

การศึกษาคอมโพสิตชีวภาพชนิดย่อยสลายได้
จากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตผสมเส้นใยทะลายปาล์มเปล่า

STUDY OF BIODEGRADABLE BIOCOMPOSITES
FROM POLYBUTYLENE SUCCINATE
AND EMPTY FRUIT BUNCH PALM FIBERS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-SC-M-014-004

การศึกษาคอมโพสิตชีวภาพชนิดย่อยสลายได้
จากพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตผสมเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า

STUDY OF BIODEGRADABLE BIOCOMPOSITES
FROM POLYBUTYLENE SUCCINATE
AND EMPTY FRUIT BUNCH PALM FIBERS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-SC-M-014-004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF BIODEGRADABLE BIOCOMPOSITES
FROM POLYBUTYLENE SUCCINATE
AND EMPTY FRUIT BUNCH PALM FIBERS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE
DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN POLYMER TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016

KMITL-2016-SC-M-014-004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ “การศึกษาคอมโพสิตชีวภาพชนิดย่อยสลายได้จากพอลิบูทิลีนซัคซินเนตผสมเส้นใย
ทะเลลายปาล์มเปล้า”
“STUDY OF BIODEGRADABLE BIOCOSMOSITES FROM POLYBUTYLENE
SUCCINATE AND EMPTY FRUIT BUNCH PALM FIBERS”

ชื่อนักศึกษา นายนิติวุฒิ บุญหนุน
รหัสประจำตัว 54651110
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์)
ภาควิชา เคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.อิทธิพล แจ่มชัด
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม นายวรธรรม อุ่นจิตติชัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ชลลดา ถุติวิรุฬห์ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ อาจารย์บัณฑิตประจำ (ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง)	
รศ.ดร.ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย ผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอกสถาบันฯ	
นายวรธรรม อุ่นจิตติชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	
รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	

วัน/ เดือน/ ปี ที่สอบ 11 มีนาคม พ.ศ.2559 เวลา 09.00-12.00 น.

สถานที่สอบ ณ 304 อาคารปฏิบัติการหลังใหม่

คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ดุขนิ ธนะบริพัฒน์)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น วันที่ 3 เดือน ธันวาคม ปี 2559
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาคอมโพสิตชีวภาพชนิดย่อยสลายได้จาก
พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตผสมเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า

ชื่อนักศึกษา

นายนิติวุฒิ บุญหนุน

รหัสประจำตัว

54651110

ปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีพอลิเมอร์)

ภาควิชา

เคมี

พ.ศ.

2559

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

นายวรธรรม อุ่ณจิตติชัย

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตชีวภาพชนิดย่อยสลายได้จาก พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (Polybutylene succinate,PBS) ผสมเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า (Empty Fruit Bunch Fiber,EFBF) ที่เป็นของเหลือจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม โดยเน้นศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตเช่น ขนาด EFBF (ใหญ่กว่า 20, 20-40, 40-60 และเล็กกว่า 60 mesh) ปริมาณการใส่ EFBF (0-40 php) ผลของปริมาณพลาสติกไซเซออร์ Acetyltributyl citrate (0-20 php) และการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยกระบวนการทางเคมีได้แก่ วิธีอัลคาไลน์ทรีตเมนต์ (Alkali treatment) วิธีเบนโซเลชัน (Benzoylation) และวิธีเปอร์แมงกาเนต (Permanganate) จากนั้นนำพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกลศึกษาสัณฐานวิทยา และสมบัติทางความร้อน ศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยเทคนิคเอกซเรย์เอกซเรย์ฟลักซ์ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (ATR FT-IR) จากการทดลองพบว่าขนาดของ EFBF ที่แตกต่างกันในช่วงขนาดที่ศึกษาไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตที่ได้ การเพิ่มปริมาณ EFBF ที่ใส่ในพอลิเมอร์คอมโพสิตส่งผลให้ความแข็งแรงดึง การยึดตัว ณ จุดขาด ความแข็งแรงโค้งงอ และความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลง การเพิ่มปริมาณการใส่พลาสติกไซเซออร์ส่งผลให้สมบัติเชิงกลต่างๆ มีแนวโน้มลดลง แต่ความแข็งแรงกระแทกมีค่าที่สูงขึ้น โดยสมบัติต่างๆ มีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อใส่พลาสติกไซเซออร์มากกว่า 10 php สูตรของวัสดุคอมโพสิตที่นำไปต่อเลือกใช้เส้นใยเบอร์ 4 ในปริมาณ 10 php และปริมาณของพลาสติกไซเซออร์ 10 php ในการศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยด้วยกระบวนการทางเคมีด้วยเทคนิค SEM พบว่าพื้นผิวของเส้นใยที่ยังไม่ได้ผ่านการปรับปรุงมีคราบสกปรกจากแว็กซ์ และน้ำมัน แต่เส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวมีความขรุขระเพิ่มขึ้น และมีพื้นผิวที่สะอาดขึ้นเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยด้วยวิธีต่างๆ มีค่าการดูดน้ำที่ลดลง และที่พื้นผิวของเส้นใยมีหมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนแปลงไปจากผลการทดสอบ ATR FT-IR การปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยส่งผลให้คอมโพสิตที่ได้มีความแข็งแรงดึง โมดูลัสของยัง ความแข็งแรงโค้งงอที่สูงขึ้น แต่ความแข็งแรงกระแทกลดลงเล็กน้อย อาจกล่าวได้ว่าการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยวิธีอัลคาไลน์ทรีตเมนต์ วิธีเบนโซเลชัน และวิธีเปอร์แมงกาเนต นั้นส่งผลให้เป็นการเพิ่มแรงยึดติดระหว่างภูมิภาคเส้นใยและภูมิภาคพอลิเมอร์ เพราะเป็นการลดความเป็นวัสดุที่ชอบน้ำของเส้นใย ทำให้สมบัติเชิงกลของคอมโพสิตดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตัดก๊อปปี้ไปยังเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสำคัญ : การปรับปรุงพื้นผิว คอมโพสิต พอลิบิวทิลีนซึกซิเนต เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Study of Biodegradable Biocomposites from Polybutylene Succinate and Empty Fruit Bunch Palm Fibers
Student	Nitivut Boonnoon
Student ID	54651110
Degree	Master of Science (Polymer Technology)
Department	Chemistry
Year	2016
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Ittipol Jangchud
Thesis Coadvisor	Mr. Woratham Oonjittichai

Abstract

This research involved all-biocomposites from Polybutylene Succinate (PBS) and Empty Fruit Bunch Fiber (EFBF) by-products from palm oil industry. Factors affecting composite properties were studied including, i.e., EFBF sizes (larger than 20, 20-40, 40-60 and smaller than 60 mesh), EFBF loading (0-40 php), plasticizer (Acetyltributyl citrate) loading (0-20 php) and fiber surface treatment by using chemical methods (alkali treatment, benzylation and permanganate). Composite samples were then tested for mechanical, morphological, thermal properties. Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy (ATR FT-IR) was also used to confirm surface modification of the fibers. It was found that sizes of fibers did not significantly affect mechanical properties of the composites. By increasing EFBF loading, it resulted in a decrease in tensile strength, %elongation at break, flexural strength and impact strength. When the plasticizer was added, mechanical properties tended to decrease, but the impact strength was improved. The mechanical properties was stable when added plasticizer more than 10 php. Biocomposites of PBS with 10 php of no.4 fiber and 10 php of plasticizer were selected to study the effect of fiber treatments. Effects of fiber treatments by chemical methods were studied. From SEM micrographs, it was found that surfaces of the fibers were dirty with wax and oil. Clean and improved surface roughness of the fibers were obtained after fiber treatment. Reduced water uptake and changed in functional groups on fiber surface were observed. It was found that PBS composites with treated fibers showed higher tensile strength, Young's modulus and flexural strength but lower impact strength compared to those of untreated composites. It can be said that modification of fiber surfaces by alkali treatment, benzylation and permanganate methods resulted in generating hydrophobic fibers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตัดคำอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

and so increasing interfacial adhesion between fibers and polymer matrix. Composites with improved mechanical properties can be obtained.

Keywords : Surface treatment , Composite , Polybutylene succinate , Empty Fruit Bunch Fiber



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มจัต และอ.วรรณธรรม อุ๋นจิตติชัย ที่กรุณาอบรมสั่งสอนให้ความรู้ค่าปรึกษาข้อเสนอแนะและความเอาใจใส่เป็นอย่างดีมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ชลลดา ถตวิรุฬห์ ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ และ รศ.ดร.ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย ที่กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษา และแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ บริษัท สุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม จำกัด ที่กรุณาอนุเคราะห์ทะเลาะปาล์มเปล่าสำหรับใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัท เบ็นไมเยอร์ เคมีคอล (ที) จำกัด ที่กรุณาอนุเคราะห์สารเคมีสำหรับใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ คุณสุดใจ สอนสะอาด คุณปราณี บุญวัฒน์ และเจ้าหน้าที่ศูนย์บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ชาวพอลิเมอร์ทุกคนสำหรับความช่วยเหลือ การชี้แนะ และเป็นกำลังใจ และบุคคลอีกหลายท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงไว้ ณ ที่นี้ที่มีส่วนช่วยเหลือ และให้ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่เป็นกำลังใจและช่วยเหลือสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มาตลอดจนสำเร็จสมบูรณ์

นิติวดี บุญหนุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	4
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 วัสดุคอมโพสิต.....	5
2.1.1 เมทริกซ์.....	5
2.1.1.1 เทอร์โมเซต (Thermoset).....	6
2.1.1.2 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic).....	6
2.1.2 วัสดุเสริมแรง.....	6
2.1.3 การแบ่งชนิดของคอมโพสิต (Classification of composites).....	7
2.1.4 ข้อดีและข้อเสียของวัสดุคอมโพสิต.....	8
2.1.5 ทฤษฎีการยึดเกาะ (Theories of adhesion).....	9
2.2 พลาสติกชีวภาพ.....	10
2.2.1 ประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้.....	11
2.2.2 ผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อม.....	13
2.3 พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต.....	17
2.3.1 ลักษณะทั่วไป.....	17
2.3.2 สมบัติของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต.....	17
2.3.3 วัตถุดิบและเทคโนโลยีการผลิต.....	17
2.3.4 การย่อยสลายได้ทางชีวภาพของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต.....	18
2.3.5 การใช้ประโยชน์ของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต.....	19
2.4 เส้นใยธรรมชาติ.....	19
2.4.1 เซลลูโลส.....	20
2.4.1.1 สมบัติทางกายภาพของเซลลูโลส.....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses).....	21
2.4.3 ลิกนิน.....	22
2.5 ไม้และเส้นใยไม้ (Wood and fibers).....	24
2.5.1 ชนิดของไม้.....	24
2.6 ปาล์มน้ำมัน.....	24
2.6.1 ความสำคัญและศักยภาพของปาล์มน้ำมัน.....	24
2.6.2 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม.....	25
2.6.3 สมบัติของเส้นใยไม้.....	26
2.6.3.1 โครงสร้างทางกายภาพ.....	26
2.6.3.2 องค์ประกอบทางเคมีและการเรียงตัวของโมเลกุล.....	26
2.6.4 เส้นใยเปลือกผลปาล์ม (Mesocarp fibers, MF).....	27
2.6.5 เส้นใยใบหรือทางใบ (Frond fibers, FF).....	28
2.6.6 เส้นใยทะเลลายปาล์มน้ำมันเปล่า (Empty Fruit Bunch Fibers; EFBF).....	29
2.6.7 น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil; CPO).....	31
2.7 ไม้พลาสติก (Wood Plastic Composites; WPC).....	31
2.8 พลาสติกไซเซเซอร์ (Plasticizers).....	33
2.8.1 กลไกของพลาสติกไซเซชัน (Mechanism of plasticization).....	33
2.8.2 ชนิดของพลาสติกไซเซเซอร์.....	33
2.8.3 ความเป็นพิษ.....	35
2.9 การขึ้นรูปแบบฉีด.....	36
2.9.1 ส่วนประกอบเครื่อง Injection molding.....	36
2.9.2 ส่วนชุดฉีด (Injection unit).....	37
2.9.3 ส่วนชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ (Clamping unit).....	37
2.9.4 ส่วนฐานของเครื่องฉีดขึ้นรูป (Base).....	37
2.9.5 ขั้นตอนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก.....	37
2.10 กระบวนการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย (Fiber treatment).....	38
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	40
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	48
3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	48
3.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....	53
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	54
3.4 วิธีการทดลอง.....	55
3.4.1 การเตรียมเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยกระบวนการเชิงกล.....	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.2 วิเคราะห์ขนาดและการกระจายตัวของเส้นใย.....	55
3.4.3 การปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยกระบวนการทางเคมี ..	55
3.4.3.1 การปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	55
3.4.3.2 การปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าด้วย วิธีเบนโซเลชัน	56
3.4.3.3 การปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าด้วย วิธีเปอร์แมงกาเนต	57
3.4.4 ขั้นตอนการผสม	58
3.4.5 การทดสอบสมบัติเชิงกล	59
3.4.6 สัณฐานวิทยา (Morphology)	62
3.4.7 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน (Infrared spectroscopy).....	62
3.4.8 สมบัติทางความร้อน	62
3.4.9 การดูดซับน้ำของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า (Water absorbtion)	63
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	64
4.1 ขนาดของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิต	65
4.2 ปริมาณของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิต	75
4.3 ผลของปริมาณพลาสติกไซเซอร์ที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิต.....	81
4.4 ศึกษาวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิต	85
4.4.1 ลักษณะพื้นผิว การดูดน้ำ และหมู่ฟังก์ชันที่อยู่บริเวณพื้นผิว เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า.....	85
4.4.2 ผลของการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่ส่งผลต่อสมบัติของ คอมโพสิตที่ได้.....	93
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	101
5.1 สรุปผลการวิจัย	101
5.2 ข้อเสนอแนะ	102
เอกสารอ้างอิง	103
ภาคผนวก.....	110
ภาคผนวก ก การทดสอบสมบัติเชิงกล	111
ภาคผนวก ข การดูดซับน้ำของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า	114
ภาคผนวก ค สมบัติทางความร้อน.....	116
ภาคผนวก ง สภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป (Injection molding)	128
ภาคผนวก จ สัญลักษณ์และตัวย่อต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัย	129
ประวัติผู้เขียน.....	131

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การใช้พลังงานในการสังเคราะห์และผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	14
2.2 การปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกเป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญจาก การใช้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ	15
2.3 ชนิดของโลหะในตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้.....	16
2.4 ศักยภาพการผลิตน้ำมันของพืชน้ำมันชนิดต่างๆ	25
2.5 สมบัติทางกายภาพ เคมีและ LD ₅₀ พลาสติกไซเซออร์บางชนิด.....	36
3.1 สมบัติบางประการของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ใช้ในการวิจัย.....	53
3.2 อัตราส่วนผสมของสูตรต่างๆ.....	58
3.3 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้.....	59
4.1 ตัวอย่างสัญลักษณ์ของพอลิเมอร์คอมโพสิตสูตรต่างๆ และเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ถูก ปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ	64
4.2 การวิเคราะห์ปริมาณโดยน้ำหนักเฉลี่ยของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าขนาดต่างๆ	66
4.3 การวิเคราะห์ขนาดเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าเบอร์ 4 (เล็กกว่า 60 mesh, เล็กกว่า 250 micron).....	66
4.4 ผลของขนาดเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่มีผลต่ออุณหภูมิหลอมเหลวผลึก อุณหภูมิการเกิด ผลึก และองค์ประกอบผลึกของ PBS ในพอลิเมอร์คอมโพสิตจากการวิเคราะห์ด้วย DSC	75
4.5 ผลของปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่มีผลต่ออุณหภูมิหลอมเหลวผลึก อุณหภูมิการเกิด ผลึก และองค์ประกอบผลึกของ PBS ในพอลิเมอร์คอมโพสิตจากการวิเคราะห์ด้วย DSC	80
4.6 ผลของการใส่พลาสติกไซเซออร์ที่มีต่ออุณหภูมิหลอมเหลวผลึก อุณหภูมิการเกิดผลึก และ องค์ประกอบผลึกของ PBS ในพอลิเมอร์คอมโพสิตจากการวิเคราะห์ด้วย DSC.....	85
4.7 เปอร์เซ็นต์การดูดความชื้นของเส้นใยที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ.....	89
4.8 หมู่ฟังก์ชันต่างๆ ที่อยู่ในเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงเส้นใย	90
4.9 อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก อุณหภูมิการเกิดผลึก และองค์ประกอบผลึกของ PBS ใน พอลิเมอร์คอมโพสิตจากการวิเคราะห์ด้วย DSC	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 กรอบบานประตูรถยนต์ที่ทำจากคอมโพสิตพอลิเอทิลีนผสมเส้นใยแก้ว.....	1
1.2 ต้นปาล์มน้ำมัน (ซาย) และทะลายปาล์มเปล่าที่เหลือจากการบีบน้ำมันออก (ขวา).....	2
2.1 ตัวอย่างคอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน	7
2.2 ประเภทของคอมโพสิต	7
2.3 รูปโครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีนซีกซิเนต	17
2.4 แหล่งสารตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการผลิตพอลิเอทิลีนซีกซิเนต.....	18
2.5 กราฟแสดงปริมาณการย่อยสลายของพอลิเอทิลีนซีกซิเนต.....	19
2.6 สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส.....	20
2.7 ลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยเซลลูโลส.....	20
2.8 ลักษณะการจัดเรียงตัวของโมเลกุลกลูโคสในเซลลูโลส.....	21
2.9 สูตรโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส.....	22
2.10 หน่วยที่ซ้ำกันในโครงสร้างของลิกนิน.....	22
2.11 ตัวอย่างโครงสร้างโมเลกุลของลิกนิน	23
2.12 การจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในไม้	23
2.13 ผลปาล์มน้ำมัน	27
2.14 เส้นใยเปลือกผลปาล์มที่บีบน้ำมันแล้ว	27
2.15 กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม	28
2.16 เส้นใยทางใบปาล์มน้ำมัน.....	29
2.17 ทะลายปาล์มเปล่าที่เหลือจากการบีบน้ำมันปาล์มออก.....	30
2.18 เส้นใยทะลายปาล์มเปล่าที่ใช้ในงานวิจัย ขนาดเล็กกว่า 60 mesh	30
2.19 น้ำมันปาล์มดิบ (CPO) จากเส้นใยเปลือกผลปาล์ม	31
2.20 ตัวอย่างโครงสร้างพลาสติกไฮเซออร์ชนิดต่างๆ	34
2.21 เครื่อง Injection Molding.....	37
3.1 แผนภาพการศึกษาขนาดของเส้นใยทะลายปาล์มเปล่าที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิต	49
3.2 แผนภาพการศึกษาปริมาณเส้นใยทะลายปาล์มเปล่าที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิต.....	50
3.3 แผนภาพการศึกษาผลของปริมาณการใส่พลาสติกไฮเซออร์ที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิต.....	51
3.4 แผนภาพการศึกษาผลปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยวิธีทางเคมีที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิต	52
3.5 เครื่องร่อนวิเคราะห์ขนาดเส้นใย (Screen analysis instrument)	55
3.6 แผนภาพการเตรียมพื้นผิวเส้นใยเพื่อทำการปรับปรุงโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์	56
3.7 แผนภาพการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยทะลายปาล์มเปล่าด้วยวิธีเบนโซเลชั่น	57
3.8 แผนภาพการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยทะลายปาล์มเปล่าด้วยวิธีเปอร์แมงกาเนต.....	58
3.9 ลักษณะชิ้นงานดัมเบลล์ที่นำมาทดสอบ	60
3.10 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างที่นำมาทดสอบหาค่าความแข็งแรงกระแทก.....	61
3.11 ลักษณะการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ	62

เอกสารนี้เป็นของลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 ภาพถ่ายแสดงการกระจายตัวของขนาดเส้นใยปาล์มทะเลลายปาล์มเปล่าขนาดเล็กกว่า 60 mesh (เล็กกว่า 250 micron).....	67
4.2 ตัวอย่างรูปถ่าย OM แสดงขนาดและลักษณะเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าขนาดเล็กกว่า 60 mesh (เล็กกว่า 250 micron)	67
4.3 ผลของขนาดเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ คอมโพสิตโดยควบคุมอัตราส่วนของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า 20 php	68
4.4 ผลของขนาดเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงโค้งงอ ของพอลิเมอร์ คอมโพสิตโดยควบคุมอัตราส่วนของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า 20 php	68
4.5 ภาพ SEM ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า 20 php ขนาดต่างๆ กำลังขยาย 50 เท่า (ก) เบอร์ 1 (ข) เบอร์ 2 (ค) เบอร์ 3 และ (ง) เบอร์ 4.....	69
4.6 ภาพ SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ยังไม่ได้ผ่านการปรับปรุง พื้นผิวของเส้นใยที่กำลังขยาย 300 เท่า	70
4.7 รูปของน้ำอิสระ (Free water) และน้ำเกาะติด (Bound water) ในเส้นใย	70
4.8 ผลของขนาดเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่าการยึดตัว ณ จุด ของพอลิเมอร์ คอมโพสิตโดยควบคุมอัตราส่วนของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า 20 php	71
4.9 ผลของขนาดเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงกระแทก ของพอลิเมอร์ คอมโพสิตโดยควบคุมอัตราส่วนของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า 20 php.....	72
4.10 ผลของขนาดเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่ามอดูลัสของยังของพอลิเมอร์คอมโพสิต โดยควบคุมอัตราส่วนของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า 20 php	72
4.11 ผลของขนาดเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่ามอดูลัสของการโค้งงอของพอลิเมอร์ คอมโพสิตโดยควบคุมอัตราส่วนของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า 20 php	73
4.12 ผลของขนาดเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่าความแข็งกดแบบ Shore D ของพอลิเมอร์คอมโพสิตโดยควบคุมอัตราส่วนของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า 20 php	73
4.13 ผลของปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงดึง ของพอลิเมอร์คอมโพสิต	75
4.14 ผลของปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงโค้งงอ ของพอลิเมอร์คอมโพสิต	76
4.15 ผลของปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่าการยึดตัว ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์คอมโพสิต	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16 ผลของปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิต	78
4.17 การกระจายตัวของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าเบอร์ 4 ขนาด (เล็กกว่า 60 mesh) ในพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ตรวจวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 100 เท่า ปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า (ก) 10 php (ข) 20 php (ค) 30 php และ (ง) 40 php	78
4.18 ผลของปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่ามอดุลัสของยังของพอลิเมอร์คอมโพสิต	79
4.19 ผลของปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่ามอดุลัสของการโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิต	79
4.20 ผลของปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่าความแข็งกดแบบ Shore D ของพอลิเมอร์คอมโพสิต	80
4.21 ผลของปริมาณการใส่พลาสติกไซเซออร์ที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิต	82
4.22 ผลของปริมาณการใส่พลาสติกไซเซออร์ที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิต	82
4.23 ผลของปริมาณการใส่พลาสติกไซเซออร์ที่ส่งผลต่อค่าการยึดตัว ณ จุดขาดของพอลิเมอร์คอมโพสิต	82
4.24 ผลของปริมาณการใส่พลาสติกไซเซออร์ที่ส่งผลต่อค่ามอดุลัสของยังของพอลิเมอร์คอมโพสิต	83
4.25 ผลของปริมาณการใส่พลาสติกไซเซออร์ที่ส่งผลต่อค่ามอดุลัสของการโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิต	83
4.26 ผลของปริมาณการใส่พลาสติกไซเซออร์ที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิต	84
4.27 ผลของปริมาณการใส่พลาสติกไซเซออร์ที่ส่งผลต่อค่าความแข็งกดแบบ Shore D ของพอลิเมอร์คอมโพสิต	84
4.28 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการตรวจวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 300 เท่า (ก) EFBF (ข) EFBF-A2hr (ค) EFBF-A4hr (ง) EFBF-A2hrB (จ) EFBF-A4hrB (ฉ) EFBF-A2hrK และ (ช) EFBF-A4hrK.....	86
4.29 ลักษณะพื้นผิวเส้นใยเซลลูโลส (ก) เส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุง และ (ข) เส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไฮดรอกไซด์.....	87
4.30 ผลการทดสอบการดูดน้ำของเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ.....	89
4.31 ATR FT-IR สเปกตรัมของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงเส้นใย.....	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.32 ATR FT-IR สเปกตราของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับปรุงเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	91
4.33 ATR FT-IR สเปกตราของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับปรุงเส้นใยด้วยวิธีเบนโซเลชัน	91
4.34 ATR FT-IR สเปกตราของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับปรุงเส้นใยด้วยวิธีเปอร์แมงกาเนต	92
4.35 ผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิต	94
4.36 ผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่ส่งผลต่อค่าการยึดตัว ณ จุดขาดของพอลิเมอร์คอมโพสิต	94
4.37 ลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์คอมโพสิตผสมระหว่างพอลิบิวทิลีนซกซิมেন্টกับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการตรวจวัดด้วยเทคนิค SEM กำลังขยาย 100 เท่า (ก) EFBF (ข) EFBF-P (ค) EFBF-A2hr (ง) EFBF-A4h (จ) EFBF-A2hrB (ฉ) EFBF-A4hrB (ช) EFBF-A2hrK และ (ซ) EFBF-A2hrK.....	95
4.38 ผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่ส่งผลต่อค่ามอดุลัสของยังของพอลิเมอร์คอมโพสิต	97
4.39 ผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิต	97
4.40 ผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่ส่งผลต่อค่ามอดุลัสของการโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิต	98
4.41 ผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิต	98
4.42 ผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่ส่งผลต่อค่าความแข็งกดแบบ Shore D ของพอลิเมอร์คอมโพสิต	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ไม้พลาสติก (Wood Plastic Composites, WPC) [1] เป็นวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิต (Polymer composites) ประเภทหนึ่งประกอบขึ้นจากวัสดุหลักคือ เส้นใยไม้และพลาสติก ซึ่งไม้-พลาสติกเป็นเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นในวงการอุตสาหกรรมไม้และพลาสติก ทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ซึ่งถือได้ว่าเป็นวัสดุทางวิศวกรรมได้อีกชนิดหนึ่ง

ปัจจุบันได้มีการศึกษาเพื่อพัฒนาปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะการนำเส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers) มาใช้เป็นส่วนเสริมแรง (Reinforced phase) ของวัสดุคอมโพสิต (Composites) [2-3] มีการประยุกต์ใช้เส้นใยธรรมชาติ เช่น เส้นใยกล้วยงู เส้นใยป่านครนารายณ์ และเส้นใยปอกระเจา ในวัสดุคอมโพสิตแทนเส้นใยสังเคราะห์ เนื่องจากเส้นใยธรรมชาติมีสมบัติที่ดี คือ น้ำหนักเบา มีค่ามอดุลัสจำเพาะ (Specific modulus) สูงและราคาถูก [4] อย่างไรก็ตามพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้ในปัจจุบันนั้นไม่ได้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอย่างสมบูรณ์ เพราะส่วนที่เป็นเมทริกซ์ (Matrix phase) นั้นไม่สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ (Non-biodegradable) [5] ส่งผลให้มีการพัฒนาพอลิเมอร์คอมโพสิตที่สามารถย่อยสลายได้ทางธรรมชาติ (Biodegradable) หรือคอมโพสิตชีวภาพ (Biocomposites) จากเส้นใยธรรมชาติและพลาสติกชีวภาพ (Bioplastics) ซึ่งเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 1.1 กรอบบานประตูรถยนต์ที่ทำจากคอมโพสิตพอลิเอทิลีนผสมเส้นใยกล้วยงู [2]

พลาสติกชีวภาพ เช่น พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (Polybutylene succinate, PBS) [6] เป็นพลาสติกชีวภาพชนิดพอลิเอสเทอร์ที่ผลิตจากมอนอเมอร์ (Monomer) หลัก 2 ชนิดคือ กรดซัคซินิก (Succinic acid) และ 1,4-บิวทิลีนไดออล (1,4-Butanediol) พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต สามารถนำมาขึ้นรูปได้ง่ายในหลากหลายกระบวนการ โดยเฉพาะการฉีดขึ้นรูป และการเป่าขึ้นรูปฟิล์มซึ่งมีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยืดหยุ่นที่คืนนอกจากนี้ยังมีสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) ใกล้เคียงกับพอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP) รวมถึงพอลิสไตรีน (Polystyrene, PS) [7-8]

ต้นปาล์มน้ำมันเป็นที่นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตไบโอดีเซลเนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ให้ผลผลิตน้ำมันต่อหน่วยพื้นที่ปลูกสูงกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่น อีกทั้งประเทศไทยยังมีภูมิประเทศและภูมิอากาศที่เหมาะสมกับการปลูกปาล์มน้ำมันโดยเฉพาะภาคใต้และภาคตะวันออกที่มีอากาศแบบร้อนชื้น มีปริมาณน้ำฝนพอเหมาะ (ปริมาณน้ำฝนไม่น้อยกว่า 1,800 มม.ต่อปี) น้ำมันปาล์มที่ผลิตได้มาจาก 2 ส่วน คือ ส่วนเปลือกนอกประมาณ 16-25 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักทะลาย และส่วนเนื้อในประมาณ 3-5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักทะลาย โดยทะลายปาล์มมีน้ำมันเฉลี่ยอยู่ที่ 15 กิโลกรัมต่อทะลาย ประมาณการใช้ทะลายปาล์มสดของประเทศไทยอยู่ที่ประมาณ 7.2 ล้านตันต่อปี หลังจากบีบน้ำมันออกแล้วเหลือทะลายปาล์มเปล่า (Empty Fruit Bunch, EFB) ประมาณ 28 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นประมาณ 2 ล้านตันต่อปี สามารถนำมาใช้ทำประโยชน์เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมได้ [9]



รูปที่ 1.2 ต้นปาล์มน้ำมัน (ซ้าย) และทะลายปาล์มเปล่าที่เหลือจากการบีบน้ำมันออก (ขวา) [10]

เส้นใยทะลายปาล์มเปล่า (Empty Fruit Bunch Fiber, EFBF) เป็นสารประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน มีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group, -OH) อยู่ในโครงสร้างส่งผลให้มีส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) [11] ดังนั้นจึงต้องลดความชอบน้ำของเส้นใยธรรมชาติ และเพิ่มความเข้ากันได้กับวัสดุพอลิเมอร์เพื่อปรับปรุงสมบัติของวัสดุคอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติ การปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยโดยกระบวนการทางเคมี (Chemical Treatment) สามารถทำได้หลายวิธี [12-15]

การปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยกระบวนการทางเคมีที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 3 วิธีดังนี้ วิธีอัลคาไลน์ทรिटเมนต์ (Alkali treatment) เป็นวิธีที่นิยมใช้มากในการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใย ที่นำไปใช้เป็นส่วนเสริมแรงในพอลิเมอร์คอมโพสิตเพราะสามารถทำได้ง่าย ขั้นตอนในการทำไม่ยุ่งยาก และสารเคมีที่ใช้หาได้ง่าย โดยใช้สารละลายต่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH)

ในการปรับปรุง เมื่อทำการปรับปรุงเส้นใยทำให้ไปทำลายพันธะไฮโดรเจนของเซลลูโลสในเส้นใย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนั้นการปรับปรุงเส้นใยด้วยวิธีอัลคาไลน์ทรีตเมนต์ยังไปขจัดสิ่งสกปรก ลิกนิน แวกซ์ เฮมิ-เซลลูโลส และน้ำมัน ที่อยู่ภายนอกผิวของเส้นใย ส่งผลให้พื้นผิวเส้นใยมีความขรุขระเพิ่มขึ้น ความขรุขระของพื้นผิวของเส้นใยนั้นทำให้มีโอกาสเพิ่มแรงยึดติดระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ (Mechanical interlocking) ส่งผลให้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น

วิธีเบนโซเลชัน (Benzoylation) ใช้สารละลายเบนโซอิลคลอไรด์ (Benzoyl chloride, C_7H_5ClO) ในการปรับปรุง เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่นำไปใช้เป็นส่วนเสริมแรงในพอลิเมอร์คอมโพสิตอีกวิธีหนึ่ง เมื่อเส้นใยผ่านการปรับปรุงแล้วทำให้ลดความเป็นวัสดุที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ของเส้นใย โดยไปเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวเส้นใยเกิดเป็นวงอะโรมาติก และยังเพิ่มแรงยึดติดระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ ทำให้เพิ่มความแข็งแรงของคอมโพสิต และมีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดีขึ้นด้วย

วิธีเปอร์แมงกาเนต (Permanganate) การปรับปรุงเส้นใยด้วยวิธีเปอร์แมงกาเนต (Potassium permanganate, $KMnO_4$) ใช้สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในการปรับปรุง เมื่อทำการปรับปรุงเส้นใยด้วยวิธีเปอร์แมงกาเนตแล้ว ทำให้ทำลายพันธะไฮโดรเจนของเซลลูโลสในเส้นใย ส่งผลให้ลดความเป็นวัสดุที่ชอบน้ำของเส้นใย ซึ่งส่งผลเช่นเดียวกันกับวิธีอัลคาไลน์ทรีตเมนต์ และวิธีเบนโซเลชัน

นอกจากนี้สมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ เช่น การยึดเกาะระหว่างคอมโพสิตกับสารเสริมแรง ปริมาณสารเสริมแรง กระบวนการผลิต การจัดเรียงตัวและการกระจายตัวของสารเสริมแรง รอยตำหนิ (Flaws) หรือช่องว่าง (Voids) ภายในวัสดุคอมโพสิต ขนาดและรูปร่างของสารเสริมแรง อีกทั้งปริมาณพลาสติกไซเซอร์ส่งผลต่อสมบัติของวัสดุคอมโพสิตเช่นกัน จากงานวิจัยของ Bouaffif, H. และคณะ [16] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตอนุภาคจากต้นสน กับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง ใช้วิธีการขึ้นรูปแบบฉีดขึ้นรูป โดยทำการทดลองใช้อนุภาคไม้ขนาด 24 42 และ 65 mesh พบว่าอนุภาคไม้ที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ส่งผลให้คอมโพสิตมีค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัสของยัง ค่าความแข็งแรงโค้งงอ ค่ามอดุลัสของการโค้งงอที่สูงขึ้น แต่ส่งผลให้ค่าความเหนียว (Toughness) และค่าการยึดตัว ณ จุดขาดที่ลดต่ำลง

ส่วนงานวิจัยของ Thirmizir, M. Z. A. และคณะ [17] ที่ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยปอแก้วกับพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ใช้วิธีการขึ้นรูปด้วยวิธีการกดอัด ทำการศึกษาผลของปริมาณเส้นใยที่ใช้ในพอลิเมอร์คอมโพสิต (ปริมาณเส้นใยที่ใช้ 10-40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ที่มีต่อค่าความแข็งแรงโค้งงอ และค่ามอดุลัสของการโค้งงอที่ได้ พบว่าเมื่อทำการเพิ่มปริมาณเส้นใยลงไป ในคอมโพสิตส่งผลให้คอมโพสิตมีค่าความแข็งแรงโค้งงอ และค่ามอดุลัสของการโค้งงอที่สูงขึ้น แต่มีค่าลดลงที่ปริมาณเส้นใย 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เนื่องจากเส้นใยเกิดการกระจุกตัวรวมกัน ส่งผลให้พื้นผิวระหว่างวัฏภาคเส้นใยและวัฏภาคพอลิเมอร์ลดลง

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

เพื่อทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตชีวภาพชนิดย่อยสลายได้ผสมระหว่างพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) กับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปลา (EFBF) ที่เหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันโดยเน้นศึกษาปัจจัยบางประการที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้ เช่น ขนาดและปริมาณของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปลา ปริมาณการใส่พลาสติกไซเซอร์ และผลของการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปลาด้วยวิธีอัลคาไลน์ทรีตเมนต์ วิธีเบนโซเลชัน และวิธีเปอร์แมงกาเนต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. เตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตผสมระหว่างพอลิบิวทีลีนซัคซิเนต กับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า โดยใช้เทคนิคการฉีดขึ้นรูป

2. ศึกษาผลของขนาดเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการบดและคัดแยกขนาดเส้นใยโดยใช้เครื่องร่อนแยกขนาดเพื่อควบคุมขนาดของเส้นใย ได้เส้นใยขนาดแตกต่างกัน 4 ขนาด คือ เบอร์ 1 (ใหญ่กว่า 20 mesh, ใหญ่กว่า 841 micron), เบอร์ 2 (20-40 mesh, 841-450 micron), เบอร์ 3 (40-60 mesh, 450-250 micron) และ เบอร์ 4 (เล็กกว่า 60 mesh, เล็กกว่า 250 micron) จากนั้นนำมาขึ้นรูปเป็นพอลิเมอร์คอมโพสิต เพื่อศึกษาผลของขนาดของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) และการกระจายตัวของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าในคอมโพสิตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้ โดยควบคุมอัตราส่วนของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า 20 php

3. ศึกษาผลของปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต โดยเลือกใช้เส้นใยเบอร์ 4 ซึ่งเป็นเส้นใยที่มีปริมาณมากที่สุด ค่าสัดส่วนความเพียวสูงที่สุดและมีขนาดเส้นใยที่เล็กที่สุด นำมาขึ้นรูปเป็นพอลิเมอร์คอมโพสิต ใช้ปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า (0-40 php) ทำการศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อนด้วย DSC และการกระจายตัวของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าในคอมโพสิตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

4. ศึกษาผลของปริมาณพลาสติกไซเซออร์ (Acetyl tributyl citrate) ที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต โดยทำการทดลองที่ปริมาณพลาสติกไซเซออร์ 0-20 php ที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลที่ได้ และสมบัติทางความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไป

5. ศึกษาวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยด้วยวิธีอัลคาไลน์ทรिटเมนต์ วิธีเบนโซเลชัน และวิธีเปอร์แมงกาเนต ที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต ได้แก่ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สัณฐานวิทยา วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยเทคนิคแอกเททโททรีเฟลกชันฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (ATR FT-IR) และการดูดซับน้ำของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า (Water absorption)

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตผสมระหว่างพอลิบิวทีลีนซัคซิเนต กับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าโดยมีสมบัติเชิงกลที่ดี

2. ช่วยลดปริมาณขยะจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน และยังสามารถเพิ่มมูลค่าของเหลือจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันได้อีกด้วย

3. สามารถนำความรู้ที่ได้ไปเป็นพื้นฐานในการวิจัยและประยุกต์ใช้งานในพอลิเมอร์คอมโพสิตอื่นๆ ได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัสดุคอมโพสิต

วัสดุคอมโพสิต หรือ “วัสดุประกอบ” เป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมและมีการใช้งานอย่างมากในปัจจุบันมีการใช้ผลิตภัณฑ์วัสดุคอมโพสิตมากกว่า 10 ล้านตันต่อปี และมีอัตราการใช้เพิ่มขึ้นทุกปี ประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์ [18] วัสดุคอมโพสิตจัดเป็นวัสดุวิศวกรรม (Engineering materials) ที่สำคัญชนิดหนึ่ง ปัจจุบันมีการใช้งานวัสดุคอมโพสิตเป็นวัสดุโครงสร้างและรับแรงสำหรับงานวิศวกรรม เช่น ใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องบิน รถยนต์ เรือ เฟอร์นิเจอร์ และอุปกรณ์กีฬา เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุคอมโพสิตมีสมบัติที่ดีหลายประการ ที่สำคัญที่สุดคือ มีความแข็งแรงสูง แต่มีน้ำหนักเบา เมื่อเทียบกับวัสดุอื่นๆ เช่น โลหะ (Metal) หรือเซรามิกส์ (Ceramic) วัสดุคอมโพสิตจึงมีความแข็งแรงจำเพาะ (Specific strength) สูง ดังนั้นเมื่อใช้วัสดุคอมโพสิตเป็นส่วนประกอบในโครงสร้าง เช่น ยานพาหนะ ทำให้วัสดุมีความแข็งแรงสูง น้ำหนักเบา เคลื่อนที่ได้เร็วขึ้นมีประสิทธิภาพในการขนส่ง และประหยัดพลังงานมากขึ้น นอกจากนี้วัสดุคอมโพสิตยังมีสมบัติที่อยู่ในช่วงกว้าง เนื่องจากมีความหลากหลายทั้งชนิดและรูปแบบ สามารถเลือกใช้และสร้างวัสดุคอมโพสิตให้เหมาะสมกับการใช้งานได้

ปัจจุบันมีการเรียกวัดวัสดุคอมโพสิต เช่น พลาสติกเสริมแรง (Reinforced Plastics, RP) พลาสติกเสริมแรงไฟเบอร์กลาส (Fiberglass Reinforced Plastics, FRP) แผ่นลามิเนตเสริมแรง (Reinforced Plastics Laminates, RPL) หรือไฟเบอร์กลาส (Fiberglass) เป็นต้น

คอมโพสิตเป็นวัสดุที่ประกอบด้วยวัสดุอย่างน้อย 2 ชนิดผสมกันเพื่อให้ได้สมบัติที่ดีขึ้น เช่น ความแข็งแรง การนำไฟฟ้า การทนต่ออุณหภูมิสูง และทนต่อการกัดกร่อน เป็นต้น นอกจากนี้วัสดุทั้ง 2 ชนิดนั้นต้องไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน [18]

2.1.1 เมทริกซ์

โดยมีวัสดุชนิดที่หนึ่งเป็น เมทริกซ์หรือวัสดุภาคต่อเนื่อง ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้เส้นใยหรืออนุภาคเกิดการกระจายตัวและช่วยถ่ายเทแรงกระทำจากภายนอกที่กระทำต่อวัสดุคอมโพสิตมายังเส้นใยหรืออนุภาค

หน้าที่ของเมทริกซ์มีดังนี้

- ให้เส้นใยกระจายตัวและยึดเกาะตามทิศทางที่ต้องการ
- ป้องกันไม่ให้เส้นใยเกิดความเสียหายอันเนื่องจากสิ่งแวดล้อม
- ถ่ายเทแรงกระทำจากภายนอกไปสู่เส้นใย
- กำหนดรูปร่างของวัสดุ
- เชื่อมต่อกับสารเสริมแรง

สำหรับพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นเมทริกซ์โดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ประเภทดังนี้

2.1.1.1 เทอร์โมเซต (Thermoset)

เทอร์โมเซตมีความแข็งแรงและเหนียวในขั้นตอนการผลิตจึงอาศัยเฉพาะความร้อนและรอให้เกิดการแข็งตัวซึ่งต่างจากเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) ที่ต้องทำให้เย็นตัวลงเพื่อให้เกิดเป็นผลึก (Crystallization) แต่ข้อเสียของเทอร์โมเซตคือ ต้องใช้เวลาแข็งตัวนานและ มักเปราะพลาสติกในกลุ่มนี้มีรูปทรงถาวรเมื่อผ่านกรรมวิธีผลิตโดยให้ความร้อนและความดันเข้าไป เกิดการหลอมตัวและเกิดการเชื่อมโยง (Crosslinked) ระหว่างสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์เกิดเป็นโครงสร้างร่างแห (Network structure) และไม่สามารถเปลี่ยนรูปร่างกลับไปกลับมาใหม่ โดยการให้ความร้อนเหมือนกับพลาสติกในกลุ่มเทอร์โมพลาสติก แต่ใหม่และเสื่อมสภาพไปมีสมบัติที่เปลี่ยนไปจากเดิม ข้อดีของพลาสติกกลุ่มนี้คือ มีความแข็งแรงสูงและทนทานต่ออุณหภูมิสูงได้ดีตัวอย่างเทอร์โมเซต เช่น ฟีนอล-ฟอร์มัลดีไฮด์ (Phenol formaldehyde) เมลามีน-ฟอร์มัลดีไฮด์ (Melamine formaldehyde) ยูเรีย-ฟอร์มัลดีไฮด์ (Urea formaldehyde) อีพอกซี (Epoxy) พอลิยูรีเทน (Polyurethane) และซิลิโคน (Silicone)

2.1.1.2 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)

เทอร์โมพลาสติกมีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลเป็นอิสระต่อกันเมื่อให้ความร้อนสามารถหลอมเหลวได้ และแข็งตัวเมื่อเย็นลงสามารถหลอมและแข็งตัวได้หลายๆ ครั้งโดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีเปลี่ยนไปเทอร์โมพลาสติกไม่เกิดการเชื่อมโยง ดังนั้นสมบัติเชิงกลขึ้นอยู่กับสมบัติของมอนอเมอร์ (Monomer) และน้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight) ตัวอย่างเทอร์โมพลาสติก เช่น พอลิสไตรีน พอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีน เป็นต้น

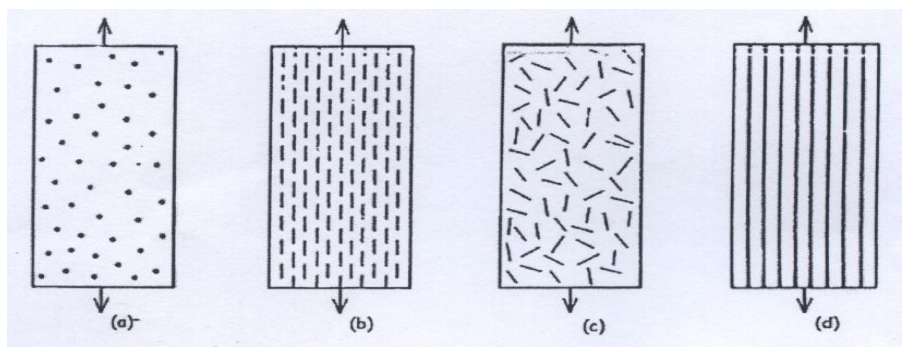
2.1.2 วัสดุเสริมแรง

วัสดุชนิดที่สองคือ วัสดุเสริมแรง เป็นวัสดุเสริมแรงหรือส่วนเสริมแรง ซึ่งกระจายตัวอยู่ในเมทริกซ์ วัสดุเสริมแรงมีลักษณะรูปร่างได้หลายแบบอาจเป็นแผ่น (Flake) เส้นใย (Fiber) หรืออนุภาค (Particle) ที่มีขนาดเล็ก วัสดุเสริมแรงที่นิยมใช้ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นเส้นใย โดยเส้นใยอาจมีความยาวต่อเนื่อง (Continuous fibers) ตลอดความยาวของเมทริกซ์ หรืออาจเป็นเส้นใยขนาดสั้น (Short fibers) กระจายตัวอยู่ในเมทริกซ์ ตัวอย่างเส้นใยที่นิยมใช้เสริมแรงในพอลิเมอร์คอมโพสิต ได้แก่ เส้นใยแก้ว (Glass fiber) เส้นใยคาร์บอน (Carbon fiber) เส้นใยอะรามิด (Aramid fiber) และเส้นใยธรรมชาติ เป็นต้น วัสดุเสริมแรงอยู่ในสภาพของแข็งซึ่งมีโครงสร้างที่แตกต่างไปจากเมทริกซ์ ซึ่งเป็นสารจำพวกพอลิเมอร์ประเภทอนินทรีย์ และมีความเหนียวต่อการเกิดปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ การเติมวัสดุเสริมแรงมีผลต่อพอลิเมอร์โดยทำให้สมบัติกายภาพ (Physical properties) ของพอลิเมอร์ต่างไปจากเมื่อไม่มีวัสดุเสริมแรง [18]

หน้าที่ของวัสดุเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิต ได้แก่

- เพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุคอมโพสิต
- สามารถรับแรงกระแทกจากภายนอกที่กระทำต่อวัสดุคอมโพสิตได้ ช่วยไม่ให้เกิดการเสียหายหรือการผิดรูปภายใต้แรงกระทำนั้นๆ โดยแรงกระทำนั้นถูกถ่ายทอดไปตามเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างคอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน [18]

- (a) ส่วนเสริมแรงเป็นอนุภาค จัดเรียงตัวแบบสุ่ม
- (b) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยสั้น จัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน
- (c) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยสั้น จัดเรียงตัวแบบสุ่ม
- (d) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยยาว จัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน

2.1.3 การแบ่งชนิดของคอมโพสิต (Classification of composites)

การแบ่งชนิดวัสดุคอมโพสิตในหลายแบบ อาจแบ่งชนิดคอมโพสิตตามลักษณะวัสดุเสริมแรงสามารถแบ่งได้ดังนี้

1. คอมโพสิตแบบเส้นใย (Fibrous composites) คือคอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใย อาจเป็นเส้นใยสั้นหรือเส้นใยยาวต่อเนื่อง มักเป็นเส้นใยขนาดเล็ก มีความแข็งแรงและมอดุลัสสูง ทำให้คอมโพสิตมีความแข็งแรงตามแนวการเรียงตัวของเส้นใยสูงกว่าแนวอื่นๆ
2. คอมโพสิตแบบแผ่นหรือลามิเนต (Laminar composites) คือคอมโพสิตที่ประกอบด้วย ชั้นหรือแผ่นของวัสดุที่ยึดติดกันด้วยตัวเชื่อมเมทริกซ์ มีลักษณะเป็นเป็นชั้นๆ คล้ายแซนด์วิช (Sandwich) หรือเป็นโครงสร้างคล้ายรังผึ้ง (Honeycomb)
3. คอมโพสิตแบบก้อน (Particulate composites) คือคอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงเป็นเม็ด (Beads) แผ่น (Flake) หรือผง (Powder) ที่มีขนาดเล็ก (มักมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน) [18]



รูปที่ 2.2 ประเภทของคอมโพสิต [18]

ประเภทตามเมทริกซ์แบ่งได้ 3 ประเภท คือ

1. เซรามิก (Ceramic Matrix Composites, CMC)
2. โลหะ (Metal Matrix Composites, MMC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ โดย วิทยาลัยการอาชีพสุพรรณบุรี ห้าหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทตามลักษณะการเกิดของคอมโพสิตแบ่งได้ 2 ประเภท คือ

1. คอมโพสิตจากธรรมชาติ (Natural composites) คือวัสดุคอมโพสิตที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ไม้ (Wood) ฟัน (Teeth) และกระดูก (Bone) ไม้เป็นคอมโพสิตของเส้นใยเซลลูโลสเป็นส่วนเสริมแรง โดยมีสารจำพวกลิกนิน (Lignin) เป็นเมทริกซ์ยึดเซลลูโลสไว้ด้วยกัน ส่วนกระดูกและฟันเป็นคอมโพสิตของผลึกแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ (Hydroxyapatite) อยู่ในเมทริกซ์ของสารอินทรีย์คอลลาเจน (Collagen) ที่เหนียว เป็นต้น

2. คอมโพสิตจากการสังเคราะห์ (Synthetic composites) คือวัสดุคอมโพสิตที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น พลาสติกเสริมแรง วัสดุไฟเบอร์กลาส เป็นต้น

สมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตขึ้นอยู่กับ

- การยึดเกาะระหว่างคอมโพสิต และสารเสริมแรง
- สมบัติของเมทริกซ์ และสารเสริมแรง
- ปริมาณสารเสริมแรง
- ขนาด และรูปร่างของสารเสริมแรง
- กระบวนการผลิต
- การจัดเรียงตัว และการกระจายตัวของสารเสริมแรง
- ตำหนิ (Flaws) หรือช่องว่าง (Voids) ภายในวัสดุคอมโพสิต

2.1.4 ข้อดีและข้อเสียของวัสดุคอมโพสิต

ข้อดีของคอมโพสิต

สมบัติต่อน้ำหนักหรือความหนาแน่น (Properties to weight /density ratio) สูง เช่น ความแข็งแรงจำเพาะ โมดูลัสจำเพาะ ความแข็งเปราะจำเพาะ (Specific stiffness) เป็นต้น เนื่องจากวัสดุคอมโพสิตมีความหนาแน่นต่ำ น้ำหนักเบาช่วยลดน้ำหนักของวัสดุมีสมบัติหลากหลาย สามารถสร้างวัสดุคอมโพสิตให้เหมาะสมกับการใช้งาน เช่น จัดให้เส้นใย (วัสดุเสริมแรง) เรียงตัวตามแนวรับแรงมีอายุการใช้งานยาวนาน มีสมบัติความต้านทานต่อการสึกกร่อนดี มีสมบัติการรับแรงและมีการหน่วง (Damping) ที่ดี

ความทนทานต่อการล้า (Fatigue resistance) ดี มีเสถียรภาพของรูปร่าง (Dimensional stability) สูง เนื่องจากมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน (Coefficients of Thermal Expansion, CTE) ต่ำเมื่อเทียบกับวัสดุอื่นๆ เช่น โลหะ

ข้อเสียของคอมโพสิต

ต้นทุนการผลิตสูง เนื่องจากราคาของวัตถุดิบและเครื่องมือในการขึ้นรูปคอมโพสิต มักมีสมบัติแต่ละทิศทางไม่เท่ากัน หรือมีสมบัติแอนไอโซโทรปี (Anisotropy) เนื่องจากมีการจัดเรียงตัว (Orientation) ของวัสดุเสริมแรงเป็นสาเหตุให้คอมโพสิตไม่แข็งแรงในแนวตั้งฉากกับแนวการเรียงตัว (Transverse direction) การต่อ (Attaching) หรือเชื่อมติดกับวัสดุอื่นทำได้ยาก

การตรวจวิเคราะห์สมบัติคอมโพสิต การนำกลับมาใช้ใหม่ (Reuse) และการรีไซเคิล (Recycle) ทำได้ยาก เนื่องจากประกอบด้วยวัสดุอย่างน้อย 2 ชนิดขึ้นไป

2.1.5 ทฤษฎีการยึดเกาะ (Theories of adhesion) [18]

1. การดูดซับและการเปียก (Adsorption and wetting) เมื่อพื้นผิวที่ไม่มีประจุไฟฟ้าอยู่ใกล้กันมากพอเกิด “แรงดึงดูดเชิงกล” (Physical attraction) เช่น การเปียกของของเหลวบนพื้นผิวของแข็ง การเปียกเกิดมากหรือน้อยดูได้จาก “มุมสัมผัส” (Contact angle) ถ้าของเหลวมีความสามารถในการเปียก (Wettability) บนพื้นผิวของแข็งดี ของเหลวชอบที่สัมผัสพื้นผิวของแข็งเกิดการแพร่กระจายบนพื้นผิวของแข็ง ทำให้มีค่ามุมสัมผัสน้อย ในทางตรงข้ามถ้าวัสดุมีความสามารถในการเปียกต่ำ ของเหลวไม่ชอบสัมผัสกับของแข็งเป็นผลให้ค่ามุมสัมผัสมาก

2. การแพร่เข้าหากันหรืออินเทอร์ดิฟฟิวชัน (Interdiffusion) การยึดเกาะของพื้นผิวพอลิเมอร์สองชนิดสามารถเกิดได้ ถ้าโมเลกุลพอลิเมอร์ที่บริเวณพื้นผิวสัมผัสทั้งสองชนิดมีการแพร่ (Diffusion) เข้าหาซึ่งกันและกัน ความแข็งแรงของการยึดเกาะชนิดนี้ขึ้นกับปริมาณการพันกันของสายโซ่โมเลกุล (Molecular entanglement) ว่ามีมากหรือน้อย อีกทั้งขึ้นอยู่กับชนิดและจำนวนสายโซ่โมเลกุลที่เกิดการพันกัน เนื่องจากความสามารถในการแพร่และการพันกันของสายโซ่ขึ้นอยู่กับความสามารถในการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุล (Molecular motion) ดังนั้นการยึดเกาะแบบอินเทอร์ดิฟฟิวชันสามารถเพิ่มได้โดยการใช้ตัวทำละลายทาที่พื้นผิว หรือการใช้สารเติมแต่งจำพวกพลาสติกไซเซอร์ ทำให้สายโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์สามารถเคลื่อนที่ได้ง่าย กลไกการยึดเกาะแบบนี้สามารถเกิดกับเส้นใยที่มีการเคลือบพอลิเมอร์เพื่อปรับปรุงพื้นผิวก่อนการผสมกับเมทริกซ์ แต่ไม่เกิดในคอมโพสิตที่มีพื้นผิวเส้นใยแข็ง ไม่มีการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุล เช่น เส้นใยคาร์บอน เส้นใยแก้ว

3. แรงดึงดูดประจุหรือไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic attraction) แรงดึงดูดเกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวสองชนิดที่มีประจุต่างกันมาอยู่ใกล้เคียงกัน นั่นคือถ้าพื้นผิวหนึ่งมีประจุรวมเป็นบวก (Net positive charge) และอีกพื้นผิวหนึ่งมีประจุรวมเป็นลบ (Net negative charge) ตัวอย่างเช่น อันตรกิริยาระหว่างกรด-เบส และพันธะไอออนิก ความแข็งแรงของกลไกการยึดเกาะนี้ขึ้นกับความหนาแน่นประจุ (Charge density) แรงดึงดูดประจุหรือไฟฟ้าสถิตย์ไม่ใช่แรงยึดเกาะหลักระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ในคอมโพสิต แต่แรงดึงดูดชนิดนี้มีส่วนร่วมกับกลไกการยึดเกาะชนิดอื่น ช่วยให้เกิดการยึดเกาะในคอมโพสิตได้ดีขึ้น

4. พันธะเคมี (Chemical bonding) เกิดขึ้นเมื่อเส้นใยมีหมู่ฟังก์ชันเคมี (Functional groups) ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีกับเมทริกซ์ได้ เช่น พันธะโควาเลนต์ซึ่งเป็นการยึดเกาะที่แข็งแรง ความแข็งแรงของกลไกการยึดเกาะชนิดนี้ขึ้นกับจำนวนและชนิดของพันธะที่เกิดขึ้น การเสถียรภาพของคอมโพสิตที่วัฏภาคเกี่ยวข้องกับการแตกหักของพันธะเคมีนี้

5. การยึดเกาะเชิงกล (Mechanical interlocking) เกิดในกระบวนการขึ้นรูปคอมโพสิตเรซินเมทริกซ์เปียกบนพื้นผิวเส้นใยในขณะที่เป็นของไหลสามารถที่แทรกตัวตามพื้นผิวขรุขระของเส้นใยรวมทั้งซอกร่องรูและช่องว่างอื่นๆ บนพื้นผิว เมื่อทำการเชื่อมโยงทำให้เกิดการแข็งตัวของเมทริกซ์เป็นเหตุให้เมทริกซ์ถูกล็อกแข็งติดอยู่บนพื้นผิวของเส้นใย ความแข็งแรงของการยึดเกาะชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความขรุขระ (Roughness) ของพื้นผิวเส้นใยที่ทำให้เกิดการแทรกตัวของเรซิน รวมทั้งปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อความสามารถของเรซินในการเปียกและแทรกตัวในพื้นผิวเส้นใย เช่น ความหนืดเรซิน พื้นผิวเส้นใยที่เรียบเกิดการยึดเกาะเชิงกลน้อยหรือไม่เกิดเลย

2.2 พลาสติกชีวภาพ

พลาสติก (Plastic) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มนุษย์คิดค้นและประดิษฐ์ขึ้นเพื่อช่วยอำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวัน พลาสติกจัดเป็นสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยธาตุต่างๆ คือ คาร์บอน (Carbon) ไฮโดรเจน (Hydrogen) และออกซิเจน (Oxygen) นอกจากนี้อาจมีธาตุอื่นๆ อีกด้วย เช่น ไนโตรเจน (Nitrogen) ฟลูออรีน (Fluorene) คลอรีน (Chlorene) และกำมะถัน (Sulfer) เป็นต้น เนื่องจากปัจจุบันพลาสติกก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อนำไปฝังดินย่อยสลายยาก และใช้เวลานานทำให้ดินเสื่อมคุณภาพ หรือถ้านำไปเผาทำลายก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ และมลสารที่ปนเปื้อนในอากาศนี้อาจเป็นสารก่อมะเร็งอีกด้วย ด้วยเหตุนี้นักวิทยาศาสตร์จึงได้ศึกษาค้นคว้า และผลิตพลาสติกชนิดใหม่ขึ้นมาทดแทนเพื่อช่วยลดปัญหามลพิษในสิ่งแวดล้อม โดยเรียกพลาสติกชนิดใหม่นี้ว่า พลาสติกชีวภาพหรือพลาสติกชีวภาพย่อยสลายได้ (Biodegradable plastic) [19]

