Received: August 19, 2022 Revised: September 5, 2022
Accepted: September 20, 2022 Published: November 21, 2022

ผลของอุณหภูมิและเวลาในการขึ้นรูปต่อความแข็งแรงของจานใบหูกวาง
The Influence of Forming Temperature and Time on the Strength of a Tropical Almond Leaf Dish

กฤษฎา บุญชม[1*] ปริยาพร กองคำ[2] ไกรสร เราเท่า[1] และ อรรถพล วงค์ตั้ง[1]
Kritsada Boonchom[1*] Kraisorn Rowtown[2] and Arttapon Wongtung[2]

[1] ภาควิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
[2]โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
[*] kritsada_boo@cmru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาการขึ้นรูปต่อความแข็งแรงของจานใบหูกวางที่ผลิตโดยการขึ้นรูปจากเครื่องขึ้นรูปแบบมือกด ภายใต้อุณหภูมิการขึ้นรูปที่ 150, 170 และ 190 องศาเซลเซียส และเวลาในการขึ้นรูปที่ 3 6 และ 9 นาที ผลการศึกษาพบว่าเวลาและอุณหภูมิการขึ้นรูปเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ โดยที่เวลาและอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่ส่งผลถึงความชื้นของผลิตภัณฑ์ ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงตามความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ลดลง การขึ้นรูปจานที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับจานใบหูกวาง ที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปทรงสมบูรณ์ตามแบบและมีความแข็งแรงที่สุด มีค่าความต้านแรงดึง เท่ากับ 0.19±0.05 เมกะปาสคาล เมื่อพิจารณาการผลิตในเชิงพลังงาน พบว่า การขึ้นรูปด้วยอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที จะได้จานใบหูกวางที่มีรูปทรงสมบูรณ์ตามแบบ ประหยัดพลังงานมากที่สุด และมีความแข็งแรงในลำดับที่สอง มีค่าความต้านแรงดึง เท่ากับ 0.15±0.03 เมกะปาสคาล

คำสำคัญ: จานใบหูกวาง, ความต้านแรงดึง, อุณหภูมิ, ความแข็งแรง

Abstract

The objective of this research was study the effect of forming at various temperatures and times on the strength of a tropical almond leaf dish. It was produced by a manual molding machine. The forming conditions were forming temperatures at 150, 170, and 190 °C, and forming times of 3, 6 and 9 minutes. The results showed that forming time and temperature are factors that affect product strength. Forming time and temperature were factors that affect the moisture content of the product. The strength of the product was decreased as the moisture content of the product decreases. Forming dish at 170 °C for 3 minutes was the optimum condition for a tropical almond leaf dish. The product had perfect shape and the

strongest. The tensile stress was 0.19±0.05 MPa. The production was considered in the energy way. It was found that forming at 150 °C for 3 minutes had perfectly shaped, the most energy saving and second-order strength. The tensile strength was 0.15±0.03 MPa.

