



การออกแบบและพัฒนาแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปสำหรับ
ต้นแบบบรรจุภัณฑ์ไข่จากหญ้าคาสด
DESIGN AND DEVELOPMENT OF A COMPRESSION MOLD FOR EGG
PACKAGING MADE FROM FRESH COGON GRASS

ศุภชัย อัครนรากุล, อดิเรก ชัยนวกุล*

Supachai Aukaranarakul, Adirake Chainawakul*

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ประเทศไทย 50300
Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Muang, Chiang Mai, Thailand, 50300

*Corresponding author e-mail: adirake@rmutl.ac.th

วันที่เข้าระบบ 31 มีนาคม 2568

วันที่แก้ไขบทความ 22 เมษายน 2568

วันที่ตอบรับบทความ 28 เมษายน 2568

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาแม่พิมพ์สำหรับกระบวนการกดอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากหญ้าคาสด รวมถึงศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการดังกล่าว ได้แก่ แรงกด อุณหภูมิ และระยะเวลาในการขึ้นรูป โดยใช้กรณีศึกษาต้นแบบบรรจุภัณฑ์ไข่สด การทดลองดำเนินการภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกันเพื่อตรวจสอบสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ จากผลการศึกษา พบว่าการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที ให้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด โดยแม่พิมพ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถผลิตชิ้นงานในรูปแบบแผ่นที่มีขนาด $190 \times 190 \times 2$ มิลลิเมตร ได้อย่างเสถียร แรงกดที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการขึ้นรูปอยู่ที่ 190 กิโลกรัมแรง และสามารถปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ผลการทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ไข่สดที่ผลิตขึ้น พบว่ามีค่าเฉลี่ย 79.92 กิโลกรัมแรง ซึ่งสูงกว่าบรรจุภัณฑ์ไข่สดที่ผลิตจากกระดาษและพลาสติกที่มีจำหน่ายในท้องตลาดอยู่ที่ 54.38 และ 819.64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของหญ้าคาสดในฐานะวัสดุทดแทนสำหรับการผลิตบรรจุภัณฑ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดจนแนวทางในการพัฒนาเทคโนโลยีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชีวภาพในอนาคต

คำสำคัญ: แม่พิมพ์อัดขึ้นรูป, วัสดุทดแทน, ผลิตภัณฑ์ชีวภาพ, บรรจุภัณฑ์ไข่, หญ้าคาสด

Abstract

This research aims to design and develop a compression mold for forming products from fresh cogon grass, with a focus on key process parameters: compression force, temperature, and molding time. A case study was conducted using a prototype for fresh egg packaging. Experiments were carried out under varying conditions to determine the optimal settings for product formation. The results revealed that molding at 120°C for 10 minutes yielded the best outcomes. The developed mold consistently produced stable sheets with dimensions of 190 × 190 × 2 mm. The optimal compression force was 190 kilogram-force, allowing for effective compaction and easy demolding. Additionally, the molded egg packaging demonstrated an average load-bearing capacity of 79.92 kilogram-force significantly higher than that of conventional paper and plastic egg packaging, by 54.38% and 819.64%, respectively. These findings demonstrate the potential of fresh cogon grass as a sustainable alternative material for commercial packaging, and offer a promising direction for the development of eco-friendly bio-molding technologies.

Keywords: Compressive mold, Sustainable alternative material, Biobased packaging, Egg packaging, Fresh Cogon grass

1. บทนำ

ปัจจุบันกระแสความตื่นตัวด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมได้ส่งผลให้เกิดการวิจัยและพัฒนาในด้านวัสดุทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ซึ่งถือเป็นหนึ่งในภาคส่วนที่ก่อให้เกิดขยะพลาสติกจำนวนมาก (Kumar *et al.* 2024) บรรจุภัณฑ์ใหม่เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย แต่ปัจจุบันยังคงผลิตจากวัสดุสังเคราะห์ที่ย่อยสลายได้ยากหรือวัสดุที่ต้องใช้พลังงานสูงในการผลิต เช่น เยื่อกระดาษ (Emilien *et al.*, 2024)

หญ้าคา (*Imperata cylindrica*) เป็นพืชที่มีอยู่ทั่วไปในประเทศไทยและภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีคุณสมบัติเด่นคือการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย และมีเส้นใยที่แข็งแรง ซึ่งทำให้หญ้ามักถูกมองว่าเป็นวัสดุทางเลือกสำหรับบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Khalid *et al.*, 2021 และ Zainulabidin *et al.*, 2016) การนำหญ้ามามาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ใหม่ไม่เพียงช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่ยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับพืชท้องถิ่นที่มักถูกมองว่าเป็นวัชพืช และยังสามารถสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรในชุมชน (Cheng *et al.* 2024)

