

การเสริมคุณสมบัติเชิงกลของพลาสติกชีวภาพกรดพอลิแลคติกด้วยเส้นใยกัญชง
Improvement of mechanical properties of Polylactic acid bioplastic
with hemp fiber



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเสริมคุณสมบัติเชิงกลของพลาสติกชีวภาพรตพอลิแลคติกด้วยเส้นใยกล้วยง



นางสาวชัชวัญ เหลืองกมลจินดา
นายชูโชค ประคัลถวงส์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Improvement of mechanical properties of Polylactic acid bioplastic
with hemp fiber



Chukwan Luangkamoljinda
Chuchok Prakunpawong

A REPORT SUBMITTED IN PARTAIL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE
DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEER
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ เรื่อง การเสริมคุณสมบัติเชิงกลของพลาสติกชีวภาพกรดพอลิแลคติกด้วยเส้นใย
กล้วยง
โดย นางสาวชัชวัญ เหลืองกมลจินดา
นายชูโชค ประคัลถวงส์
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.กุลนันท์ เกียรติกิตติพงษ์
ปริญญานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์



ประธานกรรมการ

(รศ.ดร.กุลนันท์ เกียรติกิตติพงษ์)



กรรมการ

(ผศ.ดร.อมตะ อนันต์พินิจวัฒนา)



กรรมการ

(ผศ.ดร.ภัทรานิษฐ์ วงศ์พร้อมรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ เรื่อง	การเสริมคุณสมบัติเชิงกลของพลาสติกชีวภาพกรดพอลิแลคติกด้วยเส้นใย กล้วยง
โดย	นางสาวชูขวัญ เหลืองกมลจินดา นายชูโชค ประคัลถวงส์
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2565
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.กุลนันท์ เกียรติกิตติพงษ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการเสริมคุณสมบัติเชิงกลของพลาสติกชีวภาพกรดพอลิแลคติกด้วยเส้นใยกล้วยง ที่ผสมในอัตราส่วน 95 ต่อ 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล โดยคุณสมบัติเชิงกลที่จะศึกษาคือ ค่าความต้านทานแรงดึง ค่าเปอร์เซ็นต์ความยืด ณ จุดขาด และค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น นอกจากนี้ยังศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของการปรับค่าพารามิเตอร์ในเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยวที่ส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของคอมโพสิต โดยพารามิเตอร์ที่จะปรับคือค่าอุณหภูมิที่หัวได 170 180 190 องศาเซลเซียสตามลำดับ อุณหภูมิของบาร์เรล 160 170 180 องศาเซลเซียสตามลำดับ และความเร็วในการหมุนของสกรู 30 40 50 รอบต่อนาทีตามลำดับ ทั้งหมดจะแบ่งปรับเป็น 9 การทดลอง โดยแต่ละการทดลองจะถูกออกแบบด้วยวิธีการ ANOVA รูปแบบ $L_9(3^3)$ และใช้โปรแกรม Minitab 19 ในการคำนวณทางสถิติด้วยวิธีทากูชิ จากการศึกษาพบว่าคุณสมบัติเชิงกลทั้ง 3 ของคอมโพสิตดีกว่าของพลาสติกชีวภาพกรดพอลิแลคติกที่ไม่ผสมถึงแม้จะผสมแค่ 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล เนื่องจากเส้นใยได้กระจายตัวเข้าไปในเมทริกซ์ของพลาสติก และได้ช่วยกระจายแรงดึงที่คอมโพสิตได้รับ สำหรับการปรับค่าพารามิเตอร์ในเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว เมื่อนำผลคุณสมบัติเชิงกลที่ได้ไปคำนวณทางสถิติด้วยวิธีทากูชิ ทำให้ทราบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการปรับเพื่อเพิ่มค่าค่าความต้านทานแรงดึงและค่าเปอร์เซ็นต์ความยืด ณ จุดขาด คือค่าอุณหภูมิที่หัวได 180 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของบาร์เรล 180 องศาเซลเซียส และความเร็วในการหมุนของสกรู 50 รอบต่อนาที และสำหรับการปรับเพื่อให้ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นมากที่สุด คือค่าอุณหภูมิที่หัวได 180 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของบาร์เรล 170 องศาเซลเซียส และความเร็วในการหมุนของสกรู 50 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Improvement of mechanical properties of Polylactic acid bioplastic with hemp fiber
By	Miss Chukwan Luangkamoljinda Mister Chuchok Prakunpawong
Degree	Bachelor of Engineering
Major	Chemical Engineering
Year	2022
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Kunlanan Kiatkittipong

Abstract

The purpose of this research is to study the Improvement of mechanical properties of Polylactic acid bioplastic with hemp fiber. By mixed at a ratio of 95 to 5 percent by mass. The mechanical properties to be studied are tensile strength percentage elongation at break and modulus of elasticity. It also studies the effects of parameterization in single screw extruders on the mechanical properties of composites. The parameters to be adjusted are die temperature 170, 180, 190 °C barrel temperature 160, 170, 180 °C and screw rotation speed 30, 40, 50 rpm, all of which are divided into 9 experiments. Each experiment was designed using the L9(3³) ANOVA method and Taguchi method was used to calculate the statistical data using Minitab 19. The study found that the mechanical properties of all 3 composites were better than those of the unmixed polylactic acid bioplastics even at only 5 percent by mass because the fibers have dispersed into the matrix of the plastic. and has helped dissipate the tensile strength that the composite received. For adjusting parameters in single screw extruders. When the results of the obtained mechanical properties were calculated statistically by the Taguchi method. It was found that the optimal parameters for adjustment to increase tensile strength and percent elongation at break were die temperature 180 °C barrel temperature 180 °C and screw rotation speed 50 rpm and for adjusting to maximize the modulus of elasticity is the head temperature of 180 °C the barrel temperature of 170 °C and the screw rotation speed of 50 rpm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จะสำเร็จลุล่วงด้วยดีไม่ได้หากปราศจากการสนับสนุนทั้งทางทฤษฎีและปฏิบัติจาก รศ.ดร.กุลนันท์ เกียรติกิตติพงษ์ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมีของข้าพเจ้า อาจารย์ใส่ใจและได้ให้คำแนะนำรวมถึงการสนับสนุนอย่างดีมาตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา ข้าพเจ้าทั้งสองรู้สึกซาบซึ้งและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความอนุเคราะห์ของอาจารย์

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วิภู ศรีสืบสาย ที่คอยให้คำแนะนำ รวมถึงช่วยประสานงานการใช้งานเครื่องมือต่าง ๆ ที่จำเป็นต่องานวิจัย อีกทั้งยังคอยช่วยชี้แนะแนวทางในการแก้ไขปัญหาตลอดช่วงการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าทั้งสองขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อมตะ อนันต์พิณีวัฒนา และ ผศ.ดร.ภัทรานิษฐ์ วงศ์พร้อมรัตน์ ผู้ที่เป็นกรรมการในการตรวจสอบเล่มปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ที่คอยให้คำแนะนำและคำชี้แนะในการแก้ไขสิ่งที่บกพร่อง

ขอขอบพระคุณคุณกัทร สุขพิมาย เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมที่ได้ให้การช่วยเหลือตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาในเรื่องของการใช้งานอุปกรณ์และเครื่องมือที่จำเป็นต่องานวิจัย

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ธุรการและเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานประจำที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการขอใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย รวมถึงคอยดูแลและอำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัย

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าทั้งสองขอขอบพระคุณผู้ปกครองและเพื่อนร่วมภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่ร่วมให้ความสนับสนุน เชื่อมั่น และเป็นกำลังใจตลอดระยะเวลาในการทำงานวิจัยครั้งนี้ ทำให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

บทคัดย่อ	5
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	6
กิตติกรรมประกาศ.....	7
สารบัญ.....	III
สารบัญตาราง.....	V
สารบัญรูป.....	VI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ต้นกัญชง (Hemp)	3
2.2 พลาสติกชีวภาพกรดพอลิแลคติก	4
2.3 วิธีการปรับสภาพเส้นใยกัญชง	5
2.4 เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single screw extruder).....	6
2.5 วิธีการทากุชิ (Taguchi Method).....	8
2.6 กระบวนการขึ้นรูปแบบกดอัด	10
2.7 เครื่องทดสอบแรงดึงวัสดุแบบเอนกประสงค์.....	11
2.8 คุณสมบัติเชิงกล	11
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	12
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ	17
3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี.....	17
3.2 การปรับสภาพเส้นใยกัญชง	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การผสมพลาสติกพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยกล้วย.....	18
3.4 การกัดอัดขึ้นรูปพลาสติก.....	20
3.5 การศึกษาหาคุณสมบัติเชิงกล	21
บทที่ 4.....	22
4.1 ผลของการผสมเส้นใยกล้วยต่อคุณสมบัติเชิงกล.....	22
4.2 ผลของการตั้งค่าเครื่องอัดรีดสกรูเดียวในการผสมคอมโพสิต	23
บทที่ 5.....	31
5.1 สรุปผลการทดลอง	31
5.2 ข้อเสนอแนะ	32
บรรณานุกรม.....	33
ภาคผนวก ก.....	36
ภาคผนวก ข.....	38
ภาคผนวก ค.....	49
ภาคผนวก ง.....	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยแก้วที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพ [7]	3
ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพของเส้นใยแก้ว [8].....	4
ตารางที่ 2.4 Standard Orthogonal Array	8
ตารางที่ 2.5 Temperature profile ที่ใช้ในการศึกษา	14
ตารางที่ 3.1 ตัวแปรและค่าของตัวแปรที่ใช้ในการผสมภายในเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว	18
ตารางที่ 3.2 การตั้งค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	18
ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยของ Tensile strength, Elongation at Break และ Elastic modulus.....	21
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความต้านทานแรงดึงจากตัวแปรทั้งหมดในระดับต่ำ กลาง และสูง	22
ตารางที่ 4.3 แสดงค่า S/N ratio และค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานแรงดึง	23
ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองสำหรับอัตราส่วน S/N ของค่าความต้านทานแรงดึง.....	23
ตารางที่ 4.5 แสดงค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นจากตัวแปรทั้งหมดในระดับต่ำ กลาง และสูง	25
ตารางที่ 4.6 แสดงค่า S/N ratio และค่าเฉลี่ยของค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น	25
ตารางที่ 4.7 ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองสำหรับอัตราส่วน S/N ของค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น	26
ตารางที่ 4.8 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดจากตัวแปรทั้งหมดในระดับต่ำ กลาง และสูง	27
ตารางที่ 4.9 แสดงค่า S/N ratio และค่าเฉลี่ยของค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด	28
ตารางที่ 4.10 แสดงค่า S/N ratio และค่าเฉลี่ยของค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด	28
ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติของโซเดียมไฮดรอกไซด์	32
ตารางที่ ก.2 คุณสมบัติของน้ำมันแร่	33

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 วิธีการเตรียมกรดแลคติก [6].....	4
รูปที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุล D และ L ของ Lactic acid [6]	5
รูปที่ 2.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของ PLA กับวัสดุบรรจุภัณฑ์พลาสติกทั่วไปชนิดอื่นๆ [13]	5
รูปที่ 2.4 การปรับสภาพด้วยต่างของเส้นใยกัญชง : (a) ปฏิกิริยาการชุบโดยทั่วไปในที่ที่มีต่าง (b) โครงสร้างแผนผังของเซลลูโลสที่มีลิกนินและเฮมิเซลลูโลส (c) และ (d) อัลคาไลน์ไฮโดรไลซิสของ พันธะเอสเทอร์และอีเทอร์และการกำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลส [5].....	6
รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว [16]	7
รูปที่ 2.6 แสดงค่าความต้านทานแรงดึงและ Young's modulus ของคอมโพสิต [2].....	14
รูปที่ 2.7 สภาพพื้นผิวของคอมโพสิตที่ผสมกับเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีที่ต่างกัน [2].....	14
รูปที่ 2.8 รูปแบบของสกรูที่ใช้ในการศึกษา.....	15
รูปที่ 4.1 ผลกระทบของปัจจัยการควบคุมในอัตราส่วน S/N ของค่าความต้านทานแรงดึง	25
รูปที่ 4.2 ผลกระทบของปัจจัยการควบคุมในอัตราส่วน S/N ของค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น.....	27
รูปที่ 4.3 ผลกระทบของปัจจัยการควบคุมในอัตราส่วน S/N ของค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด	30
รูปที่ ก.1 สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทดลอง	36
รูปที่ ก.2 สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทดลอง	37
รูปที่ ข.1 จำนวนสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ต่อน้ำ 1 ลิตรในการทดลอง	38
รูปที่ ข.2 การผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์กับน้ำ.....	38
รูปที่ ข.3 เส้นใยกัญชงที่ถูกแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 4 ชั่วโมง	39
รูปที่ ข.4 เทสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ออก	39
รูปที่ ข.5 ล้างเส้นใยด้วยน้ำจนกระทั่งน้ำจากเส้นใยเป็นกลาง	40
รูปที่ ข.6 แบ่งเส้นใยกัญชงเตรียมเข้าตู้อบ	40
รูปที่ ข.7 นำภาคที่มีเส้นใยกัญชงเข้าอบที่ 85 องศาเซลเซียสจนกระทั่งน้ำหนักเส้นใยคงที่	41
รูปที่ ข.8 เส้นใยกัญชงที่ถูกตัดเพื่อเตรียมปั่นลดขนาด.....	41
รูปที่ ข.9 ปั่นเส้นใยที่ได้จากตัดให้มีขนาดตามต้องการ.....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.10 ผสมพลาสติกกับเส้นใยกล้วยงให้เข้ากัน	42
รูปที่ ข.11 ตั้งค่าเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยวตามทีออกแบบการทดลอง	43
รูปที่ ข.12 คอมโพลีเมอร์ที่ได้จากเครื่องอัดรีด.....	43
รูปที่ ข.13 ปั่นคอมโพลีเมอร์ให้มีขนาดเล็กกลงเพื่อเข้าเครื่องกดอัด.....	44
รูปที่ ข.14 นำคอมโพลีเมอร์ที่ได้จากการปั่นมาเรียงในแม่แบบ.....	44
รูปที่ ข.15 การตั้งค่าอุณหภูมิของเครื่องกดอัด.....	45
รูปที่ ข.16 การตั้งค่าเวลาในการกดอัดของเครื่องกดอัด.....	45
รูปที่ ข.17 คอมโพลีเมอร์ที่ได้จากการขึ้นรูปโดยเครื่องกดอัด	46
รูปที่ ข.18 พลาสติก PLA ที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องกดอัด	46
รูปที่ ข.19 คอมโพลีเมอร์ที่ขึ้นรูปจากการกดอัด	47
รูปที่ ข.20 การตั้งค่าเครื่อง UTM ในการวัดแรงดึง	47
รูปที่ ข.21 ใส่ตัวทดสอบในเครื่อง UTM	48
รูปที่ ข.22 ขั้นตอนในการดึงตัวอย่างทดสอบ.....	48
รูปที่ ค.1 กราฟความเค้นต่อความเครียดของการทดลองที่ 1.....	49
รูปที่ ค.2 กราฟความเค้นต่อความเครียดของการทดลองที่ 2.....	49
รูปที่ ค.3 กราฟความเค้นต่อความเครียดของการทดลองที่ 3.....	50
รูปที่ ค.4 กราฟความเค้นต่อความเครียดของการทดลองที่ 4.....	50
รูปที่ ค.5 กราฟความเค้นต่อความเครียดของการทดลองที่ 5.....	50
รูปที่ ค.6 กราฟความเค้นต่อความเครียดของการทดลองที่ 6.....	51
รูปที่ ค.7 กราฟความเค้นต่อความเครียดของการทดลองที่ 7.....	51
รูปที่ ค.8 กราฟความเค้นต่อความเครียดของการทดลองที่ 8.....	51
รูปที่ ค.9 กราฟความเค้นต่อความเครียดของการทดลองที่ 9.....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันพลาสติกหลากหลายชนิดถูกใช้งานในชีวิตประจำวัน ซึ่งพลาสติกชีวภาพกรดพอลิแลคติก (PLA) ก็เป็นอีกหนึ่งในพลาสติกที่ผู้คนมักจะเลือกใช้ เนื่องด้วยเป็นพลาสติกชีวภาพที่ผลิตจากวัสดุธรรมชาติ เช่น อ้อย ข้าวโพด ธัญพืชและมันสำปะหลัง จึงทำให้พลาสติกชนิดนี้สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ [1] นอกเหนือจากที่กล่าวมาตัวพลาสติกยังทนอุณหภูมิได้ต่ำจึงไม่จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิที่สูงตอนขึ้นรูปขึ้นงานทำให้พิมพ์ขึ้นงานได้ง่าย สีของพลาสติกก็มีให้เลือกเยอะกว่าพลาสติกชนิดอื่น พลาสติกชีวภาพกรดพอลิแลคติกจึงเป็นตัวเลือกที่ดีตัวเลือกหนึ่ง แต่เนื่องจากพลาสติกชนิดนี้ไม่สามารถรับแรงกระแทกหรือความร้อนสูงได้ ทำให้ชิ้นงานที่ขึ้นรูปได้ส่วนใหญ่จะถูกจำกัดเป็นชิ้นงานขนาดเล็กและเป็นชิ้นงานที่ไม่ได้ถูกนำไปใช้งานอย่างหนักกลางแจ้ง

