

ISSN 3056-9273 (Online)

FRONTIERS IN ENGINEERING INNOVATION RESEARCH

แนวหน้าวิจัยนวัตกรรมทางวิศวกรรม

Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi



ENGINEERING

Vol. 23 No. 1
JANUARY - JUNE
2025

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

สารบัญ

การวัดค่าความโน้มถ่วงท้องถิ่นด้วยลูกตุ้มอย่างง่าย Local gravity measurement by using the simple pendulums โดย : บัญชา คังตระกูล และสายชล สิทธิพงศ์	1
การพัฒนาแผ่นขึ้นไม้อัดจากทางปาล์มน้ำมันเพื่อลดขยะเหลือทิ้งทางการเกษตร The development of particleboard from oil palm fronds for reducing the agricultural wastes โดย : กิตติพันธ์ บุญโตสิตตระกูล อธิธิ ผลิตศิริ ณรงค์ศักดิ์ เย็นประเสริฐ ปรัชญา ก้านบัว อภิโชติ อุหารดินนท์ ปราโมทย์ วีรานุกูล สุขุม ลิปิเลิศ และกิตติพงษ์ สุวีโร	10
การสร้างต้นแบบและทดสอบสมรรถนะเครื่องกะเทาะผลหมากแห้ง Prototype and performance testing of the dried betel nut peeling machine โดย : จักรวาล บุญหวาน มานพ แยมแพง อภิสิทธิ์ ภัคดีแก้ว ชีรพจน์ เวศพันธุ์ และมนพร คุปตาสา	19



แนวหน้าวิจัยนวัตกรรมทางวิศวกรรม

คณะกรรมการจัดทำวารสาร แนวหน้าวิจัยนวัตกรรมทางวิศวกรรม

คณะกรรมการที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

กองบรรณาธิการ

รศ.ดร.เข้มชัย เหมะจันทร์	คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รศ.ดร.ศิริวรรณ ศรีสรณ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
รศ.ดร.กัณวรี พลุประสิทธิ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
รศ.ดร.ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
รศ.ดร.สมเจตน์ พิชรพันธ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
รศ.ณรงค์ บวบทอง	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
ศ.ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ.ดร.สุนนมาลย์ เนียมกลาง	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ.ดร.ศิริชัย แดงเอน	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ.ดร.ศิริชัย ต่อสกุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รศ.ดร.ณัฐภัทร พันธุ์คง	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
ผศ.ดร.อังคณา พันธุ์หล่อ	วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต
ผศ.ชวลิต แสงสวัสดิ์	33 ซอยอุดมสุข แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพฯ 10260

หัวหน้ากองบรรณาธิการ

ผศ.ดร.ปรกช สิริสุวัฒน์

เลขานุการ

นางสาวอมรรัตน์ ยิ้มอยู่

ผู้ดูแลระบบงานเทคโนโลยีสารสนเทศ

นายพัฒนร์พี สุนันทพจน์



Frontiers in Engineering Innovation Research

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.Dr.Somjate Patcharaphun	Faculty of Engineering, Kasetsart University
Assoc.Prof.Narong Buabthong	Faculty of Engineering, Thammasat University
Prof.Dr.Krischonme Bhumkittipich	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assoc.Prof.Dr.Sumonman Niamlang	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assoc.Prof.Dr.Sirichai Dangeam	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assoc.Prof.Dr.Sirichai Torsakul	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



แนวหน้าวิจัยนวัตกรรมทางวิศวกรรม

บทบรรณาธิการ

วารสารแนวหน้าวิจัยนวัตกรรมทางวิศวกรรม ปีที่ 23 ฉบับที่ 1 (เดือนมกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2568) ภายใต้การกำกับดูแลของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ยังคงดำเนินบทบาทอย่างมั่นคงในฐานะสื่อกลางทางวิชาการ ที่ส่งเสริมและเผยแพร่ผลงานวิจัยอันทรงคุณค่าในสาขาวิศวกรรมศาสตร์ ตลอดจนแขนงอื่นที่เกี่ยวข้อง โดยฉบับนี้ได้รวบรวมบทความวิจัย งานวิชาการ และผลงานทางวิชาชีพจากผู้เขียนหลากหลายสถาบันทั่วประเทศ ซึ่งเนื้อหาเหล่านี้ล้วนมีเป้าหมายร่วมกัน คือ การมีส่วนร่วมในการขับเคลื่อนพัฒนาการด้านอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีของประเทศ ให้ก้าวหน้าอย่างมั่นคงและยั่งยืน ทั้งในระดับชาติและสากล

วารสารฉบับนี้นับเป็นเวทีสำคัญในการเผยแพร่แนวคิดใหม่ องค์ความรู้เชิงลึก และนวัตกรรมทางวิศวกรรมที่สามารถต่อยอดสู่งานวิจัย และการประยุกต์ใช้ในภาคปฏิบัติได้อย่างเป็นรูปธรรม ทั้งยังเป็นกลไกหนึ่งในการเสริมสร้างเครือข่ายความร่วมมือทางวิชาการระหว่างสถาบันการศึกษา ภาคอุตสาหกรรม และภาครัฐ เพื่อพัฒนาองค์ความรู้ด้านวิศวกรรมศาสตร์ให้ก้าวทันการเปลี่ยนแปลงของโลกในยุคปัจจุบัน

ในโอกาสนี้ กองบรรณาธิการใคร่ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงมายังคณะผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน ที่ได้สละเวลาอันมีคุณค่าในการพิจารณาถ้อยแถลงบทความอย่างละเอียด รอบคอบ และด้วยจิตวิญญาณแห่งวิชาการ ความเอื้อเฟื้อของท่านไม่เพียงแต่ช่วยยกระดับคุณภาพของบทความให้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ หากยังมีส่วนสำคัญยิ่งในการรักษามาตรฐานของวารสารให้อยู่ในระดับคุณภาพอันได้รับการรับรองโดยฐานข้อมูล TCI อย่างต่อเนื่องและยั่งยืน กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารเล่มนี้จะยังคงเป็นแหล่งเรียนรู้ และจุดเริ่มต้นของแรงบันดาลใจใหม่ ๆ สำหรับนักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษา และผู้สนใจทั่วไป ในการพัฒนาผลงานที่มีคุณภาพและส่งอิทธิพลต่อการพัฒนาเทคโนโลยีในอนาคต

กองบรรณาธิการ

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิผู้พิจารณาบทความ

รศ.ดร.พิมพ์พรรณ ปรี่องาม	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน
รศ.ดร.วรัญญู ศรีเดช	คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รศ.ทรงกลด จารุสมบัติ	คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.อาบิดิน ดะแซสาเมาะ	คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
ผศ.ดร.อาทิตย์ หุ้เต็ม	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
ผศ.ดร.มนูศักดิ์ จานทอง	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.ชนะ เยี่ยงกลมสิงห์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
ผศ.ดร.ธนาพล สุขชนะ	คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล สุวรรณภูมิ
ผศ.ดร.กระวี ตรีอำนรรค	สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Peer Reviews

Assoc.Prof.Dr.Pimpan Pruengam	Faculty of Engineering, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus
Assoc.Prof.Dr.Waranyou Sridach	Faculty of Agro-Industry, Prince of Songkla University
Assoc.Prof.Songklod Jarusombuti	Faculty of Forestry, Kasetsart University
Asst.Prof.Dr.Abedeen Dasaesamoh	Faculty of Science Technology and Agricultural, Yala Rajaphat University
Asst.Prof.Dr.Artit Hutem	Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University Phetchabun
Asst.Prof.Dr.Manoosak Jantong	Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Asst.Prof.Dr.Chana Yiangkamolsing	Faculty of Engineering, The University of the Thai Chamber of Commerce
Asst.Prof.Dr.Thanaphol Sukchana	Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
Asst.Prof.Dr.Krawee Treamnuk	Institute of Engineering, Suranaree University of Technology

การวัดค่าความโน้มถ่วงท้องถิ่นด้วยลูกตุ้มอย่างง่าย

บัญชา คังตระกูล¹ และสายชล สิทธิพงศ์^{2*}

bancha@northcm.ac.th¹, saichon@northcm.ac.th^{2*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่

²สาขาวิชาเทคโนโลยียานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่

Received: October 30, 2024 Revised: March 10, 2025 Accepted: March 11, 2025

บทคัดย่อ

การคำนวณด้านวิศวกรรมที่ต้องใช้ค่าความโน้มถ่วงเพื่อหาผลลัพธ์ที่เที่ยงตรงและละเอียดแม่นยำ จำเป็นต้องหาค่าความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงท้องถิ่นด้วยเสมอ ในบทความนี้ได้นำเสนอผลลัพธ์การหาค่าความโน้มถ่วงท้องถิ่นโดยประยุกต์ใช้ข้อที่สองของนิวตันกับลูกตุ้มอย่างง่ายเพื่อใช้เป็นมาตรฐานความโน้มถ่วง ทำการศึกษา ณ ตำแหน่งที่ตั้งเส้นรุ้ง 18°39'43'' N และอยู่ที่ระดับความสูง 300 m AMSL โดยใช้ลูกตุ้มอย่างง่ายที่มีความยาวแตกต่างกันคือ 1.00 m, 1.05 m, 1.10 m, 1.15 m และ 1.20 m และจับเวลาการแกว่งจำนวน 100 รอบ ได้ค่าความโน้มถ่วงท้องถิ่นเป็น $9.7635 \pm 0.006 \text{ m/s}^2$ โดยมีความคลาดเคลื่อนเทียบกับค่าความโน้มถ่วงท้องถิ่นคำนวณ 9.7847 m/s^2 , ประมาณ 0.2%

คำสำคัญ: การวัดความโน้มถ่วง มาตรฐานความโน้มถ่วง ลูกตุ้มอย่างง่าย

Local gravity measurement by using the simple pendulums

Bancha Kongtragool¹ and Saichon Sithipong^{2*}
bancha@northcm.ac.th¹, saichon@northcm.ac.th^{2*}

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Technology, North-Chiang University

²Department of Automotive Technology, Faculty of Engineering and Technology, North-Chiang University

Received: October 30, 2024 Revised: March 10, 2025 Accepted: March 11, 2025

Abstract

Engineering calculations requiring precise gravity measurements for accurate outcomes must consistently use the local gravitational acceleration. This article presents the results of determining local gravity by applying Newton's second law to a simple pendulum as a gravimeter. The study was conducted at a location of latitude 18°39'43'' N and an altitude of 300 m AMSL. Results from this study indicated, that by using the simple pendulums of lengths of 1.00 m, 1.05 m, 1.10 m, 1.15 m and 1.20 m and timing 100 oscillation cycles, the experimental local gravity obtained was $9.7635 \pm 0.006 \text{ m/s}^2$. Compared with the calculated local gravity 9.7847 m/s^2 , the error of the local gravity obtained was 0.2%, approximately.

Keywords: Gravity measurement, Gravimeter, Simple pendulum

1. บทนำ

งานทางด้านวิศวกรรมที่ละเอียดอ่อนซึ่งต้องการค่าความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงท้องถิ่น (Local gravity) ที่แท้จริงไม่สามารถใช้ค่ามาตรฐาน 9.81 m/s^2 เพราะจะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความคลาดเคลื่อนออกไปจากความเป็นจริง เช่นในการทดลองต่างๆ ทางด้านวิศวกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการศึกษาเรื่องการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกเชิงเดียว (Simple harmonic motion) และการสั่นสะเทือนอย่างอิสระไม่มีการหน่วงนั้น การทดลองเกี่ยวกับลูกตุ้ม (Pendulum) ประเภทต่างๆ การคำนวณจะต้องใช้ค่าความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงท้องถิ่นเสมอจึงจะได้ผลลัพธ์ที่เที่ยงตรง [1]

ในปี 2001 สถาบันมาตรฐานและเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงพาณิชย์สหรัฐอเมริกา ได้กำหนดค่าความเร่งจากความโน้มถ่วงมาตรฐานบนผิวโลกมีค่า $9.806 65 \text{ m/s}^2$ สำหรับพื้นที่ทั่วไปที่ไม่รู้ความโน้มถ่วงท้องถิ่นหรือเมื่อค่าความโน้มถ่วงที่แท้จริงนั้นไม่มีความสำคัญ [2] ค่าโดยประมาณ $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ นั้นตรงกับค่าความโน้มถ่วงที่เส้นละติจูด 45° N , ที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง [3]

ค่าความโน้มถ่วงในแต่ละบริเวณจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ ความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง ตำแหน่งละติจูด ลักษณะทางธรณีวิทยา เป็นต้น สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติได้วัดค่าแรงโน้มถ่วงจำนวน 7 จุด ด้วยเครื่องมือวัดความดันสอบเทียบแบบ On-site พร้อมกับการคำนวณและแก้ค่าผลการวัดให้ถูกต้อง ครอบคลุมทุกภาคของประเทศ ไทย พบว่า บริเวณจังหวัดเชียงใหม่มีค่าแรงโน้มถ่วงประมาณ $9.784261950 \pm 0.39 \times 10^{-7} \text{ m/s}^2$ [4]

จุดประสงค์ของบทความนี้คือการนำเสนอการวัดค่าความโน้มถ่วงท้องถิ่นด้วยวิธีที่ง่าย และใช้เครื่องมือที่ไม่ซับซ้อน ราคาถูก สร้างได้เอง คือใช้ลูกตุ้มอย่างง่าย (Simple pendulum) เป็นมาตรฐานความโน้มถ่วง (Gravimeter) โดยตั้งเป้าหมายของผลลัพธ์การทดลองจากลูกตุ้มอย่างง่ายจะต้องมีค่าคลาดเคลื่อน (Error) จากค่าการคำนวณไม่เกิน 0.5 %

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิธีวัดความโน้มถ่วงมีอยู่หลายวิธีซึ่งส่วนใหญ่มีหลักการอยู่บนพื้นฐานของพลศาสตร์ เช่นใช้วิธีการตกอย่างอิสระของวัตถุ, ใช้ระนาบเอียง, ใช้ลูกตุ้มอย่างง่าย (Simple pendulum) และใช้ระบบสปริง-มวล โดยหลักการแล้วลูกตุ้มประกอบก็สามารถใช้เป็นมาตรฐานความโน้มถ่วงได้เช่นกัน

2.1 การใช้งานลูกตุ้มอย่างง่ายเป็นมาตรฐานความโน้มถ่วง

วิธีวัดความโน้มถ่วงมีอยู่หลายวิธีซึ่งส่วนใหญ่มีหลักการอยู่บนพื้นฐานของพลศาสตร์ เช่นใช้วิธีการตกอย่างอิสระ (Free fall) ของวัตถุ, ใช้ระนาบเอียง และที่นิยมมากที่สุดคือการใช้ลูกตุ้มแบบต่างๆ

บุคคลแรกที่พบว่าความโน้มถ่วงบนผิวโลกมีการเปลี่ยนแปลงค่าคือ Jean Richer (1630-1696) ถูกส่งไป Cayenne, French Guiana โดย French Academie des Sciences ในปี 1671 โดย Richer ใช้ลูกตุ้มนาฬิกา (Pendulum clock) ในการทดลองที่ Cayenne พบว่าเวลาท้องถิ่นช้ากว่าที่ปารีสวันละ 2.5 นาที ซึ่งเทียบเท่ากับความยาวของลูกตุ้มที่แกว่งครึ่งละ 1 วินาทีสั้นกว่าที่ปารีส 2.6 mm [5]

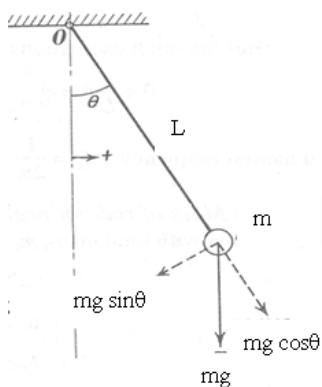
ลูกตุ้มที่แกว่งครึ่งละ 1 วินาที (Seconds pendulum, ลูกตุ้มวินาที) คือลูกตุ้มซึ่งการแกว่งครบ 1 รอบการแกว่งเป็น 2 s/cycle

สิ่งนี้ทำให้นักวิทยาศาสตร์ตระหนักถึงต่งแต่นั้นมา และได้ถูกพิสูจน์โดยนิวตันในปี 1687 ว่าเกิดขึ้นเนื่องจากความจริงที่ว่าโลกไม่ได้เป็นทรงกลมอย่างสมบูรณ์ แต่จะแบนลงเล็กน้อยและที่เส้นศูนย์สูตรจะหนากว่าเพราะการหมุนของโลก และ Cayenne อยู่ไกลจากจุดศูนย์กลางของโลกมากกว่าปารีสจึงทำให้ความโน้มถ่วงอ่อนค่าลง ลูกตุ้มเริ่มถูกใช้เป็นมาตรฐานความโน้มถ่วงที่มีความเที่ยงตรงนับตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา

ในปี 1673 Christiaan Huygens (1629-1695) [6] ได้แสดงให้เห็นว่าลูกตุ้มจริงจะมีคาบเท่ากับลูกตุ้มอย่างง่ายซึ่งมีความยาวเท่ากับระยะทางระหว่างจุดหมุนกับจุด ๆ หนึ่งที่เรียกว่าจุดศูนย์กลางการแกว่ง (Center of oscillation) ซึ่งจะอยู่ในตำแหน่งที่ต่ำกว่าจุดศูนย์กลางของลูกตุ้มและขึ้นอยู่กับการกระจายมวลของลูกตุ้ม โดยตาม

หลักการแล้วจะสามารถคำนวณหาจุดศูนย์กลางการแกว่งนี้ได้ แต่เนื่องจากโลหะวิทยาในยุคนั้นยังไม่ดีนักจึงทำให้การหาตำแหน่งของจุดศูนย์กลางการแกว่งที่เที่ยงตรงทำได้ยาก

เพื่อแก้ปัญหานี้นักวิจัยด้านความโน้มถ่วงในสมัยนั้น [7] เช่น ในปี 1669 Jean Picard (1620-1682) ใช้ลูกตุ้มอย่างง่ายทำด้วยลูกกลมโลหะแขวนอยู่กับเส้นลวดขนาดเล็ก (เบ้า) วิธีนี้การหาจุดศูนย์กลางอย่างละเอียดแม่นยำนอกจากจะยากแล้ว ลูกตุ้มแบบนี้ยังมีความไม่เที่ยงตรงมากนักโดยธรรมชาติแฝงอยู่ด้วย คือ ลูกกลมและเส้นลวดไม่ได้เคลื่อนที่แกว่งไปและกลับเป็นวัตถุเกร็ง (Rigid body) ขึ้นเดียวกัน ลูกกลมมีการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์เชิงมุมเล็กน้อยในระหว่างที่ลูกตุ้มแกว่งและเส้นลวดก็ยืดเนื่องจากความยืดหยุ่นทำให้ความยาวของลูกตุ้มเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยในระหว่างรอบการแกว่งอีกด้วย



รูปที่ 1 การเคลื่อนที่ของลูกตุ้มอย่างง่าย

2.2 การแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่าย

พิจารณาการแกว่งของลูกตุ้มในรูปที่ 1 ด้วยวิธีของนิวตันเมื่อไม่คิดมวลของเส้นเชือกที่ยาว L ระบบการสั่นสะเทือนก็จะเป็นการแกว่งของอนุภาค (Particle) สมการการเคลื่อนที่ที่จะหาได้จากการสมดุลของแรงในระนาบ x - y รอบจุด O คือ:

$$-mg \sin \theta = mL\ddot{\theta} \quad (1)$$

ดังนั้น
$$mL\ddot{\theta} + mg \sin \theta = 0$$

หรือ
$$\ddot{\theta} + \frac{g}{L} \sin \theta = 0 \quad (2)$$

แต่สำหรับการแกว่งที่มีแอมพลิจูดน้อย, $\sin \theta \approx \theta$, ดังนั้น:

$$\ddot{\theta} + \frac{g}{L} \theta = 0$$

นั่นคือ
$$\omega_n = \sqrt{g/L}$$

จะได้คาบการแกว่งของลูกตุ้มที่ความเชือกยาว L เป็น :

$$T = 2\pi/\omega_n = 2\pi\sqrt{L/g} \quad (3)$$

สมการ (3) สำหรับคาบในการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายที่หามาได้เป็นเพียงสมการโดยประมาณเพื่อให้ได้สมการที่แท้จริงสำหรับคาบของการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายจำเป็นต้องกลับไปพิจารณาที่สมการเชิงอนุพันธ์ คือสมการ (2) เมื่อคูณทั้งสองพจน์ด้วย 2π แล้วหาปริพันธ์จากตำแหน่งเริ่มต้นซึ่งมุมในการแกว่งมากที่สุดคือ $\theta = \theta_m$ และ $\dot{\theta} = 0$ จะได้:

$$\left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 = \frac{2g}{L}(\cos \theta - \cos \theta_m) \quad (4)$$

แทน $\cos \theta$ ด้วย $1 - 2 \sin^2(\theta/2)$ และแทน $\cos \theta_m$ ในลักษณะเดียวกัน แล้วแก้สมการหา dt จากนั้นจึงหาปริพันธ์ตลอดช่วงหนึ่งในสี่ของคาบ จาก $t = 0, \theta = 0$ ถึง $t = T/4, \theta = \theta_m$ จะได้:

$$T = 2 \sqrt{\frac{L}{g}} \int_0^{\theta_m} \frac{d\theta}{\sqrt{\sin^2(\theta_m/2) - \sin^2(\theta/2)}} \quad (5)$$

อินทิกรัลทางด้านขวามือของสมการ (5) เรียกว่า Elliptic integral ซึ่งไม่สามารถแสดงอยู่ในรูปพจน์ของฟังก์ชันพีชคณิตหรือฟังก์ชันตรีโกณมิติ เพื่อแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ จึงกำหนดให้แทนค่าตัวแปร $\theta/2$ ด้วยค่า ϕ จะได้ความสัมพันธ์เป็น:

$$\sin(\theta/2) = \sin(\theta_m/2) \sin \phi \quad (6)$$

จะสามารถเขียนสมการ (5) ได้เป็น:

$$T = 4 \sqrt{\frac{L}{g}} \int_0^{\pi/2} \frac{d\phi}{\sqrt{1 - \sin^2(\theta_m/2) - \sin^2 \phi}} \quad (7)$$

ค่าของอินทิกรัลจะหาได้จากตารางของ Elliptic integral สำหรับค่า $\theta_m/2$ ต่างๆ ซึ่งจะแทนด้วย K เพื่อเปรียบเทียบกับลูกตุ้มอย่างง่ายที่ใช้วิธีประมาณ จึงเขียนสมการ (7) ใหม่ อยู่ในรูป [8]:

$$T = \frac{2K}{\pi} \left(2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \right) \quad (8)$$

สมการ (8) แสดงให้เห็นว่าจะสามารถหาค่าที่แท้จริงได้จากสมการด้วยการประมาณ (สมการ (3) โดยคูณด้วยตัวประกอบปรับแก้ (Correction factor) $2K/\pi$ ซึ่งค่าของตัวประกอบปรับแก้ได้แสดงอยู่ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวประกอบปรับแก้สำหรับคาบของลูกตุ้มอย่างง่าย [8]

θ_m	0°	10°	20°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
K	1.571	1.574	1.583	1.598	1.686	1.854	2.157	2.768	∞
$2K/\pi$	1.000	1.002	1.008	1.017	1.073	1.180	1.373	1.762	∞

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า สำหรับงานทางวิศวกรรมที่มุมแกว่งไม่มากเกินไป 10° ไม่ต้องปรับแก้คาบในการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายก็ได้ นั่นคือสมการโดยการประมาณกับสมการที่แท้จริงจะให้ผลลัพธ์ที่เท่ากันสำหรับการแกว่งเป็นมุมที่น้อยกว่า 10°

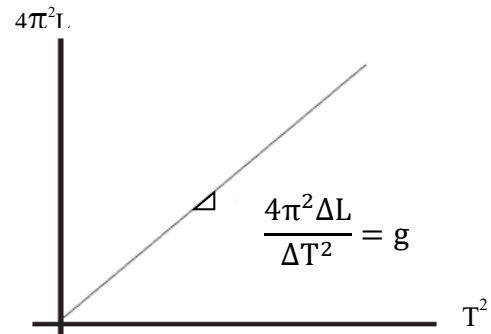
เมื่อต้องการใช้ลูกตุ้มอย่างง่ายเป็นมาตรวัดความโน้มถ่วง (Gravimeter) จำเป็นต้องปรับสมการ (3) ให้อยู่ในรูป:

$$g = (2\pi)^2 \frac{L}{T^2} \quad (9)$$

นั่นคือในแต่ละความยาว L , ค่าความโน้มถ่วง g จะหาได้โดยการหาคาบธรรมชาติ T ในการแกว่งของลูกตุ้มอย่างง่ายเพียงอย่างเดียวและเมื่อจัดรูปสมการ (9) ใหม่เป็น:

$$4\pi^2 L = gT^2 \quad (10)$$

ก็จะเห็นได้ว่า $4\pi^2 L$ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับ T^2 โดยมี g เป็นความชันของกราฟเส้นตรงที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $4\pi^2 L$ กับ T^2 ดังแสดงในรูปที่ 2 เมื่อทราบความชันของเส้นกราฟระหว่าง $4\pi^2 L$ กับ T^2 ก็จะสามารถหาค่า g ได้จากความชันของเส้นกราฟโดยตรง



รูปที่ 2 กราฟเส้นตรงความสัมพันธ์ $4\pi^2 L$ กับ T^2

และเมื่อจัดรูปสมการ (9) ใหม่เป็น:

$$L/T^2 = g/4\pi^2 = \text{const} \quad (11)$$

ก็จะเห็นได้ว่าอัตราส่วน L/T^2 มีค่าคงที่ ดังนั้นจึงไม่จำเป็นที่จะต้องทดลองโดยการแปรเปลี่ยนความยาวของลูกตุ้มอย่างง่าย

จะสังเกตได้ว่าความยาว L และคาบ T เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการหาค่าความโน้มถ่วง Duncan [9] แนะนำให้ใช้ความยาวของลูกตุ้มอยู่ระหว่าง 3 – 4 ft (ประมาณ 0.9 – 1.2 m) และจับเวลาเป็นจำนวน 100 รอบการแกว่ง และให้ใช้มุมแกว่งน้อยๆ

Strelkov [10] ได้อธิบายไว้ว่า เพื่อให้ผลลัพธ์จากการทดลองมีความแม่นยำ (Accuracy) การทดลองจะต้องทำให้ลูกตุ้มแกว่งเป็นมุมน้อยเสมอ การแกว่ง

ด้วยแอมพลิจูดที่อยู่ระหว่าง $2^\circ - 4^\circ$ จะให้คาบที่วัดได้จากการทดลองเป็นค่าที่ตรงกับค่าที่คำนวณจากทฤษฎีในทางปฏิบัติ ถ้าแอมพลิจูดของการแกว่งไม่เกิน 10° คาบที่ได้จากการทดลองจะมีค่าคลาดเคลื่อน (Error) ไม่เกิน 0.2%

ดังนั้นการทดลองใช้ลูกตุ้มอย่างง่ายเป็นมาตรฐานความโน้มถ่วงเพื่อหาว่าความโน้มถ่วงท้องถิ่นจึงสามารถทำได้หลายวิธีดังต่อไปนี้:

1. หาค่า g จากค่าความชันของเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $4\pi^2 L$ กับ T^2 ซึ่งวิธีนี้ต้องทดลองโดยการแปรเปลี่ยนความยาวของลูกตุ้มอย่างง่าย

$$g(\phi, h) = 9.780\,318\,4(10.005\,302\,4\sin^2\phi - 0.000\,005\,9\sin^2(2\phi) - 0.000\,003\,086h) \quad (12)$$

โดย ϕ คือองศาเส้นละติจูด และ h คือระดับความสูงวัดเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง

การทดลองหาค่าแรงโน้มถ่วงท้องถิ่นได้ทำการทดลอง ณ อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่ อ.หางดง จ.เชียงใหม่ มีพิกัดอยู่ที่เส้นรุ้ง $18^\circ 39' 43''$ N และมีระดับความสูง 300 m AMSL เมื่อแทนค่า ϕ และ h ของสถานที่ทดลองลงในสมการ (12) ก็จะได้ค่าความโน้มถ่วงท้องถิ่น ณ สถานที่ทดลองเป็น: $g(18.66^\circ, 300\text{ m}) = 9.784\,703\,862\text{ m/s}^2 \cong 9.7847\text{ m/s}^2 = g_{\text{Cal}}$

3. อุปกรณ์ทดลองและวิธีทดลอง

อุปกรณ์การทดลองนี้ใช้ลูกตุ้มอย่างง่ายเป็นมาตรฐานความโน้มถ่วง โดยมีความยาวของลูกตุ้มเริ่มต้นที่ 1.00 m, 1.05 m, 1.10 m, 1.15 m และ 1.20 m ในการทดลองนี้กำหนดจำนวนรอบของการแกว่งเป็น 100 รอบ และคือมุมเริ่มต้นของการแกว่งกำหนดให้ไม่เกิน 5° โดยเตรียมอุปกรณ์การทดลองแสดงดังรูปที่ 3 มีดังต่อไปนี้

1. เตรียมเส้นเอ็นตกลามีความยาวเพียงพอสำหรับการปรับตั้งความยาวของลูกตุ้มให้อยู่ระหว่าง 1.00 m ถึง 1.20 m

2. ลูกตุ้มทำจากเพลากลมตันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.4 mm ยาว 40 mm และเจาะรูให้ทะลุ

2. หาค่า g จากค่าของอัตราส่วน $4\pi^2 L/T^2$ โดยวิธีนี้ทดลองที่ความยาวของลูกตุ้มอย่างง่ายหลายค่าแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

3. หาค่า g จากค่าของอัตราส่วน $4\pi^2 L/T^2$ โดยทดลองที่ความยาวของลูกตุ้มอย่างง่ายค่าเดียว แต่ทำหลายซ้ำเพื่อหาค่าเฉลี่ย เช่นกัน

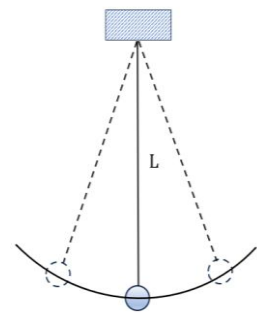
4. ในบทความนี้จะให้ความสำคัญกับการหาค่าความโน้มถ่วงวิธีที่หนึ่ง และเปรียบเทียบกับค่าความโน้มถ่วงท้องถิ่นทางทฤษฎีที่คำนวณจากงานวิจัย [11]:

ตลอดความยาวเพื่อให้เส้นเอ็นร้อยผ่านได้ เพื่อเป็นการลดโอกาสที่จะกลายเป็นระบบ 2-degree of freedom

3. ขาดังชุดทดลองทำจากท่อขนาด 1/2 นิ้ว ยึดโครงของเครื่องทดลองให้แข็งแรงไม่ให้เกิดการสั่นสะเทือน

4. ตลับเมตรความละเอียด (Least count) 1 mm

5. นาฬิกาจับเวลาที่มีความละเอียด 0.01 วินาที



รูปที่ 3 มาตรฐานความโน้มถ่วงของลูกตุ้มอย่างง่าย

วิธีการทดลองมีขั้นตอนดังนี้:

1. ยึดลูกตุ้มติดกับปลายเส้นเอ็นข้างหนึ่งวัดความยาวของเส้นเอ็นจากจุดรองรับไปจนถึงจุดศูนย์กลางของลูกตุ้มให้ได้ 1.00 m เมื่อปรับความยาวได้แล้วยึดเส้นเอ็นให้แน่น จะได้ความยาวของเส้นเอ็นที่ไม่เปลี่ยนแปลง

2. จับลูกตุ้มให้เบนออกจากตำแหน่งสมดุลสถิต เป็นมุม 4° จากนั้นจึงปล่อยลูกตุ้มให้แกว่งอย่างอิสระ

จับเวลาการแกว่งของลูกตุ้ม 100 รอบ แล้วบันทึกเวลา
เพื่อคำนวณหาเวลาการแกว่งของลูกตุ้ม (T) ในชั้น
ต่อไป โดยทำซ้ำในข้อนี้ 10 ครั้ง

3. ทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนความยาวลูกตุ้มเป็น
1.05 m, 1.10 m, 1.15 m และ 1.20 m ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ข้อมูลผลการทดลอง

ครั้งที่	เวลาในการแกว่งครบ 100 รอบ (s) ที่ความยาวต่างๆ				
	1.00 m	1.05 m	1.10 m	1.15 m	1.20 m
1	201.07	206.10	210.89	215.67	220.19
2	201.04	206.05	211.00	215.69	220.26
3	201.02	206.05	210.97	215.72	220.22
4	201.10	205.99	210.92	215.67	220.21
5	201.11	205.92	211.01	215.68	220.23
6	201.03	206.03	210.89	215.66	220.26
7	201.04	205.90	210.91	215.74	220.29
8	201.06	206.02	210.98	215.73	220.17
9	201.09	205.99	210.98	215.75	220.17
10	201.07	206.03	210.97	215.67	220.14
เฉลี่ย	201.06	206.01	210.95	215.70	220.21

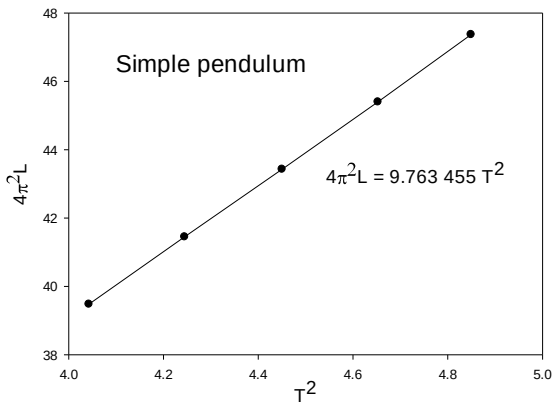
4. ผลลัพธ์และการอภิปรายผลลัพธ์

ผลลัพธ์การทดลองแสดงในตารางที่ 3 เริ่มต้น
ด้วยการคูณความยาว L ในตารางที่ 2 ด้วย $4\pi^2$ ได้
เป็นคอลัมน์แรกของตารางที่ 3 จากนั้นจึงหารค่าเฉลี่ย
ของเวลาในการแกว่งครบ 100 รอบของการจับเวลา
10 ซ้ำ (แถวสุดท้ายของตารางที่ 2) ด้วย 100 รอบ

