

คุณสมบัติของคอมโพลีเมอร์ชีวภาพพอลิแลกติกแอซิดและกัญชง
ที่เติมสารเติมแต่งพอลิเอทิลีนไกลคอล ด้วยวิธีกระบวนการอัดรีด

Properties of polyethylene glycol plasticized
polylactic acid and hemp biocomposite by extrusion method



นางสาวนริกันต์ บรรเทา
นายอิทธิพร มุลณี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของคอมพิวเตอร์ชีวภาพพอลิแลกติกแอซิดและกัญชง
ที่เติมสารเติมแต่งพอลิเอทิลีนไกลคอล ด้วยวิธีกระบวนการอัดรีด



ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Properties of polyethylene glycol plasticized
polylactic acid and hemp biocomposite with extrusion method



Nareekan Bantao
Itthiporn Moonnee

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ เรื่อง คุณสมบัติของคอมโพสิตชีวภาพพอลิแลกติกแอซิดและกัญชงที่เติมสารเติมแต่งพอลิเอทิลีนไกลคอล ด้วยวิธีกระบวนการอัดรีด

โดย นางสาวนริگانต์ บรรเทา
นายอิทธิพร มูลณี

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.กุลนันท์ เกียรติกิตติพงษ์

ปริญญาานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ปีการศึกษา 2565
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญาานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญาานิพนธ์



ประธานกรรมการ

(รศ.ดร.กุลนันท์ เกียรติกิตติพงษ์)



กรรมการ

(ผศ.ดร.อมตะ อนันต์พินิจวัฒนา)



กรรมการ

(ผศ.ดร.ภัทรานิษฐ์ วงศ์พร้อมรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ เรื่อง	คุณสมบัติของคอมโพสิตชีวภาพพอลิแลกติกแอซิดและกัญชงที่เติมสารเติมแต่งพอลิเอทิลีนไกลคอล ด้วยวิธีกระบวนการอัดรีด
โดย	นางสาวนริกาณ์ บรรเทา นายอิทธิพร มูลณี
ปริญญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2565
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.กุลนันท์ เกียรติกิตติพงษ์

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีการเสริมแรงให้กับพอลิแลกติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) โดยใช้เส้นใยธรรมชาติ คือ เส้นใยกัญชง (Hemp fiber) เพื่อพัฒนาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตชีวภาพให้เหมาะสมกับการใช้งานที่หลากหลาย พร้อมทั้งการเติมพอลิเอทิลีน ไกลคอล (Polyethylene glycol, PEG) ซึ่งเป็นสารพลาสติกไซเซอร์ลงไปในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อลดความเปราะของวัสดุและปรับปรุงสมบัติความยืดหยุ่นของคอมโพสิตชีวภาพ โดยเส้นใยกัญชง (ขนาดเฉลี่ย 180 ไมครอน) จะถูกนำมาคอมปาวด์กับพอลิแลกติกแอซิดที่อัตราส่วนที่ต่างกัน ดังนี้ 0.5%, 1% และ 2% โดยน้ำหนัก และนำเม็ดพลาสติกชีวภาพที่ผ่านการคอมปาวด์มาขึ้นรูปเพื่อทดสอบสมบัติแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์ โดยใช้กระบวนการอัดรีดในเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว ซึ่งพบว่าวัสดุคอมโพสิตชีวภาพมีค่าความแข็งแรงทางแรงดึงเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของเส้นใยกัญชงเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่ามอดูลัสแรงดึงซึ่งแสดงถึงความแข็งแรงของวัสดุจะมีค่าลดลงไปจากค่าเริ่มต้นและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยกัญชงเพิ่มขึ้น และค่าการยืดตัวที่จุดขาดของวัสดุคอมโพสิตชีวภาพซึ่งแสดงถึงสมบัติความยืดหยุ่นของวัสดุมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมเช่นกัน

Report title	Properties of polyethylene glycol plasticized polylactic acid and hemp biocomposite with extrusion method
By	Miss Nareekan Bantao Mr. Itthiporn Moonnee
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Chemical Engineering
The year	2022
Advisor	Assoc. Prof. Kunlanun Kiatkittipong

Abstract

Currently, polylactic acid (PLA) polymers are reinforced by using natural fibers, hemp fibers, to improve the mechanical properties of biocomposites to be suitable for various applications. Moreover, the optimal amount of polyethylene glycol (PEG) was added as a plasticizer to reduce the brittleness of materials and improve the elastic properties of bio-composites. The hemp fibers (average size 180 microns) were compounded with polylactic acid polymers at different weight percentages as follows: 0.5%, 1%, and 2% by weight. Prior to testing the tensile properties using a universal testing machine, the compounded bio-composites were molded via a single-screw extruder. The results showed that the tensile strength of biocomposite materials increases with an increase in the amount of hemp fibers. However, the tensile modulus, which represents the stiffness of the material, decreases from its original value. There is a tendency for the tensile modulus to increase as the amount of hemp fibers increases. Similarly, the elongation at break, which indicates the flexibility of the biocomposite material, also increases compared to the original value.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้อย่างดีด้วยคำแนะนำตลอดจนการให้คำปรึกษาทางวิชาการ และแนวทางการแก้ไขปัญหาให้ลุล่วงด้วยดีจาก รศ.ดร.กุลนันท์ เกียรติกิตติพงษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วิภู ศรีสืบสาย และพี่นักเทคนิคที่ช่วยให้ความรู้และคำแนะนำ ในเรื่องทฤษฎีและการปฏิบัติต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นเรื่องวิธีการใช้เครื่องมือหรือเครื่องทดสอบต่าง ๆ ที่ใช้ใน งานวิจัย และช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ อีกทั้งยังคอยให้คำแนะนำและคำชี้แนะในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณเพื่อนที่ร่วมกันทำปริญญาานิพนธ์นี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และเพื่อนในห้องวิจัยคุณสมบัติของคอมพิวเตอร์ชีวภาพพอลิแลกติกแอซิดและกัญชงที่เติมสารเติมแต่งพอลิเอทิลีนไกลคอล ที่คอยให้กำลังใจและคำแนะนำต่าง ๆ เกี่ยวกับการทดลองการบดกัญชง รวมทั้งเพื่อนสาขาวิศวกรรมเคมีที่คอยให้กำลังใจและสนับสนุนด้วยดีมาตลอด

ขอขอบพระคุณคุณพิสันต์ ผลโพธิ์, คุณพิมพ์ใจ ภูชนะกิจ และคุณสุกานต์ภิรมย์ ศรีวงษ์ เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยดูแลห้องแลปวิชาภาคเคมีชั้น 1 คอยช่วยเหลือให้คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือต่าง ๆ ขอขอบคุณคุณแม่บ้านที่คอยทำความสะอาดห้องแลปและคอยให้กำลังใจอยู่เสมอ ขอขอบคุณคุณลุงยามที่คอยรักษาความปลอดภัยให้ทั้งตลอดช่วงเวลาที่ทำการทดลอง รวมถึงคอยให้กำลังใจอยู่ตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่คอยอบรมสั่งสอนและให้ความรู้ รวมถึงบิดา มารดา อันเป็นที่รักและเคารพยิ่งที่คอยสนับสนุนให้กำลังใจ และให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเคมีที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำปริญญาานิพนธ์ครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วง หากมีข้อผิดพลาดประการใดในงานวิจัยนี้ คณะผู้จัดทำขออภัย และอภัยมา ณ ที่นี้

นางสาวนริگانต์ บรรเทา

นายอิทธิพร มุลณี

สารบัญ

บทคัดย่อ	I
Abstract.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป	VII
รายการสัญลักษณ์ และคำย่อ	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 กัญชง (Hemp).....	3
2.2 พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid).....	5
2.3 พอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol).....	6
2.4 วัสดุคอมโพสิตชีวภาพ (Biocomposite).....	7
2.5 การคอมปาวด์ (Compounding).....	9
2.6 เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single-screw extruder).....	10
2.7 การทดสอบแรงดึง (Tensile strength testing).....	12
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13
บทที่ 3 ขั้นตอนการทดลอง.....	18
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	18
3.2 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการดำเนินงาน	19
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	23
4.1 ผลการทดลอง	23
4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง	25
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	28
5.1 สรุปผลการวิจัย	28
5.2 ข้อเสนอแนะ	29
เอกสารอ้างอิง	30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางเคมีของกัญชง	4
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางความร้อนเบื้องต้นของพอลิแลกติกแอซิด [9].....	6
ตารางที่ 2.3 ปริมาณสัดส่วนของ PLA และ EPO ที่ใช้ในการทดสอบ [20].....	15
ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนการผสมระหว่างพอลิแลกติกแอซิด กัญชง และพอลิเอทิลีนไกลคอล	21
ตารางที่ 4.1 สมบัติความทนแรงดึงของของพลาสติก PLA บริสุทธิ์.....	24
ตารางที่ 4.2 สมบัติความทนแรงดึงของของพลาสติก PLA ผสมเส้นใยกัญชงที่อัตราส่วน 0.5%wt..	25
ตารางที่ 4.3 สมบัติความทนแรงดึงของของพลาสติก PLA ผสมเส้นใยกัญชงที่อัตราส่วน 1%wt.....	25
ตารางที่ 4.4 สมบัติความทนแรงดึงของของพลาสติก PLA ผสมเส้นใยกัญชงที่อัตราส่วน 2%wt.....	25



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงภาพตัดขวางของต้นกล้วยง แคมเปียม และเนื้อเยื่อของไซเลม [6].....	4
รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) [7].....	5
รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol, PEG).....	7
รูปที่ 2.4 การจำแนกประเภทของพลาสติกที่ย่อยสลายได้ [11]	8
รูปที่ 2.5 ลักษณะของเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว [13].....	11
รูปที่ 2.6 กราฟเส้นโค้งความเค้นและความเครียดของ PLA ที่เติมสารเติมแต่ง PEG ที่น้ำหนักโมเลกุลต่าง ๆ [18].....	14
รูปที่ 2.7 ค่า Flexural properties ของ PLA ที่เติมสารเติมแต่ง PEG ที่น้ำหนักโมเลกุลต่าง ๆ [19]	14
รูปที่ 2.8 ค่า Tensile strength ของ PLA ที่เติมสารเติมแต่ง EPO ที่สัดส่วนต่าง ๆ	16
รูปที่ 2.9 ค่า Young's modulus ของ PLA ที่เติมสารเติมแต่ง EPO ที่สัดส่วนต่าง ๆ.....	16
รูปที่ 2.10 ค่า Elongation at break ของ PLA ที่เติมสารเติมแต่ง EPO ที่สัดส่วนต่าง ๆ.....	17
รูปที่ 3.1 แผนภาพการดำเนินงานการทดลอง	19
รูปที่ 4.1 กราฟความเค้น-ความเครียดของวัสดุคอมโพสิตชีวภาพ PLA ผสมเส้นใยกล้วยงที่อัตราส่วนต่าง ๆ ได้แก่ a) Neat PLA, b) 0.5%wt Hemp, c) 1%wt Hemp และ d) 2%wt Hemp	24
รูปที่ 4.2 ค่า Tensile strength ที่ได้จากการทดสอบของวัสดุคอมโพสิตชีวภาพ PLA ผสมกล้วยงในอัตราส่วนต่าง ๆ	26
รูปที่ 4.3 ค่า Tensile modulus ที่ได้จากการทดสอบของวัสดุคอมโพสิตชีวภาพ PLA ผสมกล้วยงในอัตราส่วนต่าง ๆ	26
รูปที่ 4.4 ค่า Elongation at breakpoint ที่ได้จากการทดสอบของวัสดุคอมโพสิตชีวภาพ PLA ผสมกล้วยงในอัตราส่วนต่าง ๆ.....	27

รายการสัญลักษณ์ และคำย่อ

สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษ

A	พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ (mm^2)
F	แรงที่กระทำต่อชิ้นทดสอบ (N)
L	ระยะห่างระหว่างจุดรองรับ (mm)
L_0	ความยาวเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ (mm)

สัญลักษณ์ภาษากรีก

Δ	ความแตกต่าง
ε	ความเครียด (mm/mm หรือ ไม่มีหน่วย)
σ	ความเค้น (N/mm^2 หรือ MPa)

คำย่อ

CBD	แคนนาบิไดออล (Cannabidiol)
EPO	น้ำมันปาล์มอีพอกไซด์ (Epoxidized palm oil)
NaOH	สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)
PEG	พอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol)
PLA	พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid)
THC	เตตราไฮโดรแคนนาบินอล (Tetrahydrocannabinol)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันประเทศไทยมีแนวโน้มการใช้พลาสติกลดน้อยลงอย่างเห็นได้ชัด คนรุ่นใหม่ให้ความสำคัญด้านสิ่งแวดล้อมมากขึ้น สังเกตได้จากการรณรงค์ใช้ถุงผ้าแทนการใช้ถุงพลาสติก ห้างสรรพสินค้าชั้นนำหรือร้านสะดวกซื้อต่างๆ ที่มีการแจกถุงพลาสติกที่สามารถใช้ได้เพียงครั้งเดียว เนื่องจากถุงพลาสติกส่วนใหญ่ รวมไปถึงผลิตภัณฑ์ทั่วไปในชีวิตประจำวันนั้นทำมาจากปิโตรเลียมพลาสติกซึ่งไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และใช้เวลาในการย่อยสลายถึง 450 ปี ดังนั้นจึงต้องมีการปรับเปลี่ยนมาใช้พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ง่าย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น [1]

พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้เป็นที่นิยมมากขึ้นในหลายประเทศทั่วโลก นอกจากจะเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับตัวเองได้มากกว่าวัสดุทั่วไปตามท้องตลาดอีกด้วย โดยพบว่ามีการใช้พอลิเมอร์ชนิดพอลิแลกติกแอซิดเป็นวัสดุตั้งต้นจำนวนมาก เนื่องจากพอลิแลกติกแอซิดสามารถย่อยสลายได้เองด้วยวิธีชีวภาพ โดยเอนไซม์และแบคทีเรียในธรรมชาติ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้คือน้ำ ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และมวลชีวภาพ ถือเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการดำรงชีวิต ซึ่งพอลิแลกติกแอซิดจะใช้เวลาในการย่อยสลายเพียง 180 วันเท่านั้น [2]

