การออกแบบและพัฒนาเครื่องขึ้นรูปภาชนะจากใบบัว
The Design and Development of Lotus Leaves Forming Machine

ไกรสร วงษ์ปู่[1] และ ปริดา จิ๋วปัญญา[1*]
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
41/1 ถนนพหลโยธิน ตำบลไม้งาม อำเภอเมืองตาก จังหวัดตาก 63000
Kraisorn Wongpoo[1] and Parida Jewpanya[1*]
[1]Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna
41/1 Phahonyothin Rd. Mai Ngam, Mueang Tak District, Tak 63000
*ผู้รับผิดชอบบทความ: parida.jewpanya@gmail.com เบอร์โทรศัพท์ 098-4279766

Received: 20 April 2020, Revised: 11 June 2020, Accepted: 26 April 2021

บทคัดย่อ
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ออกแบบและพัฒนาเครื่องขึ้นรูปภาชนะจากใบบัว โดยเริ่มดำเนินการจากการออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปโดยประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ 1) ส่วนของเครื่องอัดไฮดรอลิค 2) ชุดแม่พิมพ์ขึ้นรูป และ 3) ชุดควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นดำเนินการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปภาชนะจากวัสดุใบบัว ในอุณหภูมิ แรงกด เวลา และจำนวนชั้นของใบบัวแตกต่างกัน โดยจากศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการอัดขึ้นรูปชิ้นงานจากใบบัว คือ อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส แรงกด 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จำนวนใบบัวที่ใช้ในการขึ้นรูปจำนวน 4 ชั้น และใช้เวลา 5 นาที โดยผลการทดสอบแรงดึงแสดงให้เห็นว่า ภาชนะจากใบบัวสามารถรับความเค้นแรงดึงได้เท่ากับ 5.07 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร หรือ 735.34 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เปอร์เซ็นต์การยืดตัว 1.11 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดสอบทางความร้อนของภาชนะจากใบบัวพบว่า เมื่อใส่น้ำร้อนลงในภาชนะ ภาชนะจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพทันที ที่เวลา 1 นาที โดยภาชนะมีการพองตัวและมีการเปลี่ยนแปลง ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำที่ได้น้อยที่สุด คือ 69.27 เปอร์เซ็นต์
คำสำคัญ เครื่องขึ้นรูป ใบบัว การอัดขึ้นรูปร้อน ตัวประสาน

Abstract
The aim of this work is to develop a lotus leaves forming machine and study the suitable forming conditions. The machine has three important components including 1) the hydraulic control, 2) the mold set, and 3) a temperature-controlled heating. This machine is used to form containers at different temperatures, pressure levels, forming times and the number of layers of lotus leaves. The results show that the optimal condition of experimental design in the compression molding of a lotus leaf temperature is 150 degree Celsius at a pressure of 300 pound per square inch. Four layers of lotus leaves with 5 minutes compression are used. Then, the mechanical and physical properties of the products were studied in order to determine the best condition for production process. For the tensile testing, the tensile stress of container is 5.07 MPa with 1.11 percentage of elongation at break. The result of the thermal testing shows that containers are deformed after 1 minute. In addition, the percentage of absorption is 69.29.
Keywords: Lotus Leaf, Compression Molding, Binder

1. บทนำ

ประเทศไทยประสบปัญหากับการเพิ่มขึ้นของขยะมูลฝอยในชุมชนเป็นอย่างมาก ซึ่งจากสถานการณ์ขยะมูลฝอยในปี 2556 มีปริมาณขยะมูลฝอย ถึง 26.77 ล้านตัน ได้รับการจัดการอย่างถูกต้องเพียง 7.20 ล้านตันที่เหลือเป็นการกำจัดขยะมูลฝอยที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้เพียง 5.1 ล้านตัน ซึ่งปัญหาดังกล่าวก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม และส่งผลกระทบต่อสุขอนามัยของประชาชน [1] โดยขยะส่วนใหญ่ที่มีเป็นขยะที่เป็นบรรจุภัณฑ์ ที่ใช้สำหรับการอุปโภค บริโภคในชีวิตประจำวัน เช่น พลาสติก และ โฟม เป็นต้น

ขยะที่เกิดจากการนำพลาสติกมาใช้ในชีวิตประจำวันมากขึ้นเนื่องจากคุณสมบัติหลักของพลาสติกมีราคาถูก น้ำหนักเบา มีความยืดหยุ่น มีความหนาแน่นต่ำ ทนแรงอัดได้สูง คงทนต่อสารเคมี ไม่ผุกร่อน ทำให้พลาสติก ได้รับความนิยม [2] และด้วยคุณสมบัติที่ไม่สามารถย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ส่งผลให้พลาสติกมีอายุยาวนาน นับร้อยปี ทำให้มีพลาสติกที่ถูกทิ้งเป็นขยะจำนวนมาก โดยพบว่า ในช่วงปี พ.ศ. 2546-2556 มีขยะพลาสติก เกิดขึ้นอยู่ในช่วง 1.66–2.89 ล้านตัน โดยร้อยละ 80 ของขยะพลาสติกเป็นขยะถุงพลาสติก [3] วัสดุโฟมเป็นอีกหนึ่งวัสดุที่มีน้ำหนักเบา มีสมบัติทางกลที่ดี ทนต่อความชื้น และง่ายต่อการขึ้นรูปเมื่อเทียบกับวัสดุอื่นๆ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากโฟมส่วนใหญ่จะถูกใช้งานครั้งเดียวแล้วทิ้ง จนปริมาณขยะเหล่านั้นส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก เนื่องจากโฟมย่อยสลายได้ยากมากทำให้เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อม เกิดโทษต่อร่างกายมนุษย์ ซึ่งในกรณีที่มีสารตกค้างเข้าสู่ร่างกาย และขยะประเภทโฟมไม่นิยมนำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ เนื่องจากไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน จึงจำเป็นจะต้องกำจัดขยะเหล่านี้ด้วยการเผาทำลายหรือฝังกลบ และหากนำขยะประเภทโฟมไปเผาทำลายก็จะก่อให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกนำไปสู่ปัญหาภาวะโลกร้อน หากนำไปฝังกลบจะทำให้ดินเสื่อมคุณภาพ

