



การปรับปรุงสมบัติทางกลของพอลิแลคติกแอซิดด้วยเส้นใยปาล์มน้ำมัน
Improvement of Mechanical Properties in Polylactic Acid by
Using Oil Palm Fiber

นางสาวทิชัมพร ศรีหาระ
นางสาวนันทวัน เหล่ารัตน์อุจน์จิต

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ปีการศึกษา 2561



การปรับปรุงสมบัติทางกลของพอลิแลกติกแอซิดด้วยเส้นใยปาล์มน้ำมัน
Improvement of Mechanical Properties in Polylactic Acid
by Using Oil Palm Fiber

นางสาวทิฆัมพร

ศรียหาระ

นางสาวนันทวัน

เหล่ารัตน์อุ่นจิต

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร


ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อปริญญาโท การปรับปรุงสมบัติทางกลของพอลิแลกติกแอซิดด้วยเส้นใยพอลิเอทิลีน
ชื่อ นามสกุล นางสาวทิฆัมพร ศรีหระ และ นางสาวนันท์วัน เหล่ารัตนอุจน์
ชื่อปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา วัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม
คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์กัลทิมา เขาว์ชาญชัยกุล, ปร.ด.

คณะกรรมการสอบได้ให้ความเห็นชอบปริญญาโทฉบับนี้แล้ว


..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ฟลอกษณ์ คุ่มกล้า, วท.ม.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปิยะพงษ์ ปานแก้ว, ปร.ด.)


..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กัลทิมา เขาว์ชาญชัยกุล, ปร.ด.)

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อนุมัติให้รับปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม

วันที่ 8 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2562

ชื่อปริญญาบัตร	การปรับปรุงสมบัติทางกลของพอลิแลกติกแอซิดด้วยเส้นใยพาล์มน้ำมัน
ชื่อ - สกุล	นางสาวทิฆัมพร ศรีหาระ และ นางสาวนันทวัน เหล่ารัตนอุจน์จิต
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม
คณะ	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงความเหนียวของพอลิแลกติกแอซิด และการลดต้นทุนวัตถุดิบด้วยการเติมเส้นใยพาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิวและไม่ผ่านการปรับปรุงผิว โครงการนี้แบ่งงานออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยพาล์มน้ำมันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ งานส่วนที่สองเป็นการศึกษาผลของปริมาณเส้นใยพาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิวและไม่ผ่านการปรับปรุงผิวที่มีต่อสมบัติทางกลของพอลิแลกติกแอซิด สำหรับการปรับปรุงผิวเส้นใยพาล์มน้ำมัน ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเวลาในการแช่ถูกปรับเปลี่ยนความเข้มข้น ตั้งแต่ 0 ถึง 15 %โดยน้ำหนัก และเวลา ตั้งแต่ 0 ถึง 30 นาที ตามลำดับอัตราส่วนระหว่างความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย และลักษณะพื้นผิวของเส้นใยพาล์มน้ำมันผ่านการปรับปรุงผิวและไม่ผ่านการปรับปรุงผิวถูกตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ตามลำดับ จากผลการทดลอง พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยพาล์มน้ำมัน คือ ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 %โดยน้ำหนัก ที่เวลาในแช่ 20 นาที เส้นใยพาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิวทำให้เกิดรูพรุนขนาดเล็กที่พื้นผิว และพื้นผิวเส้นใยมีความขรุขระเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว สำหรับผลของปริมาณเส้นใยพาล์มน้ำมันที่ปรับปรุงผิวและไม่ปรับปรุงผิวที่มีต่อสมบัติทางกลของพอลิแลกติกแอซิดถูกประเมินจากการทดสอบสมบัติการรับแรงดึง และแรงกระแทก กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดถูกใช้ในการประเมินการยึดเกาะระหว่างเฟส และการกระจายตัวของเส้นใย จากผลการทดลอง พบว่า ค่ามอดูลัสความต้านทานแรงดึง และค่าความต้านทานแรงกระแทกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วยการเติมเส้นใยพาล์มน้ำมัน 2.5 %โดยน้ำหนัก และมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไม่มาก

นักเมื่อปริมาณเส้นใยปาล์มน้ำมันมากกว่า 2.5 %โดยน้ำหนัก ในขณะที่ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด และค่าการยืดตัว ณ จุดขาดมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มมากขึ้น การปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มน้ำมันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีส่วนช่วยทำให้สมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบถูกปรับปรุงเนื่องจากได้ปรับปรุงการยึดเกาะระหว่างเฟส และการกระจายของเส้นใยให้ดีขึ้น

คำสำคัญ : พลาสติกชีวภาพ, พอลิแลกติกแอซิด, วัสดุเชิงประกอบ, พลาสติกไฮเซอร์, เส้นใยธรรมชาติ



Project title	Improvement of Mechanical Properties in Polylactic Acid by Using Oil Palm Fiber
Author	Miss Thikampon Srinara Miss Nantawan Lowrattanaounjit
Degree	Bachelor of Science
Major program	Industrial Materials Science Faculty of Science and Technology
Academic Year	2018

ABSTRACT

This research work was to study the improvement of toughness of polylactic acid (PLA) and the cost reduction of raw material with addition of untreated and treated oil palm fiber (OPF). The detail of this work was divided into two parts. The first was to find the suitable condition for surface treatment of OPF with sodium hydroxide (NaOH). The second part was to study the effect of untreated and treated OPF contents on the mechanical properties of PLA. For surface treatment of OPF, NaOH concentrations and immersion times were varied from 0 to 15 wt% and 0 to 30 min, respectively. Aspect ratio (L/D) and surface of untreated and treated OPF were investigated by using optical microscope and scanning electron microscope (SEM), respectively. The result suggested that the most suitable condition for surface treatment of OPF was NaOH concentration of 10 wt% at immersion time of 20 min. Treated OPF was occurred microporous and had more rough as compare to untreated fiber. For the effect of untreated and treated OPF contents on the mechanical properties of PLA, it was evaluated by tensile and impact testing. SEM was used for investigation of interfacial adhesion and fiber dispersion. The results showed that tensile modulus and impact strength tend to increase with adding 2.5 wt% OPF content and slightly changed at higher OPF content whereas ultimate

tensile strength and elongation at break decreased with increasing fiber content. Surface treatment with NaOH led to enhancement of mechanical properties of composite due to improve interfacial adhesion and fiber dispersion.

Keywords : Bioplastic, Polylactic acid, Composite, Plasticizers, Natural fiber



กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ได้ประสบความสำเร็จไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับทุนอุดหนุนงบประมาณจากโครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และได้รับความอนุเคราะห์การเอื้อเฟื้อจากบุคลากรหลายท่านที่ให้ความช่วยเหลือเรื่อยมา ให้ทั้งคำแนะนำและแนวทางในการแก้ไขตลอดจนข้อบกพร่องต่างๆ จนทำให้โครงการเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้จัดทำโครงการนี้ขอขอบคุณในความกรุณาของท่านไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.กัลทิมา เชาว์ชาญชัยกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสิรินธร ไทย-เยอรมัน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และสาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่อำนวยความสะดวกในการใช้ เครื่องมือต่างๆ ในการทำโครงการนี้ สอนวิธีใช้เครื่องให้เชี่ยวชาญและสามารถนำไปใช้ได้จริง

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบุคลากรที่คอยให้กำลังใจแก่ผู้จัดทำมาโดยตลอดและขอขอบคุณคณะอาจารย์ทุกท่านที่เป็นผู้ถ่ายทอดวิชาเฉพาะของแต่ละคนนั้น โดยสอนวิชาอย่างเข้าใจและสามารถนำมาใช้ได้จริงในชีวิตประจำวัน

นางสาวทิฆัมพร ศรีหาระ

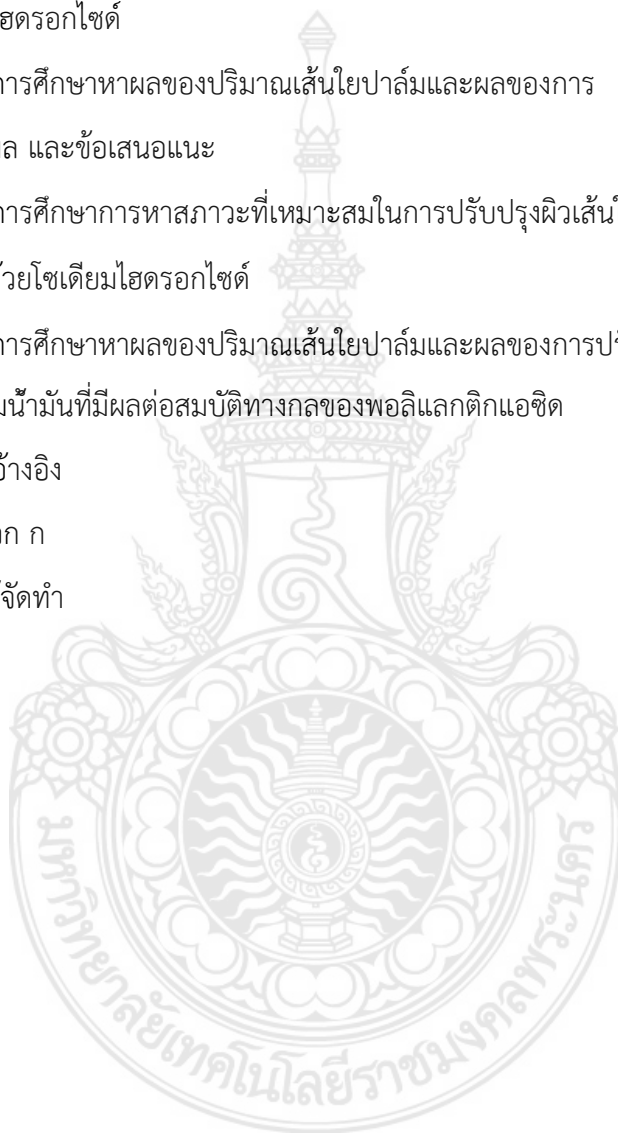
นางสาวนันท์วัน เหล่ารัตนอุจน์จิต

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญรูป	ซ
สารบัญตาราง	ฅ
1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ระยะเวลาการดำเนินงาน	4
2. แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 พลาสติกชีวภาพ	6
2.2 พอลิแลกติกแอซิด	7
2.3 เส้นใยธรรมชาติ	14
2.4 วัสดุเชิงประกอบ	22
2.5 พลาสติกไฮเซออร์	26
2.6 การปรับปรุงผิวทางเคมี	28
2.7 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	31
3. วิธีดำเนินการ	
3.1 สารและวัสดุที่ใช้ในการทดลอง	34
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	37
3.3 แผนการดำเนินการทดลอง	41
3.4 วิธีการทดลอง	43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4. ผลการทดลอง	50
4.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	50
4.2 การศึกษาหาผลของปริมาณเส้นใยปาล์มและผลของการ	52
5. สรุปผล และข้อเสนอแนะ	59
5.1 การศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มน้ำมันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	59
5.2 การศึกษาหาผลของปริมาณเส้นใยปาล์มและผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มน้ำมันที่มีผลต่อสมบัติทางกลของพอลิแลกติกแอซิด	60
เอกสารอ้างอิง	61
ภาคผนวก ก	65
ประวัติผู้จัดทำ	68



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	วัฏจักรชีวิตของพอลิแลกติกแอซิด	8
2.2	โครงสร้างของกรดแลกติก	9
2.3	ขั้นตอนผลิตและการย่อยสลายของพอลิแลกติกแอซิด	10
2.4	กลไกการสังเคราะห์พอลิแลกติกแอซิด	11
2.5	โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส	14
2.6	ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส	15
2.7	โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน	16
2.8	ลักษณะของพื้นผิวเส้นใยปาล์ม	17
2.9	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของเส้นใยธรรมชาติและปริมาณเซลลูโลส	18
2.10	แบบจำลองโครงสร้างของเส้นใยธรรมชาติ	19
2.11	แบบจำลองการจัดเรียงตัวของเซลลูโลส ลิกนิน และเฮมิเซลลูโลสของผนังเซลล์	19
2.12	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของเส้นใยธรรมชาติและมุมการบิดเกลียวของเซลลูโลส	20
2.13	ค่าความเค้นแรงดึงของเส้นใยและความเค้นเฉือนที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดความยาวเส้นใยที่ถูกฝังในเนื้อเมทริกซ์ในขณะที่ขึ้นงานได้รับแรงดึงในทิศทางเดียวกับการจัดเรียงตัวของเส้นใย	21
2.14	ผลของความยาวเส้นใยที่มีต่อความเค้นแรงดึงของเส้นใย	21
2.15	ความสัมพันธ์ระหว่างความละเอียดของเส้นใยและความทนแรงดึงสูงสุดของเส้นใยธรรมชาติ	22
2.16	กลไกการยึดติดกันระหว่างพื้นผิวแบบเชิงกล	24
2.17	กลไกการยึดติดกันระหว่างพื้นผิวด้วยประจุไฟฟ้า	25
2.18	แสดงกลไกการยึดติดกันระหว่างพื้นผิวด้วยพันธะเคมี	25
2.19	กลไกการยึดติดแบบแพร่ผ่าน	26

สารบัญรูป (ต่อ)

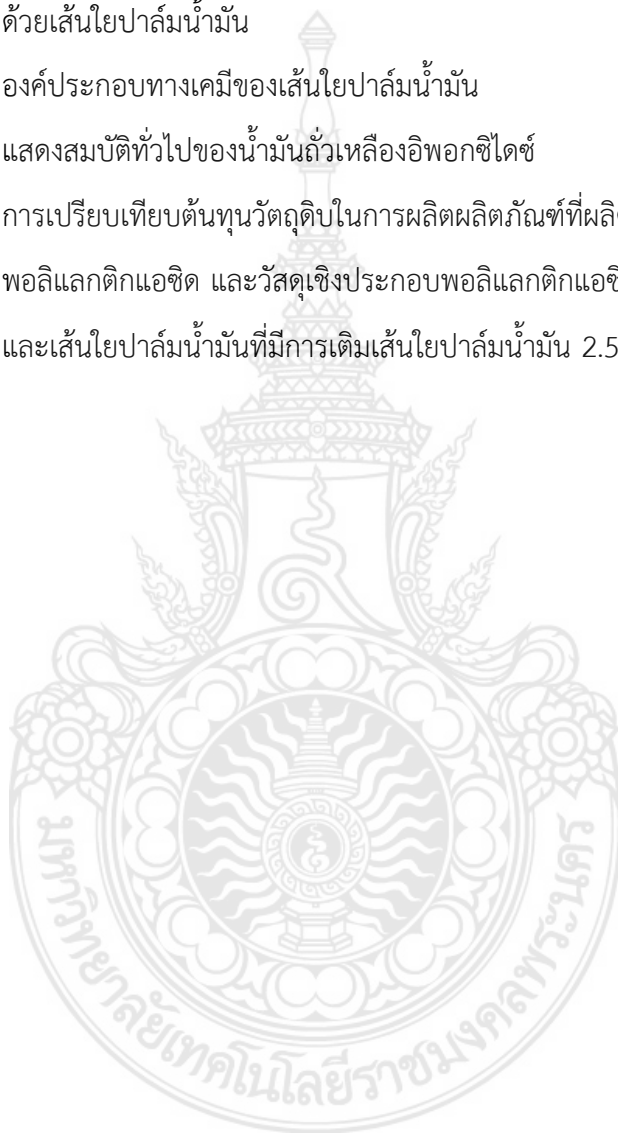
รูปที่		หน้า
2.20	กลไกปฏิกิริยาอีพอกซีเดชันบนพื้นระคู่ของน้ำมันถั่วเหลือง	27
2.21	ปฏิกิริยาอีพอกซีเดชันของน้ำมันถั่วเหลือง	27
3.1	เม็ดพลาสติกพอลิแลกติกแอซิด	34
3.2	ลักษณะเส้นใยปาล์มน้ำมัน	35
3.3	ลักษณะโซเดียมไฮดรอกไซด์	35
3.4	น้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซีไดซ์	36
3.5	เครื่องอบลมร้อน	37
3.6	เครื่องอัดรีดสกรูคู่ แบบหมุนร่วม	37
3.7	เครื่องอัดขึ้นรูป	38
3.8	กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง	38
3.9	เครื่องมือทำรอยบากชิ้นงาน	39
3.10	เครื่องมือทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทก	39
3.11	เครื่องทดสอบแรงดึง	40
3.12	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	40
3.13	แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการการหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	41
3.14	แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการการศึกษาหาผลของปริมาณเส้นใยปาล์มและผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มที่มีผลต่อสมบัติทางกลของพอลิแลกติกแอซิด	42
3.15	การแช่เส้นใยธรรมชาติในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	43
3.16	ลักษณะของเส้นใยปาล์มน้ำมันภายหลังการปรับปรุงผิวและผ่านการอบไล่ความชื้น	44
3.17	การผสมระหว่างพอลิแลกติกแอซิดและเส้นใยปาล์มน้ำมัน	46

สารบัญรูป (ต่อ)

เรื่อง	หน้า	
3.18	แม่พิมพ์สำหรับการเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึง	47
3.19	แม่พิมพ์สำหรับการเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงกระแทก	47
3.20	ลักษณะชิ้นงานทดสอบแรงดึง และแรงกระแทกที่ได้จากกระบวนการอัดขึ้นรูป	48
4.1	กราฟค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลาง ของเส้นใยพอลิเมอร์น้ำมัน (L/D)	50
4.2	ภาพถ่ายลักษณะของพื้นผิวเส้นใยพอลิเมอร์น้ำมันก่อนและหลังการปรับปรุงผิว โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ถ่ายด้วยกล้อง SEM	51
4.3	กราฟแสดงค่ามอดุลัสการต้านทานแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ ระหว่างพอลิแลกติกแอซิดกับเส้นใยพอลิเมอร์ที่ผ่านปรับปรุงผิว และไม่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	52
4.4	ผลของปริมาณเส้นใยพอลิเมอร์ และการปรับปรุงผิวเส้นใยที่มีต่อค่า ความต้านทานแรงดึงสูงสุดของวัสดุเชิงประกอบพอลิแลกติกแอซิด และเส้นใยพอลิเมอร์	53
4.5	ภาพโครงสร้างจุลภาคแสดงการกระจายตัวของเส้นใยพอลิเมอร์น้ำมัน ณ บริเวณรอยแตกหักของชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบพอลิแลกติกแอซิด และเส้นใยพอลิเมอร์ที่ผ่านการทดสอบแรงกระแทก ณ กำลังขยาย 100 เท่า	54
4.6	ภาพโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยแตกหักของชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบ พอลิแลกติกแอซิดและเส้นใยพอลิเมอร์ที่ผ่านการทดสอบแรงกระแทก ณ กำลังขยาย 1,000 เท่า	55
4.7	กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาด ของวัสดุเชิงประกอบ พอลิแลกติกแอซิดกับเส้นใยพอลิเมอร์	56
4.8	กราฟค่าความต้านทานแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบพอลิแลกติกแอซิด และเส้นใยพอลิเมอร์	57

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	แผนการดำเนินงานการปรับปรุงสมบัติทางกลของพอลิแลกติกแอซิด ด้วยเส้นใยพาล์มน้ำมัน	4
2.1	องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยพาล์มน้ำมัน	18
3.1	แสดงสมบัติทั่วไปของน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดซ์	36
4.1	การเปรียบเทียบต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจาก พอลิแลกติกแอซิด และวัสดุเชิงประกอบพอลิแลกติกแอซิด และเส้นใยพาล์มน้ำมันที่มีการเติมเส้นใยพาล์มน้ำมัน 2.5 %โดยน้ำหนัก	58



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบันพลาสติกเป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้งานเป็นจำนวนมากส่วนใหญ่จะนำไปใช้งานทางด้านบรรจุภัณฑ์ทางด้านอาหาร เช่น ถุงพลาสติกสำหรับบรรจุอาหารที่ปรุงสุกทั้งร้อนและเย็น ผลไม้ และผักหลากหลายชนิด นอกจากถุงพลาสติกแล้วยังมีอุปกรณ์ในครัวเรือนที่ใช้งานกันทั่วไป คือ ขัน กะละมัง ขวดน้ำ ถังน้ำ โต้ะ แก้ว และสิ่งของอุปโภคต่างๆอีกมากมาย รวมถึงพลาสติกที่ใช้ในการห่อหุ้มป้องกันสิ่งของเครื่องใช้ต่างๆ เพื่อไม่ให้เกิดการชำรุดหรือเป็นวัสดุที่ใช้ในทางอิเล็กทรอนิกส์ [1] โดยพลาสติกเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มนุษย์รู้จักกันมานานมากกว่า 130 ปี เพื่อทดแทนวัสดุอื่นๆ เช่น โลหะ ไม้ ยาง หรือวัสดุทางธรรมชาติอื่นๆ พลาสติกส่วนใหญ่ที่ใช้ในท้องตลาดมักสังเคราะห์มาจากน้ำมันปิโตรเลียม และก๊าซธรรมชาติ และโดยส่วนใหญ่มักเป็นพลาสติกย่อยสลายได้ยากจึงต้องใช้เวลาในการย่อยสลาย และต้องเสียงบประมาณในการกำจัดขยะดังกล่าว ขยะพลาสติกจึงส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมรวมถึงการสร้างปัญหาทางมลภาวะ และอีกทั้งต้องใช้พื้นที่จัดเก็บขยะเป็นบริเวณกว้าง พลาสติกที่ใช้งานในชีวิตประจำวันมีบางส่วนที่ถูกนำมาใช้ซ้ำ หรือ ถูกนำกลับมาขึ้นรูปใหม่ และบางส่วนถูกกำจัดทิ้ง แต่ในการกำจัดทิ้งนั้นสามารถดำเนินการโดยวิธีการเผาทำลาย หรือฝังกลบ [2] เมื่อขยะพลาสติกมากกว่าครึ่งถูกกำจัดด้วยกระบวนการที่ไม่ถูกต้องก่อให้เกิดมลภาวะในด้านต่างๆ แนวทางในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับขยะพลาสติกที่เหมาะสม คือ การนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ และอีกหนึ่งทางเลือกก็คือการเลือกใช้พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ [3]

พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ (Biodegradable plastic) หมายถึงพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้โดยวิธีธรรมชาติจึงช่วยลดปัญหามลพิษในสิ่งแวดล้อม พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้มีหลากหลายชนิด เช่น พอลิเมอร์ที่ได้มาจากวัตถุดิบที่เป็นมวลชีวภาพ พอลิเมอร์ที่ได้มาจากการผลิตจุลินทรีย์ พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นจากกระบวนการทางเคมี และพอลิเมอร์จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี [4] โดยในงานวิจัยนี้พลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ที่ถูกเลือกนำมาใช้ทำการศึกษา คือ พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มพอลิเมอร์ ที่สังเคราะห์ขึ้นจาก