อย่างไรก็ตาม การพัฒนาแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปที่เหมาะสมสำหรับการผลิตบรรจุภัณฑ์ไข่จากหญ้าคาสดยังคงเป็นความท้าทายทางด้านวิศวกรรม เนื่องจากจำเป็นต้องพิจารณาหลายปัจจัย ทั้งคุณสมบัติทางกายภาพของหญ้าคา พารามิเตอร์ในกระบวนการขึ้นรูป และความต้องการด้านการใช้งานของบรรจุภัณฑ์ไข่ (Sullyfaizura *et al.*, 2020) การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นไปที่การออกแบบและพัฒนาแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปสำหรับบรรจุภัณฑ์ไข่จากหญ้าคาสด โดยใช้กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม การจำลองทางคอมพิวเตอร์ และการทดสอบเชิงทดลอง เพื่อให้ได้แม่พิมพ์ที่มีประสิทธิภาพสามารถผลิตบรรจุภัณฑ์ไข่ที่มีความแข็งแรง ให้การป้องกันที่เพียงพอ และสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ผลจากการศึกษานี้จะเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตบรรจุภัณฑ์จากวัสดุธรรมชาติ และส่งเสริมการใช้ทรัพยากรท้องถิ่นอย่างยั่งยืน ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy) และเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable development goals) ขององค์การสหประชาชาติ (Cheng *et al.* 2024)

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาแม่พิมพ์สำหรับกระบวนการกดอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากหญ้าคาสด

2.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการกดอัด ได้แก่ แรงกด อุณหภูมิ และระยะเวลาการขึ้นรูป โดยใช้กรณีศึกษาบรรจุภัณฑ์ไข่สด

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

การวิจัยนี้ได้ดำเนินการตามกระบวนการที่มีการวางแผนอย่างรอบคอบเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ในการออกแบบและพัฒนาแม่พิมพ์สำหรับกระบวนการกดอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากหญ้าคาสด รวมถึงการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการดังกล่าว เช่น แรงกด อุณหภูมิ และระยะเวลาในการขึ้นรูป โดยใช้กรณีศึกษาบรรจุภัณฑ์ไข่สด การดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็นขั้นตอนดังนี้:

3.1 การทบทวนวรรณกรรม

แนวโน้มของอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ทั่วโลกกำลังมุ่งไปสู่การใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งรวมถึงวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable) หรือวัสดุรีไซเคิลได้ (Recyclable) ประเทศไทยเองก็กำลังเผชิญกับปัญหาขยะพลาสติกที่เพิ่มขึ้น ทำให้ภาครัฐและเอกชนเริ่มให้ความสำคัญกับการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่ยั่งยืนมากขึ้น (Viriya *et al.*, 2024)

บรรจุภัณฑ์ไข่เป็นส่วนสำคัญในอุตสาหกรรมอาหาร โดยปกติแล้วบรรจุภัณฑ์ไข่ผลิตจากพลาสติกหรือเยื่อกระดาษรีไซเคิล ซึ่งแม้จะมีข้อดีด้านความแข็งแรงและป้องกันแรงกระแทกได้ดี แต่พลาสติกก่อให้เกิดขยะที่ย่อยสลายยาก ในขณะที่กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษใช้พลังงานสูงและ

สร้างของเสียจากกระบวนการผลิต (Nathalie & Henrik, 2022) แนวโน้มในปัจจุบันจึงมุ่งเน้นไปที่การใช้วัสดุชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้ และหญ้าคา (*Imperata cylindrica*) ถือเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจ เนื่องจากมีปริมาณมากในธรรมชาติ เจริญเติบโตได้รวดเร็ว และให้เส้นใยที่มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับใช้ในกระบวนการขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ (Katherine *et al.*, 2022) ประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศที่มีการบริโภคไข่ในปริมาณสูง ส่งผลให้มีการใช้บรรจุภัณฑ์ไข่เป็นจำนวนมาก การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ การใช้วัสดุจากธรรมชาติหรือวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ จะช่วยลดการพึ่งพาวัสดุที่ยั่งยืนและลดปริมาณขยะพลาสติกในระยะยาว (Hussain *et al.* 2024) รัฐบาลไทยได้ออกมาตรการหลายประการเพื่อสนับสนุนบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น นโยบายลดการใช้พลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว การให้สิทธิพิเศษทางภาษีแก่ผู้ประกอบการที่ผลิตบรรจุภัณฑ์จากวัสดุยั่งยืน และการส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง อย่างไรก็ตาม ยังจำเป็นต้องมีการบังคับใช้กฎหมายและมาตรฐานที่ชัดเจนเพื่อกระตุ้นให้ภาคธุรกิจและผู้บริโภคหันมาใช้บรรจุภัณฑ์ที่ยั่งยืนมากขึ้น