ดังนั้นในปัจจุบันผู้คนเริ่มจะให้ความสนใจกับการนำวัสดุธรรมชาตินำมาผลิตเป็นภาชนะ ซึ่งมีความปลอดภัยต่อร่างกายและสิ่งแวดล้อม เช่น มันสำปะหลัง กาบกล้วย กาบหมาก ผักตบชวา เป็นต้น จากการสังเกตจากนักวิจัยพบว่า ใบบัวเป็นวัสดุธรรมชาติอีกชนิดหนึ่งที่มีเป็นจำนวนมากในแหล่งน้ำ ซึ่งการใช้ประโยชน์จากใบบัวส่วนใหญ่คือการนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับห่อดอกไม้หรืออาหาร โดยปริมาณการใช้ไม่มาก ดังนั้นใบบัวที่เหลือจึงปล่อยให้แห้งเหี่ยวไปโดยไร้ประโยชน์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการเพิ่มมูลค่าโดยนำมาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตภาชนะบรรจุอาหาร

จากการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปภาชนะจากวัสดุจากธรรมชาติ โดยที่จะเลือกใช้ใบบัวสด ซึ่งมีคุณสมบัติไม่เปียกน้ำเพราะว่าพื้นผิวของใบบัวมีลักษณะคล้ายกับหนามขนาดเล็กจำนวนมากเรียงตัวกระจายอยู่อย่างเป็นระเบียบ โดยที่หนามที่มีขนาดเล็กเหล่านี้จะมีปุ่มเล็ก ๆ ที่มีขนาดในช่วงระดับนาโนเมตร และเป็นสารที่มีสมบัติคล้ายขี้ผึ้งซึ่งเกลียดน้ำเคลือบอยู่ภายนอก จึงทำให้น้ำที่ตกลงมาบนใบบัวมีพื้นที่สัมผัสน้อยมาก และไม่สามารถซึมผ่าน หรือกระจายตัวแผ่ขยายออกในแนวกว้างบนใบบัวได้ นอกจากนี้สิ่งสกปรกทั้งหลายไม่ว่าจะเป็นฝุ่น เชื้อแบคทีเรีย และเชื้อรา ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาหาผลิตภัณฑ์บรรจุอาหารจากวัสดุธรรมชาติ โดยจะนำมาอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนโดยมีตัวประสานที่ได้จากการผสมแป้งมันสำปะหลังกับน้ำ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพ เมื่อผ่านการทดสอบจะแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากวัสดุธรรมชาตินั้นจะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตมาจากพอลิเมอร์สังเคราะห์และสามารถนำไปใช้งานทดแทนกันได้ เพื่อลดปัญหาขยะและปลอดภัยต่อร่างกาย

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Liwthaisong M. [4] ได้ทำการศึกษาวิจัยเชิงทดลองเพื่อผลิตภาชนะจากวัสดุธรรมชาติที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ โดยในงานวิจัยชิ้นนี้เลือกใช้กาบกล้วยมาทำการทดลอง ซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาติที่สามารถหาได้ง่ายตามท้องถิ่น โดยนำมาขึ้นรูปภาชนะด้วยกรรมวิธีขึ้นรูปแบบร้อน และใช้แป้งมันสำปะหลัง เป็นตัวประสาน ด้วยอัตราส่วนระหว่างเส้นใยกล้วยต่อตัวประสาน เท่ากับ 66.67:33.33, 75:25 และ 100:00 โดยน้ำหนัก กำหนดให้ความยาวของเส้นใยที่ใช้ในการศึกษามีสามขนาด คือ 2 มิลลิเมตร 5 มิลลิเมตร และ 10 มิลลิเมตร การขึ้นรูปใช้การอัดขึ้นรูปร้อน (Hot Compression Process) โดยได้ทำการศึกษาสภาวะการอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิในช่วง 120 – 180 องศาเซลเซียส ความดันที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปอยู่ในช่วง 200 – 800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และระยะเวลาในการอัดขึ้นรูปอยู่ที่ช่วง 10 – 20 นาที โดยจากผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความดัน 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และใช้เวลาในการอัด 15 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการขึ้นรูปภาชนะชิ้นงานมีลักษณะแห้งตลอดทั่วทั้งแผ่นและมีผิวหน้าที่เรียบ

Tanman N. [5] ทำการศึกษาวิจัยเพื่อผลิตภาชนะบรรจุย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากลำต้นมันสำปะหลังด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน ในงานวิจัยชิ้นนี้ไม่ใช้สารเติมแต่งทางเคมีในการขึ้นรูป ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการออกแบบการทดลองในกระบวนการอัดขึ้นรูปชิ้นงานจากลำต้นมันสำปะหลัง และสารยึดเกาะที่ได้จากหัวมันสำปะหลังสด คือ อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความดัน 55 บาร์ และเวลา 15 นาที นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาอิทธิพลของปริมาณเส้นใยและขนาดเส้นใยต้นมันสำปะหลังต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางกลของชิ้นทดสอบ ซึ่งประกอบไปด้วยการทดสอบความหนา การทดสอบความหนาแน่น การทดสอบการดูดซึมน้ำ การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา การทดสอบทางความร้อน การทดสอบแรงดึง การทดสอบแรงดัดโค้ง และการทดสอบแรงกระแทก ผลการทดสอบสมบัติของชิ้นทดสอบพบว่า การใช้เส้นใยต้นมันสำปะหลังขนาดเล็กและการมีอยู่ของสารยึดเกาะจากหัวมันสำปะหลังสดจะเป็นการปรับปรุงสมบัติของภาชนะย่อยสลายได้ ภาชนะนี้มีคุณสมบัติทางกลที่ดี ดังนั้น ผลสำเร็จที่ได้

