

การประดิษฐ์เครื่องขึ้นรูปภาชนะบรรจุอาหารจากกาบไผ่โดยวิธีการอัดร้อน

THE FABRICATION OF A FOOD CONTAINER FORMING MACHINE FROM BAMBOO CULM SHEATH BY HOT COMPRESSION MOLDING

บุปผชาติ ต่อบุญสูง*

Buppachat Toboonsung*

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

Physics Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Ratchasima Rajabhat University

*corresponding author e-mail: buppachat.t@nrru.ac.th

(Received: 9 January 2025; Revised: 19 April 2025; Accepted: 10 May 2025)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการประดิษฐ์และพัฒนาเครื่องขึ้นรูปภาชนะบรรจุอาหารจากกาบไผ่โดยใช้วิธีการอัดร้อน เครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยระบบการทำงาน 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ระบบกดอัด ซึ่งใช้แม่แรงระบบไฮดรอลิกในการขับเคลื่อนแม่พิมพ์สำหรับกดอัดวัสดุ และระบบให้ความร้อนที่ใช้ชุดหลอดความร้อน สามารถให้ความร้อนได้สูงสุดถึง 200 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 18 นาที โดยเครื่องนี้ใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 706.60 วัตต์ การทดสอบการขึ้นรูปภาชนะใส่อาหารจากกาบไผ่ พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูปอยู่ที่ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที ทำให้ภาชนะที่ได้มีความแข็งแรงสูงสุด โดยมีร้อยละการระเหยของน้ำเฉลี่ยสูงสุดที่ 24.96% นอกจากนี้การทดสอบการปนเปื้อนของเชื้อราในภาชนะจากกาบไผ่ พบว่า มีค่าการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์อยู่ในระดับต่ำมาก โดยประเมินจากค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity; a_w) ซึ่งอยู่ในช่วงที่ไม่เอื้อต่อการเจริญของเชื้อรา ภาชนะที่ได้มีคุณสมบัติด้านความทนทานต่อความร้อนดี มีค่าร้อยละความชื้นเฉลี่ย 6.12 ค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 0.19 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าร้อยละการดูดซึมน้ำเฉลี่ย 22.71 สำหรับอัตราการผลิตภาชนะจากกาบไผ่ด้วยเครื่องอัดที่ประดิษฐ์ขึ้น สามารถผลิตได้เฉลี่ย 10 ใบต่อชั่วโมง ซึ่งสะท้อนถึงประสิทธิภาพและศักยภาพในการนำเครื่องนี้ไปพัฒนาอาชีพและเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุธรรมชาติในระดับชุมชน

คำสำคัญ: เครื่องขึ้นรูป วิธีการอัดร้อน แม่แรงไฮดรอลิก กาบไผ่ ภาชนะบรรจุอาหารจากธรรมชาติ

Abstract

This research aims to design and develop a food container forming machine made from bamboo culm sheath using the hot-pressing method. The developed prototype machine consists of two main operational systems: a pressing system driven by a hydraulic jack to move the mold for material compression and a heating system that uses a heating coil, capable of reaching a maximum temperature of 200°C within 18 minutes. The machine operates at a maximum power of 706.60 watts. Testing of the bamboo culm sheath food container formation revealed that the optimal forming conditions were at 200°C for 5 minutes, resulting in the highest dryness with an average water evaporation percentage of 24.96%. Additionally, fungal contamination tests indicated extremely low microbial growth levels, as assessed by the water activity (a_w) value, which was within a range unfavorable for fungal development. The formed containers demonstrated excellent heat resistance, with an average moisture content of 6.12%, an average density of 0.19 g/cm³, and an average water absorption percentage of 22.71%. The production rate of bamboo sheath containers using the developed pressing machine averaged 10 pieces per hour, reflecting its efficiency and potential for use in community-level production to enhance the value of natural materials.

Keywords: Container forming machine, Hot compression molding, Hydraulic jack, Bamboo culm sheath, Natural food container

บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยและทั่วโลกประสบปัญหาเกี่ยวกับปริมาณขยะที่เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะ ขยะประเภทภาชนะใส่อาหารและเครื่องดื่มที่ทำจากโฟม เนื่องจากมีความสะดวกในการใช้งาน น้ำหนักเบา หาซื้อได้ง่าย และราคาไม่แพง แต่โฟมเป็นภาชนะที่สร้างปัญหาก่อให้เกิดมลพิษและทำให้ขยะล้นเมือง เพราะโฟมเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ต้องใช้เวลานานหลายร้อยปีจึงจะย่อยสลายหมดไป มีค่าใช้จ่ายในการกำจัดและใช้ได้เพียงครั้งเดียว อีกทั้งโฟมยังเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ทำให้เกิดแนวความคิดอนุรักษ์และปกป้องสิ่งแวดล้อมขึ้นอย่างต่อเนื่อง หลายๆ หน่วยงานจึงมีการศึกษาและผลิตภาชนะที่ทำจากวัสดุธรรมชาติเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติโดยใช้เวลาไม่นาน

การทำภาชนะจากวัสดุธรรมชาติ ยกตัวอย่างเช่น กาบหมาก (กิตติศักดิ์ และคณะ, 2564; ชาญณรงค์, อภิชาติ และภูวสิทธิ์, 2568) ผักตบชวา (ธีรภัทร และนิตต์อลิน, 2560; วรพจน์ และคณะ, 2565) เส้นใยเปลือกทุเรียน (วริศชนม์, 2564) ใบตอง (นธิทร และคณะ, 2564) และใบบัว (ไกรสร และปริดา, 2564) โดยปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูปภาชนะจากวัสดุธรรมชาติดังกล่าวมีหลากหลายประเด็น เช่น แรงกดของเครื่องมือ ระยะเวลา ความหนาของวัสดุ ซึ่งในบางวัสดุธรรมชาติ เช่น ใบตอง และผักตบชวาต้องใช้จำนวนชั้นเพิ่มขึ้นเพื่อให้ภาชนะเกิดความแข็งแรงและคงรูปได้ (ไกรสร และปริดา, 2564; นธิทร และคณะ, 2564; วรพจน์ และคณะ, 2565) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดและอุณหภูมิเป็นประเด็นสำคัญในการขึ้นรูปภาชนะจากวัสดุธรรมชาติ โดยงานวิจัยของ กิตติศักดิ์ และคณะ (2564) ได้แสดงให้เห็นว่าแรงอัดที่เหมาะสมและอุณหภูมิที่เหมาะสมจะส่งผลต่อความแข็งแรงและความคงรูปของภาชนะที่ผลิตจากกาบหมาก ในทำนองเดียวกัน วรพจน์ และคณะ (2565) ศึกษาการใช้ผักตบชวาในการขึ้นรูปภาชนะ โดยพบว่า การปรับแรงอัดและอุณหภูมิที่แตกต่างกันมีผลต่อความหนาแน่นและความทนทานของผลิตภัณฑ์ การประดิษฐ์เครื่องขึ้นรูปภาชนะที่ใช้ระบบนิวเมติกส์ (ธีรภัทร และนิตต์อลิน, 2560; มานิต, ปรีชาติ และบุญชริกา, 2564) แม้ว่าจะสามารถผลิตภาชนะได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่กลับมีต้นทุนเครื่องมือที่สูงและกระบวนการที่ซับซ้อน ทำให้ชุมชนและวิสาหกิจชุมชนไม่สามารถเข้าถึงเทคโนโลยีดังกล่าวได้

ด้วยเหตุนี้ผู้ประดิษฐ์จึงมีแนวความคิดในการประดิษฐ์เครื่องมืออย่างง่ายให้กับชุมชนสามารถพัฒนาวัสดุธรรมชาติผลิตเป็นภาชนะได้ โดยใช้หลักการอย่างง่าย ต้นทุนต่ำและเหมาะกับการใช้งานในระดับชุมชน โดยสามารถอัดใบไม้ได้หลากหลายชนิดจากแรงกดของผู้ใช้กับเครื่องอัดไฮดรอลิกร่วมกับการใช้อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมสำหรับวัสดุแต่ละชนิด โดยกาบไผ่มีพื้นผิวมันวาว หนา มีความแข็งแรงกว่าภาชนะที่ทำจากใบไม้ จึงไม่จำเป็นต้องนำมาซ้อนกันหลายชั้น (โสภิตา และคณะ, 2566) เนื่องจากมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยเส้นใยเซลลูโลสที่พื้นผิวมีความหยابขรุขระ ทำให้เส้นใยยึดติดกันดี และเส้นใยมีการจัดเรียงตามแนวยาว ส่งผลให้มีความแข็งแรงในการรับแรงอัดและแรงดัดสูง (ศศิวิมล และคณะ, 2566; Hui et al., 2017; Hui et al., 2023) อีกทั้งยังเป็นวัสดุธรรมชาติที่ไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์มากนัก รวมไปถึงในพื้นที่ของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา และจังหวัดนครราชสีมา มีสวนไผ่หลายพื้นที่ กาบไผ่จึงเป็นวัสดุที่น่าสนใจ ซึ่งในอนาคตจะช่วยส่งเสริมอาชีพให้กับชุมชน เกษตรกร ผู้สูงอายุ และบุคคลอื่นๆ ที่สนใจ อีกทั้งยังช่วยลดการเผาขยะทางการเกษตร ช่วยรักษาสสิ่งแวดล้อมช่วยพัฒนาอาชีพกิจกรรมในชุมชน เพิ่มรายได้ให้กับชุมชน และเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นอัตลักษณ์ของชุมชนได้อย่างยั่งยืนต่อไป

ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดการเพิ่มมูลค่าของวัสดุธรรมชาติโดยประดิษฐ์เครื่องต้นแบบในการขึ้นรูปภาชนะอาหารจากวัสดุธรรมชาติ ซึ่งเลือกวัสดุธรรมชาติเป็นกาบไผ่ โดยใช้ระบบควบคุมความร้อนร่วมกับเครื่องอัดไฮดรอลิกแบบมือโยก โดยกำหนดวัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือ เพื่อออกแบบและประดิษฐ์เครื่องขึ้นรูปภาชนะบรรจุอาหารโดยวิธีการอัดร้อน หาประสิทธิภาพทางด้านกำลังไฟฟ้าและระบบควบคุมความร้อนของเครื่อง ทดสอบการทำภาชนะจากกาบไผ่ด้วยเงื่อนไขต่างๆ พร้อมทั้งวิเคราะห์การมีอยู่ของเชื้อราในภาชนะจากกาบไผ่ และหาอัตราการผลิตภาชนะจากกาบไผ่ต่อชั่วโมง ซึ่งชุมชนจะสามารถเพิ่มมูลค่าจากกาบไผ่ ลดปัญหาขยะทางการเกษตรและมลพิษจากการเผาขยะในสิ่งแวดล้อม และสามารถพัฒนาต่อยอดให้เป็นประโยชน์กับชุมชนได้ในอนาคต

วิธีดำเนินการวิจัย

ลักษณะของการประดิษฐ์นี้ประกอบด้วยสองส่วนหลักๆ ส่วนแรก คือ การสร้างเครื่องกดอัดเพื่อให้มีแรงกดมากกระทบบนชิ้นของวัสดุธรรมชาติ โดยใช้เครื่องอัดไฮดรอลิกแบบมือโยกจะยืดออกเป็นตัวกดอัดการขึ้นรูปภาชนะ เพื่อช่วยเปลี่ยนรูปร่างตามแบบที่ต้องการ เมื่ออัดแล้วสามารถทำให้กลับสู่สภาวะเดิมด้วยการคลายเกลียวไฮดรอลิกและจะถูกดึงกลับด้วยสปริงที่ติดตั้งไว้ทั้งสองข้าง ส่วนที่สอง คือ ระบบให้ความร้อนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามชนิดของวัสดุธรรมชาติ ใช้สำหรับการให้ความร้อนในการช่วยเปลี่ยนรูปร่างจากวัสดุธรรมชาติ ให้เป็นภาชนะตามแบบที่ต้องการอีกหนึ่งระบบ และช่วยทำให้แห้ง พร้อมทั้งความร้อนจะช่วยยับยั้งการเกิดเชื้อรา เชื้อแบคทีเรียด้วย โดยผู้ใช้งานจะต้องเป็นผู้ควบคุมระยะเวลาในการผลิตภาชนะตามชนิดของวัสดุธรรมชาติ ดังนั้นเครื่องขึ้นรูปภาชนะจากวัสดุธรรมชาติโดยวิธีการอัดร้อนมีวิธีการดังต่อไปนี้

1. วางแผนและออกแบบเครื่องขึ้นรูปภาชนะวัสดุธรรมชาติโดยวิธีการอัดร้อน

การวางแผนและออกแบบเครื่องขึ้นรูปภาชนะวัสดุธรรมชาติโดยวิธีการอัดร้อน มีการออกแบบโครงสร้างเครื่องขึ้นรูปภาชนะ ขนาดและรูปแบบของภาชนะต้นแบบจากแม่พิมพ์ที่เป็นจานกลมทำจากสแตนเลสสำหรับใส่อาหาร ซึ่งแข็งแรงและทนความร้อน ระบบกดอัดภาชนะใช้แม่แรงไฮดรอลิก และใช้สปริงดึงกลับเมื่อกดอัดภาชนะเสร็จเรียบร้อยแล้ว ระบบให้ความร้อนใช้ขดลวดไฟฟ้าที่ใช้กับเตาไฟฟ้า จำนวน 2 ชุด เชื่อมต่อวงจรของขดลวดแบบขนานและนำไปเชื่อมต่อกับระบบควบคุมอุณหภูมิเพื่อควบคุมความร้อนของเครื่องขึ้นรูปภาชนะ

2. การหา กำลังไฟฟ้าของเครื่องมือ

ทำโดยวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของขดลวดความร้อนที่เชื่อมต่อกันแบบวงจรขนาน จากนั้นนำไปคำนวณหากำลังไฟฟ้า ดังสมการที่ 1

$$P = V^2 / R$$

(1)

เมื่อ P หมายถึง กำลังไฟฟ้า (วัตต์)

V หมายถึง ความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)

R หมายถึง ค่าความต้านทานไฟฟ้าของขดลวดความร้อน (โอห์ม)

3. การทดสอบประสิทธิภาพอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ

การดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของเครื่องขึ้นรูปภาชนะ มีการติดตั้งระบบให้ความร้อนเข้ากับขดลวดความร้อนที่อยู่ในส่วนของแม่พิมพ์ที่ใช้รองรับแรงกดอัดที่ใช้เครื่องอัดไฮดรอลิกเป็นชุดกดอัดในการขึ้นรูปภาชนะเข้ากับโครงสร้าง (สุชสวัสดิ์ และคณะ, 2566) การทดสอบอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของเครื่องขึ้นรูปภาชนะ โดยทดสอบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ทำประเมินระยะเวลาในการทำความร้อนให้ถึงอุณหภูมิเป้าหมาย โดยพิจารณาอัตราการเพิ่มอุณหภูมิบันทึกอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปทุก 1 นาที จากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส ทำการทดสอบ 3 ครั้ง

4. การขึ้นรูปภาชนะโดยใช้กาบไผ่โดยวิธีการอัดร้อน

นำกาบไผ่มาล้างทำความสะอาด โดยขัดล้างในน้ำเปล่าเพื่อล้างสิ่งปนเปื้อนที่ผิวของกาบไผ่ ฟึ่งลมทิ้งไว้ประมาณ 2 ชั่วโมง และทดสอบขึ้นรูปภาชนะจากกาบไผ่จากเครื่องที่ประดิษฐ์ขึ้น โดยศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสม ได้แก่ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอัดขึ้นรูปภาชนะ 5 นาที (วรพจน์ และคณะ, 2565) ทำการทดลองอุณหภูมิละ 3 ใบ เปรียบเทียบหาอุณหภูมิที่สามารถขึ้นรูปได้ดีที่สุด เมื่อได้อุณหภูมิที่เหมาะสมแล้วจึงนำไปศึกษาผลของระยะเวลาในการกดอัดภาชนะจากกาบไผ่เป็นเวลา 1 นาที 3 นาที และ 5 นาที บันทึกผลการทดสอบโดยการถ่ายภาพ และหาร้อยละการระเหยของน้ำสำหรับภาชนะหลังการขึ้นรูป ดังสมการที่ 2 (กิตติศักดิ์ และคณะ, 2564)

$$\text{ร้อยละการระเหยของน้ำ} = (W_1 - W_2 / W_1) \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ W_1 หมายถึง มวลของภาชนะก่อนขึ้นรูป (กรัม)

W_2 หมายถึง มวลของภาชนะหลังขึ้นรูป (กรัม)

5. การศึกษาสมบัติทางกายภาพของภาชนะจากกาบไผ่

ภาชนะจากกาบไผ่ที่ขึ้นรูปตามเงื่อนไขที่ดีที่สุด นำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพดังต่อไปนี้