กระบวนการทางเคมี โดยใช้วัตถุดิบที่เป็นมอโนเมอร์ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง และอ้อย โดยการนำไปทำการหมักน้ำตาลให้เป็นกรดแลคติก (Lactic acid) จากนั้นนำมาทำปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรซ์เซชัน (Polymerization) และได้เป็นพอลิแลคติกแอซิด สมบัติที่โดดเด่นของพอลิแลคติกแอซิดมีอยู่ด้วยกันหลายประการ คือ มีความแข็งแรงทนทาน มีความคงรูปร่างสูง มีลักษณะใสและเงา ขึ้นรูปง่าย และมีจุดหลอมเหลวต่ำ แต่อย่างไรก็ตามพอลิแลคติกแอซิดยังคงมีข้อเสียในเรื่องของความเปราะ ความทนต่อแรงกระแทกต่ำ ทนความร้อนได้ต่ำ ไม่ทนแรงบิด และมีราคาแพงกว่าพลาสติกทางการค้า [5] จากปัญหาที่พบดังกล่าวเป็นอุปสรรคในการนำเอาพอลิแลคติกแอซิดมาใช้ในการผลิตบรรจุภัณฑ์จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงสมบัติความเหนียว และความคงทนต่อแรงกระแทกของพอลิแลคติกแอซิดโดยใช้สารพลาสติกไซเซอร์ [7] และการเติมพอลิเมอร์ชนิดอื่นผสมกับพอลิแลคติกแอซิด [8] สำหรับโครงการนี้ก็เช่นเดียวกันกับงานวิจัยอื่นๆ คือต้องการปรับปรุงความเหนียวของพอลิแลคติกแอซิดเช่นเดียวกัน แต่ต้องการลดต้นทุนการผลิตไปพร้อมๆ กันด้วย จึงเลือกใช้เส้นใยปาล์มน้ำมันมาทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความเหนียว และสารช่วยปรับปรุงความทนแรงกระแทกให้กับพอลิแลคติกแอซิด เส้นใยปาล์มน้ำมันจัดเป็นวัสดุทางการเกษตรเหลือใช้ที่มีปริมาณมากในประเทศไทยเนื่องจากปาล์มน้ำมันนั้นเป็นพืชเศรษฐกิจ มักนำมาใช้ในการผลิตเป็นน้ำมัน และได้วัสดุเหลือทิ้ง คือ เส้นใยปาล์มน้ำมัน โดยเส้นใยปาล์มน้ำมันมีสมบัติที่มีความเหมาะสมในการปรับปรุงพอลิแลคติกแอซิด คือ มีความเหนียวสูง และภายในโครงสร้างเส้นใยปาล์มน้ำมัน มีปริมาณรูพรุนสูง [6] จึงคาดว่าจะมีส่วนช่วยในการปรับปรุงแรงกระแทกของพอลิแลคติกแอซิด ไปพร้อมๆ กับการลดต้นทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์พอลิแลคติกแอซิด

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการปรับปรุงสมบัติทางกลของพอลิแลคติกแอซิดด้วยการเติมเส้นใยปาล์มน้ำมัน โดยทำการศึกษาผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มน้ำมันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และผลของปริมาณเส้นใยปาล์มน้ำมัน และทำการประเมินผลจากการทดสอบสมบัติความทนต่อแรงดึง ความทนแรงกระแทก และสัณฐานวิทยา

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้เส้นใยพาล์มในการปรับปรุงสมบัติทางกลของพอลิแลกติกแอซิด
- 1.2.2 หาปริมาณสัดส่วนของเส้นใยพาล์มน้ำมันที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงสมบัติทางกลของพอลิแลกติกแอซิด
- 1.2.3 เพื่อศึกษาผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยพาล์มน้ำมันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีต่อสมบัติทางกลของพอลิแลกติกแอซิด

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 วิธีที่ใช้ในการปรับปรุงผิวเส้นใยพาล์มน้ำมัน คือทำการปรับปรุงผิวเส้นใยพาล์มน้ำมันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์
- 1.3.2 ปริมาณเส้นใยพาล์มน้ำมันที่ทำการศึกษา คือ ปริมาณเส้นใย ตั้งแต่ 0 – 10 % โดยน้ำหนักของวัสดุเชิงประกอบ
- 1.3.3 การประเมินสมบัติทางกลดำเนินการทดสอบ และเตรียมชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบแนวทางการปรับปรุงสมบัติของพอลิแลกติกแอซิดด้วยเส้นใยพาล์มน้ำมัน
- 1.4.2 เสริมสร้างทักษะทางการวิจัย และการแก้ปัญหาให้กับผู้วิจัย
- 1.4.3 องค์ความรู้ที่ได้สามารถนำมาเป็นแนวทางส่งเสริมให้มีการใช้พอลิแลกติกแอซิดแทนการใช้พลาสติกจากปิโตรเคมีเป็นบรรจุภัณฑ์เพิ่มมากขึ้น

1.5 ระยะเวลาในการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานการปรับปรุงสมบัติทางกลของพอลิแลกติกแอซิดด้วยเส้นใยพาล์มน้ำมัน

แผนการดำเนินงาน	เดือน			
	พ.ย.61	ธ.ค.61	ม.ค.62	ก.พ.62
1. จัดหาวัตถุดิบและเตรียมสารเคมี				
2. ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยพาล์มน้ำมันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์				
3. ขึ้นรูปชิ้นงาน				
4. ทำการทดสอบสมบัติ				
5. วิเคราะห์ผลการทดลอง				
6. สรุปผลและจัดทำเล่มผลการทดลอง				



บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลาสติกชีวภาพ (Bioplastic)

พลาสติกชีวภาพเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่สังเคราะห์มาจากวัตถุดิบมวลชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ วัสดุธรรมชาติที่นำมาผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพมีหลายชนิดส่วนใหญ่จะได้มาจากพืช เช่น เซลลูโลส (Cellulose) คอลลาเจน (Collagen) เคซีน (Casein) แป้ง (Starch) และโปรตีนจากถั่ว (Soy protein) เป็นต้น และในบรรดาวัสดุธรรมชาติทั้งหลาย แป้งเป็นวัสดุธรรมชาติที่นิยมนำมาผลิตพลาสติกชีวภาพมากที่สุด เพราะหาได้ง่าย มีปริมาณมากและราคาถูก เนื่องจากสามารถผลิตแป้งได้จากพืชหลายชนิด เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี มันฝรั่ง มันเทศ มันสำปะหลัง เป็นต้น สำหรับประเทศไทยพืชที่นิยมนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกชีวภาพ คือ ข้าวโพด และมันสำปะหลัง เนื่องจากเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่มีปริมาณมากและราคาถูก พลาสติกชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือ พลาสติกที่ย่อยสลายได้ด้วยกลไกการย่อยสลายด้วยเอนไซม์และแบคทีเรียในธรรมชาติ ซึ่งเมื่อย่อยสลายหมดแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์เป็น น้ำ มวลชีวภาพ ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นสิ่งจำเป็นในการเจริญเติบโตและดำรงชีวิตของพืช [9-10]

2.1.1 กลไกการย่อยสลายของพลาสติกทางชีวภาพ [9,11]

2.1.1.1 การย่อยสลายได้โดยแสง (Photodegradation)

การย่อยสลายโดยแสงมักเกิดจากการเติมสารเติมแต่งที่มีความไวต่อแสงลงในพลาสติกหรือสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือพันธะเคมีที่ไม่แข็งแรง แตกหักง่ายภายใต้รังสี (UV) เช่น หมู่คีโตน (Ketone Group) อยู่ในโครงสร้าง เมื่อสารหรือหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสัมผัสกับรังสียูวีจะเกิดการแตกของพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งไม่เสถียร จึงเข้าทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ แต่การย่อยสลายนี้จะไม่เกิดขึ้นภายในบ่อฝังกลบขยะขนาดใหญ่หรือสภาวะแวดล้อมอื่นที่มีมืด หรือแม้กระทั่ง

ชั้นพลาสติกที่มีการเคลือบ วาดหรือเขียนด้วยหมึกที่หนามากบนพื้นผิว เนื่องจากพลาสติกจะไม่ได้สัมผัสกับรังสียูวีโดยตรง

2.1.1.2 การย่อยสลายทางกล (Mechanical degradation)

การย่อยสลายโดยการให้แรงกระทำแก่ชั้นพลาสติกทำให้ชั้นส่วนพลาสติกแตกออกเป็นชั้น ซึ่ง เป็นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปในการทำให้พลาสติกแตกเป็นชิ้นเล็กๆ

2.1.1.3 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative degradation)

การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของพลาสติก เป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงใน โมเลกุลของ พอลิเมอร์ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติอย่างช้าๆ โดยมีออกซิเจน และความร้อน แสงยูวี หรือแรงทางกลเป็นปัจจัยสำคัญ เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, ROOH) ในพลาสติกที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียร (Stabilizing additive) แสงและความร้อนจะทำให้ ROOH แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ (RO และ OH) ที่ไม่เสถียรและเข้า ทำปฏิกิริยาต่อที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการแตกหักและสูญเสีย สมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็ว แต่ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ได้รับการวิจัยและพัฒนาขึ้นในปัจจุบันทำให้ พอลิโอเลฟินเกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนได้เร็วขึ้นภายในช่วงเวลา ที่กำหนด โดยการเติมสารเติมแต่งที่เป็นเกลือของโลหะทรานซิชัน ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) การแตกตัวของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์เป็นอนุมูลอิสระ (Free radical) ทำให้ สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลรวดเร็วยิ่งขึ้น

2.1.1.4 การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic Degradation)

การย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์ เช่น แป้ง พอลิเอสเทอร์ พอลิเอ นไฮดราไรต์ พอลิคาร์บอเนต และพอลิยูรีเทน ผ่านปฏิกิริยาก่อให้เกิดการแตกหักของสายโซ่พอลิเมอร์ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Hydrolysis) และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Non-Catalytic Hydrolysis) ซึ่งประเภทที่ 1 ยังแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายนอกโมเลกุลของพอลิเมอร์เร่งให้เกิด การย่อยสลาย (External Catalytic Degradation) และแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายในโมเลกุล

ของพอลิเมอร์เองในการเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (Internal catalytic degradation) โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายนอกมี 2 ชนิด คือตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเอนไซม์ต่างๆ (Enzyme) เช่น Depolymerase, Lipase Esterase และ Glycohydrolase ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพ และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Non-enzyme) เช่น โลหะแอลคาไลน์ (Alkaline Metal) เบส (base) และกรด (acid) ที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อมในธรรมชาติ ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางเคมี สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นใช้หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl Group) ของหมู่เอสเทอร์ หรือเอไมด์บริเวณปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

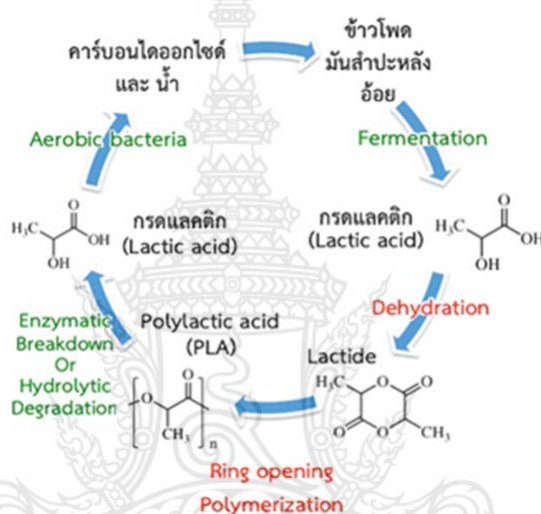
2.1.1.5 การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation)

การย่อยสลายของพอลิเมอร์จากการทำงานของจุลินทรีย์โดยทั่วไปมีกระบวนการ 2 ขั้นตอน เนื่องจากขนาดของสายพอลิเมอร์ยังมีขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำ ในขั้นตอนแรกของการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นภายนอกเซลล์โดยการปลดปล่อยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ซึ่งเกิดได้ทั้งแบบใช้ endo-enzyme หรือ เอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะภายในสายโซ่พอลิเมอร์อย่างไม่เป็นระเบียบ และแบบ exo-enzyme หรือเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกหักของพันธะที่ละหน่วยจากหน่วยซ้ำที่เล็กที่สุดที่อยู่ด้านปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ เมื่อพอลิเมอร์แตกตัวจนมีขนาดเล็กพอจะแพร่ผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์ และเกิดการย่อยสลายต่อในขั้นตอนที่ 2 ได้ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย (Ultimate biodegradation) คือ พลังงาน และสารประกอบขนาดเล็กที่เสถียรในธรรมชาติ (Mineralization) เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สมีเทน น้ำ เกลือ แร่ธาตุต่างๆ และมวลชีวภาพ (biomass)

2.2 พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA)

พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพชนิดหนึ่งจัดอยู่กลุ่มพอลิเอสเทอร์ที่มีสายโซ่เป็นโซ่ตรง (Aliphatic Polyester) สังเคราะห์ได้จากกรดแลคติก (Lactic Acid) ซึ่งกรดแลคติกสามารถผลิตได้จากการหมักแป้งหรือน้ำตาล ดังนั้นพืชที่มีแป้งหรือน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง ข้าวสาลีหรืออ้อย จึงสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในกระบวนการผลิตได้ ซึ่งทรัพยากรเหล่านี้สามารถทดแทนใหม่ได้อย่างต่อเนื่อง

พอลิแลกติกแอซิด จัดเป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) สามารถขึ้นรูปได้ด้วยกระบวนการผลิตที่ใช้กันทั่วไป เช่น การฉีดขึ้นรูป (Injection Molding) การขึ้นรูปด้วยความร้อน (Thermo Forming) การอัดขึ้นรูป (Compression Molding) การอัดรีด (Extrusion) และการเป่าขึ้นรูป (Blow Molding) เป็นต้น การใช้ผลิตภัณฑ์จากพอลิแลกติกแอซิดสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพเมื่อนำไปฝังกลบในดินโดยใช้ระยะเวลาอันสั้นเมื่อเทียบกับพลาสติกที่ผลิตจากวัตถุดิบจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี [12-14] วัฏจักรของพอลิแลกติกแอซิด แสดงดังรูปที่ 2.1

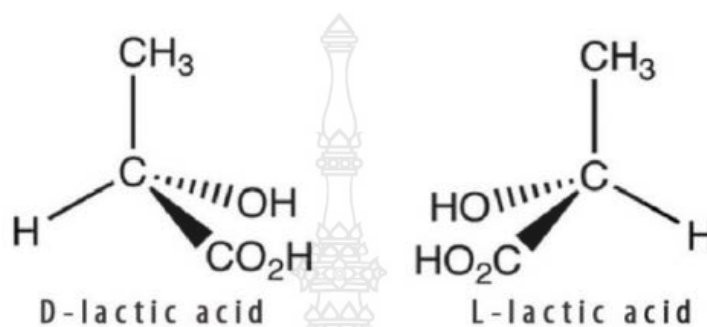


รูปที่ 2.1 วัฏจักรชีวิตของพอลิแลกติกแอซิด [11]

พอลิแลกติกแอซิดเป็นไบโอพลาสติกที่มีศักยภาพในการทดแทนและแข่งขันกับพลาสติกเชิงพาณิชย์ในปัจจุบัน เช่น พอลิโพรพิลีน (PP) พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลที่ใกล้เคียงกัน โดยสามารถปรับปรุงสมบัติได้ด้วยการเปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุล มีความใส มีสมบัติการขวางกั้น (Barrier properties) มีความสามารถเข้ากับเนื้อเยื่อได้ดี (Biocompatibility) ไม่เป็นพิษ (Non-toxic) และสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติอย่างสมบูรณ์ภายใต้สภาวะที่มีความชื้นสูงและอุณหภูมิเหมาะสม [15-16]

มอนอเมอร์ของพอลิแลกติกแอซิด คือ กรดแลคติกซึ่งมีไอโซเมอร์สองรูปแบบ ได้แก่ แบบดี-ไอโซเมอร์ และแบบแอล-ไอโซเมอร์ (รูปที่ 2.2) ซึ่งเป็นเอ็นแอนซีโอเมอร์ (Enantiomer) ที่มีความว่องไวต่อแสง (Optical active) ต่างกัน กล่าวคือมีสูตรเคมีเหมือนกัน การจัดเรียงตัวในสามมิติไม่เหมือนกัน และมีการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ในทิศทางต่างกัน ในธรรมชาติส่วนใหญ่พบในรูปแบบ

แอล-ไอโซเมอร์หรือในรูปของผสมระหว่างแอล-ไอโซเมอร์ และดี-ไอโซเมอร์ เรียกว่าของผสมราซิมิก (Racemic mixture, อัตราส่วน = 1:1 เขียนแทนด้วย DL) หรือ สารประกอบมีโซ (meso-compound) ที่ไม่มีสมบัติบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ (Optically inactive) ในปัจจุบันการผลิตกรดแลกติกใช้การหมักเป็นหลักซึ่งสามารถให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์เชิงแสง (Optical purity) ที่ดี



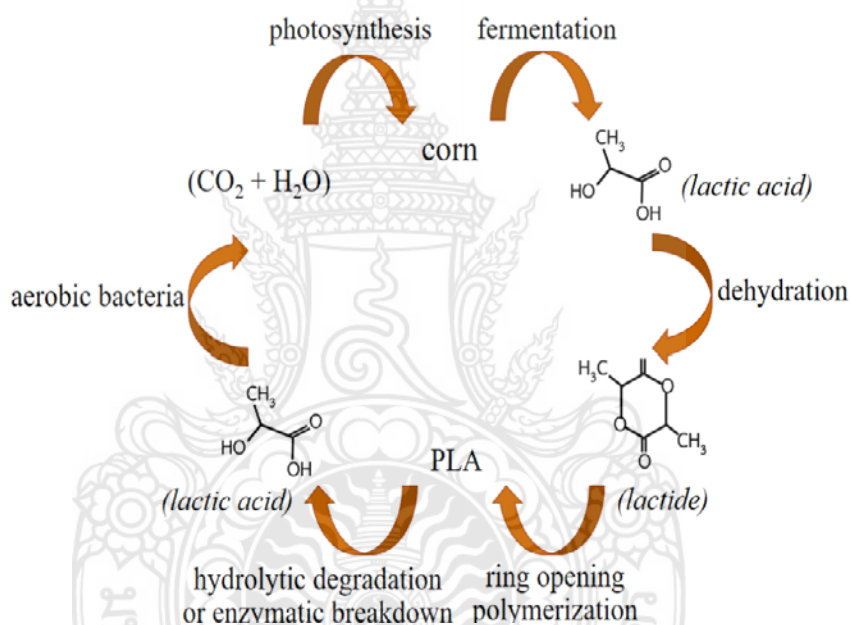
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของกรดแลกติก [18]

เนื่องจากกรดแลกติกมีสองไอโซเมอร์ สายโซ่หลักของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ส่วนใหญ่อาจประกอบขึ้นจาก มอนอเมอร์ชนิดแอล-ไอโซเมอร์เกือบทั้งหมด จะได้เป็นพอลิแอล-แลกติกแอซิด (Poly(L-lactic acid : PLLA) หรือประกอบขึ้นจากมอนอเมอร์ที่เป็นของผสมราซิมิกจะได้พอลิติแอล-แลกติกแอซิด (Poly(D,L-lactic acid : PDLLA) ปัจจุบันการผลิตดี-ไอโซเมอร์ของกรดแลกติกบริสุทธิ์ทำได้ยาก การผลิตพอลิเมอร์ที่สายโซ่หลัก ประกอบด้วยมอนอเมอร์ชนิดดีหรือพอลิติ-แลกติกแอซิด (Poly(D-lactic acid : PDLA) ยังไม่มีในเชิงพาณิชย์ โดยไอโซเมอร์ที่แตกต่างกันส่งผลต่อความเป็นผลึก (Crystalline) ของพอลิเมอร์ กล่าวคือ PLLA จะมีความ เป็นผลึกสูง ในขณะที่ PDLA จะมีความเป็นอสัณฐาน (Amorphous) สูง [17]

2.2.1 โครงสร้างและกระบวนการผลิตพอลิแลกติกแอซิด [18]

กระบวนการผลิต สามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ การผลิตโดยการหมักจากวัตถุดิบทางธรรมชาติและการผลิตโดยการสังเคราะห์ การผลิตพอลิแลกติกแอซิดโดยวิธีการหมักจากวัตถุดิบทางธรรมชาติ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต คือแป้งที่มาจากแหล่งทรัพยากรธรรมชาติที่เกิดขึ้นใหม่ได้ (Renewable resource) ได้แก่ พืชที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าวโพด และ มันสำปะหลัง โดยมีกระบวนการผลิตเริ่มต้นจากการบดหรือม่พืชนั้นให้ ละเอียดเป็นแป้ง จากนั้นทำการย่อยแป้งให้

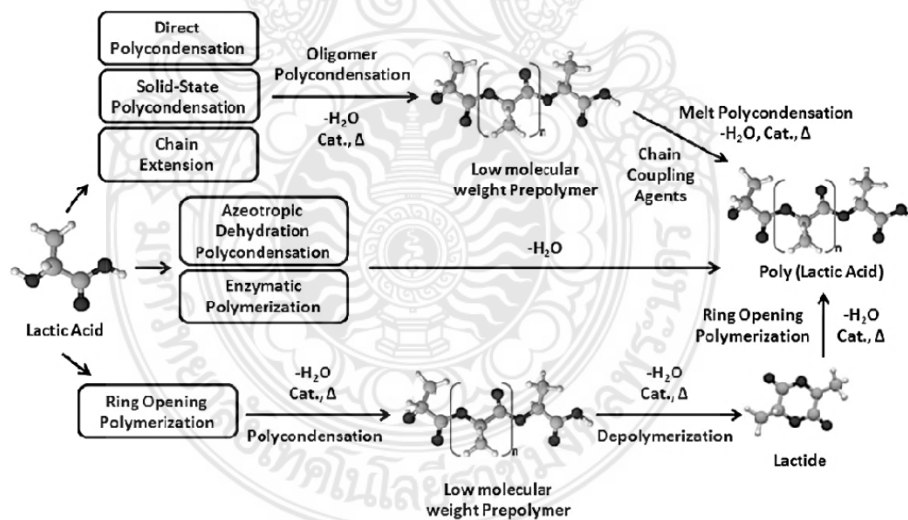
ได้เป็นน้ำตาล และนำไปหมัก (Fermentation) ด้วยจุลินทรีย์เกิดเป็นกรดแลคติก (Lactic acid : $C_3H_6O_3$) ซึ่งมีกรรมวิธีคล้ายการหมักเบียร์ จากนั้นนำกรดแลคติกที่ได้มาผ่านกระบวนการทางเคมี เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างให้เป็นสารใหม่ที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวน เรียกว่าแลคไทด์ (Lactide) หลังจากนั้นนำมากลั่นในระบบสุญญากาศเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ของแลคไทด์ที่เป็นสายยาวขึ้น เรียกว่า พอลิแลคติกแอซิด โดยสมบัติของพอลิแลคติกแอซิด ขึ้นกับการกำหนดความยาวของสายพอลิเมอร์ ทั้งนี้ พอลิแลคติกแอซิด สามารถนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกได้เช่นเดียวกับเม็ดพลาสติกจากปิโตรเลียม กลไกการสังเคราะห์แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนผลิตและการย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิด [18]

การผลิต PLA โดยการสังเคราะห์สามารถสังเคราะห์ได้หลายวิธี เช่น ปฏิกริยาควบแน่นโดยตรง (Direct polycondensation) ปฏิกริยาการควบแน่นในสภาวะของแข็ง (Solid-state polycondensation) ปฏิกริยาต่อสายโซ่ (Chain extension) ปฏิกริยาการควบแน่นแบบอะซีโอโทรปิก (Azeotropic dehydration polycondensation)