จากการศึกษานี้ มีโอกาสที่จะนำไปใช้แทนโฟมพอลิสไตรีนได้

Phuwarowadom G. and Praditdung S. [6] ได้จัดทำเครื่องขึ้นรูปต้นแบบสำหรับการขึ้นรูปภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง และเพื่อพัฒนาสูตรแป้งตัวประสานที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปแบบอัดร้อน เครื่องขึ้นรูปต้นแบบทำงานโดยระบบไฮดรอลิค มีแม่พิมพ์พร้อมแผ่นความร้อนฝังในแม่พิมพ์สามารถปรับอุณหภูมิได้สูงถึง 300 องศาเซลเซียส ปรับตั้งเวลาการให้ความร้อนได้ในหน่วยวินาทีพบว่า การขึ้นรูปที่เหมาะสมจะใช้อุณหภูมิแม่พิมพ์ตัวผู้ 180 องศาเซลเซียส แม่พิมพ์ตัวเมีย 200 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการอัด 2 นาที นอกจากนี้ยังได้มีผู้วิจัยคิดค้นเกี่ยวกับการเสริมแรง การเพิ่มคุณสมบัติทางกล และความสามารถในการต้านทานน้ำให้กับภาชนะที่ผลิตจากแป้งด้วยเส้นใยจากวัสดุธรรมชาติและสารเติมแต่งชนิดต่างๆ

Shorgen et al. [7] ศึกษาเกี่ยวกับภาชนะสำหรับบรรจุอาหารแบบใช้ครั้งเดียว หรือที่เรียกว่า ถาดโฟมแป้ง โดยใช้ แป้งดัดแปร (Modified Starches) และ แป้งไม่ดัดแปร (Unmodified Starch) อาทิเช่น แป้งมันฝรั่ง (Potato Amylopectin) แป้งข้าวโพดพันธุ์เหนียว (Waxy Corn Starch) และแป้งข้าวโพด (Corn Starch) อีกทั้งยังมีการเติมสารเติมแต่งเพื่อช่วยเพิ่มคุณสมบัติต่างๆ ของถาดโฟมแป้งให้ดีขึ้น โดยจากการศึกษาพบว่า ถาดโฟมแป้งที่ทำจากแป้งดัดแปรจะใช้เวลาในการอบน้อยกว่ามีน้ำหนักเบากว่า และมีการยืดตัว ณ จุดขาดมากกว่าถาดโฟมแป้งที่ทำจากแป้งไม่ดัดแปร และที่ค่าความชื้นต่ำ ถาดโฟมแป้งที่ทำขึ้นจากแป้งดัดแปรผสมกับ Polyvinyl Alcohol จะให้ค่าการยืดตัวที่จุดขาดสูงกว่าแป้งไม่ดัดแปรที่ผสมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ การเพิ่มเส้นใยจากไม้เนื้ออ่อนเข้าไปจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงของถาดโฟมแป้ง และการเพิ่มโมโนสเตียริลซิเตรท (Monostearyl Citrate) ช่วยเพิ่มความต้านทานน้ำของถาดโฟม ถาดโฟมที่ทำจากแป้งมันฝรั่งผสมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เส้นใยจากไม้เนื้ออ่อน และโมโนสเตียริลซิเตรท จะให้ค่าความยืดหยุ่น ค่าความสามารถในการต้านทานน้ำของถาดโฟมที่เหมาะสม

Cinelli et al. [8] ทำการศึกษาโฟมที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ เพื่อจะใช้แทนโฟม ที่ทำจากพอลิสไตรีน โดยถาดโฟมจะมีองค์ประกอบหลัก คือ แป้งมันฝรั่ง เส้นใยข้าวโพด และโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ โดยขึ้นรูปด้วยกระบวนการอบในแม่แบบที่มีอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 – 180 วินาที จากการศึกษาปรากฏว่า เมื่อมีการเพิ่มเส้นใยข้าวโพดเข้าไปในส่วนผสม เส้นใยข้าวโพดช่วยเพิ่มความหนาแน่นของโฟมเท่านั้น ไม่ได้เป็นวัสดุช่วยเสริมแรงของโครงสร้างถาดโฟมเลย และเมื่อเพิ่มเส้นใยข้าวโพดในปริมาณมาก มีผลทำให้เวลาในการอบเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ส่วนการเพิ่มโพลิไวนิลแอลกอฮอล์เข้าไปนั้นจะทำให้มีความแข็งแรง ความสามารถในการรับแรงดัดและการต้านทานการดูดซับน้ำของถาดโฟมเพิ่มขึ้น โดยที่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์แบบที่เป็นโมเลกุลหนักจะทำหน้าที่ได้ดีกว่าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์แบบโมเลกุลเบา

Insurath J. [9] ได้ทำการพัฒนาภาชนะจากเส้นใยทางใบปาล์มน้ำมัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนของเส้นใยต่อตัวประสาน แรงอัดขึ้นรูป ชนิดของเส้นใยพืช ที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิต ซึ่งอัตราส่วนของเส้นใยทางใบปาล์มน้ำมันต่อตัวประสานน้ำแป้งมันสำปะหลังที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อแน่นแข็งขึ้นรูปได้ง่ายมากที่สุด คือ อัตราส่วน 1:3 รองลงมา คือ อัตราส่วน 1:4 และอัตราส่วน 1:2 ตามลำดับ แรงอัดขึ้นรูปเส้นใยทางใบปาล์มน้ำมันที่เหมาะสม คือ แรงอัด 1,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ความร้อน 150 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาที ชนิดของเส้นใยพืชที่มีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ โดยที่แรงอัดเดียวกัน เวลา และอุณหภูมิเท่ากัน เส้นใยที่อัดขึ้นรูปเป็นภาชนะได้ดี คือ เส้นใยทางใบปาล์มน้ำมันรองลงมา คือ เส้นใยต้นกล้วย และเส้นใยเปลือกทุเรียน