การผสมเส้นใยหรือสารเติมแต่งกับพลาสติกชีวภาพกรดพอลิแลคติกเป็นอีกหนึ่งวิธีที่จะช่วยแก้ข้อจำกัดที่กล่าวมา โดยเส้นใยหรือสารเติมแต่งจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของพลาสติกทำให้มีความแข็งแรงมากขึ้น ซึ่งเส้นใยก็ถูกขังเป็นเส้นใยธรรมชาติที่แข็งแรงและแข็งมากชนิดหนึ่ง จึงทำให้เป็นตัวเลือกเหมาะสำหรับนำมาผสมกับพลาสติกชีวภาพกรดพอลิแลคติกเพื่อเพิ่มความแข็งแรง [2] แต่ด้วยความที่เป็นเส้นใยจากธรรมชาติ มีข้อจำกัดในคุณสมบัติจึงต้องมีการปรับสภาพเส้นใยก่อนใช้ผสมกับพลาสติก

และในการผสมมีความจำเป็นต้องใช้เครื่องอัดรีดในการทำให้เส้นใยผสมเข้ากับพลาสติกได้อย่างดี โดยเครื่องที่ใช้จะเป็นเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก โดยใช้ความร้อนและแรงดันในการอัดรีด โดยให้ความร้อนแก่พลาสติกจนถึงจุดหลอมเหลว จากนั้นจึงดันผ่านแม่พิมพ์เพื่อทำให้วัสดุมีรูปร่างตามที่ต้องการ

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นทั้งในขั้นตอนการปรับสภาพเส้นใย ปริมาณเส้นใยที่จะใช้ผสม รวมถึงขั้นตอนในการปรับพารามิเตอร์เครื่องอัดรีด เพื่อให้ได้พลาสติกชีวภาพกรดพอลิแลคติกที่ผสมกับเส้นใยที่ถูกที่มีคุณภาพของคุณสมบัติเชิงกลมากยิ่งขึ้น เพื่อลดจุดด้อยของพลาสติก

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อปรับปรุงความต้านทานแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และมอดูลัสความยืดหยุ่นของพลาสติกชีวภาพพอลิแลคติกแอซิด
- 2) เพื่อหาอิทธิพลของอุณหภูมิของไต ความเร็วสกรูและอุณหภูมิของบาร์เรลที่ใช้ตั้งค่าในเครื่องอัดรีดแบบเดี่ยวในการผสมต่อความต้านทานแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และมอดูลัสความยืดหยุ่นของคอมโพสิต

1.3 ขอบเขตการศึกษา

- 1) ศึกษาวิธีการที่ใช้ในการปรับสภาพเส้นใยกัญชง
- 2) ศึกษาวิธีการปรับอุณหภูมิของไต ความเร็วสกรูและอุณหภูมิของบาร์เรลที่ใช้ตั้งค่าของเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว
- 3) ศึกษาความต้านทานแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และมอดูลัสความยืดหยุ่นของพลาสติกชีวภาพกรดพอลิแลคติกที่ผสมกับเส้นใยกัญชงในสัดส่วน 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล และเปรียบเทียบกับพลาสติกชีวภาพกรดพอลิแลคติกที่ไม่ได้ผสมเส้นใย

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1) ทำให้ทราบถึงวิธีที่ใช้ในการปรับสภาพเส้นใยกัญชงและปริมาณที่ใช้ในการผสม
- 2) ทำให้ทราบถึงข้อมูลการปรับอุณหภูมิของไต ความเร็วสกรูและอุณหภูมิของบาร์เรลของเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว
- 3) สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมที่ใช้พลาสติกชีวภาพกรดพอลิแลคติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาเกี่ยวกับการผสมเส้นใยกัญชากับพลาสติกชีวภาพกรดพอลิแลคติก มีความจำเป็นต้องศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 ต้นกัญชง (Hemp)

ต้นกัญชง หรือชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Cannabis sativa L. Subsp. sativa* เป็นพืชที่เก่าแก่ และในปัจจุบันถือได้ว่าเป็นใยอุตสาหกรรมจากกัญชงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากที่สุดชนิดหนึ่ง ด้วยความที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คล้ายกับต้นกัญชาซึ่งคือ *Cannabis sativa L. Subsp. indica* อันเนื่องมาจากมีต้นกำเนิดเดียวกัน ทำให้คนมักเกิดความเข้าใจผิด [3] ความต่างของกัญชงและกัญชาคือ ปริมาณ δ -9-tetrahydrocannabinol (THC) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของกัญชาที่มีฤทธิ์ทางชีววิทยาที่ใช้ในการผลิตยาผิดกฎหมายในกัญชงนั้นต่ำมาก (น้อยกว่า 0.3 เปอร์เซ็นต์ ต่อมวลแห้ง) [4] จึงไม่จัดอยู่ในประเภทสารเสพติด

2.1.1 ลักษณะทั่วไปของต้นกัญชง

ต้นกัญชงเป็นพรรณไม้ล้มลุกที่มีอายุเพียงปีเดียว ลำต้นเป็นสีเขียวตั้งตรง สูงได้ถึง 2-4 เมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5-16 มิลลิเมตร ใบกัญชงมีลักษณะใบเป็นรูปฝ่ามือ ใบแยกเป็นแฉกประมาณ 7-9 แฉก แต่ละแฉกเรียวยาวแหลมและปลายใบสอบ ส่วนขอบใบเป็นฟันเลื่อยดังรูปที่ 2.1.1 ดอกกัญชงมีลักษณะเป็นช่ออยู่ตามซอกใบและปลายยอด ตัวดอกมีขนาดเล็กสีขาวดังรูปที่ 2.1.2 ส่วนรากกัญชงนั้นมีลักษณะรากเป็นระบบรากแก้วและมีรากแขนงเป็นจำนวนมาก ขยายพันธุ์โดยการใช้เมล็ด ซึ่งเมล็ดกัญชงมีลักษณะเป็นเมล็ดแห้งสีเทารูปไข่ ผิวเรียบเป็นมันและมีลายประสีน้ำตาลดังรูปที่ 2.1.3 เมื่อปลูกจะสามารถเก็บเกี่ยวได้เมื่อกัญชงมีอายุ 3-4 เดือน [5]

2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติของเส้นใยกัญชง

โดยทั่วไปองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยกัญชงที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพใด ๆ เป็นดังตารางที่ 2.1 [7]

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์โดยมวล) ของเส้นใยกัญชงที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพ [7]

เซลลูโลส	เฮมิเซลลูโลส	ลิกนิน	เพคติน + แวกซ์ + สารสกัดจากน้ำ	สารอินทรีย์
77.4 ± 0.3	8.3 ± 0.3	1.4 ± 0.0	12.6 ± 0.4	0.3 ± 0.0

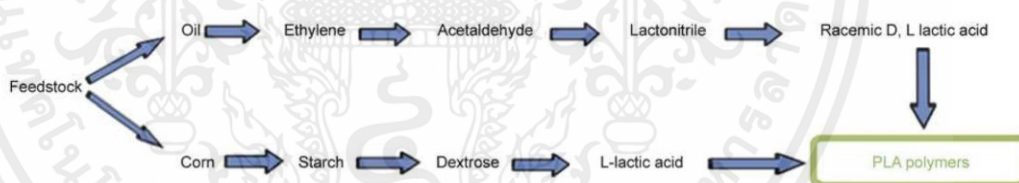
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพของเส้นใยแก้ว [8]

คุณสมบัติ	ค่า	หน่วย
Density	1.4	g/cc
Tensile strength	550-900	MPa
Elastic modulus	70	GPa
Specific strength	393-643	s/g
Elongation of failure	1.6	%
Moisture absorption	6-12	%

2.2 พลาสติกชีวภาพกรดพอลิแลคติก

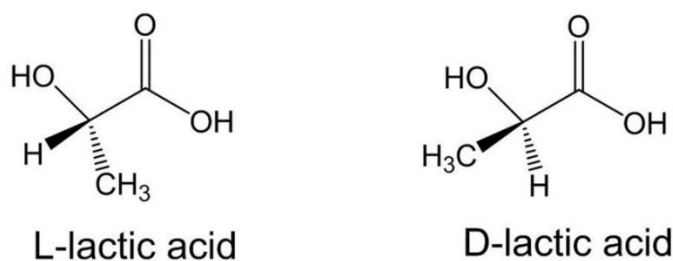
พลาสติกชีวภาพกรดพอลิแลคติก (ซึ่งจากนี้จะเรียกว่า PLA) เป็นพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์จากกรดแลคติก (lactic acid ซึ่งจากนี้จะเรียกว่า LA) โดยที่ LA จะถูกสังเคราะห์ได้จาก 2 วัตถุดิบ โดยการสังเคราะห์ที่มีพื้นฐานมาจากวัตถุดิบปิโตรเคมี และการหมักคาร์โบไฮเดรต ดังรูปที่ 1 โดยการหมักคาร์โบไฮเดรตจะใช้วัตถุดิบจำพวกข้าวโพด อ้อย ข้าว ซึ่งในปัจจุบันนิยมใช้ผลิตภัณฑ์จากพืชเป็นส่วนหลักในการผลิต LA [15]



รูปที่ 2.1 วิธีการเตรียมกรดแลคติก [6]

PLA ผลิตได้จาก LA ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลได้ทั้งแบบ Dextrorotatory; D(-) และ Levorotatory; L(+) ดังภาพที่ 2 ซึ่ง PLA ประกอบด้วย 3 Stereo form ที่มีชื่อเรียกแตกต่างกัน ได้แก่ Poly-L-lactic acid (PLLA), Poly-D-lactic acid (PDLA) และ Poly-DL-lactic acid (PDLLA) ซึ่งสามารถผลิตได้โดยขึ้นอยู่กับตำแหน่งบนมอนอเมอร์ โดย PDLA และ PLLA Stereo form สามารถเกิดการผสมผสานเป็น Stereo-complex PLA โดยอุณหภูมิหลอมเหลว (Melting temperature) ที่ค่อนข้างสูง ประมาณ 220-230 °C [15]

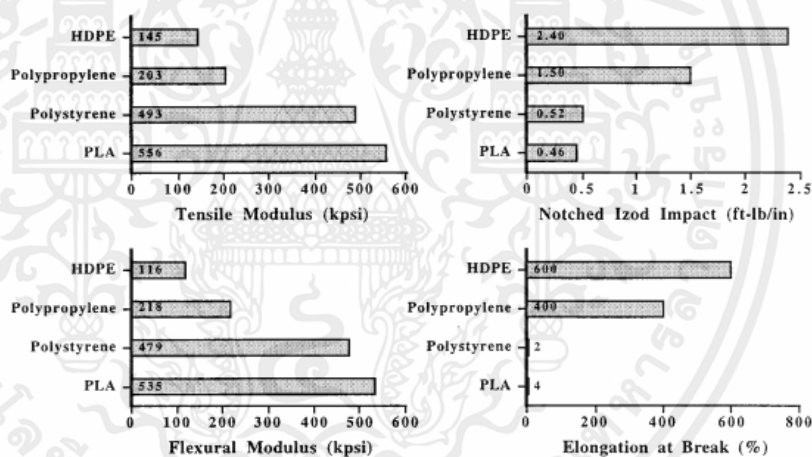
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุล D และ L ของ Lactic acid [6]

2.2.1 คุณสมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

คุณสมบัติเชิงกลของ PLA ได้รับอิทธิพลมาจาก ตำแหน่งไอโซเมอร์ของ L(+) และ D(-) ในมอนอเมอร์ [15] และน้ำหนักโมเลกุล [16] เมื่อนำ PLA ไปเปรียบเทียบกับพลาสติกชนิดอื่น ๆ ดังรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่า PLA ลักษณะคล้ายกับพอลิสไตรีน (Polystyrene; PS) กล่าวคือมีความแข็งสูงตามค่า Tensile Modulus แต่มีความเปาะสูงและทนต่อแรงกระแทกได้ต่ำ ตามค่า Elongation to break และ Notched Izod Impact ตามลำดับ [13]



รูปที่ 2.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของ PLA กับวัสดุบรรจุภัณฑ์พลาสติกทั่วไปชนิดอื่นๆ [13]

2.3 วิธีการปรับสภาพเส้นใยถักทอ

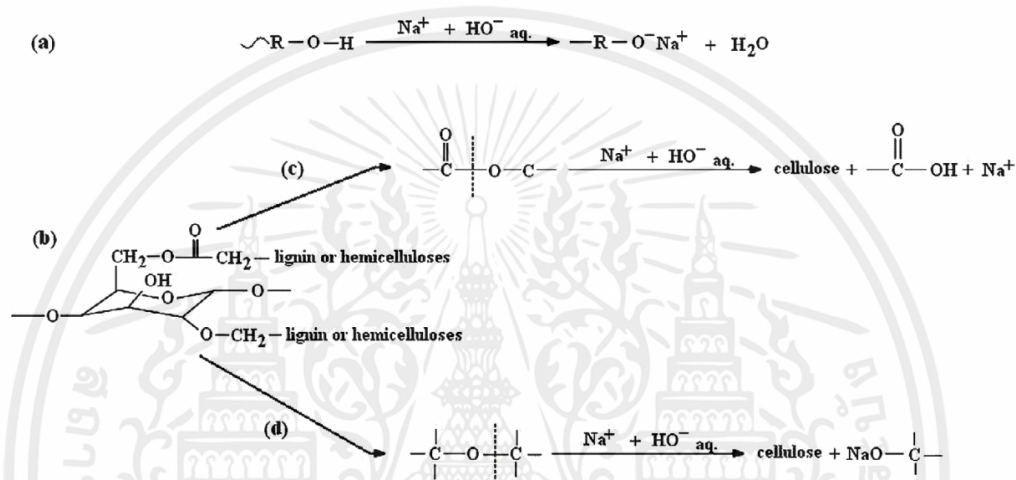
การปรับสภาพเส้นใยถักทอมีจุดประสงค์มุ่งเน้นไปที่การกำจัดเอมิเซลลูโลสและลิกนินที่ไม่ต้องการออกจากผิวของเส้นใย เนื่องจากสารประกอบเหล่านี้ลดความสามารถของเซลลูโลสที่ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติทางกลและความเสถียรของโครงสร้าง อีกทั้งยังมีผลต่อสมบัติในการดูดความชื้นของเส้นใยถักทออีกด้วย [10]

การปรับสภาพเส้นใยถักทอมีหลายวิธี อาทิเช่น การปรับสภาพด้วยสารเคมี ปรับสภาพด้วยวิธีการทางชีววิทยา เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 การปรับสภาพโดยใช้ด่าง (Alkali treatment)

การปรับสภาพด้วยด่างหรือการชุบเส้นใยแก้วซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีประสิทธิภาพและประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่าที่ใช้เอนไซม์และไอน้ำ [3] เมื่อเทียบกับวิธีโดยทั่วไปแล้วสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะถูกใช้ในวิธีการนี้ โดย NaOH จะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลในเซลลูโลส ดังแสดงในรูปที่ 2.3.1 และจะทำกำจัดลิกนิน เพคตินและเฮมิเซลลูโลสออกบางส่วน เช่นเดียวกับสิ่งเจือปนบางอย่าง (เช่น ชีวฟิล์มและน้ำมันธรรมชาติ) และให้เส้นใยที่มีความขรุขระของพื้นผิวเพิ่มขึ้น ที่สามารถส่งไปยังการดัดแปลงทางเคมีและ/หรือทางกายภาพต่อไปได้ [5]



รูปที่ 2.4 การปรับสภาพด้วยด่างของเส้นใยแก้ว : (a) ปฏิกิริยาการชุบโดยทั่วไปในที่ที่มีด่าง (b) โครงสร้างแผนผังของเซลลูโลสที่มีลิกนินและเฮมิเซลลูโลส (c) และ (d) อัลคาไลน์ไฮโดรไลซิสของพันธะเอสเทอร์และอีเทอร์และการกำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลส [5]

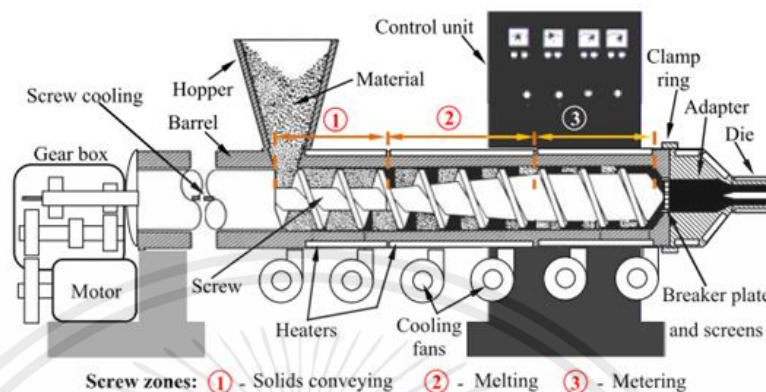
2.3.2 การปรับสภาพโดยใช้ซิลเลน (Silane treatment)