Nath *et al.* (2024) ศึกษาเกี่ยวกับวัสดุที่สามารถใช้แทนพลาสติกและโฟมสำหรับบรรจุภัณฑ์ไข่ เช่น เยื่อกระดาษรีไซเคิล ไบโอฟลาสติก และวัสดุจากเส้นใยธรรมชาติ เช่น เส้นใยปาล์ม เส้นใยมะพร้าว หรือกากกาแฟ ซึ่งวัสดุเหล่านี้มีคุณสมบัติในการปกป้องสินค้าได้ดี และสามารถย่อยสลายได้ในสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ไข่ที่ยั่งยืนในประเทศไทยเป็นสิ่งสำคัญเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคที่ให้ความสำคัญกับความยั่งยืน การวิจัยและพัฒนาวัสดุทดแทน การสนับสนุนจากภาครัฐ และการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของผู้บริโภค ล้วนเป็นปัจจัยที่สำคัญในการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ให้เติบโตในทิศทางที่ยั่งยืนมากขึ้น (Romprasert *et al.* 2024) หนึ่งในนั้นคือวัสดุหญ้าคาซึ่งเป็นพืชที่มีเส้นใยเซลลูโลสสูง และเมื่อนำมาแปรรูปสามารถใช้แทนเยื่อกระดาษได้ การศึกษาของ Zainulabidin *et al.* (2016) พบว่าเส้นใยหญ้าม้ามีโครงสร้างที่ช่วยให้วัสดุมีความเหนียวและยืดหยุ่นสูง ซึ่งเหมาะสำหรับการผลิตบรรจุภัณฑ์ นอกจากนี้ งานวิจัยของ Liu *et al.* (2023) ได้ทดลองใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในการบำบัดเส้นใยฝ้าย เพื่อขจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลส พบว่าวิธีนี้สามารถเพิ่มความแข็งแรงของเส้นใยและช่วยให้เส้นใยสามารถผสมเข้ากับสารยึดเกาะได้ดีขึ้น

แม่พิมพ์อัด (Compression mold) เป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้ในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ไข่จากวัสดุยั่งยืน เช่น เยื่อกระดาษ หรือวัสดุชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้ การออกแบบแม่พิมพ์อัดที่เหมาะสมจะช่วยให้ได้บรรจุภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูง คงทน และสอดคล้องกับมาตรฐานอุตสาหกรรม นอกจากนี้ การพัฒนาแม่พิมพ์อัดที่มีประสิทธิภาพจะช่วยลดต้นทุนการผลิต ลดของเสีย และเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการขึ้นรูป (Elfaleh *et al.*, 2023 และ Sutcu *et al.* 2024) แม่พิมพ์อัด

กตัญญูใช้ชิ้นรูปวัสดุให้เป็นรูปทรงบรรจุภัณฑ์ โดยควบคุมแรงอัดและอุณหภูมิที่เหมาะสม (Kandar *et al.* 2016) เพื่อให้วัสดุสามารถเซ็ดตัวและขึ้นรูปได้อย่างสมบูรณ์ ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ ได้แก่ แรงอัด อุณหภูมิ เวลาในการขึ้นรูป และโครงสร้างของแม่พิมพ์ ซึ่งมีผลต่อความหนาแน่นและความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ (Katherine *et al.*, 2022) ได้ทดสอบนำเยื่อกระดาษหรือวัสดุชีวภาพมาผสมกับน้ำและสารเติมแต่ง เช่น สารเชื่อมประสาน และสารปรับปรุงคุณสมบัติ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ วัสดุที่ใช้ต้องมีความสามารถในการเติมเข้าสู่แม่พิมพ์และกระจายตัวได้ดี ในขณะที่ Didone *et al.* (2017) ได้ศึกษาการลดความชื้นของบรรจุภัณฑ์ที่ขึ้นรูปแล้วผ่านกระบวนการอบแห้ง เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้างและลดการเสีรูปของผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องควบคุมอย่างแม่นยำ

