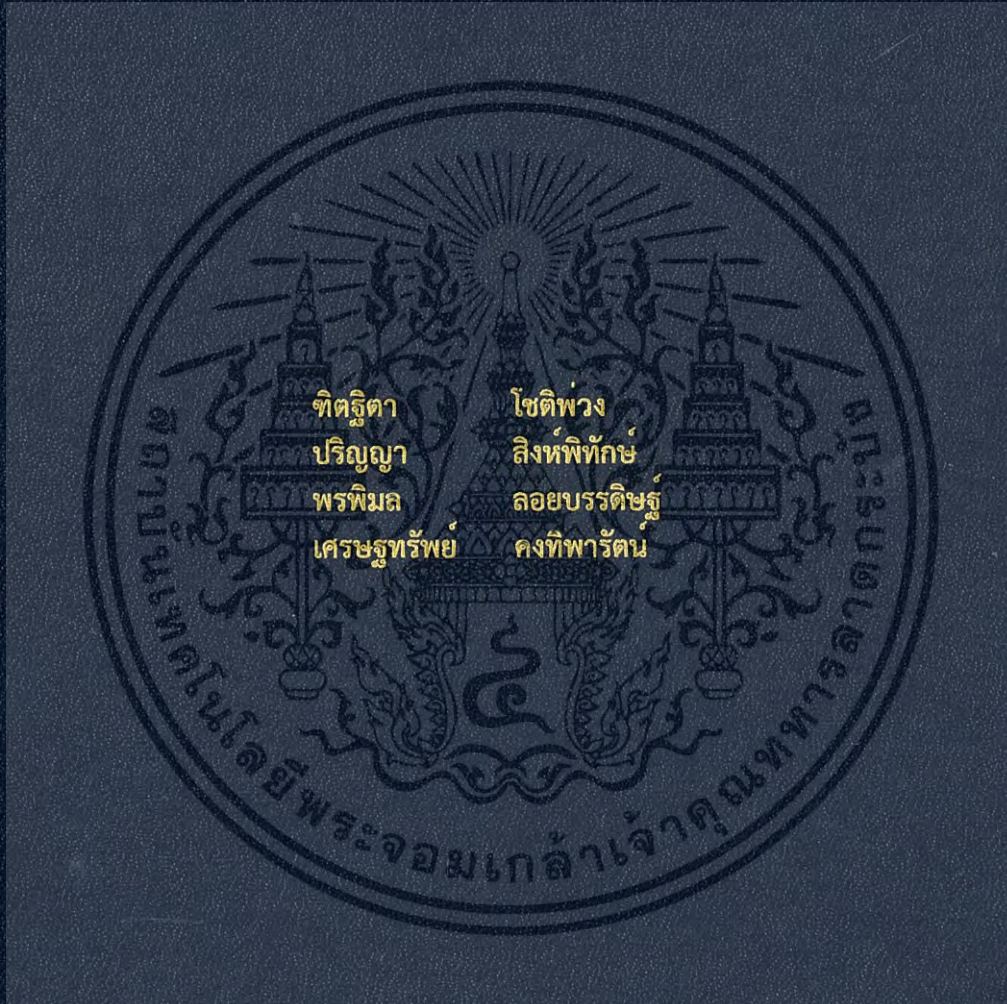


การออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปจานใบสัก

DESIGN AND FABRICATION OF FORMING MACHINE FOR TEAK LEAF PLATE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

การออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปจานใบสัก

DESIGN AND FABRICATION OF FORMING MACHINE FOR TEAK LEAF PLATE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND FABRICATION OF FORMING MACHINE FOR TEAK LEAF PLATE



THIS PROJECT IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2560

สาขาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปจานใบสัก

Design and Fabrication of Forming Machine for Teak Leaf Plate

ผู้จัดทำ

- | | | | |
|-------------------|--------------|--------------|----------|
| 1. นางสาวจิตฐิตา | โชติพ่วง | รหัสนักศึกษา | 57010359 |
| 2. นายปริญญา | สิงห์พิทักษ์ | รหัสนักศึกษา | 57010747 |
| 3. นางสาวพรพิมล | ลอยบรรดิษฐ์ | รหัสนักศึกษา | 57010844 |
| 4. นายเศรษฐทรัพย์ | คงทิพรัตน์ | รหัสนักศึกษา | 57011285 |

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.เจษฎา ชัยโฉม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการ	การออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปงานใบสัก
นักศึกษา	นางสาวทิตติธิดา โชติพ่วง
	นายปริญญา สิงห์พิทักษ์
	นางสาวพรพิมล ลอยบรรดิษฐ์
	นายเศรษฐทรัพย์ คงทิพรัตน์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.เจษฎา ชัยโฉม
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	วิศวกรรมอาหาร
ปีการศึกษา	2560

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปงานใบสักในอาหารแห้งจากใบสัก และใช้พลาสติกชีวภาพ Polylactic acid (PLA) ซึ่งย่อยสลายได้ตามธรรมชาติเป็นวัสดุเสริมแรง ศึกษาพลาสติก PLA และใบสักในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน ออกแบบแม่พิมพ์และอุปกรณ์ และการให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ ส่วนประกอบหลักของเครื่องได้แก่ ชุดให้แรงดันในการอัดขึ้นรูปซึ่งใช้กระบอกลูกสูบนิวเมติกส์เป็นต้นกำลัง ชุดให้ความร้อนจากฮีตเตอร์ชนิดแผ่น และชุดขึ้นรูปคือแม่พิมพ์ โดยแม่พิมพ์ที่ใช้สำหรับขึ้นรูปงานมีลักษณะเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 นิ้ว นอกจากนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิ เวลาในการขึ้นรูป และสัดส่วนโดยปริมาตรของเส้นใย PLA ต่อค่าความต้านทานแรงดึง โดยทำการอัดขึ้นรูปงานใบสักที่อุณหภูมิ 165°C และ 175°C ใช้เวลาอัดขึ้นรูป 5 และ 10 นาที ใช้สัดส่วนโดยปริมาตรของเส้นใย PLA เป็น 10%, 20% และ 30% พบว่าการขึ้นรูปโดยใช้อัตราส่วนเส้นใย PLA 30% ที่อุณหภูมิ 165°C เป็นเวลา 10 นาที เป็นสภาวะที่ได้ความต้านทานแรงดึงมากที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบกับงานโพลีเมอร์พบว่ามีสมบัติใกล้เคียงกัน

คำสำคัญ : เครื่องขึ้นรูป, ภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพ, ใบสัก

Project Title	Design and Fabrication of Forming Machine for Teak Leaf Plate	
Students	Ms. Ditthita	Chotpuang
	Mr. Parinya	Singphithak
	Ms. Phonphimon	Loibandit
	Mr. Setthasap	Kongtiparat
Project Advisor	Dr. Jedsada Chaishome	
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Food Engineering	
Academic Year	2017	

ABSTRACT

This project aims to design and create a plate forming machine from teak leave plate. Polylactic acid (PLA) is a biodegradable material used as reinforcement. To study of process for compression molding, Mold designs, the properties of PLA and teak leaves. The forming machine consists of the pressure in the compression, which uses pneumatic cylinders. Generating heat from the heater. and the molds. The molds used for forming the plates were circular in diameter of 7 inches. In addition, To study the optimum conditions for forming plates from teak leaves (Temperature, Compression time, and the proportion by volume of PLA) were influenced tensile strength by using the condition of compression at 165 ° C and 175 ° C , Compression time 5 and 10 minutes. The PLA ratio was 10%, 20% and 30% by volume. 30% PLA at 165 ° C for compression time at 10 minutes was the most suitable condition for plate molding by the reason it had the highest tensile strength. Compared to foam plates, they have similar properties.

Keyword : forming machine, biodegradable packaging, teak leave

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจากอาจารย์ เจษฎา ชัยโณม อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัย อีกทั้งยังช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานอีกด้วย ขอขอบคุณคณะอาจารย์ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับการช่วยเหลือในทุกๆด้าน

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ พระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียนตลอดจนสำเร็จการศึกษา

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	IV
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	V
กิตติกรรมประกาศ	VI
สารบัญ	VII
สารบัญตาราง	X
สารบัญภาพ	XI
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร	
2.1 วัสดุผสม	3
2.1.1 วัสดุผสมชนิดเสริมแรงด้วยอนุภาค	4
2.1.2 วัสดุผสมที่เสริมแรงด้วยเส้นใย	4
2.1.3 วัสดุชนิดโครงสร้าง	4
2.2 ข้อมูลทั่วไปของใบสัก	5
2.3 พอลิแล็กติกแอซิด	8
2.4 การขึ้นรูปแบบกดอัด	11
2.4.1 ลักษณะเครื่องกดอัด	11
2.4.2 ระบบให้ความร้อนและหล่อเย็น	13
2.4.3 ระบบขับเคลื่อน	13
2.4.4 แม่พิมพ์สำหรับกระบวนการอัด	13
2.4.5 ข้อดีข้อเสียของกระบวนการอัด	15
2.5 หลักการนิวเมติกส์เบื้องต้น	16
2.5.1 สาเหตุสำคัญที่ที่มีการนำระบบนิวเมติกส์มาใช้	17
2.5.2 คุณสมบัติของระบบนิวเมติกส์เมื่อเปรียบเทียบกับระบบไฮดรอลิก	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.5.3 การเปรียบเทียบระบบนิวเมติกส์กับระบบการทำงานอื่นๆ	18
2.5.4 อุปกรณ์ของระบบนิวเมติกส์	20
2.5.5 สัญลักษณ์ของอุปกรณ์ที่ใช้งานในระบบนิวเมติกส์	21
2.6 การทดสอบแรงดึง	23
2.7 กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	24
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ	
3.1 การออกเครื่องขึ้นรูป	27
3.1.1 โครงสร้างของเครื่องขึ้นรูป	27
3.1.2 แม่พิมพ์สำหรับการขึ้นรูปภาชนะ	28
3.1.3 ระบบให้ความร้อนแก่เครื่องขึ้นรูป	32
3.1.4 การเลือกใช้ขนาดกระบอกสูบนิวเมติกส์	35
3.1.5 การคำนวณค่าไฟ	36
3.2 วิธีการทดลอง	36
3.2.1 การเตรียมใบสักและเส้นใย PLA สำหรับขึ้นรูป	36
3.2.2 วิธีการดำเนินการทดลอง	37
3.2.3 การทดสอบแรงดึง	37
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	
4.1 กล่าวนำ	38
4.2 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุ	38
4.2.1 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อแรงดึงของวัสดุ	41
4.2.2 อิทธิพลของเวลาในการอัดขึ้นรูปที่มีผลต่อแรงดึงของวัสดุ	41
4.2.3 อิทธิพลของปริมาณ PLA ในการอัดขึ้นรูป	42
4.2.4 อิทธิพลผลกระทบร่วมของปัจจัยในการอัดขึ้นรูป	42
4.3 ผลการเปรียบเทียบสมบัติทางกลและคุณสมบัติทางกล และสมบัติทางกายภาพระหว่างภาชนะโพนและจานใบสัก	43
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 กล่าวนำ	44
5.2 สรุปผล	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะ	44
บรรณานุกรม	45
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ตารางที่ใช้ในการคำนวณ	49
ภาคผนวก ข. อุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปงานใบสัก	52
ภาคผนวก ค. ลักษณะของงานใบสักที่ได้จากการทดลอง	55



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณทางใบสัก	7
2.2 คุณสมบัติทางความร้อนของใบสัก	7
2.3 ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของ PLA เทียบกับ PS,PET	9
2.4 เปรียบเทียบการบ่งครึบทำงานด้วยระบบต่างๆ	19
2.5 ขนาดและความสามารถของเครื่องอัดลม	20
2.6 ตัวอย่างสัญลักษณ์ของอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบนิวเมติกส์	22
2.7 การบังคับการเลื่อนของวาล์วควบคุมโดยใช้กลไก	22
3.1 แสดงการคำนวณค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตงานใบสัก	36
4.1 การเปรียบเทียบระหว่าง สภาวะการขึ้นรูปต่างๆและผลการทดสอบแรงดึง	39
4.2 ผลการคำนวณโดยสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปวนสามปัจจัย	39
4.3 แสดงการวิเคราะห์สหสัมพันธ์	40
4.4 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติของโฟมและงานใบสัก	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แผนผังการแบ่งประเภทของวัสดุผสม	3
2.2 ลักษณะของไบสีก	6
2.3 วัฏจักรของพอลิแล็กติกแอซิด	8
2.4 กราฟแสดงค่ามอดูลัสและค่าการยืดตัวของ PLA เทียบกับพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ	10
2.5 ขั้นตอนกระบวนการอัด	12
2.6 แม่แบบฝาประกบ หรือแม่แบบชนิดกึ่งบวก	14
2.7 แม่แบบอัดชิ้นงานราบ (Flat form) หรือแม่แบบชนิดบาง (Flash mold)	15
2.8 แม่แบบปิดอัด (Sealed mold) หรือแม่แบบชนิดบวก (Fully positive mold)	15
2.9 แสดงขั้นตอนทดสอบแรงดึง	24
3.1 เครื่องอัดขึ้นรูปงานไบสีก	27
3.2 หน้าแปลนยึดแม่พิมพ์ตัวบนกับปลายกระบอกสูบนิวเมติกส์	28
3.3 ลักษณะแผ่นไบสีกที่เสียหายเมื่อใช้ความดันมากกว่า 1 บาร์	28
3.4 แรงที่กระทำกับคาน	29
3.5 แรงที่กระทำกับคานระยะ ($0 \leq x < 15$)	29
3.6 แรงที่กระทำกับคานระยะ ($15 \leq x < 30$)	30
3.7 ไดอะแกรมแรงเฉือนและโมเมนต์ตัด	31
3.8 แบบแม่พิมพ์ตัวผู้	32
3.9 แบบแม่พิมพ์ตัวเมีย	32
3.10 การจัดเรียงสลับชิ้นกันของชิ้นงาน	36
3.11 ตัวอย่างชิ้นงาน	37
3.12 ลักษณะขั้นตอนทดสอบหลังจากถูกดึง	37
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงดึงกับเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปที่ปริมาณ PLA ร้อยละ 30 โดยปริมาตร	40
4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงดึงกับเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปที่ปริมาณ PLA ร้อยละ 30 โดยปริมาตร	40
4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงดึงกับปริมาณ PLA และอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปที่เวลาอัดขึ้นรูป 10 นาที	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การทำอุตสาหกรรมเป็นกิจกรรมหนึ่งของมนุษย์ซึ่งเป็นสาเหตุของการสร้างก๊าซเรือนกระจก จากข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากภาคอุตสาหกรรมระหว่างปี พ.ศ.2543 – 2556 พบว่า อุตสาหกรรมการผลิตปิโตรเคมีมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกถึงร้อยละ 28.55 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดในภาคอุตสาหกรรม (ศูนย์ข้อมูลก๊าซเรือนกระจก, 2559)

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอุตสาหกรรมการผลิตปิโตรเคมี ได้แก่ เม็ดพลาสติก เส้นใยสังเคราะห์ ยางสังเคราะห์ สารเคลือบผิวและกาว โดยเม็ดพลาสติกจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีถูกใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตบรรจุภัณฑ์มากที่สุด เช่น ภาชนะที่ใส่อาหารและเครื่องดื่ม การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรส่งผลให้มีการใช้ผลิตภัณฑ์จากพลาสติกมากขึ้น การผลิตบรรจุภัณฑ์จากพลาสติกมีปริมาณมากขึ้นเช่นกัน ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ผลิตเพิ่มขึ้นในปริมาณมากส่วนใหญ่มีการผลิตใช้ในเวลายอันสั้นผลิตเพื่อใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้งทำให้เกิดเป็นปัญหาการจัดการขยะ จากข้อมูลปี 2559 ประเทศไทยมีขยะที่เกิดขึ้นถึง 27.06 ล้านตันหรือ 1.14 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2560) การจัดการกับขยะมีขั้นตอนที่ยุ่งยากและใช้เวลานาน มีต้นทุนการกำจัด ทำให้เกิดปัญหามลพิษและเป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ในปัจจุบันจึงมีการรณรงค์เกี่ยวกับแนวทางการใช้พลาสติกให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ด้วยการใช้พลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable plastics) โดยพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมีอยู่หลายชนิดแต่ชนิดที่ได้รับความสนใจและกำลังพัฒนาสู่ระดับอุตสาหกรรมก็คือ พอลิแล็กติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) แต่พลาสติกเหล่านี้มีราคาที่สูงเมื่อเทียบกับพลาสติกทั่วไป ดังนั้นจึงมีการศึกษาถึงการนำพอลิเมอร์จากธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายได้ ซึ่งเป็นวัตถุดิบทางการเกษตรที่หาได้ง่าย และราคาถูกมาใช้ผสมในกระบวนการผลิตภาชนะ

กรรมวิธีการผลิตภาชนะสามารถทำได้หลายวิธี เช่น กระบวนการอัดรีด (Extrusion process) การฉีดขึ้นรูป (Injection molding) และการอัดขึ้นรูป (Compression molding) ซึ่งกระบวนการอัดขึ้นรูปนั้นมีหลักการในการขึ้นรูปที่ง่ายและไม่ซับซ้อนที่สุด นิยมใช้ในการผลิตภาชนะในเชิงพาณิชย์ทั่วไป โครงการนี้จึงมุ่งเน้นการออกแบบเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนและแม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปภาชนะที่ทำจากไบสัค เนื่องจากไบสัคเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ไบมีขนาดใหญ่และมีเส้นใยที่สามารถรับแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ ร่วมกับการใช้พอลิแล็กติกแอซิดเป็นวัสดุประสาน ผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ใส่อาหารที่สามารถย่อยสลายตามธรรมชาติได้ ช่วยลดปัญหาขยะและลดการใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติก

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอัดขึ้นรูป และแม่พิมพ์สำหรับผลิตภาชนะใส่อาหารแห้งที่ทำจากไบสั๊ก

1.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของของอุณหภูมิ เวลากดอัด และอัตราส่วนโดยปริมาตรของเส้นใยพอลิแล็กติกแอซิดต่อสมบัติทางกายภาพของงานไบสั๊ก

