

เครื่องอัดกระถางจากขยะอินทรีย์ขนาดเล็กแบบกึ่งอัตโนมัติ

Semi-Automatic Small-Scale Organic Waste Pot Press Machine

นันทพร สุทธิประภา¹

Nanthaporn Sutthiphapa¹

¹คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

¹Faculty of Science, Ubon Ratchathani Rajabhat University

Received: November 7, 2025

Revised: March 3, 2026

Accepted: March 11, 2026

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอัดกระถางจากขยะอินทรีย์ขนาดเล็กแบบกึ่งอัตโนมัติ เพื่อเป็นทางเลือกในการจัดการขยะอินทรีย์ในมหาวิทยาลัยและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เครื่องจักรถูกออกแบบโดยใช้โครงสร้างเหล็ก ANSI MC/C ที่มีความแข็งแรงสูง สามารถรับแรงกดได้สูงสุด 12.27 ตัน โดยมีลักษณะเด่นคือขนาดกะทัดรัด เคลื่อนย้ายสะดวก และสามารถถอดประกอบได้ ส่วนด้านความแข็งแรงสามารถทนแรงกดได้ตามวัตถุประสงค์ มีต้นทุนต่อเครื่อง 45,000 บาท ผลการทดสอบประสิทธิภาพการขึ้นรูปพบว่า เส้นใยมะพร้าว เป็นวัสดุที่เหมาะสมที่สุด โดยสภาวะที่เหมาะสมในการอัด คือ อุณหภูมิ 120°C แรงดัน 110.32 bar (1600 psi) และใช้เวลาอัด 90 วินาที ซึ่งให้ผลิตภัณฑ์ที่ยึดเกาะแน่น รูปทรงสมบูรณ์ และไม่มีรอยไหม้ จากการประเมินผลโดยผู้เชี่ยวชาญพบว่าตัวเครื่องมีความเหมาะสมด้านการออกแบบและการใช้งานในระดับดี ด้วยค่าเฉลี่ย 4.44 (SD=0.56) ขณะที่ผลการประเมินจากผู้ใช้งานจริงจากผู้เชี่ยวชาญและนักศึกษาให้คะแนนความพึงพอใจเฉลี่ย 4.51 และ 4.45 (SD=0.60 และ 0.66) โดยระบุว่า ตัวเครื่องมีคู่มือการใช้งานที่เข้าใจง่ายและมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน นวัตกรรมนี้ช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับเศษวัสดุเหลือทิ้ง เช่น ใบตองและใยมะพร้าว แต่ยังเป็นโมเดลที่มีประสิทธิภาพในการจัดการขยะอย่างเป็นระบบและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในสถานศึกษาได้อย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: การลดก๊าซเรือนกระจก ขยะอินทรีย์ ความยั่งยืน เครื่องอัดกระถางกึ่งอัตโนมัติ เส้นใยมะพร้าว

Abstract

This research aimed to design and construct a semi-automatic, small-scale organic waste pressing machine to provide an alternative for campus-level organic waste management and greenhouse gas reduction. The machine features a high-strength structural design using ANSI MC/C steel, capable of withstanding a maximum compressive load of 12.27 tons. Its key characteristics include a compact size, portability, and a modular design for ease of disassembly. The structure demonstrated mechanical integrity sufficient for its intended purpose, with a production cost of 45,000 THB per unit. The performance testing revealed that coconut fiber was the most suitable material for compression molding. The optimal processing parameters were identified as a temperature of 120°C, a pressure of 110.32 bar (1600 psi), and a pressing duration of 90 seconds. These conditions yielded high-quality with strong fiber adhesion, perfect structural integrity, and no signs of thermal degradation. Expert evaluation regarding the machine's design and functionality resulted in a good level of satisfaction level with a mean score of 4.44 (SD = 0.56). Furthermore, user-end evaluations yielded a mean scores of 4.51 and 4.45 (SD = 0.60, 0.66), highlighting the user-friendly operational manual and the overall cost-effectiveness of the system. This innovation not only facilitates the valorization of agricultural residues, such as banana leaves and coconut coir, but also serves as an efficient model for systematic waste management and environmental sustainability within educational institutions.

Keywords: greenhouse gas mitigation, organic waste, sustainability, semi-automatic pressing machine, coconut fiber



บทนำ

วิกฤตการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ที่โลกกำลังเผชิญในปัจจุบัน มีสาเหตุหลักมาจากการสะสมของก๊าซเรือนกระจกจากการทำกิจกรรมของมนุษย์ ส่งผลให้หลายประเทศทั่วโลกกำหนดให้การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นยุทธศาสตร์เร่งด่วน สำหรับประเทศไทย ปัญหานี้ได้รับการบรรจุในแผนยุทธศาสตร์ชาติ และนโยบายการวิจัยแห่งชาติ โดยมุ่งเน้นการหาแนวทางที่เป็นรูปธรรมในการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

ในบริบทของพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ประสบปัญหาการจัดการขยะที่เพิ่มสูงขึ้นตามจำนวนประชากรนักศึกษา ส่งผลให้ระบบการกำจัดขยะเดิมขาดความสมดุล (imbalance) นำไปสู่ปัญหาด้านทัศนียภาพ สุขอนามัย และภาระค่าใช้จ่ายในการคัดแยกที่สูงขึ้น (Kaewphuang & Iamtumrat, 2021) จากสถิติปี 2566

พบว่า มหาวิทยาลัยมีปริมาณขยะอินทรีย์สูงถึง 21,248 กิโลกรัม (ร้อยละ 15 ของขยะทั้งหมด) (Environmental and Landscape Work, Ubon Ratchathani Rajabhat University, 2023) แม้จะมีการจัดการด้วยการทำเป็นอาหารสัตว์และปุ๋ยหมัก แต่กระบวนการเหล่านั้นยังคงมีข้อจำกัดด้านการใช้พื้นที่จำนวนมากและระยะเวลาในการย่อยสลายที่นานเกินไป

ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการออกแบบและสร้าง “เครื่องอัดกระถางจากขยะอินทรีย์ขนาดเล็กแบบกึ่งอัตโนมัติ” เพื่อเป็นนวัตกรรมทางเลือกในการจัดการขยะออร์แกนิก โดยมุ่งเน้นการเพิ่มมูลค่าขยะ (waste valorization) ลดข้อจำกัดด้านพื้นที่และเวลา และสร้างระบบการจัดการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งถือเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการสนับสนุนนโยบายการลดก๊าซเรือนกระจกและผลักดันมหาวิทยาลัยสู่ความยั่งยืนอย่างแท้จริง

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอัดกระถางจากขยะอินทรีย์ขนาดเล็กแบบกึ่งอัตโนมัติ

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบ

1. นิยามของการออกแบบผลิตภัณฑ์ (definition of product design) การออกแบบผลิตภัณฑ์เป็นกระบวนการสร้างสรรค์เพื่อตอบสนองความต้องการทางกายภาพและยกระดับคุณภาพชีวิตของมนุษย์ โดยมุ่งเน้นทั้งด้านฟังก์ชันการใช้งาน (utility) และสุนทรียภาพ (aesthetics) ภายใต้กระบวนการปรับปรุงหรือสร้างสรรค์สิ่งใหม่เพื่อความเหมาะสมในแต่ละบริบท (Keawpan et al., 2020)

2. องค์ประกอบเชิงทัศนศิลป์ในการออกแบบ (elements of design visuals) เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความสมบูรณ์ ผู้ออกแบบจำเป็นต้องประยุกต์ใช้หลักการทางศิลปะ (Nimsamer, 2011) ดังนี้ เอกภาพ (unity) ดุลยภาพ (balance) และความสัมพันธ์ทางสุนทรียศาสตร์

3. หลักเกณฑ์การออกแบบผลิตภัณฑ์ 10 ประการ (principles of product design) ในการสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพ ผู้ออกแบบต้องพิจารณาเกณฑ์มาตรฐาน 10 ด้าน (Charungchittisunthorn, 2005) ซึ่งสอดคล้องกับการพัฒนาเครื่องอัดกระถาง ดังนี้ หน้าที่ใช้สอย (function) ความงาม (aesthetics) การยศาสตร์ (ergonomics) ความปลอดภัย (safety) โครงสร้าง (construction) ราคา (cost) วัสดุ (materials) กระบวนการผลิต (production) ความง่ายต่อการบำรุงรักษา (ease of maintenance) และการขนส่ง (transportation)

4. การออกแบบแม่พิมพ์และกระบวนการขึ้นรูป (mold design and forming processes)

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี CAD/CAM ในการออกแบบและจำลองชิ้นส่วนแม่พิมพ์ ช่วยให้การผลิตมีความแม่นยำและลดข้อผิดพลาด สำหรับการผลิตภาชนะหรือกระถางจากพอลิเมอร์ธรรมชาติ (bio-polymers) กระบวนการที่นิยมใช้ คือ การอัดขึ้นรูป (compression molding) ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการทำให้ชิ้นงานมีความสม่ำเสมอ ลดต้นทุนในการผลิตจำนวนมาก และมีหลักการใกล้เคียงกับการขึ้นรูปพลาสติกทางวิศวกรรม (Boonchouytan et al., 2021)

5. การหาประสิทธิภาพเครื่องอัดขึ้นรูปกระถาง โดยศึกษาประสิทธิภาพ 2 ด้าน ดังต่อไปนี้ (Sawaiamon et al., 2023)

1. ด้านคุณสมบัติของกระถาง

1) ความแข็งแรง (ความไม่สมบูรณ์ของกระถางที่อัดขึ้นรูป)

2) การยุ่ยของกระถางที่อัดขึ้นรูป

3) การไหม้ของกระถางที่อัดขึ้นรูป

2. ด้านขนาดของกระถางแม่พิมพ์ ขนาด 150x110x110 มม. หนา 3 มม. พิกัดความเผื่อ ± 0.2 มม.

