

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2)$$

เมื่อ

Q คือ อัตราการไหลของปริมาตร (m³/min)

V คือ ปริมาตรน้ำสบู (cm³)

t คือ เวลาในการบรรจุ (min)

จากการทดลอง การหาอัตราการไหลของน้ำสบู
ที่ไหลผ่านหัวจ่าย A และ B ซึ่งใช้เวลาเปิดให้หยอดน้ำ
สบู เท่ากับ 10 วินาที (0.16 min) มีปริมาตรเท่ากับ
103.125 cm³ จากการบรรจุน้ำสบู จำนวน 7,000
กรัม (50% ของความจุถัง) กำหนดให้ปิดฝาถังบรรจุ
ขณะหยอดน้ำสบู หัวจ่าย A และ B จากการคำนวณได้
อัตราการไหล เท่ากับ 0.621 m³/min

3. วิธีการตั้งระบบเพื่อการทดลอง

การทดลองระบบควบคุมการทำงานของเครื่อง
หยอดสบูลงแม่พิมพ์ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา
ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการหยอดน้ำสบูลง
แม่พิมพ์ การทดลองนี้ กำหนดขอบเขตน้ำหนักของสบู
ก้อน ขนาด 100 กรัม และแม่พิมพ์ซิลิโคนมีปริมาตร
ช่องละ 103.125 cm³ มีขั้นตอนการปรับตั้งค่าการ
ทำงานของเครื่องหยอดสบูลงแม่พิมพ์ ดังนี้

3.1 เติมน้ำสบู จำนวน 7,000 กรัม คิดเป็น 50%
ของความจุถัง จากนั้นเปิดสวิตช์ ON ให้ระบบเริ่มการ
ทำงาน เมื่อจ่ายไฟฟ้าเครื่องจะทำงาน และชุดความ
ร้อนทำงานทันที เพื่อถ่ายเทความร้อนไปยัง Ball
Valve (หัวจ่าย) ป้องกันไม่ให้หัวจ่ายอุดตัน ระหว่าง
กระบวนการหยอดน้ำสบูลงแม่พิมพ์

3.2 กดสวิตช์เปิด เลือกการทำงานแบบManual
สำหรับการทดลองการหยอดน้ำสบูให้ไหลลงแม่พิมพ์
ขณะสถานะเริ่มทำงาน Servo motor อยู่ในตำแหน่ง
0 องศา เท่ากับ ตำแหน่งปิดวาล์ว เมื่อกดปุ่ม Manual
ระบบจะสั่งให้ Servo motor ทำงานให้หมุนไปที่
ตำแหน่ง 90 องศา เท่ากับ ตำแหน่งเปิดวาล์ว Ball
Valve หมุนเปิดหัวจ่าย A และ B พร้อมกัน ทำให้น้ำ
สบูไหลลงแม่พิมพ์ สำหรับการทดลองปรับตั้งค่า
ระยะเวลาการทำงานของ servo motor ให้เปิดวาล์ว
เพื่อควบคุมการไหลของน้ำสบูลงแม่พิมพ์ มีดังนี้

ตารางที่ 1 ระยะเวลาการทำงานของ Servo motor
เปิด Ball valve หัวจ่าย A และ B

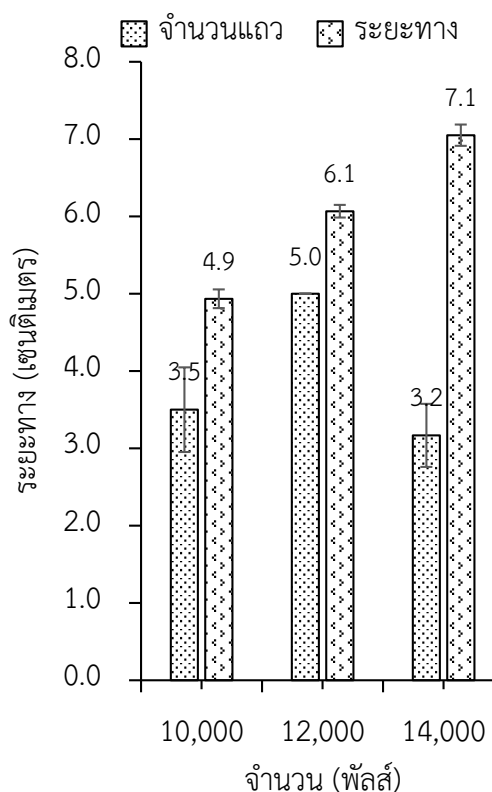
ครั้งที่	ระยะเวลาเปิด (วินาที)	น้ำสบูในช่องแม่พิมพ์	
		หัวจ่าย A	หัวจ่าย B
1	7	ไม่เต็ม	ไม่เต็ม
2	8	ไม่เต็ม	ไม่เต็ม
3	9	ไม่เต็ม	ไม่เต็ม
4	10	พอดี	พอดี
5	11	ปริ่มขอบ	ปริ่มขอบ
6	12	ล้นขอบ	ล้นขอบ

จากตารางที่ 1 ผลการทดลองปรับตั้งระยะเวลาการทำงานของ Servo motor ให้เปิดบอลวาล์วที่ระยะเวลา 10 วินาที พบว่า สามารถหยอดน้ำสบูเต็มขอบพอดี วางพักไว้ให้น้ำสบูมีอุณหภูมิตกลงในอุณหภูมิห้อง ใช้เวลาประมาณ 40-50 นาที ซึ่งน้ำหนักก้อนสบู ทดสอบซ้ำ จำนวน 5 ครั้ง ครั้งละ 2 ช่อง พบว่า มีน้ำหนักเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 100 กรัม ทุกก้อน