Keywords: tropical almond leaf dish, tensile stress, temperature, strength

บทนำ

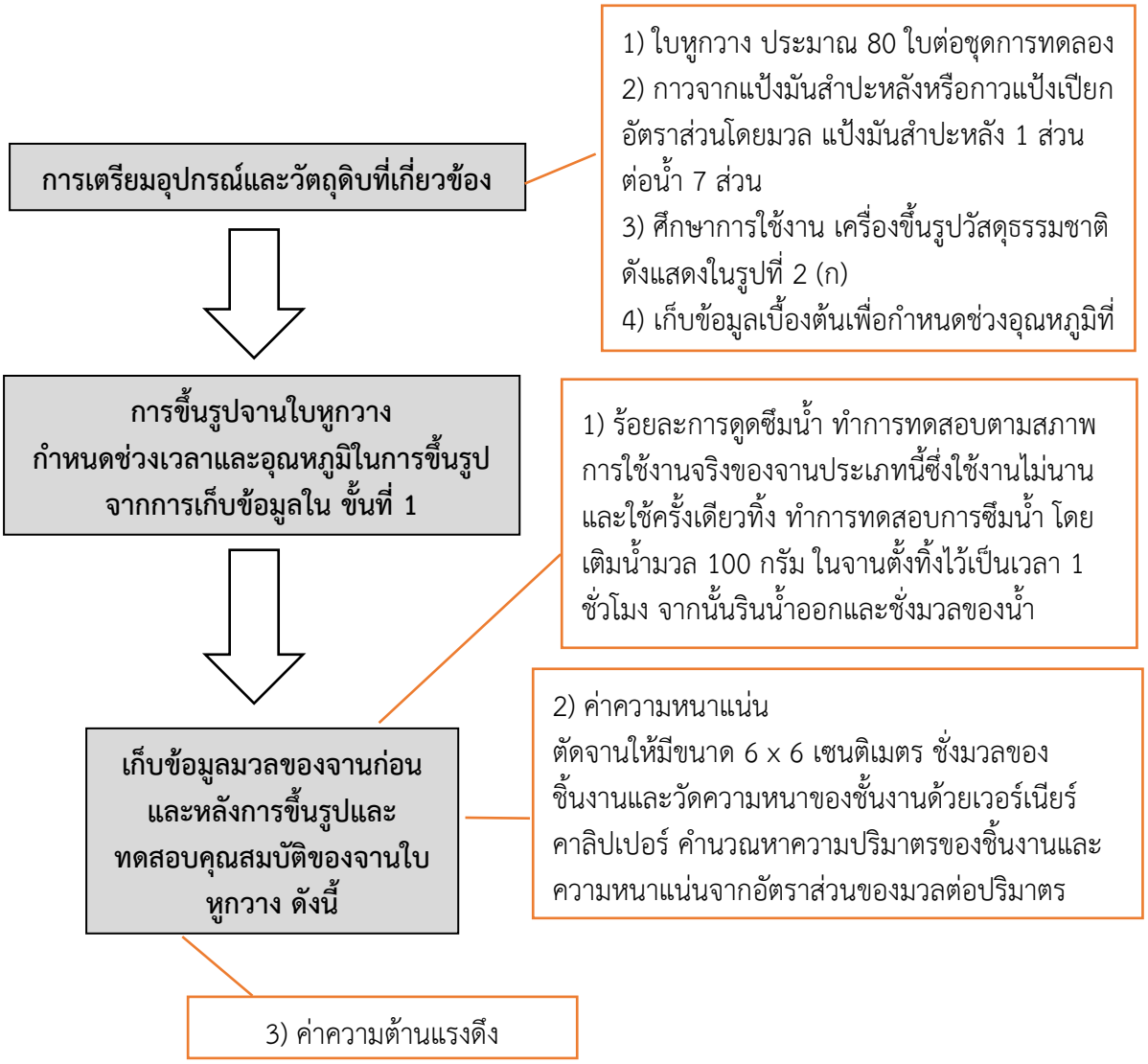
ปัจจุบันปัญหาขยะพลาสติกส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติทั่วโลก โดยพบว่าขยะทะเลมากกว่าร้อยละ 80 เป็นขยะพลาสติก และ ร้อยละ 70 ของขยะพลาสติกมาจากสิ่งของที่ใช้แล้วทิ้ง (Korbelyiova, L. et.al, 2021) หนึ่งในนั้นคือบรรจุภัณฑ์บรรจุอาหาร เช่น ถุงพลาสติก แก้วน้ำพลาสติก จานพลาสติก กล่องพลาสติกบรรจุอาหาร และโฟมใส่อาหาร เป็นต้น ซึ่งจากปัญหาที่เกิดขึ้นได้มีการรณรงค์ให้ใช้บรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม อาทิ จานกระดาษ กล่องกระดาษ ถุงกระดาษ หลอดกระดาษมากขึ้น และมีการพัฒนาวัสดุจากธรรมชาติที่นำมาใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร เช่น จานจากชานอ้อย ถุงไบโอพลาสติก หลอดไบโอพลาสติก หลอดกระดาษ เป็นต้น สำหรับประเทศไทยนั้นวัฒนธรรมการเสิร์ฟอาหารด้วยวัสดุธรรมชาติ อาทิ ใบไม้ กะลา กระบอกไม้ไผ่ เป็นวัฒนธรรมที่มีมายาวนาน ประกอบกับในปัจจุบันมีการศึกษาและผลิตภาชนะบรรจุอาหารเพื่อสิ่งแวดล้อมที่สามารถวางจำหน่ายได้ทั่วไป โดยแบ่งตามประเภทวัสดุ ได้แก่ ชานอ้อย กาบหมาก แป้งมันสำปะหลัง และพลาสติกชีวภาพ (คณิต อยู่สมบูรณ์ และคณะ , 2558) การออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปภาชนะที่ทำจากเส้นใยธรรมชาติ โดยใช้เยื่อกระดาษชานอ้อย ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาลนำมาผสมกับน้ำได้เป็นวัสดุในการขึ้นรูปภาชนะ 2 ชนิด คือ จานขนาด 6 นิ้ว และชามขนาด 4 นิ้ว (นพดล จันทรลักษณ์ และสมนึก วัฒนศรียกุล, 2555) การออกแบบและสร้างเครื่องอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์อาหารจากกาบหมากระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้า ซึ่งมีระบบควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติ สำหรับควบคุมอุณหภูมิของแม่พิมพ์ สำหรับการผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารจากกาบหมาก 3 ประเภท คือ จานสี่เหลี่ยม ขนาด 7 นิ้ว จานกลม ขนาด 7 นิ้วและถ้วยขนาด 7 นิ้ว (สมเกียรติ สุทธิยาพิวัฒน์ และธมยันตี ประยูรพันธ์, 2563) และการออกแบบและพัฒนาเครื่องทำแผ่นใบหมากซึ่งใช้พลังงานแบบใช้เท้าเหยียบ (Poudel, K., 2022) เป็นต้น และในประเทศอินเดีย รัฐบาลอินเดียได้ให้ความสำคัญในการใช้จานใบไม้แทนจานพลาสติกและมองเห็นศักยภาพมหาศาลในตลาดต่างประเทศ จึงมีการกำหนดแนวทางที่ให้หน่วยงานทางการศึกษาได้ร่วมกันศึกษาวิจัยในการพัฒนาคุณภาพและการออกแบบจานใบไม้และเครื่องอัดขึ้นรูป ซึ่งผลการดำเนินยังสามารถกระตุ้นให้ผู้เกี่ยวข้องได้ตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อม (Jyothi, A., 2019) ทั้งนี้ผู้วิจัยมีความสนใจในแนวคิดของประเทศอินเดีย ที่จะให้ภาคส่วนทางการศึกษาได้กระตุ้นให้ผู้เกี่ยวข้องได้ตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมและศึกษาวิจัยในพัฒนาคุณภาพและการออกแบบจานใบไม้ จึงได้เกิดแนวคิดที่จะศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องของสภาวะการขึ้นรูป ที่ส่งผลกับความแข็งแรงของภาชนะจากเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งจะเป็นแนวคิดเริ่มต้น สำหรับเป็นแนวทางการจัดการเรียนการสอนแบบสะเต็มศึกษาในโรงเรียน ในการผลิตจานจากใบไม้ชนิดต่าง ๆ ในสภาวะการขึ้นรูปที่หลากหลาย ปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของจาน โดยคณะผู้วิจัยได้เลือกใบของต้นหูกวาง (tropical almond หรือ India almond) เนื่องจากเป็นพืชที่มีการปลูกอยู่ทั่วไป มีจำนวนใบหนาแน่นและเป็นใบไม้ที่มีพื้นที่ใบขนาดใหญ่ มีลักษณะใบคล้ายกับใบสัก (Teak leaf) ซึ่งเป็นใบไม้ที่นำมาใช้บรรจุอาหารตั้งแต่โบราณ จากงานวิจัยของ Martinus และคณะ ได้ผลิตจานใบสักจากเครื่องอัดจานที่พัฒนาขึ้นให้มีระบบควบคุมอุณหภูมิทั้งด้านบนและด้านล่าง