ทฤษฎีการขึ้นรูปวัสดุและบรรจุภัณฑ์ชีวภาพ

1. กระบวนการขึ้นรูปเยื่อและวัสดุธรรมชาติ (molded fiber technology) การขึ้นรูปภาชนะ (molded pulp) คือ เทคนิคการเปลี่ยนรูปเยื่อกระดาษหรือเส้นใยธรรมชาติให้เป็นโครงสร้างสามมิติ โดยใช้การกรองผ่านตะแกรงแม่แบบ (screen mold) ซึ่งมีหลักการคล้ายกับการผลิตกระดาษแต่เน้นมิติเชิงลึก

การประยุกต์ใช้: นิยมใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์กันกระแทก ภาชนะอาหาร หรือภาชนะที่ใช้แล้วทิ้ง (disposable) เพื่อทดแทนโฟมและพลาสติก

ข้อเด่นเชิงวิศวกรรม: มีอัตราเสี่ยงต่อการติดไฟต่ำ ไม่เกิดไฟฟ้าสถิต และสามารถปรับปรุงคุณสมบัติได้ด้วยการเติมสารเสริม (additives) เช่น สารกันน้ำ สารต้านทานไขมัน (fluorocarbon) หรือสารเพิ่มความแข็งแรงเมื่อเปียก (wet-strength resins) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานเฉพาะทาง (Tantrabandit, 2002)

2. ทฤษฎีการขึ้นรูปด้วยความร้อนและความดัน (thermoforming and pressure principles)

กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน 3 มิติ โดยอาศัยความร้อนเพื่อให้วัสดุ (เช่น แผ่นพลาสติกหรือวัสดุเชิงประกอบ) อ่อนตัวจนมีความยืดหยุ่นคล้ายยาง (rubber-like state) ก่อนจะบังคับให้เข้ารูปตามแม่พิมพ์ โดยมีวิธีหลักที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยดังนี้

2.1 Vacuum Forming: การใช้ระบบสุญญากาศดูดวัสดุให้แนบกับแม่พิมพ์ (ตัวผู้หรือตัวเมีย)

2.2 Pressure Forming: การใช้ลมอัด (compressed air) ดันวัสดุให้ติดแนบกับแม่พิมพ์ด้วยความดันสูง (14.5-300 psi) ซึ่งช่วยให้ชิ้นงานมีรายละเอียดที่คมชัดและลดการเย็นตัวก่อนเข้ารูป

2.3 Mechanical Stretch Forming (plug forming): การใช้แรงกลจากกระบอกลูกสูบไฮดรอลิกอัดวัสดุลงในแม่พิมพ์โดยตรง ซึ่งอาจใช้สุญญากาศหรือความดันร่วมด้วยเพื่อให้ได้รูปทรงที่แม่นยำ (Maturasamontri et al., 2006)

3. การประยุกต์ใช้ในงานวิจัย (research integration) ในการผลิตภาชนะบรรจุที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradable packaging) เทคนิคที่เหมาะสมที่สุด คือ การอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน (compression molding) ซึ่งเป็นการผสมผสานระหว่างแรงอัดทางกล (mechanical pressure) และความร้อน (thermal energy) เพื่อให้โครงสร้างของเส้นใยธรรมชาติเกิดการพันธะและยึดเกาะกันอย่างหนาแน่น มีความแข็งแรง และคงรูปทรงตามแม่พิมพ์ที่ออกแบบไว้ (Maturasamontri et al., 2006; Miengarrom & Ketkaew, 2021)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Sawaiamon et al. (2023) ดำเนินการศึกษากการออกแบบและพัฒนาเครื่องอัดขึ้นรูปกระถางจากฟางข้าว โดยใช้ซอฟต์แวร์ช่วยในการออกแบบโครงสร้างเครื่องจักร ขนาด 65x65x130 ซม. ผลการทดสอบประสิทธิภาพการขึ้นรูปจำนวน 9 ครั้ง พบว่า เครื่องสามารถผลิตกระถางที่มีความแม่นยำสูง โดยมีขนาดเฉลี่ยของปากกระถาง 149.67 มม. ก้นกระถาง 109.22 มม. และความหนา 2.74 มม. นอกจากนี้ การวิเคราะห์ความคงตัวของรูปทรง (shape stability) พบว่า กระถางไม่มีการคืนตัวหรือบิดเบี้ยวหลังการขึ้นรูป ในด้านการยอมรับของเทคโนโลยี ผลการประเมินจากผู้ใช้งานจริงในพื้นที่จังหวัดสุพรรณบุรีระบุว่ามีความพึงพอใจต่อประสิทธิภาพของเครื่องจักรในระดับดีมาก ($\bar{x}=4.7$ SD=0.49) ซึ่งยืนยันถึงศักยภาพของนวัตกรรมในการจัดการวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรได้อย่างเป็นรูปธรรม

Homkhiew et al. (2023) ศึกษาสมบัติทางกายภาพของกระถางเพาะกล้าไม้ที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยใช้เทคนิคการอัดขึ้นรูปด้วยระบบไฮดรอลิก (อุณหภูมิ 180°C ความดัน 12.41 MPa ระยะเวลา 20 นาที) ผลการทดสอบเปรียบเทียบอัตราส่วนผสมระหว่างทะลายปาล์มน้ำมันและขี้เลื่อยไม่ยางพาราใน 3 รูปแบบ (50:50 70:30 และ 100:0) พบว่า อัตราส่วน 70:30 เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการขึ้นรูป เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำสูงที่สุดและมีอัตราการย่อยสลายที่รวดเร็วที่สุดเมื่อเทียบกับสูตรอื่น นอกจากนี้ การทดสอบในสภาวะปลูกจริงแสดงให้เห็นว่า ปริมาณทะลายปาล์มน้ำมันที่สูงกว่าขี้เลื่อยไม่มีผลโดยตรงต่อการเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำและการเสื่อมสภาพตามธรรมชาติของกระถาง ซึ่งถือเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของกล้าไม้และการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม

Suwanarat et al. (2021) ได้พัฒนาระบบไฮดรอลิกสำหรับการผลิตกระถางต้นไม้ชีวภาพจากช่อดอกตัวผู้ของปาล์มน้ำมัน โดยตัวเครื่องมีประสิทธิภาพในการขึ้นรูปสูง ใช้เวลาเพียง 1 นาทีต่อหน่วย ผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วนผสมระหว่างช่อดอกตัวผู้ของปาล์มน้ำมันและเส้นใยมะพร้าวที่ 95:5 เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด โดยให้ค่าการย่อยสลายทางชีวภาพอยู่ที่ร้อยละ 26.77 ภายในระยะเวลา 28 วัน นอกจากนี้ กระถางที่ผลิตได้ยังมีคุณสมบัติโดดเด่นในการเป็น “วัสดุปลูกอัจฉริยะ” เนื่องจากสามารถปลดปล่อยธาตุอาหารหลัก (N-P-K) ออกมาสู่ดินได้อย่างต่อเนื่อง (N=2.20% P=0.39% K=2.30%) งานวิจัยนี้จึงเป็นต้นแบบสำคัญในการพัฒนาระบบการเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม

สรุปสังเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเครื่องอัดขึ้นรูปและวัสดุชีวภาพ สามารถสรุปประเด็นสำคัญได้ ดังนี้

ด้านวิศวกรรมเครื่องจักร: การศึกษาของ Sawaiamon et al. (2023) และ Suwanarat et al. (2021) เน้นการใช้ระบบไฮดรอลิกในการขึ้นรูป ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงในด้านความแม่นยำของขนาด (dimensional stability) และใช้ระยะเวลาอัดสั้น (ประมาณ 1 นาทีต่อใบ) อย่างไรก็ตาม เครื่องจักรส่วนใหญ่ยังมีขนาดใหญ่และออกแบบเพื่อการใช้งานเฉพาะทาง

ด้านวัสดุศาสตร์และอัตราส่วนผสม: งานวิจัยของ Homkhiew et al. (2023) ชี้ให้เห็นว่า อุณหภูมิ (180°C) และความดันมีผลอย่างยิ่งต่อสมบัติทางกายภาพ โดยการผสมวัสดุที่ต่างกัน (เช่น ทะลายปาล์มและขี้เลื่อย) ช่วยปรับปรุงอัตราการดูดซับน้ำและการย่อยสลายให้ดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Suwanarat et al. (2021) ที่พบว่า การผสมเส้นใยมะพร้าวช่วยเพิ่มความแข็งแรงและการปลดปล่อยธาตุอาหาร (N-P-K)

ด้านการยอมรับของผู้ใช้: ทุกงานวิจัยยืนยันว่า นวัตกรรมเครื่องอัดกระถางช่วยเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (agricultural waste valorization) และได้รับความพึงพอใจจากผู้ใช้งานในระดับ “ดีมาก”

ช่องว่างของงานวิจัย (research gap)

จากการสำรวจพบว่า งานวิจัยในอดีตยังมีข้อจำกัดที่งานวิจัยนี้จะเข้ามาเติมเต็ม

ด้านวัสดุ: ส่วนใหญ่เน้นฟางข้าวหรือวัสดุจากปาล์ม ยังขาดการศึกษาเปรียบเทียบเชิงลึกระหว่าง “ไบตองสด-ไบตองแห้ง-เส้นใยมะพร้าว” ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่หาได้ง่ายในสถานศึกษาและชุมชน

ด้านขนาดและความเหมาะสม: เครื่องจักรส่วนใหญ่ถูกออกแบบเพื่ออุตสาหกรรมหรือชุมชนขนาดใหญ่ ยังไม่มีการพัฒนาเครื่องอัดกระถางขนาดเล็กแบบ “กึ่งอัตโนมัติ” ที่เน้นความคล่องตัว (Portable) และต้นทุนต่ำ ซึ่งเหมาะสมสำหรับใช้เป็นอุปกรณ์ส่งเสริมการเรียนรู้ในสถานศึกษาหรือครัวเรือน

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษารออกแบบเครื่องอัดกระถางแบบกึ่งอัตโนมัติ ที่ใช้ความดันและอุณหภูมิที่เหมาะสมและประหยัดพลังงานมากกว่า และเน้นวัสดุ “ไบตองและใยมะพร้าว” เพื่อใช้ในบริบทสถานศึกษา ซึ่งยังไม่มีใครทำอย่างครบวงจร