พอลิแลกติกแอซิดสำหรับงานด้านวิศวกรรมหรือทางการแพทย์นั้น จำเป็นต้องมีการใช้สารเสริมแรง เพื่อให้มีสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานมากที่สุด เช่น การใช้เส้นใยกล้วยซึ่งเป็นสารเสริมแรงในพอลิแลกติกแอซิด เนื่องจากเส้นใยกล้วยมีคุณสมบัติแข็งแรง ทนทาน และดูดซับความร้อนได้ดี พบว่าเส้นใยกล้วยสามารถเพิ่มความแข็งแรงทนทานให้แก่วัสดุคอมโพสิตได้ [2] แต่ค่าความเหนียวและค่าการยึดตัวที่จุดขาดวัสดุกลับมีค่าลดลง เนื่องจากพอลิแลกติกแอซิดมีอุณหภูมิสภาพแก้วที่สูงส่งผลให้ที่อุณหภูมิห้องมีคุณสมบัติเปราะ จึงจำเป็นต้องมีการใส่สารเติมแต่งเพิ่มเติม ที่สามารถนำมาพัฒนาและปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตทำให้ความเหนียวของวัสดุดียิ่งขึ้น โดยสารเติมแต่งที่นำมาผสมควรมีค่าอุณหภูมิสภาพแก้วที่ต่ำกว่าพอลิแลกติกแอซิด ซึ่งพอลิเอทิลีนไกลคอลนั้นเป็นสารเติมแต่งเพิ่มเติมที่มีประสิทธิภาพและมีความนิยมนสูง เนื่องจากมีความเข้ากันได้ดี ราคาถูก มีอุณหภูมิสภาพแก้วที่ต่ำ ปลอดภัย และสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ (Biodegradable) โดยวัสดุคอมโพสิตส่วนใหญ่นิยมใช้วิธีการขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดรีด เนื่องจากมีความทนทานสูง และมีการออกแบบที่ไม่ยุ่งยากและซับซ้อน อีกทั้งยังเป็นพื้นฐานของกระบวนการอื่น ๆ สำหรับใช้ในการผลิตพลาสติกหรือวัสดุคอมโพสิต [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำพอลิแลกติกแอซิด กัญชง และพอลิเอทิลีนไกลคอล มาผสมเป็นพลาสติกคอมโพสิตชีวภาพในอัตราส่วนที่เหมาะสม และนำไปขึ้นด้วยวิธีการอบการอัดรีด เพื่อศึกษาอิทธิพลของพอลิเอทิลีนไกลคอลที่ช่วยในการพัฒนาและปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตชีวภาพ เนื่องจากพอลิเอทิลีนไกลคอลช่วยลดข้อด้อยของพอลิแลกติกแอซิดและช่วยปรับปรุงคุณสมบัติเมทริกซ์ของพลาสติกให้ดียิ่งขึ้นได้ และทำให้วัสดุคอมโพสิตมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุ โดยเพิ่มความเหนียวและค่าการยึดตัวที่จุดขาดของพลาสติกคอมโพสิตชีวภาพพอลิแลกติกแอซิดและเส้นใยกัญชง
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของวัสดุเสริมแรงเส้นใยกัญชง ต่อคุณสมบัติเชิงกลของพลาสติกคอมโพสิตชีวภาพพอลิแลกติกแอซิดและเส้นใยกัญชง

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุพลาสติกคอมโพสิตชีวภาพพอลิแลกติกแอซิด ที่ผสมเส้นใยกัญชงที่อัตราส่วน 0.5%, 1% และ 2% โดยน้ำหนัก
2. ศึกษาวิธีการปรับปรุงคุณสมบัติของพลาสติกคอมโพสิตชีวภาพพอลิแลกติกแอซิดโดยการใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเติมแต่งที่อัตราส่วน 1% โดยน้ำหนัก
3. ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของพลาสติกคอมโพสิตชีวภาพ ได้แก่ ค่าความแข็งแรงทางแรงดึง ค่ามอดูลัสแรงดึง และค่าการยึดตัวที่จุดขาด โดยการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ทำให้ได้วัสดุคอมโพสิตชีวภาพที่มีคุณสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมกับการนำไปใช้ในกระบวนการขึ้นรูปด้วยวิธีอัดรีด
2. ทำให้ทราบถึงอัตราส่วนของการผสมของเส้นใยกัญชงที่เหมาะสมสำหรับพลาสติกคอมโพสิตชีวภาพพอลิแลกติกแอซิดและเส้นใยกัญชง
3. ทำให้สามารถออกแบบวัสดุคอมโพสิตชีวภาพที่เหมาะสมกับการนำไปขึ้นรูปขึ้นงานด้วยวิธีอัดรีด

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กัญชง (Hemp)

กัญชงมีชื่อสามัญว่า Cannabis เป็นพืชวงศ์ Cannabaceae มี 3 สายพันธุ์ย่อย เส้นใยมีความหนาแน่น ลำต้นสูง หนา และมีความสูงเมื่อเติบโตประมาณ 6 เมตร ระยะการเก็บเกี่ยว 3-4 เดือน มีสาร THC (Tetrahydrocannabinol) และ CBD (Cannabidiol) ในปัจจุบันกฎหมายไทยอนุญาตให้มีการใช้ประโยชน์จากกัญชงได้ในหลาย ๆ ส่วน โดยคุณสมบัติของกัญชงแบ่งออกเป็น 2 คุณสมบัติ [4] ดังนี้

2.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพของกัญชง

กัญชงเป็นพืชที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกัญชามาก เนื่องจากเป็นพืชที่อยู่ในวงศ์เดียวกัน จึงมีลักษณะคล้ายกัญชหลายอย่าง โดยส่วนประกอบของกัญชงที่นำไปใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่ [4] ได้แก่

- 1) ใบเป็นใบเลี้ยงเดี่ยว รูปฝ่ามือ ขอบใบเป็นฟันเลื่อยเว้าลึกถึงโคนใบ ใบเรียวยาว เรียงตัวห่างกว่าใบกัญชามีแฉกประมาณ 7-11 แฉก ปลายใบมีลักษณะแหลม
- 2) ลำต้นเป็นพืชล้มลุก มีอายุเพียงปีเดียว สูงประมาณ 2 เมตร มีสีเขียว ตั้งตรง มีรากเป็นรากแก้ว และแตกแขนงเป็นจำนวนมาก
- 3) กิ่งก้านกระจัดกระจาย ไม่เกาะกลุ่ม
- 4) เส้นใยจะให้ปริมาณที่มากกว่าเส้นใยกัญช และมีความแข็งแรง
- 5) เมล็ดมีขนาดใหญ่ ผิวเรียบ มีลายบ้าง

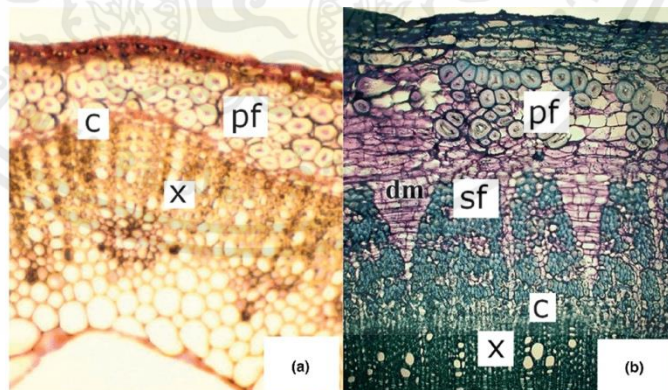
2.1.2 คุณสมบัติทางเคมีของกัญชง

คุณสมบัติทางเคมีสามารถบอกถึงความเข้มข้นของสารในกัญชงได้ โดยวิเคราะห์จากสาร THC (Tetrahydrocannabinol) มีฤทธิ์ต่อระบบประสาท ส่งผลต่ออารมณ์ ความรู้สึก และสาร CBD (Cannabidiol) ไม่มีฤทธิ์ต่อระบบประสาท ระวังอาการปวด การอักเสบได้ ในทางกฎหมาย พืชที่ให้ปริมาณ THC น้อยกว่า 0.3% ไม่ถือเป็นพืชเสพติด และกัญชงที่ปลูกเพื่ออุตสาหกรรมต้องมีปริมาณ THC ต่ำกว่ามาตรฐาน และตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติทางเคมีของกัญชง โดยปริมาณ THC ของกัญชงมีค่าไม่เกิน 1% และปริมาณ CBD ของกัญชงมีค่าไม่เกิน 2% [5]

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางเคมีของกัญชง

คุณสมบัติ	ค่า
ปริมาณสาร THC (Tetrahydrocannabinol)	ไม่เกิน 1%
ปริมาณสาร CBD (Cannabidiol)	ไม่เกิน 2%

โดยก้านของกัญชงสามารถผลิตเส้นใยกัญชงได้ปริมาณ 30–40% โดยน้ำหนัก การแปรรูปเส้นใยส่วนใหญ่มีปริมาณเซลลูโลส 53–91%, เฮมิเซลลูโลส 4–18%, เพกติน 1–17% และลิกนิน 1–21% โดยรวมเข้าด้วยกัน ยึดด้วยพันธะไฮโดรเจนและแรง Van der Waals ถูกเคลือบด้วยเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ที่มีปริมาณมากและใหญ่ที่สุดในผนังเซลล์พืช จัดเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นตรงลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันของกลูโคส (1, 4-D-glucose) การเจริญเติบโตของลำต้นกัญชงแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แนวตั้งหรือการยึดตัวของพืช กับ การเจริญเติบโตด้านข้างหรือความหนาของพืช การเจริญเติบโตจะขึ้นอยู่กับ การแบ่งเซลล์ของเนื้อเยื่อและความแตกต่างของโปรโตพลาสต์ การรวมเส้นใยหลักเกิดขึ้นในระหว่างการเจริญเติบโต หลังจากนั้นจะเกิดเส้นใยทุติยภูมิและพบที่ส่วนล่างของลำต้น อยู่ในบริเวณระหว่างแกนไม้และมัดของเส้นใยหลัก เส้นใยยังเกิดขึ้นในบริเวณเนื้อเยื่อไซเลมหรือแกนไม้แต่จะมีความยาวที่สั้นกว่า โดยภาพตัดขวางของลำต้นของต้นกัญชง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงภาพตัดขวางของต้นกัญชง แคมเบียม และเนื้อเยื่อของไซเลม [6]

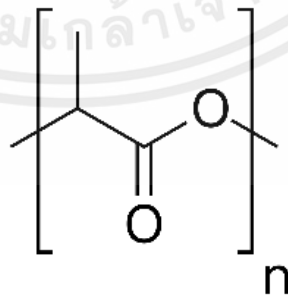
โดยเจริญเติบโตจะเริ่มต้นตามแกนยาวของลำต้นควบคู่กับเซลล์อื่น ๆ เรียกว่าการเติบโตแบบสมมาตร ดำเนินต่อไปหลายชั่วโมง จนกว่าอัตราการยึดตัวของเส้นใยจะเกินเซลล์รอบข้าง จากนั้นเส้น

ใยจะขยายออกไปทั้งสองทิศทางโดยผลึกเซลล์เนื้อเยื่อรอบข้าง เรียกว่าการเติบโตแบบลวงล้ำ ดำเนินเป็นเวลาหลายวันส่งผลให้โครงสร้างเส้นใยพื้นฐานทับซ้อนกันอย่างแน่นหนา [6]

ในกระบวนการแปรรูปเส้นใยกัญชงเพื่อให้ได้เส้นใยสีเขียว จำเป็นต้องนำเส้นใยไปแช่ในกรดเพื่อสร้างสีเขียวให้กับเส้นใยกัญชง วัสดุที่นำมาผสมกับเส้นใยกัญชงเพื่อพัฒนาเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงและมีมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมักจะเป็นพอลิเมอร์แอซิด เพื่อให้ได้วัสดุที่มีคุณสมบัติเพื่อสิ่งแวดล้อมที่ดีที่สุด ในประเทศไทยเส้นใยกัญชงนิยมใช้เป็นส่วนผสมในวัสดุก่อสร้างต่าง ๆ เช่น ฉนวนกันความร้อน วัสดุทดแทนไม้ โปโพลาสติก หรือใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับเส้นใยกัญชง [6]

2.2 พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid)

พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid) หรือ PLA เป็นพอลิเมอร์ชนิดแอลิฟาติกพอลิเอสเทอร์ที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ โดยโครงสร้างทางเคมีของพอลิแลคติกแอซิด จะแสดงได้ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งจะประกอบไปด้วยแลคติกแอซิด (LA) หรือ 2-hydroxy propionic acid เป็นโมโนเมอร์ซึ่งโดยทั่วไป พอลิแลคติกแอซิดจัดอยู่ในกลุ่มประเภทพอลิเมอร์ชีวภาพที่สังเคราะห์ที่ได้มาจากพืชผลทางการเกษตรซึ่งเป็นทรัพยากรหมุนเวียน เช่น ข้าวโพด อ้อย มันฝรั่ง และมันสำปะหลัง โดยผ่านการหมักจุลินทรีย์ของคาร์โบไฮเดรต เนื่องจากความเข้ากันได้ทางชีวภาพกับร่างกายมนุษย์ พอลิแลคติกแอซิด จึงมักจะถูกนำไปใช้เป็นวัสดุสำหรับการใช้งานทางการแพทย์ ในปัจจุบันการศึกษาค้นคว้าเตรียมพอลิเมอร์พอลิแลคติกแอซิดมีการพัฒนามากยิ่งขึ้นจึงช่วยให้สามารถผลิตพอลิแลคติกแอซิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงได้ในเชิงเศรษฐกิจ ประกอบกับความตระหนักในประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมที่เพิ่มขึ้นนำไปสู่การใช้พอลิแลคติกแอซิดเป็นวัสดุทางเลือกในวงกว้าง [7]



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) [7]

โดยพอลิแลกติกแอซิดนั้นเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่ถูกนำมาวิจัยและมีแนวโน้มที่จะพัฒนามากที่สุดในขณะนี้ พอลิเมอร์ชนิดนี้สามารถทดแทนพอลิเมอร์ทั่วไปที่สังเคราะห์จากอุตสาหกรรมปิโตรเลียมได้ อย่างไรก็ตาม แม้ว่าพอลิแลกติกแอซิดจะมีคุณสมบัติดีกว่าในด้านรีไซเคิลและการย่อยสลายทางชีวภาพ แต่ปัจจุบันยังไม่สามารถนำพอลิแลกติกแอซิดกลับมาใช้ใหม่ได้โดยตรง เนื่องจากในกระบวนการสังเคราะห์พลาสติกพอลิแลกติกแอซิดใหม่จะมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 1.3 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อกิโลกรัมพลาสติกสังเคราะห์ [8]

อย่างไรก็ตามพอลิแลกติกแอซิดยังมีข้อได้เปรียบในด้านความสามารถในการผลิตที่ยืดหยุ่นเนื่องจากเหมาะสำหรับการแปรรูปด้วยวิธีการต่าง ๆ ที่หลากหลาย เช่น การฉีดขึ้นรูป การรีดฟิล์ม การเป่าขึ้นรูป การขึ้นรูปทางเทอร์โม การปั่นเส้นใย และการขึ้นรูปฟิล์ม ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากพอลิแลกติกแอซิดถูกนำไปพัฒนาและใช้ในอุตสาหกรรมหลายอย่าง รวมทั้งในบรรจุภัณฑ์ สิ่งทอ ชีวการแพทย์ โครงสร้างและยานยนต์ [9] โดยตารางที่ 2.2 จะแสดงคุณสมบัติทางกายภาพและทางความร้อนเบื้องต้นของพอลิแลกติกแอซิด

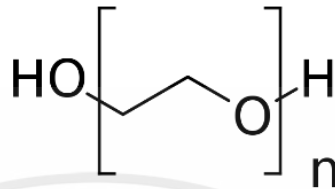
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางความร้อนเบื้องต้นของพอลิแลกติกแอซิด [9]

คุณสมบัติ	ค่า
Density	1.24 g/cm ³
Heat deflection temperature (HDF)	52 °C
Melting temperature	145 - 160 °C
Glass transition temperature	56 - 64 °C
Tensile strength	50 MPa
Flexural strength	80 MPa
Impact strength	96.1 J/ml
Shrink rate	0.37 - 0.41% (0.0037 - 0.0041 in/in)

2.3 พอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol)

พอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol, PEG) เป็นสารเคมีที่สังเคราะห์ได้มาจากปิโตรเลียมที่ใช้สำหรับเป็นตัวทำละลาย วัตถุดิบในการผลิตเส้นใยโพลีเอสเตอร์ หรือสารเติมแต่งในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเฉพาะในเวชภัณฑ์และเครื่องสำอาง อีกทั้งยังมีการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับเป็นวัตถุเจือปนอาหาร เนื่องจากพอลิเอทิลีนไกลคอลมีสมบัติที่สำคัญคือ มีความเป็นพิษต่ำ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น รสหวาน มีจุดเดือดที่สูงกว่าน้ำถึงสองเท่าตัว และมีความชอบน้ำสูง จึงมักจะเอกลักษณะนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกนำไปผสมกับสารอื่น ๆ เพื่อให้เพิ่มความชอบน้ำได้ รูปที่ 2.3 จะแสดงโครงสร้างทางเคมีของ PEG โดยสามารถแบ่งได้เป็นหลายเกรดตามน้ำหนักโมเลกุล เช่น PEG300 (น้ำหนักโมเลกุล 300 g/mol) PEG1500 (น้ำหนักโมเลกุล 1,500 g/mol) และ PEG4000 (น้ำหนักโมเลกุล 4,000 g/mol) โดยน้ำหนักโมเลกุลที่เพิ่มขึ้นจะยิ่งทำให้ PEG มีลักษณะที่ชั้นคล้ายแว็กซ์มากยิ่งขึ้น [10]

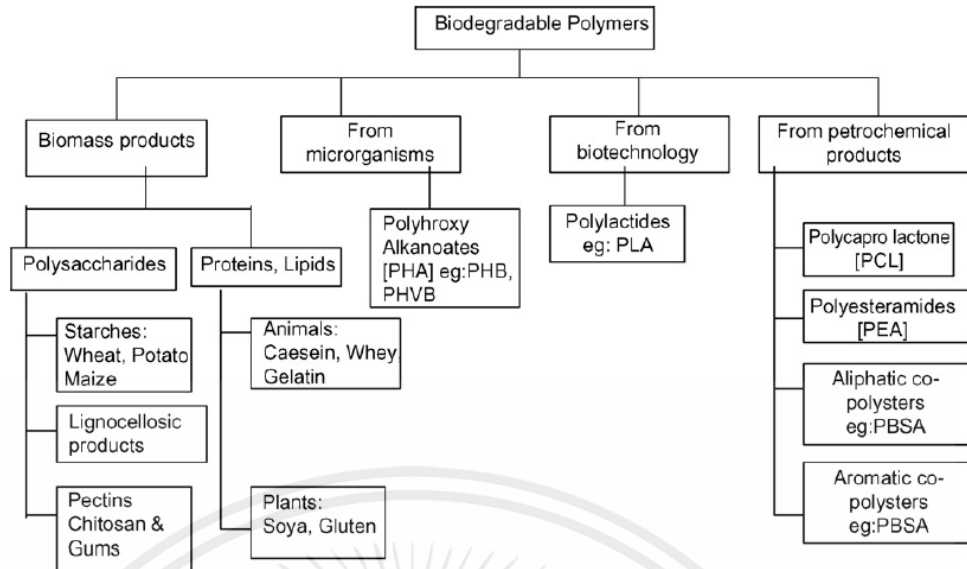


รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol, PEG)

โดยพอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นสูงและมีการพัฒนาและปรับปรุงคุณสมบัติอย่างต่อเนื่อง เมื่อใช้ในการเสริมแรงของพอลิเมอร์คอมโพสิต สารที่เติมเข้าไปจะต้องมีความแข็งแรงและค่ามอดูลัสของยังส์ที่สูงกว่าส่วนเมทริกซ์ นอกจากความแข็งแรงของวัสดุแล้ว พอลิเอทิลีนไกลคอลยังมีคุณสมบัติที่ยืดหยุ่นกว่าวัสดุคอมโพสิตชีวภาพ ซึ่งช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นและลดความเปราะของวัสดุคอมโพสิตชีวภาพได้ดีขึ้น ซึ่งทำให้วัสดุมีความคงที่และสามารถรับแรงกระทำ อุณหภูมิ หรือสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงได้โดยสามารถช่วยลดความเปราะของวัสดุได้ [10]

2.4 วัสดุคอมโพสิตชีวภาพ (Biocomposite)

วัสดุคอมโพสิตชีวภาพ (Biocomposite หรือ Green composite) นั้นเป็นการประกอบกันระหว่างเส้นใยชีวภาพซึ่งได้มาจากธรรมชาติกับพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ (Biodegradable) เช่น พอลิแลกติกแอซิด (PLA) พอลิไฮดรอกซีแอซิด (PHA) เป็นต้น โดยจุดเด่นที่สำคัญของวัสดุคอมโพสิตชีวภาพคือเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ย่อยสลายได้เองทั้งหมด และมีความยั่งยืน กล่าวคือเป็น “สีเขียว” อย่างแท้จริงในทุก ๆ ด้าน และเมื่อหมดอายุการใช้งานก็สามารถกำจัดหรือนำไปทำเป็นปุ๋ยได้ง่ายโดยไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม ซึ่งพลาสติกที่ย่อยสลายได้นั้นสามารถจำแนกประเภทออกเป็น 4 ประเภท ดังรูปที่ 2.4 จะเห็นได้ว่านอกจากประเภทที่ 4 ซึ่งเป็นพลาสติกที่มีแหล่งกำเนิดจากปิโตรเลียม พอลิเมอร์พลาสติกส่วนใหญ่ (ประเภทที่ 1-3) นั้นล้วนสามารถสังเคราะห์ได้จากทรัพยากรหมุนเวียน (Renewable resources) [11]



รูปที่ 2.4 การจำแนกประเภทของพลาสติกที่ย่อยสลายได้ [11]

วัสดุคอมโพสิตชีวภาพประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนเมทริกซ์ และส่วนเสริมแรง ซึ่งส่วนเมทริกซ์จะช่วยในการยึดส่วนที่เสริมแรงเข้าด้วยกัน เพื่อให้เกิดความคงที่ในตำแหน่งที่เสริมแรง โดยส่วนเมทริกซ์จะมีความเหนียวสูงกว่าส่วนเสริมแรง แต่มีความแข็งแรงและค่ามอดูลัสของยังส์ที่ต่ำกว่า สำหรับวัสดุคอมโพสิตชีวภาพส่วนเมทริกซ์จะช่วยในการรักษาความเสถียรของรูปร่าง ขนาด และการกระจายตัวของส่วนที่เสริมแรง ทำให้สามารถทนต่อการเสียหายจากแรงกระทำ อุณหภูมิ หรือการเสียหายจากสิ่งแวดล้อมได้ในระดับหนึ่ง และส่วนเสริมแรงจะทำหน้าที่ในการเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุคอมโพสิตชีวภาพ จะมีความแข็งแรงและค่ามอดูลัสของยังส์ที่สูงกว่าส่วนเมทริกซ์ ส่วนที่เสริมแรงจะขึ้นกับรูปร่างและขนาดของสารเสริม อาจอยู่ในลักษณะของเส้นใย โดยเส้นใยธรรมชาติที่นิยมใช้ในวัสดุคอมโพสิตชีวภาพ ได้แก่ เส้นใยกล้วยง เส้นใยไผ่ เส้นปอ เป็นต้น เส้นใยที่จะนำมาใช้ในการเสริมแรงให้กับวัสดุคอมโพสิตชีวภาพควรมีขนาดและลักษณะผิวของเส้นใยที่สม่ำเสมอ มีความแข็งแรงสูง และไม่เกิดการเสียหายไประหว่างกระบวนการขึ้นรูป ความยาวของเส้นใยที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อความเค้นและความเครียดบนปลายเส้นใยลดลง ทำให้สามารถรับแรงที่ส่งผ่านมาจากเมทริกซ์และเส้นใยได้ดี กล่าวคือ ความยาวของเส้นใยส่งผลต่อการกระจายตัวของความเค้นและความเครียดของเส้นใย ดังนั้นการยึดเกาะของเมทริกซ์และเส้นใยที่ดีจะเป็นการเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุคอมโพสิตชีวภาพ [11]

การเสริมแรงพลาสติกด้วยเส้นใยธรรมชาติมีผลต่อการเชื่อมระหว่างเมทริกซ์ในพอลิเมอร์ โดยการเสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติช่วยเพิ่มความแข็งแรงของเมทริกซ์ นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มคุณสมบัติแรงดึงของวัสดุคอมโพสิต ทำให้วัสดุมีความคงที่และสามารถรับแรงดึงได้มากขึ้น คุณสมบัติของวัสดุ

คอมโพสิตชีวภาพจะขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบการผสมและชนิดของเส้นใยธรรมชาติที่ใช้ ในกระบวนการอัดรีดขึ้นรูปพลาสติก สามารถปรับแต่งส่วนผสมของเส้นใยธรรมชาติเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ต้องการ ยกตัวอย่างเช่น การใช้เส้นใยในกลุ่มของใยธรรมชาติแก้วหรือใยแมงมุมสามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความคงที่ให้กับวัสดุคอมโพสิตชีวภาพได้ นอกจากนี้ยังสามารถปรับเปลี่ยนสัดส่วนและประเภทของเส้นใยเพื่อปรับคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุได้ตามความต้องการโดยเฉพาะ เช่น ความยืดหยุ่น ความแข็งแรง เป็นต้น [11]

2.5 การคอมปาวด์ (Compounding)

การคอมปาวด์เป็นการผสมสารให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียว ด้วยวิธีการหลอมเหลวอาศัยการบดผสมและแรงเฉือนเพื่อให้สารเข้ากันก่อนนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ส่วนใหญ่จะเป็นการนำพอลิเมอร์มาผสมกับสารเติมแต่งหรือสารเสริมแรง เพื่อเป็นการปรับปรุงพอลิเมอร์ให้มีสมบัติต่าง ๆ ที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน โดยการการคอมปาวด์มีองค์ประกอบหลักแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้ [18]

2.5.1 วัสดุที่ใช้

โดยวัสดุที่ใช้ในการคอมปาวด์ส่วนใหญ่จะเป็นพอลิเมอร์ต่าง ๆ เช่น พอลิเอสเตอร์ พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต และพอลิแลกติกแอซิด เป็นต้น อาจอยู่ในรูปของผง ของเหลว หรืออิมัลชัน

2.5.2 สารเติมแต่ง

สารเติมแต่ง เช่น สารเติมตัว เส้นใยเสริมแรง สารช่วยผสม และสารเพิ่มความเป็นพลาสติก โดยวัสดุเสริมแรงแต่ละชนิดจะมีคุณลักษณะแตกต่างกันออกไป แต่ก็ยังมีข้อจำกัดการใช้งานของแต่ละชนิดอยู่ จำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติอยู่เสมอเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยทั่วไปสารเติมแต่งควรมีคุณสมบัติทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เสถียรภายใต้การใช้งานและการขึ้นรูปและไม่ทำให้คุณสมบัติของวัสดุเกิดการสูญเสียซึ่งสารเติมแต่งแต่ละชนิดก็จะมีหน้าที่แตกต่างกันออกไป

2.5.3 เครื่องผสม

โดยเครื่องผสมที่ใช้ในการคอมปาวด์จะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลัก ๆ คือ การผสมแบบแบทช์ (Batch compounding) และการผสมแบบต่อเนื่อง (Continuous compounding) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.5.3.1 การผสมแบบแบทช์ (Batch compounding)

- เครื่องผสมยางแบบ 2 ลูกกลิ้ง นิยมใช้ผสมสารเคมีกับยางและพลาสติก ซึ่งพลาสติกที่ใช้เป็นจะเป็นพอลิไวนิลคลอไรด์ ข้อดีในการใช้เครื่องผสมยางแบบ 2 ลูกกลิ้งจะทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถมองเห็นลักษณะของการผสมได้ ผลิตภัณฑ์ที่ออกมาจะเป็นแผ่น ผู้ผสมจะต้องมีทักษะในการผสมสูง และเป็นการผสมแบบเปิดจึงอาจมีสิ่งปนเปื้อนได้ง่าย

- เครื่องผสมระบบปิดแบบอินเตอร์มิทซ์ นิยมใช้ผสมกับฟิล์มและแผ่นของพอลิเอสเตอร์, พอลิเอทิลีน เป็นต้น เป็นการผสมระบบปิด ข้อดีสามารถผสมสารได้เร็ว ไม่เกิดการปนเปื้อน แต่อาจจะต้องใช้เครื่องมืออื่นช่วยก่อนนำไปแปรรูป เนื่องจากไม่เป็นการผสมแบบต่อเนื่อง

2.5.3.2 การผสมแบบต่อเนื่อง

- เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว นิยมใช้ในการผสมทั่วไป รวมถึงใช้สำหรับการขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติก โดยเม็ดพลาสติกจะเข้าสู่เครื่องทางสายป้อนซึ่งจะถูกหลอมภายในเครื่องอัดรีดอาศัยแรงเฉือนขับเคลื่อน

- เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ นิยมใช้ในทางอุตสาหกรรม มีประสิทธิภาพในการผสมค่อนข้างดี เนื่องจากแรงเฉือนจากการหมุนของสกรูเข้าหากันหรือหมุนตามกัน

โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อการคอมปาวด์จะประกอบไปด้วย ชนิดของวัสดุ ปริมาณสาร อุณหภูมิ ความดัน และเครื่องผสมเป็นต้น ซึ่งในการคอมปาวด์ระหว่างพอลิแลกติกแอซิด กัญชง และพอลิเอทิลีนไกลคอลที่นำมาในงานวิจัยนี้ จะทำการคอมปาวด์กันด้วยเครื่องอัดรีดสกรูแบบสกรูเดี่ยว (Single-screw extruder) [18]

2.6 เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single-screw extruder)

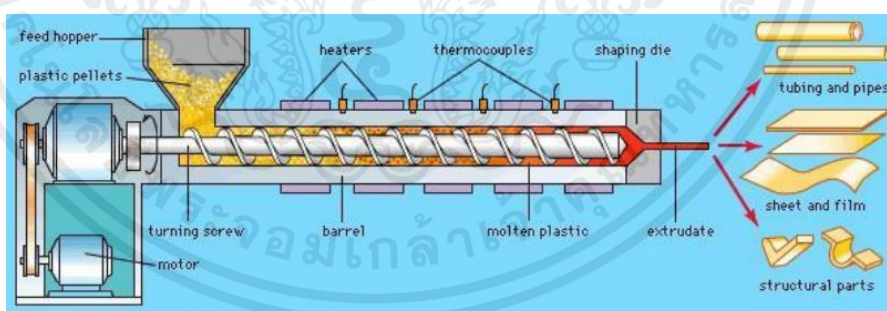
เครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยวเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติก โดยเม็ดพลาสติกจะเข้าสู่เครื่องทางสายป้อนซึ่งจะถูกหลอมภายในเครื่องอัดรีด อาศัยทั้งความร้อน แรงเฉือนและความดัน พลาสติกจะถูกดันออกสู่แม่พิมพ์ที่บริเวณปลายเปิดเพื่อขึ้นรูปตามที่ต้องการ ในบางกระบวนการอาจมีการให้ความเย็น ขณะที่พลาสติกออกจากบริเวณปลายเปิด เพื่อให้คงรูปตามที่ต้องการ ซึ่งเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยวจำแนกอยู่ในประเภทเครื่องอัดรีดแบบต่อเนื่อง (Continuous) คือเครื่องมือที่ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนที่มีการหมุน (Rotating member) โดยเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยวนั้นมีความทนทานสูง และมีการออกแบบที่ไม่ยุ่งยากและซับซ้อน อีกทั้งยังราคาค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับเครื่องอัดรีดชนิดอื่น ๆ ส่วนประกอบหลักในการทำงานของเครื่องอัดรีด ได้แก่