จะได้ค่า T (มีหน่วยเป็น s) แล้วคำนวณหาค่ากำลังที่
สองของค่า (T^2) (เป็นคอลัมน์ที่ 2 ของตารางที่ 3)
ค่าความโน้มถ่วง g ในคอลัมน์ที่ 3 ได้จากการหาร
คอลัมน์แรกด้วยคอลัมน์ที่ 2 หาค่าเฉลี่ยคอลัมน์ที่ 3
จะได้ $g_{Exp}^{Av} = 9.763\ 455\ m/s^2 \cong 9.7635\ m/s^2$

ตารางที่ 3 ผลลัพธ์จากการทดลอง

L	$4\pi^2 L$	T^2	g	%Error
1.00	39.48	4.0426	9.765 570	0.195 513
1.05	41.45	4.2445	9.766 147	0.189 615
1.10	43.43	4.4502	9.758 269	0.270 128
1.15	45.40	4.6527	9.757 839	0.274 525
1.20	47.37	4.8492	9.769 452	0.155 837
			9.763 455	0.217 124



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง $4\pi^2 L$ กับ T^2

เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้รับจากการทดลองกับค่าจากการคำนวณ ($g_{\text{Cal}} = 9.7847 \text{ m/s}^2$) แล้วจึงหาค่าความคลาดเคลื่อน (Error) เป็นร้อยละจาก: $\% \text{Error} = \text{ABS} [g_{\text{Exp}}/g_{\text{Cal}} - 1] 100$ ใส่ไว้ในคอลัมน์สุดท้ายของตารางที่ 3

เมื่อนำ $4\pi^2 L$ กับ T^2 จากตารางที่ 3 ไปเขียนเป็นกราฟ (รูปที่ 6) ก็จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเป็น: $4\pi^2 \Delta L / \Delta T^2 = 9.763 452 712 1 \text{ m/s}^2 = g_{\text{Exp}}^{\text{Gr}} \cong 9.7635 \text{ m/s}^2$ จะเห็นได้ว่า:

$$g_{\text{Exp}}^{\text{Gr}} = g_{\text{Exp}}^{\text{Av}} = 9.7635 \text{ m/s}^2 = g_{\text{Exp}}$$

ดังนั้นค่าความโน้มถ่วงที่หาได้จากทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเปรียบเทียบกับค่า $g_{\text{Cal}} = 9.7847 \text{ m/s}^2$ ค่าคลาดเคลื่อนมีเพียง 0.2 % โดยประมาณ เท่านั้น

เมื่อพิจารณาความไม่แน่นอน (Uncertainty) ในการทดลองนี้ เมื่อพิจารณาผลลัพธ์ทั้งหมด ก็จะเป็นเป็นความไม่แน่นอนของค่าเฉลี่ย ความไม่แน่นอนจึงหาได้จาก: $\text{Uncertainty} = (\text{Range})/2$

จากคอลัมน์ที่ 4 ของตารางที่ 3 ค่าความโน้มถ่วงมากที่สุดและน้อยที่สุดจึงมีค่าเป็น $9.769 452 \text{ m/s}^2$ และ $9.757 839 \text{ m/s}^2$ ตามลำดับ ดังนั้น $\text{Uncertainty} = (9.769 452 - 9.757 839)/2 = \pm 0.005 807 \text{ m/s}^2$

เนื่องจากความไม่แน่นอนต้องมีเลขนัยสำคัญหนึ่งตำแหน่งเท่านั้น ดังนั้น:

$$\text{Uncertainty} = \pm 0.006 \text{ m/s}^2$$

และค่าเฉลี่ยจะต้องมีทศนิยมเท่ากับค่าความไม่แน่นอนด้วยเหตุนี้ค่าความโน้มถ่วงท้องถิ่นที่ได้จากการทดลองนี้จึงมีค่าเป็น:

$$g_{\text{Exp}} = 9.7635 \pm 0.006 \text{ m/s}^2$$

ผลลัพธ์ในตารางที่ 3 ได้ยืนยันข้อสังเกตข้างต้นและเป็นไปตามคำแนะนำของ Duncan [9] และ Strelkov [10] ซึ่งให้ใช้มุมแกว่งน้อย, ความยาวของลูกตุ้มอยู่ระหว่าง 0.9 – 1.2 m และจับเวลาเป็นจำนวน 100 รอบ ผลลัพธ์ขั้นสุดท้ายชี้ให้เห็นว่าค่าความโน้มถ่วงท้องถิ่นที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับค่าคำนวณประมาณ 0.2%

5. สรุป

ผลลัพธ์จากการทดลองนี้ พบว่า ในการทดลองหาค่าความโน้มถ่วงท้องถิ่นโดยใช้ลูกตุ้มอย่างง่ายเป็นมาตรวัดความโน้มถ่วงนั้น จะได้ผลลัพธ์ที่มีความเที่ยงตรงเป็นที่ยอมรับได้ โดยต้องทำการทดลองด้วยลูกตุ้มอย่างง่ายที่มีการวัดความยาวที่เที่ยงตรง ใช้มุมเริ่มต้นการแกว่งน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และควรจะใช้จำนวนรอบการแกว่งในการจับเวลาแต่ละครั้งมากเพียงพอ

ในการทดลองนี้ ได้ใช้ลูกตุ้มอย่างง่ายที่มีความยาว 1.0 m, 1.05 m, 1.10 m, 1.15 m และ 1.20 m โดยมุมเริ่มต้นการแกว่งประมาณ 4° จับเวลาการแกว่งของลูกตุ้มทั้งหมด 100 รอบ และแต่ละความยาวของลูกตุ้มจับเวลาทั้งหมด 10 ซ้ำ พบว่า ผลลัพธ์จากการทดลองนี้ได้ ค่าความโน้มถ่วงท้องถิ่นมีเป็น $g_{\text{Exp}} = 9.7635 \pm 0.006 \text{ m/s}^2$ และค่าคลาดเคลื่อนเทียบกับค่าจากการคำนวณประมาณ 0.2% ซึ่งบรรลุดตามเป้าประสงค์น้อยกว่า 0.5% ตามที่ตั้งไว้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Sithipong S, Srikoch N, Kongtragool B. Local acceleration due to gravity calculation. Payao Research Conference 13th; 25-28 Dec 2021; University of Payao. Payao: 2021. 2578-92. (in Thai)
- [2] National Institute of Standards and Technology. The International System of Units (SI) [Internet]. Washington: U.S. Department of Commerce; Jul 2001. [cited 2024 May 22]; Available from: <https://physics.nist.gov/cuu/pdf/sp330.pdf>
- [3] Meriam JL, Kraige LG. Engineering mechanics dynamics. Vol. 2. 2nd ed. New York: John Wiley and Sons; 1987.
- [4] Praireunrom T, Woradech N. The measurement of gravity in Thailand and its importance. [Internet]. Bangkok: National Institute of Metrology (Thailand); Nov 2017. [cited 2024 May 20]; Available from: <https://www.nimt.or.th/main/?p=21307>
- [5] Poynting JH, Thomson JJ. Text-Book of Physics Properties of Matter. London: Charles Griffin and Company; 1909.
- [6] Yoder JG. Chapter 3. In: Huygens C (ed) Book on the pendulum clock (1673) landmark writings in Western mathematics 1640–1940. Amsterdam: Elsevier Science; 2005.
- [7] Picard J. Measure de la Terre. Paris: De l’Imprimeire Royale; 1671.
- [8] Beer FP, Johnston ER Jr. Vector Mechanics for Engineers: Dynamics. 4th ed, New York: McGraw- Hill; 1988.
- [9] Duncan J. Mechanics and Heat. London: Macmillan; 1931.
- [10] Strelkov SP. Mechanics. Moscow: Mir Publishers; 1978.
- [11] Kongtragool B, Sithipong S. Investigation on the formula for calculating local gravity. Royal Thai Naval Academy Journal of Science and Technology. 2023;6(1):161-73. (in Thai)

การพัฒนาแผ่นขึ้นไม้อัดจากทางปาล์มน้ำมันเพื่อลดขยะเหลือทิ้งทางการเกษตร

กิตติพันธ์ บุญโตสิตรกุล¹ อธิ พลิตศิริ² ณรงค์ศักดิ์ เย็นประเสริฐ^{2*} ปรัชญา ก้านบัว² อภิชาติ อุฬารตินนท์²

ปราโมทย์ วีรานุกุล¹ สุกม ลิปิเลิศ³ และกิตติพงษ์ สุวีโร³

kittiphan.b@rmutp.ac.th¹, itthi.w@rmutsb.ac.th², narongsak.y@rmutsb.ac.th^{2*},

prachya.k@rmutsb.ac.th², apichote.u@rmutsb.ac.th², pramot.w@rmutp.ac.th¹,

sukhom.l@en.rmutt.ac.th³, kittipong.s@en.rmutt.ac.th³

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

²สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

³ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Received: April 25, 2024 Revised: March 11, 2025 Accepted: March 19, 2025

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อพัฒนาแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษทางปาล์มน้ำมันสำหรับใช้ในผลิตภัณฑ์ของใช้และที่ระลึก ออกแบบส่วนผสมของเศษทางปาล์มน้ำมันและกาวไอโซไซยานต (pMDI) จำนวน 10 อัตราส่วน ทำการขึ้นรูปเป็นแผ่น ขนาด 15 x 17.5 เซนติเมตร หนา 5 มิลลิเมตร โดยใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที ทำการทดสอบตามมาตรฐาน มอก.876-2547 เรื่องแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดราบ ผลการทดสอบ พบว่า แผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษทางปาล์มน้ำมันที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์ของใช้และของที่ระลึกคือ แผ่นที่ควบคุมความหนาแน่น 650 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ใช้กาวไอโซไซยานต 0.11 ส่วนโดยน้ำหนัก และใช้เศษทางปาล์มน้ำมันบดย่อย 1 ส่วนโดยน้ำหนัก แผ่นขึ้นไม้นี้ จะมีค่าความหนาแน่น 600.50 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความชื้นร้อยละ 4.52 การพองตัวตามความหนาร้อยละ 4.61 การดูดซึมน้ำร้อยละ 45.23 ความต้านทานแรงดัด 6.28 เมกะพาสคาล มอดุลัสยืดหยุ่น 478.75 เมกะพาสคาล และความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า 0.38 เมกะพาสคาล

คำสำคัญ: แผ่นขึ้นไม้อัด ทางปาล์มน้ำมัน กาวไอโซไซยานต ผลิตภัณฑ์ของใช้และของที่ระลึก

The development of particleboard from oil palm fronds for reducing the agricultural wastes

Kittiphan Boontositrakul¹, Itthi Plitsiri², Narongsak Yenparsert^{2*}, Prachya Kanbua², Apichote Urintanon²
Pramot Weeranukul¹, Sukhom Lipiloet³ and Kittipong Suweero³
kittiphan.b@rmutp.ac.th¹, itthi.w@rmutsb.ac.th², narongsak.y@rmutsb.ac.th^{2*},
prachya.k@rmutsb.ac.th², apichote.u@rmutsb.ac.th², pramot.w@rmutp.ac.th¹,
sukhom.l@en.rmutt.ac.th³, kittipong.s@en.rmutt.ac.th³

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

²Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology
Suvarnabhumi

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

Received: April 25, 2024 Revised: March 11, 2025 Accepted: March 19, 2025

Abstract

This research aims to develop particleboard from oil palm frond wastes for household items and souvenirs. The study designs 10 different ratios of oil palm frond wastes mixed with Methylene Diphenyl Diisocyanate (pMDI), forming particleboards with dimensions of 15 x 17.5 cm and a thickness of 5 mm. These boards are pressed at a temperature of 150°C for 7 minutes. Tests are conducted according to the Thai Industrial Standard (TIS 876-2547) for flat particleboards. The test results indicate that the optimal particleboard for household and souvenir products is the board with a controlled density of approximately 650 kg/m³, mixed with 0.11 parts by weight of pMDI and 1 part by weight of ground oil palm frond wastes. This particleboard has a density of 600.50 kg/m³, moisture content of 4.52%, thickness swelling of 4.61%, water absorption of 45.23%, bending strength of 6.28 MPa, modulus of elasticity of 478.75 MPa, and tensile strength perpendicular to the surface of 0.38 MPa.

Keywords: Particleboard, Oil palm frond, Polymeric diphenyl methane diisocyanate, Household and souvenir product

1. บทนำ

จากผลการสำรวจพื้นที่เพาะปลูกและประเภทวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรของพืชที่สำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย พบว่า ปาล์มน้ำมัน เป็นพืชที่มีพื้นที่ปลูกทั่วประเทศมากกว่า 5 ล้านไร่ มีผลผลิตปาล์มสดประมาณ 11.33 ล้านตัน สามารถผลิตเป็นน้ำมันปาล์มดิบได้ 1.93 ล้านตัน และมีมูลค่าทางเศรษฐกิจมากกว่า 64,000 ล้านบาทต่อปี [1] ส่วนวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรของปาล์มน้ำมันสามารถแบ่งเป็นประเภทวัสดุเหลือทิ้งที่โรงงานแปรรูปน้ำมันปาล์ม เช่น กะลาปาล์ม หรือทะลายปาล์มเปล่า เป็นต้น และประเภทวัสดุเหลือทิ้งที่สวนปาล์มน้ำมัน เช่น ทางปาล์ม น้ำมัน (รูปที่ 1) หรือใบปาล์มน้ำมัน เป็นต้น จากวัสดุเหลือทิ้งทั้งสองประเภท จะเห็นได้ว่าวัสดุเหลือทิ้งของโรงงานที่แปรรูปน้ำมันปาล์ม สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ แต่วัสดุเหลือทิ้งที่สวนปาล์มน้ำมัน ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ และเกษตรกรต้องเสียค่าใช้จ่ายเพื่อกำจัดหรือต้องทำการเผาเพื่อทำลาย ซึ่งทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศ [2]

เมื่อทบทวนวรรณกรรม รวมทั้งงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรส่วนใหญ่สามารถนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นขึ้นไม้อัด (particleboards) ได้โดยการบดย่อย ผสมสารเชื่อมประสาน และอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน เช่น กล้วย กล้วยไม้ และถั่ว [3] ได้ศึกษาเกี่ยวกับ การพัฒนาแผ่นไม้เทียมจากพลาสติกชีวภาพรีไซเคิลผสมผงกะลามะพร้าวสำหรับปัญหาปริมาณขยะในชุมชน โดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน พบว่าปริมาณผงกะลามะพร้าวในส่วนผสมมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ ซึ่งส่งผลให้ความแข็งแรงและความหนาแน่นของวัสดุเพิ่มขึ้น ณัฏฐาภรณ์ และสาลินี [4] ได้ศึกษาเกี่ยวกับแผ่นขึ้นไม้อัดจากฟางข้าว แกลบ ขาน้อย และซังข้าวโพด โดยใช้สารเชื่อมประสาน 4 ชนิด ได้แก่ กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ กาวเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ กาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ และกาวไอโซไซยานาต ทำการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน พบว่า อุณหภูมิในการอัด ชนิดไม้และรูปร่างของขึ้นไม้ระดับความชื้น ระยะเวลาในการอัด แรงดันในการอัด และการแข็งตัวทั้งก่อนและหลังการอัดกาวมีผลต่อคุณสมบัติของแผ่นขึ้นไม้อัด นอกจากนี้ วนรัตน์ และคณะ [5] ได้ทดลองขึ้นรูปแผ่นขึ้นไม้อัดจากแกนถั่วเขียว โดยใช้กาวกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ อัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดร้อนขนาดใหญ่ ใช้อุณหภูมิ 110 ถึง 150 องศาเซลเซียส และควบคุมความหนาแน่น 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยพบว่า แม้การอัดขึ้นรูปจะทำการควบคุมค่า

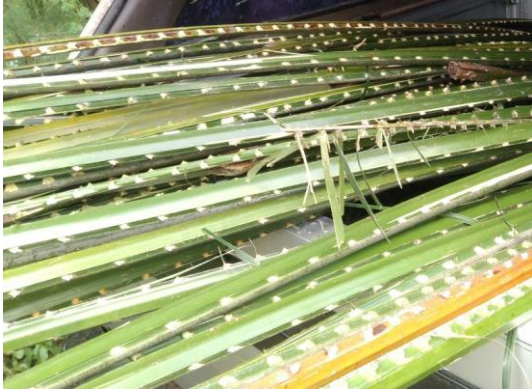
ความหนาแน่น แต่แผ่นขึ้นไม้อัดที่ได้ส่วนใหญ่จะมีความหนาแน่นต่ำกว่า เช่น หากควบคุมความหนาแน่น 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แผ่นขึ้นไม้อัดที่ได้จะมีความหนาแน่นระหว่าง 635 ถึง 805 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนชนิดของสารเชื่อมประสาน ไตรรงค์ และคณะ [6] ได้ศึกษาการใช้กาวแปงเปียกและกาวอีพ็อกซีเป็นสารเชื่อมประสานสำหรับขึ้นรูปแผ่นขึ้นไม้อัดจากเปลือกข้าวโพดและฟางข้าว พบว่า แผ่นขึ้นไม้อัดที่มีการใช้กาวแปงเปียกมีพื้นผิวไม่เรียบ ขรุขระ โค้งงอ และไม่เรียบตรง แตกต่างจากการใช้กาวอีพ็อกซีที่แผ่นขึ้นไม้อัดจะมีพื้นผิวเรียบ ไม่โค้งงอ และเรียบตรงกว่า