3.2 การออกแบบแม่พิมพ์กดอัด

การออกแบบชุดแม่พิมพ์สำหรับกระบวนการกดอัดขึ้นรูปจะคำนึงถึงขนาดและรูปทรงของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ โดยในกรณีศึกษานี้คือบรรจุภัณฑ์ไข่สด ซึ่งต้องคำนึงถึงลักษณะทางกลและคุณสมบัติของวัสดุหุ้มพลาสติก รวมถึงการคำนวณแรงกดที่เหมาะสมในกระบวนการและการออกแบบส่วนต่าง ๆ ของแม่พิมพ์ เช่น ขนาดสกรู ขนาดสลัก และตำแหน่งการเจาะรูสำหรับยึดชิ้นส่วนต่าง ๆ ซึ่งขั้นตอนการดำเนินงานอย่างมีแบบแผน และมีการทำงานอย่างเป็นขั้นตอนรวมถึงการเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในการผลิตชุดแม่พิมพ์ ดังแสดงใน ภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการวางแผนการดำเนินงาน

จากการศึกษารวบรวมข้อมูล ทำการออกแบบต้นแบบบรรจุภัณฑ์จากหญ้าคา ซึ่งในที่นี้ได้เลือกออกแบบบรรจุภัณฑ์ใช้สด เนื่องจากมีการใช้งานเป็นจำนวนมากดังได้กล่าวมาแล้วในบทนำ โดยต้นแบบบรรจุภัณฑ์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ต้นแบบบรรจุภัณฑ์ใช้สด

จากนั้น ทำการหาปริมาตรของชิ้นงานต้นแบบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer aided design: CAD) แล้วพิจารณาคุณสมบัติและขนาดของเครื่องอัดที่ใช้ในการทดลองแล้ว จากนั้นจึงทำการคำนวณเพื่อหาแรงกดอัดขึ้นรูปชิ้นงาน โดยต้องพิจารณาจากแรงกดอัดของเครื่องกดอัดและแรงกดอัดขึ้นรูปชิ้นงานจริง ดังแสดงในสมการที่ (1) และ (2) เพื่อใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์ต่อไป

$$F_m = 1.5 (F) \quad (1)$$

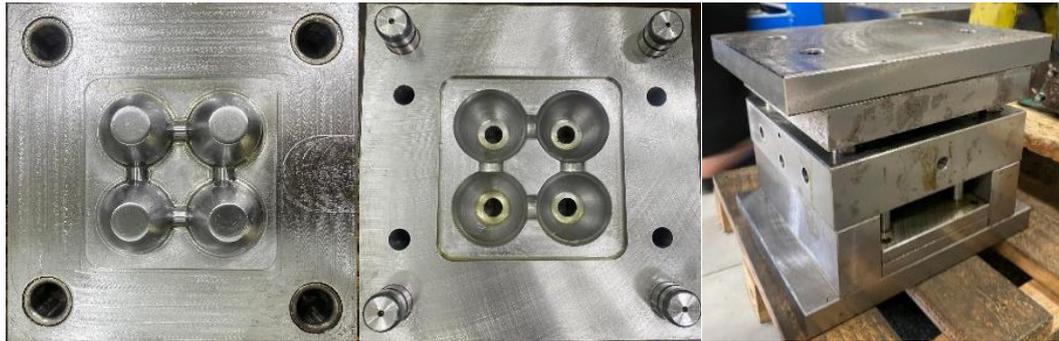
เมื่อ F_m คือ แรงกดอัดของเครื่องกดอัด และ F คือ แรงกดอัดขึ้นรูปชิ้นงาน

$$F = \sigma \times A \quad (2)$$

เมื่อ F คือ แรงที่กดอัดขึ้นรูปชิ้นงาน σ คือ ความเค้น และ A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน

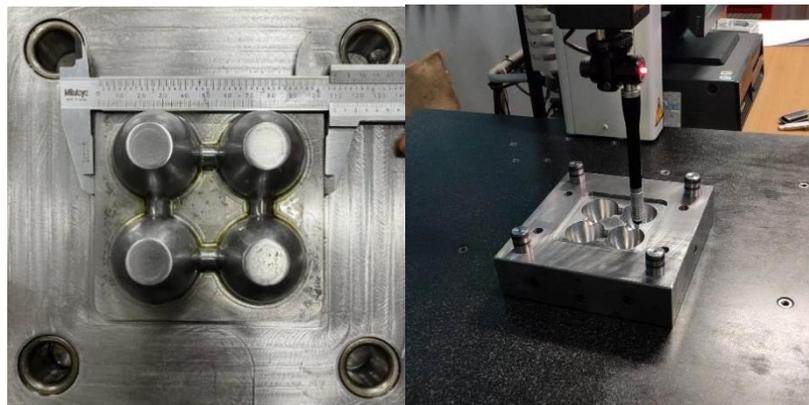
จากการคำนวณข้างต้น สามารถนำผลการคำนวณมาออกแบบแม่พิมพ์ตามแบบชิ้นงานต้นแบบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิต (Computer aided design and manufacturing: CAD/CAM) จากนั้นตรวจสอบความถูกต้องแล้วขึ้นรูปแม่พิมพ์ด้วยเครื่องจักรกลซีเอ็นซี (Computer numerical control: CNC) จากนั้นทำการประกอบชิ้นส่วนแม่พิมพ์ฝั่งตัวผู้ (Core) ตัวเมีย (Cavity) และชิ้นส่วนมาตรฐานต่างๆ เข้าด้วยกัน ก่อนทำการตรวจสอบและปรับประกอบ (Inspection and fitting) ต่อไป เนื่องจากชิ้นงานบรรจุภัณฑ์เป็นวัสดุธรรมชาติ และการขึ้น