พลาสติกชีวภาพเป็นพลาสติกที่ผลิตขึ้นจากวัสดุธรรมชาติและสามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ วัสดุธรรมชาติที่นำมาผลิตเป็นพลาสติกชีวภาพมีหลายชนิดส่วนใหญ่ได้มาจากพืช เช่น เซลลูโลส คอลลาเจน เคซีน (Casein) พอลิเอสเทอร์ (Polyester) แป้งและโปรตีนจากถั่ว (Soy protein) เป็นต้น ซึ่งแป้งเป็นวัสดุธรรมชาติที่นิยมนำมาผลิตพลาสติกชีวภาพมากที่สุด เพราะหาได้ง่าย มีปริมาณมากและราคาถูก เนื่องจากสามารถผลิตแป้งได้จากพืชหลายชนิด เช่น ข้าวโพด (Corn starch) ข้าวสาลี (Wheat starch) มันฝรั่ง (Potato) มันเทศ (Sweet potato) และมันสำปะหลัง (Cassava) เป็นต้น สำหรับประเทศไทยพืชที่นิยมนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติกชีวภาพ คือ ข้าวโพดและมันสำปะหลัง เนื่องจากเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่มีปริมาณมากและราคาถูก พลาสติกชีวภาพเมื่อย่อยสลายหมดแล้วได้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide gas, CO₂) และน้ำ (H₂O) ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตและดำรงชีวิตได้ ปัจจุบันมีการนำพลาสติกชีวภาพมาใช้ประโยชน์ในหลายๆ ด้านด้วยกัน เช่น

1. ด้านการแพทย์ โดยการนำพลาสติกชีวภาพมาผลิตเป็นวัสดุทางการแพทย์ เช่น ผิวนั่งเทียม ยาที่ถูกออกแบบมาให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยตัวยาอย่างช้าๆ ภายในร่างกายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง หรือไหมละลาย อุปกรณ์ประเททศกรู และแผ่นตามกระดูกที่ได้รับการผ่าตัดและฝังอยู่ในร่างกายที่สามารถย่อยสลายได้เองภายหลังจากการทำหน้าที่ตามที่ได้รับบาดเจ็บแล้วเสร็จสิ้น ทำให้ไม่ต้องทำการผ่าตัดซ้ำเพื่อนำวัสดุที่ใช้ในการรักษาเสร็จแล้วออกจากร่างกายผู้ป่วย

2. ด้านบรรจุภัณฑ์เพื่อการบริโภค เช่น สารเคลือบกระดาษสำหรับห่ออาหาร หรือแก้วน้ำชนิดใช้แล้วทิ้ง ถ้วยสำหรับใส่ของ ถ้วยหรือถาดย่อยสลายได้สำหรับบรรจุอาหารสำเร็จรูป และอาหารจานด่วน ฟิล์มและถุงพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพสำหรับใช้ใส่ขยะเศษอาหาร โฟมเม็ดกันกระแทกซึ่งโดยทั่วไปผลิตจากพอลิสไตรีน เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านการขนส่งสินค้า มีข้อดีคือ มีความยืดหยุ่นสามารถป้องกันสินค้าจากแรงกระแทกระหว่างการเคลื่อนย้ายและขนส่งได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังมีน้ำหนักเบาทำให้การขนส่งสินค้าเป็นไปได้สะดวก และประหยัดเชื้อเพลิง แต่ข้อเสียคือ พอลิสไตรีนเป็นพลาสติกที่ย่อยสลายได้ยากและใช้เนื้อที่ในการจัดเก็บเพื่อการกำจัดสูง ในกรณีที่ต้องกำจัดด้วยการฝังกลบต้องใช้เนื้อที่ในบ่อฝังกลบมาก แม้วานำมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้แต่ยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายมากนัก ปัจจุบันมีการพัฒนาการผลิตโฟมเม็ดกันกระแทกจากแป้งและ พอลิเมอร์ชนิดอื่นที่ละลายน้ำและย่อยสลายได้ทางชีวภาพขึ้น ทำให้ง่ายต่อการใช้งานและสะดวกในการกำจัดเมื่อสิ้นสุดการใช้งานแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ด้านการเกษตร นิยมนำมาผลิตเป็นแผ่นฟิล์มคลุมดินสำหรับการเกษตรเป็นอุปกรณ์ทางการเกษตรที่สำคัญในการเพาะปลูกพืชบางชนิด เช่น มะเขือเทศ (Tomato) ซึ่งแผ่นฟิล์มช่วยป้องกันการเติบโตของวัชพืชและรักษาความชื้นในดิน การใช้ฟิล์มสามารถผลิตได้จากพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพช่วยลดขั้นตอนการเก็บและกำจัดฟิล์มภายหลังเสร็จสิ้นการใช้งาน เนื่องจากสามารถกำจัดโดยการไถพรวนลงดินได้โดยตรง ช่วยป้องกันการสูญเสียแร่ธาตุและสารอาหารบริเวณหน้าดินซึ่งมักเกิดขึ้นในขั้นตอนการเก็บและกำจัดฟิล์ม นอกจากนี้ยังมีการนำพลาสติกย่อยสลายได้มาใช้เป็นวัสดุควบคุมการปลดปล่อยสารสำคัญ เช่น ตัวยา ปุ๋ย สารเคมีสำหรับการเกษตร วัสดุกักเก็บน้ำสำหรับการเพาะปลูกพืชในทะเลทราย รวมถึงถุงหรือกระถางสำหรับเพาะต้นกล้า

ปัจจุบันพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพมีอยู่หลายชนิดแต่ชนิดที่ได้รับความสนใจและกำลังพัฒนาสู่ระดับอุตสาหกรรมก็คือพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต

พอลิแลคติกแอซิด เป็นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพชนิดพอลิเอสเทอร์ผลิตจากกระบวนการหมักน้ำตาลให้เป็นกรดแลคติก (Lactic acid) จากนั้นจึงนำมาทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ผลิตเป็นเม็ดพลาสติกพอลิแลคติกแอซิด ซึ่งมีสมบัติคล้ายกับพอลิสไตรีนและพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate, PET) เหมาะสมสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตต่างๆ เช่นการฉีดขึ้นรูป การกดอัด (Compression molding) การเป่าขึ้นรูป (Blow molding) และการอัดรีด (Extrusion molding)

พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตเป็นพลาสติกสลายได้ทางชีวภาพชนิดพอลิเอสเทอร์อีกชนิดหนึ่งผลิตจากมอนอเมอร์ (Monomer) หลัก 2 ชนิดคือกรดซัคซิินิก (Succinic acid) ที่ผลิตมาจากพืชและ 1,4-บิวทิลีนไดออล (1,4-Butanediol) ที่ผลิตจากปิโตรเลียมพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต มีสมบัติคล้ายพอลิเอทิลีน สามารถนำมาขึ้นรูปได้ง่ายในหลากหลายกระบวนการโดยเฉพาะการฉีดขึ้นรูป และการเป่าขึ้นรูปฟิล์มสามารถทนความร้อนได้ตั้งแต่ 80-95°C และมีความยืดหยุ่นที่ดีอีกทั้งยังสามารถนำไปผสมกับพอลิแลคติกแอซิด เพื่อปรับปรุงสมบัติให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์หลายประเภทได้อีกด้วย

2.2.1 ประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้

กลไกการย่อยสลายของพลาสติกแบ่งเป็น 5 ประเภท คือ

1. การย่อยสลายได้โดยแสง (Photodegradation) การย่อยสลายโดยแสงมักเกิดจากการเติมสารเติมแต่งที่มีความไวต่อแสงลงในพลาสติก หรือสังเคราะห์โคพอลิเมอร์ให้มีหมู่ฟังก์ชันหรือพันธะเคมีที่ไม่แข็งแรง แตกหักง่ายภายใต้รังสี (UV) เช่น หมู่คีโตน (Ketone group, $-RC$) อยู่ในโครงสร้าง เมื่อสารหรือหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวสัมผัสกับรังสียูวีเกิดการแตกของพันธะกลายเป็นอนุมูลอิสระ (Free radicals) ซึ่งไม่เสถียร จึงเข้าทำปฏิกิริยาต่ออย่างรวดเร็วที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ แต่การย่อยสลายนี้ไม่เกิดขึ้นภายใน บ่อฝังกลบขยะ หรือสภาวะแวดล้อมอื่นที่มืด หรือแม้กระทั่งชั้นพลาสติกที่มีการด้วยหมึกที่หนาмаกบนพื้นผิว เนื่องจากพลาสติกไม่ได้สัมผัสกับรังสียูวีโดยตรง

2. การย่อยสลายทางกล (Mechanical degradation) โดยการให้แรงกระทำแก่ชิ้นพลาสติกทำให้ชิ้นส่วนพลาสติกแตกออกเป็นชิ้น ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปในการทำให้พลาสติกแตกเป็นชิ้นเล็กๆ

3. การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative degradation) การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันของพลาสติก เป็นปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนลงในโมเลกุลของพอลิเมอร์ซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถเกิดขึ้นได้เองในธรรมชาติอย่างช้าๆ โดยมีออกซิเจน (Oxygen) และความร้อน แสงยูวี หรือ แร่ทางกลเป็นปัจจัยสำคัญ เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide, $-ROOH$) ในพลาสติกที่ไม่มีการเติมสารเติมแต่งที่ทำหน้าที่เพิ่มความเสถียร (Stabilizing additive) แสงและความร้อนทำให้ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ แตกตัวกลายเป็นอนุมูลอิสระ RO และ OH ที่ไม่เสถียรและเข้าทำปฏิกิริยาต่อที่พันธะเคมีบนตำแหน่งคาร์บอนในสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลอย่างรวดเร็ว แต่ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ได้รับการวิจัยและพัฒนาขึ้นในปัจจุบันทำให้พอลิโอเลฟิน (Polyolefin) เกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันกับออกซิเจนได้เร็วขึ้นภายในช่วงเวลาที่กำหนด โดยการเติมสารเติมแต่งที่เป็นเกลือของโลหะทรานสิชัน ซึ่งทำหน้าที่คะตะลิสต์เร่งการแตกตัวของสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์เป็นอนุมูลอิสระ ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแตกหักและสูญเสียสมบัติเชิงกลรวดเร็วยิ่งขึ้น

4. การย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic degradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ (Ester group, $-COOR$) หรือเอไมด์ (Amide group, $-CONH_2$) เช่น แป้ง พอลิเอสเทอร์ พอลิแอนไฮไดรด์ (Polyanhydride) พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate) และพอลิยูรีเทน ผ่านปฏิกิริยาก่อให้เกิดการแตกหักของสายโซ่พอลิเมอร์ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic hydrolysis) และไม่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Non-catalytic hydrolysis) ซึ่งประเภทแรกสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายนอกโมเลกุลของพอลิเมอร์เร่งให้เกิดการย่อยสลาย (External catalytic degradation) และแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์เองในการเร่งให้เกิดการย่อยสลาย (Internal catalytic degradation) โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายนอกมี 2 ชนิด คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเอนไซม์ (Enzyme) ต่างๆ ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพและตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Non-enzyme) เช่น โลหะแอลคาไลด์ (Alkaline metal) เบส (Base) และกรด (Acid) ที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อมในธรรมชาติ ในกรณีนี้จัดเป็นการย่อยสลายทางเคมี สำหรับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแบบที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากภายในโมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นใช้หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl group, $-COOH$) ของหมู่เอสเทอร์หรือเอไมด์บริเวณปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ในการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

5. การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) การย่อยสลายของพอลิเมอร์จากการทำงานของจุลินทรีย์โดยทั่วไปมีกระบวนการ 2 ขั้นตอน เนื่องจากขนาดของสายพอลิเมอร์ยังมีขนาดใหญ่และไม่ละลายน้ำ ในขั้นตอนแรกของการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นภายนอกเซลล์ โดยการปลดปล่อยเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ซึ่งเกิดได้ทั้งแบบใช้เอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกตัวของพันธะภายในสายโซ่พอลิเมอร์อย่างไม่เป็นระเบียบ (Endo-enzyme) และเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการแตกหักของพันธะที่ละหน่วยจากหน่วยซ้ำที่เล็กที่สุดที่อยู่ด้านปลายของสายโซ่พอลิเมอร์ (Exo-enzyme) เมื่อพอลิเมอร์แตกตัวจนมีขนาดเล็กพอแพร่ผ่านผนังเซลล์เข้าไปในเซลล์ และเกิดการย่อยสลายต่อในขั้นตอนที่ 2 ได้ผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย (Ultimate biodegradation) คือ พลังงาน และสารประกอบขนาดเล็กในธรรมชาติ (Mineralization) เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน (Methane gas, CH_4) เกลือแร่ธาตุต่างๆ และชีวมวล (Biomass)

นอกจากนี้ยังพบว่ามีการใช้คำว่า พลาสติกย่อยสลายได้ในสภาวะแวดล้อมธรรมชาติ (Environmentally Degradable Plastics, EDP) ซึ่งหมายถึงพลาสติกที่สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติเนื่องจากปัจจัยต่างๆ ในสภาวะแวดล้อม เช่น กรด เบส น้ำ และออกซิเจนในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธรรมชาติ แสงจากดวงอาทิตย์ แรงเค้นจากการกระทบของเม็ดฝนและแรงลม หรือจากเอนไซม์ของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี กลายเป็นสารที่ถูกดูดซึม และย่อยสลายต่อได้อย่างสมบูรณ์โดยจุลินทรีย์ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ สารอนินทรีย์ และมวลชีวภาพเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย โดยการย่อยสลายและการดูดซึมนี้อาจเกิดขึ้นได้รวดเร็วเพียงพอที่ไม่ทำให้เกิดการสะสมในสภาวะแวดล้อม และพลาสติกที่เป็นมิตรต่อสภาวะแวดล้อม (Environmental-friendly plastics) หรือพลาสติกสีเขียว (Green plastics) หมายถึง พลาสติกที่ทำให้ภาระในการจัดการขยะลดลง และส่งผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมน้อยกว่าพลาสติกที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน [20]

2.2.2 ผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อม

ผลกระทบด้านบวกต่อสภาวะแวดล้อม

การประเมินผลกระทบด้านบวกต่อสภาวะแวดล้อมของการนำพลาสติกย่อยสลายได้มาใช้งานทดแทนพลาสติกทั่วไปในบางโอกาส สามารถทำได้โดยการใช้วิธีประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment) ของพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เปรียบเทียบกับพลาสติกทั่วไปที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเพื่อประเมินผลกระทบที่เป็นประโยชน์ต่อสังคมและสภาพแวดล้อมด้านต่างๆ เช่น แหล่งวัตถุดิบ ซึ่งอาจเป็นแหล่งวัตถุดิบที่ปลูกหรือผลิตทดแทนขึ้นใหม่ได้ หรือเป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี ปริมาณการใช้น้ำและพลังงานในกระบวนการผลิต การใช้สารเคมีในการเพาะปลูก และการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เป็นต้น หากมีการนำพลาสติกย่อยสลายได้มาใช้งาน และมีการกำจัดอย่างมีประสิทธิภาพแล้วก่อให้เกิดประโยชน์ในด้านอื่นๆ ดังต่อไปนี้ [21]

1. คอมโพสิตที่ได้จากการย่อยสลายพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพร่วมกับขยะอินทรีย์อื่นๆ สามารถนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินโดยช่วยเพิ่มสารอินทรีย์ ความชื้น และสารอาหารให้แก่ดิน พร้อมทั้งช่วยลดปริมาณการใช้น้ำและลดการเกิดโรคในพืช การหมักพลาสติกย่อยสลายได้ทำให้เกิดการหมุนเวียนของธาตุ ในขณะที่การใช้พลาสติกมักต้องกำจัดด้วยการฝังกลบหรือเผา

2. ลดเนื้อที่การใช้งานของบ่อฝังกลบขยะ โดยการใช้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และถุงที่ย่อยสลายได้ ทำให้เพิ่มศักยภาพในการย่อยสลายของเศษอาหารหรือขยะอินทรีย์ในบ่อฝังกลบ และเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิง ในกรณีที่บ่อฝังกลบได้ถูกออกแบบมาให้ผลิตและใช้ประโยชน์จากก๊าซมีเทนได้ การใช้ฟิล์มพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพเป็นวัสดุคลุมหน้าบ่อฝังกลบแทนดินในแต่ละวันเป็นการเพิ่มเนื้อที่ให้บ่อฝังกลบ เนื่องจากการปิดหน้าบ่อฝังกลบด้วยดินทุกวันใช้เนื้อที่รวม 25 เปอร์เซ็นต์ของเนื้อที่ในบ่อฝังกลบ

3. การใช้พลังงานในการสังเคราะห์ และผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพน้อยกว่าการผลิตพลาสติกทั่วไป ดังแสดงในตารางที่ 2.1 โดยเทียบกับพลังงานที่ใช้ในการผลิตพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene, LDPE) โดยพลังงานที่ใช้ในการผลิตพอลิไฮดรอกซีอัลคานอเอต (Polyhydroxyalkanoate, PHAs) ใกล้เคียงกับที่ใช้ในการผลิตพอลิเอทิลีน หากการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้โดยใช้สารอาหารน้ำตาลในน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้ง กากน้ำตาล ตะกอนจากบ่อน้ำทิ้ง ทำให้การใช้พลังงานลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การใช้พลังงานในการสังเคราะห์และผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [22]

ชนิดพลาสติก	พลังงานที่ใช้ในการสังเคราะห์ (MJ/kg)
LDPE	81
PHAs-fermentation process	81
HDPE	80
PCL	77
PVOH	58
PLA	57
TPS + 60 เปอร์เซ็นต์ PCL	52
TPS + 52.5 เปอร์เซ็นต์ PCL	48
TPS	25
TPS + 15 เปอร์เซ็นต์ PVOH	25

4. การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญจากการใช้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ แต่จากการศึกษาโดยวิธีประเมินวัฏจักร ตั้งแต่เริ่มการผลิตจนถึงการกำจัด ภายหลังเสร็จสิ้นการใช้งาน พบว่าพลาสติกย่อยสลายได้ก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณที่ต่ำกว่าพอลิเอทิลีน ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนในกรณีที่เป็นพลาสติกที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายของพลาสติก ถูกใช้ไปในการเติบโตของพืชที่ปลูกขึ้นมาใหม่ ทำให้เกิดการหมุนเวียนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในธรรมชาติ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวัฏจักรคาร์บอน ทำให้เกิดความสมดุลของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ

ตารางที่ 2.2 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่สำคัญจากการใช้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ [22]

ชนิดพลาสติก	ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก *10 (Kg CO ₂ eq./kg)
PCL	53
LDPE	50
HDPE	49
PVOH	42
TPS + 60 เปอร์เซ็นต์ PCL	36
TPS + 52.5 เปอร์เซ็นต์ PCL	33
TPS + 15 เปอร์เซ็นต์ PVOH	17
Mater Bi TM film grade	12
Thermoplastic starch	11
Mater Bi TM foam grade	9
PLA	NA
PLA-ferment	NA

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1. ก่อให้เกิดมลภาวะทางน้ำจากการเพิ่มของค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (Biological Oxygen Demand, BOD) และค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (Chemical Oxygen Demand, COD) อันเนื่องมาจากการมีปริมาณสารอินทรีย์ หรือสารอาหารในแหล่งน้ำในปริมาณสูง ทำให้จุลินทรีย์มีความต้องการใช้ออกซิเจนในน้ำสูงขึ้นด้วย ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศน์ทางน้ำ

2. เกิดการปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายของพลาสติกย่อยสลายได้ในสถานะแวดล้อม เช่น การย่อยสลายของพลาสติกในสถานะการฝังกลบหรือการคอมโพสท์ อาจทำให้สารเติมแต่งต่างๆ รวมถึง สี (Color) พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ตกค้างรั่วไหลและปนเปื้อนไปกับแหล่งน้ำใต้ดินและบนดิน ซึ่งสารบางชนิดอาจมีความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์

3. เกิดมลภาวะจากขยะอันเนื่องมาจากการใช้พลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพที่ ถูกทิ้งหรือตกลงในสิ่งแวดล้อมที่มีสถานะไม่เหมาะสมต่อการย่อยสลาย เช่น ถูกลมพัด และติดค้างอยู่บนกิ่งไม้ ซึ่งมีปริมาณจุลินทรีย์ไม่มากพอไม่สามารถย่อยสลายได้ดี นอกจากนี้การใช้พลาสติกย่อยสลายได้อาจทำให้ผู้บริโภคเข้าใจผิดว่า สามารถกำจัดได้ง่ายและรวดเร็วทำให้มีการใช้งานเพิ่มขึ้น และพลาสติกย่อยสลายได้บางชนิดอาจใช้เวลานานหลายปีในการย่อยสลายทางชีวภาพอย่างสมบูรณ์ และก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์ที่กลืนกินพลาสติกเข้าไป เนื่องจากไม่สามารถย่อยสลายได้ภายในกระเพาะของสัตว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ความเป็นพิษของคอมโพสท์ที่ได้จากการหมักพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ เนื่องจากการมีสารตกค้าง หรือใช้สารเติมแต่งที่มีความเป็นพิษ และส่งผลกระทบต่อพืชและสัตว์ที่อาศัยอยู่ในดิน เช่น ไล่เดือน ดังนั้นจึงต้องศึกษาความเป็นพิษ (Toxicity) ของคอมโพสท์ด้วยชั้นส่วนที่เกิดจากการหักเป็นชิ้นเล็กๆ เกิดการสะสมอยู่ในดินที่ใช้ทางการเกษตรในปริมาณเล็กน้อย ช่วยให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศได้ดี จึงนิยมใช้ในสวนดอกไม้ ไร่ถั่ว และใส่ในกระถางเพื่อทำหน้าที่ปรับสมบัติของดิน อย่างไรก็ตามอาจเกิดการสะสมของเศษพลาสติกในดินมากเกินไป อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของดินและปริมาณผลิตผลที่เพาะปลูกได้

5. เกิดสารประกอบที่ไม่ย่อยสลาย เช่น สารประกอบประเภทอะโรแมติก (Aromatic) จากการย่อยสลายของพลาสติกบางชนิด โดยส่วนที่เป็นวงแหวนอะโรแมติกในพอลิเมอร์ เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสารประกอบขนาดเล็ก เช่น กรดเทเรพทาสิก (Terephthalic acid, TPA) ซึ่งย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้

6. การตกค้างของสารเติมแต่งที่เติมลงในพลาสติกย่อยสลายได้ เพื่อปรับสมบัติให้เหมาะสมกับการใช้งาน เช่นเดียวกับพลาสติกทั่วไป เมื่อพลาสติกเกิดการย่อยสลาย สารเติมแต่งเหล่านี้อาจปนเปื้อนอยู่ในสภาวะแวดล้อมได้ เช่น สารช่วยในการผสมพลาสติกต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น เมทิลีนไดไอโซไซยาเนต (Methylene diisocyanate, MDI) สารพลาสติกไซเซอร์ที่มักเติมในพลาสติกเพื่อความยืดหยุ่นเช่น กลีเซอรอล (Glycerol) ซอร์บิทอล (Sorbitol) พรอพิลีนไกลคอล (Propylene glycol) เอทิลีนไกลคอล (Ethylene glycol) และไตรเอทิลซิเตรต (Triethyl citrate) สารตัวเติมที่มักเติมลงในพลาสติกเพื่อทำให้ราคาถูกลงส่วนใหญ่เป็นสารอนินทรีย์ จึงมักเกิดการสะสมในดินและสภาพแวดล้อม อย่างไรก็ตามสารตัวเติมมักค่อนข้างเสถียรจึงมักไม่ทำให้เกิดความเป็นพิษ เช่น แคลเซียมซิลิกอนไดออกไซด์ (Silicon dioxide, SiO₂) เป็นต้น ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการสังเคราะห์พลาสติกย่อยสลายได้มักเป็นสารประกอบของโลหะ ซึ่งในการผลิตโดยทั่วไปมักมีตัวเร่งปฏิกิริยาเหลือค้างอยู่ในเนื้อพลาสติกเสมอ หากเป็นพลาสติกทั่วไปที่ไม่ย่อยสลายตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวจะค้างอยู่ในเนื้อพลาสติก แต่ในกรณีของพลาสติกย่อยสลายได้เมื่อเกิดการย่อยสลายมีการปลดปล่อยตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหลืออยู่ออกมาสู่สภาพแวดล้อมได้

ตารางที่ 2.3 ชนิดของโลหะในตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ [22]

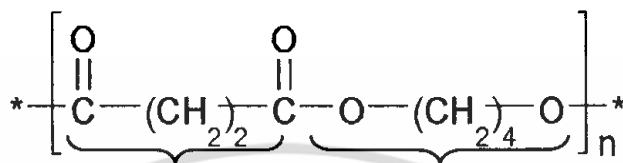
ชนิดโลหะในตัวเร่งปฏิกิริยา	ชนิดของพลาสติก
Tin	PLA, PCL
Antimony	Modified PET
Cobalt	Modified PET
Chromium	PE blends
Cobalt Manganese	Prodegradant Polyethylene
Titanium	Copolyesters

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต

2.3.1 ลักษณะทั่วไป

พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต เป็นพอลิเอสเทอร์สังเคราะห์ที่มีโครงสร้างเป็นสายโซ่ตรงที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ซึ่งเตรียมได้จากปฏิกิริยาการควบแน่น (Condensation polymerization) ของกรดซัคซินิก และ 1,4-บิวเทนไดออล



กรดซัคซินิก

1,4-บิวเทนไดออล

รูปที่ 2.3 รูปโครงสร้างทางเคมีของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต [23]

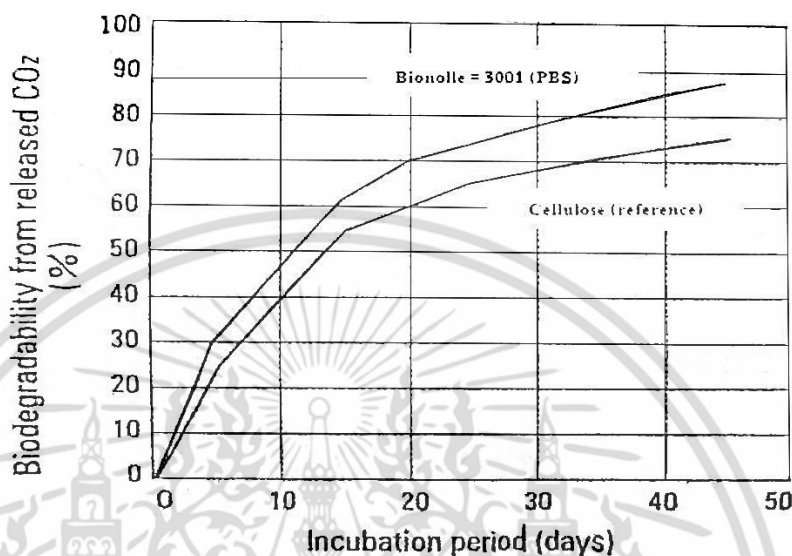
2.3.2 สมบัติของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต

พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตเป็นเทอร์โมพลาสติก มีสีขาว มีความหนาแน่น 1.23-1.26 กรัม/มล. ซึ่งใกล้เคียงกับพอลิแลกติกแอซิด แต่พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตมีจุดหลอมเหลว (Melting temperature, T_m) ต่ำกว่า พอลิแลกติกแอซิด และ พอลิไฮดรอกซีบิวทาทิเรตโคไฮดรอกซีวาเลอริต (Poly(hydroxybutyrate-co-hydroxy-valerate), PHBV) มากและมีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) ต่ำมาก โดยทั่วไปแล้วพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตมีสมบัติเชิงกลสูง ทนความร้อนได้ถึง 200°C โดยไม่เสียสภาพสามารถนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ดีและยังย่อยสลายได้ดีอีกด้วย

2.3.3 วัตถุดิบและเทคโนโลยีการผลิต

กรดซัคซินิกและ 1,4-บิวเทนไดออล เป็นมอนอเมอร์ตั้งต้นที่ใช้ในการผลิตพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต โดยในปัจจุบันมอนอเมอร์ทั้งสองชนิดนี้เตรียมได้จากผลิตภัณฑ์ทางปิโตรเลียม อย่างไรก็ตาม กรดซัคซินิกยังสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบที่ปลูกทดแทนใหม่ได้จากกระบวนการทางชีวภาพโดยการหมัก และยังสามารถนำไปเป็นสารตั้งต้นเพื่อผลิต 1,4-บิวเทนไดออล โดยผ่านการเตรียมเป็น มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride) ก่อนดังแสดงในรูปที่ 2.4

จากมาตรฐานยุโรป (European standard, EN) 13432 ระบุว่าพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพต้องมีการเปลี่ยนแปลงของวัสดุไปเป็นคาร์บอนอินทรีย์ (Organic carbon) อย่างน้อย 90 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลาเพียง 45 วันเท่านั้นโดยกราฟแสดงปริมาณการย่อยสลายของพอลิไบวทิลีนซัคซิเนต แสดงดังรูปที่ 2.5 [25]



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงปริมาณการย่อยสลายของพอลิไบวทิลีนซัคซิเนต [25]

2.3.5 การใช้ประโยชน์ของพอลิไบวทิลีนซัคซิเนต

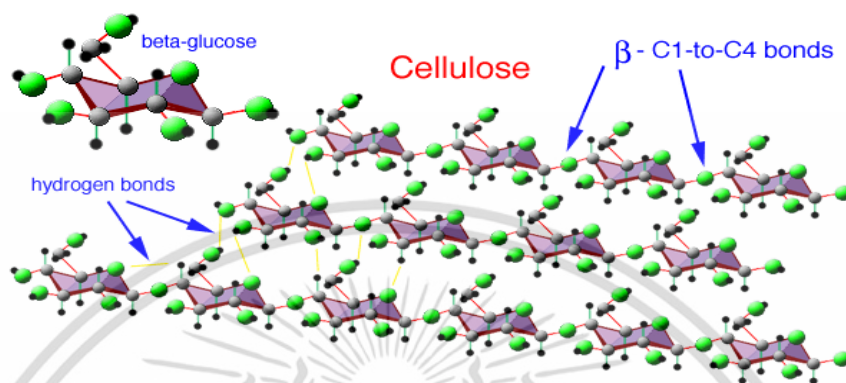
พอลิไบวทิลีนซัคซิเนต สามารถนำไปใช้แทนพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต และ พอลิพรอพิลีน นอกจากนี้สามารถนำไปใช้แทนที่พอลิโอลิฟินส์ เนื่องจากเม็ดพลาสติกชีวภาพชนิดนี้สามารถนำไปขึ้นรูปได้ใกล้เคียงกับพลาสติกทั่วไป อีกทั้งยังมีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าผลิตภัณฑ์พลาสติกชีวภาพชนิดอื่นๆ ในการใช้งานบางประเภทพอลิไบวทิลีนซัคซิเนตถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น หลอดฉีดยา ผลิตภัณฑ์ใช้ครั้งเดียวทิ้ง ฟิล์มบรรจุภัณฑ์และอาหาร ขวดน้ำ ผลิตภัณฑ์อนามัย โดยส่วนมากพอลิไบวทิลีนซัคซิเนตถูกใช้เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ฟิล์มในรูปแบบต่างๆ เพราะสามารถขึ้นรูปเป็นฟิล์มที่มีความหนาอยู่ในช่วง 30-50 ไมครอนได้ ซึ่งเหมาะแก่การนำไปใช้ในการทำฟิล์มเพื่อการเกษตร เช่น ฟิล์มคลุมดินสำหรับการเกษตร กระถางต้นไม้ วัสดุห่อหุ้ม และปลดปล่อยยาฆ่าแมลง ยาฆ่าวัชพืช หรือปุ๋ย รวมไปถึงวัสดุที่ใช้ในงานด้านวิศวกรรมต่างๆ เช่น ส่วนประกอบและชิ้นส่วนตกแต่งภายในยานยนต์ เป็นต้น

2.4 เส้นใยธรรมชาติ

เส้นใยธรรมชาติเป็นอินทรีย์วัสดุที่สำคัญหาได้ง่ายจากธรรมชาติ มีปริมาณมาก สามารถเพาะปลูกได้ใหม่ (Renewable resource) สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ และมีราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์ ด้วยเหตุนี้เส้นใยธรรมชาติจึงสามารถใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์ โดยอาจเป็นทั้งสารตัวเติมชนิดเสริมแรงและไม่เสริมแรง ขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของเส้นใยที่นำมาใช้ [26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดเรียงตัวของกลูโคสในเซลลูโลสอยู่เป็นโครงรูปแบบเก้าอี้ โมเลกุลของกลูโคส (Glucose) ทุกหน่วยจัดเรียงตัวซ้ำๆกัน ในทิศทางที่กลับกัน 180 องศา ดังรูป 2.8 และพบว่าโมเลกุลของกลูโคสในแป้ง เชื่อมต่อกันโดยพันธะแอลฟา (Alpha linkages) แต่โมเลกุลของกลูโคสในเซลลูโลสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้า (Beta linkages)



รูปที่ 2.8 ลักษณะการจัดเรียงตัวของโมเลกุลกลูโคสในเซลลูโลส [27]

2.4.1.1 สมบัติทางกายภาพของเซลลูโลส

ความหนาแน่นของเซลลูโลสประมาณ 1.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) ความหนาแน่นของเส้นใยเดี่ยวมีค่าไม่แน่นอน ซึ่งแปรไปตามแหล่งที่มาและการปรับปรุงทางกระบวนการเคมี เซลลูโลสเป็นของแข็ง ไม่มีสี มีการดูดและคายไอน้ำและของเหลวอื่นๆ ที่อยู่ในบรรยากาศรอบๆ จนกระทั่งถึงสมดุล ปริมาณความชื้นของเซลลูโลสมีผลต่อสมบัติบางอย่าง เช่น ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เซลลูโลสไม่ละลายในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ แต่ละลายในกรดเข้มข้น เช่น 72 เปอร์เซ็นต์ของกรดซัลฟริก 40 เปอร์เซ็นต์ของกรดไฮโดรคลอริก และ 78 เปอร์เซ็นต์ของกรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid, H_3PO_4) เซลลูโลสเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส อย่างรวดเร็วในสารละลายกรดที่อุณหภูมิห้อง ปฏิกิริยาหยุดที่อุณหภูมิต่ำๆ สารละลายเกลือเข้มข้นบางชนิด เช่น 72 เปอร์เซ็นต์ของซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) ทำให้เซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำๆ ละลายได้

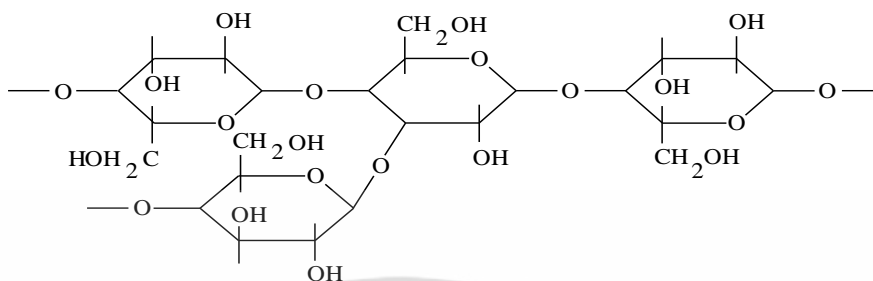
2.4.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses)

โครงสร้างเฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยพอลิแซคคาไรด์คล้ายกับเซลลูโลส อย่างไรก็ตาม เฮมิเซลลูโลสยังมีข้อแตกต่างจากเซลลูโลส 3 ประการด้วยกัน คือ

- เฮมิเซลลูโลสประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น กลูโคส (Glucose) กาแลกโตส (Galactose) แมนโนส (Mannose) ไชโลส (Xylose) อะราบิโนส (Arabinose) รวมทั้งกรดกลูคูโรนิก (Glucuronic acid) และกาแลกทูโรนิก (Galacturonic acid) ในขณะที่เซลลูโลสประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสชนิดเดียวเป็นส่วนใหญ่
- สายโซ่พอลิเมอร์ของเฮมิเซลลูโลสส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นสายโซ่กิ่ง (Branch chain) ในขณะที่สายโซ่พอลิเมอร์ของเซลลูโลสมีลักษณะเป็นสายโซ่ตรง (Linear chain)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

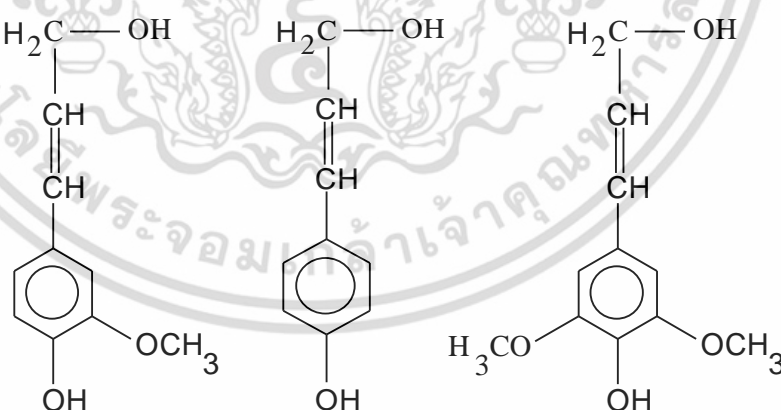
องศาการเกิดพอลิเมอร์ (Degree of polymerization) ของเซลลูโลสมีค่าสูงกว่าเฮมิเซลลูโลสประมาณ 10-100 เท่า เฮมิเซลลูโลสมีสูตรทางเคมีคือ $(C_6H_{12}O_5)_{2n}$ โดย n คือ จำนวนหน่วยซ้ำของเฮมิเซลลูโลส



รูปที่ 2.9 สูตรโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส [28]

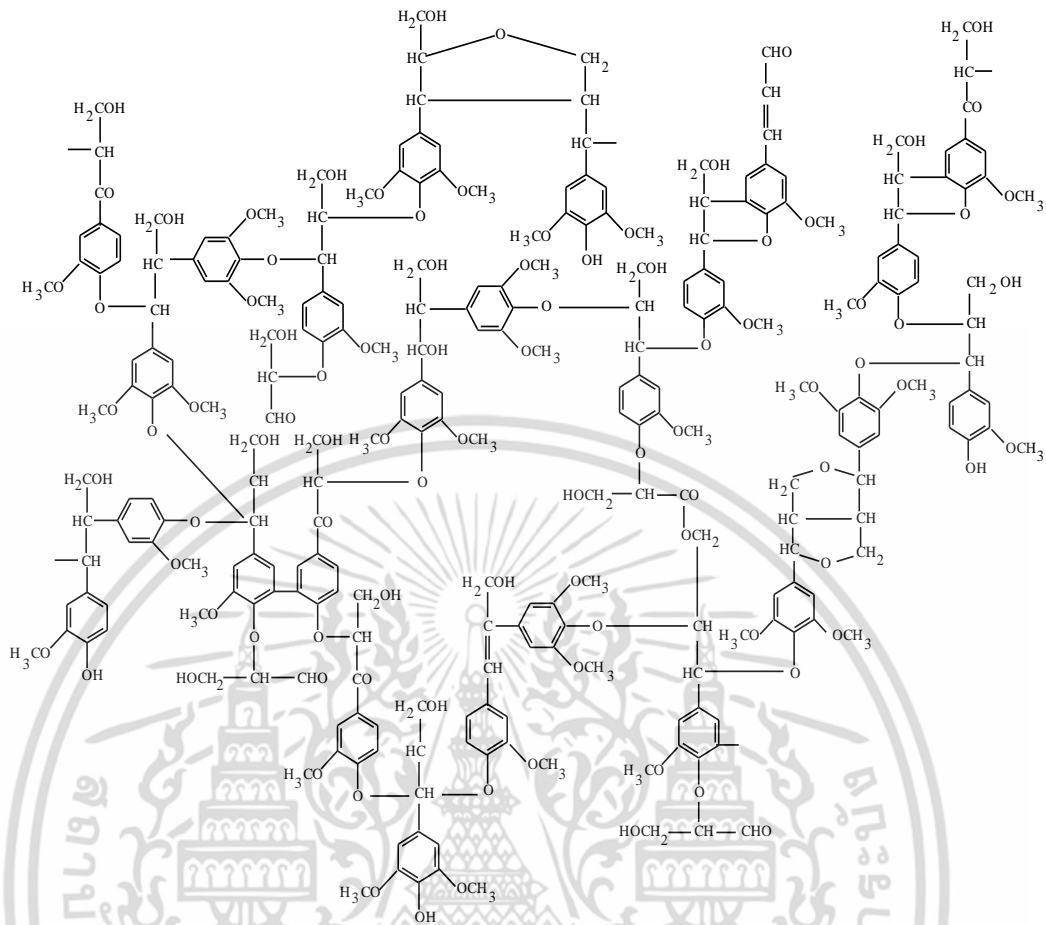
2.4.3 ลิกนิน

ลิกนินเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเชิงซ้อนมีน้ำหนักโมเลกุลสูงและเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ มักพบอยู่ร่วมกับเซลลูโลส โครงสร้างของลิกนินประกอบด้วยสารอะลิฟาติก (Aliphatic) และอะโรมาติกอยู่ร่วมกัน สารอะโรมาติกในโครงสร้างของลิกนินทำให้ลิกนินมีเสถียรภาพสูง ไม่ละลายน้ำ นอกจากนี้ลิกนินยังเป็นส่วนสำคัญที่ทำหน้าที่ยึดเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสเข้าไว้ด้วยกัน ทำให้พืชที่มีปริมาณลิกนินอยู่มากมีความแข็งแรง ทนทานต่อดินฟ้าอากาศสูงมากด้วย เมื่อพืชตาย ลิกนินถูกย่อยด้วยเอนไซม์ลิกเนส (Lignase) หรือ ลิกนินเนส (Ligninase) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญในรา ตัวอย่างหน่วยที่ซ้ำกันในโครงสร้างของลิกนินแสดงดังรูปที่ 2.10



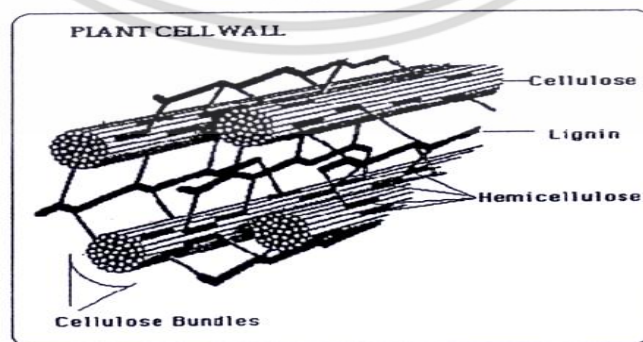
รูปที่ 2.10 หน่วยที่ซ้ำกันในโครงสร้างของลิกนิน [29]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างโครงสร้างโมเลกุลของลิกนิน [29]

ไม้แต่ละชนิดมีอัตราส่วนระหว่างเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ไม่เท่ากัน ขึ้นกับชนิดและอายุของไม้ โดยไม้ที่มีลิกนินมากมีความแข็งสูง และในไม้ชนิดเดียวกันไม้ที่มีอายุมากมีปริมาณลิกนินมากขึ้นเรื่อยๆ โดยการจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในไม้ แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในไม้ [28, 30]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ไม้และเส้นใยไม้ (Wood and Fibers)

ไม้เป็นวัสดุที่มีความสำคัญมาก สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับทำอาหาร ให้ความร้อน และผลิตไอน้ำ ซึ่งอาจใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ด้วย นอกจากนี้ยังนำไม้มาใช้เป็นเฟอร์นิเจอร์ เครื่องประดับตกแต่งได้อีกมากมายหลายรูปแบบ ซึ่งการผลิตผลิตภัณฑ์เหล่านี้ก่อให้เกิดเศษไม้ (Wood flake) หรือ ซี้เลื่อย (Sawdust) ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นเส้นใยไม้ (Wood fibers) [29]

2.5.1 ชนิดของไม้

โดยทั่วไปไม้แบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ ไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) และไม้เนื้ออ่อน (Softwood) แต่สำหรับงานก่อสร้างแล้ว ไม้แบ่งได้เป็น 3 ประเภท ซึ่งกำหนดตามมาตรฐานกรมป่าไม้ คือ

1. ไม้เนื้ออ่อน (Softwood) มีค่าแรงดัดสถิตย์ (Static bending) ต่ำกว่า 600 กก./ซม² และมีค่าความทนทานตามธรรมชาติต่ำกว่า 2 ปี เช่น ไม้อินทนิล ไม้สัก ไม้ยางแดง ไม้พะยอม ไม้พญาไม้ ไม้ทำม้ง ไม้ตะบูนขาว ไม้กะบาก ไม้กระเจา ไม้กวาด
2. ไม้เนื้อแข็งปานกลาง (Medium hardwood) มีค่าแรงดัดสถิตย์ ระหว่าง 600-1000 กก./ซม² และมีค่าความทนทานตามธรรมชาติระหว่าง 2-6 ปี เช่น ไม้เหียง ไม้รักฟ้า ไม้ยูง ไม้มะค่า แต่ ไม้พลวง ไม้หนนทรี ไม้ตาเสือ ไม้ตะแบก ไม้ตะเคียนหนู ไม้ตะเคียนทอง
3. ไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) มีค่าแรงดัดสถิตย์สูงกว่า 1000 กก./ซม² และมีค่าความทนทานตามธรรมชาติสูงกว่า 6 ปี เช่น ไม้เคี่ยม ไม้แอ็ก ไม้หลุมพอง ไม้เสลา ไม้สักขี้ควาย ไม้เลียงมัน ไม้รัง ไม้ยมหิน ไม้มะค่าโมง ไม้ประดู่ ไม้เต็ง ไม้ตะบูนดำ ไม้แดง ไม้ก้นเกรา

2.6 ปาล์มน้ำมัน

2.6.1 ความสำคัญและศักยภาพของปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีศักยภาพในการผลิตน้ำมันต่อพื้นที่สูงสุด เมื่อเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่น เมื่อเทียบราคาต้นทุนการผลิตน้ำมันในกลุ่มพืชที่ให้น้ำมันที่สำคัญ 4 ชนิด คือ ปาล์มน้ำมัน ถั่วเหลือง (Soy bean) เรพซีด (Rapeseed) และทานตะวัน (Sunflower) พบว่าน้ำมันปาล์ม (Crude Palm Oil) มีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด คือ กิโลกรัมละ 10-11.50 บาท ในขณะที่น้ำมันถั่วเหลืองมีต้นทุนการผลิตกิโลกรัมละ 18 บาทดังตารางที่ 2.4

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชยืนต้นที่ทนทานต่อผลกระทบจากภัยธรรมชาติมากกว่าพืชอายุสั้นอื่นๆ ลงทุนเพียงครั้งเดียวก็สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้นาน 20 ปี และที่น่าสนใจคือพื้นที่ปลูกที่เหมาะสมในโลกอยู่ระหว่างเส้นละติจูดที่ 20 องศาเหนือ-ใต้ ส่วนใหญ่พืชที่ปลูกปาล์มน้ำมันเป็นพื้นที่ประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้คือ มาเลเซีย และอินโดนีเซีย สองประเทศนี้รวมกันมีพื้นที่ปลูกที่ให้ผลผลิตแล้วจำนวน 37 ล้านไร่ และมีผลผลิตน้ำมันปาล์มร้อยละ 83 ส่งออกน้ำมันปาล์มร้อยละ 90 และน้ำมันปาล์มมีส่วนแบ่งการตลาดน้ำมันร้อยละ 48 ของตลาดน้ำมันโลก

ตารางที่ 2.4 ศักยภาพการผลิตน้ำมันของพืชน้ำมันชนิดต่างๆ [10]

ชนิดของพืช	ปริมาณการผลิตน้ำมัน (กก./ไร่)
ปาล์มน้ำมัน (น้ำมันปาล์มดิบ)	512
ปาล์มน้ำมัน (น้ำมันเมล็ดใน)	73
เรพซีด (Rapeseed)	89
ทานตะวัน	81
มะพร้าว	54
ถั่วเหลือง	52
ถั่วลิสง	51

2.6.2 กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม

หลักการของกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม คือ การสกัดน้ำมันจากผลปาล์มโดยใช้ ใอน้ำและเครื่องอัด (Pressing machine) น้ำมันปาล์มที่ได้ถูกนำไปทำให้บริสุทธิ์โดยการไ้แรงเหวี่ยงจากเครื่องทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ในการแยกน้ำมันปาล์ม โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ [32]

การรับทะลายปาล์มสดเข้าสู่กระบวนการผลิต ทะลายปาล์มสดจากเกษตรกรถูกนำมายังโรงงานและถ่วงบนลานกองเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดกรดไขมันอิสระจากเอนไซม์ตามธรรมชาติที่มีอยู่ในเนื้อชั้นกลางของผลปาล์ม ควรนำทะลายปาล์มสดเข้าสู่กระบวนการผลิตภายใน 24 ชั่วโมงโดยทั่วไปน้ำมันปาล์มสดมีกรดไขมันอิสระประมาณร้อยละ 1 หากทิ้งผลปาล์มไว้นานปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้น้ำมันปาล์มมีปริมาณและคุณภาพลดลง ทะลายปาล์มสดถูกลำเลียงจากจุดรับไปยังหม้อหนึ่ง โดยถ่วงลงกระบะปาล์มและเคลื่อนย้ายเข้าสู่หม้อหนึ่งต่อไป

การนึ่งปาล์ม การนึ่งทะลายปาล์มสดมีวัตถุประสงค์เพื่อยับยั้งเอนไซม์ตามธรรมชาติ และทำให้ซ้ผลปาล์มนิ่ม และหลุดร่วงจากทะลายปาล์มได้ง่าย นอกจากนี้การนึ่งปาล์มยังทำให้เนื้อเยื่อของผลปาล์มยุ่ย ง่ายต่อการสกัดน้ำมัน การนึ่งปาล์มทำในหม้อหนึ่งซึ่งมีความจุประมาณ 20-30 ตันทะลายปาล์มและการนึ่งใช้ไอน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิ 130°C และมีความดัน 3.1 บาร์ ป้อนเข้าสู่หม้อหนึ่งอย่างต่อเนื่อง โดยใช้ระยะเวลาประมาณ 90 นาที

การนวดหรือแยกผลปาล์ม ทะลายปาล์มที่ผ่านการนึ่ง นำเข้าสู่เครื่องแยกแบบหมุน (Rotary drum thresher) เพื่อแยกผลปาล์มออกจากทะลายปาล์มซึ่งขั้นตอนนี้ก่อให้เกิดทะลายปาล์มเปล่า ทะลายปาล์มเปล่านี้อาจนำไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ และวัสดุปรับปรุงดิน เนื่องจากสามารถรักษาความชื้นให้แก่ดินได้ นอกจากนี้ทะลายปาล์มเปล่าสามารถจำหน่ายเพื่อใช้เป็นวัสดุในการเพาะเห็ด ในบางโรงงานได้ทำการบีบอัดทะลายปาล์มเปล่าเพื่อลดความชื้นในทะลายปาล์ม ซึ่งสามารถนำทะลายปาล์มเปล่านี้อไปเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล สำหรับการผลิตไอน้ำและหรือกระแสไฟฟ้า

การย่อยผลปาล์ม ผลปาล์มที่แยกออกมาจากทะลายปาล์มแล้ว นำเข้าสู่หม้อกวน เพื่อเปลี่ยนผลปาล์มให้อยู่ในรูปของปาล์มที่ผ่านการย่อยที่เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous oily mash) โดยมีการป้อนน้ำร้อนเข้าสู่ขั้นตอนนี้เพื่อช่วยในการทำให้ปาล์มเป็นเนื้อเดียวซึ่งปาล์มที่ผ่านการย่อยนี้เข้าสู่ขั้นตอนการบีบผลปาล์มต่อไป

การหีบน้ำมันปาล์ม การหีบน้ำมันปาล์มเป็นขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์มออกจากผลปาล์มที่ผ่านการย่อยในหม้อกวนแล้ว น้ำมันที่สกัดออกมาได้นำเข้าสู่ส่วนของการทำให้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่ส่วนที่เป็นของแข็งซึ่งประกอบไปด้วยเส้นใยปาล์มและเมล็ดปาล์มผ่านการแยกอีกครั้งหนึ่งซึ่งรายละเอียดการแยกเมล็ดในปาล์มกลับมาใหม่นั้นกล่าวต่อไปในหัวข้อ

การให้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ขั้นตอนการให้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์นั้น ประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนย่อยด้วยกัน ซึ่งในขั้นตอนเหล่านี้ของแข็งแขวนลอยถูกแยกออกจากน้ำมันปาล์มดิบ

- การกรองน้ำมันปาล์มดิบด้วยตะแกรงสั้น
- การแยกทราย
- การแยกของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำมัน
- การให้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ (Purification)

การนำน้ำมันปาล์มกลับคืน ขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำน้ำมันกลับคืน และลดภาระความสกปรกของสารอินทรีย์ในของน้ำเสีย กากตะกอนที่เกิดขึ้นจากถังตกจมนี้ มีปริมาณน้ำมันเจือปนอยู่ถึง ร้อยละ 14 นอกจากนี้ ยังมีสารอินทรีย์ทั้งที่อยู่รูปของแข็งแขวนลอยและที่ละลายอยู่ในน้ำมันเจือปนอยู่ในปริมาณสูง และสารที่ละลายในน้ำได้ นอกจากนี้ในส่วนที่เป็นของเหลวยังประกอบไปด้วยเส้นใยปาล์มและทราย โดยการนำน้ำมันปาล์มกลับคืนอาจใช้เทคนิควิธีการต่างกันไปตามแต่โรงงานพิจารณา แต่มีเป้าหมายเพื่อลดการสูญเสียน้ำมันไปกับน้ำเสียตามขั้นตอนต่างๆ หลังจากหีบน้ำมันแล้ว

การนำเมล็ดในปาล์มกลับคืน ในส่วนของแข็งที่ได้จากการบีบผลปาล์ม ประกอบไปด้วยเส้นใยปาล์ม และเมล็ดปาล์มซึ่งถูกแยกออกจากกันด้วยเครื่องแยกเส้นใยและเมล็ดเส้นใยปาล์มสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิง ชีวมวลสำหรับหม้อน้ำภายในโรงงาน ในขณะที่เมล็ดปาล์มนำเข้าผ่านกระบวนการแยกอีกครั้ง เพื่อนำเมล็ดในปาล์มออกมาซึ่งผ่านเครื่องขัดและเครื่องสีได้เป็นเมล็ดในปาล์ม ส่วนกะลาปาล์มนั้นสามารถที่ขายเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลให้แก่อุตสาหกรรมอื่นได้ และมีเพียงส่วนน้อยของกะลาปาล์มนั้นนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อน้ำภายในโรงงาน

2.6.3 สมบัติของเส้นใยไม้ [10]

2.6.3.1 โครงสร้างทางกายภาพ

โครงสร้างทางกายภาพหรือโครงสร้างทางสัณฐานวิทยา (Morphology) ของเส้นใยสามารถสังเกตได้จากกล้องจุลทรรศน์ (Microscope) ที่มีกำลังขยาย 250-1000 เท่า โครงสร้างทางกายภาพนั้นครอบคลุมถึง ความยาว ขนาดหรือเส้นผ่าศูนย์กลาง

2.6.3.2 องค์ประกอบทางเคมีและการเรียงตัวของโมเลกุล

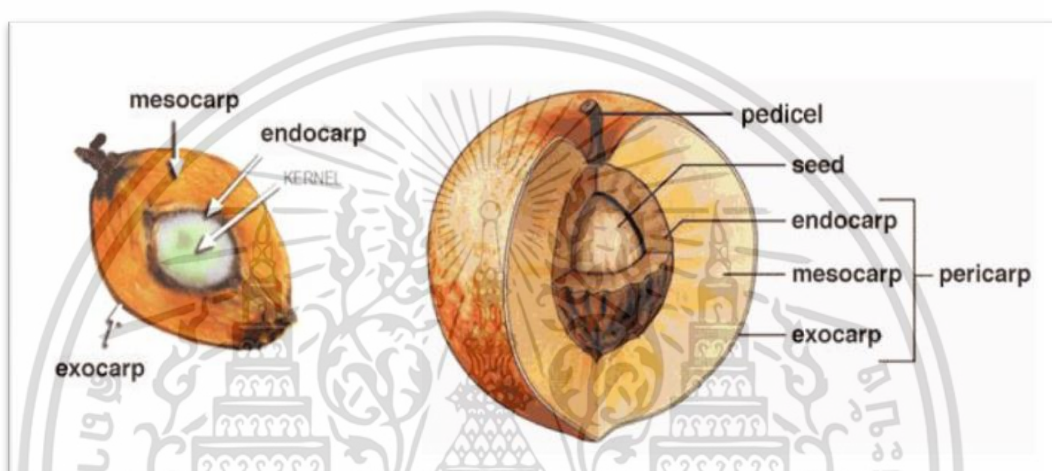
เส้นใยประกอบด้วยโมเลกุลจำนวนมาก โมเลกุลเหล่านี้มีลักษณะเป็นเส้นยาว เรียกว่า พอลิเมอร์ที่เกิดจากการเรียงตัวของหน่วยโมเลกุลเล็กๆ มอนอเมอร์และเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเคมีด้วยกระบวนการสังเคราะห์ที่เรียกว่า พอลิเมอไรเซชันขนาดของพอลิเมอร์ขึ้นอยู่กับขนาดความยาวของโมเลกุล ซึ่งบอกได้จากจำนวนมอนอเมอร์ที่มีเส้นโมเลกุลสั้น เนื่องจากจำนวนมอนอเมอร์ที่มากกว่านั่นเอง ซึ่งมีผลต่อความแข็งแรงของเส้นใยที่พอลิเมอร์นั้นเป็นองค์ประกอบอยู่

โมเลกุลหรือพอลิเมอร์ที่อยู่ในเส้นใยมีการเรียงตัวแตกต่างกัน เมื่อแต่ละโมเลกุลมีการเรียงตัวอย่างไร้ทิศทาง (Random) ทำให้เส้นใยบริเวณนั้นมีความเป็นอสัณฐาน ส่วนในบริเวณที่ในโมเลกุลมีการเรียงซ้อนขนานอย่างเป็นระเบียบมีความเป็นผลึกเกิดขึ้น เส้นใยที่มีความเป็นผลึกมาก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยที่มีความเป็นผลึกน้อย การจัดเรียงตัวโมเลกุลที่อยู่ในทิศทางที่ขนานกับแกนตามความยาวของเส้นใย ช่วยให้เส้นใยมีความแข็งแรงมาก เนื่องจากโมเลกุลเรียงตัวในทิศทางเดียวกับแรงที่กระทำต่อเส้นใย

2.6.4 เส้นใยเปลือกผลปาล์ม (Mesocarp Fibers, MF)

เส้นใยเปลือกผลปาล์มเป็นผลปาล์มที่อยู่ภายในทะเลาะปาล์ม ส่วนของเปลือกนอกของผลปาล์มเป็นส่วนหนึ่งของเพอริคาร์บ (Pericarp) ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อชั้นกลางของเปลือกถัดจากเปลือกนอก (Exocarp) เนื้อเยื่อชั้นนอกนี้อาจบางหรือหนาก็ได้ เส้นใยเปลือกผลปาล์มของน้ำมันปาล์มมีน้ำมันในปริมาณที่สูง ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันปาล์ม



รูปที่ 2.13 ผลปาล์มน้ำมัน [33]

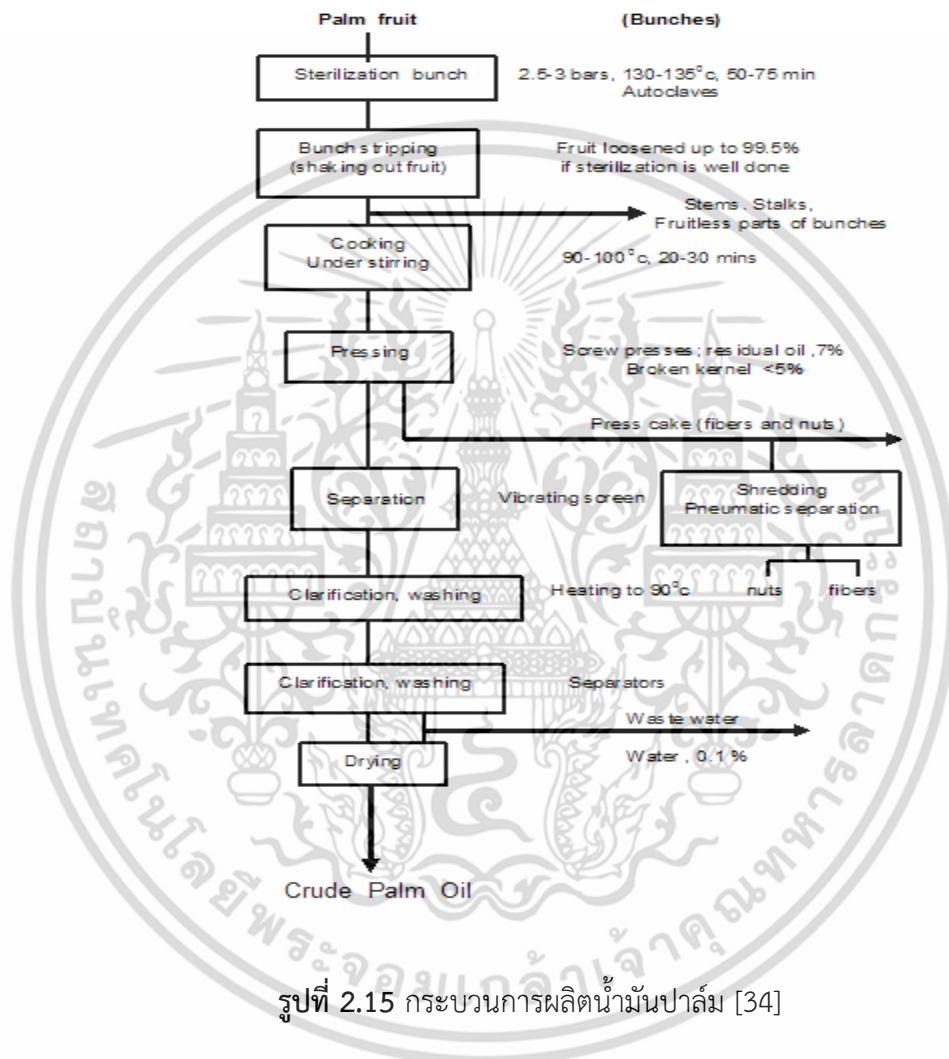
โดยปกติในโรงงานสกัดปาล์มใช้เส้นใยเปลือกผลปาล์มที่ถูกบีบน้ำมันออกแล้วเป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อผลิตไอน้ำ (Boiler) เพื่อนำไอน้ำไปนึ่งทะเลาะปาล์ม และผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับใช้ในโรงงาน เส้นใยเปลือกผลปาล์มมีปริมาณธาตุอาหารใกล้เคียงกับทะเลาะปาล์ม แต่มีปริมาณโพแทสเซียม (Potassium, K) น้อยกว่าประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ จึงสามารถนำไปเป็นวัสดุในการผลิตปุ๋ยหมักได้เช่นกัน ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 เส้นใยเปลือกผลปาล์มที่บีบน้ำมันแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมันมีการขนส่งผลผลิตเข้าสู่โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งมีกระบวนการสกัดน้ำมัน 2 แบบ คือ แบบมาตรฐาน (หีบน้ำมันแยก) และหีบน้ำมันผสม โดยโรงงานแบบมาตรฐานเป็นโรงงานที่มีกำลังการผลิตสูงประมาณ 30-80 ตัน/ชม. และน้ำมันที่ได้จัดเป็นน้ำมันเกรดเอ เนื่องจากมีการแยกชนิดน้ำมันปาล์ม กระบวนการผลิตดังรูปที่ 2.15 สำหรับโรงงานแบบหีบน้ำมันผสมเป็นโรงงานที่กำลังการผลิตค่อนข้างต่ำ และน้ำมันที่สกัดได้เป็นน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์มจากเปลือกและน้ำมันเมล็ดใน [34]