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางกลของแผ่นขึ้นไม้อัดที่พัฒนาจากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า งานวิจัยเกือบทั้งหมด มักได้แผ่นขึ้นไม้อัดที่มีคุณสมบัติทางกลต่ำกว่ามาตรฐาน มอก.876- 2547 เรื่องแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ [7] ทั้งที่มีการใช้เครื่องอัดร้อนขนาดใหญ่ ทำให้เห็นว่าการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาอัดขึ้นรูปได้เป็นแผ่นขึ้นไม้อัดนั้น ควรมีการคำนึงถึงผลิตภัณฑ์ที่จะนำแผ่นขึ้นไม้อัดที่วิจัยไปใช้ด้วย และหากต้องการได้แผ่นขึ้นไม้อัดที่มีคุณสมบัติทางกลผ่านมาตรฐาน มอก.876- 2547 ก็จำเป็นต้องใช้เครื่องอัดร้อนขนาดใหญ่ สารเชื่อมประสานที่เหมาะสม และการควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิตที่เข้มงวด

การนำวัสดุเหลือทิ้งที่สวนปาล์มน้ำมัน โดยเฉพาะทางปาล์มน้ำมันมาพัฒนาเป็นแผ่นขึ้นไม้อัดเพื่อใช้เป็นวัสดุสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ของใช้และของที่ระลึกในพื้นที่แหล่งท่องเที่ยวต่างๆ ทั่วประเทศ จึงเป็นแนวทางที่เป็นไปได้อย่างมากที่จะลดปริมาณวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร และส่งเสริมอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวไปพร้อมกัน เนื่องจากของใช้และของที่ระลึกเป็นผลิตภัณฑ์ชุมชนที่มีความต้องการใช้แผ่นขึ้นไม้อัดในการผลิตอย่างมาก เช่น ที่รองแก้ว นาฬิกา พวงกุญแจ กระปุกออมสิน และถังผลไม้ เป็นต้น นอกจากนี้การนำแผ่นขึ้นไม้อัดมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ของใช้และของที่ระลึกยังต้องการคุณสมบัติทางกลของแผ่นขึ้นไม้อัดที่ไม่สูงมาก และไม่จำเป็นต้องผ่านมาตรฐาน มอก.876- 2547 [7] ทำให้ชุมชนสามารถขึ้นรูปแผ่นขึ้นไม้อัดดังกล่าวได้ด้วยตนเองโดยใช้เครื่องจักรขนาดเล็ก

แผ่นขึ้นไม้อัดจากทางปาล์มน้ำมันเพื่อลดขยะเหลือทิ้งทางการเกษตรที่พัฒนา จึงเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรอย่างเป็นรูปธรรม รวมทั้งยังเป็นการส่งเสริมแนวคิดขยะให้เหลือศูนย์ (Zero Waste) ลดต้นทุนการทำเกษตรของเกษตรกร ลดการเผาสร้างมลพิษทางอากาศ ช่วยสร้าง

งานและก่อให้เกิดเป็นรายได้ให้ชุมชน และสนับสนุนให้เกิดการใช้วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 1 ทางปาล์มน้ำมัน

2. วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ ประกอบด้วย ทางปาล์มน้ำมันจากจังหวัดนครนายก กาวไอโซไซยาเนต หรือกาวชนิด Polymeric Diphenyl Methane Diisocyanate (pMDI) ซึ่งเป็นกาวที่ไม่มีสารฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นเรซิน (Resin) ประเภทหนึ่งที่มีความทนทานสูง ไม่มีสี แข็งตัวได้เร็ว และยึดเกาะได้ดี [8] ถึงผสม กาฟีนสีแบบกบป่น บีมลม กบไสไม้ไฟฟ้าขนาด 3 นิ้ว เครื่องบดย่อยพลาสติกพร้อมตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะ 10 มิลลิเมตร (รูปที่ 2) เครื่องชั่งน้ำหนัก แบบหล่อขนาด 15 x 17.5 เซนติเมตรหนา 5 มิลลิเมตร แผ่นอลูมิเนียมหนา 6 มิลลิเมตร อุปกรณ์ช่วยจัดเรียงวัสดุ เหล็กกระทุ้ง และแผ่นเทพล่อน เครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนแบบมือหมุนชนิดอัตรา (รูปที่ 3) ตู้อบ เครื่องทดสอบแรงดึง (universal testing machine, UTM)

3. การออกแบบส่วนผสม

ออกแบบอัตราส่วนผสมโดยใช้เศษทางปาล์มน้ำมัน 1 ส่วนโดยน้ำหนัก ต่อกาวไอโซไซยาเนต (pMDI) ตั้งแต่ 0.08 ถึง 0.17 ส่วนโดยน้ำหนัก รวม 10 อัตราส่วน ดังตารางที่ 1 โดยเป็นอัตราส่วนที่พิจารณาจากคุณสมบัติของกาว pMDI ที่สามารถสร้างพันธะเคมีที่แข็งแรงกับวัสดุชีวมวล ซึ่งมีโครงสร้างพื้นผิวที่พรุนและขรุขระได้ดี [8] ส่วนการใช้อัตราส่วนกาว pMDI เริ่มต้นที่ 0.08 ส่วนโดยน้ำหนัก ได้จากการทดลองขึ้นรูปแผ่นขึ้นไม้อัดเบื้องต้นโดยใช้ปริมาณกาว pMDI ที่น้อยที่สุด แต่ยังคงสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นขึ้นไม้อัดได้โดยไม่หลุดร่อนง่าย และการศึกษาอัตราส่วนจาก

งานวิจัยก่อนหน้า เช่น พนุชศดี และคณะ [8] ที่ได้ศึกษาผลของปริมาณกาว pMDI ต่อคุณสมบัติของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษพืช ซึ่งพบว่าอัตราส่วนกาว pMDI ต่ำสุดที่สามารถสร้างพันธะเพื่อยึดเกาะได้ดีคืออยู่ที่มากกว่าหรือเท่ากับ 0.07 ส่วนโดยน้ำหนัก ทั้งนี้การใช้กาว pMDI ในปริมาณน้อยจะช่วยลดต้นทุนการผลิตและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน



รูปที่ 2 เครื่องบดย่อยพลาสติก พร้อมตะแกรง



รูปที่ 3 เครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนแบบมือหมุนชนิดอัตรา

4. การขึ้นรูปตัวอย่าง

ตัดเศษทางปาล์มน้ำมันให้มีความยาวประมาณ 10 เซนติเมตร ก่อนนำมาบดย่อยด้วยเครื่องบดย่อยพลาสติกผ่านตะแกรงที่มีขนาดรูเจาะเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร (รูปที่ 4) และควบคุมความชื้นของเศษทางปาล์มน้ำมันไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก จากนั้นชั่งน้ำหนักเศษทางปาล์มน้ำมันที่ผ่านการย่อยแล้วและกาวไอโซไซยาเนตในอัตราส่วนที่กำหนด นำเศษทางปาล์มน้ำมันเข้าสู่กระบวนการผสม โดยใช้ถัง

ผสมและฉีดพ่นกาโอโซไซยานตด้วยกาพนัสที่เชื่อมต่อกับปั๊มลม ระหว่างการฉีดพ่นทำการหมุนถังผสมและกลับส่วนผสมอย่างน้อย 4 ครั้ง เพื่อให้กากระจายตัวทั่วเศษวัสดุจนได้ส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปเตรียมส่วนผสมโดยเทลงในแบบหล่อที่รองด้วยแผ่นอลูมิเนียมและวางแผ่นเทพล่อนป้องกันการติดบริเวณด้านที่สัมผัสกับส่วนผสม เกลี่ยและอัดส่วนผสมให้แน่นด้วยเหล็กกระทง (รูปที่ 5) ก่อนที่จะปิดด้านบนด้วยแผ่นอลูมิเนียมและแผ่นเทพล่อน จากนั้นนำส่วนผสมเข้าสู่เครื่องอัดแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัตราแบบมือหมุน กระบวนการอัดใช้ความร้อน 150 องศาเซลเซียสและแรงอัดประมาณ 2,000 กิโลกรัม หรือ 7.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 7 นาที ซึ่งเป็นสถานที่ที่เหมาะสมสำหรับการใช้กาโอโซไซยานตเพื่อป้องกันการพองตัวหรือการแตกร้าวของแผ่นไม้อัด [9] ทั้งนี้หากต้องการผลิตแผ่นไม้อัดที่มีความหนามากกว่า 5 มิลลิเมตร จำเป็นต้องเพิ่มระยะเวลาในการอัด และควบคุมความหนาแน่นของแผ่นขึ้นไม้อัดให้อยู่ที่ 650 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อกระบวนการอัดเสร็จสิ้นให้นำแผ่นไม้อัดออกจากแบบหล่อและปล่อยให้เย็นจนสามารถจับได้ด้วยมือเปล่า ได้แผ่นขึ้นไม้อัดสำหรับทดสอบหรือใช้งานตามวัตถุประสงค์ต่อไป

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนัก

อัตราส่วน*	เศษทางปาล์มน้ำมัน (ส่วนโดยน้ำหนัก)	กา pMDI (ส่วนโดยน้ำหนัก)
P-0.08	1 (ร้อยละ 92.59)	0.08 (ร้อยละ 7.41)
P-0.09	1 (ร้อยละ 91.74)	0.09 (ร้อยละ 8.26)
P-0.10	1 (ร้อยละ 90.91)	0.10 (ร้อยละ 9.09)
P-0.11	1 (ร้อยละ 90.09)	0.11 (ร้อยละ 9.91)
P-0.12	1 (ร้อยละ 89.29)	0.12 (ร้อยละ 10.71)
P-0.13	1 (ร้อยละ 88.50)	0.13 (ร้อยละ 11.50)
P-0.14	1 (ร้อยละ 87.72)	0.14 (ร้อยละ 12.28)
P-0.15	1 (ร้อยละ 86.96)	0.15 (ร้อยละ 13.04)
P-0.16	1 (ร้อยละ 86.21)	0.16 (ร้อยละ 13.79)
P-0.17	1 (ร้อยละ 85.47)	0.17 (ร้อยละ 14.53)

หมายเหตุ * สัญลักษณ์ P-X.XX หมายถึง ใช้เศษทางปาล์มน้ำมัน 1 ส่วนโดยน้ำหนัก และกา pMDI ในปริมาณ X.XX ส่วนโดยน้ำหนัก

5. การทดสอบตัวอย่าง

ทดสอบตัวอย่างตามมาตรฐาน มอก.876- 2547 เรื่องแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัตรา [7] และคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการใช้งาน ได้แก่ ลักษณะ ความชื้น ความหนาแน่น การพองตัวตามความหนา ความต้านทานแรงดัด(รูปที่ 6) ความต้านแรงดัดตั้งฉากกับผิวหน้า

มอดูลัสยืดหยุ่น และความยึดแน่นของผิวหน้า โดยใช้จำนวนตัวอย่างทดสอบ 5 แผ่นต่อค่าการทดสอบ แต่ละค่า



รูปที่ 4 ลักษณะเศษทางปาล์มน้ำมันที่บดย่อยแล้ว



รูปที่ 5 ส่วนผสมที่เกลี่ยและอัดก่อนนำไปอัดขึ้นรูป



รูปที่ 6 การรับแรงดัดของตัวอย่างแผ่นขึ้นไม้อัด

6. ผลการดำเนินงานวิจัย

ผลการพัฒนาแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษทางปาล์มน้ำมันตามมาตรฐาน มอก.876- 2547 [7] สรุปได้ดังนี้

6.1 ลักษณะทั่วไป

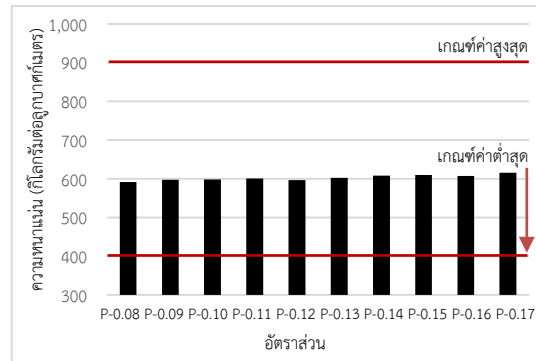
แผ่นขึ้นไม้อัดที่ขึ้นรูปทั้ง 10 อัตราส่วน มีลักษณะที่ทุกอัตราส่วนมีขอบที่ได้ฉาก ผิวหน้าของแผ่นมีความเรียบเนียนในระดับที่ดี โดยสามารถมองเห็นเศษทางปาล์มน้ำมันเรียงตัวตามแนวยาวได้อย่างชัดเจน สีของแผ่นไม้อัดมีลักษณะเหลืองอ่อนที่สม่ำเสมอ นอกจากนี้กาวไอโซไซยาเนตที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปสามารถยึดเศษทางปาล์มน้ำมันให้เป็นแผ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่มีการหลุดร่อนหรือแยกชั้น ดังที่แสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผิวหน้าของแผ่นตัวอย่างที่อัดขึ้นรูป

6.2 ความหนาแน่น

ผลการทดสอบในรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่า แผ่นขึ้นไม้อัดทั้ง 10 อัตราส่วนมีความหนาแน่นที่ใกล้เคียงกัน โดยอยู่ในช่วง 592 ถึง 616 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งต่ำกว่าค่าความหนาแน่นที่ตั้งเป้าควบคุมไว้ที่ 650 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สาเหตุของความแตกต่างนี้เป็นผลมาจากการใช้เครื่องอัดแผ่นไม้อัดแบบมือหมุนขนาดเล็ก ซึ่งมีแรงอัดต่ำกว่าเครื่องอัดแบบไฮดรอลิกขนาดใหญ่ จากการวิเคราะห์ พบว่า แผ่นไม้อัดที่ใช้ปริมาณกาวไอโซไซยาเนตมากมีแนวโน้มที่จะมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าแผ่นที่ใช้ปริมาณกาวน้อย ทั้งนี้ค่าความหนาแน่นที่วัดได้สำหรับแผ่นขึ้นไม้อัดทั้ง 10 อัตราส่วนยังคงเป็นไปตามมาตรฐาน มอก.876-2547 ซึ่งกำหนดให้ค่าความหนาแน่นของแผ่นขึ้นไม้อัดอยู่ระหว่าง 400 ถึง 900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร [7]



รูปที่ 8 ความหนาแน่นของแผ่นขึ้นไม้อัด

6.3 ปริมาณความชื้น

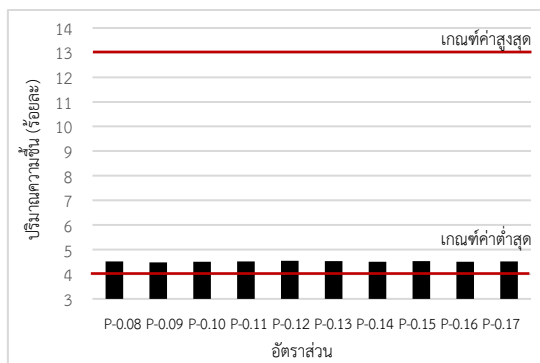
จากผลการทดสอบปริมาณความชื้นในรูปที่ 9 พบว่า แผ่นขึ้นไม้อัดที่ขึ้นรูปทั้ง 10 อัตราส่วนมีปริมาณความชื้นใกล้เคียงกัน โดยค่าที่วัดได้อยู่ระหว่างร้อยละ 4.48 ถึง 4.55 ซึ่งอยู่ในช่วงที่มาตรฐาน มอก.876-2547 กำหนดไว้ (ร้อยละ 4 ถึง 13) [7] ค่าปริมาณความชื้นดังกล่าวสะท้อนถึงคุณภาพและความสม่ำเสมอในการควบคุมกระบวนการผลิตและวัตถุดิบ ทั้งนี้ค่าความชื้นที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว ช่วยให้แผ่นขึ้นไม้อัดมีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างหรือคุณสมบัติทางกายภาพของแผ่น