Limboonrung T. and Phun-apai N. [10] ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปภาชนะแบบย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากเส้นใยผักตบชวา โดยมีกลไกการทำงาน ด้วยระบบนิวเมติกส์ควบคุมด้วยระบบไฟฟ้า มีกระบอกสูบ 2 ตัว ใช้เลื่อนแม่พิมพ์ ด้านบนลงมาประกบแม่พิมพ์ด้านล่าง (กระบอกสูบ A) และใช้เลื่อนแม่พิมพ์ด้านล่างเข้า ออก (กระบอกสูบ B) จากการทดสอบพบว่าภาชนะที่ดีที่สุดคือ อัตราส่วนระหว่างผักตบชวากับตัวประสาน คือ 50 : 50 โดยน้ำหนักและเหมาะสมสำหรับใส่อาหารแห้ง

Sutthiyapiwat S. and Phayoonpun T. [11] ทำการออกแบบและพัฒนาบรรจุภัณฑ์อาหารจากกาบหมาก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาคุณสมบัติของกาบหมากนำมาออกแบบบรรจุภัณฑ์อาหารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อสร้างเครื่องอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์อาหารจากกาบหมากระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้า เพื่อผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารจากกาบหมาก และ เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์อาหารจากกาบหมาก โดยจากการศึกษาพบว่าการสร้างเครื่องอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์อาหารจากกาบหมากระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้า ควบคุมการทำงานด้วย PLC (Programmable Logic Control) ซึ่งมีระบบควบคุมอุณหภูมิที่แม่พิมพ์อัตโนมัติ สามารถผลิตบรรจุภัณฑ์จากกาบหมาก 3 ประเภท ได้แก่ ประเภทจานสี่เหลี่ยม ปากจานกว้าง 7 นิ้ว ประเภทจานกลม ปากขนาด 7 และประเภทถ้วยความกว้างปากถ้วย มีขนาด 7 นิ้ว

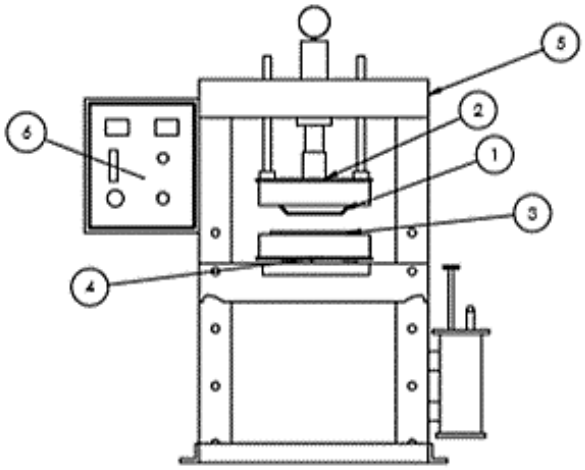
ChaiKarm et al. [12] ได้ทำการพัฒนาคุณสมบัติวัสดุขึ้นรูปจากกาบไม้ไผ่ เพื่อผลิตกระถางชีวภาพ โดยมี

วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการผลิตวัสดุขึ้นรูปจากกาบไม้ไผ่ เพื่อผลิตกระถางชีวภาพ จากทดลองพบว่าที่อัตราส่วนกาบต้นไผ่ต่อขี้เลื่อยไม้ไผ่ 5:0 ปริมาณตัวประสาน 500 กรัม มีคุณสมบัติเหมาะสมในการขึ้นรูปกระถางชีวภาพ

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูป

ในการออกแบบเครื่องขึ้นรูปภาชนะประกอบไปด้วยส่วนประกอบดังแสดงในรูปที่ 1 ดังนี้ หมายเลขที่ 1 คือ ตัวพั้นช์ (Punch) หรือแม่พิมพ์ตัวบน หมายเลขที่ 2 คือแผ่น Upper Plate เป็นส่วนของตัวจับยึดแม่พิมพ์ตัวบนกับเครื่อง หมายเลขที่ 3 คือ ดาย (Die) แม่พิมพ์ตัวล่าง โดยมีตัวจับยึด Lower Plate กับเครื่องในหมายเลขที่ 4 เครื่องอัดไฮดรอลิคสำหรับการขึ้นรูปแสดงในหมายเลขที่ 5 และ หมายเลขที่ 6 คือกล่องควบคุมอุณหภูมิ