รูปที่ 2.15 กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม [34]

2.6.5 เส้นใยใบหรือทางใบ (FronD Fibers, FF)

ใบหรือทางใบประกอบด้วย แกนทางใบ ก้านใบ หรือใบย่อย ซึ่งเกิดจากการพัฒนาของเนื้อเยื่อเจริญบริเวณปลายยอดของลำต้น บริเวณดังกล่าวมีจุดกำเนิดตาใบอยู่มากกว่า 50 ตาใบ ในปาล์มที่มีอายุ 5-6 ปี จำนวนใบหรือทางใบในปาล์มน้ำมันที่ผลิตแต่ละปีอยู่ระหว่าง 30-40 ทางใบ หลังจากนั้นลดลงเป็น 20-25 ทางใบต่อปี ทางใบเกิดในลักษณะเป็นเกลียวรอบลำต้น โดยลักษณะการเวียนของทางใบปาล์มน้ำมันมี 2 แบบ ซึ่งสามารถสังเกตได้จากรอยแผลที่ฐานใบติดกับ ลำต้นหลังจากการตัดแต่งทางใบของต้นปาล์มแล้ว แบบแรกคือ การเกิดทางใบแบบเวียนซ้ายแบบที่ 2 คือ การเกิดทางใบแบบเวียนขวา การสังเกตการเวียนของทางใบมีประโยชน์สำหรับการนับทางใบที่เกิดขึ้น โดยทางใบล่างหนึ่ง ๆ รองรับทางใบบนจำนวน 2 ทางใบ ทางใบบนหนึ่งที่มีลักษณะการเวียนของทางใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นชอบหรือเห็นผิดในเอกสารนี้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชัดเจนนับจำนวนทางใบล่างที่รองรับจำนวน 8 ทางใบ ส่วนทางใบบนอีกด้านหนึ่งที่รองรับด้วยทางใบล่าง นับจำนวนทางใบล่างจำนวน 5 ทางใบการประมาณอายุปาล์มน้ำมันหลังปลูกสามารถสังเกตได้จากจำนวนรอยแผลที่ฐานใบติดกับลำต้นหลังการตัดแต่งนี้โดยประมาณว่าชั้นทางใบ 3-4 ชั้น ใช้เวลาประมาณหนึ่งปี [35] โดยทางใบปาล์มเป็นวัสดุที่เหลือใช้จากสวนปาล์มน้ำมันที่มีอยู่มากมาย นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยนำมาบดย่อยเพื่อนำมาเป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์ สำหรับเลี้ยงสัตว์ เช่น โค และแพะได้ ซึ่งโดยทั่วไปเกษตรกรเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มทุก 15 วัน ดังนั้นทุกเดือนมีการตัดทางใบออกอย่างน้อย 2 ใบต่อต้น หรือคิดเป็น 44 ทางใบต่อไร่ [36]



รูปที่ 2.16 เส้นใยทางใบปาล์มน้ำมัน [37]

2.6.6 เส้นใยทะลายปาล์มน้ำมันเปล่า (Empty Fruit Bunch Fibers, EFBF)

ทะลายปาล์มเปล่าเป็นส่วนที่ได้จากการตีสับแยกผลปาล์มสด เพื่อนำไปใช้ในการสกัดปาล์ม ทะลายปาล์มเปล่าประกอบด้วยช่อทะลายย่อย และก้านทะลายปาล์ม มีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 17.3 กิโลกรัมของทะลายปาล์ม (สด) โรงงานไม่นิยมใช้เป็นเชื้อเพลิงเนื่องจากติดไฟยาก ต้องทำให้แห้งก่อน ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้น จึงทำการขนไปทิ้งเพื่อใช้คลุมดินในสวนปาล์มให้เกิดการย่อยสลายกลายเป็นปุ๋ยเพิ่มธาตุอาหารในดิน และควบคุมรักษาความชุ่มชื้นของดินโดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง ตลอดจนใช้ถมที่ในสวนปาล์ม ช่อทะลายย่อยบางส่วนสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้



รูปที่ 2.17 ทะลายปาล์มเปล่าที่เหลือจากการบีบน้ำมันปาล์มออก [10]

ในขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์มจากทะลายปาล์มสด 1 ตัน มีทะลายปาล์มเปล่าเป็นวัสดุเหลือทิ้งประมาณ 0.28 ตัน เส้นใย 0.12 ตัน และกะลาปาล์ม 0.08 ตัน ปริมาณวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าวมีทะลายปาล์มเปล่าเหลือทิ้งมากที่สุด ทะลายปาล์มเปล่าสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้วนั้น อย่างไรก็ตามยังมีทะลายปาล์มเปล่าเหลือทิ้งอีกเป็นจำนวนมาก ซึ่งส่วนที่เหลือจากการใช้ประโยชน์นำไปปลูกเห็ด เหมาและฟางกลบหรือทิ้งที่ดินโรงงานหรือสวนปาล์ม ตลอดจนสถานที่กำจัดขยะ [10]



เส้นใยทะลายปาล์มเปล่า

รูปที่ 2.18 เส้นใยทะลายปาล์มเปล่าที่ใช้ในงานวิจัย ขนาดเล็กกว่า 60 mesh เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.7 น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil, CPO)

ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญที่สามารถนำมาใช้เพื่อการบริโภคและเพื่อเป็นพลังงานทดแทนโดยที่กระบวนการดำเนินอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันในขั้นต้นประกอบด้วยส่วนการดำเนินการหลักสองส่วน ได้แก่ ส่วนของการปลูกต้นปาล์มน้ำมัน ได้ผลผลิตหลักคือผลปาล์มสดและส่วนที่เหลือจากการผลิตหลักและของเสีย ได้แก่ ทางใบปาล์มและลำต้นปาล์มอีกส่วนหนึ่งคือส่วนการสกัดน้ำมันปาล์ม ได้ผลผลิตหลักคือ น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil, CPO) และน้ำมันจากเมล็ดในปาล์ม (Palm Kernel Oil, PKO) และส่วนที่เหลือจากการผลิตหลักและของเสีย ได้แก่ ทะลายเปล่า กะลาปาล์ม เส้นใยกากตะกอน และน้ำเสีย [38]



รูปที่ 2.19 น้ำมันปาล์มดิบ (CPO) จากเส้นใยเปลือกผลปาล์ม [39]

ในความเป็นจริงประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำมันปาล์มและน้ำมันเมล็ดในปาล์มถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหลายประเภท เช่น น้ำมันทอด น้ำมันปรุงอาหาร มายองเนส ครีมเทียม นมเทียม เนยขาว ฯลฯ รวมถึงผลิตภัณฑ์อาหารเสริมเพื่อสุขภาพ เช่น วิตามินอี วิตามินเอ ส่วน 20 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือสามารถนำมาผลิตเป็นพลังงานทดแทนในรูปของไบโอดีเซลหรือนำไปผ่านกระบวนการทางเคมีเพื่อนำไปผลิตเป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตภัณฑ์เพื่ออุปโภคประเภทอื่น เช่น สารหล่อลื่นเครื่องสำอาง สบู่ ผงซักฟอก เป็นต้น

2.7 ไม้พลาสติก (Wood Plastic Composites, WPC)

ไม้พลาสติก [40] เป็นวัสดุคอมโพสิตที่ประกอบขึ้นจากวัสดุหลักคือไม้และพลาสติก ซึ่งไม้พลาสติกเป็นเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นในวงการอุตสาหกรรมไม้และพลาสติกในต่างประเทศมานานแล้วแต่ค่อนข้างที่ใหม่ในประเทศไทย โดยไม้พลาสติกเป็นการนำเอาความรู้ของวงการไม้และวงการพลาสติกมารวมกัน ทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ซึ่งถือได้ว่าเป็นวัสดุทางวิศวกรรมได้อีกชนิดหนึ่ง เมื่อพิจารณาในด้านวัสดุสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ส่วนคือ

(1) โครงสร้าง (Structure) โครงสร้างของไม้เป็นส่วนที่ไม่สามารถควบคุมสมบัติให้เป็นไปตามต้องการได้ เนื่องจากเนื้อเยื่อของต้นไม้แต่ละชั้นมีความหนาแน่นและการกระจายตัวของเซลล์รูปร่างต่างๆ ไม่เหมือนกันจึงทำให้สมบัติทางกายภาพและทางเคมีแตกต่างกันไปด้วย การควบคุมให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อไม้ของต้นไม้มีสมบัติเหมือนกันทุกประการจึงไม่สามารถเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ แต่สามารถควบคุมสมบัติต่างๆ กับไม้พลาสติกได้ เนื่องจากพลาสติกแต่ละชนิดมีโครงสร้างทางเคมีแตกต่างกัน ในการเลือกใช้ต้องคำนึงถึงสมบัติที่ต้องการความเป็นไปได้ในการผลิตและความเข้ากันได้กับไม้

(2) กระบวนการผลิต (Production process) รายละเอียดและขั้นตอนในการผลิตไม้พลาสติกตลอดจนการเตรียมวัตถุดิบและชนิดของสารเติมแต่งที่ใช้นั้น ขึ้นอยู่กับวิธีการขึ้นรูปที่เลือกใช้ เนื่องจากในการขึ้นรูปแต่ละวิธีมีข้อจำกัดแตกต่างกันไป เช่นบางวิธีอาจสามารถใช้กับวัตถุดิบที่มีขนาดไม้ไม่ต้องละเอียดมาก แต่บางวิธีจำเป็นต้องเตรียมวัตถุดิบให้มีความละเอียดสูงเป็นผลทำให้มีขั้นตอนในการเตรียมวัตถุดิบแตกต่างกัน

(3) สมบัติ (Properties) เนื่องจากไม้พลาสติกเป็นวัสดุที่นำไม้และพลาสติกมารวมกันเป็นผลทำให้สมบัติของไม้และพลาสติกเปลี่ยนไป สัดส่วนของไม้และพลาสติกต่างมีผลกระทบต่อสมบัติของไม้พลาสติกถ้าปริมาณของวัตถุดิบตัวใดตัวหนึ่งมากสมบัติโดยรวมของไม้พลาสติกมีแนวโน้มเอียงไปทางวัสดุที่มีปริมาณมากกว่า

(4) สมรรถนะ (Performance) เนื่องจากประเภทของวัตถุดิบที่หลากหลายทำให้มีกระบวนการผลิตที่ต่างกันส่งผลให้มีสมบัติแตกต่างกัน ทำให้การกล่าวถึงสมรรถนะการใช้งานหากมองในภาพรวมแล้ว การเพิ่มไม้ลงไปในพลาสติกเป็นการเพิ่มความแข็งให้กับตัวพลาสติก แต่ทำให้มีความเปราะเพิ่มขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตามสมบัติด้านอื่นๆ แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับประเภทของวัตถุดิบ ปฏิกริยาเคมีกระบวนการผลิตและสารเติมแต่งที่เลือกใช้ ทั้งนี้จึงควรทำให้สอดคล้องกับการนำไปใช้งานจริง [41] ซึ่งไม้พลาสติกนั้นสามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายและสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ให้มีสมบัติต่างๆ ตามที่ต้องการได้ เช่น มีการต้านทานการดูดซับน้ำมากขึ้นไม่มีปัญหาเรื่องการผุกร่อนจากปลวกและแมลง ทนทานต่อการแตกหักเมื่อตอกตะปูเป็นฉนวนความร้อนที่ดีขึ้น และมีน้ำหนักเบาขึ้น เป็นต้น [42] นอกจากนี้ยังสามารถปรับปรุงสมบัติได้ง่ายโดยการเติมสารเติมแต่ง (Additives) เช่น พลาสติกไซเซอร์ สารปรับปรุงสมบัติ (Modifier) สารเพิ่มเนื้อ (Filler) สารเพิ่มเสถียรภาพ (Stabilizer) สารยับยั้งปฏิกิริยา (Inhibitor) สารหล่อลื่น (Lubricant) และผงสี (Pigment) เป็นต้น [43]

ในปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งของโลกที่มีศักยภาพในการผลิตปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์ม ซึ่งไทยมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันประมาณ 2 ล้านไร่จึงนับได้ว่าปาล์มน้ำมันเป็นพืชอุตสาหกรรมที่สามารถทำรายได้ให้แก่ประเทศปีหนึ่งๆ นับหมื่นล้านบาท นอกจากนี้ผลการสำรวจพบว่าประเทศไทยยังมีพื้นที่ที่เหมาะสมในการปลูกปาล์มน้ำมันอีกนับสิบล้านไร่ ซึ่งหากประเทศไทยมีการพัฒนาอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์มอย่างจริงจัง และถูกต้องตามความเหมาะสมทำให้ไทยมีรายได้เพิ่มขึ้นนับแสนล้านบาท โดยเกือบทุกส่วนของปาล์มน้ำมันสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น ทะลายปาล์มน้ำมันที่เอาผลออกแล้วเกษตรกรนำไปเพาะเห็ดฟางทางปาล์มนำไปใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตพาร์ติเคิลบอร์ดผลปาล์มใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันพืช โดยปาล์มน้ำมันให้ผลผลิตได้จนถึงอายุ 25 ปีหลังจากนั้นโค่นทิ้งหรือขายเพื่อนำไปตกแต่งสนามกอล์ฟหรือตกแต่งบริเวณรอบบ้าน [44] เห็นว่าส่วนของไม้ปาล์มนั้นไม่ได้นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์เท่าที่ควรอีกทั้งเมื่อเทียบกับพืชเศรษฐกิจ เช่น ไม้ยางพารา พบว่าไม้ยางพาราสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากและมีความต้องการใช้สูงจนปริมาณไม้ยางพาราไม่เพียงพอสำหรับผู้ผลิต/ส่งออกและใช้ภายในประเทศ ดังนั้นจึงเห็นควรที่นำไม้ปาล์มมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากขึ้นและยังช่วยเพิ่มทางเลือกการใช้ไม้ปาล์มนอกเหนือจากไม้ยางพาราอีกด้วย ประกอบกับในปัจจุบันมีการใช้พลาสติกอย่างแพร่หลายเช่นขวดน้ำดื่ม ขวดน้ำมันพืช เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถุงพลาสติก เป็นต้น ซึ่งขยะพลาสติกส่วนใหญ่มาจากขยะชุมชนโดยรวมขยะจากบ้านเรือนและธุรกิจขนาดย่อม ส่งผลให้พลาสติกดังกล่าวหลังจากเลิกใช้งานแล้วกลายเป็นขยะจำนวนมากจากการสำรวจพบว่าเมื่อปี 2542 ประเทศไทยมีปริมาณขยะพลาสติกร้อยละ 14 ของปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมดหรือคิดเป็น 1.9 ล้านตันต่อปีและเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 16 ของปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมดหรือคิดเป็น 2.3 ล้านตันต่อปีเมื่อปี 2544 และปี 2546 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 17.6 ของปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมดหรือคิดเป็น 2.5 ล้านตันต่อปี [45] เห็นได้ว่าปริมาณขยะพลาสติกมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นในทุกๆปี ส่งผลให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมาด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาและผลิตวัสดุไม้พลาสติกจากเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ได้จากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม เพื่อเพิ่มทางเลือกอีกทางหนึ่งของการใช้ไม้พลาสติกซึ่งเป็นวัสดุที่นำมาใช้ทดแทนไม้ได้

2.8 พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers)

พลาสติไซเซอร์ เป็นสารที่ใส่ในพอลิเมอร์หรือผลิตภัณฑ์พลาสติก เพื่อให้เม็ดพลาสติกมีความยืดหยุ่นและอ่อนนุ่มขึ้น สะดวกต่อการดึง รีด ฉาบ หรือหล่อแบบ และยังเป็นตัวรักษาความอ่อนนุ่มไม่ให้เสียไปโดยง่าย อีกทั้งยังมีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าทนต่อกรดด่าง น้ำมันและผงซักฟอก โดยใส่ประมาณ 20-40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พลาสติไซเซอร์จึงมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติกอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride, PVC) ซึ่งเป็นพลาสติกที่นำไปทำประโยชน์ได้มากมาย เช่น ภาชนะบรรจุอาหาร ฟิล์มห่ออาหาร เครื่องมือแพทย์ เช่น ถุงบรรจุเลือด น้ำเกลือ สายยางที่ต่อกับเครื่องมือแพทย์ รองเท้า กระเป๋า กระเบื้องยางปูพื้น สายไฟ เทปพันสายไฟ ท่อน้ำ แท็งก์เก็บสารเคมีและอื่นๆ โดยที่มีการใช้พลาสติไซเซอร์ในอุตสาหกรรมพลาสติก PVC ถึง 65 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการใช้พลาสติไซเซอร์ทั้งหมด ผู้ที่เริ่มใช้พลาสติไซเซอร์ในทางอุตสาหกรรมคนแรก คือ Hyatt brothers ในราว ค.ศ.1870 เมื่อเขาผสมแคมเฟอร์ (Camphor) กับไนโตรเซลลูโลส (Nitrocellulose) ต่อมาไตรคริสฟอสเฟต (Tricresyl phosphate) ถูกนำมาใช้เป็นพลาสติไซเซอร์ ตามด้วยพทาเลตเอสเทอร์ (Phthalate esters) [46]

2.8.1 กลไกของพลาสติไซเซชัน (Mechanism of plasticization)

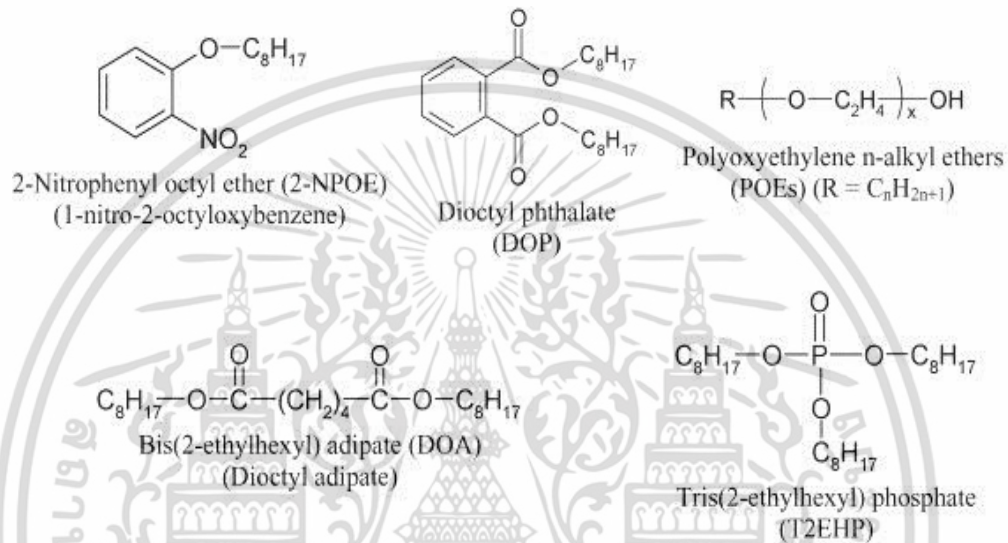
พลาสติกประกอบด้วยโมเลกุลพอลิเมอร์ (Polymer molecules) แต่ละโมเลกุลเชื่อมต่อกันด้วยแรงวัลเดอวาลส์ (Van der waal's) โดยที่พลาสติไซเซอร์ไม่ได้เกิดปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ แต่แทรกตัวเองอยู่ระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์โดยไปทำให้แรงวัลเดอวาลส์ลดลง

2.8.2 ชนิดของพลาสติไซเซอร์ พลาสติไซเซอร์สามารถแบ่งเป็น

1. โมโนเมอร์พลาสติไซเซอร์ (Monomeric plasticizers) มีอยู่หลายกลุ่มได้แก่

กลุ่มพทาเลตเอสเทอร์ เป็นกลุ่มที่ใช้เป็นพลาสติไซเซอร์มากที่สุด เป็นสารประกอบอะโรมาติกที่มีหมู่คาร์บอกซิเลต 2 หมู่ มีลักษณะเป็นของเหลว มีจุดเดือดสูงและความดันไอต่ำ เป็นสารที่เสถียรและละลายในไขมันได้ดี พทาเลตเอสเทอร์ที่ผลิตในอุตสาหกรรมมาจากการทำปฏิกิริยาระหว่างพทาลิกแอนไฮไดรด์ (Phthalic anhydride) กับแอลกอฮอล์ โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) เช่น กรดซัลฟูริก หรือกรดพาราโทลูอินซิลโฟนิค พทาเลตเอสเทอร์ที่ใช้เป็น พลาสติไซเซอร์ เช่น

- ไดเมทิลฟทาเลต (Dimethyl phthalate, DMP)
- ไดเอทิลฟทาเลต (Diethyl phthalate, DEP)
- ไดนอร์มัลบิวทิลฟทาเลต (Di-n butyl phthalate, DBP)
- บิวทิลเบนซิลฟทาเลต (Butylbenzyl phthalate, BBP)
- ไดทูเอทิลเฮกซิลฟทาเลต (Di-(2-ethylhexyl) phthalate, DOP⁽¹⁾)
- ไดนอร์มัลออกทิลฟทาเลต (Di-n-octyl phthalate, DOP⁽²⁾)
- ไดไอโซโนนิลฟทาเลต (Diisononyl phthalate, DINP)



รูปที่ 2.20 ตัวอย่างโครงสร้างพลาสติกไซเซอร์ชนิดต่างๆ [46]

กลุ่มอดิเพต (Adipates) และอซีเลต (Azelates) ผลิตจากกรดอดิพิค (Adipic acid) หรือกรดอซีเลอิกกับแอลกอฮอล์ เช่น ไดทูเอทิลเฮกซิลอดิเพต (Di-2-ethylhexyl adipate, DOA), ไดไอโซเดซิลอดิเพต (Diisodecyl adipate, DIDA), และไดนอร์มัลออกทิลเดซิลอดิเพต (Di-n-octyldeceyl adipate, DNODA) ตัวที่สำคัญที่สุด คือ DOA ซึ่งองค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาอนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอาหาร

ส่วนกลุ่มอซีเลตนั้น เช่น ไดทูเอทิลเฮกซิลอซีเลต (Di-2-ethylhexyl azelate, DOZ), ไดไอโซออกทิลอซีเลต (Diisooctyl azelate, DIOZ) และไดเฮกซิลอซีเลต (Dihexyl azelate, DHZ) ซึ่งเป็นตัวที่องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาอนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอาหารเช่นกัน

กลุ่มฟอสเฟต มีออกทิลไดเฟนิลฟอสเฟต (Octyl diphenyl phosphate) ตัวเดียวเท่านั้นที่องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา อนุญาตให้ใช้ในผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอาหาร

2. พอลิเมอร์พลาสติกไซเซอร์ (Polymeric plasticizers) ได้จากปฏิกิริยาระหว่างกรดไดเบสิก (Dibasic acid) เช่น กรดอดิพิค หรือ กรดอซีเลอิกกับไกลคอล เช่น พรอพิลีนไกลคอล (Propylene glycol) ได้พลาสติกไซเซอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงถึง 20 เท่าของชนิดโมโนเมอร์ และมีโอกาสหลุดจากพลาสติกได้น้อยกว่าที่อุณหภูมิสูงๆ และยังทนต่อการละลายของน้ำมันและตัวทำละลาย ส่วนราคาของพอลิเมอร์พลาสติกไซเซอร์นั้นสูงกว่าพวกฟทาเลตเอสเทอร์ประมาณ 1.5-2 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3 ความเป็นพิษ

เนื่องจากพลาสติกไฮเซออร์ที่นิยมใช้มากที่สุด คือ กลุ่มพทาเลตเอสเทอร์ ดังนั้นจึงมีผู้ศึกษาวิเคราะห์หิวจัยและมีหลักฐานการตรวจพบในสิ่งแวดล้อมมากที่สุด พลาสติกไฮเซออร์ที่นิยมใช้กันมากและอยู่ในรายการสารมลพิษ (Priority pollutants) ขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา (US Environmental Protection Agency, USEPA) มีอยู่ด้วยกัน 6 ตัว คือ DMP, DEP, DBP, BBP, DOP⁽¹⁾ และ DOP⁽²⁾ โดยเฉพาะ DOP⁽¹⁾ นิยมใช้กันมากที่สุดหรือที่รู้จักกันในชื่อ ไดทุเอทิลเฮกซิลพทาเลต ซึ่งเป็นคนละตัวกับไดนอร์มัลออกทิลพทาเลต (DOP) สารมลพิษเหล่านี้ไม่ค่อยแสดงความเป็นพิษอย่างเฉียบพลัน แต่แสดงในลักษณะพิษเรื้อรังเป็นผลให้เกิดอาการตกเลือด ในปอด (Lung hemorrhage) ตับโต (Hepatomegaly) เป็นพิษต่อเซลล์ในร่างกาย (Cytotoxicity) ทำให้เกิดมะเร็ง (Carcinogenicity) เกิดการก่อกลายพันธุ์ (Mutagenicity) และทารกในครรภ์มีรูปร่างผิดปกติ (Teratogenicity)

พลาสติกไฮเซออร์ที่ใส่ในผลิตภัณฑ์พลาสติกไม่ได้เกิดพันธะเคมีกับพอลิเมอร์เพียงแต่แพร่แทรกเข้าไปอยู่ระหว่างโมเลกุลดังกล่าวแล้วข้างต้น ดังนั้นจึงเกิดการถ่ายเทสู่สิ่งแวดล้อมได้ง่าย ดังรายงานการตรวจพบสารเหล่านี้ในน้ำ อากาศ ดิน ปลา อาหาร เลือด และพลาสมา Stalling, Mayer และผู้ร่วมงาน [46] แห่งห้องปฏิบัติการวิจัยสารฆ่าแมลงในปลา ในโคลัมเบีย รัฐมิสซูรี ได้ศึกษาความเป็นพิษของพทาเลตเอสเทอร์ในสิ่งมีชีวิตในน้ำ (Aquatic organisms) ตรวจพบว่ามี DBP และ DOP⁽¹⁾ ในปลาและน้ำบริเวณอเมริกาเหนือ นอกจากนี้สิ่งมีชีวิตในน้ำยังสามารถสะสม พทาเลตเอสเทอร์โดยหลังจาก 7 วัน ความเข้มข้นของพทาเลตเอสเทอร์ในสิ่งมีชีวิตเปลี่ยนจาก 350 เป็น 3900 เท่าของที่พบในน้ำ นั้นแสดงว่า DBP และ DOP⁽¹⁾ สามารถเข้าไปอยู่ในลูกโซ่อาหาร (Food chain) ได้ด้วย และยังพบว่าพทาเลตเอสเทอร์ระบบนิเวศและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ เช่น Daphnia ในระดับความเข้มข้นเป็นไมโครกรัมต่อลิตร (ppb) นอกจากนี้นักวิทยาศาสตร์ยังพบว่าสิ่งมีชีวิตในน้ำไวต่อความเป็นพิษมากกว่าสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม และเพื่อความปลอดภัยของมนุษย์ USEPA ได้กำหนดปริมาณพทาเลตเอสเทอร์ที่อนุญาตให้มีในน้ำดังนี้คือ DMP 313 มิลลิกรัม/ลิตร (ppm), DEP 350 มิลลิกรัม/ลิตร, DBP 34 มิลลิกรัม/ลิตร และ DOP⁽¹⁾ ในแม่น้ำเจ้าพระยา, แม่น้ำบางปะกง, แม่น้ำท่าจีนและอ่าวไทยตอนบน ส่วนสุภาณีและ วราภรณ์ได้ตรวจพบ DEP, DBP, BBP ในแม่น้ำเจ้าพระยาและบริเวณคลอง สระน้ำต่าง ๆ ในเขตกรุงเทพมหานคร

ตารางที่ 2.5 สมบัติทางกายภาพ เคมีและ LD₅₀ พลาสติกไซเซอรบางชนิด [46]

พลาสติกไซเซอร	สูตรโมเลกุล	น้ำหนักโมเลกุล	จุดเดือด (°C) ที่ 760 mm Hg	การละลายในน้ำ (กรัม/100 กรัม ที่ 20°C)	LD ₅₀ (oral) (กรัม/กิโลกรัม)
DMP	$C_2H_4(COOCH_3)_2$	194.18	282	0.5	Rat 6.9
DEP	$C_6H_4(COOC_2H_5)_2$	222.23	296.1	0.1	Rabbit 1.0
DBP	$C_6H_4(COOC_4H_9)_2$	278.34	340	0.45 กรัม ที่ 25°C	Rat 8.0
BBP	$C_6H_4(COOC_4H_9)(COOCH_2C_6H_5)$	312.37	370	ไม่ละลาย	-
DOP ⁽¹⁾	$C_6H_4(COOCH_2CH(C_2H_5)C_4H_9)_2$	391.0	370	0.01	rat > 26
DOP ⁽²⁾	$C_8H_4(COOC_8H_{17})_2$	391.0	220 ที่ 4 mmHg	ไม่ละลาย	mouse > 13
DNP	$C_6H_4(COOC_9H_{19})_2$	419.0	413	ไม่ละลาย	rat > 2

หมายเหตุ : LD₅₀ (oral) หมายถึง ปริมาณสารพลาสติกไซเซอรที่ให้สัตว์ทดลองกินเข้าไปแล้วสามารถทำให้สัตว์ทดลองตายร้อยละ 50 คำนวณในหน่วยกรัม/น้ำหนักตัวสัตว์ทดลองหนึ่งกิโลกรัม

2.9 การขึ้นรูปแบบฉีด

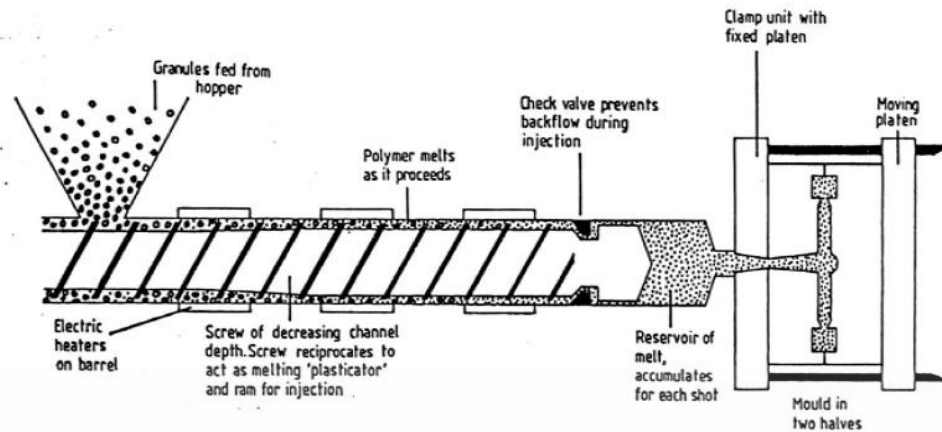
วิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยการฉีดพลาสติกที่กำลังหลอมเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์ด้วยความดันสูง เครื่องจักรที่ใช้ในการนี้มีขนาดค่อนข้างใหญ่และเป็นที่นิยมแพร่หลาย [47]

2.9.1 ส่วนประกอบเครื่อง Injection molding

โดยทั่วไปแล้วเครื่องฉีดพลาสติก มีโครงสร้างส่วนประกอบสำคัญซึ่งสามารถแบ่งได้ออกเป็น

3 ส่วน

- ส่วนชุดฉีด (Injection unit)
- ส่วนชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ (Clamping unit)
- ส่วนฐานของเครื่องฉีด (Base)



รูปที่ 2.21 เครื่อง Injection molding [47]

2.9.2 ส่วนชุดฉีด (Injection unit)

ส่วนชุดฉีดทำหน้าที่ดึงพลาสติกเข้าสู่กระบอกฉีดหลอมเหลว แล้วส่งพลาสติกเหลวไปที่หัวฉีด และทำหน้าที่ในการฉีด และรักษาความดันย้ำ ซึ่งมีส่วนประกอบพื้นฐานดังต่อไปนี้ คือ

- หัวฉีด (Nozzle) เป็นส่วนต่อปลายกระบอกฉีดพลาสติกเข้ากับช่องทางไหลของพลาสติกในแม่พิมพ์ หัวฉีดมีรูขนาดเล็กเพื่อให้พลาสติกหลอมเหลวไหลผ่านเข้าสู่ช่องว่างในแม่พิมพ์ด้วยความรวดเร็ว

2.9.3 ส่วนชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ (Clamping unit)

- ทำหน้าที่ในการยึดแม่พิมพ์ทั้งสองส่วน เลื่อนปิด-เปิดแม่พิมพ์ให้แรงในการปิดแม่พิมพ์
- หล่อเย็นชิ้นงานฉีดพลาสติก และปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์
- ประกอบไปด้วยแผ่นยึดแม่พิมพ์ ซึ่งมีส่วนที่เคลื่อนที่และอยู่กับที่เพลา นำเลื่อนระบบขับเคลื่อนปิด-เปิดแม่พิมพ์ และแผ่นยึดระบบขับเคลื่อน

2.9.4 ส่วนฐานของเครื่องฉีดขึ้นรูป (Base)

- ทำหน้าที่คอยรับน้ำหนักของชุดฉีด และชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์
- นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ยึดติดอุปกรณ์ไฮดรอลิกทั้งหมดในเครื่อง และยังทำหน้าที่เป็นถังน้ำมันไฮดรอลิก โดยส่วนใหญ่แล้วตัวฐานเครื่อง ทำด้วยเหล็กเหนียว ที่เชื่อมประกอบเข้าเป็นฐานเครื่องเพื่อความแข็งแรง และสามารถรับน้ำหนักมาก ๆ ได้ดี

2.9.5 ขั้นตอนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก

การฉีดพลาสติกแบบการขึ้นรูปแบบฉีด นี้เครื่องฉีดประกอบด้วยสกรู และเคลื่อนที่ไปตามแนวแกน เหมาะสมกับชิ้นงานที่มีขนาดเล็กไปจนถึงชิ้นงานขนาดใหญ่ เนื่องจากสามารถผลิตชิ้นงานได้หลายลักษณะงาน จึงทำให้มีความนิยมในการฉีดพลาสติกแบบนี้มากซึ่งสามารถสรุปขั้นตอนของการฉีดพลาสติกได้ 9 จังหวะ

1. แม่พิมพ์เคลื่อนที่เข้าปิด และล็อกแน่น เพื่อป้องกันการแยกด้วยแรงต้านภายในแม่พิมพ์
2. ชุดฉีดเลื่อนเข้าหาแม่พิมพ์จนกระทั่งชนกับแม่พิมพ์ และค้างไว้ด้วยแรงที่พอเหมาะ เพื่อป้องกันชุดฉีดถอยหลังกลับ ในขณะที่ทำการฉีด
3. ฉีดพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์ โดยสกรูเคลื่อนที่ตามแนวแกน
4. ย้ำรักษาความดันให้กับพลาสติกเหลวในแม่พิมพ์ เพื่อให้ได้ชิ้นงานเนื้อแน่น และไม่เกิดรอยยุบตัวที่ผิวของชิ้นงาน
5. หล่อเย็นชิ้นงานฉีดในแม่พิมพ์ โดยที่จังหวะนี้มีอิทธิพลมาก ต่อเวลาการทำงานทั้งวงจร
6. การหลอม และป้อนพลาสติกไปหน้าปลายสกรู เมื่อได้ปริมาณพลาสติกเหลวตามที่ต้องการแล้วเกลียวหนอนหยุดหมุน
7. ชุดฉีดถอยหลังกลับเพื่อป้องกันอุณหภูมิของหัวฉีดลดต่ำลงเกินไป เพราะทำให้พลาสติกหนืดเกินไปและไหลไม่ได้
8. แม่พิมพ์เปิดออกหลังจากสิ้นสุดเวลาในการหล่อเย็น
9. ทำการปลดชิ้นงาน เมื่อแม่พิมพ์เปิดออกสุดแล้ว

อุตสาหกรรมการผลิตด้วยการขึ้นรูปแบบฉีด ได้ถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบันที่สามารถผลิตชิ้นงานได้อย่างหลากหลายในหลายๆ อุตสาหกรรมการผลิตเช่น การผลิตรถยนต์ (Automotive) การแพทย์ (Medical) เครื่องบิน (Aerospace) สินค้าอุปโภคบริโภค (Consumer-products) ของเล่น (Toys) ประปา (Plumbing) บรรจุภัณฑ์ (Packaging) รวมไปถึงงานด้านโยธา (Construction)

2.10 กระบวนการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย (Fiber treatment)

การปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยสามารถปรับปรุงได้ทางเคมี โดยแต่ละวิธีให้ประสิทธิภาพในการปรับปรุงการยึดติดระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ที่แตกต่างกันออกไป [48] แต่ในงานวิจัยนี้เลือกเฉพาะวิธีที่นิยมนำมาใช้ งาน เช่น

อัลคาไลน์ทริตเมนต์ (Alkali treatment)

การปรับปรุงเส้นใยด้วยวิธีอัลคาไลน์ทริตเมนต์ เป็นวิธีที่นิยมใช้มากในการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่นำไปใช้เป็นส่วนเสริมแรงในพอลิเมอร์คอมโพสิต โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการปรับปรุง เมื่อทำการปรับปรุงเส้นใยแล้วทำให้เกิดการทำลายพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างของเส้นใยตามสมการที่ 2.1

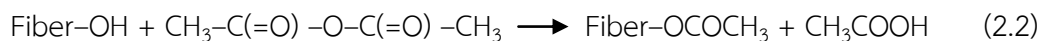


นอกจากนั้นการปรับปรุงเส้นใยด้วยวิธีอัลคาไลน์ทริตเมนต์ยังไปจัดสิ่งสกปรก ลิกนิน แวกซ์ เหมิเซลลูโลส และน้ำมัน ที่อยู่ภายนอกผิวของเส้นใย ส่งผลให้พื้นผิวเส้นใยมีความขรุขระเพิ่มขึ้น ความขรุขระของพื้นผิวของเส้นใยนั้นไปเพิ่มแรงยึดติดระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ (Mechanical interlocking) ส่งผลให้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะซิติกเลชัน (Acetylation)

การปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยการทำอะซิติกเลชัน เป็นการทำเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification) กับเซลล์ูโลสของเส้นใยโดยใช้อะซิติกแอนไฮไดรด์ ($\text{CH}_3\text{-C(=O)-O-C(=O)-CH}_3$, Acetic anhydride) ตามสมการที่ 2.2



หลังจากทำปฏิกิริยาแล้วได้กรดอะซิติก (CH_3COOH , Acetic acid) ออกมาซึ่งต้องกำจัดให้หมดก่อนนำเส้นใยไปใช้งาน เมื่ออะซิติกแอนไฮไดรด์ทำปฏิกิริยากับเซลล์ูโลสแล้วเกิดหมู่อะเซทิล (Acetyl group) ซึ่งการทำอะซิติกเลชันส่งผลให้เส้นใยไม่มีความเป็นวัสดุที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) มากขึ้นและมีเสถียรภาพมากขึ้น

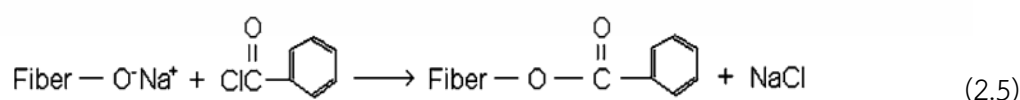
ไซเลนทรีตเมนต์ (Silane treatment)

ไซเลนมักถูกใช้เป็นสารคู่ควบ (Coupling agents) ในพอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติ โดยไซเลนไปลดจำนวนของหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) ในเซลล์ูโลส เมื่อไซเลนทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วได้เป็นไซลานอล (Silanol) และไปเกิดปฏิกิริยากับเซลล์ูโลสได้พันธะที่เสถียรบนเซลล์ูโลสที่สามารถไปเกิดปฏิกิริยากับเมทริกซ์ได้ ส่งผลให้เพิ่มความแข็งแรงระหว่างวัฏภาคเส้นใยกับเมทริกซ์ ตามสมการที่ 2.3 และ สมการที่ 2.4



เบนโซเลชัน (Benzoylation)

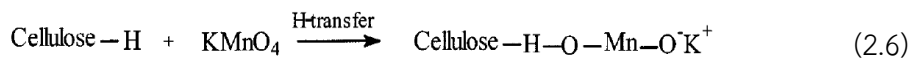
การปรับปรุงเส้นใยด้วยวิธีเบนโซเลชันใช้สารละลายเบนโซอิลคลอไรด์ในการปรับปรุง เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่นำไปใช้เป็นส่วนเสริมแรงในพอลิเมอร์คอมโพสิตวิธีหนึ่ง โดยไปลดความเป็นวัสดุที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ของเส้นใย และเพิ่มแรงยึดติดระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ ทำให้เพิ่มความแข็งแรงของคอมโพสิต ลดการดูดน้ำของเส้นใย และมีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดีขึ้นด้วย ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างเบนโซอิลคลอไรด์กับเซลล์ูโลสแสดงตาม สมการที่ 2.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์แมงกาเนต (Permanganate)

การปรับปรุงเส้นใยด้วยวิธีเปอร์แมงกาเนตใช้สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตในการปรับปรุงเปอร์แมงกาเนตเป็นสารประกอบที่ประกอบด้วยหมู่ MnO_4^- เมื่อทำปฏิกิริยากับเซลลูโลสได้ตามสมการที่ 2.6 และ สมการที่ 2.7 โดยไอออนของ Mn^{3+} ที่เกิดขึ้นว่องไว ที่ไปเกิดเป็น โคพอลิเมอร์ (Copolymer) ได้



สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตไปลดความเป็นวัสดุที่ชอบน้ำของเส้นใย และเพิ่มแรงยึดติดระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ ทำให้เพิ่มความแข็งแรงของคอมโพสิตอีกด้วย

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Paul, A. และคณะ [49] ได้ทำการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้า (Electrical properties) ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์ (Sisal fiber) ชนิดเส้นสั้นกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ โดยทำการปรับปรุงเส้นใยด้วยวิธีต่างๆ เช่น ใช้อัลคาไลน์ (Alkali) กรดสเตียริก (Stearic acid, $\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$) เปอร์ออกไซด์ (Peroxide, $\text{O}-\text{O}$) เปอร์แมงกาเนต (Permanganate, MnO_4) และอะซิไทลเลชัน (Acetylation) เพื่อเพิ่มแรงระหว่างพื้นผิว ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Dielectric constant, ϵ) เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยที่ใส่ในพอลิเมอร์คอมโพสิต และลดลงเมื่อเส้นใยได้รับการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีทางเคมี (Chemical treatment) ที่เป็นเช่นนั้นเพราะการที่เส้นใยได้ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวส่งผลให้ความเป็นวัสดุที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) นั้นลดลง สภาวะความต้านทานไฟฟ้า (Volume resistivity) เพิ่มขึ้นจนถึงจุดๆ หนึ่งและลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Potassium permanganate, KMnO_4)

Ray, D. และคณะ [50] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิต จากเส้นใยปอกระเจา (Jute fiber) กับไวนิลเอสเทอร์เรซิน (Vinyl ester resin) ใช้วิธีการขึ้นรูปด้วยการขึ้นรูปเป็นท่อทรงกระบอก (Cylindrical rods) ซึ่งทำการศึกษาผลของการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยด้วยวิธีอัลคาไลน์ที่ระดับความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ 5 เปอร์เซ็นต์ เวลาที่ใช้แช่เส้นใย 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 30°C ที่มีต่อสัดส่วนวิทยา และสมบัติเชิงกลที่ได้ โดยทำการปรับปรุงเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นและเวลาที่ใช้แช่ต่างๆ จากผลการทดลองพบว่าสภาวะที่ใช้ปรับปรุงเส้นใยที่ดีที่สุดคือใช้ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาแช่เส้นใย 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30°C สามารถเพิ่มแรงยึดติดระหว่างเส้นใยกับไวนิลเอสเทอร์เรซินได้มากที่สุด ส่งผลให้ได้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และค่ามอดุลัสของการโค้งงอ (Flexural modulus) ที่สูงที่สุด

Boynard, C.A. และคณะ [51] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยบวบ (Sponge gourd fiber) กับพอลิเอสเทอร์ (Polyester) ใช้วิธีการขึ้นรูปด้วยการหล่อแบบ (Mold casting) ซึ่งทำการศึกษาผลของการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยด้วยวิธีอัลคาไลน์ทริตเมนต์ ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ 5, 10, 20, 40 และ 60 เปอร์เซ็นต์ เวลาที่ใช้แช่เส้นใย 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง และใช้ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 และ 5 เปอร์เซ็นต์ เวลาที่ใช้แช่เส้นใย 1 ชั่วโมง แต่ใช้อุณหภูมิ 100°C ที่มีต่อสัมพันธวิทยา และสมบัติเชิงกลที่ได้ จากผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมคือ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยถ้าเทียบกับกรณีที่ใช้ความเข้มข้นที่สูงๆ ส่งผลให้ค่าสมบัติเชิงกลที่ได้ลดลง จากภาพถ่าย SEM พบว่าความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ สามารถเพิ่มความขรุขระของพื้นผิวของเส้นใยและเพิ่มแรงยึดติดระหว่างเส้นใยกับพอลิเอสเทอร์ได้ ส่วนในกรณีที่ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย พบว่าที่สภาวะอุณหภูมิ 100°C มีค่าสมบัติเชิงกลที่ใกล้เคียงกัน

Oksmana, K. และคณะ [52] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยแฟลกซ์ (Flax fiber) กับพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) ใช้วิธีการขึ้นรูปแบบอัดรีด (Extrusion) โดยทำการปรับปรุงพอลิแลคติกแอซิด ซึ่งมีลักษณะเฉพาะตัวที่มีความแข็งแรง ความทนทานต่อแรงกระแทกต่ำ ดังนั้นจึงทำการใส่ไตรอะซีติก (Triacetic) เพื่อทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ ความเข้มข้นของไตรอะซีติกที่ใช้ 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองพบว่า การใส่พลาสติกไซเซอร์ลงไป ในคอมโพสิตส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึง และค่ามอดูลัสของคอมโพสิตมีค่าที่ลดลง แต่ค่าการยึดตัว ณ จุดขาด มีค่าสูงขึ้น เพราะการใส่พลาสติกไซเซอร์ส่งผลให้คอมโพสิตนิ่มขึ้น สายโซ่สามารถเคลื่อนตัวได้มากขึ้น ส่วนค่าความแข็งแรงกระแทกสูงขึ้น แต่สูงขึ้นเมื่อใส่ไตรอะซีติกลงไปแค่ 5 เปอร์เซ็นต์ ถ้ามากกว่านั้น มีค่าที่ลดลง เพราะการดูดความชื้นของเส้นใยส่งผลที่ไม่ดีต่อไตรอะซีติกที่ใส่ลงไป

Huda, M.S. และคณะ [53] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยปอกระเจากับพอลิแลคติกแอซิด ใช้วิธีการขึ้นรูปด้วยวิธีการกดอัด (Compression molding) โดยใช้วิธีการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย 2 วิธี คือ อัลคาไลน์ทริตเมนต์ (Alkali treatment) โดยแช่เส้นใยลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) เข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ซิลเลนทริตเมนต์ (Silane treatment) โดยแช่เส้นใยลงในสารละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอล (Ethanol, C₂H₅OH) อัตราส่วน 40:60 โดยน้ำหนัก (w/w) ที่มี 3-อะมิโนพรอพิลไตรเอทอกซีซิลเลน (3-Aminopropyltriethoxysilane, H₂N(CH₂)₃Si(OC₂H₅)₃) ละลายอยู่ปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใย เป็นเวลา 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง จากผลการทดลองพบว่าพอลิเมอร์คอมโพสิต ที่ได้มีสมบัติเชิงกลต่างๆ ที่ได้มีแนวโน้มที่ดีกว่า พอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย การปรับปรุงเส้นใยส่งผลให้มอดูลัสสะสม (Storage modulus) ที่ได้มีค่าสูงขึ้น ซึ่งผลที่ได้ไปสอดคล้องกับผลการทดสอบทางสัมพันธวิทยา (Morphology) พบว่ากรณีพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เส้นใยไม่ได้ทำการปรับปรุงพื้นผิว มีแรงยึดติดระหว่างวัฏภาคพอลิเมอร์และวัฏภาคของเส้นใยที่ไม่ดี ปรากฏช่องว่างของเส้นใยที่หลุดออกจากวัฏภาคพอลิเมอร์จำนวนมาก แต่ในกรณีพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เส้นใยผ่านการปรับปรุงพื้นผิวมีแรงยึดติดระหว่างวัฏภาคที่ดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ibrahim, N.A. และคณะ [54] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิต จากเส้นใยปอแก้ว (Kenaf fiber) กับ Ecoflex ใช้วิธีการขึ้นรูปด้วยการผสมแบบหลอม (Melt blending) ซึ่งทำการศึกษามลของการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยด้วยวิธีอัลคาไลน์ทริตเม้นท์ ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ 2, 4, 6 และ 8 เปอร์เซ็นต์ เวลาที่ใช้แช่เส้นใย 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ที่มีต่อสมบัติเชิงกลที่ได้ โดยทำการปรับปรุงเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นและเวลาที่แช่ต่างๆ จากผลการทดลองพบว่าสถานะที่ใช้ปรับปรุงเส้นใยที่ดีที่สุดคือใช้ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาแช่เส้นใย 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ส่งผลให้ได้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ที่สูงที่สุด ในขณะที่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าความแข็งแรงดึงที่ต่ำที่สุด

Sreekumar, P.A. และคณะ [55] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิต จากเส้นใยปานครนารายณ์ กับพอลิเอสเตอร์ (Polyester) ใช้วิธีการขึ้นรูปด้วย Resin transfer molding (RTM) โดยศึกษามลของการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยด้วยวิธีต่างๆ เช่น อัลคาไลน์ทริตเม้นท์ ไฮเลน-ทริตเม้นท์ เบนโซเลชัน (Benzoylation) และเปอร์แมงกาเนต ซึ่งมีวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใย ดังนี้ วิธีอัลคาไลน์ทริตเม้นท์ทำได้โดยนำเส้นใยมาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นอบเส้นใยให้แห้ง วิธีไฮเลนทริตเม้นท์ทำได้โดยแช่เส้นใยลงในสารละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอล อัตราส่วน 40:60 โดยน้ำหนัก (w/w) ที่มีไวนิล-ทีส-2-เอทอกซีเมทอกซีไฮเลน (Vinyl tris (2-ethoxy methoxy silane) ละลายอยู่ปริมาณ 0.6 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใย เป็นเวลา 1 ชั่วโมง วิธีเบนโซเลชันทำได้โดยแช่เส้นใยมา 35 กรัม แช่ลงในสารละลายเบนโซอิลคลอไรด์ปริมาณ 50 มิลลิลิตรเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นไปกรองและล้างด้วยน้ำกลั่น นำเส้นใยมาแช่ด้วยเอทานอล เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อกำจัดเบนโซอิลคลอไรด์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยา จากนั้นนำเส้นใยไปอบให้แห้งโดยใช้อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง วิธีเปอร์แมงกาเนตทำได้โดยแช่เส้นใยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ 0.02 เปอร์เซ็นต์ เวลาที่ใช้ 3 นาที จากผลการทดลองพบว่าค่าความแข็งแรงดึง และค่าความแข็งแรงโค้งงอมีค่าสูงขึ้นเมื่อผ่านการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใย เส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงแล้วมีความขรุขระมากขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากภาพถ่าย SEM การดูดน้ำของเส้นใยลดลง เมื่อผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีต่างๆ ส่งผลให้แรงระหว่างโมเลกุลเส้นใยกับ เมทริกซ์ดีขึ้น

Gu, H. และคณะ [56] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตจากใยคาบมะพร้าว (Coir fiber) กับพอลิพรอพิลีน ใช้วิธีการขึ้นรูปด้วยการอัดร้อน (Hot press) ซึ่งทำการศึกษามลของการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยด้วยวิธีอัลคาไลน์ทริตเม้นท์ ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ 2, 4, 6, 8 และ 10 เปอร์เซ็นต์ เวลาที่ใช้แช่เส้นใย 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ที่มีต่อสมบัติเชิงกลที่ได้ โดยทำการปรับปรุงเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นและเวลาที่แช่ต่างๆ จากผลการทดลองพบว่าเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงที่ความเข้มข้นสูงทำให้ค่าความแข็งแรงดึงมีค่าลดลง แต่มีค่าการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) สูงขึ้นแสดงว่าเส้นใยมีความยืดหยุ่นมากขึ้น สถานะที่ใช้ปรับปรุงเส้นใยที่ดีที่สุดคือใช้ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2, 4, 6 และ 8 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ได้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีค่าความแข็งแรงดึง และค่าการยืดที่จุดขาดที่ใกล้เคียงกัน แต่ในขณะที่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าความแข็งแรงดึง และค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การยึดที่จุดขาดที่ต่ำที่สุด แสดงว่าการใช้สารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นสูงเกินไป ทำให้ทำลายเส้นใยได้

Joseph, S และคณะ [57] ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลพลวัต (Dynamic mechanical properties) ของพอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยปาล์ม (Oil palm fiber) กับยางธรรมชาติ (Natural rubber) โดยศึกษาผลของการปริมาณเส้นใยในพอลิเมอร์คอมโพสิตและการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยด้วยวิธีต่างๆ เช่น อัลคาไลน์ทริตเม้นท์ ไฮเลนทริตเม้นท์ และเบนโซเลชัน ซึ่งมีวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยดังนี้ อัลคาไลน์ทริตเม้นท์ทำได้โดยนำเส้นใยมาแช่ในสารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นอบเส้นใยให้แห้ง ไฮเลนทริตเม้นท์ทำได้โดยแช่เส้นใยลงสารละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอล อัตราส่วน 40:60 โดยน้ำหนัก (w/w) ที่มีไวนิล-ทิส-2-เอ-ทอกซีเมทอกซีไฮเลน (Vinyl tris (2-ethoxy methoxy silane) ละลายอยู่ปริมาณ 0.4 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใย เป็นเวลา 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำเส้นใยไปอบให้แห้งโดยใช้อุณหภูมิ 70°C วิธีเบนโซเลชันทำได้โดยแช่เส้นใยมา 35 กรัม แช่ลงในสารละลายเบนโซอิลคลอไรด์ปริมาณ 50 มิลลิลิตร เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นไปกรองและล้างด้วยน้ำกลั่น นำเส้นใยมาแช่ด้วยเอทานอล เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อกำจัดเบนโซอิลคลอไรด์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยา จากนั้นนำเส้นใยไปอบให้แห้งโดยใช้ อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยที่ใส่ในพอลิเมอร์คอมโพสิต ส่งผลให้ความยืดหยุ่นของคอมโพสิตลดลงเพราะเส้นใยธรรมชาติมีความแข็ง ส่วนการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยด้วยวิธีต่างๆ นั้นส่งผลให้มอดูลัสสะสมนั้นสูงขึ้นในทุกวิธี

Liu, L. และคณะ [58] ได้ทำการศึกษาผลของสภาวะต่างๆ เช่น ปริมาณเส้นใย (Fiber content) เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย (Diameter) การปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใย การใช้สารคู่ควบ (Coupling agent, γ -methacryloyloxypropyltrimethoxysilane) และการจัดเรียงเส้นใย (Orientation) ในพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีผลต่อการย่อยสลายของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิ-บิวทิลีนซัคซิเนต (Polybutylene succinate, PBS) กับเส้นใยปอที่ใช้วิธีการขึ้นรูปด้วยวิธีการกดอัด จากผลการทดลองพบว่าถ้าปริมาณเส้นใยลดลง ส่งผลให้การย่อยสลายตัวของพอลิเมอร์คอมโพสิตนั้นเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากเส้นใยนั้นย่อยสลายได้ยากกว่าพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยมีขนาดลดลงส่งผลให้การย่อยสลายนั้นลดลงด้วย เนื่องมาจากการที่เส้นใยมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็ก ทำให้มีพื้นที่ผิวมาก ส่งผลให้แรงระหว่างภูมิภาคพอลิเมอร์และภูมิภาคของเส้นใยให้ดีขึ้น ถ้าเส้นใยได้ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยอัลคาไลน์ทริตเม้นท์ และใช้สารคู่ควบส่งผลให้การย่อยสลายนั้นลดลง

Nam, T.H. และคณะ [59] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิต จากเส้นใยกาบมะพร้าวกับพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ใช้วิธีการขึ้นรูปด้วยวิธีการกดอัด ซึ่งทำการศึกษาผลของการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยด้วยวิธีอัลคาไลน์ทริตเม้นท์ ความเข้มข้นสารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ 3, 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์ เวลาที่ใช้แช่เส้นใย 24, 48, 72 และ 92 ชั่วโมง ตามลำดับ ผลของปริมาณเส้นใยที่ใช้ในพอลิเมอร์คอมโพสิต (ปริมาณเส้นใยที่ใช้ 10, 15, 20, 25 และ 30 php) ที่มีต่อสัณฐานวิทยา และสมบัติเชิงกลที่ได้ โดยทำการปรับปรุงเส้นใยด้วยสารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นและเวลาที่ใช้แช่ต่างๆ จากผลการทดลองพบว่าสภาวะที่ใช้ปรับปรุงเส้นใยที่ดีที่สุดคือใช้ สารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาแช่เส้นใย 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง สามารถเพิ่มเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความขรุขระของพื้นผิวของเส้นใยและเพิ่มแรงยึดติดระหว่างเส้นใยกับพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้มากที่สุด เนื่องจากความขรุขระของพื้นผิวเส้นใยช่วยเพิ่มโอกาสในการเกิดกลไกแบบการเชื่อมตอกันทางกล (Mechanical interlocking) ระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ ส่วนปริมาณเส้นใยที่เหมาะสมคือใช้ปริมาณ 25 phr ซึ่งให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด โดยถ้าทำการเพิ่มปริมาณเส้นใยสมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเพิ่มปริมาณเส้นใยเป็น 30 phr นั้นส่งผลให้สมบัติเชิงกลลดลง เนื่องมาจากถ้าปริมาณเส้นใยมากเกินไปส่งผลให้เส้นใยนั้นไม่เปียกด้วยพอลิเมอร์