6.4 การพองตัวตามความหนา

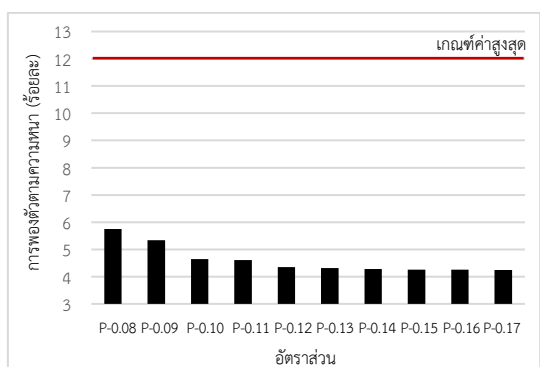
การทดสอบการพองตัวตามความหนาในรูปที่ 10 พบว่า แผ่นขึ้นไม้อัดที่ใช้กาวไอโซไซยาเนตในอัตราส่วนสูงที่สุด (P-0.17) มีแนวโน้มการพองตัวต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับแผ่นที่ใช้กาวในปริมาณน้อยกว่า ปรากฏการณ์นี้เกิดจากคุณสมบัติของกาวไอโซไซยาเนต ซึ่งเป็นเรซินที่มีความสามารถในการทนน้ำสูง และทำหน้าที่เชื่อมประสานเศษทางปาล์มได้อย่างดี ทั้งยังช่วยลดพื้นที่สัมผัสน้ำของแผ่นขึ้นไม้อัด ส่งผลให้การพองตัวลดลง [8, 10-11] เมื่อเปรียบเทียบค่าการพองตัวของแผ่นไม้อัดจากเศษทางปาล์มน้ำมันกับมาตรฐาน มอก.876-2547 ที่กำหนดให้การพองตัวตามความหนาต้องไม่เกินร้อยละ 12 [7] พบว่า แผ่นไม้อัดทั้งหมดผ่านเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว นอกจากนี้ เมื่อทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ (รูปที่ 11) พบว่าแนวโน้มค่าการดูดซึมน้ำสอดคล้องกับค่าการพองตัว โดยแผ่นที่ใช้ปริมาณกาวมากมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่าแผ่นที่ใช้กาวน้อยกว่า ซึ่งสะท้อนคุณสมบัติของกาวไอโซไซยาเนตในการลดการดูดซึมน้ำรวมทั้งการพองตัวได้

6.5 ความต้านทานแรงดัด

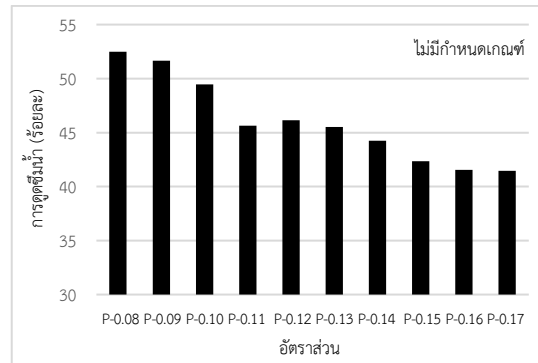
ในส่วนผลการทดสอบความต้านทานแรงดัด ในรูปที่ 12 พบว่า กาวไอโซไซยาเนตที่เพิ่มปริมาณมากขึ้นส่งผลให้ความต้านทานแรงดัดของแผ่นขึ้นไม้อัดเพิ่มขึ้น [10, 12-14] โดยแผ่นขึ้นไม้อัดอัตราส่วน 0.17 ส่วนโดยน้ำหนัก มีค่าความต้านทานแรงดัดสูงที่สุด ขณะที่แผ่นขึ้นไม้อัดที่ใช้กาวในอัตราส่วน 0.08 ส่วนโดยน้ำหนัก มีค่าความต้านทานแรงดัดต่ำที่สุด อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก.876-2547 ซึ่งกำหนดค่าความต้านทานแรงดัดขั้นต่ำไว้ที่ 14 เมกะพาสคาล [7] พบว่า แผ่นขึ้นไม้อัดทั้งหมดมีค่าความต้านทานแรงดัดต่ำกว่ามาตรฐาน สาเหตุสำคัญมาจากความหนาแน่นของแผ่นที่น้อย ส่งผลให้ไม่สามารถรับแรงดัดได้ดีแม้ว่าจะใช้กาวไอโซไซยาเนตที่มีคุณสมบัติการยึดเกาะสูง [8, 12-14] นอกจากนี้ จากการสังเกตลักษณะการเสียหายของแผ่นขึ้นไม้อัด พบว่าการหลุดจากกันของชิ้นส่วนอย่างมาก ซึ่งสะท้อนถึงข้อจำกัดของโครงสร้างและความสม่ำเสมอของแผ่นขึ้นไม้อัดที่ยังไม่เหมาะสมต่อการรองรับแรงดัดในระดับสูง



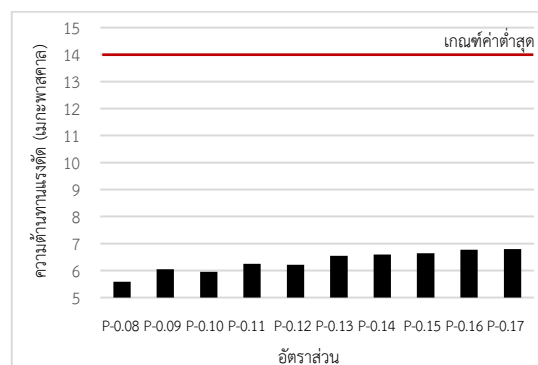
รูปที่ 9 ปริมาณความชื้นของแผ่นขึ้นไม้อัด



รูปที่ 10 การพองตัวตามความหนาของแผ่นขึ้นไม้อัด



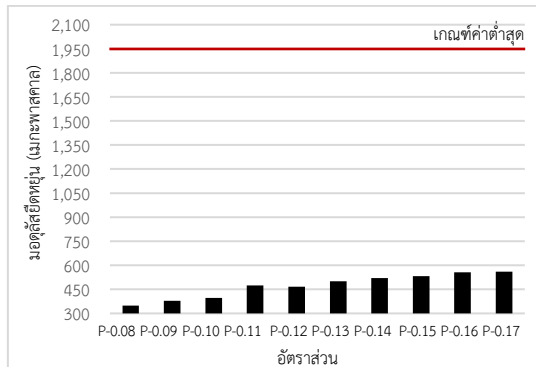
รูปที่ 11 การดูดซึมน้ำของแผ่นขึ้นไม้อัด



รูปที่ 12 ความต้านทานแรงดัดของแผ่นขึ้นไม้อัด

6.6 มอดุลัสยืดหยุ่น

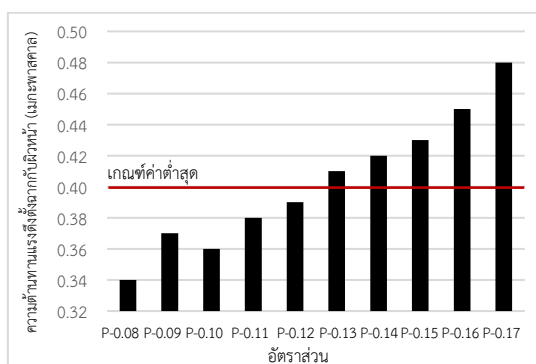
สำหรับค่ามอดุลัสยืดหยุ่นที่ทำการทดสอบในรูปที่ 13 พบว่า มอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นขึ้นไม้อัดมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความต้านทานแรงดัด กล่าวคือ แผ่นขึ้นไม้อัดที่ใช้ปริมาณกาวไอโซไซยาเนตในอัตราส่วนที่มากจะมีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นสูงขึ้นตามไปด้วย [12, 14] เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้กับมาตรฐาน มอก.876-2547 ซึ่งกำหนดค่ามอดุลัสยืดหยุ่นขั้นต่ำไว้ที่ 1,950 เมกะพาสคาล สำหรับแผ่นที่มีความหนา 3-6 มิลลิเมตร [7] พบว่า แผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษทางปาล์ม น้ำมันทั้งหมดมีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นที่น้อยกว่ามาตรฐาน เหมือนกับค่าความต้านทานแรงดัด ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานคือความหนาแน่นของแผ่นขึ้นไม้อัดที่ยังไม่มากพอ แม้ว่าการใช้กาวไอโซไซยาเนตจะช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นและความแข็งแรงได้ก็ตาม แต่ก็ไม่สามารถชดเชยข้อจำกัดของโครงสร้างแผ่นขึ้นไม้อัดได้ทั้งหมด



รูปที่ 13 มอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นขึ้นไม้อัด

6.7 ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า

ผลการทำการทดสอบความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าในรูปที่ 14 พบว่า แผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษทางปาล์มน้ำมันที่มีปริมาณกาโอโซไซยานตมากที่สุดมีค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าสูงที่สุด ขณะที่แผ่นที่ใช้กาโอโซไซยานตน้อยที่สุดมีค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากต่ำที่สุด ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น ซึ่งแสดงถึงผลกระทบของปริมาณกาโอต่อความแข็งแรงของแผ่นขึ้นไม้อัด เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก.876-2547 [7] ที่กำหนดให้แผ่นขึ้นไม้อัดต้องมีค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้ามากกว่า 0.4 เมกะพาสคาล รวมทั้งความยืดหยุ่นของผิวหน้าต้องมีค่าสูงกว่า 0.8 เมกะพาสคาล พบว่าแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษทางปาล์มน้ำมันทั้งหมดมีค่าความต้านแรงดึงต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด ซึ่งเป็นผลจากความหนาแน่นของเนื้อวัสดุที่ไม่เพียงพอ และโครงสร้างของแผ่นขึ้นไม้อัดที่ไม่แน่นเท่าที่ควร [12, 14]



รูปที่ 14 ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นขึ้นไม้อัด

7. สรุปผล และข้อเสนอแนะ

จากผลการดำเนินงานข้างต้น สามารถเป็นสรุปผลและข้อเสนอแนะได้ดังนี้

7.1 สรุปผล

7.1.1 แผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษทางปาล์มน้ำมัน สามารถขึ้นรูปได้โดยการนำเศษทางปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบดย่อยแล้วและกาโอโซไซยานตมาผสมกัน แล้วจึงอัดขึ้นรูปโดยใช้ความหนา 5 มิลลิเมตร และใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7 นาที

7.1.2 จากผลการทดสอบคุณสมบัติของแผ่นขึ้นไม้อัดที่ผลิตจากเศษทางปาล์มน้ำมันในทั้ง 10 อัตราส่วน พบว่าแผ่นขึ้นไม้อัดทั้งหมดมีค่าความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และการพองตัวตามความหนาเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 876-2547 อย่างไรก็ตามคุณสมบัติด้านความต้านทานแรงดัด มอดูลัสยืดหยุ่น และความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ยังคงต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนด สาเหตุหลักมาจากความหนาแน่นของแผ่นขึ้นไม้อัดที่ไม่เพียงพอ ซึ่งเป็นผลจากกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบมือหมุนชนิดอัตราเร็วที่ไม่สามารถสร้างแรงอัดได้อย่างเหมาะสม

7.1.3 อัตราส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษทางปาล์มน้ำมันคือ แผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษทางปาล์มน้ำมันที่ผสมกาโอโซไซยานต 0.11 ส่วนโดยน้ำหนัก (อัตราส่วน P-0.11) เนื่องจากอัตราส่วนดังกล่าวมีค่าการดูดซึมน้ำ รวมทั้งการพองตัวที่ต่ำกว่าอัตราส่วนที่ผสมกาโอโซไซยานต 0.10 ส่วนโดยน้ำหนัก (อัตราส่วน P-0.10) ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวมีความจำเป็นและสำคัญมากโดยเฉพาะเมื่อนำแผ่นขึ้นไม้อัดไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ของใช้และของที่ระลึก เนื่องจากมีโอกาสที่จะสัมผัสน้ำหรือความชื้นค่อนข้างมาก นอกจากนี้อัตราส่วน P-0.11 ยังใช้กาโอในปริมาณที่ไม่มากจนเกินไป และคุณสมบัติทางกล ได้แก่ ความต้านทานแรงดัด ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า และมอดูลัสยืดหยุ่น ก็เพียงพอต่อการนำไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์ของใช้และของที่ระลึกได้ดี โดยไม่เกิดความเสียหายเมื่อใช้งาน เช่น แผ่นรองแก้ว (รูปที่ 15) เป็นต้น



รูปที่ 15 แผ่นรองแก้วที่สามารถใช้แผ่นขึ้นไม้อัดจากทางปาล์มน้ำมันในการผลิตได้

7.2 ข้อเสนอแนะ

ควรพัฒนาความแข็งแรงของแผ่นขึ้นไม้อัดที่พัฒนาให้ผ่านมาตรฐาน มอก.846-2547 เพื่อให้ใช้ประโยชน์ได้หลากหลายยิ่งขึ้น

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่สนับสนุนงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2566 ในการศึกษาวิจัย

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Office of Agricultural Economics. Palm oil [Internet]. 2024 Mar [cited 2024 Mar 17]: [about 1 p.]. Available from: <https://www.oae.go.th/> (in Thai)
- [2] Bangkokbiznews. From corn to palm oil, same cause [Internet]. 2019 Oct [cited 2024 Mar 17] [about 1 p.]. Available from: <https://www.bangkokbiznews.com/lifestyle/1286/> (in Thai)
- [3] Kerprasit P, Jaralworakulwong A, Plitsiri I. Development of artificial wood panels from recycled bioplastic mixed with coconut shell power. VRU Research and Development Journal Science and Technology. 2024;19(2): 136–50. (in Thai)
- [4] Jarunjaruphat N, Achary S. The particleboard manufacturing from agricultural waste. The Journal of KMUTNB. 2018;28(2):469-76. (in Thai)
- [5] Konisranukul W, Tuaycharoen N, Soratron S. Development particleboard for interior wall panel building from hemp woody core. Journal of

Building Energy & Environment. 2019;2(2):78-96. (in Thai)

[6] Phlansaeng T, Techa P, Jaiwisan C, Inthang N, Siriprachot O. Study on the manufacturing wood substituted materials from agricultural waste. PSRU Journal of Science and Technology. 2021;6(3):121-34. (in Thai)

[7] Thai Industrial Standards Institute (TISI). Thai industrial standard no.876-2004: particleboard product. Bangkok: TISI; 2004. (in Thai)

[8] Yenjai P, Charusombat S, Weenin 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)

[9] 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)

[10] 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.

[11] 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.

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

[13] Sekaluvu L, Tumutegyerize P, Kiggundu N. Investigation of factors affecting the production and properties of maize cob-particleboards. Waste and biomass valorization. 2014;5:27-32.

[14] 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;74:161-8.

การสร้างต้นแบบและทดสอบสมรรถนะเครื่องกะเทาะผลหมากแห้ง

จักรวาล บุญหวาน¹ มานพ แยมแพง¹ อภิสกดิ์ รักดีแก้ว¹ อธิพนธ์ เวศพันธุ์¹ และมนพร คุปตาสา^{1*}
chakkawan.b@en.rmutt.ac.th¹, manop.y@en.rmutt.ac.th¹, aphisik.p@en.rmutt.ac.th¹,
teerapot_w@rmutt.ac.th¹, manaporn_g@rmutt.ac.th^{1*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Received: March 10, 2025 Revised: June 6, 2025 Accepted: June 9, 2025

บทคัดย่อ

การออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะผลหมากแห้งมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญคือ ชุดกะเทาะแบบหมุนร่วมกับชุดกะเทาะแบบร่อนเพื่อให้เปลือกและเนื้อหลุดออกจากกัน โดยมีสายพานลำเลียงผลหมากแห้งไปยังชุดกะเทาะทั้งสอง ซึ่งสมรรถนะสูงสุดของเครื่องกะเทาะผลหมากแห้งใช้ขนาดมอเตอร์ 1 แรงม้า มีอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างตัวขับและตัวตามของชุดกะเทาะแบบหมุนและชุดกะเทาะแบบร่อน คือ 1:1.5 และ 1:3 ตามลำดับ สามารถกะเทาะเปลือกมีลักษณะผลดี ผลที่แตก และผลที่กะเทาะไม่ออก 9.7 5.5 และ 0.8 กิโลกรัม/ชั่วโมง ตามลำดับ หรือ 63 36 และ 1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อมีการนำเครื่องกะเทาะผลหมากแห้งไปใช้จะมีระยะเวลาการคืนทุน 3.8 เดือน

คำสำคัญ: หมาก หมากแห้ง เครื่องกะเทาะ

Prototype and performance testing of the dried betel nut peeling machine

Chakkawan Boonwan¹, Manop Yamfang¹, Aphisik Pakdeekaew¹, Teerapot Wessapan¹,
and Manaporn Guptasa^{1*}
chakkawan.b@en.rmutt.ac.th¹, manop.y@en.rmutt.ac.th¹, aphisik.p@en.rmutt.ac.th¹,
teerapot_w@rmutt.ac.th¹, manaporn_g@rmutt.ac.th^{1*}

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

Received: March 10, 2025 Revised: June 6, 2025 Accepted: June 9, 2025

Abstract

The design and construction of the dried betel nut peeling machine consists of the main components including a thorn peeler and a groove peeler to separate husk and kernel. There is a conveyor belt for dried betel nut to both peelers. The maximum performance of the dried betel nut peeling machine uses a 1 hp motor. The appropriate ratio between the driver and the follower of the thorn peeler and the groove peeler is 1:1.5 and 1:3, respectively. It can peel 9.7, 5.5, and 0.8 kg/hour of good-quality betel nut, broken betel nut, and incomplete-peeling betel nut, respectively, or 63, 36, and 1 percent, respectively. When the dried betel nut peeling machine is used, the payback period is 3.8 months.