ปฏิกิริยาควบแน่นโดยเอนไซม์ (Enzymatic polycondensation) และการสังเคราะห์ โดยการเปิดวง (Ring-opening polycondensation) (รูปที่ 2.4) การผลิตพอลิแลคติกแอซิดจาก ปฏิกิริยาการควบแน่น เริ่มต้นจากการนำแลคติกแอซิดซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) และหมู่คาร์บอกซิลิก (-CO₂H) จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาการควบแน่นได้ด้วยตัวเอง กระบวนการนี้ประกอบด้วย สารละลาย เช่น น้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ เพื่อกำจัดน้ำที่เกิดจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน ปฏิกิริยา การควบแน่นโดยตรง ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ การกำจัดน้ำออก (Removal of water) การควบแน่น ของโอลิโกเมอร์ (Polycondensation of oligomer) และการควบแน่นแบบหลอมเหลว (Melt condensation) ซึ่งกระบวนการนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ น้ำ ซึ่งน้ำที่เกิดขึ้นจะกลับมาทำให้พอลิแลคติก แอซิดที่ผลิตขึ้นเสื่อมสภาพการผลิตพอลิแลคติกแอซิด จากการสังเคราะห์โดยการเปิดวงเป็นวิธีที่นิยม เชิงพาณิชย์ เนื่องจากสามารถผลิตพอลิแลคติกแอซิดได้บริสุทธิ์มาก โดยการนำแลคไทด์มอนอเมอร์ ร่วมกับแลคติกแอซิด 2 โมเลกุล และเปิดวงด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ ปฏิกิริยา การควบแน่น (Polycondensation) ปฏิกิริยาไม่ผ่านการควบแน่น (Depolycondensation) และ การสังเคราะห์โดยการเปิดวง (Ring-opening polycondensation)



รูปที่ 2.4 กลไกการสังเคราะห์พอลิแลคติกแอซิด [18]

2.2.2 สมบัติของพอลิแลกติกแอซิด

2.2.2.1 ความบริสุทธิ์เชิงแสง (Optical purity)

ความบริสุทธิ์เชิงแสงของพอลิแลกติกแอซิดมีผลอย่างมากต่อสมบัติทางกล ทางความร้อน และสมบัติความต้านทานการซึมผ่านของก๊าซและของเหลวของพอลิแลกติกแอซิดที่มีสัดส่วนของ L-isomer สูงกว่าร้อยละ 90 มีแนวโน้มเป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก (Semicrystalline polymer) ในขณะที่พอลิแลกติกแอซิดที่มี D-isomer ในองค์ประกอบเพิ่มขึ้นมีความบริสุทธิ์เชิงแสงต่ำลง และมีแนวโน้มเป็นพอลิเมอร์อสัณฐาน (Amorphous) นอกจากนี้ อุณหภูมิการหลอมเหลว อุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้วและระดับความเป็นผลึกมีแนวโน้มลดลงตามสัดส่วนของ L-isomer ที่ลดลงด้วยสัดส่วนของไอโซเอเมอร์ที่แตกต่างกันในสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้พอลิแลกติกแอซิดที่สังเคราะห์ขึ้นนั้นมีสมบัติได้หลากหลาย จึงสามารถปรับเปลี่ยนให้รองรับความต้องการการใช้งานได้ กว้างขึ้นเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ที่ผลิตจากวัตถุดิบที่มาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เช่น พอลิเอทิลีน เทเรฟทาเรต (PET) และพอลิโพรพิลีน (PP) เป็นต้น [5]

2.2.2.2 สมบัติทางกายภาพและทางกลของพอลิแลกติกแอซิด

มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.25 โดยพอลิแลกติกแอซิดที่ไม่ผ่านการดึงยึด (Unoriented PLA) มีความเปราะมาก แต่มีความคงรูป (Stiffness) และความแข็งแรง (Strength) สูง เมื่อนำไปผ่านการดึงยึด (Oriented) จะมีสมบัติใกล้เคียงกับ พอลิเอทิลีน เทเรฟทาเรต แต่ดีกว่าพอลิโพรพิลีน ที่ผ่านการดึงยึด (Oriented PP) โดย โมดูลัสของดึงและความแข็งแรงของ พอลิแลกติกแอซิดมีค่าสูงกว่า พอลิเอทิลีน, พอลิโพรพิลีน และพอลิโพรพิลีน แต่ความทนต่อแรงกระแทก (Izod impact strength) และระยะยืดที่จุดขาดมีค่าต่ำกว่าพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ [5]

2.2.2.3 สมบัติด้านการละลายของพอลิแลกติกแอซิด

ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของหน่วยที่เป็นองค์ประกอบในสายโซ่พอลิเมอร์ และระดับความเป็นผลึก (Degree of crystallinity) พอลิแลกติกแอซิดไม่ละลายในน้ำ แอลกอฮอล์ และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีหมู่แทนที่ เช่น เฮกเซน (Hexane) และเฮปเทน (Heptane) ตัวทำละลายที่ดีสำหรับพอลิแลกติกแอซิดที่มีความบริสุทธิ์แสงสูง ได้แก่ ตัวทำละลายกลุ่มคลอริเนต และฟลูออรีเนต [5]

2.2.2.4 สมบัติทางความร้อนของพอลิแลกติกแอซิด

มีอุณหภูมิคล้ายแก้ว (T_g) และอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) ค่อนข้างสูงกว่าเทอร์โมพลาสติกทั่วไป อุณหภูมิ T_g มีค่าขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุล โดยพบว่า T_g มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักโมเลกุล และขึ้นกับอัตราส่วนระหว่างไอโซเมอร์ชนิด L และ D นอกจากนี้ T_g ยังขึ้นอยู่กับประวัติทางความร้อน (Thermal history) อีกด้วย อุณหภูมิหลอมเหลวของพอลิแลกติกแอซิด ขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์เชิงแสงของพอลิเมอร์ด้วย อุณหภูมิหลอมเหลวที่พบในพอลิแลกติกแอซิด มีค่าประมาณ 180 °C และมีค่าเอนทัลปี ประมาณ 40-50 J/g โดยอุณหภูมิหลอมเหลวมีค่าลดลงหากในโครงสร้างมีปริมาณของ D-isomer เป็นองค์ประกอบเพิ่มขึ้น โดยอุณหภูมิหลอมเหลวลดลงได้มากถึง 50 °C โดยทั่วไป อุณหภูมิหลอมเหลวของพอลิแลกติกแอซิด มีค่าประมาณ 130-160 °C [19]

2.2.2.5 สมบัติด้านการซึมผ่านของก๊าซและของเหลว

ค่าสัมประสิทธิ์ในการยอมรับให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน และไนโตรเจนผ่านได้ของพอลิแลกติกแอซิด มีค่าน้อยกว่าพอลิซิสไตรีน แต่สูงกว่าพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเรต ส่วนการยอมให้น้ำซึมผ่านมีค่าใกล้เคียงกันกับพอลิซิสไตรีน และพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเรต นอกจากนี้พอลิแลกติกแอซิด ยังมีสมบัติป้องกันการแพร่ผ่านของกลิ่นได้ดี โดยพิจารณาจากสัมประสิทธิ์การแพร่ผ่านของสารประกอบอินทรีย์ เช่น เอทิลอะเตท และ ดี-ไลโมนีน (D-limonene) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเรต [20]

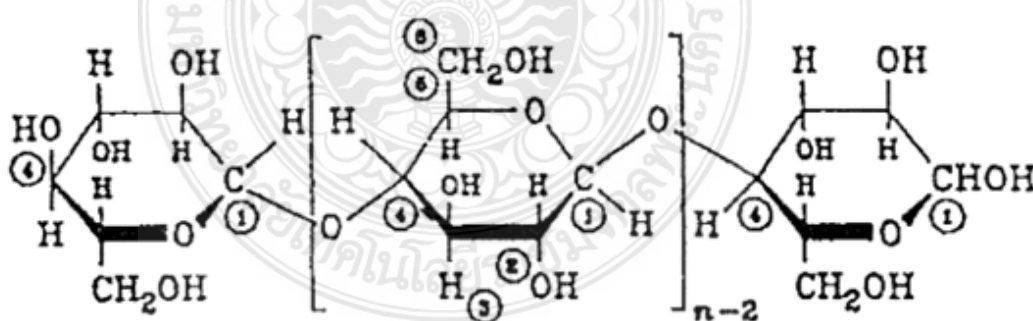
2.3 เส้นใยธรรมชาติ

เส้นใยธรรมชาติจัดเป็นวัสดุเชิงประกอบ ประเภทพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ซึ่งประกอบด้วย เซลลูโลส (cellulose) ลิกนิน (lignin) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) สารสกัดและเถ้า โดยเซลลูโลสทำหน้าที่เป็นส่วนของโครงสร้าง เฮมิเซลลูโลสทำหน้าที่เป็นส่วนของเมทริกซ์แทรกอยู่ระหว่างไมโครไฟบริลของเซลลูโลส (cellulose microfibrils) ส่วนลิกนินนั้นถือเป็นส่วนของเปลือกด้านนอกทำให้ผนังเซลล์มีความแข็งแรง [20]

2.3.1 องค์ประกอบของเส้นใยธรรมชาติ [21]

2.3.1.1 เซลลูโลส (Cellulose)

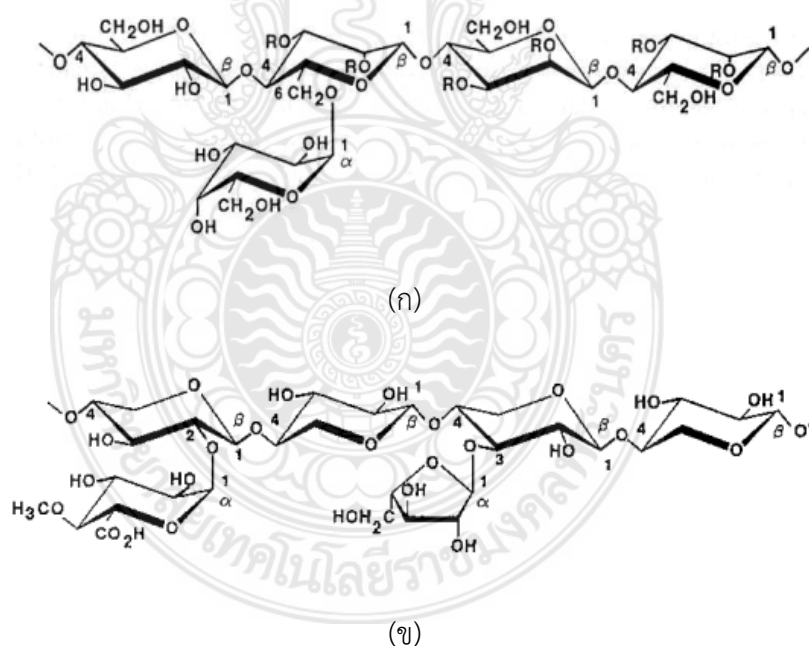
เซลลูโลสเป็นพอลิโกลิแซคคาไรด์ (homopolysaccharide) เชิงเส้นตรง ประกอบด้วยหน่วยของ β -D- glucopyranose เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ 1,4 β -glucosidic bonds ดังแสดงในรูปที่ 2.5 เนื่องจากเซลลูโลสมีโครงสร้างเป็นเส้นตรงและมีแรงดึงดูดระหว่างกันภายในและภายนอกที่แข็งแรงด้วยพันธะไฮโดรเจนทำให้เซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูงการรวมตัวเป็นกลุ่มของโมเลกุลเซลลูโลสเกิดเป็น ไมโครไฟบริล (microfibrils) และไมโครไฟบริลรวมตัวกันเป็นไฟบริล (fibril) และในท้ายที่สุดได้เป็นเส้นใยเซลลูโลส โครงสร้างที่มีลักษณะเป็นเส้นใยและพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงของเซลลูโลสส่งผลทำให้เซลลูโลสมีสมบัติความทนแรงดึงที่แข็งแรงและทนต่อตัวทำละลายได้



รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส [21]

2.3.1.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลสจัดอยู่ในกลุ่มของเฮเทอโรโพลีแซคคาไรด์ (heteropolysaccharides) แบบอสัณฐานมีลักษณะโครงสร้างแบบกึ่ง เฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยส่วนของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิดเชื่อมต่อกัน เฮมิเซลลูโลสถูกไฮโดรไลซ์ได้ง่ายด้วยกรดได้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น D-glucose D-galactose D-xylose L-arabose เป็นต้น ความแตกต่างระหว่างเฮมิเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสมีอยู่ 3 ประการ ประการแรก คือ เฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิดแต่เซลลูโลสมีเพียง 1,4- β -D-glucopyranose เชื่อมต่อกันเท่านั้น ประการที่สอง คือ ภายในโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสมีส่วนที่เป็นกิ่งก้านในขณะที่เซลลูโลสมีโครงสร้างเป็นเส้นตรง ส่วนประการที่สาม คือ องศาการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันของเซลลูโลสโดยธรรมชาติแล้วมีค่ามากกว่าเฮมิเซลลูโลสประมาณ 10 ถึง 100 เท่า เฮมิเซลลูโลส ส่วนมากมีองศาการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันประมาณ 200 เท่านั้น จากรูป 2.6 เป็นตัวอย่างของโครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส [21]

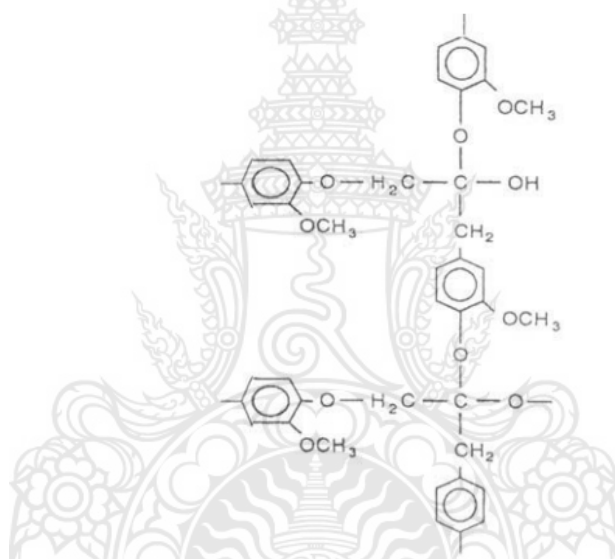
(ก) galactoglucomannans

(ข) Arabinoglucuronoxylan

2.3.1.3 ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินเป็นพอลิเมอร์เชิงซ้อน แบบอสัณฐาน ซึ่งมีโครงสร้างที่มีความซับซ้อนค่อนข้างมากและมีน้ำหนักโมเลกุล ภายในโครงสร้างสูงภายในโครงสร้างประกอบด้วยส่วนของอะลิฟาติก (aliphatic) และอะโรมาติก (aromatic) โมโนเมอร์ของลิกนิน คือ ฟินิลโพรเพน (phenylpropane) สมบัติเชิงกลของลิกนินมีค่าต่ำกว่าเซลลูโลส ลิกนินสามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์ลิกเนส (lignase) หรือลิกนินเนส (ligninase) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญในรา โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน ดังแสดงใน **รูปที่ 2.7**

2.7



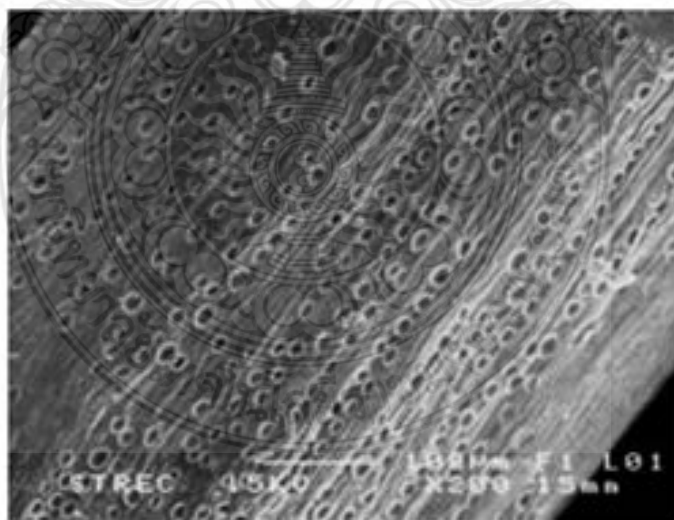
รูปที่ 2.7 โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน [21]

2.3.1.4 สารสกัดและเถ้า (Extractives and Ash)

สารสกัดประกอบด้วยสารอินทรีย์หลากหลาย ชนิดสารสกัดมีผลต่อสมบัติต่างๆ ของเส้นใยธรรมชาติ เช่น สี กลิ่น ความต้านทานต่อการเปียก เป็นต้น องค์ประกอบหลักของเถ้าในเส้นใยธรรมชาติ คือ แคลเซียม โพแทสเซียมและปริมาณเล็กน้อยของธาตุแมกนีเซียม แมงกานีส และเหล็ก

2.3.2 เส้นใยปาล์มน้ำมัน (Oil Palm Fiber) [20]

ปาล์มน้ำมันที่ปลูกในประเทศไทย มีชื่อทางสามัญว่า African oil Palm เนื่องจากมีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปแอฟริกา และมีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Elaeis guineensis* เส้นใยปาล์มน้ำมันได้มาจากทะลายปาล์มเปล่า (empty fruit bunch, EFB) เส้นใยปาล์มน้ำมันมีความแข็งและความเหนียวใกล้เคียงกับเส้นใยกามะพร้าว และบนพื้นผิวของเส้นใยปาล์มน้ำมันมีรูพรุน ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ขนาดของรูพรุนที่ผิวเส้นใยปาล์มมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ $0.07 \mu\text{m}$ ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยปาล์มน้ำมัน ปริมาณเซลลูโลสที่ค่อนข้างสูงจึงทำให้เส้นใยปาล์มน้ำมันมีความแข็งแรง และความเหนียว แต่อย่างไรก็ตามเซลลูโลสที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) ซึ่งเป็นหมู่ที่ชอบน้ำ (hydrophilic group) จึงทำให้เส้นใยปาล์มดูดซับน้ำได้ดีและนั่นทำให้มีการยึดเกาะระหว่างเฟส (interfacial adhesion) ของเมทริกซ์และเส้นใยปาล์มอ่อนแอลง และนี้อาจทำให้สมบัติทางกลและกายภาพของวัสดุเชิงประกอบมีสมบัติที่ไม่ดี เส้นใยปาล์มน้ำมันมีน้ำมันหลงเหลืออยู่ที่ประมาณ 4.5% ซึ่งการมีน้ำมันหลงเหลือในเส้นใยมีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพทำให้เส้นใยปาล์มและพอลิเมอร์เมทริกซ์เข้ากันได้ดีขึ้น เนื่องจากหมู่เอสเทอร์ที่อยู่ในน้ำมันทำหน้าที่เป็นสารควบคู่ (coupling agent)



รูปที่ 2.8 ลักษณะของพื้นผิวเส้นใยปาล์ม [20]

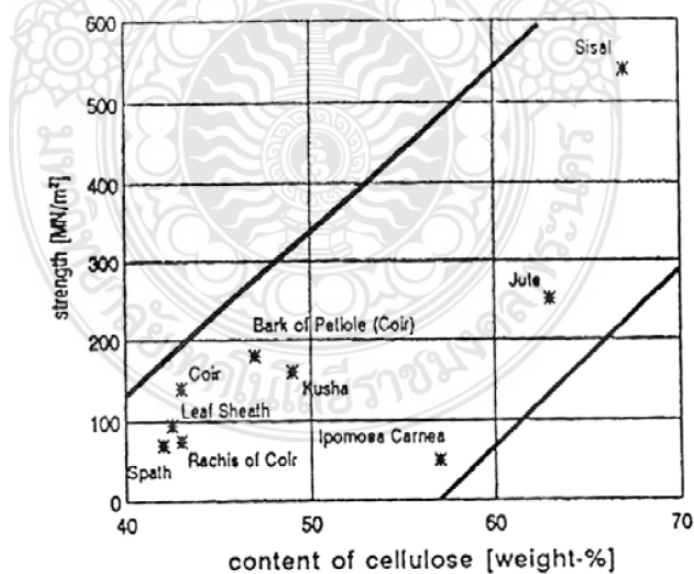
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยปาล์มน้ำมัน [20]

ส่วนประกอบทางเคมี	ปริมาณ (% โดยน้ำหนัก)
α -เซลลูโลส	36.7
เฮมิเซลลูโลส	35.8
ลิกนิน	18.6
สารสกัด	2.8
ปริมาณเถ้า	1.3

2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงของเส้นใยธรรมชาติ [21]

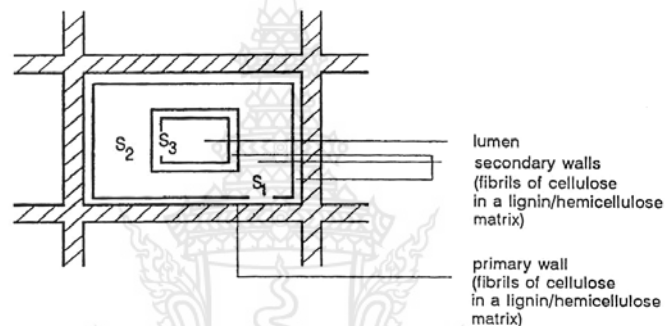
2.3.3.1 ปริมาณของเซลลูโลส เนื่องจากเซลลูโลสมีโครงสร้างที่มีความเป็นผลึกสูง ดังนั้นเส้นใยที่มีปริมาณเซลลูโลสในปริมาณมากมีแนวโน้มทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยสูงตามไปด้วยดังแสดงในรูปที่

2.9

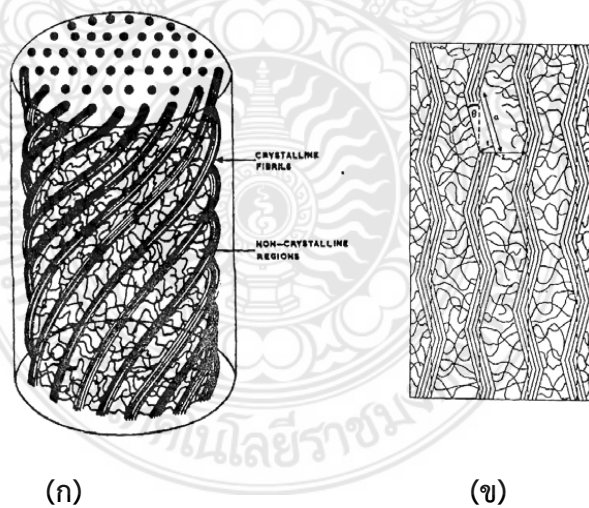


รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของเส้นใยธรรมชาติและปริมาณเซลลูโลส [21]

2.3.3.2 มุมการบิดเกลียวของไฟบริลเซลลูโลสจากรูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างทางกายภาพของเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งประกอบด้วยผนังเซลล์ซ้อนต่อกันเป็นชั้นๆ เข้าไปจนถึงส่วนของท่อลำเลียง (lumen) ในผนังเซลล์ปฐมภูมิ (primary cell wall) และผนังเซลล์ทุติยภูมิ (secondary cell wall) ประกอบด้วยไฟบริลของเซลลูโลสที่มีการจัดเรียงตัวกันเป็นเกลียว และมีลิกนินและเฮมิเซลลูโลสเป็นส่วนของเมทริกซ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.11 โดยจากรูปที่ 2.11 (ข) เป็นภาพแสดงมุมการบิดเกลียวของไฟบริลเซลลูโลส โดยถ้ามุม θ มีค่ามากขึ้นส่งผลทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากมุมการบิดเกลียวที่มากขึ้นทำให้การส่งผ่านแรงกระทำได้ยากขึ้นนั่นเองดังแสดงในรูปที่ 2.12