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ใช้ไบสั๊กเป็นวัสดุหลักในการขึ้นรูป และใช้พอลิแล็กติกแอซิดเป็นวัสดุเชื่อมประสาน

1.3.2 ภาชนะใส่อาหารแห้งอยู่ในรูปแบบของงานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 นิ้ว

1.3.3 ขึ้นรูปงานด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้เครื่องขึ้นรูปใช้สำหรับการขึ้นรูปงาน

1.4.2 ได้งานใส่อาหารแห้งที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ



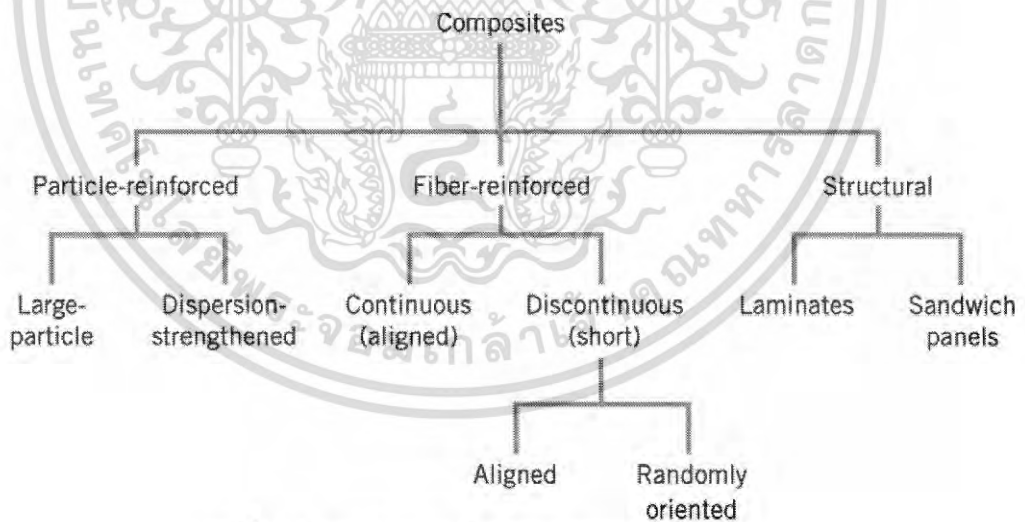
บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

การศึกษารูปแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปงานใบสักประกอบด้วยทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้ คือ วัสดุผสม ข้อมูลทั่วไปของใบสัก พอลิแล็กติกแอซิด การขึ้นรูปแบบกดอัด หลักการนิวเมติกส์เบื้องต้น และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 วัสดุผสม

วัสดุผสม (Composite materials) หรือวัสดุเชิงประกอบ หมายถึงวัสดุที่ถูกผลิตขึ้นจากวัสดุที่มีสมบัติแตกต่างกันตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปโดยไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน เพื่อใช้วัสดุหนึ่งเสริมแรงให้กับอีกวัสดุหนึ่ง ทำให้วัสดุผสมมีความแข็งแรงสูงขึ้น องค์ประกอบของวัสดุผสม ได้แก่ วัสดุที่เป็นเนื้อหลัก เรียกว่า เมทริกซ์ (Matrix) และวัสดุที่กระจายตัวอยู่ในเมทริกซ์เรียกว่า สารเสริมแรง (Reinforcement) โดยเมทริกซ์จะทำหน้าที่ห่อหุ้มสารเสริมแรงและทำให้วัสดุเชิงประกอบเป็นรูปร่างขึ้น ส่วนสารเสริมแรงจะทำหน้าที่เสริมสมบัติให้เมทริกซ์และทำให้วัสดุเชิงประกอบมีสมบัติตามต้องการ จำแนกวัสดุผสมตามลักษณะของวัสดุเสริมแรงได้ 3 ประเภท



รูปที่ 2.1 แผนผังการแบ่งประเภทของวัสดุผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 วัสดุผสมชนิดเสริมแรงด้วยอนุภาค (Particle-reinforced)

วัสดุผสมชนิดเสริมแรงด้วยอนุภาค คือ วัสดุเชิงประกอบที่มีอนุภาคของวัสดุใดๆกระจายตัวอยู่ในเมทริกซ์เพื่อทำหน้าที่เสริมแรง ซึ่งวัสดุเสริมแรงนี้มีรูปร่างได้หลายแบบ ยกตัวอย่างเช่น เป็นแผ่นบาง (Flake) เป็นอนุภาคกลม (Particle) หรือเป็นเม็ดขนาดใหญ่ (Filler) เป็นต้น แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1) วัสดุเสริมแรงด้วยอนุภาคขนาดใหญ่ (Large-particle Composites) เฟสอนุภาคจะมีความแข็งและมอดูลัสยืดหยุ่นสูงกว่าเมทริกซ์ โดยอนุภาคเสริมแรงจะเหนียวรั้งหรือยับยั้งการเคลื่อนที่ของเมทริกซ์ในบริเวณที่อยู่ใกล้อนุภาคนั้น ความแข็งแรงขึ้นอยู่กับการศึกษาการยึดเหนี่ยวบริเวณรอยต่อระหว่างเมทริกซ์กับอนุภาค

2) วัสดุเสริมแรงด้วยอนุภาคละเอียด (Dispersion-strengthening Composites) โดยทั่วไปแล้วอนุภาคจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.01-0.1 μm จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงในระดับอะตอมหรือโมเลกุล

2.1.2 วัสดุผสมชนิดเสริมแรงด้วยเส้นใย (Fiber-reinforced)

วัสดุผสมชนิดเสริมแรงด้วยเส้นใย เป็นการผสมเส้นใยให้กระจายตัวอยู่ในเนื้อพื้น วัสดุผสมที่ได้มีสมบัติทางกลที่ดีและมีความต้านทานความเค้นที่ดีขึ้นมากเมื่อเทียบกับวัสดุตั้งต้น สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

1) วัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใยต่อเนื่องแนวเดียว (Continuous and Aligned Fiber Composites) ใช้เส้นใยที่มียังมีมอดูลัสและความต้านทานแรงดึงสูงกว่าเนื้อพื้น ทำให้มีสมบัติการต้านทานแรงดึงในทิศทางเส้นใยสูงกว่าทิศตั้งฉากมาก นั่นคือมีความเป็น Anisotropic สูง

2) วัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใยไม่ต่อเนื่องและเรียงแนวเดียว (Discontinuous and Aligned Fiber Composites) สมบัติการต้านทานแรงดึงในทิศทางเส้นใยสูงกว่าทิศตั้งฉาก แต่ด้อยกว่าชนิดเส้นใยต่อเนื่อง

3) วัสดุผสมเสริมแรงด้วยเส้นใยไม่ต่อเนื่องและเรียงแบบอิสระ (Discontinuous and Randomly Oriented Fiber Composites) เนื่องจากเส้นใยที่ใช้เป็นเฟสที่กระจายจัดเรียงตัวแบบสุ่มและไม่มีการจัดเรียงตัวในทิศทางใดทิศทางหนึ่งเป็นพิเศษทำให้วัสดุชนิดนี้มีสมบัติที่เท่ากันในทุกทิศทาง (Isotropy) ไม่ว่าจะรับโหลดในทิศทางใดก็ตาม

2.1.3 วัสดุผสมชนิดโครงสร้าง (Structural)

วัสดุผสมชนิดโครงสร้าง ประกอบขึ้นจากวัสดุเนื้อเดียวและวัสดุผสม สมบัติของวัสดุผสมชนิดโครงสร้างนั้นนอกจากจะขึ้นอยู่กับสมบัติของวัสดุเริ่มต้นแล้ว ยังขึ้นอยู่กับรูปแบบของวัสดุที่นำมาประกอบกันด้วย สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

1) วัสดุเชิงประกอบแบบชั้น (Laminar composites) มีลักษณะเป็นการซ้อนทับในทิศทางที่แตกต่างกันของแผ่นชีท (Sheet) ที่มีความแข็งแรงสูงในทิศทางเดียวมาเรียงซ้อนกัน ยกตัวอย่างเช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยจัดเรียงตัวขนานกัน แล้วนำแต่ละแผ่นมาซ้อนกันจนได้เป็นคอมโพสิตแบบชั้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการเสริมแรงควรเรียงแผ่นซีทแบบสลับทิศทางของเส้นใย ตัวอย่างวัสดุคอมโพสิตประเภทนี้ เช่น ไม้อัด หรือกระดานสกี

2) วัสดุเชิงประกอบแบบแซนด์วิช (Sandwich panel) มีลักษณะเป็นการประกบแกนกลาง (Core) ด้วยวัสดุชนิดแผ่นหรือเฟซ (Face) โดยมีกาวเป็นตัวเชื่อม แกนกลางจะเป็นโครงสร้างที่โปร่งหรือมีรูพรุน ช่วยเพิ่มค่ามอดูลัสของความคงรูป (modulus of rigidity) ในระนาบตั้งฉากกับแผ่นเฟซ วัสดุที่ใช้ทำเป็นแกนกลาง ได้แก่ พอลิเมอร์ ยางสังเคราะห์ โลหะ อัลลอย หรือพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) เป็นต้น ส่วนแผ่นเฟซคือตัวรองรับน้ำหนักเกือบทั้งหมดที่กระทำต่อโครงสร้าง ยกตัวอย่างวัสดุที่ใช้ทำแผ่นเฟซ เช่น อะลูมิเนียมอัลลอย เหล็กกล้า ไทเทเนียม ไม้อัด หรือแผ่นพลาสติกเสริมแรงด้วยเส้นใย เป็นต้น

เนื่องจากแกนกลางเป็นโครงสร้างแบบโปร่ง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความแข็งแรงและน้ำหนักเบา ดังนั้นผลิตภัณฑ์แผ่นประกอบแบบแซนด์วิชจึงถูกนำไปใช้งานได้หลากหลาย เช่น พื้น หรือกำแพงของอาคาร เป็นต้น

2.2 ข้อมูลทั่วไปของใบสัก

ต้นสัก (*Tectona grandis* L.f.) มีถิ่นกำเนิดอยู่ทางตอนใต้ของประเทศอินเดีย พม่า ลาว และไทย สำหรับประเทศไทยนั้น ไม้สักจะขึ้นอยู่เป็นส่วนใหญ่ ในป่าเบญจพรรณทางภาคเหนือ และบางส่วนของภาคกลางและเชียงราย ลำปาง พะเยา แพร่ น่าน ตาก สุโขทัยกำแพงเพชร นครสวรรค์ อุทัยธานี และกาญจนบุรี โดยจัดเป็นไม้ยืนต้นผลัดใบขนาดใหญ่ ที่มีความสูงของต้นตั้งแต่ 20 เมตรขึ้นไป และอาจสูงได้ถึง 30 เมตร มีลำต้นตรง เรือนยอดเป็นทรงพุ่มกลมค่อนข้างทึบ เปลือกต้นหนาเป็นสีเทาหรือสีน้ำตาลอ่อนแกมเทา เปลือกต้นเรียบหรือแตกเป็นร่องเล็ก ๆ ตามความยาวของลำต้น ส่วนลักษณะของเนื้อไม้จะเป็นสีน้ำตาลทองถึงสีน้ำตาลแก่ สามารถขยายพันธุ์ได้ทั้งแบบอาศัยเมล็ดและแบบไม่อาศัยเมล็ด เช่น การติดตา การปักชำ เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ เป็นต้น ชอบขึ้นตามพื้นที่ที่เป็นภูเขาหรือตามพื้นที่ราบที่มีดินระบายน้ำได้ดีและน้ำไม่ท่วมขัง หรืออาจจะเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินที่มีความลึกมาก โดยเฉพาะดินที่เกิดจากหินปูนที่แตกแยกผุพังจนกลายเป็นดินร่วนลึก ต้นสักจะเจริญเติบโตได้ดีมาก



รูปที่ 2.2 ลักษณะของใบสัก

ใบสักเป็นใบแบบเดี่ยว แตกกออกมาตามกิ่งก้านหรือตามลำต้นเล็ก ๆ เป็นคู่ ๆ เมื่อเริ่มโตจะขยายตัวอย่างรวดเร็วเมื่อได้รับแสง และจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวในเวลาไม่นาน ใบมีขนาดใหญ่มาก ยาวประมาณ 25-30 เซนติเมตร กว้างเกือบเท่าความยาว ยิ่งใบของต้นอ่อนอายุ 1-5 ปีอาจมีความกว้างถึง 40 เซนติเมตรและยาวถึง 80 เซนติเมตร เมื่อต้นสักมีอายุมากขึ้นขนาดของใบจะลดลง รูปใบแหลม โคนใบมน โป่งตรงกลางคล้ายรูปไข่ ผิวใบสากคายเนื่องจากมีขนแข็งเล็กละเอียดตลอดทั้งใบ หลังใบจะมีสีเขียวเข้มเห็นลายเส้นเป็นร่างแหชัดเจน ท้องใบสีเขียวอ่อนเห็นลายเส้นนูน ใบอ่อนที่เพิ่งแตกมีสีน้ำตาลแดงและมีขนอ่อนนุ่ม เมื่อขยี้จะมีสีแดงคล้ายเลือดเนื่องจากมีสารแทรกในใบ สักเป็นไม้ผลัดใบ ใบเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลือง น้ำตาล และแดงในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคม ช่วงเดือนมกราคมถึงมีนาคมใบสักจะร่วงหมดทั้งต้น เมื่อเริ่มมีฝนในเดือนเมษายนถึงพฤษภาคมก็จะแตกใบอ่อนใหม่ ใบอ่อนที่แตกที่เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและโตเต็มที่ในราว ๆ เดือนกรกฎาคม

ใบสักสามารถใช้เป็นยาห้ามเลือด ยาต้านการอักเสบ ช่วยขจัดสิ่งสกปรก และรักษาบาดแผลได้ ส่วนเนื้อไม้มีรสเผ็ดเล็กน้อย มีสรรพคุณเป็นยาระบาย สามารถใช้รักษาโรคต่างขาและโรคบิดได้ น้ำมันสกัดจากเนื้อไม้ช่วยแก้อาการปวดศีรษะและอาการปวดเมื่อยได้ดี โดยองค์ประกอบทางเคมีของใบสักแสดงดังตารางที่ 2.1 และมีคุณสมบัติทางความร้อนแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของใบสั๊ก

องค์ประกอบ	Moisture Content	Ash Content	Crude Fiber	Crude Lipid/Fat	Crude Protein	Carbohydrate	Nitrogen Content
ใบสั๊ก	10.0	25.0	12.0	11.1	23.1	15.1	3.7

ที่มา: Babatunde (2016)

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางความร้อนของใบสั๊ก

คุณสมบัติ	Density ρ (kg/m ³)	Thermal effusivity e (W·s ^{1/2} /m ² ·K)	Thermal diffusivity α (10 ⁻⁶ m ² /s)	Thermal conductivity Λ (W/m·K)	Specific heat capacity C_p (J/kg·K)
ใบสั๊กสด	475±20	675±16	0.40±0.04	0.43±0.03	2232±52
ใบสั๊กแห้ง	336±15	601±10	0.12±0.01	0.21±0.02	5174±123

ที่มา: Jayalakshmy (2010)

ต้นสั๊กจัดเป็นไม้ที่มีค่าทางเศรษฐกิจ มีการนำไม้สั๊กมาใช้ประโยชน์ในการสร้างบ้านเรือน และสิ่งประดิษฐ์ต่าง ๆ โดยเฉลี่ยแล้วไม้ที่ตัดมาหนึ่งต้นสามารถใช้ประโยชน์ได้เพียง 20-30% เท่านั้น ส่วนที่เหลือ 70-80% ไม่ถูกนำมาใช้ รวมถึงส่วนของใบสั๊กซึ่งจะมีจำนวนมากในช่วงผลัดใบถูกทิ้งโดยไม่ใช้ประโยชน์ หรือถูกกำจัดโดยการเผาทิ้งเพื่อป้องกันการติดไฟในฤดูร้อน โดยพื้นที่ปลูกต้นสั๊กในประเทศไทย คิดเป็นพื้นที่ปลูกต้นสักรวมทั้งประเทศโดยขึ้นทะเบียนป่าปลูกกับกรมป่าไม้ประมาณ 898,000 ไร่ หรือประมาณ 110,278,238 ต้น (กรมป่าไม้, 2557) เมื่อสองคิดคำนวณหาปริมาณใบสั๊กที่ผลัดใบในแต่ละปีโดยประมาณ ดังนี้

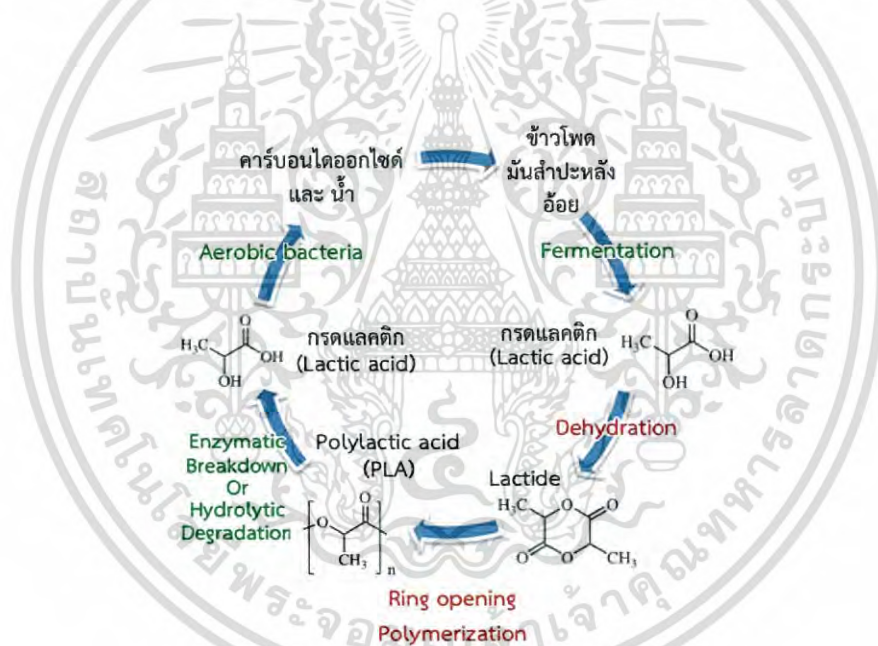
ต้นสั๊กที่ปลูกจำนวนทั้งหมด	110,000,000	ต้น
ปริมาณใบที่ต้นสั๊กผลัดใบต่อวันประมาณ	20	ใบ
ช่วงเวลาที่ต้นสั๊กผลัดใบระยะเวลาประมาณ	4	เดือน
ดังนั้น จะมีใบสั๊กที่ผลัดใบรวมทั้งสิ้นประมาณ	264,000,000,000	ใบ
จากการประมาณปริมาณใบสั๊กต่อ 1 กิโลกรัมมีประมาณ	120	ใบ
ดังนั้น จำนวนใบสั๊กที่ได้ต่อปีจะมีประมาณ	264,000,000,000/120	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 2,200,000,000 กิโลกรัม หรือ 2,200,000 ตัน/ปี เป็นปริมาณของวัสดุเหลือทิ้งซึ่งไม่ถูกนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ หรือถูกกำจัดทิ้งโดยการเผาทำลาย (ภัสสร,2015)