การปรับสภาพด้วยซิลเลนโดยทั่วไปประกอบด้วย การแช่เส้นใยธรรมชาติลงในสารละลายเจือจางของซิลเลน ในส่วนผสมของน้ำและแอลกอฮอล์ เมื่อซิลเลนอลเป็นผลิตภัณฑ์หลักหลังจากการไฮโดรไลซิสของซิลเลน ซิลเลนอลจะทำปฏิกิริยาต่อไปกับกลุ่มไฮดรอกซิลในเส้นใยที่ให้พันธะโควาเลนต์ที่เสถียร ซึ่งเพิ่มพื้นที่ผิวของเส้นใย [5]

2.4 เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single screw extruder)

เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยวเป็นเครื่องที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุดในอุตสาหกรรมพอลิเมอร์และเป็นพื้นฐานสำหรับการผลิตกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่กว้างขวาง (ฟิล์ม แผ่น ท่อ) เนื่องจากโครงสร้างที่เรียบง่าย วิธีการผลิตง่าย ประสิทธิภาพการทำงานสูง และราคาต่ำ โดยการอัดรีดเป็นกระบวนการที่วัตถุประสงค์ต้องผสม กวน เสียดสี และแรงเฉือนสูงเพื่อทำให้ PLA ละลาย ซึ่งในขณะเดียวกัน อุณหภูมิเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และความดันในช่องเครื่องจักรก็เพิ่มขึ้น (สามารถเพิ่มถึง 150-200 °C ความดันสามารถสูงถึง 1MPa) จากนั้นจึงใช้แรงผลักดันของสกรูอัดรีดเพื่อบีบวัสดุไปข้างหน้า ปล่อยสู่อุณหภูมิและความดันปกติอย่างกะทันหัน เพื่อให้โครงสร้างภายในและคุณสมบัติของวัสดุเปลี่ยนไป [19]



รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว [16]

2.4.1 การเลือกช่วงปัจจัยและการตอบสนอง

ช่วงการทำงานของปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการทำงานของเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยวที่สำคัญ ได้แก่ อุณหภูมิของกระบอกหลอม ความเร็วของสกรู และความเร็วของตัวดึง นอกเหนือจากปัจจัยดังกล่าว ยังมีปัจจัยจากอัตราส่วนองค์ประกอบ และปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานที่ตอบสนองต่าง ๆ ส่งผลต่อความเหมาะสมของการทำงานของเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว โดยที่การตอบสนองที่ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ ที่เลือกได้แก่ [20]

1. แรงดันหลอมเหลว เนื่องจากผลกระทบต่อการใช้พลังงานและการออกแบบแม่พิมพ์
2. ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างแม่พิมพ์และอุณหภูมิหลอมจริงของพอลิเมอร์ที่ทางออกของแม่พิมพ์ (วัดโดยเทอร์โมคัปเปิลแบบสติก) เนื่องจากความร้อนที่เกิดจากแรงเฉือน
3. Output ของเครื่องอัดรีดเป็นปัจจัยกำหนดความสามารถในการผลิต ให้มีความคล้ายคลึงกันในความหนาแน่น ณ สถานะหลอมเหลวของพอลิเมอร์ที่เป็นส่วนประกอบ ผลลัพธ์ของมวลถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ เนื่องจากจะไม่ได้รับผลกระทบจากอัตราส่วนขององค์ประกอบ
4. แรงบิดของสกรูเป็นปัจจัยกำหนดพลังงานกลสำหรับการสร้างความร้อนและการใช้พลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 วิธีการทากูชิ (Taguchi Method)

วิธีการทากูชิ เป็นแนวทางสำหรับวิศวกรรมที่เน้นบทบาทของการวิจัยและพัฒนา (Research and Development, R&D) การออกแบบผลิตภัณฑ์ การพัฒนาเพื่อลดการเกิดข้อบกพร่อง และความล้มเหลวในผลิตภัณฑ์ โดยคำนึงถึงปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้หรือปัจจัยรบกวนของกระบวนการ ซึ่งวิธีการทากูชินั้น ถือเป็นฟังก์ชันความสูญเสีย โดยวัตถุประสงค์ของการออกแบบที่ทำให้ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลง คือ การทำให้ค่าความสูญเสียมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งทากูชิได้สรุปว่าการเบี่ยงเบนใดๆของกระบวนการ ผลลัพธ์ที่ออกห่างจากค่าเป้าหมายจะก่อให้เกิดค่าความสูญเสีย โดยทากูชิเสนอ 8 ข้อมาตรฐานดังนี้ [21]

1. จำแนกการดำเนินงานหลัก ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อข้างเคียงและโหมดความเสียหายที่จะเกิดขึ้น
2. จำแนกปัจจัย Noise ภายใต้เงื่อนไขของการทดสอบ และลักษณะเฉพาะของคุณภาพ
3. จำแนกเป้าหมายของการดำเนินงานจนได้ค่าที่ดีที่สุด
4. จำแนกปัจจัยควบคุมและระดับต่างๆ
5. เลือกการทดลองเมทริกซ์แบบ Orthogonal Array
6. ดำเนินการทดลองแบบเมทริกซ์
7. วิเคราะห์ข้อมูล ทำนายผลในระดับที่คาดหวัง และสมรรถนะขบวนการที่ดีที่สุด
8. ดำเนินการทดลองเพื่อพิสูจน์หาความจริง และวางแผนการดำเนินงานในอนาคต

2.5.1 การกำหนดเมทริกซ์ของข้อกำหนดในตารางแนวฉาก (Orthogonal array, OA)

ในขั้นตอนการวางแผนการทดลองจะเริ่มที่การออกแบบแผนการทดลองแบบเมทริกซ์ ซึ่งทางเลือกหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการศึกษาปัจจัยหลาย ๆ ปัจจัยพร้อม ๆ กัน คือ การกำหนดตารางแผนการทดลองโดยตารางแนวฉาก โดยที่สามารถกำหนดตัวแปร และจำนวนระดับของตัวแปรสูงสุดได้ตามตารางที่ 2.4.1.1 [22]

ตารางที่ 2.3 Standard Orthogonal Array

Orthogonal Array	Number of Rows	Maximum Number of Factors	Maximum Number of Columns at These Levels			
			2	3	4	5
L ₄	4	3	3	-	-	-
L ₈	8	7	7	-	-	-
L ₉	9	4	-	4	-	-
L ₁₂	12	11	11	-	-	-
L ₁₆	16	15	15	-	-	-
L _{16'}	16	5	-	-	5	-
L ₁₈	18	8	1	7	-	-
L ₂₅	25	6	-	-	-	6
L ₂₇	27	13	-	13	-	-
L ₃₂	32	31	31	-	-	-
L _{32'}	32	10	1	-	9	-
L ₃₆	36	23	11	12	-	-
L _{36'}	36	16	3	13	-	-
L ₅₀	50	12	1	-	-	11
L ₅₄	54	26	1	25	-	-
L ₆₄	64	63	63	-	-	-
L _{64'}	64	21	-	-	21	-
L ₈₁	81	40	-	40	-	-

2 level arrays : L₄, L₈, L₁₂, L₁₆, L₃₂, L₆₄

3 level arrays : L₉, L₂₇, L₈₁

Mixed 2 & 3 level arrays : L₁₈, L₃₆, L_{36'}, L₅₄

จากตารางที่ 2.4.1.1 จำนวนเลขของ L คือ จำนวนของการทดลอง โดยจำนวนครั้งของการทดลองยิ่งมาก ความสามารถในการตรวจสอบยิ่งมากตามไปด้วย หรือกล่าวได้ว่าการทดลองมีความถูกต้องมากขึ้น โดยจำนวนครั้งการทดลองขึ้นกับ 1. จำนวนตัวแปรที่สนใจ 2. จำนวนระดับของตัวแปรที่ต้องการ 3. ความต้องการของผู้ทดลอง, งบประมาณ, ข้อจำกัดด้านอื่น ๆ [22]

2.5.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis Of Variance, ANOVA) เพื่อแปลงข้อมูลให้เป็นรูปของอัตราส่วน Signal-to-noise (S/N ratio)

อัตราส่วน S/N คือความเข้าใจทางด้านคุณภาพซึ่งมุ่งเน้นไปที่ผลกระทบ สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการในสมรรถนะของกระบวนการหรือผลผลิตที่ได้จากการประเมิน อัตราส่วน S/N เป็นการรวมเข้าด้วยกันระหว่างค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน การวัดค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์ด้วยการออกแบบด้านการแข็งแรง (robust design) ซึ่งคุณลักษณะของอัตราส่วน S/N แบ่งได้เป็น 3 ชนิด และสามารถคำนวณได้ดังนี้ [21]

2.5.2.1 ปัญหาชนิด Smaller - is - Better

เป็นอัตราส่วน S/N ที่เลือกไว้สำหรับคุณลักษณะที่ต้องการให้มีค่าน้อย เช่น “ข้อบกพร่อง” เป็นต้น ซึ่งค่าในอุดมคติคือศูนย์ รูปแบบทั่วไปของอัตราส่วน S/N จะเป็น [23]

$$\frac{S}{N_s} = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2\right) \quad (1)$$

2.5.2.2 ปัญหาชนิด Larger - is - Better

เป็นอัตราส่วน S/N ที่เลือกไว้สำหรับคุณลักษณะที่ต้องการให้มีค่ามาก เช่น “ผลผลิตทางเกษตร” เป็นต้น รูปแบบทั่วไปของอัตราส่วน S/N จะเป็น [23]

$$\frac{S}{N_s} = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2}\right) \quad (2)$$

2.5.2.3 ปัญหาชนิด Target - Value - is - Best

เป็นอัตราส่วน S/N นั้นให้ค่าเป้าหมาย คือ ค่าที่ดีที่สุดและเป็นค่าที่เหมาะสมเมื่อค่านั้นเป็นค่าเป้าหมาย เช่น “อัตราส่วนผสมของกำมะถัน ดินประสิวและคาร์บอนในดินปืน” เป็นต้น รูปแบบทั่วไปของอัตราส่วน S/N จะเป็น [23]

$$\frac{S}{N_s} = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{S^2}\right) \quad (3)$$

2.6 กระบวนการขึ้นรูปแบบกดอัด

กระบวนการนี้เป็นหนึ่งในวิธีที่ใช้สำหรับการขึ้นรูปพลาสติก โดยการใช้ความดันอัดเปิดปิดแม่พิมพ์ที่มีพลาสติกบรรจุอยู่ และให้ความร้อนในขณะเดียวกัน ส่งผลให้พลาสติกหลอมไหลเข้าไปในแม่พิมพ์เกิดเป็นชิ้นงาน ซึ่งวิธีการขึ้นรูปแบบนี้ใช้ได้กับพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซต

2.7 เครื่องทดสอบแรงดึงวัสดุแบบเอนกประสงค์

เครื่องทดสอบแรงดึงวัสดุแบบเอนกประสงค์เป็นเครื่องมือทดสอบที่ใช้ในการหาสมบัติแรงดึงของวัสดุหรือชิ้นงาน เช่น ค่าความต้านทานแรงดึง ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น เป็นต้น โดยเครื่องทดสอบจะให้แรงดึงกับวัสดุทดสอบด้วยอัตราการดึงที่คงที่และบันทึกค่าแรงดึงที่เปลี่ยนไปตามระยะการยืดตัวของวัตถุ แรงต้านที่เกิดขึ้นในวัตถุจะทำให้ตัววัตถุสามารถวัดแรงออกมาได้ แรงที่ได้จะมีหน่วยเป็นนิวตัน (N) การทดสอบจะดำเนินต่อไปจนกว่าวัตถุจะขาดออกจากกัน แรงต้านที่สูงที่สุดของวัตถุคือผลที่ได้ ดังนั้นวัตถุ จะสามารถทนแรงดึงสูงสุดเท่ากับแรงต้านของวัตถุที่ทนได้ก่อนขาดออกจากกัน ผลที่ได้จากเครื่องทดสอบจะเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด

2.8 คุณสมบัติเชิงกล

2.8.1 คุณสมบัติความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength)

ค่าความต้านทานแรงดึง คือ ค่าความต้านทานแรงดึงต่อหน่วยพื้นที่ที่ตั้งในทิศทางตามยาวของวัสดุที่วัสดุสามารถรับได้โดยไม่ขาดออกจากกัน มีหน่วยเป็นเมกะปาสคาล (MPa) สามารถวัดได้จากเครื่องมือทดสอบที่เรียกว่า Universal Testing Machine หรือเครื่องทดสอบแรงดึงวัสดุแบบเอนกประสงค์ หรือสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4

$$T = \frac{F}{A} \quad (4)$$

โดย T คือ ค่าความต้านทานแรงดึง (MPa)

F คือ ค่าแรงดึงสูงสุดที่วัสดุสามารถรับได้ (N)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของวัตถุ (m^2)

2.8.2 คุณสมบัติเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (Elongation at break)

ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด คือ ค่าการวัดระยะสูงสุดที่วัสดุสามารถยืดได้จนถึงจุดที่ขาดออกจากกัน สามารถวัดได้จากเครื่องทดสอบแรงดึงวัสดุแบบเอนกประสงค์ หรือสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5

$$\%E = \frac{(L_f - L_0)}{L_0} \times 100 \quad (5)$$

โดย %E คือ ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%)

L_0 คือ ค่าความยาวเริ่มต้น (m)

L_f คือ ค่าความยาวตอนที่วัตถุขาดออกจากกัน (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3 คุณสมบัติของวัสดุความยืดหยุ่น (Elastic Modulus)

ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น คือ ค่าที่แสดงความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือโค้งงอของวัสดุ มีหน่วยเป็นปาสคาล (Pa) สามารถวัดได้จากเครื่องทดสอบแรงดึงวัสดุแบบเอนกประสงค์ หรือสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 6

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (6)$$

โดย E คือ มอดูลัสความยืดหยุ่น (Pa)

σ คือ ค่าความเค้น (N/m^2)

ϵ คือ ค่าความเครียด (m/m)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.9.1 การผสมเส้นใยกับพลาสติกชีวภาพกรดพอลิแลคติก (PLA)

Percy และคณะ [2] , [8] ทำการผสมเส้นใยด้วยวิธีที่มีจุดประสงค์ที่จะช่วยเสริมคุณสมบัติเชิงกลของพลาสติกชีวภาพกรดพอลิแลคติก โดยใช้พลาสติกชีวภาพกรดพอลิแลคติกจาก NatureWorks และตัวพลาสติกมีความหนาแน่นอยู่ที่ 1.24 g/cm^3 เส้นใยถูกใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ปลูกโดยผ่านความเย็นจัดจาก Saaremaa ประเทศเอสโตเนีย

2.9.1.1 การปรับสภาพเส้นใยก่อนนำไปผสม

- ปรับสภาพด้วยน้ำ (Water treatment)

เส้นใยถูกทำให้แห้งในเตาอบที่ $80 \text{ }^\circ\text{C}$ จนน้ำหนักคงที่เพื่อขจัดความชื้นส่วนเกินออก จากนั้นล้างด้วยการแช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 72 ชั่วโมงที่ $23 \text{ }^\circ\text{C}$ [2]

- ปรับสภาพด้วยด่าง (Alkali treatment)

เส้นใยถูกปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล โดยใช้เม็ดยโซเดียม (Na) ในการเตรียมสารละลาย NaOH เส้นใยจะถูกแช่ในสารละลายที่อุณหภูมิ $23 \text{ }^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง [2]

- ปรับสภาพด้วยซิลเลน (Silane treatment)

เส้นใยจะถูกปรับสภาพด้วยเอทานอลและสารละลายที่มีสาร 3-Aminopropyltriethoxy silane 3 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ปริมาณของซิลเลนจะสัมพันธ์กับมวลของเส้นใย โดยซิลเลนได้ผ่านการพรีไฮโดรไลซ์ (Pre-hydrolyzed) ล้างหน้าที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมงในสารละลายเอทานอล (80 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) ที่ผสมกับน้ำ (20 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร) และเติมกรดอะซิติกเพื่อให้ค่า pH ของสารละลายถูกปรับเป็น 5 จากนั้นนำเส้นใยไปแช่ในสารละลายที่

อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นกรองเส้นใยกัญชงและอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 °C จนน้ำหนักคงที่ [2]

2.9.1.2 วิธีการผสมเส้นใยกัญชงกับพลาสติกชีวภาพกรดพอลิแลคติก (PLA)