3.3 การปรับตั้งระยะห่างระหว่างแถวของแม่พิมพ์ซิลิโคน เพื่อกำหนดตำแหน่งหยอดน้ำสบูให้ลงในช่องแม่พิมพ์ ด้วยวิธีการปรับตั้งคาบเวลาการทำงานของสเต็ปมอเตอร์ โดยการป้อนสัญญาณพัลส์เพื่อสั่งการให้สเต็ปมอเตอร์จะทำงานเป็นจังหวะ ซึ่งสเต็ปมอเตอร์จะหมุนเป็นจังหวะตามพัลส์ที่ระบบป้อนเข้าไป แกนของสเต็ปมอเตอร์ติดตั้งเชื่อมติดกับชุดสกรูรางเลื่อนถาดวางแม่พิมพ์ ประกอบด้วย แผ่นวางถาดแม่พิมพ์ และรางเลื่อนสไลด์บอลสกรู โดยถาดเคลื่อนที่เป็นเชิงเส้นในแนวเส้นตรง จึงสามารถกำหนดตำแหน่งที่ต้องการ ให้อัตโนมัติได้อย่างแม่นยำ

จากรูปที่ 7 เป็นการทดลองป้อนจำนวนพัลส์เพื่อกำหนดระยะห่างระหว่างตำแหน่งของแถวในหยอดน้ำสบูลงแม่พิมพ์ จำนวนพัลส์เริ่มต้นที่ 10,000 พัลส์ ได้ระยะห่างระหว่างแถวเท่ากับ 5 ซม. หยอดน้ำสบูลงแม่พิมพ์เฉลี่ยได้ 3.5 แถว ปรับจำนวนเพิ่มลด ครั้งละ 2,000 พัลส์ พบว่า จำนวน 12,000 พัลส์ ได้ระยะห่างระหว่างแถวเท่ากับ 6 ซม. สามารถหยอดน้ำสบูลงแม่พิมพ์ได้เฉลี่ย 5 แถวพอดี ทำการทดลองซ้ำ 3 รอบ

พบว่า ที่จำนวน 12,000 พัลส์ คือระยะห่างระหว่างแถวที่ 6 ซม. เหมาะสมต่อการหยอดน้ำสบูลงแม่พิมพ์

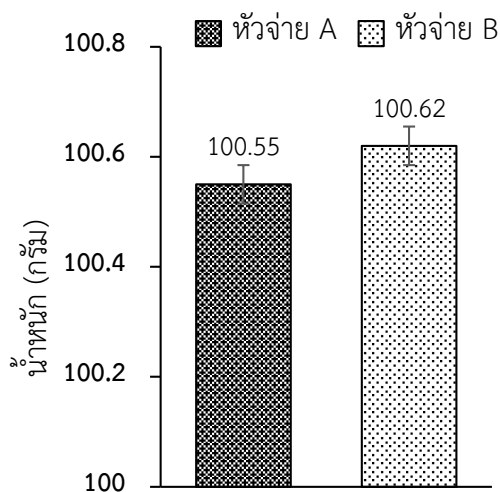


รูปที่ 7 การปรับระยะเวลาการทำงานของสเต็ปมอเตอร์หาระยะตำแหน่งการหยอด

4. ผลการทดลอง

จากผลการทดลองการปรับตั้งค่าการทำงานของระบบควบคุมการทำงานของเครื่องหยอดสบูลงแม่พิมพ์ น้ำสบูจำนวน 7,000 กรัม (50% ของความจุถัง) กำหนดระยะเวลาหยอดน้ำสบูลงแม่พิมพ์ 10 วินาที ระยะห่างระหว่างแถวเท่ากับ 6 ซม. ทดสอบร่วมกับสูตรสบูน้ำผึ้ง จากกลุ่มวิสาหกิจชุมชนศูนย์การเรียนรู้บ้านห้วยทราย น้ำหนักก้อนละ 100 กรัม และเปรียบเทียบปริมาตรก้อนสบูแต่ละก้อน จากหัวจ่าย A และ B ด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก โดยการทดลองหยอดน้ำสบูลงแม่พิมพ์ด้วยระบบที่พัฒนาขึ้น ตั้งค่าทำงานครั้งละ 1 รอบ รอบละ 10 ก้อน หรือ 1,000 กรัม หยอดจากหัวจ่าย A และ B พร้อมกัน จำนวน 6 รอบ หยอดน้ำสบู 30 ครั้ง ได้ก้อนสบูทั้งสิ้น 60 ก้อน

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมการทำงานของเครื่องหยอดสบู่ลงแม่พิมพ์ พบว่า ระบบควบคุมสามารถสั่งการให้เครื่องทำงานได้อย่างต่อเนื่อง การควบคุมระยะเวลาการหยอดน้ำสบู่ทำได้สม่ำเสมอ ปริมาณน้ำสบู่หยอดเต็มช่องพอดีไม่ล้นเกินขอบ ระบบควบคุมระยะห่างระหว่างแถวมีความแม่นยำทำให้หยอดน้ำสบู่ลงในช่องทุกช่อง จากนั้นวางพักน้ำสบู่ให้อุณหภูมิลดลงที่อุณหภูมิห้อง ใช้เวลาประมาณ 45-50 นาที ทำการชั่งน้ำหนักก้อนสบู่ โดยเรียงลำดับจากการหยอดตั้งแต่ ครั้งที่ 1 ถึงครั้งที่ 30 พบว่า น้ำหนักก้อนสบู่ มีค่าไม่น้อยกว่า 100 กรัม ทุกก้อน นำค่าน้ำหนักที่ได้มาวิเคราะห์และเปรียบเทียบความแตกต่างของน้ำหนักก้อนสบู่หลังใช้ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องหยอดสบู่ลงแม่พิมพ์ จากหัวจ่าย A และ B