Anyakora, A.N. และ Abubakre, O.K. [60] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า (Empty Fruit Bunch Fibers, EFBF) กับพอลิเอสเตอร์ (Polyester) ใช้วิธีการขึ้นรูปด้วยเทคนิคมือทา (Hand lay-up process) ซึ่งทำการศึกษผลของการปรับปรุงผิวของเส้นใยด้วยวิธีไฮดรอกซิเจนและปริมาณเส้นใยที่ใช้ทำพอลิเมอร์คอมโพสิต มีวิธีการทดลองคือนำเส้นใยมาแช่ในสารละลายไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลต่อลิตร เป็นเวลา 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำเส้นใยไปแช่ในสารละลายฟีนิลไฮดรอกไซด์ (Phenylsilane)เข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 30 นาที และนำเส้นใยที่ได้ไปขึ้นรูปเป็นวัสดุคอมโพสิตโดยทำการปรับเปลี่ยนปริมาณเส้นใยที่ใช้เป็น 10, 20, 30, 40, 50, 60 และ 70 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าการปรับปรุงเส้นใยด้วยไฮดรอกไซด์ (Silane) นั้นส่งผลให้คอมโพสิตที่ได้มีค่าความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) ที่สูงกว่าคอมโพสิตที่ใช้เส้นใยที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย ส่วนในกรณีของปริมาณเส้นใยที่ใช้ในคอมโพสิตนั้นพบว่ายิ่งเพิ่มปริมาณเส้นใยส่งผลให้ความแข็งแรงกระแทกลดลงเรื่อยๆตั้งแต่ปริมาณเส้นใย 10 เปอร์เซ็นต์ ทั้งกรณีที่ปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยและไม่ปรับปรุงเส้นใย

Sawpan, M.A. และคณะ [61] ได้ทำการปรับปรุงเส้นใยกัญชง (Hemp fiber) โดยการใช้วิธีอัลคาไลน์ทรียด์และไฮดรอกซิเจนทรียด์ ช่วยในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิแล็กติกแอซิด กับเส้นใยกัญชง ซึ่งทำการขึ้นรูปใน 2 ลักษณะคือ ใช้วิธีขึ้นรูปแบบกดอัดในกรณีที่ใช้เส้นใยยาว และใช้วิธีขึ้นรูปแบบฉีดขึ้นรูปในกรณีที่ใช้เส้นใยสั้น โดยศึกษผลของการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใย และปริมาณของเส้นใยที่ใช้ที่มีต่อพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้ การปรับปรุงเส้นใยด้วยวิธีอัลคาไลน์ทรียด์สามารถทำได้โดยนำเส้นใยมาแช่ในสารละลายไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที และนำไปอบให้แห้งโดยใช้อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ส่วนวิธีไฮดรอกซิเจนทรียด์นั้นสามารถทำได้โดยนำเส้นใยไปแช่ในสารละลาย 3-(2-อะมิโนเอทิลอะมิโน) โพรพิลไตรเมทอกซีไฮดรอกไซด์ (3-(2-aminoethyl amino) propyl trimethoxy silane)เข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 45 นาที และนำไปอบให้แห้งโดยใช้อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำเส้นใยที่ปรับปรุงพื้นผิวแล้วไปทำการขึ้นรูปด้วยวิธีต่างๆ จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยในวัสดุคอมโพสิตส่งผลให้สมบัติเชิงกลที่ได้เพิ่มขึ้นไปด้วย การปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยวิธีทั้ง 2 นั้นช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลได้ ทั้งคู่เนื่องจากการไปกำจัดสิ่งสกปรกต่างๆที่ติดอยู่กับเส้นใย และไปเพิ่มแรงยึดติดระหว่างระหว่างวัฏภาคพอลิเมอร์และวัฏภาคของเส้นใยให้ดีขึ้นด้วย

Sahoo, S. และคณะ [62] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิต จากลิกนิน (Lignin) ซึ่งได้มาจากอุตสาหกรรมการทำเยื่อกระดาษ (Pulp) กับพอลิเอทิลีนซัคซิเนต ใช้วิธีเทคนิคการฉีดขึ้นรูป ซึ่งศึกษาผลของการใส่สารช่วยผสม (Compatibilizer) พอลิเมทิลีนไดฟีนิลไดไอโซไซยาเนต (Polymeric Methylene Diphenyl Diisocyanate, PMDI) ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้ จากผลการทดลองพบว่า การที่ใส่ลิกนินลงในพอลิเมอร์คอมโพสิตในอัตราส่วนที่มาก ส่งผลให้สมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามทำให้ความแข็งแรงกระแทกลดลง เพราะพอลิเมอร์คอมโพสิตมีความแข็งเปราะ (Brittle) มากขึ้น ส่วนผลของการใส่สารช่วยผสมนั้นพบว่าส่งผลให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น ซึ่งเห็นได้จากผลการทดสอบทางสัณฐานวิทยา ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) พบว่าในกรณีที่มีการใส่สารช่วยผสมลงไป มีแรงระหว่างวัฏภาคพอลิเมอร์และวัฏภาคของเส้นใยที่แข็งแรงกว่ากรณีที่ไม่ใส่สารช่วยผสม

Alam, A.K.M.M. และคณะ [63] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิต จากเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่ากับพอลิแล็กติกแอซิด โดยเตรียมวัสดุคอมโพสิตด้วยเทคนิคการฉีดขึ้นรูป ซึ่งทำการศึกษาผลปริมาณของเส้นใยที่ใช้ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เวลาที่ใช้แช่เส้นใย และอุณหภูมิที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย โดยทำการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และใช้เครื่องอัลตราโซนิกส์ มีขั้นตอนการทดลองคือนำมาปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยโดยใช้ Ultrasonic bath ทำการปรับปรุงเส้นใยโดยแบ่งเป็น 2 สภาวะคือในน้ำและในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 3-7 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เวลาที่แช่เส้นใย 30-90 นาที และอุณหภูมิที่ใช้ 30-100°C จากผลการทดลองพบว่าถ้าทำการปรับปรุงเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และอัลตราโซนิกส์ส่งผลให้สมบัติเชิงกล และแรงระหว่างพื้นผิวเพิ่มขึ้น สภาวะในการปรับปรุงเส้นใยที่เหมาะสมคือใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เวลาที่แช่เส้นใย 90 นาที อุณหภูมิที่ใช้ 80°C และปริมาณเส้นใยที่ใช้ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ได้คอมโพสิตที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด

Senawi, R. และคณะ [64] ได้ทำการศึกษาผลของการปรับปรุงพื้นผิว เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยวิธีอัลคาไลน์ทริตเมนต์ และไซเลนทริตเมนต์ ที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิแล็กติกแอซิดกับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า มีวิธีการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยคือนำเส้นใยไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้องจากนั้นนำเส้นใยไปอบให้แห้งในตู้อบใช้อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และนำเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์ทริตเมนต์มาทำไซเลนทริตเมนต์ต่อโดยแช่เส้นใยลงสารละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอล อัตราส่วน 40:60 โดยน้ำหนัก ที่มี 3-อะมิโนโพรพิลไตรเมทอกซีไซเลน (3-Aminopropyltriethoxysilane, $H_2N(CH_2)_3Si(OC_2H_5)_3$) ละลายอยู่ปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใย เป็นเวลา 3 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำเส้นใยไปอบให้แห้งในตู้อบ ใช้อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และนำเส้นใยที่ปรับปรุงสมบัติแล้วไปทำการขึ้นรูปด้วยวิธีการกดอัดเพื่อให้ได้พอลิเมอร์คอมโพสิตตามที่ต้องการ จากผลการทดลองพบว่า การปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยวิธีอัลคาไลน์ทริตเมนต์ และไซเลนทริตเมนต์ ส่งผลให้พอลิเมอร์คอมโพสิตนั้นมีสมบัติเชิงกลในด้านต่างๆ เช่น ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอ และความแข็งแรงกระแทกที่ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Patra, A. และคณะ [65] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิต จากเส้นปานศรนารายณ์กับอีพ็อกซีเรซิน (Epoxy resin) ใช้ด้วยเทคนิคมือทา ซึ่งทำการศึกษาผลของการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยด้วยวิธีเปอร์แมงกาเนต ความเข้มข้นสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ 0.1, 0.01 และ 0.05 เปอร์เซ็นต์ เวลาที่ใช้แช่เส้นใย 1, 2 และ 3 นาที ที่มีต่อสมรรถนะ และสมบัติเชิงกลที่ได้ โดยทำการปรับปรุงเส้นใยด้วยสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ความเข้มข้นและเวลาที่ใช้แช่ต่างๆ จากผลการทดลองพบว่าสถานะที่ใช้ปรับปรุงเส้นใยที่ดีที่สุดคือใช้ สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเข้มข้น 0.05 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาแช่เส้นใย 2 นาที ที่อุณหภูมิห้อง สามารถเพิ่มความขรุขระของพื้นผิวของเส้นใยและเพิ่มแรงยึดติดระหว่างเส้นใยกับอีพ็อกซีเรซินได้มากที่สุด จึงส่งผลให้คอมโพสิตที่ได้มีค่าความแข็งแรงดึง และค่าความแข็งแรงโค้งงอสูงที่สุด

ตรีชาดา นำภานนท์ [66] ทำการเตรียมคอมโพสิตชีวภาพระหว่างพอลิแลกติกแอซิดกับเส้นใยใบสับปะรด โดยคอมโพสิตถูกเตรียมโดยใช้เครื่องผสมสองลูกกลิ้งที่ปริมาณเส้นใยใบสับปะรด 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการเสริมแรงของเส้นใยใบสับปะรดในพอลิแลกติกแอซิด โดยวิธีการเย็นตัวแตกต่างกันคือให้ความเย็นอย่างรวดเร็ว (แช่ในน้ำแข็ง) และปล่อยให้เย็นในอุณหภูมิห้องรวมทั้งการอบและไม่อบเม็ดพอลิเมอร์ก่อนการผสม ความเป็นผลึกและน้ำหนักโมเลกุลของคอมโพสิต ผลของกระบวนการขึ้นรูปสองแบบคือขึ้นรูปแบบกดอัดและขึ้นรูปแบบฉีด นอกจากนี้ยังศึกษาความยาวของเส้นใยใบสับปะรดหลังผสม การเรียงตัวของเส้นใยสับปะรดและการยึดติดระหว่างเส้นใยใบสับปะรดกับพอลิแลกติกแอซิด เส้นใยใบสับปะรดถูกปรับปรุงพื้นผิวโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และ 3-อะมิโนโพรพิลไตรเมทอทอกซีไซเลน การทดสอบสมบัติเชิงกลคือทดสอบแรงดึง แรงโค้งงอ และแรงกระแทก พบว่าการเติมเส้นใยใบสับปะรด การเรียงตัวของเส้นใยสับปะรด และความยาวของเส้นใยใบสับปะรดหลังผสม รวมถึงน้ำหนักโมเลกุลของคอมโพสิตส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตโดยเฉพาะอย่างยิ่งสมบัติในการรับแรงกระแทก โมดูลัสสะสม (Storage modulus) จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางกลเชิงไดนามิกส์ (Dynamic mechanical Analysis) และอุณหภูมิการคงรูปทางความร้อน (Heat deflection temperature) เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการเติมเส้นใยสับปะรดช่วยเพิ่มความเป็นผลึกของคอมโพสิตเล็กน้อย การเติมเส้นใยสับปะรดที่ปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าวิธีการเย็นตัวและปริมาณความชื้น (การอบหรือไม่อบเม็ดพอลิเมอร์) ที่ต่างกันส่งผลให้สมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนที่ได้ไม่ต่างกันมาก นอกจากนี้ผลของการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยใบสับปะรดในคอมโพสิตให้ค่าสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับเส้นใยใบสับปะรดที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิว เนื่องจากการยึดติดที่ไม่ดีระหว่างเส้นใยสับปะรดและพอลิแลกติกแอซิด

จินตนา สุขสวัสดิ์ [37] ทำการศึกษาไม้พลาสติกคอมโพสิตจาก พอลิพรอพิลีนและเส้นใยธรรมชาติจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน ได้แก่ เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล้า เส้นใยทางใบ (FronD Fibers, FF) เส้นใยเปลือกผลปาล์ม (Mesocarp Fibers, MF) เพื่อนำมาเป็นวัสดุทดแทนไม้ โดยควบคุมอัตราส่วนพลาสติกต่อเส้นใยที่ 50:50 ทำการผสมสูตรด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll Mill) นำไปขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูป โดยเน้นศึกษาปัจจัยบางประการที่มีผลต่อสมบัติของ WPCs ได้แก่ ชนิดเส้นใย ขนาดเส้นใย องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย การเติมสารช่วยผสม (PP-g-MA) ผลของการเตรียมเส้นใยเปลือกผลปาล์มด้วยกระบวนการเชิงกล (MP) และกระบวนการความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อนเชิงกล (TMP) ผลของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil, CPO) ออกจากเส้นใย และผลของปริมาณ CPO ที่เพิ่มในเส้นใย จากการวิเคราะห์ขนาดเส้นใยพบว่า เส้นใย EFBF มีความยาวมากที่สุด และเส้นใย FF สั้นที่สุด ส่วนเส้นใย MF-TMP มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า MF-MP พบว่าเส้นใย MF มีปริมาณแอลฟาเซลลูโลสมากที่สุด ซึ่งบอถึงความแข็งแรงเชิงกลของเส้นใย จากการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าเส้นใย EFBF มีทั้งผิวเรียบและขรุขระ ต่างจากเส้นใย FF และเส้นใย MF ที่มีพื้นผิวขรุขระ จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนพบว่า องศาความเป็นผลึกของ WPC-MF มีมากกว่า WPC-EFBF และ WPC-FF จากผลการศึกษาปริมาณของสารช่วยผสม PP-g-MA พบว่า สมบัติเชิงกลของ WPCS สูงขึ้นเมื่อเติมสารช่วยผสม และ WPC-MF ที่เติมสารช่วยผสม 2 % ให้ผลเชิงกลดีที่สุด จากผลของการเปรียบเทียบการเตรียมเส้นใยจากกระบวนการ MP และ TMP พบว่า สมบัติเชิงกลของ WPC-MF-TMP สูงกว่า WPC-MF-MP เล็กน้อย จากผลการสกัดน้ำมันออกจากเส้นใย MF-MP WPCs ที่ใช้เส้นใย MF ที่ถูกสกัดน้ำมันออกมามีสมบัติเชิงกลที่ต่ำกว่า WPCs ที่เส้นใยมีน้ำมันเหลืออยู่ อย่างไรก็ตามมีน้ำมันตกค้างเหลืออยู่เกินความต้องการ อาจทำให้เกิดการลื่นไถล เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพในการผสมเส้นใยและพลาสติกต่ำ

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่นำมาใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยด้วยวิธีอัลตราโซนิกที่เริ่มต้นที่นั่นควรใช้ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ เพราะจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นพบว่าเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงที่ความเข้มข้นสูง ทำให้ค่าความแข็งแรงดิ่งมีค่าลดลง แสดงว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นสูง สามารถทำลายเส้นใยได้ แต่ในขณะที่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นต่ำเกินไป ทำให้ค่าความแข็งแรงดิ่ง และค่าการยืดที่จุดขาดที่ต่ำ แสดงว่าถ้าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นต่ำเกินไปไม่สามารถจัดสิ่งสกปรกออกจากเส้นใยได้ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการปรับปรุงเส้นใยคือ ใช้ที่อุณหภูมิห้อง เพราะจากงานวิจัยของ Boynard, C.A. และคณะ [51] พบว่าที่สภาวะอุณหภูมิ 100°C มีค่าสมบัติเชิงกลที่ใกล้เคียงกันกับใช้ที่อุณหภูมิห้อง เวลาที่เหมาะสมในการปรับปรุงเส้นใยคือ 4 ชั่วโมง เพราะจากงานวิจัยของ Ray, D. และคณะ [50] พบว่าที่สภาวะสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาแช่เส้นใย 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30°C สามารถเพิ่มแรงยึดติดระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ได้มากที่สุด ส่งผลให้ได้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีค่าความแข็งแรงโค้งงอ และค่ามอดุลัสของการโค้งงอที่สูงที่สุด

การปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยวิธีเบนโซลีนสถานะที่ใช้ปรับปรุงเส้นใยที่ดีที่สุดคือ แช่เส้นใยมา 35 กรัม แช่ลงในสารละลายเบนโซลีนคลอไรด์ปริมาณ 50 มิลลิลิตร เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำไปกรองและล้างด้วยน้ำกลั่น นำเส้นใยมาแช่ด้วยเอทานอล เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อกำจัดเบนโซลีนคลอไรด์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยา จากนั้นนำเส้นใยไปอบให้แห้งโดยใช้อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ส่วนการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยวิธีเปอร์แมงกาเนต สภาวะที่ใช้ปรับปรุงเส้นใยที่ดีที่สุดคือใช้ สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเข้มข้น 0.05 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาแช่เส้นใย 2 นาที ที่อุณหภูมิห้อง ส่งผลให้คอมโพสิตที่ได้มีค่าความแข็งแรงดิ่ง และค่าความแข็งแรงโค้งงอสูงที่สุด

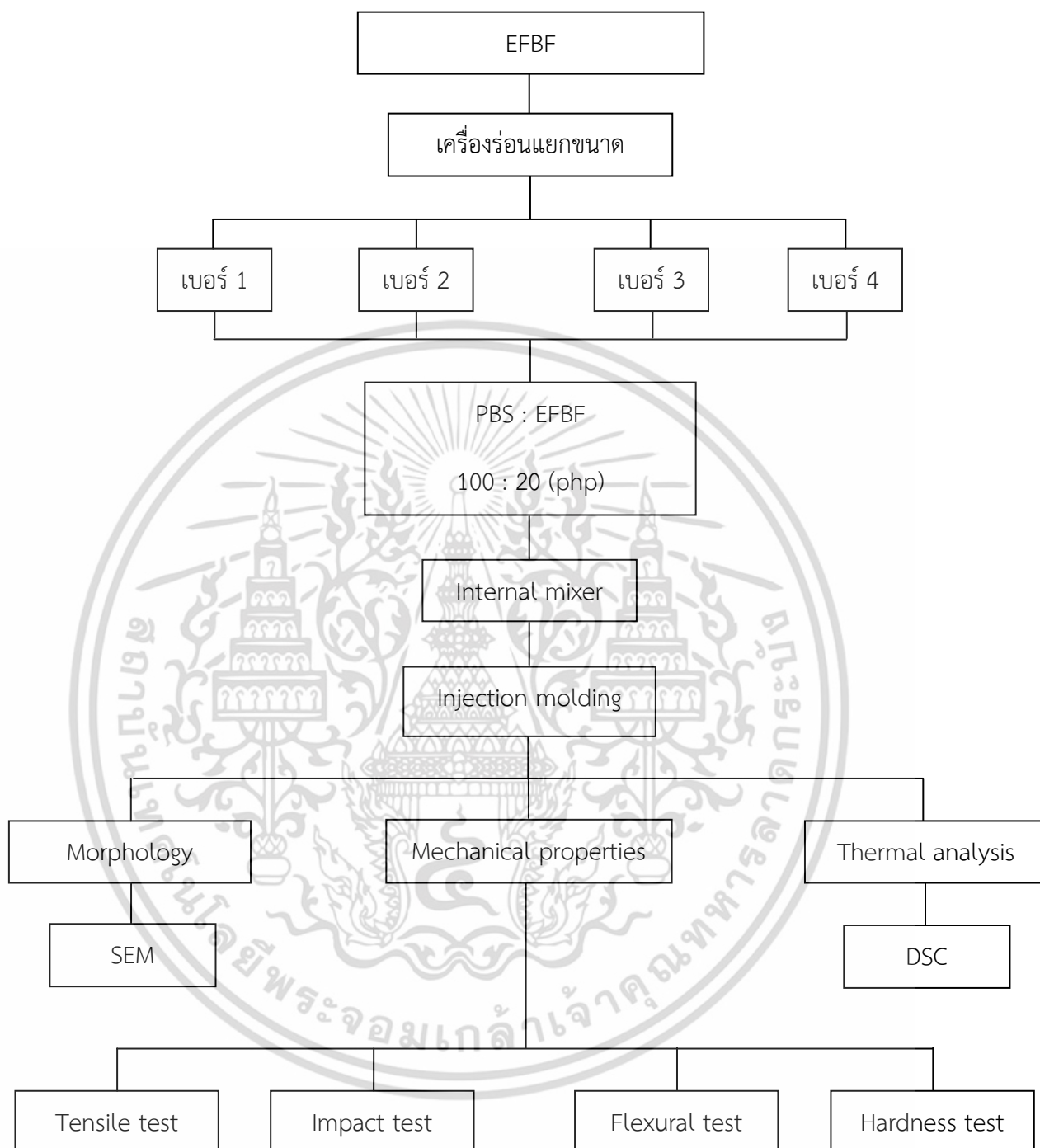
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตผสมระหว่างพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) กับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า (Empty Fruit Bunch Fiber, EFBF) โดยใช้เทคนิคการฉีดขึ้นรูป (Injection molding) เพื่อศึกษาปัจจัยบางประการที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้ เช่น ขนาดของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า (ใหญ่กว่า 20, 20-40, 40-60 และเล็กกว่า 60 mesh) ปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า (0-40 php) ผลของปริมาณพลาสติกไซเซออร์ Acetyl tributyl citrate (0-20 php) การปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยกระบวนการทางเคมี โดยทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยด้วยวิธีอัลคาไลน์ทริตเม้นท์ (Alkali treatment) วิธีเบนโซเลชัน (Benzolation) และวิธีเปอร์แมงกาเนต (Permanganate) โดยในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 4 ตอนดังนี้

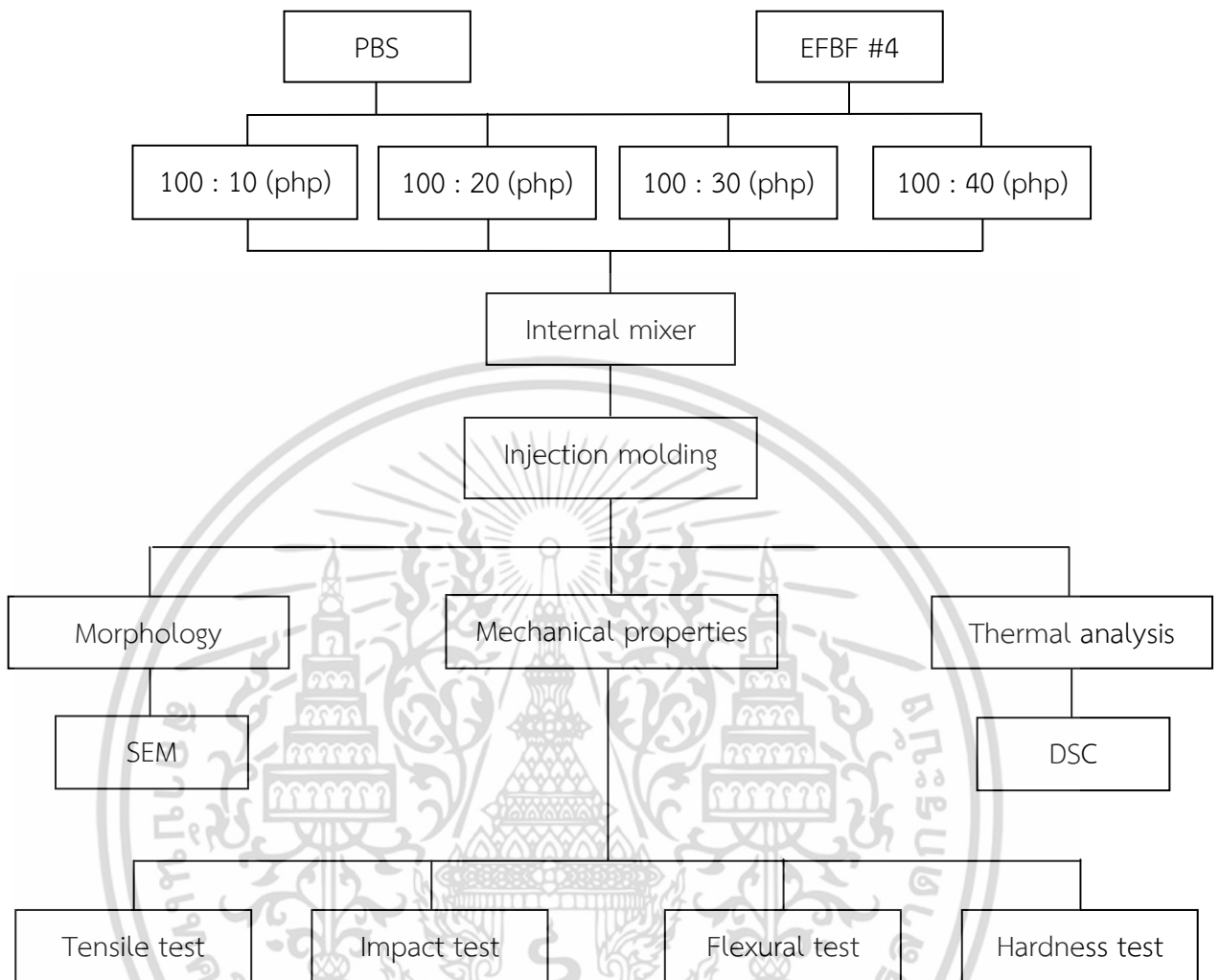
- ขนาดของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิต ดังรูปที่ 3.1
- ปริมาณของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิต ดังรูปที่ 3.2
- ผลของปริมาณพลาสติกไซเซออร์ที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิต ดังรูปที่ 3.3
- ศึกษาวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิต ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.1 แผนภาพการศึกษาขนาดของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพลีต

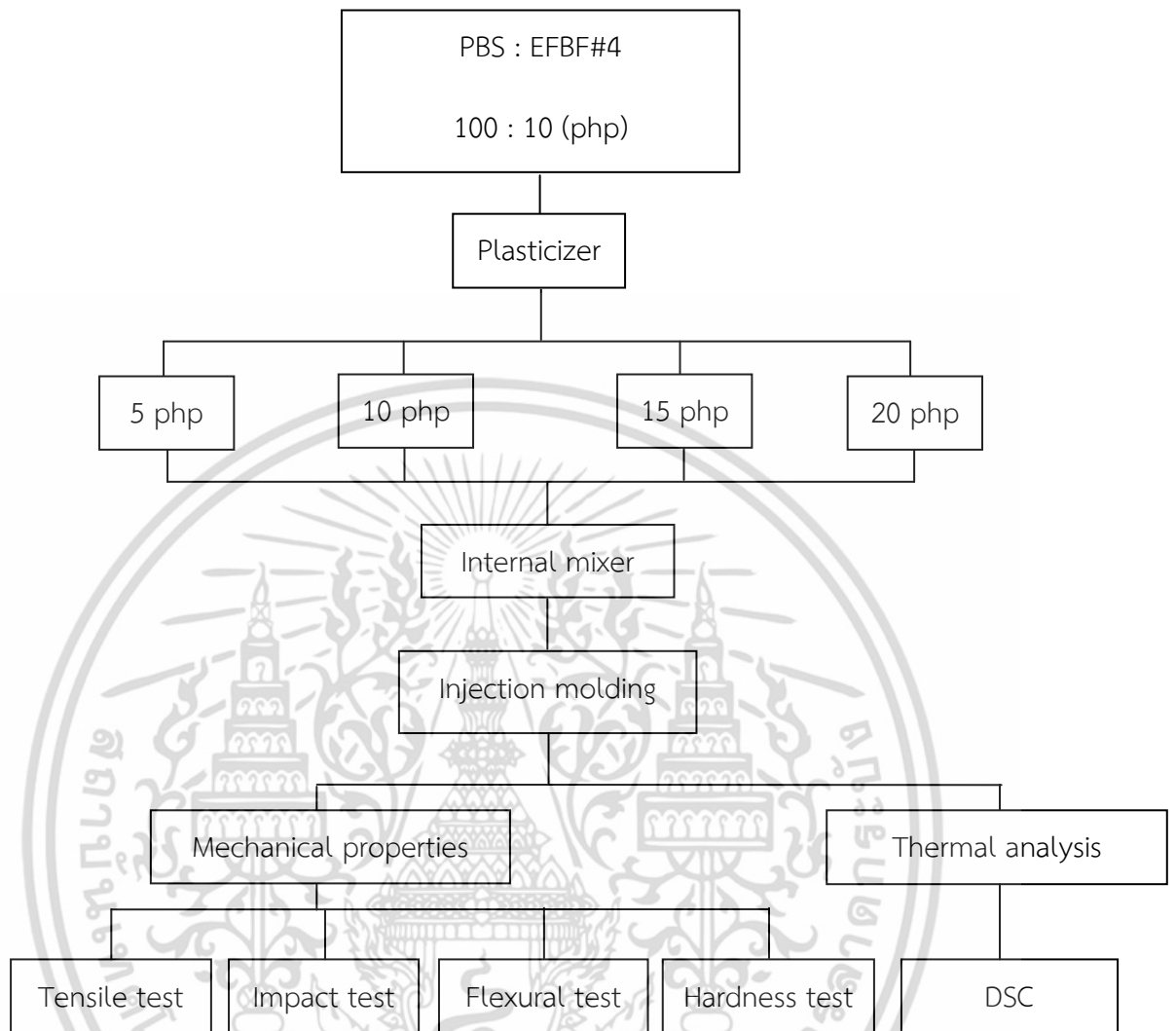
หมายเหตุ : เบอร์ 1 (ใหญ่กว่า 20 mesh, ใหญ่กว่า 841 micron), เบอร์ 2 (20-40 mesh, 841-450 micron), เบอร์ 3 (40-60 mesh, 450-250 micron) และเบอร์ 4 (เล็กกว่า 60 mesh, เล็กกว่า 250 micron)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



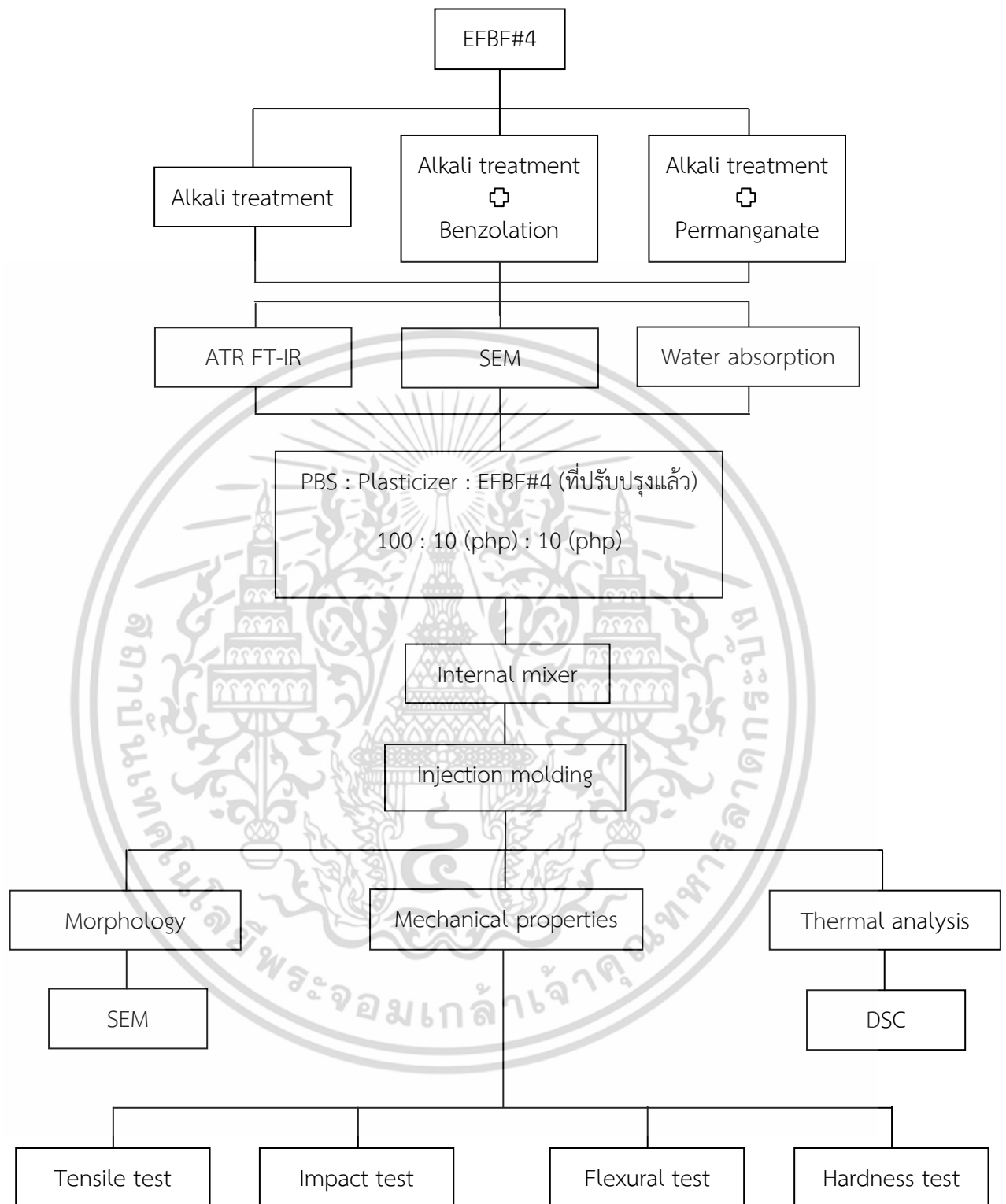
รูปที่ 3.2 แผนภาพการศึกษาปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปลาที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แผนภาพการศึกษาผลของปริมาณการใส่พลาสติกไซเซอร์ที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แผนภาพการศึกษาผลปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยวิธีทางเคมีที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

1. Polybutylene succinate (PBS) บริษัท มิตซูบิชิ เคมีคอล จำกัด เกรดฉีด AZ71TN MFR 22 g/10min สมบัติบางประการของ PBS ในงานวิจัยแสดงตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตที่ใช้ในการวิจัย [67]

Properties		Unit	Test method		Test condition
			ISO		
General properties	Melt flow rate	22	g/10min	1133	190°C
	Specific gravity	1.26	g/cm ³	1183	-
Mechanical properties	Flexural modulus	540	MPa	178	23°C
	Flexural strength	35	MPa	178	23°C
	Yield stress	34	MPa	527	23°C
	Stress at break	28	MPa	527	23°C
	Strain at break	290	%	527	23°C
	Izod impact strength	6.9	kJ/m ²	180	23°C
	Deflection temperature under load	84	-	75-2	0.45 MPa
	Rockwell hardness	97	Scale R	2039-2	23°C

หมายเหตุ : ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

2. เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า (EFBF) บริษัท สุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม จำกัด
3. สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) บริษัท Optimaltech จำกัด
 - Anox[®] 20 (Phenolic antioxidant)
 - Alkanox[®] 240 (Phosphite antioxidant)
4. สารช่วยกระบวนการ (Processing aids) บริษัท เบ็นไมเยอร์ เคมีคอล (ที) จำกัด
 - EnHance[®]
 - WF101[®]
5. พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer) บริษัท เบ็นไมเยอร์ เคมีคอล (ที) จำกัด
 - CITROFOL[®] B II (Acetyl tributyl citrate, C₂₀H₃₄O₈)
6. เบนโซอิล คลอไรด์ (Benzoyl chloride, C₇H₅ClO) บริษัท Fluka chemika จำกัด
7. โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Potassium permanganate, KMnO₄) บริษัท UNIVAR จำกัด เกรดวิเคราะห์
8. เอทานอล 95% (Ethanol, C₂H₅OH) บริษัท Carlo erba จำกัด เกรดการค้า
9. อะซิโตน (Acetone, C₃H₆O) บริษัท Carlo erba จำกัด เกรดการค้า
10. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) บริษัท Carlo erba จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. ไนโตรเจนเหลว
12. โพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) บริษัท Carlo erba จำกัด เกรตวิเคราะห

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องร่อนแยกขนาด (Sieve shaker) รุ่น 01409023 บริษัท Retsch จำกัด ตะแกรงมาตรฐานขนาด ใหญ่กว่า 20, 20-40, 40-60 และ เล็กกว่า 60 mesh
2. เครื่องร่อนวิเคราะห์ขนาดเส้นใย (Screen analysis instrument) รุ่น AS 200 บริษัท Retsch จำกัด ตะแกรงขนาด 20-40 mesh, 40-60 mesh, 60-80 mesh, 80-100 mesh และเล็กกว่า 100 mesh
3. เครื่องบดเส้นใยหยาบและละเอียด กลุ่มพัฒนาอุตสาหกรรมไม้ ส่วนวิจัยและพัฒนา ผลิตผลป่าไม้สำนักงานวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้
4. เครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer) รุ่น MX500-D75L90 บริษัท เจริญทัศน์ จำกัด
5. เครื่องบดเม็ดพลาสติก (Plastic grinder) รุ่น A600 บริษัท Bosco engineering จำกัด
6. เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding machine) รุ่น TTI-220/60 HITECH บริษัท Welltec industrial equipment จำกัด
7. เครื่องทดสอบเนกประสงค์ (Universal testing machine, UTM) รุ่น LR5K บริษัท LLOYD Instruments จำกัด
8. เครื่องวัดความทนทานต่อแรงกระแทกแบบไอซอด (Izod impact tester) รุ่น 258-PC บริษัท Yasuda Seiki Seisakusho จำกัด
9. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น JSM-5410LV บริษัท JEOL จำกัด
10. เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน (Differential Scanning Calorimeter, DSC) รุ่น DSC 7 บริษัท Perkin Elmer จำกัด
11. ตู้อบ รุ่น UM 400 บริษัท Memert จำกัด
12. ไมโครมิเตอร์และเวอร์เนีย
13. เครื่องวัดความแข็งกด (Hardness test) บริษัท TECLOOK จำกัด รุ่น GS-720N
14. เครื่องแอทเทนนูเอเทดโทที่ลรีเฟลกซ์ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (ATR FT-IR) รุ่น Nicolet 6700 บริษัท Thermo scientific จำกัด
15. เครื่องอัดเม็ด
16. เครื่องบดชิ้นงาน บริษัท Yasuda seiki seisakusho จำกัด
17. เครื่องชั่งตวงวัด 5 ตำแหน่ง รุ่น BP 210 D บริษัท Sartorius จำกัด
18. กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope, OM) รุ่น Optika B-130 บริษัท วิโรฒวิทยากันท์ จำกัด
19. กล้องโทรศัพท์มือถือ รุ่น samsung galaxy s6 edge plus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยกระบวนการเชิงกล (Mechanical pulp)

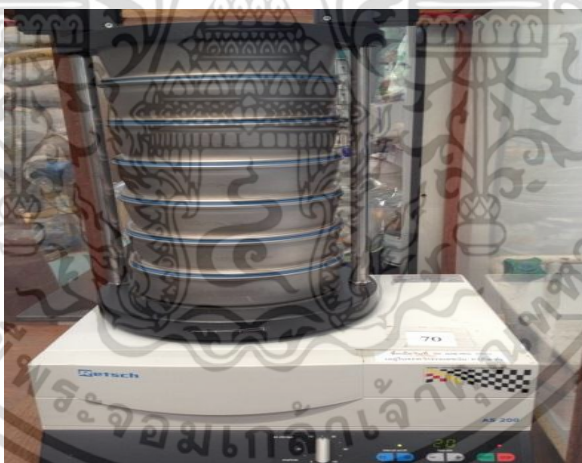
เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าเตรียมโดยการตากให้แห้ง ผ่าทะเลลายปาล์มเปล่าเพื่อนำไปบดด้วยเครื่องบดหยาบและละเอียด ทำการคัดแยกขนาดเส้นใยโดยใช้เครื่องร่อนแยกขนาดเพื่อควบคุมขนาดของเส้นใย ได้เส้นใยขนาดแตกต่างกัน 4 ขนาด คือ เบอร์ 1 (ใหญ่กว่า 20 mesh, ใหญ่กว่า 841 micron), เบอร์ 2 (20-400 mesh, 841-450 micron), เบอร์ 3 (40-60 mesh, 450-250 micron) และเบอร์ 4 (เล็กกว่า 60 mesh, เล็กกว่า 250 micron)

3.4.2 วิเคราะห์ขนาดและการกระจายตัวของเส้นใย

ชั่งเส้นใยปาล์ม 100 กรัม เบอร์ 4 มาร่อนผ่านเครื่องร่อนวิเคราะห์ขนาดเส้นใยตะแกรง โดยใช้ตะแกรงขนาด 20 mesh, ขนาด 40 mesh, ขนาด 60 mesh, ขนาด 80 mesh และขนาด 100 mesh เวลาในการร่อนครั้งละ 20 นาที ทำซ้ำตัวอย่างละ 3 ครั้ง ที่ความถี่ 60 เฮิร์ตซ์ หาปริมาณน้ำหนักโดยเฉลี่ย (%) ของแต่ละขนาด

นำเส้นใยที่ได้ในแต่ละขนาด สุ่มตัวอย่างละ 100 ชิ้นไปส่องหาความกว้าง ความยาว ความหนาเฉลี่ย ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope, OM) คำนวณหาค่าสัดส่วนความเพรียว (L/D Ratio) ในแต่ละขนาด

ถ่ายรูปการกระจายตัวของเส้นใยแต่ละชนิดด้วยกล้องดิจิทัล โดยโรยเส้นใยบนกระดาษกราฟ โดย 1 ช่องเล็กของกระดาษกราฟ เท่ากับ 1 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.5 เครื่องร่อนวิเคราะห์ขนาดเส้นใย (Screen analysis instrument)

3.4.3 การปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยกระบวนการทางเคมี

3.4.3.1 การปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

นำเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าเบอร์ 4 (EFBF#4) แช่ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 4-6 ชั่วโมง นำไปอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่อบจนแห้งแล้วแช่ลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5% w/v ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง นำเส้นใยมาล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อกำจัดโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ตกค้างบนเส้นใย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ล้างด้วยน้ำกลั่นจนกว่าค่าพีเอชของน้ำกลั่น เท่ากับ 7 ปล่อยให้เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าแห้งที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 วัน และอบให้แห้งโดยใช้อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนที่จะนำเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าไปขึ้นรูปต้องทำการอบอีกครั้งเพื่อไล่ความชื้น [51-52] โดยสามารถสรุปขั้นตอนได้ตามรูปที่ 3.6

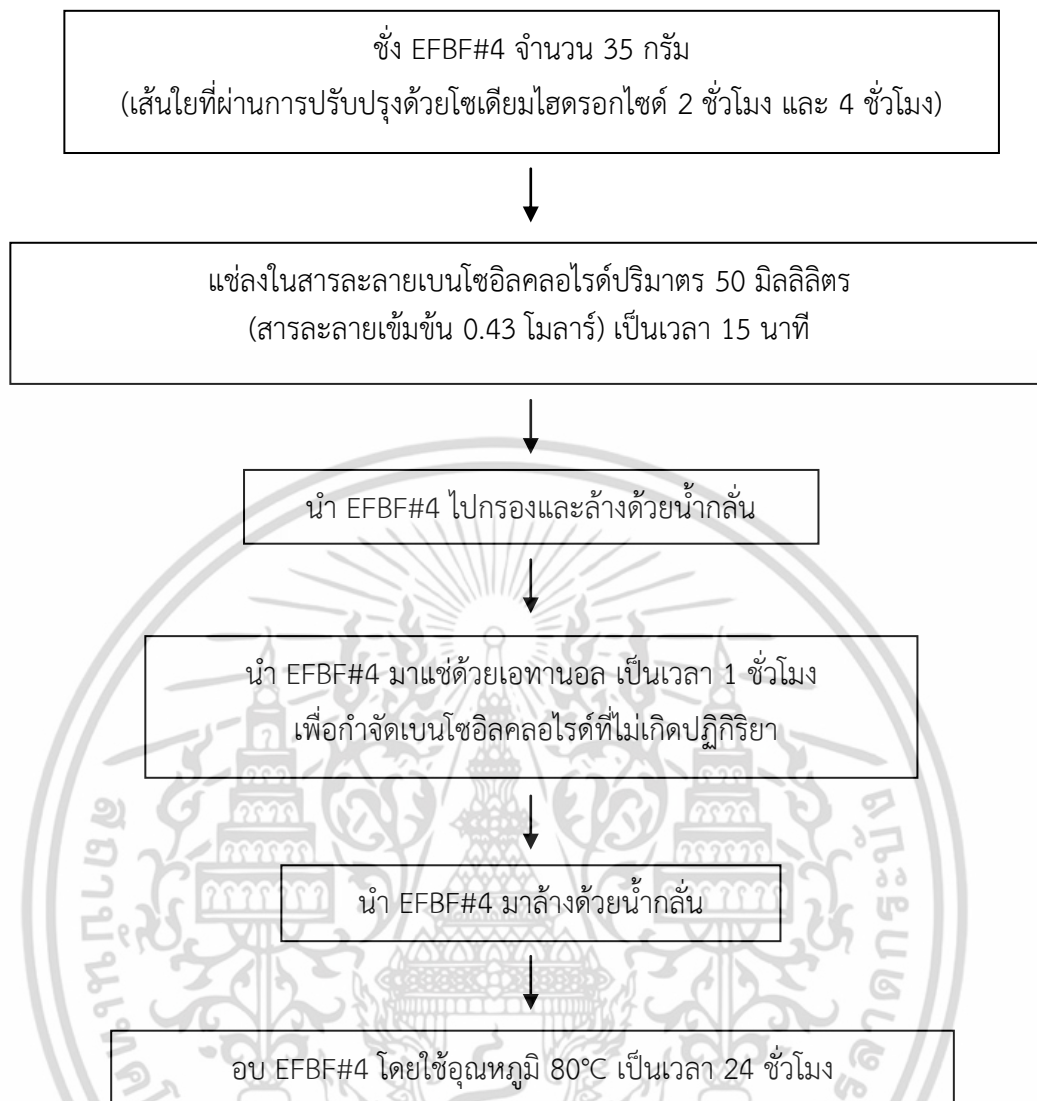


รูปที่ 3.6 แผนภาพการเตรียมพื้นผิวเส้นใยเพื่อทำการปรับปรุงโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์

3.4.3.2 การปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยวิธีเบนโซเลชัน

นำเส้นใยทะเลลายปาล์มเบอร์ 4 ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2 และ 4 ชั่วโมง มาชั่งจำนวน 35 กรัม แช่ลงในสารละลายเบนโซิลคลอไรด์ปริมาณ 50 มิลลิลิตร (สารละลายเข้มข้น 0.43 โมล) เป็นเวลา 15 นาที นำไปกรองและล้างด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าแช่ด้วยเอทานอล เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อกำจัดเบนโซิลคลอไรด์ที่ไม่เกิดปฏิกิริยา นำเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่ามาล้างด้วยน้ำกลั่น อบโดยใช้อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนเส้นใยแห้ง ก่อนที่จะนำเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าไปขึ้นรูปต้องทำการอบอีกครั้งเพื่อไล่ความชื้น [56] โดยสามารถสรุปขั้นตอนได้ตามรูปที่ 3.7

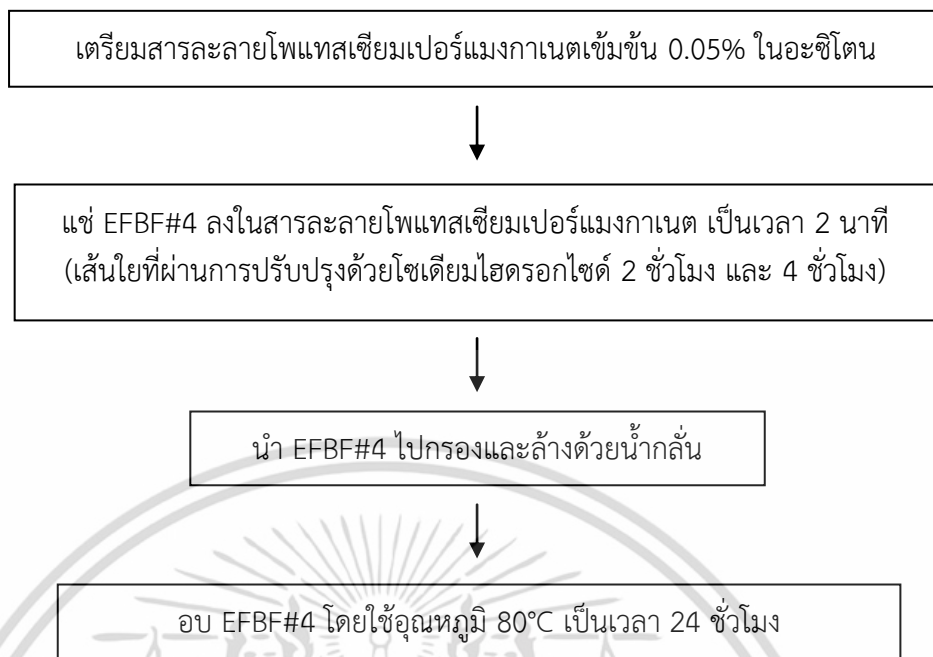
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แผนภาพการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยวิธีเบสโซลชัน

3.4.3.3 การปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยวิธีเปอร์แมงกาเนต

เตรียมสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเข้มข้น 0.05% w/v ในอะซิโตน นำเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าเบอร์ 4 ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไฮดรอกไซด์ 2 และ 4 ชั่วโมง ลงไปแช่ในสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต เป็นเวลา 2 นาที นำไปกรองและล้างด้วยน้ำกลั่น จากนั้นอบเส้นใยโดยใช้อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนเส้นใยแห้ง ก่อนนำเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าไปขึ้นรูปต้องทำการอบอีกครั้งเพื่อไล่ความชื้น [66] โดยสามารถสรุปขั้นตอนได้ตามรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แผนภาพการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยวิธีเปอร์แมงกาเนต

3.4.4 ขั้นตอนการผสม

- ขนาดของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิตที่ได้ผสมสูตรระหว่างเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการบดและคัดแยกขนาดเส้นใยโดยใช้เครื่องร่อนแยกขนาดเพื่อควบคุมขนาดของเส้นใย ได้เส้นใยขนาดแตกต่างกัน 4 ขนาด คือ เบอร์ 1 (ใหญ่กว่า 20 mesh, ใหญ่กว่า 841 micron), เบอร์ 2 (20-40 mesh, 841-450 micron), เบอร์ 3 (40-60 mesh, 450-250 micron) และ เบอร์ 4 (เล็กกว่า 60 mesh, เล็กกว่า 250 micron) และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโดยควบคุมอัตราส่วนของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า 20 php ผสมส่วนผสมต่างๆ ตามตารางที่ 3.2 ด้วยเครื่องผสมระบบปิด โดยใช้อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 15 นาที ความเร็วสกรู 15 รอบต่อนาที นำของผสมที่ได้ไปบดด้วยเครื่องบดเม็ดพลาสติกแล้วนำไปฉีดขึ้นรูปโดยใช้สภาวะตามตารางที่ ง-1 ในภาคผนวก ง เพื่อทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมของสูตรต่างๆ

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (php)
PBS	100
เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า (EFBF)	10, 20, 30 และ 40
Processing aids – Enhance [®]	5
Processing aids – WF 101	1.5
Antioxidant Anox [®] 20	0.05
Antioxidant Alkanox [®] 240	0.05
Plasticizer – CITROFOL [®] B II	0 - 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปริมาณของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิตที่ได้
ผสมสูตรระหว่างเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าเบอร์ 4 และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโดยควบคุมอัตราส่วนตามตารางที่ 3.2 แต่ทำการปรับเปลี่ยนปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าโดยใช้อัตราส่วน 10, 20, 30 และ 40 php ผสมส่วนผสมต่างๆ ด้วยเครื่องผสมระบบปิด โดยใช้อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 15 นาที ความเร็วรอบสกรู 15 รอบต่อนาที นำของผสมที่ได้ไปบดด้วยเครื่องบดเม็ดพลาสติกแล้วนำไปฉีดขึ้นรูปโดยใช้สภาวะตามตารางที่ ง-1 ในภาคผนวก ง เพื่อทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้

- ผลของปริมาณพลาสติกไซเซออร์ที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิต

ผสมสูตรระหว่างเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าเบอร์ 4 และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโดยควบคุมอัตราส่วน PBS ต่อเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าปริมาณ 10 php ทำการใส่และปรับเปลี่ยนปริมาณพลาสติกไซเซออร์ที่ใช้ โดยใช้อัตราส่วน 5, 10, 15 และ 20 php ผสมส่วนผสมต่างๆ ดังตารางที่ 3.2 ด้วยเครื่องผสมระบบปิด โดยใช้อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 15 นาที ความเร็วรอบสกรู 15 รอบต่อนาที นำของผสมที่ได้ไปบดด้วยเครื่องบดเม็ดพลาสติกแล้วนำไปฉีดขึ้นรูปโดยใช้สภาวะตามตารางที่ ง-1 ในภาคผนวก ง เพื่อทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้

- ศึกษาวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่มีผลต่อสมบัติของวัสดุคอมโพสิต

ผสมสูตรระหว่างเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าเบอร์ 4 และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตโดยควบคุมอัตราส่วน PBS ต่อเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวแล้วปริมาณ 10 php และใช้พลาสติกไซเซออร์ปริมาณ 10 php ผสมส่วนผสมต่างๆ ดังตารางที่ 3.2 ด้วยเครื่องผสมระบบปิด โดยใช้อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 15 นาที ความเร็วรอบสกรู 15 รอบต่อนาที นำของผสมที่ได้ไปบดด้วยเครื่องบดเม็ดพลาสติกแล้วนำไปฉีดขึ้นรูปโดยใช้สภาวะตามตารางที่ ง-1 ในภาคผนวก ง เพื่อทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้

3.4.5 การทดสอบสมบัติเชิงกล

ทำการทดสอบสมบัติต่างๆ ตามมาตรฐาน ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้ [69-72]

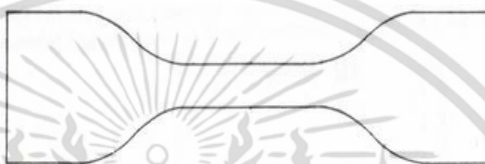
Properties	Test method	Unit
ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)	ASTM D 638	MPa
มอดูลัสของยัง (Young's modulus, E)	ASTM D 638	MPa
การยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at Break)	ASTM D 638	%
ความแข็งกด (Hardness)	ASTM D 2240	Shore D
ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength)	ASTM D 256	kJ/m^2
ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength)	ASTM D 790	MPa
มอดูลัสโค้งงอ (Flexural modulus)	ASTM D 790	MPa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความแข็งแรงดึง มอดูลัสของยัง และการยืดตัว ณ จุดขาด [68]

ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine, UTM) โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 638 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบจะมีลักษณะเป็นรูปดัมเบลล์จำนวน 10 ชิ้นงาน ต่อ 1 สูตร โดยทำการควบคุมสถานะของชิ้นงานที่จะใช้ทดสอบที่อุณหภูมิห้องทดสอบตามสภาวะดังนี้

Test speed	:	10 mm/min
Gauge length	:	35 mm
Load cell	:	5 kN



รูปที่ 3.9 ลักษณะชิ้นงานดัมเบลล์ที่นำมาทดสอบ [69]

ความแข็งแรงดึง มอดูลัสของยัง และการยืดตัว ณ จุดขาด สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)} = F/A \quad (3.1)$$

$$\text{มอดูลัสของยัง (Young's modulus, E)} = (F/A) / [(L-L_0)/L_0] \quad (3.2)$$

$$\text{การยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at Break)} = [(L-L_0)/L_0] * 100 \quad (3.3)$$

เมื่อ F คือ แรงสูงสุดที่ใช้ดึงยึดชิ้นงานตัวอย่าง (N)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานตัวอย่างเริ่มต้น (mm^2)

L คือ ระยะห่างระหว่างจุดสองจุดหลังทำการดึงยึดชิ้นงานตัวอย่างก่อนชิ้นงานขาด (mm)

L_0 คือ ระยะที่ชิ้นงานตัวอย่างแคบที่สุดและมีพื้นที่หน้าตัดขนานกัน (mm)

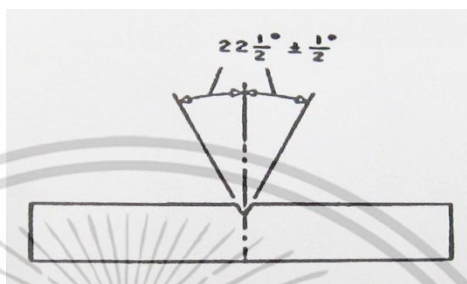
- ความแข็งกด (Hardness) [69]

วัดความแข็งกดของพอลิเมอร์คอมโพสิตตามมาตรฐาน ASTM D 2240 ด้วย Durometer hardness ชนิด Shore D โดยตัวอย่างที่ใช้ทดสอบจะต้องมีความหนาอย่างน้อย $\frac{1}{4}$ นิ้ว หรือ 0.25 นิ้ว ทำการทดสอบหาค่าความแข็งกดตัวอย่างละ 10 จุด อ่านค่าหลังจากการกด 5 วินาที สเกลสำหรับอ่านค่าความแข็งกด อยู่ในช่วง 0-100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความแข็งแรงกระแทก [70]

การหาค่าความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) ตามมาตรฐาน ASTM D 256 [61] โดยชิ้นงานได้จากเครื่องฉีดขึ้นรูป ในการทดสอบจะใช้มาตรฐานแบบไอซอด (Izod type) ชิ้นงานตัวอย่างขนาดประมาณ $12 \times 125 \times 3$ mm จำนวน 10 ชิ้น ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3.10 โดยต้องทำการบากชิ้นงานให้มีความลึก 2.54 mm



รูปที่ 3.10 ลักษณะชิ้นงานตัวอย่างที่นำมาทดสอบหาค่าความแข็งแรงกระแทก [71]

ค่าความแข็งแรงกระแทกสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ความแข็งแรงกระแทก (IS)} = W/A \quad (3.4)$$

เมื่อ IS คือ ค่าความแข็งแรงกระแทก (kJ/m^2)

W คือ ค่าพลังงานกระแทก (kJ)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างที่แตกหัก (m^2)

- ความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ [71]

การหาค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และมอดุลัสโค้งงอ (Flexural modulus) ตามมาตรฐาน ASTM D 790 โดยตัดชิ้นงานให้มีขนาด $3.2 \text{ mm} \times 12.7 \text{ mm} \times 125 \text{ mm}$ จำนวน 10 ชิ้นลักษณะการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ แสดงดังรูปที่ 3.11 สภาวะในการทดสอบเป็นดังนี้

โหลดเซลล์ (Load cell)	5	kN
ความเร็วในการกด (Compression speed)	10	mm/min
ระยะห่างระหว่างแท่นรองรับ	40	mm

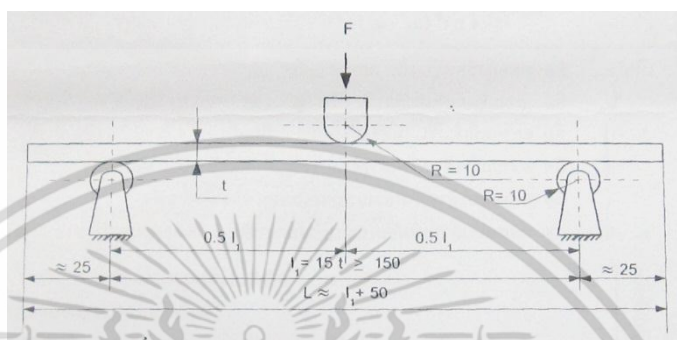
สูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอมีดังนี้

$$\text{ความแข็งแรงโค้งงอ, } \sigma_f = \frac{1.5 FL}{Bh^2} \quad (3.5)$$

$$\text{มอดุลัสโค้งงอ, } E_b = \frac{L^3}{4 Bh^3} \times \frac{\Delta F}{\Delta d} \quad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	F	คือ	แรงกดสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานตัวอย่างโค้งงอ (N)
	L	คือ	Span length
	B	คือ	ความกว้างของชิ้นงานตัวอย่าง (mm)
	H	คือ	ความหนาของชิ้นงานตัวอย่าง (mm)
	ΔF	คือ	ผลต่างของแรงกดในช่วงความชันเป็นเส้นตรง (N)
	Δd	คือ	ระยะกดโค้งงอในช่วงความชันเป็นเส้นตรง (mm)



รูปที่ 3.11 ลักษณะการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ [71]

3.4.6 สัณฐานวิทยา (Morphology)

การศึกษาสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด SEM เป็นการส่องดูพื้นผิวของวัสดุอย่างละเอียดเพื่อศึกษาการยึดติดระหว่างเส้นใยไม้กับพอลิเมอร์ การกระจายตัวของเส้นใยพอลิเมอร์ในพลาสติก การเตรียมตัวอย่างทำได้โดยนำตัวอย่างมาแช่ในไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิต่ำ 20 นาที และทำการหักทันทีที่อุณหภูมิต่ำ จากนั้นนำตัวอย่างมาเคลือบทองและนำเข้าเครื่อง SEM เพื่อศึกษาพื้นผิวที่แตกหักของชิ้นงาน

3.4.7 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน

วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันที่อยู่ในเส้นใยทะเลลายพอลิเมอร์เปล่าโดยใช้เทคนิคเอทเทนนูเอเทคโทพัลรีเฟลกชันฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี [72] ทำการเตรียมตัวอย่างโดยนำเส้นใยทะเลลายพอลิเมอร์เปล่าไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำเส้นใยมา 2-3 มิลลิกรัม มาบดรวมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ที่อบแห้งแล้วจำนวน 0.2-0.5 กรัม ให้เข้ากันใส่ลงในแม่พิมพ์แล้วนำเข้าเครื่องอัดเม็ดภายใต้ความดัน 10^{-4} kg/cm² เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำเม็ดออกจากแม่พิมพ์ แล้วนำไปวิเคราะห์ที่ได้สเปกตรัมของเส้นใยทะเลลายพอลิเมอร์เปล่า

