



การผลิตและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้จากวัสดุเชิงประกอบพลาสติก
ชีวภาพและเส้นใยธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารซิลเลน
Production and Development of Biodegradable Packaging from
Bio-based Plastic/Silane Treated Natural Fiber Composites

นางสาวสุพรรณษา นพวงศ์
นางสาวอรรณณ มีไย

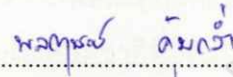
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

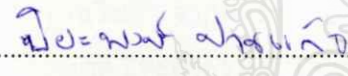
ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อปริญญาบัตร การผลิตและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้จากวัสดุเชิงประกอบพลาสติก
ชีวภาพและเส้นใยธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารไซเลน
ชื่อ นามสกุล นางสาวสุพรรณษา นพวงศ์ และ นางสาวอรรณณ มีโย
ชื่อปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต วท.บ.
สาขาวิชา วัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม
คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.กัลทิมา เขาว์ชาญชัยกุล

คณะกรรมการสอบได้ให้ความเห็นชอบปริญญาบัตรฉบับนี้แล้ว


..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์พลกฤษณ์ คุ่มกล้า)


..... กรรมการ
(ผศ.ดร.ปิยะพงษ์ ปานแก้ว)


..... กรรมการ
(ผศ.อุดมเดชา พลเยี่ยม)


..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.ดร.กัลทิมา เขาว์ชาญชัยกุล)

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อนุมัติให้รับปริญญาบัตรฉบับนี้เป็นเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ชื่อปริญญาบัตร	การผลิตและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้จากวัสดุเชิงประกอบพลาสติกชีวภาพและเส้นใยธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารไซเลน
ชื่อ สกุล	นางสาวสุพรรณษา นพวงศ์ และ นางสาวอรรวรรณ มีใย
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต วท.บ.
สาขาวิชา	วัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม
คณะ	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ปีการศึกษา	2562

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการพัฒนาสมบัติทางกลและลดต้นทุนการผลิตชิ้นงานบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้จากพอลิแลกติกแอซิดโดยการเลือกใช้เส้นใยปานศรณารายณ์ เนื่องจากเส้นใยปานศรณารายณ์เป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีสมบัติทางกลที่ดี ย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางชีวภาพ และราคาถูกตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ การเติมเส้นใยปานศรณารายณ์ การปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลน และทิศทางการจัดเรียงตัวของเส้นใย และทำการประเมินผลจากการทดสอบแรงดึง แรงดัด แรงกระแทก และการตรวจสอบทางสัณฐานวิทยา จากการทดลอง พบว่า การเติมเส้นใยปานศรณารายณ์มีผลทำให้ค่ามอดูลัสของยัง มอดูลัสแรงดัด และค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดมีค่าเพิ่มสูงขึ้น แต่มีผลทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด และค่าความต้านทานแรงกระแทกลดลง ส่วนผลของการปรับปรุงผิวมีผลทำให้ค่ามอดูลัสของแรงดึงและแรงดัดมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึง แรงดัด และแรงกระแทกไม่มากนัก การปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารอีพอกซีไซเลนช่วยทำให้ได้การยึดเกาะระหว่างเฟสที่ดี โดยการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างวงแหวนออกซิเรนของสารอีพอกซีไซเลนและหมู่ไฮดรอกซิลของพอลิแลกติกแอซิด ส่วนผลของทิศทางการจัดเรียงตัวเส้นใย พบว่า สมบัติการรับแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบที่มีการจัดเรียงตัวเส้นใยในทิศทาง 0 องศา มีค่าสูงกว่ากรณีทิศทาง 45 องศา ทิศทางการจัดเรียงตัวของเส้นใยไม่มีผลต่อสมบัติการรับแรงดัด และแรงกระแทก

คำสำคัญ : พอลิแลกติกแอซิด/เส้นใยธรรมชาติ/การปรับปรุงผิว/ทิศทางของเส้นใย/สมบัติทางกล

Project title	Production and Development of Biodegradable Packaging from Bio-based Plastics/Silane Treated Natural Fiber Composites
Author	Miss Supansa Nopawong Miss Orawan Meeyai
Degree	B.Sc. (Industrial Materials Science)
Major program	Industrial Materials Science Faculty of Science and Technology
Academic Year	2019

ABSTRACT

This work aimed to study the improvement of mechanical properties and cost reduction of biodegradable packaging made from polylactic acid (PLA) by using sisal fiber. Because sisal fiber as natural fiber is good mechanical properties, biodegradable material and low cost. The variables studied were the addition of sisal fiber, surface treatment with epoxy silane and fiber direction. Their effects were investigated by tensile, flexural and impact testings and morphology analysis. The results suggested that the addition of sisal fiber increased Young's modulus, Flexural modulus and ultimate tensile stress whereas elongation at break and impact strength tended to decrease. For the effect of surface treatment, it was found that tensile and flexural moduli increased with epoxy silane treatment but tensile, flexural and impact strengths slightly changed. Surface treatment by epoxy silane led to good interfacial bonding by hydrogen bonding between oxirane ring of epoxy silane and hydroxyl group of PLA. The effect of fiber direction revealed that tensile properties of composite in fiber direction of 0° were higher than those of composite in fiber direction of 45° . Fiber direction did not affect flexural and impact properties.

Keywords : Polylactic acid/ natural fiber/ surface treatment/ fiber direction/ mechanical property

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ได้ประสบความสำเร็จไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับทุนอุดหนุนงบประมาณจากโครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และได้รับความอนุเคราะห์การเอื้อเฟื้อจากบุคลากรหลายท่านที่ให้ความช่วยเหลือเรื่อยมา ให้ทั้งคำเสนอแนะ แนวทางในการแก้ไขตลอดจนข้อบกพร่องต่างๆ จนทำให้โครงการเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้จัดทำโครงการนี้ ขอขอบคุณในความกรุณาของท่านไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.กัลทิมา เขาว์ชาญชัยกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและกระบวนการบัณฑิตวิทยาลัยวิศวกรรมศาสตรนานาชาติ สิรินคร ไทย-เยอรมัน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ขอขอบพระคุณบริษัท Shin-Etsu Silicones จำกัด ขอขอบพระคุณศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสาขาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือต่างๆในการทำโครงการนี้ สอนวิธีใช้เครื่องมือให้เชี่ยวชาญและสามารถนำไปใช้ได้จริง

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบุพการีที่คอยให้กำลังใจแก่ผู้จัดทำมาโดยตลอด และขอขอบคุณคณะอาจารย์ทุกท่านที่เป็นผู้ถ่ายทอดวิชาเฉพาะของแต่ละคนถนัด โดยสอนวิชาอย่างเข้าใจและสามารถนำมาใช้ได้จริงในชีวิตประจำวัน

นางสาวสุพรรณษา นพวงศ์

นางสาวอรรวรรณ มีไย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	2
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 นิยามศัพท์	2
1.6 ระยะเวลาการดำเนินงาน	3
2. แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 พอลิแลกติกแอซิด	4
2.2 เส้นใยธรรมชาติ	9
2.3 วัสดุเชิงประกอบ	13
2.4 ป่านศรนารายณ์	16
2.5 การปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติ	18
2.6 ทบพวนวรรณกรรม	24
3. วิธีดำเนินการ	26
3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในการทดลอง	26
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	28
3.3 แผนการดำเนินการทดลอง	30
3.4 วิธีทำการทดลอง	31

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4. ผลการทดลอง และอภิปรายผล	38
4.1 ผลการทดสอบแรงดึง	38
4.2 ผลการทดสอบแรงดัด	41
4.3 ผลการทดสอบแรงกระแทก	43
4.4 สัณฐานวิทยา	44
5. สรุปผลการทดลอง	46
5.1 ผลการทดสอบแรงดึง	46
5.2 ผลการทดสอบแรงดัด	46
5.3 ผลการทดสอบแรงกระแทก	47
5.4 ข้อเสนอแนะอื่นๆ	47
เอกสารอ้างอิง	48
ภาคผนวก	51
ภาคผนวก ก	51
ภาคผนวก ข	57
ประวัติผู้จัดทำ	59



สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
ตารางที่ 1	คำมอดุลีสและคำมอดุลีสจำเพาะของเส้นใยธรรมชาติที่สำคัญบางชนิด เมื่อเทียบกับเส้นใยแก้ว	17
ตารางที่ 2	แสดงตัวอย่างสารไซเลนที่ใช้กับพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ	20



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	รูปแบบไอโซเมอร์ของกรดแลคติกแบบ D-lactic acid และแบบ L-lactic acid	4
2.2	โครงสร้างทางเคมีของ PLA ที่มีไอโซเมอร์แตกต่างกัน	5
2.3	กลไกการสังเคราะห์ PLA	6
2.4	โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส	9
2.5	สูตรโครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส	10
2.6	เพกทินในเซลล์พืช	10
2.7	ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของลิกนิน	11
2.8	ความแตกต่างของรูปร่างหน้าตัดขวางของเส้นใยธรรมชาติ เปรียบเทียบกับขนสัตว์ และเส้นใยสังเคราะห์	12
2.9	ภาพใยป่านศรนารายณ์	16
2.10	องค์ประกอบทางเคมีของต้นป่านศรนารายณ์	17
2.11	โครงสร้างของสารควบไซเลน	20
3.1	เม็ดพลาสติกพอลิแลคติกแอซิด	26
3.2	ลักษณะเส้นใยป่านศรนารายณ์	26
3.3	ลักษณะของสารอีพอกซีไซเลน	27
3.4	ลักษณะของน้ำกลั่น	27
3.5	ลักษณะของกรดอะซิติก	27
3.6	ตู้อบลมร้อนแบบมีพัดลม รุ่น FD56 ของบริษัท Binder	28
3.7	เครื่องอัดขึ้นรูปรุ่น QC-6Q1T ของบริษัท Cometech	28
3.8	เครื่องมือทำรอยบากชิ้นงาน รุ่น 5IK60A-CF ของบริษัท Luyang	28
3.9	เครื่องมือทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทก รุ่น GT-7045-HML ของบริษัท Gotech Testing Machines	29
3.10	เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal testing machine, UTM) รุ่น AG-X ของบริษัท SHIMADZU	29
3.11	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy, SEM) รุ่น JSM-6610LV ของบริษัท JEOL	29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.12	แผนผังแสดงการปรับปรุงผิวเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยสารอีพอกซีไซเลน	30
3.13	แผนผังการศึกษาการปรับปรุงผิวเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยสารไซเลน และผลของทิศทางการจัดเรียงตัวเส้นใยที่มีผลต่อสมบัติทางกลของพอลิแลกติกแอซิด	31
3.14	การเตรียมการผสมสารละลายอีพอกซีไซเลน	32
3.15	การกวนสารละลายด้วยเครื่องกวนผสมด้วยแม่เหล็ก	32
3.16	นำเส้นใยแช่ลงในสารละลายที่ได้	33
3.17	เทเม็ดพลาสติก PLA ลงบนแม่พิมพ์	34
3.18	แผ่น PLA	34
3.19	จัดเรียงตัวเส้นใยป่านศรนารายณ์	34
3.20	แผ่น PLA เสริมด้วยเส้นใยป่านศรนารายณ์	35
3.21	ชิ้นงานทดสอบแรงดึง	35
3.22	ชิ้นงานทดสอบแรงดัด	35
3.23	ชิ้นงานทดสอบแรงกระแทก	35
4.1	กราฟแสดงค่ามอดุลัสของยังของพอลิแลกติกแอซิดและวัสดุเชิงประกอบ พอลิแลกติกแอซิดที่เสริมแรงด้วยเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิว และไม่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลน ที่มีการจัดเรียงตัวเส้นใยใน ทิศทาง 0 และ 45 องศา	38
4.2	กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของพอลิแลกติกแอซิดและวัสดุเชิงประกอบ ที่พอลิแลกติกแอซิดที่เสริมแรงด้วยเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิว และไม่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลน ที่มีการจัดเรียงตัวเส้นใยใน ทิศทาง 0 และ 45 องศา	39
4.3	กราฟแสดงผลของการเสริมแรงด้วยเส้นใยป่านศรนารายณ์ การปรับปรุงผิวเส้นใยด้วย สารอีพอกซีไซเลน และการจัดเรียงตัวเส้นใยที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาด ของพอลิแลกติกแอซิดและวัสดุเชิงประกอบ	40
4.4	กราฟแสดงค่ามอดุลัสแรงดัดของพอลิแลกติกแอซิดและวัสดุเชิงประกอบที่ผ่าน การปรับปรุงผิวและไม่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลน ที่มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยในทิศทางที่ 0 และ 45 องศา	41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.5	กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดัดของพอลิแลกติกแอซิดและวัสดุเชิงประกอบ ที่ผ่านการปรับปรุงผิวและไม่ผ่านการปรับปรุงผิวที่มีการจัดเรียงตัว 0 และ 45 องศา	42
4.6	กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงกระแทกของพอลิแลกติกแอซิดและวัสดุเชิงประกอบ ที่ผ่านการปรับปรุงผิวและไม่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลน ที่มีทิศทางการจัดเรียงตัวเส้นใยที่ 0 และ 45 องศา	43
4.7	ภาพลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรอยแตกหักของชิ้นงานพอลิแลกติกแอซิด และวัสดุเชิงประกอบที่ผ่านการทดสอบแรงกระแทกโดยการตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	44



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันพลาสติกเป็นวัสดุประเภทหนึ่งที่มีความนิยมในการนำมาใช้งาน ตัวอย่างเช่น เฟอร์นิเจอร์หรือแม้กระทั่งบรรจุภัณฑ์ต่างๆ พลาสติกที่ใช้ทั่วไปนั้นมีการย่อยสลายได้ยากจึงทำให้เกิดมลภาวะทางน้ำ และทางดิน ปัจจุบันทั่วโลกจึงให้ความสนใจนำพลาสติกที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางชีวภาพ (Biodegradable plastic) มาใช้งานเพิ่มมากขึ้น โดยในกลุ่มของพลาสติกที่ย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางชีวภาพที่ทางคณะวิจัยให้ความสนใจ คือ พอลิแลกติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) เนื่องจาก PLA อยู่ในกลุ่มพลาสติกที่ย่อยสลายได้ที่ผลิตมาจากวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง และอ้อย และมีสมบัติทางกลที่ดี [1] แต่ยังมีข้อด้อยในเรื่องของความเหนียวต่ำ และมีราคาค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับพลาสติกที่ใช้อยู่ทั่วไปในปัจจุบัน เพื่อเป็นการส่งเสริมให้เกิดการนำพลาสติกชีวภาพที่ย่อยสลายได้มาใช้งานในเชิงพาณิชย์มากขึ้น ทางคณะวิจัยจึงเกิดแนวคิดนำเส้นใยธรรมชาติมาเสริมแรงให้ PLA เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตและยังคงรักษาความแข็งแรงของ PLA เอาไว้ เส้นใยธรรมชาติที่ทางคณะวิจัยสนใจนำมาศึกษา คือ ป่านศรนารายณ์ซึ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีในประเทศ และมีสมบัติความแข็งแรงสูงมาใช้เป็นสารเสริมแรง แต่เนื่องจากเส้นใยธรรมชาติมีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) ทำให้เข้ากันได้ไม่ดีกับพอลิแลกติกแอซิด ซึ่งเป็นวัสดุที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) [2] ดังนั้นในโครงการนี้จะทำการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยสารไฮโดรโฟบิกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดเกาะระหว่างเฟสของพอลิเมอร์และเส้นใยส่งผลให้การส่งผ่านแรงเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ในโครงการยังต้องทำการศึกษาผลของการจัดเรียงตัวเส้นใยที่มีต่อพฤติกรรมการรับแรงเพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้ชิ้นงานได้อย่างเหมาะสม

โครงการนี้เป็นโครงการวิจัยที่ทำการศึกษาผลของการปรับปรุงผิวของเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยสารไฮโดรโฟบิก และผลของการจัดเรียงตัวของเส้นใยที่มีต่อสมบัติทางกลของ PLA โดยประเมินจากสมบัติการทนแรงดึง แรงดัด และแรงกระแทก พร้อมทั้งตรวจสอบสมบัติทางสัณฐานวิทยา

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาสมบัติทางกลของ PLA ที่เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการจัดเรียงตัวของเส้นใยธรรมชาติที่มีต่อสมบัติการรับแรง
- 1.2.3 เพื่อศึกษาผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยสารไซเลนที่มีต่อประสิทธิภาพการรับแรงของวัสดุเชิงประกอบ

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.3.1 พลาสติกชีวภาพที่ใช้ในการศึกษา คือ PLA
- 1.3.2 เส้นใยธรรมชาติที่ใช้ คือ เส้นใยป่านศรนารายณ์
- 1.3.3 สารไซเลนที่ใช้ในการปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติจัดอยู่ในกลุ่มสารอีพอกซีไซเลน
- 1.3.4 ทิศทางการจัดเรียงตัวของเส้นใย คือ 0 และ 45 องศา
- 1.3.5 ทำการขึ้นรูปพอลิแลกติกแอซิดด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป
- 1.3.6 การทดสอบสมบัติทางกล อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบแนวทางการปรับปรุงสมบัติของพอลิแลกติกแอซิดด้วยเส้นใยป่านศรนารายณ์
- 1.4.2 เสริมสร้างทักษะทางการวิจัย และการแก้ปัญหาให้กับนักศึกษาหรือผู้วิจัย
- 1.4.3 เพิ่มความชำนาญในการขึ้นรูป และทดสอบ

1.5 นิยามศัพท์

พอลิแลกติกแอซิด คือ พอลิเมอร์ชีวภาพชนิดหนึ่งจัดอยู่ในกลุ่มพอลิเอสเทอร์ที่มีสายโซ่ตรง (Aliphatic polyester) สังเคราะห์ได้จากกรดแลกติก (Lactic acid) ซึ่งกรดแลกติกสามารถผลิตได้จากการหมักแป้งหรือน้ำตาล ดังนั้นพืชที่มีแป้งหรือน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง ข้าวสาลี หรืออ้อย จึงสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในกระบวนการผลิตได้ [1]

พลาสติกชีวภาพ คือ พลาสติกที่ผลิตมาจากธรรมชาติ และสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ช่วยลดปัญหามลพิษในสิ่งแวดล้อม [3]

สารคู่ควบไซเลน (Silane) สารไซเลนที่มีหมู่สารอินทรีย์ คือสารไซเลนที่เป็นของผสมระหว่างซิลิคอนและสารผสมอินทรีย์ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับพอลิเมอร์หรือเรซิน จึงนิยมนำมาใช้เป็นสารช่วย

ในการยึดเกาะกันที่ดีขึ้นหรือสารคู่ควบระหว่างพอลิเมอร์กับสารเสริมแรงที่เป็นพวกแร่ธาตุหรือเส้นใยธรรมชาติ [4]

เส้นใยปานศรณารายณ์ คือเส้นใยมาจากส่วนใบของต้นปานศรณารายณ์ ซึ่งองค์ประกอบหลักทางเคมี คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน เพนโทซาน และแว็กซ์ [5]

วัสดุเชิงประกอบ หมายถึง วัสดุที่ประกอบขึ้นจากวัสดุที่มีสมบัติแตกต่างกันตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป โดยไม่เกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันประกอบด้วย เมทริกซ์ และสารเสริมแรง [6]

1.6 ระยะเวลาการดำเนินงาน

กิจกรรม	เดือน				
	พ.ย.62	ธ.ค.62	ม.ค.63	ก.พ.63	มี.ค.63
1. จัดหาวัตถุดิบและเตรียมสารเคมี					
2. การปรับปรุงผิวเส้นใยปานศรณารายณ์ด้วยสารไซเลน					
3. ขึ้นรูปชิ้นงาน					
4. ทำการทดสอบสมบัติ					
5. วิเคราะห์ผลการทดลอง					
6. สรุปผลและจัดทำเล่ม					

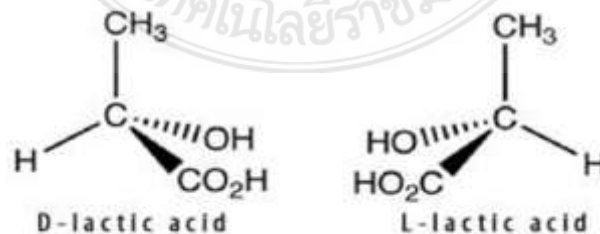
บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA)