5.1 การทดสอบการหาค่าความชื้นของภาชนะ การทดสอบทำโดยตัดภาชนะกาบไผ่ที่อัดขึ้นรูปจากเงื่อนไขที่ดีที่สุดให้มีขนาด 4x4 ตารางเซนติเมตร แล้วนำตัวอย่างที่ตัดแล้วไป

ซึ่งมวลก่อนอบ (m_1) จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งมวลหลังอบ (m_2) นำไปคำนวณค่าร้อยละปริมาณความชื้น ดังสมการที่ 3

$$\text{ร้อยละปริมาณความชื้น} = (m_1 - m_2 / m_1) \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ m_1 หมายถึง มวลของภาชนะก่อนอบ (กรัม)

m_2 หมายถึง มวลของภาชนะหลังอบ (กรัม)

5.2 การทดสอบหาค่าความหนาแน่นของภาชนะ (ρ) ตัดภาชนะที่อัดขึ้นรูปแล้วจากเงื่อนไขที่ดีที่สุดให้มีขนาด 4×4 ตารางเซนติเมตร นำตัวอย่างที่ตัดแล้วไปชั่งมวลให้ได้มวล (m) นำตัวอย่างที่ตัดแล้วมาวัดความหนาโดยใช้ไมโครมิเตอร์ แล้วคำนวณหาค่าความหนาแน่น ดังสมการที่ 4 (กิตติศักดิ์ และคณะ, 2564)

$$\rho = m / V \quad (4)$$

เมื่อ ρ หมายถึง ความหนาแน่นของภาชนะ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

m หมายถึง มวลของภาชนะ (กรัม)

V หมายถึง ปริมาตรของภาชนะ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

5.3 การทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำของภาชนะ ทำโดยตัดภาชนะที่อัดขึ้นรูปตามเงื่อนไขที่ดีที่สุดให้มีขนาด 2.50×5 ตารางเซนติเมตร นำตัวอย่างที่ได้มาชั่งมวลขึ้นงานก่อนแช่น้ำ จากนั้นนำตัวอย่างไปแช่น้ำปราศจากไอออนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 60 วินาที นำตัวอย่างมาชั่งมวลของภาชนะหลังการแช่น้ำ โดยทำตามมาตรฐาน ABNT NM ISO 535, 1999 แล้วคำนวณหาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ ดังสมการที่ 5 (กิตติศักดิ์ และคณะ, 2564; ชีรภัทร และนิตต์อลิน, 2560; ปัตติยา และคณะ, 2565)

$$\text{ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ} = (m_2 - m_1 / m_1) \times 100 \quad (5)$$

เมื่อ m_1 หมายถึง มวลของภาชนะก่อนการแช่น้ำ (กรัม)

m_2 หมายถึง มวลของภาชนะหลังการแช่น้ำ (กรัม)

6. การทดสอบการทนความร้อนของภาชนะกบไฟ

ทำการทดสอบทำโดยนำภาชนะที่อัดขึ้นรูปตามเงื่อนไขที่ดีที่สุดมาชั่งมวลเริ่มต้น (กรัม) ที่อุณหภูมิห้อง (29 องศาเซลเซียส) ต่อจากนั้นให้ความร้อนเริ่มต้นที่ 100 ถึง 300 องศาเซลเซียส โดยเพิ่มอุณหภูมิครั้งละ 50 องศาเซลเซียส ใส่ภาชนะจากกบไฟในเตาอบในแต่ละอุณหภูมิ เป็นเวลา 1 นาที แล้วนำออกมาชั่งมวลหลังให้ความร้อน พิจารณาร้อยละการสูญเสีย

มวลของภาชนะที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งเป็นข้อมูลการทดสอบการทนความร้อนของภาชนะ โดยร้อยละการสูญเสียมวลในแต่ละอุณหภูมิคำนวณ ดังสมการที่ 6

$$\text{ค่าร้อยละการสูญเสียมวล} = (m_1 - m_2 / m_1) \times 100 \quad (6)$$

เมื่อ m_1 หมายถึง มวลของภาชนะก่อนการให้ความร้อน (กรัม)

m_2 หมายถึง มวลของภาชนะหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ (กรัม)

นำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละการสูญเสียมวลของภาชนะจากกาบไผ่ ตัวอย่างเทียบกับอุณหภูมิความร้อนที่ให้กับภาชนะ ซึ่งจะได้ข้อมูลการทนความร้อนของภาชนะ โดยพิจารณาการร้อยละการสูญเสียมวลที่มากจะแปลผลเป็นภาชนะจะไม่ทนต่ออุณหภูมินั้น หากสูญเสียมวลน้อยภาชนะกาบไผ่สามารถทนต่อความร้อนที่ให้ได้ในเวลา 1 นาที

7. การทดสอบเชื้อราโดยวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water Activity, a_w)

ทำการทดสอบเชื้อราโดยวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ โดยทำการวิเคราะห์โดยนำภาชนะกาบไผ่ที่อัดขึ้นรูปจากเส้นใยที่ดีที่สุด เก็บภาชนะไว้ในที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน แล้วนำมาบดให้ละเอียดเป็นผง บรรจุใส่ภาชนะสำหรับเครื่องวัดค่า a_w รุ่น LABMASTER-NEO-AW ยี่ห้อ NOVASINA โดยใช้ ปริมาณ 3 กรัม ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

8. การทดสอบอัตราการผลิตจานกบไผ่

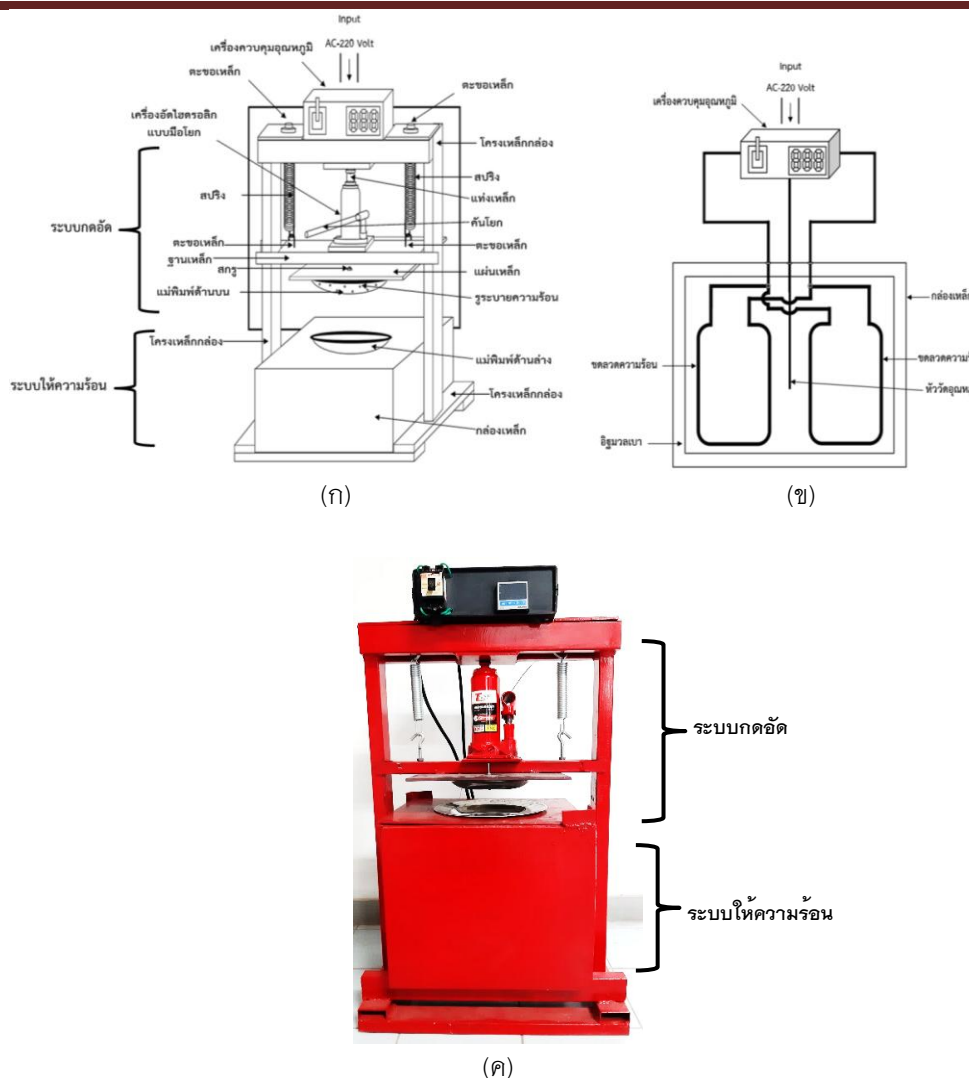
ทำการทดสอบอัตราการผลิตจานกบไผ่ของเครื่องขึ้นรูปภาชนะบรรจุอาหารจากกบไผ่ด้วยวิธีการอัดร้อน โดยใช้เส้นใยที่ดีที่สุดจากการอัดขึ้นรูปมาทดสอบการผลิตเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และอัตราการผลิตภาชนะต่อวัน (8 ชั่วโมง) (กิตติศักดิ์ และคณะ, 2564; มานิต, ปรีชาติ และบุญทริกา, 2564)