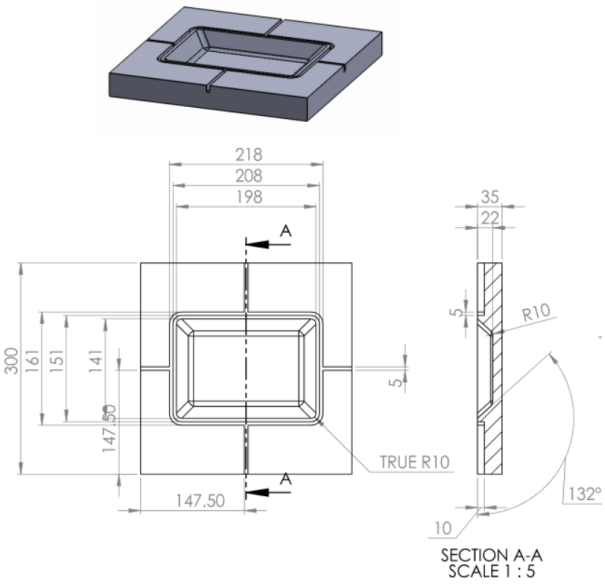


เครื่องขึ้นรูปภาชนะนั้นจะเน้นให้ทำงานด้วยระบบไฮดรอลิค (Hydraulic) การขึ้นรูปภาชนะต้องคำนึงถึงแรงที่ใช้อัดขึ้นรูปภาชนะจากกระบอกสูบ ระบบควบคุมกลไกการทำงานใช้ระบบทางไฟฟ้าผ่านชุดควบคุมการทำงานกลไกการทำงานของกระบอกสูบโดยใช้แบบระบบไฮดรอลิค (Hydraulic) ซึ่งมีกระบอกสูบ 1 ตัว ติดอยู่กับแม่พิมพ์ด้านบนทำหน้าที่กดอัดวัตถุดิบที่อยู่ในแม่พิมพ์ด้านล่างซึ่งแม่พิมพ์ด้านบนสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้อย่างเป็นระนาบโดยติดตั้งหน้าปัดวัดความดัน (Pressure Gauge) เข้ากับกระบอกสูบเพื่อที่จะได้ทราบความดันภายในกระบอกสูบที่ใช้ในกระบวนการอัด นอกจากแรงที่ใช้อัดแล้วยังต้องคำนึงถึงการให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ด้วยโดยใช้ระบบให้ความร้อนเป็นฮีทเตอร์ท่อกลม กำลังไฟฟ้า 200 วัตต์ ติดตั้งเข้ากับแม่พิมพ์ทั้งตัวบนและตัวล่างอย่างละ 1 ตัว ปรับความร้อนได้สูงถึง 200 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนจากแม่พิมพ์ไปยังโครงสร้างหลักจึงรองด้วยฉนวนที่กันความร้อนหนา 1 เซนติเมตร เลือกใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิเป็นเทอร์โมคัปเปิล (K - Type Thermocouple MAX6675 Module Temperature Sensor Probe 0 - 600 องศาเซลเซียส) ติดตั้งที่กึ่งกลางแม่พิมพ์ส่งสัญญาณให้กับระบบควบคุมอุณหภูมิแบบ PID สามารถปรับตั้งค่าอุณหภูมิแยกกันได้ทั้งแม่พิมพ์ตัวบนและตัวล่างที่ตู้ควบคุมมีไฟแสดงสถานะของเครื่อง ไฟแสดงสถานะพร้อมใช้งาน สามารถตัดวงจรได้หากอุณหภูมิมีค่าสูงเกินกว่าที่กำหนดไว้ และมีปุ่มหยุดเครื่องอัตโนมัติในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุ

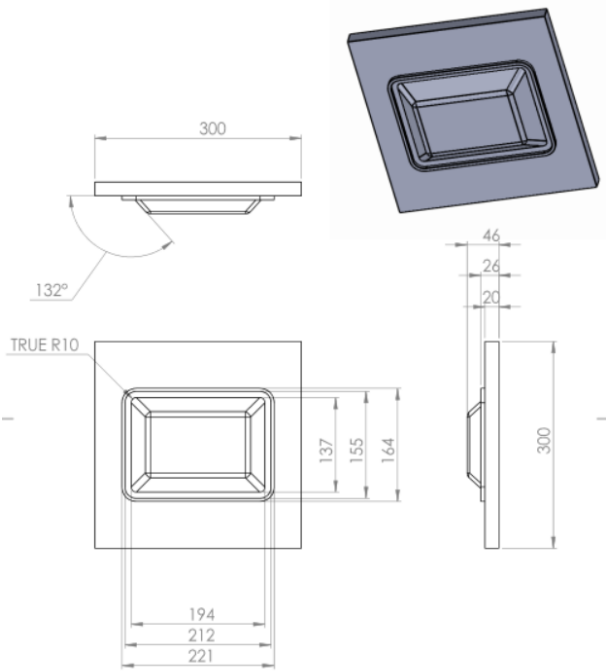
รูปที่ 2 เครื่องอัดไฮดรอลิคขึ้นรูปภาชนะ

3.1.1 การออกแบบแม่พิมพ์

การออกแบบแม่พิมพ์เป็นส่วนที่สำคัญในกระบวนการขึ้นรูป เป็นส่วนที่สัมผัสชิ้นงาน โดยชุดแม่พิมพ์ประกอบไปด้วย แม่พิมพ์ตัวบน หรือ ตัวพั้นช์ (Punch) และแม่พิมพ์ตัวล่าง หรือ ตัวดาย (Die) แบบแม่พิมพ์แสดงในรูปที่ 3 และ 4 ซึ่งการออกแบบนั้นให้เหมาะสมกับขนาดของชิ้นงาน โดยขนาดของชิ้นงานแสดงในหน่วยมิลลิเมตร



รูปที่ 3 แบบแม่พิมพ์ตัวล่าง



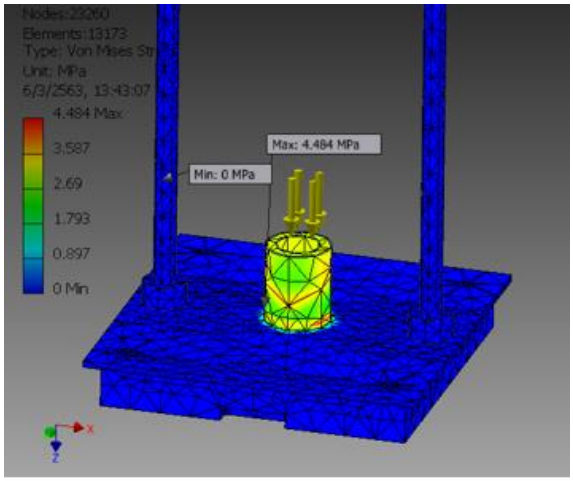
รูปที่ 4 แบบแม่พิมพ์ตัวบน

3.1.2 การคำนวณชิ้นส่วนแม่พิมพ์

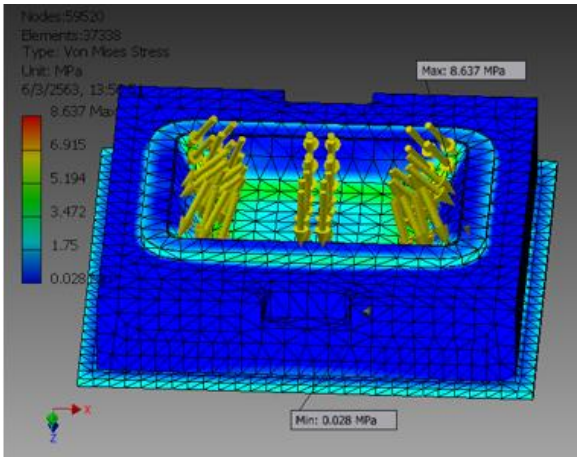
การออกแบบแม่พิมพ์เลือกใช้วัสดุคือ อลูมิเนียม เกรด 6061 ในการออกแบบแม่พิมพ์มีการทดสอบแรงโดยการทดลองใช้แรงกดอัดสูงสุดเท่ากับ 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