รูปชิ้นงานต้องใช้ความร้อนในการขึ้นรูปพร้อมกับแรงกดอัด ดังนั้น วัสดุที่ใช้จึงต้องมีความแข็งแรงทนแรงเสียดสี ความร้อน และแรงกดอัดได้มาก ผู้วิจัยจึงเลือกใช้เหล็ก S50C มาใช้ในการสร้างชุดแม่พิมพ์ เนื่องจากมีความแข็งแรงทนทานเหมาะสมกับการในการขึ้นรูปแม่พิมพ์ แม่พิมพ์ที่ได้จากการออกแบบและผลิตสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ไข่สดต้นแบบจากหญาคา

หลังจากผลิตแม่พิมพ์แล้วขั้นตอนต่อมาเป็นการตรวจสอบขนาดและความถูกต้องของแม่พิมพ์ตามพิคัดที่ออกแบบด้วยเครื่องมือวัดขนาด ซึ่งประกอบไปด้วย เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier caliper) และเครื่องวัดขนาดระบบพิคัด (Coordinate measuring machine: CMM) ดังแสดงในภาพที่ 4 จากการตรวจสอบพบว่าชิ้นส่วนแม่พิมพ์ชุดนี้มีขนาดและความถูกต้องอยู่ในพิคัดทั้งหมด จากนั้นจึงทำการปรับประกอบแม่พิมพ์ก่อนทำการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานต่อไป



ภาพที่ 4 การวัดและตรวจสอบขนาดแม่พิมพ์

3.3 การเตรียมวัสดุธรรมชาติสำหรับอัดขึ้นรูปชิ้นงาน

ในขั้นตอนนี้จะทำการเตรียมวัสดุหญาคาสดให้เหมาะสมสำหรับการนำมาผลิตบรรจุภัณฑ์ไข่สด โดยพิจารณาจากคุณสมบัติต่างๆ เช่น ความทนทาน ความยืดหยุ่น และความสามารถในการรับ

น้ำหนัก รวมถึงกระบวนการเตรียมวัสดุให้พร้อมสำหรับการใช้ในการกดอัดขึ้นรูป ตามอัตราส่วนผสมระหว่างหญ้าคา น้ำ และโซดาไฟ จากนั้นตากให้แห้ง การเตรียมวัสดุหญ้าคาแสดงได้ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การเตรียมวัสดุหญ้าคา

4. การทดลองอัดและหาค่าปัจจัยที่เหมาะสม

ขั้นตอนในการกดอัด อันดับแรกทำการติดตั้งแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องกดอัด (Compression machine) และติดตั้งชุดฮีตเตอร์ทำความร้อน (Heater) เข้ากับแม่พิมพ์ทั้งชุดแม่พิมพ์ตัวผู้และตัวเมีย จากนั้นตรวจสอบระยะเปิดปิดและการทำงานของแม่พิมพ์ ทำการทดสอบอัดขึ้นรูป (Screening) เพื่อให้ได้ชิ้นงานจากวัสดุที่เตรียมจากหญ้าคาสด น้ำ และโซดาไฟ ตามอัตราส่วน 400 : 2,100 : 60 กรัม ตามลำดับ เมื่อได้หญ้าคาจากการเตรียมเรียบร้อยแล้วทำการทดสอบอัด พบว่าหญ้าคาแห้งที่น้ำหนัก 70 กรัม แรงกดอัดที่ 190 กิโลกรัมแรง อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้เต็มเข้าแม่พิมพ์และค่อนข้างหนาแน่นตรงตามขนาดชิ้นงานที่ออกแบบไว้ แล้วจึงนำผลการทดสอบอัดไปทำการทดลองต่อไป การการติดตั้งแม่พิมพ์และทดลองอัดสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 6