ผลการวิจัย

1. ผลการออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปภาชนะจากวัสดุธรรมชาติ

การออกแบบเครื่องขึ้นรูปภาชนะจากวัสดุธรรมชาติโดยวิธีการอัดร้อน แบ่งการทำงานเป็น 2 ระบบ ได้แก่ ระบบกดอัด และระบบให้ความร้อน ดังภาพที่ 1(ก) แสดงเครื่องขึ้นรูปภาชนะจากวัสดุธรรมชาติโดยวิธีการอัดร้อนตามการประดิษฐ์นี้ขณะเริ่มต้น คือ ยังไม่เกิดการกดอัด ดังภาพที่ 1(ก) ซึ่งมีองค์ประกอบหลักสองส่วน คือ ส่วนแรกเป็นระบบกดอัด ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกแบบมือโยก ขนาด 3 ตัน ที่เชื่อมต่อกับฐานหลัก ขนาด 1x2 นิ้ว ที่ปลายด้านบนของฐานหลักจะมีตะขอเหล็ก 2 ตัว เชื่อมติดอยู่ทั้ง 2 ข้าง และเชื่อมต่อกับแผ่นเหล็กหนา 5 มิลลิเมตร ขนาด 25x25 เซนติเมตร โดยด้านล่างของแผ่นเหล็ก มีแบบแม่พิมพ์ด้านบน ที่ใช้เป็น

ภาชนะสำหรับกวดอัดที่ติดสกรู 2 ตัว พร้อมกับเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร จำนวน 10-15 รู เพื่อให้ไอน้ำและความชื้นระเหยออกจากวัสดุธรรมชาติได้ บริเวณตะขอเหล็ก เชื่อมต่อกับปลายด้านล่างของสปริง 2 ตัว และที่ด้านบนของปลายสปริงแขวนไว้กับโครงเหล็กกล่องขนาด 1x2 นิ้ว ซึ่งมีตะขอ 2 ตัว เชื่อมติดไว้เช่นเดียวกัน โดยสปริงจะช่วยให้การกวดอัดภาชนะเกิดการสมดุลของระบบกวดอัดเมื่อเคลื่อนที่ขึ้นลง ขณะที่ยังไม่กวดอัดภาชนะสปริงจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง เมื่อมีการกวดอัดสปริงจะยึดตัวพร้อมกันกับเครื่องอัดไฮดรอลิกที่ยืดออกมาเพื่อกวดอัดภาชนะ และส่วนที่สอง คือ ระบบการให้ความร้อน ซึ่งประกอบไปด้วยกล่องเหล็กขนาด 30x30x30 เซนติเมตร ที่มีแบบแม่พิมพ์ด้านล่างสำหรับรองรับการกวดอัดภาชนะ และควบคุมความร้อนโดยเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งระบบให้ความร้อนมีรายละเอียด ดังภาพที่ 1(ข) รายละเอียดภายในของระบบให้ความร้อนที่ประกอบด้วย กล่องเหล็ก ซึ่งทำจากเหล็กแผ่นหนา 3 มิลลิเมตร ขนาด 30x30 เซนติเมตร เชื่อมติดกันให้เป็นกล่องเก็บกักความร้อน ภายในจะประกอบไปด้วย อิฐมวลเบา ความหนา 4 เซนติเมตร เป็นฉนวนความร้อนทุกด้าน ขดลวดความร้อนแบบแท่งทำหน้าที่ให้ความร้อน จำนวน 2 อัน ซึ่งต่อกันแบบขนาน แล้วเชื่อมต่อกับเครื่องควบคุมอุณหภูมิ รุ่น REX-C100 กำหนดและใช้วัดค่าอุณหภูมิได้ พร้อมต่อเข้ากับหัววัดอุณหภูมิ ชนิด K เพื่อใช้วัดอุณหภูมิในกล่องเหล็ก และสามารถควบคุมอุณหภูมิของระบบให้ความร้อนได้จากเครื่องควบคุมอุณหภูมิ เครื่องควบคุมอุณหภูมิจะเป็นตัวควบคุมการจ่ายไฟฟ้าให้กับขดลวดความร้อนแบบแท่งที่สอดคล้องกับอุณหภูมิที่ผู้ใช้กำหนด ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนถึง 200 องศาเซลเซียส ไม่ควรเกินกว่านี้ เพราะจะมีผลทำให้อุปกรณ์อื่นชำรุดเร็วขึ้น โดยอุณหภูมิและระยะเวลาในการอัดที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับวัสดุธรรมชาติที่นำมาใช้งาน จำนวนการผลิตภาชนะที่เหมาะสม คือ 1 ครั้งต่อ 1 ใบ โดยเครื่องขึ้นรูปภาชนะจากวัสดุธรรมชาติตามที่ออกแบบ ดังภาพที่ 1(ค)



ภาพที่ 1 ภาพวาดแสดงการออกแบบ (ก) เครื่องขึ้นรูปภาชนะจากวัสดุธรรมชาติโดยวิธีการอัดร้อน (ข) ระบบให้ความร้อนพร้อมเครื่องควบคุมอุณหภูมิ และ (ค) เครื่องขึ้นรูปภาชนะจากวัสดุธรรมชาติ

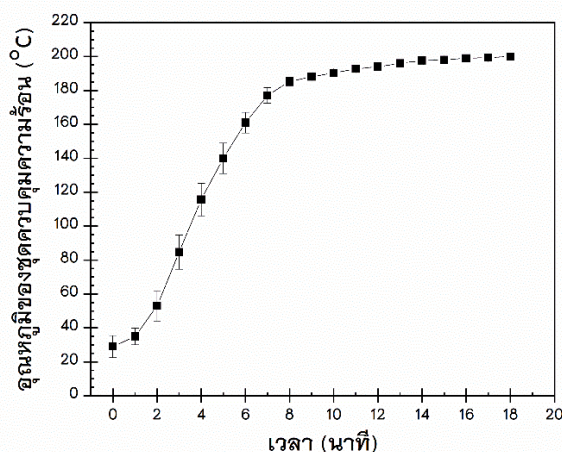
2. ผลการหาค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องมือ

การหาค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องมือทำโดยวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของขดลวดความร้อนได้ 68.50 โอห์ม ความต่างศักย์ไฟฟ้า 220 โวลต์ นำมาคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าจากสมการที่ 1 เครื่องอัดขึ้นรูปภาชนะจะมีค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องเท่ากับ 706.60 วัตต์ จากการเปรียบเทียบกับงานวิจัยของสุขสวัสดิ์ แก้วชลคราม และคณะ (2566) ซึ่งได้พัฒนาเครื่องอัดระบบไฮดรอลิกเพื่อขึ้นรูปกระถางต้นไม้จากวัสดุธรรมชาติ พบว่า เครื่องอัดดังกล่าวใช้กำลังไฟฟ้า

ในระดับใกล้เคียงกันที่ 700–720 วัตต์ และสามารถสร้างความร้อนได้สูงสุดที่ 190–200 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องในด้านการออกแบบและประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องมือที่ใช้ความร้อนในการอัดขึ้นรูปวัสดุธรรมชาติ ดังนั้นเครื่องอัดขึ้นรูปภาชนะจากกาบไผ่ที่พัฒนาขึ้นจึงแสดงให้เห็นถึงกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม ที่สามารถทำให้ได้ภาชนะที่มีคุณสมบัติที่ดี