เส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ (UH) และปรับสภาพแล้ว (น้ำกลั่น (WH), น้ำ + โซเลน (WSH), ต่าง (AH) และต่าง + โซเลน (ASH)) ถูกรวมเข้ากับพลาสติกชีวภาพกรดพอลิแลคติกโดยการอัดขึ้นรูปคอมโพสิต ทำสองแบบคือ ใช้เส้นใย 30 เปอร์เซ็นต์โดยมวล (เส้นใยกัญชง 160.5 กรัม) และ 50 เปอร์เซ็นต์โดยมวล (เส้นใยกัญชง 267.5 กรัม) [2]

เริ่มจากผสมเส้นใยกัญชงและพลาสติกชีวภาพกรดพอลิแลคติกซึ่งทำโดยใช้ดรัมการ์ดแบบคลาสสิกแบบกว้าง (กต 300 mm, 72 teeth per inch และความจุ 100 กรัม) ผสมและนำไปอบในเตาอบเป็นเวลา 4 ชั่วโมงที่ 80 °C จากนั้นนำไปบีบอัดโดยใช้การกดร้อน (Hot press) ที่ 180 °C และ 3 MPa เป็นเวลา 10 นาที ในขั้นตอนนี้จะทำในโครงโลหะ (450 mm x 450 mm x 2 mm) [2]

2.9.1.3 การทดสอบและการวิเคราะห์คอมโพสิต

- การทดสอบสมบัติเชิงกล

ทำการทดสอบกับตัวอย่างคอมโพสิตทำตามมาตรฐาน EVS-EN ISO 527 (Type 2) โดยใช้เครื่อง Instron 8516 ด้วยโหลดเซลล์ 10 kN การทดสอบทำที่ 43±10% RH, 22±1 °C และความเร็วทดสอบ 2 mm/min ขนาดชิ้นงานทดสอบสำหรับการทดสอบการดึงคือ 80 × 15 mm และความหนาต่างกันตั้งแต่ 2-4 mm [2]

- การตรวจสอบสภาพพื้นผิว

ภาพพื้นผิวของคอมโพสิตได้จากเครื่อง Zeiss Ultra 55 ที่ 20 kV ความลึก 100 nm และความละเอียด 50,000 สำหรับการทดสอบส่วนนี้ตัวอย่างจะถูกติดกาวคาร์บอนบนต้นขั้วอะลูมิเนียมแล้วเคลือบด้วยโลหะผสมของชั้นทองคำหนา 2 นาโนเมตร (Au)/แพลเลเดียม (Pd) (80/20) [2]

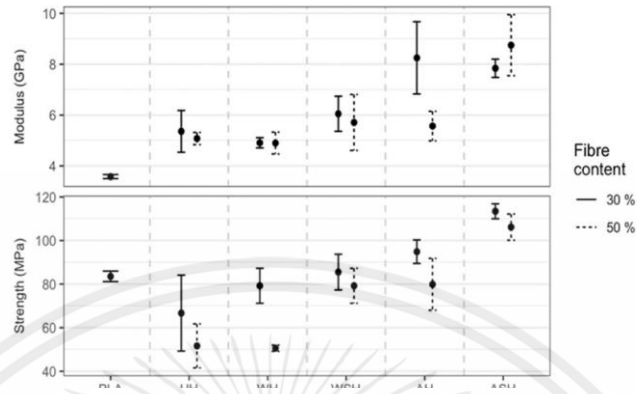
2.9.1.4 ผลการทดสอบ

- คุณสมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าค่าของคอมโพสิตที่ไม่ผ่านการปรับสภาพจะมีค่าความต้านทานแรงดึงต่ำที่สุด ในขณะที่ ASH จะมีค่าความต้านทานแรงดึงมากที่สุดทั้ง 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์โดยมวล สังเกตได้ว่าการปรับสภาพด้วยต่างช่วยเพิ่มความต้านทานแรงดึงของคอมโพสิตได้ประมาณ 14% และการปรับสภาพด้วยโซเลนเพิ่มก็ทำให้ดีขึ้นอีก 10 เปอร์เซ็นต์ [2] แต่สำหรับคอม

โพสิตที่ผสมเส้นใย 50 เปอร์เซ็นต์โดยมวล โดยทั่วไปแล้วจะมีค่าความต้านทานแรงดึงลดลงเมื่อเทียบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

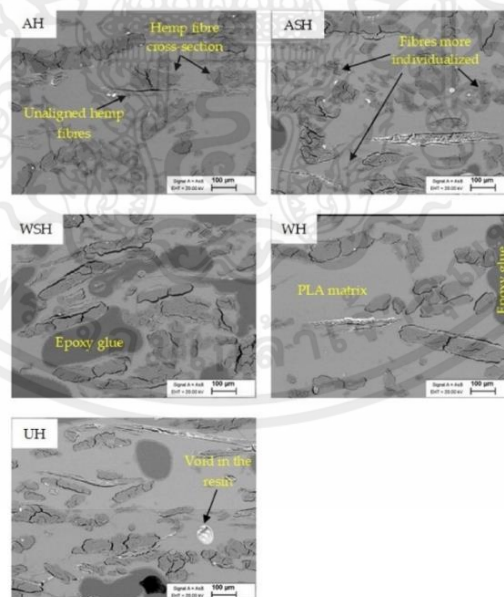
กับคอมโพสิตที่ผสมเส้นใย 30 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ซึ่งตรงกับการศึกษาของ Sawpan และคณะ [11] ที่ว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงในเชิงเส้นตรงของค่าความต้านทานแรงดึงเมื่อทดลองเพิ่มสัดส่วนของเส้นใย จาก 10 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์โดยมวล [2]



รูปที่ 2.6 แสดงค่าความต้านทานแรงดึงและ Young's modulus ของคอมโพสิต [2]

- สภาพพื้นผิว

จากสภาพพื้นผิวของคอมโพสิตในรูปที่ 2.4.4 พิสูจน์ได้อย่างชัดเจนว่าการปรับสภาพเส้นใยช่วยปรับปรุงการกระจายและการแยกตัวของเส้นใยภายในเมทริกซ์ เรียงลำดับจากจาก ASH, AH, WSH, WH และ UH อันเป็นผลมาจากการกำจัดส่วนประกอบที่ไม่ใช่เซลลูโลส [2]



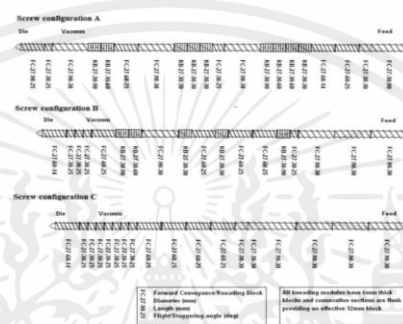
รูปที่ 2.7 สภาพพื้นผิวของคอมโพสิตที่ผสมกับเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีที่ต่างกัน [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบสกรู Temperature Profile และอัตราส่วน PLA กับเส้นใย

จากการศึกษาของ Michael และคณะ [14] เกี่ยวกับการปรับค่า Temperature Profile รูปแบบของ สกรูที่ใช้ และสัดส่วนผสมระหว่าง PLA กับเส้นใยธรรมชาติได้แก่ กัญชง ปอกระเจา และไลโอเซลล์ ในเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ โดยที่แบ่งการทดลองเป็น 3 แบบได้แก่

1. ใช้ รูปแบบของสกรูที่ใช้ ต่างกัน 3 แบบ กับอัตราส่วน 0.7 : 0.3 ของผสม PLA กับเส้นใยธรรมชาติแต่ละชนิด ดังรูปที่ 10



รูปที่ 2.8 รูปแบบของสกรูที่ใช้ในการศึกษา

2. ใช้ Temperature Profile ต่างกัน 3 แบบ กับอัตราส่วน 0.7 : 0.3 ของผสม PLA กับเส้นใยธรรมชาติแต่ละชนิด โดยที่ Temperature Profile เป็นไปตามตารางที่ 2.5.1

ตารางที่ 2.4 Temperature profile ที่ใช้ในการศึกษา

Temp. profile	Zone 1 (°C)	Zone 2 (°C)	Zone 3 (°C)	Zone 4 (°C)	Zone 5 (°C)	Zone 6 (°C)	Zone 7 (°C)	Zone 8 (°C)	Die (°C)
1	145	150	155	160	165	170	175	180	185
2	160	165	170	175	180	185	190	195	200
3	175	180	185	190	195	200	205	210	210

3. ใช้ อัตราส่วนของผสม PLA กับเส้นใยธรรมชาติ โดยที่มีอัตราส่วนของเส้นใย 0.1 0.2 0.3 0.4 และ 0.5 ตามลำดับแต่ละชนิด กับ Temperature Profile รูปแบบ 1 เหมือนกันทั้งหมด ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองแบบที่ 1 จะได้ว่าความเค้นของพอลิเมอร์ที่ถ่ายโอนไปยังเส้นใย ขึ้นอยู่กับปฏิสัมพันธ์ระหว่างพอลิเมอร์กับเส้นใย คือ การกระจายตัวของเส้นใย ความละเอียดของเส้นใย และความยาวของเส้นใย และการเปลี่ยนรูปแบบของสกรูส่งผลอย่างมากต่อการกระจายตัว และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวของเส้นใย โดยที่สกรูรูปแบบ A ทำให้มีเส้นใยละเอียด และกระจายตัวได้ดี ในขณะที่ B และ C เริ่มมีการพันกันของเส้นใย โดยเฉพาะ C เส้นใยจะยาวที่สุดอย่างเห็นได้ชัด และมีลักษณะพันกันจนเกิดการอุดตันของหัวโต และจากคุณสมบัติเชิงกลของการทดลองนี้ ทำให้ทราบว่าความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้น จะขึ้นอยู่กับความยาวของเส้นใยในของผสม และความตึงที่เพิ่มขึ้น จะขึ้นกับการกระจายตัวของเส้นใยในของผสม

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองที่ 2 จะได้ว่าคุณสมบัติเชิงกลของของผสมจะลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิในกระบวนการสูงขึ้น เพราะอุณหภูมิมีผลอย่างมากกับคุณสมบัติเชิงกลของเส้นใย โดยที่ความร้อนจากการเสียดสีของบาร์เรล และความร้อนจากเครื่องอัดรีดที่ใช้ในการละลาย PLA จะทำให้เส้นใยเสื่อมสภาพ ซึ่งทำให้การอัดรีดขึ้นรูปในอุณหภูมิที่ต่ำกว่าจะส่งผลดีต่อคุณสมบัติเชิงกล เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นไม่ถึงจุดที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อเส้นใย

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองที่ 3 จะได้ว่าคุณสมบัติเชิงกลของของผสมจะเพิ่มขึ้น เมื่อมีอัตราส่วนของมวลของเส้นใยสูงขึ้น แต่ในเส้นใยกัญชงเมื่ออัตราส่วนของเส้นใยสูงขึ้นจะทำให้ความแข็งแรงของผสมลดลง แต่ความตึงของของผสมจะเพิ่มขึ้น

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการ

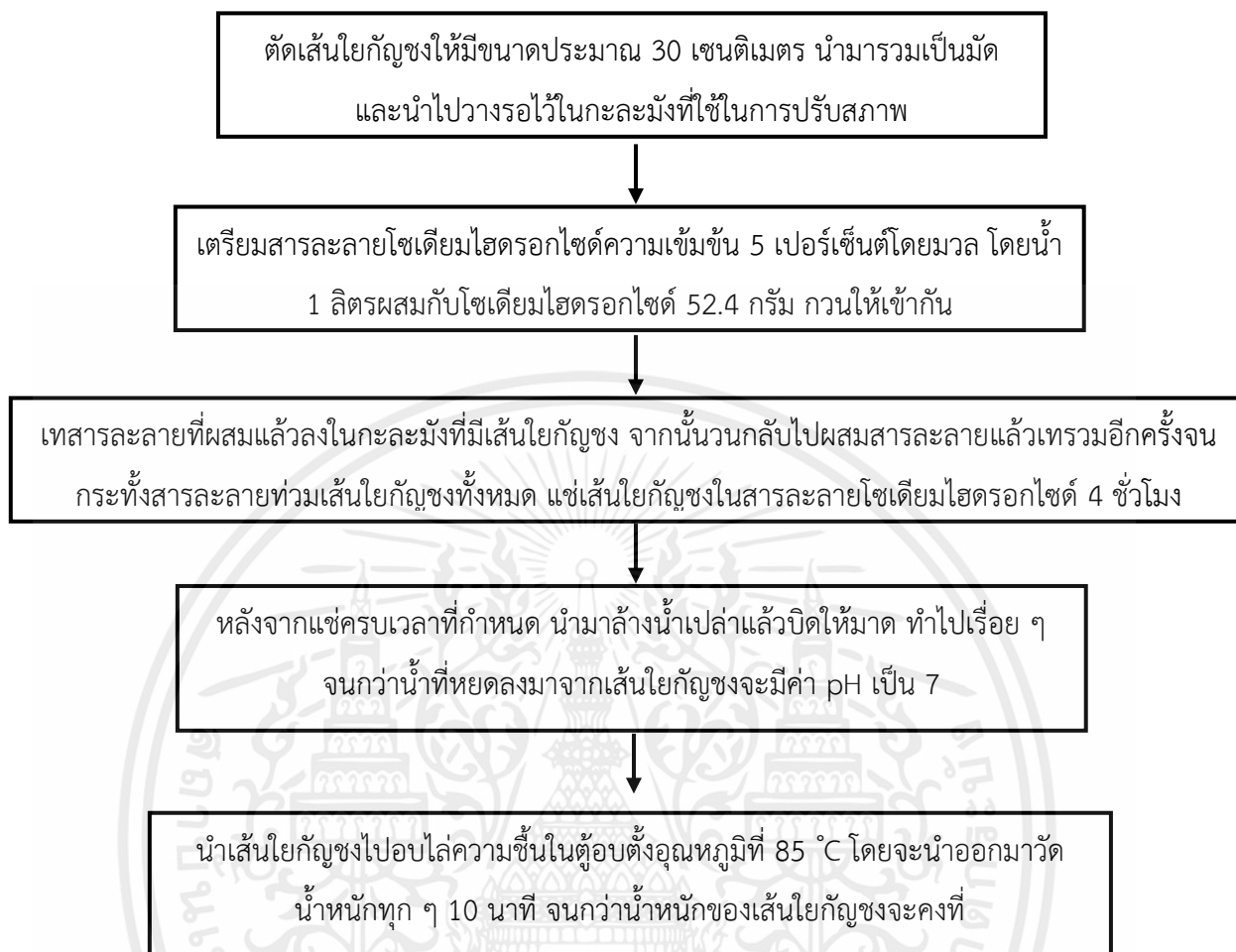
การศึกษาหาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุจากการผสมพลาสติกพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยกัญชงที่ผ่านการปรับสภาพแล้ว และการตั้งค่าตัวแปรในเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยวเพื่อเปรียบเทียบตัวแปรที่ส่งผลกับคุณสมบัติเชิงกล โดยในบทนี้จะอธิบายแผนการดำเนินงานวิจัย เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี รวมไปถึงวิธีการดำเนินงานวิจัยซึ่งประกอบไปด้วย การปรับสภาพเส้นใย การผสมพลาสติกพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยกัญชง การอัดขึ้นรูปพลาสติก และการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของพลาสติกผสม

3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี

- 1) กรรไกร (Scissors)
- 2) กะละมัง (Basin)
- 3) ปีกเกอร์ (Beaker)
- 4) กระดาษลิตมัส (Litmus paper)
- 5) ถุงมือยาง (Rubber gloves)
- 6) ตาชั่ง 2 ตำแหน่ง (Analytical balance)
- 7) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)
- 8) ถาดใส่เตาอบ (Trays)
- 9) เครื่องปั่น (Blender)
- 10) เครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว (Single screw extruder)
- 11) เครื่องกดอัดขึ้นรูป (Compressor)
- 12) เครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine, UTM)
- 13) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH Solution 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล)
- 14) เส้นใยกัญชง (Hemp fiber)
- 15) พลาสติกพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid)
- 16) น้ำมันแร่ (Mineral Oil)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การปรับสภาพเส้นใยกล้วยง



3.3 การผสมพลาสติกพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยกล้วยง

3.3.1 การออกแบบการทดลอง

จากการศึกษาการทดลองในการผสมพลาสติกพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยกล้วยงพบว่า การผสมในเครื่องอัดรีดมี 3 ตัวแปรที่ส่งผลกับคุณสมบัติเชิงกลที่ได้จากการผสมคือ อุณหภูมิของไค ความเร็วการหมุนของสกรู และอุณหภูมิของบาร์เรลจากทั้ง 3 ตัวแปรผู้ทดลองต้องการให้แต่ละตัวแปร มี 3 ค่า ทำให้จำนวนการทดลองเป็น 27 รอบ ดังนั้นผู้ทดลองจึงเลือกใช้วิธีการทาคูชิ เพื่อลดจำนวนการทดลอง เป็น 9 รอบ (L9 Array $[3^3]$) จึงออกแบบการทดลองดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรและค่าของตัวแปรที่ใช้ในการผสมภายในเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว

อุณหภูมิของได (°C)	ความเร็วการหมุนของสกรู (rpm)	อุณหภูมิของบาร์เรล (°C)
170	20	160
180	30	170
190	40	180

ตารางที่ 3.2 การตั้งค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

การทดลอง	อุณหภูมิของได (°C)	ความเร็วการหมุนของสกรู (rpm)	อุณหภูมิของบาร์เรล (°C)
1	170	20	160
2	170	30	170
3	170	40	180
4	180	20	170
5	180	30	180
6	180	40	160
7	190	20	180
8	190	30	160
9	190	40	170

3.3.2 แผนผังกระบวนการทดลอง

นำกัญชงที่ได้จากการปรับสภาพมาปั่นให้ได้ขนาดต่ำกว่า 2.25 มิลลิเมตร
ก่อนนำไปผสมกับพลาสติกพอลิแลคติกแอซิด

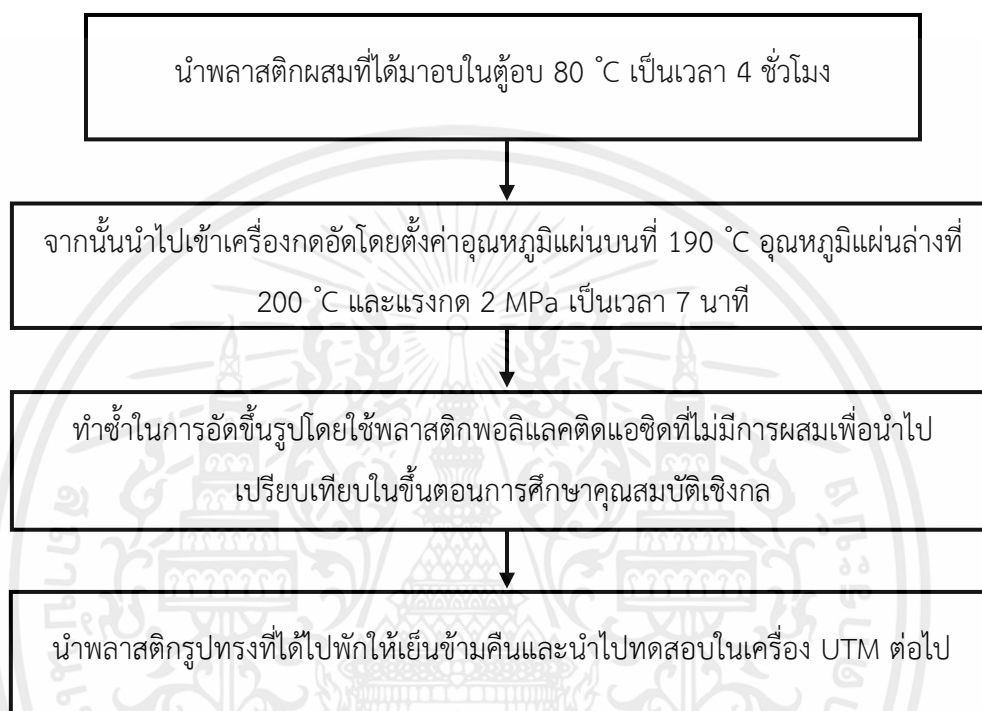
นำพลาสติกพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยกัญชงที่ปรับสภาพแล้วมาผสมด้วยอัตราส่วน 0.95 : 0.05 โดย
มวลตามลำดับ จากนั้นใส่น้ำมันแร่ลงไปเล็กน้อย ก่อนนำไปอัดรีดในเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว

ปรับค่าตัวแปรตามที่กำหนดไว้ตามตาราง และนำพลาสติกผสมที่ได้ออกมาเก็บ และ
เปลี่ยนตัวแปรเป็นค่าอื่นเพื่อทำการทดลองต่อไป

3.4 การกดอัดขึ้นรูปพลาสติก

จากการผสมพลาสติกพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยกล้วยง ผู้ทดลองจะนำพลาสติกผสมที่ได้มาเข้าเครื่องอัดขึ้นรูปเพื่อสร้างพลาสติกทรงสี่เหลี่ยมขนาด ยาว 60 มิลลิเมตร กว้าง 12.7 มิลลิเมตร และสูง 3 มิลลิเมตรในบล็อกที่เตรียมไว้ เพื่อนำไปใช้เป็นตัวอย่างในการศึกษาหาค่าคุณสมบัติเชิงกล

3.4.1 แผนผังกระบวนการทดลอง

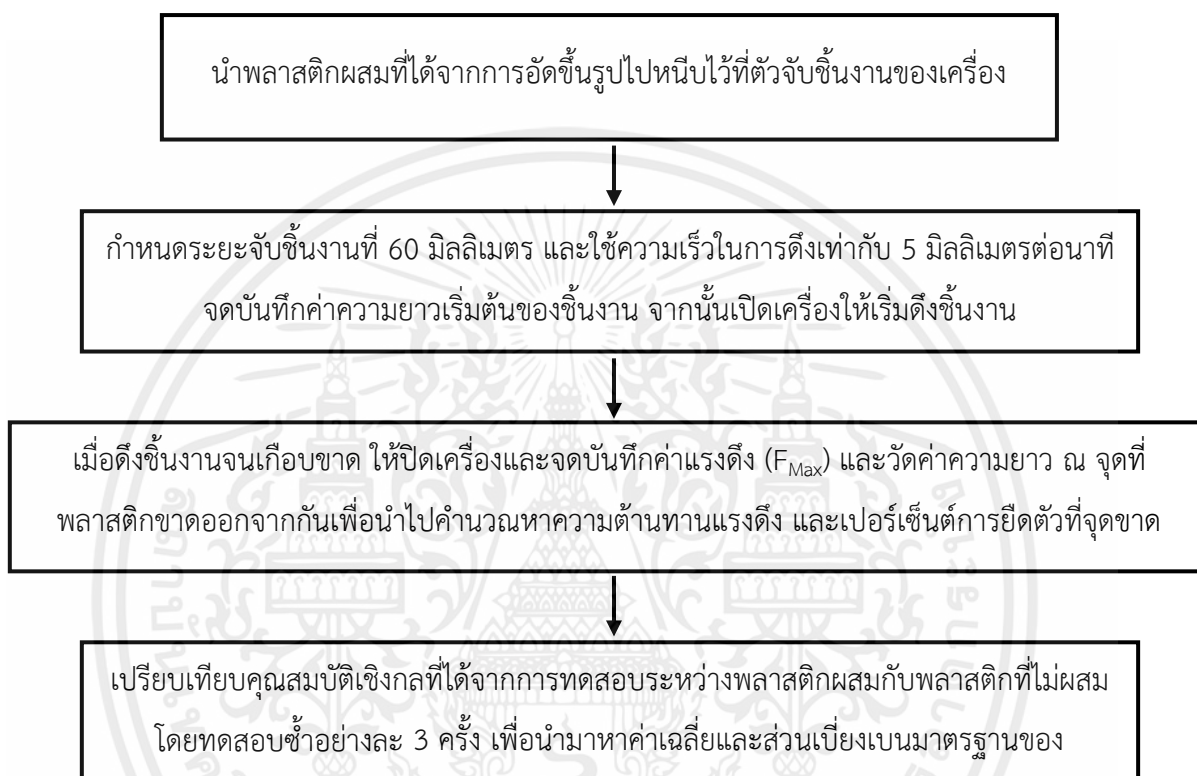


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การศึกษาหาคุณสมบัติเชิงกล

ทดสอบค่าคุณสมบัติเชิงกลของพลาสติกผสมด้วยเครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์ เพื่อหาค่าความแข็งเกร็งของวัสดุ (Modulus) ความแข็งแรงของวัสดุ (Strength) และความยืดของวัสดุ (Elongation) เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับว่าตัวแปรใดที่ส่งผลต่อวัสดุด้วยวิธีการทากูชิ

3.5.1 แผนผังกระบวนการทดลอง



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เล่มนี้ได้ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตระหว่างพลาสติกชีวภาพพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยกล้วย และการตั้งค่าของเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยวเพื่อใช้เป็นสภาวะในการผสม ด้วยการพิจารณาดังต่อไปนี้

4.1 ผลของการผสมเส้นใยกล้วยต่อคุณสมบัติเชิงกล

คุณสมบัติเชิงกลมีความสำคัญต่อคอมโพสิตเป็นอย่างมาก เพราะจะทำให้ได้รู้ว่าควรใช้งานได้มากแค่ไหนในการเลือกใช้เป็นชิ้นงานต่าง ๆ ในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาถึงค่าความต้านทานแรงดึง ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ด้วยการผสมกล้วยเข้าไปในพลาสติกชีวภาพพอลิแลคติกแอซิด 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล จากนั้นนำไปขึ้นรูปต่อด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบกดอัด และนำตัวอย่างที่ได้ไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงอเนกประสงค์ (UTM) ของบริษัท พาราไซแอนติฟิค จำกัด

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยของ Tensile strength, Elongation at Break และ Elastic modulus

Total average	Tensile strength (MPa)	Elastic modulus (GPa)	Elongation at Break (%)
Pure PLA	4.3108	1.0801	0.4190
PLA / 5%Hemp	7.3056	1.1212	0.6721

จากตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยคุณสมบัติเชิงกลของพลาสติกชีวภาพพอลิแลคติกแอซิด กับชีวภาพพอลิแลคติกแอซิดที่ผสมกับเส้นใยกล้วย จะเห็นได้ว่าเมื่อเราผสมเส้นใยกล้วยจะทำให้ค่าคุณสมบัติเชิงกลเฉลี่ยเพิ่มขึ้น โดย ค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) จาก 4.3108 MPa เพิ่มขึ้นเป็น 7.3057 MPa ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น (Elastic modulus) จาก 10.8006 MPa เพิ่มขึ้นเป็น 11.2067 MPa และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) จาก 0.4190% เพิ่มขึ้นเป็น 0.6721% จากผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าการผสมเส้นใยกล้วยลงในพลาสติกพอลิแลคติกแอซิดทำให้คุณสมบัติเชิงกลมากขึ้น เนื่องจากมีเส้นใยกล้วยที่เหนียวผสมภายในเมทริกซ์ของพลาสติกมาช่วยกระจายแรงดึงที่คอมโพสิตได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลของการตั้งค่าเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยวในการผสมคอมโพสิต

การผสมของคอมโพสิตเกิดภายในเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยวที่สามารถตั้งค่าการผสมได้ 3 ตัวแปร คือ อุณหภูมิของได ความเร็วหมุนของสกรู และอุณหภูมิของบาร์เรล อีกทั้งแต่ละตัวแปรก็มี 3 ระดับ ซึ่งผู้วิจัยนำวิธีทาคูซิมาคำนวนทางสถิติ โดยการตัดสินใจด้วยผลกระทบหลักสำหรับค่าตั้งค่าของเครื่องอัดรีดในกระบวนการ ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลดังนี้

4.2.1 ค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) กับตัวแปรในระดับต่าง ๆ

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความต้านทานแรงดึงจากตัวแปรทั้งหมดในระดับต่ำ กลาง และสูง

Die temp. (°C)	Screw speed (rpm)	Barrel temp. (°C)	Tensile strength 1 (MPa)	Tensile strength 2 (MPa)	Tensile strength 3 (MPa)
170	30	160	2.95948	4.7041	4.1760
170	40	170	5.83343	4.6236	5.6699
170	50	180	7.15965	10.4258	6.5527
180	30	170	7.34287	12.5997	7.0587
180	40	180	4.93149	12.5938	13.4361
180	50	160	5.81967	11.4983	11.5959
190	30	180	4.14552	6.4796	7.5505
190	40	160	2.87771	7.9535	8.6132
190	50	170	5.58062	8.8922	6.1785

จากตารางที่ 4.2 นำค่าที่ได้จากการทดสอบไปคำนวณหาค่าอัตราส่วน Signal-to-Noise (S/N ratio) จากโปรแกรม Minitab 19 โดยใช้วิธีทาคูซิมาคำนวนทางสถิติด้วยวิธีการ Larger is better จะได้เป็นตารางที่ 4.3 ตารางที่ 4.4 และ รูปภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า S/N ratio และค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานแรงดึง

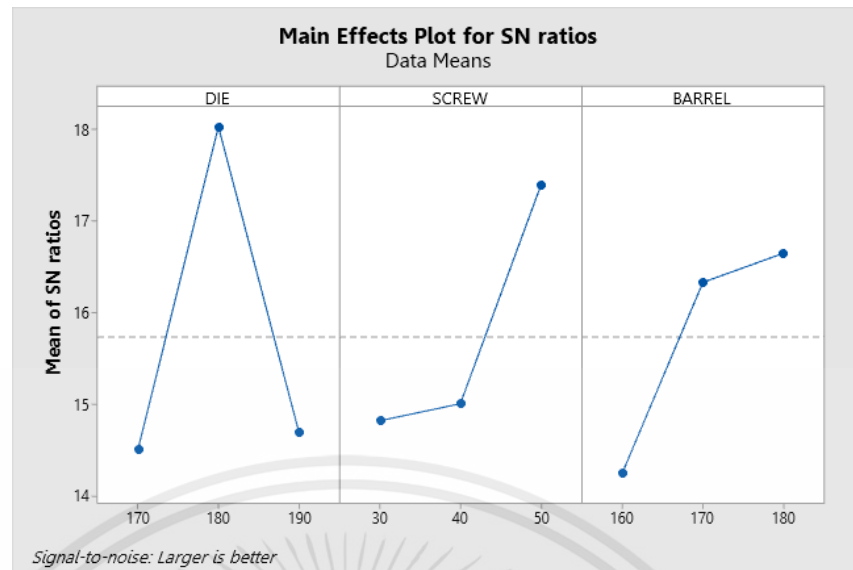
Die temp. (°C)	Screw speed (rpm)	Barrel temp. (°C)	S/N ratio	Mean
170	30	160	11.4125	3.9465
170	40	170	14.4664	5.3756
170	50	180	17.6114	8.0460
180	30	170	18.2472	9.0004
180	40	180	17.5315	10.3205
180	50	160	18.2850	9.6380
190	30	180	14.7909	6.0586
190	40	160	13.0091	6.4815
190	50	170	16.2615	6.8838

ตารางที่ 4.4 ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองสำหรับอัตราส่วน S/N ของค่าความต้านทานแรงดึง

Term	Coef.	SE Coef.	T-value	P-value
Constant	15.7350	0.3568	44.095	0.001
DIE 170	-1.2383	0.5047	-2.454	0.134
DIE 180	2.2862	0.5047	4.530	0.045
SCREW 30	-0.9182	0.5047	-1.819	0.210
SCREW 40	-0.7327	0.5047	-1.452	0.284
BARREL 160	-1.4995	0.5047	-2.971	0.097
BARREL 170	0.5900	0.5047	1.169	0.363

S = 1.0705 , R-Sq = 95.27% , R-Sq(adj.) = 81.08%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ผลกระทบของปัจจัยการควบคุมในอัตราส่วน S/N ของค่าความต้านทานแรงดึง

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิของโดระดับต่ำและสูงจะทำให้ค่าความสามารถในการต้านทานการดึงของคอมโพลีเมอร์น้อยกว่าค่าระดับกลาง อาจเป็นเพราะที่อุณหภูมิของโดต่ำก่อให้เกิดค่าความเหนียวของคอมโพลีเมอร์สูง จะทำให้เส้นใยไม่สามารถกระจายตัวเข้าไปในเมทริกซ์ของพลาสติกได้อย่างทั่วถึง ในทางตรงกันข้ามถ้าอุณหภูมิของโดมีค่าสูงก่อให้เกิดค่าความเหนียวของคอมโพลีเมอร์ต่ำ จะทำให้การเคลื่อนที่ของเส้นใยกับขงนั้นไหลออกทางใดได้เร็วเกินไป ซึ่งทำให้เส้นใยนั้นออกไปก่อนที่จะกระจายตัวเข้าไปในเมทริกซ์ของพลาสติก สำหรับผลจากการทดสอบจะเห็นได้จากค่า S/N ของอุณหภูมิของโดจะดีที่สุดสำหรับค่าความต้านทานแรงดึง ที่ระดับ 180 องศาเซลเซียส

สำหรับความเร็วของสกรูจะส่งผลต่อเวลาของคอมโพลีเมอร์ที่ใช้ในการผสมในเครื่องอัดรีด กับความเค้นเฉือนภายในเครื่องผสม โดยการเพิ่มความเร็วของสกรูจะส่งผล 1. จะลดเวลาที่ใช้ในการผสมของกระบวนการ ทำให้เวลาในการผสมน้อยเกินไป การกระจายตัวของเส้นใยลดลง และ 2. เพิ่มความเค้นเฉือนของกระบวนการ ทำให้การกระจายตัวของเส้นใยเกิดขึ้นได้ดีขึ้น สำหรับผลจากการทดสอบจะเห็นได้จากค่า S/N ของสกรูจะดีที่สุดสำหรับค่าความต้านทานแรงดึง ที่ระดับ 50 รอบต่อนาที