2.3 พอลิแล็กติกแอซิด

พอลิแล็กติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) เป็นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยย่อยสลายได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำด้วยจุลินทรีย์ในธรรมชาติ ผลิตได้จากกระบวนการหมัก (Fermentation) น้ำตาลให้เป็นกรดแล็กติก ดังนั้นพืชที่มีแป้งหรือน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง ข้าวสาลี หรืออ้อยจึงสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตได้ โดยการบดหรือม่พืชนั้นให้ละเอียดเป็นแป้งแล้วใช้เอนไซม์ย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลกลูโคส โดยใช้แบคทีเรีย *Lactobacillus brevis* ได้ผลผลิตเป็นกรดแล็กติก (Lactic acid) นำมาผ่านกระบวนการทางเคมีได้เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างให้เป็นสารใหม่ที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนเรียกว่า แลคไทด์ (Lactide) จากนั้นจึงนำมาทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) ผลิตเป็นเม็ดพลาสติก PLA



รูปที่ 2.3 วัฏจักรของพอลิแล็กติกแอซิด

ที่มา: วชิระ (2012)

ช่วงการหลอมเหลวของ PLA อยู่ที่ 157-170°C แต่สามารถทนความร้อนได้ไม่เกิน 110°C คุณสมบัติพิเศษคือมีลักษณะกึ่งใสคล้ายแก้ว ถ่ายเทความร้อนและความชื้นได้ดี ไม่ย่อยสลายในสภาพแวดล้อมทั่วไป แต่สามารถย่อยสลายได้เองเมื่อนำไปฝังกลบในดิน แต่มีข้อด้อย คือ มีความแข็งแต่เปราะ ไม่ทนต่อแรงบิด หากดึงหรือบิด PLA จะหักก่อนที่จะงอ โดยมีสมบัติทางกลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอดูลัสแรงดึง (Tensile modulus)	293,000-514,000 psi
ความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate tensile strength)	6,930-10,000 psi
ความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก (Tensile yield strength)	8,840-9,500 psi
มอดูลัสความยืดหยุ่น (Flexural modulus)	347,000-715,000 psi
ความต้านทานการดัดงอ (Flexural strength)	6,950-16,000 psi

PLA จัดเป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) เมื่อถูกความร้อนสามารถหลอมละลาย เปลี่ยนเป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้ มีสมบัติการคงรูปได้ดี เชื่อมติดกันได้ง่ายด้วยความร้อน มีสมบัติการตีไฟ และการเกิดควันต่ำ จึงสามารถขึ้นรูปได้ด้วยกระบวนการผลิตที่ใช้กันทั่วไป เช่น การฉีด การอัด การเป่า หรือการผลิตเส้นใย เป็นต้น ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ ได้แก่ เส้นใยและสิ่งทอ นำมาใช้ในงานด้านการผลิตเป็นเสื้อผ้าและผ้าเบาะรถยนต์ ฟิล์มสำหรับหุ้มอาหาร ผลิตภัณฑ์บรรจุอาหาร เช่น กล่อง จาน ช้อน มีด ส้อม ตะเกียบ แก้วน้ำ ที่ใช้ครั้งเดียวทิ้ง รวมทั้งถุงหูหิ้ว ถุงใส่กล่อง เป็นต้น

การย่อยสลายของ PLA พบว่าสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพในสภาวะคอมโพสท์ที่อุณหภูมิ 60°C โดยแบ่งเป็น 2 ระยะ ระยะแรกเป็นการย่อยสลายผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสที่พันธะเอสเทอร์ของพอลิเมอร์ ทำให้สายโซ่ของพอลิเมอร์สั้นลงจนมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ในขั้นตอนนี้ PLA จะแตกหักเป็นชิ้นเล็ก ๆ เมื่อน้ำหนักโมเลกุลต่ำลงจะเข้าสู่ระยะที่ 2 ซึ่งถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และมวลชีวภาพ

ตารางที่ 2.3 ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของ PLA เทียบกับ PS และ PET

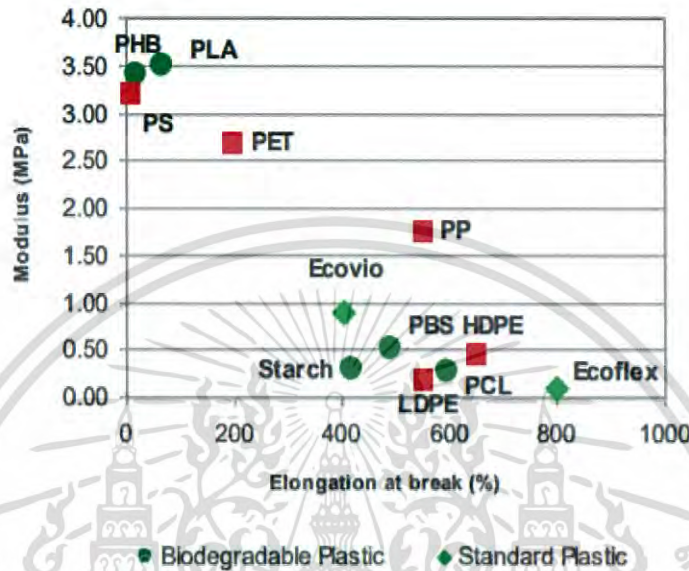
ชนิดพลาสติก	PS	PET	PLA
ปริมาณการปล่อย CO ₂ (kg CO ₂ /kg polymer)	3.4	3.4	1.3
พลังงานที่ใช้ในการ ผลิต (MJ/kg polymer)	87	82	42

ที่มา: Natureworks LLC

แม้ว่า PLA จะมีข้อดีหลายประการ เช่น การมีฐานวัตถุดิบที่มาจากผลิตผลทางการเกษตร มีความสามารถในการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และมีอุณหภูมิหลอมอยู่ในระดับสูงพอสมควร แต่ขณะเดียวกัน PLA ก็ยังคงมีสมบัติบางประการที่เป็นข้อเสียหรือข้อจำกัดซึ่งต้องมีการปรับปรุงก่อนนำไปใช้งาน ดังนี้

1) PLA มีลักษณะแข็งและค่อนข้างเปราะ โดยเมื่อพิจารณาในด้านของค่ามอดูลัสพบว่าอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับพอลิสไตรีน (รูปที่ 2.4) ในขณะที่การยืดตัวจะสูงกว่าพอลิสไตรีนเล็กน้อย (แต่จะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังคงต่ำกว่าพอลิ เอธิลีนเทรฟธาเลต, PET) ซึ่งลักษณะดังกล่าวข้างต้นทำให้มีข้อจำกัดในการนำ PLA ไปใช้ในงานบางด้าน เช่น พิล์มบรรจุภัณฑ์ที่ต้องการการยืดตัว ดังนั้นในการใช้งานจึงนิยมเติมสารพลาสติกไซเซอร์ลงไปในสูตร PLA คอมพาวด์และหรือผสม PLA กับพอลิเมอร์ชนิดอื่นที่มีความเหนียวและการยืดตัวที่ดีกว่า เช่น พอลิคาโพรแลค โทน และ ECOFLEX



รูปที่ 2.4 กราฟแสดงค่ามอดูลัสและค่าการยืดตัวของ PLA เทียบกับพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ
ที่มา: จตุพร (2012)

2) PLA ไม่ทนความร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าหากไม่ทำการอบไล่ความชื้นก่อนนำไปขึ้นรูป อาจเกิดการเสื่อมสภาพในระหว่างกระบวนการผลิตขึ้นรูปผ่านกลไกแบบไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) และกลไกแบบ ตัดสายโซ่ (Chain scission) ดังนั้นในการใช้งานจึงควรทำการอบเม็ด PLA ให้แห้งปราศจากความชื้นเสียก่อน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วปริมาณความชื้น (Water content) ที่อยู่ใน PLA ควรจะมีระดับน้อยกว่า 500 ppm เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการเสื่อมสภาพทางความร้อนดังกล่าว

สำหรับเวลาที่ใช้ในการอบเม็ด PLA โดยใช้ลมร้อนที่มีค่า DEW POINT -40°C และอัตราการไหล $0.016 \text{ m}^3/\text{min}\cdot\text{kg}$ จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ ตัวอย่างเช่น ที่อุณหภูมิ 45°C จะใช้ เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง แต่ถ้าเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 90°C จะใช้เวลาสั้นลงเหลือประมาณ 2 ชั่วโมง

3) ความแข็งแรงของ PLA ขณะอยู่ในรูปของพอลิเมอร์หลอม (Melt strength) จะมีค่าต่ำทำให้มีปัญหาในการนำไปผลิตขึ้นรูปโดยกระบวนการบางอย่าง เช่น กระบวนการอัดรีดและเป่าขึ้นรูปเป็นฟิล์ม (Extrusion blown film process) เนื่องจากฟิล์มที่เป่าขึ้นต่อจากพอลิเมอร์ที่ไหลออกจากรูทางออกจะไม่เสถียร ดังนั้นในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ฟิล์ม PLA จากกระบวนการดังกล่าวจึงต้องทำการปรับปรุงสมบัติดังกล่าว

4) ข้อเสียประการสุดท้ายของ PLA คือราคาที่ยังคงแพงเมื่อเทียบกับพลาสติกทั่วไป (Commodity plastics) ชนิดอื่น ๆ โดยในปัจจุบันราคาของเม็ด PLA อยู่ที่กิโลกรัมละ 150 บาท ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการแข่งขันและการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์

2.4 การขึ้นรูปแบบกดอัด

การขึ้นรูปด้วยการกดอัด (Compression molding) เป็นวิธีการขึ้นรูปที่นิยมใช้กันมากที่สุดใน การขึ้นรูปเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการขึ้นรูปแบบอื่น ๆ เพราะเนื่องจากมีกระบวนการทำงานที่ง่ายและมี ราคาไม่สูงมากนัก ในปัจจุบันมีการใช้เทคนิคนี้ในการแปรรูปพลาสติกอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะอย่างยิ่งการแปรรูปยางและพลาสติกประเภทเทอร์โมเซตติง เช่น ฟีนอลิกเรซิน (Phenolic resin) อีพอกซีเรซิน (Epoxy resin) เมลามีนฟอรัมาลดีไฮด์ (Melamine formaldehyde) และยูเรียฟอรัมาลดีไฮด์ (Urea formaldehyde) เป็นต้น นอกจากนี้ยังนิยมใช้ในการแปรรูปเทอร์โมพลาสติกที่แปรรูปโดย เทคนิคอื่นได้ยาก เช่น การแปรรูปเทอร์โมพลาสติกที่ผสมไฟเบอร์ต่าง ๆ การแปรรูปเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ และการแปรรูปพลาสติกไวนิลและ สไตรีนสำหรับทำแผ่นเสียงที่ต้องการความละเอียด แน่นอน เป็นต้น ชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการแปรรูปด้วยเทคนิคการอัด ได้แก่ ช้อน ชาม งาน ที่เขียนหรี สวิตช์ไฟ กล้องบรรจุสวิตช์ หูม้อ หูกระโหะ มือจับเตารีด แผ่นเสียง ตัวกวนของเครื่อง ชักผ้า และที่รองนั่งโถชักโครก เป็นต้น

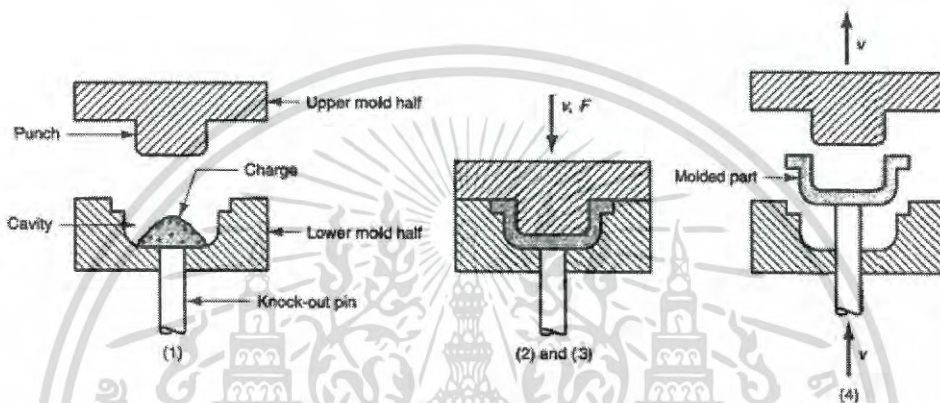
2.4.1 ลักษณะเครื่องอัด (Compression molding machine)

กระบวนการอัดเป็นเทคนิคการแปรรูปพลาสติกที่ไม่ซับซ้อน โดยหลักการทำงาน คือ การนำ พลาสติกมาอัดในแม่แบบ (Mold) ภายใต้ความดันและอุณหภูมิที่เหมาะสม เพื่อให้พลาสติกหลอมและ ไหลเข้าสู่ช่องว่างภายในแม่แบบ (Cavity) ส่วนประกอบหลักของเครื่องกดอัด (Compression molding machine) คือ แผ่นเหล็กอัด (Platens) จำนวนสองชุด ซึ่งแผ่นหนึ่งสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลง ได้ (Movable platen) ส่วนอีกแผ่นหนึ่งจะถูกยึดติดกับที่ (Fixed platen) แม่แบบสำหรับการแปรรูปพลาสติกทั้งตัวผู้และตัวเมียจะถูกยึดติดกับแผ่นเหล็กอัดทั้งสองแผ่นนี้ ส่วนเครื่องกดอัดที่ใช้ในงาน อุตสาหกรรมจะมีระบบขับเคลื่อนที่ให้ความดัน โดยขนาดของความดันจะขึ้นกับขนาดของแผ่นเหล็ก อัด ชนิดของพลาสติก ความหนาของผนังผลิตภัณฑ์พลาสติก และการให้ความร้อนแก่พลาสติกก่อน การกดอัด

กระบวนการอัดเริ่มจากการยึดแม่แบบติดกับแผ่นเหล็กอัดทั้งสองแผ่น แล้วให้ความร้อนแก่ แม่แบบตามชนิดของพลาสติก โดยทั่วไปอุณหภูมิแม่แบบสำหรับการอัดเทอร์โมเซตจะเป็นอุณหภูมิ การเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของสายโซ่โมเลกุล ซึ่งอยู่ในช่วง 140-200°C หลังจากนั้นจึงเติมเม็ดหรือ ผงพลาสติก โดยปริมาณการเติมต้องเหมาะสมกับขนาดของชิ้นงาน จากนั้นปิดแม่แบบโดยเคลื่อนแผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กอัดลงด้วยความดันที่เหมาะสม พลาสติกจะเกิดการหลอมหรืออ่อนตัวไหลเข้าสู่ช่องว่าง (Cavity) ของแม่แบบ สำหรับพลาสติกเทอร์โมเซตต้องปล่อยให้คงที่ภายใต้ความดันและอุณหภูมินี้ระยะหนึ่งตามระยะเวลาการสุก (Cure time) ของพลาสติกเทอร์โมเซตนั้น ๆ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงเกิดอย่างสมบูรณ์ หลังจากนั้นความดันภายในแม่แบบจะลดลงในขณะที่ทำการหล่อเย็น จากนั้นจึงเปิดแม่แบบโดยเคลื่อนแผ่นเหล็กอัดขึ้น ปลดชิ้นงานออกจากแม่แบบ ซึ่งในการปลดชิ้นงานออกจะต้องเป็นช่วงที่พลาสติกแข็งตัวเรียบร้อยแล้ว เพื่อป้องกันความเสียหายหรือการบิดตัวของชิ้นงาน แล้วเริ่มเติมพลาสติกลงในแม่แบบเพื่อทำงานในวัฏจักรต่อไปแสดงดังรูป 2.5



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนกระบวนการอัด
ที่มา: ดร.รชนี (2013)

การอัดพลาสติกบางครั้งจะเกิดก๊าซหรือไอน้ำขึ้น ซึ่งอาจทำให้เกิดการฝั่งตัวของก๊าซได้ผิวของชิ้นงาน ทำให้เกิดรอยบุ๋บขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลาสติกที่ไม่ได้ให้ความร้อนก่อนการอัด เพื่อแก้ปัญหาจำเป็นต้องมีขั้นตอนการไล่ก๊าซ (Degassing stage) โดยในขณะที่ทำการอัดต้องมีการยกแม่แบบตัวผู้ขึ้นจนความดันภายในแม่แบบลดลงถึงความดันบรรยากาศ เมื่อก๊าซระเหยออกไปแล้วจึงทำการอัดต่อไปจนพลาสติกแข็งตัว นอกจากปัญหาการเกิดก๊าซแล้ว ระยะเวลาของการแข็งตัวก็มีอิทธิพลต่อสมบัติของชิ้นงานพลาสติกเช่นกัน หากระยะเวลาแข็งตัวของพลาสติกสั้นเกินไปจะทำให้ผิวของชิ้นงานพอง ชิ้นงานทนความร้อนได้ไม่ดี และทำให้ชิ้นงานดูดซึมน้ำมันได้มากขึ้น แต่หากปล่อยให้แข็งตัวเกินไปอาจทำให้เกิดรอยร้าวได้ ซึ่งจะทำให้ชิ้นงานดูดซึมน้ำมันได้มากขึ้นอีก ดังนั้นผู้ปฏิบัติจึงต้องมีความชำนาญและประสบการณ์ค่อนข้างสูงในการควบคุมขั้นตอนการทำงานอยู่ตลอดเวลา เพื่อให้สามารถผลิตชิ้นงานพลาสติกได้ตรงตามความต้องการ