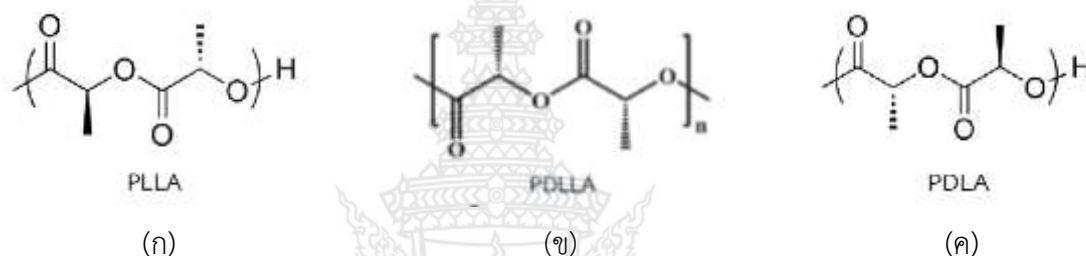
PLA เป็นพอลิเมอร์ชีวภาพชนิดหนึ่งจัดอยู่ในกลุ่มพอลิเอสเตอร์ที่มีสายโซ่ตรง สังเคราะห์ได้จากกรดแลคติก ซึ่งกรดแลคติกสามารถผลิตได้จากการหมักแป้งหรือน้ำตาล ดังนั้นพืชที่มีแป้งหรือน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง ข้าวสาลี หรืออ้อย จึงสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในกระบวนการผลิตได้ ซึ่งทรัพยากรเหล่านี้สามารถสร้างขึ้นทดแทนใหม่ได้อย่างต่อเนื่อง PLA จัดเป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) สามารถขึ้นรูปได้ด้วยกระบวนการผลิตที่ใช้กันทั่วไป เช่น การฉีดขึ้นรูป (Injection molding) การขึ้นรูปด้วยความร้อน (Thermoforming) การอัดขึ้นรูป (Compression molding) การอัดรีด (Extrusion) และการเป่าขึ้นรูป (Blow molding) เป็นต้น การใช้งานผลิตภัณฑ์จาก PLA สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพเมื่อนำไปฝังกลบในดินโดยใช้ระยะเวลาอันสั้นเมื่อเทียบกับพลาสติกที่ผลิตจากวัตถุดิบจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

มอนอเมอร์ของ PLA คือ กรดแลคติกซึ่งมีไอโซเมอร์สองรูปแบบดังแสดงในรูปที่ 2.1 ได้แก่ แบบดี-ไอโซเมอร์ และแบบแอล-ไอโซเมอร์ ซึ่งเป็นเอนันชิโอเมอร์ (Enantiomer) ที่มีความว่องไวต่อแสง (Optical active) ต่างกัน กล่าวคือมีสูตรเคมีเหมือนกัน การจัดเรียงตัวในสามมิติไม่เหมือนกัน และมีการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ในทิศทางต่างกันในธรรมชาติ ส่วนใหญ่พบในรูปแบบแอล-ไอโซเมอร์หรือในรูปแบบของผสมระหว่างแอล-ไอโซเมอร์ และดี-ไอโซเมอร์ เรียกว่าของผสมราซีมิก (Racemic mixture, อัตราส่วน = 1:1 เขียนแทนด้วย DL) หรือ สารประกอบมีโซ (meso-compound) ที่ไม่มีสมบัติบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ (Optically inactive) ในปัจจุบันการผลิตกรดแลคติกใช้การหมักเป็นหลักซึ่งสามารถให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์เชิงแสง (Optical purity) ที่ดี



รูปที่ 2.1 รูปแบบไอโซเมอร์ของกรดแลคติกแบบ D-lactic acid และแบบ L-lactic acid [1]

เนื่องจากกรดแลคติกมีสองไอโซเมอร์ สายโซ่หลักของพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ส่วนใหญ่อาจประกอบขึ้นจากมอนอเมอร์ชนิดแอล-ไอโซเมอร์เกือบทั้งหมด จะได้เป็นพอลิแอล-แลคติกแอซิด (Poly L-lactic acid : PLLA) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ก) หรือประกอบขึ้นจากมอนอเมอร์ที่เป็นของผสมราซิมิกจะได้พอลิดีแอล-แลคติกแอซิด (PolyD,L-lactic acid : PDLLA) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ข) ปัจจุบันการผลิตดี-ไอโซเมอร์ของกรดแลคติกบริสุทธิ์ทำได้ยาก การผลิตพอลิเมอร์ที่สายโซ่หลักประกอบด้วยมอนอเมอร์ชนิดดีหรือพอลิดี-แลคติกแอซิด (PolyD-lactic acid : PDLA) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ค) ยังไม่มีในเชิงพาณิชย์ โดยไอโซเมอร์ที่แตกต่างกันส่งผลต่อความเป็นผลึก (Crystalline) ของพอลิเมอร์



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของ PLA ที่มีไอโซเมอร์แตกต่างกัน [1]

(ก) PLLA

(ข) PDLLA

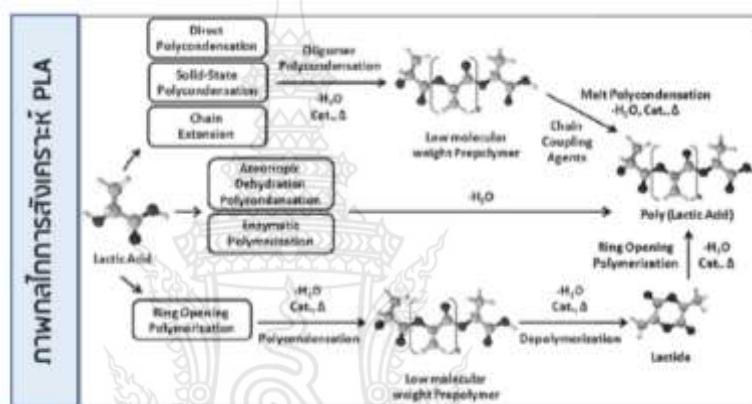
(ค) PDLA

2.1.1 การสังเคราะห์พอลิแลคติกแอซิด [1,7]

การผลิต PLA สามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ การผลิตโดยการหมักจากวัตถุดิบทางธรรมชาติ และการผลิตโดยการสังเคราะห์ การผลิต PLA โดยวิธีการหมักจากวัตถุดิบทางธรรมชาติ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต คือ แป้งที่มาจากแหล่งทรัพยากรธรรมชาติที่สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้ (Renewable resource) ได้แก่ พืชที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าวโพด และมันสำปะหลัง โดยมีกระบวนการผลิตเริ่มต้นจากการบดหรือโม่พืชนั้นให้ละเอียดเป็นแป้ง จากนั้นทำการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล และนำไปหมัก (Fermentation) ด้วยจุลินทรีย์เกิดเป็นกรดแลคติก ($C_3H_6O_3$) ซึ่งมีกรรมวิธีคล้ายการหมักเบียร์ จากนั้นนำกรดแลคติกที่ได้มาผ่านกระบวนการทางเคมี เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างให้เป็นสารใหม่ที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวน เรียกว่า แลคไทด์ (Lactide) หลังจากนั้น

นำมากลั่นในระบบสุญญากาศเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ของแลคไทด์ที่เป็นสายยาวขึ้น เรียกว่า PLA โดยสมบัติของ PLA ขึ้นอยู่กับการกำหนดความยาวของสายพอลิเมอร์

การผลิต PLA โดยการสังเคราะห์ สามารถสังเคราะห์ได้หลายวิธี ดังรูปที่ 2.3 เช่น ปฏิกริยาควบแน่นโดยตรง (Direct polycondensation) ปฏิกริยาการควบแน่นในสถานะของแข็ง (Solid-state polycondensation) ปฏิกริยาต่อสายโซ่ (Chain extension) ปฏิกริยาการควบแน่นแบบอะซีโอโทรปิก (Azeotropic dehydration polycondensation) ปฏิกริยาควบแน่นโดยเอนไซม์ (Enzymatic polycondensation) และการสังเคราะห์โดยการเปิดวง (Ring-opening polycondensation)



รูปที่ 2.3 กลไกการสังเคราะห์ PLA [1]

การผลิต PLA จากการสังเคราะห์โดยการเปิดวงเป็นวิธีที่นิยมเชิงพาณิชย์ เนื่องจากสามารถผลิต PLA ได้บริสุทธิ์มาก โดยการนำแลคไทด์มอนอเมอร์ร่วมกับแลคติกแอซิด 2 โมเลกุล และเปิดวงด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ ปฏิกริยาการควบแน่น (Poly condensation) ปฏิกริยาไม่ผ่านการควบแน่น (Depoly condensation) และการสังเคราะห์โดยการเปิดวง (Ring-opening polycondensation) [2]

2.1.2 สมบัติของพอลิแลคติกแอซิด [8]

2.1.2.1 ความบริสุทธิ์เชิงแสง (Optical purity) เป็นสมบัติของ PLA ที่มีสัดส่วนของ L-isomer สูงกว่าร้อยละ 90 มีแนวโน้มเป็นพอลิเมอร์กึ่งผลึก (Semicrystalline polymer) มีความบริสุทธิ์เชิงแสงสูง ในขณะที่พอลิเมอร์ที่มี D - isomer ในองค์ประกอบเพิ่มขึ้นจะมีความบริสุทธิ์เชิงแสงต่ำลง และมีแนวโน้มเป็นพอลิเมอร์อสัณฐาน (Amorphous) นอกจากนี้อุณหภูมิการหลอมเหลว อุณหภูมิ

กลาสทรานสิชัน และระดับความเป็นผลึกมีแนวโน้มลดลงตามสัดส่วนของ L-isomer ที่ลดลงด้วย โดยสัดส่วนของไอโซเมอร์ที่แตกต่างกันในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้ PLA ที่สังเคราะห์ขึ้นมีสมบัติได้หลากหลาย จึงสามารถปรับให้สมบัติ PLA รองรับความต้องการใช้งานได้กว้างขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์ที่ผลิตจากวัตถุดิบที่มาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เช่น พอลิเอธิลีน เทเรฟทาเลท (Polyethylene Terephthalate, PET) และพอลิสไตรีน (Polystyrene, PS) โดย PLA มีความใสและมีสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติด้านการซึมผ่านของก๊าซที่ใกล้เคียงกัน

2.1.2.2 สมบัติการละลาย การละลายของ PLA ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของหน่วยที่เป็นองค์ประกอบในสายโซ่พอลิเมอร์และระดับความเป็นผลึก (Degree of crystallinity) ไม่ละลายในน้ำ แอลกอฮอล์ และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีหมู่แทนที่ เช่น เฮกเซน (Hexane) และเฮปเทน (Heptane) โดยตัวทำละลายที่ดีสำหรับ PLA ที่มีความบริสุทธิ์เชิงแสงสูง (Poly-L-lactic acid; PLLA) ได้แก่ ตัวทำละลายอินทรีย์กลุ่มสารละลายคลอรีเนต (Chlorinated) หรือตัวทำละลายอินทรีย์ฟลูออรีเนต (Fluorinated organic) ไดออกเซน (Dioxane) ไดออกโซเลน (Dioxolane) และฟูเรน (Furane) ส่วนโพลิ (แรค-แลคติกแอซิด) (Poly (rac-lactic acid)) นอกจากละลายได้ในตัวทำละลายข้างต้นแล้วยังละลายได้ในอะซิโตน (Acetone) ไพริดีน (Pyridine) เอธิลแลคเตต (Ethyl lactate) เอธิลแอคเตต (Ethyl acetate) เตตระไฮโดรฟูแรน (Tetrahydrofuran) ไซเลน (Xylene) ไดเมทิลซัลโฟไซด์ (Dimethylsulfoxide) ไดเมทิลฟอรัมาไมด์ (N,N dimethylformamide) และเมทิลเอทิลคีโตน (Methyl ethyl ketone)

2.1.2.3 สมบัติทางกายภาพและทางกล PLA มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.25 หากไม่ผ่านการดึงยืด (Unoriented PLA) มีความเปราะมากแต่มีความคงรูป (Stiffness) และความแข็งแรง (Strength) สูง เมื่อนำไปผ่านการดึงยืด (Oriented) จะมีสมบัติใกล้เคียงกับ PET แต่ดีกว่า PS ที่ผ่านการดึงยืด (Oriented PS) โมดูลัสแรงดึงและแรงดัด (Tensile and flexural moduli) ของ PLA มีค่าสูงกว่าพอลิเอธิลีนความหนาแน่นสูง (High density Polyethylene, HDPE) และ PS แต่ความทนต่อแรงกระแทก (Izod impact strength) และการยืดที่จุดแตกหัก (Elongation at break) มีค่าต่ำกว่าพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ

2.1.2.4 สมบัติทางความร้อน PLA มีอุณหภูมิกลาสทรานสิชัน และอุณหภูมิหลอมเหลวค่อนข้างสูงกว่าเทอร์โมพลาสติกทั่วไป โดยอุณหภูมิกลาสทรานสิชันมีค่าขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลและอัตราส่วนระหว่างอีแนนทิโอเมอร์ โดยพบว่าอุณหภูมิกลาสทรานสิชันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักโมเลกุล การผสมแอลกอฮอล์เข้ากับอีแนนทิโอเมอร์ทำให้อุณหภูมิกลาสทรานสิชันมีแนวโน้มลด

ต่ำลง เมื่ออัตราส่วนระหว่างแอลและดีไกล์เคียงกันมากขึ้น เช่น อัตราส่วนระหว่างแอลต่อดีเป็น 50:50 อุณหภูมิกลาสทรานสิชันมีแนวโน้มลดต่ำลงมากที่สุด

อุณหภูมิหลอมเหลวของ PLA ขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์เชิงแสงของพอลิเมอร์ด้วย โดยอุณหภูมิหลอมเหลวสูงที่สุดที่พบใน PLA ที่มีความบริสุทธิ์เชิงแสง (ทั้ง PLLA และ PDLA) มีค่าประมาณ 180 องศาเซลเซียส และมีค่าเอนทัลปี 40-50 J/g อุณหภูมิหลอมเหลวของพอลิเมอร์มีค่าลดลงหากในโครงสร้างมีปริมาณของ D-lactide เป็นองค์ประกอบเพิ่มขึ้น โดยอุณหภูมิหลอมเหลวลดลงได้มากถึง 50 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหลอมเหลวของ PLA เมื่อใช้ปริมาณ meso-lactide เพิ่มขึ้นในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ โดยทั่วไปอุณหภูมิหลอมเหลวของ PLA มีค่าอยู่ในช่วง 130-160 องศาเซลเซียส และมีการลดลงของอุณหภูมิหลอมเหลวเนื่องจากผลของ Meso-lactide ที่มีความสำคัญทำให้ขึ้นรูปง่ายขึ้น และลดการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน

2.1.3 การเสื่อมสภาพและการย่อยสลายของพอลิแลคติกแอซิด [9]

การเสื่อมสภาพของ PLA ส่วนใหญ่เกิดจากการขาดของสายโซ่หลักหรือสายโซ่ด้านข้างของโมเลกุล ในธรรมชาติการเสื่อมสภาพเกิดจากการกระตุ้นด้วยความร้อน ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส หรือกิจกรรมทางชีวภาพ เช่น เอนไซม์ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน การแตกสลายด้วยแสง (Photolysis) และการแตกสลายด้วยรังสี (Radiolysis) เนื่องจากการเสื่อมสภาพเกิดขึ้นทั้งจากกระบวนการทางชีวภาพและกายภาพ กลไกการเสื่อมสภาพจึงมักเกี่ยวโยงไปกับการเสื่อมสภาพจากสิ่งแวดล้อม (Environmental degradation) การเสื่อมสภาพของ PLA ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น น้ำหนักโมเลกุล ระดับความเป็นผลึก ความบริสุทธิ์ อุณหภูมิ สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH) ระดับความเข้มข้นของเกลือ (Salinity) การมีอยู่ของออกซิเจน หรือปริมาณอาหารสำหรับจุลินทรีย์ในระบบ ดังนั้นในการทดสอบการเสื่อมสภาพของ PLA จึงจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยดังกล่าวประกอบด้วย นอกจากนี้การเสื่อมสภาพยังขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะทางเคมีและกายภาพ เช่น อัตราการแพร่ (Diffusivity) ความเป็นรูพรุน (Porosity) สัณฐานวิทยา (Morphology) และความแข็งแรงทางกล (Mechanical strength) เป็นต้น โดย PLA สลายตัวให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำในสภาวะการหมักที่ถูกควบคุม (Controlled composting environment) ภายใน 90 วัน การเติม PLA ปริมาณเล็กน้อยในของเสียจากการทำสวนที่ยังไม่ผ่านการหมัก (Pre-composted yard waste) ทำให้การหมักมีประสิทธิภาพ และ PLA ถูกไฮโดรไลซ์ในน้ำเดือดหรือไอน้ำให้กรดแลคติก ซึ่งสามารถนำกลับไปใช้เป็นมอนอเมอร์สำหรับสังเคราะห์พอลิเมอร์ขึ้นใหม่ PLLA ถูกไฮโดรไลซ์ที่อุณหภูมิ 180-350 องศาเซลเซียส ในเวลา 30 นาที ได้กรดแลคติก ซึ่งการย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation)

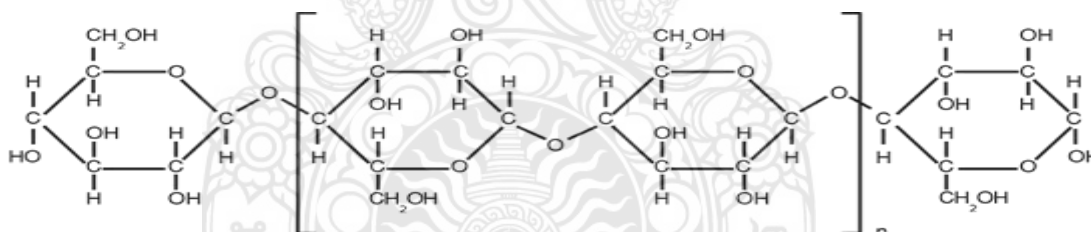
ของ PLA และ Co-polymer เกิดขึ้นได้จากเอนไซม์ประเภทเอสเทอร์ส โปรติเอส และไลเปสที่ขับออกมาจากจุลินทรีย์ และผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นหลังการแตกสลายด้วยน้ำทั้งหมดของ PLA สามารถถูกดูดซึมได้โดยจุลินทรีย์ เช่น เห็ดรา และแบคทีเรีย

2.2 เส้นใยธรรมชาติ [10-12]

2.2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติ

องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติหรือเส้นใยพืช มีความหลากหลายขึ้นอยู่กับชนิดเส้นใย เส้นใยธรรมชาติประกอบด้วยพอลิเมอร์หลัก 4 ชนิด คือเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพกทิน และลิกนิน มีการจัดเรียงตัวบริเวณผนังเซลล์ของเซลล์พืช โดยมีสายของเซลลูโลสเป็นแกนหลักและพันรอบด้วยโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน [11]

2.2.1.1 เซลลูโลส (Cellulose) เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ชนิดชอบน้ำประกอบด้วยสายโซ่ตรงของหน่วยซ้ำของแอนไฮโดร-กลูโคส (1,4- β anhydroglucose, $C_6H_{11}O_5$) ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งถูกเชื่อมต่อโมเลกุลด้วย 1,4 - β -Dglycosidic linkages ที่ตำแหน่ง C1 และ C4 ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลที่มาจากแอลกอฮอล์ (Alcoholic Hydroxyl Groups) [10]

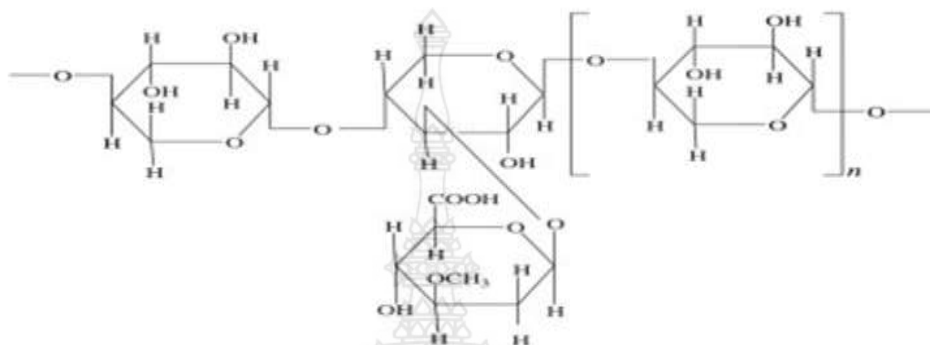


รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส [10]