ในส่วนของอุณหภูมิของบาร์เรลจากค่า S/N จะเห็นได้ว่าที่ 180 องศาเซลเซียส ได้ค่าที่ดีที่สุดสำหรับค่าความต้านทานแรงดึง ซึ่งมีค่าเท่ากับค่าของอุณหภูมิของโด เนื่องจากบาร์เรลมีหน้าที่คล้ายกันกับโด ทำให้มีแนวโน้มที่ส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงแบบเดียวกัน แต่ส่งผลกระทบน้อยกว่าเนื่องจากการผสมส่วนมากจะเกิดขึ้นที่โด

จากค่า P-value ของ S/N ในตารางที่ 4.4 ของการตั้งค่าในกระบวนการที่มีระดับนัยสำคัญตามมาตรฐานเชิงสถิติ มีค่าที่ไม่เกิน 5% (0.05) คือ DIE 180 ซึ่งเป็นปัจจัยเดียวที่ไม่เกิน 0.05 กล่าวคือเป็นค่าเดียวที่มีผลต่อ S/N (มีนัยสำคัญ)

4.2.2 ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น (Elastic modulus) กับตัวแปรในระดับต่าง ๆ

ตารางที่ 4.5 แสดงค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นจากตัวแปรทั้งหมดในระดับต่ำ กลาง และสูง

Die temp. (°C)	Screw speed (rpm)	Barrel temp. (°C)	Elastic modulus 1 (GPa)	Elastic modulus 2 (GPa)	Elastic modulus 3 (GPa)
170	30	160	0.74851	0.73526	1.25436
170	40	170	2.01297	0.93861	0.76352
170	50	180	1.70364	1.24332	1.00445
180	30	170	1.24492	1.05648	1.44918
180	40	180	0.64953	1.62888	0.96480
180	50	160	1.01279	0.91612	1.16840
190	30	180	0.76094	1.00179	1.38781
190	40	160	0.67130	1.54897	1.24950
190	50	170	1.08677	1.09691	0.97198

จากตารางที่ 4.5 นำค่าที่ได้จากการทดสอบไปคำนวณหาค่า Signal-to-Noise (S/N ratio) ค่าเฉลี่ยจากโปรแกรม Minitab 19 โดยใช้วิธีทางสถิติด้วยวิธีการ Larger is better จะได้เป็นตารางที่ 4.6 ตารางที่ 4.7 และ รูปภาพที่ 4.2

ตารางที่ 4.6 แสดงค่า S/N ratio และค่าเฉลี่ยของค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น

Die temp. (°C)	Screw speed (rpm)	Barrel temp. (°C)	S/N ratio	Mean
170	30	160	-1.53326	0.91271
170	40	170	-0.13860	1.23837
170	50	180	1.79887	1.31714
180	30	170	1.72345	1.25019
180	40	180	-1.05110	1.08107

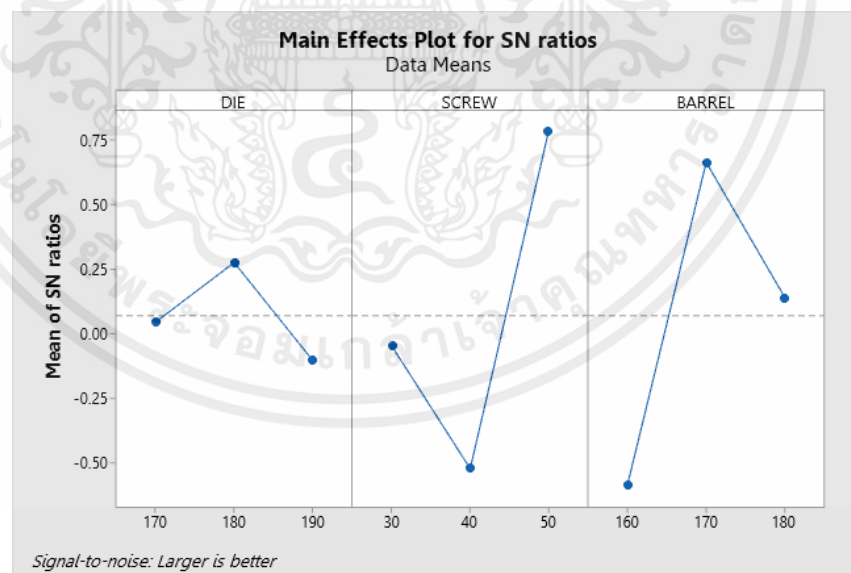
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

180	50	160	0.14884	1.03244
190	30	180	-0.33782	1.05018
190	40	160	-0.38273	1.15659
190	50	170	0.39959	1.05189

ตารางที่ 4.7 ค่าสัมประสิทธิ์แบบจำลองสำหรับอัตราส่วน S/N ของค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น

Term	Coef.	SE Coef.	T-value	P-value
Constant	0.06969	0.5201	0.134	0.906
DIE 170	-0.02736	0.7355	-0.037	0.974
DIE 180	0.20404	0.7355	0.277	0.808
SCREW 30	-0.11890	0.7355	-0.162	0.886
SCREW 40	-0.59384	0.7355	-0.807	0.504
BARREL 160	-0.65874	0.7355	-0.896	0.465
BARREL 170	0.59179	0.7355	0.805	0.505

S = 1.5603 , R-Sq = 51.70% , R-Sq(adj.) = 0.00%



รูปที่ 4.2 ผลกระทบของปัจจัยการควบคุมในอัตราส่วน S/N ของค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น

จากรูปที่ 4.2 การตั้งค่าที่ดีที่สุดคือ อุณหภูมิของดัดที่ 180 องศาเซลเซียส ความเร็วของสกรูที่ 50 รอบต่อนาที และอุณหภูมิของบาร์เรลที่ 170 องศาเซลเซียส แต่จากการศึกษาพบว่าค่ามอดูลัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยืดหยุ่นจะแปรผันตามขนาดของเส้นใยกับปริมาตรของเส้นใยเป็นหลัก และค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นแปรผันตามความเร็วของสกรู เมื่อเพิ่มความเร็วจะทำให้ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น

จากค่า P-value ของ S/N ในตารางที่ 4.7 ไม่มีการตั้งค่าในกระบวนการที่มีระดับนัยสำคัญตามมาตรฐานเชิงสถิติ มีค่าที่ไม่เกิน 5% (0.05) กล่าวคือไม่มีการตั้งค่าใดที่ส่งผลต่อ S/N (ไม่มีตัวแปรที่มีนัยสำคัญ)

4.2.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) กับตัวแปรในระดับต่าง ๆ

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดจากตัวแปรทั้งหมดในระดับต่ำ กลาง และสูง

Die temp. (°C)	Screw speed (rpm)	Barrel temp. (°C)	Elongation at break 1 (%)	Elongation at break 2 (%)	Elongation at break 3 (%)
170	30	160	0.395382	0.63979	0.33292
170	40	170	0.289792	0.49260	0.74260
170	50	180	0.420257	0.83854	0.65236
180	30	170	0.589826	1.19260	0.48708
180	40	180	0.759236	0.77316	1.39264
180	50	160	0.574618	1.25510	0.99247
190	30	180	0.544792	0.64681	0.54406
190	40	160	0.428681	0.51347	0.68933
190	50	170	0.513507	0.81066	0.63566

จากตารางที่ 4.8 นำค่าที่ได้จากการทดสอบไปคำนวณหาค่า Signal-to-Noise (S/N ratio) ค่าเฉลี่ยจากโปรแกรม Minitab 19 โดยใช้วิธีทางสถิติด้วยวิธีการ Larger is better จะได้เป็นตารางที่ 4.9 ตารางที่ 4.10 และ รูปภาพที่ 4.3

ตารางที่ 4.9 แสดงค่า S/N ratio และค่าเฉลี่ยของค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาด

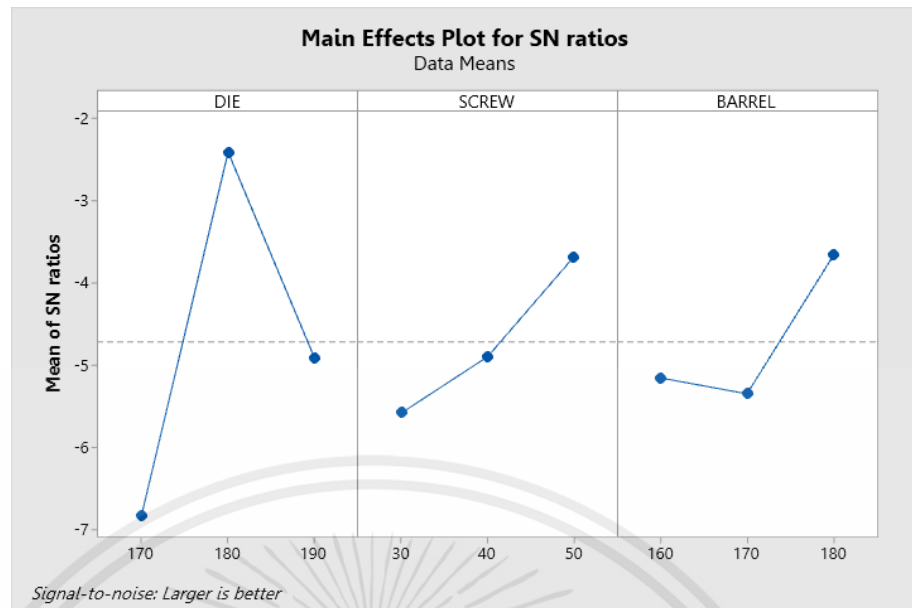
Die temp. (°C)	Screw speed (rpm)	Barrel temp. (°C)	S/N ratio	Mean
170	30	160	-7.74818	0.456030
170	40	170	-7.74324	0.508333
170	50	180	-4.97572	0.637053
180	30	170	-4.14554	0.756505
180	40	180	-1.16527	0.975012
180	50	160	-1.92998	0.940730
190	30	180	-4.83727	0.578553
190	40	160	-5.77453	0.543828
190	50	170	0.289792	0.492604

ตารางที่ 4.10 แสดงค่า S/N ratio และค่าเฉลี่ยของค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาด

Term	Coef.	SE Coef.	T-value	P-value
Constant	-4.7181	0.1866	-25.281	0.002
DIE 170	-2.1042	0.2639	-7.973	0.015
DIE 180	2.3045	0.2639	8.732	0.013
SCREW 30	-0.8589	0.2639	-3.254	0.083
SCREW 40	-0.1762	0.2639	-0.668	0.573
BARREL 160	-0.4328	0.2639	-1.640	0.243
BARREL 170	-0.6260	0.2639	-2.372	0.141

S = 0.5599 , R-Sq = 98.46% , R-Sq(adj.) = 93.82%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ผลกระทบของปัจจัยการควบคุมในอัตราส่วน S/N ของค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาด

จากรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าแนวโน้มของอุณหภูมิของไดและความเร็วของสกรู คล้ายกับที่เกิดขึ้นกับค่าความต้านทานแรงดึง เนื่องจากค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาดแปรผันตามกับการกระจายตัวของเส้นใยซึ่งอุณหภูมิของไดเป็นตัวแปรที่ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ อุณหภูมิของบาร์เรลไม่ได้มีแนวโน้มที่เหมือนกันแต่ที่อุณหภูมิที่ 180 องศาเซลเซียสก็ได้ค่า S/N ที่มากที่สุดเหมือนกัน และจากการศึกษาค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาดของคอมโพสิตจะมีแปรผันตามปริมาณของเส้นใยที่ผสม แต่ถ้ามีเส้นใยมากเกินไปจะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาดลดลงได้ เพราะตัวคอมโพสิตจะไม่มีพลาสติกที่เป็นตัวยึดระหว่างพลาสติกกับเส้นใยกัญชง

จากค่า P-value ของ S/N ในตารางที่ 4.10 ของการตั้งค่าในกระบวนการที่มีระดับนัยสำคัญตามมาตรฐานเชิงสถิติ มีค่าที่ไม่เกิน 5% (0.05) คือ DIE 180 และ DIE 170 ซึ่งเป็นปัจจัยที่ไม่เกิน 0.05 กล่าวคือเป็นค่าที่มีผลต่อ S/N (มีนัยสำคัญ)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากงานวิจัยนี้ที่ศึกษาเกี่ยวกับการเสริมคุณสมบัติเชิงกลของพลาสติกชีวภาพกรดพอลิแลคติก ด้วยเส้นใยกล้วยง ศึกษาผลของการปรับการตั้งค่า 3 ตัวแปรในเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยว ได้แก่ ค่าอุณหภูมิที่หัวได อุณหภูมิของบาร์เรล และความเร็วในการหมุนของสกรู รวมทั้งสิ้น 9 การทดลอง ต่อคอมพิวเตอร์พลาสติกชีวภาพกรดพอลิแลคติกและเส้นใยกล้วยงที่ผสมกันในอัตราส่วน 95 : 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล นำมาขึ้นรูปเป็นแท่งรูปกระดุกที่ความดัน 2.45166 เมกะปาสคาล โดยใช้อุณหภูมิแผ่นบน-ล่าง 190 องศาเซลเซียส และ 200 องศาเซลเซียสตามลำดับ เป็นเวลา 6 นาที และอุณหภูมิหล่อเย็น 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 นาที และวิเคราะห์สมบัติเชิงกลของคอมพิวเตอร์พลาสติกชีวภาพกรดพอลิแลคติกและเส้นใยกล้วยงที่ผสมกันเพื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกชีวภาพกรดพอลิแลคติกที่ไม่ได้ผสมกับเส้นใยกล้วยง

จากการศึกษาพบว่าจากตารางที่ 4.1 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการผสมระหว่างพลาสติกชีวภาพกรดพอลิแลคติกกับเส้นใยกล้วยงในอัตราส่วน 95 : 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ส่งผลให้ค่าคุณสมบัติเชิงกล คือ ค่าความต้านทานแรงดึง ค่าเปอร์เซ็นต์ความยืด ぬ จุดขาด และค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้น โดยมีค่าความต้านทานแรงดึงเพิ่มมา 69.472 เปอร์เซ็นต์ ความต้านทานแรงดึงเพิ่มมา 60.406 เปอร์เซ็นต์ และค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นเพิ่มมา 3.806 เปอร์เซ็นต์

จากการศึกษาผลของการปรับการตั้งค่า 3 ตัวแปรในเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยวทั้ง 9 การทดลอง ดังตารางที่ 4.2 ตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.8 พบว่าค่าตัวแปรทั้ง 3 ส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึง ค่าเปอร์เซ็นต์ความยืด ぬ จุดขาด และค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นต่างกัน โดยการทดลองที่ดีที่สุดสำหรับค่าความต้านทานแรงดึง และค่าเปอร์เซ็นต์ความยืด ぬ จุดขาดคือการทดลองที่ 5 ซึ่งมีการตั้งค่าอุณหภูมิของได 180 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของบาร์เรล 180 องศาเซลเซียส และความเร็วของสกรูที่ 40 รอบต่อนาที สำหรับค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น คือการทดลองที่ 3 ซึ่งมีการตั้งค่าอุณหภูมิของได 170 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของบาร์เรล 180 องศาเซลเซียส และความเร็วของสกรูที่ 50 รอบต่อนาที

เมื่อทำการพิจารณาถึงแนวโน้มการใช้พลาสติกชีวภาพกรดพอลิแลคติกทั้งในปัจจุบันและในอนาคต หากต้องการเพิ่มแนวทางการนำพลาสติกไปประยุกต์ใช้ให้หลากหลายมากยิ่งขึ้น การเพิ่มคุณสมบัติเชิงกลจะยิ่งทำให้พลาสติกชีวภาพกรดพอลิแลคติกเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจ นอกจากการผสมกับเส้นใยกล้วยงแล้ว การเลือกค่าตัวแปรในการปรับค่าในเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยวก็จำเป็นต้องเลือกให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรงกับคุณสมบัติเชิงกลที่ต้องการจะเพิ่ม ซึ่งจากการทดลองทั้ง 9 แบบ และนำค่าที่ได้ไปคำนวณทางสถิติด้วยวิธีทากูจีจะได้ว่าการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับค่าความต้านทานแรงดึง และค่าเปอร์เซ็นต์ความยืด ณ จุดขาด คือ อุณหภูมิของไต 180 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของบาร์เรล 180 องศาเซลเซียส และความเร็วของสกรูที่ 50 รอบต่อนาที ดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.3 และสำหรับค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น คือ อุณหภูมิของไต 180 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของบาร์เรล 170 องศาเซลเซียส และความเร็วของสกรูที่ 50 รอบต่อนาที ดังรูปที่ 4.2