รูปที่ 8 ค่าเฉลี่ยน้ำหนักที่เครื่องหยอดสบู่หยอดลงแม่พิมพ์ จากหัวจ่าย A และ B

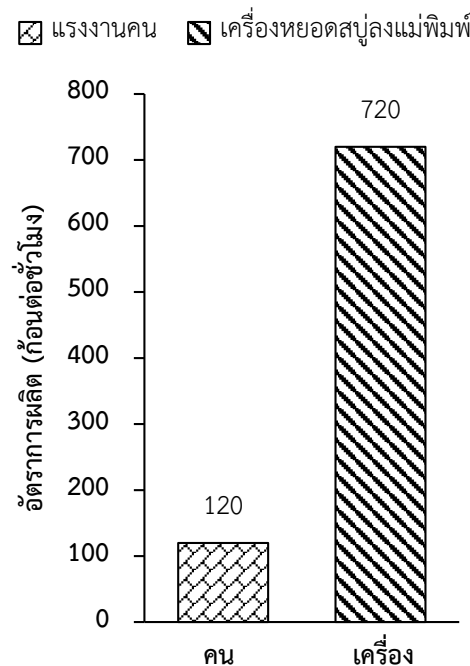
จากการทดสอบประสิทธิภาพของระบบควบคุมการทำงานของเครื่องหยอดสบู่ลงแม่พิมพ์ เลือกแบบอัตโนมัติ ทดลองหยอดน้ำสบู่ลงในแม่พิมพ์ เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างหัวจ่าย A และ B ดังนี้ หัวจ่าย A น้ำหนักเฉลี่ย 100.55 กรัม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.140 มากกว่าน้ำหนักที่ต้องการ 0.55 กรัม และหัวจ่าย B น้ำหนักเฉลี่ย 100.62 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.129 มากกว่าน้ำหนักที่ต้องการ 0.62 กรัม และผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบความ

แตกต่างของปริมาตรก้อนสบู่ จากหัวจ่าย A และ หัวจ่าย B มีค่าเฉลี่ยแตกต่างกัน 0.07 กรัม ซึ่งขณะหยอดน้ำสบู่ เนื้อสบู่มีลักษณะเหลวข้นและมีอุณหภูมิสูง เมื่อสบู่เย็นตัวลงมีผลให้น้ำหนักก้อนสบู่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากการชั่งน้ำหนักของก้อนสบู่ มีน้ำหนักไม่น้อยกว่า 100 กรัม ทุกก้อน แต่ไม่เกินปริมาณที่กลุ่มสามารถรับได้ ดังรูปที่ 8 เนื่องจากในส่วนผสมของสูตรสบู่ น้ำผึ้งของกลุ่มฯ มีการเติมน้ำผึ้งและน้ำหอมเพิ่มเข้าไป จึงทำให้ปริมาณของน้ำสบู่โดยรวมเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 1

การคำนวณหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องหยอดสบู่ลงแม่พิมพ์ หลังจากนำเครื่องไปใช้งานสามารถคำนวณได้ ดังนี้

การทำงานโดยใช้แรงงานคนหยอดสบู่ลงแม่พิมพ์ หยอดน้ำสบู่ใช้เวลา 30-40 วินาที (30 วินาที) ได้ครั้งละ 1 ก้อน คำนวณที่ 1 นาที จะได้ 2 ก้อน/นาที และ 120 ก้อนต่อชั่วโมง

เครื่องหยอดน้ำสบู่ลงแม่พิมพ์ ใช้เวลาหยอดน้ำสบู่ 10 วินาที ได้ครั้งละ 2 ก้อน คิดที่ เวลา 1 นาที สามารถหยอดได้ 12 ก้อนต่อนาที และ 720 ก้อนต่อชั่วโมง ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 เปรียบเทียบอัตราการผลิตสบู่ก้อนจากการหยอดสบู่ด้วยเครื่องกับแรงงานคนหยอด

5. สรุปผล

ระบบควบคุมเครื่องหยอดสบู่งแม่พิมพ์ ตั้งระยะเวลาควบคุมการเปิดวาล์วหัวจ่ายที่ 10 วินาที และกำหนดตำแหน่งระยะห่างระหว่างแถว เท่ากับ 6 ซม. ทดสอบหยอดน้ำสบู่งแม่พิมพ์ ครั้งละ 2 หัวจ่าย (หัวจ่าย A และ B) จำนวน 6 รอบ จำนวน 30 ครั้ง พบว่า ลักษณะการหยอดของน้ำสบู่ง หยอดได้คงที่และสม่ำเสมอ โดยที่หัวจ่าย A ได้น้ำหนักเฉลี่ย 100.55 กรัม และหัวจ่าย B ได้น้ำหนักเฉลี่ย 100.62 กรัม ซึ่งไม่ต่ำกว่าค่าที่กำหนด คือ 100 กรัม หลังจากใช้งานเครื่องหยอดสบู่งแม่พิมพ์ ประสิทธิภาพการหยอดสบู่ง จากเดิม 120 ก้อนต่อชั่วโมง เพิ่มขึ้นเป็น 720 ก้อนต่อชั่วโมง ดังนั้น ถ้าใช้เครื่องหยอดสบู่งแม่พิมพ์ สามารถหยอดสบู่งแม่พิมพ์ภายใน 1 ชั่วโมง ได้เพิ่มขึ้น 6 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับแรงงานคนหยอด

6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการจัดตั้งกองบริการวิชาการพัฒนาท้องถิ่น มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานีที่สนับสนุนงบประมาณ และสมาชิกวิสาหกิจชุมชนศูนย์เรียนรู้บ้านห้วยทราย หมู่ที่ 3 ตำบลทรัพย์ทวี อำเภอบ้านนาเดิม จังหวัดสุราษฎร์ธานี สนับสนุนด้านบุคลากร อุปกรณ์ และสถานที่ในการทดลอง