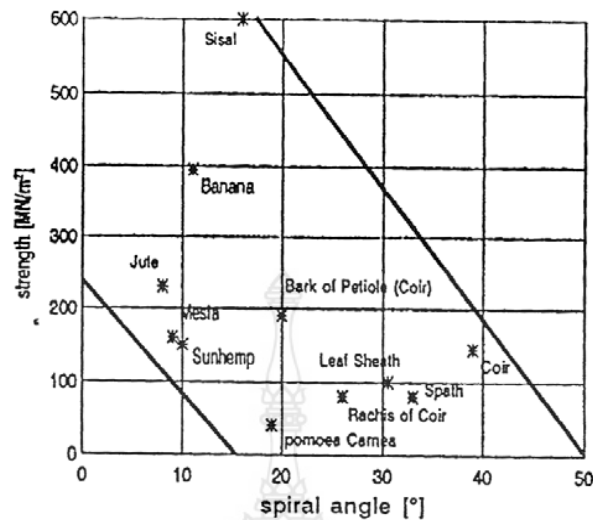
รูปที่ 2.10 แบบจำลองโครงสร้างของเส้นใยธรรมชาติ [21]



รูปที่ 2.11 แบบจำลองการจัดเรียงตัวของเซลลูโลส ลิกนิน และเฮมิเซลลูโลสของผนังเซลล์ [21]

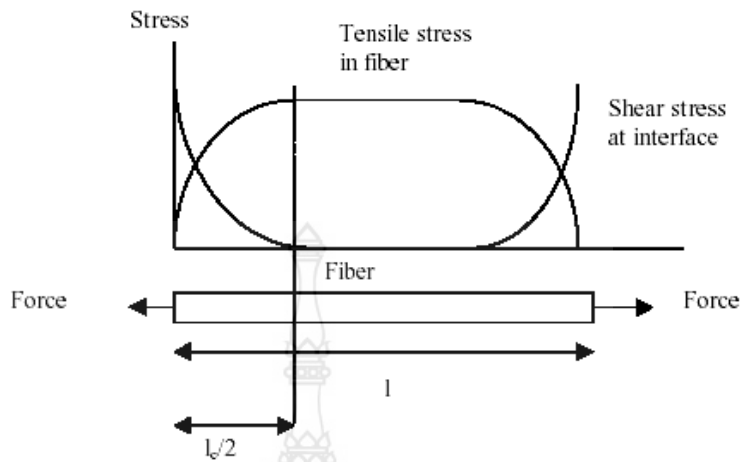
(ก) ภาพ 3 มิติ

(ข) ภาพ 4 มิติ

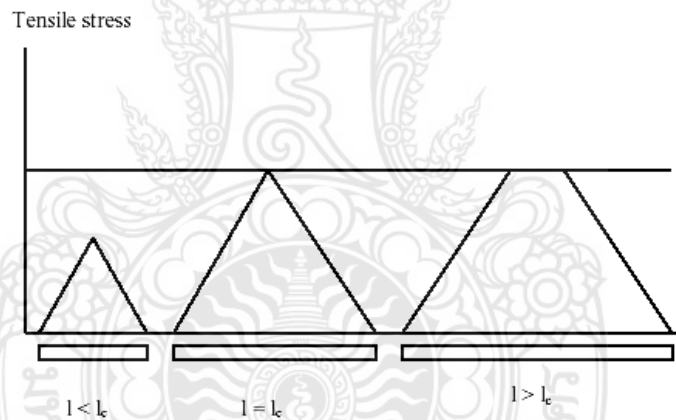


รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของเส้นใยธรรมชาติและมุมการบิดเกลียวของเซลลูโลส [21]

2.3.3.3 อัตราส่วนระหว่างความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยธรรมชาติเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญมากต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ โดยในระบบของวัสดุเชิงประกอบที่มีเส้นใยเป็นสารเสริมแรง ค่าวิกฤตของอัตราส่วนระหว่างความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใย (critical aspect ratio, L_c/D ratio) คือ อัตราส่วนระหว่างความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยที่น้อยที่สุดสามารถทำให้เส้นใยรับความเค้นได้มากที่สุด จากรูปที่ 2.13 แสดงให้เห็นถึงค่าของความเค้นที่เกิดขึ้นที่เส้นใยและความเค้นเฉือน ณ บริเวณรอยต่อระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ที่แปรเปลี่ยนไปตลอดแนวความยาวของเส้นใย สำหรับการเสริมแรงที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยในระบบของวัสดุเชิงประกอบควรมีค่ามากกว่าค่าอัตราส่วนของความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางวิกฤตเพื่อให้ความเค้นที่มากที่สุดเคลื่อนที่ไปยังเส้นใยก่อนที่วัสดุเชิงประกอบจะเกิดการเสียรูป ถ้าอัตราส่วนของความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่าต่ำกว่าค่าวิกฤตส่งผลทำให้เส้นใยไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการเสริมแรง คือ เส้นใยนั้นไม่ได้รับแรงเพื่อทำให้เกิดความเค้นมากที่สุดที่พวกมันสามารถรับได้ ส่วนในกรณีอัตราส่วนของความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยสูงมากเกินไปอาจจะทำให้เส้นใยเกิดการพันกันในระหว่างการผสมซึ่งทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการกระจายตัวของเส้นใยได้ ผลของความยาวเส้นใยที่มีต่อความเค้นเส้นใยถูกใช้ในการอธิบายค่าความยาววิกฤตของเส้นใย (critical fiber length) ดังแสดงในรูปที่ 2.14

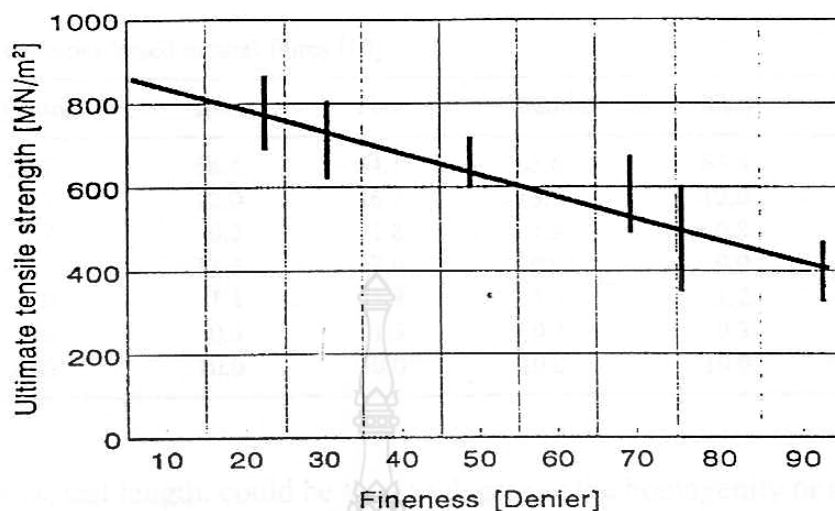


รูปที่ 2.13 ค่าความเค้นแรงดึงของเส้นใยและความเค้นเฉือนที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดความยาวเส้นใยที่ถูกฝังในเนื้อเมทริกซ์ในขณะที่ชิ้นงานได้รับแรงดึงในทิศทางเดียวกับการจัดเรียงตัวของเส้นใย [21]



รูปที่ 2.14 ผลของความยาวเส้นใยที่มีต่อความเค้นแรงดึงของเส้นใย [21]

2.3.3.4 ความละเอียดของเส้นใย จากรูปที่ 2.15 พบว่าเมื่อความละเอียดของเส้นใยในหน่วยของ Denier (น้ำหนักเป็นกรัมของเส้นใยที่มีความยาว 9.000 เมตร) ยิ่งมีค่ามากขึ้น ยิ่งทำให้ความทนแรงดึงสูงสุดของเส้นใยลดลง เนื่องจากความละเอียดในหน่วย Denier ยิ่งมากขึ้น นั้นหมายความว่า เส้นใยยิ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ขึ้น แสดงว่าเส้นใยที่มีความละเอียดมากขึ้นหรือมีขนาดมีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงยิ่งทำให้ที่ความแข็งแรงมากขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความละเอียดของเส้นใยและความทนแรงดึงสูงสุดของเส้นใยธรรมชาติ [21]

2.3.3.5 ปริมาณความชื้นในเส้นใย ในกรณีที่เส้นใยมีความชื้นมากขึ้นมีผลทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยธรรมชาติลดลง เนื่องจากน้ำสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับเซลลูโลสส่งผลทำให้พันธะไฮโดรเจนระหว่างเซลลูโลสด้วยกันลดลง

2.4 วัสดุเชิงประกอบ [15,22]

2.4.1 ความหมายและองค์ประกอบทางวัสดุเชิงประกอบ

วัสดุเชิงประกอบ หมายถึง การนำวัสดุตั้งแต่ 2 ชนิดที่มีพื้นฐานสมบัติทางเคมี และฟิสิกส์ที่แตกต่างกันมาผสมกันแล้วทำให้วัสดุที่ได้มีโครงสร้างใหม่ที่มีสมบัติที่ดีขึ้น โดยยังคงสามารถแยกวัฏภาค (Phase) ของวัสดุแต่ละประเภทในเนื้อวัสดุเชิงประกอบได้ ซึ่งวัสดุเชิงประกอบประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนเสริมแรง (Reinforcement) และส่วนเมทริกซ์ (Matrix)

2.4.1.1 ส่วนเสริมแรง (Reinforcement)

ส่วนที่ทำหน้าที่เพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุเชิงประกอบ โดยทั่วไปมักจะมีแข็งแรง และมีค่ามอดูลัสที่สูงมากกว่าส่วนเมทริกซ์ เป็นส่วนรับแรงหลักของวัสดุเชิงประกอบที่ส่งผ่านมาจากเมทริกซ์ ประสิทธิภาพของส่วนเสริมแรงนั้นขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของสารเสริมแรงเป็นส่วน

สำคัญ สารที่ใช้เสริมแรงอาจมีลักษณะ และรูปร่างได้หลายรูปแบบ เช่น แผ่น เส้นใย อนุภาคขนาดเล็ก และผืนผ้า เป็นต้น ส่วนเสริมแรงที่นิยมใช้ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นเส้นใย (Fiber) โดยอาจเป็นเส้นใยาวต่อเนื่อง หรือเส้นใยสั้นก็ได้ ตัวอย่างเส้นใยที่นิยมใช้ในวัสดุเชิงประกอบ เช่น เส้นใยแก้ว (Glass fiber) เส้นใยคาร์บอน (Carbon fiber) เส้นใยอะรามิด(Aramid fiber) และเส้นใยธรรมชาติ (Natural fiber) เป็นต้น โดยมากเส้นใยที่จะนำมาใช้เป็นส่วนเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบควรมีสมบัติ ดังนี้ คือ มีขนาดและลักษณะพื้นผิวของเส้นใยที่สม่ำเสมอ มีค่ามอดุลัสสูง มีความแข็งแรงสูง และไม่เกิดการเสียสภาพไปในระหว่างกระบวนการขึ้นรูป

2.4.1.2 ส่วนเมทริกซ์ (Matrix)

ส่วนที่ช่วยหล่อหุ้มและยึดส่วนเสริมแรงเข้าด้วยกัน เพื่อให้ส่วนเสริมแรงอยู่ในตำแหน่งคงที่ และมีการจัดเรียงตัวตามที่กำหนด โดยทั่วไปเมทริกซ์มักจะมีค่าความเหนียวสูงแต่มีความแข็งแรงและมีมอดุลัสที่ต่ำกว่าส่วนเสริมแรง หน้าที่ของเมทริกซ์ในวัสดุเชิงประกอบ คือช่วยรักษาความเสถียรของรูปร่างและขนาด รักษาการกระจายตัวของส่วนเสริมแรงทำให้วัสดุเชิงประกอบสามารถทนต่อการเสียหายภายใต้ใต้อุณหภูมิหรือแรงกระทำได้ในระดับหนึ่งและช่วยปกป้องส่วนเสริมแรงจากการเสียหายจากสิ่งแวดล้อมได้ ในปัจจุบันเมทริกซ์ที่นิยมใช้ส่วนมาก ได้แก่ พอลิเมอร์ โลหะ และเซรามิก เป็นต้น สำหรับพอลิเมอร์ที่นิยมใช้เป็นเมทริกซ์ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) และเทอร์โมเซต (Thermoset)

2.4.2 ข้อดีและข้อเสียของวัสดุเชิงประกอบ

1. มีสมบัติต่อน้ำหนักหรือความหนาแน่น (Properties to weight/density ratio) สูง เช่น ความแข็งแรงจำเพาะ (Specific strength) มอดุลัสจำเพาะ (Specific modulus) ความคงรูปจำเพาะ (Specific stiffness) ฯลฯ เนื่องจากวัสดุเชิงประกอบมีความหนาแน่นต่ำ น้ำหนักเบา
2. ช่วยลดน้ำหนักของวัสดุ
3. มีสมบัติที่หลากหลาย สามารถสร้างวัสดุเชิงประกอบให้เหมาะสมกับการใช้งาน เช่นเส้นใย (ส่วนเสริมแรง) เรียงตัวตามแนวรับแรง
4. มีอายุการใช้งานที่ยาว โดยมักมีสมบัติความต้านทานต่อการสึกกร่อนดี

5. ความคงทนต่อการล้า (Fatigue resistance) ดี
6. มีเสถียรภาพทางด้านรูปร่าง (Dimensional stability) สูง เนื่องจากมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน (Coefficients of thermal expansion, CTE) ต่ำ เมื่อเทียบกับวัสดุอื่นๆ

2.4.3 ข้อเสียของวัสดุเชิงประกอบ

1. ต้นทุนการผลิตสูง เนื่องมาจากราคาของวัตถุดิบและเครื่องมือการขึ้นรูป
2. สมบัติแต่ละทิศทางมักไม่เท่ากัน หรือมีสมบัติแอนไอโซโทรปี (Anisotropy) เนื่องจากการจัดเรียงตัว (Orientation) ของส่วนเสริมแรง เป็นสาเหตุให้วัสดุเชิงประกอบไม่แข็งแรงในแนวตั้งฉากกับแนวการเรียงตัว (Transverse direction)
3. วัสดุเชิงประกอบเชื่อมติดกับวัสดุอื่นได้ค่อนข้างยาก
4. การตรวจวิเคราะห์สมบัติของวัสดุเชิงประกอบดำเนินได้ค่อนข้างยาก
5. วัสดุเชิงประกอบนำกลับมาใช้ใหม่หรือรีไซเคิล (Recycle) ได้ค่อนข้างยาก

2.4.4 กลไกการยึดระหว่างเฟสของสารเสริมแรงและเมทริกซ์

ในวัสดุเชิงประกอบ เมทริกซ์สามารถยึดเกาะกับเส้นใยที่อินเตอร์เฟซได้ (interface) เส้นรอยต่อระหว่างเฟสหลายวิธี กลไกการยึดเกาะหลักๆ ที่อินเตอร์เฟซของวัสดุเชิงประกอบ มี 5 กลไก ซึ่งอาจเกิดอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือเกิดขึ้นหลายอย่างร่วมกัน ดังนี้

1. การยึดติดเชิงกล (Mechanical Bonding)

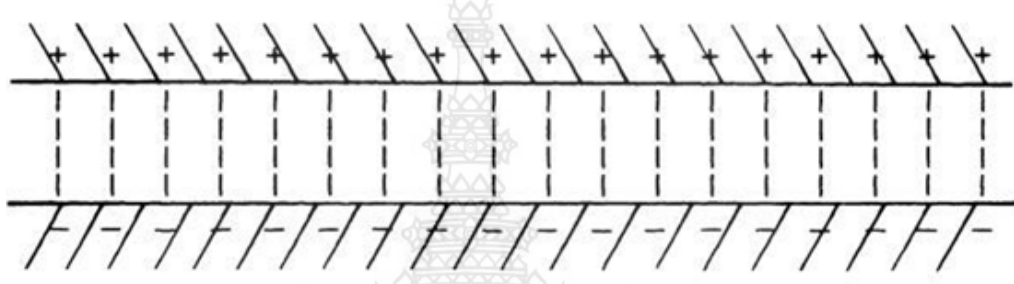
เป็นการยึดติดที่เกิดจากพื้นผิวที่มีความขรุขระของส่วนเสริมแรง ซึ่งเมทริกซ์ที่กระจายล้อมรอบส่วนเสริมแรงนั้นจะเกิดแรงยึดเหนี่ยวเชิงกล (Interlocking) กับส่วนเสริมแรงขึ้น โดยความแข็งแรงของการยึดเหนี่ยวแบบนี้ขึ้นอยู่กับความขรุขระของพื้นผิวส่วนเสริมแรง ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 กลไกการยึดติดกันระหว่างพื้นผิวแบบเชิงกล [15]

2. การยึดติดด้วยประจุไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Bonding)

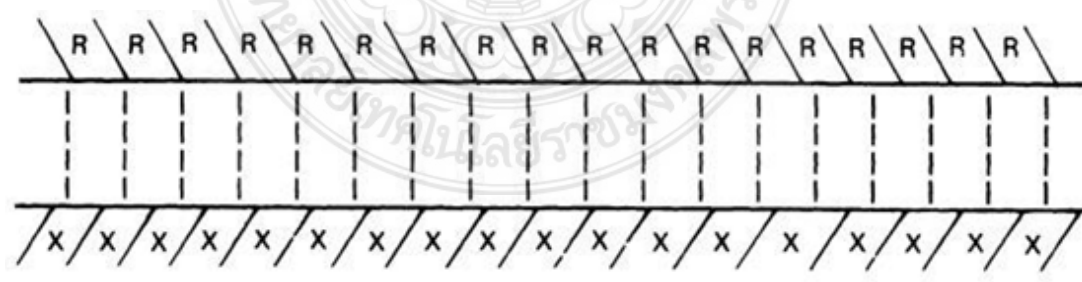
เป็นการยึดติดที่มักเกิดขึ้นชั่วคราวโดยเกิดขึ้นเนื่องจากเมทริกซ์ และส่วนเสริมแรงมีประจุที่แตกต่างกันทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุที่แตกต่างกันขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.17 ความแข็งแรงของการยึดติดแบบนี้ขึ้นกับปริมาณประจุของแต่ละพื้นผิว และระยะห่างระหว่างพื้นผิวทั้งสองต้องน้อยมาก หากพื้นผิวมีการปนเปื้อนจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการยึดติดด้วยประจุไฟฟ้า



รูปที่ 2.17 กลไกการยึดติดกันระหว่างพื้นผิวด้วยประจุไฟฟ้า [15]

3. การยึดติดทางเคมี (Chemical Bonding)

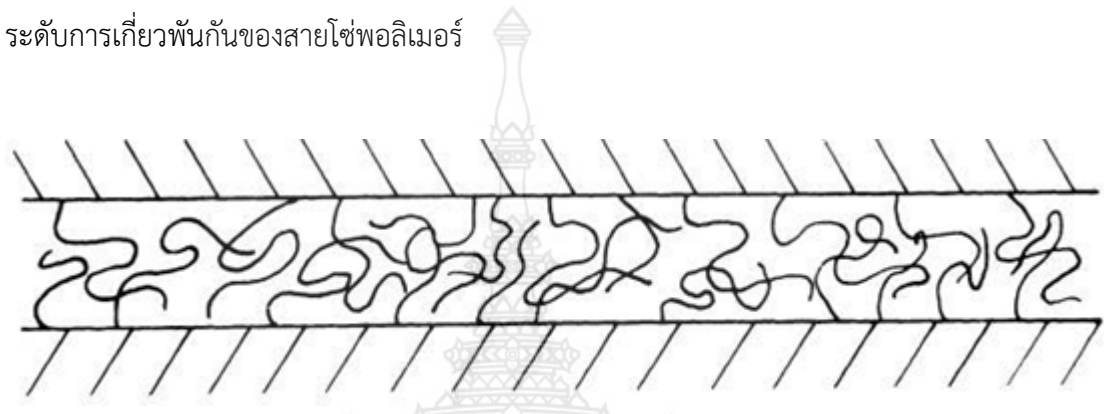
เป็นการยึดติดที่เกิดขึ้นจากหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของส่วนเสริมแรงกับเมทริกซ์เกิดพันธะเคมีระหว่างกันขึ้น ดังรูปในรูปที่ 2.18 โดยระดับความแข็งแรงของการยึดติดนี้ขึ้นกับชนิดของพันธะ และจำนวนของพันธะที่เกิดขึ้น โดยอาจใช้สารคู่ควบ ที่จะเกิดพันธะกับส่วนเสริมแรง และเมทริกซ์ทำให้เกิดการยึดติดทางเคมีระหว่างกันขึ้น



รูปที่ 2.18 แสดงกลไกการยึดติดกันระหว่างพื้นผิวด้วยพันธะเคมี [21]

4. การยึดติดแบบแพร่ผ่าน (Interdiffusion Bonding)

เป็นการยึดติดที่เกิดขึ้นเมื่อมีการแพร่ของโมเลกุลพอลิเมอร์ระหว่างสองพื้นผิวเกิดขึ้นทำให้สายโซ่พอลิเมอร์จากส่วนเสริมแรงกับเมทริกซ์เกิดการเกี่ยวพันกันขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.19 ความแข็งแรงของการยึดติดแบบนี้ขึ้นอยู่กับความยืดหยุ่น (Flexibility) ความสามารถในการเคลื่อนที่แพร่ผ่าน และระดับการเกี่ยวพันกันของสายโซ่พอลิเมอร์



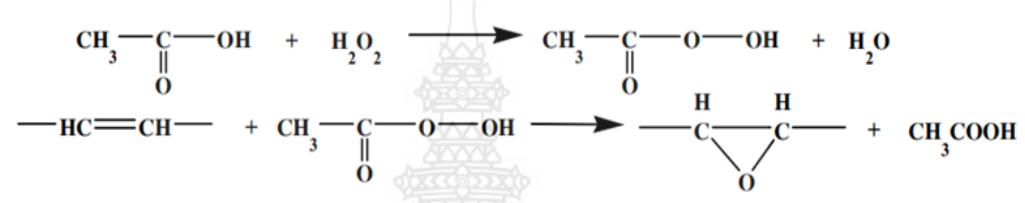
รูปที่ 2.19 กลไกการยึดติดแบบแพร่ผ่าน [21]

2.5 พลาสติไซเซอร์ [20,23]

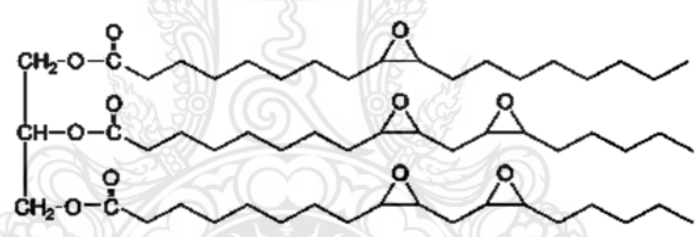
พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers) ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอินทรีย์ชนิดเฉื่อย (inert organic compounds) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จุดเดือดสูงและความดันไอต่ำ ทนต่อสภาวะความเป็นกรดต่าง ทนต่ออุณหภูมิสูง พลาสติไซเซอร์ที่ดีต้องที่ความว่องไวต่อรังสียูวีต่ำ มีเสถียรภาพในช่วงอุณหภูมิกว้าง และมีราคาไม่แพง พลาสติไซเซอร์ถูกใช้เป็นสารเติมแต่ง (additive) ที่ใส่ลงในกระบวนการผลิตพลาสติกเพื่อทำหน้าที่ปรับปรุงสมบัติทางกลของพอลิเมอร์ให้มีสมบัติเปลี่ยนไปโดยการเพิ่มความสามารถในการยืดหยุ่น ลดความต้านทานแรงดึง และทำให้อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วลดลง มีความอ่อนนุ่ม จะไปแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของพลาสติก ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลอ่อนลง พลาสติไซเซอร์ที่ใช้ในปัจจุบันมีหลายชนิด เช่น สารกลุ่มแธลเลต (phthalate) สารกลุ่มอะดิเพต (adipate) สารกลุ่มมาลีเอต (maleate) และน้ำมันพืชอีพอกซิไดซ์ (epoxidized vegetable oils) เป็นต้น พลาสติไซเซอร์มีอิทธิพลต่อกระบวนการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ คือ การเปลี่ยนแปลงความหนืด อัตราการกระจายตัวของสารเพิ่มเนื้อ ลักษณะของการไหล ปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการขึ้นรูปและการเกิดความร้อน