1. บาเรล คือ ครอบกกลางที่วางตัวตามแนวนอน
2. เกลียว คือ สกรูที่อยู่ภายในบาเรล โดยจะถูกหมุนด้วยมอเตอร์ที่ปรับความเร็วรอบได้ เป็นสกรูเดี่ยว ถูกออกแบบมาให้มีขนาดความสูงลดลงตามแนวยาวของสกรู ช่วงต้นของสกรูทำหน้าที่ลำเลียงวัสดุป้อนเข้าสู่ภายใน วัสดุจะถูกผสมกันในช่องว่างระหว่างครีบกวาดกับครอบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ฮอปเปอร์ คือ กรวยขนาดใหญ่ เป็นส่วนที่ใช้ในการป้อนวัสดุต่าง ๆ เข้าเครื่องอัดรีด
4. กระบอกลูกบิดและสกรู คือ เครื่องฉีดพลาสติก โดยจะหลอมพลาสติกและสร้างแรงดันเพื่อฉีดพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์
5. หัวฉีด คือ ส่วนที่ต่อปลายกระบอกลูกบิดพลาสติกเข้ากับช่องการไหลของพลาสติก
6. มอเตอร์ขับเคลื่อนสกรู คือ มอเตอร์ไฮดรอลิกหรือมอเตอร์ไฟฟ้า ใช้ในการหมุนและขับเคลื่อนสกรู
7. ชุดควบคุมกลาง คือ ชุดควบคุมการทำงานของเครื่องจักรทุกส่วน เช่น การจ่ายกระแสไฟ การควบคุมความดัน หรือ การวัดและควบคุมอุณหภูมิ เป็นต้น

โดยเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยวนิยมใช้ในการผลิตวัสดุที่มีลักษณะเป็นเส้นยาว โดยภายในกระบอกลูกบิดเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยวจะแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ ได้แก่ ส่วนป้อน สกรูมีร่องขนาดลึกที่สุด ร่องสกรูมีความกว้างและขนาดร่องคงที่ โดยจะทำหน้าที่ส่งเม็ดพลาสติกไปยังกระบอกลูกบิด ทำให้เม็ดพลาสติกได้รับความร้อนเกิดการผสมระหว่างพลาสติกและวัสดุอื่น ๆ และถูกส่งไปยังกระบวนการหลอมอัด ในส่วนของกระบวนการหลอมอัดร่องของสกรูจะมีลักษณะแคบลง พลาสติกจะเกิดแรงดันเพื่ออัดและหลอมผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งในกระบวนการนี้อุณหภูมิจะมีความใกล้เคียงกับอุณหภูมิของการหลอมพลาสติก ซึ่งส่วนสุดท้ายจะเป็นการส่งพลาสติกไปหลอม โดยลักษณะของสกรูจะเป็นร่องที่แคบและขนาดร่องคงที่ จะทำการหลอมพลาสติกจนหมด ความดันจะสูงขึ้นเพื่อหลอมผสมพลาสติกให้เป็นเนื้อเดียวกันอย่างสมบูรณ์ และส่งไปยังหัวตายเป็นพลาสติกลักษณะแข็งตามที่เราต้องการ ดังรูปที่ 2.5 จะเป็นการอธิบายถึงกลไกการทำงานของเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว [13]



รูปที่ 2.5 ลักษณะของเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว [13]

กลไกการทำงานของเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว มีดังนี้ [14]

- 1) วัสดุจะเข้าสู่ทาง Feed hopper ตกลงมายังบริเวณระหว่างสกรูและปลอกหุ้มสกรูเรียกว่า ช่องสกรู (Screw channel)
- 2) ในขณะที่สกรูมีการจะหมุนไปเรื่อย ๆ จึงมีแรงเสียดทานกระทำกับวัสดุ ซึ่งแรงเสียดทานนี้จะเป็นตัวการในการส่งถ่ายวัสดุไปข้างหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) เมื่อวัสดุถูกผลักดันไปข้างหน้าโดยแรงเสียดทานแล้วก็จะมีความร้อนเกิดขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากความร้อนที่เกิดขึ้นจากแรงเสียดทาน (Frictional heat generation) และความร้อนซึ่งเกิดจากแผ่นให้ความร้อน (Plate heater)
- 4) จากนั้นวัสดุจะค่อย ๆ ถูกหลอมละลายเนื่องจากความร้อนและแรงเสียดทาน และเข้าสู่ส่วนสุดท้ายคือ ส่วนสกัดเพื่อบีบวัสดุเข้าสู่หัวฉีดเพื่อขึ้นเป็นรูปร่างที่ต้องการ

2.7 การทดสอบแรงดึง (Tensile strength testing)

การทดสอบด้วยการดึงเป็นการทดสอบเพื่อศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ ซึ่งการทดสอบแรงดึงจะวัดค่าระยะการยืดตัวหรือระยะที่รูปร่างของวัสดุมีการเปลี่ยนแปลงไป และความเค้นที่เกิดขึ้นหรือแรงที่กระทำต่อชิ้นงาน วัสดุที่ต่างกันจะทำให้ได้สมบัติเชิงกลต่างกัน การทดสอบแรงดึงจะนิยมใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์เพื่อทดสอบ เครื่องทดสอบอเนกประสงค์จะทำการติดตั้งขึ้นทดสอบกับชุดจับที่มีระยะห่างระหว่างจุดทั้งสองข้างเพื่อยึดตามมาตรฐานที่กำหนด มีเครื่องมือการวัดค่ายืดตัวที่เปลี่ยนแปลงไปของชิ้นทดสอบ โดยแรงดึงจะมีค่าคงที่ ทำการบันทึกค่าแรงและระยะการยืดตัวที่เปลี่ยนแปลงจนชิ้นทดสอบเกิดความเสียหาย หลังจากนั้นจะนำค่าแรงและระยะการยืดตัวที่เปลี่ยนแปลงมาคำนวณสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด การทดสอบด้วยการดึงโดยทั่วไปแล้วเป็นการทดสอบโดยการใส่แรงกระทำในแนวแกนเดียว (Uniaxial tensile test) แก่ชิ้นทดสอบ โดยแรงจะกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานที่ทดสอบ ซึ่งการทดสอบด้วยการดึงนี้ช่วยให้ผู้สอบทราบสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุดังนี้ [18]

- ค่าความแข็งแรงทางแรงดึง (Tensile strength) หรือค่าความแข็งแรงสูงสุดที่วัสดุรับได้ก่อนเกิดการเสียรูป ภายใต้ความเค้นสูงสุดที่กระทำต่อวัสดุ
- ค่าความแข็งแรง ณ จุดแตกหัก (Fracture strength) ค่าความเค้นที่ทำให้วัสดุแตกหัก ซึ่งสามารถเป็นคณลค่ากับความแข็งแรงของวัสดุได้
- ค่าความแข็งแรง ณ จุดคราก (Yield strength) หรือค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุสามารถรับได้โดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร (Plastic deformation)
- ค่ามอดูลัสของยังส์ (Young's modulus) และอัตราส่วนการหดตัวสัมพันธ์ของหน้าตัด (Poisson ratio) ซึ่งเหล่านี้เป็นสมบัติที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งของวัสดุ

จากการทดสอบด้วยแรงดึงดังกล่าว หากนำขนาดของแรงที่กระทำต่อวัสดุหารด้วยพื้นที่หน้าตัดที่รับแรงของชิ้นงานก็จะได้ค่าที่เรียกว่า “ความเค้น (Stress: σ)” ซึ่งมีหน่วยเป็น N/m^2 หรือ Pa ในขณะที่รับแรงดึงวัสดุจะเกิดการเสียรูปโดยยืดตัวออก สัดส่วนระหว่างระยะยืดตัวต่อความยาวเริ่มต้นของชิ้นงานทดสอบเรียกว่า “ความเครียด (Strain: ϵ)” ซึ่งมีหน่วยเป็น m/m หรือไม่มีหน่วย

โดยสามารถเขียนความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดให้อยู่ในรูปของสมการได้ดังสมการที่ (2.1) และ (2.2) ตามลำดับ [18]

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

โดย σ คือ ความเค้นที่ขึ้นงานถูกกระทำ (N/m^2 หรือ Pa)

F คือ แรงที่กระทำตั้งฉากกับหน้าตัดขึ้นงาน (N)

A_0 คือ พื้นที่หน้าตัดของขึ้นงานที่ทดสอบ (m^2)

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2.2)$$

โดย ε คือ ความเครียดที่ขึ้นงานถูกกระทำ (m/m หรือ ไม่มีหน่วย)

ΔL คือ ความยาวที่เปลี่ยนแปลงไปจากความยาวเดิม (m)

L_0 คือ ความยาวเริ่มต้นของขึ้นงาน (m)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 การเตรียมพอลิแลคติกแอซิดโดยการเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเติมแต่ง

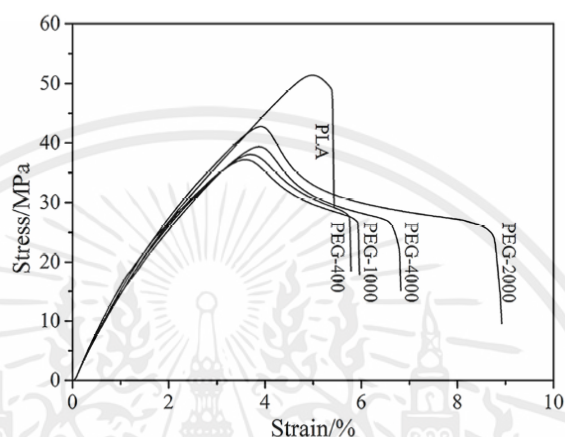
Decai Li และคณะ [19] ได้วิจัยและทดลองปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุพอลิเมอร์พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) (Grade 306D) โดยใช้พอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol, PEG) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกัน 4 ชนิด ได้แก่ PEG400 (น้ำหนักโมเลกุล 400 g/mol), PEG1000 (น้ำหนักโมเลกุล 1,000 g/mol), PEG2000 (น้ำหนักโมเลกุล 2,000 g/mol) และ PEG4000 (น้ำหนักโมเลกุล 4,000 g/mol) เป็นสารเติมแต่งเพื่อศึกษาอิทธิพลของสารเติมแต่ง PEG ต่อคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ

ส่วนผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิด และพอลิเอทิลีนไกลคอล หรือ PPLA จะถูกผลิตขึ้นโดยการฉีดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin-screw extruder) จากนั้นเม็ดพลาสติกขนาดเล็กจะถูกป้อนเข้าไปยังเครื่องฉีดขึ้นรูปเพื่อให้ได้ตัวอย่างขึ้นงานรูปทรงดัมเบลล์เพื่อนำไปทดสอบต่อไป

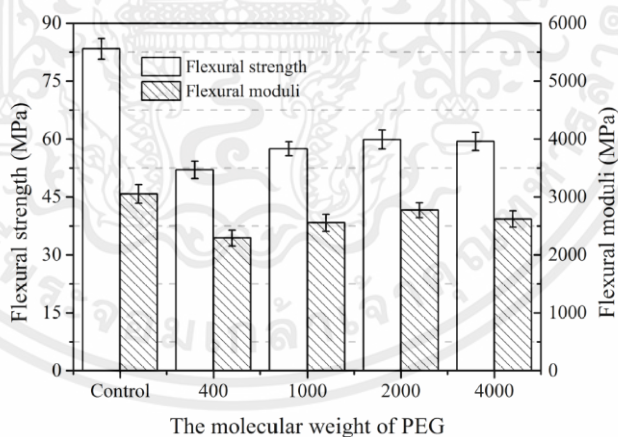
ในการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลนั้นขึ้นงานตัวอย่างจะถูกทดสอบด้วยเครื่อง CMT-5504 Universal testing machine โดยทดสอบตามมาตรฐาน GB/T 1041-2006 และ GB/T 9341-2000 ตามลำดับ จากการทดสอบดังกล่าวจะเห็นได้ว่าค่าการยืดตัวที่จุดขาดของวัสดุที่ทำการผสมสารเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่งพอลิเอทิลีนไกลคอล ที่มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกันไปนั้น มีค่าเพิ่มสูงขึ้น แต่ค่าความแข็งแรงทางแรงดึงของวัสดุกลับมีค่าลดลง เนื่องจากการผสมพอลิเอทิลีนไกลคอลลงไปจะส่งผลให้ปริมาตรของพอลิเมอร์อิสระมีค่าเพิ่มขึ้นและความแข็งของวัสดุลดลง โดยเมื่อน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเอทิลีนไกลคอลเพิ่มขึ้น ความสามารถในการยึดตัวของวัสดุจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก ในขณะที่ความสามารถในการรับแรงดึงยังคงเท่าเดิม ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กราฟเส้นโค้งความเค้นและความเครียดของ PLA ที่เติมสารเติมแต่ง PEG ที่น้ำหนักโมเลกุลต่าง ๆ [18]



รูปที่ 2.7 ค่า Flexural properties ของ PLA ที่เติมสารเติมแต่ง PEG ที่น้ำหนักโมเลกุลต่าง ๆ [19]

จากรูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงดึง กับสารเติมแต่งพอลิเอทิลีนไกลคอลที่น้ำหนักโมเลกุลต่าง ๆ แสดงให้เห็นว่าค่าความแข็งแรงทางแรงดึง และค่ามอดูลัสการโค้งงอจะมีค่าลดลงจากค่าเริ่มต้น เมื่อทำการผสมพอลิเอทิลีนไกลคอลลงไป โดยที่น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 2000 g/mol จะแสดงค่าความต้านทานแรงดึงที่มีประสิทธิภาพที่สุด และเมื่อผสมสาร

พอลิเอทิลีนไกลคอลที่มีน้ำหนักโมเลกุลเกิน 2000 g/mol จะส่งผลให้ทั้งค่าความแข็งแรงทางแรงดึง และความอดุลัสการโค้งงอมีค่าลดลง

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการเติมสารเติมแต่ง PEG ที่มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 200 g/mol นั้นส่งผลให้การเป็นพลาสติกบนเมทริกซ์ของพอลิแลกติกแอซิดแสดงคุณสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมที่สุดในการนำมาใช้ในการขึ้นรูปด้วยกระบวนการพิมพ์สามมิติซึ่งต้องการทั้งความแข็งแรง และความยืดหยุ่นของเส้นใยพลาสติก

2.8.2 การเติมน้ำมันปาล์มอีพอกไซด์ลงในพอลิแลกติกแอซิดเป็นสารเติมแต่ง

จากงานวิจัยของ Al-Mulla และคณะ [20] ได้ทำการทดลองเติมสารเติมแต่ง คือ น้ำมันปาล์มอีพอกไซด์ (Epoxidized palm oil) ลงในพอลิแลกติกแอซิดโดยใช้คลอโรฟอร์มเป็นสารละลาย เพื่อปรับปรุงสมบัติความยืดหยุ่นและความเหนียวของพอลิแลกติกแอซิดซึ่งปริมาณของสารเติมแต่ง EPO ที่เติมลงในพอลิแลกติกแอซิด สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.3

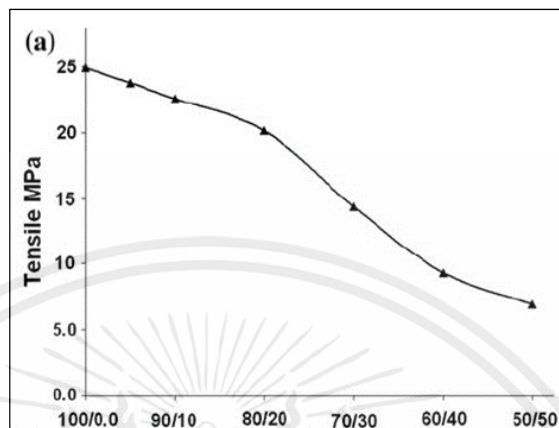
โดยการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานตัวอย่าง ประกอบด้วย การทดสอบแรงดึง เพื่อวัดค่าความแข็งแรงทางแรงดึง, ค่ามอดูลัสของยังส์ และค่าการยืดตัวที่จุดขาด โดยใช้เครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์ Instron universal testing machine 4301 ตามมาตรฐาน ASTM D638 รวมไปถึงการวัดค่าความหนืดของชิ้นงานโดยใช้เครื่องมือ Ubbelohde type viscosity ตามลำดับ