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การผสมเส้นใยกัญชงในอัตราส่วนที่มากขึ้นจนถึง 30 เปอร์เซ็นต์โดยมวล จะทำให้คุณสมบัติเชิงกลอันได้แก่ ค่าความต้านทานแรงดึง ค่าเปอร์เซ็นต์ความยืด ณ จุดขาด และค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นของวัสดุคอมโพสิตมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ควรกระทำโดยใช้เครื่องอัดรีดสกรูคู่ เนื่องจากหากใช้เครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยวจะทำให้ไม่สามารถกระจายเส้นใยไปทั่วพลาสติกอย่างทั่วถึง
2. การทำให้เส้นพลาสติกที่ออกจากเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยวมีขนาดเล็กลงประมาณ 1 มิลลิเมตร สำหรับขั้นตอนการขึ้นรูปด้วยวิธีการกดอัด จะทำให้กระบวนการเป็นไปได้ง่ายขึ้นเนื่องจากจะทำให้อากาศที่เกิดระหว่างช่องว่างตอนเทพลาสติกลงไปแม่พิมพ์ลดน้อยลง
3. การเพิ่มคุณสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตอาจมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นเมื่อใส่สารเติมแต่งเพิ่มเข้าไป เพื่อเพิ่มความต้านทานแรงดึง และความแข็งแรงของคอมโพสิต

บรรณานุกรม

- [1] Dreamcatcher, "คุณสมบัติพลาสติก PLA," บริษัท นีโอเทค จำกัด, 23 December 2013. [Online]. Available: <https://www.print3dd.com/pla-character/>. [Accessed 1 December 2022].
- [2] P. F. Alao, L. Marrot, M. D. Burnard, G. Lavrič, M. Saarna and J. Kers, "Impact of Alkali and Silane Treatment on Hemp/PLA," polymer, vol. 13, p. 851, 2021.
- [3] T. Väisänen, P. Batello, R. Lappalainen and L. Tomppo, "Modification of hemp fibers (Cannabis Sativa L.) for composite applications," Industrial Crops & Products, vol. 111, pp. 422-429, 2018.
- [4] ส. (องค์การมหาชน), "“กัญชง” ไม่ใช่กัญชา," สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน), [Online]. Available: https://www.arda.or.th/knowledge_detail.php?id=57. [Accessed 1 December 2022].
- [5] F. Tanasa, M. Zanoaga, C.-A. Teaca, M. Nechifor and A. Shahzad, "Modified hemp fibers intended for fiber-reinforced," Polymer COMPOSITES, 2019.
- [6] MedThai, "กัญชง สรรพคุณและประโยชน์ของต้นกัญชง 14 ข้อ," MedThai, 1 August 2017. [Online]. Available: <https://medthai.com/%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%8D%E0%B8%8A%E0%B8%87/>. [Accessed 1 December 2022].
- [7] กรุงเทพธุรกิจ, "เกษตรเตรียมเมล็ดกัญชง 5,600 กก.ขึ้นแทนพืชเศรษฐกิจใหม่," นสพ.กรุงเทพธุรกิจ, 5 May 2021. [Online]. Available: <https://www.bangkokbiznews.com/business/936156>. [Accessed 1 December 2022].
- [8] P. F. Alao, L. Marrot, H. Kallakas, A. Just, T. Poltimäe and J. Kers, "Effect of Hemp Fiber Surface Treatment on the Moisture/Water Resistance and Reaction to Fire of Reinforced PLA Composites," Materials, vol. 14, p. 4332, 2021.
- [9] S. Shahria, "Fabrication and Property Evaluation of Hemp-flax Fiber Reinforced Hybrid Composite," Horizon Research Publishing, vol. 7, pp. 17-23, 2019.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] ผ. สุตะพันธ์, ผ. จารุกำจร, ผ. รักสกุลพิวัฒน์, ผ. ศุภกาญจน์ and ผ. ชุมสำโรง, "การเตรียมเส้นใยป่านศรนารายณ์สำหรับพอลิเมอร์คอมโพสิต," มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, p. 4, 2553.
- [11] M. A. Sawpan, K. L. Pickering and A. Fernyhough, "Hemp Fibre Reinforced Poly(lactic acid) Composites," Trans Tech Publications, Vols. 29-30, pp. 337-340, 2007.
- [12] ป. กรรโมปกรณ์, "การแยกเส้นใยกล้วย," มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ, 2561.
- [13] J. R. Dorgan, H. Lehermeier and M. Mang, "Thermal and Rheological Properties of Commercial-Grade Poly(Lactic Acid)s," Journal of Polymers and the Environment, vol. 8, pp. 1566-2543, 2000.
- [14] M. A. Gunning, L. M. Geever, J. A. Killion, J. G. Lyons and C. L. Higginbotham, "The effect of processing conditions for polylactic acid based fibre composites via twin-screw extrusion," Journal of Reinforced Plastics and Composites, p. 1–15, 2013.
- [15] ก. ก. น. และอุตสาหกรรมต่อเนื่อง, "สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย," [Online]. Available: <http://www.ocsb.go.th/upload/bioindustry/fileupload/9757-9874.pdf>. [Accessed 1 December 2022].
- [16] K. Hamad, M. Kaseem, H. Yang, F. Deri and Y. G. Ko, "Properties and medical applications of polylactic acid," eXPRESS Polymer Letters, vol. 9, pp. 435-455, 2015.
- [17] อ. เลิศวรสิริกุล, "พอลิแลกติกแอซิด : พอลิเอสเทอร์ จากทรัพยากรที่สร้างทดแทนใหม่ได้," วิศวกรรมสาร มก ., กรกฎาคม-กันยายน 2554.
- [18] S. Farah, D. G. Anderson and R. Langer, "Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications — A comprehensive review," Advanced Drug Delivery Reviews, vol. 107, p. 367–92, 2016.
- [19] "AINUOK machinery," AINUOK, [Online]. Available: <https://ainuokmachinery.com/extruder-machine/single-screw-extruder-machine/>. [Accessed 1 December 2022].
- [20] T. Fu, B. Haworth and L. Mascia, "Analysis of process parameters related to the single-screw extrusion of recycled polypropylene blends by using design of experiments," Journal of Plastic Film & Sheeting, vol. 0, pp. 1-23, 2016.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[21] ส. บางพาน, พ. บ. นฤเบศร and น. พ. จันทาธิ, "Application of Taguchi Method for Optimizing Shaft Work Piece Assembly Turning Process by the Effects of Machining Parameters," วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ., มกราคม - มิถุนายน 2559.

[22] ธ. วิชิระประเสริฐ and ท. เกียรติเจริญผล, "Experimental Design with Shainin and Taguchi Methods: A Case Study of Aluminum Riveting Process," Naresuan University Engineering Journal, vol. 11, pp. 7-13, 2016.

[23] "INTRODUCTION TO TAGUCHI METHOD," 14 December 2000. [Online].

Available: https://www.ee.iitb.ac.in/~apte/CV_PRA_TAGUCHI_INTRO.htm. [Accessed 1 December 2022].



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

คุณสมบัติของสารที่ใช้ในกระบวนการ

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide)



รูปที่ ก.1 สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทดลอง

แบรนด์ : กรุงเทพเคมี

บริษัทที่ผลิต : บริษัท กรุงเทพเคมี จำกัด

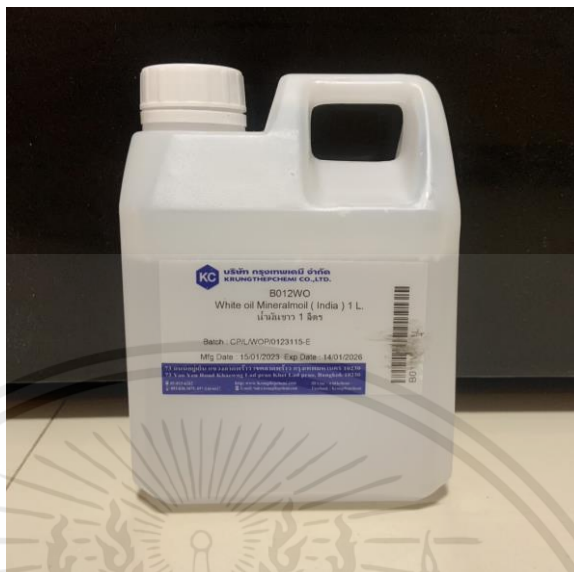
ปริมาณการใช้ : 52.421 กรัม : น้ำ 1 ลิตร

ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติของโซเดียมไฮดรอกไซด์

ชื่อตาม IUPAC	Sodium Hydroxide	
สูตรเคมี	NaOH	
มวลต่อ 1 โมล	39.997	กรัม/โมล
ลักษณะทางกายภาพ	เป็นของแข็งเล็กละเอียด สีขาว	
ความหนาแน่น	2.1	กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
จุดหลอมเหลว	318	องศาเซลเซียส
จุดเดือด	1,390	องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. น้ำมันแร่ (Mineral Oil)



รูปที่ ก.2 สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทดลอง

แบรนด์ : กรุงเทพเคมิ

บริษัทที่ผลิต : บริษัท กรุงเทพเคมิ จำกัด

ปริมาณการใช้ : 2-3 หยด : ของผสม (พลาสติกกับเส้นใยกล้วย) 100 กรัม

ตารางที่ ก.2 คุณสมบัติของน้ำมันแร่

ชื่อตาม IUPAC	disodium;(8Z)-7-oxo-8-(phenylhydrazinylidene)naphthalene-1,3-disulfonate	
สูตรเคมี	$C_{11}H_{10}N_2O_4S_2Na_2$ <chem>C1=CC=C(C=C1)NN=C2C(=O)C=CC3=CC(=CC(=C32)S(=O)(=O)[O-])S(=O)(=O)[O-].[Na+].[Na+]</chem>	
มวลต่อ 1 โมล	452.363	กรัม/โมล
ลักษณะทางกายภาพ	น้ำมันใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น	
ความหนาแน่น	0.83	กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
จุดหลอมเหลว	-24	องศาเซลเซียส
จุดเดือด	260	องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ภาพประกอบวิธีการทดลอง

1. การปรับสภาพเส้นใยกล้วย

1.1 การผสมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล



รูปที่ ข.1 จำนวนสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ก่อนน้ำ 1 ลิตรในการทดลอง



รูปที่ ข.2 การผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์กับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 การแช่มัดเส้นใยกล้วยลงในสารละลาย



รูปที่ ข.3 เส้นใยกล้วยที่ถูกแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

1.3 การล้างสารละลายออกจากมัดเส้นใยกล้วย



รูปที่ ข.4 เทสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.5 ล้างเส้นใยด้วยน้ำจนกระทั่งน้ำจากเส้นใยเป็นกลาง

1.4 การอบเส้นใยกัญชงในตู้อบ 85 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่



รูปที่ ข.6 แบ่งเส้นใยกัญชงเตรียมเข้าตู้อบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.7 นำถาดที่มีเส้นใยกล้วยงเข้าอบที่ 85 องศาเซลเซียสจนกระทั่งน้ำหนักเส้นใยคงที่

2. การผสมเส้นใยกล้วยกับพลาสติกชีวภาพกรดพอลิแลคติก

2.1 การตัดเส้นใยกล้วย



รูปที่ ข.8 เส้นใยกล้วยที่ถูกตัดเพื่อเตรียมปั่นลดขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การปั่นเส้นใยกล้วย



รูปที่ ข.9 ปั่นเส้นใยที่ได้จากตัดให้มีขนาดตามต้องการ

2.3 การกวนผสมเส้นใยกล้วยกับพลาสติก



รูปที่ ข.10 ผสมพลาสติกกับเส้นใยกล้วยให้เข้ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การปรับค่าพารามิเตอร์ของเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยวและใส่ของผสมลงไป



รูปที่ ข.11 ตั้งค่าเครื่องอัดรีดสกรูเดี่ยวตามทีออกแบบการทดลอง

2.5 การเก็บคอมโพสิตที่ถูกผสมแล้ว



รูปที่ ข.12 คอมโพสิตที่ได้จากเครื่องอัดรีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การกดอัดเพื่อขึ้นรูปคอมโพสิต

3.1 ตัดและป่นคอมโพสิตเพื่อให้มีขนาดเล็กลงสำหรับใส่ในแม่พิมพ์รูปกระดูกสันข



รูปที่ ข.13 ป่นคอมโพสิตให้มีขนาดเล็กลงเพื่อเข้าเครื่องกดอัด



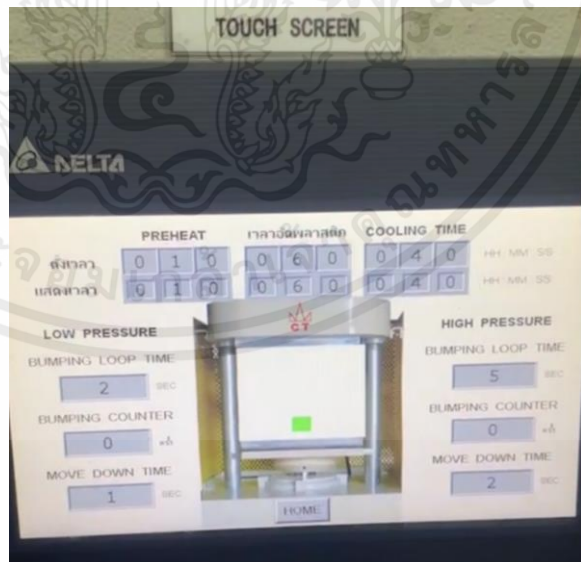
รูปที่ ข.14 นำคอมโพสิตที่ได้จากการป่นมาเรียงในแม่แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ตั้งค่าเครื่องขึ้นรูปแบบกดอัด



รูปที่ ข.15 การตั้งค่าอุณหภูมิของเครื่องกดอัด



รูปที่ ข.16 การตั้งค่าเวลาในการกดอัดของเครื่องกดอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 นำคอมโพสิตที่อัดแล้วออกมา



รูปที่ ข.17 คอมโพสิตที่ได้จากการขึ้นรูปโดยเครื่องกดอัด



รูปที่ ข.18 พลาสติก PLA ที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องกดอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.19 คอมโพลีเมอร์ที่ขึ้นรูปจากการกดอัด

4. การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

4.1 ตั้งค่าพารามิเตอร์ในเครื่องทดสอบ



รูปที่ ข.20 การตั้งค่าเครื่อง UTM ในการวัดแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 นำคอมโพสิตเข้าไปใส่ที่แขนจับของเครื่องทดสอบและกดเริ่มทดสอบ



รูปที่ ข.21 ใส่ตัวทดสอบในเครื่อง UTM



รูปที่ ข.22 ขั้นตอนในการดึงตัวอย่างทดสอบ

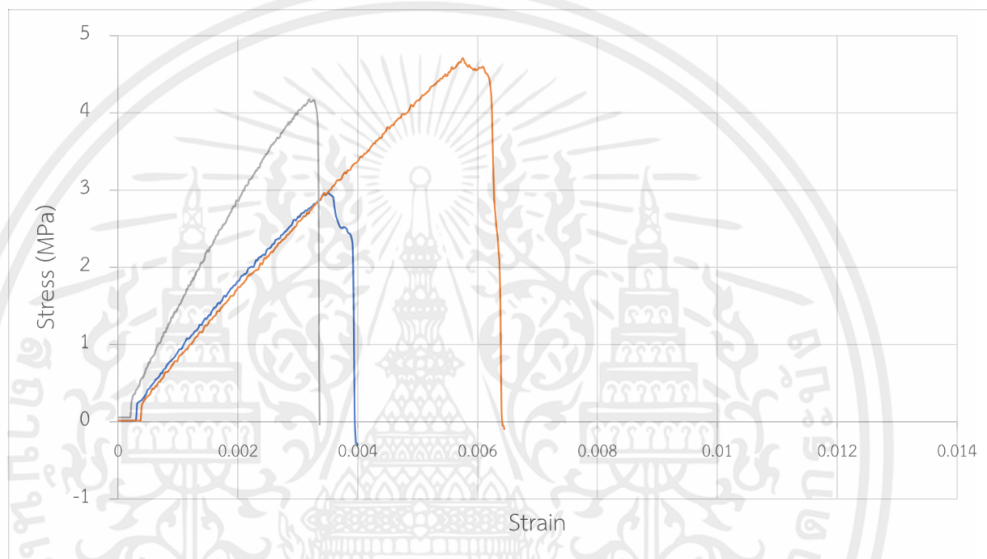
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