2.5.1 น้ำมันถั่วเหลืองอีพอกไซด์ (Epoxidized Soybean Oil, ESBO) [24]

น้ำมันถั่วเหลืองอีพอกไซด์เกิดจากปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันของน้ำมันถั่วเหลืองและกรดไขมันทั่วไป นิยมใช้กรดเปอร์ออกซีติก เนื่องจากเป็นกรดที่ค่อนข้างเสถียร ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดแอซีติกกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งกรดเปอร์ออกซีติกจะเข้าทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันบนพันธะคู่ของน้ำมันถั่วเหลืองมีกลไกดังรูปที่ 2.20 ภาพรวมการของการเกิดการปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันของน้ำมันถั่วเหลืองแสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.20 กลไกปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันบนพันธะคู่ของน้ำมันถั่วเหลือง [24]



รูปที่ 2.21 ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันของน้ำมันถั่วเหลือง [24]

ปฏิกิริยาการเกิดหมู่อีพอกซีมักเกิดใน 2 เฟส คือ เฟสน้ำและเฟสน้ำมันดังรูปที่ 2.20 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับกรดในน้ำ ได้เป็นเปอร์แอซิดที่ละลายได้ในน้ำมัน และซึมผ่านไปทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของน้ำมัน เกิดเป็นหมู่อีพอกซีและกรดคาร์บอกซิลิก กรดคาร์บอกซิลิกจะกลับสู่เฟสน้ำอีก ด้วยวิธีการนี้สามารถเตรียมน้ำมันอีพอกไซด์จากน้ำมันที่ไม่อิมตัวได้ ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันทำได้ 2 แบบ โดยแบบที่1 ต้องทำการเตรียมเปอร์แอซิดก่อนโดยการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดแอซีติกหรือกรดฟอร์มิกกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แล้วจึงทำปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันระหว่างเปอร์แอซิดที่ได้กับน้ำมันถั่วเหลืองรวมเป็น 2 ขั้นตอน ส่วนแบบที่2 มีขั้นตอนเดียว คือ การสังเคราะห์เปอร์แอซิดภายในน้ำมันถั่วเหลือง โดยการเติมกรดแอซีติกหรือกรดฟอร์มิกกับ

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงในน้ำมันถั่วเหลืองและเกิดปฏิกิริยาอ็อกซิเดชันกับน้ำมันถั่วเหลืองทันที ปัจจุบันนิยมใช้กันในแบบที่ 2 เนื่องจากใช้ขั้นตอนเดียวจึงสะดวกรวดเร็ว

น้ำมันถั่วเหลืองอ็อกซิไดซ์ถูกนำมาใช้ประโยชน์หลายด้าน เช่น เป็นสารช่วยเพิ่มความเสถียร (stabilizer) ใช้เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ในพอลิไวนิลคลอไรด์ (poly (vinyl chloride)) เป็นสารเพิ่มความเหนียวให้กับอ็อกซีเรซิน ทำเป็นสารหล่อลื่นและสารเคลือบผิว

2.6 การปรับปรุงผิวทางเคมี [16]

2.6.1 การปรับปรุงด้วยเบส (Alkali treatment)

การปรับปรุงด้วยเบสเป็นหนึ่งในวิธีการปรับปรุงที่ดีที่สุดที่ใช้สำหรับเส้นใยธรรมชาติ เนื่องจากต่างทำให้ปริมาณของเซลลูโลสเพิ่มขึ้น โดยวิธีนี้มีการกำจัดพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะแสดงในสมการ 2.1

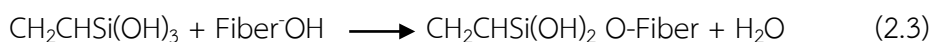


เบสที่ใช้เช่น KOH, LiOH, NaOH และความเข้มข้นของเบสจะมีอิทธิพลต่อระดับของการบวมตัวและระดับของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเซลลูโลส สารละลายเบสไม่เพียงแต่จะมีผลต่อองค์ประกอบเซลลูโลส แต่ยังส่งผลต่อองค์ประกอบอื่นๆ เช่น ลิกนิน แพนคติน และเฮมิเซลลูโลส

2.6.2 การปรับปรุงด้วยซิลเลน (Silane treatment)

การปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารซิลเลนโดยนำซิลเลนมาใช้เป็นตัวประสานในเส้นใยแก้วกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ หรือเส้นใยธรรมชาติกับพอลิเมอร์ เพื่อทำให้เส้นใยและพอลิเมอร์มีการยึดเกาะระหว่างเฟสโดย ซิลเลนจะไปลดจำนวนของกลุ่มไฮดรอกซิล พื้นผิวของเส้นใยจากสมการที่ 2.2 สารซิลเลนจะทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) กับน้ำ หมู่แอลคอกซี (Alkoxy) จะถูกเปลี่ยนเป็นหมู่ซิลานอล (Silanol) และเมื่อนำสารซิลานอลที่ได้มาปรับปรุงผิวเส้นใยดังสมการที่ 2.3 ทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใย และมีความเสถียรเกิดเป็นพันธะโควาเลนต์และมีหมู่ที่สามารถเข้ากันได้กับเมทริกซ์จึงช่วยทำหน้าที่เป็นสารช่วยเชื่อมประสานของเส้นใยและเมทริกซ์





2.6.3 การปรับปรุงด้วยเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Treatment)

เปอร์ออกไซด์เป็นโมเลกุลที่มีกลุ่ม ROOR มีไอออน divalent O-O เปอร์ออกไซด์เป็นสารอินทรีย์มีแนวโน้มที่จะย่อยสลายได้ง่ายเกิดเป็นอนุมูลอิสระจาก(RO[•]) ดังสมการที่ 2.4 จากนั้น RO[•] ไปทำปฏิกิริยากับเส้นใยธรรมชาติและพอลิเมอร์ดังแสดงในสมการที่ 2.5-2.7



เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (BP) และไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ (DCP) เป็นสารเคมีที่อยู่ในกลุ่มเปอร์ออกไซด์อินทรีย์ที่ใช้ในการปรับเปลี่ยนพื้นผิวเส้นใยธรรมชาติ การปรับปรุงด้วยเปอร์ออกไซด์จะใช้ BP หรือ DCP ละลายในอะซิโตนแล้วแช่เส้นใยไว้ประมาณ 30 นาที หลังจากปรับปรุงด้วยเบสเสร็จแล้วพบว่า ความชอบน้ำของเส้นใยลดลง

2.6.4 การปรับปรุงด้วยวิธีอะซิลเลชัน (Acetylation treatment)

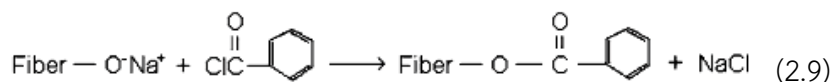
การใส่หมู่ Acetyl (CH₃COO⁻) ในสารประกอบอินทรีย์ ปฏิกิริยา Acetylation ของเส้นใยธรรมชาติ คือปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันทำให้เกิด Plasticization ของเส้นใยเซลลูโลส ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดการตออะซิติกขึ้นด้วยซึ่งจะถูกกำจัดออกก่อนนำเส้นใยไปใช้ การปรับปรุงวิธีนี้หมู่ Acetic anhydride แทนที่หมู่ Hydroxyl ของผนังเซลล์ทำให้เส้นใยมีความเป็นขี้ดลดลง รูปแบบปฏิกิริยาตามสมการที่ 2.8



2.6.5 การปรับปรุงด้วยวิธีเบนโซอิลเลชัน (Benzoyllation treatment)

การเปลี่ยนรูปที่สำคัญในการสังเคราะห์สารอินทรีย์ Benzoyl chloride เป็นตัวที่ใช้กันมากในการปรับปรุงเส้นใย โดย Benzoyl จะไปลดความเป็นขี้ดของเส้นใยและปรับปรุงอันตรกิริยากับ

ความไม่เป็นตัวของเมทริกซ์โดยการปรับปรุงวิธีนี้จะไปเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุเชิงประกอบลดการดูดกลืนแสงและปรับปรุงเสถียรภาพทางความร้อนรูปแบบปฏิกิริยาตามสมการที่ 2.9



2.6.6 การปรับปรุงด้วยวิธี Acrylation และ Acrylonitrile grafting

ปฏิกิริยาเริ่มโดยอนุมูลอิสระของโมเลกุลเซลลูโลส โดยที่เซลลูโลสถูกปรับปรุงโดยการให้พลังงานสูงเพื่อให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระร่วมกับการถูกตัดของสายโซ่ กรดอะคลิลิกสามารถที่จะกราฟกับเส้นใยแก้วซึ่งการปรับปรุงด้วยไซเลนและการปรับปรุงด้วยวิธีนี้นำไปสู่การเกิดพันธะโควาเลนต์ที่แข็งแรง โดย Acrylonitrile สามารถใช้ปรับปรุงเส้นใย



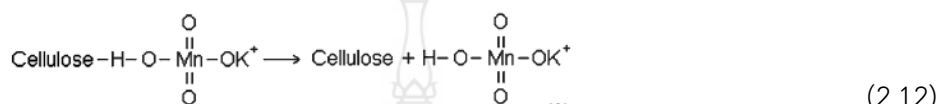
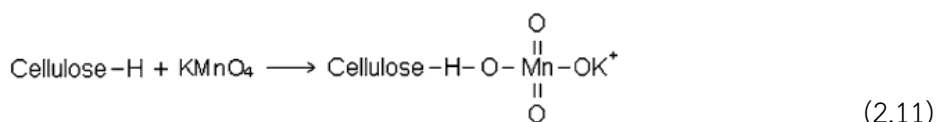
2.6.7 การปรับปรุงด้วยมาลีเอท

การปรับปรุงด้วยมาลีเอทนิยมใช้กันอย่างมากในวัสดุเชิงประกอบที่มีสารเพิ่มเนื้อและเส้นใยเป็นสารเสริมแรง Maleic anhydride ไม่เพียงแต่ปรับปรุงผิวเส้นใยแต่ยังปรับปรุงพอลิเมอร์เมทริกซ์ เช่น พอลิพรอพิลีน (PP) เพื่อให้เกิดพันธะที่แข็งแรงและสมบัติเชิงกลที่ดี การใช้พอลิพรอพิลีนสามารถทำให้มาเลอิกแอนไฮดรายเป็นตัวยึดเกาะร่วมในการผลิตพอลิพรอพิลีนที่ถูกกราฟด้วยมาเลอิกแอนไฮดราย ดังนั้นการปรับปรุงด้วย MAPP ร้อนทำให้เกิดพันธะโควาเลนระหว่างผิว กลไกปฏิกิริยาของมาเลอิกกับ PP และเส้นใยอธิบายโดยโคพอลิเมอร์ถูกกระตุ้นโดยความร้อนที่ 170 °C ก่อนการปรับปรุงเส้นใยและจากนั้นเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันของเส้นใย หลังการปรับปรุงพลังงานพื้นผิวของเส้นใยเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับพอลิเมอร์ส่งผลให้ความสามารถในการเปียกผิวดีขึ้นและทำให้การยึดเกาะระหว่างผิวสูงขึ้น

2.6.8 การปรับปรุงด้วยเปอร์แมนกาเนท

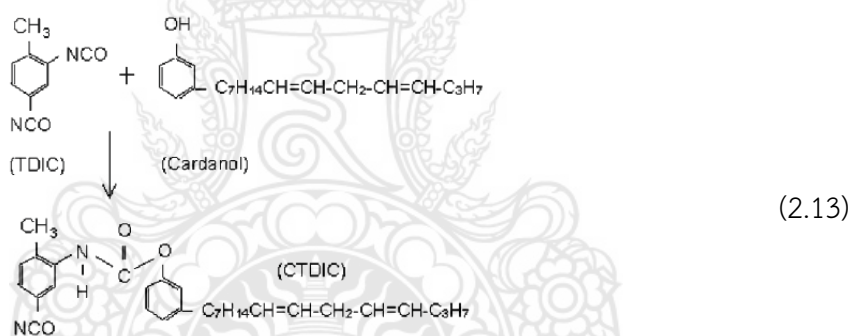
เป็นสารประกอบที่มีหมู่เปอร์แมนกาเนทสามารถฟอร์มตัวของเซลลูโลสจาก $\text{MnO}_3 \cdot \text{Mn}^{3+}$ มีความไวในการทำปฏิกิริยาสูงซึ่งเป็นตัวร่วมการเกิด Graft polymerization ดังสมการที่ 2.11

และ 2.12 การปรับปรุงด้วยเปอร์แมนกาเนท ส่วนมากใช้ Potassium permanganate ในอะซิโตนที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า 1 % โดยใช้เวลา 1-3 นาทีหลังการทำ Alkaline treatment



2.6.9 การปรับปรุงด้วยไอโซไซยาเนต

สารประกอบที่มีหมู่ไอโซไซยาเนต ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลสและลิกนินโดยที่ไอโซไซยาเนต เป็นสารคู่ควบที่ถูกใช้กับเส้นใยที่เสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบแสดงในสมการที่ 2.13



2.7 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

Tomyangkul, S. และคณะ (2016) [18] ได้ทำการศึกษาการผลิตวัสดุดูดซับเสียงจากวัสดุเชิงประกอบยางโฟมและเส้นใยธรรมชาติ โดยเลือกใช้เส้นใยปาล์มน้ำมัน และชานอ้อย โดยในงานวิจัยได้มีการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากงานวิจัยพบว่า การปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีส่วนช่วยในการกำจัดสิ่งสกปรกที่ผิวเส้นใย เพิ่มอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใย และเพิ่มความขรุขระให้กับผิวเส้นใยธรรมชาติจึงมีส่วนช่วยทำให้การ

ยึดเกาะระหว่างเฟสของเส้นใยธรรมชาติ และยางธรรมชาติมีความแข็งแรง และช่วยเสริมประสิทธิภาพการดูดซับเสียง

ปาเจรา พัฒนถาบุตร และคณะ (2559) [25] งานวิจัยนี้ใช้สีธรรมชาติที่สกัดจากแก่นฝางและมีการใช้ 3-อะมิโนพรอพิลไตรเอททอกซิไซเลน (APTES) เป็นสารคู่ควบไซเลน ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อนและสมบัติสัณฐานวิทยาของชิ้นงานฉีดวัสดุเชิงประกอบพอลิแลกติกแอซิดผสมเส้นใยฝ้ายย้อมสีธรรมชาติที่ปริมาณเส้นใยฝ้าย 3, 5 และ 10 % โดยน้ำหนักของวัสดุเชิงประกอบพลาสติกชีวภาพ ผลการทดลองพบว่า วัสดุเชิงประกอบพอลิแลกติกแอซิดผสมเส้นใยฝ้ายย้อมสีธรรมชาติมีค้ำยงมอดูลัสค้ำมอดูลัสแรงดัดรวมถึงค่าความสามารถในการต้านทานแรงกระแทก และค่าความแข็งที่ผิวหน้าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยฝ้ายมากขึ้น การศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงการยึดติดที่ติระหว่างผิวของเส้นใยฝ้ายกับพอลิแลกติกแอซิด จึงเป็นทางเลือกในการนำวัสดุเชิงประกอบพอลิแลกติกแอซิดผสมเส้นใยฝ้ายย้อมสีธรรมชาติมาใช้ในงานวัสดุตกแต่งอาคารที่มีตรงกับธรรมชาติได้

ยศธร วงศ์งาม และแคทลียา ปัทมพรพรหม (2561) [8] งานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการสังเคราะห์สารเพิ่มความเหนียวให้กับพอลิแลกติกแอซิด โดยใช้พอลิแลกติกแอซิดต่อกิ่งด้วยยางธรรมชาติ เป็นสารเพิ่มความเหนียว (toughening agent) และใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (MA) เป็นตัวเชื่อม (linker) ซึ่งตัวแปรที่ศึกษา คือ (1) ผลของการดัดแปรโครงสร้างของพอลิแลกติกแอซิด (2) ผลของปริมาณ MA ตั้งแต่ 4-10 ส่วน ต่อ 100 ส่วนของยางธรรมชาติ (phr) โดยเมื่อสังเคราะห์สารเพิ่มความเหนียวต่างๆ เหล่านี้แล้ว ได้ผลการทดสอบการรับแรงกระแทก พบว่า สารเพิ่มความเหนียวที่ใช้ GPLA ต่อกิ่งกับยางธรรมชาติ (GPLA-g-NR) ส่งผลเสียต่อการรับแรงกระแทกของพอลิแลกติกแอซิดในทุกอัตราส่วน ส่วนสารเพิ่มความเหนียวที่ใช้พอลิแลกติกแอซิดที่ไม่มีการปรับสภาพต่อกิ่งกับยางธรรมชาติ (PLA-NR) นั้นพบว่าให้ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกเปลี่ยนแปลงตามปริมาณมาเลอิกแอนไฮไดรด์ โดยปริมาณมาเลอิกแอนไฮไดรด์ที่ 6 phr ให้ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกสูงสุด และยังมีความเข้ากันได้ (compatibility) ระหว่างเฟสของยางและ พอลิแลกติกแอซิดที่ดีอีกด้วย

รัตนา ต้นขเทติธรรม และคณะ [27] การใช้เส้นใยกาบมะพร้าวและทะเลสาปาล์มน้ำมันเป็นสารตัวเติมเสริมแรงโดยการเตรียมวัสดุเชิงประกอบกับยางธรรมชาติด้วยกระบวนการผสมในสภาวะยางแห้งกับสารเคมีวัลคาไนซ์ต่าง ๆ โดยศึกษาอิทธิพลของชนิดและปริมาณเส้นใย (0- 40 phr) โดย

ศึกษาสมบัติความต้านทานแรงดึง ความต้านทานการฉีกขาด และความแข็ง รวมทั้งพฤติกรรมการวัลคาไนซ์ของวัสดุเชิงประกอบยางคอมปาวด์ที่เตรียมขึ้น ทั้งนี้จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลแสดงให้เห็นว่าการผสมเส้นใยทั้งสองชนิดกับยางธรรมชาตินั้นส่งผลให้ค่ามอดุลัสที่ระยะยืด 300% และความแข็งเพิ่มขึ้น ตามปริมาณเส้นใย ในขณะที่ความต้านทานต่อแรงดึงและความต้านทานการฉีกขาดมีค่าลดลง โดยพบว่าการผสมเส้นใยปาล์มน้ำมันทำให้ค่ามอดุลัสและความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากกว่าเส้นใยกาบมะพร้าว ส่วนการทดสอบสมบัติการคงรูปของยางคอมปาวด์ที่ผสมเส้นใยกาบมะพร้าวและทะเลาะปาล์มน้ำมันในปริมาณต่างๆ พบว่า ระยะเวลาที่ยางคอมปาวด์เริ่มสุกและเวลาที่ใช้อบย่างให้สุกของยางคอมปาวด์ผสมเส้นใยนั้น มีค่าน้อยกว่ายางคอมปาวด์ที่ไม่ใส่เส้นใยและมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณเส้นใย ส่วนค่าแรงบิดสูงสุดซึ่งแสดงถึงความแข็งของยางคอมปาวด์ที่ได้วัลคาไนซ์แล้วนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเติมเส้นใยในยางธรรมชาติทำให้การเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุลยางลดลง ส่งผลทำให้ยางวัลคาไนซ์มีความแข็ง



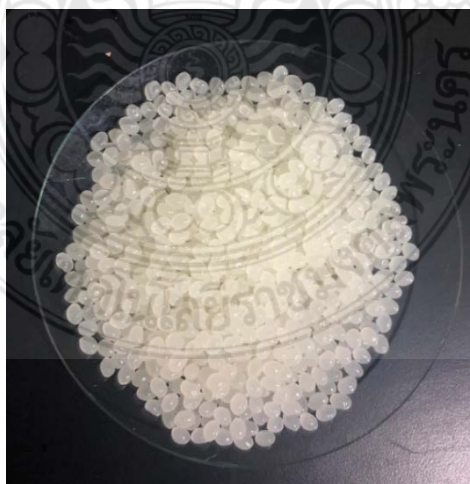
บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้ จะกล่าวถึงขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย โดยสามารถแบ่งงานวิจัยออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ คือ ส่วนแรกเป็นการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยพาล์มน้ำมันด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ และส่วนที่สองเป็นการศึกษาผลของปริมาณเส้นใยพาล์มน้ำมัน และผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยที่มีต่อสมบัติทางกลของพอลิแลกติกแอซิด โดยสภาวะการปรับปรุงผิวเส้นใยที่เหมาะสมที่ได้จากงานวิจัยส่วนที่แรกจะถูกเลือก เพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงผิวเส้นใยพาล์มน้ำมันในงานวิจัยส่วนที่สอง และในการทดลองในส่วนที่สองนั้นจะทำการหาปริมาณเส้นใยพาล์มน้ำมันที่เหมาะสมในการปรับปรุงสมบัติของพอลิแลกติกแอซิด สำหรับรายละเอียดการดำเนินงานมีรายละเอียดต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 เม็ดพลาสติก พอลิแลกติกแอซิด (Poly(lactic acid) : PLA) เกรด 4043D สำหรับผลิตฟิล์มแบบจัดเรียงตัว 2 ทิศทาง (Biaxially oriented films) จากบริษัท Nature Works LLC (USA) พอลิแลกติกแอซิดมีลักษณะเป็นเม็ดสีขาวใส ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เม็ดพลาสติกพอลิแลกติกแอซิด

3.1.2 เส้นใยปาล์มน้ำมันที่ (Oil palm fiber : OPF) จากจังหวัดกระบี่ ใช้เส้นใยปาล์มน้ำมันเพื่อช่วยในการปรับปรุงสมบัติของพอลิแลตทกแอซิด โดยลักษณะของเส้นใยปาล์มน้ำมันเป็นดังแสดงในรูปที่ 3.2 ขนาดของเส้นใยปาล์มที่ใช้ในงานวิจัยถูกเตรียมให้มีความยาวที่ 0.5 - 1 เซนติเมตร



รูปที่ 3.2 ลักษณะเส้นใยปาล์มน้ำมัน

3.1.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) จากบริษัท ศึกษาภัณฑ์พาณิชย์ ถูกใช้ในการปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มน้ำมัน รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในงานวิจัย มีลักษณะเป็นผง



รูปที่ 3.3 ลักษณะโซเดียมไฮดรอกไซด์

3.1.4 น้ำมันถั่วเหลืองอีพอกไซด์ (Epoxidized soybean oil, ESBO) จากบริษัท เอสทีซีพี เคมีคอล จำกัด จังหวัดสมุทรปราการ น้ำมันถั่วเหลืองอีพอกไซด์นั้นมีลักษณะเป็นสีเหลืองใสดังรูปที่

3.4 ถูกใช้ในการทำหน้าที่เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ ตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงสมบัติทั่วไปของน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกไซด์