หมู่ไฮดรอกซิลเหล่านี้สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลและระหว่างโมเลกุล (Intermolecular and Intramolecular Hydrogen Bonds) ของเซลลูโลสเองหรือกับโมเลกุลมีขั้วอื่นๆได้ ดังนั้นเส้นใยธรรมชาติจากพืชทุกชนิดจึงจัดเป็นโมเลกุลชอบน้ำ นอกจากนี้หมู่ไฮดรอกซิลที่สร้างพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลยังมีประโยชน์ต่อการเกิดผลึกภายในเซลลูโลส และมีอิทธิพลต่อสมบัติเชิงกลของเส้นใยด้วย [10]

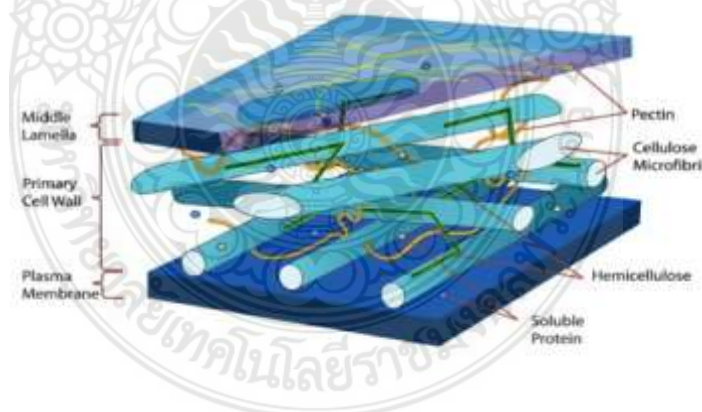
2.2.1.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เฮมิเซลลูโลสเป็นสารประกอบที่โมเลกุลใหญ่ที่มีโครงสร้างแบบกึ่ง ซึ่งเป็นสารประกอบประเภทเฮเทอโรโพลิเมอร์ (Heterogeneous

polysaccharides) ที่ประกอบด้วยน้ำตาลโมโนแซคคาไรด์หลายชนิดประกอบอยู่ในโมเลกุลเดียวกัน ปกติทั่วไปบริเวณของเฮมิเซลลูโลสที่ประกอบอยู่ในพืชจะมีปริมาณประมาณ 20-30% และพบรวมกับสารอื่น เช่น ลิกนิน เซลลูโลส เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์มีความเป็นชอบน้ำสูง และละลายได้ง่ายในสารละลายที่เป็นด่างและกรด มีสูตรโครงสร้างเคมี ดังรูปที่ 2.5 [10]



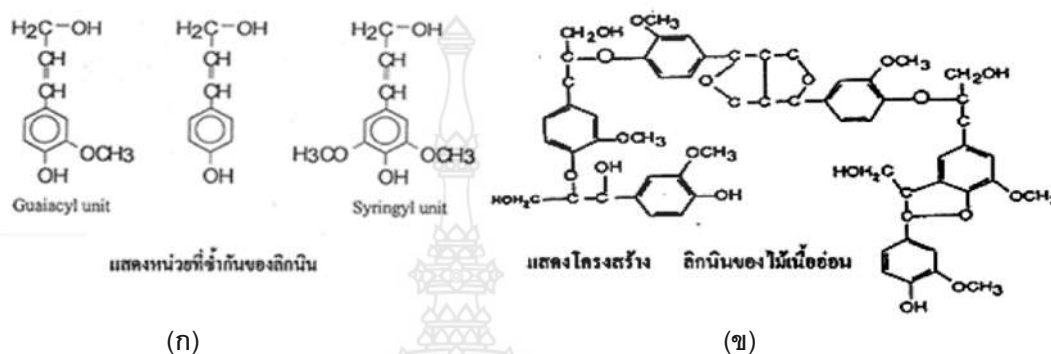
รูปที่ 2.5 สูตรโครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส [10]

2.2.1.3 เพกทิน (Pectin) เพกทินเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ของพืชเกือบทุกชนิด จัดเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตเช่นเดียวกับแป้งและเซลลูโลส ทำหน้าที่เชื่อมเซลลูโลสให้ติดกัน ดังรูปที่ 2.6 และเพกทินช่วยเสริมผนังเซลล์ให้หนา แข็งแรง และยืดหยุ่นได้เล็กน้อย [12]



รูปที่ 2.6 เพกทินในเซลล์พืช [12]

2.2.1.4 ลิกนิน (Lignin) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมักพบอยู่ร่วมกับเซลลูโลส ลิกนินเป็นสารที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนรวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิด ซึ่งเป็นสารอะโรมาติก ลิกนินไม่ละลายน้ำ ไม่มีสมบัติทางการยืดหยุ่น เพราะฉะนั้นพืชที่มีลิกนินมาก จะมีสมบัติของความแข็งแรงทนทานสูง [10]



รูปที่ 2.7 ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของลิกนิน [10]

(ก) หน่วยซ้ำของลิกนิน

(ข) โครงสร้างลิกนินของไม้เนื้ออ่อน

2.2.2 สมบัติของเส้นใยธรรมชาติ

2.2.2.1 สมบัติเชิงกลของเส้นใยธรรมชาติ สมบัติของเส้นใยธรรมชาติไม่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใยธรรมชาติเท่านั้น สมบัติต่างๆ ยังขึ้นอยู่กับปริมาณของเซลลูโลสและปัจจัยอื่นๆ เช่น จำนวนเซลล์ ขนาดของเซลล์ และขนาดของลูเมน เส้นใยที่มีการยืดตัวมากกว่า 50% จะนุ่มแต่เหนียว ในขณะที่เส้นใยธรรมชาติที่มีการยืดตัวน้อยกว่า 50% จะเหนียวแต่เปราะ โดยทั่วไปเส้นใยธรรมชาติเหมาะสำหรับนำมาเสริมแรงพอลิเมอร์ เนื่องจากความแข็งแรง และความเหนียวสูง [10]

2.2.2.2 สมบัติการนำความร้อนของเส้นใยธรรมชาติ เส้นใยธรรมชาติมีสมบัติเป็นฉนวนความร้อนโดยธรรมชาติ เนื่องจากมีเส้นใยเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักซึ่งไม่นำความร้อน และมีช่องว่างเล็กๆ ภายในเส้นใยซึ่งช่องว่างทำหน้าที่เก็บอากาศไว้มีสภาพคล้ายเป็นฉนวนกันความร้อน [13]

2.2.2.3 สมบัติทางกายภาพของเส้นใยธรรมชาติ สมบัติที่สำคัญคือสมบัติด้านพื้นผิวของเส้นใย เส้นใยเซลลูโลสมีสมบัติชอบน้ำและดูดความชื้นได้ดี เนื่องจากสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำ มีปริมาณความชื้นในเส้นใยธรรมชาติและความไม่เข้ากันของเส้นใยธรรมชาติและพอลิเมอร์ที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ ทำให้เกิดปัญหาการยึดติดของเส้นใยธรรมชาติกับพอลิเมอร์ [10]

2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของเส้นใยธรรมชาติ [14]

2.2.3.1 ความยาว (Length) เส้นใยธรรมชาติจะมีความยาวที่ค่อนข้างแตกต่างกันจากอิทธิพลของธรรมชาติ ความยาวของเส้นใย แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ เส้นใยสั้น (Staple fiber) และเส้นใยยาว (Filament) เส้นใยธรรมชาติจากพืชทุกชนิดเป็นเส้นใยสั้น

2.2.3.2 ขนาดของเส้นใย (Fiber size) ขนาดของเส้นใยมีผลต่อการใช้งานและความรู้สึกสัมผัส เส้นใยที่มีความละเอียดมากจะมีขนาดเล็ก จัดเข้ารูปได้ง่ายกว่า (Drape) ส่วนเส้นใยขนาดใหญ่จะแข็งกระด้างและมีความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยละเอียด เส้นใยธรรมชาตินั้นมักมีขนาดที่ไม่สม่ำเสมอ คุณภาพของเส้นใยธรรมชาติมักจะวัดจากความละเอียดของเส้นใย เส้นใยที่มีความละเอียดมาก (ขนาดเล็ก) จะมีคุณภาพที่ดีกว่า

2.2.3.3 รูปร่างพื้นที่หน้าตัดของเส้นใย (Cross-sectional shape) รูปร่างหน้าตัดขวางของเส้นใยมีผลต่อสมบัติของผิวสัมผัส เส้นใยมีรูปร่างหน้าตัดที่หลากหลาย ดังแสดงในรูปที่ 2.8 เช่น วงกลมสามเหลี่ยม ทรงรูปถั่ว เป็นต้น ความแตกต่างของรูปร่างหน้าตัดขวางของเส้นใยธรรมชาติเกิดจากลักษณะการสร้างเซลล์โลสในขณะที่ยังเติบโต



รูปที่ 2.8 ความแตกต่างของรูปร่างหน้าตัดขวางของเส้นใยธรรมชาติ เปรียบเทียบกับขนสัตว์และเส้นใยสังเคราะห์ [14]

2.2.3.4 ความหยักของเส้นใยธรรมชาติ (crimp) ความหยักในเส้นใยช่วยเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะ (cohesiveness) ระหว่างเส้นใย ทำให้สามารถคืนตัวจากแรงอัด (resilience) ได้ดี ทนต่อแรงเสียดสี (resistance to abrasion) มีความยืดหยุ่น มีเนื้อเต็ม (bulk) และให้ความอบอุ่น (warmth)

2.3 วัสดุเชิงประกอบ [11,15]

2.3.1 ความหมายและองค์ประกอบของวัสดุเชิงประกอบ [6]

วัสดุเชิงประกอบหรือวัสดุคอมโพสิต (Composite materials) หมายถึง วัสดุที่ประกอบขึ้นจากวัสดุที่มีสมบัติแตกต่างกันตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป โดยไม่เกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน องค์ประกอบของวัสดุเชิงประกอบ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

1. ส่วนเมทริกซ์หรือเนื้อพื้น (Matrix phase) คือองค์ประกอบหลัก เป็นส่วนที่มีความต่อเนื่อง (Continuous phase) เมทริกซ์ที่นิยมใช้ คือ พอลิเมอร์ โลหะ และเซรามิก เป็นต้น มีหน้าที่ดังนี้

- 1) ให้เส้นใยหรืออนุภาคกระจายตัวและยึดเกาะตามทิศทางที่ต้องการ
- 2) ป้องกันไม่ให้เส้นใยหรืออนุภาคเสียหายอันเนื่องมาจากสิ่งแวดล้อม
- 3) ถ่ายเทแรงกระทำจากภายนอกไปสู่เส้นใยหรืออนุภาค
- 4) ช่วยกำหนดรูปร่างของวัสดุผสม

2. ส่วนเสริมแรง (Reinforce phase) เป็นส่วนที่ทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความแข็งแรง มักเป็นส่วนที่ไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous phase) ซึ่งอาจมีลักษณะเป็นแผ่นอนุภาคเล็กๆ หรือเป็นเส้นใย ซึ่งส่วนใหญ่มักใช้เส้นใยแก้ว เส้นใยคาร์บอน หรือเส้นใยธรรมชาติเป็นวัสดุเสริมแรง หน้าที่ของตัวเสริมแรงมีดังนี้

- 1) เพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุเชิงประกอบ
- 2) สามารถรับแรงกระทำจากภายนอก โดยแรงกระทำนั้นจะถูกถ่ายทอดไปตามเส้นใยหรืออนุภาค

2.3.2 ประเภทของวัสดุเชิงประกอบ [11]

2.3.2.1 ประเภทของวัสดุเชิงประกอบจำแนกตามวัสดุเสริมแรง แบ่งออกเป็น 3 ชนิดหลัก ได้แก่

1. วัสดุเชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยอนุภาค (Particle-reinforced composites) คือ การนำอนุภาคมาเป็นส่วนเสริมแรง ทำให้วัสดุเชิงประกอบที่ได้มีความแข็ง เช่น คอนกรีต หรือทำให้วัสดุเชิงประกอบสามารถทนความร้อนได้มากขึ้น

2. วัสดุเชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยเส้นใย (Fibrous composites) คือ การนำเส้นใยมาเป็นส่วนเสริมแรง ทำให้วัสดุเชิงประกอบที่ได้มีความเหนียวสูง โดยขึ้นอยู่กับน้ำหนักที่ผสม เช่น พอลิเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วหรือเส้นใยคาร์บอน และพอลิเมอร์เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติ

3. วัสดุเชิงประกอบโครงสร้าง (Structural composites) คือวัสดุเชิงประกอบระหว่างวัสดุเนื้อเดียว (Homogenous) กับวัสดุผสม ทำให้สมบัติที่ได้นอกจากจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาผสมแล้ว

แต่ยังมีลักษณะโครงสร้างที่หลากหลายเนื่องจากขึ้นอยู่กับรูปร่างทางเรขาคณิต (Geometrical Design) ของธาตุประกอบอีกด้วย

2.3.2.2 ประเภทของวัสดุเชิงประกอบ จำแนกตามชนิดของวัสดุเมทริกซ์ สามารถจำแนกได้ 3 ประเภท ได้แก่

1. วัสดุเชิงประกอบโลหะ (Metal matrix composite) ได้พัฒนาขึ้นเพื่อปรับปรุงการทนความล้าของโลหะให้ดีขึ้น สารเสริมแรงสำหรับโลหะต้องมีความแข็งแรงสูงและทนความร้อนสูง เนื่องจากโลหะต้องใช้อุณหภูมิสูงมากในการขึ้นรูปและสารเสริมแรงที่ใช้ต้องไม่เกิดการกัดกร่อนกับเมทริกซ์โลหะ

2. วัสดุเชิงประกอบเซรามิก (Ceramic matrix phase) เซรามิกเป็นวัสดุที่มีความทนทานต่อการใช้งานที่อุณหภูมิสูง ไม่นำความร้อน ทนต่อการกัดกร่อน และอัตราการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อได้รับความร้อนต่ำมาก การเสริมแรงให้กับเมทริกซ์เซรามิกเป็นการปรับปรุงสมบัติให้วัสดุเชิงประกอบที่ได้มีความเหนียว และทนทานมากขึ้น สารเสริมแรงจะเข้าไปขวางการแพร่ของรอยแตกที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการใช้งาน เมื่อวัสดุเชิงประกอบได้รับแรงจะไม่เกิดการเปราะแตก

3. วัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์ (Polymer matrix phase) พอลิเมอร์เป็นสารประกอบอินทรีย์ขนาดใหญ่ที่มีโครงสร้างเป็นหน่วยซ้ำ เชื่อมต่อกันเป็นสายยาว ทำให้พอลิเมอร์มีความแข็งแรงไม่สูงนัก มีความหนาแน่นต่ำ และมีความทนทานต่อการกัดกร่อน การเสริมแรงให้พอลิเมอร์ทำได้โดยการเติมเส้นใยเสริมแรงลงในพอลิเมอร์ให้เกิดเป็นวัสดุเชิงประกอบที่มีความแข็งแรงมากขึ้น

2.3.3 กลไกการยึดเกาะระหว่างเฟสระหว่างเมทริกซ์และสารเสริมแรง [15]

เมื่อเมทริกซ์สามารถเปียกผิวสารเสริมแรงแล้วนั้น ทำให้มีพันธะระหว่างเฟสเกิดขึ้น พันธะชนิดต่างๆอาจถูกสร้างขึ้นในเวลาเดียวกัน เช่น พันธะทางเชิงกลและทางไฟฟ้า และกลไกของพันธะสามารถเปลี่ยนแปลงไปในระหว่างขั้นตอนการผลิตที่หลากหลาย เช่น ในกรณีที่มีการนำสารคู่ควมมาใช้ในการปรับปรุงผิว

2.3.3.1 พันธะทางเชิงกล (Mechanical bonding) การเชื่อมต่อกันในทางเชิงกลของสองพื้นผิวลักษณะของพื้นผิวที่บริเวณรอยต่อระหว่างเฟสยังมีความขรุขระมากขึ้น ยิ่งทำให้พันธะทางเชิงกลมีประสิทธิภาพมากขึ้นไปด้วย ด้วยการหดตัวของเมทริกซ์บนสารเสริมแรงยิ่งทำให้พันธะทางเชิงกลเกิดได้ง่ายขึ้น พันธะทางเชิงกลจะมีประสิทธิภาพอย่างมากเมื่อได้รับแรงกระทำในทิศทางที่ขนานกับรอยต่อระหว่างเฟส ซึ่งอาจพิจารณาว่าเป็นความแข็งแรงของการได้รับแรงเฉือน แต่ถ้าได้รับแรงในทิศทางตั้งฉากกับรอยต่อระหว่างเฟสหรือการที่รอยต่อได้รับแรงดึง ความแข็งแรงระหว่างเฟสมีค่าต่ำ

2.3.3.2 พันธะที่เกิดจากไฟฟ้าสถิต (Electrostatic bonding) เป็นพันธะที่เกิดขึ้นระหว่างเมทริกซ์และสารเสริมแรงที่มีพื้นผิวที่มีประจุแตกต่างกัน จึงเกิดแรงดึงดูดทางไฟฟ้าขึ้น แรงกระทำทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมีประสิทธิภาพในระยะทางการจัดเรียงตัวของอะตอมในช่วงสั้นๆ เท่านั้น การปนเปื้อน อนุบริเวณผิวและการที่มีก๊าซถูกดักไว้ที่ผิวมีผลทำให้ประสิทธิภาพของกลไกดังกล่าวลดลง

2.3.3.3 พันธะทางเคมี (Chemical bonding) เกิดขึ้นจากหมู่ทางเคมีของเมทริกซ์และสารเสริมแรงสามารถเข้ากันได้ ความแข็งแรงของพันธะทางเคมีขึ้นอยู่กับปริมาณหรือจำนวนของพันธะที่เกิดขึ้นต่อหน่วยพื้นที่ และชนิดของพันธะที่เกิดขึ้น ในกรณีที่เมทริกซ์และสารเสริมแรงไม่มีหมู่ทางเคมีที่สามารถเข้ากันได้ สารคู่ควบ เช่น ซิแลน (Silane) ซึ่งมีหมู่ทางเคมีที่สามารถเข้ากันได้กับเมทริกซ์และสารเสริมแรงอยู่ในโครงสร้างโมเลกุล มันจะถูกนำมาใช้ทำหน้าที่เหมือนเป็นสะพานเชื่อมโยงระหว่างเมทริกซ์ และสารเสริมแรงด้วยพันธะทางเคมี

2.3.3.4 พันธะที่เกิดจากการแพร่เข้าหากัน (Interdiffusion bonding) พันธะนี้เกิดขึ้นจากการที่สายโซ่โมเลกุลขององค์ประกอบทั้ง 2 ชนิด สามารถแพร่เข้าหากันและทำให้เกิดการพันกันขึ้นระหว่างเฟส ความแข็งแรงของพันธะนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของการพันกัน ชนิดและจำนวนของสายโซ่โมเลกุลที่สามารถเกิดการพันได้

2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงของวัสดุเชิงประกอบ [15]

2.3.4.1 สัดส่วนของส่วนผสม (Volume fraction) เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญมากต่อสมบัติของวัสดุเชิงประกอบ

2.3.4.2 ความแข็งแรงระหว่างเฟส (Interfacial bonding) เป็นความแข็งแรงและพันธะทางเคมีที่เกิดขึ้นที่รอยต่อระหว่างเฟสของเมทริกซ์และสารเสริมแรงมีบทบาทที่มีความสำคัญ ซึ่งเป็นเหตุผลที่ทำให้การนำผลการผสมมาใช้ได้อย่างไม่สมบูรณ์เนื่องจากต้องคำนึงถึงความแข็งแรงและพันธะที่เกิดขึ้นระหว่างเฟสด้วย วัสดุเชิงประกอบเมื่อได้รับแรงกระทำจะส่งแรงกระทำจากเมทริกซ์ไปยังสารเสริมแรงโดยผ่านทางพื้นผิวระหว่างเฟส

2.3.4.3 รูปร่าง ขนาด การจัดเรียงตัว การกระจายตัวของสารเสริมแรง ขนาดของเกรนของเมทริกซ์ สมบัติของส่วนผสมเอง

2.4 ป่านศรนารายณ์ [2]