7. เอกสารอ้างอิง (References)

[1] Sriboonrueng B. Design and fabrication the forming corn soap machine Department of Technology and Processing Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, and Technology. Rajamangala University of Technology Thanyaburi. 2005 (in Thai)

[2] Jaikham N, Kamboon A, Sirirak W, Lausak P, Khuntal J, Kanweewong N, Jaikantha U. The design and development packing machine for increase packing process efficiency of nam ngiao chili. Journal of Technology Research Rajamangala University of Technology Lanna. 2019;3(1):68-76. (in Thai)

[3] Piamkaew P, Phadungruangkij A, Ruttanon K, Oungthong, Sripradit A. Design and to develop of semi-automatic the fermented fish sauce filling machine. Journal of Thonburi University (Science and Technology). 2020;4(1):25-43 (in Thai)

[4] Ruangraksa C, Sanposh P. Design of automatic soup filling machine. Srinakharinwirot University Engineering Journal. 2023;18(1):17-30. (in Thai)

[5] Boonchouytan W, Development of machine palmyra palm sugar automatic system. Rajamangala University of Technology Srivijaya. 2017. (in Thai)

[6] Boopa D. Microcontroller Arduino. Technology promotion association (Thailand-Japan). 2563;240.

[7] Glycerin. [Internet]. Bangkok, Bangchak Biofuel 2023 [cited 2023 May 20] ; Available from: <http://www.bangchakbiofuel.co.th/products/glycine>

รูปแบบบทความสำหรับ วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมนคลัญบุรี

ปรกช สิริสุวัฒน์^{1*} สุมนมัลย์ เนียมกลาง² และกุลยา สารีชีวิน³
porakoch.s@en.rmutt.ac.th^{1*}, sumonman.n@en.rmutt.ac.th², kullaya.s@en.rmutt.ac.th³

¹ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

² ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

³ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวเกี่ยวกับรูปแบบและวิธีการส่งบทความเพื่อเสนอต่อกองบรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมนคลัญบุรี ผู้ส่งบทความต้องยึดรูปแบบตามบทความนี้อย่างเคร่งครัด บทความใดที่มีรูปแบบไม่ถูกต้องจะถูกส่งคืนเพื่อทำการแก้ไขก่อนนำเสนอผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ หากไม่ทำการแก้ไขให้ถูกต้องกองบรรณาธิการจะทำการตัดสิทธิ์การส่งบทความนี้ ทั้งนี้บทคัดย่อต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ แต่ละภาษาควรมีเพียงย่อหน้าเดียว

คำสำคัญ: วิธีการส่งบทความ รูปแบบบทความ ขนาดตัวอักษร รูปแบบตัวอักษร การเว้นบรรทัด

Manuscript Preparation Guidelines for the Papers Submitted to Journal of Engineering, RMUTT

Porakoch Sirisuwan^{1*}, Sumonman Niamlang² and Kullaya Saricheewin³
porakoch.s@en.rmutt.ac.th^{1*}, sumonman.n@en.rmutt.ac.th², kullaya.s@en.rmutt.ac.th³

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

² Department of Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

³ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Abstract

This article describes a submission procedure and a format of the manuscript for the Journal of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi (JERMUTT). Authors are required to strictly follow the guideline provided here, otherwise, the manuscript will be returned for proper correction before to be reviewed by two referees who are specialists in that fields. If not completed on this step your manuscript will be rejected and cannot be considered again. So that an abstract should have had only one paragraph. Both Thai and English.

Keywords: submission procedure, manuscript format, font size, font style and blank line

1. ข้อกำหนดทั่วไป

บทความต้องประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ตามลำดับต่อไปนี้ คือ

1. ชื่อเรื่อง/บทความ (Title)
2. ชื่อผู้เขียน/อีเมล (Author, E-mail)
3. ที่อยู่ผู้เขียน (Affiliation)
4. บทคัดย่อ (Abstract)
5. คำสำคัญ (Keywords)
6. บทนำ (Introduction)
7. เนื้อหา (Text)
8. สรุป (Conclusion)
9. กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี) (Acknowledgements)
10. เอกสารอ้างอิง (References)

2. คำแนะนำในการเขียนและพิมพ์

คำแนะนำทั่วไป

2.1. ชื่อเรื่อง/บทความ (Title) มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรสั้นและกระชับแต่ครอบคลุมสาระทั้งเรื่องสื่อความหมายชัดเจนไม่ควรใช้คำย่อ และวางกึ่งกลางหน้ากระดาษ

2.2. ชื่อผู้เขียนหลัก (Corresponding Author) และผู้เขียนร่วม (Co-Author) มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใส่หมายเลขลำดับ (ตัวยก) เรียงตามลำดับความสำคัญ โดยใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) ผู้เขียนหลักถัดจากหมายเลขลำดับ (ตัวยก)

2.2.1 E-mail ผู้เขียนเรียงตามลำดับชื่อผู้เขียนและ ใส่เครื่องหมาย (*) ถัดจากหมายเลขลำดับ (ตัวยก) ของผู้เขียนหลัก

2.3. ที่อยู่ผู้เขียน (Affiliation) มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ไม่ต้องระบุตำแหน่งวิชาการ หรือสถานะของนักศึกษาใดๆ ทั้งสิ้น

2.4. บทย่อดัด (Abstract) เป็นการสรุปประเด็นเนื้อหาที่เป็นแก่นสำคัญเน้นประเด็นสำคัญของงาน ที่ต้องการนำเสนอจริงๆ ควรเขียนให้สั้น และกระชับ