ของแม่พิมพ์และได้ทดสอบแรงดึงที่ทำให้ชิ้นงานเกิดความเสียหาย พบว่ามีค่าแรงดึงเฉลี่ย 29.3 นิวตัน (Martinus, H. A. et.al, 2021) จากแง่คิดดังกล่าวปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับสภาวะการขึ้นรูปของภาชนะจากใบไม้ก็คืออุณหภูมิ จึงนำไปสู่การศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาต่อความแข็งแรงของภาชนะจากใบหูกวาง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการขึ้นรูปกับความแข็งแรงของจานใบหูกวาง

วิธีดำเนินการวิจัย



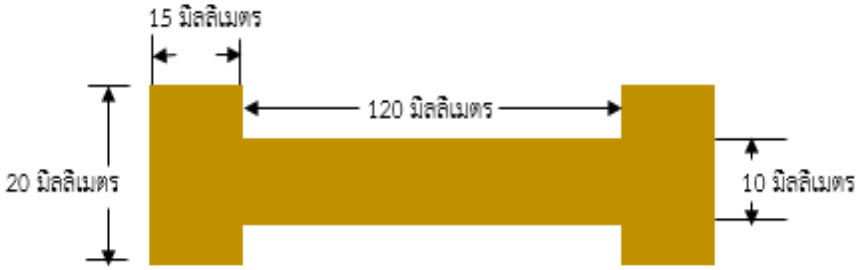
รูปที่ 1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

ค่าความต้านแรงดึง (tensile stress) เป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งแรงของวัสดุ โดยการวัดค่าแรงดึงสูงสุดต่อพื้นที่ของชิ้นงานที่สามารถต้านทานได้ก่อนที่จะขาด ภายใต้สถานการณ์ทดสอบที่กำหนด มีหน่วยเป็น N/mm^2 หรือ MPa ค่าความต้านแรงดึงถูกทดสอบโดยเครื่อง Universal Tensile Machine (UTM) model ITK-1065A ของ BEMACS (BMC) ดังรูปที่ 2 (ข) การทดสอบความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์จานใบไม้ดำเนินการตามแนวทางของ ASTM (American Society for Testing and Materials) ของการทดสอบการยืดของกระดาษและผลิตภัณฑ์กระดาษ (ASTM D638) ตามรายงานวิจัยของ Venkatesan และ Bhaskar (2020) การกำหนดรูปร่างและขนาดของกระดาษ แสดงในรูปที่ 3 ซึ่งรูปตัวอย่างชิ้นงานของจานใบไม้ก่อนทำการทดสอบและหลังจากทำการทดสอบความต้านแรงดึง แสดงดังรูปที่ 4