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 การออกแบบและสร้างเครื่อง

1. การออกแบบกระถาง จากขยะอินทรีย์ขนาดเล็กแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเกณฑ์การออกแบบ และส่วนที่ 2 กำหนดรายละเอียดกระถาง ด้วยโปรแกรมเขียนแบบสำเร็จรูปแบบ 3 มิติ โดยมีวิธีการออกแบบดังนี้

1.1 กำหนดเกณฑ์ในการออกแบบ

1) เครื่องมือที่พัฒนาต้องขึ้นรูปกระถางได้เร็วกว่าเครื่องอัดแบบมือหมุน

2) แบบขึ้นรูปกระถางต้องมีลักษณะการใช้งานที่แข็งแรง คงทน

3) แบบที่เคลื่อนย้ายได้สะดวก มีความคงทนต่อแรงกดได้

4) แบบขึ้นรูปต้องมีราคาไม่แพงและหาได้ง่าย ประหยัดพื้นที่ใช้สอย

1.2 กำหนดรายละเอียดในการออกแบบกระถาง โดยมีส่วนประกอบสองส่วน คือ ส่วนแรกแบบกดอัดอยู่ด้านบน และส่วนที่สองแบบฐานรองรับตัวอัดทำหน้าที่รับแรงอัดอยู่ด้านล่าง โดยมีรายละเอียด ดังนี้ (Suwanarat et al., 2021)

1) แม่พิมพ์ตัวเมีย (ตัวรองรับ) ที่ทำหน้าที่อยู่ส่วนบน การออกแบบใช้วัสดุ MC Nylon สามารถรับแรงกดได้ ตัวกดอัดที่อยู่ด้านบนมี 1 ขนาด มีเส้นผ่านศูนย์กลาง

ขอบด้านบน 108 มิลลิเมตร ขอบด้านล่าง 74 มิลลิเมตร สูง 75 มิลลิเมตร ดังภาพ 1 (ก)

2) แม่พิมพ์ตัวผู้ (ตัวกด) ทำหน้าที่รองรับแรงอัดจากตัวกดอัดที่อยู่ส่วนบน จะต้องเป็นวัสดุ MC Nylon สามารถรับน้ำหนักจากตัวกดอัดที่อยู่ด้านบนได้ แบบฐานรองรับตัวอัดทำหน้าที่รับแรงอัดอยู่ด้านล่างต้องมีขนาดใหญ่กว่าตัวกดอัดด้านบน แบบฐานรองรับตัวอัดมี 1 ขนาด ขนาดปากกระถาง ต้นไม้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 98 มิลลิเมตร ก้นกระถาง 78 มิลลิเมตร และความสูงกระถาง 68 มิลลิเมตร ดังภาพ 1 (ข)

2. สร้างเครื่องอัดกระถาง จากขยะอินทรีย์ขนาดเล็กแบบกึ่งอัตโนมัติ โดยมีวิธีการ ดังนี้

การดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 ออกแบบและสร้างเครื่องอัดกระถาง

1. ศึกษาปัญหาและความต้องการการใช้งานของเครื่องอัดกระถาง

2. ออกแบบส่วนประกอบเครื่อง โดยแบ่งออกได้ 4 ส่วน ดังนี้ (Sawaiamon et al., 2023)

2.1 มอเตอร์ที่ใช้เป็นต้นกำลังของเครื่องอัดขึ้นรูปกระถาง

2.2 ชุดคอนโทรลควบคุมการทำงานของกระบอกสูบ

2.3 กระบอกสูบไฮดรอลิก

2.4 กล้องควบคุมระบบทำความร้อน

2.5 ชุดแม่พิมพ์และชุดลดความร้อนสำหรับอัดขึ้นรูปกระถาง

3. จัดหาวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการสร้าง

3.1 โครงสร้างเหล็กตัว 3x3.5 ขนาดรวม

500 x 600 x 1000 mm

3.2 กระบอกสูบไฮดรอลิก ขนาดแกน

19 mm แรงอัด 1 ตัน

3.3 ปัมป์ไฮดรอลิก ขนาด 1 ตัน

3.4 แม่พิมพ์ เหล็กชุบแข็ง ขนาด

80x100x70 mm หนา 3 mm

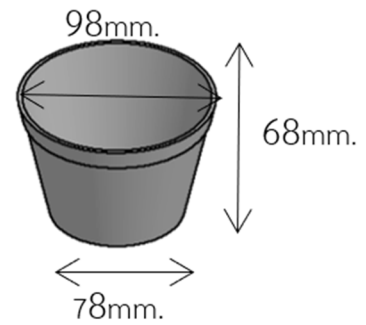
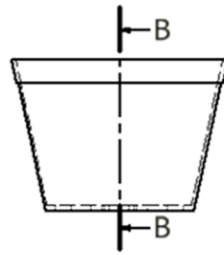
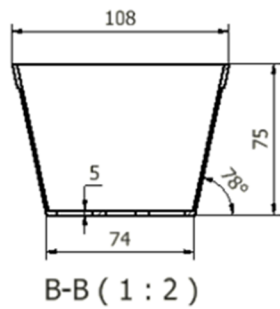
3.5 กล้องควบคุมการทำงานของเครื่องอัด

4. ศึกษาหลักการทำงานของเครื่องอัดกระถาง โดยใช้ไฮดรอลิกรูปแบบต่าง ๆ

5. สร้างเครื่องอัดกระถางต้นแบบตามแบบงานที่กำหนด

6. ประกอบเครื่องอัดกระถาง

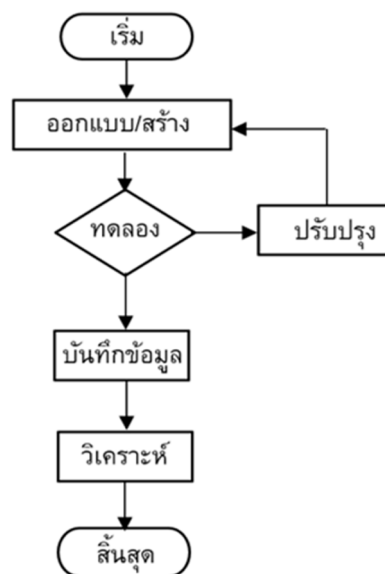
7. ทดลองการใช้งานและบันทึกข้อมูล



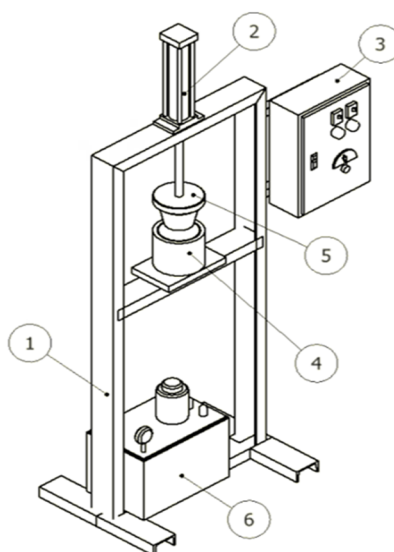
(ก)

(ข)

ภาพ 1 แสดงการออกแบบกระถาง (ก) แม่พิมพ์ตัวเมีย (ข) แม่พิมพ์ตัวผู้



ภาพ 2 การออกแบบเครื่องอัดกระถาง



1. โครงเครื่อง
2. กระบอกไฮดรอลิก
3. กล่องควบคุมการทำงานและควบคุมอุณหภูมิ
4. แม่พิมพ์กระถางตัวล่าง
5. แม่พิมพ์กระถางตัวบน
6. มอเตอร์และปั๊มไฮดรอลิก

(ก)

(ข)

ภาพ 3 แสดงเครื่องอัดกระถางขนาดเล็กแบบกึ่งอัตโนมัติ (ก) ภาพสี (ข) ภาพขาวดำ

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอัดกระถาง

1. สร้างแบบประเมินประสิทธิภาพของเครื่องอัดกระถางขนาดเล็กแบบกึ่งอัตโนมัติ มีข้อคำถาม 12 ข้อ และมี 2 ด้าน ได้แก่ ด้านการออกแบบและโครงสร้าง และด้านการใช้งาน โดยผู้เชี่ยวชาญด้านเครื่องมือกลอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคอุบลราชธานี และด้านการวัดผลประเมินผล มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี รวมทั้งหมด 3 ท่าน ทำการประเมินแบบประเมินประสิทธิภาพของเครื่องอัดกระถางขนาดเล็กแบบกึ่งอัตโนมัติและได้ค่า IOC เท่ากับ 1.00

2. จัดเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดลองขึ้นรูปกระถาง โดยเตรียมจากขยะอินทรีย์ ได้แก่ โยมะพร้าว ใบตองสด และใบตองแห้ง กำหนดน้ำหนักวัสดุที่ใช้ขึ้นรูปแต่ละครั้ง 30 กรัม ใช้อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วินาที โดยทำการทดลองตามระดับความดันต่าง ๆ ได้แก่ 96.55 103.44 และ 110.32 bar ซึ่งระดับความดันเหล่านี้ได้จากการทดลองการหาแรงกดที่เหมาะสมด้วยการใช้เครื่องอัดกระถางแบบคั่นโยกใช้แรงกดแม่พิมพ์ 1,600 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi)

สูตรการคำนวณหาแรงดัน $\text{psi} = \text{แรง (ปอนด์)} / \text{พื้นที่ (ตารางนิ้ว)}$
Siampressure.com. (2023) โดย

$$1 \text{ psi} = 0.0689 \text{ bar} \quad 14.5 \text{ psi} = 1 \text{ bar}$$

$$1,600 \text{ psi} = 1600 / 14.5 = 110.32 \text{ bar}$$

3. ดำเนินการทดลองใช้งานเครื่องอัดกระถางโดยผู้เชี่ยวชาญประเมิน/ปรับปรุงตามคำแนะนำ คุณสมบัติของผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบเครื่องจักรจากแผนกวิชาช่างกลโรงงานและช่างเชื่อม วิทยาลัยเทคนิคอุบลราชธานี และสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี รวมทั้งหมด 3 ท่าน ซึ่งเป็นคนละกลุ่มกับผู้ประเมินในข้อ 1 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 เปรียบเทียบลักษณะข้อบกพร่องของกระถางหลังการขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัด ได้แก่ ความไม่สมบูรณ์ของกระถาง การยุบของกระถาง และการไหม้ของกระถาง โดยใช้เกณฑ์การรับได้/รับไม่ได้ ซึ่งเกณฑ์การรับได้หรือไม่ได้ พิจารณาจากรูปร่างของกระถาง ความสมบูรณ์ของกระถาง มีรอยไหม้ไม่มากจนทำให้กระถางเสียรูป มีรอยแห้วจนทำให้กระถางไม่สามารถใช้งานได้ วัสดุยุบจน