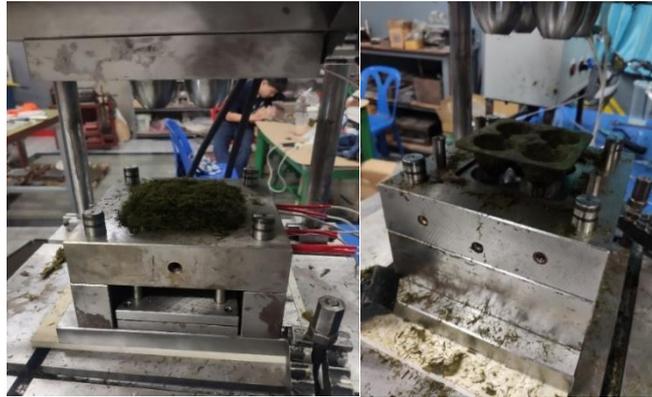


ภาพที่ 6 การติดตั้งแม่พิมพ์และทดลองอัด

สำหรับกระบวนการทดลองในงานวิจัยนี้ จะดำเนินการภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกันเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ได้แก่ การปรับอุณหภูมิ ระยะเวลา และตาราง 1 ควร แสดงการออกแบบการทดลองทั้งหมดและผลการทดสอบของแต่ละการทดลอง เช่น แรงในการกดขึ้นงานมีการออกแบบไว้ใช้แรงเท่าใดบ้าง และผลการทดสอบควรแสดงให้เห็นถึงค่าของการรับน้ำหนักและน้ำหนักหุ้ราคาแห้ง ซึ่งเมื่อพิจารณาจากข้อมูลทั้งหมดแล้วจะทำให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดตามที่ได้รายงานไว้แรงกด ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1 และการทดลองอัดขึ้นรูปขึ้นงานบรรจุภัณฑ์ใช้จากหุ้ราคาแสดงได้ดังภาพที่ 7

ตารางที่ 1 การออกแบบการทดลอง

แรงในการกดขึ้นงาน	เวลาในการกดขึ้นงาน (นาที)	อุณหภูมิในการกดขึ้นงาน (องศาเซลเซียส)		
190	5	80	100	120
	10			
	15			



ภาพที่ 7 การทดลองอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ไข่จากหญ้าคา

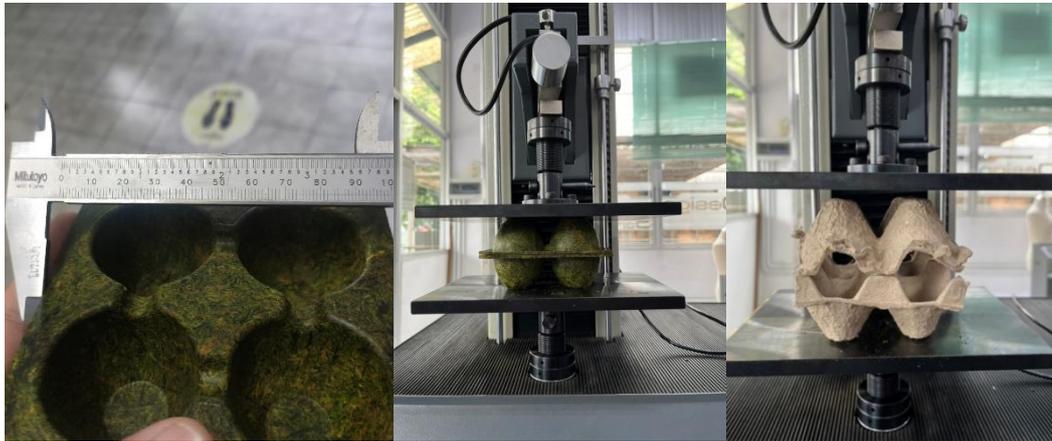
เนื่องจากผลที่ได้จากการทดสอบอัด (Screening) ว่าชิ้นงานสามารถอัดขึ้นรูปได้ค่อนข้างดีด้วย พารามิเตอร์ต่อไปนี้ ได้แก่ หญ้าคาแห้งที่น้ำหนัก 70 กรัม แรงกดอัดที่ 190 กิโลกรัมแรง อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที ดังนั้น การออกแบบการทดลอง (Experimental design) จึงใช้วิธีการอย่างง่ายโดยการแปรผันเวลาและอุณหภูมิกัดอัดชิ้นงาน โดยกำหนดให้แรงกดอัดคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากมีผลต่อความรูปร่างชิ้นงานซึ่งเป็นไปตามตารางที่ 1 ในการดำเนินการทดลองพบว่า อุณหภูมิกัดอัดที่ 120 องศาเซลเซียส และระยะเวลา 10 นาที ได้ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากวัสดุหญ้าคาสดในแง่ของรูปร่างและความสมบูรณ์ของชิ้นงาน (ดังภาพที่ 8) เป็นไปตามแบบที่ออกแบบไว้ เนื่องจากบรรจุภัณฑ์นี้มีการรับน้ำหนัก แรง และการกันกระแทก ดังนั้นจึงนำชิ้นงานที่ได้จากการทดลองอัดด้วยพารามิเตอร์ที่แปรผันไปทำการทดสอบคุณสมบัติทางกล (Mechanical properties) ต่อไป