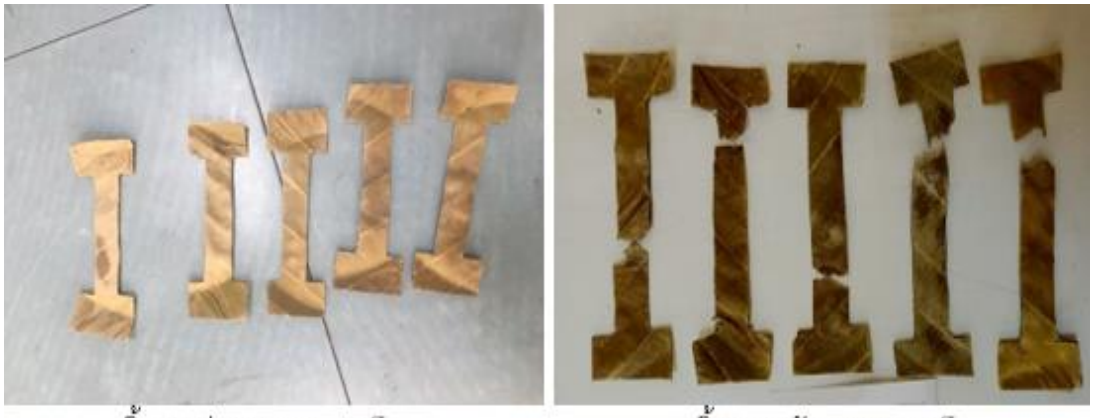


(ก) (ข)

รูปที่ 2 (ก) เครื่องขึ้นรูปวัสดุธรรมชาติ (ข) เครื่องทดสอบแรงดึงวัสดุ



รูปที่ 3 ขนาดของชิ้นงานในการทดสอบความต้านแรงดึง



รูปที่ 4 ตัวอย่างชิ้นงานของจานใบไม้ก่อนการทดสอบแความต้านแรงดึงและหลังจากทำการทดสอบความต้านแรงดึง

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการใช้เครื่องขึ้นรูปวัสดุธรรมชาติ กระบวนการขึ้นรูปและช่วงอุณหภูมิที่ศึกษา พบว่าช่วงเวลาที่ทำเครื่องขึ้นรูปได้รับพลังงานความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส จะใช้เวลา 20 นาที ถึงที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 28 นาที และถึงที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 33 นาที ช่วงอุณหภูมิที่สามารถขึ้นรูปใบหูกวางให้ติดกันเป็นลักษณะจานตามแบบได้ คือ 150 – 200 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิเกินกว่า 200 องศาเซลเซียส จานจะกรอบมากและแตกหักง่าย จึงกำหนดช่วงอุณหภูมิการศึกษาเป็น 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส การขึ้นรูปไม่ควรใช้เวลาเกิน 10 นาที เพราะจะทำให้จานกรอบมากและแตกหักง่าย จึงกำหนดช่วงเวลาศึกษาสำหรับการขึ้นรูปในแต่ละอุณหภูมิเป็น 3 นาที 6 นาที และ 9 นาที โดยการขึ้นรูปจานใบหูกวาง 1 ใบ จะใช้ใบหูกวาง 3 – 5 ใบ เนื่องจากการใช้ใบจำนวนที่มากเกินไปจะส่งผลถึงคุณภาพของจานที่ออกมา อาจมีบางส่วนที่ไม่ติดกัน ทำให้หลังจากการอัดไม่ได้จานตามแบบแม่พิมพ์และการเลือกใบหูกวางจะเลือกใบสดหากใบหูกวางเริ่มมีสีแดงมักจะมีจุดแห้งในใบเมื่อนำมาอัดขึ้นรูปอาจทำให้มีจุดรั่วได้

ตัวอย่างจานใบหูกวางหลังการขึ้นรูปที่อุณหภูมิและเวลาในการขึ้นรูปต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 5 โดยจานใบไม้ที่ถูกอัดขึ้นรูปจากแม่พิมพ์ของเครื่อง จะได้จานที่มีรูปร่างเป็นจานวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขอบบน 14 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางขอบล่าง 11 เซนติเมตร ลึก 2 เซนติเมตร และขอบจาน กว้าง 1.5 เซนติเมตร โดยค่ามวลเฉลี่ยก่อนการขึ้นรูปเท่ากับ 51.01 ± 6.45 กรัม และค่ามวลเฉลี่ยหลังการขึ้นรูปเท่ากับ 21.63 ± 6.61 กรัม และผลการค่าร้อยละของมวลที่หายไปเฉลี่ยที่อุณหภูมิและเวลาการขึ้นรูปต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 5 ตัวอย่างจานใบหูกวางที่ขึ้นรูปที่อุณหภูมิและเวลาในการขึ้นรูปต่าง ๆ
หมายเหตุ: ตัวเลขใต้ภาพคือ อุณหภูมิของการขึ้นรูป (องศาเซลเซียส) / เวลาในการขึ้นรูป (นาที)