3.4.8 สมบัติทางความร้อน

ทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) เป็นเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการวัดอัตราการไหลของความร้อน (Heat flow) ซึ่งน้ำหนักสาร 5-10 มิลลิกรัม โดยหาอุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) และการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปี (Enthalpy, ΔH) ซึ่งใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ = 10°C/min ทำการวิเคราะห์ในช่วงอุณหภูมิ 50–200°C ในบรรยากาศไนโตรเจน (N_2) สามารถคำนวณค่าองศาความเป็นผลึก (Degree of crystallinity, X_c) ได้ดังสมการที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$X_c (\%) = \frac{\Delta H_f / \% \text{ ของ PBS ในคอมโพสิต}}{\Delta H_f^0} \times 100 \quad (3.7)$$

เมื่อ ΔH_f คือ เอนทาลปี (Enthalpy) ของการหลอมเหลวของพอลิเมอร์คอมโพสิต

ΔH_f^0 คือ ค่าเอนทาลปีของการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึก 100 %

พอลิเมอร์พอลิวิวิตลินซึกซิเนต มีค่า $\Delta H_f^0 = 210 \text{ J/g}$ [73]

3.4.9 การดูดซับน้ำของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล้า (Water absorption)

การดูดซับน้ำของเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงเส้นใย ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีอัลคาไลน์-ทรีตเมนต์ วิธีเบนโซเลชัน และวิธีเปอร์แมงกาเนต สามารถทดสอบได้โดยการนำเส้นใยไปแช่ในน้ำกลั่น โดยสุ่มหยิบเส้นใยขึ้นมาตัวอย่างละ 20 เส้น ทำการชั่งน้ำหนักก่อนแช่และหลังจากแช่ทุกๆ 30 นาที ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 5 ตำแหน่ง จนน้ำหนักไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงแสดงว่าเส้นใยดูดน้ำจนอิ่มตัวแล้ว โดยสามารถคำนวณค่าการดูดซับน้ำได้จากสมการที่ 3.8 [74]

$$\text{ค่าการดูดซับน้ำ} = \frac{M_a - M_d}{M_a} \times 100 \quad (3.8)$$

เมื่อ M_a คือ น้ำหนักของเส้นใยหลังจากแช่ในน้ำกลั่น

M_d คือ น้ำหนักของเส้นใยก่อนแช่ในน้ำกลั่น

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) กับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า (Empty Fruit Bunch Fiber, EFBF) โดยใช้เทคนิคการฉีดขึ้นรูป (Injection molding) เพื่อศึกษาปัจจัยบางประการที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้ เช่น ขนาดของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า (ใหญ่กว่า 20, 20-40, 40-60 และเล็กกว่า 60 mesh) ปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า (0-40 php) ผลของปริมาณพลาสติกไซเซออร์ Acetyl tributyl citrate (0-20 php) การปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยกระบวนการทางเคมี วิธีอัลคาไลน์ทรีตเมนต์ (Alkali treatment) วิธีเบนโซเลชัน (Benzolation) และวิธีเปอร์แมงกาเนต (Permanganate) โดยตัวอย่างสัญลักษณ์ของพอลิเมอร์คอมโพสิตสูตรต่างๆ และเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.1 ส่วนสัญลักษณ์ตัวอื่นๆ แสดงในตารางที่ จ-1 และตารางที่ จ-2 ในภาคผนวก จ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างสัญลักษณ์ของพอลิเมอร์คอมโพสิตสูตรต่างๆ และเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ

สัญลักษณ์	คำอธิบายสัญลักษณ์
PBS-F#1-20	พอลิเมอร์คอมโพสิตพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต กับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า เบอร์ 1 ปริมาณ 20 php
PBS-F#4-10-P5	พอลิเมอร์คอมโพสิตพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต กับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า เบอร์ 4 ปริมาณ 10 php ใส่พลาสติกไซเซออร์ 5 php
PBS-F#4-10-P10-A2	พอลิเมอร์คอมโพสิตพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต กับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า เบอร์ 4 ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีอัลคาไลน์ทรีตเมนต์ โดยใช้เวลาในการแช่เส้นใยในโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปริมาณ 10 php ใส่พลาสติกไซเซออร์ 10 php
PBS-F#4-10-P10-A2B	พอลิเมอร์คอมโพสิตพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต กับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า เบอร์ 4 ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีเบนโซเลชัน โดยใช้เวลาในการแช่เส้นใยในโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปริมาณ 10 php ใส่พลาสติกไซเซออร์ 10 php
EFBF-A2hr	เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีอัลคาไลน์ทรีตเมนต์ โดยใช้เวลาในการแช่เส้นใยในโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
EFBF-A2hrK	เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีเปอร์แมงกาเนต โดยใช้เวลาในการแช่เส้นใยในโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ขนาดของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิต

เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า (EFBF) เป็นเส้นใยธรรมชาติที่เหลือจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม เป็นสารประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group, -OH) อยู่ในโครงสร้างส่งผลให้มีส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) [14] สมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยอื่นๆ เช่น การยึดเกาะระหว่างคอมโพสิตกับสารเสริมแรง ปริมาณสารเสริมแรง กระบวนการผลิต การจัดเรียงตัวและการกระจายตัวของสารเสริมแรง รอยตำหนิ (Flaws) หรือ ช่องว่าง (Voids) ภายในวัสดุคอมโพสิต อีกทั้งขนาดและรูปร่างของสารเสริมแรงมีผลต่อสมบัติของวัสดุคอมโพสิต

เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการบดและคัดแยกขนาดเส้นใยโดยใช้เครื่องร่อนแยกขนาด เพื่อควบคุมขนาดของเส้นใย ได้เส้นใยขนาดแตกต่างกัน 4 ขนาด คือ เบอร์ 1 (ใหญ่กว่า 20 mesh, ใหญ่กว่า 841 micron), เบอร์ 2 (20-40 mesh, 841-450 micron), เบอร์ 3 (40-60 mesh, 450-250 micron) และ เบอร์ 4 (เล็กกว่า 60 mesh, เล็กกว่า 250 micron) จากนั้นนำเส้นใยขนาดต่างๆ มาวิเคราะห์หาปริมาณโดยน้ำหนักเฉลี่ย จากตารางที่ 4.2 ที่แสดงการวิเคราะห์ปริมาณโดยน้ำหนักเฉลี่ยของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าขนาดต่างๆ พบว่าเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าเบอร์ 1 ที่มีขนาดใหญ่ที่สุด มีปริมาณขนาดเส้นใยอยู่ที่ขนาดใหญ่กว่า 20 mesh มากที่สุดที่ 44.27% แต่ยังคงปรากฏเส้นใยขนาดอื่นๆ ที่มีขนาดเล็กกว่าผสมอยู่ค่อนข้างเยอะ ส่วนเส้นใยเบอร์อื่นๆ ปรากฏผลเช่นเดียวกัน เนื่องจากขณะที่ทำการร่อนคัดแยกขนาดเส้นใยที่มีขนาดใหญ่อาจผ่านตะแกรงร่อนลงไปในแนวตั้ง หรือเส้นใยขนาดเล็กอาจติดค้างอยู่ที่ตะแกรงขนาดใหญ่กว่า ไม่ตกลงไปอยู่ที่ตะแกรงขนาดที่ถูกต้อง ดังนั้นแสดงว่าตะแกรงที่ใช้ในการร่อนคัดแยกเส้นใยหลังผ่านการบดแล้ว ไม่สามารถคัดแยกขนาดได้ตามที่ต้องการจริงๆ ส่งผลให้เมื่อนำเส้นใยที่ผ่านการร่อนแยกขนาดแล้วนั้นไปทำการทดลองต่อในการศึกษาผลของขนาดเส้นใยที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิต อาจทำให้ได้ผลการทดลองที่ได้นั้นไม่แม่นยำเท่าที่ควร

จากนั้นนำเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่ามาทำการวิเคราะห์ขนาดของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า โดยทำการเลือกเส้นใยเบอร์ 4 ไปวิเคราะห์ เพราะจากตารางที่ 4.2 พบว่าเส้นใยเบอร์ 4 มีการกระจายตัวของขนาดเส้นใยที่มีขนาดเล็กกว่า 100 mesh อยู่มากกว่า 40% ดังนั้นจึงหวังว่าเส้นใยที่ขนาดเล็กและมีพื้นที่ผิวมากจะมีความสามารถในการเสริมแรงในคอมโพสิต จากตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ขนาดเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าเบอร์ 4 พบว่าเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่นำมาทดสอบที่มีขนาดแตกต่างกันนั้นมีค่าสัดส่วนความเพริยวที่ต่างกัน เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าขนาดใหญ่กว่า 20 mesh มีค่าสัดส่วนความเพริยว 17.84 เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าขนาด 20-40 mesh จะมีค่าสัดส่วนความเพริยว 24.90 เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าขนาด 40-60 mesh มีค่าสัดส่วนความเพริยว 30.10 เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าขนาด 60-80 mesh มีค่าสัดส่วนความเพริยว 40.90 เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าขนาด 80-100 mesh มีค่าสัดส่วนความเพริยว 43.72 เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าขนาดเล็กกว่า 100 mesh มีค่าสัดส่วนความเพริยว 46.21 และนำเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าไปทำการถ่ายภาพเพื่อดูการกระจายตัวของขนาดเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า สามารถดูได้จากรูปที่ 4.1 ภาพถ่ายแสดงการกระจายตัวของขนาดเส้นใยปาล์มทะเลลายปาล์มเปล่าขนาดเล็กกว่า 60 mesh พบว่าเส้นใยมีลักษณะเป็นเส้นเรียวยาว แต่ยังมีลักษณะเส้นใยที่เป็นอนุภาคแบบผงซึ่งมีขนาดที่เล็กกระจายตัวอยู่ค่อนข้างเยอะ โดยในรูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างรูปถ่าย OM แสดงขนาดและลักษณะเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าขนาดเล็กกว่า 60 mesh (เล็กกว่า 250 micron) ที่มีลักษณะเสี้ยวสั้นและเรียวยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

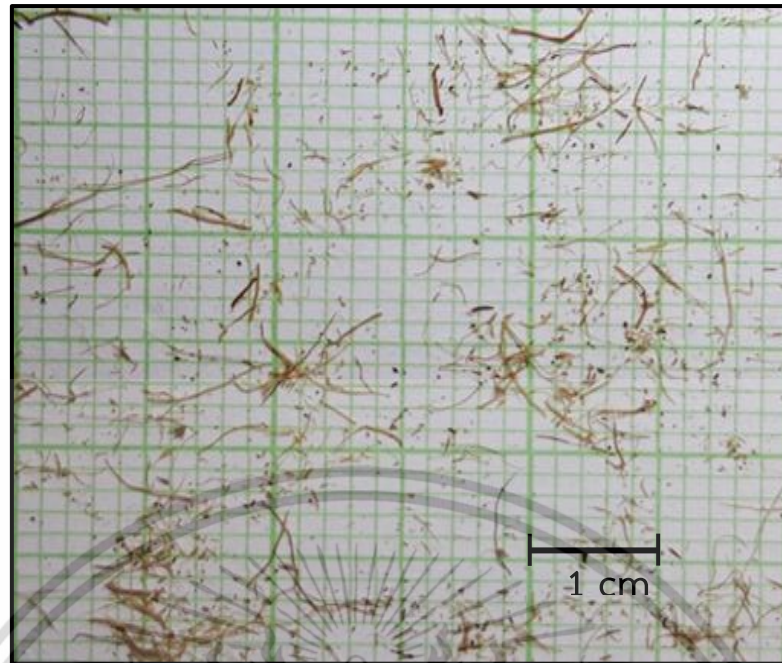
ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ปริมาณโดยน้ำหนักเฉลี่ยของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าขนาดต่างๆ

ตะแกรง (mesh)	ขนาดรูตะแกรง เฉลี่ย (mm)	ปริมาณโดยน้ำหนักเฉลี่ย (%)			
		EFBF#1	EFBF#2	EFBF#3	EFBF#4
20	0.850	44.72	8.37	6.01	2.21
-20+40	0.638	34.33	56.75	23.89	2.05
-40+60	0.337	13.62	26.62	52.86	22.30
-60+80	0.215	3.70	4.94	12.18	21.75
-80+100	0.165	1.46	1.65	2.74	10.18
-100	0.135	2.16	1.68	2.32	41.50

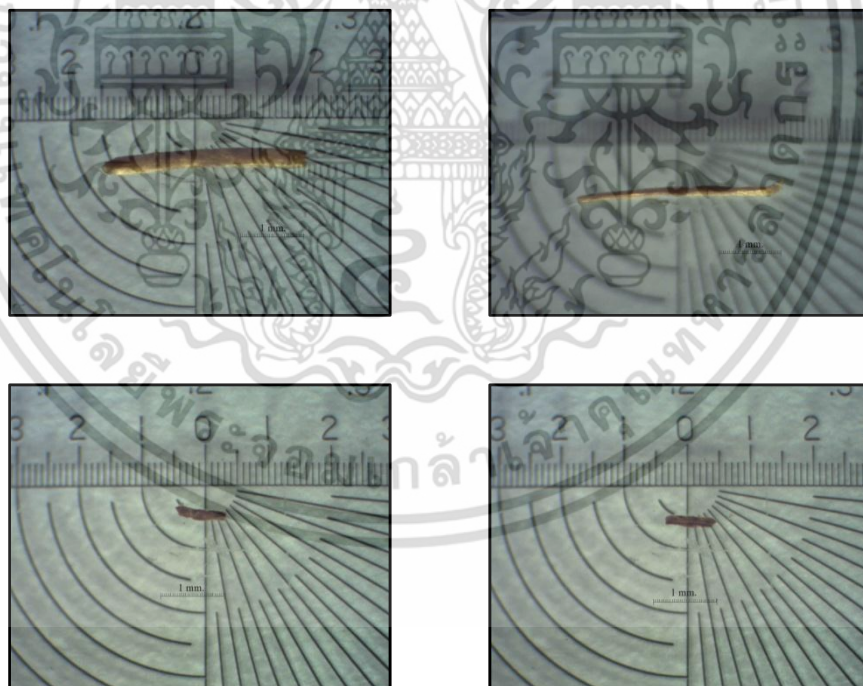
ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ขนาดเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าเบอร์ 4 (เล็กกว่า 60 mesh, เล็กกว่า 250 micron)

ตัวอย่าง	ตะแกรง (mesh)	ขนาดรู ตะแกรง เฉลี่ย (mm)	ขนาด			สัดส่วนความ เพรียาว	ปริมาณโดย น้ำหนัก (%) เฉลี่ย
			กว้าง (mm)	ยาว (mm)	หนา (mm)		
EFBF #4	20	0.850	0.87	9.07	0.51	17.84	2.21
	-20+40	0.638	0.48	8.61	0.35	24.90	2.05
	-40+60	0.337	0.30	6.70	0.22	30.10	22.30
	-60+80	0.215	0.20	6.19	0.15	40.90	21.75
	-80+100	0.165	0.14	5.29	0.12	43.72	10.18
	-100	0.135	0.11	3.95	0.09	46.21	41.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายแสดงการกระจายตัวของขนาดเส้นใยปาล์มทะเลลายปาล์มเปล่าขนาดเล็กกว่า 60 mesh (เล็กกว่า 250 micron)

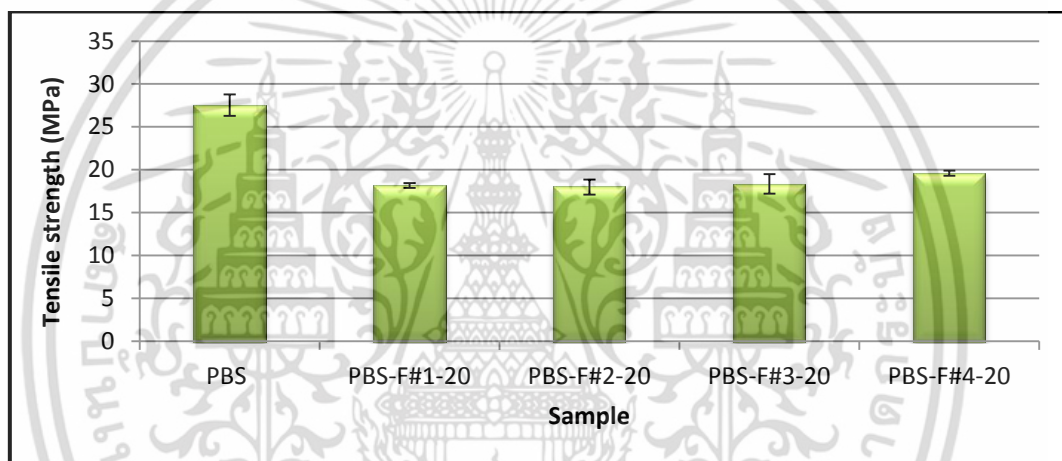


รูปที่ 4.2 ตัวอย่างรูปถ่าย OM แสดงขนาดและลักษณะเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าขนาดเล็กกว่า 60 mesh (เล็กกว่า 250 micron)

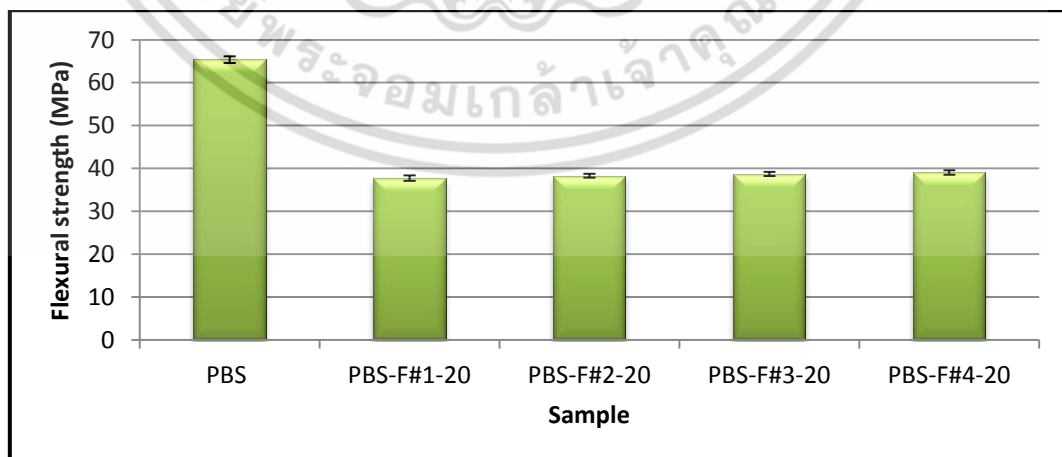
จากนั้นนำเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่ามาขึ้นรูปเป็นพอลิเมอร์คอมโพสิต เพื่อศึกษาผลของขนาดของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต สมบัติทางความร้อนไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และการกระจายตัวของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าในคอมโพสิตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยควบคุมอัตราส่วนของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า 20 php

จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 แสดงผลของขนาดเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงดึง และค่าความแข็งแรงโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิตโดยควบคุมอัตราส่วนของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า 20 php ตามลำดับนั้น พบว่าค่าความแข็งแรงดึงและค่าความแข็งแรงโค้งงอมีค่าที่ลดลงเมื่อนำเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าใส่ลงไปเ็นพอลิเมอร์คอมโพสิต แต่ค่าความแข็งแรงโค้งงอมีการลดลงที่มากกว่าเพราะการทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยวิธีต่างกันั้นสภาพของแรงที่เกิดขึ้นทั้งสองประเภทนี้แตกต่างกัน ในการทดสอบแรงดึงนั้นขึ้นทดสอบได้รับแรงที่เท่ากันตลอดพื้นที่หน้าตัด (Uniform tension) แต่ในการทดสอบแรงโค้งงอ ขึ้นทดสอบได้รับแรงที่ไม่สม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัด เนื่องจากในสถานะที่ขึ้นงานถูกโค้งงอนั้น ชิ้นงานทดสอบได้รับแรงสูงสุดบนผิวๆ หนึ่ง และได้รับแรงอัดบนผิวตรงกันข้าม ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงโค้งงอมีค่าที่ลดลงไม่เท่ากับค่าความแข็งแรงดึง



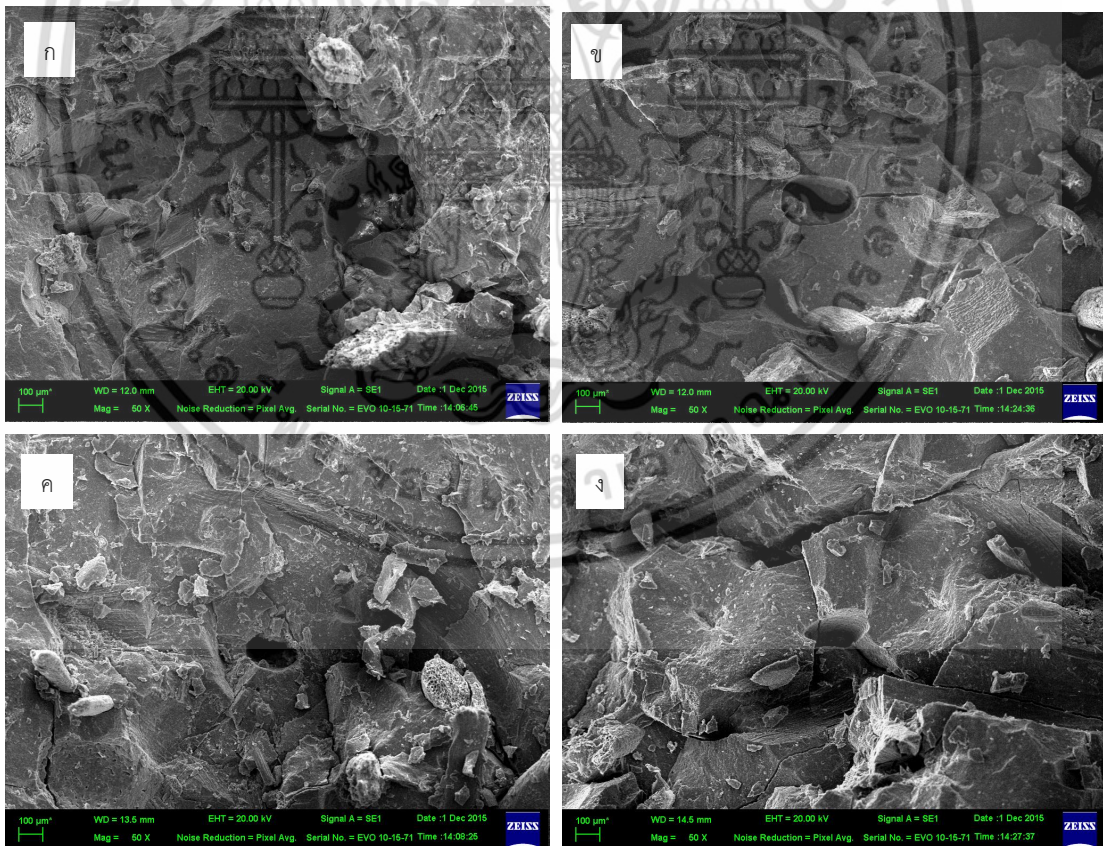
รูปที่ 4.3 ผลของขนาดเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิตโดยควบคุมอัตราส่วนของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า 20 php



รูปที่ 4.4 ผลของขนาดเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิตโดยควบคุมอัตราส่วนของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า 20 php

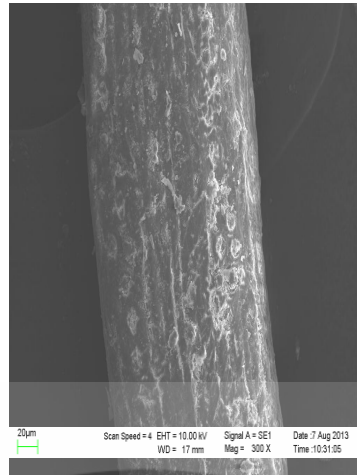
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกิจกรรมเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่ค่าความแข็งแรงดึงและค่าความแข็งแรงโค้งงอมีค่าที่ลดลง เมื่อนำเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าไปใส่ลงในพอลิเมอร์คอมโพสิต เส้นใยไม่ทำหน้าที่เสริมแรงในวัสดุ สาเหตุเนื่องจากภายในพอลิเมอร์คอมโพสิตมีรอยตำหนิในชิ้นงาน ที่เป็นเช่นนั้นอาจเนื่องจากเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าไม่สามารถยึดเกาะกับพอลิเมอร์พอลิวิทีลีนซึกซีเนตซึ่งทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์ (Matrix phase) ได้ดี ซึ่งสามารถเห็นได้จากรูปที่ 4.5 ภาพ SEM ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิวิทีลีนซึกซีเนตกับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าขนาดต่างๆ พบว่าในทุกขนาดของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ใส่ลงไปในพอลิเมอร์คอมโพสิตปรากฏลักษณะของช่องว่างเป็นรูที่เกิดจากการที่เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าหลุดออกจากวัฏภาคของเมทริกซ์ อันเนื่องมาจากหลายปัจจัย เช่น แรงยึดติดระหว่างวัฏภาคเส้นใยกับวัฏภาคของเมทริกซ์ที่ไม่ดี เพราะเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่นำมาใช้ในการเตรียมคอมโพสิตมีความสกปรกจากพวกแว็กซ์ และพวกน้ำมันที่เคลือบอยู่ที่ผิวของเส้นใย ซึ่งเห็นได้จากรูปที่ 4.6 แสดงสัณฐานวิทยาของเส้นใยก่อนการปรับปรุงพื้นผิวด้วยเทคนิค SEM พบว่าพื้นผิวของเส้นใยที่ยังไม่ได้ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยมีความสกปรกจากพวกแว็กซ์ และพวกน้ำมันที่เคลือบอยู่ที่ผิวของเส้นใย ส่งผลให้การที่เมทริกซ์เปียกบนพื้นผิวเส้นใยลดลงและการแทรกตัวของพอลิวิทีลีนซึกซีเนตบนพื้นผิวขรุขระของเส้นใยเกิดการยึดเกาะเชิงกล (Mechanical interlocking) อาจเกิดได้ยาก ดังนั้นเมื่อได้รับแรงที่มากระทำจากภายนอกจึงเป็นสาเหตุให้สมบัติเชิงกลของคอมโพสิตที่ได้มีค่าความแข็งแรงดึงที่ลดลงเมื่อเทียบกับคอมโพสิตตัวที่ไม่ได้ใส่เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า ส่วนผลของขนาดเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ต่างกันนั้นไม่ได้ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงดึงและค่าความแข็งแรงโค้งงอซึ่งพบว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกัน



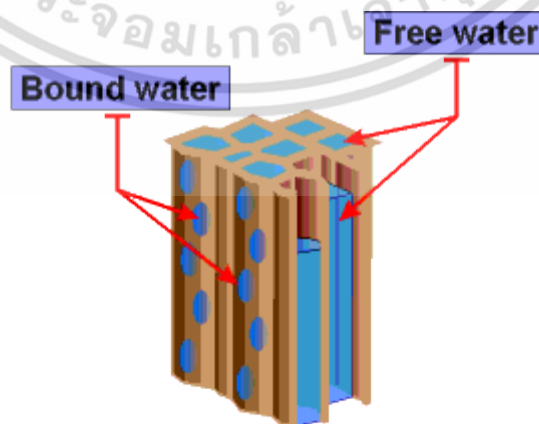
รูปที่ 4.5 ภาพ SEM ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิวิทีลีนซึกซีเนตกับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า 20 php ขนาดต่างๆ กำลังขยาย 50 เท่า (ก) เบอร์ 1 (ข) เบอร์ 2 (ค) เบอร์ 3 และ (ง) เบอร์ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



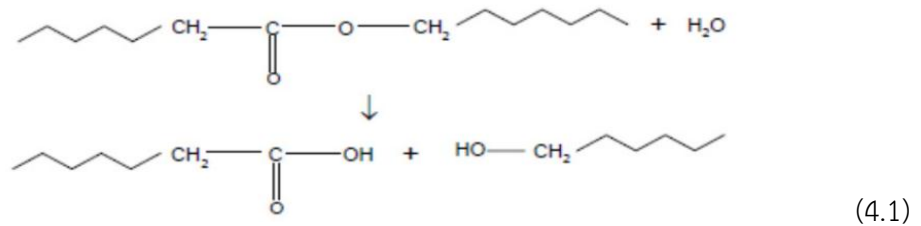
รูปที่ 4.6 ภาพ SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ยังไม่ได้ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่กำลังขยาย 300 เท่า

อีกสาเหตุที่เส้นใยไม่เกิดการเสริมแรงในพอลิเมอร์คอมโพสิต อาจเกิดจากการมีน้ำที่อยู่ในเส้นใยที่ใส่ลงไปในพอลิเมอร์คอมโพสิต ซึ่งน้ำที่อยู่ในเส้นใยสามารถแบ่งได้ 2 แบบคือ น้ำอิสระ (Free water) และน้ำเกาะติด (Bound water) บริเวณที่พบน้ำทั้ง 2 แบบ แสดงในรูปที่ 4.7 โดยน้ำอิสระเป็นน้ำส่วนใหญ่ที่พบในเส้นใยซึ่งอยู่รอบๆ และในเซลล์ของเส้นใย สามารถทำให้น้ำชนิดนี้ออกได้โดยวิธีการง่าย คือ การระเหยน้ำออกด้วยความร้อน ส่วนน้ำเกาะติดเป็นน้ำที่เกาะยึดอยู่กับโครงสร้างของเส้นใย แยกออกจากเส้นใยได้ยากเกาะติดกับเส้นใยด้วยพันธะทางเคมีที่แข็งแรง ไม่สามารถระเหยด้วยความร้อนธรรมดา [75] การที่พอลิเมอร์คอมโพสิตมีค่าความแข็งแรงดึงและค่าความแข็งแรงโค้งงอที่ลดลงเมื่อใส่เส้นใยลงไปในคอมโพสิต อาจเกิดจากเส้นใยยังมีน้ำเกาะติดอยู่ในโครงสร้าง โดยน้ำเกาะติดที่มีอยู่ในโครงสร้างของเส้นใยอาจไปก่อให้เกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolytic degradation) ของหมู่เอสเทอร์ที่ภูมิภาคพอลิเมอร์พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต [76] เกิดการตัดสายโซ่โมเลกุลของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตเมื่อได้รับความร้อนและแรงเฉือนสูงในกระบวนการขึ้นรูปตามสมการที่ 4.1 [77]

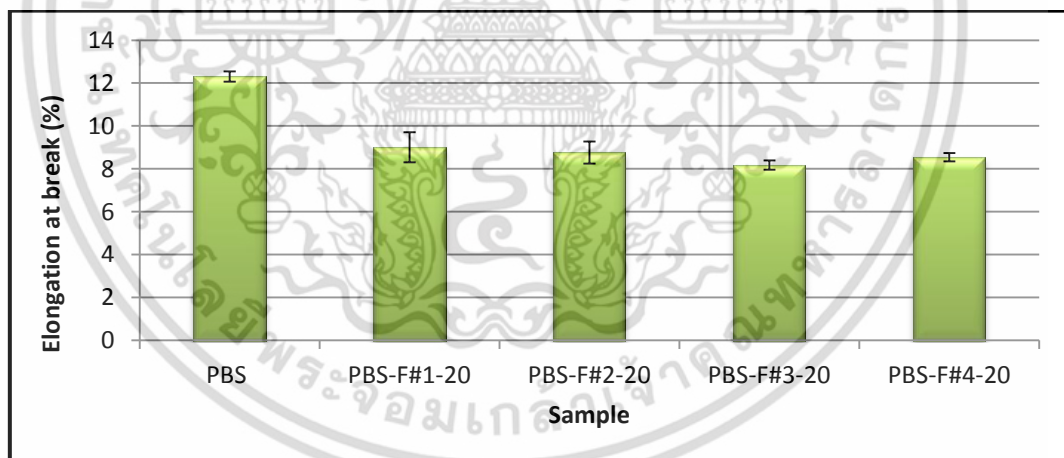


รูปที่ 4.7 รูปของน้ำอิสระ (Free water) และน้ำเกาะติด (Bound water) ในเส้นใย [78]

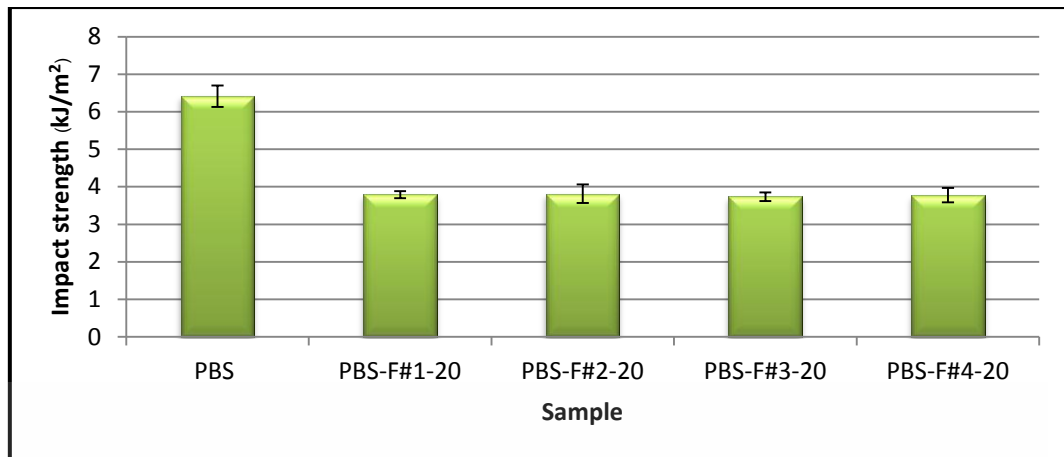
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากรูปที่ 4.8 แสดงผลของขนาดเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของพอลิเมอร์คอมโพสิตโดยควบคุมอัตราส่วนของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า 20 php พบว่าค่าการยืดตัว ณ จุดขาด มีค่าที่ลดลงเหมือนกับค่าความแข็งแรงดึง อาจเนื่องจากแรงยึดติดระหว่างวัฏภาคเส้นใยกับวัฏภาคของเมทริกซ์ที่ไม่ดี และจากรูปที่ 4.9 แสดงผลของขนาดเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิต พบว่าค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใส่เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าลงไปมีค่าที่ลดลง อาจเนื่องจากการใส่เส้นใยลงไป ในพอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยซึ่งแทรกตัวในวัฏภาคพอลิเมอร์ ทำให้ความต่อเนื่องของพอลิเมอร์ลดลงทำให้เกิดจุดบกพร่อง (Defects) บริเวณรอยต่อระหว่างพื้นผิวของเส้นใยและพอลิเมอร์ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงกระแทกมีค่าลดลง ส่วนผลของขนาดเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ต่างกันนั้นไม่ได้ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงกระแทกซึ่งพบว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกัน

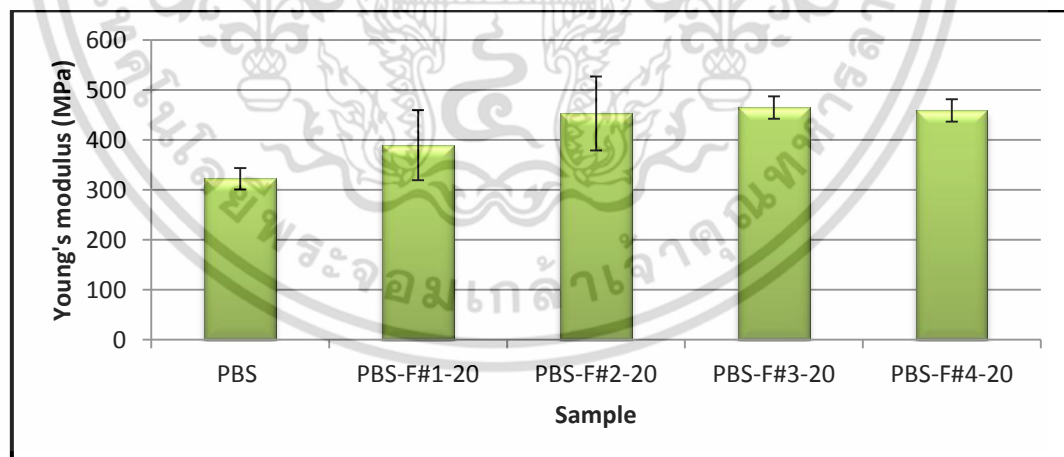


รูปที่ 4.8 ผลของขนาดเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่าการยืดตัว ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์คอมโพสิตโดยควบคุมอัตราส่วนของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า 20 php



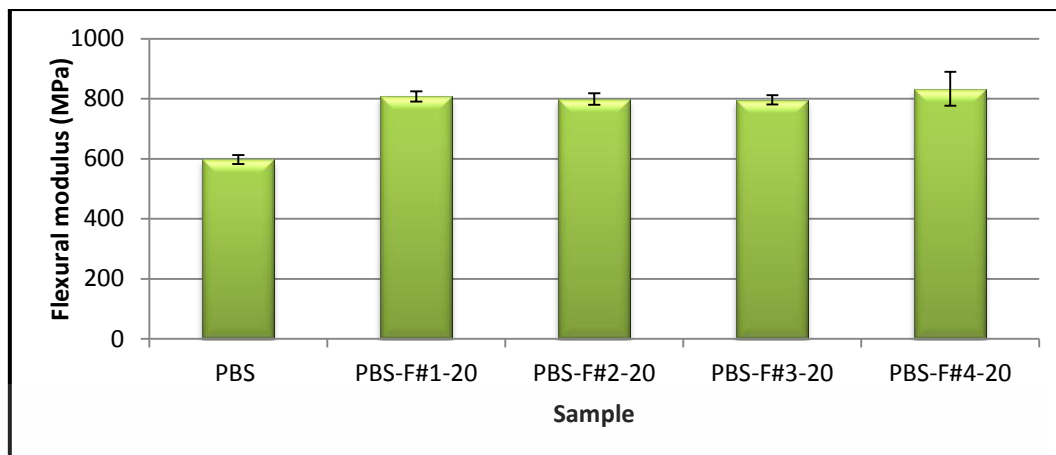
รูปที่ 4.9 ผลของขนาดเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรง ของพอลิเมอร์คอมโพสิต โดยควบคุมอัตราส่วนของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า 20 phr

ส่วนค่ามอดุลัสของยังของคอมโพสิตมีค่าที่สูงขึ้นในเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าทุกขนาด ซึ่งดูได้จากรูปที่ 4.10 จากการที่มีค่ามอดุลัสของยังที่สูงขึ้นแสดงว่าการที่ใส่เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าลงไปนั้น ทำให้พอลิเมอร์คอมโพสิตมีความแข็งแรงมากขึ้น เพราะเส้นใยมีลักษณะที่เป็นของแข็ง การใส่วัสดุที่เป็นของแข็งลงไปส่งผลให้พอลิเมอร์คอมโพสิตมีความแข็งแรงมาก โดยค่ามอดุลัสของการโค้งงอของ คอมโพสิตจากรูปที่ 4.11 มีค่าที่สูงขึ้นในพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใส่เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าทุกขนาดเหมือนกับค่ามอดุลัสของยัง ส่วนผลของขนาดเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ต่างกันนั้น ไม่ได้ส่งผลต่อค่ามอดุลัสของยัง และค่ามอดุลัสของการโค้งงอซึ่งพบว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกัน



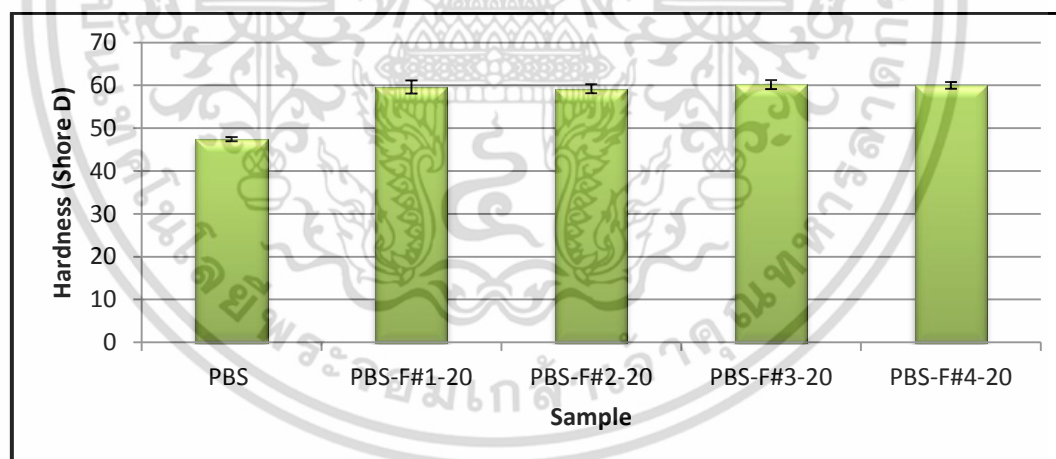
รูปที่ 4.10 ผลของขนาดเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่ามอดุลัสของยังของพอลิเมอร์คอมโพสิตโดยควบคุมอัตราส่วนของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า 20 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 ผลของขนาดเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่ามอดุลัสของการโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิตโดยควบคุมอัตราส่วนของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า 20 php

ส่วนค่าความแข็งกดแบบ Shore D ของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใส่เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าลงไปมีค่าที่สูงขึ้นซึ่งดูได้จากรูปที่ 4.12 ซึ่งการที่ค่าความแข็งกดมีค่าสูงขึ้นเพราะการใส่เส้นใยที่เป็นวัสดุของแข็งลงไป ส่งผลทำให้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่เป็นวัสดุที่มีความแข็งอยู่แล้วมีความแข็งเพิ่มมากขึ้น ส่วนผลของขนาดเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ต่างกันนั้น ไม่ได้ส่งผลต่อค่าความแข็งกดแบบ Shore D ซึ่งพบว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.12 ผลของขนาดเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่าความแข็งกดแบบ Shore D ของพอลิเมอร์คอมโพสิตโดยควบคุมอัตราส่วนของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า 20 php

การเติมเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่มีขนาดแตกต่างกันในพอลิเมอร์คอมโพสิตนั้น ไม่ได้ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตที่ได้ ซึ่งดูได้จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลต่างๆ ว่ามีค่าที่ได้ใกล้เคียงกัน แต่จากงานวิจัยของ Migneault, S. และคณะ [79] ซึ่งได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเยื่อกระดาษ (Chemi-Thermo-Mechanical Pulp, CTMP) กับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High-Density Polyethylene, HDPE) ใช้วิธีการขึ้นรูปแบบอัดรีด และฉีดขึ้นรูป โดยทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ข้อมูลใดๆ ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้

ใช้เยื่อกระดาษที่มีค่าสัดส่วนความเพรียว (Aspect ratio) ที่ต่างกันส่งผลต่อการดูดซับน้ำและสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตที่ต่างกัน โดยการขึ้นรูปด้วยวิธีการฉีดขึ้นรูปส่งผลให้ได้คอมโพสิตที่มีสมบัติเชิงกลที่สูงกว่าและการดูดซับน้ำที่น้อยกว่าการขึ้นรูปคอมโพสิตด้วยวิธีการอัดรีด ผลของค่าสัดส่วนความเพรียว พบว่าเส้นใยที่มีค่าสัดส่วนความเพรียวสูง ส่งผลให้มีค่าความแข็งแรงดึง ค่าความแข็งแรง โค้งงอ และการดูดซับน้ำของคอมโพสิตที่สูงขึ้น ส่วนงานวิจัยของ Bouafif, H. และคณะ [16] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตอนุภาคจากต้นสน กับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง ใช้วิธีการขึ้นรูปแบบฉีดขึ้นรูป โดยทำการทดลองใช้อนุภาคไม้ขนาด 24 42 และ 65 mesh พบว่าอนุภาคไม้ที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ส่งผลให้คอมโพสิตมีค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัสของยัง ค่าความแข็งแรงโค้งงอ ค่ามอดูลัสของการโค้งงอที่สูงขึ้น แต่ส่งผลให้ค่าความเหนียว (Toughness) และค่าการยืดตัว ณ จุดขาดที่ลดต่ำลง

จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้ที่ไม่สอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ ทั้งๆ ที่เส้นใยทะเลสาปาล์มเปล่าที่นำมาทดสอบนั้นมีขนาดแตกต่างกันและมีค่าสัดส่วนความเพรียวที่สูง ซึ่งสามารถดูได้จากตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ขนาดเส้นใยทะเลสาปาล์มเปล่าเบอร์ 4 เนื่องจากการวัดขนาดของเส้นใยเพื่อนำไปหาค่าสัดส่วนความเพรียวนั้น ไม่สามารถเลือกอนุภาคที่เป็นผงเล็กๆ ซึ่งดูได้จากจากรูปที่ 4.1 ไปทำการทดสอบได้ด้วย จึงส่งผลให้ได้ค่าสัดส่วนความเพรียวที่ไม่แม่นยำ ผงขนาดเล็กทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมชนิดไม่เสริมแรง (Non-reinforcing filler) โดยอนุภาคที่เป็นผงเหล่านี้มีพื้นที่ผิวที่สูงอาจส่งผลให้รอยต่อระหว่างวัฏภาคเส้นใยกับวัฏภาคของเมทริกซ์มีมากขึ้น และด้วยเหตุผลที่แรงยึดติดระหว่างวัฏภาคเส้นใยกับวัฏภาคของเมทริกซ์ที่ไม่ดีอยู่แล้วนั้น ส่งผลให้เมื่อได้รับแรงกระทำจากภายนอกไม่สามารถส่งผ่านแรงระหว่างวัฏภาคได้ ทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้นั้นมีค่าที่ลดลง

อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงอุณหภูมิที่ทำให้ผลึกเกิดการหลอมเหลว จากการทดลองสมบัติทางความร้อนสามารถแสดงผลดังตารางที่ 4.4 พบว่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึกของ PBS มีค่าที่สูงขึ้น นั่นคือเมื่อเติมเส้นใยทะเลสาปาล์มเปล่าลงไปในพอลิเมอร์คอมโพสิตส่งผลต่อขนาดของผลึกที่เกิดขึ้น เมื่อพิจารณาจาก T_m อาจกล่าวได้ว่าขนาดของผลึกที่เกิดขึ้นมีขนาดใหญ่ขึ้น ค่าองศาความเป็นผลึกซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณของผลึกที่เกิดขึ้น จากตารางที่ 4.4 พบว่าเมื่อทำการเติมเส้นใยทะเลสาปาล์มเปล่าลงในพอลิเมอร์คอมโพสิต ส่งผลต่อองศาความเป็นผลึกของ PBS ให้มีค่าที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ได้ใส่เส้นใยทะเลสาปาล์มเปล่า ส่วนค่าอุณหภูมิการเกิดผลึก (T_c) จากตารางที่ 4.4 มีค่าที่สูงขึ้นเมื่อทำการใส่เส้นใยทะเลสาปาล์มเปล่าลงในพอลิเมอร์คอมโพสิต แสดงว่าเส้นใยส่งผลให้เกิดผลึกได้เร็วขึ้น ดังนั้นเส้นใยปาล์มเปล่าที่ใส่ลงไปในคอมโพสิตทำหน้าที่เป็นตัวช่วยในการก่อผลึก (Nucleating agent) ผลของขนาดเส้นใยทะเลสาปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อองศาความเป็นผลึก จากตารางที่ 4.4 พบว่าการที่ขนาดเส้นใยที่ต่างกันนั้นไม่ได้ส่งผลต่อองศาความเป็นผลึกอย่างมีนัยสำคัญ

จากผลการทดลองข้างต้นอาจกล่าวได้ว่าเส้นใยทะเลสาปาล์มเปล่าที่ใส่ลงไปในพอลิเมอร์คอมโพสิตนั้นไม่ได้เข้าไปทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมชนิดเสริมแรง (Reinforcing filler) แต่ทำหน้าที่เป็นเพียงสารตัวเติมชนิดไม่เสริมแรง ที่ใส่ลงไปเพื่อลดต้นทุนเท่านั้น เนื่องจากการเติมเส้นใยทะเลสาปาล์มเปล่าในพอลิเมอร์คอมโพสิต ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึง ค่าการยืดตัว ณ จุดขาด ค่าความแข็งแรง โค้งงอ และค่าความแข็งแรงกระแทกมีค่าที่ลดลง

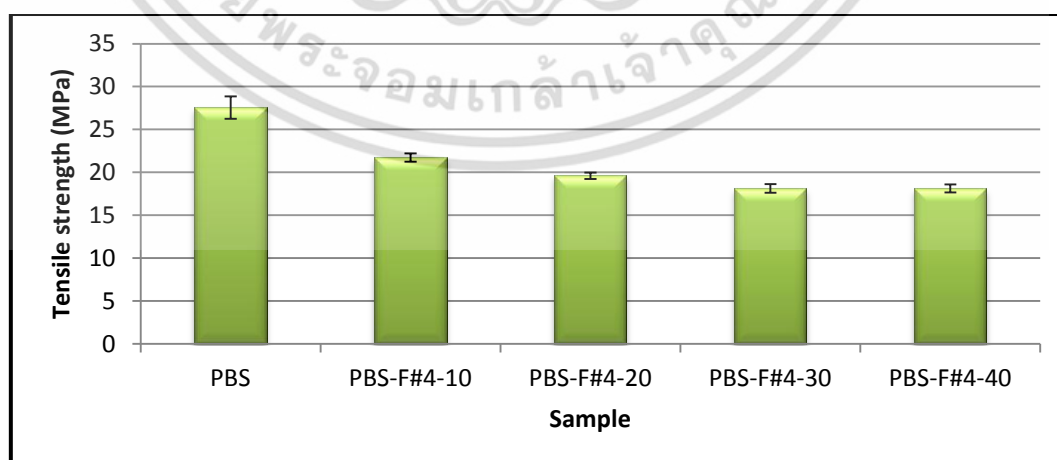
ตารางที่ 4.4 ผลของขนาดเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่มีผลต่ออุณหภูมิหลอมเหลวผลึก อุณหภูมิการเกิดผลึก และองศาความเป็นผลึกของ PBS ในพอลิเมอร์คอมโพสิตจากการวิเคราะห์ด้วย DSC

สูตร	T _m (°C) (Peak)	T _c (°C) (Peak)	ΔH _m (J/g)	% Crystallinity
PBS	111	70	69.1	32.9
PBS-F#1-20	114	73	61.3	36.9
PBS-F#2-20	114	73	60.8	36.7
PBS-F#3-20	114	73	62.6	37.7
PBS-F#4-20	115	74	65.8	39.7

4.2 ปริมาณของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิต

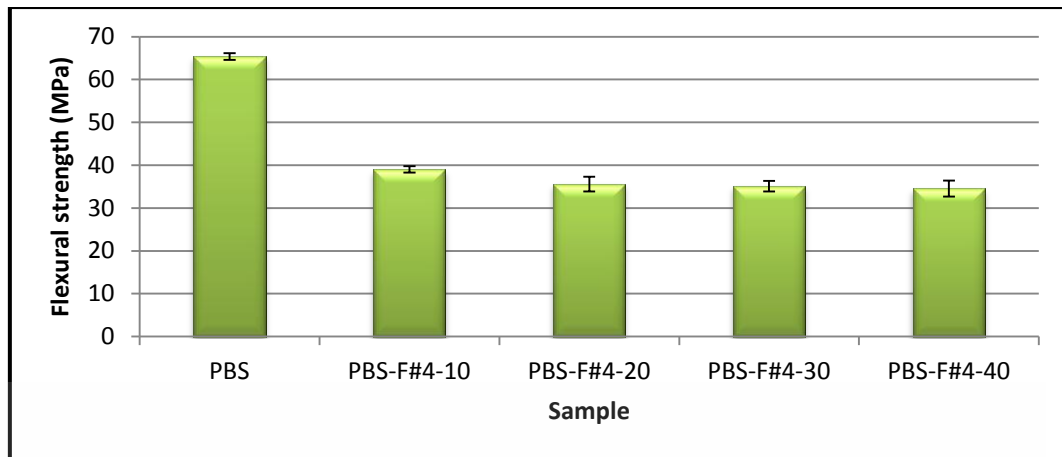
สมบัติของคอมโพสิตนอกจากขึ้นอยู่กับขนาดของเส้นใยแล้วยังขึ้นอยู่กับปริมาณของส่วนเสริมแรงที่ใส่ลงไปด้วย ดังนั้นงานวิจัยตอนนี้จึงเป็นการศึกษาผลของปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้ โดยเลือกใช้เส้นใยเบอร์ 4 ที่มีขนาดเล็กกว่า 60 mesh (เล็กกว่า 250 micron) ซึ่งเป็นขนาดเส้นใยที่มีปริมาณมากที่สุด ค่าสัดส่วนความเพียวสูงที่สุดและมีขนาดเส้นใยที่เล็กที่สุด นำมาขึ้นรูปเป็นพอลิเมอร์คอมโพสิต ใช้ปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า (0-40 php) ทำการศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และการกระจายตัวของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าในคอมโพสิตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

จากรูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14 แสดงผลของปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงดึง และค่าความแข็งแรงโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิต พบว่าค่าความแข็งแรงดึงและค่าความแข็งแรงโค้งงอของคอมโพสิตมีแนวโน้มลดลงเมื่อทำการเพิ่มปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าใส่ลงไป ในพอลิเมอร์คอมโพสิตพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ส่วนค่าการยึดตัว ณ จุดขาด จากรูปที่ 4.15 มีแนวโน้มลดลงเช่นกัน

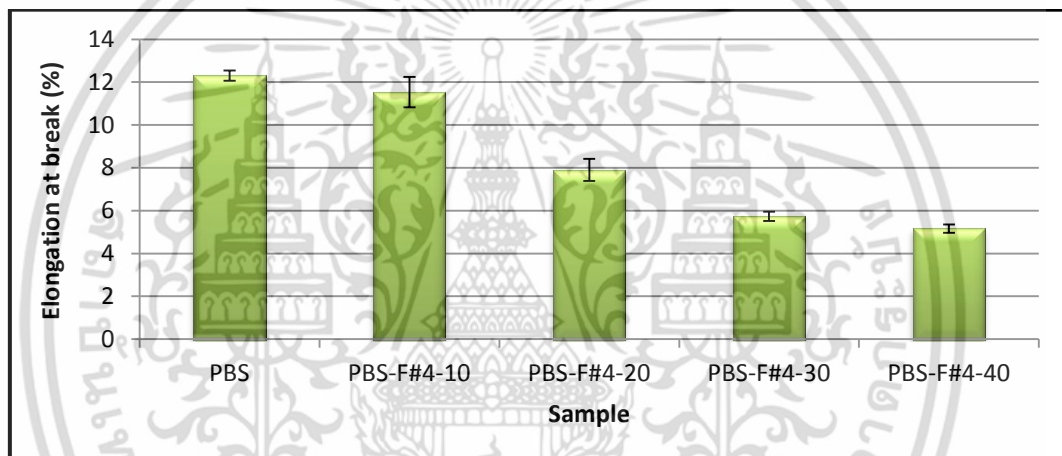


รูปที่ 4.13 ผลของปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ผลของปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิต



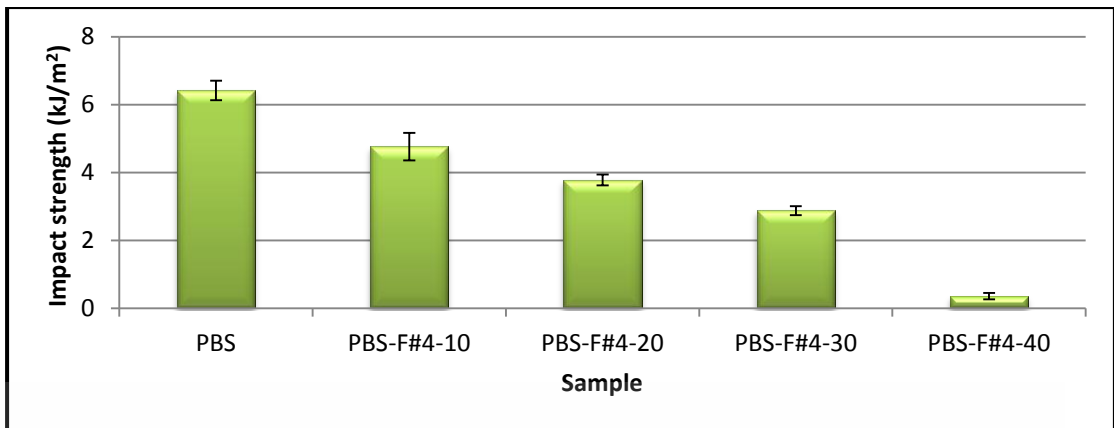
รูปที่ 4.15 ผลของปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของพอลิเมอร์คอมโพสิต

ซึ่งจากงานวิจัยของ Nam, T.H. และคณะ [60] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยคาบมะพร้าวกับพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ใช้วิธีการขึ้นรูปด้วยวิธีการกดอัด ซึ่งทำการศึกษาผลของปริมาณเส้นใยที่ใช้ในพอลิเมอร์คอมโพสิต (ปริมาณเส้นใยที่ใช้ 10, 15, 20, 25 และ 30 php) ที่มีต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงกลที่ได้ออกมา ปริมาณเส้นใยที่เหมาะสมคือใช้ปริมาณ 25 php ซึ่งให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัสของยัง ค่าความแข็งแรงโค้งงอ ค่ามอดุลัสของการโค้งงอที่สูงขึ้น โดยถ้าทำการเพิ่มปริมาณเส้นใยสมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเพิ่มปริมาณเส้นใยเป็น 30 php นั้นส่งผลให้สมบัติเชิงกลลดลง เนื่องมาจากถ้าปริมาณเส้นใยมากเกินไปส่งผลให้เส้นใยนั้นไม่เปียกด้วยพอลิเมอร์ ส่วนค่าการยืดตัว ณ จุดขาด มีค่าลดลงเมื่อมีการใส่เส้นใยลงใน พอลิเมอร์คอมโพสิต เนื่องจากเส้นใยไปลดความเหนียวของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ทำให้พอลิบิวทิลีนซัคซิเนตมีความเปราะมากขึ้น และจากงานวิจัยของ Thirmizir, M. Z. A. และคณะ [17] ที่ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยปอแก้วกับพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ใช้วิธีการขึ้นรูปด้วยวิธีการกดอัด ทำการศึกษาผลของปริมาณเส้นใยที่ใช้ในพอลิเมอร์คอมโพสิต (ปริมาณเส้นใยที่ใช้ 10-40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ที่มี

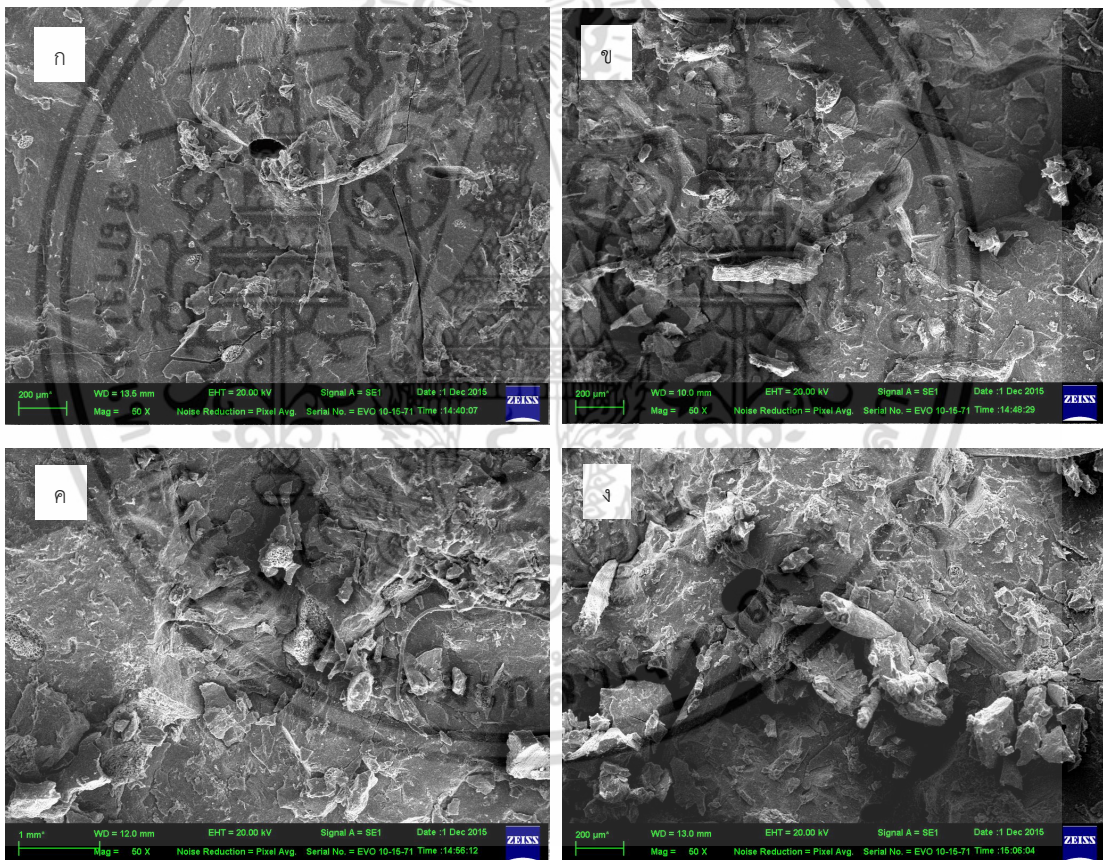
ต่อค่าความแข็งแรงโค้งงอ ค่ามอดุลัสของการโค้งงอ และค่าความแข็งแรงกระแทกที่ได้ พบว่าเมื่อทำการเพิ่มปริมาณเส้นใยลงไป ในคอมโพสิตส่งผลให้คอมโพสิตมีค่าความแข็งแรงโค้งงอ และค่ามอดุลัสของการโค้งงอที่สูงขึ้น แต่มีค่าลดลงที่ปริมาณเส้นใย 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เนื่องจากเส้นใยเกิดการกระจุกตัวรวมกัน ส่งผลให้พื้นผิวระหว่างวัฏภาคเส้นใยและวัฏภาคพอลิเมอร์ลดลง ส่วนค่าความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อทำการเพิ่มปริมาณเส้นใย เนื่องจากเส้นใยมีลักษณะที่เป็นของแข็งใส่ลงไป ในพอลิเมทรีทิสซึซซีเนตที่มีลักษณะเหนียว ส่งผลให้เป็นการไปจำกัดการเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์เมื่อได้รับแรงกระทำจากภายนอก