ขึ้นรูปกระถางไม่ได้ หรือกระถางขึ้นรูปเบี้ยว ขาด วัสดุขึ้นนอกกระถาง เป็นรู เป็นต้น

3.2 ด้านประสิทธิภาพของรูปทรงกระถางหลังการขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดกระถางแม่แบบโดยปากกระถาง 108 mm ขนาดของก้นกระถาง 74 mm ขนาดความสูงของกระถาง 75 mm และขนาดความหนาของกระถาง 3 mm

4. ประเมินแบบสอบถามการใช้งานเครื่องอัดกระถาง โดยผู้เชี่ยวชาญประเมิน และปรับปรุงตามคำแนะนำ โดยให้เป็นไปตามขั้นตอนและข้อกำหนดต่าง ๆ โดยใช้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 คน ประเมินความสอดคล้องเชิงเนื้อหา (IOC) โดยมีค่าเท่ากับ 1.00 ซึ่งผู้เชี่ยวชาญเป็นชุดเดียวกับข้อ 3 จากนั้นทำการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งาน โดยนักศึกษาระดับปริญญาตรี จำนวน 28 คน

ผลการทดลอง

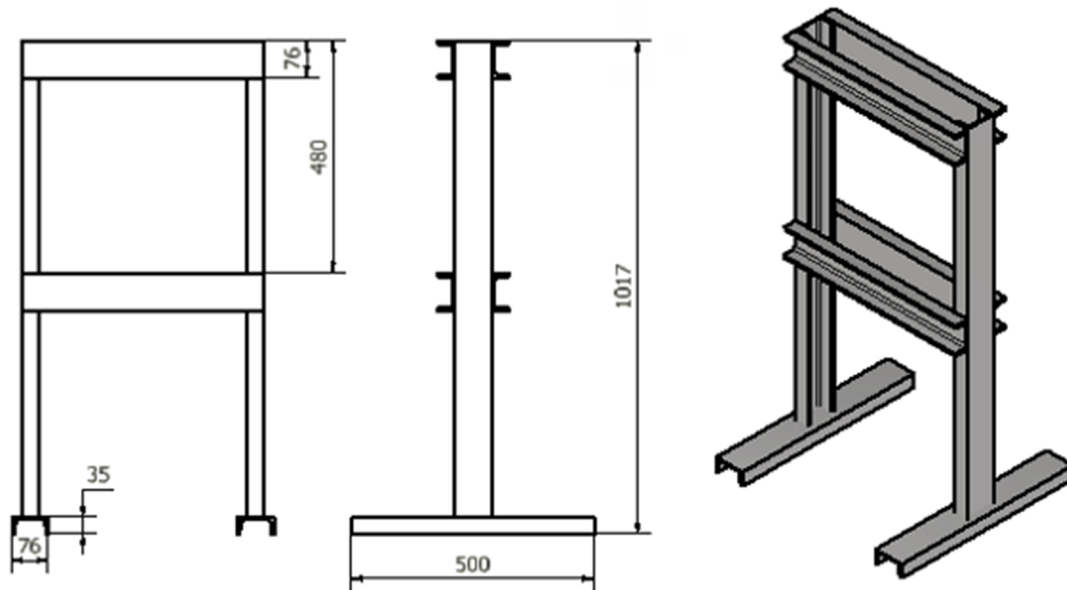
1. ผลการออกแบบโครงสร้างเครื่องอัดกระถางจากขยะอินทรีย์ขนาดเล็กแบบกึ่งอัตโนมัติ

1.1 การออกแบบโครงสร้างเครื่องอัดขึ้นรูปกระถางจากขยะอินทรีย์ขนาดเล็กแบบกึ่งอัตโนมัติ ด้วยโปรแกรมเขียนแบบสำเร็จรูปแบบ 3 มิติ โดยรายละเอียดหัวข้อดังภาพ 4

สรุปได้ว่า การเลือกใช้วัสดุ เหล็ก c3x3.5 มีขนาดและรูปร่างเหมาะสมสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก สามารถถอดประกอบได้สะดวก และจัดหาวัสดุได้ตามร้านวัสดุทั่วไป ดังภาพ 5

1.2 ความแข็งแรงในการออกแบบโครงสร้างเครื่องอัดขึ้นรูปกระถางจากขยะอินทรีย์ขนาดเล็กแบบกึ่งอัตโนมัติ ด้วยโปรแกรมเขียนแบบสำเร็จรูปแบบ 3 มิติ ดังภาพ 6 และตาราง 1

จากภาพ 5 ค่าใช้จ่ายวัสดุของเครื่องอัดกระถางแบบกึ่งอัตโนมัติ ณ วันที่ 15 มีนาคม 2568 รวมเครื่องอัดกระถางแบบกึ่งอัตโนมัติ ประมาณ 29,990 บาท ยังไม่รวมค่าแรงและการติดตั้งระบบไฟฟ้า และราคาต้นทุนของเครื่องอัดกระถางแบบกึ่งอัตโนมัติ จำนวน 1 เครื่อง ราคา 45,000 บาท

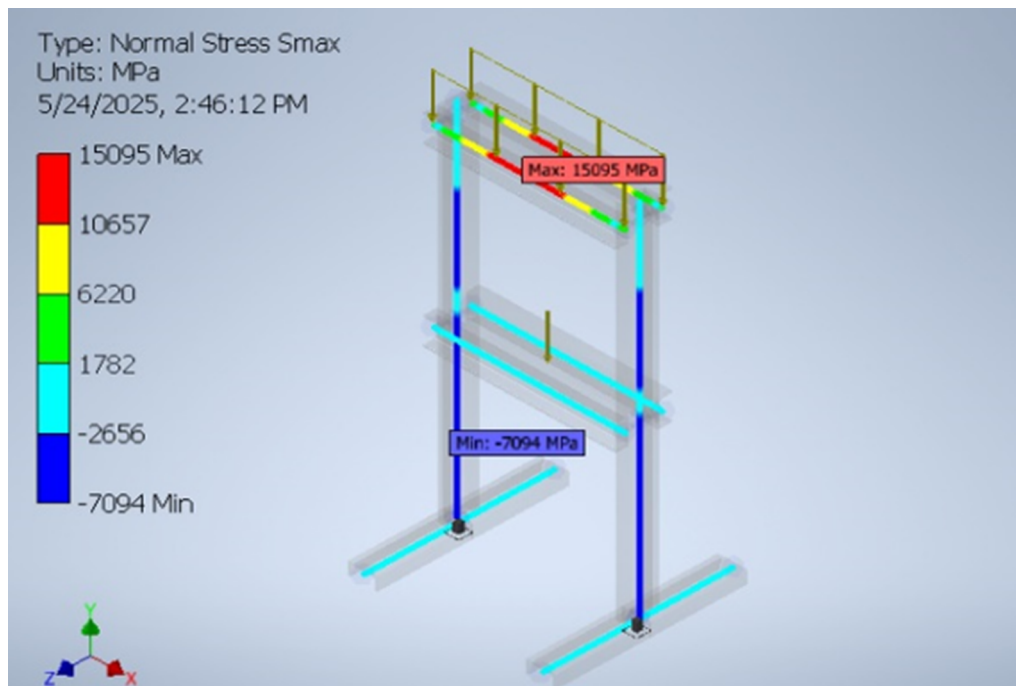


ภาพ 4 การออกแบบโครงสร้างเครื่องอัดกระดาษ

ค่าวัสดุเครื่องอัดกระดาษแบบอัตโนมัติ

ที่	รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคา/หน่วย	รวม
1	เหล็กทรง 3 นิ้ว 75x40x5 mm	1	เส้น	1520	1520
2	เหล็กแผ่นกลม 6 นิ้ว x 8 mm	4	แผ่น	230	920
3	เหล็กแผ่นสี่เหลี่ยม 8x8 นิ้ว x 8 mm	2	แผ่น	190	380
4	สกรูตัวหนอน 3/8 นิ้ว	1	เส้น	150	150
5	สกรู-น็อต 3/4 นิ้ว	20	ตัว	15	300
6	สกรู-น็อต 3/8 นิ้ว	20	ตัว	12	240
7	สกรู-น็อต M6x1นิ้ว	15	ตัว	8	120
8	กระบอกไฮดรอลิกส์สองทาง 2 ต้นระยะยึด 350 mm	1	ตัว	2400	2400
9	สายไฮดรอลิกส์ 3/8 นิ้ว	2	เส้น	750	1500
10	ปั๊มไฮดรอลิกส์ AC220V 2 ทาง	1	ตัว	12000	12000
11	น้ำมันไฮดรอลิกส์ 5 ลิตร	1	แกลลอน	800	800
12	ข้อต่อไฮดรอลิกส์ 3/8 นิ้ว	4	ตัว	150	600
13	เพลาลูมิเนียม ขนาดความโต 6 นิ้ว ยาว 5 นิ้ว	2	ท่อน	3240	6480
14	ฮีตเตอร์ทำความร้อนแบบท่อทรงกระบอก 128 mm	1	อัน	1200	1200
15	สายเทอร์โมคัปเปิล 2.5 mm	1	เส้น	400	400
16	ฮีตเตอร์แท่ง 12 mm.	1	อัน	980	980
รวม					29,990