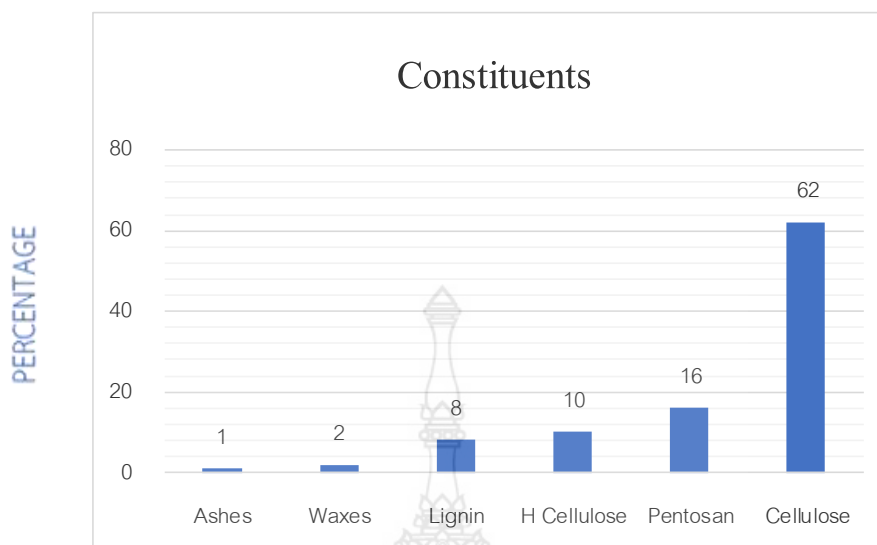
ชื่อวิทยาศาสตร์: *Agave sisalana perrine* ชื่อสามัญ: Caribbean agave อยู่ในวงศ์: AGAVACEAE มีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ ลำต้น ไม้อวบน้ำ ลำต้นสั้น หนา มีปล้องถี่ สูง 0.4–2.0 เมตร แตกกอเป็นพุ่มกลมเป็นใบเดี่ยว เวียนรอบลำต้นอย่างหนาแน่น รูปแคบเรียวยาว สีเขียวเข้ม มีไขคลุมตลอดใบ ปลายมีหนามแข็งสีดำ แผ่นใบหนา อาจยาวได้ถึง 1-1.5 เมตร มีดอกออกเป็นช่อแบบช่อกระจุกที่ปลายยอด ก้านช่อดอกยาว 4-6 เมตร กลีบรวมเป็นหลอดสั้น ปลายกลีบแยกออกเป็น 5 แฉก สีเขียวอ่อน เกสรเพศผู้ 6 เกสร มีถิ่นกำเนิดในแถบอเมริกากลาง การปลูกเลี้ยงร่วนระบายน้ำดี ต้องการน้ำน้อย ทนต่อแล้งได้ดี ชอบแสงแดดจัดการใช้ประโยชน์ปลูกเป็นไม้ประดับ



รูปที่ 2.9 ภาพใยป่านศรนารายณ์

จาก <https://puechkaset.com> [2]

เส้นใยป่านศรนารายณ์มาจากส่วนใบของต้นป่านศรนารายณ์มีลักษณะเส้นใยดังรูปที่ 2.9 ซึ่งองค์ประกอบหลักๆ ทางเคมี ดังรูปที่ 2.10 คือ เซลลูโลสประมาณ 62% เฮมิเซลลูโลสประมาณ 10% ลิกนินประมาณ 8% เพนโทซานประมาณ 16% และแวกซ์ประมาณ 2% ซึ่งคุณภาพของเส้นใยที่ได้จะขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมของเส้นใยป่านศรนารายณ์ เช่น แหล่งเพาะปลูก ปริมาณน้ำและอาหารที่พืชได้รับ และอายุของพืช เป็นต้น



รูปที่ 2.10 องค์ประกอบทางเคมีของต้นป่านศรนารายณ์ [2]

2.4.1 สมบัติของเส้นใยป่านศรนารายณ์

ตารางที่ 1 แสดงค่ามอดุลัสและค่ามอดุลัสจำเพาะของเส้นใยป่านศรนารายณ์เทียบกับเส้นใยธรรมชาติอื่นๆ และเส้นใยแก้ว

ตารางที่ 1 ค่ามอดุลัสและค่ามอดุลัสจำเพาะของเส้นใยธรรมชาติที่สำคัญบางชนิดเมื่อเทียบกับเส้นใยแก้ว [2]

ชนิดของเส้นใย	ความหนาแน่น (g/cm ³)	มอดุลัส (GPa)	มอดุลัสจำเพาะ (มอดุลัส/ความหนาแน่น)
เส้นใยแก้ว (E-glass)	2.55	73	29
เส้นใยกัญชง (Hemp)	1.48	70	47
เส้นใยป่านลินิน (Flax)	1.4	60-80	43-57
เส้นใยปอกระเจา (Jute)	1.46	10-30	7-21
เส้นใยป่านศรนารายณ์ (Sisal)	1.33	38	29
เส้นใยเปลือกลูกมะพร้าว (Coir)	1.25	6	5
เส้นใยฝ้าย (Cotton)	1.51	12	8

จากข้อมูลในตารางที่ 1 เมื่อเปรียบเทียบเส้นใยธรรมชาติด้วยกัน จะเห็นได้ว่าเส้นใยป่านศรนารายณ์มีค่ามอดุลัสต่ำกว่าเส้นใยกล้วยและป่านลินินเท่านั้น เมื่อพิจารณาค่ามอดุลัสจำเพาะพบว่าป่านศรนารายณ์มีค่าเทียบเท่ากับเส้นใยแก้ว นอกจากนี้ป่านศรนารายณ์ยังเป็นพืชที่ปลูกได้ง่าย ราคาไม่แพง ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

2.4.2 การใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์เป็นวัสดุเสริมแรงสำหรับพอลิเมอร์

การใช้ประโยชน์หลักของเส้นใยป่านศรนารายณ์ คือ ใช้ทำเชือกขนาดใหญ่สำหรับลากจูงเรือ และใช้ในอุตสาหกรรมการเกษตรด้วยสมบัติที่มีความแข็งแรงดังกล่าว จึงมีการศึกษาการใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์ในการเสริมแรงให้แก่พอลิเมอร์ทั้งเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซต ตัวอย่างเทอร์โมพลาสติกที่มีการศึกษา ได้แก่ พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง พอลิโพรพิลีน และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ สำหรับตัวอย่างพอลิเมอร์เมทริกซ์ชนิดเทอร์โมเซต ได้แก่ อีพอกซีเรซิน ฟีนอลิกเรซิน และพอลิเอสเทอร์เรซินแบบไม่อิ่มตัว แต่เนื่องจากโดยธรรมชาติแล้ว เส้นใยธรรมชาติมีสมบัติชอบน้ำ ทำให้เข้ากันได้ไม่ดีกับพอลิเมอร์ซึ่งเป็นวัสดุที่ไม่ชอบน้ำ เส้นใยป่านศรนารายณ์ก็เช่นเดียวกัน จึงมีการศึกษาถึงการเพิ่มความเข้ากันได้ โดยทำการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยด้วยวิธีต่างๆ ตัวอย่างของวิธีการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใย ได้แก่ การทำอัลคาไลน์เซชันและการปรับสภาพพื้นผิวเส้นใยโดยใช้สารเคมี หรือการเติมสารประสาน (coupling agent) รวมทั้งการเคลือบเส้นใยด้วยพอลิเมอร์

2.5 การปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติ [4,16]

กระบวนการที่ใช้ในการตัดแปรผิวเส้นใยนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีใหญ่ ๆ คือ วิธีการทางกล และวิธีการทางเคมี

2.5.1 การตัดแปรผิวเส้นใยทางกล (Physical method)

วิธีการตัดแปรเส้นใยทางกลนี้จะรวมถึงการยืด การรีด การผ่านกระบวนการทางความร้อน (thermotreatment) วิธีการตัดแปรเส้นใยทางกลจะเปลี่ยนโครงสร้างและสมบัติพื้นผิวของเส้นใย และมีอิทธิพลต่อการสร้างพันธะกับเฟสเมทริกซ์พอลิเมอร์ แต่ไม่ได้เปลี่ยนองค์ประกอบของเส้นใย ดังนั้นการตัดแปรพื้นผิวเส้นใยจะช่วยให้การยึดเกาะของเส้นใยกับเมทริกซ์ดีขึ้น วิธีตัดแปรเส้นใยทางกลนั้นมีหลายวิธี ได้แก่

2.5.1.1 การปรับสภาพผิวด้วยโคโรนา (Corona treatment) เป็นวิธีการตัดแปรพื้นผิวทางกลที่อุณหภูมิต่ำ โดยในการปรับปรุงผิวด้วยวิธีโคโรนาที่ทึบเม้นท์นั้น พลาสมาโคโรนาจะถูกสร้างจากการประยุคต์ศักย์ไฟฟ้าสูงให้แก่ไอเล็กโทรดปลายแหลม (tips) ทำให้เกิดรูปแบบ (form) ของพลาสมาชั้นตรงบริเวณปลายแหลมนั้น การประยุคต์โคโรนาลงไปยังบนพื้นผิวของเส้นใยที่เป็นกลุ่มฟังก์ชันที่มีขั้ว เช่น เส้นใยเซลลูโลสนั้นจะไปปรับปรุงสมบัติความชอบน้ำของเส้นใย จากการตัดแปรเส้นใยพบว่า การอาบพลาสมาบนผิวของเส้นใยเซลลูโลสมีผลทำให้การยึดเกาะกันของเส้นใยที่ชอบน้ำและเมทริกซ์ที่ไม่ชอบน้ำดีขึ้น

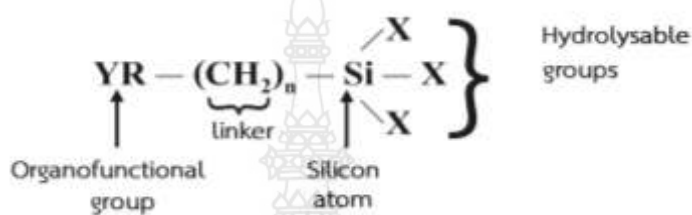
2.5.1.2 การปรับสภาพผิวด้วยพลาสมา (Plasma treatment) เป็นวิธีการตัดแปรพื้นผิวเส้นใยที่คล้ายกับการปรับปรุงผิวด้วยโคโรนา โดยการทำให้พลาสมาสามารถทำได้โดยการสร้างประจุขึ้นบนพื้นผิวของวัสดุ การตัดแปรพื้นผิวของวัสดุนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิด และธรรมชาติของแก๊สที่ใช้อินทรีย์อิสระที่ไวต่อปฏิกิริยา (reactive free radical) และกลุ่มฟังก์ชัน (functional group) ซึ่งสามารถสร้างขึ้นได้ โดยที่พลังงานพื้นผิวสามารถเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ ซึ่งจะทำให้เกิดการเชื่อมโยงข้ามพื้นผิว (surface cross-linking) ขึ้น

2.5.2 การตัดแปรผิวเส้นใยด้วยวิธีการทางเคมี (Chemical method)

เนื่องจากเส้นใยเซลลูโลสนั้น มีความเป็นขั้วสูง ทำให้ความสามารถในการยึดเกาะของเส้นใยธรรมชาติกับพอลิเมอร์ซึ่งมีสมบัติความไม่ชอบน้ำนั้นไม่ดี สามารถปรับปรุงให้การยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ดีขึ้นได้โดยอาศัยวิธีการทางเคมี คือ การเติมเฟสที่สามลงไป ซึ่งเฟสที่สามนี้จะเป็นเฟสที่อยู่ระหว่างเฟสเส้นใยและเฟสเมทริกซ์ การตัดแปรผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยวิธีการทางเคมีสามารถทำได้หลายวิธี คือ

2.5.2.1 การปรับสภาพผิวด้วยซิลเลน (Silane treatment) วิธีการนี้จะใช้ซิลเลนเป็นสารคู่ควบ ซึ่งซิลเลนที่เติมเข้าไปนี้จะไปอยู่ที่ระหว่างบริเวณรอยต่อระหว่างพื้นผิวเส้นใยกับเมทริกซ์ โดยซิลเลนจะเข้าไปปรับสภาพความชอบน้ำ ณ บริเวณรอยต่อระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ ทำให้การยึดเกาะดีขึ้น ตัวอย่างของการตัดแปรพื้นผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยการปรับสภาพผิวด้วยซิลเลน เช่น การปรับสภาพผิวของเส้นใยปอแก้ว (kenaf) โดยใช้สารคู่ควบซิลเลน พบว่าการปรับสภาพผิวเส้นใยปอแก้วด้วยอะมิโนซิลเลน (Amino silane) จะทำให้เกิดปฏิกิริยาหรือแรงการยึดเกาะตรงรอยต่อได้มากขึ้น เพราะซิลเลนไปปรับสภาพตรงบริเวณรอยต่อให้มีกลุ่มฟังก์ชันเอมีนเพิ่มขึ้น ทำให้การยึดเกาะดีขึ้น

โมเลกุลของไซเลนจะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างพอลิเมอร์และเซลลูโลส โครงสร้างของสารไซเลน เป็นดังรูปที่ 2.11 โดยที่ X คือ ตำแหน่งที่สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysable groups หรือ alkoxy groups) โดย X เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับน้ำเกิดเป็นสารไซลานอล (silanol) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของเซลลูโลสได้และสามารถทำปฏิกิริยาควบแน่นกันเองได้ (self condensation) และ YR คือ หมู่ที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาหรือสามารถเข้ากันได้กับพอลิเมอร์ (organofunctional group)



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของสารคู่ควบไซเลน [16]

ตารางที่ 2 แสดงตัวอย่างสารไซเลนที่ใช้กับพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ [16]

สารคู่ควบประเภทสารไซเลน	ชนิดของพลาสติกที่นำมาใช้
1. Vinyl-triethoxy silane	Unsaturated Polyesters, pololefine, PVC, PS, ABS, SAN and PMMA
2. Vinyl-tris (2-methoxy) silane	
3. 3-Metha acyloxypropyl trimethoxy silane	
4. 3-Aminopropyltriethoxysilane	Epoxy, Phenolic, and Melamine Resin, PA, PHR, PP, PE, PMMA and PC
5. 3-Glycidoxypropyltrimethoxysilane	Epoxy, Phenolic, and Melamine Resin, Unsaturated Polyesters, PUR, PC, PS, ABS, SAN, PA, PP, PE and Polysulfides
6. 3-Mercaptopropyltrimethoxysilane	Phenolic and Epoxy Resin, PVC, PS, EPPM, Polysulfones and Polysulfides

การทำหน้าที่ของสารคู่ควบไซเลน อาจแบ่งตามความหนาของชั้นผิวที่เกิด ณ บริเวณรอยต่อเฟส ได้ดังนี้ [4]

1. สารปรับปรุงพื้นผิว (Surface modifier) ในทางทฤษฎีสารไซเลนอาจสร้างชั้นผิวเพียงชั้นเดียว(monolayer) แต่ในทางปฏิบัติอาจสร้างได้หลายชั้น ซึ่งหน้าที่ของชั้นผิวเหล่านี้ คือ การปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีทางเคมีเท่านั้นโดยมิได้แสดงสมบัติทางกลของพวกมันออกมา

2. สารรองพื้น (Primer) โดยทั่วไปมีความหนาของฟิล์มประมาณ 0.1-10 ไมครอน และต้องมีสมบัติทางกล เช่น ความทนแรงดึง และความเหนียวเพียงพอที่จะสามารถรับแรงในทางกลได้เมื่อวัสดุเชิงประกอบได้รับความเค้น สารรองพื้นอาจเป็นชั้นฟิล์มของไซเลนที่ถูกไฮโดรไลซ์หรือเป็นพอลิเมอร์ที่ถูกปรับปรุงด้วยสารไซเลน โดยปกติแล้วมันถูกผสมกับตัวทำละลายก่อนนำมาทาบนพื้นผิววัสดุเพื่อให้เกิดการกระจายตัวที่สม่ำเสมอ

3. กาว (Adhesive) ทำหน้าที่เป็นพอลิเมอร์ซึ่งเป็นตัวประสานพื้นผิวของวัสดุที่ไม่สามารถเข้ากันได้ให้ติดกัน ไซเลนบริสุทธิ์ถูกนำมาใช้เป็นกาวน้อยมาก นิยมนำโมโนเมอร์ของไซเลนมาผสมกับสารเสริมแรงหรือพอลิเมอร์หลอมเหลวในการเตรียมวัสดุเชิงประกอบมากกว่า

กลไกการสร้างพันธะของสารไซเลน [4]

กลไกโดยทั่วไปของสารไซเลนที่มีหมู่ alkoxy ในการสร้างพันธะกับพื้นผิวของเส้นใยที่มีหมู่ไฮดรอกซิล เป็นดังนี้

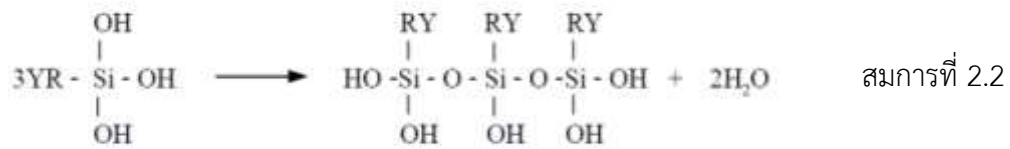
ขั้นตอนที่ 1 : การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับน้ำ



สมการที่ 2.1

จากสมการที่ 2.1 แสดงปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสารไซเลนกับน้ำ โดยทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งของหมู่ alkoxy (X หรือ OR) เกิดเป็นสารไซลานอลซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโครงสร้าง ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสอาจใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วย

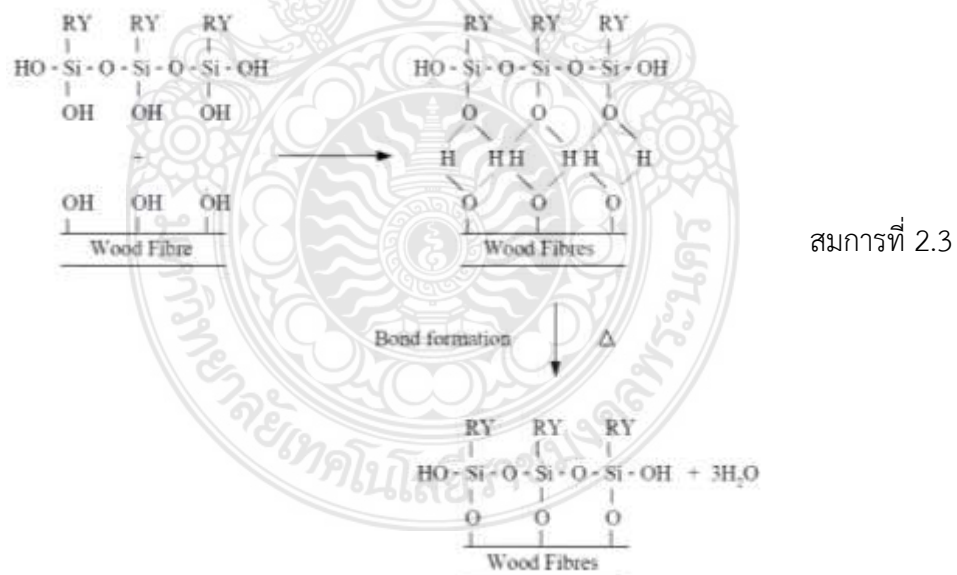
ขั้นตอนที่ 2 : การเกิดปฏิกิริยาควบแน่น



จากสมการที่ 2.2 แสดงปฏิกิริยาการควบแน่นกันเองของสารไซนอล ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาอาจใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วย โดยทั่วไปแล้วเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาตัวเดียวกับของกรณีการเกิดไฮโดรไลซิส

ขั้นตอนที่ 3 : การสร้างพันธะระหว่างสารไซลานอลและเส้นใยเซลลูโลส

จากสมการที่ 2.3 แสดงการสร้างพันธะระหว่างสารไซลานอลและเส้นใย โดยการสร้างพันธะเกิดขึ้นภายใต้สภาวะกรดหรือเบส เพื่อเร่งให้กลไกการสร้างพันธะเกิดได้เร็วขึ้น และให้ความร้อนในระหว่างการทำปฏิกิริยา นอกจากการทำปฏิกิริยาของไซลานอลกับหมู่ไฮดรอกซิลของพื้นผิวเส้นใยแล้วยังมีการสร้างพอลิไซลอกเซน (Polysiloxane) เกิดขึ้นด้วย