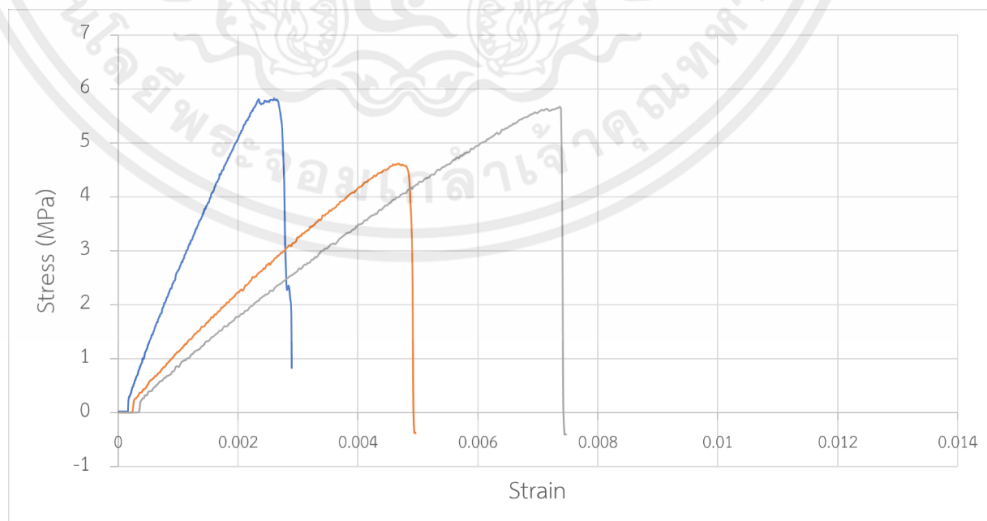
ผลการทดลอง

1. ผลการวัดแรงดึงที่มากที่สุดในการใช้ดิ่งคอมโพสิตทั้ง 9 การทดลอง

นำค่าที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างคอมโพสิตทั้ง 9 การทดลอง การทดลองละ 3 ตัวอย่าง มาสร้างเป็นกราฟ จะได้กราฟระหว่างความเค้น (Stress) ในแนวแกน Y และความเครียด (Strain) ในแนวแกน X ดังนี้

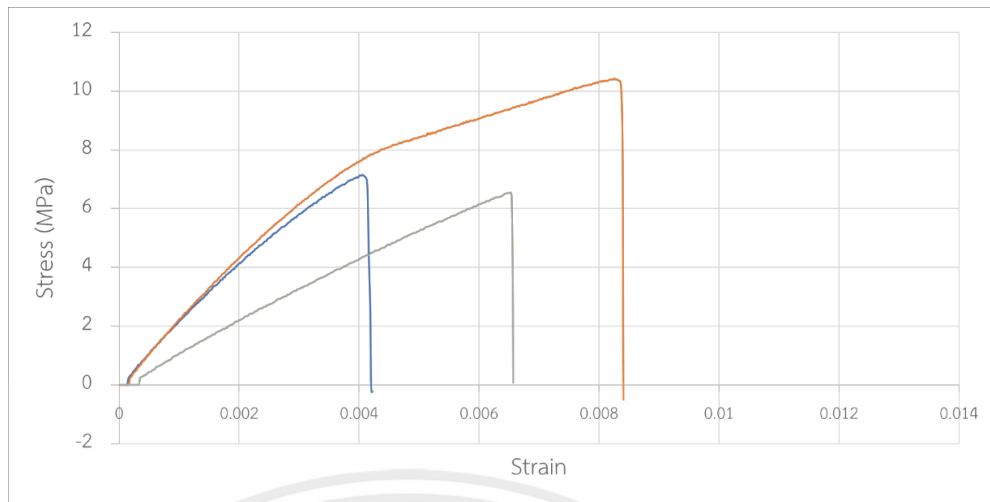


รูปที่ ค.1 กราฟความเค้นต่อความเครียดของการทดลองที่ 1

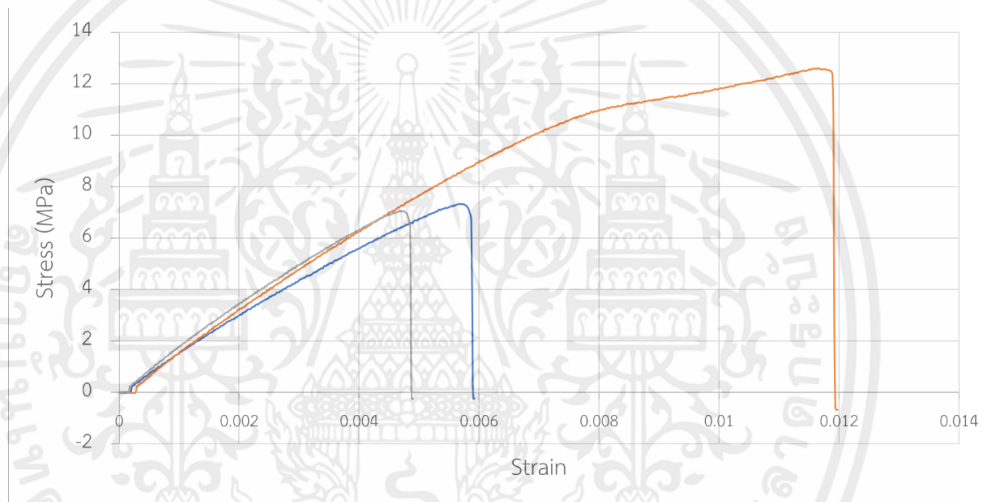


รูปที่ ค.2 กราฟความเค้นต่อความเครียดของการทดลองที่ 2

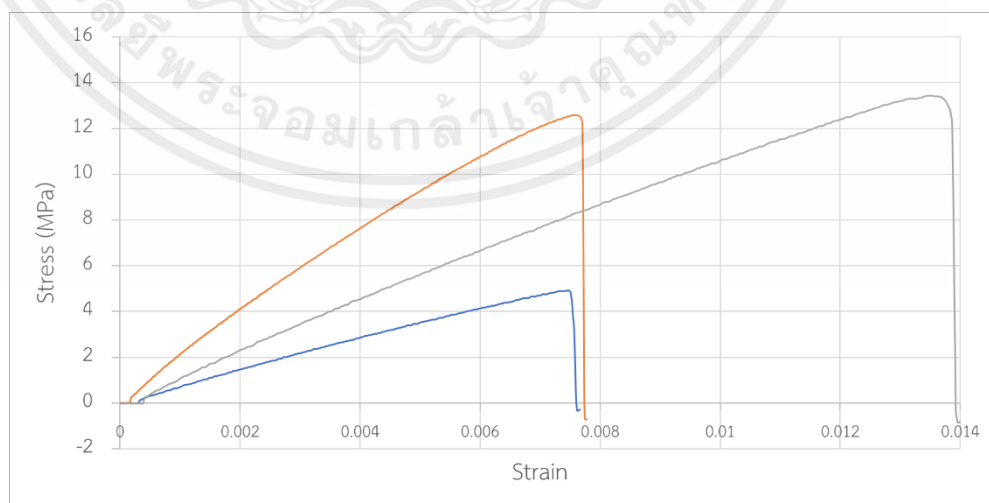
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.3 กราฟความเค้นต่อความเครียดของการทดลองที่ 3

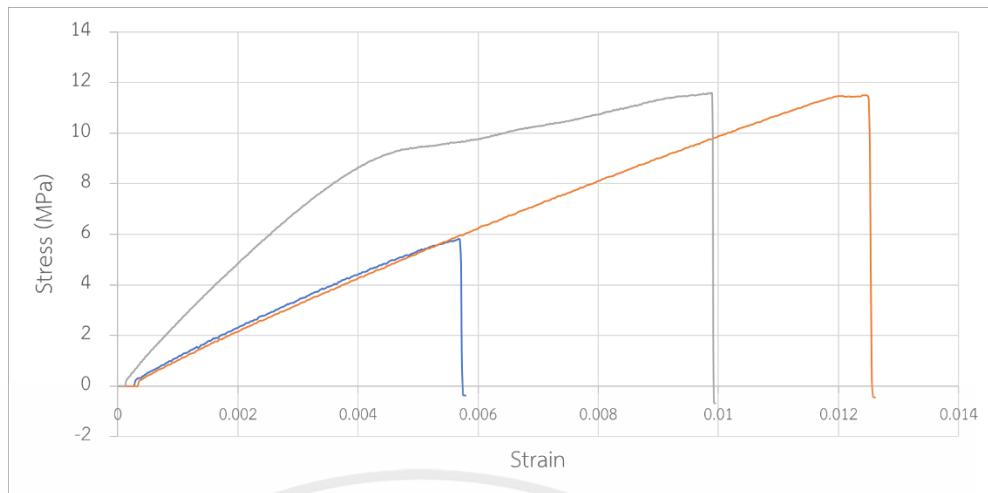


รูปที่ ค.4 กราฟความเค้นต่อความเครียดของการทดลองที่ 4

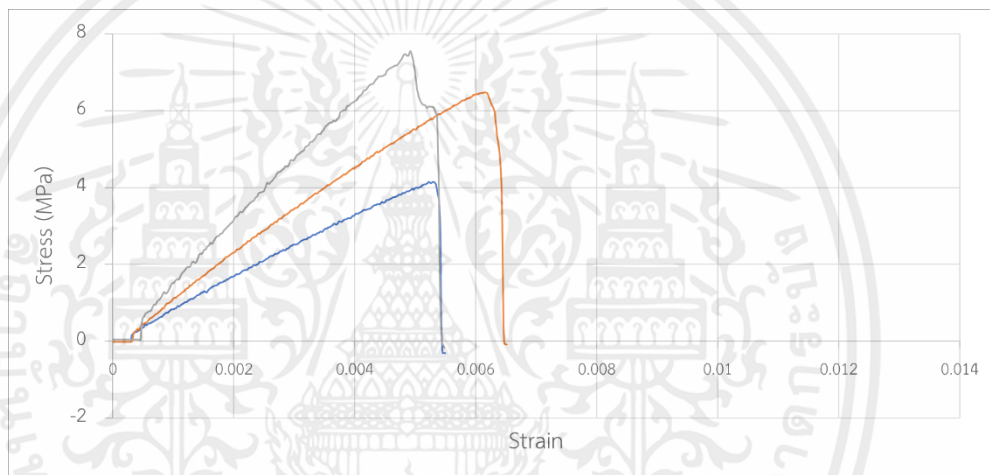


รูปที่ ค.5 กราฟความเค้นต่อความเครียดของการทดลองที่ 5

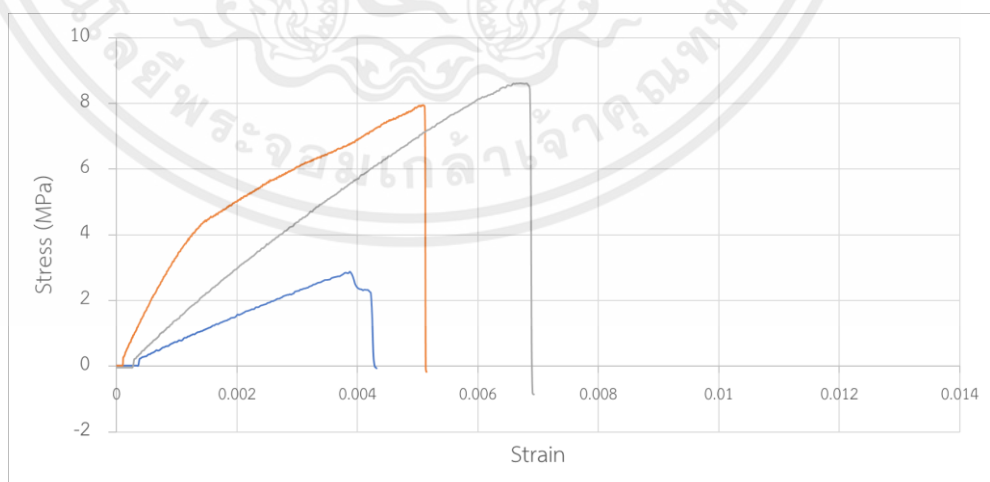
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.6 กราฟความเค้นต่อความเครียดของการทดลองที่ 6

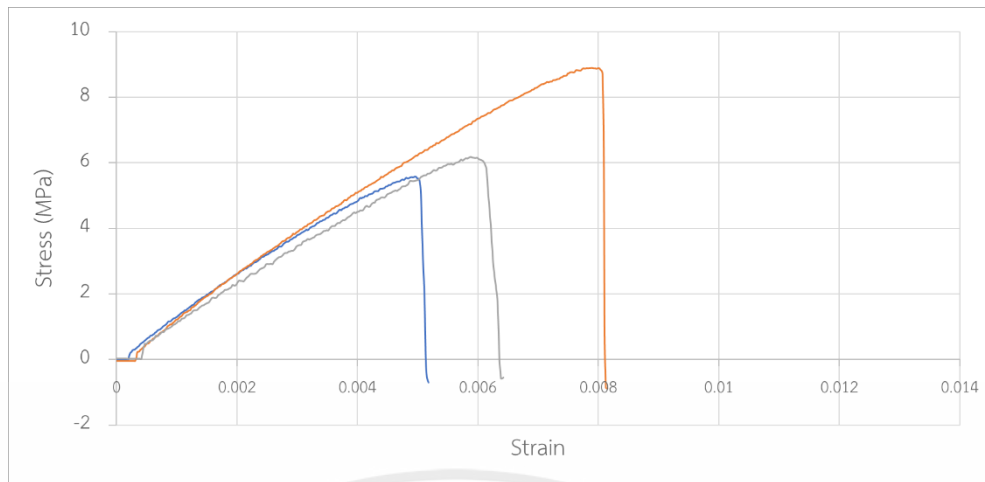


รูปที่ ค.7 กราฟความเค้นต่อความเครียดของการทดลองที่ 7



รูปที่ ค.8 กราฟความเค้นต่อความเครียดของการทดลองที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.9 กราฟความเค้นต่อความเครียดของการทดลองที่ 9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ตัวอย่างการคำนวณ

1. การคำนวณค่าความต้านทานแรงดึง

การคำนวณค่าความต้านทานแรงดึงในหน่วยเมกะปาสคาล เมื่อใช้การทดสอบที่ 5 ที่มีแรงดึง 187.8897 นิวตัน 479.8253 นิวตัน และ 511.9165 นิวตัน สำหรับตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ และมีพื้นที่หน้าตัด 38.1 ตารางมิลลิเมตร สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ค่าความต้านทานแรงดึง} &= \frac{187.8897 \text{ N}}{38.1 \text{ mm}^2} = 4.9315 \text{ MPa} \\ &= \frac{479.8253 \text{ N}}{38.1 \text{ mm}^2} = 12.5938 \text{ MPa} \\ &= \frac{511.9165 \text{ N}}{38.1 \text{ mm}^2} = 13.4361 \text{ MPa} \end{aligned}$$

สำหรับการทดสอบที่ 5 ค่าความต้านทานแรงดึงมีค่า 4.9315 เมกะปาสคาล 12.5938 เมกะปาสคาล และ 13.4361 เมกะปาสคาล สำหรับตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ

2. การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความยืด ณ จุดขาด

การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความยืด ณ จุดขาด เมื่อใช้การทดสอบที่ 5 ที่มีความยาวเพิ่มเติมที่ดึงจนคอมโพสิตขาดที่ 0.4555 มิลลิเมตร 0.4639 มิลลิเมตร และ 0.8356 มิลลิเมตร สำหรับตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ และมีความยาวเดิม 60 มิลลิเมตร สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ค่าเปอร์เซ็นต์ความยืด ณ จุดขาด} &= \frac{0.4555 \text{ mm}}{60 \text{ mm}} \times 100 = 0.7592 \% \\ &= \frac{0.4639 \text{ mm}}{60 \text{ mm}} \times 100 = 0.7732 \% \\ &= \frac{0.8356 \text{ mm}}{60 \text{ mm}} \times 100 = 1.3926 \% \end{aligned}$$

สำหรับการทดสอบที่ 5 ค่าเปอร์เซ็นต์ความยืด ณ จุดขาดมีค่า 0.7592 เปอร์เซ็นต์ 0.7732 เปอร์เซ็นต์ และ 1.3926 เปอร์เซ็นต์ สำหรับตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ

3. การคำนวณค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น

การคำนวณค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นในหน่วยเมกะปาสคาล เมื่อใช้การทดสอบที่ 5 ที่มีค่าความต้านทานแรงดึงในหน่วยเมกะปาสคาล 4.9315 เมกะปาสคาล 12.5938 เมกะปาสคาล และ 13.4361 เมกะปาสคาล สำหรับตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับและมีค่าเปอร์เซ็นต์ความยืด ๓ จุดขาด 0.7592 เปอร์เซ็นต์ 0.7732 เปอร์เซ็นต์ และ 1.3926 เปอร์เซ็นต์ สำหรับตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น} &= \frac{4.9315 \text{ MPa}}{0.7592} \times 100 \times \frac{1 \text{ GPa}}{1000 \text{ MPa}} = 0.6495 \text{ GPa} \\ &= \frac{12.5938 \text{ MPa}}{0.7732} \times 100 \times \frac{1 \text{ GPa}}{1000 \text{ MPa}} = 1.6289 \text{ GPa} \\ &= \frac{13.4361 \text{ MPa}}{1.3926} \times 100 \times \frac{1 \text{ GPa}}{1000 \text{ MPa}} = 0.9648 \text{ GPa} \end{aligned}$$

สำหรับการทดสอบที่ 5 ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นมีค่า 0.6495 GPa 1.6289 GPa และ 0.9648 GPa สำหรับตัวอย่างที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