2.5. คำสำคัญ (Keywords) ให้ระบุไม่เกิน 3-5 คำ

2.6. บทนำ (Introduction) ส่วนนำจะเป็นส่วนที่ผู้เขียนจงใจให้ผู้อ่านเกิดความสนใจในเรื่องนั้นๆ วัตถุประสงค์ของงานวิจัย และข้อมูลทางวิชาการ

2.7. เนื้อหา (Text) บทความที่เสนอจะต้องพิมพ์เป็นภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษ ตามรูปแบบที่กำหนด ซึ่งพร้อมที่จะนำไปถ่ายเพลท เพื่อพิมพ์ออฟเซตได้ทันที

การพิมพ์ให้พิมพ์ลงบนกระดาษ A4 โดยพิมพ์เป็น 2 คอลัมน์ตามรูปแบบบทความนี้ ขนาดของคอลัมน์เป็นไปตามที่กำหนด จะต้องพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์เลเซอร์ที่มีความละเอียดไม่น้อยกว่า 300 dpi.

ให้พิมพ์โดยไม่เว้นบรรทัด เมื่อจะขึ้นหัวข้อใหม่ให้เว้นบรรทัด 1 บรรทัด และจะต้องพิมพ์ให้เต็มคอลัมน์ก่อนที่จะขึ้นคอลัมน์ใหม่ หรือขึ้นหน้าใหม่ ห้ามเว้นที่เหลือไว้ว่างเปล่า

การลำดับหัวข้อในส่วนของเนื้อเรื่องนี้ให้ใส่เลขกำกับโดยให้บทนำเป็นหัวข้อหมายเลข 1 และหากมีการแบ่งหัวข้อย่อย ก็ใช้เลขระบบทศนิยมกับหัวข้อย่อย เช่น 1.1 เป็นต้น

ตารางที่ 1 การตั้งค่าหน้ากระดาษ

ระยะขอบ	เซนติเมตร
บน (Top)	3
ล่าง (Bottom)	2
ซ้าย (Left)	3
ขวา (Right)	3
ระยะห่างคอลัมน์	1

ตารางที่ 2 ขนาดตัวอักษรและการเว้นระยะ

พิมพ์บทความภาษาไทยและภาษาอังกฤษด้วยตัวอักษรแบบ “TH SarabunPSK”

รายการ	ขนาด	ตำแหน่ง	ลักษณะ
ชื่อเรื่อง	18	กึ่งกลาง	ตัวหนา
ชื่อผู้เขียน อีเมล	14	กึ่งกลาง	ปกติ
ที่อยู่ผู้เขียน	12	ชิดซ้าย	ปกติ
บทย่อดัด	14	ชิดซ้าย	ปกติ
ชื่อหัวข้อ, หัวข้อย่อย	14	ชิดซ้าย	ตัวหนา
เนื้อความ	14	กระจายแบบไทย	ปกติ

รายการ	ขนาด	ตำแหน่ง	ลักษณะ
สมการต่างๆ	14	กึ่งกลาง	ตัวเอียง
คำบรรยายประกอบรูปและตาราง	14	กึ่งกลาง	ปกติ

ให้จัดเนื้อเรื่องในแต่ละบรรทัดเรียงชิดซ้าย และขวาวางสวยงาม เยื้องบรรทัดแรกของย่อหน้า ใช้ 1 แท็บ หรือ 0.5 นิ้ว

2.7.1 การจัดทำรูปภาพ

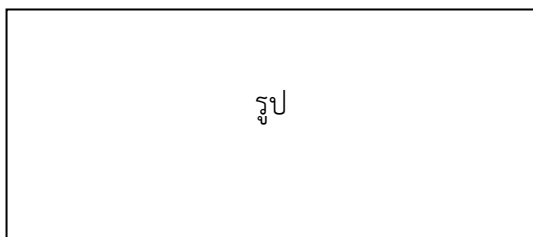
รูปภาพจะต้องมีความกว้างไม่เกิน 70 มม. เพื่อให้ลงในหนึ่งคอลัมน์ได้ หรือกรณีจำเป็นจริงๆ เพื่อรักษารายละเอียดในภาพ อาจยอมให้มีความกว้างได้เต็มหน้ากระดาษ(กว้าง 150 มม.)

ตัวอักษรทั้งหมดในภาพจะต้องมีขนาดใหญ่ สามารถอ่านได้สะดวก

รูปภาพทุกรูปจะต้องมีหมายเลข และคำบรรยายได้ภาพ

คำบรรยายใต้ภาพห้ามใช้คำว่า “แสดง” เช่น ห้ามเขียนว่า “รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง..” ที่ถูกต้องควรเป็น “รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง..”

ตัวอย่าง



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง....

รูปลายเส้นจะต้องเป็นเส้นหมึกดำ ส่วนรูปถ่ายควรจะเป็นรูปขาวดำที่มีความคมชัด รูปสีอนุโลมให้ใช้ได้ รูปภาพควรมีรายละเอียดเท่าที่จำเป็นเท่านั้น เช่น ภาพถ่ายรูปคลื่นจากออสซิลโลสโคปที่ปรากฏให้เป็นเฉพาะจอภาพ เป็นต้น และเพื่อความสวยงามให้เว้นบรรทัดเหนือรูปภาพ 1 บรรทัดและเว้นใต้คำบรรยาย 1 บรรทัด