ภาพที่ 8 ผลการทดลองกดอัดบรรจุภัณฑ์ไข่ไก่จากวัสดุหญ้าคาที่เหมาะสมที่สุด

5. การทดสอบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์

ในขั้นตอนนี้จะทำการทดสอบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูป เช่น ความสามารถในการรับน้ำหนัก โดยการทดสอบบรรจุภัณฑ์ไข่สดที่ผลิตจากวัสดุหุ้มอากาศ และเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์ไข่สดที่ผลิตจากวัสดุอื่น เช่น กระดาษและพลาสติกในท้องตลาด ผลการทดสอบพบว่าบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากวัสดุหุ้มอากาศมีความสามารถในการรับน้ำหนักสูงกว่าผลิตภัณฑ์จากวัสดุอื่นๆ โดยแบ่งเป็นการตรวจสอบวัดขนาดชิ้นงาน (Dimension measurement) ตามจุดวัด และพิกัดตรวจสอบ และการทดสอบการรับน้ำหนักด้วยเครื่องทดสอบ (Material testing equipment) ดังแสดงในภาพที่ 9 โดยการทดสอบนี้มีการเปรียบเทียบกับผลจากการทดสอบบรรจุภัณฑ์ไข่จากกระดาษและพลาสติกด้วย



ภาพที่ 9 การตรวจสอบขนาดและทดสอบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์

6. สรุปผลและอภิปรายผล

จากการทดสอบ พบว่า ขนาดชิ้นงานที่ขึ้นรูปได้อยู่ในพิกัดทั้งหมด ส่วนค่าที่ได้จากการทดสอบรับน้ำหนักของชิ้นงานบรรจุภัณฑ์ไข่จากหุ้มอากาศ ทั้งแบบประกบคู่และแบบชิ้นเดียว มีค่าการรับน้ำหนักมากกว่าบรรจุภัณฑ์ไข่จากกระดาษและบรรจุภัณฑ์ไข่จากพลาสติก โดยค่าการรับน้ำหนักบรรจุภัณฑ์ไข่แบบประกบคู่มีค่าการรับน้ำหนักได้ดีที่สุด มีค่าเฉลี่ยของค่าแรงรับน้ำหนักสูงสุด 79.92 กิโลกรัมแรง และค่าการรับน้ำหนักบรรจุภัณฑ์ไข่แบบชิ้นเดียว มีค่าเฉลี่ยของค่าแรงรับน้ำหนักสูงสุด 78.78 กิโลกรัมแรง และค่าการรับน้ำหนักบรรจุภัณฑ์ไข่แบบกระดาษมีค่าเฉลี่ยค่าแรงรับน้ำหนักสูงสุด 51.76 กิโลกรัมแรง และค่าการรับน้ำหนักบรรจุภัณฑ์ไข่แบบพลาสติกมีค่าเฉลี่ยของค่าแรงรับน้ำหนักสูงสุด 8.69 กิโลกรัมแรง และค่าพารามิเตอร์กอดอัดที่ดีที่สุดคือการใช้อุณหภูมิ กอดอัดที่ 120 องศาเซลเซียส เวลา กอดอัด 10 นาที และใช้แรงกอดอัด 190 กิโลกรัมแรง เนื่องจากเป็นชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สามารถขึ้นรูปของชิ้นงานได้สมบูรณ์ที่สุด จึงเหมาะสำหรับขึ้นรูปต้นแบบและต่อยอดต่อไป



ภาพที่ 10 บรรจุภัณฑ์ไข่ไก่จากวัสดุหญาคาจากแม่พิมพ์กดอัด

7. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณหลักสูตรวิศวกรรมแม่พิมพ์และเครื่องมือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา สำหรับการสนับสนุนด้านสถานที่และเครื่องมือในการดำเนินงานวิจัยมา ณ ที่นี้