2.4.2 ระบบให้ความร้อนและหล่อเย็น

ระยะเวลาการทำงานต่อวัฏจักรของการอัดนั้นขึ้นอยู่กับความหนาของผนังชิ้นงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลาสติกประเภทเทอร์โมเซตที่เป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดี และในการอัดต้องให้อุณหภูมิถึงจุดที่เกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุลได้ ซึ่งหากเติมเม็ดหรือผงพลาสติกลงในแม่แบบโดยตรงจะทำให้ระยะเวลาในการอัดนานมาก ดังนั้นจึงควรมีการให้ความร้อนแก่พลาสติกก่อนนำเข้าไปในแม่แบบ เพื่อให้พลาสติกสามารถไหลได้ดีขึ้น ลดระยะเวลาในการทำงานต่อวัฏจักรให้สั้นลง และยังสามารถลดความดันที่ใช้ในการอัดได้อีกด้วย การให้ความร้อนแก่พลาสติก แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ การให้ความร้อนแก่พลาสติกก่อนอัดและการให้ความร้อนแก่เบ้าโดยตรงขณะที่อัด

1) การให้ความร้อนแก่พลาสติกก่อนอัด เช่น การใช้แผ่นโลหะร้อน การใช้รังสีอินฟราเรด การใช้เตาอบหรือไมโครเวฟ และการใช้ตู้อบชนิดความถี่สูง (High frequency oven) เป็นต้น

2) การให้ความร้อนในแม่แบบร้อน เช่น ระบบไฟฟ้า นิยมใช้กันมากเนื่องจากออกแบบและติดตั้งได้ง่าย และมีความสะดวกในการซ่อมบำรุง ระบบไอน้ำ ซึ่งมีข้อดีคือให้ความร้อนที่สม่ำเสมอ แต่ให้ไม่สามารถให้ความร้อนเกิน 180 °C ได้ และระบบน้ำร้อนไหลเวียน เป็นเทคนิคใหม่ที่ได้รับนิยมนมากในปัจจุบัน โดยการใช้การเผาพ่นน้ำด้วยเปลวไฟจากก๊าซหุงต้ม แล้วให้น้ำร้อนในท่อไหลเวียนให้ความร้อนแก่แม่แบบ นอกจากระบบให้ความร้อนแล้วอาจมีระบบหล่อเย็น เพื่อให้ชิ้นงานพลาสติกจากการอัดเย็นตัวลง ระบบหล่อเย็นจะไหลหมุนเวียนเข้าสู่ระบบท่อใกล้ช่องว่างของเบ้าหรืออาจใช้ระบบน้ำร้อนที่สามารถสลับจากการให้ความร้อนเป็นการหล่อเย็นก็ได้

2.4.3 ระบบการขับเคลื่อน

ในปัจจุบันเครื่องอัดส่วนใหญ่ได้รับการพัฒนาให้สามารถทำงานอัตโนมัติโดยใช้แรงขับเคลื่อนระบบไฮดรอลิกในการเคลื่อนที่แผ่นเหล็กอัดขึ้นลง นอกจากนี้ระบบขับเคลื่อนยังทำหน้าที่ในการให้ความดันในการอัดอีกด้วย เครื่องอัดขนาดเล็กที่ใช้ในห้องปฏิบัติการจะมีระบบขับเคลื่อนที่ให้ความดันในช่วง 5-100 ตัน ส่วนเครื่องอัดที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมจะมีระบบขับเคลื่อนที่ให้ความดันในช่วง 10-4000 ตัน โดยขนาดของความดันจะขึ้นกับขนาดของแผ่นเหล็กอัดซึ่งมีขนาดอยู่ในช่วง 8 ตารางนิ้ว ถึง 5 ตารางฟุต ชนิดของพลาสติก ความหนาของผนังชิ้นงานพลาสติก และการให้ความร้อนแก่พลาสติกก่อนการอัด

2.4.4 แม่พิมพ์สำหรับกระบวนการอัด

การออกแบบลักษณะชิ้นงานและแม่แบบสำหรับกระบวนการอัดมีความสำคัญมาก เนื่องจากลักษณะของแม่แบบจะมีผลโดยตรงต่อความดันและอุณหภูมิที่ใช้ในการอัด รวมถึงคุณภาพของชิ้นงานอีกด้วย เช่น หากชิ้นงานมีความหนามาก จะทำให้พลาสติกไหลเข้าสู่ช่องว่างในแม่แบบได้ยาก ทำให้ต้องใช้ความดันสูงขึ้น หากรูปทรงของชิ้นงานมีเหลี่ยมหรือคม จะทำให้การไหลเข้าสู่ช่องว่างใน

แม่แบบของพลาสติกไม่ดี ทำให้ต้องใช้ความดันสูงขึ้น ดังนั้นจึงควรออกแบบให้มีมุมโค้งมน ซึ่งจะช่วยให้พลาสติกไหลได้ดีขึ้น หรือหากผิวของแม่แบบมีความขรุขระ ไม่เรียบ ก็จะทำให้ต้องใช้ความดันสูงขึ้นในการอัด

แม่แบบสำหรับกระบวนการอัดพลาสติกนั้นต้องรับการเสียดสีสูงมากจากพลาสติกและสารเติมแต่ง ดังนั้นวัสดุที่ใช้ทำแม่แบบควรทนต่อความดันและอุณหภูมิสูง แม่แบบที่ใช้ในกระบวนการอัดแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ

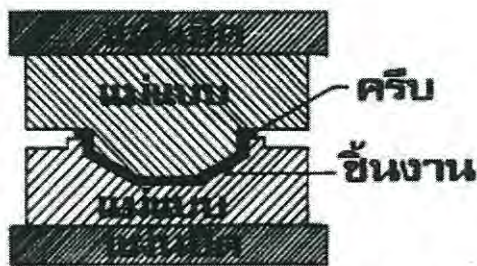
1) แม่แบบฝาประกบ (Split mold) หรือแม่แบบชนิดกึ่งบวก (Semi-positive mold) แม่แบบประเภทนี้จะมีลักษณะผสมผสานอยู่ระหว่างสองประเภทข้างต้น โดยในจังหวะแรกที่แม่แบบตัวผู้เริ่มอัด พลาสติกส่วนเกินยังสามารถไหลย้อนออกมาได้ แต่เมื่อแม่แบบตัวผู้เคลื่อนลงมาถึงระยะหนึ่ง บ่าของแม่แบบตัวผู้จะปิดช่องว่างไม่ให้พลาสติกไหลย้อนออกได้อีกแล้วจึงอัดแน่น แม่แบบชนิดนี้เหมาะสมกับงานทั่วไป ชิ้นงานที่ได้มีความแข็งแรงพอสมควร



รูปที่ 2.6 แม่แบบฝาประกบ (Split mold) หรือแม่แบบชนิดกึ่งบวก (Semi-positive mold)

ที่มา: ดรรชนี (2013)

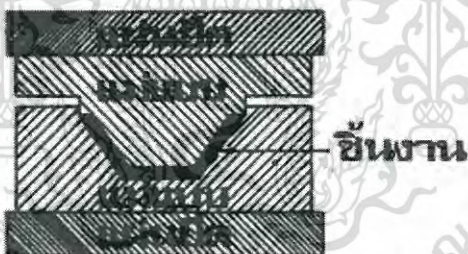
2) แม่แบบอัดชิ้นงานราบ (Flat form) หรือแม่แบบชนิดบาง (Flash mold) เป็นแม่แบบชนิดง่ายที่สุด มีความยุ่งยากน้อยที่สุด โดยปกติจะใช้ผลิตชิ้นงานที่มีลักษณะแบน เช่น จานและชาม เป็นต้น เป็นแม่แบบที่ยอมให้พลาสติกไหลออกได้เมื่อกดแม่แบบตัวผู้ลงมา ทำให้ไม่ต้องใช้แรงอัดมาก ข้อดีของแม่แบบประเภทนี้ คือ การออกแบบและการผลิตสามารถทำได้ง่าย มีน้ำหนักเบาและราคาถูก ส่วนข้อเสีย คือ ชิ้นงานที่ได้มีเนื้อไม่แน่น ความแข็งแรงน้อย มีความหนาไม่สม่ำเสมอและมีครีป (Flash) มากทำให้ต้องขัดแต่งชิ้นงานมาก



รูปที่ 2.7 แม่แบบอัดขึ้นงานราบ (Flat form) หรือแม่แบบชนิดบาง (Flash mold)

ที่มา: ดรธรณี (2013)

3) แม่แบบปิดอัด (Sealed mold) หรือแม่แบบชนิดบวก (Fully positive mold) เป็นแม่แบบชนิดตรงข้ามกับแม่แบบอัดขึ้นงานราบ คือ ยอมให้พลาสติกหลอมละลายไหลออกน้อยที่สุดหรือไม่ให้ออกเลย เนื่องจากไม่มีร่องให้วัสดุพลาสติกไหลล้นออก โดยในขณะที่ปิดแม่แบบนี้แม่แบบบนจะลึกลงไปในแม่แบบล่างประมาณ 2-3 มิลลิเมตร หรือจนถึง 20-30 มิลลิเมตร เพื่อปิดช่องทางไม่ให้พลาสติกไหลล้นออกมา จึงทำให้สามารถอัดพลาสติกด้วยความดันสูง โดยพลาสติกจะได้รับแรงดันทั้งหมด ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อแน่นและมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น แต่มีข้อเสีย คือ หากใส่วัสดุพลาสติกมากเกินไปแรงอัดจะทำให้แม่แบบแตกร้าวได้ นอกจากนี้แม่แบบนี้ไม่ค่อยนิยมใช้กับขึ้นงานที่ต้องการความละเอียด เนื่องจากหากในการอัดแต่ละครั้งใช้ปริมาณพลาสติกที่ต่างกัน จะทำให้ได้ขึ้นงานที่มีความหนาต่างกัน ทำให้ยากต่อการควบคุมคุณภาพขึ้นงานให้สม่ำเสมอ



รูปที่ 2.8 แม่แบบปิดอัด (Sealed mold) หรือแม่แบบชนิดบวก (Fully positive mold)

ที่มา: ดรธรณี (2013)

2.4.5 ข้อดีและข้อเสียของกระบวนการอัด

แม้การแปรรูปด้วยกระบวนการอัดจะเป็นเทคนิคที่ใช้กันมานาน แต่ในปัจจุบันก็ยังมีการใช้งานสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกอย่างกว้างขวาง ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการอัดมีข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับกระบวนการแปรรูปด้วยเทคนิคอื่น ๆ หลายประการ ดังนี้

- แม่แบบมีราคาถูกและผลิตได้ง่าย
- มีการสูญเสียวัสดุุน้อยมาก คือ มีครีบ (Flash) เกิดขึ้นน้อยมากประมาณ 2-5% เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โมเลกุลของพลาสติกเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ (Reorientation) น้อยมาก เนื่องจากในระหว่าง การอัดเกิดการไหลของพลาสติกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น
- เครื่องอัดมีราคาสูงกว่าเครื่องแปรรูปพลาสติกชนิดอื่น ๆ
- ไม่เกิดเส้นรอยเชื่อม (Weld line) บนชิ้นงาน ซึ่งเส้นรอยเชื่อมนี้เป็นจุดบกพร่องที่ทำให้ ชิ้นงานแตกหักได้ง่าย
- แม่แบบสำหรับกระบวนการอัดไม่มีส่วนของท่อวิ่ง (Runners) ท่อนำ (Sprue) และประตูเข้า (Gates) ทำให้ไม่มีรอยตำหนิบนชิ้นงาน

ถึงแม้ว่ากระบวนการอัดจะมีข้อได้เปรียบดังที่กล่าวมาแล้ว แต่เทคนิคนี้ก็มีข้อเสียเปรียบหลาย ประการ เช่น

- วัสดุที่อยู่ในสภาวะของแข็งหรือกึ่งของแข็ง ทำให้เกิดความเครียดภายในแม่แบบสูงมาก ในขณะที่ทำการอัด จึงไม่สามารถใส่วัสดุอื่น ๆ เช่น โลหะ ลงไปในแม่แบบได้ เนื่องจากจะทำให้โลหะเกิดการบิดเบี้ยวและแม่แบบเกิดการเสียหายได้ จึงทำให้ไม่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ แบบหุ้มด้วยเทคนิคนี้ได้
- ไม่สามารถผลิตชิ้นงานที่มีความซับซ้อนได้
- เวลาของวัฏจักรการผลิต (Cycle time) ค่อนข้างยาว ทำให้กำลังการผลิต (Productivity) ต่ำ
- การผลิตชิ้นงานที่หนาต้องใช้เวลานาน
- จำเป็นต้องมีการตัดกรีบทิ้งเสมอ

สำหรับกรรมวิธีในการไล่กรีบออกนั้นสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การทำด้วยมือ ได้แก่ การขัดด้วย ตะไบหรือหินเจียร การเลื่อย และการใช้เหล็กกระทัน เป็นต้น การไล่กรีบออกด้วยมือเป็นวิธีที่ทำได้ เรียบร้อย แต่ช้าและมีค่าแรงสูง นิยมใช้สำหรับชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ ส่วนอีกวิธีเป็นการทำด้วยเครื่อง อัดโนมัติ ได้แก่ การใส่ในถังหมุน การพันทราย การใช้แปรงขัด และการใช้การสั่น เป็นต้น วิธีนี้เป็นวิธี ที่ทำได้เร็ว ประหยัดเวลาได้มาก แต่ต้องระวังผิวของชิ้นงานอาจถูกขีดข่วนเสียหายได้

2.5 หลักการนิวเมติกส์เบื้องต้น

ระบบนิวเมติกส์เป็นการประยุกต์ใช้ระบบลมอัดเพื่อนำมาใช้งานในด้านอุตสาหกรรม มีการนำลม อัดมาใช้ในการขับเคลื่อนการทำงานของเครื่องจักร เช่น เครื่องจักรในการบรรจุหีบห่อ เครื่องจักร อาหาร เครื่องจักรงานไม้ เครื่องจักรในการขนย้ายวัสดุ เครื่องพิมพ์ เป็นต้น สาเหตุของการนำลมอัดมา ใช้งานในระบบอุตสาหกรรมเพื่อประหยัดเวลาและลดการใช้แรงงาน นอกจากนี้เครื่องจักรที่ใช้งาน จากระบบลมอัดยังมีราคาถูกกว่าการใช้ระบบอื่นๆ มีการบำรุงรักษาและควบคุมง่าย อีกทั้งยังง่ายต่อ การดัดแปลง เช่น การประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบไฟฟ้าเพื่อใช้ในการควบคุมระยะห่างได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 สาเหตุสำคัญที่ที่มีการนำระบบนิวเมติกส์มาใช้ในระบบอุตสาหกรรมเนื่องจาก

- 1) ประหยัดค่าใช้จ่ายในด้านความปลอดภัย เนื่องจากระบบนิวเมติกส์ที่ใช้งาน โดยทั่วไปไม่เสี่ยงต่อการเกิดการลุกไหม้ของเปลวไฟ
- 2) เครื่องมือที่ใช้ระบบนิวเมติกส์ในการทำงานจะให้ความเร็วในการทำงานสูง โดยทั่วไป จะให้ความเร็วอยู่ระหว่าง 1 ถึง 2 เมตร ต่อวินาที ซึ่งหากต้องการใช้ความเร็วทำงานที่สูง จึงจำเป็นต้องใช้กระบอกลูกสูบชนิดพิเศษ เพื่อใช้งานในส่วนของการต้องการความเร็วในการทำงานสูง
- 3) ระบบนิวเมติกส์ เป็นการใช้งานจากลมอัดหลังจากการใช้งาน สามารถระบายลมทิ้งออกสู่บรรยากาศได้เลยไม่จำเป็นต้องนำกลับมาใช้ในระบบอีกจึงประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้
- 4) ความสะอาดของระบบนิวเมติกส์ดีมาก เพราะมีการใช้ชุดปรับปรุงคุณภาพลมก่อนนำไปใช้
- 5) อุปกรณ์การทำงานและชุดควบคุม วาล์วชนิดต่างๆ สามารถใช้งานได้ง่ายและปรับแต่งได้ตามที่ต้องการ อีกทั้งยังมีความปลอดภัยมากกว่าระบบอื่น หากพบว่ามีการใช้งานเกินกำลัง

ถึงแม้ว่าระบบนิวเมติกส์จะข้อดีและมีความเหมาะสมที่สามารถนำมาใช้งานในทางอุตสาหกรรม ระบบนิวเมติกส์ก็ยังมีข้อเสียสำหรับการใช้งานซึ่งอธิบายดังนี้

- 1) การเพิ่มอุปกรณ์นิวเมติกส์ในการใช้งานเพื่อเพิ่มกำลังการผลิต โดยไม่คำนึงถึงความสามารถของเครื่องอัดลม ส่งผลให้เครื่องจักรที่ใช้งานมีความคลาดเคลื่อนได้ นอกจากนี้ระยะห่างระหว่างชุดควบคุมและกระบอกลูกสูบเกินกว่า 5 เมตร อาจส่งผลต่อการทำงานของกระบอกลูกสูบได้
- 2) ลมอัดที่ใช้ในการทำงานได้มาจากอากาศโดยรอบของเครื่องอัดลมซึ่งในบรรยากาศประกอบด้วยก๊าซชนิดต่างๆ ฝุ่นละออง ไอน้ำ และอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งไอน้ำภายในอากาศส่งผลให้ลมอัดที่ได้มีความชื้นปนอยู่ หากในการใช้งานเราต้องการลดความดันลงจากเดิม ซึ่งจะก่อให้เกิดหยดน้ำขึ้นได้
- 3) การทำงานของระบบนิวเมติกส์ในระหว่างการระบายลมทิ้งก่อให้เกิดเสียงดัง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการติดท่อเก็บเสียงเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว
- 4) การเพิ่มขึ้นและลดลงของอุณหภูมิของลมอัดที่ใช้ส่งผลต่อความดันของลมอัดที่ใช้ซึ่งส่งผลในทำนองเดียวกันกับการเพิ่ม-ลด ความดันก่อให้เกิดการเป็นหยดน้ำขึ้นได้
- 5) ขนาดของกระบอกลูกสูบเป็นข้อจำกัดที่สำคัญ ซึ่งส่งผลต่อการให้แรงดันสำหรับการใช้งาน ขนาดกระบอกลูกสูบที่ใช้งานจึงเป็นข้อจำกัดหนึ่งของการให้แรงดันในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 คุณสมบัติของระบบนิวเมติกส์เมื่อเปรียบเทียบกับระบบไฮดรอลิก