จากการที่ค่าความแข็งแรงดึงและค่าความแข็งแรงโค้งงอมีค่าลดลง ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ [17,60] อาจเนื่องมาจากหลายปัจจัย เช่น เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่านั้นมีแรงยึดเกาะระหว่างวัฏภาคเส้นใยกับวัฏภาคพอลิเมอร์พอลิเมทรีทิสซึซซีเนตที่ไม่ดี ทำให้เกิดจุดบกพร่องบริเวณรอยต่อระหว่างพื้นผิวของเส้นใยและพอลิเมอร์ ส่งผลเมื่อได้รับแรงกระทำจากภายนอกจึงไม่สามารถส่งผ่านแรงได้ โดยเมื่อเพิ่มเส้นใยในพอลิเมอร์คอมโพสิต เส้นใยกระจายตัวได้ไม่ดีและส่งผลให้มีจุดบกพร่องมากขึ้น ค่าความแข็งแรงดึงและค่าความแข็งแรงโค้งงอจึงมีแนวโน้มลดลง อีกทั้งอาจเกิดจากการมีน้ำเกาะติดที่อยู่ในเส้นใยที่ใส่ลงไป ในพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้กล่าวมาแล้ว การที่เส้นใยมีปริมาณมากน้ำเกาะติดในโครงสร้างมีปริมาณมากตามไปด้วย โดยน้ำเกาะติดที่มีอยู่ในโครงสร้างของเส้นใยอาจก่อให้เกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของหมู่เอสเทอร์ที่วัฏภาคพอลิเมอร์พอลิเมทรีทิสซึซซีเนตได้มากขึ้น เกิดการตัดสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมทรีทิสซึซซีเนต

จากรูปที่ 4.16 แสดงผลของปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่านั้นที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงกระแทก พบว่าค่าความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่านั้นเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดจุดบกพร่องของชิ้นงานมากขึ้นดังที่กล่าวมา และเมื่อปริมาณเส้นใยมากขึ้นจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นมากขึ้นด้วย จึงส่งผลให้ค่าความแข็งแรงกระแทกลดลง จากรูปที่ 4.17 แสดงการกระจายตัวของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่านั้นเบอร์ 4 ขนาด (เล็กกว่า 60 mesh) ในพอลิเมอร์คอมโพสิต พบว่าเมื่อมีการใส่เส้นใย EFBF ในคอมโพสิตมากขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลให้การกระจายตัวของเส้นใย EFBF นั้นไม่ดี มีการกระจุกตัวรวมกันซึ่งจะเห็นได้จากรูปที่ 4.17 (ง) ที่ใส่เส้นใย EFBF ในคอมโพสิตสูงถึง 40 php และการใส่เส้นใย EFBF ในปริมาณมากทำให้มีช่องว่างระหว่างเส้นใยน้อย ยากต่อการผสมให้เกิดความเข้ากันระหว่างพอลิเมทรีทิสซึซซีเนตกับเส้นใย อาจทำให้เส้นใยเกิดการเปียกได้ไม่สมบูรณ์ (Incomplete wetting) เกิดช่องว่างหรือรอยตำหนิเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงดึง ค่าการยึดตัว ณ จุดขาด ค่าความแข็งแรงโค้งงอ และค่าความแข็งแรงกระแทกที่ได้ลดลง



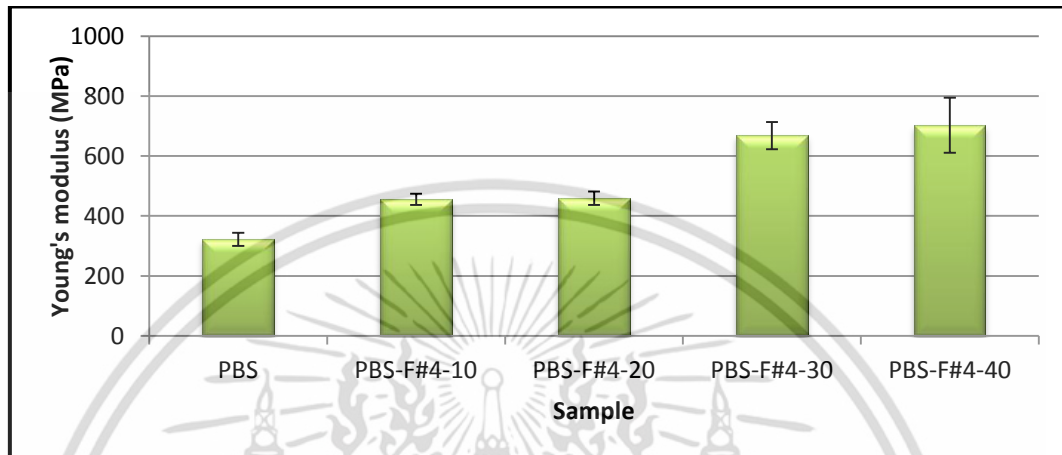
รูปที่ 4.16 ผลของปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิต



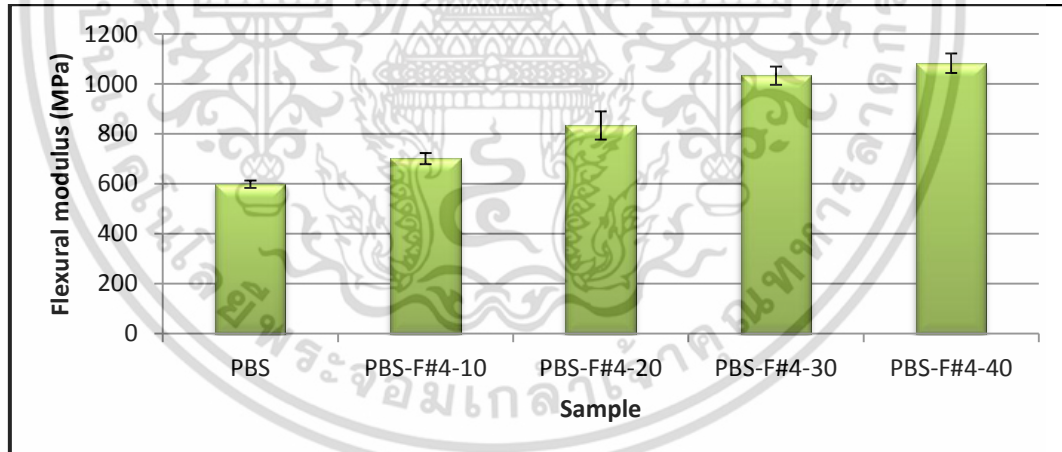
รูปที่ 4.17 การกระจายตัวของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าเบอร์ 4 ขนาด (เล็กกว่า 60 mesh) ในพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ตรวจวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 50 เท่า ปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า (ก) 10 php (ข) 20 php (ค) 30 php และ (ง) 40 php

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.18 การใส่เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าลงไปนั้นทำให้พอลิเมอร์คอมโพสิตมีความแข็งแรงมากขึ้น เพราะเส้นใยมีลักษณะที่เป็นของแข็ง ปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า 40 php มีค่ามอดูลัสของยังที่สูงที่สุด และจากรูปที่ 4.19 แสดงผลของปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่ามอดูลัสของการโค้งงอ พบว่าค่ามอดูลัสของการโค้งงอของคอมโพสิตมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าในพอลิเมอร์คอมโพสิตซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับค่ามอดูลัสของยัง



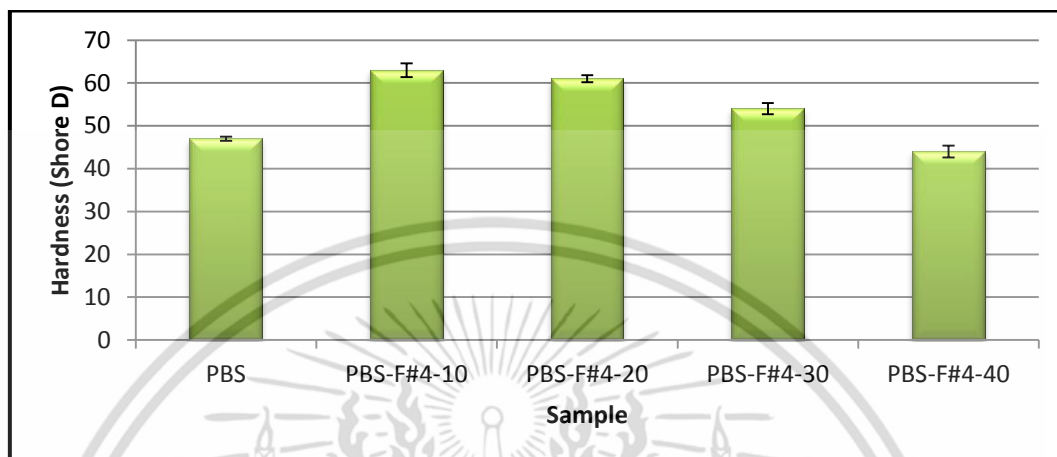
รูปที่ 4.18 ผลของปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่ามอดูลัสของยังของพอลิเมอร์คอมโพสิต



รูปที่ 4.19 ผลของปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่ามอดูลัสของการโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิต

โดยปกติการเติมวัสดุที่เป็นของแข็งที่แข็งแรงกว่าพอลิเมอร์ลงไปในคอมโพสิต จะส่งผลให้มีค่าความแข็งแรงที่สูงขึ้น แต่จากรูปที่ 4.20 แสดงผลของปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงแบบ Shore D พบว่าค่าความแข็งแรงลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพอลิเอทิลีนซัคซิเนต เป็นผลให้เกิดการตัดขาดของสายโซ่โมเลกุลทำให้ความแข็งแรงลดลง การเพิ่มปริมาณเส้นใยที่ใส่ในคอมโพสิตส่งผลเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้สูงขึ้น โดยเฉพาะบริเวณที่ผิวของชิ้นงานมีโอกาสที่ีความเป็นผลึกน้อยกว่าภายในชิ้นงาน เนื่องจากบริเวณภายในชิ้นงานมีอัตราการเย็นตัวที่ช้ากว่าบริเวณที่ใกล้ผนังแม่พิมพ์ในกระบวนการฉีดขึ้นรูป ทำให้ค่าความแข็งกตมีแนวโน้มที่ลดลง แต่มีค่าความแข็งกตที่สูงที่สุดที่ใช้ปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า 10 php



รูปที่ 4.20 ผลของปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ส่งผลต่อค่าความแข็งกตแบบ Shore D ของพอลิเมอร์คอมโพสิต

จากตารางที่ 4.5 ที่แสดงผลของปริมาณเส้นใย EFBF ที่ส่งผลต่ออุณหภูมิหลอมเหลวผลึก อุณหภูมิการเกิดผลึก และองศาความเป็นผลึกของ PBS พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย EFBF ที่ใส่ลงในพอลิเมอร์คอมโพสิต อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก และอุณหภูมิการเกิดผลึกมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง นั่นคือเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าลงไปในพอลิเมอร์คอมโพสิตไม่ส่งผลต่อขนาดของผลึกที่เกิดขึ้น ซึ่งเห็นได้จากรูปจากภาคผนวก ค-6, ค-7, ค-8 และ ค-9 ที่แสดง DSC ไดอะแกรมผลของปริมาณเส้นใยที่ส่งผลต่อ DSC พบว่าทุกๆ ปริมาณเส้นใยจะมีค่าอุณหภูมิ T_m , T_c (Onset-End) ช่วงเดียวกัน แต่ค่าองศาความเป็นผลึกมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเส้นใยที่ใส่ในคอมโพสิต

ตารางที่ 4.5 ผลของปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่มีผลต่ออุณหภูมิหลอมเหลวผลึก อุณหภูมิการเกิดผลึก และองศาความเป็นผลึกของ PBS ในพอลิเมอร์คอมโพสิตจากการวิเคราะห์ด้วย DSC

สูตร	T_m (°C) (Peak)	T_c (°C) (Peak)	ΔH_m (J/g)	% Crystallinity
PBS	111	70	69.1	32.9
PBS-F#4-10	116	72	67.1	37.3
PBS-F#4-20	115	74	65.8	39.7
PBS-F#4-30	114	72	55.6	36.2
PBS-F#4-40	114	72	56.3	39.3

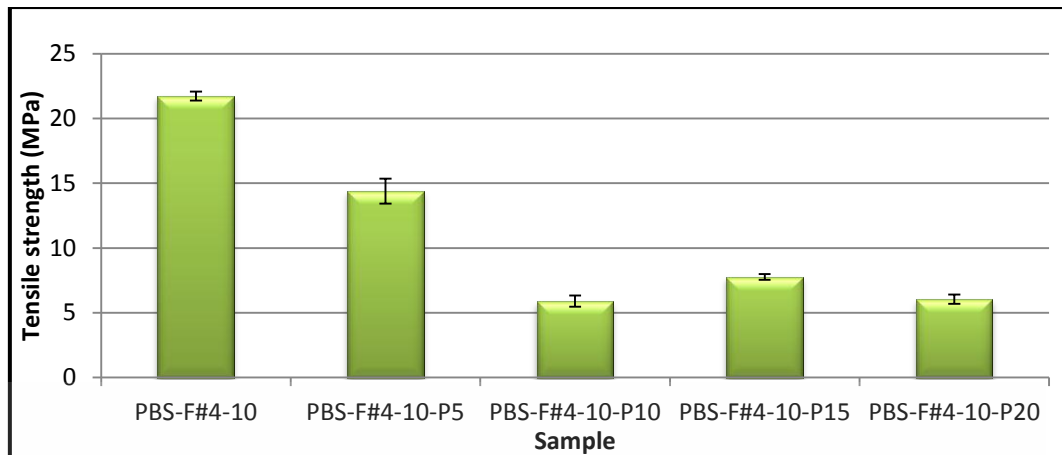
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลของปริมาณพลาสติกไซเซอร์ที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิต

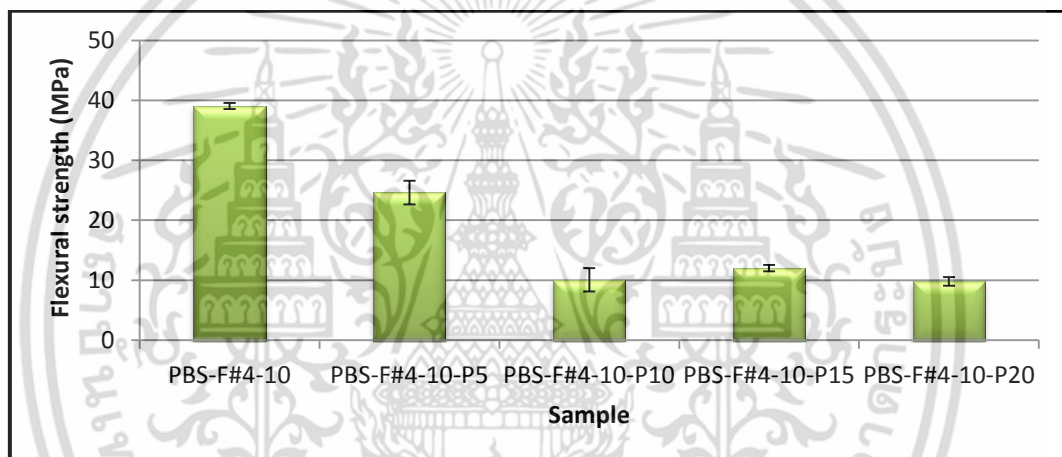
งานวิจัยต่อไปเป็นการศึกษาผลของปริมาณพลาสติกไซเซอร์ ที่ส่งผลต่อพอลิเมอร์คอมโพสิตผสมระหว่างพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า ใช้พลาสติกไซเซอร์เป็นสารที่ใส่ในพอลิเมอร์หรือผลิตภัณฑ์พลาสติกเพื่อให้พลาสติกมีความยืดหยุ่นและอ่อนนุ่มขึ้น พลาสติกไซเซอร์ที่นิยมใช้มากที่สุด คือ กลุ่มพทาเลตเอสเทอร์ ดังนั้นจึงมีผู้ศึกษาวิเคราะห์วิจัยและมีหลักฐานการตรวจพบในสิ่งแวดล้อมมากที่สุด [47] พลาสติกไซเซอร์ที่ใส่ในผลิตภัณฑ์พลาสติกไม่ได้เกิดพันธะเคมีกับพอลิเมอร์เพียงแต่จะแพร่แทรกเข้าไปอยู่ระหว่างโมเลกุลดังนั้นจึงเกิดการถ่ายเทสู่สิ่งแวดล้อมได้ง่าย ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้พลาสติกไซเซอร์ CITROFOL® B II (Acetyl tributyl citrate) ซึ่งเป็นพลาสติกไซเซอร์ได้มาจากธรรมชาติ (Biobased plasticizer) ที่ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ได้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม โดยทำการทดลองที่ปริมาณพลาสติกไซเซอร์ 5 php, 10 php, 15 php และ 20 php ที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตที่ได้ และสมบัติทางความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไป และใช้เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า 10 php เพราะจากการทดลองตอนที่ 4.2 ที่ศึกษาผลของปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิต พบว่าถ้าเพิ่มปริมาณเส้นใยทำให้สมบัติความแข็งแรงต่างๆ เช่น ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงโค้งงอ ความแข็งแรงกระแทกมีค่าลดลง ดังนั้นจึงเลือกใช้เส้นใยที่ปริมาณ 10 php มาทำการศึกษาต่อ

จากงานวิจัยของ Oksmana, K. และคณะ [53] ได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยแฟลกซ์กับพอลิแลกติกแอซิด ใช้วิธีการขึ้นรูปแบบอัดรีด โดยทำการปรับปรุงพอลิแลกติกแอซิดซึ่งมีลักษณะเฉพาะตัวที่มีความแข็งแรง ทนทานต่อแรงกระแทกต่ำ ดังนั้นจึงทำการใส่ไตรอะซิติก (Triacetic) เพื่อทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ ความเข้มข้นของไตรอะซิติกที่ใช้ 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดลองพบว่าการใส่พลาสติกไซเซอร์ลงไปคอมโพสิต ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึง และค่ามอดุลัสของยังของคอมโพสิตมีค่าที่ลดลง แต่ค่าการยืดตัว ณ จุดขาด มีค่าสูงขึ้นเพราะการใส่ พลาสติกไซเซอร์ส่งผลให้คอมโพสิตนิ่มขึ้น สายโซ่สามารถเคลื่อนตัวได้มากขึ้นส่วนค่าความแข็งแรงกระแทกสูงขึ้น แต่จะสูงขึ้นเมื่อใส่ไตรอะซิติกลงไปแค่ 5 เปอร์เซ็นต์

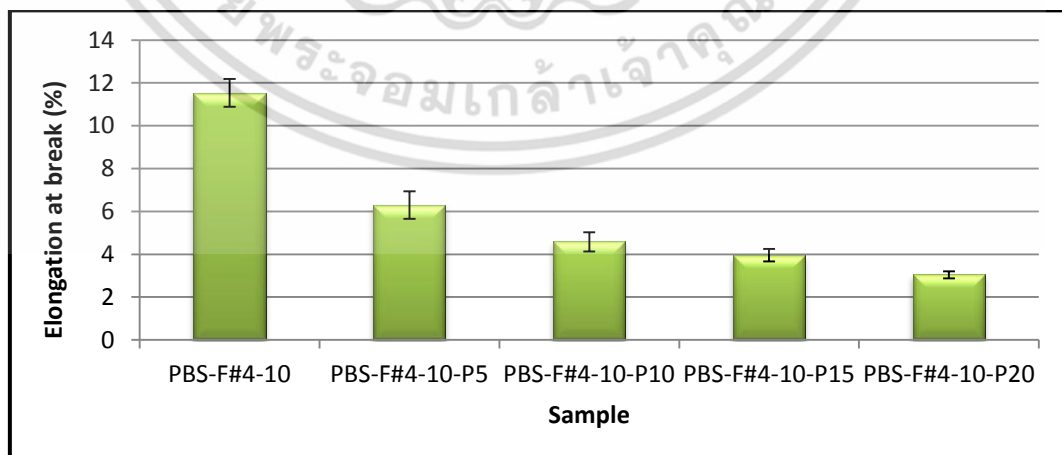
จากรูปที่ 4.21 และรูปที่ 4.22 แสดงผลของปริมาณการใส่พลาสติกไซเซอร์ที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงดึง และค่าความแข็งแรงโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิต ตามลำดับนั้น พบว่าค่าความแข็งแรงดึงและค่าความแข็งแรงโค้งงอมีแนวโน้มที่ลดลง เมื่อทำการเพิ่มปริมาณพลาสติกไซเซอร์ที่ใส่ลงไปพอลิเมอร์คอมโพสิตพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ส่วนค่าการยืดตัว ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากรูปที่ 4.23 มีแนวโน้มลดลงเหมือนกัน ซึ่งจากงานวิจัยของ Oksmana, K. และคณะ [53] พบว่าการใส่พลาสติกไซเซอร์ลงไปพอลิเมอร์ส่งผลให้ค่าการยืดตัว ณ จุดขาด มีค่าที่สูงขึ้นเพราะพลาสติกไซเซอร์ส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์สามารถเคลื่อนที่ได้มากขึ้น คอมโพสิตจึงมีความอ่อนตัวและนิ่มขึ้น แต่จากผลการทดลองได้ค่าการยืดตัว ณ จุดขาด ที่ลดลง ซึ่งผลเป็นเช่นนั้นอาจเนื่องมาจากพลาสติกไซเซอร์เข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างสายโซ่โมเลกุลของพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตทำให้สายโซ่โมเลกุลเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น และพลาสติกไซเซอร์ที่ใส่ในคอมโพสิตนั้นไปแทรกอยู่ระหว่างเส้นใยกับพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต ส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นหลุดออกจากภูมิภาคเส้นใยได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้ทำให้ความแข็งแรงของรอยต่อวัฏภาคลดลง



รูปที่ 4.21 ผลของปริมาณการใส่พลาสติกไซเซอร์ที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิต



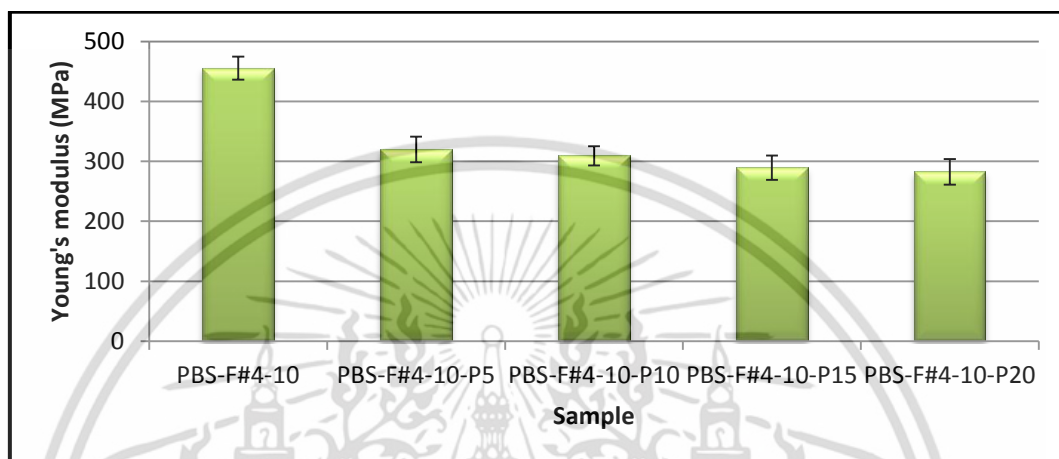
รูปที่ 4.22 ผลของปริมาณการใส่พลาสติกไซเซอร์ที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิต



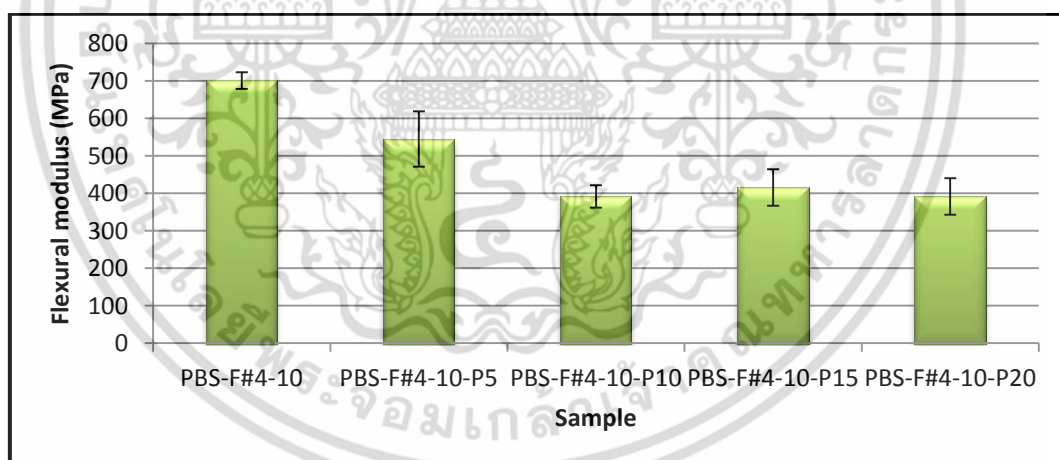
รูปที่ 4.23 ผลของปริมาณการใส่พลาสติกไซเซอร์ที่ส่งผลต่อค่าการยืดตัว ณ จุดขาดของพอลิเมอร์คอมโพสิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.24 และ 4.25 แสดงผลของการใส่พลาสติกไซเซออร์ที่ส่งผลต่อค่ามอดุลัสของยัง และค่ามอดุลัสของการโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิต ตามลำดับนั้น พบว่าค่ามอดุลัสของยังมีค่าลดลง ซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับค่ามอดุลัสของการโค้งงอ จากการที่มีค่ามอดุลัสของยัง และค่ามอดุลัสของการโค้งงอที่ลดลง สาเหตุเพราะพลาสติกไซเซออร์เข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ที่ลื่นซักซิเนตทำให้สายโซ่โมเลกุลเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้พอลิเมอร์คอมโพสิตมีความอ่อนตัวและนิ่มขึ้น



รูปที่ 4.24 ผลของปริมาณการใส่พลาสติกไซเซออร์ที่ส่งผลต่อค่ามอดุลัสของยังของพอลิเมอร์คอมโพสิต

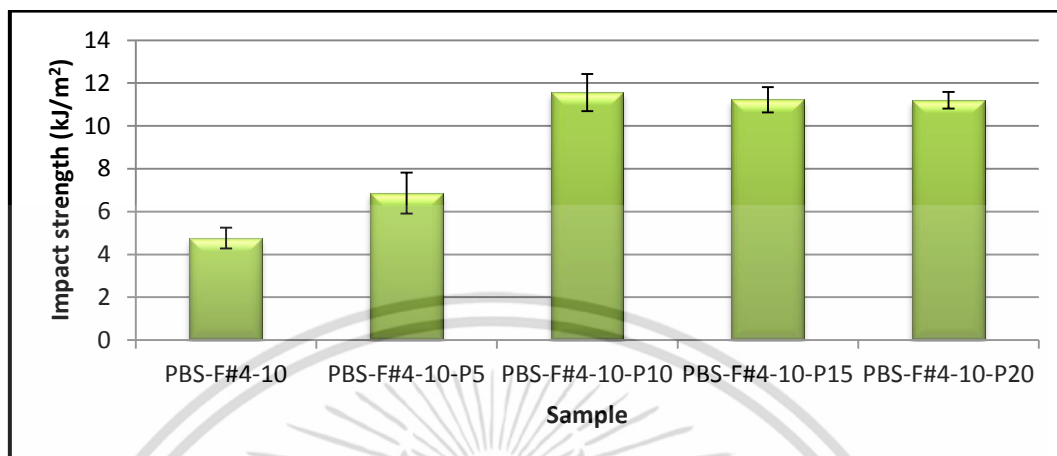


รูปที่ 4.25 ผลของปริมาณการใส่พลาสติกไซเซออร์ที่ส่งผลต่อค่ามอดุลัสของการโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิต

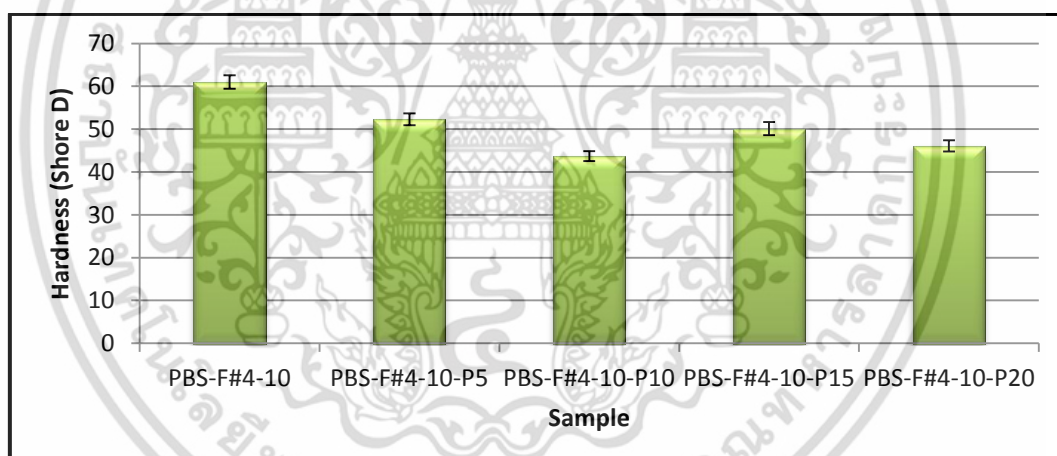
จากรูปที่ 4.21 และ 4.22 พบว่าเมื่อทำการเพิ่มปริมาณพลาสติกไซเซออร์ที่ใส่ลงในวัสดุคอมโพสิตส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงและค่าความแข็งแรงโค้งงอมีค่าที่ลดลง แต่ในทางกลับกันส่งผลให้ได้ค่าความแข็งแรงกระแทกจากรูปที่ 4.26 ที่สูงขึ้น ผลที่ได้เป็นเช่นนั้นอาจบอกได้ว่าการศึกษาที่ใส่พลาสติกไซเซออร์ลงไปนั้นส่งผลให้คอมโพสิตมีความยืดหยุ่นและอ่อนนุ่มขึ้น โดยพลาสติกไซเซออร์ทำหน้าที่เข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลของคอมโพสิต ทำให้สายโซ่สั้นและการกระจายแรงได้ดีขึ้น จึงทำให้ค่า

ความแข็งแรงกระแทกที่ได้มีค่าที่สูงขึ้นและทำให้คอมโพสิตมีความอ่อนนุ่มที่มากขึ้น ซึ่งสามารถดูได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ใช้เป็นประโยชน์ด้านการศึกษา ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากค่าความแข็งกดจากรูปที่ 4.27 ที่มีค่าต่ำลงเมื่อทำการใส่พลาสติกไซเซอร์ โดยปริมาณของพลาสติกไซเซอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองต่อไปคือ ใช้ปริมาณพลาสติกไซเซอร์ 10 php เหมาะสมที่สุด เพราะถ้าใช้ปริมาณพลาสติกไซเซอร์มากกว่า 10 php ทำให้มีค่าความแข็งแรงกระแทกที่มีแนวโน้มคงที่



รูปที่ 4.26 ผลของปริมาณการใส่พลาสติกไซเซอร์ที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิต



รูปที่ 4.27 ผลของปริมาณการใส่พลาสติกไซเซอร์ที่ส่งผลต่อค่าความแข็งกดแบบ Shore D ของพอลิเมอร์คอมโพสิต

ผลของการใส่พลาสติกไซเซอร์ที่มีต่อสมบัติทางความร้อนนั้นสามารถดูได้จากตารางที่ 4.6 ที่แสดงค่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก อุณหภูมิการเกิดผลึก และค่าองศาความเป็นผลึกจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC พบว่าการใส่พลาสติกไซเซอร์ส่งผลให้ค่าอุณหภูมิการเกิดผลึก ค่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึกมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jang, J. และคณะ [80] ทำการศึกษาผลของการใส่พลาสติกไซเซอร์กลีเซอริน (Glycerine) ในพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ต่อค่าสมบัติทางความร้อน โดยค่าอุณหภูมิการเกิดผลึกและค่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึกมีค่าที่ลดลง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ลดลงจากการมีกลีเซอรินเข้าไปแทรก และสามารถเกิดพันธะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฮโดรเจนระหว่างกลีเซอรินกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ทำให้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์มีอิสระในการเคลื่อนที่ ส่วนค่าองศาความเป็นผลึกมีค่าที่ไม่เปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 4.6 ผลของการใส่พลาสติกไซเซอร์ที่มีต่ออุณหภูมิหลอมเหลวผลึก อุณหภูมิการเกิดผลึก และองศาความเป็นผลึกของ PBS ในพอลิเมอร์คอมโพสิตจากการวิเคราะห์ด้วย DSC

สูตร	T _m (°C) (Peak)	T _c (°C) (Peak)	ΔH _m (J/g)	% Crystallinity
PBS-F#4-10	116	72	67.1	37.3
PBS-F#4-10-P5	109	71	65.8	38.1
PBS-F#4-10-P10	109	69	62.6	37.7
PBS-F#4-10-P15	108	68	63.1	39.5
PBS-F#4-10-P20	107	68	62.8	40.9

การศึกษาหาสูตรของวัสดุคอมโพสิตที่เหมาะสมเพื่อนำไปทำการปรับปรุงต่อนั้นจากการทดลองจึงเลือกใช้เส้นใยเบอร์ 4 ในปริมาณ 10 php ส่วนปริมาณของพลาสติกไซเซอร์ใช้ 10 php เพราะถ้าใช้ปริมาณพลาสติกไซเซอร์มากกว่า 10 php มีค่าความแข็งแรงกระแทกที่คงที่ และการใส่ในปริมาณที่มากทำให้เกิดการเคลื่อนตัวหรือแพร่ออก (Bleeding) จากวัสดุคอมโพสิต สามารถสังเกตได้จากชิ้นงานที่ใส่ปริมาณพลาสติกไซเซอร์มากกว่า 10 php พื้นผิวของชิ้นงานจะเปียกและมีความมัน

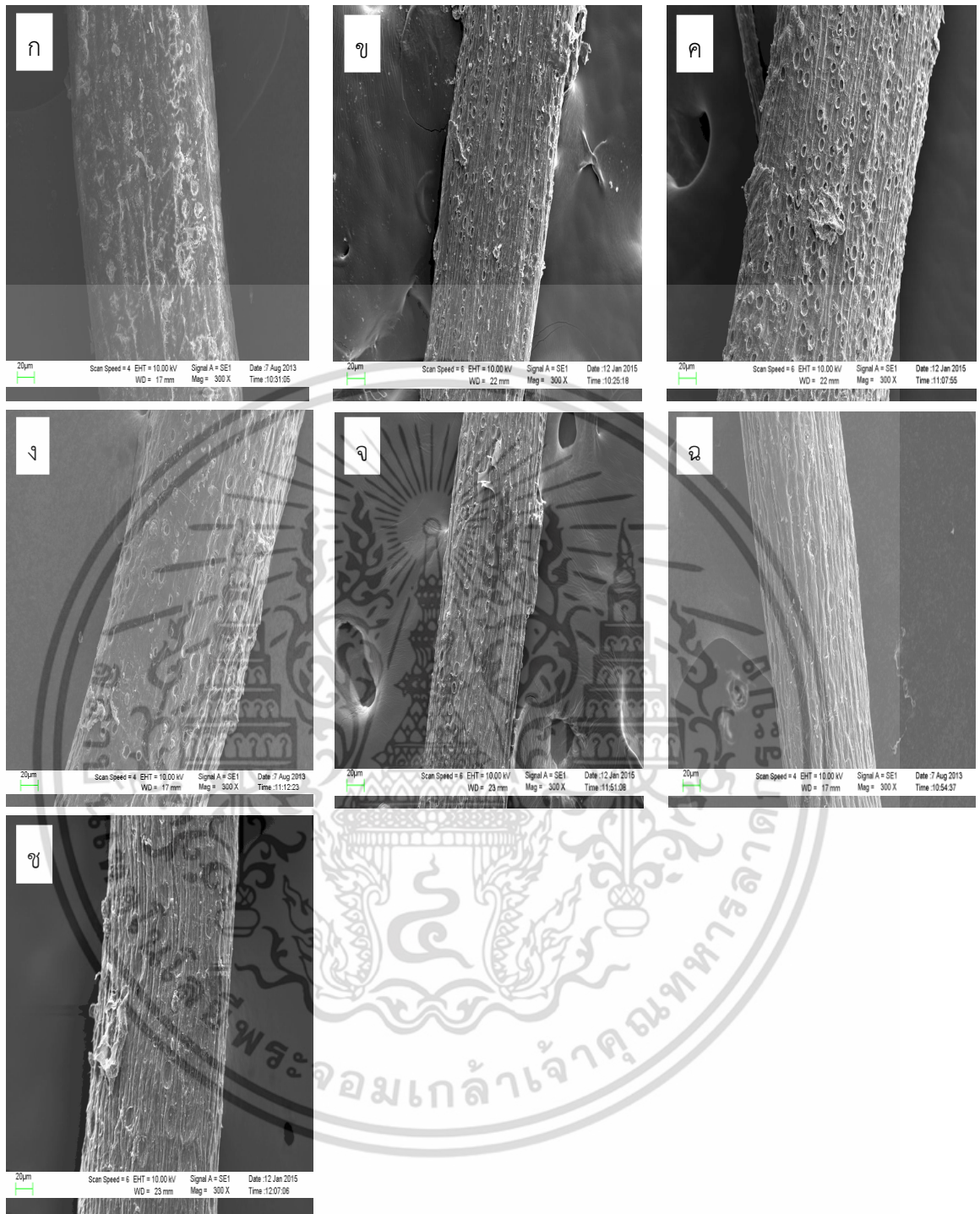
4.4 ศึกษาวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิต

4.4.1 ลักษณะพื้นผิว การดูดน้ำ และหมู่ฟังก์ชันที่อยู่บริเวณพื้นผิวเส้นใยทะเลสาบปาล์มเปล่า

เส้นใยทะเลสาบปาล์มเปล่าเป็นเส้นใยที่ได้จากธรรมชาติซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group, -OH) อยู่ในโครงสร้างส่งผลให้มีส่วนที่ชอบน้ำ [11] ดังนั้นจึงต้องลดการดูดความชื้นและความชอบน้ำของเส้นใยธรรมชาติโดยการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยโดยกระบวนการทางเคมี [12-15] เพื่อให้เส้นใยทะเลสาบปาล์มเปล่าสามารถเข้ากันได้กับพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้น และส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้ แต่สมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตขึ้นอยู่กับปัจจัยการยึดเกาะระหว่างคอมโพสิตกับสารเสริมแรงด้วยการยึดเกาะมีหลายแบบ เช่น การดูดซับและการเปียก (Adsorption and wetting) การแพร่เข้าหากันหรืออินเทอร์ดิฟฟิวชัน (Interdiffusion) แรงดึงดูดประจุหรือไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Attraction) พันธะเคมี (Chemical bonding) และการยึดเกาะเชิงกล (Mechanical interlocking) ซึ่งเกิดในกระบวนการขึ้นรูปคอมโพสิต

การปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยนั้นสามารถทำได้หลายวิธี แต่ในงานวิจัยนี้เลือกศึกษาผลการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยด้วยวิธีอัลคาไลน์ทริตเมนต์ ที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5% w/v ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง วิธีเบนโซลีนที่ใช้สารละลายเบนโซลีน-คลอไรด์ และวิธีเปอร์แมงกาเนตที่ใช้สารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ความเข้มข้น 0.05% ในอะซิโตน ที่ส่งผลต่อลักษณะพื้นผิวของเส้นใย การดูดน้ำของเส้นใย หมู่ฟังก์ชันที่อยู่บริเวณพื้นผิวเส้นใย

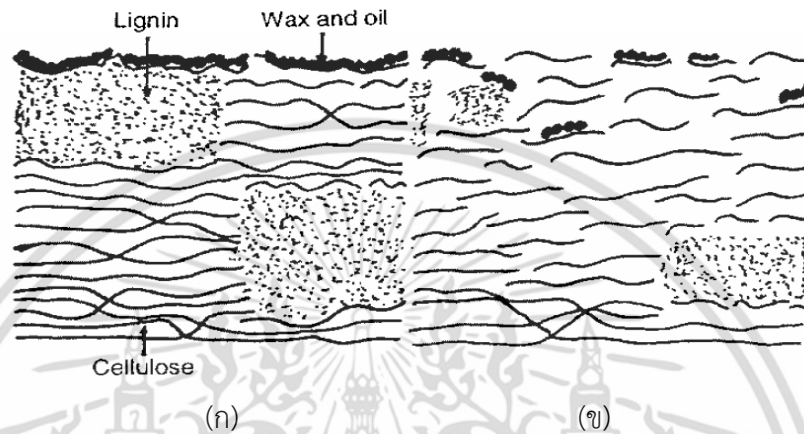
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการตรวจวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 300 เท่า (ก) EFBF (ข) EFBF-A2hr (ค) EFBF-A4hr (ง) EFBF-A2hrB (จ) EFBF-A4hrB (ฉ) EFBF-A2hrK และ (ข) EFBF-A4hrK

จากรูปที่ 4.28 เป็นการศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใยก่อนและหลังทำการปรับปรุงพื้นผิวด้วยเทคนิค SEM พบว่าพื้นผิวของเส้นใยที่ยังไม่ได้ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยจากรูปที่ 4.28 (ก) มีความสกปรกคราบจากพวกแบคทีเรีย และพวกน้ำมันที่เคลือบอยู่ที่ผิวของเส้นใย แต่ในรูปที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.28 (ข) และ (ค) ที่แสดงพื้นผิวของเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีอัลคาไลน์ทรีตเมนต์ที่ใช้เวลาในการแช่เส้นใยในโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับนั้น พบว่าพื้นผิวของเส้นใยมีความขรุขระและมีพื้นผิวที่สะอาดขึ้นกว่ากรณีที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย เนื่องจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใส่ลงไปสามารถกำจัดสิ่งสกปรก ลิกนิน และเฮมิเซลลูโลสออกไป [57] สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้โครงสร้างของเซลลูโลสเกิดการขาดของสายโซ่เป็นโมเลกุลที่สั้นลงซึ่งดูได้จากรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 ลักษณะพื้นผิวเส้นใยเซลลูโลส (ก) เส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุง และ (ข) เส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ [81]

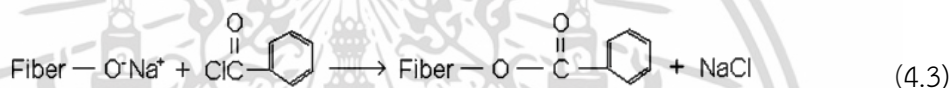
ส่วนในกรณีรูปที่ 4.28 (ง) (จ) (ฉ) และ (ช) ที่แสดงพื้นผิวของเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีเบนโซเลชันและวิธีเปอร์แมงกาเนตโดยใช้เวลาในการแช่เส้นใยในโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับนั้น พบว่าเส้นใยที่ได้มีลักษณะที่คล้ายกับกรณีที่ปรับปรุงด้วยวิธีอัลคาไลน์ทรีตเมนต์ ดังนั้นจึงส่งผลให้เป็นการเพิ่มแรงยึดติดระหว่างภูมิภาคของเมทริกซ์กับภูมิภาคของเส้นใยให้ดีขึ้น เพราะการที่พื้นผิวเส้นใยมีลักษณะที่มีความขรุขระ และมีพื้นผิวที่สะอาดขึ้นทำให้มีโอกาสเกิดการยึดเกาะเชิงกลในกระบวนการขึ้นรูปคอมโพสิตได้มากขึ้น เมทริกซ์เปียกบนพื้นผิวเส้นใยในขณะเป็นของไหลสามารถแทรกตัวตามพื้นผิวขรุขระของเส้นใย รวมทั้งซอกร่องรูและช่องว่างบนพื้นผิวเส้นใย เมทริกซ์เกิดการแข็งตัวเป็นเหตุให้เมทริกซ์ถูกล็อคแข็งติดอยู่บนพื้นผิวของเส้นใย ความแข็งแรงของการยึดเกาะชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความขรุขระของพื้นผิวเส้นใยที่ทำให้เกิดการแทรกตัวเมทริกซ์

อีกทั้งการปรับพื้นผิวของเส้นใยยังช่วยลดความเป็นวัสดุที่ชอบน้ำของเส้นใย ซึ่งเราสามารถดูได้จากตารางที่ 4.7 ที่แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดความชื้นของเส้นใยต่างๆ และรูปที่ 4.30 ที่แสดงผลการทดสอบการดูดน้ำของเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ พบว่ากรณีเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยมีการดูดน้ำได้ค่อนข้างเร็วและดูดน้ำได้มากที่สุด เนื่องจากธรรมชาติของเส้นใยธรรมชาติเป็นวัสดุที่ชอบน้ำอยู่แล้วเนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยมีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group, -OH) อยู่ในโครงสร้างส่งผลให้มีส่วนที่ชอบน้ำ แต่ในกรณีของเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ นั้นมีความชอบน้ำที่ลดลงและดูดน้ำได้ช้าลง เนื่องมาจากการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยทำให้ลดพันธะไฮโดรเจนจากการกำจัดหมู่ไฮดรอกซิลซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 4.2 โดยเมื่อ

เส้นใยมีหมู่ไฮดรอกซิลทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้หมู่ไฮดรอกซิลแตกออกซึ่งจะเป็นการลดพันธะไฮโดรเจน



จากตารางที่ 4.7 ที่แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของเส้นใยต่างๆ พบว่าการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 5% w/v เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีค่าการดูดน้ำที่ต่ำกว่ากรณีที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 5% w/v เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ส่วนการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยวิธีเบนโซเลชันมีผลไปในทิศทางเดียวกับกรณีที่มีการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยการปรับปรุงด้วยวิธีเบนโซเลชันที่นำเส้นใยที่ผ่านการแช่เส้นใยในโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับนั้น มีค่าการดูดน้ำที่น้อยกว่าเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์อย่างเดียว ซึ่งเห็นได้จากสมการที่ 4.3 พบว่าหมู่ฟังก์ชันของเส้นใยถูกเปลี่ยนแปลงและปรากฏวงอะโรมาติกเกิดขึ้น ส่งผลให้ค่าการดูดน้ำนั้นลดลงกว่ากรณีเส้นใยที่ผ่านการแช่ในโซเดียมไฮดรอกไซด์อย่างเดียว

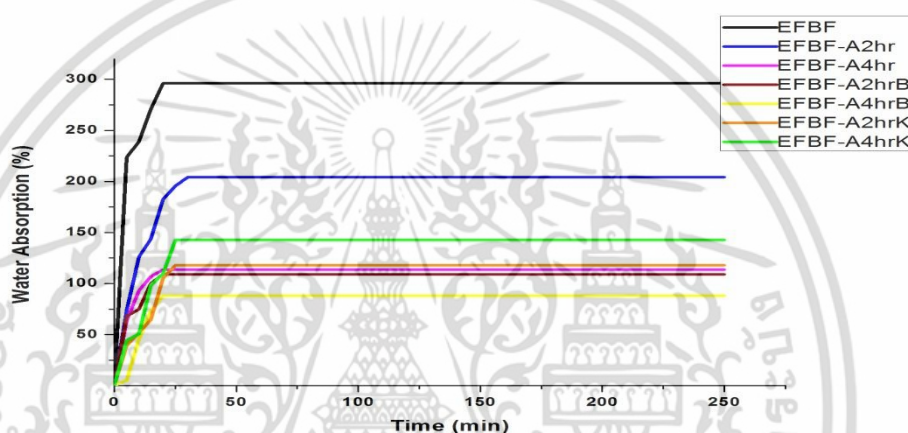


แต่ในกรณีวิธีการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยวิธีเปอร์เมกานาเตมีผลที่แตกต่างกับเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงวิธีเบนโซเลชัน จากตารางที่ 4.7 พบว่าเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีเปอร์เมกานาเต ที่ผ่านการแช่เส้นใยในโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีค่าการดูดน้ำที่ไม่เปลี่ยนแปลง แต่ในกรณีเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีเปอร์เมกานาเต ที่ผ่านการแช่เส้นใยในโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีค่าการดูดน้ำที่สูงขึ้นเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากโพแทสเซียมเปอร์เมกานาเตที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรง ไปทำลายโครงสร้างเส้นใยจนโครงสร้างเส้นใยถูกตัด เกิดเป็นช่องว่างบนพื้นผิวเส้นใย ทำให้น้ำอาจเข้าได้จากบริเวณนี้ส่งผลให้ผลของการดูดน้ำเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.30 พบว่าการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยวิธีเบนโซเลชันที่ผ่านการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 5% w/v เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีค่าการดูดน้ำที่น้อยที่สุด อาจเนื่องจากการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยด้วยวิธีเบนโซเลชัน เป็นการลดพันธะไฮโดรเจนเนื่องจากการกำจัดหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 4.3 และมีวงอะโรมาติกเกิดขึ้น วงอะโรมาติกที่เกิดขึ้นนั้นจะไปลดความเป็นวัสดุที่ชอบน้ำของเส้นใย ส่งผลให้ดูดน้ำได้น้อยลง

ตารางที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของเส้นใยที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ

เส้นใย	เปอร์เซ็นต์การดูดความน้ำ (%)
EFBF	296
EFBF-A2hr	204
EFBF-A4hr	125
EFBF-A2hrB	112
EFBF-A4hrB	94
EFBF-A2hrK	146
EFBF-A4hrK	152

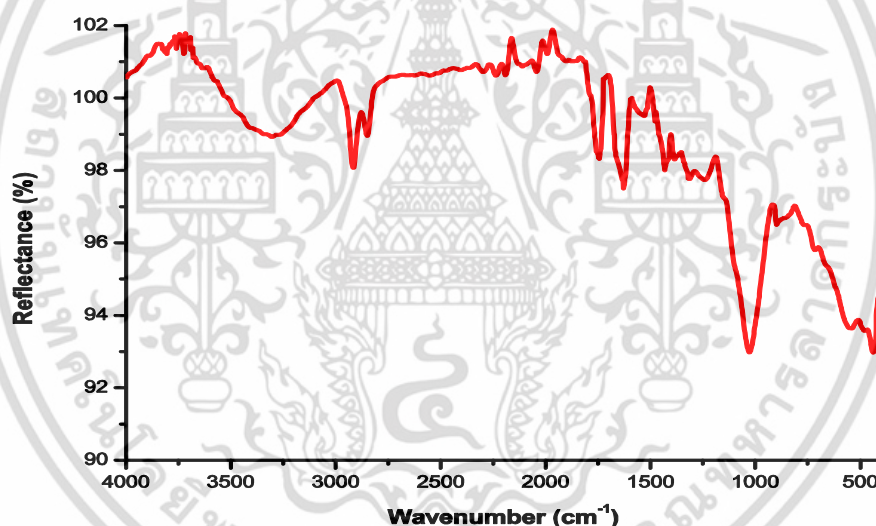


รูปที่ 4.30 ผลการทดสอบการดูดน้ำของเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ

จากการทดสอบหาหมู่ฟังก์ชันที่อยู่ในเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยเทคนิคแอมพเททโททรีเฟล็กซ์ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (ATR FT-IR) สเปกตรัมของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงเส้นใยแสดงในรูปที่ 4.31 ปรากฏพีกที่ช่วง $3600-3100\text{ cm}^{-1}$ เป็นพีกแถบการสั่นแบบยืดของ -OH ในเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน พีกที่ช่วง $3000-2854\text{ cm}^{-1}$ แสดงพีกแถบการสั่นแบบยืดของ -CH และ -CH_2 ในเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน พีกที่ช่วง $1765-1712\text{ cm}^{-1}$ แสดงพีกแถบการสั่นแบบยืดของ C=O ของหมู่คาร์บอนิลในเฮมิเซลลูโลสและอะโรมาติกในลิกนิน คาร์บอกซิลิกสามารถปรากฏในเส้นใยซึ่งมาจากกรดไขมันที่อยู่ในแวกซ์ พีกที่ 1571 cm^{-1} แสดงพีกแถบการสั่นแบบยืดของ C=C ของวงอะโรมาติกในลิกนินและเฮมิเซลลูโลส พีกที่ 1430 cm^{-1} แสดงพีกแถบการสั่นยืดแบบสมมาตรของ CH_2 ของเซลลูโลส พีกที่ 1384 cm^{-1} และ 1243 cm^{-1} แสดงพีกแถบการสั่นแบบยืดของ C-O ของหมู่เอซิทิลในลิกนินและเฮมิเซลลูโลส พีกที่ 1320 cm^{-1} แสดงพีกของ C-H และ C-O ของ วงอะโรมาติกในพอลิแซ็กคาไรด์ พีกที่ 898 cm^{-1} แสดงการปรากฏ β -linkage ระหว่างมอนอแซ็กคาไรด์ (Monosaccharide) หมู่ฟังก์ชันต่างๆ ที่อยู่ในเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงเส้นใยถูกแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 หมู่ฟังก์ชันต่างๆ ที่อยู่ในเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงเส้นใย

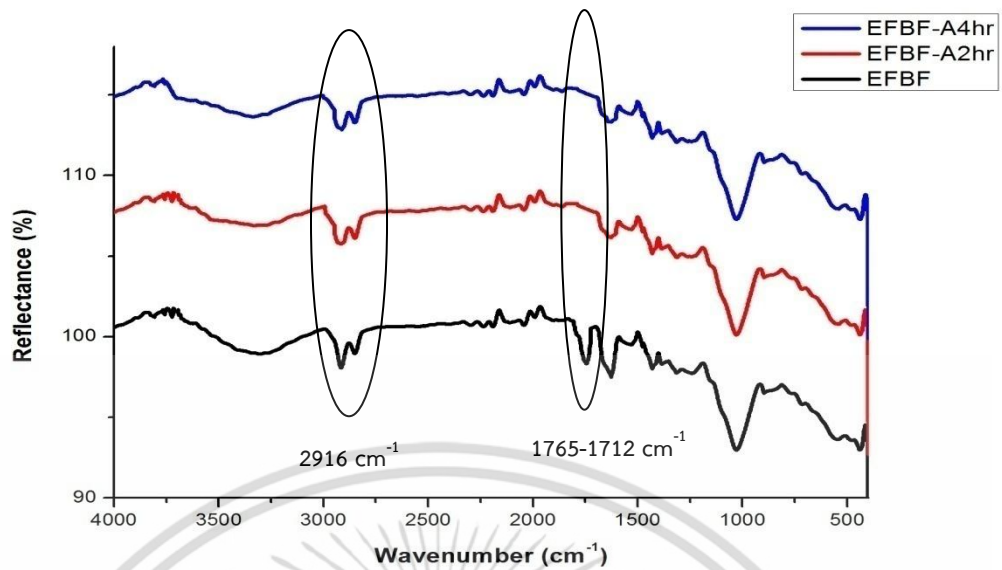
เลขคลื่น(cm^{-1})	หมู่ฟังก์ชัน	องค์ประกอบของเส้นใย
4000-2995	-OH	เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน
2900	H-C-H	เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน
1765-1715	C=O	เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน
1730-1700	H-C-H	ลิกนิน
1632	C=C	เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน
1613, 1450	C=C	ลิกนิน
1430	O-CH ₃	ลิกนิน
1270-1232	C-O-C	เซลลูโลส และลิกนิน
1170-1082	C-O-C	เซลลูโลส
1108	-OH	เฮมิเซลลูโลส



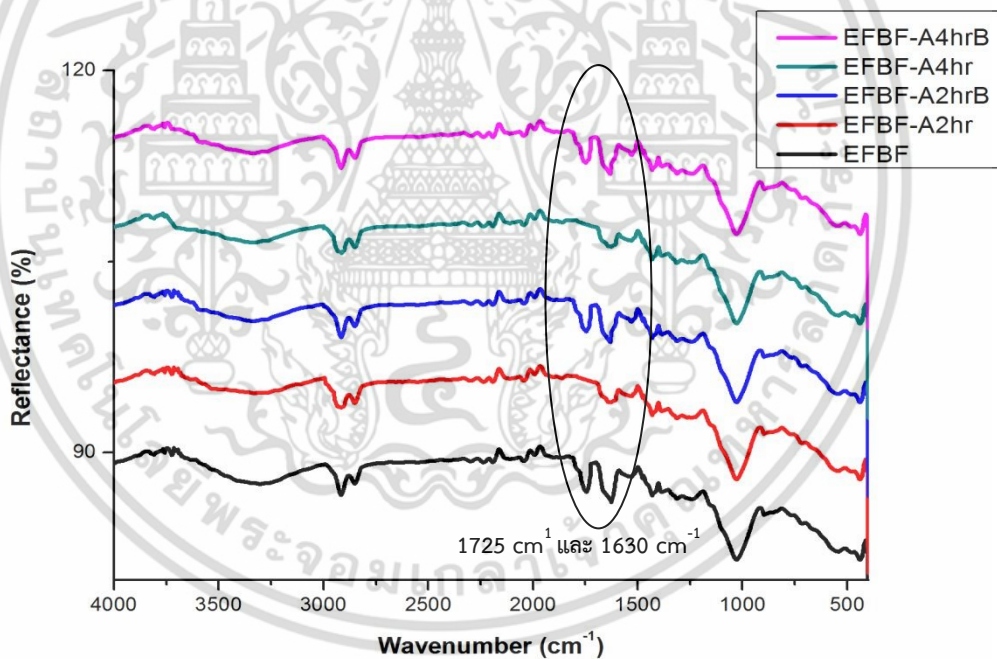
รูปที่ 4.31 ATR FT-IR สเปกตรัมของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงเส้นใย

สเปกตรัมของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ แสดงในรูปที่ 4.32 พบว่าเส้นใยที่ถูกปรับปรุงเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีความเข้มของพีคช่วงที่ $3600-3100 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นพีคแถบการสั่นแบบยืดของ -OH ที่ลดลงกว่ากรณีที่เส้นใยยังไม่ได้ผ่านการปรับปรุง เนื่องจากปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นการลดพันธะไฮโดรเจนเนื่องจากการกำจัดหมู่ไฮดรอกซิลซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 4.2 พีคที่ช่วง $1765-1712 \text{ cm}^{-1}$ แสดงพีคแถบการสั่นแบบยืดของ C=O ของหมู่คาร์บอนิลในเฮมิเซลลูโลส อะโรมาติกในลิกนิน คาร์บอกซิลิกที่มาจากกรดไขมันที่อยู่ในแก้วซีไม่ปรากฏเนื่องจากถูกกำจัดออกไป พีคที่ 2916 cm^{-1} แสดงพีคแถบการสั่นแบบยืดของ -CH และ -CH₂ ในเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินลดลงด้วย [82]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