ตารางที่ 1 ร้อยละของมวลที่หายไปเฉลี่ยที่อุณหภูมิและเวลาในการขึ้นรูป

อุณหภูมิการขึ้นรูป (องศาเซลเซียส)	ร้อยละของมวลที่หายไปเฉลี่ย (ร้อยละ)		
	ขึ้นรูป 3 นาที	ขึ้นรูป 6 นาที	ขึ้นรูป 9 นาที
150	41.72±6.07	74.56±3.88	82.85±1.01
170	47.71±6.26	64.12±2.85	71.21±3.18
190	51.40±4.69	69.10±3.40	76.16±2.49

ตารางที่ 1 พิจารณาข้อมูลในแนวนอนที่อุณหภูมิการขึ้นรูป 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส พบว่าร้อยละของมวลที่หายไปเฉลี่ย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในทุกอุณหภูมิการขึ้นรูป ถ้าพิจารณาในแนวตั้งกรณีเวลาการขึ้นรูปคงที่แต่อุณหภูมิการขึ้นรูปเพิ่มขึ้น พบว่าลักษณะแนวโน้มที่เกิดขึ้นที่เวลาการขึ้นรูป 3 นาที มีแนวโน้มเพิ่มตามอุณหภูมิการขึ้นรูปที่เพิ่มขึ้น แต่ที่เวลาการขึ้นรูป 6 นาที และ 9 นาที มีแนวโน้มมีลักษณะเดียวกันคือ ร้อยละของมวลที่หายไปเฉลี่ยลดลงที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียสและร้อยละของมวลที่หายไปเฉลี่ยกลับเพิ่มขึ้น ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นลักษณะของโพลิโนเมียล ลำดับที่ 2 ดังนั้นทั้งเวลาในการขึ้นรูปและอุณหภูมิการขึ้นรูป เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อร้อยละของมวลที่หายไปเฉลี่ย ซึ่งการเพิ่มอุณหภูมิการ

ขึ้นรูปและเวลาการขึ้นรูป จะทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น ได้รับความร้อนนานขึ้น ทำให้มวลน้ำและมวลของสสารอื่น ๆ ที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ระเหยออกมา ส่งผลอย่างไรต่อผลิตภัณฑ์ แสดงในตารางที่ 2 3 และ 4

ตารางที่ 2 ความหนาแน่นเฉลี่ยของจานใบไม้ ที่อุณภูมิและเวลาการขึ้นรูป

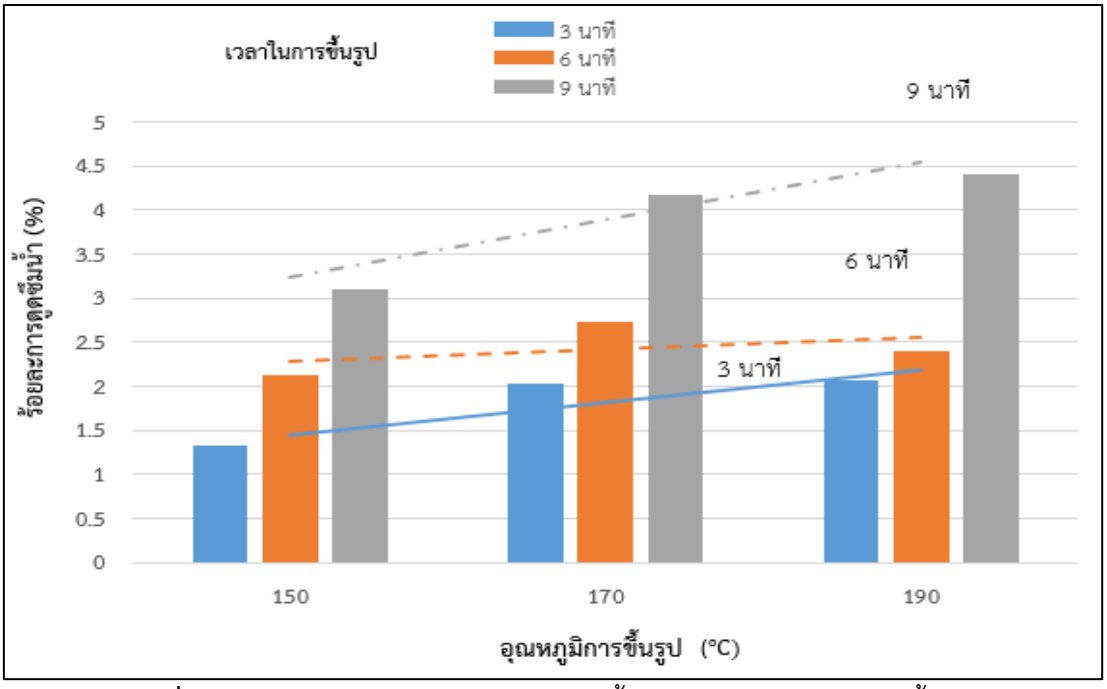
อุณหภูมิการขึ้นรูป (องศาเซลเซียส)	ขึ้นรูป 3 นาที	ขึ้นรูป 6 นาที	ขึ้นรูป 9 นาที
	ความหนาแน่นเฉลี่ย (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)		
150	0.25±0.04	0.23±0.01	0.23±0.02
170	0.21±0.05	0.19±0.02	0.20±0.04
190	0.21±0.05	0.20±0.03	0.18±0.01