ระบบการใช้พลังงานในลักษณะของของไหลประกอบด้วย ระบบนิวเมติกส์และระบบไฮดรอลิก ระบบทั้งสองมีข้อจำกัด ข้อเปรียบเทียบเพื่อความเหมาะสมในการใช้งานซึ่งอธิบายได้ดังนี้

- 1) ความดันในการใช้งานของลมอัดโดยทั่วไปของระบบนิวเมติกส์มีค่าระหว่าง 6 ถึง 7 บาร์ ซึ่งหากต้องการใช้งานลมอัดที่ความดันมากกว่านี้ ระบบนิวเมติกส์สามารถใช้งานได้สูงสุดคือ 100 บาร์ หากเทียบกับระบบไฮดรอลิกแล้วความดันที่ใช้งานมีค่าน้อยมาก ดังนั้นระบบนิวเมติกส์จึงเหมาะกับการใช้สำหรับงานเบาๆ ซึ่งใช้ความดันไม่สูง
- 2) เนื่องจากของไหลของระบบนิวเมติกส์คือลมอัดซึ่งได้จากอากาศ เนื่องด้วยคุณสมบัติของอากาศอยู่ในสถานะก๊าซสามารถอัดตัวได้ การทำงานของอุปกรณ์ทำงานเมื่อต้องการให้มีการหยุดค้างตำแหน่งจึงไม่เท่าที่ควรเมื่อเปรียบเทียบกับระบบไฮดรอลิก
- 3) การทำงานของอุปกรณ์ทำงานของระบบนิวเมติกส์สามารถเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าระบบไฮดรอลิก เนื่องจากชนิดของของไหลมีค่าความแตกต่างกันของค่าความต้านทานของไหล ของไหลของระบบไฮดรอลิกคือน้ำมันซึ่งมีค่าสูงกว่าอากาศ การทำงานของอุปกรณ์ทำงานจึงเคลื่อนที่ได้ช้ากว่า
- 4) ระบบนิวเมติกส์มีสารทำงานคืออากาศซึ่งมีความสะอาดมากกว่าระบบไฮดรอลิก เพราะระบบไฮดรอลิกมีความเสี่ยงต่อการรั่วไหลของน้ำมันอาจก่อให้เกิดการปนเปื้อน อีกทั้งยังก่อให้เกิดอันตรายจากการติดไฟของน้ำมันอีกด้วย
- 5) ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับอุปกรณ์ของระบบนิวเมติกส์มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าระบบไฮดรอลิก จึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งในการพิจารณาเลือกใช้งาน
- 6) ความสามารถในการใช้งานด้านอุณหภูมิของระบบนิวเมติกส์มีช่วงของอุณหภูมิในย่านที่กว้างกว่าระบบไฮดรอลิกซึ่งสามารถใช้งานได้อุณหภูมิสูงถึง 160 °C ส่วนระบบไฮดรอลิกสามารถใช้งานได้เพียงสูงถึง 70 °C เนื่องจากการใช้อุณหภูมิของระบบไฮดรอลิกที่สูงความร้อนที่ใช้มีความเสี่ยงต่อการเกิดการลวกไหม้ และก่อให้เกิดประกายไฟได้

2.5.3 การเปรียบเทียบระบบนิวเมติกส์กับระบบการทำงานอื่นๆ

นอกจากระบบที่ใช้งานโดยใช้พลังงานจากของไหล ได้แก่ ระบบนิวเมติกส์และระบบไฮดรอลิกแล้ว ในอุตสาหกรรมยังมีการใช้งานระบบอื่นๆ เพื่อใช้ในการบังคับควบคุมอุปกรณ์การทำงาน ซึ่งได้แก่ ระบบกลไก ระบบไฟฟ้า ระบบอิเล็กทรอนิกส์ แต่ละระบบมีข้อดีและข้อเสียเพื่อพิจารณาให้เหมาะกับการใช้งาน ซึ่งอธิบายได้จากตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบการบังคับทำงานด้วยระบบต่างๆ

รายละเอียดของระบบ		บังคับการทำงานด้วยระบบ			
		กลไก	ไฟฟ้า / อิเล็กทรอนิกส์	ไฮดรอลิก	นิวเมติกส์
ระบบขับเคลื่อน	โครงสร้าง	ค่อนข้างซับซ้อน	ค่อนข้างซับซ้อน	ค่อนข้างซับซ้อน	ง่าย
	ความสามารถ	ดีมาก	ดีมาก	ดี	ดีแต่ต้องระวัง
	เคลื่อนที่เป็นเส้นตรง	ง่าย	ง่าย	ยาก	ง่าย
	เคลื่อนที่แบบหมุน	ง่าย	ง่าย	ค่อนข้างยาก	ค่อนข้างยาก
	กำลังขับ	น้อย-มาก	น้อย-มาก	กลาง-มาก	น้อย-กลาง
	การปรับกำลังขับ	ยาก	ยาก	ง่าย	ง่าย
	การบำรุงรักษา	ง่าย	ต้องใช้เทคโนโลยี	ค่อนข้างง่าย	ง่าย
	ความเร็วคงที่	ดีมาก	ดี	ดี	ไม่คงที่ความดันต่ำ
	การรับภาระเกินกำหนด (Over load)	ค่อนข้างยาก	ยาก	ค่อนข้างยาก	ง่าย
	การเลือกรูปแบบการติดตั้ง	น้อย	กลาง	มาก	มากกว่า
	การใช้อุปกรณ์ช่วยเมื่อขาดกระแสไฟฟ้า	ค่อนข้างจะเป็นไปไม่ได้	ยาก	เป็นไปได้	เป็นไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบการบังคับทำงานด้วยระบบต่างๆ (ต่อ)

ระบบการบังคับ	การส่งสัญญาณ	ยาก	ง่ายมาก	ค่อนข้างยาก	ง่าย
	การป้องกันการติดไฟ	ดี	ต้องใช้อุปกรณ์ช่วย	ดี	ดีมาก
	ความรู้สึกไวต่อความชื้น	น้อย	มาก	น้อย	ต้องระบายออก
	ความรู้สึกไวต่ออุณหภูมิ	น้อย	มาก	กลาง	น้อย
	การเลือกวิธีบังคับ	น้อย	มากกว่า	น้อย	มาก
	การคำนวณในระบบ	น้อย	มาก	น้อย	กลาง
	การคำนวณการความเร็ว	สูง	สูงมาก	กลาง	กลาง
	การคำนวณการบังคับ	อะนาล็อก (ดิจิทัล)	ดิจิทัล (อะนาล็อก)	อะนาล็อก	ดิจิทัล (อะนาล็อก)
	ข้อเสียเมื่อเกิดการสั้นสะเทือน	ปกติ	มีผลเสีย	ปกติ	ปกติ

ที่มา : ปานเพชร, 2541

2.5.4 อุปกรณ์ของระบบนิวเมติกส์

- 1) เครื่องอัดลม (Air Compressor) เป็นแหล่งกำเนิดลมอัด เครื่องอัดลมทำงานโดยการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นลมอัด สร้างความดันให้มีความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศ จำแนกขนาดของเครื่องอัดลมได้ 3 ขนาด ดังแสดงในตารางที่ 2.5 ความสามารถของเครื่องอัดลมสามารถสร้างความดันได้ถึง 10 บาร์ แบ่งโครงสร้างของเครื่องอัดลมแบ่งออกเป็น แบบลูกสูบและแบบสกรู

ตารางที่ 2.5 ขนาดและความสามารถของเครื่องอัดลม

ขนาด	ระบบระบายความร้อน	กำลังเครื่องอัดลม
เล็ก	อากาศ	0.2 ถึง 7.5 กิโลวัตต์
กลาง	อากาศและน้ำ	7.5 ถึง 75 กิโลวัตต์
ใหญ่	น้ำ	75 กิโลวัตต์

ที่มา : ปานเพชร, 2541

- 2) เครื่องระบายความร้อนลมอัด (Heat exchanger) เนื่องจากเครื่องอัดลมจะดูดเอาอากาศที่สถานะความดันบรรยากาศ เพิ่มความดันให้สูงขึ้น การเพิ่มความดันให้สูงขึ้นส่งผลต่อให้เครื่องมีอุณหภูมิสูง ในการใช้งานโดยตรงจะสร้างความเสียหายให้แก่ซีล ป้องกันการรั่วของลม จึงจำเป็นต้องลดอุณหภูมิลมอัดด้วยเครื่องระบายความร้อน
- 3) เครื่องกรองท่อเมน (Main air filter) จะเป็นตัวกรองฝุ่นละออง สนิม และน้ำที่ปะปนมากับลมอัดให้มีความสะอาดก่อนนำไปใช้งานและใช้งานกับเครื่องจักรในระบบนิวเมติกส์
- 4) เครื่องทำลมแห้ง (Air dryer) ลมอัดที่ออกจากเครื่องอัดจะมีความชื้นปนอยู่มาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำลมอัดให้เย็นลงและนำความชื้นออกจากลมอัด ซึ่งอาจใช้งานสารเคมีในการนำความชื้นออกจากลมอัด ความชื้นที่ออกมาจะกลั่นตัวออกเป็นน้ำ และถูกนำมาทิ้งด้วย ก้นดักน้ำ(Trap)
- 5) กรองลม(Air filter) ทำหน้าที่คล้ายเครื่องกรองลมในท่อเมนเพื่อป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์ที่ใช้ลม ในกรณีที่ไม่ทำลมให้แห้ง ตัวกรองลมจะทำหน้าที่ดักน้ำที่ปนมากับลม
- 6) วาล์วความดัน (Pressure reducing valve) เครื่องอัดลมทำหน้าที่สร้างความดันให้แก่ลมอัด ซึ่งความดันลมอัดจะมีค่ามากกว่าความดันที่ใช้งาน ดังนั้นวาล์วความดันจึงทำหน้าที่ลดความดันจากเครื่องอัดลมเพื่อใช้งานในช่วงความดันที่เราต้องการ
- 7) อุปกรณ์ผสมน้ำมันหล่อลื่น (Oil lubricator) ทำหน้าที่ช่วยหล่อลื่นภายในอุปกรณ์ของระบบนิวเมติกส์
- 8) อุปกรณ์เก็บเสียง (Air silencer) เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยลดเสียงดังในขณะที่มีการระบายทิ้งของลมอัดระหว่างการทำการทำของของระบบนิวเมติกส์
- 9) วาล์วเปลี่ยนทิศทางการลม (Air flow change valve) วาล์วเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์การทำงานของระบบนิวเมติกส์ เช่น การเลื่อนออกและเลื่อนเข้าของกระบอกลมนิวเมติกส์
- 10) วาล์วบังคับทิศทางลม (Speed control valve) วาล์วควบคุมปรับปริมาตรลมอัด ซึ่งส่งผลต่อความเร็วการเคลื่อนที่ของก้านลูกสูบ หรืออาจเรียกวาล์วชนิดนี้ว่า วาล์วควบคุมการไหล (Flow control valve)
- 11) กระบอกสูบ (Air cylinder) เป็นอุปกรณ์ทำงานของระบบนิวเมติกส์ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจากลมอัดให้เป็นพลังงานกล โดยทั่วไปกระบอกลมมีอยู่หลายชนิด แต่ที่นิยมใช้มักจะเป็นกระบอกลูกสูบทำงานทำงานแบบ 2 ทาง

2.5.5 สัญลักษณ์ของอุปกรณ์ที่ใช้งานในระบบนิวเมติกส์

การออกแบบระบบนิวเมติกส์สามารถทำได้โดยออกแบบวงจรควบคุมของระบบนิวเมติกส์ ซึ่งการออกแบบอธิบายได้โดยการใช้สัญลักษณ์ของอุปกรณ์นิวเมติกส์ ซึ่งอธิบายได้ในตารางที่ 2.6 และ



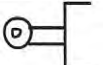
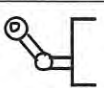
2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างสัญลักษณ์ของอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบนิวเมติกส์

สัญลักษณ์	ความหมาย
	กระบอกสูบลมที่มีการกระแทกทั้งสองข้างและสามารถปรับความเร็วกันกระแทกได้
	เครื่องอัดลม
	ชุดปรับปรุงคุณภาพลม
	วาล์วควบคุม 5 ทิศทาง 2 ตำแหน่ง ปกติปิด
	วาล์วควบคุม 3 ทิศทาง 2 ตำแหน่ง ปกติปิด

ตารางที่ 2.7 การบังคับการเคลื่อนของวาล์วควบคุมโดยใช้กลไก

สัญลักษณ์	ลักษณะการทำงาน
	ใช้กลไกภายนอกกด
	ใช้สปริงดันให้อยู่ในตำแหน่งปกติ
	ใช้กลไกภายนอกกด เช่น ก้านสูบกด สามารถกดให้ทำงานได้ทั้งสองทิศทาง
	ใช้กลไกภายนอกกด เช่น ก้านสูบกด สามารถกดให้ทำงานได้ทิศทางเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การทดสอบแรงดึง

การทดสอบแรงดึงเป็นการทดสอบพื้นฐานที่ใช้ทดสอบคุณสมบัติของวัสดุต่าง ๆ ปกติการทดสอบแรงดึงจะใช้ชิ้นทดสอบตามแบบมาตรฐาน แต่ขณะเดียวกันก็สามารถใช้ทดสอบแบบอื่นที่ทราบค่าพื้นที่หน้าตัดและความยาวเริ่มต้น โดยการทดสอบแรงดึงใช้ในการตรวจวัดพฤติกรรมเชิงกลของวัสดุภายใต้แรงดึงหรือยึดในแนวแกน ข้อมูลและการคำนวณในการทดสอบแรงดึงโดยทั่วไป ได้แก่ ขีดจำกัดการยืดหยุ่น(Elastic limit) ร้อยละการยืด(percent elongation) โมดูลัสความยืดหยุ่น(modulus of elasticity) ขีดจำกัดแบบสัดส่วน(proportional limit) ร้อยละการลดลงของพื้นที่หน้าตัด(percent reduction in area) เป็นต้น

การทดสอบแรงดึงเป็นการดึงชิ้นทดสอบซึ่งทำให้ชิ้นทดสอบตกอยู่ใต้สภาวะการยืดและเป็นกระบวนการที่ทำให้ชิ้นทดสอบเกิดการเสียรูป โดยการเสียรูปเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นทดสอบจากแรงที่กระทำ การตรวจวัดการเสียรูปจะวัดจากการเปลี่ยนแปลงขนาดชิ้นทดสอบกับขนาดเริ่มต้น นั่นคือการเสียรูปจะวัดจากความยาวของระยะทดสอบ(gauge length) ที่เปลี่ยนแปลงไปในการทดสอบเทียบกับระยะทดสอบเริ่มต้น ระยะทดสอบเป็นช่วงความยาวมาตรฐานที่ใช้ในการวัดระดับการยืดหรือการเสียรูปที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดสอบ โดยความยาวระยะทดสอบมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบแรงดึงปกติเท่ากับ 2 นิ้ว โดยสามารถคำนวณหาค่าแรงเค้นและความเครียดของชิ้นทดสอบได้จากสมการ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ

$$\sigma = \frac{F}{WD} \quad (2.2)$$

เมื่อ σ = แรงเค้น

F = แรงกระทำ

W = ความกว้างของหน้าตัดสี่เหลี่ยมของชิ้นทดสอบ

D = ความยาวของหน้าตัดสี่เหลี่ยมของชิ้นทดสอบ

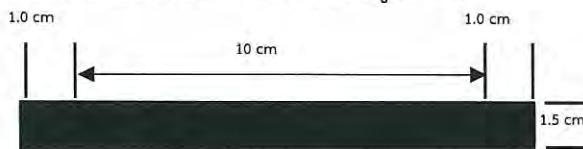
$$\epsilon = \frac{l-l_0}{l_0} \quad (2.3)$$

เมื่อ l_0 = ความยาวเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ

l = ความยาวชิ้นทดสอบหลังการดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยกำหนดความยาวช่วงการทดสอบเรียกว่าระยะทดสอบ (gauge length) ปกติยาว 2 นิ้ว และความยาวของชิ้นทดสอบทั้งหมดประมาณ 8 นิ้ว ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงชิ้นทดสอบแรงดึง

2.7 กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิธีการทางสถิติที่นิยมใช้กันอย่างทั่วไปในการตัดสินใจทางสถิติคือ การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ (hypothesis testing) เช่น การทดสอบค่าเฉลี่ย (t-test) การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยทั่วไปการทดสอบสมมติฐานจะสันนิษฐานว่าสิ่งที่เราสนใจนั้นเป็นจริงก่อนแล้วจึงทำการพิสูจน์ด้วยข้อมูลจากตัวอย่าง

ความแปรปรวน (Variance) เป็นมาตรฐานวัดการกระจายข้อมูลซึ่งมีความสัมพันธ์กับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เนื่องจากความแปรปรวนสามารถคำนวณได้จากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานยกกำลังสอง ความแปรปรวนจึงเป็นการวัดการกระจายข้อมูลในรูปของพื้นที่ สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) หรือเรียกอย่างย่อว่า ANOVA เป็นวิธีหนึ่งในการทดสอบสมมติฐานเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประชากรมากกว่าสองกลุ่มขึ้นไปพร้อม ๆ กัน โดยความแตกต่างระหว่างกลุ่มจะถูกวัดในรูปของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือความแปรปรวนซึ่งในที่นี้ก็คือค่าเฉลี่ยของความแปรผัน ในการทดสอบสมมติฐานด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน ตัวแปรที่ศึกษาอาจมีเพียงตัวแปรเดียวหรือหลายตัวแปรที่ศึกษาพร้อม ๆ กันได้ แต่ละตัวแปรอาจแยกออกได้หลายระดับหรือหลายชนิด โดยตัวแปรที่ต้องการศึกษาจะมีลักษณะ ดังต่อไปนี้

- ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นอาจมีเพียงตัวเดียวหรือมากกว่าหนึ่งตัว แต่ตัวแปรตามต้องมีตัวเดียวเท่านั้น
- ลักษณะของตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นอาจจะเป็นระดับต่าง ๆ หรือจำแนกออกเป็นประเภทต่าง ๆ
- ลักษณะของตัวแปรตามต้องมีค่าต่อเนื่อง

การวิเคราะห์ความแปรปรวน จำแนกออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

- 1) การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA)
- 2) การวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (Two-way ANOVA)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นพดล และสมนึก (2555) ทำการออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปภาชนะจากเส้นใยธรรมชาติ โดยใช้เยื่อกระดาษชานอ้อยซึ่งเป็นวัสดุเศษเหลือจากโรงงานน้ำตาลในการขึ้นรูปเป็นจานขนาด 6 นิ้ว และชามขนาด 4 นิ้ว การออกแบบและสร้างเครื่องเป็นในรูปแบบการทดลอง ประกอบด้วยอุปกรณ์ 3 ส่วนหลักคือ แท่นกดควบคุมด้วยนิวเมติกส์สามารถควบคุมเวลาได้ ชุดสูญญากาศสำหรับดูดน้ำออกจากแม่พิมพ์ และชุดควบคุมอุณหภูมิแผ่นความร้อนของแม่พิมพ์ ทำการทดลองขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 140°C และใช้ความดัน 6 บาร์ พบว่าเวลาที่ใช้ในการกดอัดจนทำให้ชิ้นงานหลังการขึ้นรูปไม่บิดงอคือ 35 นาทีสำหรับจานขนาด 6 นิ้ว และ 20 นาทีสำหรับถ้วยขนาด 4 นิ้ว ส่วนในการทดสอบค่าความต้านทานแรงกด พบว่าความดันขณะขึ้นรูปของชิ้นงานแปรผันตรงต่อค่าความต้านทานแรงกด โดยทดสอบชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยความดันต่างกัน ได้แก่ 4, 5 และ 6 บาร์

นที ฐานมั่น (2557) ทำการศึกษาวิจัยเพื่อผลิตภาชนะบรรจุย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากลำต้นมันสำปะหลังด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการอัดขึ้นรูปชิ้นงานคือ อุณหภูมิเท่ากับ 150°C ความดัน 55 บาร์ และใช้เวลา 15 นาที และศึกษาอิทธิพลของปริมาณเส้นใยและขนาดเส้นใยต้นมันสำปะหลังต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางกลของชิ้นทดสอบ พบว่าชิ้นงานที่มีสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพเหมาะสมที่สุดคือ ชิ้นทดสอบที่มีขนาดเส้นใยต้นมันสำปะหลังเป็น 0.60-0.85 mm และปริมาณของลำต้นมันสำปะหลังต่อหัวมันสำปะหลังสดในสัดส่วน 70:30 โดยน้ำหนัก ราคาต้นทุนการผลิตระดับห้องปฏิบัติการของภาชนะขนาดประมาณ 12 cm เท่ากับ 1.613 บาท/ใบ

Olmedo et al. (2015) ศึกษาพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของวัสดุที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ได้แก่ อุณหภูมิ ความดัน จำนวนชั้นที่จัดเรียง และชนิดเส้นใย โดยใช้อัดขึ้นรูปแผ่นพลาสติก PLA กับเส้นใย 4 ชนิดของปอกระเจา ลิ้นจี่ และฝ้าย เพื่อหากระบวนการขึ้นรูปที่เหมาะสมที่สุดที่สามารถลดต้นทุนและเวลาการผลิตได้ ผลการทดลองพบว่าชิ้นทดสอบที่ใช้ระยะเวลาอุ่น (Preheating) 2 นาที และให้ความร้อน 3 นาทีภายใต้แรงกด จะมีค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) สูงกว่า 100 MPa

Bax and Müssig ศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมระหว่าง PLA กับ Cordenka และ PLA กับเส้นใยลินิน โดยขึ้นรูปชิ้นงานด้วยกระบวนการฉีด พบว่าวัสดุผสมระหว่าง PLA กับ Cordenka ที่มีสัดส่วนของ Cordenka ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก มีค่าความต้านทานแรงกระแทก (72 kJ/m²) และค่าความต้านทานแรงดึง (58 MPa) สูงที่สุด แต่วัสดุผสมที่ให้ผลลัพธ์ค่ายังก์มอดูลัส (6.31 GPa) สูงที่สุดคือวัสดุผสม PLA กับเส้นใยลินิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ochi (2008) ทำการศึกษาสมบัติทางกลของวัสดุผสมระหว่าง PLA และเส้นใยปอแก้วด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160°C ความดัน 10 MPa เป็นเวลา 10 นาที ใช้อัตราส่วนของเส้นใยปอแก้ว 30%, 50% และ 70% พบว่า PLA ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยปอแก้วนทิศทางเดียวมีค่าความต้านทานแรงดึงและแรงดัดงอเท่ากับ 223 MPa และ 254 MPa ตามลำดับ และพบว่าค่าความต้านทานแรงดึง, แรงดัดงอ และยังมี modulus ของวัสดุผสมนี้มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงที่ปริมาณเส้นใยปอแก้ว 50%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

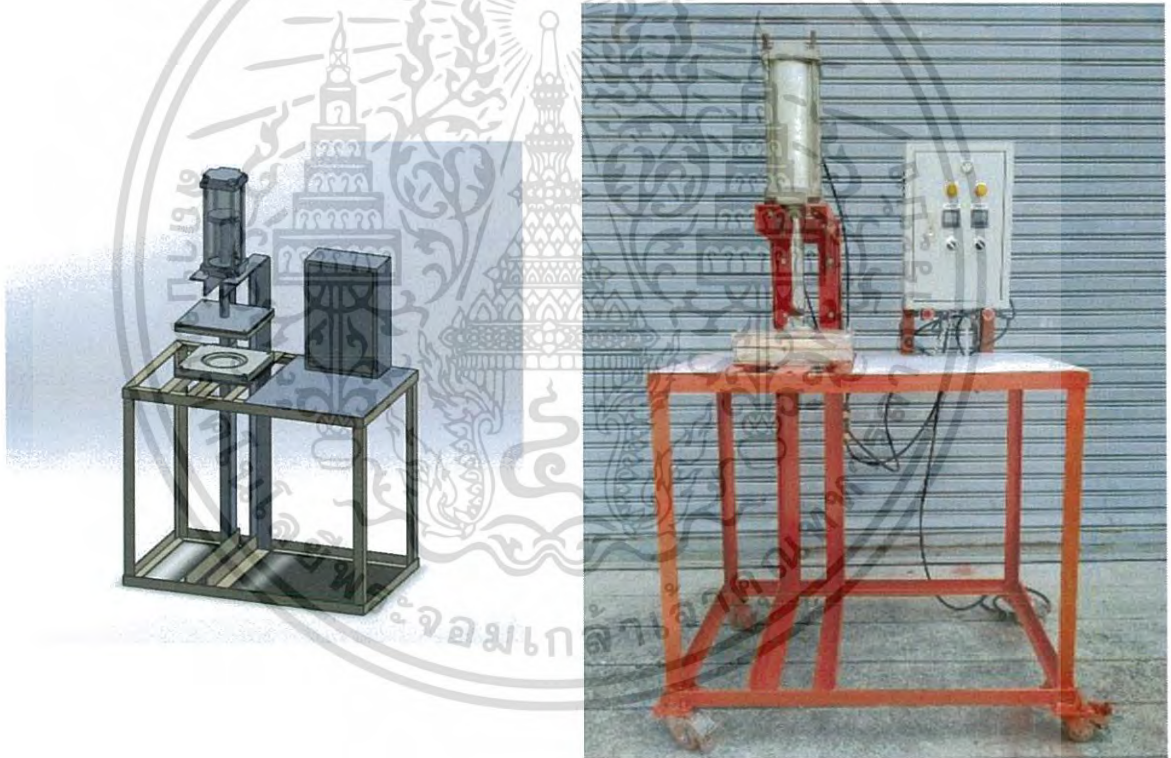
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบเครื่องขึ้นรูปงานใบสัก โดยคณะผู้จัดทำได้ทำการรวบรวมข้อมูลและออกแบบชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเครื่องขึ้นรูปแบบกดอัด ซึ่งใช้ข้อมูลพื้นฐานทางด้านการคำนวณ และคัดเลือกวัสดุอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องตามความเหมาะสมกับการใช้เครื่องจักรกลกับงานลักษณะต่าง ๆ รายละเอียดการออกแบบชิ้นส่วนต่าง ๆ มีดังนี้

3.1 การออกแบบเครื่องขึ้นรูป

3.1.1 โครงสร้างหลักของเครื่องขึ้นรูป



รูปที่ 3.1 เครื่องอัดขึ้นรูปงานใบสัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างหลักของเครื่องขึ้นรูปจะใช้เหล็กฉากขนาด 60x60x6 มิลลิเมตร ประกอบเป็นโต๊ะและเสาคิดตั้งแม่พิมพ์ด้วยการเชื่อม และติดตั้งล้อเพื่อให้ง่ายต่อการเคลื่อนย้ายเนื่องจากเครื่องมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก การขึ้นรูปจะใช้กระบอกลูกสูบลมนิวเมติกส์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 125 mm ให้ความดันได้สูงสุด 10 บาร์ พร้อมติดตั้งชุดควบคุมและปรับแรงดันลม (Pressure regulator) เพื่อให้สามารถปรับความดันที่ใช้ในการอัดและอ่านค่าได้ในหน่วยเมกะปาสคาล (MPa) มีระยะชักเท่ากับ 25 เซนติเมตร ยึดแม่พิมพ์ตัวล่างกับโครงสร้างด้วยสกรูขนาด 10 มิลลิเมตร ที่มุมทั้งสี่ของแม่พิมพ์ และยึดแม่พิมพ์ตัวบนกับปลายกระบอกลูกสูบนิวเมติกส์ด้วยหน้าแปลน ดังภาพ



รูปที่ 3.2 หน้าแปลนยึดแม่พิมพ์ตัวบนกับปลายกระบอกลูกสูบนิวเมติกส์

3.1.2 แม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปภาชนะ

ในการออกแบบแม่พิมพ์ต้องคำนึงถึงความหนาของแม่พิมพ์ที่จะสามารถรับแรงกดอัดในการขึ้นรูปได้ โดยทำการทดสอบกดอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องไฮดรอลิกแล้วทดสอบหาแรงดันที่ไม่ทำให้แผ่นใบสีกเกิดความเสียหาย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 บาร์



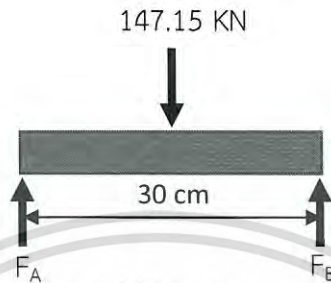
รูปที่ 3.3 ลักษณะแผ่นใบสีกที่เสียหายเมื่อใช้ความดันมากกว่า 1 บาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณความหนาแม่พิมพ์

กำหนดให้ $F = 1500 \text{ kg}$ ซึ่งได้จากค่าความดันที่ 1 บาร์

แปลงค่า F ให้อยู่ในหน่วย KN ; $F = (1500)(9.81) = 147.15 \text{ KN}$



รูปที่ 3.4 แรงที่กระทำกับคาน

สมดุลแรง (กำหนดให้ทิศขึ้นเป็นบวก)

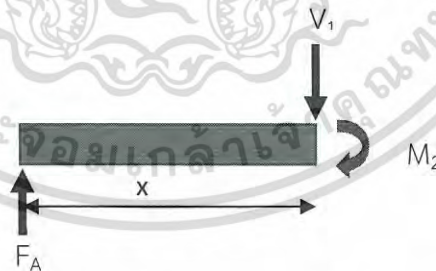
$$\text{จะได้ } F_A + F_B = 147.15 \text{ kN} \quad (1)$$

สมดุลโมเมนต์ (กำหนดทิศตามเข็มนาฬิกาเป็นบวก)

$$\text{จะได้ } 147.15(15) = F_B(30) \quad (2)$$

จากสมการที่ (1) และ (2) จะได้ $F_A = 73.57 \text{ KN}$ และ $F_B = 73.57 \text{ KN}$

ทำการตัดช่วง ที่ $(0 \leq x < 15)$



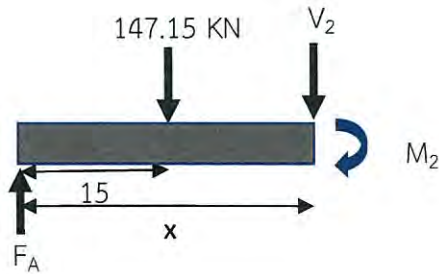
รูปที่ 3.5 แรงที่กระทำกับคานระยะ $(0 \leq x < 15)$

สมดุลแรง (กำหนดให้ทิศขึ้นเป็นบวก) จะได้ $V_1 = 73.57 \text{ KN}$

สมดุลโมเมนต์ (กำหนดทิศตามเข็มนาฬิกาเป็นบวก) จะได้ $M_1 = 73.57(x) \text{ kN.m}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการตัดช่วง ที่ $(15 \leq x < 30)$



รูปที่ 3.6 แรงที่กระทำกับคานระยะ $(15 \leq x < 30)$

สมดุลแรง (กำหนดให้ทิศขึ้นเป็นบวก) จะได้

$$73.57 - V_2 - 147.15 = 0$$

$$V_2 = 73.57 \text{ kN}$$

สมดุลโมเมนต์ (กำหนดทิศตามเข็มนาฬิกาเป็นบวก) จะได้

$$M_2 - 147.15(x - 0.15) + 73.57(x) = 0$$

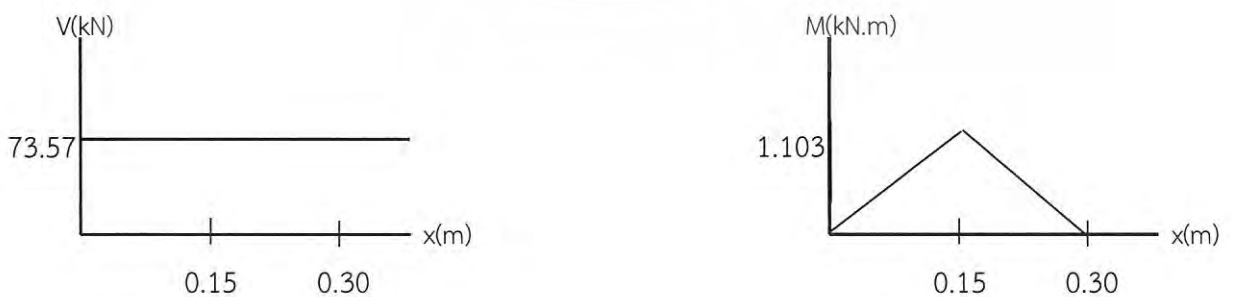
$$M_2 = 73.57(x) - 13.24 \text{ kN.m}$$

เมื่อแทนค่าระยะ $x = 0.15 \text{ m}$ และ $x = 0.30 \text{ m}$

$$M_1 = 1.103 \text{ kN.m}$$

$$M_2 = 0 \text{ kN.m}$$

นำมาเขียนไดอะแกรมแรงเฉือนและโมเมนต์เฉือนได้ดังนี้



รูปที่ 3.7 ไดอะแกรมแรงเฉือนและโมเมนต์เฉือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาความหนาแม่พิมพ์

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} C}{I}$$

จากรูปที่ 3.7 จะได้

$$M_{\max} = 1.103 \text{ kN.m}$$

จากภาคผนวกตารางที่ ก.3 และตารางที่ ก.4

ค่า yield strength ของอลูมิเนียมเท่ากับ 100 MPa

ค่า Moment of inertia เท่ากับ $I = \frac{bh^3}{12}$

กำหนดใช้ค่าความปลอดภัย เท่ากับ 4

$$\text{ค่าความปลอดภัย} = \frac{\text{ค่าความเค้นสูงสุด}}{\text{ค่าความเค้นใช้งาน}}$$

$$4 = \frac{100 \times 10^6}{\text{ค่าความเค้นใช้งาน}}$$

ค่าความเค้นใช้งาน = 25 MPa

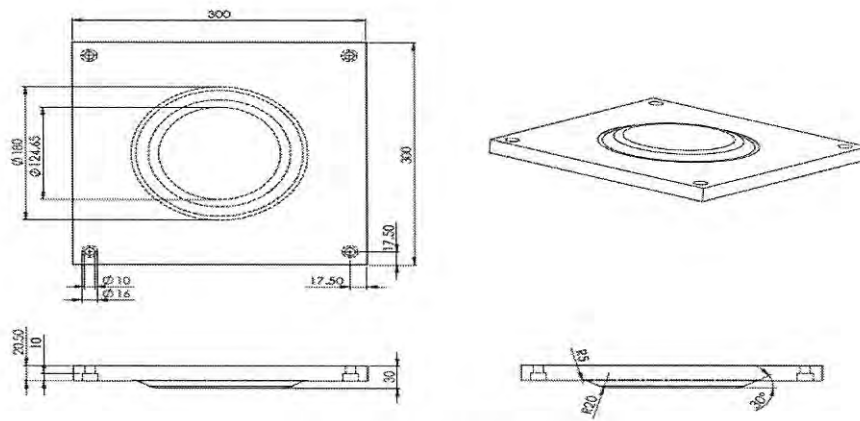
$$\text{จะได้ } 25 \times 10^6 = \frac{(1.103)(1000) \left(\frac{h}{2}\right)}{\frac{(0.3)h^3}{12}}$$

$$h = 29 \text{ mm}$$

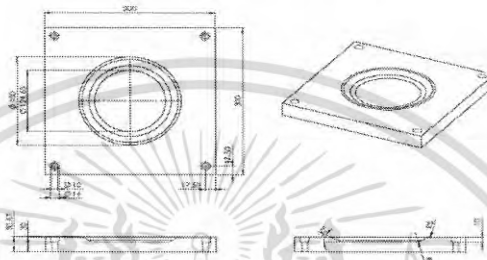
ดังนั้น แม่พิมพ์ควรหนาน้อย 29 mm

จากการคำนวณจึงออกแบบแม่พิมพ์ขนาด 300 x 300 mm หนา 30 mm ทำจากอลูมิเนียม โดยแม่พิมพ์ตัวผู้ (Core) และแม่พิมพ์ตัวเมีย (Cavity) ทำเป็นรูปจานวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 180 mm (7 นิ้ว) สูง 10 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แบบแม่พิมพ์ตัวผู้