Keywords: Betel, Dried betel, Peeling machine

1. บทนำ

หมาก เป็นพืชที่เกี่ยวข้องกับชนบทรูชนิยม ประเพณีและวัฒนธรรมพื้นบ้าน แต่ในปัจจุบันหมากเปลี่ยนเข้าไปมีบทบาทในด้านอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น อุตสาหกรรมทำสีต่างๆ สกัดเป็นน้ำยาฟอกหนังใช้ย้อมแห อวน เพื่อให้มันและอ่อนตัว หมากยังใช้เป็นสมุนไพรในการรักษาโรค เช่น ยารักษาโรคผิวหนัง (ยาสมานแผล ยาแก้อาการคัน) ยารักษาโรคภายใน (ยารักษาอาการท้องเสียอันเนื่องมาจากอาหารเป็นพิษ ยาถ่ายพยาธิในเด็ก) ยารักษาโรคในช่องปาก (ยาแก้ปากเปื่อย ยาขัดฟัน) และยังมีมูลค่าการส่งออกหมากแห้งไปจำหน่ายต่างประเทศ 1,043.57 ล้านบาท การปลูกหมากกระจายทั่วทุกภาคของประเทศไทย รวมพื้นที่ปลูกทั่วประเทศกว่าแสนไร่ ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกหมาก 22,806 ไร่ โดยเฉพาะทางพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย เช่น ชุมพร นครศรีธรรมราช ระนอง พัทลุง ตรัง มีเกษตรกรปลูกหมากจำนวน 6,835 ครัวเรือน [1] การที่จะนำผลหมากแห้งไปขายนั้น จะต้องทำการกะเทาะเพื่อเอาเปลือกผลหมากออกแล้วนำไปตากให้แห้งเพื่อทำเป็นหมากแห้งจะขายได้ราคาดีกว่าการนำหมากไปขายในรูปของหมากสด ที่ผ่านมามีการสร้างเครื่องผ่าผลหมาก โดยที่หลักการเครื่องผ่าผลหมากเป็นเครื่องกดผ่าผลหมากแบบแบ่งครึ่งสมรรถนะของเครื่องผ่าผลหมากที่ความเร็วรอบที่เหมาะสม คือ 27 รอบ/นาที สมรรถนะในการทำงานของเครื่องอยู่ที่ 1,272 ผล/ชั่วโมง และมีประสิทธิภาพในการผ่าผลหมากอยู่ที่ 83.6 เปอร์เซ็นต์ [2] จากนั้นมีการพัฒนาเครื่องผ่าผลหมาก ซึ่งมีหลักการการทำงานของเครื่องผ่าผลหมากจะใช้ลูกสูบที่อยู่ในกระบอกสูบดันผลหมากผ่านใบมีดที่วางตามแนวตั้งตรงด้านหน้าของกระบอกสูบผลหมากจะถูกผ่าออกเป็นสองซีก ซึ่งสมรรถนะในการทำงานของเครื่องอยู่ที่ ความเร็วรอบ 90 รอบ/นาที สามารถผ่าผลหมากได้ 156 ผล/ชั่วโมง [3] อีกทั้งยังมีการสร้างเครื่องที่มีลักษณะใกล้เคียงคือเครื่องผ่าเมล็ดตาลเพื่อแยกจาวตาลออกจากเมล็ด โดยใช้เลื่อยวงเดือนเป็นชุดผ่าจากการทดสอบพบว่า เครื่องต้นแบบสามารถทำงานได้ดีที่สุดเมื่อใช้ใบเลื่อยวงเดือนของชุดผ่าขนาด 4 นิ้ว มีฟัน 40 ฟัน ทำงานที่ความเร็วรอบ 1,450 รอบ/นาที มีความสามารถในการทำงาน 46 เมล็ด/ชั่วโมง อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 0.99 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ระยะเวลาคืนทุน 2 เดือน [4] มีการสร้างเครื่องผ่าผลหมากสดแล้วนำไปตากแห้งเพื่อแปรรูปเป็นหมากแห้งขาย ซึ่งเครื่องประกอบด้วย ชุดลำเลียงผลหมาก ชุดผ่าผลหมาก การทำงานของเครื่อง

โดยใส่ผลหมากลงในภาชนะด้านบนของเครื่องโดยไม่ต้องคัดขนาด ผลหมากสดจะถูกลำเลียงไปยังชุดผ่าทำให้ผลหมากถูกผ่าออกเป็นสองซีกตามแนวยาวของผลจากการวิจัยพบว่าสมรรถนะของเครื่องสูงสุด 95 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วรอบ 14 รอบ/นาที สามารถผ่าผลหมากได้ 670 กิโลกรัม/ชั่วโมง และเครื่องสามารถผ่าผลหมากได้มากกว่าการผ่าด้วยแรงงานคน 9.57 เท่า [5] การผ่าผลหมากสดแล้วนำไปตากแห้งเพื่อแปรรูปเป็นหมากแห้งเป็นซีกขายเกษตรกรทางภาคใต้ของประเทศไทยประสบปัญหา จากฤดูแล้งระยะเวลาสั้นฤดูฝนมากกว่าฤดูแล้งจึงส่งผลกระทบต่อราคากดผลหมาก เกษตรกรส่วนใหญ่จะเก็บผลหมากที่ตกจากต้นจนแห้งแล้วนำมากะเทาะ ซึ่งเมื่อผลหมากอยู่ในเปลือกถึงแม้ว่าจะเปียกฝนก็ไม่เกิดการเสียหาย เมื่อมีเวลาวางเกษตรกรจึงนำผลหมากมากะเทาะเอาเปลือกออกซึ่งการกะเทาะเอาเปลือกออกในปัจจุบันยังคงต้องใช้แรงงานคนในการกะเทาะอยู่ซึ่งต้องใช้เวลาและแรงงานคนจำนวนมากในขั้นตอนนี้ รวมทั้งผู้ที่กะเทาะผลหมากแห้งจึงต้องมีความชำนาญ การทำหมากแห้งของเกษตรกรนั้นไม่มีเครื่องจักรเข้ามาช่วยในกระบวนการกะเทาะ ทำให้เกษตรกรไม่สามารถแปรรูปผลหมากได้เพียงพอกับความต้องการของตลาดจากเหตุผลดังกล่าวจึงได้ทำการศึกษาเครื่องจักรเพื่อนำมาสร้างเครื่องกะเทาะผลหมากแห้ง โดยมีการศึกษาเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวเพื่อเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาอุตสาหกรรมทางการเกษตรและใช้สอยในครัวเรือน โดยอาศัยหลักการทำงานของมอเตอร์เปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลทำให้ชุดเฟืองที่ต่อกับระบบการปอกเปลือกมะพร้าว การย่อยเปลือกมะพร้าวและการขูดมะพร้าว สามารถทำงานได้ทั้ง 3 ระบบ จากการทดสอบประสิทธิภาพพบว่าเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวสามารถปอกเปลือกมะพร้าวได้ 1 ลูกใช้เวลา 5 วินาที ย่อยเปลือกมะพร้าวเป็นชิ้นเล็กได้ 1 ลูก/30 วินาที และขูดมะพร้าวได้ 1 ลูก/50 วินาที [6] มีการออกแบบและสร้างเครื่องปอกเปลือกหมากแห้ง ซึ่งเครื่องประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ถังป้อนสำหรับใส่หมากแห้ง ชุดปอกเปลือก และระบบส่งกำลังที่ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร การปอกเปลือกอยู่ที่ชุดปอกเปลือก ซึ่งประกอบด้วยล้อยาง 2 ล้อ วางอยู่บนโครงสร้างเหล็กที่แข็งแรง ล้อทั้งสองถูกจัดวางให้อยู่ใกล้กันและหมุนไปในทิศทางเดียวกัน ช่วยกันดึงผลหมากแห้ง ใต้ล้อยางแต่ละล้อยังมีตะแกรงเหล็ก ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยให้เปลือกหมากหลุดออกได้อย่างง่ายดาย การทำงานของเครื่องเริ่มต้นจากการป้อนหมากแห้งเข้า

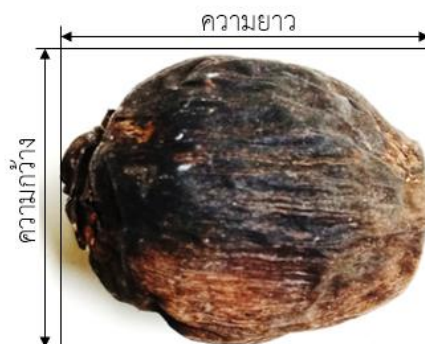
สู่ถังป้อน จากนั้นล้อยางจะหมุนดึงหมากแห้งเข้าไปบีบอัดกับตะแกรงเหล็กด้วยแรงเสียดทานจลน์ที่แตกต่างกันระหว่างล้อยางกับผลหมาก และผลหมากกับตะแกรงเหล็ก เปลือกหมากจะถูกแรงเฉือนและแรงบีบกระทำ ทำให้แตกออกอย่างรวดเร็วในช่วงล้อยางแรก และแรงเหวี่ยงของล้อแรกจะส่งลมมายังล้อยางที่สองที่ออกแบบให้ทำงานเหมือนกันทำการปอกเปลือกอีกครั้งเพื่อให้เปลือกแตกและแยกออกจากเมล็ดโดยสมบูรณ์ ผลการวิจัยพบว่า สภาพการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องคือ ใช้แรงดัน 138 กิโลพาสกาล รอบหมุนของล้อยาง 440 รอบ/นาที และช่องว่างระหว่างตะแกรงกับล้อยาง 15 มิลลิเมตร ผลหมากแห้งที่เหมาะสมในการปอกเปลือกควรมีความชื้น 6.31 เปอร์เซ็นต์ มาตรฐานเปียกสมรรถนะของเครื่องสามารถปอกเปลือกผลหมากแห้งแบบคละขนาดได้เมล็ดหมากเต็ม 64.4 เปอร์เซ็นต์ แม้จะมีเมล็ดหมากแตกเสียหาย 15.2 เปอร์เซ็นต์ และผลหมากที่ปอกไม่ออก 20.5 เปอร์เซ็นต์ แต่ประสิทธิภาพการผลิตโดยรวมก็ยังสูงถึง 76.9 เปอร์เซ็นต์ [7] ซึ่งมีการพัฒนาแนวคิดดังกล่าวนำไปกะเทาะผลหมากแห้งเพื่อที่จะออกแบบเครื่องที่มีสมรรถนะสูงขึ้น พบว่าความชื้นมีอิทธิพลต่อการทำงานของเครื่องกะเทาะผลหมากแห้ง ความชื้นที่เหมาะสมของผลหมากควรอยู่ระหว่าง 7 เปอร์เซ็นต์ ถึง 13.21 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก) เพื่อให้เครื่องทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ เครื่องกะเทาะผลหมากแห้งแบบ 2 ล้อหมุนในแนวระดับ ความสามารถในการกะเทาะเฉลี่ยสูงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ และผลิตหมากเต็มเมล็ดได้เฉลี่ย 60 เปอร์เซ็นต์ พร้อมความสามารถในการผลิตสูงสุดถึง 102 กิโลกรัม/ชั่วโมง และประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ 29.38 กิโลกรัม/กิโลวัตต์-ชั่วโมง เพื่อความสะดวกและปลอดภัย เครื่องกะเทาะผลหมากแห้งแบบล้อหมุนในแนวระดับจึงได้รับการพัฒนาขึ้น ด้วยความสามารถในการกะเทาะ 69.16 เปอร์เซ็นต์ และผลิตหมากเต็มเมล็ดได้ 96.42 เปอร์เซ็นต์ พร้อมความสามารถในการผลิตสูงสุด 61.05 กิโลกรัม/ชั่วโมง และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน 42.24 กิโลกรัม/กิโลวัตต์-ชั่วโมง ปริมาณการผลิตที่จุดคุ้มทุนพบว่า ต้องผลิตหมากเต็มเมล็ดแห้งปีละ 2,704 กิโลกรัม [8] ซึ่งจากการศึกษา งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าลักษณะทางกายภาพของผลหมากนั้นส่วนใหญ่ผลหมากจะมีลักษณะเป็นวงรีและมีขนาดไม่เท่ากันการกะเทาะผลหมากแห้งอาจจะต้องใช้แรงเสียดทานเพื่อที่จะสามารถกะเทาะผลหมากได้ทุกขนาดโดยไม่ต้องมีการคัดขนาด

จากงานวิจัยที่ผ่านมาเป็นการออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะผลหมากแห้งโดยอาศัยแรงเสียดทานจลน์ที่แตกต่างกันระหว่างล้อยางกับผลหมาก และผลหมากกับตะแกรงเหล็ก เพื่อแยกเปลือกให้หลุดออกจากเนื้อผลหมาก ซึ่งยังไม่มีการศึกษาหรือออกแบบและสร้างเครื่องที่อาศัยแรงเสียดทานระหว่างลูกกลิ้ง ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะผลหมากแห้งโดยอาศัยแรงเสียดทานของลูกกลิ้งหนามและลูกกลิ้งแบบร่องเพื่อฉีกเปลือกผลหมากแห้งให้แยกออกจากเนื้อผลหมากแห้ง เพื่อลดระยะเวลาการกะเทาะผลหมากแห้ง

2. อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบถึงลักษณะทางกายภาพของผลหมากแห้งได้แก่ ความกว้าง ความยาวของผลหมากแห้งที่มีขนาดใหญ่ที่สุดและเล็กที่สุด ดังรูปที่ 1 เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบและสร้างเครื่อง จากการวัดขนาดโดยสุ่มวัดผลหมากแห้งจำนวน 100 ผล ด้วยเวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ พบว่าความกว้างของผลหมากแห้งอยู่ระหว่าง 4 - 5 เซนติเมตร ความยาวของผลหมากแห้งอยู่ระหว่าง 6 - 7 เซนติเมตร จากค่าที่ได้จึงนำมาใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะผลหมากแห้ง

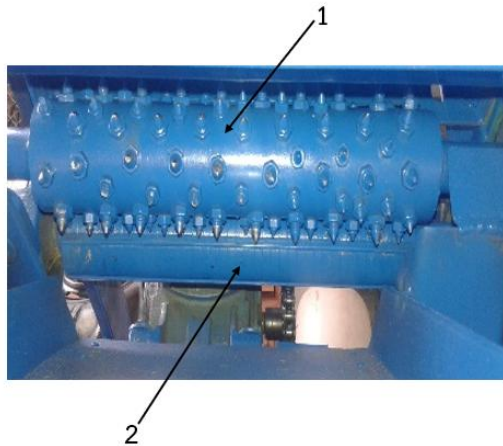
เนื่องจากในการทดลองผลิตผลที่ใช้ คือผลหมากพันธุ์กลมแป้นและพันธุ์กลมรีส่วนใหญ่จะมี 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ผลหมากมีขนาดใหญ่มากที่สุดที่ความกว้าง 5.3 เซนติเมตร ความยาว 7.4 เซนติเมตร ในการออกแบบจะให้มีลักษณะการกะเทาะตามแนวนอนของผลหมาก โดยการใช้แรงกะเทาะจากเพลลาแบบหนามและเพลลากะเทาะแบบร่อง ดังรูปที่ 2 ทำให้เกิดแรงเฉือนหรือฉีกระหว่างเพลากับผลหมากแห้งเพื่อดึงเปลือกออกจากผลหมาก



รูปที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของผลหมากแห้ง

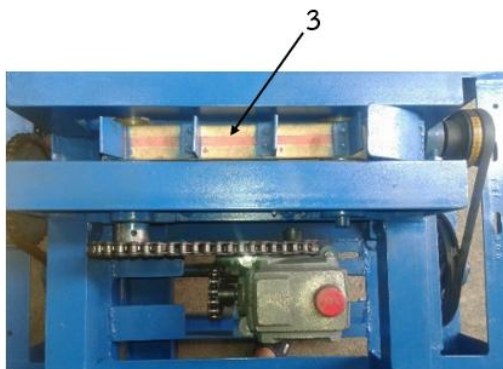
3. การออกแบบและสร้าง

การออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะผลหมากแห้งโดยใช้ชุดกะเทาะแบบหนามกับชุดกะเทาะแบบร่องในการฉีกเปลือกให้หลุดออกจากเมล็ดผลหมากที่อยู่ด้านใน



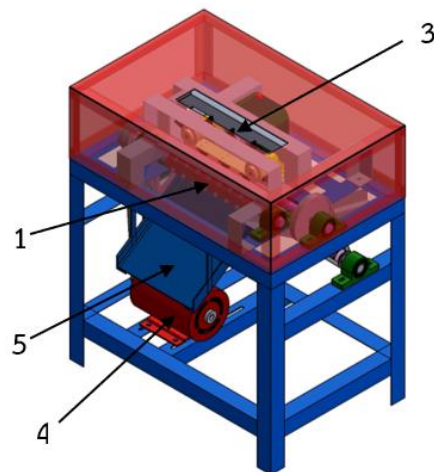
รูปที่ 2 ชุดกะเทาะแบบหนามและชุดกะเทาะแบบร่อง