การคำนวนชิ้นส่วนแม่พิมพ์ สามารถจำลองหาค่าความเค้นที่เกิดขึ้นกับวัสดุ โดยโปรแกรมจำลอง Autodesk Inventor ได้ดังรูปที่ 5 และ 6

จากผลจากการจำลองพบว่า ค่าความเค้นแรงกดสูงสุดที่เกิดขึ้นกับแม่พิมพ์ตัวบน มีค่าเท่ากับ 4.484 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร คิดเป็น 650.35 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ดังนั้นวัสดุที่นำมาใช้ในการขึ้นรูปแม่พิมพ์นั้น สามารถใช้งานได้



รูปที่ 5 ความเค้นจากการรับแรงที่กระทำกับแม่พิมพ์ตัวบน



รูปที่ 6 ความเค้นจากการรับแรงที่กระทำกับแม่พิมพ์ตัวเมีย

ผลจากการจำลองสำหรับแม่พิมพ์ตัวล่างพบว่า ค่าความเค้นแรงกดสูงสุดที่เกิดขึ้นกับแม่พิมพ์ตัวล่างนั้น มีค่าเท่ากับ 8.64 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร คิดเป็น 1,252.69 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ดังนั้นวัสดุที่นำมาขึ้นรูปแม่พิมพ์ตัวล่างนั้นสามารถใช้งานได้

3.2 วางแผนและออกแบบวิธีการทดลอง

3.2.1 การเตรียมวัสดุ

การเตรียมวัสดุสำหรับการทำการทดลองมีขอบเขตดังต่อไปนี้

1) ลักษณะใบบัวที่ใช้คือใบบัวสดแก่สีเขียวเข้ม ช่วงอายุของใบบัว 60 - 70 วัน หลังจากใบบัวเริ่มคลี่ออกจากการม้วน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 400 - 500 มิลลิเมตร และจะมีขนาดความหนาของใบบัว เท่ากับ 0.4 - 0.5 มิลลิเมตร

2) ตัวประสานที่ใช้ในการขึ้นรูปภาชนะจากใบบัวคือกาวแป้งมันสำปะหลัง มีอัตราส่วนเท่ากับ 1:4 (แป้ง:น้ำ)

3.2.2 การออกแบบการทดลอง

การขึ้นรูปภาชนะใบบัวใช้กระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนโดยมีการกำหนดการทดลองดังต่อไปนี้

1) ใช้อุณหภูมิ และแรงกด เริ่มจากการใช้อุณหภูมิ 120, 150 และ 180 องศาเซลเซียส แรงกด 100, 300 และ 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และเลือกใช้เวลา 1, 3 และ 5 นาที และเลือกใช้จำนวนชั้นใบบัวที่ 2, 3 และ 4 ชั้น ดังนั้นการทดลองมีทั้งหมด 81 การทดลอง (ทำซ้ำ 3 รอบ)

2) ทดสอบคุณสมบัติทางกล คือ การทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D828-97 ทดสอบคุณสมบัติสมบัติทางกายภาพ คือ การทดสอบการดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐาน ISO 535 (1991) และทดสอบทางความร้อน

3.2.3 วิธีการทดลอง

1) เก็บใบบัวหลวงสดแก่สีเขียวเข้ม โดยมีช่วงอายุของใบบัวหลวงอยู่ระหว่าง 60 - 70 วัน หลังจากใบบัวหลวงเริ่มคลี่ออกจากการม้วน

2) วัดขนาดใบบัวหลวงให้ได้เส้นผ่านศูนย์กลาง 400 - 500 มิลลิเมตร และความหนาของใบบัวหลวงเท่ากับ 0.4 - 0.5 มิลลิเมตร

3) นำใบบัวหลวงเส้นผ่านศูนย์กลาง 400 - 500 มิลลิเมตร หนาเท่ากับ 0.4 - 0.5 มิลลิเมตร มาตัดเป็นสี่เหลี่ยมขนาด 200x250 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 8

4) การเตรียมตัวประสานตัวประสานที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ คือ น้ำแป้งจากมันสำปะหลัง แป้งมันสำปะหลัง ต่อน้ำแป้ง 1:4 กรัม ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุดจากการทำการทดสอบหาความหนืดของกาวแป้งเปียกจากธรรมชาติในงานวิจัยก่อนหน้านี้ [13]

5) การอัดขึ้นรูปชิ้นงานตามเงื่อนไขที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูป คือ อุณหภูมิ แรงกด เวลา และจำนวนชั้นของใบบัว

6) เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการอัด ชุดแม่พิมพ์จะถูกปล่อยให้เย็นตัวภายใต้อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 นาที ก่อนทำการแกะชิ้นทดสอบเพื่อป้องกันชิ้นงานบิดงอ ดังรูปที่ 9

7) ชิ้นทดสอบจะถูกนำไปเก็บไว้ในถุงซิปล็อคที่อุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง เพื่อปรับสภาพให้สมดุลก่อนการนำไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ

8) ทำการทดสอบชิ้นงานตามการทดสอบคุณสมบัติทางกลประกอบด้วย การทดสอบแรงดึง และคุณสมบัติทางกายภาพ ประกอบด้วย การทดสอบ การดูดซึมน้ำและการทดสอบทางความร้อน

รูปที่ 8 ตัดใบบัวหลวงเป็นสี่เหลี่ยมขนาด 200x250 มิลลิเมตร

รูปที่ 9 ลักษณะของภาชนะจากใบบัวหลวงที่ได้ตามต้องการ

4. ผลการวิจัยและอภิปราย

ในการดำเนินการวิจัยเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องและหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปใบบัว โดยทำการทดสอบคุณสมบัติทางกล คือ การทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D828-97 การทดสอบ คุณสมบัติทางกายภาพ คือ การทดสอบการดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐาน ISO 535 (1991) และทดสอบทางความร้อน

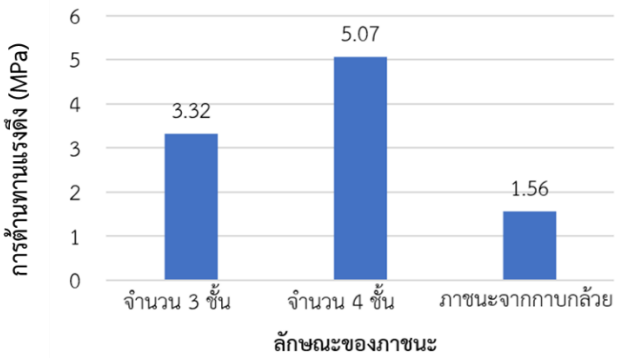
โดยจากการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปภาชนะจากใบบัวทั้งหมด 81 การทดลอง พบว่าการขึ้นรูปเป็นภาชนะ ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที แรงกด 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และใช้ใบบัวจำนวน 3 ชั้น และ 4 ชั้น สามารถขึ้นรูปเป็นภาชนะได้โดยไม่แตกหักและเสียรูปทรง ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกภาชนะที่ขึ้นรูปโดยสภาวะดังกล่าวไปทดสอบคุณสมบัติทางกล ส่วนในการขึ้นรูปที่สภาวะอื่น ๆ พบว่า ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นภาชนะได้ เนื่องจากกาวไม่แห้ง ภาชนะแตก กรอบ และติดแม่พิมพ์ ลักษณะภาชนะใบบัวที่ไม่สมบูรณ์แสดงตามรูปที่ 10

รูปที่ 10 ลักษณะของภาชนะจากใบบัวหลวงที่ไม่สมบูรณ์

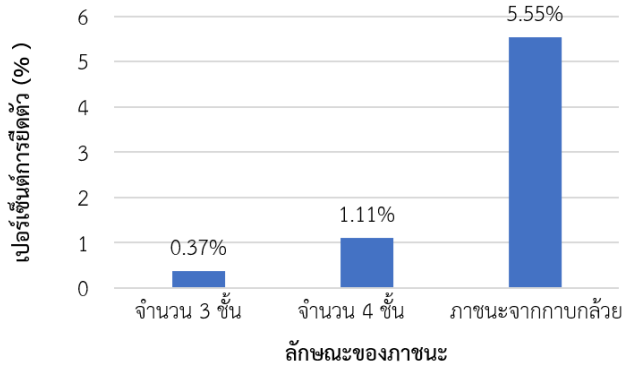
เนื่องจากภาชนะใบบัวเป็นภาชนะที่ได้จากวัสดุธรรมชาติ งานวิจัยชิ้นนี้จึงเลือกเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลและคุณสมบัติทางกายภาพกับภาชนะจากกาบกล้วยซึ่งเป็นภาชนะที่ได้จากวัสดุธรรมชาติเช่นกัน [4]

4.1 การทดสอบคุณสมบัติทางกล

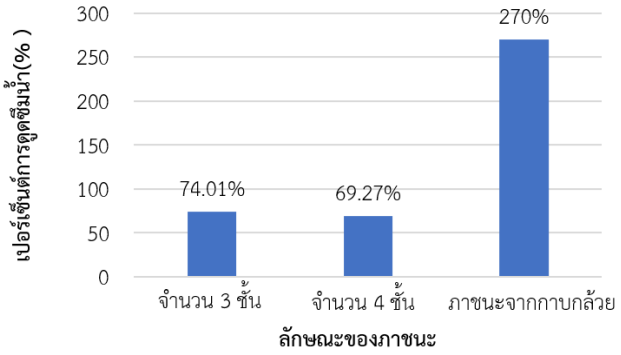
จากผลการทดสอบแรงดึงพบว่า ค่าการต้านทานแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว พบว่าชิ้นงานทดสอบที่มีการต้านทานแรงดึงมากที่สุดคือชิ้นงานที่ใช้ใบบัวจำนวน 4 ชั้น เนื่องจากมีจำนวนชั้นใบบัวที่หนาและมีสภาวะการขึ้นรูปที่เหมาะสมที่สุด และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าการต้านทานแรงดึง ดังรูปที่ 11 พบว่าภาชนะจากใบบัวที่ความหนา 3 ชั้น มีค่าการต้านทานแรงดึงเท่ากับ 3.32 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (MPa) หรือ 481.53 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ภาชนะใบบัว 4 ชั้นมีค่าการต้านทานแรงดึงเท่ากับ 5.07 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (MPa) หรือ 735.34 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าการต้านทานแรงดึงสูงสุดของภาชนะจากเส้นใยกาบกล้วย คือ 1.56 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (MPa) หรือ 226.26 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว [1] ทั้งนี้เนื่องจากมีจำนวนชั้นใบบัวที่หนา และมีความเหนียวจากเส้นใยของใบบัวจากการขึ้นรูปด้วยใบบัวสด ดังนั้น ภาชนะจากใบบัวสามารถรับแรงดึงได้ดีกว่าภาชนะจากเส้นใยกาบกล้วยและเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ดังรูปที่ 12 มีค่า 1.11 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าของภาชนะจากกาบกล้วย ที่มีค่า 5.55 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากภาชนะจากใบบัวมีความเปราะมากกว่าภาชนะจากเส้นใยกาบกล้วย