ตารางที่ 2 แสดงค่าความหนาแน่นของจานใบไม้ในแต่ละสภาวะของการขึ้นรูป จะเห็นได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าความหนาแน่น 0.18 – 0.25 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yaning Zhang และคณะ (2012) เมื่อนำมาพิจารณาในลักษณะของแนวโน้ม พบว่าค่าความหนาแน่นในแต่ละอุณหภูมิขึ้นรูปมีแนวโน้มลดลงตามเวลาการขึ้นรูปที่นานขึ้น และเมื่อพิจารณาที่เวลาในการขึ้นรูปที่คงที่พบว่าค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลงตามอุณหภูมิการขึ้นรูปที่สูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิการขึ้นรูปและเวลาการขึ้นรูปส่งผลต่อค่าความหาแน่นของจานใบไม้

ตารางที่ 3 ร้อยละการดูดซึมน้ำเฉลี่ยที่อุณภูมิและเวลาการขึ้นรูปต่าง ๆ

อุณหภูมิการขึ้นรูป (องศาเซลเซียส)	ร้อยละการดูดซึมน้ำเฉลี่ยของจานใบไม้		
	ขึ้นรูป 3 นาที	ขึ้นรูป 6 นาที	ขึ้นรูป 9 นาที
150	1.33±0.09	2.13±0.07	3.10±0.21
170	2.03±0.09	2.73±0.20	4.17±0.09
190	2.07±0.07	2.40±0.21	4.40±0.21

ตารางที่ 3 แสดงร้อยละการดูดซึมน้ำเฉลี่ยของจานใบหูกวางที่ขึ้นรูปด้วยอุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าร้อยละของการดูดกลืนน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและเวลาของการขึ้นรูป ดังแสดงเป็นแผนภูมิและเส้นแนวโน้ม ในรูปที่ 6 เนื่องจากเวลาในการขึ้นรูปที่มากขึ้นจะทำให้จานใบไม้มีความแห้งมากขึ้น ทำให้สามารถดูดซึมน้ำได้มากขึ้น ซึ่งเป็นคุณสมบัติของวัสดุที่มีความพรุนและเป็นผลมาจากพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ที่โก่งงอทำให้มีช่องว่างระหว่างพื้นผิวของผลิตภัณฑ์