ขั้นตอนที่ 4 : การเกิดแรงกระทำระหว่างกันของพอลิเมอร์และสารไซเลน

ในขั้นตอนนี้พอลิเมอร์ที่ทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์สามารถเข้ากับเส้นใยธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารไซเลนได้มากขึ้น เนื่องจากการปรับปรุงผิวด้วยสารไซเลนมีผลทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยลดลง และสารไซเลน ณ ตำแหน่ง Y ซึ่งเป็นหมู่ที่สามารถทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์หรือมีความสามารถในการเข้ากันกับพอลิเมอร์ได้ ทำให้มีการยึดเกาะระหว่างเฟสที่ดีขึ้น

2.5.2.2 การปรับปรุงด้วยเบส (Alkali treatment) [23] การปรับปรุงด้วยเบสเป็นหนึ่งในกระบวนการปรับปรุงที่ดีที่สุดที่ใช้สำหรับเส้นใยธรรมชาติ เนื่องจากต่างทำให้ปริมาณของเซลลูโลสเพิ่มขึ้นโดยวิธีนี้มีการกำจัดพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะแสดงในสมการ 2.4



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

2.5.2.3 การปรับสภาพผิวด้วยกระบวนการอะซิไทเลชัน (Acetylation) เป็นอีกหนึ่งวิธีการดัดแปรผิวของเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งจะทำให้เส้นใยธรรมชาตินี้มีความไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) มากขึ้น โดยอาศัยการเติมกลุ่มฟังก์ชันของอะซิetyl (acetyl) ลงในสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งการดัดแปรผิวด้วยวิธีนี้จะไปเคลือบหมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่ในเส้นใยทำให้ลักษณะความชอบน้ำของเส้นใยธรรมชาติเปลี่ยนแปลงไป คือ ทำให้เกิดสมบัติความไม่ชอบน้ำมากขึ้น [16]

2.5.2.4 การปรับสภาพผิวด้วยสารคู่ควมาลีเอท (Maleated coupling) ปัจจุบันวิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการเพิ่มความแข็งแรงให้แก่เส้นใยธรรมชาติที่จะนำมาใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบ โดยการดัดแปรเส้นใยด้วยวิธีนี้จะแตกต่างจากวิธีอื่นๆ คือ มาลีอิก แอนไฮไดรด์ (Maleic Anhydride) จะเข้าไปทำปฏิกิริยาทั้งที่ผิวเส้นใยและผิวเมทริกซ์พอลิเมอร์ ซึ่งจะส่งผลให้สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบดีขึ้น [16]

2.5.2.5 การปรับสภาพผิวด้วยเอนไซม์ (Enzyme treatment) ปัจจุบันมีการใช้เทคโนโลยีเอนไซม์ในการดัดแปรผิวเส้นใยธรรมชาติมากขึ้น เนื่องจากเป็นวิธีการดัดแปรผิวที่เป็นมิตรกับธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยมีงานวิจัยศึกษาถึงผลของเอนไซม์ที่มีต่อเส้นใยอะบาคา พบว่าสมบัติความต้านแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยอะบาคา เป็นเส้นใยเสริมแรงจะมีเพิ่มขึ้น 5-45 เปอร์เซ็นต์ [16]

2.6 ทบทวนวรรณกรรม

อโไพพรรณ รัตนพันธ์ (2555) [19] ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกลของพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์ พบว่า ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อเติมผงอนุภาคนาโนเคลย์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น โดยค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดที่ผ่านการปรับปรุงผิว จะมีค่าสูงกว่าผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ในส่วนค่ายังสัมมอดูลัส ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทก และค่าความแข็ง มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเติมผงอนุภาคนาโนเคลย์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่เติมลงไป และความสามารถความเข้ากันได้ของผงอนุภาคนาโนเคลย์กับพลาสติก PLA และจากการศึกษาโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์ พบว่า ผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวนั้นมีการแตกตัวบนเนื้อพื้นพลาสติก PLA ที่ดีกว่าผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว และพบว่าผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวนั้น มีการเชื่อมยึดติดระหว่างเฟสของโมเลกุลได้ดีกว่าผงอนุภาคนาโนเคลย์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว

กนกพร อนันต์ชื่นสุข (2559) [20] การเตรียมวัสดุเชิงประกอบจาก PLA ผสมแกลบที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเลน มีสมบัติการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อผสมแกลบเพิ่มขึ้น ขณะที่สมบัติทางกล ได้แก่ ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อผสมแกลบเพิ่มขึ้น แต่ต่ำกว่าค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของ PLA บริสุทธิ์ สำหรับค่าความต้านทานแรงดัดโค้งสูงสุดเกิดจากวัสดุเชิงประกอบที่มีส่วนผสมของแกลบ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในขณะที่ค่าความต้านทานแรงกระแทกของ PLA ผสมแกลบมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของแกลบเพิ่มขึ้นและมีค่ามากกว่าค่าความต้านทานแรงกระแทกของ PLA

ปาเจรา พัฒนถาบุตร และคณะ (2559) [21] ได้ศึกษาการพัฒนาวัสดุเชิงประกอบจาก PLA ผสมเส้นใยฝ้ายย้อมสีธรรมชาติ โดยใช้สีธรรมชาติที่สกัดจากแก่นฝาง และมีการใช้สารคู่ควบโซเลน 3-Aminopropyl triethoxysilane ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล สมบัติทางความร้อนและสมบัติทางสัณฐานวิทยาของชิ้นงานที่ปริมาณเส้นใย 3, 5 และ 10% โดยน้ำหนัก จากงานวิจัยพบว่ามีความคล้ายคลึง รวมถึงค่าความสามารถในการต้านทานแรงกระแทกและค่าความแข็งที่ผิวหน้าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น

Jacob และคณะ [22] ศึกษาถึงสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเส้นใย ป่านศรนารายณ์ โดยมีตัวแปรต่างๆ คือปริมาณเส้นใย ความยาวของเส้นใย การทำแอลคาไลเซชัน ให้กับเส้นใยที่ความเข้มข้นต่างๆ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า การเสริมแรงด้วยเส้นใยป่านศรนารายณ์ สามารถเพิ่มค่าความต้านแรงดึง (tensile strength) ค่าความต้านแรงฉีกขาด (tear strength) และค่ามอดูลัสให้แก่พอลิเมอร์ แปรผันตรงตามปริมาณเส้นใยและความยาวของเส้นใย และยังพบอีกด้วยว่าการทำแอลคาไลเซชันเส้นใยที่ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 4 เปอร์เซ็นต์สามารถเพิ่มค่าความต้านแรงดึง ค่าความต้านการฉีกขาด และค่ามอดูลัสให้แก่วัสดุเชิงประกอบพอลิเมอร์ได้มากที่สุด



บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 เม็ดพลาสติกพอลิแลคติกแอซิด (Poly(lactic acid), PLA) เกรด 4043D สำหรับผลิตฟิล์มแบบจัดเรียงตัว 2 ทิศทาง (Biaxially oriented films) จากบริษัท Nature Works LLC (USA) พอลิแลคติกแอซิดมีลักษณะเป็นเม็ดสีขาวใส ดังแสดงในรูปที่ 3.1



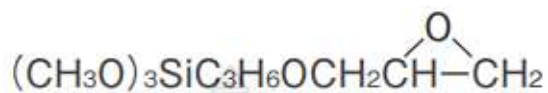
รูปที่ 3.1 เม็ดพลาสติกพอลิแลคติกแอซิด

3.1.2 เส้นใยป่านครนารายณ์ (Sisal) จากสหกรณ์หุบกะพง จังหวัดเพชรบุรี ใช้เส้นใยป่านครนารายณ์เพื่อช่วยในการปรับปรุงสมบัติของ PLA โดยลักษณะของเส้นใยจะแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ลักษณะเส้นใยป่านครนารายณ์

3.1.3 สารอีพอกซีไซเลน (Epoxy silane) จากบริษัท Shin-Etsu Silicones (Thailand) Limited ถูกใช้ในการปรับปรุงผิวเส้นใยป่านศรนารายณ์ โดยมีชื่อทางการค้า คือ KBM403 และมีชื่อทางเคมี คือ 3-Glycidoxypropyl trimethoxysilane และมีโครงสร้างทางเคมีดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 สูตรโครงสร้างทางเคมีของสารอีพอกซีไซเลน KBM403 ของบริษัท Shin-Etsu Silicones จำกัด

3.1.4 น้ำกลั่น จากบริษัท ซี.เอส. ยูเนี่ยน กรุ๊ป จำกัด ถูกใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับสารอีพอกซีไซเลนและทำความสะอาดเส้นใยป่านศรนารายณ์ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ลักษณะของน้ำกลั่น

3.1.5 กรดอะซิติก (Acetic acid) จากบริษัท แกมมาโก้ (ประเทศไทย) จำกัด จังหวัดนนทบุรี ถูกใช้ในการทำหน้าที่ปรับค่า pH ของน้ำกลั่น เพื่อช่วยทำให้สารอีพอกซีไซเลนแตกตัวเป็นซิลานอลง่ายขึ้น การเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างไซเลนกับPLA



รูปที่ 3.5 ลักษณะของกรดอะซิติก

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 ตู้อบลมร้อนแบบมีพัดลม (Drying oven with force) รุ่น FD56 ของบริษัท Binder ประเทศเยอรมัน ใช้ในการอบไล่ความชื้นให้กับเส้นใยปานครนารายณ์ และ PLA



รูปที่ 3.6 ตู้อบลมร้อนแบบมีพัดลม รุ่น FD56 ของบริษัท Binder

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



รูปที่ 3.7 เครื่องอัดขึ้นรูปรุ่น QC-6Q1T ของบริษัท Comotech

3.2.3 เครื่องมือทำรอยบากชิ้นงาน รุ่น 5IK60A-CF ของบริษัท Luyang ประเทศไต้หวัน ใช้ทำรอยบากสำหรับชิ้นงานทดสอบแรงกระแทก



รูปที่ 3.8 เครื่องมือทำรอยบากชิ้นงาน รุ่น 5IK60A-CF ของบริษัท Luyang

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



รูปที่ 3.9 เครื่องมือทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทก รุ่น GT-7045-HML ของบริษัท Gotech Testing Machines

3.2.5 เครื่องทดสอบแรงดึง รุ่น AG-X บริษัท SHIMADZU ประเทศญี่ปุ่น ใช้ทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึง และแรงดัด



รูปที่ 3.10 เครื่องทดสอบแรงดึง รุ่น AG-X ของบริษัท SHIMADZU

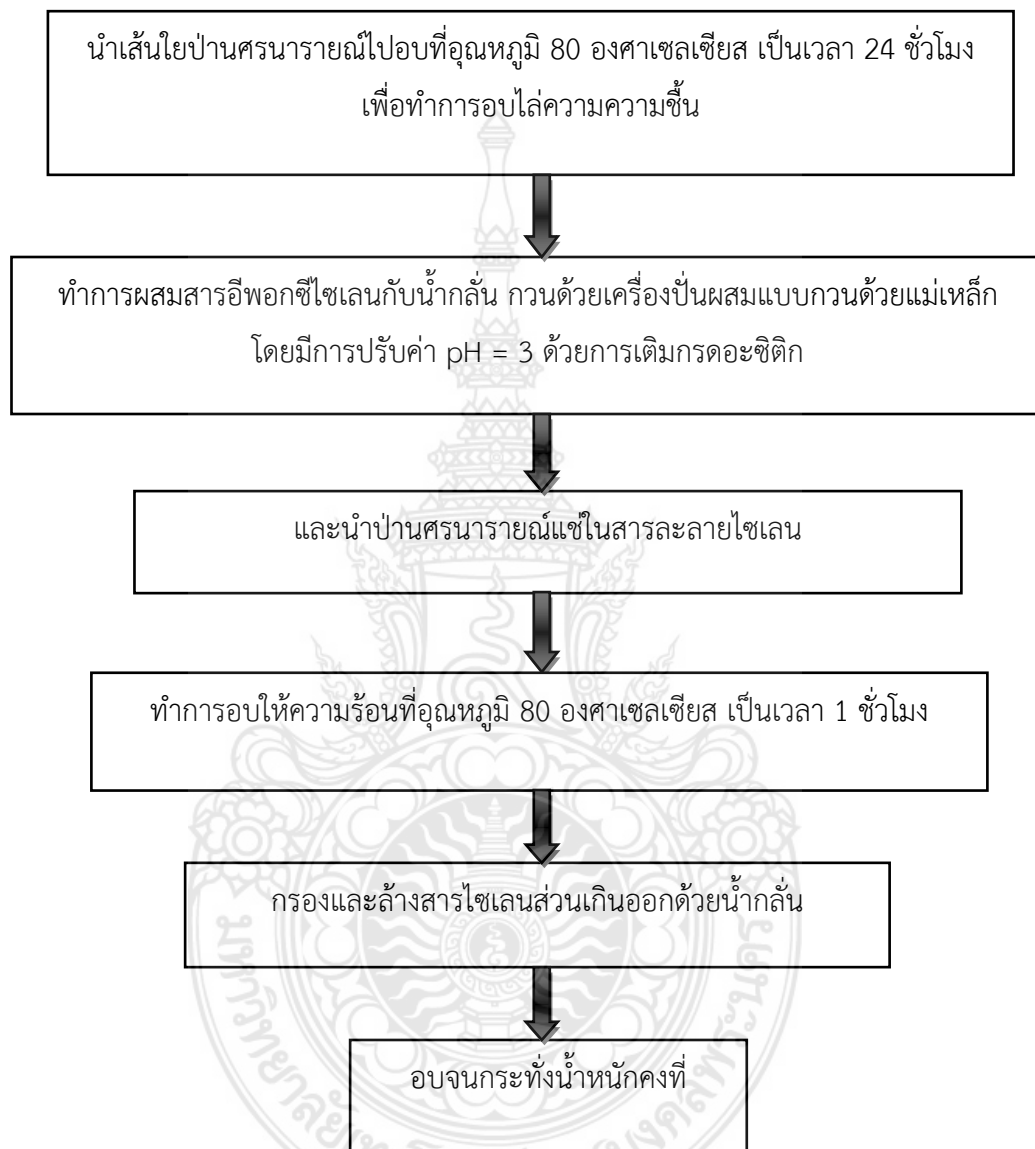
3.2.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ใช้วิเคราะห์สัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบ PLA และเส้นใยป่านศรนารายณ์



รูปที่ 3.11 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น JSM-6610LV ของบริษัท JEOL

3.3 แผนการดำเนินการทดลอง

3.3.1 ขั้นตอนการปรับปรุงผิวเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยสารอีพอกซีไซเลน



รูปที่ 3.12 แผนผังแสดงการปรับปรุงผิวเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยสารอีพอกซีไซเลน

3.3.2 การศึกษาผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยสารไซเลนและผลของทิศทางการจัดเรียงตัวเส้นใยที่มีผลต่อสมบัติ PLA



รูปที่ 3.13 แผนผังการศึกษาการปรับปรุงผิวเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยสารไซเลนและผลของทิศทางการจัดเรียงตัวเส้นใยที่มีผลต่อสมบัติทางกลของพอลิแลกติกแอซิด

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 วิธีการปรับปรุงผิวเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยสารอีพอกซีไซเลน

ขั้นตอนการปรับปรุงผิวเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยอีพอกซีไซเลนรายละเอียดดังนี้

1. นำเส้นใยป่านศรนารายณ์มาทำการกำจัดความชื้น โดยนำเส้นใยป่านศรนารายณ์ไปอบที่ตู้อบลมร้อนแบบมีพัดลม รุ่น FD56 บริษัท Binder ประเทศเยอรมัน ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง หรือกระทั่งจนน้ำหนักคงที่
2. ชั่งน้ำกลั่น 100 ml และทำการเติมกรดอะซิติกแอซิด จากนั้นทำการกวนผสมเพื่อปรับค่า pH ให้เท่ากับ 3
3. ขั้นตอนการเตรียมสารละลายอีพอกซีไซเลนความเข้มข้น 0.5%wt น้ำ 99.5 กรัม สารไซเลน 0.5 กรัม ทำการผสมน้ำและสารไซเลน กวนด้วยแท่งแม่เหล็ก (Magnetic stirrer) เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้ให้น้ำและสารไซเลนทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส



รูปที่ 3.14 การเตรียมการผสมสารละลายอีพอกซีไซเลน



รูปที่ 3.15 การกวนสารละลายด้วยเครื่องกวนผสมด้วยแม่เหล็ก



รูปที่ 3.16 นำเส้นใยแช่ลงในสารละลายที่ได้

4. นำเส้นใยที่ทำการอบไล่ความชื้นแล้วปริมาณ 50 กรัม มาแช่ลงในสารละลายไซเลน เพื่อทำการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารอีพอกซีไซเลน 1.0 %โดยน้ำหนักของเส้นใย
5. นำของผสมไปอบที่ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการควบแน่นและการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเส้นใยและสารไซเลน
6. นำเส้นใยที่ผ่านการอบมาล้างสารไซเลนส่วนเกินออกจากผิวเส้นใยธรรมชาติด้วยน้ำกลั่น
7. อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่

3.4.2 การศึกษาหาผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยสารไซเลนและผลของทิศทางการรับแรงที่มีผลต่อสมบัติทางกลของ PLA

3.4.2.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบ PLA และเส้นใยป่านศรนารายณ์

1. นำเม็ดพลาสติก PLA ที่ทำการอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ปริมาณ 35 กรัม เทลงบนแม่พิมพ์ ในรูปที่ 3.17 ที่มีขนาดของแม่พิมพ์ คือ $130 \times 130 \times 1$ มิลลิเมตร³ โดยอุณหภูมิของแม่พิมพ์ด้านบน และแม่พิมพ์ด้านล่าง คือ 185 องศาเซลเซียส ความดันที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปคือ 2,000 psi เวลาที่ใช้ในการอุ่นความร้อน (Pre-heat) 5 นาที เวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป 5 นาที ชิ้นงานที่ได้ดังรูปที่ 3.18
2. นำแผ่น PLA ที่ผ่านการขึ้นรูปในข้อที่ 1 จำนวน 2 แผ่น มาทำการขึ้นรูปประกบบนล่างกับเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่เตรียมไว้ในรูปที่ 3.19 โดยใช้อุณหภูมิของแม่พิมพ์บนและล่าง 185 องศาเซลเซียส ความดันที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป 1,200 psi เวลาที่ใช้ในการอุ่นความร้อน

12 นาที และเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป 12 นาที โดยปริมาณเส้นใยบนแผ่น PLA มีปริมาณเท่ากับ 0.342 %wt ลักษณะชิ้นงานสำเร็จที่ได้มีลักษณะ ดังรูปที่ 3.20 หลังจากนั้นนำแผ่นชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบมาทำการตัดเพื่อเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึง แรงดัด และแรงกระแทก มีลักษณะของชิ้นงานทดสอบเป็นดังรูปที่ 3.21 3.22 และ 3.23 ตามลำดับ



รูปที่ 3.17 เทเม็ดพลาสติก PLA ลงบนแม่พิมพ์



รูปที่ 3.18 แผ่น PLA



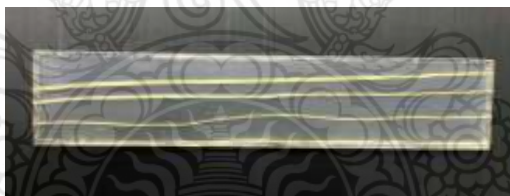
รูปที่ 3.19 จัดเรียงตัวเส้นใยปานศรนารายณ์



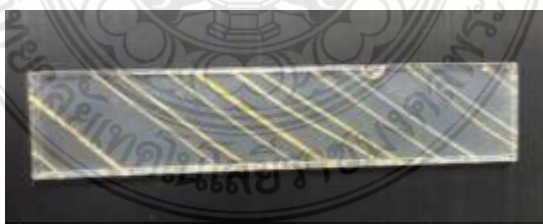
รูปที่ 3.20 แผ่น PLA เสริมด้วยเส้นใยป่านศรนารายณ์