2.7.2 การเขียนสมการ

สมการทุกสมการจะต้องมีหมายเลขกำกับอยู่ภายในวงเล็บและเรียงลำดับที่ถูกต้อง ควรใช้ตัวพยัญชนะเอียงแสดงถึงพารามิเตอร์หรือตัวแปรในสมการ ตำแหน่งของหมายเลขสมการจะต้องอยู่ชิดขอบด้านขวาของคอลัมน์ เว้นหนึ่งบรรทัดก่อนเขียนสมการ และเว้นหนึ่งบรรทัดหลังเขียนสมการ จัดให้สมการอยู่ตรงกลางคอลัมน์ ดังตัวอย่างนี้

$$a + b = c \quad (1)$$

เริ่มเขียนคำอธิบายตั้งแต่บรรทัดนี้

2.7.3 การจัดการทำตาราง

ตัวอักษรในตารางจะต้องไม่เล็กกว่าตัวอักษรในเนื้อเรื่อง ควรตีเส้นกรอบตารางด้วยหมึกดำให้ชัดเจน

ตารางทุกตารางจะต้องมีหมายเลข และคำบรรยายกำกับกับเหนือตาราง หมายเลขกำกับและคำบรรยายเหนือตารางห้ามใช้คำว่า “แสดง” เช่นเดียวกับกรณีรูปภาพ

เพื่อความสวยงามให้เว้นบรรทัดเหนือตาราง 1 บรรทัด และเว้นบรรทัดใต้คำบรรยายรูปภาพ 1 บรรทัด

2.7.4 ความยาวของบทความ

เมื่อรวมทุกส่วนแล้ว บทความไม่ควรจะมีความยาวน้อยกว่า 8 หน้า และยาวไม่เกิน 12 หน้า กระดาษ A4

2.7.5 กรณียบทความภาษาอังกฤษ

ผู้พิมพ์บทความเป็นภาษาอังกฤษ กรุณาดูคำแนะนำ วิธีการพิมพ์บทความภาษาอังกฤษที่แนบมาด้วย

2.7.6 การส่งบทความ

ผู้เขียนสามารถส่งต้นฉบับ ทางเว็บไซต์ออนไลน์ ของวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชชมงคลธัญบุรี <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/jermutt>



โดยต้องทำการลงทะเบียนเพื่อสมัครสมาชิกวารสารและนำส่งวารสารต้นฉบับในรูปแบบไฟล์

- Word
- PDF

กรุณาจัดส่ง แบบฟอร์มยืนยันการส่งบทความทางวิชาการ เพื่อลงตีพิมพ์ใน วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชชมงคลธัญบุรี มายังอีเมล enjournal@en.rmutt.ac.th หรือ จัดส่งไปรษณีย์มายังกองบรรณาธิการ วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชชมงคลธัญบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหลวง อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110” จึงจะถือว่า การส่งวารสารนั้นเสร็จสมบูรณ์

หากขั้นตอนการนำส่งวารสารทั้ง 2 ขั้นตอน คือ การส่งวารสารทางเว็บไซต์ออนไลน์ และการนำส่งแบบฟอร์มยืนยันการส่งบทความมายังอีเมล enjournal@en.rmutt.ac.th ไม่ครบถ้วนทั้ง 2 ขั้นตอน บทความนั้นจะถูกส่งคืน และไม่สามารถผ่านการพิจารณาได้

3. สรุป (Conclusion)

ผู้เขียนบทความกรุณาตรวจสอบบทความอย่างรอบคอบโดยใช้เวลาอย่างเพียงพอก่อนส่งให้คณะกรรมการพิจารณา จะทำให้บทความของท่านมีคุณภาพสูง ผ่านการพิจารณาได้ง่ายขึ้น และหากไม่มีการแก้ไขบทความกลับภายในระยะเวลา 3 เดือน หลังจากได้รับบทความกลับคืน บทความนั้นจะถูกยกเลิกการพิจารณาโดยอัตโนมัติ และไม่รับพิจารณาบทความใดๆ ของผู้เขียนนั้น เป็นระยะเวลา 1 ปี นับตั้งแต่วันครบกำหนดการส่งบทความกลับคืน

4. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)

ขอขอบคุณ ข้อมูลจาก TCI และผู้เขียนบทความทุกท่านที่ให้ความร่วมมือรักษาระเบียบการเขียนบทความอย่างเคร่งครัด

5. เอกสารอ้างอิง (References)

การอ้างอิงเอกสารใช้ระบบ (Vancouver Style) เรียงตามลำดับ 1,2,3 ตามการใช้งาน โดยใส่ตัวเลขของเอกสารอ้างอิงไว้ในวงเล็บ เช่น [1] เป็นต้น

แล้วรวบรวมไปเขียนอ้างอิง ตามรูปแบบวารสารกำหนด

ในการเขียนเอกสารอ้างอิงผู้เขียนต้องเขียนเป็นภาษาอังกฤษ ในกรณีแหล่งข้อมูลที่ใช้อ้างอิงมาจากแหล่งอ้างอิงภาษาไทย เช่น ตำราไทย วารสารไทย เป็นต้น ให้แปลเป็นภาษาอังกฤษ แล้ววงเล็บด้านท้ายชื่อภาษาต้น เช่น (in Thai) ทั้งนี้ผู้เขียนบทความควรใช้แหล่งอ้างอิงที่ได้รับการยอมรับกันตามเกณฑ์สากล

ตัวอย่าง (Example)

[1] Kalsirisilp R, Nadpakdee A, Langkapin J. Performance evaluation of sugarcane grab loader. Journal of Engineering, RMUTT. 2018; 16(1):1-12. (in Thai)

ตัวอย่างการเขียนเอกสารอ้างอิง

(เครื่องหมาย\หมายถึง เว้นวรรค 1 ระยะ)

รูปแบบบทความวารสาร

(Articles in Journals)

[2] Author.\Article Title.\Journal Title.\ Year of Publication;Volume(Issue Number):Pagintion.