ภาพ 5 ค่าใช้จ่ายวัสดุของเครื่องอัดกระดาษแบบกึ่งอัตโนมัติ



ภาพ 6 การวิเคราะห์ความแข็งแรงจากการออกแบบโครงสร้างเครื่องอัดกระดาษ

ตาราง 1

ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเครื่องอัดขึ้นรูปกระดาษ

ชื่อ	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
การเคลื่อนที่แรง	0.000 มม.	72.630 มม.
Fx	6619.002 N (0.675 T)	120427.061 N (12.27 T)
Fy	-2500013.555 N	2500013.555 N
Fz	63523.031 N	5000107.664 N
โมเมนต์:		
Mx	-50201798.177 N	262299896.146 N
My	-39445500.424 N	17535987.262 N
Mz	0.000 N m	0.000 N
ความเคียดปกติ:		
Smax	-7093.757 MPa	15095.031 MPa
Smin	18120.586 MPa	-0.000 MPa
Smax(Mx)	0.000 MPa	15180.555 MPa
Smin(Mx)	15180.555 MPa	0.000 MPa
Smax(My)	-0.000 MPa	5843.179 MPa
Smin(My)	-11018.843 MPa	0.000 MPa
Saxial	-7101.855 MPa	90.224 MPa
ความเคียดเฉือน:		
Tx	-339.346 MPa	18.651 MPa
Ty	-11508.959 MPa	11508.959 MPa
ความเคียดบิด:		
T	0.000 MPa	0.000 MPa

จากตาราง 1 สรุปได้ว่าจากการใช้โปรแกรมออกแบบและเขียนแบบ 3 มิติ เพื่อหาความแข็งแรงของโครงสร้างเครื่องอัดกระถางจากขยะอินทรีย์ขนาดเล็กแบบกึ่งอัตโนมัติโดยใช้วัสดุ เหล็ก ANSI MC/C-U-Shape C3x3.5 ใช้แรงกด 100 N/mm^2 สามารถรับน้ำหนักได้สูงสุด 12.27 ตัน โดยเครื่องอัดกระถางมีน้ำหนัก 70 kg

2. ผลการประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อเครื่องอัดกระถางจากขยะอินทรีย์ขนาดเล็กแบบกึ่งอัตโนมัติ

จากตาราง 3 พบว่า ผลการวิเคราะห์การประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อเครื่องอัดกระถางจากขยะอินทรีย์ขนาดเล็กแบบกึ่งอัตโนมัติโดยเฉลี่ย มีค่าเฉลี่ย 4.44 ($SD=0.56$) โดยด้านการออกแบบและโครงสร้าง ข้อที่มีความคิดเห็นคะแนนมากที่สุด คือ มีความเหมาะสมในการออกแบบ มีความแข็งแรงตามแบบงานที่กำหนด มีความสวยงามและทันสมัย ด้านการใช้งาน ข้อสามารถใช้งานได้จริง มีคู่มือการบำรุงรักษาและข้อควรระวัง มีคะแนนความคิดเห็นมากที่สุด โดยมีคะแนนเฉลี่ย 5.00 ($SD=0.00$) จากแบบประเมินพบว่า เครื่องอัดกระถางขนาดเล็กแบบกึ่ง

อัตโนมัติ มีการออกแบบที่เหมาะสมกับการใช้งาน มีความแข็งแรง สวยงาม ทันสมัย เครื่องสามารถใช้งานได้จริงและมีคู่มือการบำรุงรักษาและข้อควรระวังแก่ผู้ใช้งาน

3. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดกระถางแบบกึ่งอัตโนมัติโดยใช้วัสดุทดลองแต่ละชนิดแตกต่างกัน

1. ใบตองสด ทำการอัดขึ้นรูปกระถางด้วยแรงดันภายในกระบอกลูกสูบ 96.55 103.44 และ 110.32 bar น้ำหนัก 30 กรัม อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วินาที ผลการทดสอบแสดงดังตาราง 4

ภาพ 7 และ ตาราง 2 พบว่า เครื่องอัดกระถางขนาดเล็กแบบกึ่งอัตโนมัติเมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับเครื่องปั๊มแบบมือโยกมีขนาดใหญ่กว่าเล็กน้อย เครื่องสามารถทำความร้อนได้มากกว่า คือ 0-250 องศาเซลเซียส ใช้กำลังไฟ 2,200 W การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามากกว่า คือ 8-9 บาท/ชม. ความเร็วในการอัดมากกว่าแบบมือโยก คือ 40-60 ต่อชั่วโมง และราคาเครื่องมากกว่า คือ ราคา 45,000 บาท



(ก)



(ข)



ภาพ 7 เครื่องอัดกระถางขนาดเล็กแบบกึ่งอัตโนมัติ (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านข้าง

ตาราง 2

แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องอัดกระถางขนาดเล็กแบบกึ่งอัตโนมัติและเครื่องปั๊มแบบมือโยก

เครื่องอัดกระถางขนาดเล็กแบบกึ่งอัตโนมัติ	เครื่องปั๊มแบบมือโยก
1. ด้านหน้า 50 ซม. สูง 150 ซม.	1. ด้านหน้า 55 ซม. สูง 130 ซม.
2. ด้านกว้าง 80 ซม. สูง 150 ซม.	2. ด้านกว้าง 60 ซม. สูง 130 ซม.
3. อุณหภูมิของเครื่องที่สามารถทำความร้อนได้ 0-250 องศาเซลเซียส	3. อุณหภูมิของเครื่องที่สามารถทำความร้อนได้ 0-200 องศาเซลเซียส
4. กำลังอัด 2 ตัน (ไฮดรอลิกไฟฟ้า)	4. กำลังอัด 4 ตัน (แบบมือโยก)
5. กำลังไฟ 2,200 W	5. กำลังไฟ 1,000 W
6. การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 8-9 บาท/ชม.	6. การสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 3-5 บาท/ชม.
7. ความเร็วในการอัด 40-60 ชิ้นต่อชั่วโมง	7. ความเร็วในการอัด 30-50 ชิ้นต่อชั่วโมง
8. ราคา 45,000 บาท	8. ราคา 39,000 บาท

ตาราง 3

ผลการวิเคราะห์การประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อเครื่องอัดกระถางจากขยะอินทรีย์ขนาดเล็กแบบกึ่งอัตโนมัติ

รายการประเมิน	ผลการประเมิน		
	ค่าเฉลี่ย	SD	แปลผล
1. ด้านการออกแบบและโครงสร้าง			
1) มีความเหมาะสมในการออกแบบ	5.00	0.00	ดีมาก
2) มีความแข็งแรงตามแบบงานที่กำหนด	5.00	0.00	ดีมาก
3) น้ำหนักเหมาะสม	4.00	0.00	ดี
4) ขนาดของเครื่องเหมาะสม	4.00	0.00	ดี
5) มีความสวยงามและทันสมัย	5.00	0.00	ดีมาก
6) วัสดุซ่อมบำรุงหาซื้อได้ตามท้องตลาด	4.33	0.58	ดี
2. ด้านการใช้งาน			
1) การใช้งานง่ายไม่ซับซ้อน	4.33	0.58	ดี
2) สามารถใช้งานได้จริง	5.00	0.00	ดีมาก
3) มีความปลอดภัยในการใช้งาน	4.00	0.00	ดี
4) การเคลื่อนย้ายสะดวก (น้ำหนัก)	3.67	0.58	ดี
5) ปรับเปลี่ยนขนาดแม่พิมพ์ได้หลายขนาด	4.00	0.00	ดี
6) มีคู่มือการบำรุงรักษาและข้อควรระวัง	5.00	0.00	ดีมาก
เฉลี่ย	4.44	0.56	ดี

ตาราง 4

การบันทึกผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดกระถางด้วยใบตองสด น้ำหนักวัสดุ 30 กรัม ใช้อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 90 วินาที ที่ระดับแรงดันภายในกระบอกลูกสูบ 96.55 103.44 และ 110.32 bar

แรงดันภายใน กระบอกลูกสูบ (bar)	ผลการทดสอบ			หมายเหตุ
	กระถางหลังอัดขึ้นรูป	ข้อบกพร่องที่รับได้	ข้อบกพร่องที่รับไม่ได้	
1400 psi/ 96.55 bar			✓	- ขอบกระถางค่อนข้างมาก - ขอบกระถางเปิด ไม่แนบชิดกัน
1500 psi/ 103.44 bar		✓		- กระถางเข้ารูปทรงได้ดี - มีร่องรอยการแห้วเล็กน้อย
1600 psi/ 110.32 bar		✓		- กระถางเข้ารูปทรงได้ดี - มีร่องรอยการแห้วเล็กน้อย

จากตาราง 4 ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องอัดกระถางที่ทำการอัดขึ้นรูปกระถางด้วยใบตองสด โดยใช้แรงดันภายในกระบอกลูกสูบ 96.55 103.44 และ 110.32 bar น้ำหนัก 30 กรัม อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วินาที จะเห็นว่ากระถางที่อัดขึ้นรูปด้วยแรงดันภายในกระบอกลูกสูบ 103.44 และ 110.32 bar นั้น มีข้อบกพร่องที่สามารถยอมรับได้ เนื่องจากตัวกระถางเข้ารูปทรงได้ดี มีรอยแห้วน้อย เนื้อวัสดุเกาะยึดกันแน่น ไม่เกิดการยุ่ย

แต่กระถางที่อัดขึ้นรูปด้วยแรงดันภายในกระบอกลูกสูบ 96.55 bar นั้น มีข้อบกพร่องที่ไม่สามารถยอมรับได้ เนื่องจากตัวกระถางเข้ารูปทรงได้ไม่ดี เนื้อวัสดุเกาะยึดกันไม่แน่น เกิดการยุ่ย และมีรอยแห้วมาก ดังนั้นค่าแรงดันกระบอกลูกสูบ bar ที่เหมาะสมเท่ากับ 103.44 และ 110.32 bar

2. ใบตองแห้ง ทำการอัดขึ้นรูปกระถางด้วยแรงดันภายในกระบอกลูกสูบ 96.55 103.44 และ 110.32 bar น้ำหนัก 30 กรัม อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วินาที ผลการทดสอบแสดงดังตาราง 5