ตารางที่ 2.3 ปริมาณสัดส่วนของ PLA และ EPO ที่ใช้ในการทดสอบ [20]

ตัวอย่างชิ้นงาน	น้ำหนักของ PLA (g)	น้ำหนักของ EPO (g)
Neat PLA	5.00	0.00
95PLA 05EPO	4.75	0.25
90PLA 10EPO	4.50	0.50
80PLA 20EPO	4.00	1.00
70PLA 30EPO	3.50	1.50
60PLA 40EPO	3.00	2.00
50PLA 50EPO	2.50	2.50

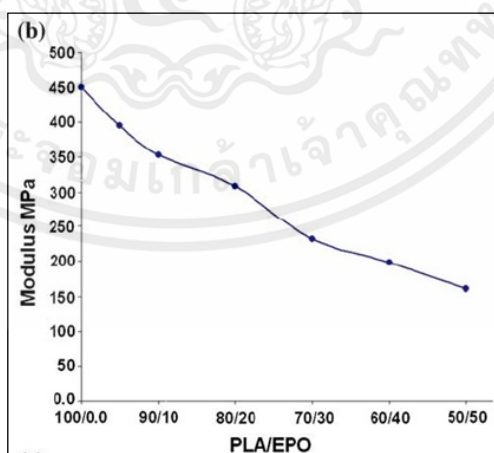
จากรูปที่ 2.8 ซึ่งแสดงถึงค่า Tensile strength ของวัสดุที่ได้จากการทดสอบแรงดึง จะเห็นว่าเมื่อเติมสารเติมแต่ง EPO ลงไปในพอลิแลกติกแอซิดจะทำให้ค่าความแข็งแรงทางแรงดึงของ

วัสดุจะมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด สำหรับตัวอย่างพอลิแลกติกแอซิดที่บริสุทธิ์จะมีค่าความแข็งแรงทางแรงดึงเท่ากับ 25 MPa โดยหลังจากการเติมสารเติมแต่ง EPO ลงไปที่สัดส่วน 50% พบว่าค่าความแข็งแรงทางแรงดึงนั้นมีค่าลดลงจากค่าเริ่มต้นถึง 72%



รูปที่ 2.8 ค่า Tensile strength ของ PLA ที่เติมสารเติมแต่ง EPO ที่สัดส่วนต่าง ๆ

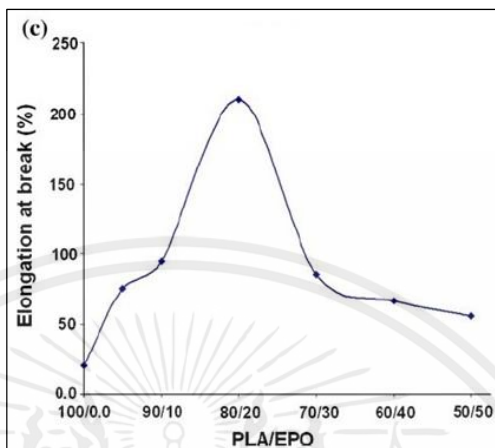
และจากรูปที่ 2.9 ซึ่งแสดงถึงค่า Young's modulus ของวัสดุที่ได้จากการทดสอบแรงดึง พบว่าค่ามอดูลัสของยังส์ของวัสดุที่แสดงถึงความแข็งแรงของวัสดุซึ่งบ่งบอกถึงความทนต่อการเปลี่ยนแปลงของความยาวของวัตถุ จากเดิมที่พอลิแลกติกแอซิดบริสุทธิ์มีค่าเท่ากับ 450 MPa หลังจากการเติมสารเติมแต่งพบว่าค่ามอดูลัสของยังส์ของวัสดุนั้นมีค่าลดลงเหลือ 160 MPa เมื่อทำการผสม EPO ลงไป 50%



รูปที่ 2.9 ค่า Young's modulus ของ PLA ที่เติมสารเติมแต่ง EPO ที่สัดส่วนต่าง ๆ

แต่ในทางตรงกันข้ามค่าการยืดตัวที่จุดขาดของพอลิแลกติกแอซิดที่เติมสารเติมแต่งลงไปนั้นกลับมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมาก จากรูปที่ 2.10 ซึ่งแสดงถึงค่า Elongation at break ของวัสดุที่ได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบแรงดึง พบว่าพอลิแลกติกแอซิดที่บริสุทธิ์จะมีค่าการยืดตัวที่จุดขาดอยู่ที่ 43% เมื่อเติมสารเติมแต่งลงไปพบว่าค่าการยืดตัวที่จุดขาดเพิ่มไปถึง 210% ซึ่งเป็นค่าที่มากที่สุด ที่อัตราส่วนของสารผสมที่ประกอบด้วยพอลิแลกติกแอซิด 80% และ EPO 20% [20]



รูปที่ 2.10 ค่า Elongation at break ของ PLA ที่เติมสารเติมแต่ง EPO ที่สัดส่วนต่าง ๆ

ดังนั้นจากผลการทดสอบแรงดึงดังกล่าว งานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่าเมื่อทำการเติมสารเติมแต่ง EPO ลงไปในวัสดุพอลิแลกติกแอซิด คุณสมบัติความเหนียว (Ductility) ของวัสดุจะมีค่าเพิ่มขึ้นและค่าการยืดตัวที่จุดขาดของวัสดุก็มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่ในทางกลับกันค่าความแข็งแรงทางแรงดึงและค่ามอดูลัสของยังส์ของวัสดุจะมีค่าลดลงจากเดิมอย่างมีนัยสำคัญ

บทที่ 3

ขั้นตอนการทดลอง

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1. ถุงมือยาง (Rubber gloves)
2. กรรไกร (Scissor)
3. เครื่องปั่น (Blender)
4. กะละมัง (Basin)
5. ปีกเกอร์ (Beaker)
6. น้ำ (Water)
7. แท่งแก้วคน (Stirring rod)
8. กระดาษลิตมัส (Litmus paper)
9. ตราชั่งแบบดิจิทัล (Digital scale)
10. เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier calipers)
11. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
12. ถาดใส่เตาอบ (Trays)
13. ตะแกรงร่อน เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 180 ไมโครเมตร (Sieve size 180 micrometers)
14. เครื่องวัดอัตราการหลอมไหลของพลาสติก (Melt flow index tester)
15. เครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว (Single-screw extruder)
16. เครื่องตัดเม็ดพลาสติก (Pelletizer)
17. เครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์ (Shimadzu universal testing machine)

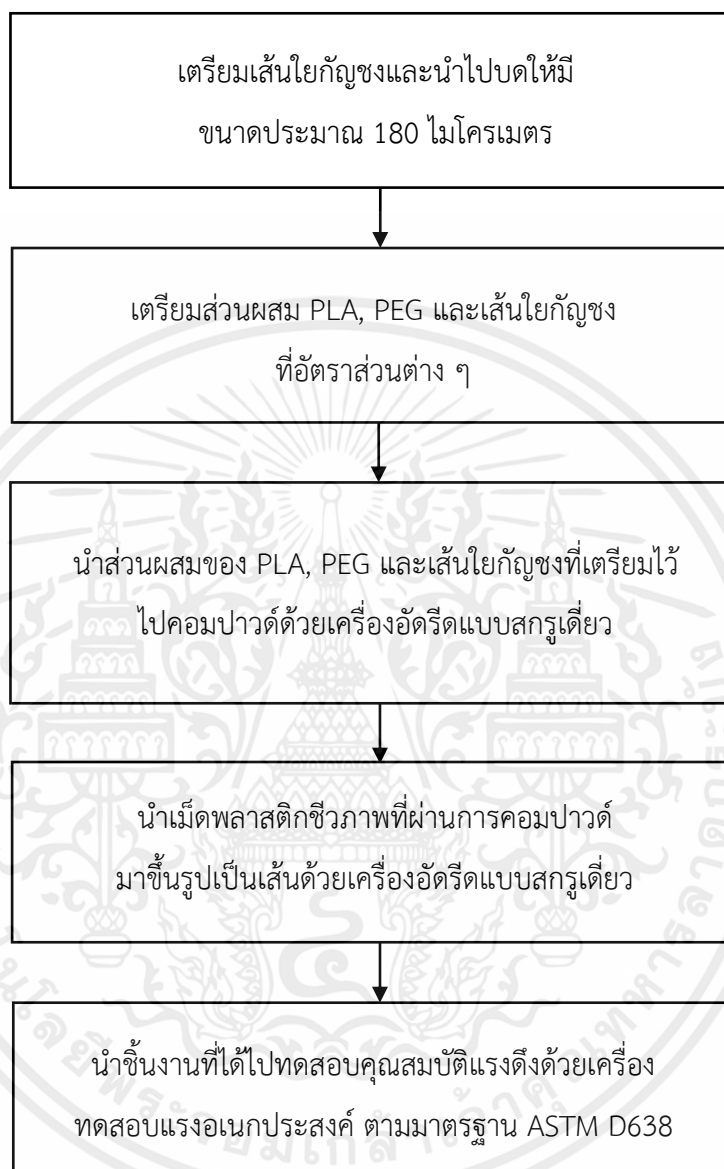
3.2 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

1. เม็ดพลาสติกพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) เกรด 7231U
2. เส้นใยกัญชง (Hemp fiber)
3. น้ำมันแร่ (Mineral oil)
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH)
5. สารเติมแต่งพอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol, PEG) ชนิดน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 600 g/mol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการดำเนินงาน

โดยงานวิจัยนี้สามารถแสดงเป็นแผนการดำเนินงานการทดลองได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 แผนภาพการดำเนินงานการทดลอง

3.3.1 การเตรียมเส้นใยกล้วย

โดยกระบวนการเตรียมเส้นใยกล้วย มีขั้นตอนดังนี้

1. นำเส้นใยกล้วยมาตัดให้มีขนาดประมาณ 30 เซนติเมตร
2. เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนัก ปริมาณ 52.4 กรัม และน้ำ 1 ลิตร เทลงในบีกเกอร์ที่เตรียมไว้ ใช้แท่งแก้วคนผสมสารให้เข้ากัน
3. นำสารละลายที่ผสมไว้เทลงในกะละมังสำหรับใช้ในการปรับสภาพ
4. นำเส้นใยกล้วยใส่ในกะละมัง และแช่ทิ้งไว้ประมาณ 4 ชั่วโมง
5. หลังจากนั้นนำเส้นใยมาล้างด้วยน้ำเปล่า บิดให้มาด และใช้กระดาษลิตมัสวัดค่า pH โดยควรล้างเส้นใยกล้วยด้วยน้ำเปล่า จนกว่าจะมีค่า pH เท่ากับ 7
6. นำเส้นใยกล้วยที่ได้ไปอบไล่ความชื้นในตู้อบที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส โดยวัดน้ำหนักทุก ๆ 10 นาที จนกว่าน้ำหนักเส้นใยกล้วยจะคงที่
7. นำเส้นใยกล้วยที่ได้จากการอบมาตัดให้มีขนาดประมาณ 2 เซนติเมตร ก่อนนำไปปั่นด้วยเครื่องปั่น โดยปั่นจนกว่าเส้นใยกล้วยจะกลายเป็นผง
8. นำเส้นใยกล้วยที่ผ่านการปั่นจะนำไปร่อนผ่านตะแกรง เพื่อกรองเส้นใยกล้วยให้มีขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 180 ไมโครเมตร สำหรับการนำไปคอมพิวเตอร์ต่อไป

3.3.2 การเตรียมการผสมคอมโพลีต

โดยกระบวนการเตรียมการผสมคอมโพลีต มีขั้นตอนดังนี้

1. นำพอลิแลกติกแอซิด พอลิเอทิลีนไกลคอล และเส้นใยกล้วยผสมเข้าด้วยกันในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยจะเติมน้ำมันแร่ลงไปเล็กน้อยเพื่อให้ส่วนผสมเข้ากันง่ายขึ้น
2. นำส่วนผสมที่เตรียมไว้ไปใช้หาค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผสม ด้วยเครื่องวัดอัตราการหลอมไหลของพลาสติก (Melt index flow tester)
3. ทำการตั้งค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของเครื่องเป็น 160 องศาเซลเซียส
4. เมื่ออุณหภูมิของเครื่องถึงค่าที่กำหนดแล้วจึงนำส่วนผสมทั้งหมดเข้าเครื่องวัดอัตราการหลอมไหลของพลาสติก
5. รอจนส่วนผสมพลาสติกเกิดการหลอมไหลออกมาจนหมด แล้วจึงทำความสะอาดเครื่อง
6. ทำซ้ำข้อ 2-4 โดยทำการปรับเปลี่ยนค่าอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงประมาณ 160-180 องศาเซลเซียส แล้วบันทึกผลที่ได้

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนการผสมระหว่างพอลิแลกติกแอซิด กัญชง และพอลิเอทิลีนไกลคอล

ลำดับ การทดลอง	PLA (%)	Hemp (%)	PEG (%)
1	100.0	0.0	0.0
2	98.5	0.5	1.0
3	98.0	1.0	1.0
4	97.0	2.0	1.0

3.3.3 การคอมปาวด์พอลิแลกติกแอซิด, เส้นใยกัญชง และพอลิเอทิลีนไกลคอล

โดยจะทำการคอมปาวด์ส่วนผสมระหว่างพอลิแลกติกแอซิด กัญชง และพอลิเอทิลีนไกลคอลเข้าด้วยกัน ด้วยเครื่องอัดรีดสกรูแบบสกรูเดี่ยว (Single-screw extruder) มีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการตั้งค่าอุณหภูมิของเครื่องจาก Feeder zone ถึง Die ให้มีค่าเท่ากับ 150-175-175-160 องศาเซลเซียส ตามลำดับ
2. ตั้งค่าความเร็วรอบสกรูเท่ากับ 10-20 รอบต่อนาที
3. รอจนกว่าเครื่องจะมีอุณหภูมิตามที่เซตไว้ จากนั้นนำพอลิแลกติกแอซิด พอลิเอทิลีนไกลคอล และกัญชงที่ผสมไว้เทลงไปในเครื่อง
4. เมื่อส่วนผสมพลาสติกเกิดการหลอมไหลออกมาจาก Die จะถูกนำไปแช่น้ำเพื่อลดอุณหภูมิของพลาสติกคอมโพสิต
5. ใช้เครื่องดึงม้วนเส้นใยพลาสติกที่ผสมได้ไปตัดให้มีขนาดเล็กลงจนเป็นเม็ดพลาสติกด้วยเครื่องขึ้นรูปเม็ดพลาสติก