รูปที่ 3.9 แบบแม่พิมพ์ตัวเมีย

3.1.3 ระบบให้ความร้อนแก่เครื่องขึ้นรูป

1) ปริมาณความร้อน

ปริมาณความร้อน คือ จำนวนความร้อนที่มีอยู่ในสสารใดสสารหนึ่ง ซึ่งจะมีมากขึ้นอยู่กับน้ำหนักของสสาร อุณหภูมิแตกต่าง และความร้อนจำเพาะของสสารนั้น เช่น สสารหนึ่งที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นก็จะมีปริมาณความร้อนเพิ่มขึ้น สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$Q = mc\Delta T$$

2) การถ่ายเทความร้อน(Heat transfer)

- การนำความร้อน (conduction)

การถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนเพียงวิธีเดียวที่เกิดขึ้นในวัตถุที่เป็น ตัวกลางทึบแสง เมื่อมีความลาดชันของอุณหภูมิสามารถเกิดได้ทั้งในของแข็ง ของเหลว และแก๊ส แต่เนื่องจากการไหลหมุนเวียนเกิดขึ้นในของเหลวและแก๊ส แต่สำหรับในของแข็งทึบแสง จะไม่มีการเคลื่อนไหวภายในวัสดุจะมีแต่การถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อนเพียงอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนจะเป็นสัดส่วนกับค่าความลาดชันของอุณหภูมิ (Temperature gradient) คูณกับพื้นที่ที่ความร้อนไหลผ่าน ดังสมการ

$$q_{cond} = -kA \frac{dT}{dx}$$

- การพาความร้อน(convection)

การถ่ายเทความร้อนโดยการพาประกอบด้วยกลไก 2 อย่าง คือ พลังงานเกิดการถ่ายเทอันมีผลเนื่องมาจากการเคลื่อนที่หรือการแพร่แบบสุ่มของโมเลกุล และผลเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของของไหล ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นจึงเกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่แบบสุ่มของโมเลกุล และการเคลื่อนที่ของของไหลส่วนใหญ่ โดยมีสมการดังนี้

$$q_{conv} = h(T_h - T_c)$$

- การแผ่รังสีความร้อน(Radiation)

พลังงานถูกปล่อยออกมาจากวัตถุที่มีอุณหภูมิที่แน่นอน โดยวัตถุนั้นอาจเป็นของแข็ง ของเหลว หรือแก๊สก็ได้ พลังงานของสนามการแผ่รังสีมีการถ่ายเทโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรืออีกในหนึ่งเรียกว่า โฟตอน (Photons) ในขณะที่การถ่ายเทพลังงานโดยการนำหรือการพาความร้อนจะต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายเท การถ่ายเทโดยการแผ่รังสีไม่ต้องอาศัยตัวกลางใด ๆ และจะเกิดการถ่ายเทได้อย่างมีประสิทธิภาพในสภาวะที่เป็นสุญญากาศ

$$q_{rad} = \epsilon_R \sigma_R A (T_h^4 - T_c^4)$$

จากทฤษฎีข้างต้นสามารถนำมาคำนวณหาค่ากำลังไฟของฮีตเตอร์ได้ดังนี้

การคำนวณชุดให้ความร้อน (Heater)

ปริมาณความร้อนคำนวณได้จากสมการ

จะได้

$$Q = mc\Delta T$$

การให้ความร้อนจะเกิดการสูญเสียความร้อน ได้แก่ การนำความร้อน และ การแผ่รังสี

$$q_{loss} = \epsilon \sigma A (T_s^4 - T_{surr}^4) + KA \left(\frac{\Delta T}{\Delta X} \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณอุณหภูมิที่ใช้จริง

$$Q_{\text{cond}} = Q_{\text{rad}}$$

$$K \left(\frac{\Delta T}{\Delta X} \right) = \epsilon \sigma (T_s^4 - T_{\text{surr}}^4)$$

$$237 \left(\frac{T_s - 473}{0.03} \right) = 0.77 (5.67 \times 10^{-8}) (T_s^4 - 308^4)$$

$$T_s = 472.8034 \text{ เคลวิน หรือเท่ากับ } 199.8034 \text{ องศาเซลเซียส}$$

คำนวณน้ำหนักแม่พิมพ์

$$m = \rho V$$

$$m = 2702 \times 0.3 \times 0.3 \times 0.03$$

$$m = 7.2954 \text{ Kg}$$

ดังนั้นจะได้ปริมาณความร้อน

$$Q = 7.2954 \times 903 \times (200 - 35)$$

$$qt = 1.0870 \times 10^6$$

ในเวลา t นาที จะได้

$$q = \frac{1.0870 \times 10^6}{t} \text{ Kg}$$

จากสมการสูญเสียความร้อน จะได้

$$q_{\text{loss}} = 0.77 \times 0.3^2 \times 5.67 \times 10^{-8} \times (472.8034^4 - 308^4) + 237 \times 0.3^2 \times \left(\frac{472.8034 - 472}{0.03} \right)$$

$$q_{\text{loss}} = 732.2103 \text{ W}$$

ถ้าใช้เวลา 500 วินาที จะได้

$$q_{\text{total}} = \frac{1.0870 \times 10^6}{500} + 732.2103 = 2906.2103$$

ดังนั้น เลือกใช้ฮีตเตอร์ขนาด 3000 W ในการให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 การเลือกขนาดของกระบอกสูบนิวเมติกส์

เลือกใช้ขนาดของกระบอกสูบนิวเมติกส์ยี่ห้อ ASHUN รุ่น MAB series ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 125 mm. สามารถใช้งานได้ในช่วงความดันสูงสุด 10 บาร์ ทำการคำนวณขนาดของแรงดันที่ใช้งานได้ดังนี้

$$\text{แรงดัน(N)} = \text{ความดัน(Pa)} \times \text{พื้นที่ (m}^2\text{)}$$

กำหนดให้

$$\text{ความดัน} = 10 \text{ บาร์} = 1 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\text{พื้นที่ของวงกลม} = \frac{\pi}{4} D^2$$

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่ของวงกลม(หน้าตัดกระบอกสูบ)} &= \frac{\pi}{4} (125 \times 10^{-3})^2 \\ &= 0.01227 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้แรงดัน

$$= (1 \times 10^6)(0.01227)$$

$$= 12270 \text{ N}$$

$$= 1250.76 \text{ kg}$$

จากการคำนวณแรงดันที่ได้จากกระบอกสูบค่าแรงดันที่ใช้งานสูงสุดไม่ก่อให้เกิดความเสียหายของการขึ้นรูปจึงสามารถใช้กระบอกสูบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 125 mm. นี้ในการขึ้นรูปงานใบสลักได้

3.1.5 การคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้า

ในการคิดค่าไฟฟ้าใช้ในกระบวนการซึ่งในขั้นตอนแรกต้องหาพลังงานไฟฟ้า (หน่วย) ที่ใช้ก่อน เมื่อได้ปริมาณหน่วยที่ใช้แล้วจึงนำไปคูณกับราคาซึ่งในการไฟฟ้าแห่งประเทศไทยกำหนดไว้หน่วย 4 บาท ซึ่งในการคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{พลังงานไฟฟ้า} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้า} \times \text{เวลาที่ใช้}}{1000}$$

ซึ่งในการคำนวณหากำลังไฟฟ้าหาได้จากสมการ

$$P=IV$$

โดยกระแสไฟฟ้านั้นสามารถวัดได้จากแคลมป์มิเตอร์ (Clamp Meter) เป็นอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละอุปกรณ์ในขณะที่ทำการทดลองเป็นดังในตาราง

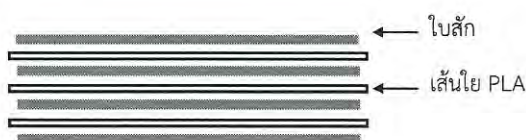
ตารางที่ 3.1 แสดงการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการผลิตงานใบสัก

รายการ	ปริมาณที่ใช้	คิดเป็นเงิน(บาท)
เครื่องอัดความดัน	0.5 หน่วย	2
เครื่องให้ความร้อน	0.1.25 หน่วย	0.5
PLA	11 g	1.65
ใบสัก	4 ใบ	0
รวม		4.15

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การเตรียมใบสักและเส้นใย PLA สำหรับขึ้นรูป

นำเส้นใย PLA และใบสักสดมาจัดเรียงสลับชั้นกัน 4 ชั้นดังรูปที่ 5 โดยหันด้านที่เป็นหลังใบของใบสักออกด้านนอก และวางเส้นใย PLA เป็นแนวเดียวกันในแต่ละชั้น อัตราส่วนโดยปริมาตรของเส้นใย PLA แบ่งเป็น 10%, 20% และ 30%



รูปที่ 3.10 การจัดเรียงสลับชั้นกันของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 วิธีดำเนินการทดลอง

นำวัตถุดิบที่เตรียมไว้เข้าสู่แม่พิมพ์ ใช้ความดันในการอัดขึ้นรูป 4 บาร์ สภาวะในการทดลองจะใช้ อุณหภูมิ 2 ค่า คือ 165°C และ 175°C และกดแม่พิมพ์ค้างไว้เป็นเวลา 5 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ แล้วนำออกมาทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องและใช้กรรไกรตัดแต่งขอบงาน



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างชิ้นงาน

3.2.3 การทดสอบแรงดึง (Tensile Test)

เตรียมชิ้นทดสอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 120 x 15 mm โดยขนาดของชิ้นทดสอบและวิธีการทดสอบดัดแปลงมาจากมาตรฐาน ISO 527 ซึ่งใช้สำหรับทดสอบสมบัติการดึงของพลาสติก คอมโพสิต ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ ภาระไหลสูงสุด 10 kN กำหนดระยะห่างระหว่างชิ้นทดสอบเท่ากับ 100 mm ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 0.1 mm/min เพื่อหาค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด ความเครียดที่จุดแตกหัก และค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น โดยทำการหาค่าเฉลี่ยจาก 6 ชิ้นทดสอบและทำการทดสอบทั้งหมด 3 Replications



รูปที่ 3.12 ลักษณะชิ้นทดสอบหลังจากถูกดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 กล่าวนำ

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาหากรรมวิธีการผลิตภาชนะที่ย่อยสลายได้จากใบสัก ด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน โดยทำการศึกษาสภาวะที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปที่เหมาะสม ได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลาในการขึ้นรูป และสัดส่วนปริมาณของ PLA ที่ใช้เป็นวัสดุประสาน โดยเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปคือ 165 และ 175 °C ระยะเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปคือ 5 และ 10 นาที สัดส่วนปริมาณ PLA ที่ ร้อยละ 10 20 และ 30 โดยปริมาตร จากนั้นทำการทดสอบคุณสมบัติทางกลของชิ้นงาน คือ การทดสอบแรงดึง (Tensile test) และทำการเปรียบเทียบปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกลดังกล่าว

4.2 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุ

การทดสอบแรงดึงของวัสดุเป็นการทดสอบพื้นฐานของวัสดุ ใช้ในการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุโดยการทดสอบแรงดึงเป็นการทดสอบพฤติกรรมเชิงกลของวัสดุภายใต้แรงดึงหรือแรงยืดในแนวแกน ทำการทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ ผลการทดสอบแรงดึงประกอบด้วย ความทนแรงดึง (tensile strength) โมดูลัสความยืดหยุ่น (Young's modulus) และร้อยละการยืด (percent elongation) แสดงผลทดสอบในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิ เวลา ปริมาณ PLA ที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปและผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุ

Temperature (°C)	time (min)	% by volume of PLA	Tensile Strength (Mpa)	Young's modulus (Mpa)	Elongation at break (%)
165	5	10	1.61(1.13)	69.83(33.73)	2.14(0.54)
		20	1.1(0.56)	72.42(18.07)	1.62(0.39)
		30	1.34(0.50)	78.92(32.45)	1.88(0.49)
	10	10	1.35(0.44)	87.75(37.64)	1.68(0.28)
		20	1.01(0.73)	68.42(34.79)	1.69(0.36)
		30	1.72(1.19)	68.69(36.83)	2.31(0.86)
175	5	10	0.71(0.25)	48.25(13.42)	1.52(0.41)
		20	1.22(0.65)	62.75(29.52)	1.78(0.53)
		30	0.69(0.29)	43.17(18.24)	1.51(0.27)
	10	10	0.54(0.20)	51.17(23.82)	1.32(0.20)
		20	0.77(0.56)	46.11(24.40)	1.59(0.73)
		30	1.19(0.74)	65.81(22.43)	1.78(0.52)

หมายเหตุ : เลขในวงเล็บคือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

ตารางที่ 4.2 ผลการคำนวณทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามปัจจัย (Three - factor analysis of variance) ที่ระดับค่าความเชื่อมั่น 95% ของค่าความทนแรงดึง

Source	SS	DF	MS	F	P
temperature	4.510	1	4.510	9.947	0.003
time	0.004	1	0.004	0.010	0.922
%PLA	0.634	2	0.317	0.699	0.501
temperature * time	0.012	1	0.012	0.026	0.873
temperature * %PLA	1.973	2	0.987	2.176	0.122
time * %PLA	1.837	2	0.919	2.026	0.141
temperature * time * %PLA	0.206	2	0.103	0.228	0.797
Error	27.203	60	0.453		
Total	123.896	72			

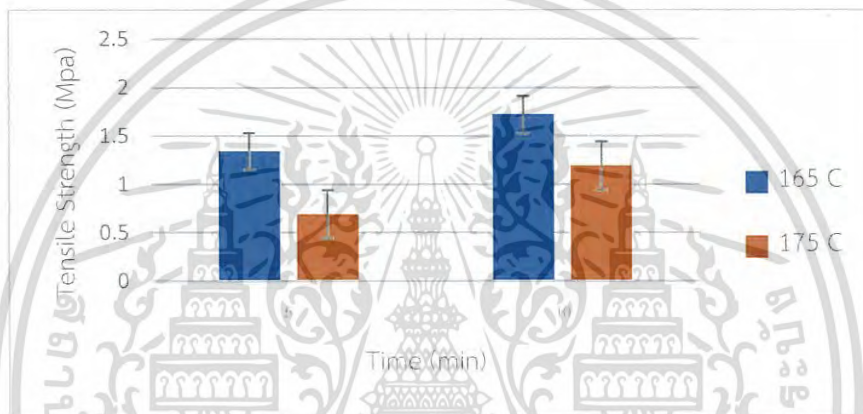
R Squared = .252 (Adjusted R Squared = .115)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

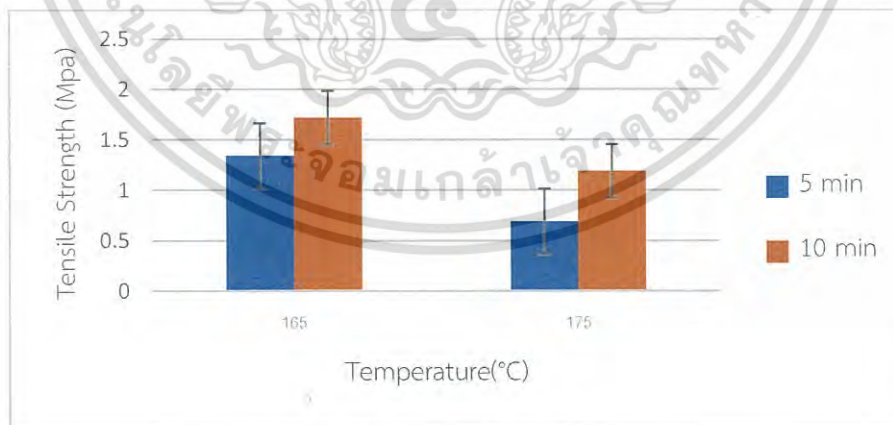
ตารางที่ 4.3 แสดงการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ด้วยวิธี Pearson Correlation ของอุณหภูมิ เวลา และ ปริมาณ PLA ที่มีผลต่อค่าความทนแรงดึงของวัสดุที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

Factor	Method	temperature	time	PLA	Tensile
temperature	Pearson Correlation	1	0.000	0.000	-.352**
time	Pearson Correlation	0.000	1	0.000	-.011
%PLA	Pearson Correlation	0.000	0.000	1	.105
Tensile	Pearson Correlation	-.352**	-.011	.105	1

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

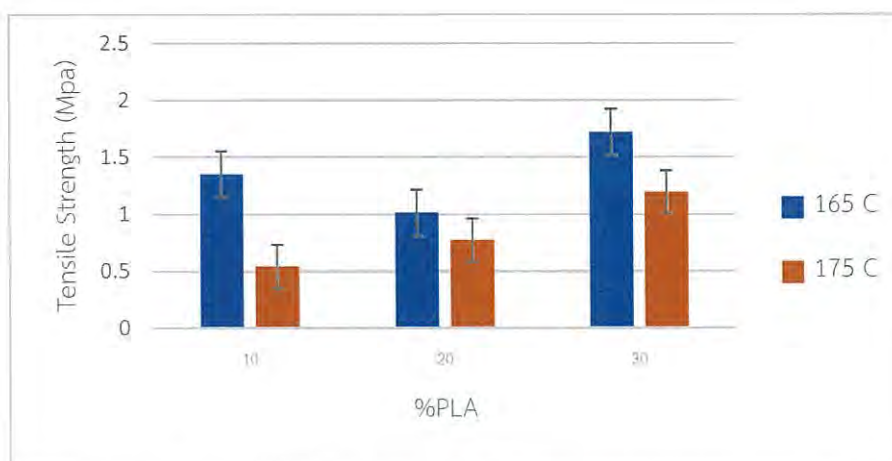


รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงดึงกับเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป ที่ปริมาณ PLA ร้อยละ 30 โดยปริมาตร



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงดึงกับเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป ที่ปริมาณ PLA ร้อยละ 30 โดยปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงดึงกับปริมาณ PLA และอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปที่เวลาอัดขึ้นรูป 10 นาที