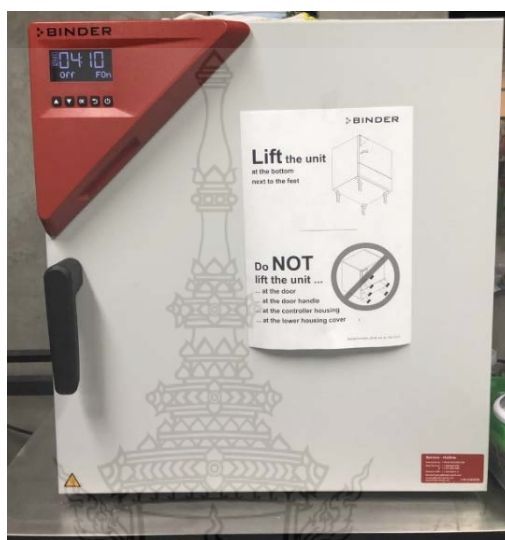
Test Item	Unit	Specification	Analysis Result
Appearance	-	Clear Solution	Clear Solution
Water Content	%	≤ 0.15	0.07
Oxidant	%	6.40-6.80	6.63
Acid Value	Mg KOH/g	≤ 0.07	0.55
Iodine Value	g I ₂ /100 g	≤5.00	2.33
Specific Gravity	-	0.982-1.002	0.998



รูปที่ 3.4 น้ำมันถั่วเหลืองอีพอกไซด์

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เตาอบลมร้อน รุ่น ED ของบริษัท BINDER ประเทศเยอรมัน ใช้ในการอบไล่ความชื้นให้กับเส้นใยพอลิเมอร์น้ำมัน และพอลิแลกติกแอซิด



รูปที่ 3.5 เครื่องอบลมร้อน รุ่น ED ของบริษัท BINDER

3.2.2 เครื่องอัดรีดเกลียวทวนคู่ แบบสกรูคู่หมุนร่วม (Co-rotating twin screw extruder) รุ่น SHJ-20 ของบริษัท XINDA ประเทศจีน ใช้ในการผสมระหว่างพอลิแลกติกแอซิดกับเส้นใยพอลิเมอร์น้ำมันให้เข้ากัน



รูปที่ 3.6 เครื่องอัดรีดสกรูคู่ แบบหมุนร่วม รุ่น SHJ-20 ของบริษัท XINDA

3.2.3 เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression machine) รุ่น QC-6Q1T ของบริษัท Comotech ของประเทศไต้หวัน ใช้สำหรับเตรียมชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 3.7 เครื่องอัดขึ้นรูป รุ่น QC-6Q1T ของบริษัท Comotech

3.2.4 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope, OM) รุ่น Axio Scope.A1 ของบริษัท Carl Zeiss ประเทศเยอรมัน ใช้วัดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยพอลิเมอร์น้ำมัน



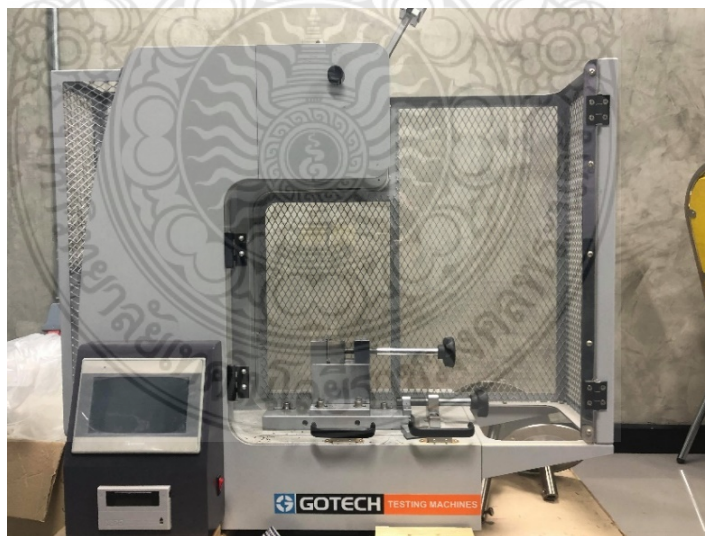
รูปที่ 3.8 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงรุ่น Axio Scope.A1 ของบริษัท Carl Zeiss

3.2.5 เครื่องมือทำรอยบากชิ้นงาน รุ่น 5IK60A-CF ของบริษัท Luyang ประเทศไต้หวัน ใช้ทำรอยบากสำหรับชิ้นงานทดสอบแรงกระแทก



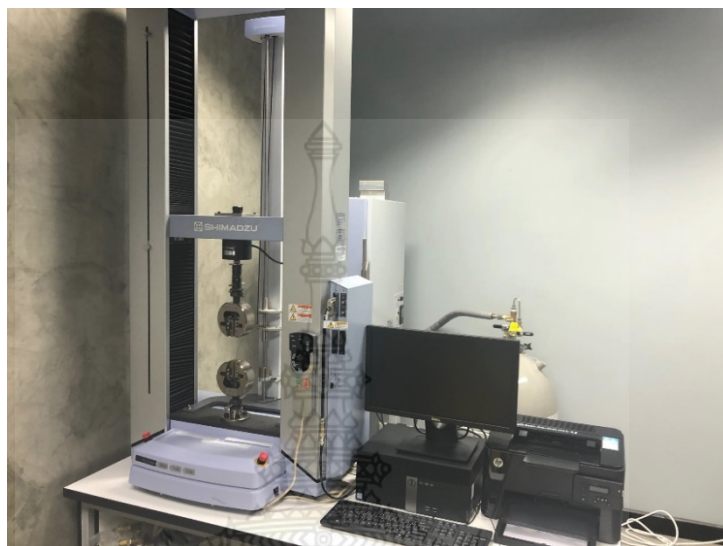
รูปที่ 3.9 เครื่องมือทำรอยบากชิ้นงาน รุ่น 5IK60A-CF ของบริษัท Luyang

3.2.6 เครื่องมือทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact tester) รุ่น GT-7045-HML ของบริษัท Gotech Testing Machines ประเทศไต้หวัน ใช้ทดสอบความต้านทานแรงกระแทก



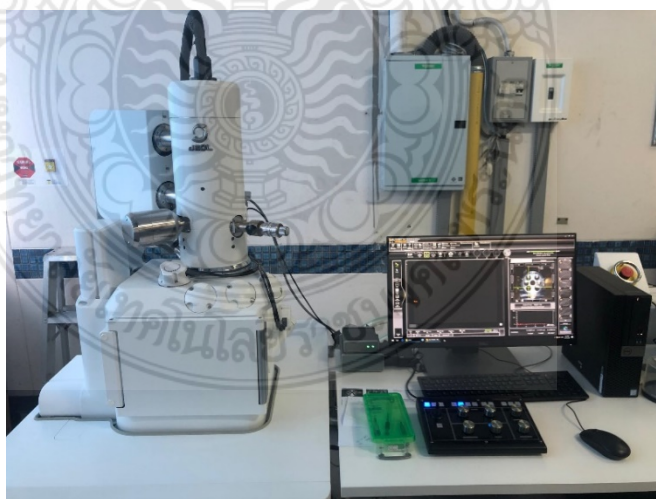
รูปที่ 3.10 เครื่องมือทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทก รุ่น GT-7045-HML ของบริษัท Gotech Testing Machines

3.2.7 เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal testing machine, UTM) รุ่น AG-X บริษัท SHIMADZU ประเทศญี่ปุ่น ใช้ทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึง



รูปที่ 3.11 เครื่องทดสอบแรงดึง รุ่น AG-X บริษัท SHIMADZU

3.2.8 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy (SEM)) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-IT 500 HR/LA ประเทศอังกฤษ ใช้วิเคราะห์สัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบพอลิแลกติกแอซิด และเส้นใยพาล์มน้ำมัน



รูปที่ 3.12 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-IT 500 HR/LA บริษัท JEOL LTD.

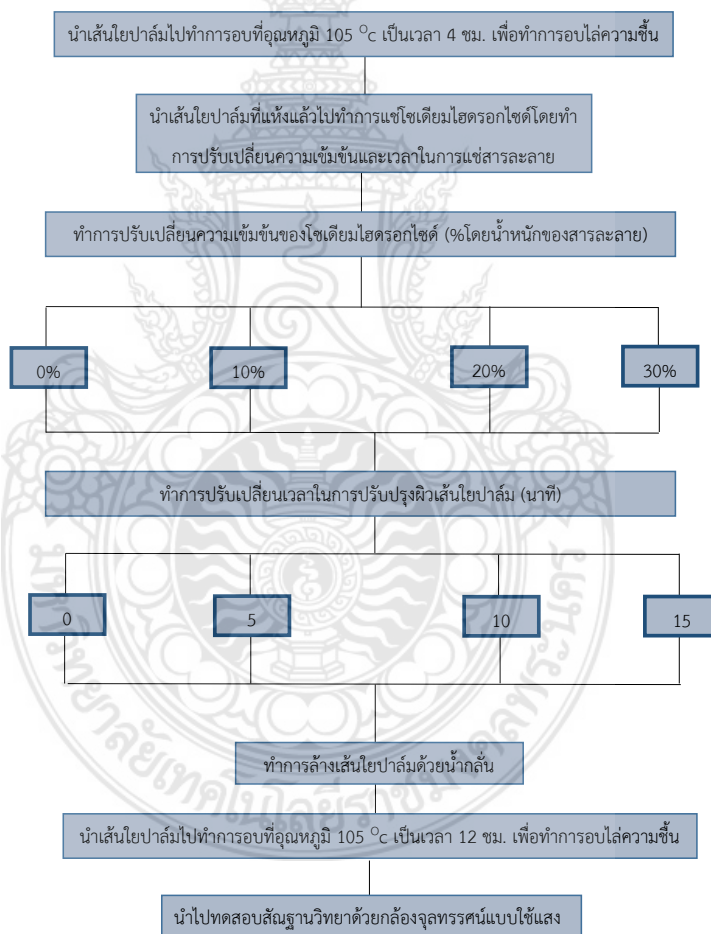
3.3 แผนการดำเนินการทดลอง

แผนการดำเนินการวิจัย แบ่งงานออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

3.3.1 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยพอลิเมอร์น้ำมันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

ทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยพอลิเมอร์น้ำมัน โดยทำการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเวลาในการปรับปรุงผิว ดังรายละเอียดในรูปที่

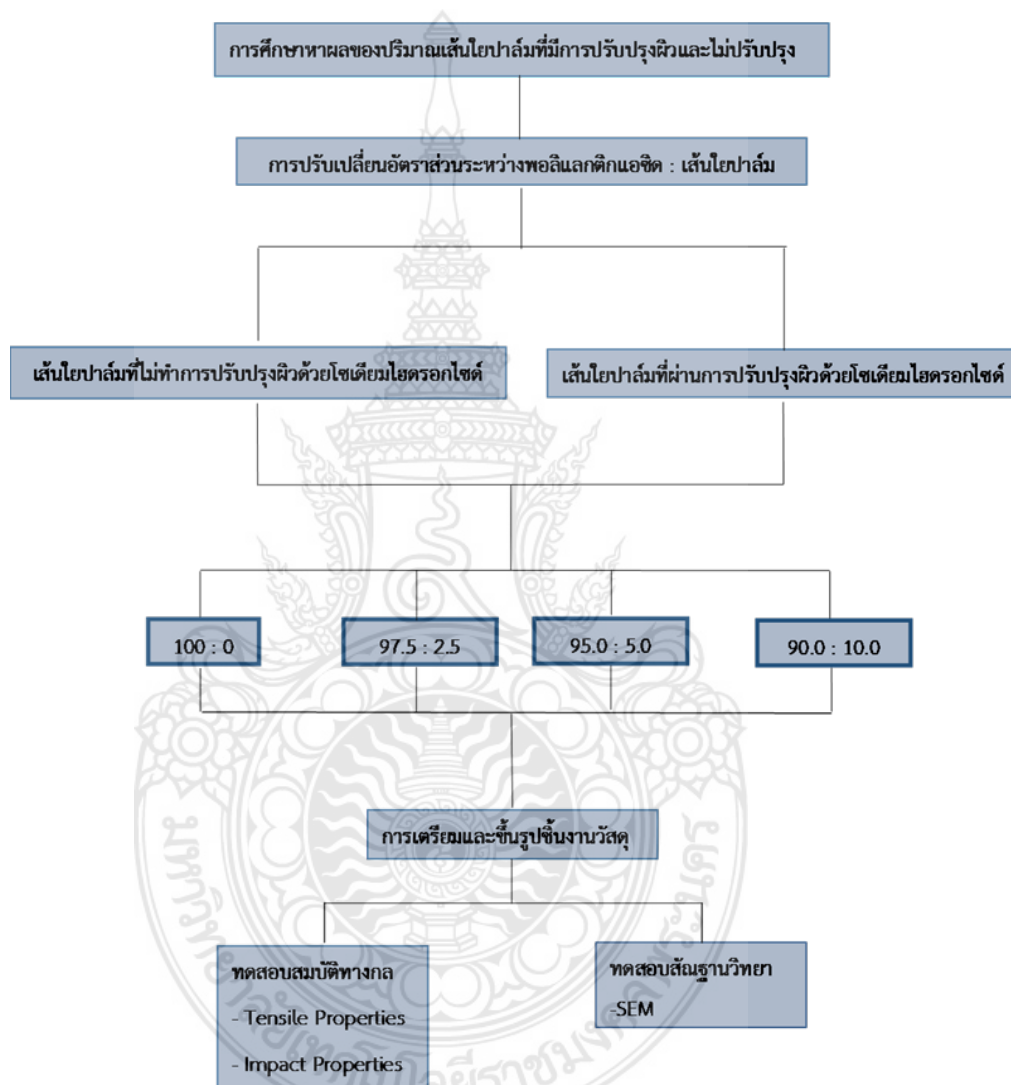
3.13 และทำการพิจารณาหาสภาวะที่เหมาะสมโดยทำการเลือกจากอัตราส่วนระหว่างความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยพอลิเมอร์น้ำมัน (L/D) และทำการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของเส้นใยพอลิเมอร์น้ำมัน



รูปที่ 3.13 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

3.3.2 การศึกษาหาผลของปริมาณเส้นใยปาล์มน้ำมันและผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มที่มีผลต่อสมบัติทางกลของพอลิแลกติกแอซิด

ทำการศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่างพอลิแลกติกแอซิด และเส้นใยปาล์มน้ำมันที่มีต่อผลสมบัติทางกล และสัณฐานวิทยา มีรายละเอียดดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการการศึกษาหาผลของปริมาณเส้นใยปาล์มและผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มน้ำมันที่มีผลต่อสมบัติทางกลของพอลิแลกติกแอซิด

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 วิธีการหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มน้ำมันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ขั้นตอนการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และการหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติ มีรายละเอียดดังนี้

1. นำเส้นปาล์มมาทำการกำจัดความชื้นไล่ความชื้น โดยนำเส้นใยปาล์มน้ำมันไปอบในตู้อบลมร้อน รุ่น ED บริษัท BINDER ประเทศเยอรมัน ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่
2. นำเส้นปาล์มน้ำมันที่ผ่านการอบไล่ความชื้นแล้วมาทำการแช่ลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ดังแสดงในรูปที่ 3.15 ทำการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตั้งแต่ 0, 5, 10 และ 15 % โดยน้ำหนักของสารละลาย และทำการปรับเปลี่ยนเวลาในการแช่เส้นใยธรรมชาติ จาก 0, 10, 20 และ 30 นาที ทำการกวนให้เส้นใยปาล์มน้ำมันกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความเข้ากันจนเส้นใยปาล์มน้ำมันเปียกไปด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ 3.15 การแช่เส้นใยปาล์มน้ำมันในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

3. ทำการกำจัดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อยู่ในเส้นใยปาล์มน้ำมันเมื่อครบกำหนดเวลาการปรับปรุงผิว โดยการล้างด้วยน้ำกลั่น ล้างเส้นใยจนกระทั่งน้ำกลั่นที่ใช้ในการล้างเส้นใยมีค่ากรด-เบสที่เป็นกลาง หรือ ค่า pH เท่ากับ 7
4. ทำการอบไล่ความชื้นเส้นใยปาล์มน้ำมัน โดยการอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ ลักษณะเส้นใยปาล์มน้ำมันภายหลังจากอบเป็นดังแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 ลักษณะของเส้นใยปาล์มน้ำมันภายหลังจากการปรับปรุงผิวและผ่านการอบไล่ความชื้น

5. ทำการหาค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยปาล์มน้ำมัน (L/D) โดยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง รุ่น Axio Scope.A ของบริษัท Carl Zeiss 1 เพื่อถ่ายภาพเส้นใยปาล์มน้ำมัน จากนั้นนำภาพมากำหนดค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยปาล์มน้ำมัน และทำการวัดความยาวของเส้นใยปาล์มน้ำมันด้วยไม้บรรทัด จากนั้นนำมาคำนวณหาค่า L/D
6. ทำการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของเส้นใยปาล์มน้ำมันก่อน และหลังการปรับปรุงผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ยี่ห้อ Philip รุ่น XL30 เส้นใยธรรมชาติก่อนการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วย SEM ต้องทำการเคลือบทองด้วยวิธีการสปัตเตอริง (sputtering)

7. ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองและทำการเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มน้ำมัน และทำการนำสภาวะการปรับปรุงผิวที่เหมาะสมมาใช้ในการเตรียมวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิแลกติกแอซิด และเส้นใยปาล์มน้ำมันในหัวข้อที่ 3.4.2

3.4.2 การศึกษาหาผลของปริมาณเส้นใยปาล์มและผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มที่มีผลต่อสมบัติทางกลของพอลิแลกติกแอซิด

3.4.2.1 ขั้นตอนทดลองการเตรียมชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบประกอบพอลิแลกติกแอซิดและเส้นใยปาล์มน้ำมัน

1. นำสภาวะการปรับปรุงผิวที่เหมาะสม มาทำการปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มน้ำมันเพื่อเตรียมเส้นใยปาล์มน้ำมันสำหรับการนำมาผสมกับพอลิแลกติกแอซิดเพื่อขึ้นรูปเป็นชิ้นงานทดสอบ
2. นำเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และไม่ปรับปรุงผิวมาทำการผสมให้เข้ากันกับพอลิแลกติกแอซิด ด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนคู่แบบหมุนร่วม รุ่น SHJ-20 บริษัท XINDA โดยทำการปรับเปลี่ยนปริมาณของเส้นใยที่ 2.5 5.0 และ 10.0 % โดยน้ำหนักของวัสดุเชิงประกอบ ก่อนการผสมต้องนำเส้นใยปาล์มน้ำมันมาทำการอบไล่ความชื้นด้วยตู้อบลมร้อน ที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ และพอลิแลกติกแอซิดอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สำหรับอุณหภูมิที่ใช้ในการผสมของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่จะใช้อุณหภูมิที่ 160 ถึง 175 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที หลังจากนั้นทำการตัดเม็ดด้วยเครื่องตัดเม็ดและอบเพื่อไล่ความชื้น



รูปที่ 3.17 การผสมระหว่างพอลิแลกติกแอซิดและเส้นใยพาล์มน้ำมัน

3. หลังจากนั้นนำเม็ดของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิแลกติกแอซิด และเส้นใยพาล์มน้ำมันมาคลุกผสมกับน้ำมันถั่วเหลืองที่อีพอกซีไดซ์ ที่ปริมาณ 5 % โดยน้ำหนักของพอลิแลกติกแอซิด แล้วนำมาทำการอัดเพื่อขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูป รุ่น QC-6Q1T บริษัท Cometech ประเทศไต้หวัน โดยขึ้นรูปเป็นชิ้นงานทดสอบแรงดึงและแรงกระแทก โดยมีลักษณะแม่พิมพ์ดังแสดงใน รูปที่ 3.18 และ รูปที่ 3.19 ตามลำดับ โดยอุณหภูมิของแม่พิมพ์ด้านบน และ ด้านล่าง คือ 150 และ 160 องศาเซลเซียสตามลำดับ ความดันที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป 2,000 psi เวลาที่ใช้ในการอุ่นให้ความร้อน (Pre-heat) 5 นาที เวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป 5 นาที ชิ้นงานทดสอบแรงดึง และแรงกระแทกที่ได้มีลักษณะดังรูปที่ 3.20 เพื่อนำไปใช้ในการทดสอบสมบัติทางกล และสัณฐานวิทยา



รูปที่ 3.18 แม่พิมพ์สำหรับการเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึง



รูปที่ 3.19 แม่พิมพ์สำหรับการเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงกระแทก



รูปที่ 3.20 ลักษณะชิ้นงานทดสอบแรงดึง และแรงกระแทกที่ได้จากกระบวนการอัดขึ้นรูป

3.4.2.2 ขั้นตอนการตรวจสอบสมบัติทางกล และสัณฐานวิทยา

1. การทดสอบสมบัติทางกล

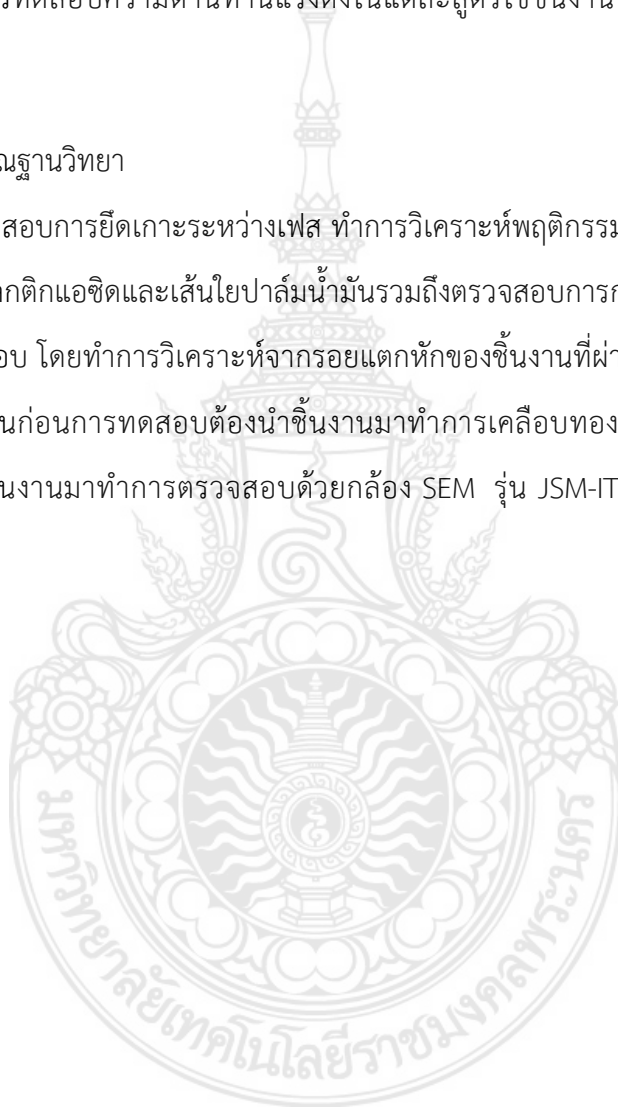
- ทดสอบความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength) โดยใช้เครื่องมือทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact tester) ของบริษัท Gotech Testing Machines รุ่น GT-7045-HML ใช้ทดสอบความต้านทานแรงกระแทกของชิ้นงาน โดยการนำชิ้นงานมาทำรอยบากด้วยเครื่องทำรอยบากชิ้นงาน รุ่น 5IK60A-CF ของบริษัท Luyang หลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ผ่านการทำรอยบากแล้วมาทำการทดสอบความต้านทานแรงกระแทกด้วยวิธีการทดสอบ แบบ Izod อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D256 ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทก รุ่น GT-7045-HML ของบริษัท Gotech Testing Machines หลังจากนั้นทำการรายงานผลความต้านทานแรงกระแทก โดยการรายงานเป็นค่าพลังงานที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกหักต่อพื้นที่หน้าตัดบริเวณรอยบาก ในการทดสอบจำนวนทั้งหมด 7 ชิ้นงานทดสอบ

$$\text{Impact Strength} = \frac{(\text{พลังงานชิ้นงาน} - \text{พลังงานค้อน})}{\text{พื้นที่หน้าตัด}}$$

- ทดสอบ ความต้านทานแรงดึงโดยใช้เครื่อง Universal testing machine (UTM) รุ่น AG-X Plus โดยใช้ของบริษัท SHIMADZU Load cell สูงสุด 5 kN ทดสอบเพื่อวัดค่ามอดุลัสความต้านทานแรงดึง ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด โดยทำการทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D638 ชิ้นงานทดสอบมีรูปทรงคัมเบล แบบ Type IV ระยะเวลายาวเกจ 25 มิลลิเมตร ในการทดสอบความต้านทานแรงดึงในแต่ละสูตรใช้ชิ้นงานทดสอบ จำนวนทั้งหมด 7 ชิ้นงานทดสอบ

2. การทดสอบสัณฐานวิทยา

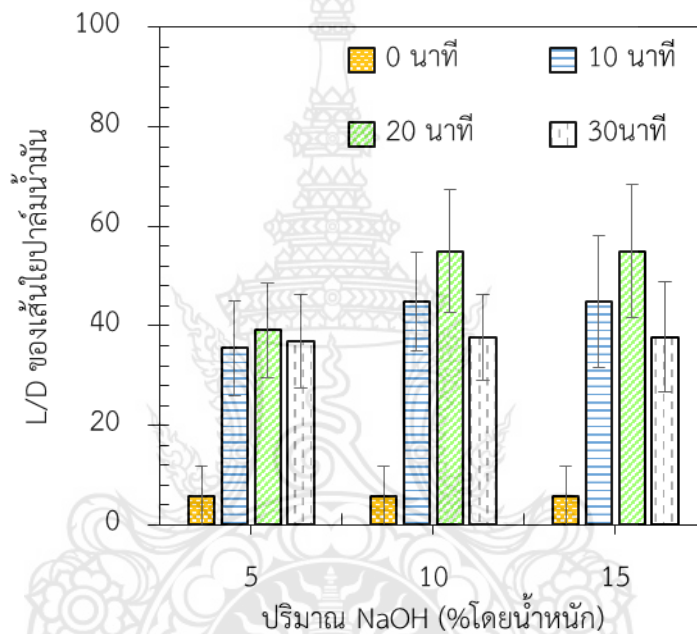
- การตรวจสอบการยึดเกาะระหว่างเฟส ทำการวิเคราะห์พฤติกรรมการแตกหัก และความเข้ากันได้ของพอลิแลกติกแอซิดและเส้นใยพาล์มน้ำมันรวมถึงตรวจสอบการกระจายตัวของเส้นใยพาล์มในวัสดุเชิงประกอบ โดยทำการวิเคราะห์จากรอยแตกหักของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบแรงกระแทก การเตรียมชิ้นงานก่อนการทดสอบต้องนำชิ้นงานมาทำการเคลือบทองคำด้วยวิธีการ sputtering หลังจากนั้นนำชิ้นงานมาทำการตรวจสอบด้วยกล้อง SEM รุ่น JSM-IT 500 HR/LA บริษัท JEOL LTD.



บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การหาสถานะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

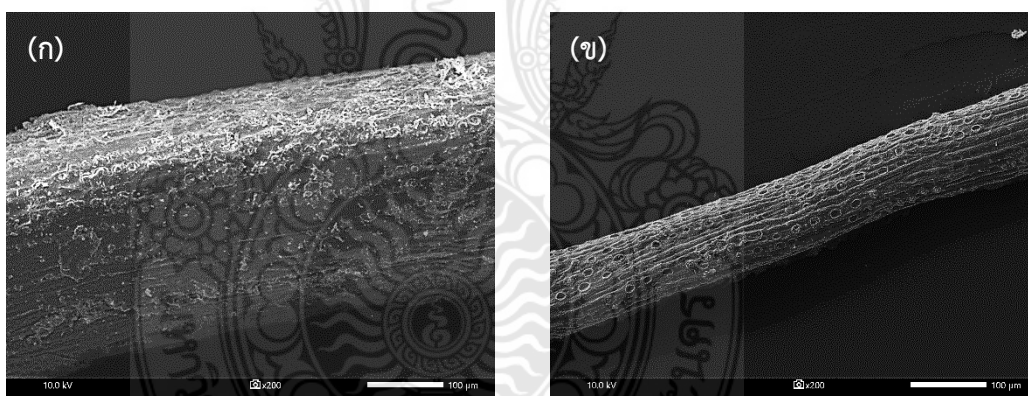


รูปที่ 4.1 กราฟค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยปาล์มน้ำมัน (L/D)

จากรูปที่ 4.1 เป็นกราฟค่าอัตราส่วนระหว่างความยาว และเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยปาล์มน้ำมัน (L/D) ผลการทดลองพบว่า การปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 5 10 และ 15 %โดยน้ำหนัก และใช้เวลาในการแช่โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือเวลาในการปรับปรุงผิวเส้นใย ตั้งแต่ 0 10 20 และ 30 นาที พบว่า ผลของความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์มีผลทำให้ค่า L/D ส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะโซเดียมไฮดรอกไซด์จะไปกำจัดสิ่งสกปรก ลิกนิน และเฮมิเซลลูโลสบนผิวของเส้นใยปาล์มส่งผลทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยมีขนาดลดลง [28-29] และเมื่อพิจารณาผลของเวลาในการปรับปรุงผิวเส้นใย พบว่า เมื่อเวลาในการปรับปรุงผิวเพิ่มขึ้น ทำให้ค่า L/D ของเส้นใยปาล์มน้ำมัน

เพิ่มขึ้นไป สำหรับกรณีเวลาที่ใช้ในการปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มที่ 10 และ 20 นาที ทั้งนี้มีสาเหตุเช่นเดียวกันกับกรณีของการเพิ่มความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในขณะที่เวลาที่ใช้ในการปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ 30 นาทีนั้น พบว่า มีค่า L/D ที่เริ่มลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเวลาที่นานเกินไปมีผลไปทำลายเส้นใย ทำให้เส้นใยปาล์มเกิดการฉีกขาด

เมื่อพิจารณาค่า L/D เพื่อเลือกหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์ม พบว่า สภาวะการปรับปรุงผิวที่ทำให้เส้นใยปาล์มมีค่า L/D สูงที่สุด มีอยู่ด้วยกัน 2 สภาวะ คือ ที่ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 %โดยน้ำหนัก และเวลาในการปรับปรุงผิว 20 นาที และที่ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 %โดยน้ำหนัก และเวลาในการปรับปรุงผิว 20 นาที ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มที่ควรเลือกนำมาใช้ในการเตรียมวัสดุเชิงประกอบในหัวข้อ 4.2 คือ ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10 %โดยน้ำหนัก และเวลาในการปรับปรุงผิว 20 นาที เนื่องจากใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณน้อยกว่า



รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายลักษณะของพื้นผิวเส้นใยปาล์มน้ำมันก่อนและหลังการปรับปรุงผิวโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ถ่ายด้วยกล้อง SEM

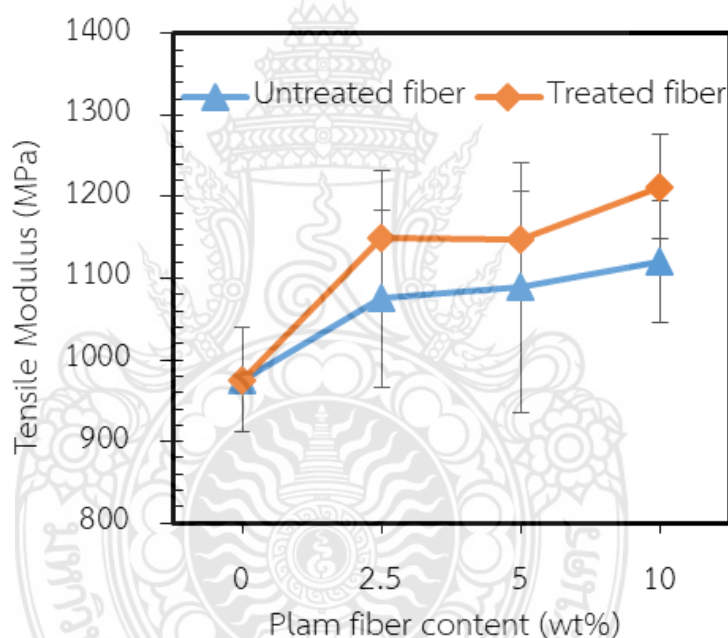
(ก) ก่อนการปรับปรุงผิว

(ข) หลังการปรับปรุงผิว

ภาพถ่ายบนพื้นผิวของเส้นใยปาล์มน้ำมันก่อน และหลังการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ดังรูปที่ 4.2 จากภาพพบว่า เส้นใยปาล์มน้ำมันก่อนการปรับปรุงผิวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีขนาดใหญ่กว่ากรณีเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงผิว ผลดังกล่าวนี้มีความสอดคล้องกับคำอธิบายผล

ในรูปที่ 4.1 และจากภาพถ่ายพื้นผิวเส้นใยปาล์มน้ำมันยังสามารถสังเกตเห็นว่าพื้นผิวของเส้นใยปาล์ม น้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิวมีรูขนาดเล็กเป็นจำนวนมากบริเวณพื้นผิว ทั้งนี้เนื่องมาจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ไปกำจัดสิ่งสกปรก เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และพวกไขมันต่างๆ ที่เกาะอยู่บนพื้นผิวเส้นใยปาล์ม รูพรุนที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงผิวนี้ถูกคาดว่าจะมีส่วนช่วยทำให้การยึดเกาะระหว่างเส้นใยปาล์มและพอลิแลกติกแอซิดเกิดได้ดีขึ้น

4.2 การศึกษาหาผลของปริมาณเส้นใยปาล์มและผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มที่มีผลต่อสมบัติทางกลของพอลิแลกติกแอซิด

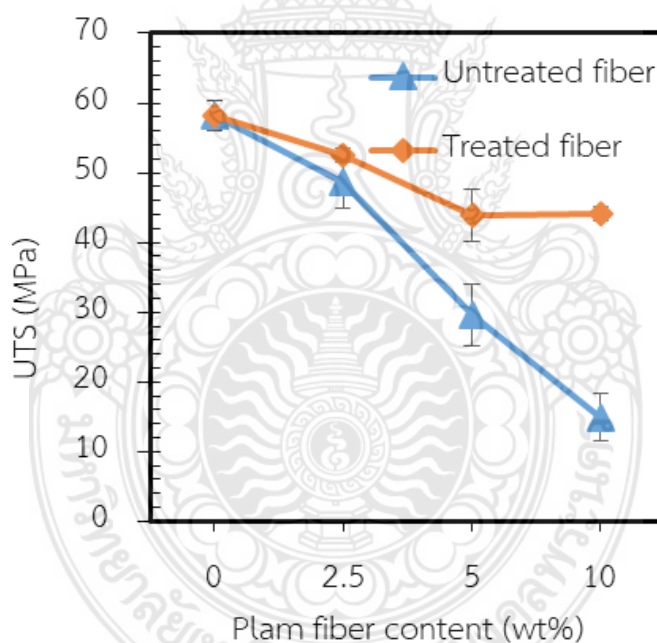


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่ามอดูลัสการต้านทานแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิแลกติกแอซิดกับเส้นใยปาล์มที่ผ่านปรับปรุงผิวและไม่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

จาก รูปที่ 4.3 เป็นกราฟแสดงค่ามอดูลัสการต้านทานแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิแลกติกแอซิดที่มีการเติมเส้นใยปาล์มปริมาณต่างๆ กัน จากผลการทดลอง พบว่า การเติมเส้นใยปาล์มน้ำมันลงในพอลิแลกติกแอซิดมีผลทำให้ค่ามอดูลัสแรงดึงมีค่าเพิ่มสูงขึ้น แต่ผลของการเพิ่ม

ปริมาณเส้นใยปาล์มน้ำมันมีผลทำให้ค่ามอดูลัสความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไม่ชัดเจนมากนัก การเพิ่มขึ้นของมอดูลัสความต้านทานแรงดึงเนื่องมาจากเส้นใยปาล์มอาจมีความคงรูปร่างที่สูงกว่าพอลิแลกติกแอซิดจึงส่งผลทำให้ค่ามอดูลัสของวัสดุเชิงประกอบมีค่าสูงขึ้น

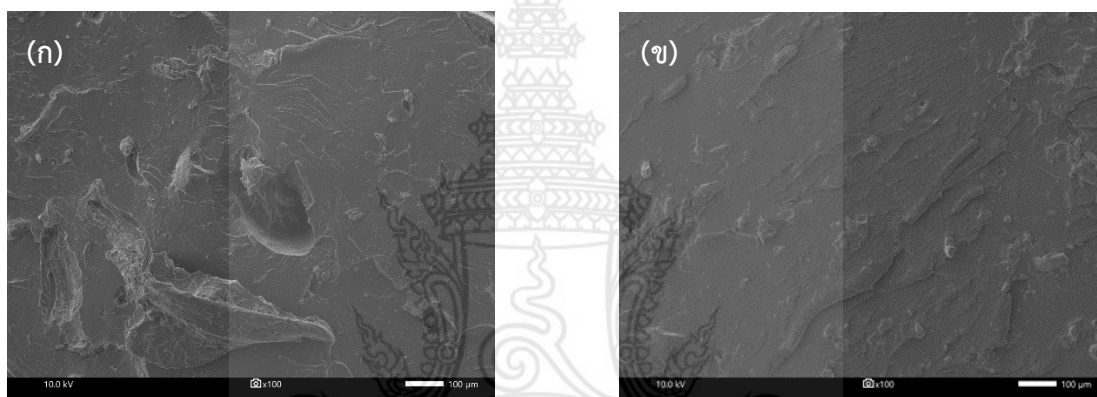
ในส่วนของผลการปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มน้ำมันที่มีต่อค่ามอดูลัสความต้านทานแรงดึง พบว่าวัสดุเชิงประกอบที่เติมเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงผิวมีค่ามอดูลัสความต้านทานแรงดึงที่สูงมากกว่ากรณีเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ทั้งนี้เพราะเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงผิวนั้นจะสามารถเข้ากันกับพอลิแลกติกแอซิดได้ดีขึ้น เนื่องจากเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงผิวจะถูกกำจัดสิ่งสกปรกออกจากพื้นผิวเส้นใยปาล์มน้ำมัน ทำให้เพิ่มความขรุขระให้กับพื้นผิวเส้นใยปาล์มน้ำมัน จึงมีส่วนช่วยในการเพิ่มการยึดเกาะระหว่างเฟสระหว่างเส้นใยปาล์มน้ำมันและพอลิแลกติกแอซิดด้วยพันธะเชิงกล (Mechanical interlocking)



รูปที่ 4.4 ผลของปริมาณเส้นใยปาล์ม และการปรับปรุงผิวเส้นใยที่มีต่อค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของวัสดุเชิงประกอบพอลิแลกติกแอซิดและเส้นใยปาล์ม

ในส่วนของผลค่าของความต้านทานแรงดึงสูงสุดของวัสดุเชิงประกอบที่เป็นผลมาจากการเติมเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิวและไม่ปรับปรุงผิวดังแสดงในรูปที่ 4.4 พบว่า ค่าความ

ต้านทานแรงดึงสูงสุดของวัสดุเชิงประกอบมีแนวโน้มลดลงทั้งกรณีเส้นใยปาล์มที่ปรับปรุงผิว และไม่ปรับปรุงผิว แต่การลดลงของค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของกรณีเส้นใยปาล์มที่ปรับปรุงผิวนั้นน้อยกว่ากรณีเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว การลดลงของค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด เมื่อปริมาณเส้นใยปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้น อาจเป็นไปได้ว่าเส้นใยปาล์มน้ำมันเองมีค่าความต้านทานแรงดึงที่ต่ำกว่าพอลิแลกติกแอซิด ส่วนผลของการปรับปรุงผิวมีส่วนทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะการปรับปรุงผิวช่วยให้การยึดเกาะระหว่างเฟสเกิดได้ดีขึ้น การส่งผ่านแรงจึงเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น



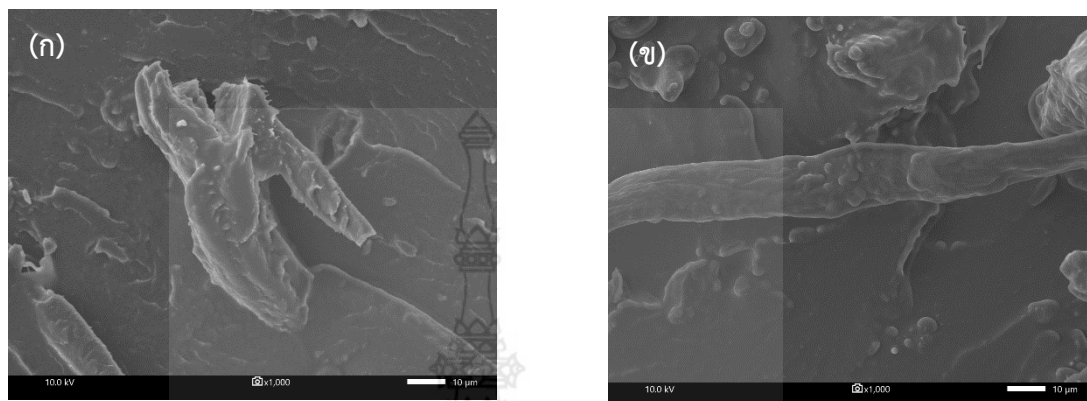
รูปที่ 4.5 ภาพโครงสร้างจุลภาคแสดงการกระจายตัวของเส้นใยปาล์มน้ำมัน ณ บริเวณรอยแตกหักของชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบพอลิแลกติกแอซิดและเส้นใยปาล์มที่ผ่านการทดสอบแรงกระแทก ณ กำลังขยาย 100 เท่า

(ก) กรณีเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว

(ข) กรณีเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิว

จากรูปที่ 4.5(ก) พบว่า เส้นใยปาล์มน้ำมันที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุงผิวมีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอในเนื้อของพอลิแลกติกแอซิด มีการเกาะกันเป็นกลุ่ม และพบเส้นใยบางเส้นมีขนาดใหญ่ ซึ่งส่งผลทำให้การกระจายแรงจากพอลิแลกติกแอซิดไปยังเส้นใยปาล์มน้ำมันเกิดขึ้นได้ไม่ดึ้นัก ส่วนกรณีเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงผิว ดังแสดงในรูปที่ 4.5(ข) การกระจายตัวของเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิวมีการกระจายตัวสม่ำเสมอมากกว่ากรณีเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว

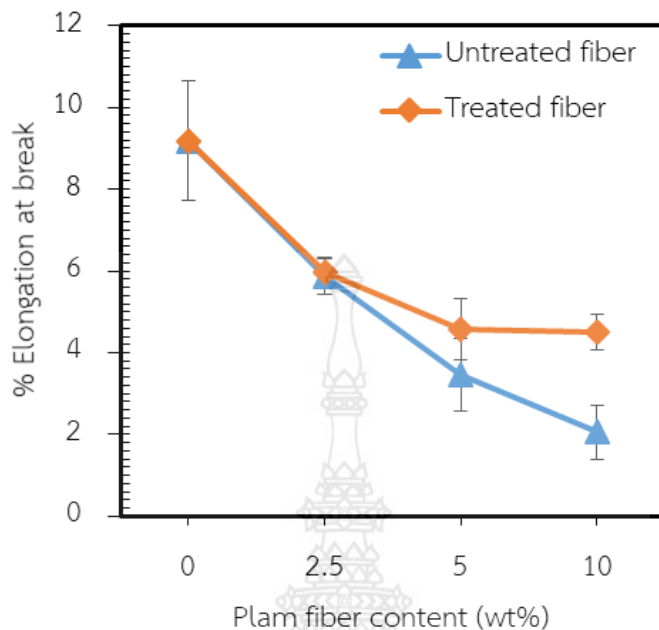
จากผลดังกล่าวนี้ช่วยบ่งบอกว่าเส้นใยพอลิเมอร์น้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิวสามารถเข้ากันได้กับพอลิแลกติกแอซิดได้มากกว่ากรณีเส้นใยพอลิเมอร์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว



รูปที่ 4.6 ภาพโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยแตกหักของชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบพอลิแลกติกแอซิดและเส้นใยพอลิเมอร์น้ำมันที่ผ่านการทดสอบแรงกระแทก ณ กำลังขยาย 1,000 เท่า

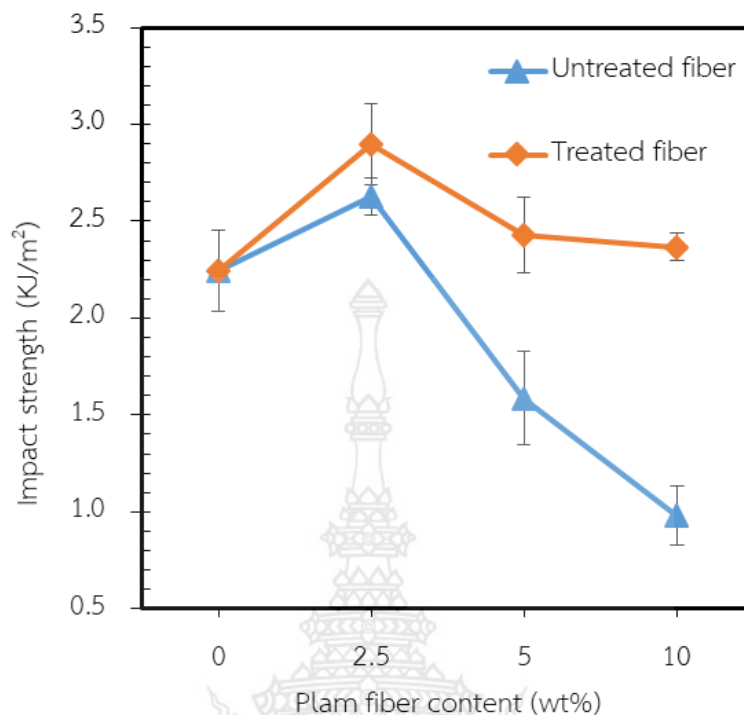
- (ก) กรณีเส้นใยพอลิเมอร์น้ำมันที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว
- (ข) กรณีเส้นใยพอลิเมอร์น้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิว

รูปที่ 4.6 เป็นภาพโครงสร้างจุลภาคบริเวณรอยแตกหักของชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบพอลิแลกติกแอซิดและเส้นใยพอลิเมอร์น้ำมันที่ผ่านการทดสอบแรงกระแทก ณ กำลังขยาย 1,000 เท่า จากรูปที่ 4.6(ก) พบว่า รอยต่อระหว่างเฟสพอลิแลกติกแอซิด และเส้นใยพอลิเมอร์น้ำมันที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวมีการยึดเกาะระหว่างเฟสที่ไม่ดี โดยพบรูที่เกิดจากการหลุดออกของเส้นใยพอลิเมอร์ (Fiber pullout) ซึ่งเกิดมาจากชิ้นงานทดสอบได้รับแรงกระทำ และรูปที่ 4.6(ข) พบว่า พอลิแลกติกแอซิดสามารถเปียกผิวเส้นใยได้ดี ซึ่งส่งผลทำให้การส่งผ่านแรงจากพอลิแลกติกแอซิดไปยังเส้นใยพอลิเมอร์เกิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งผลดังกล่าวนี้มีความสอดคล้องกับผลของค่ามอดุลัส และค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ของวัสดุเชิงประกอบพอลิแล็กติกแอซิดกับเส้นใยปาล์ม