ตัวอย่าง(Example)

[3] Nanthasamroeng N. Application of center of risk gravity in the location analysis for a sitting of emergency medical service vehicles. Journal of Engineering RMUTT. 2011;9(2):21-9. (in Thai)

[4] Halpern SD, Ubel PA, Caplan AL. Solid-organ transplantation in HIV-infected patients. N Engl J Med. 2002;347(4):284-7.

รูปแบบหนังสือและเอกสารเฉพาะเรื่อง

(Books and Other Monographs)

[5] Author.\Title.\Edition.\ Place of Publication:\Publisher;\Year of Publication.

[6] Author.\Title\[dissertation or master's thesis].\Place of Publication:\ University; \Year of Publication.

ตัวอย่าง(Example)

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

[8] Borkowski MM. Infant sleep and feeding: a telephone survey of Hispanic Americans [dissertation]. Mount Pleasant (MI): Central Michigan University; 2002.

รูปแบบสื่ออิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Material)

[9] Author.\ Article Title.\ Journal Title.\ [Internet].\ Year of Publication\ [cited YYMM\DD] ;Volume (Issue Number):page numbers.\ Availability From:\ URL

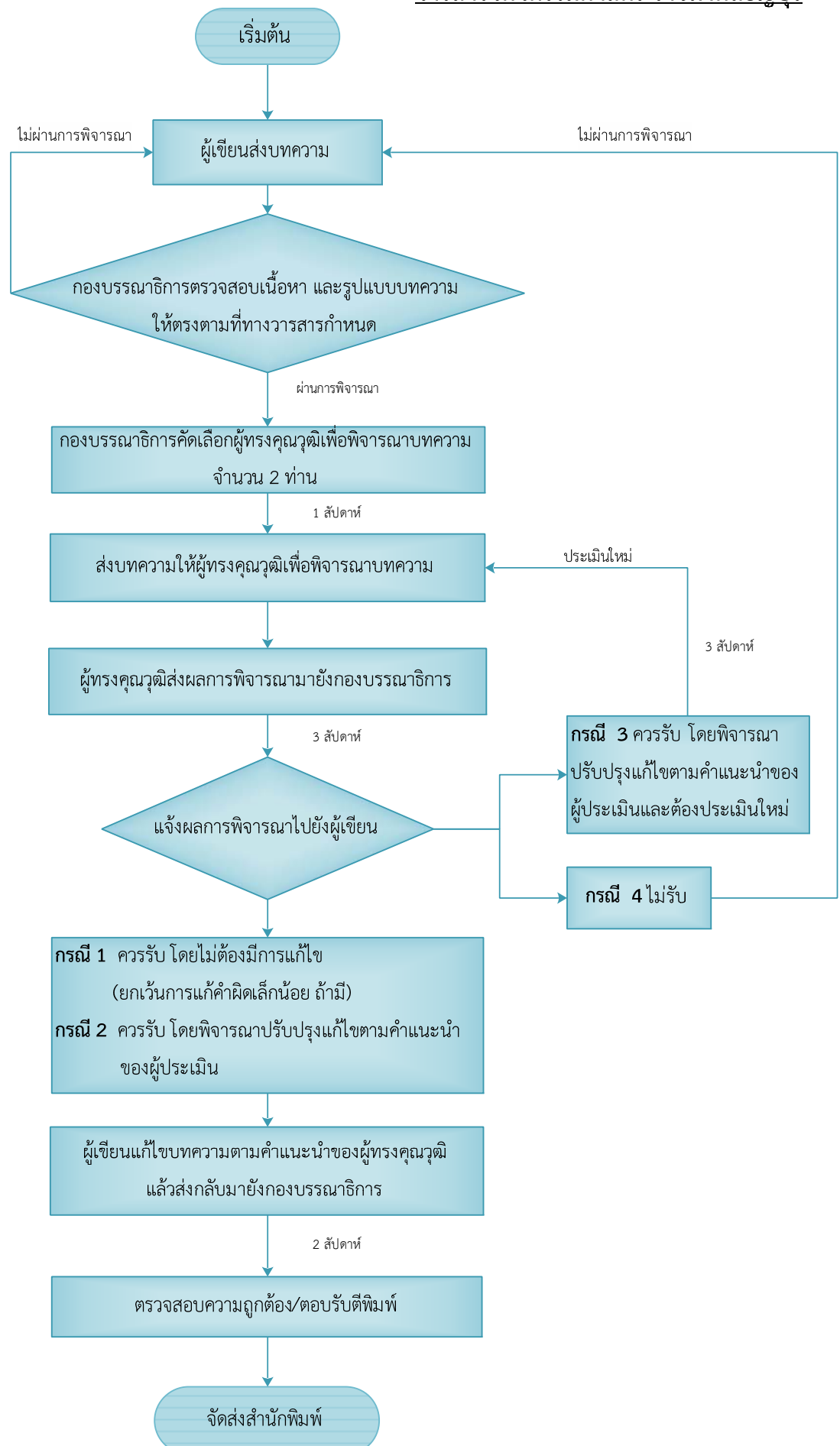
ตัวอย่าง(Example)

[10] Siriprasert R. Model development for health screening system in prachinburi province. Journal of Health Science [Internet]. 2010 [cited 2011 Feb 25];19(3):409-21. Available from: http://pubnet.moph.go.th/pubnet2/e_doc.php?id=2593 (in Thai)

[11] Abood S. Quality improvement initiative in nursing homes: the ANA acts in an advisory role. Am J Nurs [Internet]. 2002 Jun [cited 2002 Aug 12];102(6): [about 1 p.]. Available from : <http://www.nursingworld.org/AJN/2002/june/Wawatch.htm>Article

สามารถดาวน์โหลดรูปแบบบทความ Template ในรูปแบบ Word และคู่มือการอ้างอิงระบบ (Vancouver Style) ได้ที่