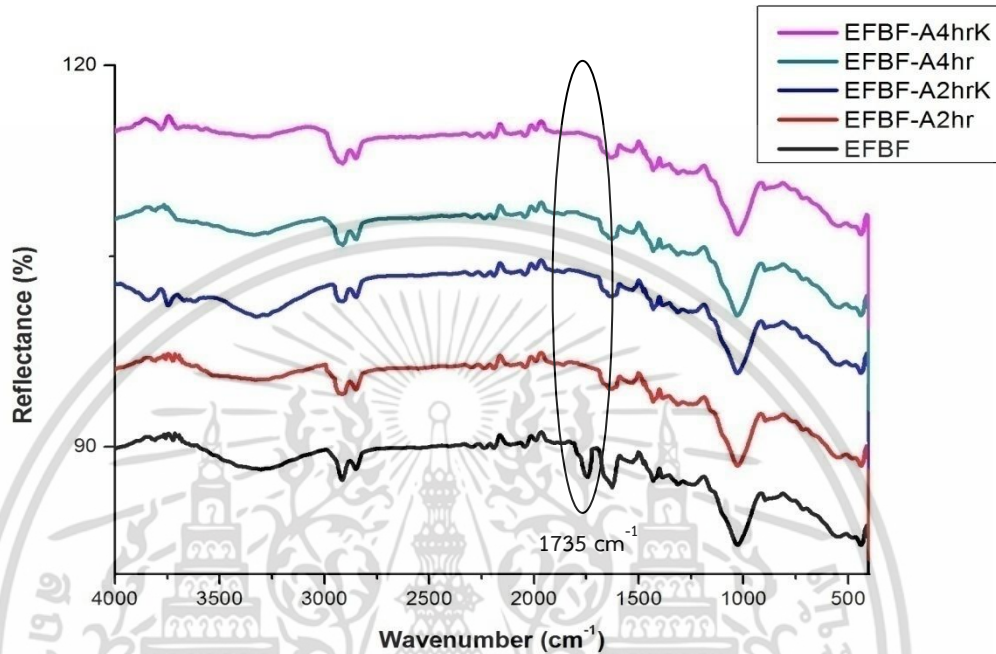
รูปที่ 4.32 ATR FT-IR สเปกตรัมของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับปรุงเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ 4.33 ATR FT-IR สเปกตรัมของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับปรุงเส้นใยด้วยวิธีเบนโซเลชัน

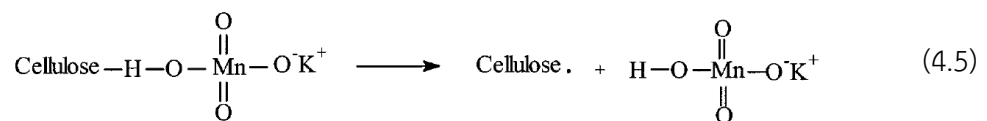
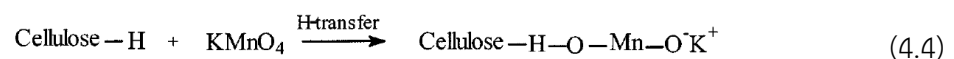
สเปกตรัมของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับปรุงเส้นใยด้วยวิธีเบนโซเลชัน แสดงในรูปที่ 4.33 โดยนำเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 5% w/v เป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ มาทำการปรับปรุงพื้นผิวต่อด้วยเบนโซอิลคลอไรด์ พบว่าสเปกตรัมของพีกช่วงที่ $3600-3100\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นพีกแถบการสั่นแบบยืดของ $-OH$ มีความเข้มของพีกที่ลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับเส้นใยที่ยังไม่ได้ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว เนื่องจากปรับปรุงด้วยเอกซามีนเป็นอีกสารหนึ่งซึ่งมีฤทธิ์เป็นเบสเพื่อปรับค่า pH ให้เป็นกลาง เมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกลางค่า pH นี้ไม่ต่ำกว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบนโซอิลคลอไรด์ เป็นการลดพันธะไฮโดรเจนเนื่องจากการกำจัดหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 4.3 พีกที่ 1630 cm^{-1} และ 655 cm^{-1} เกิดขึ้นเนื่องจากมีวงอะโรมาติกเกิดขึ้น เมื่อเทียบกับกรณีเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ไม่ปรากฏ และยังมีปรากฏพีกที่ 1725 cm^{-1} และ 1310 cm^{-1} เกิดจากการที่หมู่เอสเทอร์เกิดขึ้น [58]



รูปที่ 4.34 ATR FT-IR สเปกตรัมของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับปรุงเส้นใยด้วยวิธีเปอร์แมงกาเนต

สเปกตรัมของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับปรุงเส้นใยด้วยวิธีเปอร์แมงกาเนตถูกแสดงในรูปที่ 4.34 โดยนำเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 5% w/v เป็นเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ มาทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยต่อด้วยวิธีเปอร์แมงกาเนต พบว่าสเปกตรัมของพีกช่วงที่ $3600\text{--}3100\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นพีกแถบการสั่นแบบยืดของ -OH มีความเข้มของพีกที่ลดลงเมื่อเทียบกับเส้นใยที่ยังไม่ได้ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว เนื่องจากปรับปรุงด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต เป็นการลดพันธะไฮโดรเจนเนื่องจากการกำจัดหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 4.4 และ 4.5 และพีกที่ 1735 cm^{-1} แสดงพีกแถบการสั่นแบบยืดของ C=O ของหมู่คาร์บอนิลหายไป [83]



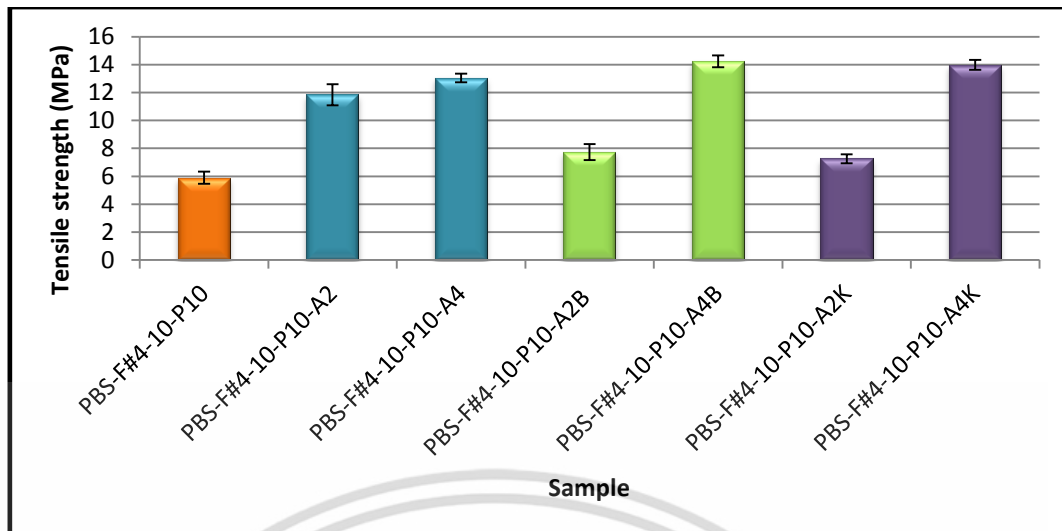
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 ผลของการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิต

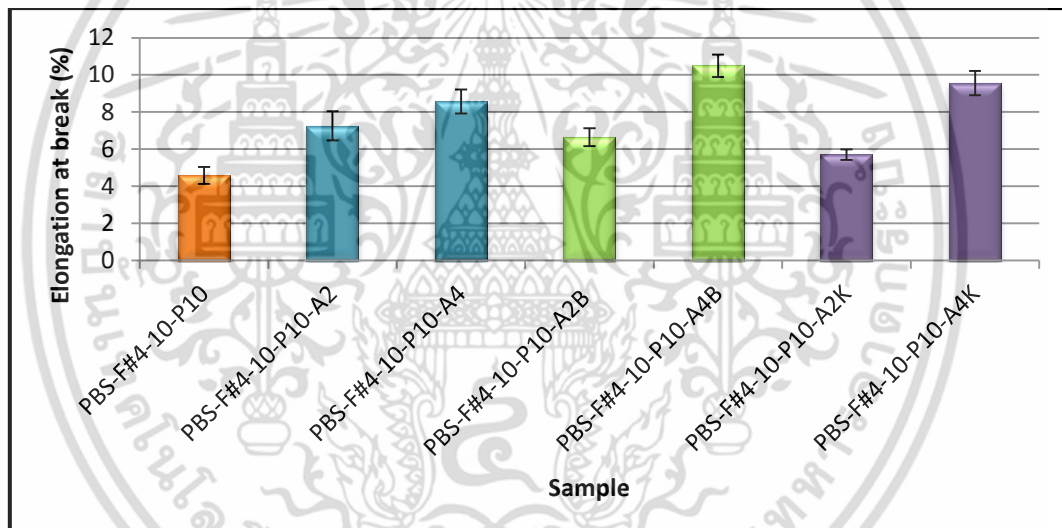
เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยด้วยวิธีอัลคาไลน์ทรिटเมนท์วิธีเบนโซเลชัน และวิธีเปอร์แมงกาเนตเสร็จแล้วถูกนำมาขึ้นรูปโดยเทคนิคการฉีดขึ้นรูปเป็นพอลิเมอร์คอมโพสิตผสมระหว่างพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า โดยศึกษาผลของการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้

จากรูปที่ 4.35 แสดงผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงดึงพบว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เส้นใยผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ ส่งผลให้มีค่าความแข็งแรงดึงที่สูงกว่าคอมโพสิตที่เส้นใยไม่ได้ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยทำให้เส้นใยและพอลิเมอร์สามารถเข้ากันได้ดีขึ้น มีความต่อเนื่องระหว่างวัฏภาคเส้นใยกับวัฏภาคเมทริกซ์มากขึ้น และลดช่องว่างระหว่างพื้นผิวของเส้นใยและเมทริกซ์ได้ ดังนั้นจึงทำให้สมบัติดังกล่าวเพิ่มขึ้น ซึ่งเห็นได้จากรูปที่ 4.28 ที่แสดงพื้นผิวของเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีต่างๆ พบว่าเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวมีความขรุขระและมีพื้นผิวที่สะอาดขึ้นกว่ากรณีที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย ดังนั้นจึงส่งผลให้เป็นการเพิ่มแรงยึดติดระหว่างวัฏภาคของเมทริกซ์กับวัฏภาคของเส้นใยให้ดีขึ้น เพราะการที่พื้นผิวเส้นใยมีลักษณะที่มีความขรุขระและมีพื้นผิวที่สะอาดขึ้นทำให้มีโอกาสเกิดการยึดเกาะเชิงกลมากขึ้น ทำให้คอมโพสิตมีค่าความแข็งแรงดึงที่สูงขึ้น

การปรับปรุงด้วยพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 5% w/v เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีค่าความแข็งแรงดึงที่สูงกว่ากรณีที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 5% w/v เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เนื่องจากถ้าสังเกตจากรูปที่ 4.28 (ค) ที่แสดงพื้นผิวของเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 5% w/v เป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่าเส้นใยมีลักษณะพื้นผิวที่มีพื้นผิวที่ขรุขระและสะอาดกว่ารูปที่ 4.28 (ข) ที่แสดงพื้นผิวของเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 5% w/v เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงกว่าส่วนการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยวิธีเบนโซเลชันและวิธีเปอร์แมงกาเนตมีผลไปในทิศทางเดียวกับกรณีที่การปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่นำเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 5% w/v เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มาใช้ในการปรับปรุงต่อนั้นให้ค่าความแข็งแรงดึงที่สูงกว่านำเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 5% w/v เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ส่วนค่าการยึดตัว ณ จุดขาด ที่แสดงจากรูปที่ 4.36 ให้ผลไปในทิศทางเดียวกับค่าความแข็งแรงดึง กรณีที่นำเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 5% w/v เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มาทำการปรับปรุงต่อด้วยวิธีเบนโซเลชันและวิธีเปอร์แมงกาเนต จะส่งผลให้มีค่าความแข็งแรงดึงที่ต่ำลง

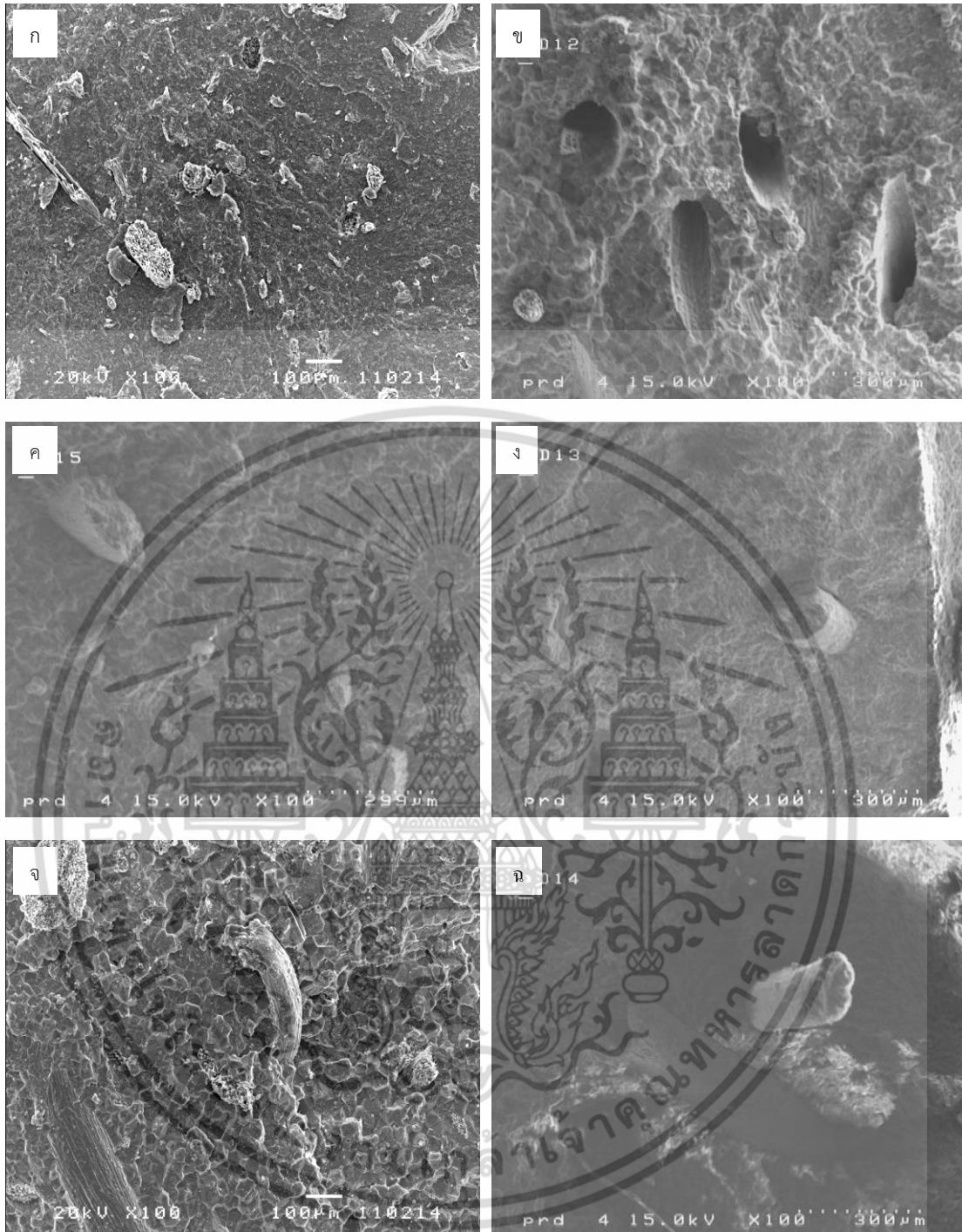


รูปที่ 4.35 ผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิต

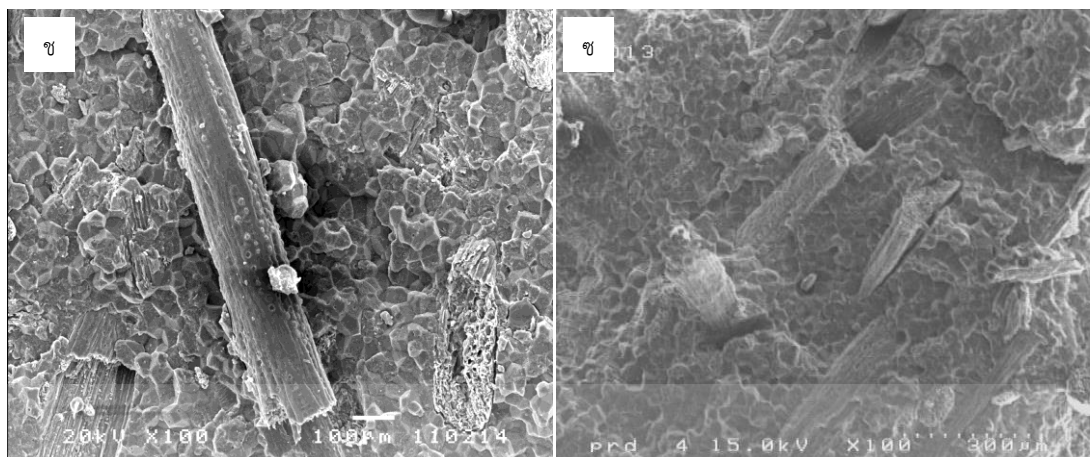


รูปที่ 4.36 ผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่ส่งผลต่อการยืดตัว ณ จุดขาดของพอลิเมอร์คอมโพสิต

จากผลที่ได้นั้นอาจกล่าวได้ว่าเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงนั้นมีแรงยึดติดระหว่างภูมิภาคเส้นใยและภูมิภาคพอลิเมอร์ที่ดีขึ้น ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับรูปที่ 4.28 (ข) (ค) (ง) (จ) (ฉ) และ (ช) ที่แสดงพื้นผิวของเส้นใยที่ได้ผ่านการปรับปรุง พบว่าพื้นผิวของเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีอัลคาไลน์ทรिटเมนต์ วิธีเบนโซเลชัน และวิธีเปอร์แมงกาเนต ตามลำดับ พบว่ามีพื้นผิวที่สะอาดขึ้นและพื้นผิวของเส้นใยมีความขรุขระมากกว่ากรณีที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงเส้นใย ดังนั้นจึงส่งผลให้เป็นการเพิ่มแรงยึดติดระหว่างภูมิภาคและลดความเป็นวัสดุที่ขอบน้ำของเส้นใย ส่งผลให้เป็นการเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างส่วนที่เป็นเมทริกซ์กับเส้นใยที่ใส่ลงไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



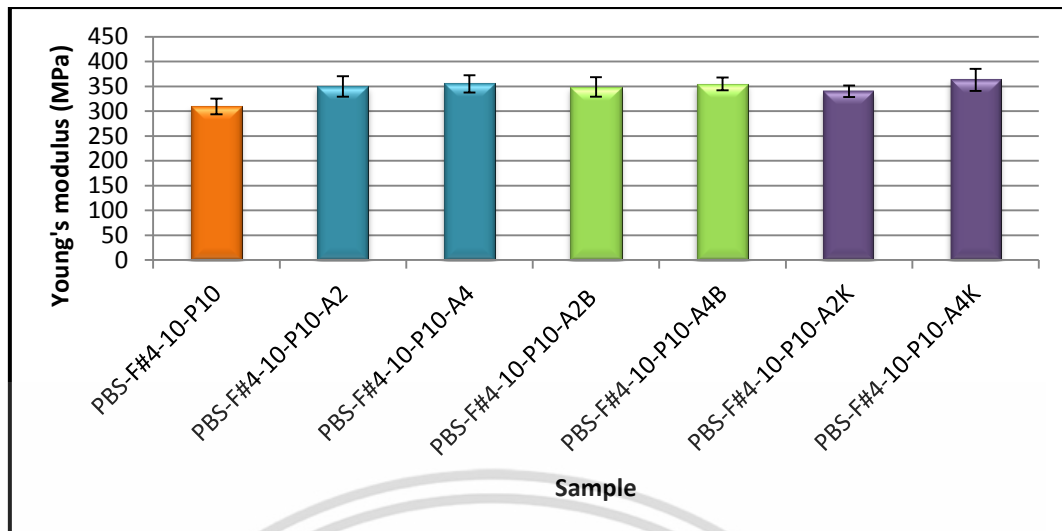
รูปที่ 4.37 ลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์คอมโพสิตผสมระหว่างพอลิอิมิดกับเส้นใย

ทะเลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการตรวจวัดด้วยเทคนิค SEM กำลังขยาย 100 เท่า (ก) EFBF (ข) EFBF-P (ค) EFBF-A2hr (ง) EFBF-A4h (จ) EFBF-A2hrB (ฉ) EFBF-A4hrB (ช) EFBF-A2hrK และ (ซ) EFBF-A2hrK

จากรูปที่ 4.37 แสดงภาพพอลิเมอร์คอมโพสิตผสมระหว่าง PBS กับ EFBF ที่ผ่านการตรวจวัดด้วย SEM พบว่ารูปที่ 4.42 (ข) มีลักษณะที่แตกต่างไปจากรูปอื่นโดยเห็นช่องว่างเป็นรูจำนวนมาก ซึ่งเกิดจากการที่เส้นใยที่ไม่ได้นำไปทำการปรับปรุงพื้นผิว ที่เป็นเช่นนั้นสามารถบอกได้ว่าแรงยึดติดระหว่างภูมิภาคเส้นใยและภูมิภาคพอลิเมอร์นั้นไม่ดี ส่งผลให้เมื่อได้รับแรงกระทำจากภายนอกไม่สามารถส่งผ่านแรงได้ เส้นใยที่ติดอยู่ที่ภูมิภาคพอลิเมอร์จึงหลุดออกมา ซึ่งช่องว่างนี้เป็นจุดบกพร่องในชิ้นงานโดยส่งผลต่อสมบัติเชิงกลให้ลดลง แต่ในรูปอื่นๆ นั้นเส้นใยได้ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือ เมื่อได้รับแรงกระทำจากภายนอกแล้วสามารถส่งผ่านแรงได้ถึงจุดๆ หนึ่งจึงเกิดการแตกหักของเส้นใย เพราะฉะนั้นอาจกล่าวได้ว่าการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยส่งผลให้แรงยึดติดระหว่างภูมิภาคเส้นใยและภูมิภาคพอลิเมอร์นั้นดีขึ้น และได้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีสมบัติเชิงกลดีขึ้นด้วย

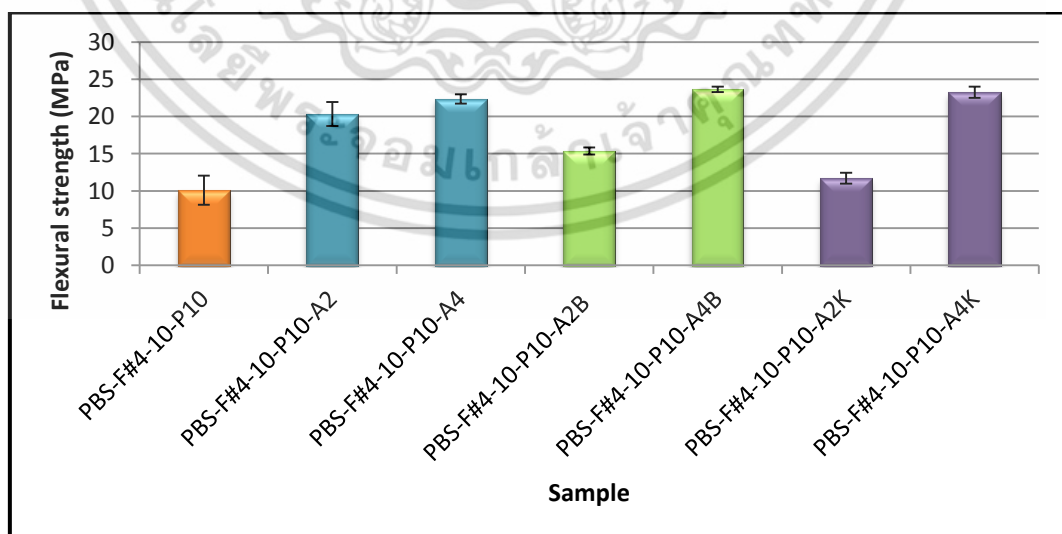
จากรูปที่ 4.38 ผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่ส่งผลต่อค่ามอดูลัสของยังของคอมโพสิต พบว่าค่ามอดูลัสของยังของคอมโพสิตที่เส้นใยผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีต่างๆ มีค่าที่สูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับคอมโพสิตที่เส้นใยไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใย จากการที่มีค่ามอดูลัสของยังที่สูงขึ้น แสดงว่าการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยทะเลายปาล์มเปล่านั้นทำให้คอมโพสิตแข็งแรงมากขึ้นเล็กน้อย เพราะแรงยึดติดระหว่างภูมิภาคของเมทริกซ์กับภูมิภาคของเส้นใยให้ดีขึ้น ทำให้การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของคอมโพสิตเกิดได้ยากขึ้น

การปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้ไซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 5% w/v เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับนั้น ไม่ได้ส่งผลต่อค่ามอดูลัสของยังที่แสดงจากรูปที่ 4.37 พบว่าการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยด้วยวิธีต่างๆ มีค่ามอดูลัสของยังที่ค่าใกล้เคียงกัน



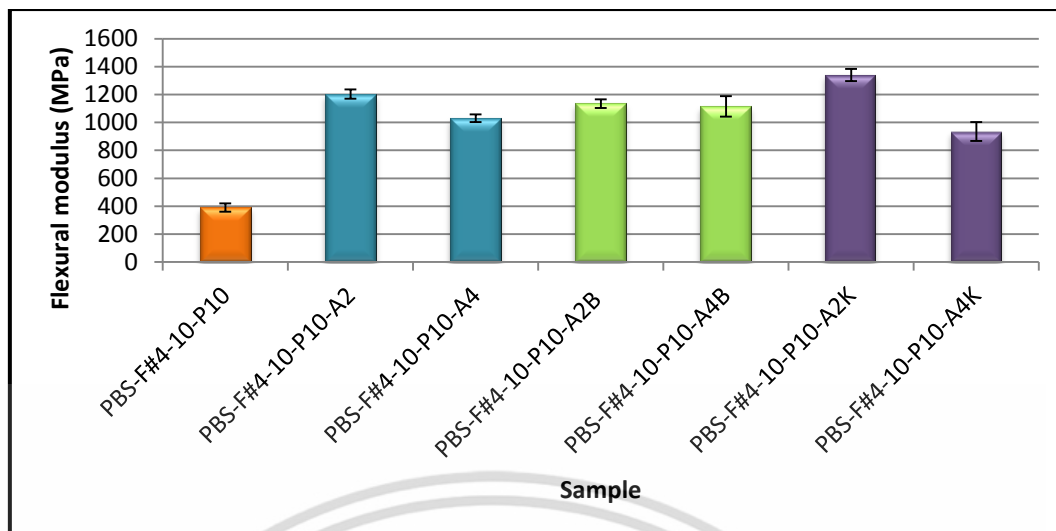
รูปที่ 4.38 ผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่ส่งผลต่อค่ามอดุลัสของยังของพอลิเมอร์คอมโพสิต

จากรูปที่ 4.39 และ รูปที่ 4.40 แสดงผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิต ค่าความแข็งแรงโค้งงอ และค่ามอดุลัสของการโค้งงอ พบว่าค่าความแข็งแรงโค้งงอมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับค่าความแข็งแรงดึง คือเมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้แช่เส้นใยในโซเดียมไฮดรอกไซด์นานขึ้นจะมีค่าความแข็งแรงโค้งงอสูงขึ้น ส่วนค่ามอดุลัสของการโค้งงอพบว่าคอมโพสิตที่เส้นใยผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ มีค่ามอดุลัสของการโค้งงอที่สูงกว่ากรณีเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว การปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 5% w/v เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีค่ามอดุลัสของการโค้งงอที่สูงกว่ากรณีที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 5% w/v เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เล็กน้อย ส่วนการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยวิธีเบนโซเลชันและวิธีเปอร์แมงกาเนตมีผลไปในทิศทางเดียวกัน



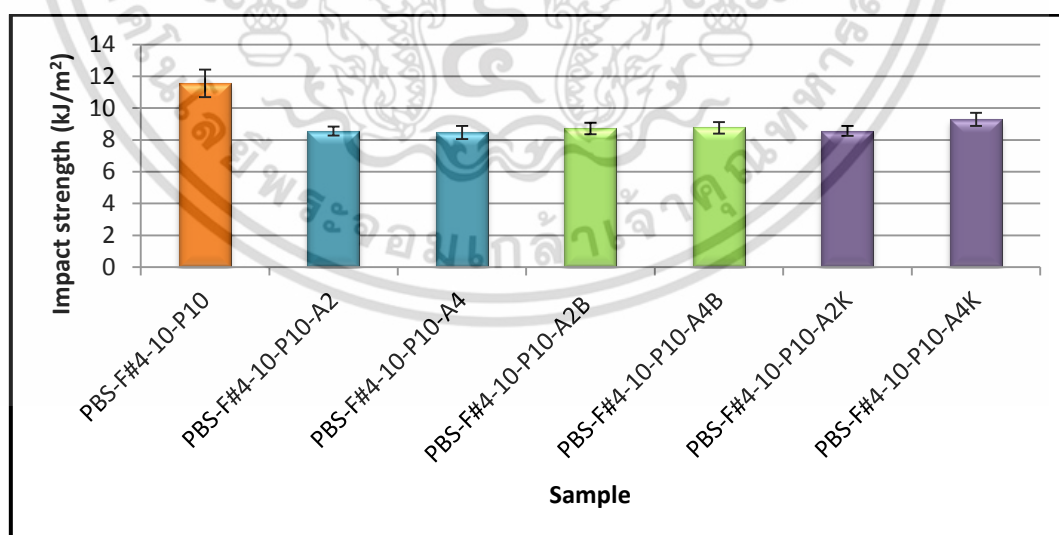
รูปที่ 4.39 ผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

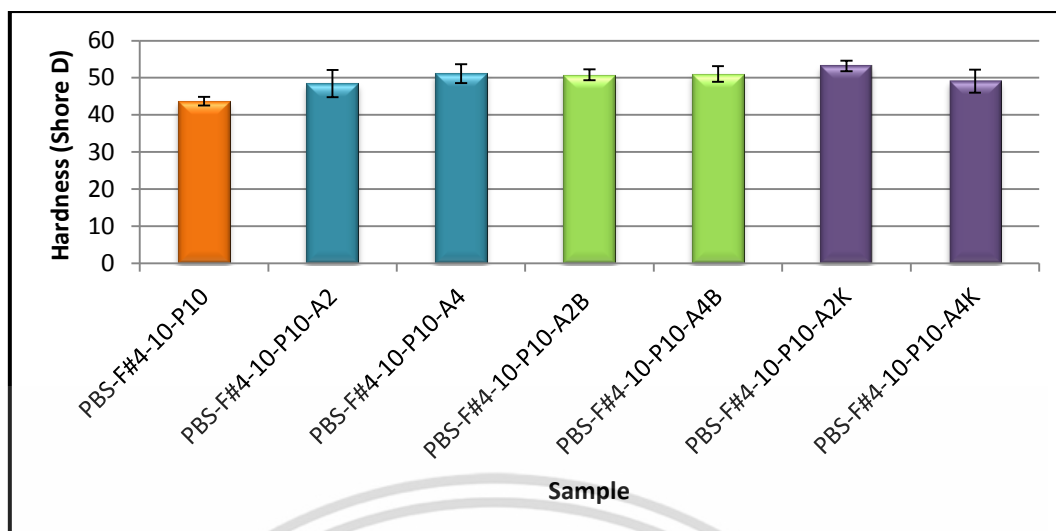


รูปที่ 4.40 ผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่ส่งผลต่อค่ามอดุลัสของการโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิต

จากรูปที่ 4.41 ผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิต พบว่าค่าความแข็งแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยส่งผลให้เส้นใยและพอลิเมอร์สามารถยึดเกาะกันได้ดีขึ้น ทำให้การเคลื่อนที่ของสายโซ่พอลิเมอร์ลดลง วัสดุคอมโพสิตแตกหักได้ง่ายขึ้นเมื่อได้รับแรงกระแทก ส่วนค่าความแข็งกดแบบ Shore D ของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากรูปที่ 4.42 พบว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เส้นใยผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ กับพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เส้นใยไม่ได้ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวมีค่าความแข็งกดแบบ Shore D ที่ไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.41 ผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิต



รูปที่ 4.42 ผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่ส่งผลต่อค่าความแข็งกดแบบ Shore D ของพอลิเมอร์คอมโพสิต

ตารางที่ 4.9 อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก อุณหภูมิการเกิดผลึก และองค์ประกอบผลึกของ PBS ในพอลิเมอร์คอมโพสิตจากการวิเคราะห์ด้วย DSC

สูตร	T_m (°C) (Peak)	T_c (°C) (Peak)	ΔH_m (J/g)	% Crystallinity
PBS-F#4-10-P10	109	69	62.6	37.7
PBS-F#4-10-P10-A2	108	70	50.8	30.6
PBS-F#4-10-P10-A4	110	75	64.2	38.7
PBS-F#4-10-P10-A2B	110	69	51.5	31.0
PBS-F#4-10-P10-A4B	109	68	64.2	38.7
PBS-F#4-10-P10-A2K	109	69	54.0	32.5
PBS-F#4-10-P10-A4K	109	68	65.1	39.2

จากการตารางที่ 4.9 เมื่อมีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่ใส่เส้นใยลงไปในพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นด้วยวิธีต่างๆ พบว่าค่าอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) และอุณหภูมิการตกผลึก (T_c) มีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่การปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยส่งผลต่อองค์ประกอบผลึก เมื่อดูที่ผลของการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยพบว่าการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 5% w/v เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีองค์ประกอบผลึกที่สูงกว่ากรณีที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 5% w/v เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เนื่องจากการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 5% w/v เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ส่งผลให้การเกิดผลึกเกิดได้ง่ายกว่าเพราะรอยต่อระหว่างวัฏภาคมีน้อยกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบสมบัติเชิงกลต่างๆ เช่น ค่าความแข็งแรงดึง ค่าการยืด ๓ จุดขาด ค่าความแข็งแรงโค้งงอ ที่มีค่าที่สูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยวิธีเบนโซเลชันและวิธีเปอร์แมงกาเนตมีผลไปในทิศทางเดียวกับกรณีที่มีการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่นำเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 5% w/v เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มาใช้ในการปรับปรุงต่อนั้นให้ค่าองค์ความเป็นผลึกที่สูงกว่าการปรับการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 5% w/v เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และส่งผลให้ได้ค่าสมบัติเชิงกลต่างๆ ที่สูงขึ้นด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตชีวภาพชนิดย่อยสลายได้ระหว่างพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปลาที่สามารถเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตได้โดยใช้เครื่องผสมภายใน และกระบวนการฉีดขึ้นรูปเพื่อศึกษาปัจจัยบางประการที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้ซึ่งได้ผลการวิจัยดังนี้

1. จากการศึกษาผลของขนาดของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปลาที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต พบว่าความแข็งแรงดึง ค่าการยืดตัว ณ จุดขาด ค่าความแข็งแรงโค้งงอ และค่าความแข็งแรงกระแทก มีค่าลดลงเมื่อนำเส้นใย EFBF ใส่ลงไปในพอลิเมอร์คอมโพสิต แต่มีค่ามอดูลัสของยัง ค่ามอดูลัสของการโค้งงอ และค่าความแข็งแรงกดที่สูงขึ้น โดยขนาดของเส้นใย EFBF ขนาดแตกต่างกันที่ใส่ลงไปในพอลิเมอร์คอมโพสิตนั้นไม่ได้ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตที่ได้ จากการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วย DSC พบว่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) อุณหภูมิการเกิดผลึก (T_c) และองศาความเป็นผลึกมีค่าที่สูงขึ้น เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ได้ใส่เส้นใยทะเลลายปาล์มเปลาในพอลิเมอร์คอมโพสิต

2. ในการศึกษาผลของปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปลาที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต โดยเลือกใช้เส้นใยเบอร์ 4 ซึ่งเป็นเส้นใยที่มีปริมาณมากที่สุด ค่าสัดส่วนความเพริยาวสูงสุด และมีขนาดเส้นใยที่เล็กที่สุด นำมาขึ้นรูปเป็นพอลิเมอร์คอมโพสิตพบว่าเมื่อทำการเพิ่มปริมาณเส้นใย EFBF ที่ใส่ลงไปในพอลิเมอร์คอมโพสิต ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึง ค่าการยืดตัว ณ จุดขาด ค่าความแข็งแรงโค้งงอ ค่าความแข็งแรงกระแทก และค่าความแข็งแรงกดของคอมโพสิตที่ได้มีแนวโน้มลดลง โดยมีความแข็งแรงกดที่สูงที่สุดที่ใช้ปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปลา 10 php ซึ่งผลของสมบัติเชิงกลสอดคล้องกับภาพถ่าย SEM เมื่อมีการใส่เส้นใย EFBF คอมโพสิตมากขึ้นส่งผลให้การกระจายตัวของเส้นใย EFBF นั้นไม่ดีมีการกระจุกตัวรวมกัน และการใส่เส้นใย EFBF ในปริมาณมากทำให้มีช่องว่างระหว่างเส้นใยน้อย ยากต่อการผสมให้เกิดความเข้ากันระหว่างพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับเส้นใยอาจทำให้เส้นใยเกิดการเปียกได้ไม่สมบูรณ์ ปริมาณเส้นใย EFBF ที่ส่งผลต่อค่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก อุณหภูมิการเกิดผลึก และค่าองศาความเป็นผลึก พบว่าเมื่อเราเพิ่มปริมาณเส้นใย EFBF ที่ใส่ลงในพอลิเมอร์คอมโพสิต อุณหภูมิหลอมเหลวผลึก และอุณหภูมิการเกิดผลึกมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง แต่ค่าองศาความเป็นผลึกสูงขึ้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเส้นใยที่ใส่ในคอมโพสิต

3. จากการศึกษาผลของปริมาณการใส่พลาสติกไซเซอร์ที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต พบว่าการเพิ่มปริมาณการใส่พลาสติกไซเซอร์ส่งผลให้สมบัติเชิงกลต่างๆ มีแนวโน้มที่ลดลง แต่ค่าความแข็งแรงกระแทกมีค่าที่สูงขึ้น โดยปริมาณพลาสติกไซเซอร์ 10 php เหมาะสมที่สุดเพราะถ้าใช้ปริมาณพลาสติกไซเซอร์มากกว่า 10 php ความแข็งแรงกระแทกมีค่าคงที่ และถ้าใส่ในปริมาณที่มากขึ้นทำให้เกิดการเคลื่อนตัวหรือแพร่ออก (Bleeding) จากวัสดุคอมโพสิต ผลของการใส่พลาสติกไซเซอร์ที่มีต่อสมบัติทางความร้อนจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC พบว่าการใส่พลาสติกไซเซอร์ส่งผลให้ค่าอุณหภูมิการเกิดผลึก และอุณหภูมิหลอมเหลวผลึกมีแนวโน้มลดลง ส่วนค่าองศาความเป็นผลึกมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ในการศึกษาวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยด้วยวิธีอัลคาไลน์ทริตเมนต์ วิธีเบนโซเลชัน และวิธีเปอร์แมงกาเนต ที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต พบว่าพื้นผิวของเส้นใยที่ยังไม่ได้ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยมีความสกปรกจากคราบของแว็กซ์ และน้ำมันที่เคลือบอยู่ที่ผิวของเส้นใยซึ่งดูได้จากภาพถ่าย SEM แต่เส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวพบว่าพื้นผิวของเส้นใยมีความขรุขระ และพื้นผิวที่สะอาดขึ้น เส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยด้วยกระบวนการทางเคมี ดูดความชื้นได้น้อยลง โดยเฉพาะเส้นใยที่การปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยวิธีเบนโซเลชันที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไซเตียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 5% w/v เป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีค่าการดูดความชื้นที่น้อยที่สุด

คอมโพสิตที่ทำการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยกระบวนการทางเคมีนั้นส่งผลให้คอมโพสิตที่ได้มีค่าแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัสของยัง ค่าความแข็งแรงโค้งงอที่สูงขึ้น แต่ได้ค่าความแข็งแรงกระแทกที่ลดลงเล็กน้อยจากผลที่ได้นั้นสามารถบอกได้ว่าเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงนั้นมีแรงยึดติดระหว่างภูมิภาคเส้นใยและภูมิภาคพอลิเมอร์ที่ดีขึ้น ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยด้วยวิธีอัลคาไลน์ทริตเมนต์ วิธีเบนโซเลชัน และวิธีเปอร์แมงกาเนต ส่งผลให้เป็นการเพิ่มแรงยึดติดระหว่างภูมิภาคเส้นใยและภูมิภาคพอลิเมอร์ ลดความเป็นวัสดุที่ขบน้ำของเส้นใย ส่งผลให้เป็นการเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างส่วนที่เป็นเมทริกซ์กับส่วนเส้นใยที่ใส่ลงไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. พยายามควบคุมขนาดของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าขนาดต่างๆ ที่นำมาศึกษาในงานวิจัยให้มีขนาดอยู่ในช่วงที่ต้องการศึกษาจริงๆ เพื่อได้ผลการทดลองที่ถูกต้องและสามารถยืนยันได้
2. ขณะที่ทำการผสมพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิบิวทิลีนซึกซิเนต ควรระมัดระวังเรื่องความชื้นในระบบให้ดี เพราะความชื้นที่มีอยู่ในระบบมีผลต่อสมบัติของ พอลิบิวทิลีนซึกซิเนตอย่างมาก อาจทำให้เกิดการย่อยสลายผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของหมู่เอสเทอร์ได้
3. ศึกษาวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยต่างๆ เช่น อะซีทิลเลชัน (Acetylation) ซิเลน-ทริตเมนต์ (Silane treatment) เป็นต้น
4. ศึกษาชนิดของเส้นใยต่างๆ เช่น เส้นใยกาบมะพร้าว เส้นใยปอ เส้นใยปานศรณารายณ์ และปริมาณที่แตกต่างกันออกไป เนื่องจากเส้นใยแต่ละชนิดมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน
5. ศึกษาชนิดของพอลิเมอร์ต่างๆ เช่น พอลิแลกติกแอซิด พอลิไฮดรอกซีอัลคานอยด์ (Polyhydroxyalkanoates, PHAs) เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Makarian, J. 2005. "Wood composites: current trends in materials and process." *Plastics Additives and Compounding*. 7(5) :20-25.
- [2] Holbery, J. and Houston, D. 2006. "Natural fiber reinforced polymer composites in automotive applications." *The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society (TMS)*. 58(11) : 80-6.
- [3] Cheung, H.Y. Ho, M.P. Lau, K.T. Cardona, F. and Hui, D. 2009. "Natural fibre-reinforced composites for bioengineering and environmental engineering applications." *Composites Part B*. 40 : 655-63.
- [4] ปิยวุฒิ มาศโค้ง, ปิยพงศ์ บัวโฮม, พงศ์ประพาส ปิยมโนชา, วุฒิพงษ์ รังสีสันติวานนท์ และสุรัตน์ อาริรัตน์. 2008. "การเตรียมคอมโพสิตของพอลิยูรีเทนโพนผสมเส้นใยปอ." *Ladkrabang Engineering Journal*. 25(3) : 42-47
- [5] Cho, D. Lee, S.G. Park, W.H. and Han, S.O. 2002. "Eco-friendly biocomposites materials using Biofibres." *Composites Science and Technology*. 13(4) : 460-76.
- [6] Lee, S.H. and Wang, A. 2006. "Biodegradable polymers/bamboo fiber biocomposite with bio-based coupling agent." *Composites Part A*. 37 : 80-91.
- [7] Hirotsu, T. Tsujisaka, T. Masuda, T. and Nakayama, K. 2000. "Plasma surface treatments and biodegradation of poly (butylene succinate) sheets." *Journal of Applied Polymer Science*. 78 : 1121-9.
- [8] Lee, S.M. Choa, D. Park, W.H. Lee, S.G. Han, S.O. and Drzal, L.T. 2005. "Novel silk/poly(butylenes succinate) biocomposites: the effect of short fibre content on their mechanical and thermal properties." *Composites Science and Technology*. 65 : 647-57.
- [9] บริษัทสุksomบุญน้ำมันปาล์ม. 2556. **องค์ประกอบของต้นปาล์มน้ำมัน**. [Online]. Available : <http://www.suksomboon.com>.
- [10] ชาย ไชรวิส และสุรภิตติ ศรีกุล. 2553. **เอกสารวิชาการปาล์มน้ำมัน**. เอกสารวิชาการลำดับที่ 16/2547. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- [11] Mohanty, A.K. Misra, M. and Drzal, L.T. 2005. **Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites**. Florida : CRC Press.
- [12] John, M.J. and Anandjiwala, R.D. 2008. "Recent development in chemical modification and characterization of natural fiber-reinforced composites." *Polymer Composites*. 29(2) : 187-207.
- [13] Prasad, S.V. Pavithran, C. and Rohatgi, P.K. 1983. "Alkali treatment of coir fibers for coir-polyester Composites." *Journal of Materials Science*. 18 : 1443-54.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] Rahman, M.M. and Khan, M.A. 2007. "Surface treatment of coir (*Cocosnucifera*) fibers and its influence on the fibers' physico-mechanical properties." *Composites Science and Technology*. 67 : 2369–76.
- [15] Islam, M.N. Rahman, M.R. Haque, M.M. and Huque, M.M. 2010. "Physico-mechanical properties of chemically treated coir reinforced polypropylene composites." *Composites Part A*. 41 : 192–8.
- [16] Bouafif,H. Koubaa, A. Perre, P. and Cloutier, A. 2008. "Effects of fibre characteristics on The physical and mechanical properties of wood plastic composites." **The 9th International Conference on Flow Processes in Composite Materials**. Canada.
- [17] Thirmizir, M. Z. A. Ishak, Z. A. M. Taib, R. M.Sudin, R. and Leong,Y. W. 2011. "Mechanical, water absorption and dimensional stability studies of kenafbastfibre-filledPoly(butylene succinate) composites." *Polymer-Plastics Technology and Engineering*. 50 : 339–348.
- [18] อธิพิล แจ้งชัด. 2554. **พอลิเมอร์คอมโพสิต**. เอกสารประกอบการศึกษา. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [19] สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2554. **พลาสติกชีวภาพ**. [Online]. Available : <http://biology.ipst.ac.th/index.php/article-year-2554/314-bioplastic-bioplastic.html>.
- [20] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2550. **ประเภทของพลาสติกย่อยสลายได้**. [Online]. Available: http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable_plastic/type_de_plas.html.
- [21] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2550. **ผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อม**. [Online]. Available : http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable_plastic/plastic_envi.html.
- [22] Review of Life Cycle Assessments for Bioplastics by Dr. Martin Patel, Department of Science, Technology and Society, Utrecht University, Nov. 2001.
- [23] สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ. 2552. **เทคโนโลยีของประเทศผู้นำด้านพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ**. [Online]. Available : <http://www.nia.or.th/download/document/chapter3.pdf>.
- [24] สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ. 2552. **Polybutylene succinate**. [Online]. Available : <http://www.nia.or.th/innolinks/page.php?issue=200903§ion=6>.
- [25] Showa Highpolymer Co.,Ltd. Biodegradable aliphatic polyester technical data sheet .
- [26] แหล่งรวมข้อมูลวัสดุก่อสร้างครบวงจร. 2552. **Wood plastic Composite**. [Online]. Available : <http://www.ebuild.co.th>.
- [27] Moistureshield professional grade decking. 2005. **Wood Composite**. [Online]. Available : <http://www.moistureshield.com/images/productInfo>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [28] Cellulose. 2010. **Structural unit**. [Online]. Available : <http://www.lsbu.ac.uk/water/hycel.html>.
- [29] Kroschwitz, J.I. 1990. "Encyclopedia of Polymer Science and Engineering." 2nd ed John Wiley & Sons. 6 : 655.
- [30] Banks, W.B. and Lawther, J.M. 1994. "Derivatization of wood composition." *Cellulose Polymer Blends and Composites*. (Gillbert, R.D. ed). Hanser Publishers. 131-153.
- [31] บางรักษ์ เชษฐสิงห์. 2517. **ไม้เนื้อแข็งของประเทศไทย**. กรุงเทพฯ : กรมป่าไม้.
- [32] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2556. **อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม**. [online]. Available : http://www2.diw.go.th/Standard/Web/pane_files/Industry13.asp.
- [33] บริษัท เอนเนอร์ยี คิวลิตี เซอร์วิส จำกัด. 2555. **มีโซคาร์ป(Mesocarp)**. [online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com>.
- [34] อังคณา บุญไชยสุริยา. 2554. "การผลิตโพลีเอสเตอร์จากแป้งมันสำปะหลังเสริมแรงด้วยเส้นใยปาล์มน้ำมัน." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [35] น้ำอ้อย ศรีประสม. 2552. "ลักษณะทางลำต้นและอัตราพันธุกรรมในระยะกล้าของปาล์มน้ำมัน." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพืชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [36] เกษตรพอเพียงดอทคอม. 2552. **ทางใบหมัก**. [online]. Available : <http://www.kasetporpeang.com>.
- [37] จินตนา สุขสวัสดิ์. 2556 "ไม้พลาสติกคอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีนและเส้นใยไม้จากปาล์ม น้ำมัน, เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า, เส้นใยทางใบและเส้นใยเปลือกผลปาล์ม." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [38] บริษัท สยามไบโอเอนเนอจี. 2555. **น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil)**. [Online]. Available : <http://www.siambioenergy.com>.
- [39] Biztrademarket.com Corporation. 2012. **Crude Palm Oil**. [Online]. Available : <http://www.biztrademarket.com>.
- [40] ญัตติชูญาภา ธนวัฒนาศิริกุล, ธเนศ รัตนวิไล และกลางเดือน โพนนา. 2554. "วัสดุไม้พลาสติกจากไม้ปาล์มและ HDPE." *วิศวกรรมสาร*. 38(3) : 285-296.
- [41] Sattabongkoch, T. 2011. "Wood Composites and Wood Plastic Composites." *Journal of Engineering*. 49 : 1-10.
- [42] Makarian, J. 2005. "Wood-plastic composites: current trends in materials and process." *Plastics Additives and Compounding*. 7(5) :20-25.
- [43] สมศักดิ์ วรมงคลชัย. 2547. **สารปรับแต่งพอลิเมอร์**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : บุ๊คเน็ต
- [44] Therapong, J. Prakit, T. Chairat, N. and Thera, E. 2005. "Efficiently Management of Oil Palm Garden." *Research and Development Center of Oil Palm Production*. 3 : 1-125.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [45] Pollution Control Department. 2005. "The project reduction of using plastic and foam." *Ministry of Nature Resource and Environment*. 12-20
- [46] ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา. 2555. **พลาสติกไซเซอร์**. [Online]. Available : http://webdb.dmssc.moph.go.th/ifc_toxic/a_tx_2_001c.asp?info_id=146.
- [47] เจริญ นาคะสรรค์.2546. **เทคโนโลยีเบื้องต้นทางพลาสติก**.กรุงเทพฯ: โฟร์เพช.
- [48] Li, X. Tabil, L.G. and Panigrahi, S. 2007. "Chemical treatments of natural fiber for use in natural fiber-reinforced composites: a review." *Journal of Polymers and the Environment*. 15 : 25–33.
- [49] Paul, A. Joseph, K. and Thoma, S. 1997. "Effect of surface treatments on the electrical properties of low-density polyethylene composites reinforced with short sisal fibers." *Composites Science and Technology*. 51 : 67-79.
- [50] Ray, D. Sarkar, B.K. Rana, A.K. and Bose, N.R. 2001. "Effect of alkali treated jute fibres on composite properties." *Bulletin of Materials Science*. 24(2) : 129–135.
- [51] Boynard, C.A. Monteiro, S.N. and Almeida, J.R.M. 2003. "Aspects of alkali treatment of sponge gourd (*Luffacylindrica*)fibers on the flexural properties of polyester matrix composites." *Journal of Applied Polymer Science*. 87 : 1927–1932.
- [52] Oksmana, K. Skrifvarsb, M. and Selinc, J.F. 2003. "Natural fibres as reinforcement in polylactic acid (PLA) composites." *Composites Science and Technology*. 63 : 1317–1324.
- [53] Huda, M.S. Drzal, L.T. Mohanty, A.K. and Misra, M. 2008. "Effect of fiber surface-treatments on the properties of laminated biocomposites from poly(lactic acid) (PLA) and kenaf fibers." *Composites Science and Technology*. 68 : 424–432.
- [54] Ibrahim, N.A. Hadithon, K.A. and Abdan, K. 2010. "Effect of fiber treatment on mechanical properties of kenaf fiber-ecoflex composites." *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 29 : 2192-2198.
- [55] Sreekumar, P.A. Thomas, S.P. Saiter, J.M. Joseph, K. Unnikrishnan, G. and Thomas,S. 2009. "Effect of fiber surface modification on the mechanical and water absorption characteristics of sisal/polyester composites fabricated by resin transfer molding." *Composites: Part A*. 40 : 1777–1784
- [56] Gu, H. 2009. "Tensile behaviours of the coir fibre and related composites after NaOH treatment." *Materials and Design*. 30 : 3931–3934
- [57] Joseph, S. Appukuttan, S.P. Kenny, J.M. Puglia, D. Thomas,S. and Joseph, K. 2010. "Dynamic mechanical properties of oil palm microfibril-reinforced natural rubber composites." *Journal of Applied Polymer Science*. 117 : 1298–1308.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [58] Liu, L. Yu, J. Cheng, L. and Yang, X. 2009. “Biodegradability of poly(butylene succinate) (PBS) composite reinforced with jute fibre.” *Polymer Degradation and Stability*. 94 : 90–94.
- [59] Nam, T.H. Ogihara, S.N.Tung, H. and Kobayashi, S. 2011. “Effect of alkali treatment on interfacial and mechanical properties of coir fiber reinforced poly(butylene succinate) biodegradable composites.” *Composites: Part B*. 42 : 1648–1656.
- [60] Anyakora, A.N. and Abubakre, O.K. 2011. “Effect of silane treatment on the impact strength properties of oil palm empty fruit bunch fiber-reinforced polyester composites.” *World Journal of Engineering and Pure and Applied Sciences*. 1(2) : 40-45.
- [61] Sawpan, M.A. Pickering, K.L. and Fernyhough, A. 2011. “Improvement of mechanical performance of industrial hemp fibre reinforced polylactidebiocomposites.” *Composites: Part A*. 42 : 310–319.
- [62] Sahoo, S.Misra, M. and Mohanty, A.K. 2011. “Enhanced properties of lignin-based polymercompositesusing injection moulding process.” *Composites: Part A*. 42 : 1710–1718.
- [63] Alam, A.K.M.M. Beg, M.D.H. Prasad, D.M.R. Khan, M.R. and Mina,M.F.2012. “Structures and performances of simultaneous ultrasound and alkali treated oil palm empty fruit bunch fiber reinforced poly(lactic acid) composites.” *Composites: Part A*. 43 : 1921–1929
- [64] Senawi, R. Alauddin, S.M.Saleh, R.M. and Shueb, M.I. 2013. “Polylactic acid/empty fruit bunch fiber biocomposite:Influence of alkaline and silane treatment on the mechanical properties.” *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*. 3 : 59.61
- [65] Patra, A. Bisoyi, D.K. Manda, P.K. and Singh, A.K. 2013. “Electrical and mechanical properties of the potassium permanganate treated short sisal fiber reinforced epoxy composite in correlation to the macromolecular structure of the reinforced fiber.” *Journal of Applied Polymer Science*. 128 : 1011–1019
- [66] ตรีชาติดา นำนานนท์. 2557. “การศึกษาไบโอคอมโพสิตพอลิแลคติกแอซิด/เส้นใยใบสับปะรด.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล.
- [67] มิตรชูบิชิ เคมิคอล จำกัด. Polybutylene succinate (PBS) data sheet.
- [68] ASTM D 638. 1992. **Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastic**. Philadelphia : American Society for Testing and Materials.
- [69] ASTM D 2240. 2000. **Standard Test Method for Rubber Property-Duroter Hardness**. West Conshohocken : American Society for Testing and Materials.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [70] ASTM D 256. 1993. **Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastic and Electrical Insulating Material.** Philadelphia : American Society for Testing and Materials.
- [71] ASTM D 790. **Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials.** Philadelphia : American Society for Testing and Materials.
- [72] คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา. 2004. **การวิเคราะห์ลักษณะผิวหน้าของพอลิเมอร์.** [Online]. Available : http://www.sci.buu.ac.th/~chemistry/staff/thanida/Polymer_Chemistry/image_files/chapter5.html.
- [73] Rudnik, E. 2008. **Compostable Polymer Materials.** 1sted. Kidlington : Elsevier Science.
- [74] Intertek. 2014. **Water Absorption ASTM D570.** [Online]. Available : <http://www.intertek.com/polymers/testlopedia/water-absorption-astm-d570/>
- [75] ไทยแลนด์อินดัสตรีดอทคอม. 2554. **การเลือกเทคโนโลยีการอบแห้งในอุตสาหกรรมและเพื่อลดต้นทุนการผลิต (ตอนที่ 1).** [Online]. Available : <http://www.thailandindustry.com/guru/view.php?id=13986§ion=9>
- [76] Naveen, J. Sathishkumar, T. P. and Satheeshkumar, S. 2014. “Effect of moisture absorption on the tensile behavior of woven hybrid natural fiber reinforced polymer composites.” *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology.* 3 : 1091-1095.
- [77] Bagherpour, S. 2012. **Fibre reinforced polyester composites.** Rijeka : INTECH Open Access Publisher.
- [78] Washington State University Civil and Environmental Engineering. 2000. **An introduction to the behavior and design of timber structures.** [Online]. Available : <http://timber.ce.wsu.edu/>
- [79] Migneault, S. Koubaa, A. Erchiqui, F. Chaala, A. Englund, K. and Wolcott, M.P. 2009. “Effects of processing method and fiber size on the structure and properties of wood–plastic composites.” *Composites: Part A.* 40 :80–85.
- [80] Jang, J. and Lee, D. K. 2003. “Plasticizer effect on the melting and crystallization behavior of polyvinyl alcohol.” *Polymer.* 44 :8139–8146.
- [81] ยุทธพงษ์ แซ่ตั้ง. 2549. “วัสดุทดแทนไม้พอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลางและเยื่อความร้อนเชิงกลจากไม้ยางพารา.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [82] Mwaikambo, L.Y. and Ansell, M.P. 2002. “Chemical modification of hemp, sisal, jute, and kapok fibers by alkalization.” *Journal of Applied Polymer Science.* 84 : 2222–2234.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [83] Sreekala, M.S. Kumaran, M.G. Joseph, S. and Jacob, M. 2000. "Oil palm fibre reinforced phenol formaldehyde composites: Influence of fibre surface modifications on the mechanical performance." *Applied Composite Materials*. 7: 295–329.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การทดสอบสมบัติเชิงกล

ตารางที่ ก-1 ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength), ค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) และ การยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break)

สูตร	ความแข็งแรงดึง (MPa)	มอดูลัสของยัง (MPa)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)
ผลของขนาดเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต			
PBS	27.5±1.2	321±21	12.3±0.2
PBS-F#1-20	18.1±0.2	389±69	9.0±0.7
PBS-F#2-20	17.8±0.8	452±74	8.7±0.5
PBS-F#3-20	18.3±1.1	464±22	8.1±0.2
PBS-F#4-20	19.6±0.2	458±22	8.5±0.1
ผลของปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต			
PBS-F#4-10	21.7±0.4	455±19	11.5±0.6
PBS-F#4-20	19.6±0.3	458±22	7.9±0.2
PBS-F#4-30	18.1±0.5	667±45	5.7±0.5
PBS-F#4-40	18.1±0.4	702±91	5.1±0.2
ผลของปริมาณการใส่พลาสติกไซเซอร์ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต			
PBS-F#4-10	21.7±0.4	455±19	11.5±0.6
PBS-F#4-10-P5	14.3±0.9	319±21	6.2±0.6
PBS-F#4-10-P10	5.9±0.4	309±15	4.5±0.4
PBS-F#4-10-P15	7.7±0.2	289±20	3.9±0.2
PBS-F#4-10-P20	6.0±0.3	282±21	3.0±0.1
ผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิต			
PBS-F#4-10-P10	5.9±0.4	309±15	4.5±0.4
PBS-F#4-10-P10-A2	11.8±0.7	349±20	7.2±0.7
PBS-F#4-10-P10-A4	13.0±0.3	355±17	8.5±0.6
PBS-F#4-10-P10-A2B	7.7±0.5	348±19	6.6±0.4
PBS-F#4-10-P10-A4B	14.2±0.4	354±12	10.4±0.6
PBS-F#4-10-P10-A2K	7.2±0.3	339±11	5.7±0.2
PBS-F#4-10-P10-A4K	13.9±0.3	363±21	9.5±0.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-2 ค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) และค่ามอดุลัสของการโค้งงอ (Flexural modulus)