รูปที่ 3.21 ชิ้นงานทดสอบแรงดึง



รูปที่ 3.22 ชิ้นงานทดสอบแรงดัด



รูปที่ 3.23 ชิ้นงานทดสอบแรงกระแทก

3.4.2.2 ขั้นตอนการตรวจสอบสมบัติทางกล และสัมพันธวิทยา

1. การทดสอบสมบัติทางกล

- ทดสอบความต้านทานแรงดึงโดยใช้เครื่อง Universal testing machine (UTM) รุ่น AG-X Plus โดยใช้ของบริษัท SHIMADZU Load cell สูงสุด 5 kN ทดสอบเพื่อวัดค่ามอดุลัสความต้านทานแรงดึง ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด โดยทำการทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D638 ชิ้นงานทดสอบมีรูปทรงดัมเบล แบบ Type IV ระยะเวลาความยาวเกจ 25 มิลลิเมตร ความเร็วในการเคลื่อนที่หัวจับยึดชิ้นงาน 5 มิลลิเมตร/นาที ในการทดสอบความต้านทานแรงดึงในแต่ละสูตรใช้ชิ้นงานทดสอบ จำนวนทั้งหมด 7 ชิ้นงานทดสอบ

- ทดสอบความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength) โดยใช้เครื่องมือทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact tester) ของบริษัท Gotech Testing Machines รุ่น GT7045-HML ใช้ทดสอบความต้านทานแรงกระแทกของชิ้นงาน โดยการนำชิ้นงานมาทำรอยบากด้วยเครื่องทำรอยบากชิ้นงาน รุ่น 5IK60A-CF ของบริษัท Luyang หลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ผ่านการทำรอยบากแล้วมาทำการทดสอบความต้านทานแรงกระแทกด้วยวิธีการทดสอบ แบบ Izod อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D256 ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทก รุ่น GT7045-HML ของบริษัท Gotech Testing Machines หลังจากนั้นทำการรายงานผลความต้านทานแรงกระแทก โดยการรายงานเป็นค่าพลังงานที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกหักต่อพื้นที่หน้าตัดบริเวณรอยบากในการทดสอบ จำนวนทั้งหมด 5 ชิ้นงานทดสอบ

- ทดสอบแรงดัด (Bending Test) โดยใช้เครื่อง Universal testing machine (UTM) รุ่น AG-X Plus โดยใช้ของบริษัท SHIMADZU Load cell สูงสุด 5 kN ทดสอบเพื่อวัดค่ามอดุลัสแรงดัด (Flexural modulus) ค่าความต้านทานแรงดัดสูงสุด (Flexural strength) โดยทำการทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D790 (1999) ระยะเวลารองรับ 40 มิลลิเมตร ความเร็วในการกดชิ้นงาน 3 มิลลิเมตร/นาที ในการทดสอบแรงดัดในแต่ละสูตรใช้ชิ้นงานทดสอบจำนวนทั้งหมด 5 ชิ้นงานทดสอบ

2. การทดสอบสัณฐานวิทยา

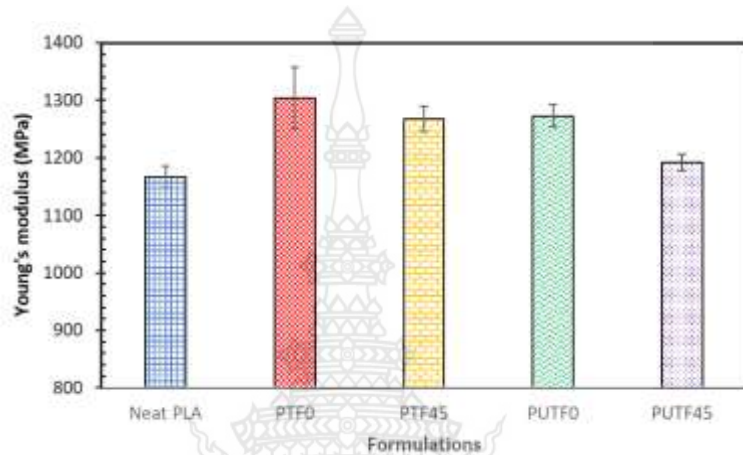
- การตรวจสอบการยึดเกาะระหว่างเฟส ทำการวิเคราะห์พฤติกรรมการแตกหัก และความเข้ากันได้ของ PLA และเส้นใยปานศรนารายณ์ โดยทำการวิเคราะห์จากรอยแตกหักของชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบแรงกระแทก และทำการตรวจสอบการยึดเกาะระหว่างเฟสด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) ของบริษัท JEOL รุ่น JSM-6610LV ประเทศสหรัฐอเมริกา มีความต่างศักย์ 15 kv ณ กำลังขยาย 100 เท่า



บทที่ 4

ผลการทดลอง และอภิปรายผล

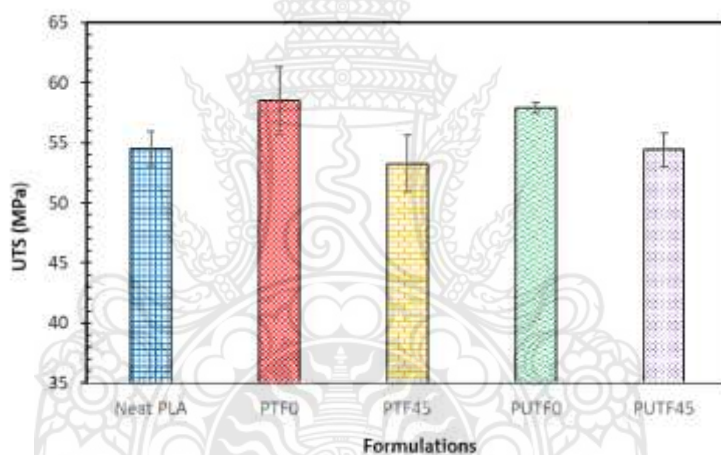
4.1 ผลการทดสอบแรงดึง



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่ามอดูลัสของยังของพอลิแลกติกแอซิดและวัสดุเชิงประกอบพอลิแลกติกแอซิดที่เสริมแรงด้วยเส้นใยปานศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวและไม่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลน ที่มีการจัดเรียงตัวเส้นใยในทิศทาง 0 และ 45 องศา

รูปที่ 4.1 เป็นกราฟแสดงค่ามอดูลัสของยังของพอลิแลกติกแอซิดและวัสดุเชิงประกอบพอลิแลกติกแอซิดที่เสริมแรงด้วยเส้นใยปานศรนารายณ์ โดยที่ PTF0 และ PTF45 คือ วัสดุเชิงประกอบพอลิแลกติกแอซิดที่เสริมแรงด้วยเส้นใยปานศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลน จัดเรียงตัวในทิศทาง 0 และ 45 องศา ตามลำดับ PUTF0 และ PUTF45 คือ วัสดุเชิงประกอบพอลิแลกติกแอซิดที่เสริมแรงด้วยเส้นใยปานศรนารายณ์ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว จัดเรียงตัวในทิศทาง 0 และ 45 องศา ตามลำดับ จากผลการทดลอง พบว่า การเติมเส้นใยปานศรนารายณ์มีแนวโน้มทำให้ค่ามอดูลัสของยังมีค่าสูงขึ้นกว่ากรณีที่ไม่เติมเส้นใยปานศรนารายณ์ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าค่ามอดูลัสของเส้นใยปานศรนารายณ์มีค่าสูงกว่าพอลิแลกติกแอซิด [2] จึงมีผลทำให้เมื่อเติมเส้นใยลงไปจึงมีส่วนช่วยทำให้วัสดุมีความคงรูปเพิ่มมากขึ้น สำหรับผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารไซเลน พบว่า การปรับปรุงผิวเส้นใยมีส่วนช่วยทำให้ค่ามอดูลัสมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยสามารถสังเกตเห็นผลได้ชัดเจนในกรณีการจัดเรียงตัวเส้นใยที่ 45 องศา ทั้งนี้เพราะสารอีพอกซีไซเลนเป็นสารคู่ควบจึงทำหน้าที่เชื่อมโยงระหว่างพอลิแลกติกแอซิดและเส้นใยธรรมชาติ โดยวงแหวนออกซิเร็น

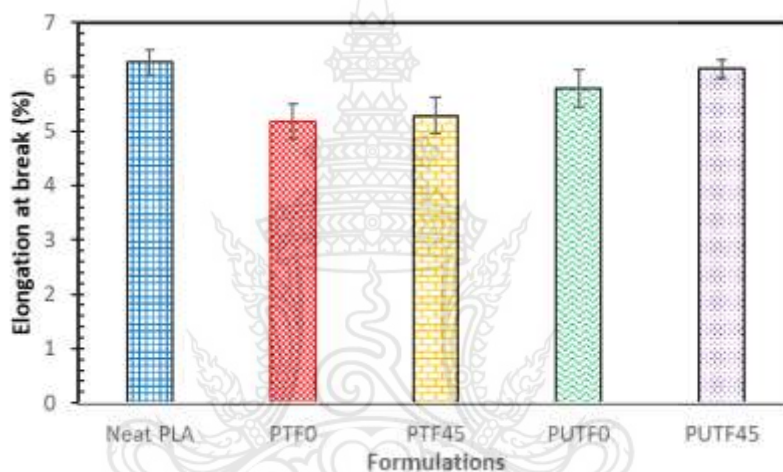
(Oxirane ring) ในสารอีพอกซีไซเลนสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของพอลิแลกติกแอซิด [24] ในขณะที่หมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยธรรมชาติและสารไซเลนสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างกันได้ สำหรับการปรับปรุงผิวสามารถสังเกตเห็นผลได้ชัดเจนในกรณีการจัดเรียงตัวเส้นใยที่ 45 องศา ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการจัดเรียงตัวเส้นใยในทิศทาง 45 องศา ผลของการยึดเกาะระหว่างเฟสที่ไม่แข็งแรงจะมีผลค่อนข้างมากกว่ากรณี 0 องศา เนื่องจากทิศทางของแรงกระทำจะกระทำกับรอยต่อระหว่างเฟสในทิศทางตั้งฉาก จึงทำให้แรงกระทำมีประสิทธิภาพในการแยกเฟสของพอลิเมอร์และเส้นใยได้มากกว่ากรณี 0 องศา สำหรับผลของทิศทางการจัดเรียงตัวเส้นใย พบว่า การจัดเรียงตัวเส้นใยในทิศทาง 0 องศา มีค่ามอดุลัสสูงกว่ากรณี 45 องศา โดยสังเกตเห็นผลได้ชัดเจนในกรณีเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว เพราะการจัดเรียงตัวของเส้นใยที่ 0 องศา มีทิศทางขนานกับทิศทางของแรง จึงส่งผลทำให้เส้นใยรับแรงได้เต็มประสิทธิภาพมากกว่ากรณีการจัดเรียงตัวเส้นใยที่ 45 องศา



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของพอลิแลกติกแอซิดและวัสดุเชิงประกอบที่พอลิแลกติกแอซิดที่เสริมแรงด้วยเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวและไม่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลน ที่มีการจัดเรียงตัวเส้นใยในทิศทาง 0 และ 45 องศา

จากรูปที่ 4.2 แสดงผลของการเสริมแรงด้วยเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่มีการปรับปรุงผิวและไม่ปรับปรุงผิวที่มีต่อค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของพอลิแลกติกแอซิด และผลของทิศทางการจัดเรียงตัวของเส้นใย จากผลการทดลองพบว่า การเสริมแรงด้วยเส้นใยมีผลในการปรับปรุงค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด เฉพาะกรณีการจัดเรียงตัวเส้นใยที่ 0 องศา ทั้งกรณีเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิวและไม่ผ่านการปรับปรุงผิว สำหรับผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยป่านศรนารายณ์ด้วยสารอีพอกซีไซเลน พบว่า ไม่สามารถสังเกตเห็นผลของการปรับปรุงผิวที่มีต่อค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด และในส่วนผลของ

ทิศทางการจัดเรียงของเส้นใย พบว่า กรณีการจัดเรียงเส้นใยในทิศทาง 0 องศา ทั้งกรณีเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิวและไม่ผ่านการปรับปรุงผิวมีส่วนช่วยทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความต้านทานแรงดึงสูงสุดสูงกว่ากรณีพอลิแลกติกแอซิด ทั้งนี้มีสาเหตุเช่นเดียวกับกรณีค่ามอดูลัส คือ การจัดเรียงเส้นใยในทิศทาง 0 องศา แรงกระทำมีทิศทางขนานกับการจัดเรียงตัวเส้นใยจึงทำให้เส้นใยช่วยรับแรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนการจัดเรียงตัวเส้นใยที่ 45 องศา มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดต่ำกว่ากรณีพอลิแลกติกแอซิด ซึ่งเป็นผลมาจากการจัดเรียงตัวเส้นใยในทิศทาง 45 องศา การส่งผ่านแรงกระทำไปยังเส้นใยเกิดได้อย่างไม่มีประสิทธิภาพ

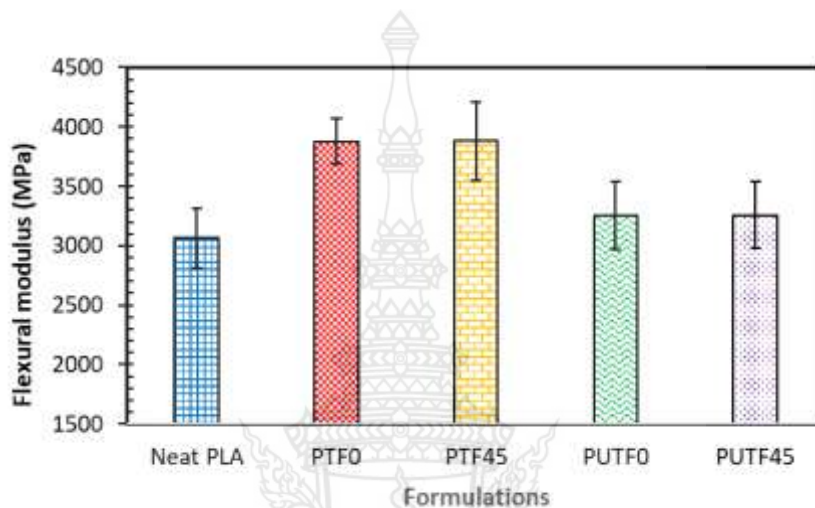


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลของการเสริมแรงด้วยเส้นใยปานครนารายณ์ การปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารอีพอกซีไซเลน และการจัดเรียงตัวเส้นใยที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาดของพอลิแลกติกแอซิดและวัสดุเชิงประกอบ

จากรูปที่ 4.3 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาดของพอลิแลกติกแอซิด และวัสดุเชิงประกอบ พบว่า พอลิแลกติกแอซิดมีค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาดสูงกว่ากรณีวัสดุเชิงประกอบ เพราะการเติมเส้นใยเข้าไปในพอลิแลกติกแอซิดมีผลทำให้วัสดุมีความคงรูปร่างเพิ่มมากขึ้น โดยพิจารณาจากผลในรูปที่ 4.1 วัสดุเชิงประกอบที่มีค่าการคงรูปที่สูงจะส่งผลทำให้การยึดตัวเกิดได้ยากมากขึ้น ผลของการปรับปรุงผิวเส้นใย พบว่า การปรับปรุงผิวเส้นใยมีผลทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาดของกรณีวัสดุเชิงประกอบที่เส้นใยผ่านการปรับปรุงผิวมีค่าต่ำกว่ากรณีเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการยึดเกาะระหว่างเฟสของเมทริกซ์และเส้นใยเกิดการยึดเกาะได้ดี

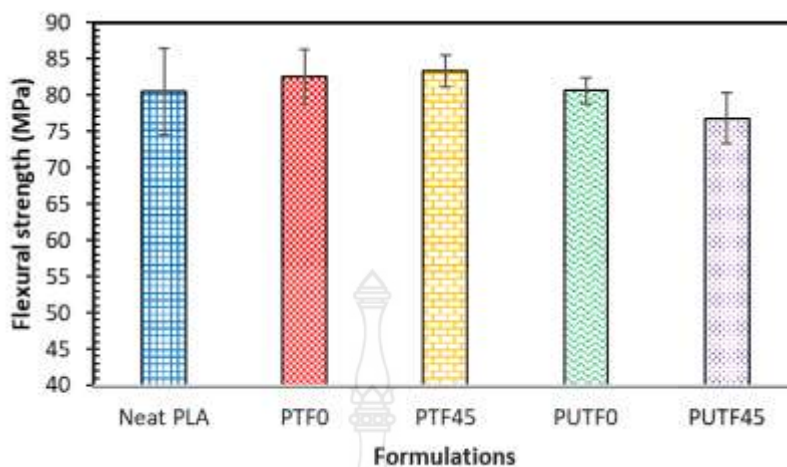
จึงมีผลทำให้การยึดตัวของวัสดุเมื่อได้รับแรงกระทำเกิดได้ยากขึ้น ส่วนผลของทิศทางการจัดเรียงตัวเส้นใยไม่สามารถสังเกตเห็นผลของทิศทางการจัดเรียงตัวเส้นใยที่มีต่อค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาด

4.2 ผลการทดสอบแรงดัด



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่ามอดุลัสแรงดัดของพอลิแลกติกแอซิดและวัสดุเชิงประกอบที่ผ่านการปรับปรุงผิวและไม่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลน ที่มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยในทิศทางที่ 0 และ 45 องศา

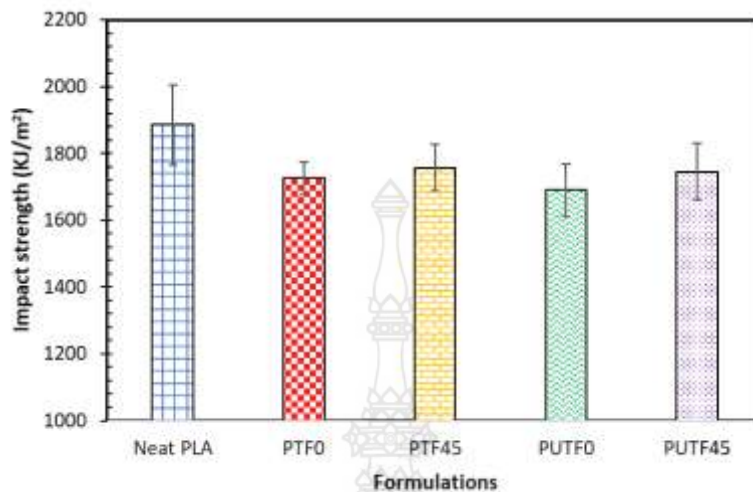
จากรูปที่ 4.4 แสดงผลของการเติมเส้นใยปานครนารายณ์ การปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารอีพอกซีไซเลน และผลของทิศทางการจัดเรียงตัวเส้นใยที่มีต่อค่ามอดุลัสแรงดัดของพอลิแลกติกแอซิดและวัสดุเชิงประกอบ จากผลการทดลองพบว่า ค่ามอดุลัสแรงดัดมีแนวโน้มใกล้เคียงกับค่ามอดุลัสของยัง คือ การเติมเส้นใยมีส่วนช่วยทำให้ค่ามอดุลัสแรงดัดเพิ่มสูงขึ้นโดยสามารถเห็นผลได้ชัดเจนในกรณีเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิว การปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารอีพอกซีไซเลนมีผลทำให้ค่ามอดุลัสแรงดัดเพิ่มสูงกว่ากรณีเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ทั้งนี้เพราะการยึดเกาะระหว่างเฟสที่ดีเนื่องจากสารอีพอกซีไซเลนทำหน้าที่เชื่อมโยงระหว่างเฟส จึงช่วยทำให้การส่งผ่านแรงเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนผลของทิศทางการจัดเรียงตัวเส้นใยไม่สามารถสังเกตเห็นผลความแตกต่างของค่ามอดุลัสแรงดัด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากทิศทางการจัดเรียงตัวของเส้นใยทั้งทิศทาง 0 และ 45 องศาไม่มีทิศทางใดที่ขนานกับแรงกระทำโดยตรงจึงทำให้การส่งผ่านแรงไปยังเส้นใยไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดัดของพอลิแลกติกแอซิดและวัสดุเชิงประกอบ ที่ผ่านการปรับปรุงผิวและไม่ผ่านการปรับปรุงผิวที่มีการจัดเรียงตัว 0 และ 45 องศา