<https://drive.google.com/drive/folders/1jPxtFBwmeIUTtRwHH3HEFIuVZXsIOPV>



ในกรณีที่ 2 และ 3 หลังจากบทความผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิแล้ว ผู้เขียนควรพิจารณาการแก้ไขและส่งบทความกลับมาในระยะเวลาที่กำหนดหากล่าช้าเกิน 90 วัน (นับจากวันแจ้งแก้ไข) กองบรรณาธิการขอแจ้งไม่รับพิจารณาบทความโดยอัตโนมัติ และผู้เขียนไม่สามารถส่งบทความเข้าสู่ระบบได้เป็น ระยะเวลา 1 ปี (เนื่องจากมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการประเมินบทความ และขาดความต่อเนื่องในการพิจารณาบทความจากผู้ทรงคุณวุฒิ)

หมายเหตุ : รวมระยะเวลาโดยประมาณ 90 วัน หากไม่มีการแก้ไขใดๆเพิ่มเติม



สมาชิกเลขที่

.....

ใบสมัครสมาชิการสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏธนบุรี

วันที่สมัคร

ข้าพเจ้า นาย/นาง/นางสาว สกุล อาชีพ

ที่อยู่ (สำหรับจัดส่งวารสาร) เลขที่ ถนน แขวง/ตำบล

เขต/อำเภอ จังหวัด รหัสไปรษณีย์

โทรศัพท์ โทรสาร e-mail

มีความประสงค์สมัครเป็นสมาชิก

อัตราค่าสมาชิก

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏธนบุรี ปี

1 ปี 2 ฉบับ 120 บาท

(สำหรับบุคคลทั่วไป)

80 บาท

(สำหรับนักศึกษา)

ต่ออายุสมาชิก ปี

1 ปี 2 ฉบับ 120 บาท

(สำหรับบุคคลทั่วไป)

80 บาท

(สำหรับนักศึกษา)

พร้อมกันนี้ ได้ส่งค่าสมาชิก จำนวน บาท

จำนวนเงินตัวอักษร

ชำระเงินโดยวิธี

ธนาคาร ส่งจ่าย

ตั๋วแลกเงินไปรษณีย์ ส่งจ่าย

โอนเงินเข้าบัญชีธนาคาร ชื่อบัญชี เลขที่บัญชี

หมายเหตุ 1. กรุณาส่งสำเนาใบเข้าบัญชี (pay-in-slip) หรือโทรสารมายังสำนักงานคณะวิศวกรรมศาสตร์ พร้อมเขียน

ชื่อ – นามสกุล และหมายเลขสมาชิก (ถ้ามี)

2. นักศึกษาที่สมัครทางไปรษณีย์ กรุณาส่งสำเนাত্রประจำตัวนักศึกษาแนบมาด้วย

ลงชื่อ ผู้สมัคร

(.....)

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏธนบุรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

โทรศัพท์ 0-2549-3493 โทรสาร 0-2549-3493 <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/jermutt>

e-mail: enjournal@en.rmutt.ac.th

แบบฟอร์มการส่งบทความทางวิชาการ
เพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมนคลธัญบุรี

ข้าพเจ้า ☐ นาย ☐ นาง ☐ นางสาว ☐ อื่นๆ (โปรดระบุ).....

ชื่อ-สกุล.....

(ภาษาอังกฤษ).....

ตำแหน่งทางวิชาการ (โปรดระบุ) ☐ ศาสตราจารย์ ☐ รองศาสตราจารย์ ☐ ผู้ช่วยศาสตราจารย์

☐ อาจารย์ ☐ อื่นๆ(โปรดระบุ).....

ที่อยู่ (ที่ติดต่อได้).....

โทรศัพท์ที่ทำงาน.....โทรศัพท์มือถือ.....

โทรสาร.....อีเมล.....

มีความประสงค์ขอส่งบทความ เรื่อง:

ชื่อบทความ (ภาษาไทย).....

ชื่อบทความ (ภาษาอังกฤษ).....

การตรวจสอบ ☐ ทำการลงทะเบียน และ ส่งวารสารต้นฉบับใน

ระบบออนไลน์ <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/jermutt> เรียบร้อยแล้ว

วันที่ ส่งวารสารต้นฉบับ เข้าสู่ระบบออนไลน์

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า บทความนี้เป็นผลงานของข้าพเจ้าและผู้ร่วมงานตามชื่อที่ระบุไว้ในบทความ
จริง และบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และข้าพเจ้าจะไม่นำส่งบทความนี้ไปพิจารณา
ตีพิมพ์ในวารสารอื่นภายใน 60 วัน นับจากวันที่ข้าพเจ้าส่งบทความ

ลงนาม.....

(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

TECHNICAL ARTICLE FORM
FOR PUBLISHING ON JOURNAL OF ENGINEERING, RMUTT

Title ☐ Mr. ☐ Ms. ☐ Others (Please specify).....

Name-Surnames

Academic Positions (Please specify) ☐ Professor ☐ Associate Professor ☐ Assistant

Professor ☐ Lecturer ☐ Others (Please specify).....

Address (for Contact).....

.....

.....

Office Phone Number.....Mobile Phone Number.....

Fax Number.....E-mail.....

Name of Article:.....

.....

.....

Submission Checklist ☐ Already register and submit the manuscripts on

<https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/jermutt>

The days of Online Submission.....

I promise this article belongs to me and co-authors as the name indicated in the article.

In addition, this article has not been previously published on another journal. Furthermore, I will not submit this article on another journal within 60 days from the day of my submission on the JOURNAL OF ENGINEERING, RMUTT.

Sign

(.....)

...../...../.....