รูปที่ 4.7 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ของวัสดุเชิงประกอบพอลิแล็กติกที่มีการเติมเส้นใยปาล์มน้ำมัน จากผลการทดลองพบว่า การเติมเส้นใยปาล์มน้ำมันในปริมาณที่มากขึ้นทำให้ค่าการยืดตัว ณ จุดขาดมีแนวโน้มที่ลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเส้นใยปาล์มมีความคงรูปร่างมากกว่าพอลิแล็กติกแอซิด โดยพิจารณาจากค่ามอดูลัสความต้านทานแรงดึงในรูปที่ 4.3 จึงมีผลทำให้เมื่อเติมเส้นใยปาล์มที่มากขึ้นจึงส่งผลทำให้วัสดุเชิงประกอบเกิดการยืดตัวได้ยากขึ้น ส่วนผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มมีผลทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่ามากกว่ากรณีเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ทั้งนี้มีเหตุผลเช่นเดียวกันผลที่กล่าวมาข้างต้น คือ การปรับปรุงผิวเส้นใยช่วยเสริมความสามารถในการยึดเกาะระหว่างเฟส จึงทำให้การยืดตัวของวัสดุเชิงประกอบเกิดได้มากขึ้น



รูปที่ 4.8 กราฟค่าความต้านทานแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบพอลิแลกติกแอซิดและเส้นใยปาล์ม

รูปที่ 4.8 แสดงกราฟค่าความต้านทานแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบพอลิแลกติกแอซิดและเส้นใยปาล์ม จะเห็นได้ว่า การเติมเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิวมีส่วนช่วยในการปรับปรุงค่าความต้านทานแรงกระแทก โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ปริมาณเส้นใยปาล์ม 2.5 % โดยน้ำหนัก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าการปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มน้ำมันมีส่วนช่วยทำให้เส้นใยปาล์มน้ำมันเกิดรูพรุนภายในเส้นใยมากขึ้น และมีบริเวณผิวที่มีความขรุขระจึงมีส่วนช่วยในการดูดซับแรงกระแทก

ส่วนกรณีเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว พบว่า ค่าความต้านทานแรงกระแทกสำหรับกรณีการเติมเส้นใยปาล์ม 2.5 % โดยน้ำหนัก มีค่ามากกว่าพอลิแลกติกแอซิด แต่เมื่อปริมาณเส้นใยปาล์มเพิ่มมากขึ้นกลับพบว่า มีผลทำให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะการที่เส้นใยปาล์มน้ำมันไม่ได้ผ่านการปรับปรุงผิวส่งผลทำให้การยึดเกาะระหว่างเฟสที่ไม่ดี การกระจายตัวของเส้นใยไม่สม่ำเสมอจึงส่งผลทำให้การส่งผ่านแรงกระแทกเป็นไปได้โดยไม่มีประสิทธิภาพ

สำหรับการพิจารณาเลือกสูตรที่เหมาะสมของวัสดุเชิงประกอบพอลิแลกติกแอซิดและเส้นใยปาล์มน้ำมันเพื่อนำมาใช้ทดแทนพอลิแลกติกแอซิด โดยพิจารณาในแง่ของการปรับปรุงความเหนียว

และลดต้นทุน พบว่า สูตรวัสดุเชิงประกอบที่มีการเติมเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับปรุงผิว 2.5 % โดยน้ำหนัก เป็นสูตรที่มีความเหมาะสมมากที่สุด เพราะมีค่ามอดูลัสความต้านทานแรงดึง และค่าความต้านทานแรงกระแทกที่สูงที่สุด และมีค่ามากกว่ากรณีพอลิแลกติกแอซิด 18 และ 22 % ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาผลของการลดต้นทุน เป็นดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่า การใช้เส้นใยปาล์มน้ำมันมีส่วนช่วยทำให้ต้นทุนวัตถุดิบลดลง 3 บาท ต่อการผลิตชิ้นงานที่มีน้ำหนัก 1 กิโลกรัม หรือลดต้นทุนได้ประมาณ 2.54 %

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากพอลิแลกติกแอซิด และวัสดุเชิงประกอบพอลิแลกติกแอซิดและเส้นใยปาล์มน้ำมันที่มีการเติมเส้นใยปาล์มน้ำมัน 2.5 % โดยน้ำหนัก

สูตร	น้ำหนัก (กรัม)		ราคาต้นทุนวัตถุดิบ (บาท)
	พอลิแลกติกแอซิด	เส้นใยปาล์มน้ำมัน	
พอลิแลกติกแอซิด	1000	0	118
วัสดุเชิงประกอบพอลิแลกติกแอซิดและเส้นใยปาล์มน้ำมัน	975	25	115

หมายเหตุ ราคาพอลิแลกติกแอซิด 118 บาท/กิโลกรัม
ราคาเส้นใยปาล์มน้ำมัน 250 บาท/ตัน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้แบ่งได้เป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และส่วนที่สองเป็นการศึกษาหาผลของปริมาณเส้นใยปาล์มและผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มที่มีผลต่อสมบัติทางกลของพอลิแลกติกแอซิดจากผลการทดสอบสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 การศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มน้ำมันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

ในงานวิจัยส่วนนี้จะทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มน้ำมันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยจะทำการอบเส้นใยเพื่อทำการไล่ความชื้นแล้วนำเส้นใยไปทำการปรับปรุงผิวด้วยความเข้มข้นที่ 5, 10 และ 15 % โดยน้ำหนัก ในการปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มจะใช้เวลาที่ 10, 20 และ 30 นาที ตามลำดับหลังจากนั้นนำเส้นใยมาทำการล้างจนกระทั่งน้ำที่ล้างมีค่าความเป็นกลางแล้วจึงนำไปทำการอบและทำการทดสอบสัณฐานวิทยา จากการทดลองสรุปผลได้ดังนี้

- เมื่อปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้นทำให้ค่า L/D มีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น และในกรณีที่เพิ่มระยะเวลาในการปรับปรุงผิวที่ 10 และ 20 นาที สามารถเพิ่มค่า L/D ให้สูงขึ้นได้ แต่ที่ระยะเวลาการปรับปรุงผิว 30 นาทีนั้นมีแนวโน้มค่า L/D ลดลง
- สภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มน้ำมันมากที่สุด คือ ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 10% โดยน้ำหนัก และระยะเวลาที่ใช้ในการปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์ม 20 นาที

5.2 การศึกษาหาผลของปริมาณเส้นใยปาล์มและผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มที่มีผลต่อสมบัติทางกลของพอลิแลกติกแอซิด

ในงานวิจัยส่วนนี้จะทำการทดสอบต่อจากงานวิจัยส่วนแรกที่ทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มน้ำมันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ หลังจากนั้นนำส่วนที่ปรับปรุงผิวที่ดีที่สุดและเส้นใยปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวมาทำการผสมกับพอลิแลกติกแอซิดด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนคู่ แล้วนำไปทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องกดอัดเพื่อทดสอบสมบัติทางกล จากการทดลองสรุปผลได้ดังนี้

- ค่ามอดูลัสความต้านทานแรงดึง และค่าความต้านทานแรงกระแทกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วยการเติมเส้นใยปาล์มน้ำมัน 2.5 % โดยน้ำหนัก และมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก
- ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด และค่าการยืดตัว ณ จุดขาดมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มมากขึ้น
- การปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มน้ำมันด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีส่วนช่วยทำให้สมบัติทางกลของวัสดุเชิงประกอบถูกปรับปรุง โดยสูตรวัสดุเชิงประกอบสูตรที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจากทั้งในแง่ของสมบัติทางกล และต้นทุน คือ วัสดุเชิงประกอบที่มีการเติมเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิว 2.5 % โดยน้ำหนัก

บรรณานุกรม

- [1] Plookpedia. (23 มิถุนายน 2560). พลาสติกกับชีวิตในปัจจุบัน [Online]. Available: <https://www.trueplookpanya.com/knowledge/content/59939/-sciche-sci-otherknowledge->
- [2] นายณพคุณ ลิขิตชนประสงค์, “ การปรับปรุงสมบัติการรับแรงกระแทกของพอลิแลคติกแอซิด: การเปรียบเทียบระหว่างสารปรับปรุงสมบัติรับแรงกระแทกที่แตกต่างกัน,” วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2558, นครปฐม.
- [3] ศุภย์วิจิัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งทะเลอันดามัน. คู่มือการติดตามสถานการณ์ ผลกระทบ และแนวทางการป้องกัน และแก้ไขปัญหาขยะทะเลต่อสัตว์ทะเลหายากใกล้สูญพันธุ์ และการท่องเที่ยวทางทะเล, ศุภย์วิจิัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่งทะเลอันดามัน, พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สหมิตรพัฒนาการพิมพ์ (1992), 2561, หน้า 38
- [4] ธนาวดี ลีจากภัย. พลาสติกย่อยสลายได้, ศุภย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, กรุงเทพมหานคร: ไทยเอฟเฟคสตูดิโอ, 2549.
- [5] อมรรัตน์ เลิศวรสิริกุล, “พอลิแลคติกแอซิด : พอลิเอสเทอร์ จากทรัพยากรที่สร้างทดแทนใหม่ได้,” วิศวกรรมสาร มก., ปีที่ 24, ฉบับที่ 77, หน้า 102-103, 2554.
- [6] กรุงเทพธุรกิจ. (26 มิถุนายน 2556). ฉนวนใยปาล์มไอดีเพิ่มคุณค่าขยะในมือ. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <http://www.bangkokbiznews.com/news/detail/513996>
- [7] รัตนา จินดาพรรณ และวิไลลักษณ์ ใฝ่เพชร, “อิทธิพลของพลาสติกไซเซอร์ต่อการต้านแรงดึง การซึมผ่านของน้ำมัน และความสามารถในการละลายของฟิล์มโปรตีนถั่วเขียว,” วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม, ปีที่ 2, ฉบับที่ 1, หน้า 1, 2548 - 2549.

- [8] ยศธร วงศ์งาม และแคทลียา ปัทมพรหม, “การสังเคราะห์พอลิแลคติกแอซิดต่อกิ่งด้วยยางธรรมชาติโดยวิธี Reactive Melt-Blending เพื่อใช้เป็นสารรับแรงกระแทกในพอลิแลคติกแอซิด,”วารสารวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 26, ฉบับที่ 5, หน้า 1-3, 2561.
- [9] กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. (2016). ไบโอฟลาสติก เทคโนโลยีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:http://innovation.dip.go.th/innovation/?page_id=1094
- [10] enchemcom1po. (13 กันยายน 2555). พลาสติก [Online]. Available: <https://www.trueplookpanya.com/knowledge/content/59939/-sciche-sci-otherknowledge->
- [11] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. (2550). [Online]. Available: ประเภทของพลาสติกที่ย่อยสลาย เทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable_plastic/type_de_plas.ht
- [12] สิวาสนา โตเลี้ยง, ณิชฎฐา ทองสกุล และสมบุญ ธนาศุภวัฒน์, “การผลิตกรดแลคติกของแบคทีเรียเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพ,” วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, ปีที่ 23, ฉบับที่ 1, หน้า 2-3, 2561.
- [13] เอกตินัย จันทร์ศรี, “เส้นใยสององค์ประกอบระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทีลีนซัคซิเนต,” ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี, 2556.
- [14] สุวิทย์ รักกสิกรณ์, “การปรับปรุงพลาสติกชีวภาพพอลิแลคติกแอซิด ด้วยกลบ และแป้งข้าว,” ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 2559.
- [15] อีรภัทร สุภานิล, “การการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตพอลิแลคติกแอซิดที่มีผ้าทอจากเส้นใยธรรมชาติเป็นวัสดุเสริมแรง,” ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาการ และ วิศวกรรมพอลิเมอร์ ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย ศิลปกร, นครปฐม, 2558.

- [16] จิรัชญา ปรีดาสกุล, “การศึกษาสมบัติเชิงความร้อน เชิงกล และทางกายภาพของวัสดุเสริมองค์ประกอบ พอลิแลกติกแอซิด เสริมแรงด้วยเส้นใยธูปฤาษี,” ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม, 2557.
- [17] จตุพร วุฒิกนกกาญจน์, “การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ จากพลาสติกชีวภาพชนิด PLA ,” 10,10,2556.
- [18] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. (2561). รายละเอียดข้อมูลพลาสติกชีวภาพ ประเภท พอลิแลคติกแอซิด [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://asp.plastics.or.th:8001/files/article_file/20180624235102u.pdf
- [19] ภัทรพล นามทอง, สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม และประสงค์ วงศ์วิชา, “การทำกรดแลคติกให้บริสุทธิ์ด้วยกระบวนการเอสเทอร์ฟิเคชันและกระบวนการไฮโดรไลซิส,” การประชุมวิชาการนานาชาติวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21, 10-11 พฤศจิกายน 2554 ณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา, 2554, หน้า 1-3.
- [20] S. Tomyangkul, P. Pongmuksuwan, W. Harnnarongchai and K. Chaochanchaikul, “Enhancing sound absorption properties of open-cell natural rubber foams with treated bagasse and oil palm fibers,” Journal of Reinforced Plastics and Composites, vol. 35, pp. 672-681, Jan. 2016.
- [21] กัลทิมา เชาวชาญชัยกุล, “การศึกษาสมบัติการไหล โครงสร้างจุลภาค สมบัติเชิงกลและความร้อนของวัสดุผสมพีวีซีและซีลีโอไมล์,” ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร, 2546.
- [22] อธิพิล แจ้งซัด. “คู่มือประกอบการสอนพอลิเมอร์ผสม และคอมโพสิต,” กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.
- [23] สุภาณี หิรัญธนกิจจากุล. 2538. ความรู้เกี่ยวกับสิ่งเป็นพิษ ตอนที่ 10. กระทรวงสาธารณสุข กรุงเทพมหานคร.

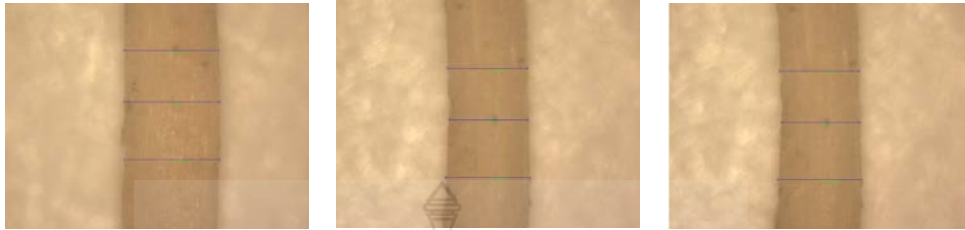
- [24] วราภรณ์ ตันรัตนกุล, วัชนิดา ชินผา และพิมพ์ชนก ไส้ไทย. ม.ป.ป. การเตรียมและสมบัติของพอลิเมอร์ดินเหนียวนาโนคอมโพสิตที่เตรียมจากน้ำมันถั่วเหลือง [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: file:///C:/Users/My%20PC/Downloads/321818.pdf
- [25] ปาเจรา พัฒนกาญจน์ และคณะ, “การพัฒนามอดูลเสริมองค์ประกอบพลาสติกชีวภาพผสมเส้นใยฝ้ายย้อม สีธรรมชาติเพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุตกแต่งผิวที่เป็นมิตรกับธรรมชาติ,” นวัตกรรมอาคาร, นครปฐม, ประเทศไทย, 2559, หน้า 96-104.
- [26] รัตนา ตันทเท็ดธรรม และคณะ, “การศึกษาการเตรียมและสมบัติของวัสดุคอมโพสิตของยางธรรมชาติ กับเส้นใยกาบมะพร้าว และปาล์มน้ำมัน,” การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48: สาขาอุตสาหกรรมเกษตร, กรุงเทพฯ, ประเทศไทย, 2553, หน้า 523-529.
- [27] Van de Weyenberg, I. Chi Truong, T., Vangrimde, B. and Verpoest, I., 2006, “Improving the Properties of UD Flax Fibre Reinforced Composites by Applying as Alkaline Fibre Treatment,” Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Vol. 37, Issue 9, pp. 1368-1376.
- [28] El-Shekeil, Y.A., Sapuan, S.M., Khalina, A., Zainudin, E.S. and Al-Shuja'a, O.M., 2012, “Effect of Alkali Treatment on Mechanical and Thermal Properties of Kenaf Fiber-reinforced Thermoplastic Polyurethane Composite”, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol. 109, pp. 1435-1443.



ภาคผนวก ก

ภาพเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วย
โซเดียม ไฮดรอกไซด์ที่สภาวะต่างๆ

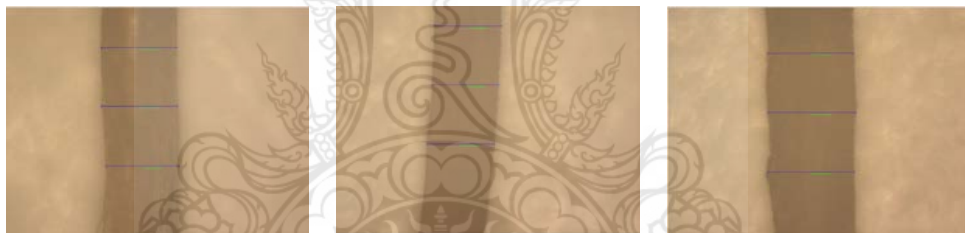
เส้นใยปาล์มน้ำมันที่ไม่ผ่านปรับปรุงผิว



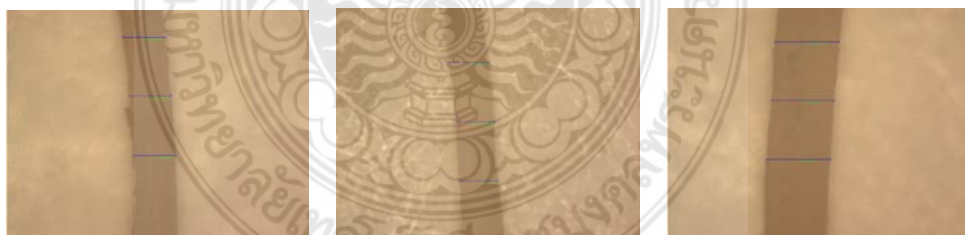
การปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ความเข้มข้น 5 % ที่ระยะเวลา 10 นาที



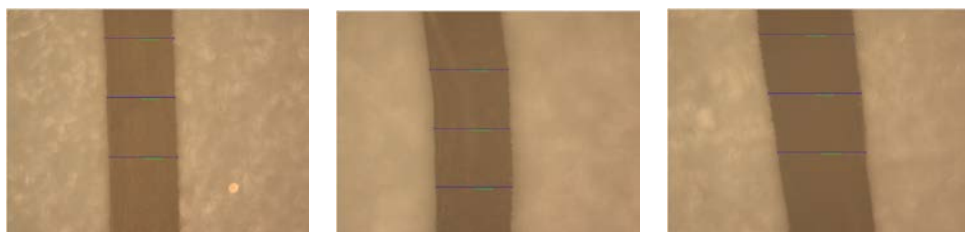
การปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ความเข้มข้น 5 % ที่ระยะเวลา 20 นาที



การปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ความเข้มข้น 5 % ที่ระยะเวลา 30 นาที



การปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ความเข้มข้น 10 % ที่ระยะเวลา 10 นาที



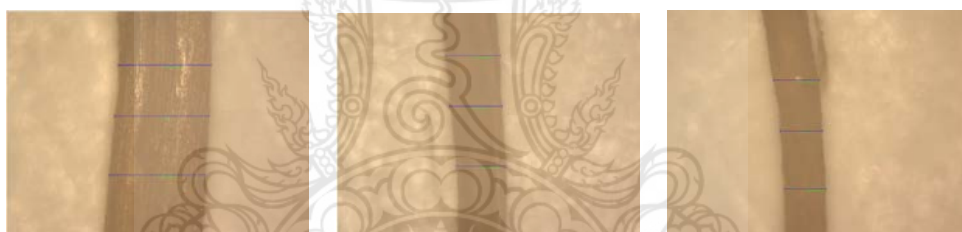
การปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ความเข้มข้น 10 % ที่ระยะเวลา 20 นาที



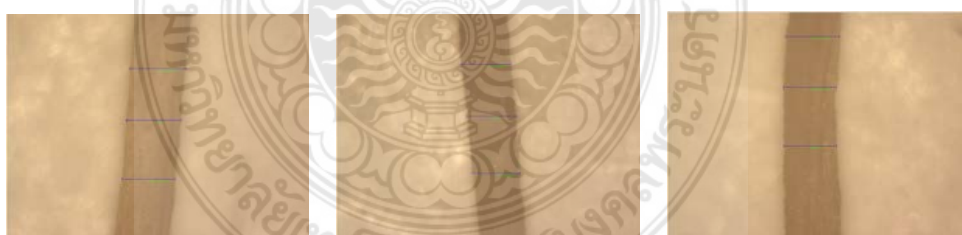
การปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ความเข้มข้น 10 % ที่ระยะเวลา 30 นาที



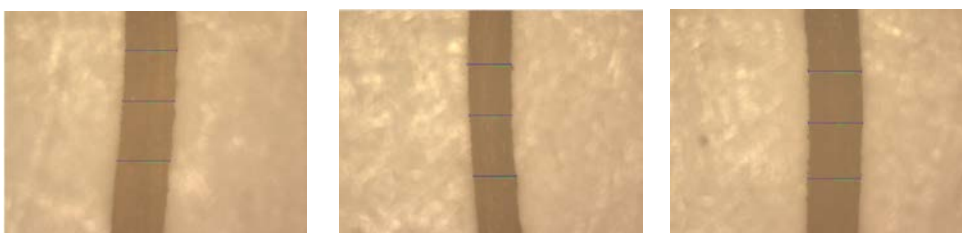
การปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ความเข้มข้น 15 % ที่ระยะเวลา 10 นาที



การปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ความเข้มข้น 15 % ที่ระยะเวลา 20 นาที



การปรับปรุงผิวเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ความเข้มข้น 15 % ที่ระยะเวลา 30 นาที



ประวัติผู้จัดทำโครงการ



ชื่อ นามสกุล	นางสาวทิมมพร ศรีหาระ	
วัน เดือน ปีเกิด	10 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2540	
ภูมิลำเนา	จังหวัดกาฬสินธุ์	
ประวัติการศึกษา		
วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
ชั้นอนุบาล-ชั้นประถมศึกษา ป.6	โรงเรียนวัดเวตตะวันตกธรรมมาวาส	2551
ชั้นมัธยมศึกษา ม.1- ม.6	โรงเรียนราชันนันทาจารย์สามเสนวิทยาลัย2	2557
ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้	53 ซอยมนตรี ถนนประชาชนภูมิตร แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร	
ทุนการศึกษา	ทุนการศึกษาด้านตลาดแคลนคุณทรัพย์มูลค่า 13,000 บาท ปีการศึกษา 2558 มอบโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	

ประวัติผู้จัดทำโครงการ



ชื่อ นามสกุล	นางสาวนันท์วัน เหล่ารัตน์อุจน์จิต	
วัน เดือน ปีเกิด	9 เมษายน พ.ศ. 2540	
ภูมิลำเนา	จังหวัดกรุงเทพมหานคร	
ประวัติการศึกษา		
วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
ชั้นอนุบาล-ชั้นประถมศึกษา ป.6	โรงเรียนช่างอากาศอำรุง	2551
ชั้นมัธยมศึกษา ม.1- ม.6	โรงเรียนราชินีนาถจารย์สามเสนวิทยาลัย2	2557
ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้	328/44ถนนประชาราษฎร์สาย1 ซอย18 แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร	
ทุนการศึกษา	ทุนการศึกษาด้านตลาดแคลนคุณทรัพย์มูลค่า 13,000 บาท ปีการศึกษา 2558 มอบโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	
	ทุนการศึกษาด้านตลาดแคลนคุณทรัพย์มูลค่า 13,000 บาท ปีการศึกษา 2559 มอบโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	