จากตาราง 5 ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องอัดกระถางที่ทำการอัดขึ้นรูปกระถางด้วยใบตองแห้ง โดยใช้แรงดันภายในกระบอกลูกสูบ 96.55 103.44 และ 110.32 bar น้ำหนัก 30 กรัม อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วินาที จะเห็นว่า กระถางที่อัดขึ้นรูปด้วยแรงดันภายในกระบอกลูกสูบขนาด 103.44 และ 110.32 bar นั้น มีข้อบกพร่องที่สามารถยอมรับได้ เนื่องจากตัวกระถางเข้ารูปทรงได้ดี มีรอยแห้วน้อยมาก เนื้อวัสดุเกาะยึดกันแน่น ไม่เกิดการยุ่ย และมีรอยไหม้เพียงเล็กน้อย แต่กระถางที่อัดขึ้นรูปด้วยแรงดันภายในกระบอกลูกสูบขนาด 96.55 bar มีข้อบกพร่องที่ไม่สามารถยอมรับได้ เนื่องจากตัวกระถางเข้ารูปทรงได้ไม่ดี เนื้อวัสดุเกาะยึดกันไม่แน่น เกิดการยุ่ย และมีรอยแห้วมาก ดังนั้น ค่าแรงดันกระบอกลูกสูบ bar ที่เหมาะสมเท่ากับ 103.44 และ 110.32 bar

3. โยมะพร้าว ทำการอัดขึ้นรูปกระถางด้วยด้วยแรงดันภายในกระบอกลูกสูบ 96.55 103.44 และ 110.32 bar น้ำหนัก 30 กรัม อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วินาที ผลการทดสอบแสดงดังตาราง 6

ตาราง 5

การบันทึกผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดกระถางด้วยใบตองแห้ง น้ำหนักวัสดุ 30 กรัม ใช้อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 90 วินาที ที่ระดับแรงดันภายในกระบอกลูกสูบ 96.55 103.44 และ 110.32 bar

แรงดันภายใน กระบอกลูกสูบ (bar)	ผลการทดสอบ			หมายเหตุ
	กระถางหลังอัดขึ้นรูป	ข้อบกพร่องที่รับได้	ข้อบกพร่องที่รับไม่ได้	
1400 psi/ 96.55 bar		✓	✓	- ขอบกระถางมีร่องรอยการแตงเล็กน้อย - เนื้อวัสดุเกาะยึดกันแน่น กระถางเข้ารูปทรงได้ดี
1500 psi/ 103.44 bar		✓		- กระถางเข้ารูปทรงได้ดี - เนื้อวัสดุยึดเกาะกันแน่น ไม่ยุ่ย
1600 psi/ 110.32 bar		✓	✓	- กระถางเข้ารูปทรงได้ดี - เนื้อวัสดุยึดเกาะกันแน่น - มีรอยไหม้เล็กน้อย

ตาราง 6

การบันทึกผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดกระถางด้วยใยมะพร้าว น้ำหนักวัสดุ 30 กรัม ใช้อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 90 วินาที ที่ระดับแรงดันภายในกระบอกลูกสูบ 96.55 103.44 และ 110.32 bar

แรงดันภายใน กระบอกลูกสูบ (bar)	ผลการทดสอบ			หมายเหตุ
	กระถางหลังอัดขึ้นรูป	ข้อบกพร่องที่รับได้	ข้อบกพร่องที่รับไม่ได้	
1400 psi/ 96.55 bar			✓	- กระถางเข้ารูปทรงได้เล็กน้อย - เนื้อวัสดุยึดเกาะกันไม่แน่นเท่าที่ควร - เนื้อวัสดุยุ่ย
1500 psi/ 103.44 bar			✓	- กระถางเข้ารูปทรงได้ดี - เนื้อวัสดุยุ่ยเล็กน้อย - กระถางมีร่องรอยการแตงเล็กน้อย
1600 psi/ 110.32 bar		✓		- กระถางเข้ารูปทรงได้ดี - เนื้อวัสดุยึดเกาะกันแน่น

จากตาราง 6 ผลการทดสอบการทำงานของเครื่องอัดกระดาษที่ทำการอัดขึ้นรูปกระดาษด้วยใยมะพร้าวโดยใช้แรงดันภายในกระบอกลูกสูบ 96.55 103.44 และ 110.32 bar น้ำหนัก 30 กรัม อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 วินาที จะเห็นว่า กระดาษที่อัดขึ้นรูปด้วยแรงดันภายในกระบอกลูกสูบ 110.32 bar นั้น มีข้อบกพร่องที่สามารถยอมรับได้ เนื่องจากตัวกระดาษเข้ารูปทรงได้ดี ไม่มีรอยแหว่ง เนื้อวัสดุเกาะยึดกันแน่นไม่เกิดการยุ่ย และไม่มีรอยไหม้ แต่กระดาษที่อัดขึ้นรูปด้วยแรงดันภายในกระบอกลูกสูบ 96.55 และ 103.44 bar นั้น มีข้อบกพร่องที่ไม่สามารถยอมรับได้ เนื่องจากตัวกระดาษเข้ารูปทรงได้ไม่ดี เนื้อวัสดุเกาะยึดกันไม่แน่น เกิดการยุ่ย ขอบกระดาษไม่เกาะยึดกัน ดังนั้น ค่าแรงดันกระบอกสูบ bar ที่เหมาะสมเท่ากับ 110.32 bar

จากการทดสอบการอัดขึ้นรูปกระดาษจากวัสดุธรรมชาติทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ใบตองสด ใบตองแห้ง และใยมะพร้าว ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปกระดาษ พบว่า แรงดันที่เหมาะสมคือ 110.32 bar โดยวัสดุที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปกระดาษได้ดีที่สุด คือ ใยมะพร้าว เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีขนาดเล็ก และเป็นเส้นใย ส่งผลให้กระดาษที่ได้มีการเกาะยึดกันแน่น ไม่มีรอยแหว่งหรือไม่สมบูรณ์ อีกทั้งเนื้อวัสดุหลังจากที่ผ่านการอัดขึ้นรูปไม่ยุ่ยเสียรูป รองลงมาคือ กระดาษที่อัดขึ้นรูปด้วย

ใบตองสดที่มีเส้นใย จะเห็นว่ากระดาษที่ผ่านการขึ้นรูปจะมีรอยแหว่งเล็กน้อยบริเวณขอบกระดาษ เนื้อวัสดุเกาะยึดกันแต่มีการยุ่ยเล็กน้อย

จากภาพ 8 ตัวอย่างกระดาษที่ขึ้นรูปได้ดีที่สุดจากใยมะพร้าว มีปากกระดาษเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 110.5 มม. ก้นกระดาษเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 77.2 มม. ความสูงของกระดาษเฉลี่ย 76.5 มม. และมีความหนาของขอบกระดาษเฉลี่ย 2.7 มม. กระดาษมีสีน้ำตาลอ่อนจนถึงน้ำตาลเข้ม กระดาษขึ้นรูปได้ ผิวสัมผัสกระด้างตามลักษณะของเส้นใย

จากภาพ 9 ตัวอย่างของกระดาษที่เกิดข้อบกพร่องของแต่ละวัสดุจากการขึ้นรูปกระดาษ โดย (ก) เป็นใบตองสดจะมีร่องรอยการไหม้บริเวณขอบกระดาษและรอยแหว่ง (ข) เป็นใบตองแห้งจะมีร่องรอยการแหว่งบริเวณขอบกระดาษ และ (ค) เป็นใยมะพร้าวจะมีร่องรอยการยุ่ยบริเวณขอบกระดาษเล็กน้อยและการแหว่งก้นกระดาษ

จากตาราง 7 สรุปได้ว่า เมื่อเปรียบเทียบขนาดกระดาษจากแม่แบบ กระดาษจากใยมะพร้าวมีค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับใบตองแห้ง และใบตองสด โดยปากกระดาษ ก้นกระดาษ ความสูง และความหนา มีค่าแตกต่าง 2.5 3.2 1.5 และ 0.3 mm.



(ก)

(ข)

(ค)

ภาพ 8 ตัวอย่างกระดาษที่ขึ้นรูปได้ดีที่สุดจากใยมะพร้าว โดยน้ำหนักกระดาษ 30 กรัม เวลาที่ใช้ขึ้นรูป 90 วินาที อุณหภูมิที่ใช้ 120 องศาเซลเซียส ความดัน 110.32 bar (ก) ก้นกระดาษ (ข) ด้านข้างกระดาษ (ค) ปากกระดาษ



(ก)

(ข)

(ค)

ภาพ 9 ตัวอย่างกระถางที่เกิดข้อบกพร่องในการขึ้นรูป (ก) ใบตองสดมีร่องรอยการไหม้และແຫ່ງ (ข) ใบตองแห้งมีร่องรอยการແຫ່ງ (ค) โยมะพร้าวมีร่องรอยการยุ่ยและແຫ່ງ

ตาราง 7

การบันทึกผลขนาดกระถางหลังการขึ้นรูปกระถางด้วยเครื่องอัดกระถางขนาดเล็กแบบกึ่งอัตโนมัติ

รายการ	ขนาดกระถางจากแม่แบบ (mm)	ขนาดกระถางเฉลี่ยจากการขึ้นรูป (mm)		
		ใบตองสด	ใบตองแห้ง	โยมะพร้าว
ปากกระถางเส้นผ่านศูนย์กลาง	108	115.3	113.8	110.5
ก้นกระถางเส้นผ่านศูนย์กลาง	74	83.5	80.3	77.2
ความสูงของกระถาง	75	80.7	78.6	76.5
ความหนาของกระถาง	3	3.1	2.8	2.7

4. ผลการศึกษาความพึงพอใจด้านการใช้งานและความรู้จากการใช้เครื่องอัดกระถางจากขยะอินทรีย์ขนาดเล็กแบบกึ่งอัตโนมัติ

ผู้ใช้งานเครื่องอัดกระถางจากขยะอินทรีย์ขนาดเล็กแบบกึ่งอัตโนมัติ ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน และนักศึกษาที่เรียนอยู่ในระดับปริญญาตรี จำนวน 28 คน โดยประเมินความพึงพอใจการใช้งานสรุปได้ดังนี้