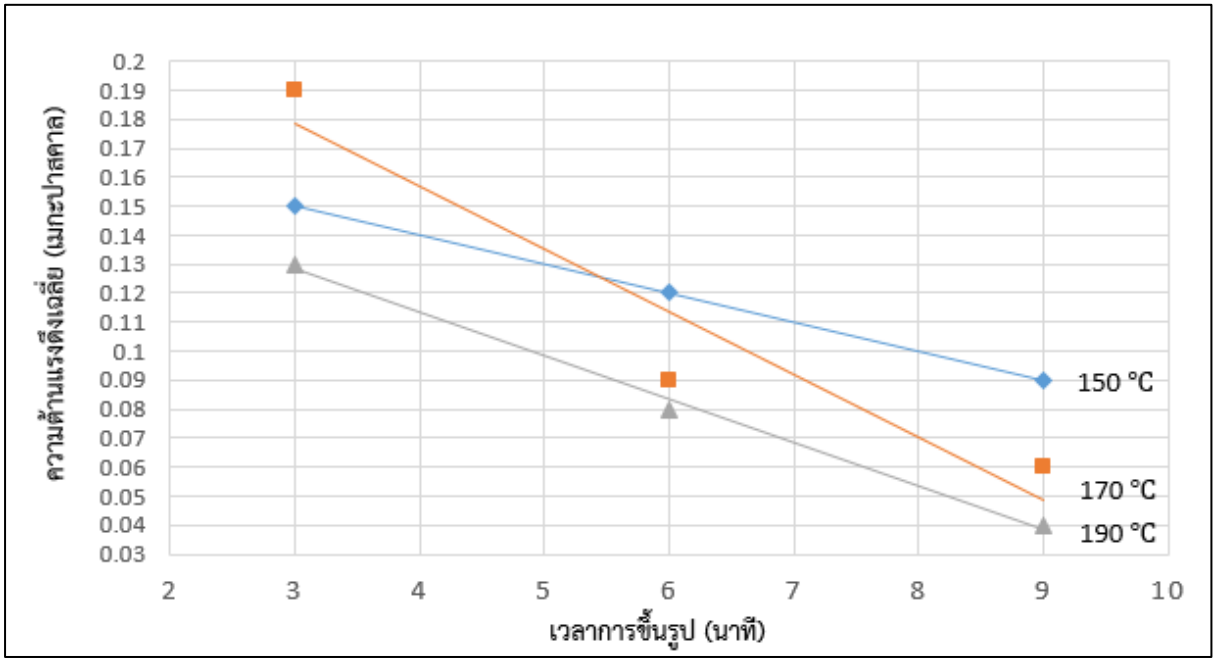
รูปที่ 6 แสดงแนวโน้มของร้อยละการดูดซึมน้ำกับเวลาและอุณหภูมิการขึ้นรูป

ค่าแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยและค่าความต้านแรงดึงหรือแรงดึงสูงสุดต่อพื้นที่ (N/mm^2 หรือ MPa) ที่อุณหภูมิและเวลาการขึ้นต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยและแรงดึงสูงสุดต่อพื้นที่ที่อุณหภูมิและเวลาการขึ้นต่าง ๆ

อุณหภูมิการขึ้นรูป (องศาเซลเซียส)	เวลาการขึ้นรูป (นาที)	แรงดึงสูงสุดเฉลี่ย (นิวตัน)	ความต้านแรงดึงเฉลี่ย (เมกะปาสคาล)
150	3	84.34±24.52	0.15±0.03
	6	82.87±19.12	0.12±0.02
	9	79.68±37.02	0.09±0.04
170	3	133.86±16.60	0.19±0.05
	6	79.68±30.23	0.09±0.03
	9	34.49±17.59	0.06±0.01
190	3	57.53±15.88	0.13±0.03
	6	46.09±9.66	0.08±0.02
	9	32.69±0.71	0.04±0.02

ผลจากการทดสอบความแข็งแรงจากจานใบหูกวาง โดยการพิจารณาค่าความต้านแรงดึงในรูปแรงดึงสูงสุดต่อพื้นที่ จากเครื่องทดสอบแรงดึงวัสดุ ในตารางที่ 4 มีค่าที่ใกล้เคียงกับงานวิจัยของ S. Soloi และ E. K. Z. Hou ที่พัฒนาการผลิตกระดาษจากใบปาล์มน้ำมัน โดยมีค่าความต้านแรงดึงอยู่ในช่วง 0.05 – 0.19 MPa (Soloi, S. and Hou, E.K.Z., 2019) ซึ่งการพัฒนาดังกล่าวก็เป็นแนวคิดเดียวกันในการนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของความต้านแรงดึงกับเวลาในการขึ้นรูปที่อุณหภูมิขึ้นรูป 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส

ทั้งนี้ในทุก ๆ อุณหภูมิการขึ้นรูปที่เวลา 3 นาที ผลิตภัณฑ์จะมีความแข็งแรงมากที่สุด และมีแนวโน้มลดลงตามเวลาการขึ้นรูปที่มากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 7 ทั้งนี้ ผลของการใช้เวลาการขึ้นรูปที่นานขึ้นส่งผลให้ความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดลง ซึ่งผลการทดลองที่เกิดขึ้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ X. Mou และคณะ ที่ความต้านทานแรงดึงตามขวางและตามยาวของกาบอ้อยและใบอ้อย จะมีค่าลดลงตามการลดลงของร้อยละความชื้นของวัตถุดิบ (Mou, X. et.al., 2013) ดังนั้นเวลาในการขึ้นรูปจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อค่าความต้านแรงดึงของจานใบหูกวาง จากรูปที่ 7 พิจารณาในแนวตั้งถึงผลของอุณหภูมิกับความต้านแรงดึง ที่เวลาการขึ้นรูป 6 และ 9 นาที ค่าความต้านแรงดึงจะลดลงตามอุณหภูมิการขึ้นรูปที่สูงขึ้น ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับพลังงานความร้อนสูงขึ้น ส่งผลให้ความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดลง แต่ที่เวลา 3 นาที พบว่า ที่อุณหภูมิการขึ้นรูปที่ 170 องศาเซลเซียส เป็นสภาวะที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงที่สุด เนื่องจากเป็นสภาวะที่อุณหภูมิและเวลาเหมาะสมสำหรับจานใบหูกวางที่เสริมประสิทธิภาพการทำงานของตัวประสานกับคุณลักษณะของใบไม้คือใบหูกวาง