สูตร	ความแข็งแรงโค้งงอ (MPa)	มอดุลัสของการโค้งงอ (MPa)
ผลของขนาดเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต		
PBS	65.3±0.7	597±14
PBS-F#1-20	37.7±0.6	807±17
PBS-F#2-20	38.3±0.4	799±19
PBS-F#3-20	38.7±0.4	796±15
PBS-F#4-20	39.0±0.5	832±56
ผลของปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต		
PBS-F#4-10	39.0±0.7	700±22
PBS-F#4-20	35.5±1.6	832±56
PBS-F#4-30	35.1±1.2	1032±36
PBS-F#4-40	34.5±1.8	1082±38
ผลของปริมาณการใส่พลาสติกไซเซอร์ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต		
PBS-F#4-10	39.0±0.7	700±22
PBS-F#4-10-P5	24.6±1.9	545±73
PBS-F#4-10-P10	10.0±1.9	391±29
PBS-F#4-10-P15	12.0±0.5	415±48
PBS-F#4-10-P20	9.8±0.7	391±48
ผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิต		
PBS-F#4-10-P10	10.0±1.9	391±29
PBS-F#4-10-P10-A2	20.3±1.6	1203±33
PBS-F#4-10-P10-A4	22.3±0.6	1031±27
PBS-F#4-10-P10-A2B	15.3±0.4	1134±30
PBS-F#4-10-P10-A4B	23.6±0.3	1114±73
PBS-F#4-10-P10-A2K	11.7±0.7	1339±43
PBS-F#4-10-P10-A4K	23.2±0.7	934±67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-3 ค่าความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) และ ค่าความแข็งกดแบบ Shore D (Hardness shore D)

สูตร	ความแข็งแรงกระแทก (kJ/m ²)	ความแข็งกดแบบ Shore D
ผลของขนาดเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต		
PBS	6.4±0.2	47.4±0.4
PBS-F#1-20	3.7±0.0	59.6±1.5
PBS-F#2-20	3.8±0.2	59.2±1.0
PBS-F#3-20	3.7±0.1	60.2±1.0
PBS-F#4-20	3.7±0.1	60.0±0.8
ผลของปริมาณเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต		
PBS-F#4-10	4.7±0.4	61.0±1.6
PBS-F#4-20	3.7±0.1	60.0±0.8
PBS-F#4-30	2.8±0.1	54.3±1.3
PBS-F#4-40	0.3±0.1	43.7±1.3
ผลของปริมาณการใส่พลาสติกไซเซอร์ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต		
PBS-F#4-10	4.7±0.4	61.0±1.6
PBS-F#4-10-P5	6.8±0.9	52.3±1.3
PBS-F#4-10-P10	11.5±0.8	43.7±1.1
PBS-F#4-10-P15	11.2±0.5	50.1±1.5
PBS-F#4-10-P20	11.1±0.3	46.1±1.3
ผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิต		
PBS-F#4-10-P10	11.5±0.8	43.7±1.1
PBS-F#4-10-P10-A2	8.5±0.2	48.5±3.6
PBS-F#4-10-P10-A4	8.4±0.4	51.1±2.5
PBS-F#4-10-P10-A2B	8.7±0.3	50.8±1.4
PBS-F#4-10-P10-A4B	8.7±0.3	51.0±2.1
PBS-F#4-10-P10-A2K	8.5±0.3	53.2±1.4
PBS-F#4-10-P10-A4K	9.2±0.4	49.1±3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การดูดซับน้ำของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า

การดูดซับน้ำของเส้นใย จะสามารถทดสอบได้โดยการนำเส้นใยไปแช่ในน้ำกลั่น ทำการชั่งน้ำหนักก่อนแช่และหลังจากแช่ไปทุกๆ 30 นาที จนน้ำหนักไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงแสดงว่าเส้นใยดูดน้ำจนอิ่มตัวแล้ว โดยเราสามารถคำนวณค่าการดูดซับน้ำได้จากสมการนี้

$$\text{ค่าการดูดซับน้ำ} = \frac{M_a - M_d}{M_d} \times 100$$

เมื่อ M_a คือ น้ำหนักของเส้นใยหลังจากแช่ในน้ำกลั่น
 M_d คือ น้ำหนักของเส้นใยก่อนแช่ในน้ำกลั่น

ตัวอย่างการคำนวณ

- สูตรที่ 1 EFBF

จากการทดลองจะได้

น้ำหนักของเส้นใยก่อนแช่ในน้ำกลั่น เท่ากับ 0.51 มิลลิกรัม

น้ำหนักของเส้นใยหลังแช่ในน้ำกลั่นเท่ากับ 1.65 มิลลิกรัม

$$S = \frac{1.65 - 0.51}{0.51} \times 100 = 223.53 \%$$

ผลการทดลองอื่นๆแสดงในตารางที่ ข-1

ตารางที่ ข-1เปอร์เซ็นต์การดูดความชื้นของเส้นใยที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ

เวลา (นาที)	การดูดซับน้ำของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า (%)						
	EFBF	EFBF A2hr	EFBF A4hr	EFBF A2hrB	EFBF A4hrB	EFBF A2hrK	EFBF A4hrK
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	223.53	73.91	62.89	67.86	5.08	39.29	42.79
10	239.22	126.09	94.21	75.00	45.76	51.79	52.69
15	270.59	143.48	106.90	100.00	55.23	63.79	88.90
20	296.08	182.61	116.70	108.93	74.34	102.45	109.84
25	296.08	195.65	125.88	108.93	94.91	125.89	152.52
30	296.08	204.35	125.88	112.47	94.91	146.38	152.52
35	296.08	204.35	125.88	112.47	94.91	146.38	152.52
40	296.08	204.35	125.88	112.47	94.91	146.38	152.52
70	296.08	204.35	125.88	112.47	94.91	146.38	152.52
100	296.08	204.35	125.88	112.47	94.91	146.38	152.52
130	296.08	204.35	125.88	112.47	94.91	146.38	152.52
160	296.08	204.35	125.88	112.47	94.91	146.38	152.52
190	296.08	204.35	125.88	112.47	94.91	146.38	152.52
220	296.08	204.35	125.88	112.47	94.91	146.38	152.52
250	296.08	204.35	125.88	112.47	94.91	146.38	152.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

สมบัติทางความร้อน

ทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC)

ค่าองศาความเป็นผลึก (Degree of crystallinity ; X_c) สามารถคำนวณได้ดังสมการนี้

$$X_c (\%) = \frac{\Delta H_f / \% \text{ ของ PBS ในคอมโพลีเมอร์}}{\Delta H_f^0} \times 100$$

เมื่อ ΔH_f คือ เอนทัลปี (Enthalpy) ของการหลอมเหลวของพอลิเมอร์คอมโพลีเมอร์
 ΔH_f^0 คือ ค่าเอนทัลปีของการหลอมเหลวของพอลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึก 100%
 พอลิเมอร์พอลิไบทีลีนซัคซิเนต มีค่า $\Delta H_f^0 = 210 \text{ J/g}$ [77]

ตัวอย่างการคำนวณ

- สูตรที่ 1 PBS

จากผลการทดสอบ DSC ได้ผลตามรูปที่ ค-1

$$\Delta H_f = 69.11 \text{ J/g}$$

$$X_c (\%) = \frac{69.11}{210} \times 100 = 32.9 \%$$

ผลการทดลองอื่นๆแสดงในตารางที่ ค-1

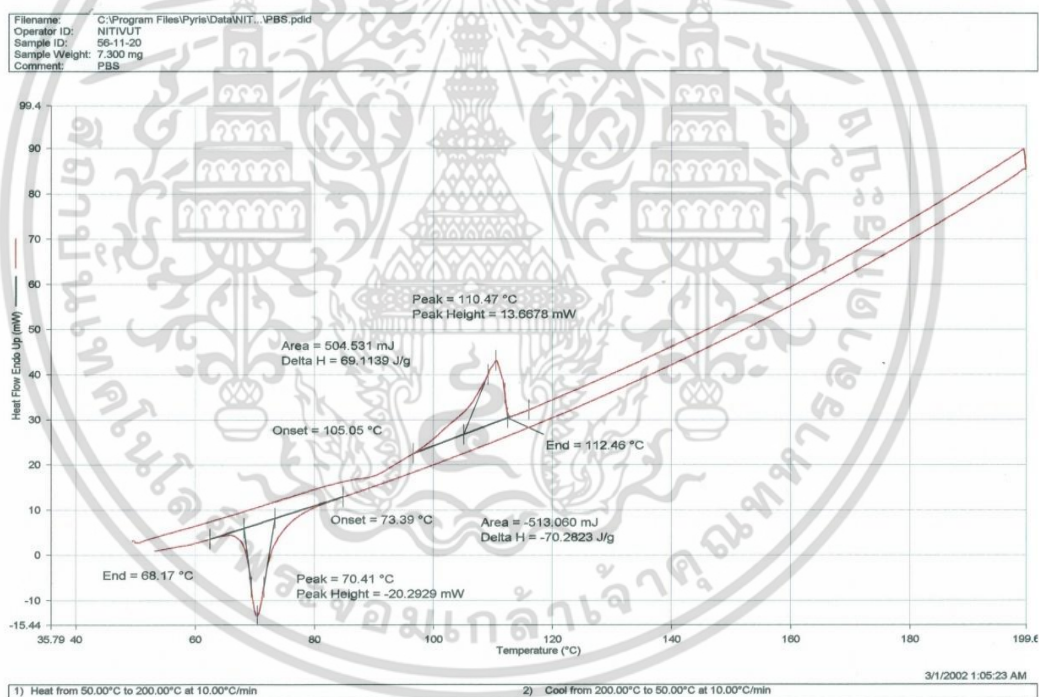
ตารางที่ ค-1 ค่าอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก อุณหภูมิการเกิดผลึก และองศาความเป็นผลึก ของ PBS ในพอลิเมอร์คอมโพลีเมอร์จากการวิเคราะห์ด้วย DSC

สูตร	T_m (°C) (Peak)	T_c (°C) (Peak)	ΔH_m (J/g)	% Crystallinity
PBS	111	70	69.1	32.9
PBS-F#1-20	114	73	61.3	36.9
PBS-F#2-20	114	73	60.8	36.7
PBS-F#3-20	114	73	62.6	37.7
PBS-F#4-20	115	74	65.8	39.7
PBS-F#4-10	116	72	67.1	37.3
PBS-F#4-20	115	74	65.8	39.7
PBS-F#4-30	114	72	55.6	36.2
PBS-F#4-40	114	72	56.3	39.3
PBS-F#4-10-P5	109	71	65.8	38.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์อื่นใด

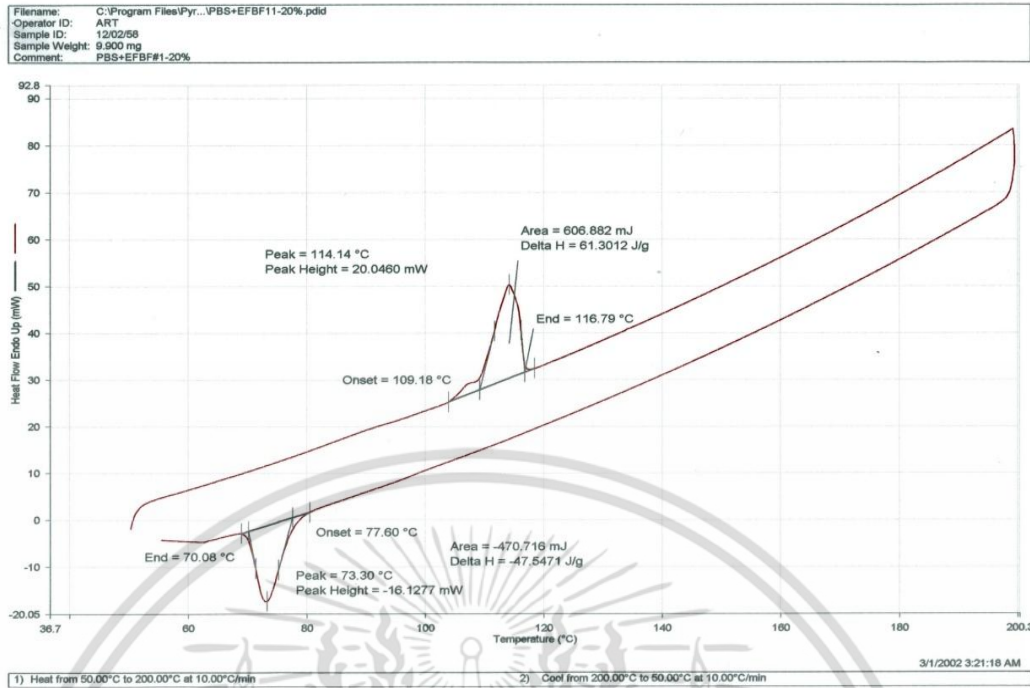
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	T _m (°C) (Peak)	T _c (°C) (Peak)	ΔH _m (J/g)	% Crystallinity
PBS-F#4-10-P10	109	69	62.6	37.7
PBS-F#4-10-P15	108	68	63.1	39.5
PBS-F#4-10-P20	107	68	62.8	40.9
PBS-F#4-10-P10	109	69	62.6	37.7
PBS-F#4-10-P10-A2	108	70	50.8	30.6
PBS-F#4-10-P10-A4	110	75	64.2	38.7
PBS-F#4-10-P10-A2B	110	69	51.5	31.0
PBS-F#4-10-P10-A4B	109	68	64.2	38.7
PBS-F#4-10-P10-A2K	109	69	54.0	32.5
PBS-F#4-10-P10-A4K	109	68	65.1	39.2

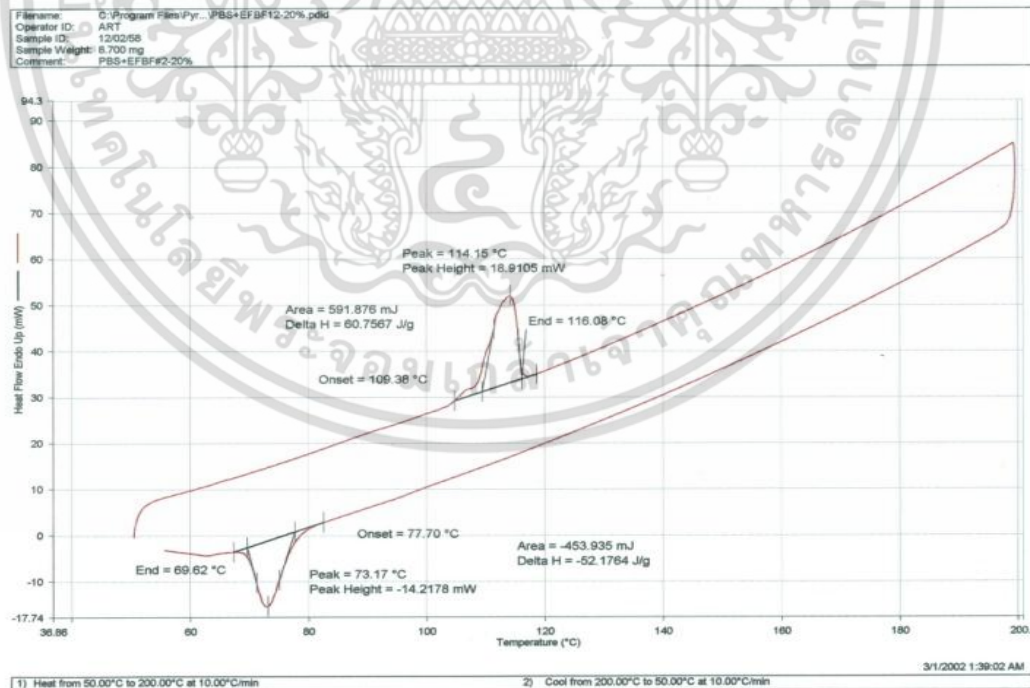


รูปที่ ค-1 PBS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

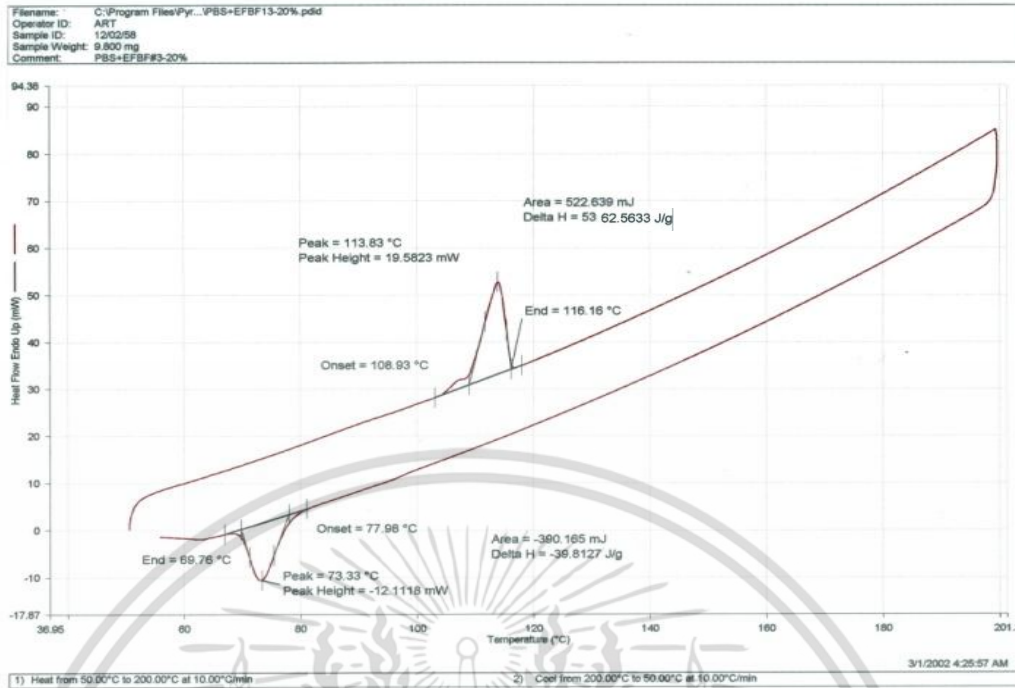


รูปที่ ค-2 PBS-F#1-20

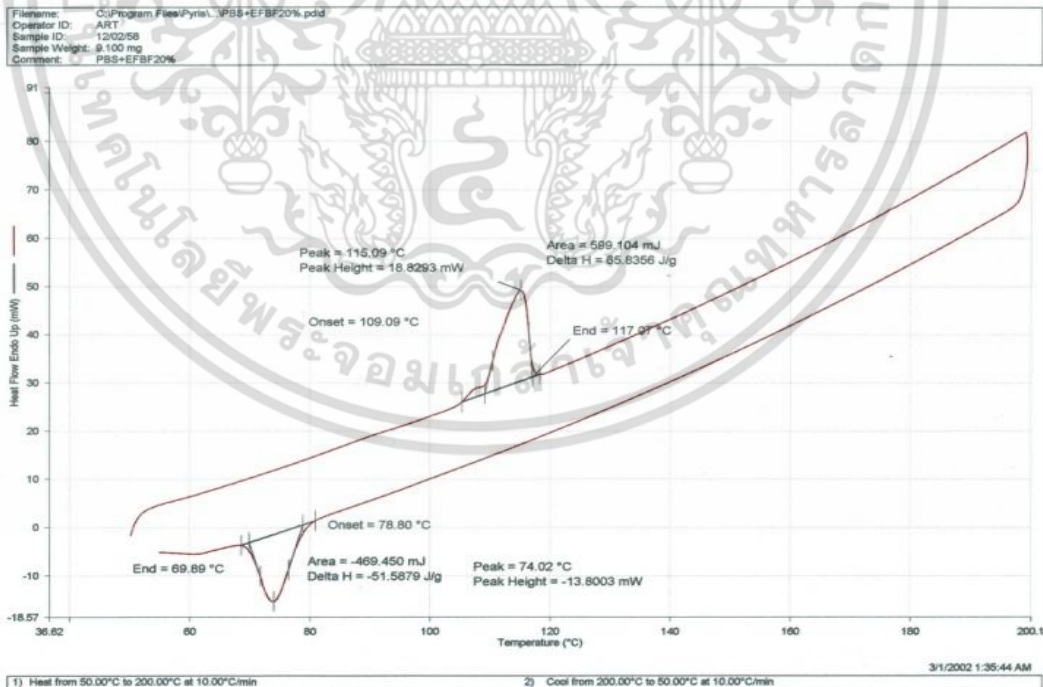


รูปที่ ค-3 PBS-F#2-20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

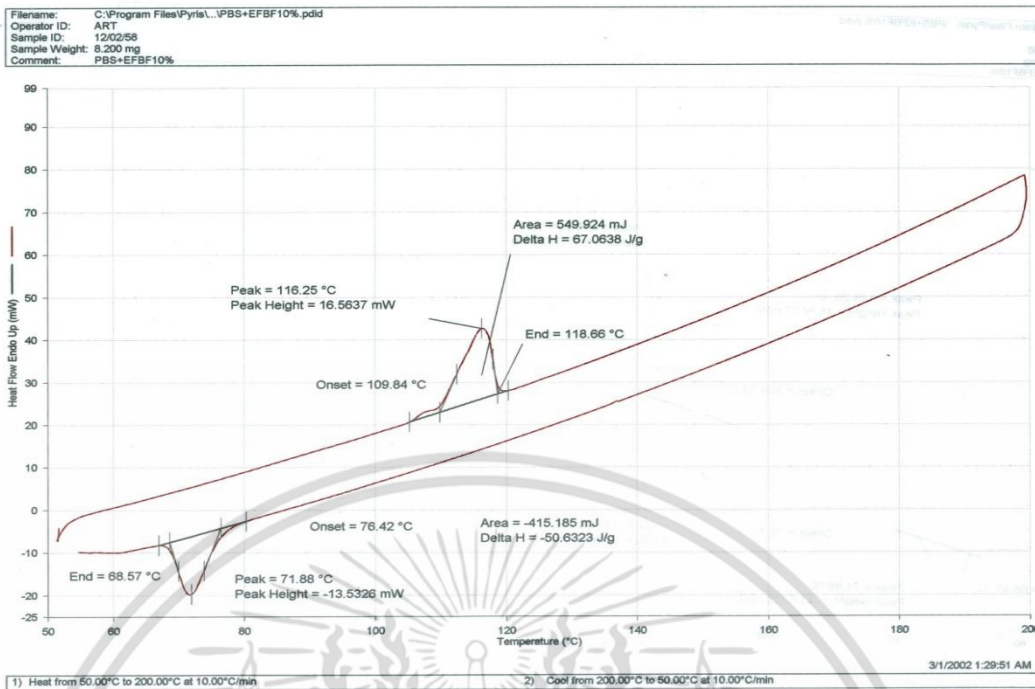


รูปที่ ค-4 PBS-F#3-20

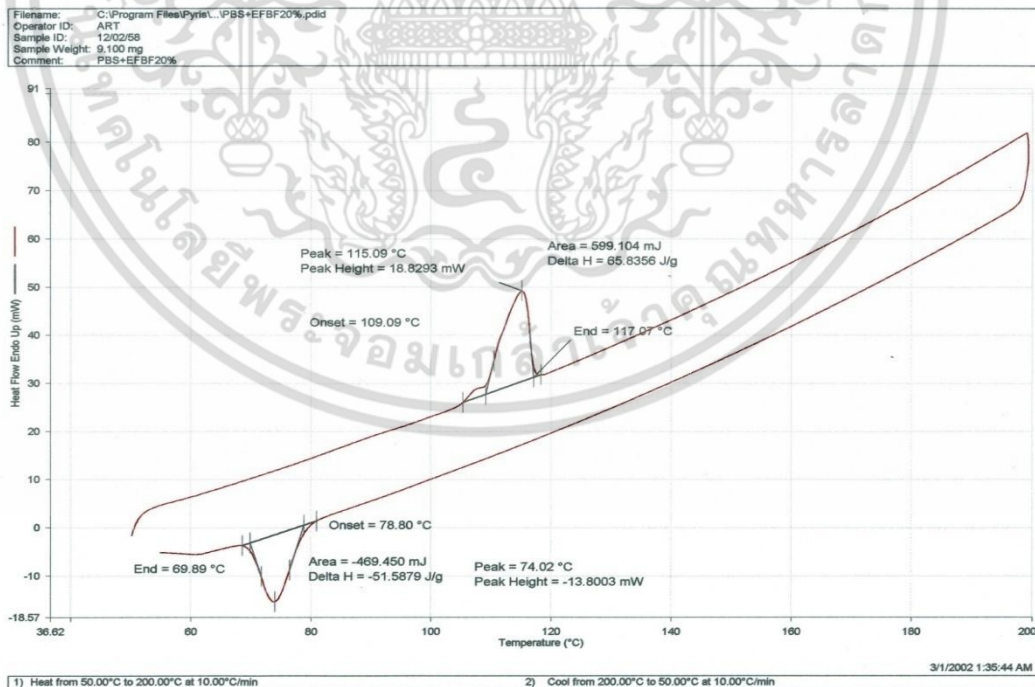


รูปที่ ค-5 PBS-F#4-20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

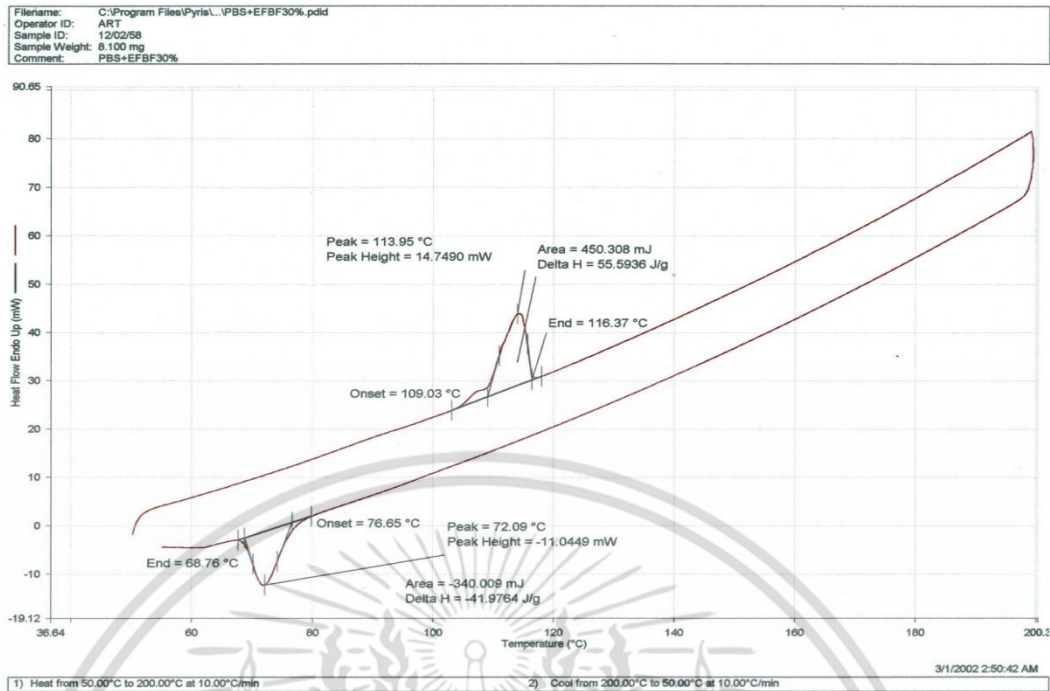


รูปที่ ค-6 PBS-F#4-10

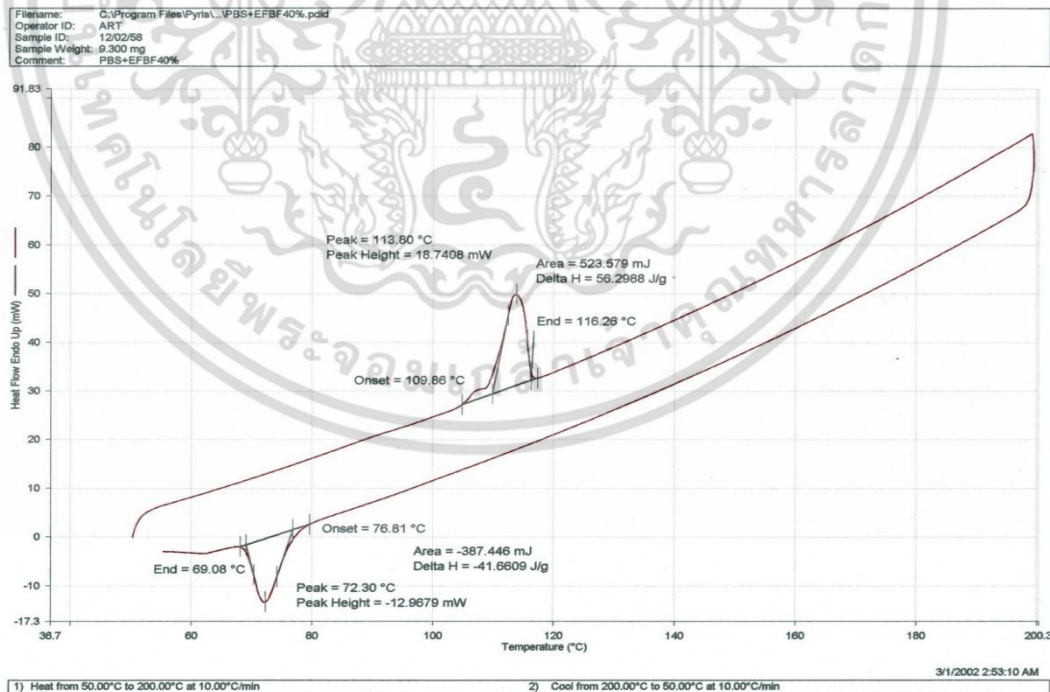


รูปที่ ค-7 PBS-F#4-20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

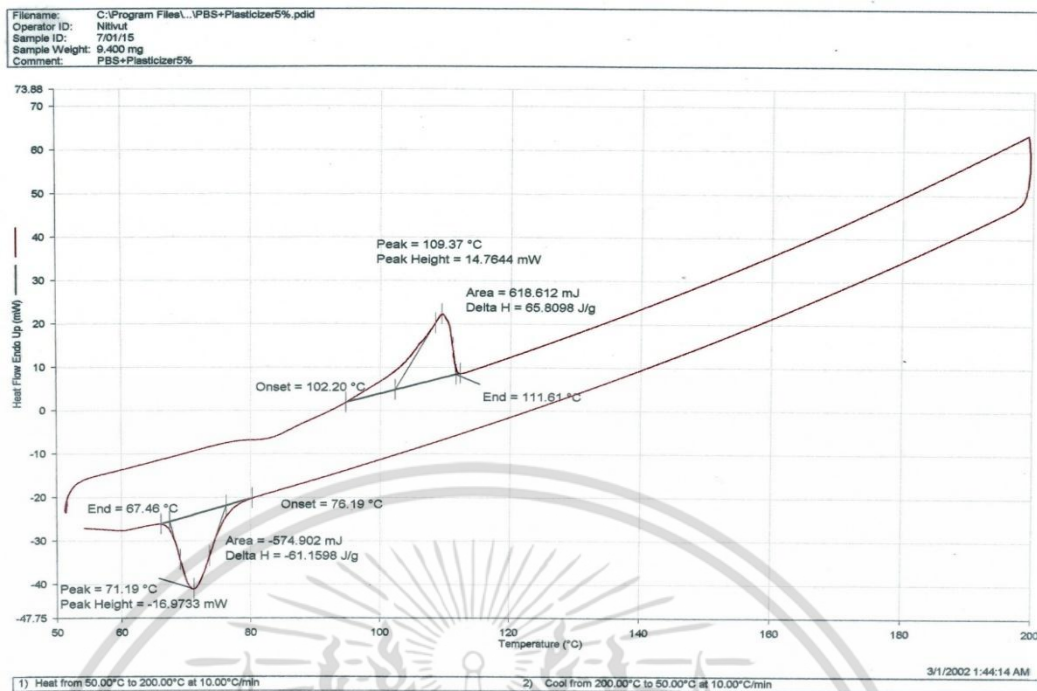


รูปที่ ค-8 PBS-F#4-30

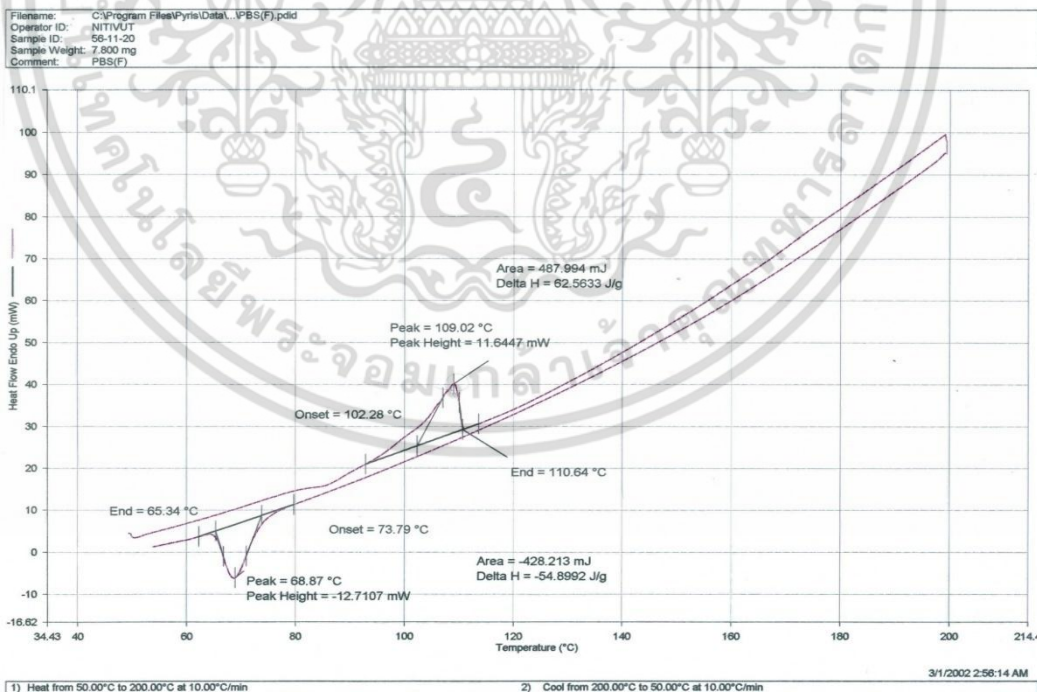


รูปที่ ค-9 PBS-F#4-40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

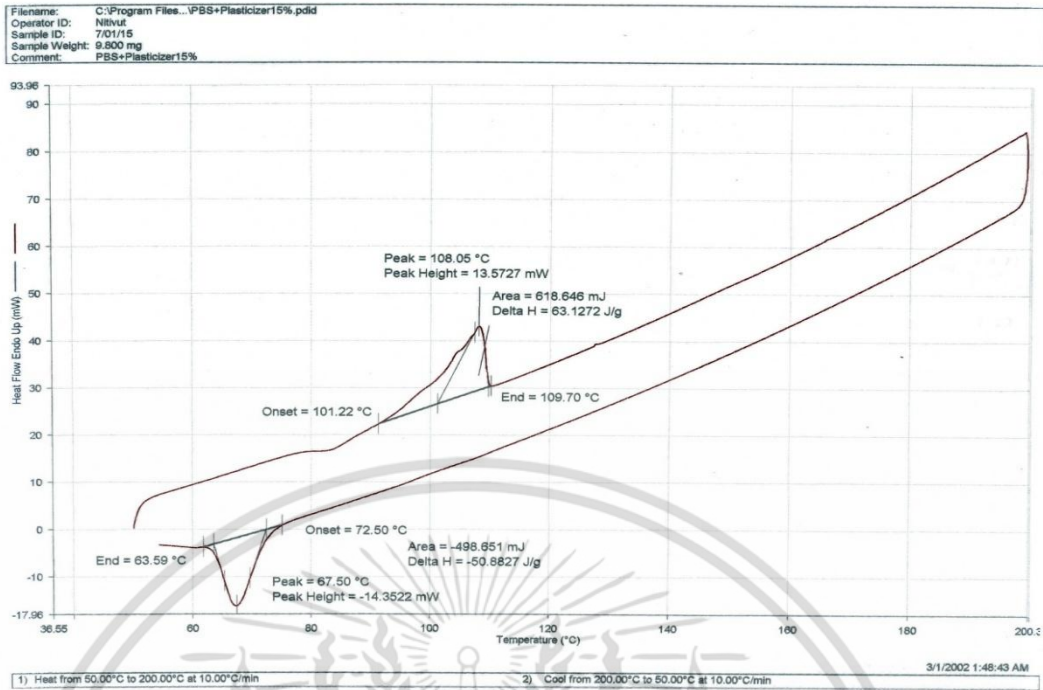


รูปที่ ค-10 PBS-F#4-10-P5

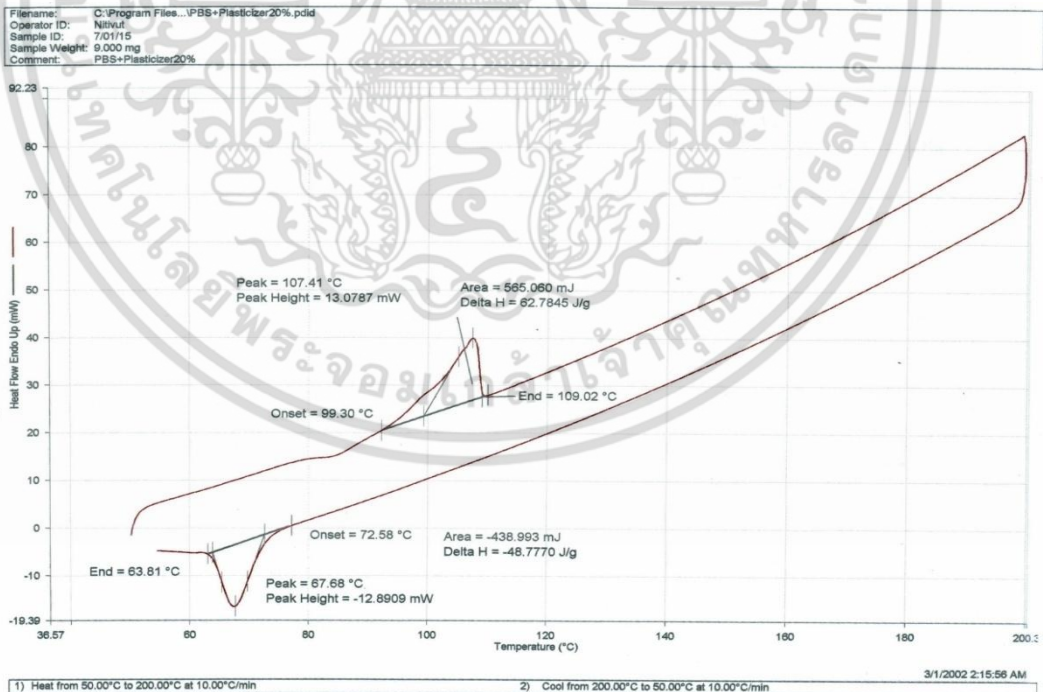


รูปที่ ค-11 PBS-F#4-10-P10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

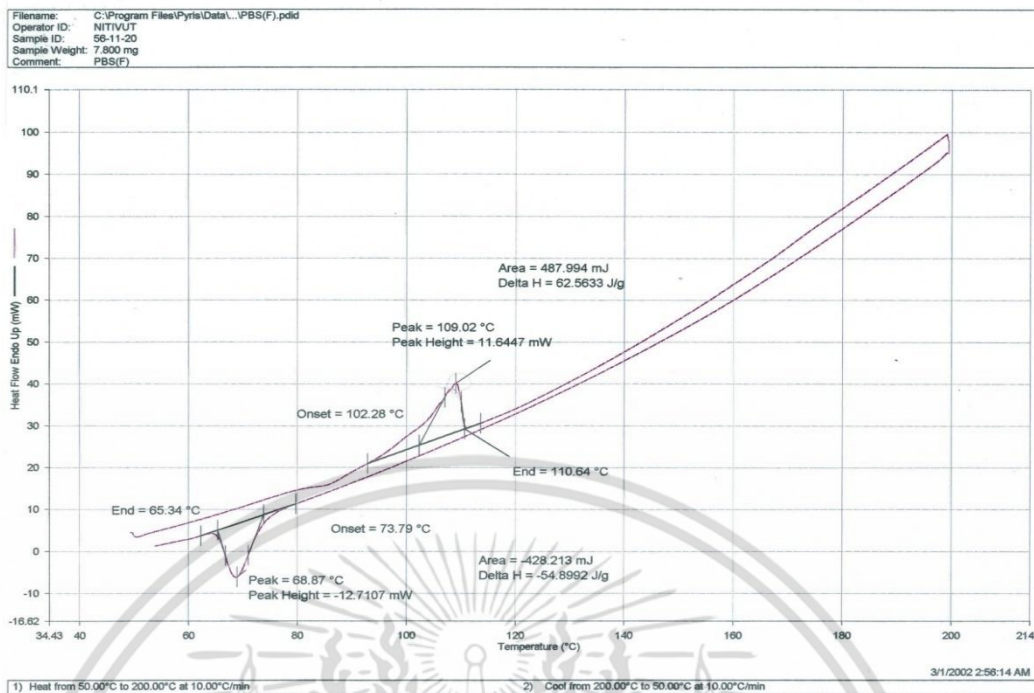


รูปที่ ค-12 PBS-F#4-10-P15

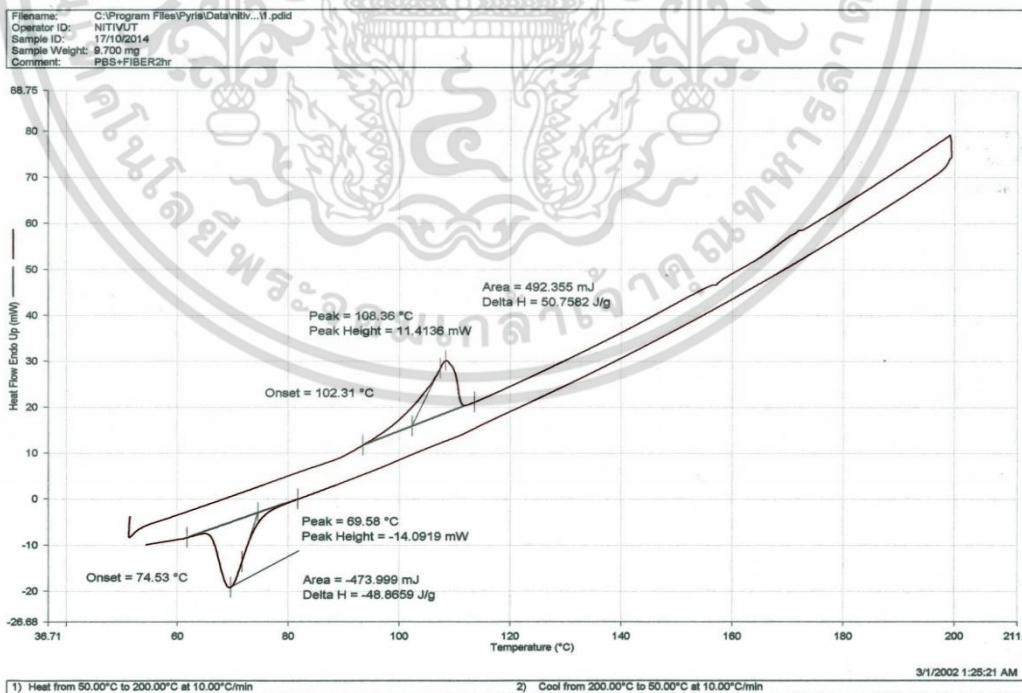


รูปที่ ค-13 PBS-F#4-10-P20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

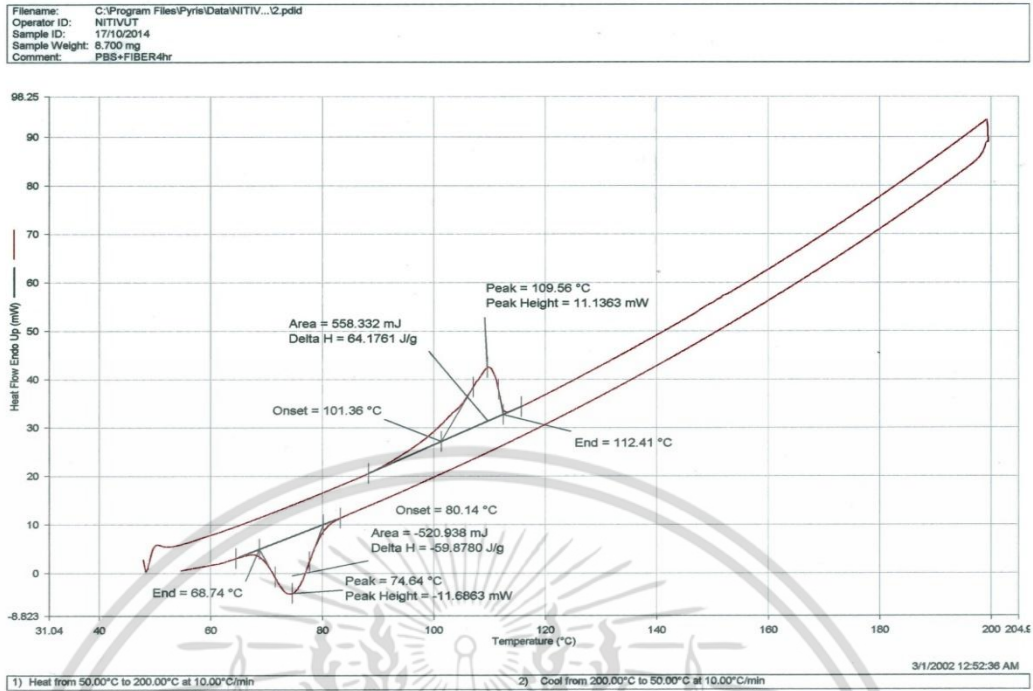


รูปที่ ค-14 PBS-F#4-10-P10

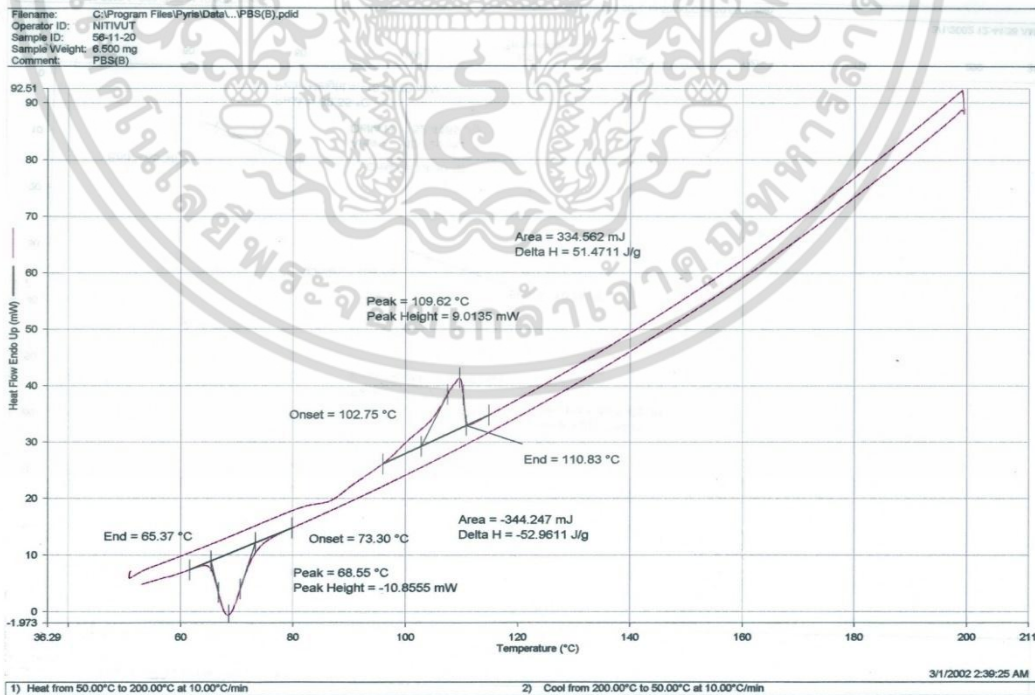


รูปที่ ค-15 PBS-F#4-10-P10-A2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

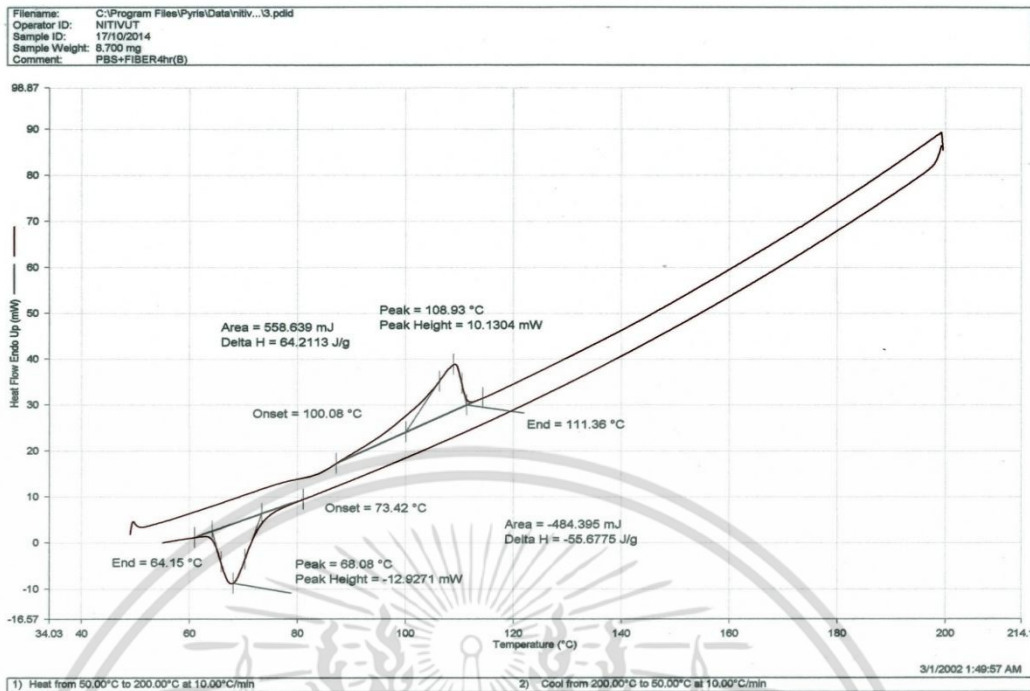


รูปที่ ค-16 PBS-F#4-10-P10-A4

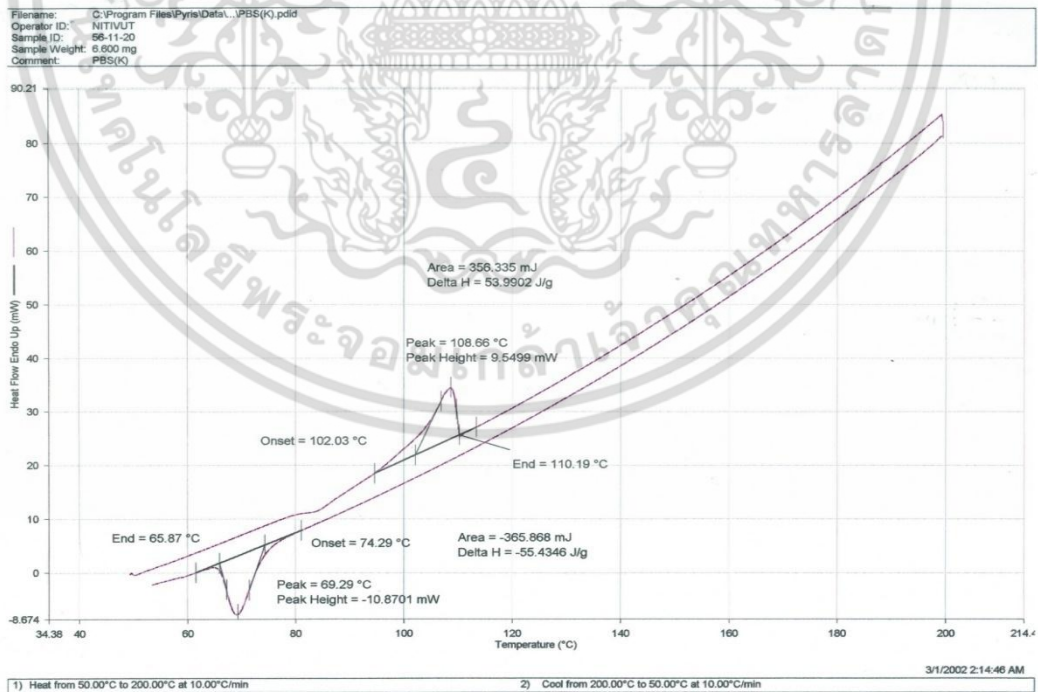


รูปที่ ค-17 PBS-F#4-10-P10-A2B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

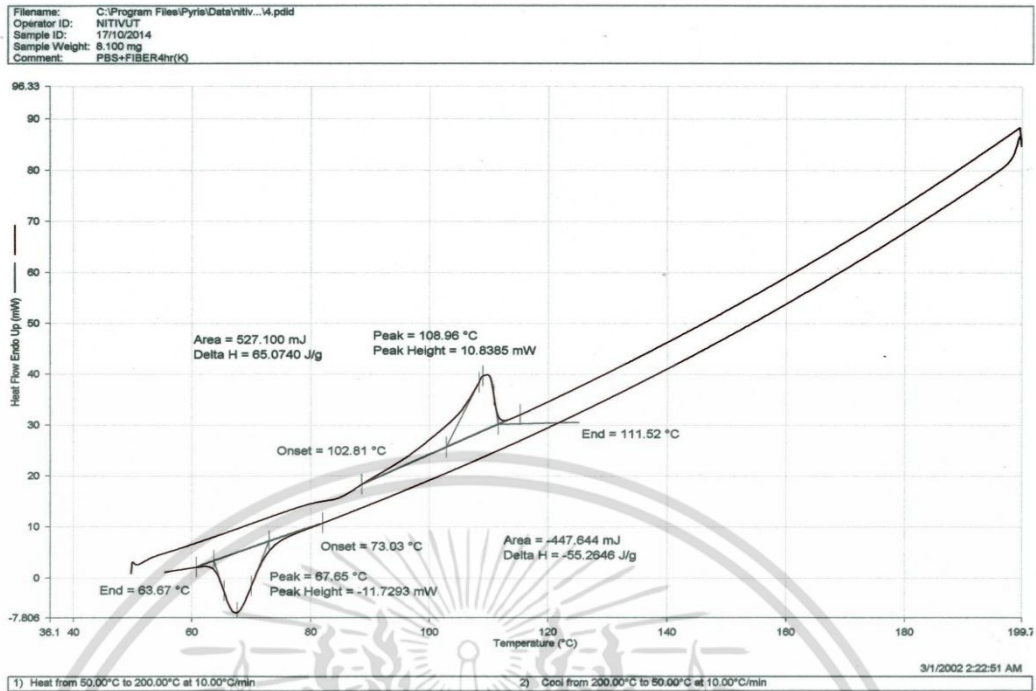


รูปที่ ค-18 PBS-F#4-10-P10-A4B



รูปที่ ค-19 PBS-F#4-10-P10-A2K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค-20 PBS-F#4-10-P10-A4K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

สภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป (Injection molding)

ตารางที่ ง-1 สภาวะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป (Injection molding)

Description	Unit	Value
PRESSURE		
1 st stage pressure	Bar.	20
2 nd stage pressure	Bar.	20
3 rd stage pressure	Bar.	20
TIME		
1 st stage injection time	Sec.	30
2 nd stage injection time	Sec.	30
3 rd stage injection time	Sec.	30
Melting time	Sec.	500
Cooling time	Sec.	400
TEMPERATURE		
Zone 1	°C	150
Zone 2	°C	160
Zone 3	°C	170
Cooling temperature	°C	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

สัญลักษณ์และตัวย่อต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัย

ตารางที่ จ-1 สัญลักษณ์ของพอลิเมอร์คอมโพสิตสูตรต่างๆ

สัญลักษณ์	คำอธิบายสัญลักษณ์
PBS-F#1-20	พอลิเมอร์คอมโพสิตพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า เบอร์ 1 ปริมาณ 20 php
PBS-F#2-20	พอลิเมอร์คอมโพสิตพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า เบอร์ 2 ปริมาณ 20 php
PBS-F#3-20	พอลิเมอร์คอมโพสิตพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า เบอร์ 3 ปริมาณ 20 php
PBS-F#4-20	พอลิเมอร์คอมโพสิตพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า เบอร์ 4 ปริมาณ 20 php
PBS-F#4-10	พอลิเมอร์คอมโพสิตพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า เบอร์ 4 ปริมาณ 10 php
PBS-F#4-30	พอลิเมอร์คอมโพสิตพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า เบอร์ 4 ปริมาณ 30 php
PBS-F#4-40	พอลิเมอร์คอมโพสิตพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า เบอร์ 4 ปริมาณ 40 php
PBS-F#4-10-P5	พอลิเมอร์คอมโพสิตพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า เบอร์ 4 ปริมาณ 10 php ใส่พลาสติกไซเซออร์ 5 php
PBS-F#4-10-P10	พอลิเมอร์คอมโพสิตพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า เบอร์ 4 ปริมาณ 10 php ใส่พลาสติกไซเซออร์ 10 php
PBS-F#4-10-P15	พอลิเมอร์คอมโพสิตพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า เบอร์ 4 ปริมาณ 10 php ใส่พลาสติกไซเซออร์ 15 php
PBS-F#4-10-P20	พอลิเมอร์คอมโพสิตพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า เบอร์ 4 ปริมาณ 10 php ใส่พลาสติกไซเซออร์ 20 php
PBS-F#4-10-P10-A2	พอลิเมอร์คอมโพสิตพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า เบอร์ 4 ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีอัลคาไลน์ทรिटเมนต์ที่ใช้เวลาในการแช่เส้นใยในโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปริมาณ 10 php ใส่พลาสติกไซเซออร์ 10 php
PBS-F#4-10-P10-A4	พอลิเมอร์คอมโพสิตพอลิบิวทิลีนซัคซิเนตกับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า เบอร์ 4 ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีอัลคาไลน์ทรिटเมนต์ที่ใช้เวลาในการแช่เส้นใยในโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ปริมาณ 10 php ใส่พลาสติกไซเซออร์ 10 php

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์ (ต่อ)	คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)
PBS-F#4-10-P10-A2B	พอลิเมอร์คอมโพสิตพอลิบิวทิลีนซึกซิเนตกับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าเบอร์ 4 ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีเบนโซลเซชันโดยใช้เวลาในการแช่เส้นใยในโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปริมาณ 10 php ใส่พลาสติกไซเซอร์ 10 php
PBS-F#4-10-P10-A4B	พอลิเมอร์คอมโพสิตพอลิบิวทิลีนซึกซิเนตกับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าเบอร์ 4 ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีเบนโซลเซชันโดยใช้เวลาในการแช่เส้นใยในโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ปริมาณ 10 php ใส่พลาสติกไซเซอร์ 10 php
PBS-F#4-10-P10-A2K	พอลิเมอร์คอมโพสิตพอลิบิวทิลีนซึกซิเนตกับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าเบอร์ 4 ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีเปอร์แมงกาเนตโดยใช้เวลาในการแช่เส้นใยในโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปริมาณ 10 php ใส่พลาสติกไซเซอร์ 10 php
PBS-F#4-10-P10-A4K	พอลิเมอร์คอมโพสิตพอลิบิวทิลีนซึกซิเนตกับเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าเบอร์ 4 ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีเปอร์แมงกาเนตโดยใช้เวลาในการแช่เส้นใยในโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ปริมาณ 10 php ใส่พลาสติกไซเซอร์ 10 php

ตารางที่ จ-2 สัญลักษณ์ของเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีต่างๆ

สัญลักษณ์	คำอธิบายสัญลักษณ์
EFBF	เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า
EFBF-A2hr	เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีอัลคาไลน์ทรีตเมนต์โดยใช้เวลาในการแช่เส้นใยในโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
EFBF-A4hr	เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีอัลคาไลน์ทรีตเมนต์โดยใช้เวลาในการแช่เส้นใยในโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
EFBF-A2hrB	เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีเบนโซลเซชันโดยใช้เวลาในการแช่เส้นใยในโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
EFBF-A4hrB	เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีเบนโซลเซชันโดยใช้เวลาในการแช่เส้นใยในโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
EFBF-A2hrK	เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีเปอร์แมงกาเนตโดยใช้เวลาในการแช่เส้นใยในโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
EFBF-A4hrK	เส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวิธีเปอร์แมงกาเนตโดยใช้เวลาในการแช่เส้นใยในโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายนิติวุฒิ บุญหนุน
วัน เดือน ปีเกิด	24 พฤษภาคม พ.ศ. 2532
ที่อยู่ปัจจุบัน	7/600 หมู่ที่ 7 หมู่บ้านร่มโพธิ์ 2 ถนนเทพารักษ์ ตำบลเทพารักษ์ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ 10270
ประวัติการศึกษา	(2553) วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม เกรตเฉลี่ย 2.58 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานทางวิชาการ	(2557) การศึกษาคอมโพสิตชีวภาพชนิดย่อยสลายได้จากพอลิบิวทิลีนซึก- ซิเนตผสมเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า Study of Biodegradable Biocomposites from Polybutylene Succinate and Empty Fruit Bunch Palm Fibers นำเสนอผลงานในงานการประชุมทางวิชาการ วิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 6 ระหว่างวันที่ 20-21 มีนาคม 2557 ณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้