รูปที่ 11 กราฟการเปรียบเทียบค่าการต้านทานแรงดึง



รูปที่ 12 กราฟการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การยืดตัว



รูปที่ 13 กราฟการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ

ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบภาชนะจากใบบัวที่จำนวนชั้นที่แตกต่างกันพบว่า ภาชนะที่มีจำนวน 4 ชั้น ให้ค่าการต้านทานแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวที่สูงกว่า 3 ชั้น

4.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

4.2.1 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

เมื่อพิจารณาจากกราฟการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ดังรูปที่ 13 จะพบว่าภาชนะจากใบบัวที่มีจำนวน 4 ชั้น มีค่าของการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดคือ 69.27 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีตัวประสานที่เข้าไปเคลือบที่รอยต่อระหว่างชั้นของใบบัว ทำให้ช่องว่างภายในของใบบัวที่ทำการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนลดลงตามไปด้วย ส่งผลทำให้อนุภาคของน้ำ สามารถแทรกซึมได้น้อย เมื่อนำภาชนะจากใบบัวและภาชนะจากกาบกล้วย ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ภาชนะจากกาบกล้วย ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำอยู่ที่ 270 เปอร์เซ็นต์

4.2.2 การทดสอบทางความร้อน

จากการทดลองให้ความร้อน โดยเริ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และทำการจับเวลาเพื่อสังเกตุการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพพบว่า เมื่อทำการใส่น้ำร้อนลงในภาชนะ ภาชนะจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพทันที ที่เวลา 1 นาที ดังนั้น ภาชนะจากใบบัวจึงไม่เหมาะกับการนำไปบรรจุอาหารที่มีความชื้นและร้อนมากเกินไปเพราะจะทำให้ภาชนะการพองตัว และมีการเปลี่ยนแปลงรูปทรงเมื่อได้รับความร้อน

5. สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปและศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปภาชนะจากใบบัว โดย การนำใบบัวสดมาทำการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนโดยมีตัวประสาน คือ กาวจากแป้งมันสำปะหลัง สามารถทำการขึ้นรูปเป็นภาชนะได้ จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิ แรงกด เวลา และจำนวนชั้นของใบบัวที่เหมาะสมในการขึ้นรูปภาชนะที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกลและคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีที่สุด คือ ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส แรงกด 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เวลา 5 นาที และใช้ใบบัวจำนวน 4 ชั้น

การขึ้นรูปภาชนะจากใบบัว มีคุณสมบัติทางกล คือ ค่าความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 735.34 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และเปอร์เซ็นการยืดตัวเท่ากับ 1.11 เปอร์เซ็นต์ และมีคุณสมบัติ ทางกายภาพ คือ เปอร์เซ็นการดูดซึมน้ำเท่ากับ 69.27 เปอร์เซ็นต์ จึงไม่เหมาะแก่การใส่อาหารที่มีความชื้น และการทดสอบทางความร้อนพบว่า ไม่สามารถใส่น้ำร้อนได้ เนื่องจากจะทำให้ภาชนะเสียรูปทรง ภาชนะจากใบบัวจึงเหมาะแก่การใส่อาหารแห้งในการใช้ทดแทนภาชนะจากโฟมได้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Sinlapasuwan P. Municipal solid waste: The Significant of Thailand. Environmental department. Bangkok. 2015; 4(7): 1-20. Thai.

[2] Pollution Control Department. 2019. Roadmap of Plastic waste management. Available online. http://infofile.pcd.go.th/waste/150825_1.pdf. [Accessed 14th August 2020].

[3] Bencha L, Chocharean N, Suma Y, Pasukphun N. Preliminary feasibility of using agricultural wasted in Chiang Rai province for “Green packaging” production. Proceeding of 12th Naresuan research; 2015. p. 418-419.

[4] Liwthaisong M. Production of biodegradable food packaging form banana sheath, Master thesis, Suranaree University of Technology; 2013.

[5] Tanman N. Development of biodegradable packaging from cassava stalk. Master thesis, Suranaree University of Technology; 2014.

[6] Phuwarowadom G, Praditdung S. The forming machine of cassava stalk. Project, Kasetsart University; 1997.

[7] Shogren RL, Tiefenbacher KF. Baked starch foams: starch modifications and additives improve process parameters. structure and properties. Indrustrial Crop and Products; 2002.

[8] Cinelli P, Chiellini E, Lawtom JW, Imam SH. Foamed articles based on potato starch, corn fibers and poly (vinyl alcohol). Polymer Degradation and Stability; 2005.

[9] Insurath J. Development of biodegradable packaging from palm oil fiber. Project, Suranaree University of Technology; 2014.

[10] Limboonrung T, Phun-apai N. Design and construction of a ware forming machine from water hyacinth. Proceeding of the 31st Mechanical Engineering Conference of Thailand; 2017 July 4-7; Mountain Ngam Resort Nakhon Nayok Province Which the Faculty of Engineering Srinakharinwirot University, Thailand; 2017. Thai.

[11] Sutthiyapiwat S, Phayoonpun T. Design and Development of Food Packaging Form Betel Husk to add Value for Strong Community and Economic Foundation. Princess of Naradhiwas University Journal. 2019;12(1) pp. 120-131. Thai

[12] ChaiKarm S, Juphakubup S, Boonyopas S. Development of property materials forming from Bamboo Sheath for produce Biodegradable Pot. 11th National & International Conference. Mach 27, 2020, Suan Sunandha Rajabhat University, Bangkok, Thailand

[13] Ampornpitak K, Thirasang S. The development of biodegradable food packaging form banana sheath. Project, Suranaree University of Technology; (2012).