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ พบว่าเวลาและอุณหภูมิการขึ้นรูปเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ ซึ่งทั้งเวลาและอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่ส่งผลถึงความชื้นของผลิตภัณฑ์ ถ้าผลิตภัณฑ์มีความชื้นลดลงแล้วความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์จะมีค่าลดลง อีกทั้ง เวลาและอุณหภูมิก็เป็นปัจจัยที่เสริมประสิทธิภาพการทำงานของตัวประสานกับคุณลักษณะของใบไม้ โดยการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา-3 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับจานใบหูกวาง ที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปทรงสมบูรณ์และมีความแข็งแรงที่สุด แต่อย่างไรก็ตามหากพิจารณาถึงรูปทรงที่สมบูรณ์แข็งแรงและประหยัดพลังงานในการผลิต จะพบว่าการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที

ก็เป็นสภาวะที่เหมาะสมในเชิงของพลังงานเนื่องจาก มีรูปทรงสมบูรณ์และมีความแข็งแรงรองจากการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา-3 นาที ซึ่งในงานวิจัยนี้จะถูกนำไปต่อยอดสำหรับเป็นแนวทางการจัดการเรียนการสอนแบบสะเต็มศึกษาในโรงเรียน ในการศึกษาการผลิตจานจากใบไม้ชนิดต่าง ๆ ศึกษาสภาวะการขึ้นรูปที่หลากหลายและปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของจาน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณแก่ กองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ผู้ให้ทุนวิจัย และสถาบันวิจัยและพัฒนา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ภาควิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ที่ได้สนับสนุนเครื่องมือ อุปกรณ์ และให้ความช่วยเหลือในการทำงานจนกระทั่งงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

คณิต อยู่สมบูรณ์, ทรงวุฒิ เอกวุฒิวงศา และอุดมศักดิ์ สาริบุตร. (2558). การศึกษาเชิงปัจจัยเพื่อหาแนวทางการออกแบบภาชนะบรรจุอาหารเพื่อสิ่งแวดล้อม. *วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม, 14*(3), 328 – 355.

นพดล จันทรลักษณ์ และสมนึก วัฒนศรียกุล. (2555). การออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปภาชนะที่ทำจากเส้นใยธรรมชาติ. ใน *การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการประจำปี พ.ศ. 2555*, (หน้า 1770 - 1775), วันที่ 17-19 ตุลาคม 2555 ชะอำ เพชรบุรี. กรุงเทพ: มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

สมเกียรติ สุทธิยาพิวัฒน์ และธมยันตี ประยูรพันธ์. (2563). การออกแบบและพัฒนาบรรจุภัณฑ์อาหารจากกาบหมากเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มที่นำสู่ความเข้มแข็งของชุมชนและเศรษฐกิจฐานราก. *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์, 12*(1), 120 - 130.

Jyothi, A. (2019). Leaves as dining plates, food wraps and food packing material: importance of renewable resources in Indian culture. *Bulletin of the National Research Centre, 43*(205), 1 – 15.

Korbelyiova, L., Malefors, C., Lalander, C., Wikström, F. and Eriksson, M. (2021). Paper vs leaf: Carbon footprint of single-use plates made from renewable materials. *Sustainable Production and Consumption*, *2021* (25), 77–90.

Martinus, Haryanto, A., Triono, S. and Telaumbanua, M. (2021). Development of teak leaf plate molding machine for producing plastic alternative products. *Procedia Environmental Science, Engineering and Management, 8*(1), 177-183.

Mou, X., Liu, Q., Ou, Y., Wang, M. and Song, J. (2013). Mechanical properties of the leaf sheath of sugarcane. *Transactions of the ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers), 56*(3), 801-812.

Poudel, K. (2022). Design and development of foot operated areca-nut leaf plate manufacturing machine. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET), 10*(1), 190-193.

Soloi, S. and Hou, E.K.Z. (2019). The potential of oil palm leaf fiber in paper-making Industry. *Journal of Physics: Conference Series,* 1358, 012005. doi:10.1088/1742-6596/1358/1/012005

Venkatesan, K. and Bhaskar, G.B. (2020). Evaluation and comparison of mechanical properties of natural fiber abaca-sisal composite. *Fibers and Polymers, 21*(7), 1523-1534.

Zhang, Y., Ghaly, A.E. and Li, B. (2012). Available and physical properties of residues from major agricultural crops for energy conversion through thermochemical processes. *American Journal of Agricultural and Biological Science, 7* (3), 312-321.