3. ผลการทดสอบระบบการทำความร้อนของเครื่องขึ้นรูปภาชนะ

การทดสอบระบบการทำความร้อนของเครื่องขึ้นรูปภาชนะทำโดยการปรับชุดควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้ระบบชุดควบคุมอุณหภูมิทำงานที่ 200 องศาเซลเซียส และจับเวลาในการทำงานทุกๆ 1 นาที ผลที่ทำการทดสอบ ดังภาพที่ 2 พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิในช่วงแรกตั้งแต่อุณหภูมิห้องถึงอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 7 นาที มีการเพิ่มอุณหภูมิอย่างรวดเร็วในอัตรา 25.71 องศาเซลเซียสต่อนาที และช่วงที่ 2 มีอัตราในการเพิ่มอุณหภูมิน้อยกว่าช่วงแรก โดยใช้เวลาประมาณ 11 นาที เครื่องขึ้นรูปภาชนะจึงควบคุมอุณหภูมิถึง 200 องศาเซลเซียส พบว่า มีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 1.82 องศาเซลเซียสต่อนาที จากการทดสอบ พบว่า ใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 18 นาที และในช่วงแรกอุณหภูมิจะมีการเพิ่มขึ้นค่อนข้างเร็ว แต่เมื่อใกล้ถึงอุณหภูมิที่กำหนดจะมีอัตราการขึ้นที่ช้าและเสถียร ซึ่งเป็นประสิทธิภาพที่ดีและช่วยลดระยะเวลาในการเตรียมความพร้อมของเครื่องมือได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้งานวิจัยของ ไกรสร และปรีดา (2564) ที่เกี่ยวกับการออกแบบและพัฒนาเครื่องขึ้นรูปภาชนะจากใบบัว ยังระบุถึงความสำคัญของการควบคุมกำลังไฟฟ้าและอุณหภูมิในการขึ้นรูป ซึ่งพบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูปส่งผลโดยตรงต่อสมบัติทางกายภาพของภาชนะ ทั้งในด้านความแข็งแรง การคงรูป และการลดความชื้นที่ตกค้างในวัสดุอีกด้วย ดังนั้นเครื่องอัดขึ้นรูปภาชนะจากกาบไผ่ที่พัฒนาขึ้นจึงแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการควบคุมอุณหภูมิและกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม ส่งผลให้ได้ภาชนะที่มีความแห้ง ความแข็งแรง และมีคุณสมบัติที่ดี สามารถนำไปพัฒนาต่อเพื่อการผลิตในระดับชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

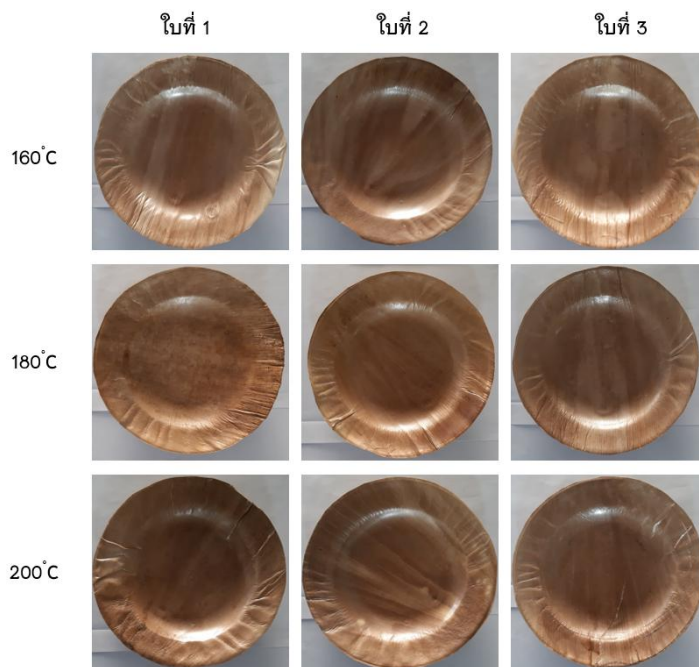


ภาพที่ 2 กราฟผลการทดสอบระบบการควบคุมความร้อนของเครื่องขึ้นรูปภาชนะที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

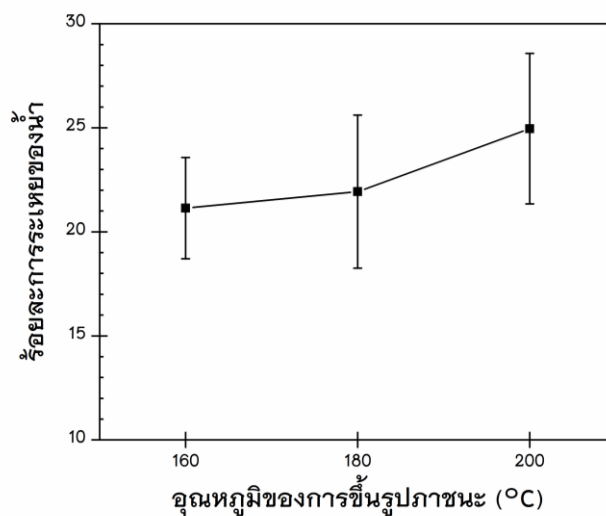
4. ผลการทดสอบการขึ้นรูปภาชนะจากกาบไผ่โดยวิธีการอัดร้อน

4.1 ผลของศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูปภาชนะ

การขึ้นรูปภาชนะจากกาบไผ่ใช้ไผ่กิมซุง มีแม่พิมพ์เป็นจานสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 เซนติเมตร การทดสอบการขึ้นรูปภาชนะจากกาบไผ่ใช้เวลาใบละ 5 นาที ที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส โดยชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการอัดและนำไปคำนวณร้อยละการระเหยของน้ำ ได้ผลการขึ้นรูป ดังภาพที่ 3 พบว่า ทุกอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดร้อนภาชนะจากกาบไผ่สามารถขึ้นรูปได้ แต่จะมีความเปื่อยขึ้นไม่เท่ากัน จึงนำไปคำนวณหาร้อยละการระเหยของน้ำ ดังภาพที่ 4 ซึ่งพบว่าค่าร้อยละการระเหยของน้ำเฉลี่ยในแต่ละอุณหภูมิเท่ากับ 21.14% 21.93% และ 24.96% ตามลำดับ การระเหยของน้ำในแต่ละอุณหภูมิไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อพิจารณาจากความคลาดเคลื่อน (Error bar) อย่างไรก็ตามการเลือกใช้อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเงื่อนไขในการขึ้นรูปภาชนะ เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่ทำให้การระเหยของน้ำสูงสุด แสดงว่าภาชนะจากกาบไผ่แห้งที่สุด ทำให้ภาชนะมีความแข็งแรง คงรูปดี และลดความเสี่ยงต่อการเกิดเชื้อราได้มากขึ้น ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ ชาญณรงค์ และคณะ (2568) ที่ศึกษาการขึ้นรูปภาชนะจากกาบหมาก พบว่า การใช้อุณหภูมิสูงในการอัดขึ้นรูปทำให้ภาชนะมีความแห้งและความคงรูปสูง ช่วยลดความชื้นและความเสี่ยงต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานของ วริศชนม์ และคณะ (2564) ที่พัฒนาบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยเปลือกทุเรียน โดยพบว่า การควบคุมอุณหภูมิและระยะเวลาในการขึ้นรูปส่งผลโดยตรงต่อค่าความชื้นและความแข็งแรงของภาชนะ ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การระเหยของน้ำมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพที่ดีขึ้น ดังนั้นจึงเป็นการยืนยันว่าอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เหมาะกับการขึ้นรูปภาชนะจากกาบไผ่โดยใช้เครื่องขึ้นรูปภาชนะที่ประดิษฐ์ขึ้น



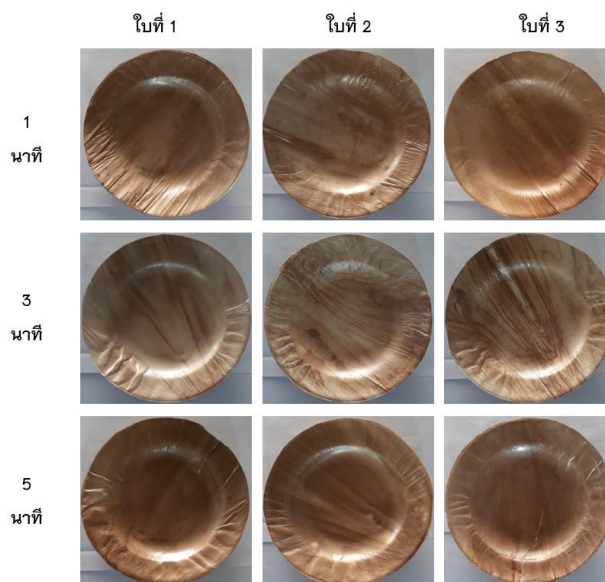
ภาพที่ 3 ภาชนะจากกาบไผ่ขึ้นรูปโดยกดอัดด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที



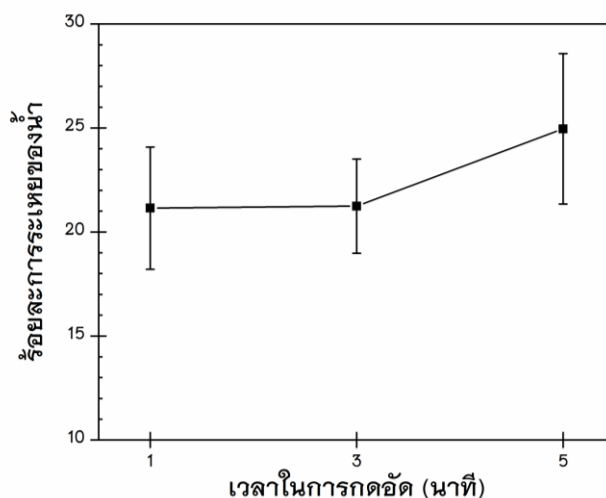
ภาพที่ 4 ร้อยละการระเหยของน้ำสำหรับภาชนะจากกาบไผ่หลังขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 180 และ 200 องศาเซลเซียส ที่เวลา 5 นาที

4.2 ผลการศึกษาอิทธิพลของเวลาในการขึ้นรูปภาชนะ

เมื่อทำการขึ้นรูปภาชนะจากกาบไผ่กิมซุง ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 1 นาที 3 นาที และ 5 นาที ตามลำดับ สามารถอัดขึ้นรูปภาชนะได้ ผลการขึ้นรูป ดังภาพที่ 5 พบว่า ภาชนะจากกาบไผ่มีค่าร้อยละการระเหยของน้ำเฉลี่ยเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการขึ้นรูปเท่ากับ 21.15% 21.24% และ 24.96% ตามลำดับ ดังภาพที่ 6 ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงเลือกขึ้นรูปภาชนะที่เวลา 5 นาที และใช้อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีค่าร้อยละการระเหยของน้ำมากที่สุด คือ 23.63% แสดงให้เห็นว่ามีการระเหยของน้ำออกจากภาชนะมากที่สุด ภาชนะจากกาบไผ่ที่อัดด้วยเครื่องขึ้นรูปภาชนะที่ประดิษฐ์ขึ้นจะมีความแข็งแรงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชาญณรงค์ และคณะ (2568) ที่ศึกษาการขึ้นรูปภาชนะจากกาบหมาก พบว่า ระยะเวลาการขึ้นรูปและอุณหภูมิที่เหมาะสมมีผลโดยตรงต่อความแข็งแรงและความคงรูปของภาชนะ นอกจากนี้ผลการศึกษาวิจัยยังสอดคล้องกับงานของ ชีรภัทร และนิตต์อลิน (2560) ซึ่งใช้เส้นใยผักตบชวาในการขึ้นรูปภาชนะแบบย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยพบว่าการควบคุมเวลาและอุณหภูมิในการขึ้นรูปมีผลต่อการระเหยของน้ำและคุณสมบัติทางกายภาพของภาชนะเช่นเดียวกัน รวมไปถึงงานวิจัยของ นธีทร และคณะ (2564) ที่ศึกษาลักษณะทางกายภาพของภาชนะจากวัสดุธรรมชาติ ยังยืนยันว่าค่าความชื้น ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำของภาชนะเป็นปัจจัยสำคัญ ที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และงานวิจัยของ สุขสวัสดิ์ และคณะ (2566) ที่ใช้เครื่องอัดระบบไฮดรอลิกในการขึ้นรูปกระถางต้นไม้จากวัสดุธรรมชาติ ก็ให้ผลในทิศทางเดียวกัน โดยระบุว่า การควบคุมอุณหภูมิและเวลาในการขึ้นรูปมีความสำคัญต่อความแข็งแรงและความคงรูปของผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 5 ภาชนะจากกาบไผ่ที่ขึ้นรูปโดยใช้เวลา 1 นาที 3 นาที และ 5 นาที ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 6 ร้อยละการระเหยของน้ำสำหรับภาชนะจากกาบไผ่หลังอัดขึ้นรูปโดยใช้เวลา 1 นาที 3 นาที และ 5 นาที ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

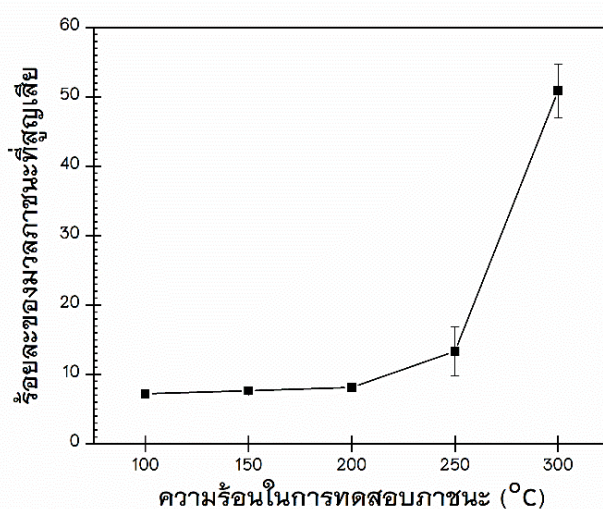
4.3 ผลทดสอบลักษณะทางกายภาพของภาชนะจากกาบไผ่

นำภาชนะจากกาบไผ่ที่ขึ้นรูปด้วยเงื่อนไขที่ดีที่สุดทดสอบสมบัติทางกายภาพ คือ ค่าร้อยละความชื้น ค่าความหนาแน่น และค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของภาชนะ พบว่า ค่าร้อยละความชื้นของภาชนะกาบไผ่โดยเฉลี่ยเท่ากับ 6.12 ± 0.662 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาและใช้งาน เนื่องจากความชื้นในระดับนี้ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดเชื้อรา และการเสื่อมสภาพของวัสดุ ค่าความหนาแน่นของภาชนะโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.19 ± 0.023 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สะท้อนถึงโครงสร้างของกาบไผ่ที่มีความแข็งแรงแต่ยังคงมีน้ำหนักเบา ซึ่งเป็นข้อดีสำหรับการใช้งานในชีวิตประจำวัน นอกจากนี้ค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของภาชนะกาบไผ่โดยเฉลี่ยเท่ากับ 22.71 ± 13.287 ซึ่งค่าความชื้น ค่าความหนาแน่นมีค่าใกล้เคียง แต่ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าต่ำกว่าภาชนะจากกาบหมากและกาบกล้วยของ กิตติศักดิ์ และคณะ (2564) การดูดซึมน้ำในระดับนี้ช่วยให้ภาชนะสามารถคงรูปและไม่เปราะแตกง่ายเมื่อสัมผัสกับของเหลว ซึ่งผลการทดสอบลักษณะทางกายภาพอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้สำหรับภาชนะจากวัสดุธรรมชาติ

4.4 ผลการทดสอบการทนความร้อนของภาชนะกาบไผ่

การทดสอบทำโดยนำภาชนะที่อัดขึ้นรูปตามเงื่อนไขที่ดีที่สุดมาให้ความร้อนเริ่มต้นที่ 100 ถึง 300 องศาเซลเซียส โดยเพิ่มอุณหภูมิครั้งละ 50 องศาเซลเซียส และคำนวณร้อยละการสูญเสียมวลของภาชนะที่อุณหภูมิต่างๆ เพื่อแสดงเป็นการทนความร้อนของภาชนะกาบไผ่ ดังภาพที่ 7 พบว่า ที่อุณหภูมิ 100 ถึง 200 องศาเซลเซียส ภาชนะจากกาบไผ่มีการสูญเสีย