การออกแบบชุดกะเทาะผลหมากแห้งโดยใช้ชุดกะเทาะแบบหนามกับชุดกะเทาะแบบร่อง เมื่อเครื่องทำงานผลหมากแห้งจะถูกลำเลียงโดยสายพานที่อยู่ด้านบนตรงกลางระหว่างชุดกะเทาะแบบหนามและชุดกะเทาะแบบร่อง โดยชุดกะเทาะทั้งสองจะหมุนในทิศทางเดียวกันแต่ความเร็วรอบต่างกัน ชุดกะเทาะแบบหนามจะหมุนเร็วกว่าชุดกะเทาะแบบร่อง เพื่อให้หนามของชุดกะเทาะมีโอกาสสัมผัสกับผิวเปลือกผลหมากแห้งมากยิ่งขึ้น ชุดกะเทาะแบบหนามจะมีหน้าที่ฉีกเปลือกผลหมากแห้งเพื่อให้เมล็ดผลหมากแห้งหลุดออกจากเปลือก จากนั้นเมล็ดผลหมากแห้งและเปลือกถูกเคลื่อนที่ออกจากช่องทางออกโดยแยกส่วนกัน



รูปที่ 3 ระบบสายพานลำเลียง

การออกแบบสายพานลำเลียง ตามรูปที่ 3 โดยกันเป็นช่องไว้สำหรับให้ผลหมากแห้งตกลงมาในร่องระหว่างเหล็กกัน ซึ่งออกแบบให้มีขนาดกว้างกว่าความยาวของผลหมากแห้งขนาดใหญ่ที่สุดคือ 7.4 เซนติเมตร ที่ได้จากการวัดขนาดทางกายภาพของผลหมากแห้งก่อนที่จะนำมาออกแบบและสร้าง ซึ่งเมื่อทำการออกแบบโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบแล้วจึงนำมาสร้างระบบลำเลียงผลหมากแห้งประกอบเข้าไปในเครื่องกะเทาะผลหมากแห้ง ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ส่วนประกอบเครื่องกะเทาะผลหมากโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ

ตารางที่ 1 ชิ้นส่วนเครื่องกะเทาะผลหมากแห้ง

หมายเลข	ชื่อ
1	ชุดกะเทาะแบบหนามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร
2	ชุดกะเทาะแบบร่องขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร
3	สายพานลำเลียงขนาด 6.2x30 เซนติเมตร
4	มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า
5	ทางออกเปลือกผลหมากแห้ง

เมื่อใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นแล้วประกอบเป็นเครื่องตามรูปที่ 4

4. เจื่อนไขในการทดลอง

4.1 การคำนวณหาขนาดมอเตอร์ [9]

นำผลหมากแห้งใส่ลงไปในร่องของสายพานลำเลียง จากนั้นนำประแจมาสวมเข้ากับเพลาลูกกลิ้งหนาม ที่ปลายประแจนำตาชั่งสปริงมายึดโดยตาชั่งสปริงจะต้องติดตั้งให้ตั้งฉากกับแกนของประแจ จากนั้น

ดึงตาสั่งสปริงให้ชุดลูกกลิ้งหมุนเคลื่อนที่เพื่อฉีกเปลือก
ผลหมากแห้ง จากนั้นอ่านค่าแรงที่ตาสั่งสปริง ได้แรง
 $F = 30$ นิวตัน โดยมีระยะ $r = 0.2$ เมตร (ระยะจุด
กึ่งกลางเพลาลูกกลิ้งหนามจนถึงปลายประแจที่ยึดกับ
ตาสั่งสปริง)

การหาแรงบิด [9]

$$T = F \times r \quad (1)$$

$$P = \frac{2\pi TN}{60} \quad (2)$$

เมื่อ T = แรงบิด (นิวตันเมตร)

F = แรงที่ใช้ฉีกผลหมากแห้ง (นิวตัน)

r = รัศมีระยะจุดกึ่งกลางเพลาลูกกลิ้งหนาม
จนถึงปลายประแจที่ยึดกับตาสั่งสปริง (เมตร)

P = กำลังมอเตอร์ (วัตต์)

N = ความเร็วรอบมอเตอร์ที่ใช้ (รอบ/นาที)

แทนค่าลงในสมการที่ (1) ได้ $T = 6$ นิวตันเมตร

จากการออกแบบอัตราทดของตัวขับเคลื่อนตัว
ตามเพื่อหาลำโพงมอเตอร์เนื่องจากมีข้อจำกัดเรื่อง
กำลังไฟสำหรับชุมชน ซึ่งควรใช้ขนาดมอเตอร์ไม่ควร
เกิน 1 แรงม้า ดังนั้นการออกแบบอัตราส่วนที่เหมาะสม
ระหว่างตัวขับเคลื่อนและตัวตามของชุดเกะเทาะแบบหนาม
และชุดเกะเทาะแบบร่อง คือ 1:1.5 และ 1:3 ตามลำดับ

การหาลำโพงมอเตอร์ที่ต้องใช้จากสมการ (2)
จะได้

$$P = \frac{2 \times 3.14 \times 6 \times 900}{60}$$

$$P = 607.6 \text{ วัตต์}$$

ซึ่งกำลังที่ได้เป็นกำลังทางกล ในงานวิจัย
เลือกใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลัง กำหนดให้มอเตอร์มี
ประสิทธิภาพ 85 เปอร์เซ็นต์ จะได้กำลังทางไฟฟ้างี้

$$\begin{aligned} 85 \text{ เปอร์เซ็นต์ ของกำลังไฟฟ้า} &= \text{กำลังทางกลที่ได้} \\ \text{ซึ่งจะต้องใช้กำลังทางไฟฟ้า} &= (607.6 / 0.85) \\ &= 714.8 \text{ วัตต์} \end{aligned}$$

ดังนั้น จึงเลือกใช้มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า

เมื่อออกแบบและสร้างขึ้นส่วนพร้อมทดสอบ
อุปกรณ์เพื่อหาค่าต่างตามที่ออกแบบไว้แล้วจึงประกอบ

เป็นเครื่องตามรูปที่ 5 การใช้งานของเครื่องผู้ใช้งานจะ
นำผลหมากแห้งใส่ลงในร่องสายพานลำเลียง สายพาน
ลำเลียงจะลำเลียงผลหมากแห้งให้เคลื่อนที่ผ่านชุด
เกะเทาะผลหมากแห้งแบบหนามและแบบร่อง ผลหมาก
แห้งจะถูกฉีกเปลือกโดยชุดเกะเทาะผลหมากแห้งทั้งสอง
เพื่อแยกเมล็ดหมากที่อยู่ด้านในเปลือกให้หลุด จากนั้น
เมล็ดและเปลือกจะออกทางช่องทางออกโดยแยกกัน



รูปที่ 5 เครื่องแกะเทาะผลหมากแห้ง

4.2 ขั้นตอนในการทดสอบเครื่องแกะเทาะผล หมากแห้ง

การแกะเทาะ คือการทำให้เปลือกและเนื้อ
เมล็ดหมากที่อยู่ด้านในหลุดออกจากกัน โดยมีลำดับ
ขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1) ทำการคัดขนาดของผลหมากแห้งให้มี
ขนาดที่ใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผลหมากแห้งที่นำมาแกะเทาะ

2) นำผลหมากที่คัดแยกแล้วมาชั่งน้ำหนัก 1
กิโลกรัม และนับจำนวนผลหมาก

3) เตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆเพื่อทำการ
ทดสอบ

4) ทำการเดินเครื่องกะเทาะผลหมากแห้ง พร้อมทั้งเริ่มจับเวลาเมื่อทำใส่ผลหมากแห้งลงบนสายพานลำเลียงของเครื่องกะเทาะผลหมากแห้ง เมื่อผลหมากกะเทาะหมด 1 กิโลกรัมให้หยุดเครื่องแล้วบันทึกและเก็บผลการทดลอง

5) นำผลหมากแห้งที่กะเทาะเสร็จแล้วมาแยกผลดี โดยลักษณะผลหมากที่กะเทาะออกจากเปลือกเป็นผลดี คือเมล็ดหมากสมบูรณ์ไม่มีการแตก ดังรูปที่ 7 ส่วนผลที่แตก คือผลหมากที่กะเทาะออกมาแล้วไม่สมบูรณ์ คือเมล็ดผลหมากมีการแตก ดังรูปที่ 8 และผลที่กะเทาะไม่ออก คือกะเทาะผลหมากแห้งแล้วไม่สามารถดึงเปลือกให้หลุดออกจากเมล็ดหมากได้ ดังรูปที่ 9 จากนั้นนำเปลือกผลหมาก และเมล็ดผลหมากที่ได้มาชั่งแล้วจดบันทึก

6) นับจำนวนผลหมากที่ชั่งแยกเป็นผลดี ผลที่แตก และผลที่กะเทาะไม่ออกมานับจำนวนผลทำการตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดหมากว่ามีการแตกหรือไม่แล้วบันทึกผล

7) ทำการทดสอบข้อ 4-6 ซ้ำเพื่อหาค่าเฉลี่ยของผลหมากดี ผลหมากที่แตก และผลหมากที่กะเทาะไม่ออก

8) นำค่าที่ได้คำนวณหาความสามารถในการกะเทาะผลหมากด้วยเครื่องซึ่งจะทำให้ทราบสมรรถนะของเครื่อง



รูปที่ 7 ลักษณะเมล็ดหมากดี



รูปที่ 8 ลักษณะเมล็ดหมากแตก

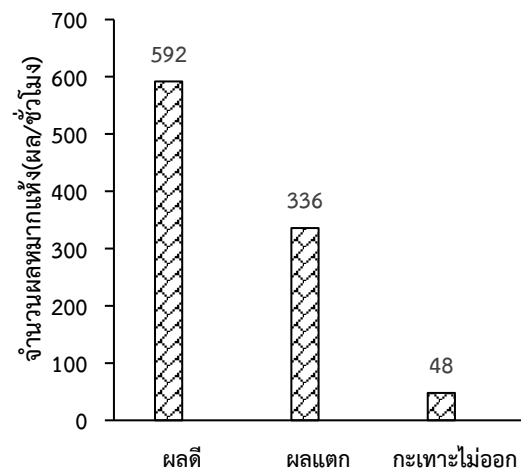


รูปที่ 9 ลักษณะเมล็ดหมากที่กะเทาะไม่ออก

5. ผลและวิจารณ์

5.1 การเปรียบเทียบจำนวนผลหมากแห้งที่ผ่านการกะเทาะโดยเครื่อง (ผล/ชั่วโมง)

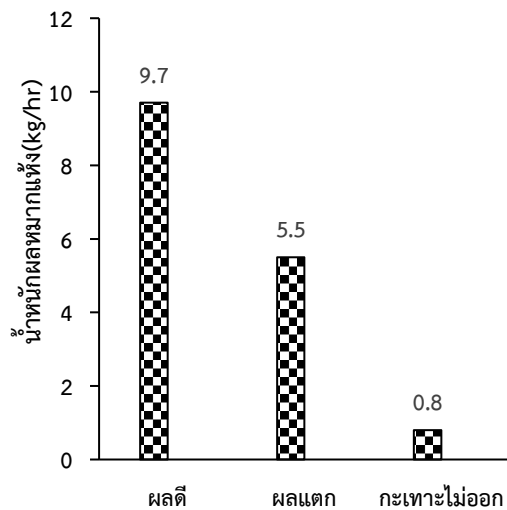
จากการทดลอง ตามรูปที่ 10 พบว่า ผลหมากแห้งที่ผ่านการกะเทาะเปลือกมีลักษณะผลดี ผลที่แตก และผลที่ กะเทาะไม่ออก 592 336 และ 48 ผลตามลำดับ ขนาดของผลหมากที่มีขนาดเหมาะสมในการกะเทาะโดยเครื่อง คือ 2 - 5 เซนติเมตร จึงจะทำให้การกะเทาะได้ผลหมากแห้งที่มีลักษณะตามที่ต้องการ



รูปที่ 10 อัตราการกะเทาะเปลือกโดยเครื่อง

5.2 การเปรียบเทียบจำนวนผลหมากแห้งที่ผ่านการกะเทาะโดยเครื่อง (กิโลกรัม/ชั่วโมง)

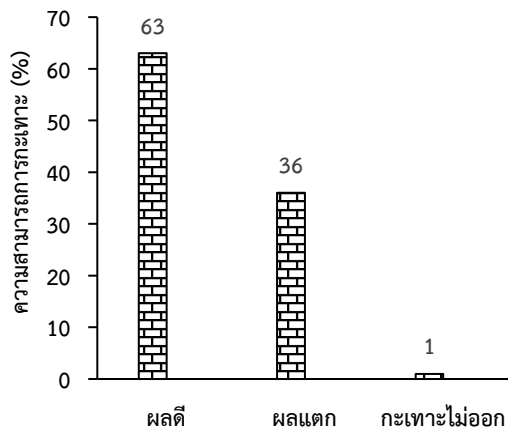
จากการทดลองพบว่า ผลหมากแห้งที่ผ่านการกะเทาะเปลือกมีลักษณะผลดี ผลที่แตก และผลที่กะเทาะไม่ออก 9.7 5.5 และ 0.8 กิโลกรัม/ชั่วโมงตามลำดับ ดังรูปที่ 11 ผลหมากที่แตกก็สามารถขายได้แต่ราคาจะถูกกว่าผลหมากดี



รูปที่ 11 ปริมาณผลหนักมากแห้งที่กะเทาะเปลือก
โดยเครื่องกะเทาะ

5.3 การเปรียบเทียบจำนวนผลหนักมากแห้งที่
กะเทาะโดยเครื่อง (เปอร์เซ็นต์)

จากการทดลองพบว่า ผลหนักมากแห้งที่ผ่าน
การกะเทาะเปลือกโดยเครื่องมีลักษณะผลดี ผลที่แตก
และผลที่กะเทาะไม่ออก 63 36 และ 1 เปอร์เซ็นต์
ตามลำดับ ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 สมรรถนะการกะเทาะเปลือก

ผลหนักมากที่กะเทาะเปลือกไม่ออกเกิดจากผล
หนักมากมีความชื้นสูง ส่งผลให้ชุดกะเทาะแบบหนามกับ
ชุดกะเทาะแบบร่องไม่สามารถดึงเปลือกผลหนักมากให้
แยกออกเมล็ดหนักมากที่อยู่ด้านในได้

5.4 ลักษณะของเมล็ดหนักมากหลังจากผ่านการ
กะเทาะเปลือกโดยเครื่อง

การที่เมล็ดหนักมากแตกต่างจากการกะเทาะโดย
เครื่องส่วนใหญ่เกิดจากผลหนักมากแห้งที่นำมากะเทาะ
อ่อนเกินไปและผลหนักมากมีขนาดเล็ก เมื่อผลหนักมากอยู่
ระหว่างชุดกะเทาะแบบหนามและชุดกะเทาะแบบร่อง
ผลหนักมากถูกชุดกะเทาะทั้งสองบีบจนเมล็ดแตก ส่วน
การกะเทาะเปลือกไม่ออกมีสาเหตุมาจากผลหนักมากมี
ความชื้นมากเกินไปส่งผลให้ชุดกะเทาะแบบหนามไม่
สามารถดึงหรือฉีกเปลือกออกได้หมด

6. การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม [10]

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของ
เครื่องกะเทาะผลหนักมากแห้งที่ออกแบบและสร้างขึ้นโดย
ประเมินจากกำลังการผลิตที่เครื่องทำได้และมูลค่า
ทางการตลาดซึ่งเมื่อใช้แรงงานคนปฏิบัติงาน 1 คน
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยใช้งาน 0.373 กิโลวัตต์-ชั่วโมง
ความสามารถในการกะเทาะผลหนักมากแห้งด้วยเครื่อง
9.7 กิโลกรัม/ชั่วโมง กำหนดให้เครื่องทำงาน 8 ชั่วโมง/
วัน ทำงานปีละ 365 วัน พบว่ามีระยะเวลาคืนทุนของ
เครื่องกะเทาะผลหนักมากแห้ง 3.8 เดือน

7. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบเครื่องกะเทาะผลหนักมากแห้งที่
ออกแบบชุดกะเทาะโดยใช้ชุดกะเทาะแบบหนาม
ร่วมกับชุดกะเทาะแบบร่องเพื่อให้เปลือกและเนื้อ
หลุดออกจากกัน ซึ่งสมรรถนะสูงสุดของเครื่องกะเทาะ
ผลหนักมากแห้ง สามารถกะเทาะเปลือกมีลักษณะผลดี ผล
ที่แตก และผลที่กะเทาะไม่ออก 9.7 5.5 และ 0.8
กิโลกรัม/ชั่วโมง ตามลำดับ หรือ 63 36 และ 1
เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเครื่องกะเทาะผลหนักมากแห้งสามารถ
กะเทาะผลหนักมากแห้งได้สม่ำเสมอและมีอัตราการผลิต
คงที่ถึงแม้ว่าจะทำงานเป็นระยะเวลานาน ซึ่งเมื่อ
เกษตรกรนำเครื่องกะเทาะผลหนักมากแห้งไปใช้จะมี
ระยะเวลาคืนทุน 3.8 เดือน