3.3.4 การขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดรีด

โดยกระบวนการผสมพอลิเอทิลีนไกลคอล พอลิแลกติกแอซิด และเส้นใยกัญชงด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single-screw extruder) มีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการตั้งค่าอุณหภูมิของเครื่องจาก Feeder zone ถึง Die ให้มีค่าเท่ากับ 150-175-175-160 องศาเซลเซียส ตามลำดับ
2. ตั้งค่าความเร็วรอบสกรูเท่ากับ 10-20 รอบต่อนาที
3. รอจนกว่าเครื่องจะมีอุณหภูมิตามที่เซตไว้ จากนั้นนำเม็ดพลาสติกที่ผ่านการคอมปาวด์เทลงไปในเครื่อง
4. นำเส้นใยพลาสติกที่ผสมได้ไปแช่น้ำเปล่า เพื่อให้อุณหภูมิของเส้นใยลดตัวลง
5. ดึงเส้นใยผ่านเครื่องม้วนเส้นใยพลาสติก เพื่อนำไปใช้ในการทดสอบแรงดึงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 กระบวนการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

โดยกระบวนการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ โดยใช้วิธีการทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบแรงเนกประสงค์ (Shimadzu universal testing machine) ตามมาตรฐาน ASTM D638 [22] มีขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1. ตัดเส้นใยพลาสติกคอมโพสิตที่ผ่านการขึ้นรูปให้มีความยาวเท่ากับ 17 เซนติเมตร
2. วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของชิ้นงาน
3. ใส่ชิ้นงานที่จะทดสอบเข้ากับตัวจับชิ้นงาน และกำหนดความเร็วในการดึงของเครื่องเท่ากับ 5 มิลลิเมตรต่อนาที
4. เปิดเครื่องให้เริ่มดึงชิ้นงาน พร้อมทั้งสังเกตและบันทึกกระยะยืดตัวของชิ้นงานที่เปลี่ยนไป
5. เมื่อชิ้นงานที่ทดสอบขาดหรือแตกออกจากกัน จึงปิดเครื่องและจดบันทึกค่าแรงกระทำ
6. ทำการทดสอบซ้ำที่อัตราส่วนผสมเดิมเป็นจำนวน 3 ครั้ง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย
7. ทำการทดสอบใหม่โดยใช้ชิ้นงานที่อัตราส่วนผสมอื่น จากนั้นทำการบันทึกผลที่ได้จากการทดสอบ
8. นำผลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผล

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลอง

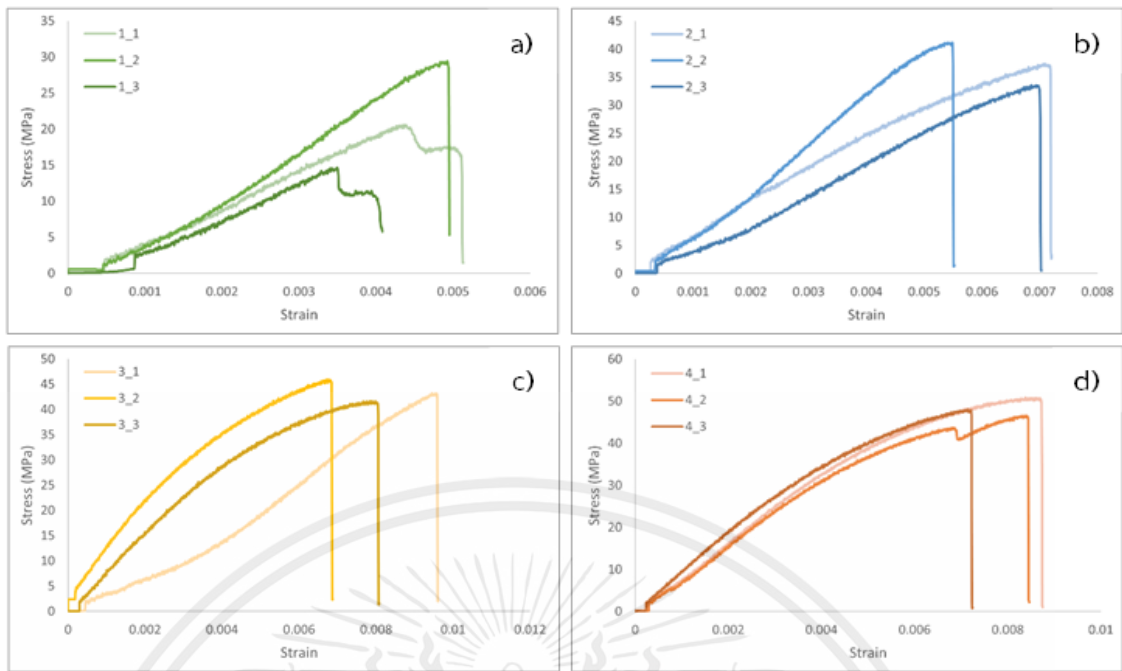
เพื่อที่จะศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมของพลาสติกคอมโพลีเมอร์ชีวภาพพอลิแล็กติกแอซิด และเส้นใยกล้วย ได้มีการทดลองผสมและปรับปริมาณของเส้นใยกล้วยที่อัตราส่วนต่าง ๆ ดังนี้ 0.5%, 1% และ 2% โดยน้ำหนัก พร้อมกับเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารพลาสติกไซเซอร์ และในการเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของพลาสติกชีวภาพ จะทำการขึ้นรูปพลาสติกคอมโพลีเมอร์ชีวภาพให้ได้รูปร่างเป็นเส้นด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single-screw extruder)

จากนั้นจึงนำชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปไปทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์ (Shimadzu universal testing machine) ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D638 ซึ่งข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จากการทดสอบสมบัติแรงดึงจะถูกนำมาวิเคราะห์ให้อยู่ในความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด

โดยความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดที่ได้จากการทดลองจะถูกนำมาแสดงผลในรูปของกราฟความเค้น-ความเครียด (Stress-strain curve) ซึ่งกราฟความเค้น-ความเครียดของพลาสติกพอลิแล็กติกแอซิดบริสุทธิ์และพลาสติกคอมโพลีเมอร์ชีวภาพพอลิแล็กติกแอซิด ที่ผสมเส้นใยกล้วยที่อัตราส่วน 0.5%, 1% และ 2% โดยน้ำหนัก จะแสดงได้ดังรูป 4.1

หลังจากนั้นกราฟความเค้น-ความเครียดที่ได้จากการทดลอง จะถูกนำไปวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าสมบัติความทนแรงดึงของพลาสติกชีวภาพ ซึ่งประกอบไปด้วยค่าความแข็งแรงทางแรงดึง (Tensile strength), ค่ามอดูลัสแรงดึงหรือมอดูลัสความยืดหยุ่น (Tensile modulus) และค่าการยืดตัวที่จุดขาด (Elongation at breakpoint) เพื่อนำมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลของคุณสมบัติแรงดึงที่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งเป็นผลมาจากการเติมเส้นใยกล้วยลงไปในพลาสติกพอลิแล็กติกแอซิด

โดยค่าความแข็งแรงทางแรงดึง (Tensile strength) หรือค่าความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate tensile strength) นั้นเป็นค่าความแข็งแรงสูงสุดที่วัสดุสามารถทนได้ก่อนที่จะเริ่มขาดออกจากกัน ซึ่งจะหาได้จากจุดที่มีความเค้นสูงที่สุดในกราฟความเค้น-ความเครียดของวัสดุ สำหรับค่ามอดูลัสแรงดึงนั้นสามารถหาได้จากความชันของกราฟเส้นตรงในขณะที่วัสดุยังคงรักษาสภาพความยืดหยุ่นไว้ได้ (Proportional limit) โดยจากกราฟจะสังเกตได้จากบริเวณที่ค่าความเค้นและความเครียดของวัสดุมีความสัมพันธ์แปรผันตรงต่อกัน



รูปที่ 4.1 กราฟความเค้น-ความเครียดของวัสดุคอมโพสิตชีวภาพ PLA ผสมเส้นใยกัญชงที่อัตราส่วนต่าง ๆ ได้แก่ a) Neat PLA, b) 0.5%wt Hemp, c) 1%wt Hemp และ d) 2%wt Hemp

และค่าการยืดตัวที่จุดขาด (Elongation at breakpoint) ของวัสดุซึ่งจะบ่งบอกว่าวัสดุมีการยืดตัวจากเดิมมากน้อยเพียงใด โดยค่าการยืดตัวที่จุดขาดจะสามารถหาได้จากเปอร์เซ็นต์ของอัตราส่วนระหว่างความยาวที่เปลี่ยนแปลงจากเดิม (ΔL) กับความยาวเริ่มต้นของชิ้นงานทดสอบ (L_0)

โดยสมบัติความทนแรงดึงที่อ่านได้จากกราฟความเค้น-ความเครียดของวัสดุพลาสติกพอลิแลกติกแอซิดบริสุทธิ์ และวัสดุพลาสติกพอลิแลกติกแอซิดที่ผสมเส้นใยกัญชงที่อัตราส่วน 0.5%, 1% และ 2% โดยน้ำหนัก ที่ผ่านการทดสอบความทนแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์จะสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 สมบัติความทนแรงดึงของของพลาสติก PLA บริสุทธิ์

ชิ้นทดสอบ	Tensile strength (MPa)	Tensile modulus (GPa)	Elongation at break (%)
ชิ้นที่ 1	20.59	5.10	0.51
ชิ้นที่ 2	29.43	7.06	0.50
ชิ้นที่ 3	14.67	4.93	0.41
เฉลี่ย	21.56	5.70	0.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 สมบัติความทนแรงดึงของของพลาสติก PLA ผสมเส้นใยกล้วยที่อัตราส่วน 0.5%wt

ชั้นทดสอบ	Tensile strength (MPa)	Tensile modulus (GPa)	Elongation at break (%)
ชั้นที่ 1	37.44	5.44	0.72
ชั้นที่ 2	41.17	8.74	0.55
ชั้นที่ 3	33.60	5.53	0.70
เฉลี่ย	37.40	6.57	0.66

ตารางที่ 4.3 สมบัติความทนแรงดึงของของพลาสติก PLA ผสมเส้นใยกล้วยที่อัตราส่วน 1%wt

ชั้นทดสอบ	Tensile strength (MPa)	Tensile modulus (GPa)	Elongation at break (%)
ชั้นที่ 1	43.23	5.54	0.96
ชั้นที่ 2	45.98	6.45	0.69
ชั้นที่ 3	41.65	5.10	0.81
เฉลี่ย	43.62	5.70	0.82

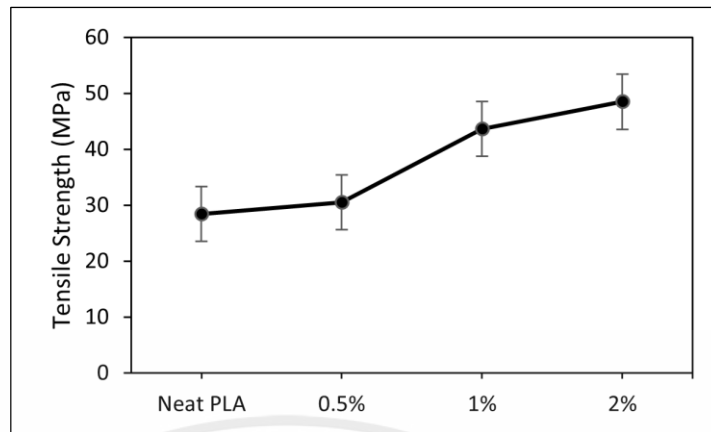
ตารางที่ 4.4 สมบัติความทนแรงดึงของของพลาสติก PLA ผสมเส้นใยกล้วยที่อัตราส่วน 2%wt

ชั้นทดสอบ	Tensile strength (MPa)	Tensile modulus (GPa)	Elongation at break (%)
ชั้นที่ 1	50.87	6.86	0.88
ชั้นที่ 2	46.58	6.70	0.85
ชั้นที่ 3	48.03	7.03	0.72
เฉลี่ย	48.49	6.87	0.82

4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

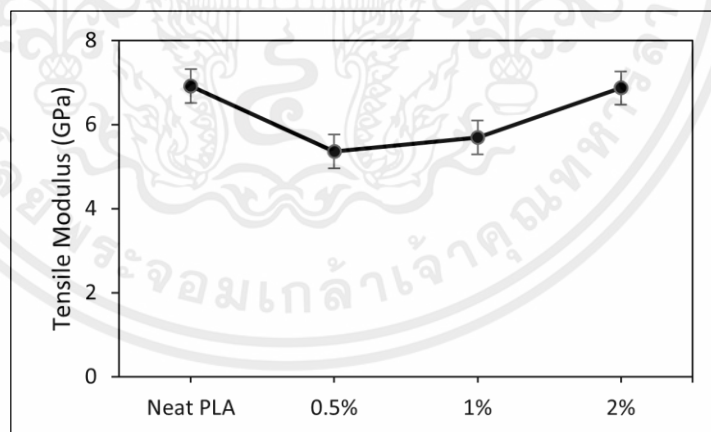
เมื่อนำค่าสมบัติความทนแรงดึงที่หาได้จากกราฟความเค้น-ความเครียดมาหาค่าเฉลี่ยแล้ว จะนำค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งแรงทางแรงดึง ค่ามอดูลัสแรงดึง และค่าการยืดตัวที่จุดขาดของวัสดุที่ได้มาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลการทดลองในรูปของกราฟแสดงค่าสมบัติความทนแรงดึงของพลาสติกคอมโพสิตชีวภาพพอลิแลกติกแอสิตที่ผสมเส้นใยกล้วยที่อัตราส่วนต่าง ๆ ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ค่า Tensile strength ที่ได้จากการทดสอบของวัสดุคอมโพสิตชีวภาพ PLA ผสมกันอยู่ในอัตราส่วนต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.2 แสดงค่าความแข็งแรงทางแรงดึงของพลาสติกพอลิแลกติกแอซิดที่ผสมเส้นใยกล้วยที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่ได้จากการทดสอบ จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณเส้นใยกล้วยเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงทางแรงดึง ซึ่งแสดงถึงความแข็งแรงต่อการทนแรงดึงของวัสดุ มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 28 MPa ไปเป็น 44 MPa เมื่อผสมเส้นใยกล้วยที่อัตราส่วน 2% โดยน้ำหนัก โดยพบว่ามีค่าความแข็งแรงทางแรงดึงเพิ่มขึ้นจากพลาสติกพอลิแลกติกบริสุทธิ์ถึง 41%

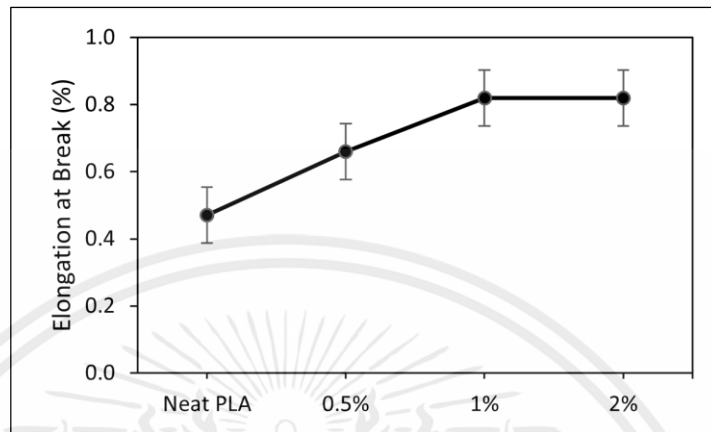


รูปที่ 4.3 ค่า Tensile modulus ที่ได้จากการทดสอบของวัสดุคอมโพสิตชีวภาพ PLA ผสมกันอยู่ในอัตราส่วนต่าง ๆ