มวลจากการให้ความร้อนน้อยที่สุดและใกล้เคียงกัน โดยมีค่าร้อยละการสูญเสียมวล 7.20–8.13 การลดน้ำหนักของภาชนะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย ซึ่งอาจมาจากการระเหยของความชื้นที่ตกค้างในวัสดุธรรมชาติ กาบไผ่ในช่วงนี้ยังคงสภาพและความแข็งแรงได้ดี เมื่ออุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เริ่มมีการสูญเสียมวลมากขึ้น โดยมีค่าร้อยละการสูญเสียมวล 13.32 สะท้อนว่าความชื้นภายในถูกจัดออกไปเกือบหมด พร้อมทั้งอาจมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพบางประการ เช่น การหดตัวหรือการแข็งตัวของโครงสร้างเส้นใย และอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียมวลมากที่สุด โดยมีค่าร้อยละการสูญเสียมวล 50.88 ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่สูงมาก ซึ่งอาจเกิดจากการเสื่อมสภาพของวัสดุ การเผาไหม้บางส่วนของเส้นใยธรรมชาติ หรือการสลายตัวขององค์ประกอบอินทรีย์ในกาบไผ่ จากลักษณะกราฟนี้แสดงว่าภาชนะจากกาบไผ่มีความทนทานต่อความร้อนในระดับหนึ่ง แต่เมื่ออุณหภูมิสูงเกิน 250 องศาเซลเซียส จะเกิดการเสื่อมสภาพและสูญเสียน้ำหนักอย่างมาก ซึ่งอาจเกิดจากการระเหยน้ำและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวัสดุ ดังนั้นจากการทดสอบนี้ภาชนะจากกาบไผ่สามารถทนต่ออุณหภูมิห้องจนถึง 200 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Manash & Shishir (2024) ที่พบว่า เส้นใยธรรมชาติรวมถึงเส้นใยกาบไผ่ที่จะสูญเสียมวลมากที่สุดในช่วง 200–435 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 7 ร้อยละของมวลภาชนะจากกาบไผ่ที่สูญเสียเนื่องจากการให้ความร้อนตั้งแต่ 100 ถึง 300 องศาเซลเซียส

4.5 ผลทดสอบเชื้อราของภาชนะจากกาบไผ่โดยวัดค่า α_w

นำภาชนะจากกาบไผ่ที่ขึ้นรูปโดยใช้เวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส แล้วนำเก็บใส่ถุงพลาสติก และทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน ไปทดสอบหาแนวโน้มการมีอยู่

หรือเป็นแหล่งของเชื้อราจากการการวัดค่า α_w ของภาชนะจากกาบไผ่ พบว่า ค่า α_w เฉลี่ยของภาชนะจากกาบไผ่เท่ากับ 0.239 ± 0.023 ซึ่งปริมาณที่วัดได้แสดงผลว่าภาชนะจากกาบไผ่ที่เป็นวัสดุธรรมชาติไม่ก่อให้เกิดเชื้อราหรือแบคทีเรียที่อยู่บนภาชนะจากวัสดุธรรมชาติ โดยหากค่า α_w มีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียง 0.60 เชื้อราจะมีแนวโน้มที่จะสามารถเกิดขึ้นที่ภาชนะได้

4.6 ผลการทดสอบหาอัตราการผลิตจานกาบไผ่ของเครื่องขึ้นรูปภาชนะบรรจุอาหารจากกาบไผ่โดยวิธีการอัดร้อน

การหาอัตราการผลิตจานกาบไผ่ของเครื่องขึ้นรูปภาชนะบรรจุอาหาร เมื่อทำความสะอาดกาบไผ่แล้ว นำกาบไผ่มาใส่เครื่องขึ้นรูปภาชนะแล้วใช้เวลาในการขึ้นรูปภาชนะ 5 นาที อุณหภูมิเท่ากับ 200 องศาเซลเซียส นำภาชนะจากกาบไผ่ออกจากเครื่อง และตัดตกแต่ง ใช้เวลาอีกประมาณ 1 นาที รวมทั้งหมดประมาณ 6 นาที ดังนั้นเวลา 1 ชั่วโมง จะสามารถทำการขึ้นรูปภาชนะจากวัสดุธรรมชาติได้ 10 ใบ และสามารถใช้งานได้ทุกใบคิดเป็น 100% เนื่องจากการขึ้นรูปภาชนะจากกาบไผ่มีกระบวนการคัดเลือกในตอนกลางทำความสะอาด และกาบไผ่มีความหนาและแข็งแรงดีกว่าใบตอง การอัดขึ้นรูปจึงใช้เวลามาก แต่สามารถใช้งานได้ทุกใบ ดังนั้นหากเครื่องขึ้นรูปภาชนะจากกาบไผ่ทำงาน 1 วัน เท่ากับ 8 ชั่วโมง (กิตติศักดิ์ และคณะ, 2564) จะสามารถผลิตภาชนะจากกาบไผ่ได้ประมาณ 80 ใบต่อวัน

อภิปรายผล

เครื่องขึ้นรูปภาชนะจากวัสดุธรรมชาติโดยใช้ระบบควบคุมความร้อนร่วมกับเครื่องอัดไฮดรอลิกแบบมือโยกตามการประดิษฐ์นี้ มีกำลังไฟฟ้าของเครื่องเท่ากับ 706.60 วัตต์ สามารถทำงานได้สูงสุดที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส การเปรียบเทียบเครื่องที่ประดิษฐ์กับเครื่องในท้องตลาดพบว่าส่วนใหญ่มักใช้ระบบไฟฟ้าและระบบนิวเมติกส์ ซึ่งแม้ว่าจะมีประสิทธิภาพสูงแต่มีข้อจำกัดในด้านต้นทุนและความซับซ้อนของการใช้งาน เครื่องในท้องตลาดบางรุ่นมีราคาสูงถึงหลักแสนบาท และต้องการการดูแลรักษาโดยผู้เชี่ยวชาญ นอกจากนี้ เครื่องเชิงพาณิชย์มักมีขนาดใหญ่ และใช้พลังงานสูง ทำให้ไม่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ในระดับชุมชน ในทางกลับกัน เครื่องขึ้นรูปภาชนะที่ประดิษฐ์ในงานวิจัยนี้ใช้ระบบไฮดรอลิกแบบมือโยกซึ่งมีโครงสร้างเรียบง่าย ใช้งานง่าย และมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่ามาก ประมาณหลักหมื่นบาทเท่านั้น อีกทั้งยังสามารถปรับแรงกดและอุณหภูมิได้ตามความเหมาะสมของวัสดุแต่ละชนิด ทำให้เครื่องนี้มีความยืดหยุ่นในการใช้งานและสามารถเข้าถึงกลุ่มชุมชนได้ง่ายกว่า

การศึกษาการอัดขึ้นรูปของบรรจุภัณฑ์อาหารจากกาบไผ่ พบว่าการขึ้นรูปภาชนะจากกาบไผ่ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที เป็นค่าที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปภาชนะให้มีรูปร่างสวยงาม มีความคงรูปชัดเจน และมีรอยละการระเหยของน้ำเฉลี่ยมากที่สุด การทดสอบเชื้อ

รายได้ พบว่า ผลิตภัณฑ์จากกาบไผ่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ ซึ่งอาจเนื่องมาจากการทำ
 ภาชนะจากกาบไผ่ไม่ต้องใช้ตัวประสานในการติดวัสดุธรรมชาติเหมือนกับการใช้ภาชนะจากใบตอง
 เส้นใยจากผักตบชวา อีกทั้งการขึ้นรูปภาชนะยังทำที่อุณหภูมิสูงถึง 200 องศาเซลเซียส จึงมี
 ไม่น้ำมันในการเกิดเชื้อจุลินทรีย์กับการผลิตภาชนะจากกาบไผ่ในเครื่องนี้ หากนำภาชนะจาก
 กาบไผ่ไปใช้งานภายในเวลา 7 วัน การทดสอบอัตราการผลิตภาชนะจากกาบไผ่ด้วยเครื่องขึ้นรูป
 ภาชนะที่ประดิษฐ์ขึ้นในงานวิจัยนี้ พบว่าเครื่องสามารถผลิตภาชนะได้ครั้งละ 1 ใบ มีอัตรา
 การผลิต 80 ใบต่อวัน ภาชนะจากกาบไผ่ทุกใบสามารถใช้งานได้เนื่องจากมีกระบวนการคัดเลือก
 กาบไผ่ก่อนนำมาขึ้นรูป ซึ่งในงานวิจัยเครื่องขึ้นรูปภาชนะจากวัสดุธรรมชาติที่ใช้ระบบควบคุม
 ต่างๆ เป็นไฟฟ้าและอัตโนมัติทั้งหมด เครื่องสามารถผลิตจานจากกาบไผ่ได้ 20 ใบต่อชั่วโมง
 และจากกาบกล้วยได้ 30 ใบต่อชั่วโมง โดยภาชนะที่ใช้ได้คิดเป็น 70% ของภาชนะทั้งหมด (กิตติ
 ตักดี และคณะ, 2564) ซึ่งเครื่องขึ้นรูปภาชนะบรรจุอาหารในงานวิจัยนี้ที่ควบคุมการขึ้นรูปด้วย
 เครื่องอัดไฮดรอลิกโดยใช้มือโยกและใช้ไฟฟ้ากับระบบควบคุมอุณหภูมิ มีการใช้ไฟฟ้าเฉพาะส่วน
 ควบคุมความร้อนเพียงส่วนเดียว ภาชนะจากกาบไผ่สามารถใช้งานได้ 100% ของภาชนะทั้งหมด
 แต่มีอัตราการผลิตต่อวันน้อยกว่าวัสดุธรรมชาติจากกาบไผ่และใบตอง (กิตติตักดี และคณะ,
 2564) ภาชนะจากกาบไผ่ไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ เครื่องขึ้นรูปภาชนะในงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้กับ
 วัสดุธรรมชาติชนิดอื่นได้ โดยจำเป็นต้องมีการทดสอบอุณหภูมิ และระยะเวลาที่เหมาะสมกับวัสดุ
 ธรรมชาติแต่ละชนิด ซึ่งชุมชนสามารถนำไปต่อยอดการประดิษฐ์และเกิดเป็นแนวทางใน
 การประกอบอาชีพต่อไป