จากรูปที่ 4.5 แสดงค่าความต้านทานแรงดัดของพอลิแลกติกแอซิด และวัสดุเชิงประกอบ จากผลการทดลองพบว่า ผลของการเติมเส้นใยไม่ได้มีผลทำให้ค่าความต้านทานแรงดัดของวัสดุเชิงประกอบแตกต่างจากพอลิแลกติกแอซิดมากนัก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเส้นใยมีทิศทางการจัดเรียงตัวที่ไม่ขนานกับแรงที่มากระทำ จึงส่งผลทำให้การส่งผ่านไปยังเส้นใยไม่มีประสิทธิภาพเท่ากับกรณีการทดสอบแรงดึง ประกอบกับปริมาณเส้นใยในวัสดุเชิงประกอบมีปริมาณเพียงเล็กน้อย คือ 0.342 % โดยน้ำหนัก ส่วนผลของการปรับปรุงผิวเส้นใย พบว่า การปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารอีพอกซีไซเลนมีส่วนช่วยในการปรับปรุงค่าความต้านทานแรงดัด โดยสังเกตเห็นผลได้ชัดเจนในกรณีการจัดเรียงตัวเส้นใยทิศทาง 45 องศา สำหรับผลของทิศทางการจัดเรียงตัวสามารถสังเกตเห็นผลได้เฉพาะกรณีเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว โดยพบว่าการจัดเรียงตัวของเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวทิศทาง 0 องศา มีค่าความต้านทานแรงดัดสูงกว่ากรณีเส้นใยที่จัดเรียงตัวในทิศทาง 45 เล็กน้อย

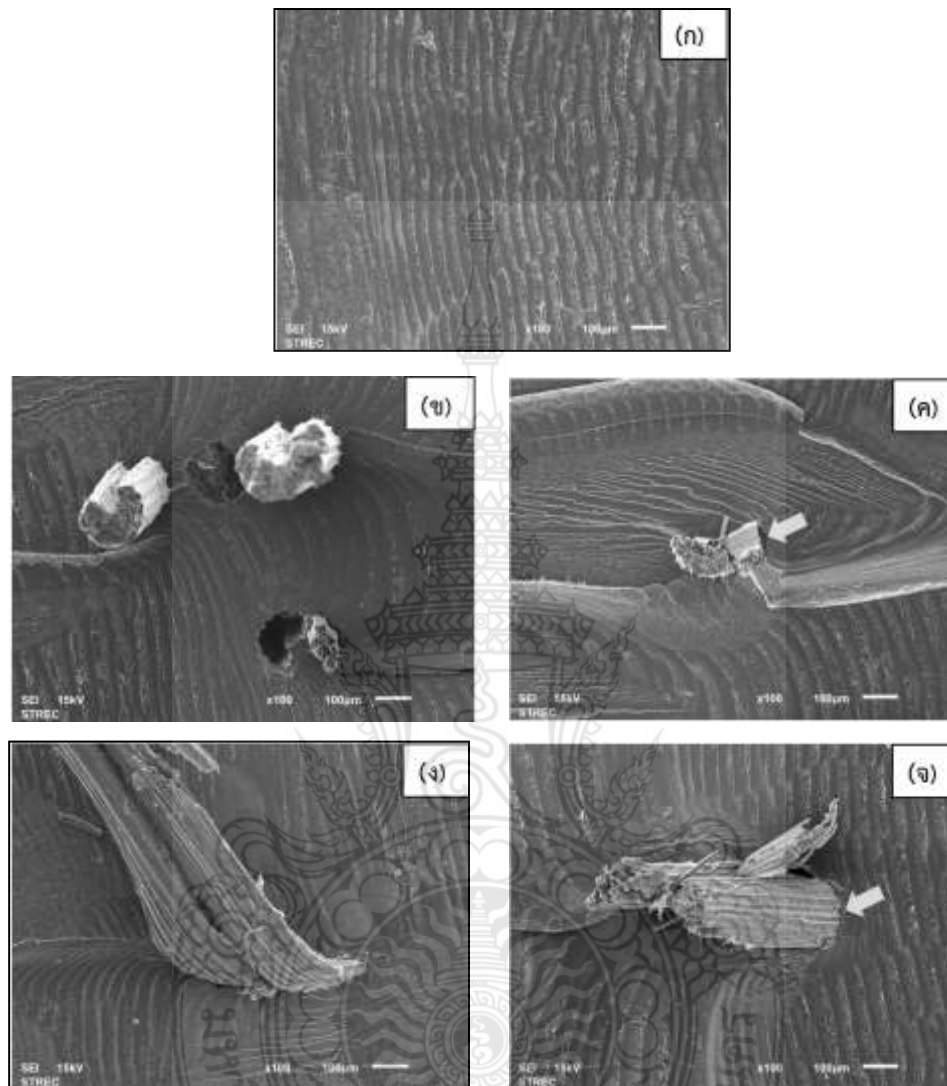
4.3 ผลการทดสอบแรงกระแทก



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงกระแทกของพอลิแล็กติกแอซิดและวัสดุเชิงประกอบที่ผ่านการปรับปรุงผิวและไม่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลนที่มีทิศทางการจัดเรียงตัวเส้นใยที่ 0 และ 45 องศา

จาก**รูปที่ 4.6** แสดงผลของการเติมเส้นใยปานศรณารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวสารอีพอกซีไซเลนและไม่ผ่านการปรับปรุงผิวที่มีต่อค่าความต้านทานแรงกระแทก และผลของทิศทางการจัดเรียงตัวของเส้นใย จากการทดลองพบว่า การเติมเส้นใยปานศรณารายณ์มีผลทำให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกของพอลิแล็กติกแอซิดมีค่าต่ำลงในทุกกรณี ทั้งนี้เป็นเพราะการเติมเส้นใยลงในพอลิเมอร์มีผลทำให้วัสดุมีความคงรูปเพิ่มมากขึ้น ความยืดหยุ่นลดลงส่งผลทำให้การดูดซับแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลง ผลที่ได้นี้มีความสอดคล้องกับผลของค่ามอดุลัสของยัง และค่ามอดุลัสแรงดัด สำหรับผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารอีพอกซีไซเลน พบว่า ค่าความต้านทานแรงกระแทกของกรณีวัสดุเชิงประกอบที่เติมเส้นใยปรับปรุงผิว และไม่ปรับปรุงผิวมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ส่วนผลทิศทางการจัดเรียงตัวเส้นใย พบว่า ค่าความต้านทานแรงกระแทกของกรณีการจัดเรียงตัวเส้นใยกรณี 45 องศา มีค่ามากกว่ากรณีการจัดเรียงตัวเส้นใย 0 องศา เล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากทิศทางการจัดเรียงตัวเส้นใยในทิศทาง 45 องศา เมื่อได้รับแรงกระแทกสามารถส่งผลแรงกระทำไปยังเส้นใยได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่ากรณีการจัดเรียงตัวเส้นใยไปในทิศทาง 0 องศา ซึ่งเส้นใยมีทิศทางการจัดเรียงตัวตั้งฉากกับทิศทางแรงกระทำ

4.4 สัณฐานวิทยา



รูปที่ 4.7 ภาพลักษณะทางสัณฐานวิทยาของรอยแตกหักของชิ้นงานพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต และวัสดุเชิงประกอบ ที่ผ่านการทดสอบแรงกระแทกโดยการตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

- (ก) พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต
- (ข) และ (ค) วัสดุเชิงประกอบที่มีเส้นใยจัดเรียงตัวทิศทาง 0 องศา สำหรับกรณีเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิว และไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ตามลำดับ
- (ง) และ (จ) วัสดุเชิงประกอบที่มีเส้นใยจัดเรียงตัวทิศทาง 45 องศา สำหรับกรณีเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิว และไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ตามลำดับ

รูปที่ 4.7 แสดงรอยแตกหักของพอลิแลกติกแอซิด และวัสดุเชิงประกอบจากการทดสอบแรงกระแทก จากการสังเกตลักษณะพื้นผิวรอยแตกหักมีพฤติกรรมการแตกหักแบบเปราะทั้งกรณีพอลิแลกติกแอซิด และวัสดุเชิงประกอบ เนื่องจากมีลักษณะพื้นผิวรอยแตกหักที่ค่อนข้างเรียบ และเมื่อพิจารณาผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารอีพอกซีไซเลน พบว่า กรณีเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารไซเลน ดังรูปที่ 4.7 (ค) และ 4.7 (จ) พบช่องว่างบริเวณรอยต่อเฟสมากกว่ากรณีเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิว ดังรูปที่ 4.7 (ข) และ 4.7 (ง) ซึ่งบ่งบอกว่าสารไซเลนสามารถช่วยเพิ่มการยึดเกาะระหว่างเฟสให้ดีขึ้น



บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของการเติมเส้นใยป่านศรนารายณ์ ผลของการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไซเลน และผลของทิศทางการจัดเรียงตัวของเส้นใยป่านศรนารายณ์ในทิศทาง 0 และ 45 องศา ที่มีต่อสมบัติทางกลของพอลิแล็กติกแอซิด จากผลการทดลองสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 ผลการทดสอบแรงดึง

- ผลของการเติมเส้นใยมีผลทำให้ค่ามอดุลัสของยัง และค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีการจัดเรียงตัวของเส้นใยในทิศทาง 0 องศา และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีแนวโน้มลดลง
- ผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารอีพอกซีไซเลนมีผลทำให้ค่ามอดุลัสของยังมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น แต่ไม่สามารถเห็นผลของการปรับปรุงผิวที่มีต่อค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด และวัสดุเชิงประกอบที่ผ่านการปรับปรุงผิวมีผลทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีแนวโน้มลดลงกว่าวัสดุเชิงประกอบที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว
- ผลของการจัดเรียงตัวของเส้นใย การจัดเรียงตัวของเส้นใยในทิศทาง 0 องศา มีค่ามอดุลัสของยัง และค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นกว่ากรณีการจัดเรียงตัวของเส้นใยในทิศทาง 45 องศา แต่ไม่สามารถสังเกตเห็นผลของทิศทางการจัดเรียงตัวของเส้นใยที่มีต่อค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด
- สำหรับการนำไปใช้งานที่ต้องรับแรงดึง สูตรที่เหมาะสม คือ วัสดุเชิงประกอบที่ผ่านการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารไซเลนที่มีการจัดเรียงตัวที่ 0 องศา

5.2 ผลการทดสอบแรงดัด

- ผลของการเติมเส้นใยมีผลทำให้ค่ามอดุลัสแรงดัดมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น และการเติมเส้นใยไม่ได้มีผลทำให้ค่าความต้านทานแรงดัดของวัสดุเชิงประกอบแตกต่างจากพอลิแล็กติกแอซิด
- ผลของการปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารอีพอกซีไซเลนมีผลทำให้ค่ามอดุลัสแรงดัด และค่าความต้านทานแรงดัดมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้น

- ผลของทิศทางการจัดเรียงตัวเส้นใยไม่สามารถสังเกตเห็นผลความแตกต่างของค่ามอดุลัสแรงดัด และผลของค่าความต้านทานแรงดัดสามารถสังเกตเห็นผลได้เฉพาะกรณีเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวเท่านั้น โดยพบว่า กรณีการจัดเรียงตัวเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวที่ 0 องศา มีค่าความต้านทานแรงดัดสูงกว่ากรณีเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวที่ 45 องศา
- สำหรับการนำไปใช้งานที่ต้องรับแรงดัด สูตรที่เหมาะสม คือ วัสดุเชิงประกอบที่มีเส้นใยปานศรณารายณ์ที่ผ่านการปรับปรุงผิวและการจัดเรียงตัวเส้นใยที่ 0 และ 45 องศา

5.3 ผลการทดสอบแรงกระแทก

- ผลของการเติมเส้นใยมีผลทำให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกของพอลิแลกติกแอซิดมีค่าต่ำลงในทุกกรณี
- ผลของการปรับปรุงผิว วัสดุเชิงประกอบที่ปรับปรุงผิว และไม่ปรับปรุงผิวมีค่าความต้านทานแรงกระแทกที่ใกล้เคียงกัน
- ผลของการจัดเรียงตัวเส้นใย กรณีการจัดเรียงตัวเส้นใย 45 องศา มีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นมากกว่ากรณีการจัดเรียงตัวเส้นใย 0 องศา เล็กน้อย
- สำหรับการนำไปใช้งานที่ต้องรับแรงกระแทก สูตรที่เหมาะสม คือ พอลิแลกติกแอซิด

5.4 ข้อเสนอแนะอื่นๆ

สำหรับแนวทางการศึกษาวิจัยที่ควรดำเนินการต่อไปเพื่อปรับปรุงสมบัติทางกลให้ดีขึ้น มีดังนี้

- การเพิ่มปริมาณของเส้นใยปานศรณารายณ์ให้มากขึ้น เพื่อปรับปรุงการรับแรงให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น
- การศึกษาผลของนำเส้นใยมาเสริมแรงในลักษณะเป็นผืนผ้าเพื่อช่วยทำให้การส่งผ่านแรงในทุกทิศทางมีแนวโน้มที่ดีมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. (2561). รายละเอียดข้อมูลพลาสติกชีวภาพ ประเภท พอลิแลคติกแอซิด [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://asp.plastics.or.th:8001/files/article_file/20180624235102u.pdf
- [2] ปราณี ชุมสำโรง, และนิธินาถ ศุภกาญจน์, “การศึกษาการใช้เส้นใยป่านครนารายณ์เสริมแรง อีพอกซีเรซินที่ปรับปรุงด้วยยางธรรมชาติ,” รายงานการวิจัย สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา, 2556.
- [3] ศุภณี เรียบเลิศหิรัญ, และสุนี ภูสีม่วง, “Bioplastics : The choice of Sustainable,” สมาคมอุตสาหกรรมพลาสติกชีวภาพไทย, 19 มิถุนายน 2557, ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา กรุงเทพฯ, 2557.
- [4] กัลทิมา เขาว์ชาญชัยกุล, “การศึกษาสมบัติการไหล โครงสร้างจุลภาค สมบัติเชิงกลและความร้อนของ วัสดุผสมพีวีซีและซีลีโอไมล์,” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต คณะพลังงานวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ, 2546.
- [5] ระบบฐานข้อมูลเกษตรดิจิทัล. (2560). ข้อมูลพันธุ์ไม้ [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://data.addrun.org/plant/archives/709-agave-sisalana-perrine>
- [6] อาติละย์ ศิริวัลลภ, “วัสดุเชิงประกอบจากโพลีเอสเตอร์รีไซเคิลและเส้นใยธรรมชาติ,” สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา, 2558.
- [7] กาวี ศรีกุลกิจ, ประณัฐ โพธิยะราช และดวงดาว อัจจงค์. “การเตรียมสารช่วยผสมพอลิแลคติกแอซิด-g-มาเลอิกแอนไฮไดรด์,” คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2554.
- [8] กลุ่มส่งเสริมอุตสาหกรรมชีวภาพ กองอุตสาหกรรมอ้อย น้ำตาลทราย และอุตสาหกรรมต่อเนื่อง กระทรวงอุตสาหกรรม. (ม.ป.ป). พลาสติกที่สลายตัวได้ทางชีวภาพ [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.ocsb.go.th/upload/bioindustry/fileupload/9757-9874.pdf>
- [9] ลลิตา จอมแปง, “การเตรียมเส้นใยพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิด และพอลิবিທີลีน ซักซิเนตด้วยเทคนิคการปั่นหลอมเหลว,” สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี, 2556.

- [10] กิตติกร สาสุจิตต์, นิกราน หอมดวง และณัฐภูมิ ดุษฎี, “การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสโดยใช้วัสดุเหลือทิ้งที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์,” ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่, 2556.
- [11] อาติละย์ ศิริวัลลภ, “วัสดุเชิงประกอบจากโพลีเอทิลีนไตรีนรีไซเคิลและเส้นใยธรรมชาติ,” สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา, 2558.
- [12] จิรัชญา ปริดาสกุล, “การศึกษาสมบัติเชิงความร้อน เชิงกล และทางกายภาพของวัสดุเสริมองค์ประกอบพอลิแลคติกแอซิด เสริมแรงด้วยเส้นใยธูปฤๅษี,” ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม, 2557.
- [13] ธัญลักษณ์ จงมี, “การนำเศษเส้นใยธรรมชาติกลับมาใช้เป็นฉนวนกันความร้อน,” ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี, 2553.
- [14] วิชชุดา เทพเดชา, “การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเชิงกลของเส้นใยผ้าในสภาวะฝักกลบ,” สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม, 2556.
- [15] สื่อการเรียนการสอนวัสดุเชิงประกอบ
- [16] วันดี ธรรมจารี, “การตัดแปรพื้นผิวเส้นใยธรรมชาติ,” ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่, 2556.
- [17] วิฑูร วิมลทรง, “การศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติการนำความร้อนของวัสดุคอมโพสิตระหว่างผงซีลีเนียมกับพอลิคาร์บอเนต,” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม, 2554.
- [18] ข้อมูลพันธุ์ไม้ ระบบฐานเกษตรดิจิทัล. (2560). ปานศรนารายณ์ [ออนไลน์] จาก : <https://data.addrun.org/plant/archives/709-agave-sisalana-perrine>
- [19] อโพนธ์ รัตนพันธ์, “สมบัติทางกลและสัณฐานวิทยาของพลาสติก PLA ผสมผงอนุภาคนาโนเคลย์,” วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, ปีที่ 8, ฉบับที่ 3, 2555.
- [20] กนกพร อนันต์ชื่นสุข, “การศึกษาสมบัติของวัสดุคอมโพสิตที่เตรียมจากพอลิแลคติกแอซิดผสมแอลกอฮอล์ที่ปรับสภาพผิว,” การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยรังสิต ปทุมธานี, 2559, หน้า 1-9.
- [21] ปาเจรา พัฒนถาบุตร ญาณิสา คงอิม, ณัฐนรี มีเสน และลักษิกา เรือนแก้ว, “การพัฒนาวัสดุเสริมองค์ประกอบพลาสติกชีวภาพผสมเส้นใยฝ้ายย้อมสีธรรมชาติเพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุตกแต่งผิวที่เป็นมิตรกับธรรมชาติ,” การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ครั้งที่ 1 เรื่อง นวัตกรรมอาคาร, 10-11 สิงหาคม 2559 ณ โรงแรมไมด้า ทวารวดี แกรนด์ นครปฐม, 2559, หน้า 95-104.

- [22] Jacob, M., Thomas, S., Varughese, K.T. (2003). Mechanical properties of sisal/oil palm hybrid fiber reinforced natural rubber composit. *Compos. Sci.and Tecnol.*64:955-965.
- [23] ทิฆัมพร ศรีหาระ และนันทวัน เหล่ารัตนอุจน์จิต, “การปรับปรุงสมบัติทางกลของพอลิแลคติกแอซิดด้วยเส้นใยปาล์มน้ำมัน,” สาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, กรุงเทพฯ, 2561.
- [24] ศิริินภา ฉลอม, “การศึกษาผลของการกราฟต์ไกลซีดิล เมธาไครเลตลงบนโมเลกุลของยาง ที่มีต่อคุณลักษณะการผสมระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและยางธรรมชาติ,” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม, 2559.