ในทางกลับกันค่ามอดูลัสแรงดึง ซึ่งแสดงถึงความทนต่อการเปลี่ยนแปลงความยาวของวัสดุ นั้นมีค่าลดลงจากเดิมเมื่อผสมเส้นใยกล้วยลงในพลาสติกพอลิแลกติกแอซิด ดังที่แสดงในรูปที่ 4.3 และจากนั้นค่ามอดูลัสแรงดึงนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณเส้นใยกล้วยเพิ่มมากขึ้น โดยจะมีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอดูลัสลดลงไปต่ำที่สุดเหลือ 5.36 GPa เมื่อผสมเส้นใยกล้วยที่อัตราส่วน 0.5% โดยน้ำหนัก และมีค่าเพิ่มไปเป็น 6.87 GPa เมื่อผสมเส้นใยกล้วยที่อัตราส่วน 2% โดยน้ำหนัก ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าเริ่มต้นของพลาสติกพอลิแลกติกแอซิดบริสุทธิ์



รูปที่ 4.4 ค่า Elongation at breakpoint ที่ได้จากการทดสอบของวัสดุคอมโพสิตชีวภาพ PLA ผสมใยกล้วยในอัตราส่วนต่าง ๆ

และจากรูปที่ 4.4 ซึ่งแสดงค่าการยืดตัวที่จุดขาดของพอลิแลกติกแอซิดผสมเส้นใยกล้วยในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่ได้จากการทดสอบ จะเห็นได้ว่าค่าการยืดตัวที่จุดขาดของวัสดุมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจาก 0.47% ไปเป็น 0.82% เมื่อผสมเส้นใยกล้วยที่อัตราส่วน 2% โดยน้ำหนัก พบว่าค่าการยืดตัวที่จุดขาด มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยกล้วยเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน โดยพบว่ามีค่ามากกว่าค่าเริ่มต้นของพลาสติกพอลิแลกติกแอซิดบริสุทธิ์ถึง 43%

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองดังกล่าวพบว่าวัสดุพลาสติกพอลิแลกติกแอซิดที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยกล้วยที่อัตราส่วนต่าง ๆ และใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารพลาสติกไซเซอร์นั้นมีความแข็งแรง (Strength) เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการการใช้เส้นใยกล้วยเป็นสารเสริมแรงซึ่งมีสถานะเป็นของแข็งและมีค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นมากกว่าพลาสติกพอลิแลกติกแอซิด เมื่อผสมลงในพลาสติกพอลิแลกติกแอซิดจะทำให้ได้เป็นวัสดุคอมโพสิตชีวภาพที่มีความแข็งแรงมากขึ้นและเปลี่ยนรูปได้ยาก

ในขณะที่ความแข็งแรง (Stiffness) ของวัสดุซึ่งแสดงถึงความทนต่อการเปลี่ยนแปลงความยาวของวัสดุกลับมีค่าลดลงจากเดิม อีกทั้งวัสดุพลาสติกคอมโพสิตชีวภาพจะมีคุณสมบัติความยืดหยุ่น (Ductility) เพิ่มมากขึ้นจากเดิม โดยมีสาเหตุมาจากการเติมสารพอลิเอทิลีนไกลคอลลงในพลาสติกจะทำให้เกิดการสร้างพันธะไฮโดรเจน (H=O) ภายในเมทริกซ์ระหว่างพลาสติกพอลิแลกติกแอซิดและสารพลาสติกไซเซอร์พอลิเอทิลีนไกลคอล

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในการทำวิจัยเรื่อง คุณสมบัติของวัสดุคอมโพสิตชีวภาพพอลิแลกติกแอซิดและเส้นใยกล้วยง ที่เติมสารเติมแต่งพอลิเอทิลีนไกลคอล มีวัตถุประสงค์ในการวิจัยเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของพอลิแลกติกแอซิดที่ผสมเส้นใยกล้วยงที่อัตราส่วนที่แตกต่างกัน ได้แก่ 0.5%, 1% และ 2% โดยน้ำหนัก เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุคอมโพสิตชีวภาพ โดยเพิ่มค่าแข็งแรงทางแรงดึง ความเหนียวและค่าการยืดตัวที่จุดขาดของวัสดุ ให้มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้งานที่หลากหลาย โดยสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค้นคว้าคุณสมบัติของคอมโพสิตชีวภาพพอลิแลกติกแอซิดและเส้นใยกล้วยงที่เติมสารเติมแต่งพอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นพลาสติกไฮเซอร โดยทำการคอมปาวด์เส้นใยกล้วยงที่อัตราส่วนที่ต่างกัน ได้แก่ 0.5%, 1% และ 2% โดยน้ำหนัก และขึ้นรูปชิ้นงานด้วยวิธีกระบวนการอัดรีดโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single-screw extruder) เพื่อนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุต่อไป

จากผลการทดสอบแรงดึงโดยใช้เครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์ (Universal testing machine) สามารถวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองได้ว่าการเสริมแรงพลาสติกพอลิแลกติกแอซิดด้วยเส้นใยกล้วยงที่อัตราส่วนต่างกัน ได้แก่ 0.5%, 1% และ 2% โดยน้ำหนัก พร้อมทั้งเติมสารพลาสติกไฮเซอร PEG นั้นส่งผลให้ค่าความแข็งแรงทางแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตชีวภาพมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของเส้นใยกล้วยงเพิ่มขึ้น ซึ่งจากการทดสอบพบว่าวัสดุมีค่าความทนแรงดึงของวัสดุเท่ากับ 28.42, 30.54, 43.62 และ 48.49 MPa ตามลำดับ

ในขณะที่ค่ามอดูลัสแรงดึงซึ่งแสดงถึงความแข็งแรงของวัสดุจะมีค่าลดลงไปจากค่าเริ่มต้น และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยกล้วยงเพิ่มขึ้น ซึ่งค่ามอดูลัสแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตชีวภาพพอลิแลกติกแอซิดที่ผสมกล้วยงที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่ได้จากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 6.91, 5.36, 5.70 และ 6.87 GPa ตามลำดับ

และค่าการยืดตัวที่จุดขาดของวัสดุคอมโพสิตชีวภาพซึ่งแสดงถึงสมบัติความยืดหยุ่นของวัสดุมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งค่าการยืดตัวที่จุดขาดของวัสดุมีค่าเท่ากับ 0.47, 0.66, 0.82 และ 0.82 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ซึ่งจากผลการวิจัยในครั้งนี้พบว่าวัสดุคอมโพสิตชีวภาพพอลิแลกติกแอซิดและเส้นใยกล้วยงที่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารพลาสติกไฮเซอร ที่อัตราส่วนของเส้นใยกล้วยงเท่ากับ 2% โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนัก แสดงคุณสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการนำไปขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดรีด สังเกตได้จากค่าความแข็งแรงทางแรงดึงและค่าการยืดตัวที่จุดขาดของวัสดุมีค่าเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกคอมโพสิตบริสุทธิ์และพลาสติกคอมโพสิตชีวภาพที่ผสมกันอยู่ในอัตราส่วนอื่น ๆ

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยในครั้งนี้ ผู้ทำวิจัยได้ทดลองและพบปัญหาและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ดังต่อไปนี้

- 1) การบดเส้นใยกล้วยงควรใช้เครื่องบดและอุปกรณ์คัดกรองที่มีประสิทธิภาพ เพื่อให้เส้นใยกล้วยที่ได้มีขนาดเล็กและสม่ำเสมอ เพื่อที่จะไม่ก่อให้เกิดฟองอากาศขณะการคอมปาวด์และขึ้นรูปขึ้นงาน
- 2) ควรมีการปรับสภาพเส้นใยกล้วยก่อนที่จะนำมาคอมปาวด์ เนื่องจากเส้นใยกล้วยที่ผ่านการบดแล้วมีประจุไฟฟ้าสถิต ส่งผลให้เส้นใยมีการเกาะติดกันและกระจายตัวได้ไม่สม่ำเสมอ
- 3) การคอมปาวด์และขึ้นรูปขึ้นงานมีฟองอากาศและขึ้นรูปได้ยาก ดังนั้นควรใช้เครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (Twin-screw extruder) ในการผสม เพื่อเพิ่มความละเอียดของเนื้อวัสดุและง่ายต่อการขึ้นรูปขึ้นงาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] CHIULAN, I., A. FRONE, C. BRADABUR and D.M. PANAITESCU. “Recent advances in 3D printing of aliphatic polyesters”. Bioengineering (Basel). 2017, 5(1), 2.
- [2] SAWPAN, M.A., K.L. PICKERING and ALAN FERNYHOUGH. “Hemp fibre reinforced poly (lactic acid) composites”. Advanced Materials Research. 2007, 29-30, 337-340.
- [3] Ilyas, R.A.; Sapuan, S.M.; Harussani, M.M.; Hakimi, M.Y.A.Y.; Haziq, M.Z.M.; Atikah, M.S.N.; Asyraf, M.R.M.; Ishak, M.R.; Razman, M.R.; Nurazzi, N.M.; et al. “Polylactic Acid (PLA) Biocomposite: Processing, Additive Manufacturing and Advanced Applications”. Polymers 2021, 13, 1326.
- [4] “THC และ CBD ในกัญชา คืออะไร แตกต่างกันอย่างไรร และ มีประโยชน์อะไรบ้าง”. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <https://growstuffshop.com/thc-cbd-knowledge> [สืบค้นเมื่อ 2 เมษายน 2565]
- [5] ฝ่ายเภสัชกรรม สถาบันยาเสพติดติดยุทธศาสตร์. “ลักษณะของกัญชง”. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: <http://www.pmnidat.go.th/thai/downloads/text/T01-60.pdf> [สืบค้นเมื่อ 28 มีนาคม 2565]
- [6] “กัญชง กับประโยชน์และสรรพคุณ ที่คุณอาจจะยังไม่รู้”. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: https://www.rsmall.com/blog/health_benefits_of_hemp. [สืบค้นเมื่อ 28 มีนาคม]
- [7] Ilyas, R.A.; Sapuan, S.M.; Harussani, M.M.; Hakimi, M.Y.A.Y.; Haziq, M.Z.M.; Atikah, M.S.N.; Asyraf, M.R.M.; Ishak, M.R.; Razman, M.R.; Nurazzi, N.M.; et al. “Polylactic Acid (PLA) Biocomposite: Processing, Additive Manufacturing and Advanced Applications”. Polymers 2021, 13, 1326.
- [8] Kandemir, N.; Yemeniciogwlu, A.; Mecitogwlu, Ç.; Elmaci, Z.S.; Arslanogwlu, A.; Göksungur, Y.; Baysal, T. “Production of antimicrobial films by incorporation of partially purified lysozyme into biodegradable films of crude. exopolysaccharides obtained from Aureobasidium pullulans fermentation”. Food Technol. Biotechnol. 2005, 43, 343–350.

- [9] L. Liang, S. Bhagia, M. Li, C. Huang, A.J. Ragauskas. “Cross-linked nanocellulosic materials and their applications”, *ChemSusChem* 13 (2020) 78–87.
- [10] คลิ่งข้อมูลยา. “โพลี เอธิลีน ไกคอล คืออะไรแล้วมีประโยชน์หรือโทษอย่างไรกับร่างกายถ้ารับประทานเข้าไป”. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: https://pharmacy.mahidol.ac.th/dic/QA_full.php?id=2234 [สืบค้นเมื่อ เมษายน 2565]
- [11] M.J. John, S. Thomas. “Biofibres and biocomposites”. *Carbohydrate Polymers*. 2008, 71, 343-364.
- [12] “ทฤษฎีการออกแบบการทดลอง”. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: https://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2557/inma40757pp_ch2.pdf [สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2565]
- [13] “กระบวนการอัดรีด (extrusion)”. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: https://packaging.oie.go.th/new/admin_control/file_technology/7420563891.pdf [สืบค้นเมื่อ 6 ธันวาคม 2565]
- [14] “Polymer Processing I”. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: <http://eng.sut.ac.th/polymer/2015/newversion/administrator/document/subjectDocument/14470345894857.pdf> [สืบค้นเมื่อ 6 ธันวาคม 2565]
- [15] Chia, H.N.;Wu, B.M. “High-resolution direct 3D printed PLGA scaffolds: Print and shrink”. *Biofabrication* 2014, 7, 015002.
- [16] Mazzanti, V.; Malagutti, L.; Mollica, F. “FDM 3D Printing of Polymers Containing Natural Fillers: A Review of their Mechanical Properties”. *Polymers*. 2019, 11, 1094.
- [17] “วิธีการการคอมปาวด์สาร”. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: <https://www.kasemlasyic.com/2019/04/27/polymer-processing-technology> [สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2566]
- [18] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. “การทดสอบแรงดึง”. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: http://eng.sut.ac.th/me/2014/laboratory/document/Tensile_Test.pdf [สืบค้นเมื่อ 5 ตุลาคม 2565]

- [19] Li D, Jiang Y, Lv S, Liu X, Gu J, Chen Q, et al. (2018) “Preparation of plasticized poly (lactic acid) and its influence on the properties of composite materials”. PLoS ONE 13(3): e0193520.
- [20] AL-MULLA, E.A.J., W.Md.Z.W. YUNUS, N.A.B. IBRAHIM and M.Z.Ab. RAHMAN. “Properties of epoxidized palm oil plasticized polylactic acid”. Journal of Materials Science. 2010, 45, 1942–1946.
- [21] “วัสดุคอมโพสิตชีวภาพ”. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: https://www.atdp-textiles.org/blog_fiber_composite [สืบค้นเมื่อ 31 มีนาคม 2566]
- [22] ASTM International. “Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics”. [ออนไลน์] แหล่งที่มา: <https://borgoltz.aoe.vt.edu/aoe3054/manual/expt5/D638.38935.pdf> [สืบค้นเมื่อ 1 เมษายน 2566]





ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับสภาพของเส้นใยกล้วยก่อนนำไปดเพื่อทำการผสมกับพอลิแลกติกแอซิดและสารเติมแต่งพอลิเอทิลีนไกลคอล มีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมอุปกรณ์ที่จะใช้ในการปรับสภาพเส้นใย

1.1 นำเส้นใยกล้วยขมมาตัดให้มีขนาดประมาณ 30 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 แสดงขั้นตอนที่ 1.1

1.2 เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5 % แสดงดังรูปที่ ก.2



รูปที่ ก.2 แสดงขั้นตอนที่ 1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการปรับสภาพเส้นใย

2.1 เทสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5 % ปริมาณ 52.4 กรัม ต่อน้ำ 1 ลิตรลง
กะละมังสำหรับการปรับสภาพ คนสารให้เข้ากัน แสดงดังรูปที่ ก.3



รูปที่ ก.3 แสดงขั้นตอนที่ 2.1

2.2 แช่เส้นใยกัญชงทิ้งไว้ประมาณ 4 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ ก.4



รูปที่ ก.4 แสดงขั้นตอนที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ล้างเส้นใยกล้วยชงด้วยน้ำเปล่า จนกว่าค่า pH จะเท่ากับ 7 ใช้กระดาษลิตมัสวัดค่า pH แสดงดังรูปที่ ก.5



รูปที่ ก.5 แสดงขั้นตอนที่ 2.3

2.4 นำเส้นใยกล้วย อบไล่ความชื้นในตู้อบ อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส โดยวัดน้ำหนักทุก ๆ 10 นาที จนกว่าน้ำหนักเส้นใยกล้วยจะคงที่ แสดงดังรูปที่ ก.6



รูปที่ ก.6 แสดงขั้นตอนที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

ภาพสำหรับการบดเส้นใยกล้วยงให้มีขนาดเฉลี่ยประมาณ 180 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบดเส้นใยกล้วยที่ได้จากการปรับสภาพ โดยผ่านการกรองให้ได้ขนาดเฉลี่ยประมาณ 180 ไมครอน ตามที่ต้องการก่อนนำเส้นใยมาคอมปาวด์กับพอลิแลกติกแอซิด