สรุปผลการวิจัย

เครื่องขึ้นรูปภาชนะจากวัสดุธรรมชาติโดยใช้ระบบควบคุมความร้อนร่วมกับเครื่องอัด
 ไฮดรอลิกแบบมือโยกตามการประดิษฐ์นี้ มีองค์ประกอบหลัก 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นระบบกดอัด
 และส่วนระบบให้ความร้อน เครื่องนี้มีกำลังไฟฟ้า 706.60 วัตต์ การควบคุมอุณหภูมิมีการเพิ่มขึ้น
 อย่างรวดเร็วในช่วงแรกและเริ่มช้าลงเมื่อใกล้ถึงอุณหภูมิที่กำหนด การทดสอบการทำงาน
 มีการศึกษาการอัดขึ้นรูปของบรรจุภัณฑ์อาหารจากกาบไผ่ใช้อุณหภูมิ 160 ถึง 200 องศาเซลเซียส
 เวลาตั้งแต่ 1 ถึง 5 นาที พบว่า การขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที เป็น
 ค่าที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปภาชนะให้มีรูปร่างสวยงาม มีความคงรูปชัดเจน และมีร้อยละ
 การระเหยของน้ำเฉลี่ยมากที่สุด คือ 24.96% การทดสอบเชื้อราได้ค่า a_w เฉลี่ย คือ 0.239 ซึ่งมี
 ค่าน้อยมาก จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ แสดงว่าบรรจุภัณฑ์มีความปลอดภัยในการใช้บริโภค
 นอกจากนี้ภาชนะจากกาบไผ่ยังมีความทนทานต่อความร้อนได้ดี ค่าร้อยละความชื้นเฉลี่ย
 6.12 ± 0.662 ค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 0.19 ± 0.023 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าร้อยละ

การดูดซึมน้ำเฉลี่ย 22.71 ± 13.287 ทดสอบอัตราการผลิตภาชนะจากกาบไผ่ด้วยเครื่องขึ้นรูปภาชนะที่ประดิษฐ์ขึ้น พบว่า มีอัตราการผลิต 10 ใบ ต่อชั่วโมง ซึ่งเครื่องที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้สามารถนำไปถ่ายทอดเทคโนโลยีให้กับชุมชนต่อไปได้ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมาที่ให้การสนับสนุนงบประมาณยุทธศาสตร์เพื่อการพัฒนาท้องถิ่น สำหรับการพัฒนาเครื่องมือและนวัตกรรมเพื่อชุมชน ขอขอบคุณศูนย์ฝึกอบรมและวิจัยทางการเกษตร 100 ไร่ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา และคุณทรงยศ จำลอง मुख เจ้าของสวนไผ่กิมซุงโคราช บ้านโนนไม้แดงเหนือ ตำบลท่าช้าง อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดนครราชสีมา ที่ให้ความอนุเคราะห์กาบไผ่ และเป็นสถานที่ถ่ายทอดองค์ความรู้

เอกสารอ้างอิง

- กิตติศักดิ์ เมืองกลาง, ณัฐพงษ์ รักด่านกลา, ณัฐวุฒิ ดงกระโทก, ทักษิณัย จันทินอก, และธรรณธร ชิดการ. (2564). เครื่องขึ้นรูปภาชนะจากวัสดุธรรมชาติ. *Industrial Technology Journal*, 6(2), 65–76.
- ไกรสร วงษ์บุญ, และปริดา จีวปัญญา. (2564). การออกแบบและพัฒนาเครื่องขึ้นรูปภาชนะจากใบบัว. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา*, 6(1), 19–27.
- ชาญณรงค์ เรืองขจร, อภิชาติ เกื้อนพรม, และภูวสิทธิ์ เสียมสกุล. (2568). สภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปของเครื่องขึ้นรูปภาชนะจากกาบหมาก. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสู่ชุมชน*, 3(2), 14–24.
- ธีรภัทร หล้าบุญเรือง, และนิคตต์อลิน พันธุ์ภัย. (2560). การออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปภาชนะแบบย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากเส้นใยผักตบชวา. ใน *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31* (น. 481–488). นครนายก: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- นธีธร ม่วงเอี่ยม, พัฒนพงษ์ เพชรโต, พิษณุ ชาวพิจิตร, และปิยณัฐ ชุนทอง. (2564). การศึกษาลักษณะทางกายภาพของภาชนะจากธรรมชาติ. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม*, 3(1), 1–9.
- ปัตติยา ช่ออั้งชัน, ชุตินันท์ คชสิทธิ์, ภัฏญารัตน์ คงมั่น และธิดารัตน์ พรหมมา. (2565). ศึกษาคุณสมบัติของภาชนะที่ผลิตจากเส้นใยหญ้าขจรและเส้นใยผักตบชวา. ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติสำหรับนักศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ครั้งที่ 2* (น. 728–736). กำแพงเพชร: มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.
- มานิต สิงห์โคตร, ปรีชาติ ดิษฐกิจ, และบุญทริกา นันทา. (2564). การออกแบบและพัฒนาเครื่องมืออัดก้อนปลูกสำเร็จรูป. ใน *การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 11* (น. 1963–1975). นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- วรพจน์ แสงบุญเรือง, อดิศักดิ์ ศรีโชค, อัศวภูมิ เตือนเพ็ญ, และชานนท์ แนวจำปา. (2565). การออกแบบการทดลองและพัฒนาสร้างรูปแบบถ้วยจากผักตบชวา. *วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี*, 12(1), 53–66.

- วิศิชนม์ นิลนนท์, กุลพร พุทธิมี, จิรพร สวัสดิ์การ, คมสัน มุ้ยสี, และประมวณ ศรีกาหลง. (2564). การพัฒนาบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยเปลือกทุเรียนแบบฟอกขาวและไม่ฟอกขาว. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม**, 40(6), 422–429.
- ศศิวิมล ดอนชูไพร, รุ่งนภา ถังทอง, วรดา เหล่าวงโคตร, ปราณี เลิศแก้ว, ณิชฐพงศ์ ดิษฐเจริญ, และธิดารัตน์ พรหมมา. (2566). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพและความสามารถในการดูดซับน้ำมันจากเปลือกข้าวโพดและกาบไผ่. **วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์**, 15(21), 137–148.
- สุขสวัสดิ์ แก้วชลคราม, ทศนีย์ ทองกานเหลือง, สายนที จากถิ่น, และภัทราวรรณ คหะวงศ์. (2566). เครื่องอัดระบบไฮดรอลิคเพื่อขึ้นรูปกระถางต้นไม้จากวัสดุธรรมชาติ. **วารสารวิชาการเทปสตรี I-TECH**, 18(2), 172–182.
- โสภิตา ศุภเกียรติกุล, กนกพร คุ่มภัย, วิไลลักษณ์ นิยมมณีรัตน์, รัตนาพร จิตตรง, และบัวหลวง ฝ่ายเยื่อ. (2566). การศึกษาสมบัติเชิงกายภาพของกาบไผ่และความสามารถในการขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร. ใน **การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและนวัตกรรม ครั้งที่ 4** (น. 48–57). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- Hui, Z., Dongbo, X., Mao-biao, L., Juan, L., Lixia, Y., Changming, W., & Shuguang, W., (2023). Fiber properties and chemical compositions of sheaths from three selected sympodial bamboo species as raw materials for papermaking in Yunnan of China. **European Journal of Wood and Wood Products**, 81, 815–818.
- Hui, Z., Jing-wei, Z., Mao-biao, L., Chang-ming, W., & Shu-guang, W., (2017). Anatomical and chemical properties of bamboo sheaths (*Dendrocalamus brandisii*) as potential raw materials for paper making. **European Journal of Wood and Wood Products**, 75, 847–851.
- Manash, P.M., & Shishir, S. (2024). Thermal degradation study of natural fibre through thermogravimetric analysis. **Materials Today Proceedings**, 99, 92–97.