ข้อเสนอแนะ: ในการปรับปรุงและทดสอบเมื่อมีการ
พัฒนาเครื่องควรมีการเพิ่มจำนวนชิ้นการทดสอบให้
มากขึ้น และควรมีการทดสอบแปรค่าความเร็วรอบของ
ชุดกะเทาะแบบหนามและแบบร่อง ระยะห่างระหว่างชุด
กะเทาะทั้งสอง และความเร็วสายพานป้อนเพื่อจะได้ทราบ
อิทธิพลของตัวแปรเหล่านี้ต่อผลการกะเทาะได้ต่อไป

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนวัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการทำวิจัย

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Satsue P, Phitthayaphinant P. Status of dried betel nut production of farmers in Kong Ra District, Phatthalung Province. King Mongkut' s Agricultural Journal. 2016;34(3):22-32.
- [2] Suchatphong N, Muangkaew P. Design and construction of a betel nut cutting machine [Bachelor's thesis]. Pathum Thani: Rajamangala University of Technology Thanyaburi; 2011.
- [3] Seephunthong M, Ploikrajang A. Design and development of betel nut cutting machine [Bachelor's thesis]. Pathum Thani: Rajamangala University of Technology Thanyaburi; 2012.
- [4] Parnsakhorn S, Langkapin J, Kalsirisilp R. Design and fabrication of palmyra seed splitting machine. Khon Kaen Agriculture Journal. 2016; 44(3):451-60.
- [5] Yamfang M, Boonwan C, Preamjai N, Sukchana T, Guptasa M. Development of the fresh betel nut splitter with a semi-automatic operation for the betel nut processing. Area based development research journal. 2017; 9(6):420-9.
- [6] Poolsawat A. Coconut peeler 3 in 1 inch. [dissertation]. Surat Thani: Kanchanadit School Kanchanadit School Kanchanadit School; 2015.
- [7] Niamhom S. Development of betel peeling machine. [dissertation]. Bangkok: Kasetsart University; 2008.
- [8] Boonkrajang N. Horizontal rotating wheel type dry betel nut sheller. [dissertation]. Bangkok: Kasetsart University; 2007.
- [9] Ungbhakorn V, Thanadngarn C. Mechanical design. Bangkok: SE-Education; 2013. (In Thai)
- [10] Yaemphuan P. Engineering Economy. 2nd. Bangkok: SE-Education; 2000. (In Thai)

รูปแบบบทความสำหรับ วารสารแนวน้ำวิจัยนวัตกรรมทางวิศวกรรม

ปรกช สิริสุวัฒน์^{1*} สุมนมัลย์ เนียมกลาง² และกุลยา สาริชีวิน³
porakoch.s@en.rmutt.ac.th^{1*}, sumonman.n@en.rmutt.ac.th², kullaya.s@en.rmutt.ac.th³

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

²ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

³ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวเกี่ยวกับรูปแบบและวิธีการส่งบทความเพื่อเสนอต่อกองบรรณาธิการวารสารแนวน้ำวิจัยนวัตกรรมทางวิศวกรรม ผู้ส่งบทความต้องยึดรูปแบบตามบทความนี้อย่างเคร่งครัด บทความใดที่มีรูปแบบไม่ถูกต้องจะถูกส่งคืนเพื่อทำการแก้ไขก่อนนำส่งผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ หากไม่ทำการแก้ไขให้ถูกต้องกองบรรณาธิการจะทำการตัดสิทธิ์การส่งบทความนี้ ทั้งนี้บทคัดย่อต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ แต่ละภาษาควรมีเพียงย่อหน้าเดียว

คำสำคัญ: วิธีการส่งบทความ รูปแบบบทความ ขนาดตัวอักษร รูปแบบตัวอักษร การเว้นบรรทัด

Manuscript preparation guidelines for the papers submitted to frontiers in engineering innovation research

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

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

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

³Department 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 Frontiers in Engineering Innovation Research (FEIR). 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 no 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, 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. บทย่อดำเนินการ (Abstract) เป็นการสรุปประเด็นเนื้อหาที่เป็นแก่นสำคัญเน้นประเด็นสำคัญของงาน ที่ต้องการนำเสนอจริงๆ ควรเขียนให้สั้น และกระชับ

2.5. คำสำคัญ (Keywords) ให้ระบุไม่เกิน 3-5 คำ

2.6. บทนำ (Introduction) ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ผู้เขียนจงใจให้ผู้อ่านเกิดความสนใจในเรื่องนั้นๆ 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

การลำดับหัวข้อในส่วนของเนื้อเรื่องนี้ ให้ใส่เลขกำกับโดยให้บทนำเป็นหัวข้อหมายเลข 1 และหากมีการแบ่งหัวข้อย่อย ก็ใช้เลขระบบทศนิยมกับหัวข้อย่อย เช่น 1.1 เป็นต้น

2.7.1 การเขียนหน่วยต่างๆ

หน่วยในเนื้อหาจะต้องใช้เป็นรูปแบบเดียวกันทั้งฉบับ

ตารางที่ 1 การตั้งค่าน้ำกระดาษ

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

ตารางที่ 2 ขนาดตัวอักษรและการเว้นระยะพิมพ์บทความภาษาไทยและภาษาอังกฤษด้วยตัวอักษรรูปแบบ “TH SarabunPSK”

รายการ	ขนาด	ตำแหน่ง	ลักษณะ
ชื่อเรื่อง	18	กึ่งกลาง	ตัวหนา
ชื่อผู้เขียน อีเมล	14	กึ่งกลาง	ปกติ
ที่อยู่ผู้เขียน	12	ชิดซ้าย	ปกติ
บทย่อดำเนินการ	14	ชิดซ้าย	ปกติ
ชื่อหัวข้อ, หัวข้อย่อย	14	ชิดซ้าย	ตัวหนา
เนื้อความ	14	กระจายแบบไทย	ปกติ
คำบรรยายประกอบรูป	14	กึ่งกลาง	ปกติ
คำบรรยายประกอบตาราง	14	ชิดซ้าย	ปกติ
สมการต่างๆ (Cambria Math)	12	กึ่งกลาง	ตัวเอียง

ให้จัดเนื้อเรื่องในแต่ละบรรทัดเรียงชิดซ้าย และขวาอย่างสวยงาม เยื้องบรรทัดแรกของย่อหน้าใช้ 1 แท็บ หรือ 0.5 นิ้ว

2.7.2 การจัดทำรูปภาพ

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

ตัวอักษรทั้งหมดในภาพจะต้องมีขนาดใหญ่สามารถอ่านได้สะดวก

รูปภาพทุกรูปจะต้องมีหมายเลขและคำบรรยายได้ภาพ

คำบรรยายได้ภาพห้ามใช้คำว่า “แสดง” เช่น ห้ามเขียนว่า “รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง...” ที่ถูกต้องควรเป็น “รูปที่ 1 ตัวอย่าง.....”



รูปที่ 1 ตัวอย่าง....

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

2.7.3 การเขียนสมการ

สมการทุกสมการจะต้องมีหมายเลขกำกับอยู่ภายในวงเล็บและเรียงลำดับที่ถูกต้อง ควรใช้ตัวพยัญชนะเอียงแสดงถึงพารามิเตอร์หรือตัวแปรในสมการ ตำแหน่งของหมายเลขสมการจะต้องอยู่ชิดขอบด้านขวาของคอลัมน์ เว้นหนึ่งบรรทัดก่อนเขียนสมการ และเว้นหนึ่งบรรทัดหลังเขียนสมการ จัดให้สมการอยู่ตรงกลางคอลัมน์ ดังตัวอย่างนี้

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

เริ่มเขียนคำอธิบายตั้งแต่บรรทัดนี้

2.7.4 การจัดการทำตาราง

ตัวอักษรในตารางจะต้องไม่เล็กกว่าตัวอักษรในเนื้อเรื่อง ควรตีเส้นกรอบตารางด้วยหมึกดำให้ชัดเจน

ตารางทุกตารางจะต้องมีหมายเลขและคำบรรยายกำกับเหนือตาราง หมายเลขกำกับและคำบรรยายเหนือตารางห้ามใช้คำว่า “แสดง” เช่นเดียวกับกรณีรูปภาพ

เพื่อความสวยงามให้เว้นบรรทัดเหนือตาราง 1 บรรทัด และเว้นบรรทัดใต้คำบรรยายรูปภาพ 1 บรรทัด

2.7.5 ความยาวของบทความ

เมื่อรวมทุกส่วนแล้ว บทความไม่ควรจะมีความยาวน้อยกว่า 8 หน้า และยาวไม่เกิน 12 หน้า กระดาษ A4

2.7.6 กรณียบทความภาษาอังกฤษ

ผู้พิมพ์บทความเป็นภาษาอังกฤษ กรุณาดูคำแนะนำ วิธีการพิมพ์บทความภาษาอังกฤษที่แนบมาด้วย

2.7.7 การส่งบทความ

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



โดยต้องทำการลงทะเบียนเพื่อสมัครสมาชิกวารสารและนำส่งบทความวารสารต้นฉบับในรูปแบบไฟล์

- Word ● PDF
- แบบฟอร์มยืนยันการส่งบทความ

เพื่อลงตีพิมพ์ใน วารสารแนวนวหน้าวิจัยนวัตกรรมทางวิศวกรรม มายังระบบออนไลน์ และกรุณาจัดส่งแบบฟอร์มยืนยันการส่งบทความทางอีเมล enjournal@en.rmutt.ac.th มายังกองบรรณาธิการวารสารแนวนวหน้าวิจัยนวัตกรรมทางวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ครบถ้วน จึงจะถือว่าการส่งวารสารนั้นเสร็จสมบูรณ์

หากขั้นตอนการนำส่งวารสารทั้ง 2 ขั้นตอน คือ การส่งวารสารทางระบบออนไลน์ และ

การนำส่งแบบฟอร์มยืนยันการส่งบทความมายังอีเมล enjournal@en.rmutt.ac.th ไม่ครบถ้วนทั้ง 2 ขั้นตอน บทความนั้นจะถูกส่งคืน และไม่สามารถผ่านการพิจารณาได้

3. สรุป (Conclusion)

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

4. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)

ขอขอบคุณข้อมูลจาก 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] Charoennetku C, Khamput P, Chumprom P, Lukjan A. Porous concrete mixed with crumbs of prestressed concrete pile. *Frontiers in Engineering Innovation Research*. 2024;22(1):17-26.

ตัวอย่างการเขียนเอกสารอ้างอิง

(เครื่องหมายหมายถึง เว้นวรรค 1 ระยะ)

รูปแบบบทความวารสาร

(Articles in Journals)

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

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)

รูปแบบหนังสือและเอกสารเฉพาะเรื่อง

(Books and Other Monographs)

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

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

ตัวอย่าง(Example)

[6] Murray PR, Rosenthal KS, Kobayashi GS, Pfaller MA. *Medical microbiology*. 4th ed. St. Louis(MO): Mosby; 2002.

[7] Borkowski MM. *Infant sleep and feeding: a telephone survey of Hispanic Americans [dissertation]*. Mount Pleasant (MI): Central Michigan University; 2001.

รูปแบบสื่ออิเล็กทรอนิกส์

(Electronic Material)

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

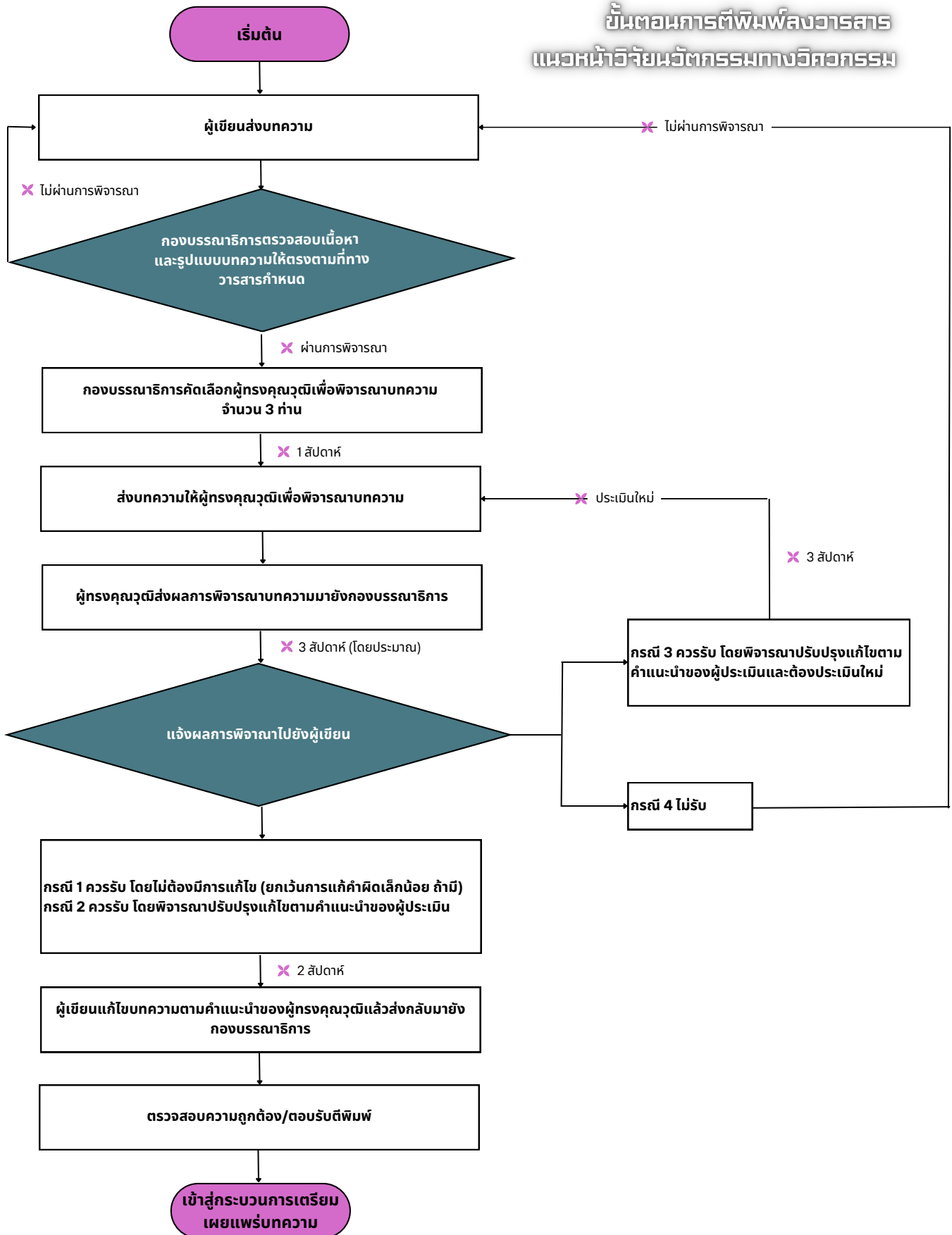
ตัวอย่าง(Example)

[9] Annas GJ. Resurrection of a stem-cell funding barrier--Dickey-Wicker in court. *N Engl J Med [Internet]*. 2010 [cited 2011 Jun 15];363:1687-9. Available from: <http://www.nejm.org/doi/pdf/10.1056/NEJMp1010466>

สามารถดาวน์โหลดรูปแบบบทความ Template ในรูปแบบ Word ได้ที่

<https://drive.google.com/drive/folders/1jPxtFBwmeIUTtRwHH3HEFLFuVZXsIOPV>

ขั้นตอนการตีพิมพ์ผลงานวารสาร แนวหน้าวิจัยนวัตกรรมทางวิศวกรรม



ในกรณี 2 และ 3 หลังจากบทความผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิฯ แล้ว ผู้เขียนควรพิจารณาการแก้ไขและส่งบทความกลับมาในระยะเวลาที่กำหนดหากล่าช้าเกิน 90 วัน (นับจากวันแจ้งแก้ไข) กองบรรณาธิการขอแจ้งไม่รับพิจารณาบทความโดยอัตโนมัติ และผู้เขียนไม่สามารถส่งบทความเข้าสู่ระบบได้เป็น ระยะเวลา 1 ปี (เนื่องจากมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการประเมินบทความ และขาดความต่อเนื่องในการพิจารณาบทความจากผู้ทรงคุณวุฒิฯ)

หมายเหตุ รวมระยะเวลาโดยประมาณ 90 วัน หากไม่มีการแก้ไขใดๆ เพิ่มเติม

**แบบฟอร์มการส่งบทความทางวิชาการ
เพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารแนวหน้าวิจัยนวัตกรรมทางวิศวกรรม**

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 FRONTIERS IN ENGINEERING INNOVATION RESEARCH

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 Frontiers in Engineering Innovation Research.

Sign

(.....)

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



FRONTIERS IN ENGINEERING INNOVATION RESEARCH

FACULTY OF ENGINEERING, RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI
39 MOO 1, RANGSIT-NAKHONNAYOK RD. (KLONG6), THANYABURI PATHUMTHANI 12110
TEL./FAX : 0 2 549 3493
E-MAIL : ENJOURNAL@EN.RMUTT.AC.TH