1. การบดเส้นใยกล้วยให้มีขนาดเล็กลง

1.1 นำเส้นใยกล้วยมาตัดให้มีขนาดประมาณ 2 เซนติเมตรก่อนนำไปปั่น แสดงดังรูปที่ ข.1



รูปที่ ข.1 แสดงขั้นตอนที่ 1.1

1.2 นำเส้นใยกล้วยที่ตัดมาปั่นในเครื่องปั่นน้ำผลไม้ ปั่นจนกว่าเส้นใยกล้วยจะกลายเป็นผง แสดงดังรูปที่ ข.2



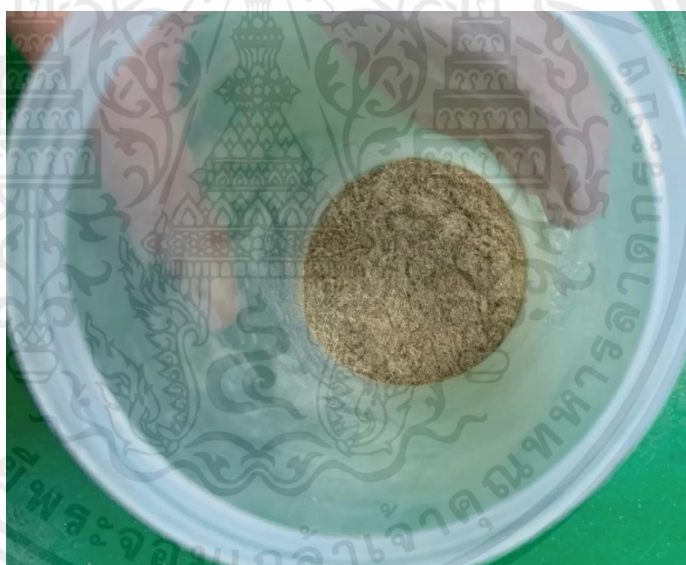
รูปที่ ข.2 แสดงขั้นตอนที่ 1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 นำเส้นใยกล้วยที่ได้จากการปั่นจนกลายเป็นผง มากรองด้วยตะแกรงที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง 180 ไมครอน แสดงดังรูปที่ ข.3 และ ข.4



รูปที่ ข.3 แสดงขั้นตอนที่ 1.3 (a)



รูปที่ ข.4 แสดงขั้นตอนที่ 1.3 (b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค

ภาพสำหรับการคอมพิวเตอร์พอลิแลกติกแอซิด เส้นใยักยุง และพอลิเอทิลีนไกลคอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การเตรียมส่วนผสมระหว่างพอลิแลกติกแอซิดและเส้นใยกล้วยที่อัตราส่วนต่าง ๆ
 - 1.1 ชั่งน้ำหนักและเตรียมส่วนผสมพอลิแลกติกแอซิด เส้นใยกล้วย และพอลิเอทิลีนไกลคอล ดังแสดงในรูปที่ ค.1



รูปที่ ค.1 แสดงขั้นตอนที่ 1.1

- 1.2 ผสมส่วนผสมที่เตรียมไว้เข้าด้วยกันและเทลงในเครื่อง Single-screw extruder เพื่อคอมปาวด์ให้เป็นเม็ดพลาสติกชีวภาพ ดังแสดงในรูปที่ ค.2



รูปที่ ค.2 แสดงขั้นตอนที่ 1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง

ภาพสำหรับการขึ้นรูปชิ้นงานโดยวิธีกระบวนการอัดรีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การเตรียมอุปกรณ์สำหรับการขึ้นรูปด้วยเครื่อง Single-screw extruder
 - 1.1 ตั้งค่าอุณหภูมิจาก Feeder zone ถึง die ให้มีค่าเท่ากับ 150-175-175-160 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และตั้งค่าความเร็วรอบสกรูเท่ากับ 10 - 20 รอบต่อนาที แสดงดังรูปที่ ง.1



รูปที่ ง.1 แสดงขั้นตอนที่ 1.1

2. การขึ้นรูปขึ้นงานด้วยกระบวนการอัดรีด
 - 2.1 นำเม็ดพลาสติกชีวภาพที่ทำการคอมปาวด์ไว้หลงไปในเครื่อง แสดงดังรูปที่ ง.2



รูปที่ ง.2 แสดงขั้นตอนที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 นำเส้นใยพลาสติกที่ออกจากเครื่องอัดรีดผ่านน้ำเปล่า เพื่อให้อุณหภูมิของเส้นใยลดตัวลง แสดงดังรูปที่ ง.3

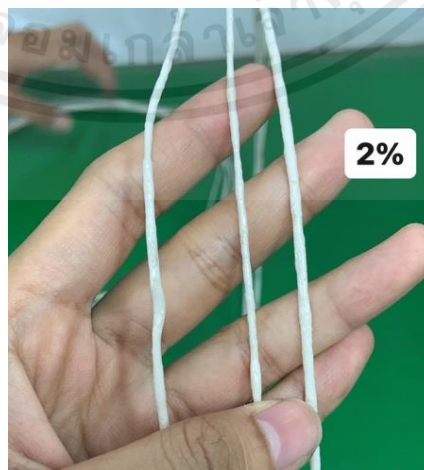


รูปที่ ง.3 แสดงขั้นตอนที่ 2.2

2.3 ทำการขึ้นรูปเม็ดพลาสติกที่ผ่านการคอมปาวด์ ด้วยวิธีการอัดรีดออกมาเป็นเส้นใย ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ ง.4 ถึงรูปที่ ง.7

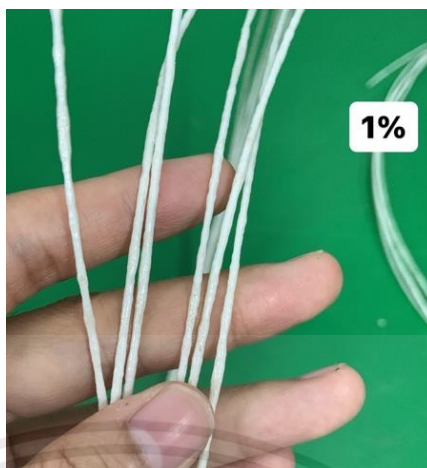


รูปที่ ง.4 แสดงขั้นตอนที่ 2.3 (a)

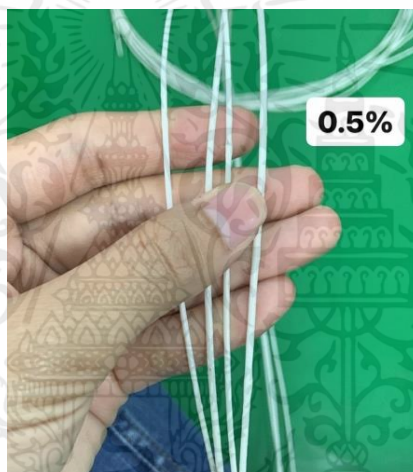


รูปที่ ง.5 แสดงขั้นตอนที่ 2.3 (b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.6 แสดงขั้นตอนที่ 2.3 (c)



รูปที่ ง.7 แสดงขั้นตอนที่ 2.3 (d)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก จ

ภาพสำหรับการทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การเตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดสอบ

1.1 ตัดเส้นใหญ่ให้มีขนาดความยาวเท่ากับ 17 เซนติเมตร และทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน โดยแต่ละอัตราส่วนผสม จะทำการทดสอบทั้งหมด 3 ครั้ง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยแสดงดังรูปที่ จ.1



รูปที่ จ.1 แสดงขั้นตอนที่ 1.1

2. การทดสอบแรงดึง

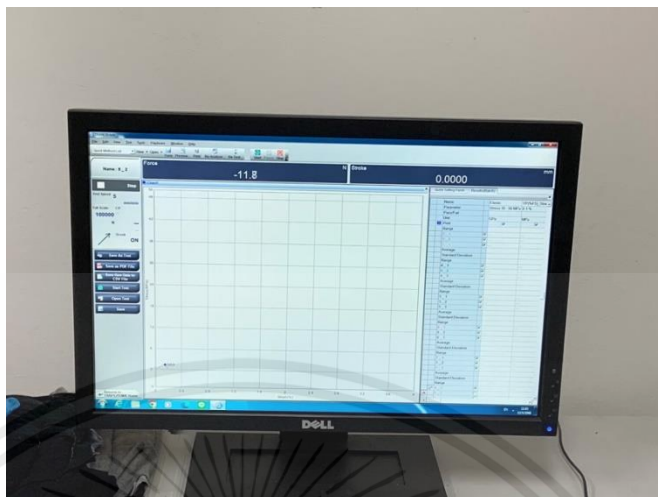
2.1 ตั้งค่าเครื่อง Universal testing machine โดยกำหนดความเร็วในการดึงของเครื่องเท่ากับ 5 มิลลิเมตรต่อนาที และใส่ชิ้นงานที่จะทดสอบเข้ากับตัวจับชิ้นงานเปิดเครื่องให้เริ่มดึงชิ้นงาน แสดงดังรูปที่ จ.2



รูปที่ จ.2 แสดงขั้นตอนที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เมื่อขึ้นงานทดสอบเกิดการแตกหักหรือขาดออกจากกัน จึงบันทึกค่าแรงกระทำและความยาวที่เปลี่ยนแปลงไป แสดงดังรูปที่ จ.3



รูปที่ จ.3 แสดงขั้นตอนที่ 2.2

2.3 ทำการทดสอบซ้ำโดยใช้ชิ้นงานที่ผสมด้วยอัตราส่วนผสมอื่น จากนั้นทำการบันทึกผลที่ได้จากการทดสอบนำมาผลที่ได้จากการทดสอบมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ ตามที่ออกแบบไว้ แสดงดังรูปที่ จ.4



รูปที่ จ.4 แสดงขั้นตอนที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ฉ

ภาพสำหรับการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ที่อัตราส่วนการผสมต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

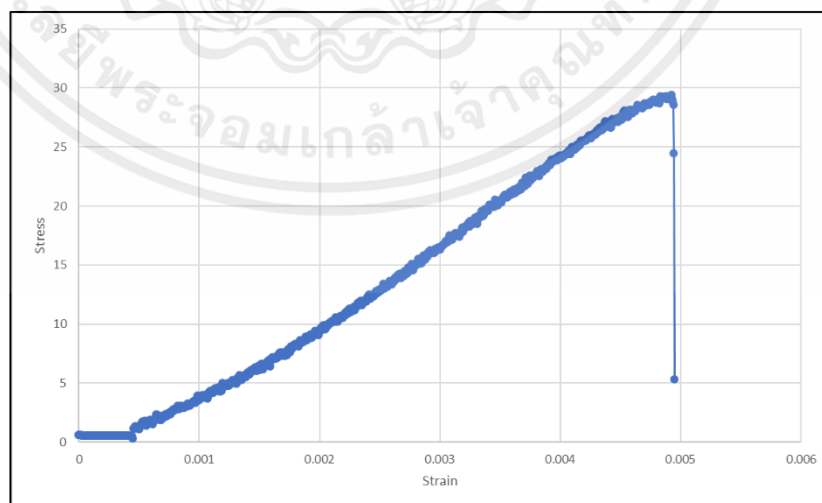
1. การสร้างกราฟความเค้น-ความเครียด โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel จากข้อมูลดิบที่ได้จากการทดสอบแรงดึง

1.1 คำนวณค่าความเค้นและความเครียด จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.1 และ 2.2 แสดงดังรูปที่ ฉ.1

Force, N	dL (mm)	Strain	Stress (MPa)
1.84377	0	0	0.58689022
1.84377	0	0	0.58689022
1.84377	0.000125	7.3529E-07	0.58689022
1.84377	0.0004375	2.5735E-06	0.58689022
1.84377	0.00097917	5.7598E-06	0.58689022
1.84377	0.001625	9.5588E-06	0.58689022
1.84377	0.00233333	1.3725E-05	0.58689022
1.84377	0.00308333	1.8137E-05	0.58689022
1.811981	0.00383333	2.2549E-05	0.57677147
1.796087	0.0045625	2.6838E-05	0.57171225
1.796087	0.00533333	3.1373E-05	0.57171225
1.796087	0.00616667	3.6275E-05	0.57171225
1.796087	0.00702083	4.1299E-05	0.57171225
1.796087	0.00789583	4.6446E-05	0.57171225
1.796087	0.00877083	5.1593E-05	0.57171225
1.796087	0.009625	5.6618E-05	0.57171225
1.796087	0.0105	6.1765E-05	0.57171225
1.796087	0.011375	6.6912E-05	0.57171225

รูปที่ ฉ.1 แสดงขั้นตอนที่ 1.1

1.2 พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเครียด (แกน x) และความเค้น (แกน y) แสดงดังรูปที่ ฉ.2



รูปที่ ฉ.2 แสดงขั้นตอนที่ 1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเปรียบเทียบและหาค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ

2.1 อ่านค่าจากกราฟความเค้น-ความเครียด และนำมาหาค่าเฉลี่ยของแต่ละอัตราส่วน ดังแสดงในรูปที่ ๓.3

No.	Tensile strength	Tensile modulus	Elongation
	(Mpa)	(Gpa)	at break
1_1	20.59	5.10	0.51
1_2	29.43	7.06	0.50
1_3	14.67	4.93	0.41
Avarage	21.56	5.70	0.47

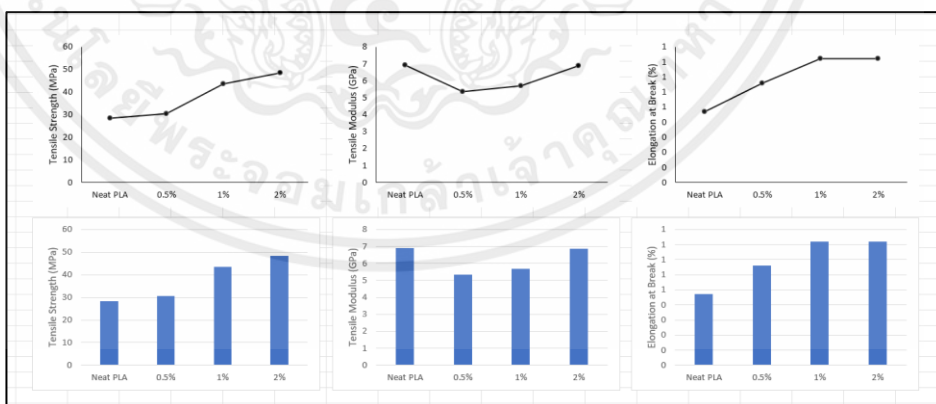
No.	Tensile strength	Tensile modulus	Elongation
	(Mpa)	(Gpa)	at break
2_1	37.44	5.44	0.72
2_2	41.17	8.74	0.55
2_3	33.60	5.53	0.70
Avarage	37.40	6.57	0.66

No.	Tensile strength	Tensile modulus	Elongation
	(Mpa)	(Gpa)	at break
3_1	43.23	5.54	0.96
3_2	45.98	6.45	0.69
3_3	41.65	5.10	0.81
Avarage	43.62	5.70	0.82

No.	Tensile strength	Tensile modulus	Elongation
	(Mpa)	(Gpa)	at break
4_1	50.87	6.86	0.88
4_2	46.58	6.70	0.85
4_3	48.03	7.03	0.72
Avarage	48.49	6.87	0.82

รูปที่ ๓.3 แสดงขั้นตอนที่ 2.1

2.2 นำค่าเฉลี่ยที่ได้จากแต่ละอัตราส่วนมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผล ดังแสดงในรูปที่ ๓.4



รูปที่ ๓.4 แสดงขั้นตอนที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้