จากตาราง 8 พบว่า ผลการวิเคราะห์การประเมินด้านการใช้งานของเครื่องอัดกระถางจากผู้ใช้งานโดยเฉลี่ยมีคะแนนเฉลี่ย 4.51 (SD=0.60) โดยด้านการใช้งาน ข้อที่มีคะแนนมากที่สุดคือ ความเข้าใจง่ายของคู่มือหรือคำแนะนำการใช้งาน โดยมีคะแนนเฉลี่ย 5.00 (SD=0.00) ด้านความรู้ ข้อที่มีคะแนนมากที่สุดคือ ความรู้หลังการถ่ายทอดเทคโนโลยี การนำไปประยุกต์ใช้ในอนาคต โดยมีคะแนนเฉลี่ย 5.00 (SD=0.00) แสดงว่า เครื่องอัดกระถางขนาดเล็กกึ่งอัตโนมัติ มีคู่มือแนะนำการใช้งานที่เข้าใจง่าย

มีความคุ้มค่ากับผลลัพธ์ที่ได้ และผู้ใช้งานเครื่องนี้มีความรู้เพิ่มขึ้นภายหลังการถ่ายทอดเทคโนโลยี และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอนาคตได้

จากตาราง 9 พบว่า ผลการวิเคราะห์การประเมินด้านการใช้งานของเครื่องอัดกระถางจากผู้ใช้งานโดยเฉลี่ยมีคะแนนเฉลี่ย 4.45 (SD=0.66) โดยด้านการใช้งาน ข้อที่มีคะแนนมากที่สุดคือ ความเข้าใจง่ายของคู่มือหรือคำแนะนำการใช้งาน ความคุ้มค่าของเครื่องจักรเมื่อเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้ โดยมีคะแนนเฉลี่ย 4.68 (SD=0.48) ด้านความรู้ ข้อที่มีคะแนนมากที่สุดคือ ความรู้หลังการถ่ายทอดเทคโนโลยี การนำไปประยุกต์ใช้ในอนาคต โดยมีคะแนนเฉลี่ย 4.82 (SD=0.39) แสดงว่า เครื่องอัดกระถางขนาดเล็กกึ่งอัตโนมัติ มีคู่มือแนะนำการใช้งานที่เข้าใจง่าย มีความคุ้มค่ากับผลลัพธ์ที่ได้ และนักศึกษามีความรู้เพิ่มขึ้นภายหลังการถ่ายทอดเทคโนโลยี และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอนาคตได้

ตาราง 8

ผลการวิเคราะห์การประเมินด้านการใช้งานของเครื่องอัดกระถางจากผู้ใช้งาน (ผู้เชี่ยวชาญ)

รายการประเมิน	ผลการประเมิน		
	ค่าเฉลี่ย	SD	แปลผล
ด้านการใช้งาน			
1) ความสะดวกในการเริ่มต้นใช้งาน	4.33	0.58	ดี
2) ความเข้าใจง่ายของคู่มือหรือคำแนะนำการใช้งาน	5.00	0.00	ดีมาก
3) ความสะดวกในการควบคุมหรือปรับค่าการทำงานของเครื่อง	4.33	0.58	ดี
4) ความแม่นยำในการทำงานของเครื่อง	4.33	0.58	ดี
5) ความรวดเร็วในการทำงานของเครื่อง	4.00	1.00	ดี
6) ความปลอดภัยในการใช้งาน	4.33	0.58	ดี
7) ความทนทานของเครื่องต่อการใช้งานอย่างต่อเนื่อง	4.67	0.58	ดีมาก
8) ความสะดวกในการทำความสะดวกหรือดูแลรักษาเครื่อง	4.67	0.58	ดีมาก
9) ความเหมาะสมของขนาดและรูปร่างของเครื่องกับพื้นที่ปฏิบัติงาน	4.33	1.15	ดี
10) ความคุ้มค่าของเครื่องจักรเมื่อเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้	4.67	0.58	ดีมาก
ด้านความรู้			
1) ความรู้ก่อนการถ่ายทอดเทคโนโลยี	4.00	0.00	ดี
2) ความรู้หลังการถ่ายทอดเทคโนโลยี	5.00	0.00	ดีมาก
3) การนำไปประยุกต์ใช้ในอนาคต	5.00	0.00	ดีมาก
เฉลี่ย	4.51	0.60	ดีมาก

ตาราง 9

ผลการวิเคราะห์การประเมินด้านการใช้งานของเครื่องอัดกระถางจากผู้ใช้งาน (นักศึกษา)

รายการประเมิน	ผลการประเมิน		
	ค่าเฉลี่ย	SD	แปลผล
ด้านการใช้งาน			
1) ความสะดวกในการเริ่มต้นใช้งาน	4.46	0.51	ดี
2) ความเข้าใจง่ายของคู่มือหรือคำแนะนำการใช้งาน	4.68	0.55	ดีมาก
3) ความสะดวกในการควบคุมหรือปรับค่าการทำงานของเครื่อง	4.57	0.50	ดีมาก
4) ความแม่นยำในการทำงานของเครื่อง	4.18	0.67	ดี
5) ความรวดเร็วในการทำงานของเครื่อง	4.43	0.69	ดี
6) ความปลอดภัยในการใช้งาน	4.25	0.70	ดี
7) ความทนทานของเครื่องต่อการใช้งานอย่างต่อเนื่อง	4.32	0.72	ดี
8) ความสะดวกในการทำความสะดวกหรือดูแลรักษาเครื่อง	4.43	0.69	ดี

ตาราง 9 (ต่อ)

รายการประเมิน	ผลการประเมิน		
	ค่าเฉลี่ย	SD	แปลผล
9) ความเหมาะสมของขนาดและรูปร่างของเครื่องกับพื้นที่ปฏิบัติงาน	4.50	0.58	ดี
10) ความคุ้มค่าของเครื่องจักรเมื่อเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้	4.68	0.48	ดีมาก
ด้านความรู้			
1) ความรู้ก่อนการถ่ายทอดเทคโนโลยี	3.64	0.73	ดี
2) ความรู้หลังการถ่ายทอดเทคโนโลยี	4.82	0.39	ดีมาก
3) การนำไปประยุกต์ใช้ในอนาคต	4.82	0.39	ดีมาก
เฉลี่ย	4.45	0.66	ดี

การอภิปรายผล

ด้านการออกแบบและวิศวกรรมโครงสร้าง จากการออกแบบโครงสร้างเครื่องอัดกระถางโดยใช้เหล็ก ANSI MC/C-U-Shape ขนาด 3x3.5 ซม. พบว่า โครงสร้างมีความแข็งแรงสูง สามารถรองรับแรงกดได้สูงสุดถึง 12.27 ตัน ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการออกแบบของ Sawaiamon et al. (2023) ที่มีการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบเพื่อให้ได้ขนาดที่เหมาะสมกับการใช้งาน (65x65x130 ซม.) อย่างไรก็ตาม จุดเด่นที่พัฒนายิ่งขึ้นในงานวิจัยนี้ คือ การออกแบบให้เครื่องมีความคล่องตัว โดยมีน้ำหนักเพียง 70 กิโลกรัม และสามารถถอดประกอบได้ ซึ่งตอบโจทย์การใช้งานในระดับสถานศึกษาและครัวเรือนได้ดีกว่าเครื่องอัดขนาดใหญ่ในอดีต นอกจากนี้ แม้ว่าจะมีต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 45,000 บาท ซึ่งสูงกว่าการจัดหาวัสดุเองเนื่องจากรวมค่าแรงและระบบไฟฟ้ากึ่งอัตโนมัติ แต่เมื่อพิจารณาในด้านความคุ้มค่าและความปลอดภัย ตามหลักการของ Charungchittisunthorn (2005) ถือว่า เป็นการลงทุนที่เหมาะสมสำหรับเทคโนโลยีระดับกึ่งอัตโนมัติ

ด้านประสิทธิภาพการขึ้นรูปและคุณสมบัติวัสดุ ผลการทดลองพบว่า เส้นใยมะพร้าวเป็นวัสดุที่เหมาะสมที่สุดในการขึ้นรูป เนื่องจากมีลักษณะเป็นเส้นใยขนาดเล็กที่สร้างพันธะยึดเกาะได้แน่นกว่าใบตองสดและใบตองแห้ง ทำให้ชิ้นงานมีความสมบูรณ์และคงรูปทรงได้ดี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Suwanarat et al. (2021) ที่ระบุว่า เส้นใยมะพร้าวเป็นส่วนผสมหลักที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรง

และการยึดเกาะให้กับกระถางชีวภาพ ในส่วนของสภาวะที่เหมาะสม งานวิจัยนี้ใช้แรงดันที่ 110.32 bar (1600 psi) ซึ่งต่ำกว่าแรงดันในงานของ Homkhiew et al. (2023) ที่ใช้ 12.41 MPa (ประมาณ 124 bar) เล็กน้อย แต่ผลลัพธ์ที่ได้จากแรงดัน 110.32 bar ในงานนี้สามารถทำให้เส้นใยมะพร้าว 100% ยึดเกาะกันได้โดยไม่เสียรูปทรงและไม่เกิดรอยไหม้ แสดงให้เห็นว่าแรงดันในระดับนี้เพียงพอต่อการสร้างแรงอัดที่สม่ำเสมอในระบบกึ่งอัตโนมัติ

มาตรฐานการออกแบบและคุณภาพทางวิศวกรรม จากการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญซึ่งมีค่าเฉลี่ยสูงถึง 4.44 (SD=0.56) ยืนยันว่าเครื่องอัดกระถางที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมทั้งในด้านฟังก์ชันการใช้งาน และสุนทรียภาพ สอดคล้องกับหลักการของ Charungchittisunthorn (2005) ที่ระบุว่า ผลิตภัณฑ์ที่ดีต้องประกอบด้วยความแข็งแรง โครงสร้างที่เหมาะสม และความสวยงามทันสมัยเพื่อสร้างความประทับใจแก่ผู้ใช้ นอกจากนี้ การที่ผู้เชี่ยวชาญให้คะแนนด้านความแข็งแรงสอดคล้องกับผลการทดสอบเชิงโครงสร้างที่ตัวเครื่องสามารถรองรับแรงกดได้ถึง 12.27 ตัน ซึ่งเป็นไปตามแนวทางการออกแบบเครื่องจักรกลขนาดเล็กที่มีประสิทธิภาพสูง เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Sawaiamon et al. (2023) ที่เน้นความแม่นยำในการออกแบบโครงสร้างด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