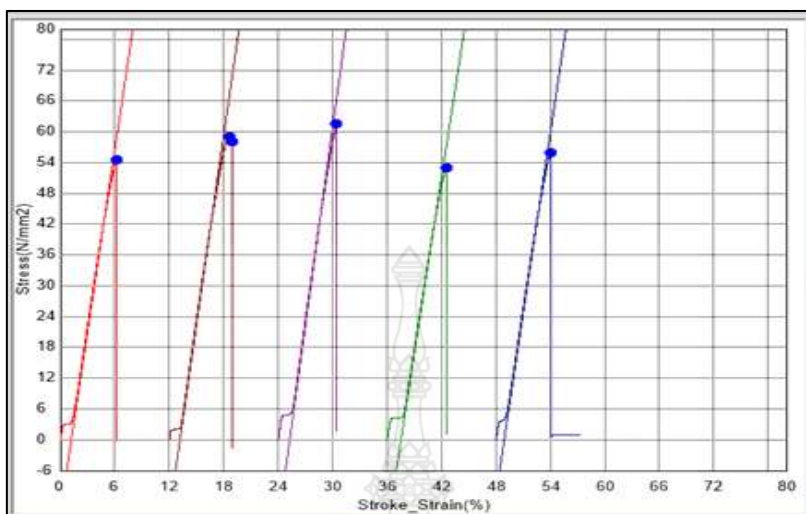




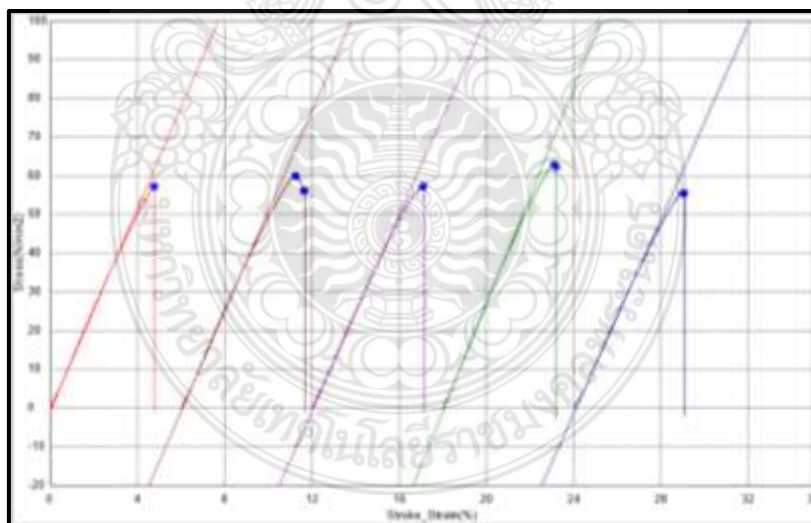
ภาคผนวก ก

ภาพกราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดึงและแรงตัดของพอลิแลกติกแอซิด
และวัสดุเชิงประกอบที่ผ่านการปรับปรุงผิวและไม่ผ่านการปรับปรุงผิว
ด้วยสารอีพอกซีไซเลนที่มีทิศทางการจัดเรียงตัวเส้นใยที่ 0 และ 45 องศา

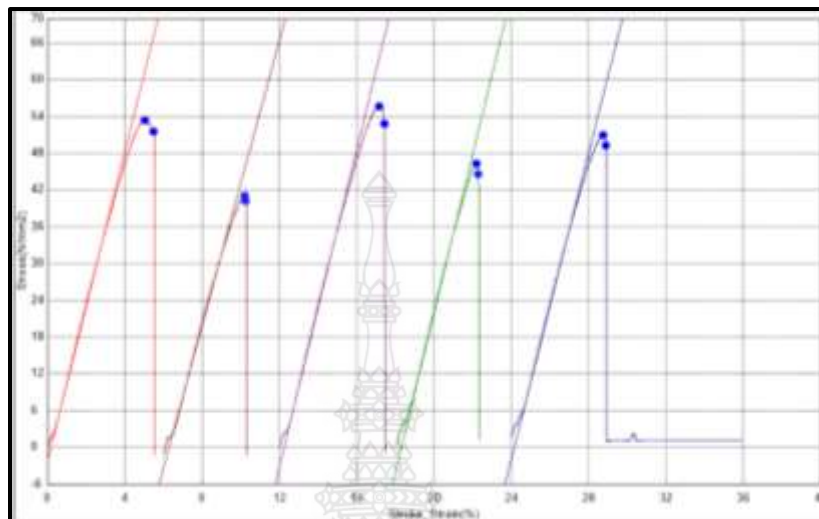
กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดึงของพอลิแลกติกแอซิด



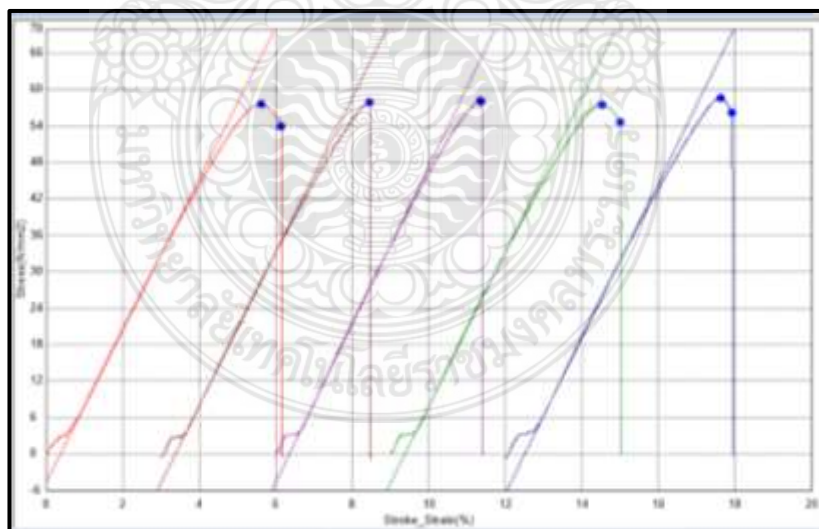
กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซีไฮเลน ที่มีทิศทางการจัดเรียงตัวเส้นใยที่ 0 องศา



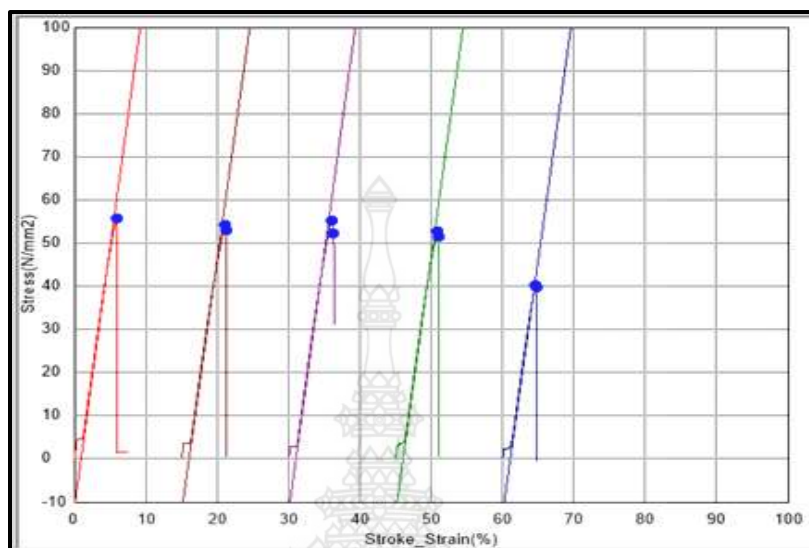
กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซี
ไซเลน ที่มีทิศทางการจัดเรียงตัวเส้นใยที่ 45 องศา



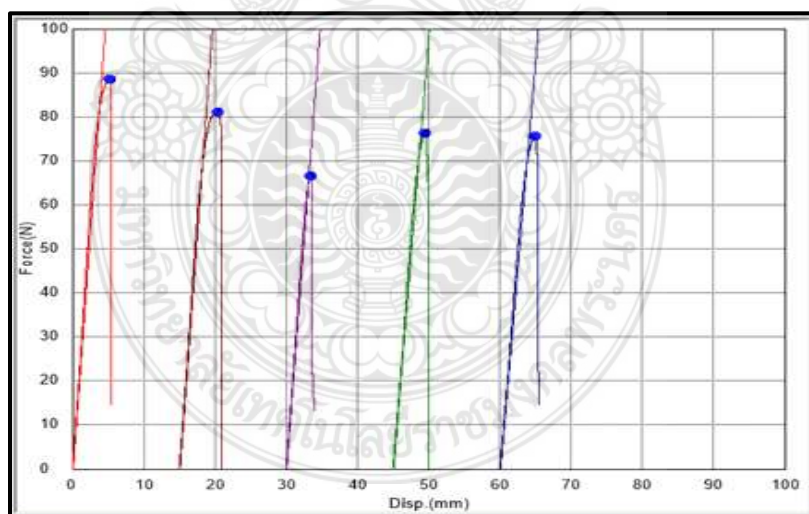
กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซี
ไซเลน ที่มีทิศทางการจัดเรียงตัวเส้นใยที่ 0 องศา



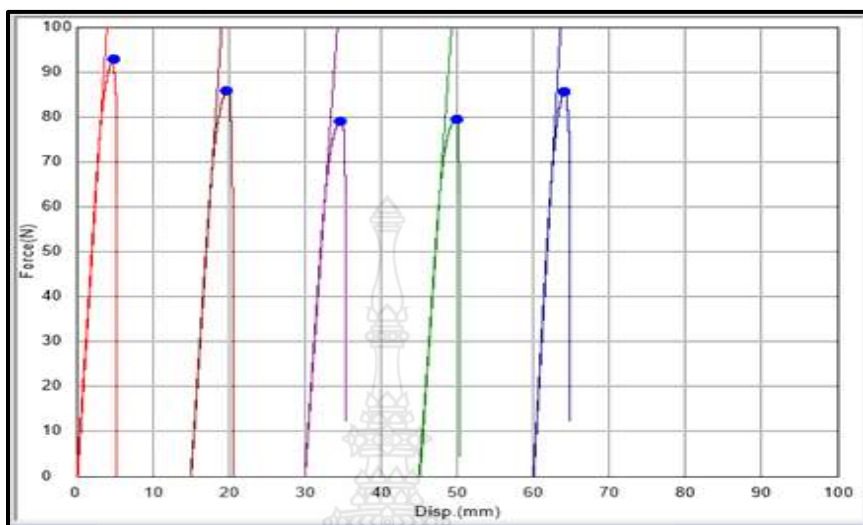
กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซี
ไซเลน ที่มีทิศทางการจัดเรียงตัวเส้นใยที่ 45 องศา



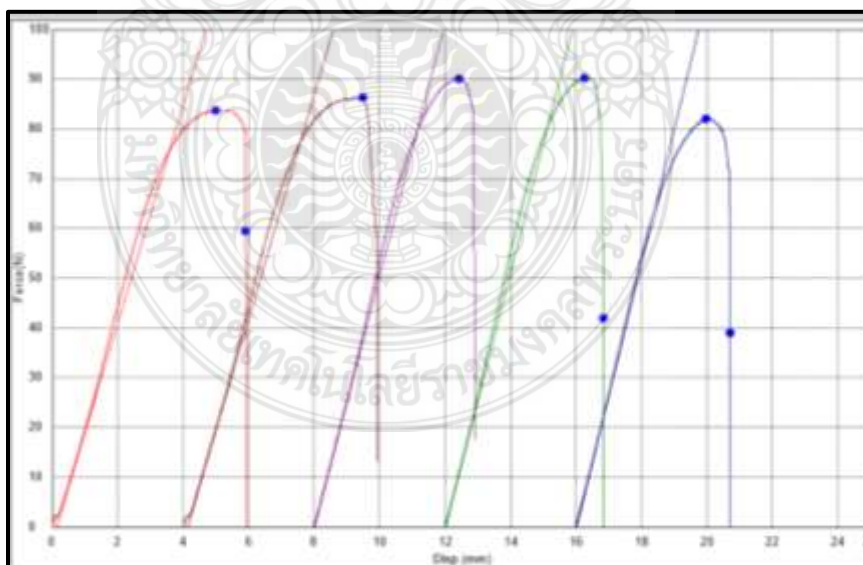
กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดัดของพอลิแล็กติกแอซิด



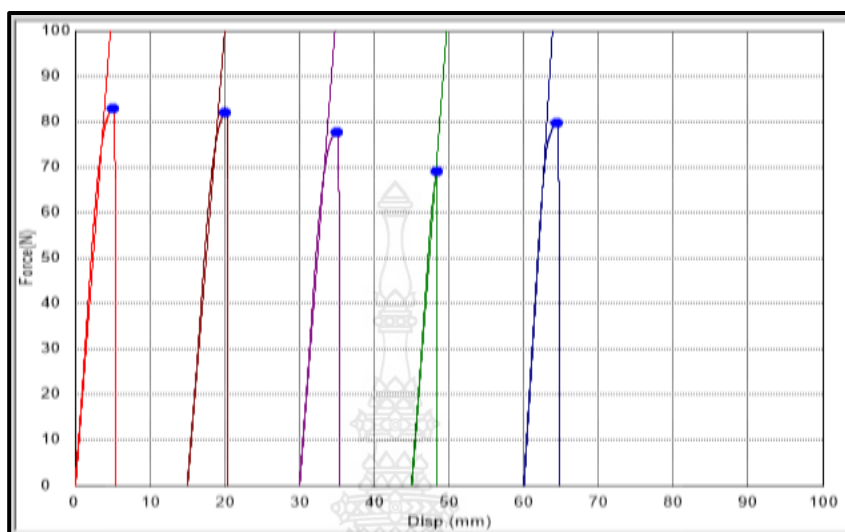
กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดัดของวัสดุเชิงประกอบ ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซี
ไซเลน ที่มีทิศทางการจัดเรียงตัวเส้นใยที่ 0 องศา



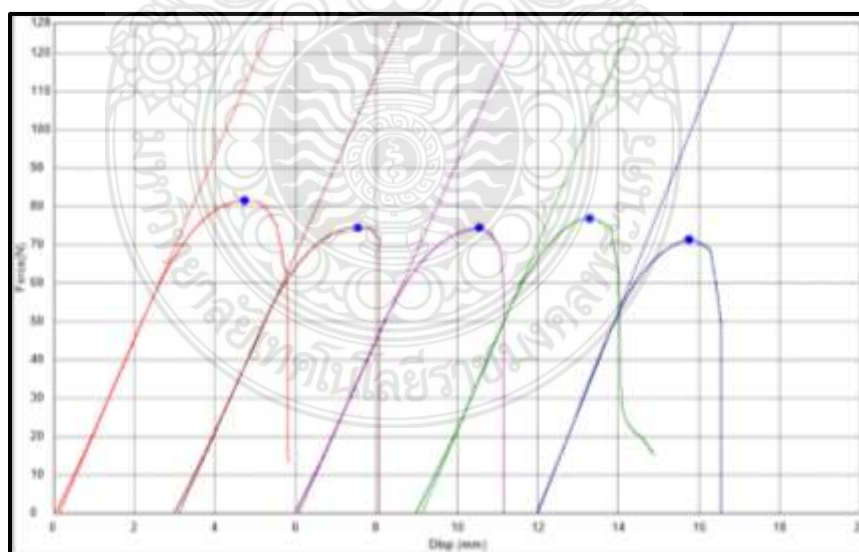
กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงดัดของวัสดุเชิงประกอบ ที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซี
ไซเลน ที่มีทิศทางการจัดเรียงตัวเส้นใยที่ 45 องศา



กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงตัดของวัสดุเชิงประกอบ ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซี
ไซเลน ที่มีทิศทางการจัดเรียงตัวเส้นใยที่ 0 องศา

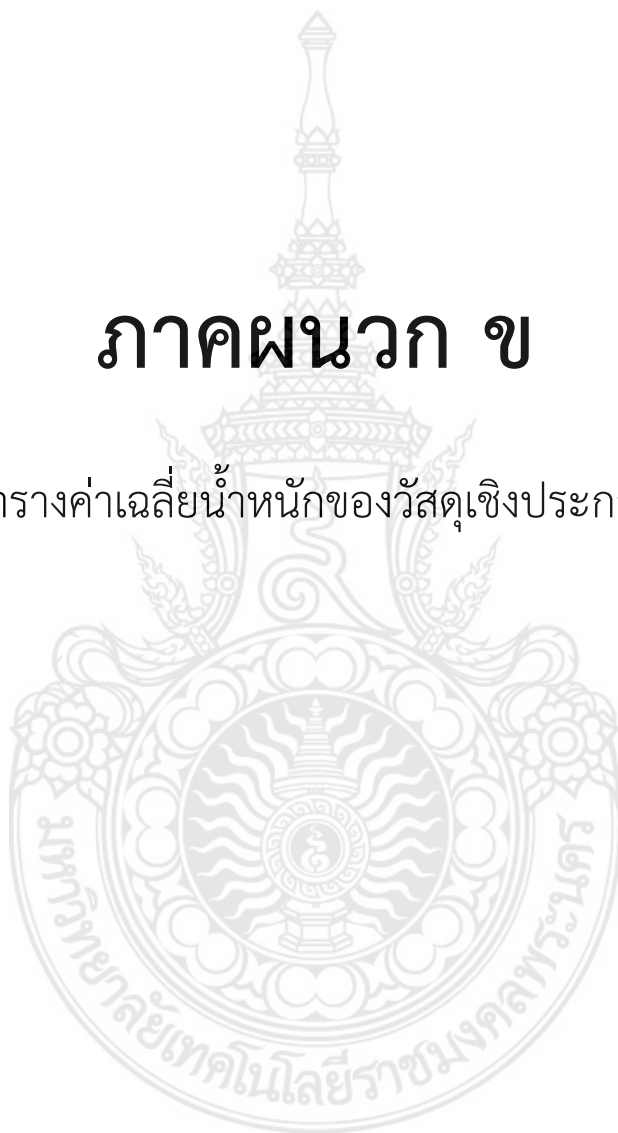


กราฟแสดงค่าความต้านทานแรงตัดของวัสดุเชิงประกอบ ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารอีพอกซี
ไซเลน ที่มีทิศทางการจัดเรียงตัวเส้นใยที่ 45 องศา



ภาคผนวก ข

ตารางค่าเฉลี่ยน้ำหนักของวัสดุเชิงประกอบ



ตารางค่าเฉลี่ยน้ำหนักของวัสดุเชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดกับเส้นใยป่านศรนารายณ์

ชิ้นงาน	น้ำหนัก PLA	น้ำหนักเส้นใย	น้ำหนักรวม
1	43.5553	0.1447	43.7
2	41.9512	0.1488	42.1
3	41.6545	0.1455	41.8
4	41.9558	0.1442	42.1
5	42.2573	0.1427	42.4
ค่าเฉลี่ย	42.27482	0.14518	42.42
ร้อยละ	99.6577	0.3337	



ประวัติผู้จัดทำโครงการ



ชื่อ นามสกุล นางสาวสุพรรณษา นพวงศ์

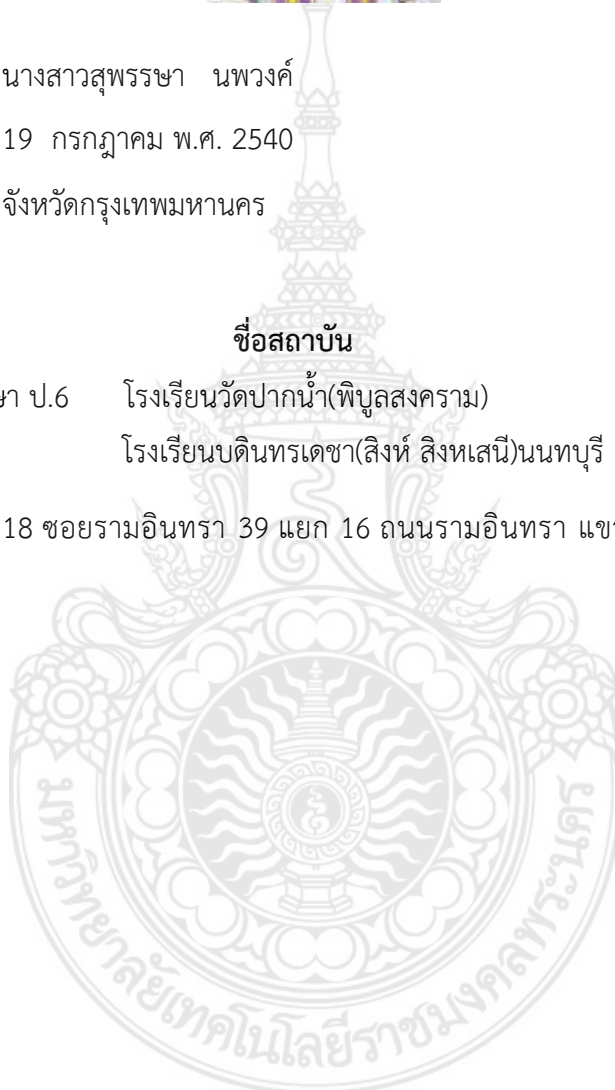
วัน เดือน ปีเกิด 19 กรกฎาคม พ.ศ. 2540

ภูมิลำเนา จังหวัดกรุงเทพมหานคร

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
ชั้นอนุบาล-ชั้นประถมศึกษา ป.6	โรงเรียนวัดปากน้ำ(พิบูลสงคราม)	2552
ชั้นมัธยมศึกษา ม.1 - ม.6	โรงเรียนบดินทรเดชา(สิงห์ สิงหเสนี)นนทบุรี	2558

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ 18 ซอยรามอินทรา 39 แยก 16 ถนนรามอินทรา แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร



ประวัติผู้จัดทำโครงการ



ชื่อ นามสกุล	อรรรรณ มีใย		
วัน เดือน ปีเกิด	10 กันยายน 2540		
ภูมิลำเนา	จังหวัดกรุงเทพมหานคร		
ประวัติการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา	
วุฒิมัธยมศึกษา	มัธยมต้น	โรงเรียนไชนีมิชชันวิทยาลัย	2555
	มัธยมปลาย	โรงเรียนไชนีมิชชันวิทยาลัย	2558
ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้	28 ซอยบางแวก104 แยก 2-4 แขวงคลองขวาง เขตภาษีเจริญ กรุงเทพมหานคร		