4.2.1 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อแรงดึงของวัสดุ

อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูปซึ่งอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการขึ้นรูปวัสดุ อุณหภูมิเป็นตัวแปรสำคัญที่ช่วยระเหยน้ำให้กลายเป็นไอออกจากแม่พิมพ์ จากกระบวนการอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 165 และ 175 °C ใช้เวลาในการอัดขึ้นรูป 5 นาที และ 10 นาที ปริมาณ PLA ร้อยละ 30 โดยปริมาตร จากรูปที่ 4.1 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิดังกล่าว เมื่อใช้อุณหภูมิในการอัดขึ้นรูปเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความทนแรงดึงมีค่าลดลง เนื่องจากการอุณหภูมิต่ำทำให้ความแข็งแรงของเส้นใย ค่าความทนแรงดึงจึงมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์สหสัมพันธ์จากตารางที่ 4.3 พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่ำกับค่าความทนแรงดึงพบว่ามีผลในทิศทางแปรผกผันกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 จึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูปคือ 165 °C เนื่องจากส่งผลต่อค่าความทนแรงดึงน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 175 °C

จากการคำนวณผลทางสถิติซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่าค่า P-value ของปัจจัยอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปมีค่าเท่ากับ 0.003 ซึ่งน้อยกว่าค่าแอลฟา(0.05) ทำให้มีข้อมูลสนับสนุนว่าปัจจัยของอุณหภูมิมีผลต่อค่าความทนแรงดึงที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.2.2 อิทธิพลของเวลาในการอัดขึ้นรูปที่มีผลต่อแรงดึงของวัสดุ

เวลาที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูปเป็นปัจจัยที่ช่วยเพิ่มความสามารถการละลายของตัวประสานให้ละลายและเชื่อมประสานทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงมากขึ้น แต่เมื่อพิจารณาจากผลทดสอบแรงดึงการใช้ระยะเวลาอัดขึ้นรูปที่ 5 นาที และ 10 นาที การใช้เวลาในการขึ้นรูปนานขึ้นส่งผลต่อความแข็งแรงของชิ้นงานให้เพิ่มขึ้น พิจารณาจากความทนแรงดึงจากรูปที่ 4.2 มีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 165 และ 175 °C ที่ปริมาณ PLA ร้อยละ 30 โดยปริมาตร เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนแรงดึงกับเวลาในการอัดขึ้นรูปจากตารางที่ 4.3 พบว่าเวลาในการอัดขึ้นรูปมีผลใน

ทิศทางแปรผกผันกับค่าความทนแรงดึงแต่ มีค่าเท่ากับ -0.011 ซึ่งส่งผลน้อยมากต่อค่าความทนแรงดึง ดังนั้นจึงสามารถเลือกใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 10 นาทีเป็นเวลาที่เหมาะสมในการขึ้นรูปได้

นอกจากนี้ผลจากการคำนวณทางสถิติซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่าค่า P-value ของปัจจัยเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปมีค่าเท่ากับ 0.922 ซึ่งมีค่ามากกว่าแอลฟา (0.05) แสดงว่าค่าของปัจจัยของเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ทำให้สนับสนุนข้อมูลที่เลือกใช้เวลา 10 นาที เนื่องจากผลการทดสอบแรงดึงดังตารางที่ 4.1 มีค่ามากกว่าที่เวลา 5 นาที

4.2.3 อิทธิพลของปริมาณ PLA ในการอัดขึ้นรูปที่มีผลต่อแรงดึงของวัสดุ

ปริมาณ PLA ใช้ในการอัดขึ้นรูปช่วยเพิ่มความแข็งแรงของชิ้นงานเนื่องจากคุณสมบัติของ PLA มีลักษณะแข็งแต่เปราะ การเพิ่มปริมาณ PLA จึงทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงมากขึ้น จากรูปที่ 4.1 ที่อุณหภูมิ 165 และ 175 °C เวลา 10 นาที ค่าความทนแรงดึงมีค่ามากที่สุดที่ปริมาณ PLA ร้อยละ 30 โดยปริมาณ สอดคล้องกับค่าความสัมพันธ์จากตารางที่ 4.3 ซึ่งค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ PLA กับค่าความทนแรงดึงมีผลในทิศทางแปรผันตรงกัน สนับสนุนเหตุผลดังกล่าว การเลือกใช้ปริมาณ PLA ร้อยละ 30 โดยปริมาตร จึงเป็นค่าที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปโดยพิจารณาจากค่าความทนแรงดึงจากผลทดสอบแรงดึง

ตารางที่ 4.2 ผลจากการคำนวณทางสถิติพบว่าปัจจัยปริมาณ PLA ใช้ในการอัดขึ้นรูปมีค่าเท่ากับ 0.501 มีค่ามากกว่าค่าแอลฟา(0.05) แสดงว่าค่าของปัจจัยปริมาณ PLA ที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จึงการเลือกใช้ปริมาณ PLA โดยพิจารณาค่าจากการทดสอบแรงดึงซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.1

4.2.4 อิทธิพลผลกระทบรวมของปัจจัยในการอัดขึ้นรูปที่มีผลต่อแรงดึงของวัสดุ

อิทธิพลผลกระทบรวมของอุณหภูมิกับเวลา อุณหภูมิกับปริมาณ PLA เวลา กับปริมาณ PLA รวมทั้งอิทธิพลผลกระทบรวมทั้งสามปัจจัย(อุณหภูมิ เวลา และปริมาณ PLA) พบว่ามีค่ามากกว่าค่ามากกว่าค่าแอลฟา (0.05) ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ดังนั้นอิทธิพลผลกระทบรวมของปัจจัยจึงไม่ส่งผลต่อค่าความทนแรงดึงของชิ้นงานในกระบวนการอัดขึ้นรูป

4.3 ผลการเปรียบเทียบสมบัติทางกลและคุณสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพ ระหว่างภาชนะโฟมและจานใบสัก

จากผลการทดสอบสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพของจานใบสัก พบว่ามีคุณสมบัติต่างๆ ใกล้เคียงกับภาชนะโฟมที่ขายตามท้องตลาดดังแสดงในตารางที่ 4.4 โดยสามารถนำไปบรรจุอาหารได้

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการเปรียบเทียบสมบัติทางกลและคุณสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพ ระหว่างภาชนะโฟมและจานใบสัก

Properties	EPS Foam	Teak Leaf plate
Tensile Strength (Mpa)	0.08 – 0.911	0.54 - 1.72
Young's modulus (Mpa)	6.5 – 40	43.17 - 87.75
Elongation at break (%)	5 – 13.4	1.32 - 2.31

หมายเหตุ : ที่มาของ EPS Foam (มลสุดา, 2556)

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 กล่าวนำ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาและสร้างเครื่องขึ้นรูปงานย่อยสลายได้จากไบโอสกซึ่งใช้พลาสติกโพลีแลคติกแอซิด(PLA)เป็นตัวประสาน โดยทำการออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปงานจากไบโอสกโดยใช้ความดันในการอัดขึ้นรูป 4 บาร์ ขนาดของแม่พิมพ์ 30 x 30 เซนติเมตร และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปซึ่งประกอบไปด้วย อุณหภูมิ ปริมาณตัวประสาน และเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป หลังจากนั้นนำงานที่ได้มาทดสอบสมบัติทางกล คือการทดสอบแรงดึง (Tensile test) หลังจากการทดลองสามารถสรุปผลและประมวลผลเป็นข้อเสนอแนะที่จะขยายผลสำหรับงานวิจัยในอนาคตดังต่อไปนี้

5.2 สรุปผล

จากการแบบออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปงานจากไบโอสกผลที่ได้คือเครื่องสามารถขึ้นรูปงานจากไบโอสกได้และ การทดลองศึกษาได้สภาวะที่เหมาะสมต่อการขึ้นรูป คือ ใช้อุณหภูมิ 165 °C ใช้PLA เป็นตัวประสานร้อยละ 30 โดยปริมาตร และเวลาในการอัดขึ้นรูป 10 นาที ซึ่งงานที่ได้ออกมาจะมีผิวเรียบและความหนาแน่นต่อแรงดึงมากที่สุด

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ออกแบบโครงสร้างเครื่องเพื่อให้รับแรงจากการอัดได้มากขึ้นเพื่อสามารถเพิ่มแรงดันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขึ้นรูปจากได้ดียิ่งขึ้น

5.3.2 ควรมีปุ่มระบบความปลอดภัยในระบบนิวเมติกส์เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้งานเครื่อง

5.3.3 ควรมีการใช้การอัดขึ้นรูปแบบสูญญากาศเนื่องงานที่ขึ้นรูปยังมีช่องว่างอากาศเยอะทำให้ความแข็งแรงลดลง

5.3.4 ควรมีการทดสอบเกี่ยวคุณสมบัติเพิ่มเติมเกี่ยวกับงาน เช่น การซึมผ่านของน้ำ การทดสอบเชิงกลอื่นๆ เช่น การรับแรงดัด การรับแรงกระแทก เป็นต้น

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. “รายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย พ.ศ.2559”. กุมภาพันธ์ 2560.

กรมป่าไม้. องค์ความรู้ไม้สักไทย. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ชุมนุม สหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย. 2556.

ขวัญชัย สันทิพย์สมบุรณ์, ปานเพชร ชนินทร. นิวเมติกส์อุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น. 2541.

เจริญ นาคะสรรค์. กระบวนการแปรรูปพลาสติก. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โฟร์เพช. 2544.

จตุพร วุฒิกนกกาญจน. “Effect of Blending Conditions on Mechanical, Thermal and Rheological Properties of Plasticized PLA/maleated Thermoplastic Starch Blends.” Applied Polymer Science, ปีที่ 124, ฉบับที่ 2, 2555. หน้า 1012-1019.

ดร.ชนิ พัทธวรกร. เทคโนโลยีกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2556.

นที ฐานมั่น. “การพัฒนาภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากลาต้นมันสาปะหลัง.” วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 2557.

นภดล จันทลักษณ์. “การออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปภาชนะที่ทำจากเส้นใยธรรมชาติ.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2555.

บุษรา สร้อยระย้า. “การพัฒนาบรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อมจากเส้นใยกล้วยสำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูป.” คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. 2554.

พรชัย ราชตะนทะพันธ์. บรรจุภัณฑ์สำคัญไฉน. เชียงใหม่ : วนิดาการพิมพ์. 2552.

ภัสสร กลิ่นรอด. “แผ่นผนังและฝ้าเพดานภายในอาคารจากใบสัก.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานวัตกรรมอาคาร บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2558

มลสุดา ลิวไธสง. “การผลิตภาชนะย่อยสลายได้จากกาบกล้วย.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม เครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 2556.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วชิระ ยมาภัย. “พลาสติก PLA (Polylactic acid).” [Online]. Available:

<https://enchemcom1po.wordpress.com/bioplasticsไบโอพลาสติก/พลาสติก-plapolylactic-acid/>. 2555.

ศูนย์ข้อมูลก๊าซเรือนกระจก. 2559. “การปล่อยก๊าซเรือนกระจกภาคกระบวนการอุตสาหกรรมและการใช้ผลิตภัณฑ์”. ใน พิธีลงนามบันทึกข้อตกลงความร่วมมือ การบูรณาการด้านการรายงานปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทย. กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม.

สมประวิณ มั่นประเสริฐ. “แนวโน้มธุรกิจและอุตสาหกรรมปี 2560 -2562 : อุตสาหกรรมปิโตรเคมี ”. เมษายน 2560.

สุทัศน์ เดชวิสิทธิ์. ไม้สักทอง การลงทุนปลูกไม้สักเพื่อการค้า. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี : เทคโนโลยี แกรนด์ สกรุ๊ป. 2536.

อรุณ สุขแก้ว, ศักดิ์ชัย ตันติวิวัฒน์, นายวิมล บุญรอด. “การออกแบบเครื่องบรรจุหนังปลากะพงปรุงรสโดยใช้ระบบนิว เมติกส์.” วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม คอมพิวเตอร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย. 2559.

Bax B. and Müssig J. “Impact and tensile properties of PLA/Cordenka and PLA/flax composites.” *Composites Science and Technology*, January 2008. Pp. 1601-1607.

Gbenga D. and Emmanuel B. “Comparative Analysis of Medicinal Properties of the Bark and Leaves of *Tectona grandis*” Thesis of Bowen University. 2016.

Jayalakshmy M. S. and Philip J. “Thermophysical Properties of Plant Leaves and Their Influence on the Environment Temperature” *International Journal of Thermophysics*, December 2010. Pp. 2295–2304.

Olmedo A., López A., Álvarez A. and Santiuste C. “Manufacture of compression moulded PLA based biocomposites: A parametric study.” *Composite Structures*, July 2015. Pp. 995-1000.

Ochi S. “Mechanical properties of kenaf fibers and kenaf/PLA composites.” *Mechanics of Materials*, October 2007. Pp. 446-452 *Thai Bioplastics Industry Association*.

“Bioplastic : Plastics for a Sustainable Choice.” [Slide]. 2014.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wilson L. "Composite Materials." [Online]. Available:

<http://slideplayer.com/slide/6276851/>. 2016.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

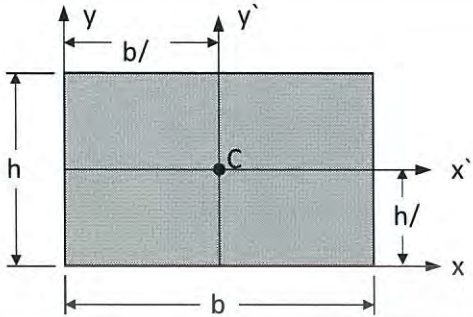
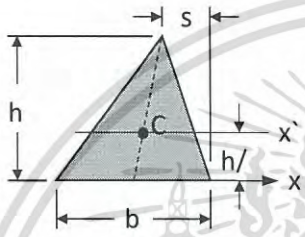
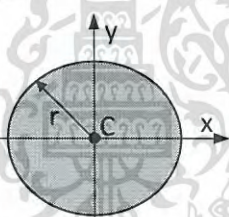
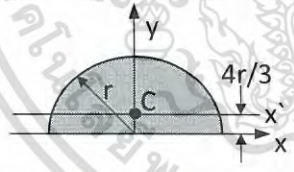


ภาคผนวก ก.

ตารางที่ใช้ในการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 การหาโมเมนต์ภายในชิ้นส่วนโครงสร้าง (Moment of Inertia)

Shape	Moment of Inertia
	$I = \frac{bh^3}{12}$
	$I = \frac{bh^3}{36}$
	$I = \frac{\pi r^3}{4} = \frac{\pi d^4}{64}$
	$I = r^4 \left(\frac{\pi}{8} - \frac{8}{9\pi} \right) = 0.11r^4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 Thermal properties of material

Properties at various temperatures (K)												
Composition	Melting point (K)	Properties at 300 K/353 K [†]				$k(\text{W/m K})/c_p(\text{J/kg K})$						
		ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg K)	k (W/m K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	100	200	400	500	600	700	800
Aluminum	933	2702	906	237	97.1	302	237	240	237	232	226	220
Pure			901 [†]	240 [†]		485	802	935	996	1042	1091	1149
Alloy 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2770	875	177	73.0	65	163	186		186		
Alloy 195, Case (4.5% Cu)		2790	883	168	68.2	473	787	925		1042		
Copper												
Pure	1358	8933	386	398	117	483	413	392	388	383	377	371
			398 [†]	394 [†]		252	356	400	404	414	423	438
Commercial bronze (90% Cu, 10% Al)	1293	8800	420	52	14	42	52			59		
Phosphor gear bronze (89% Cu, 11% Sn)	1104	8780	355	54	17	41	65			74		
Catridge brass (70% Cu, 30% Zn)	1188	8530	380	110	33.9	75	95	137		149		
Constantan (55% Cu, 45% Ni)	1493	8920	384	23	6.71	17	19					
Iron	1810	7870	443	80.3	23.1	132	94.0	69.4	61.3	54.7	48.7	43.3
Pure			441 [†]	74.1 [†]		216	385	486	495	566	619	686
Armco (99.75% pure)		7870	447	72.7	20.7	95.6	80.6	65.7		53.1		42.2
						215	384	490		574		680
Carbon steels												
Plain carbon (Mn ≤ 1%, Si ≤ 0.1%)		7854	434	60.5	17.7			56.7		48.0		39.2
AISI 1010		7832	434	63.9	18.8			487		559		685
Carbon-silicon (Mn ≤ 1%, 0.1% < Si ≤ 0.6%)		7817	446	51.9	14.9			501		582		699
Carbon-manganese-silicon (1% < Mn ≤ 1.65%, 0.1% < Si ≤ 0.6%)		8131	434	41.0	11.6			42.2		39.7		35.0
								487		559		685
Stainless steels												
AISI 302		8055	480	15.1	3.91			17.3		20.0		22.8
								512		559		585
AISI 304	1670	7900	477	14.9	3.95	9.2	12.6	16.6		19.8		22.6
						272	402	515		557		582
AISI 316		8238	468	13.4	3.48			15.2		18.3		21.3
								504		550		576
AISI 347		7978	480	14.2	3.71			15.8		18.9		21.9
								513		559		585
Nickel												

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.

อุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปงานใบสัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 เส้นใยพลาสติก PLA



รูปที่ 2 หน้าแปลนเชื่อมแม่พิมพ์กับกระบอกลม



รูปที่ 3 แม่พิมพ์ตัวผู้



รูปที่ 4 แม่พิมพ์ตัวเมีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 ฮีตเตอร์แผ่น ขนาด 1500 W



รูปที่ 6 กระบอกกลม



รูปที่ 7 วาล์วควบคุมอัตราการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้






ภาคผนวก ค.

ลักษณะของงานใบสัปดาห์ที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ลักษณะของงานใบสักที่ใช้เวลาในการขึ้นรูป 5 นาที

%PLA	ลักษณะงานใบสักที่อุณหภูมิ 165 °C	ลักษณะงานใบสักที่อุณหภูมิ 175 °C
10		
20		
30		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 ลักษณะของงานใบสีกที่ใช้เวลาในการขึ้นรูป 10 นาที

%PLA	ลักษณะงานใบสีกที่อุณหภูมิ 165 °C	ลักษณะงานใบสีกที่อุณหภูมิ 175 °C
10		
20		
30		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้