8. เอกสารอ้างอิง

- Cheng, J., Gao, R., Zhu, Y., & Lin, Q. (2024). Applications of biodegradable materials in food packaging: A review. **Alexandria Engineering Journal**, 91, 70-83.
- Cheng, Z., Li, J., He, G., Su, M., Xial, N., Zhang, X., Zhong, L., Wang, H., Zhong, Y., Chen, Q., Chen, Y., & Lui, M. (2024). Biodegradable packaging paper derived from chitosan-based composite barrier coating for agricultural products preservation. **International Journal of Biological Macromolecules**, 280(4), 136-148.
- Didone, M., Saxena, P., Brihuis-Meijer, E., Tosello, G., Bissacco, G., Mcaloone, T.C., Pigosso, D.C.A., & Howard, T. (2017). Moulded Pulp Manufacturing: Overview and Prospects for the Process Technology. **Packaging Technology and Science**, 30(6), 231-249.
- Elfaleh, I., Abbassi, F., Habibi, M., Ahmad, F., Guedri, M., Nasri, M., & Garnier, C. (2023). A comprehensive review of natural fibers and their composites: An eco-friendly alternative to conventional materials. **Results in Engineering**, 19, 1-31.
- Emilien, F., Pescheux-Sergienko, J., Mujica, R., Rey, C., & Bras, J. (2024). Novel technologies for producing tridimensional cellulosic materials for packaging: A review. **Carbohydrate Polymers**, 342, 1-20.

- Hussain, S., Akhter, R., & Maktedar, S.S. (2024). Advancements in sustainable food packaging: from eco-friendly materials to innovative technologies, **Sustainable Food Technology**, 2(5), 1297-1364.
- Kandar, M.I., & Akil, H.M. (2016). Application of Design of Experiment (DoE) for Parameters Optimization in Compression Moulding for Flax Reinforced Biocomposites. **International Procedia Chemistry**, 19(2016), 1-17.
- Katherine, E.S., Zhou, C., Rojas, O., Nkeuwa, W.N., Dai, C. (2022). Moulded pulp fibers for disposable food packaging: A state-of-the-art review. **Food Packaging and Shelf Life**, 33, 1-18.
- Khalid, F.E., Ahmad, S.A., Zakaria, N.N., Shaharuddin, N.A., Sabri, S., Azmi, A.A., Khalil, K.A., (2021). Application of Cogon Grass (*Imperata cylindrica*) as Biosorbent in Diesel-Filter System for Oil Spill Removal. **Agronomy**, 11(11), 1-16.
- Kumar, S., Dubey, N., Kumar, V., Choi, I., Jeon, J., & Kim, M. (2024). Combating micro/nano plastic pollution with bioplastic: Sustainable food packaging, challenges, and future perspectives. **Environmental Pollution**, 363(1), 345-356.
- Liu, Y., Ma, S., Wang, F., & Wang, L. (2023). Advances in Research of Molded Pulp for Food Packaging. **Journal of Renewable Materials**, 11(11), 3831-3846.
- Nathalie, S. & Henrik, P. (2022). Industrial packaging and its impact on sustainability and circular economy: A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, 333, 1-13.
- Nath, D., Misra, M., Al-Daoud. F., & Mohanty, A.K. (2024). Studies on poly (butylene succinate) and poly (butylene succinate-co-adipate)-based biodegradable plastics for sustainable flexible packaging and agricultural applications: a comprehensive review. **RSC Sustainability**, 3(3), 78-92.
- Romprasert, S., Srihachai, A., Tanamee, D., & Wiriyaipinit, S. (2024). Thai Consumers' Perceptions of Sustainable Food Packaging. **Advances in Social Sciences Research Journal**, 11(12), 154-172.
- Sullyfaizura, B.M.R., Suzillawati, A., Wahid, S.A. (2020). Design and development mini compression molding for teaching and learning. **Education and Social Sciences Review**, 1(2), 48-53.



- Sutcu, M., Faisal, M.S., Danish, A., Erdogmus, E., Gencel, O., & Ozbakkaloglu, T. (2024). Preparation and performance evaluation of waste tuff-modified bricks for sustainable built environment: Effect of firing temperature and molding pressure. **Construction and Building Materials**, 420, 1-14.
- Viriya, H., Saengchut, P., Kongritti, N. (2024). Forecasting of plastic packaging waste in Thailand using economic index data application. *Science, Engineering and Health Studies (SEHS)*, 18(2024), 1-7.
- Zainulabidin, M.H., Kassim, A.S.M., Aripin, A.M., Ishak, N. (2016). Potential of cogon grass (*Imperata cylindrica*) as an alternative fibre in paper-based industry. **ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences**, 11(4), 2681-2686.