การตอบสนองต่อผู้ใช้งานและการถ่ายทอดเทคโนโลยี ผลการประเมินจากผู้ใช้งานจากผู้เชี่ยวชาญและนักศึกษาที่มีค่าเฉลี่ย 4.51 และ 4.45 (SD =0.60 0.66)

สะท้อนให้เห็นว่าเครื่องอัดกระถางนี้มี การยศาสตร์ที่ดี และใช้งานง่าย โดยเฉพาะประเด็นเรื่องคู่มือแนะนำการ ใช้งานที่เข้าใจง่าย ซึ่งถือเป็นจุดแข็งสำคัญในการถ่ายทอด เทคโนโลยี สอดคล้องกับงานวิจัยของ Suwanarat et al. (2021) ที่ชี้ให้เห็นว่านวัตกรรมที่มีความซับซ้อนน้อยและมีคู่มือการใช้งานที่ชัดเจนจะช่วยให้ผู้ใช้เกิดการเรียนรู้และ ยอมรับนวัตกรรมได้รวดเร็วขึ้น ส่งผลให้ผู้ใช้งานมีความรู้ ความเข้าใจและเห็นถึงคุณค่าของผลลัพธ์ที่ได้จากการ เปลี่ยนขยะอินทรีย์ให้เป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่ม

ความคุ้มค่าและโอกาสในการประยุกต์ใช้ใน อนาคต การที่ผู้ใช้งานมองว่านวัตกรรมนี้ “คุ้มค่ากับผลลัพธ์ ที่ได้” และ “สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอนาคตได้” แสดงให้เห็นว่า เครื่องอัดกระถางกึ่งอัตโนมัติชุดนี้สามารถตอบ โจทย์ปัญหาสิ่งแวดล้อมในระดับมหาวิทยาลัยได้จริงตาม หลัก เศรษฐกิจหมุนเวียน (circular economy) โดยการ ลดระยะเวลาและพื้นที่ในการจัดการขยะอินทรีย์ (ใบไม้ และเศษอาหาร) เมื่อเทียบกับการทำปุ๋ยหมักแบบเดิมซึ่งใช้ เวลานานและพื้นที่มาก ยืนยันได้ว่านวัตกรรมนี้มีศักยภาพ ในการขยายผลเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับ ชุมชนหรือสถานศึกษาอื่น ๆ ได้อย่างยั่งยืน

สรุปผลการวิจัย

ด้านประสิทธิภาพเครื่องจักร โครงสร้างเครื่องจักร ที่ผลิตจากเหล็ก ANSI MC/C มีความแข็งแรงสูง รองรับ แรงกดได้สูงสุด 12.27 ตัน โดยมีต้นทุนการผลิต 45,000 บาท ตัวเครื่องออกแบบมาให้มีน้ำหนักเบา (70 กิโลกรัม) สามารถถอดประกอบและเคลื่อนย้ายได้สะดวก เหมาะ สำหรับการใช้งานในสถานศึกษา

ด้านวัสดุศาสตร์ จากการทดสอบเปรียบเทียบ วัสดุ 3 ชนิด พบว่า เส้นใยมะพร้าว เป็นวัสดุที่เหมาะสม ที่สุดสำหรับการอัดขึ้นรูป โดยสภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ แรงดัน 110.32 bar (1600 PSI) อุณหภูมิ 120°C และ ระยะเวลาอัด 90 วินาที ซึ่งให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่น สูง รูปทรงสมบูรณ์ และไม่มีรอยไหม้

ด้านสังคม ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ ($\bar{x}$ = 4.44) และผู้ใช้งานจริง ($\bar{x}$ = 4.45) ยืนยันว่า นวัตกรรมนี้มีดีไซน์ที่ ทันสมัย ใช้งานง่ายผ่านคู่มือที่เข้าใจง่าย และเป็นแนวทางที่

มีประสิทธิภาพในการจัดการขยะอินทรีย์เพื่อลดการปล่อย ก๊าซเรือนกระจกภายในมหาวิทยาลัย

ข้อจำกัดของงานวิจัย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ยังมีข้อจำกัดบางประการ ที่ควรพิจารณา เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับผู้สนใจนำไปพัฒนา ต่อ ยอด

การทดสอบความทนทานในระยะยาว งานวิจัย นี้ยังไม่มี การทดสอบความคงทนและการรักษาคุณภาพของ กระถางหลังจากการใช้งานจริงในสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ เช่น การทนต่อความชื้นสะสมจากการรดน้ำติดต่อกันเป็น เวลานาน หรือการทนต่อแสงแดดจัด

ความหลากหลายของส่วนผสมวัสดุ การศึกษา ครั้งนี้เน้นการใช้ใบตองและใยมะพร้าวเป็นหลัก ยังไม่ได้ ทำการทดลองผสมวัสดุหลายชนิดเข้าด้วยกันหรือการใช้ สารประสานชีวภาพเพื่อเพิ่มความแข็งแรงในระดับที่สูงขึ้น

การวิเคราะห์ทางเคมีและชีวภาพ งานวิจัยนี้เน้น สมบัติทางกายภาพและการขึ้นรูป ยังไม่ได้ทำการวิเคราะห์ ปริมาณธาตุอาหารที่พืชจะได้รับ หรือศึกษาอัตราการย่อย สลายที่แน่นชัดในดินแต่ละประเภท

ข้อเสนอแนะ

1. ผู้ใช้งานควรศึกษาคู่มือการบำรุงรักษาอย่าง ครบถ้วน โดยเฉพาะการตรวจสอบระบบไฮดรอลิกและ อุณหภูมิของแม่พิมพ์ เพื่อป้องกันอุบัติเหตุและยืดอายุการ ใช้งานของเครื่องจักร
2. สถานศึกษาหรือวิสาหกิจชุมชนสามารถนำ เครื่องอัดรุ่นนี้ไปใช้เป็นต้นแบบในการผลิตภาชนะจากวัสดุ อินทรีย์อื่น ๆ ที่มีในท้องถิ่น เพื่อสร้างอาชีพและลดปริมาณ ขยะในชุมชนอย่างยั่งยืน
3. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับอัตราการย่อย สลายของกระถาง เมื่ออยู่ในดินในสภาพภูมิอากาศที่ต่างกัน รวมถึงการวิเคราะห์ธาตุอาหาร (N-P-K) ที่พืชจะได้รับเมื่อ กระถางย่อยสลาย

4. ควรทดลองผสมวัสดุหลายชนิดร่วมกัน เช่น ใบตองผสมโยมะพร้าว หรือการใช้สารยึดเกาะธรรมชาติ เช่น แป้งมันสำปะหลัง หรือกาวจากยางพารา เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและการกันน้ำให้ดียิ่งขึ้น

5. ควรมีการทดสอบอายุการใช้งานของกระถาง ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง เช่น การรดน้ำวันละ 2 ครั้ง และการวางไว้มากกลางแจ้ง เพื่อดูขีดจำกัดของวัสดุก่อนที่กระถางจะเสียรูปทรง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนอาจารย์ประจำปีงบประมาณ 2567 และวิทยาลัยเทคนิคอุบลราชธานีที่ให้ความอนุเคราะห์ต่อวงจรไฟฟ้าของเครื่องอัดกระถางแบบกึ่งอัตโนมัติในครั้งนี้



References

- Boonchouytan, W., Homkhiew, C., & Cheewawuttipong, W. (2021). The development of splitting flesh and fibers palmyra fruit machine [In Thai]. *Wichcha Journal Nakhon Si Thammarat Rajabhat University*, 40(1), 76–90. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/wichcha/article/view/249835>
- Charungchittisunthorn, W. (2005). *Theory & concept of design* [In Thai]. Appa Printing Group.
- Environmental and Landscape Work, Ubon Ratchathani Rajabhat University. (2023). *Organic waste volume for 2023* [In Thai] [Unpublished raw data].
- Homkhiew, C., Thammachot, N., & Boonchouytan, W. (2023). Development of biodegradable pots from wastes of cockle mushroom cultivation [In Thai]. *Wichcha Journal Nakhon Si Thammarat Rajabhat University*, 42(1), 77–92. <https://doi.org/10.65217/wichchajnsru.2023.v42i1.256634>
- Keawpan, T., Itsaranuwat, S., & Plangnok, J. (2020). Principles and concepts in product design. *Journal of Humanities and Social Sciences Surin Rajabhat University*, 22(2), 161-182. <https://so03.tci-thaijo.org/index.php/jhssru/article/view/248733/168903>
- Kaewphuang, P., & Iamtumrat, T. (2021). *The development of a waste sorting model at building 3* [In Thai] [Bachelor's thesis, Ubon Ratchathani Rajabhat University]. Ubon Ratchathani Rajabhat University Library.
- Maturasamontri, C., Saengsawang, C., Angthong, S., & Angboonta, P. (2006). *Single screw oil press for plant seeds* [In Thai]. Rajamangala University of Technology Thanyaburi.
- Miengarrom, T., & Ketkaew, T. (2021). *The development of molding machine for food packaging from natural materials* [In Thai]. Dhonburi Rajabhat University.
- Nimsamer, C. (2011). *Composition of art* [In Thai]. Amarin.

- Sawaiamon, A., Khotmanee, W., & Muangjaroen, S. (2023). The design and construction of a shape-shifter compression machine with rice straw [In Thai]. *Journal of Science and Technology Thonburi University*, 7(1), 78–87. <https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/trusci/article/view/693>
- Siampressure.com. (2023). The common unit of pressure measurement is PSI (pounds per square inch) [In Thai]. <https://siampressure.com/psi-pressure-unit/>
- Suwanarat, Y., Masong, P., & Chanphong, T. (2021). *Development of a molding tool for pot forming and production of plant pots from oil palm male inflorescences* [In Thai]. Rajamangala University of Technology Phra Nakhon.
- Tantrabandit, M. (2002). *Materials engineering* (9th ed.) [In Thai]. Technology Promotion Association (Thailand-Japan).

