



พอลิเมอร์คอมโพสิตด้วยเส้นใยจากมะพร้าว

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์  
โดย  
นางสาวศิริรัตน์ เตชะเพิ่มผล

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์

ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

พอลิเมอร์คอมโพสิตด้วยเส้นใยจากมะพร้าว

โดย

นางสาวศิริรัตน์ เตชะเพิ่มผล

# มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์

ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**POLYMER COMPOSITES WITH TREATED NATURAL FIBERS FROM COCONUT**

**By**

**Sirirat Techapermphon**

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

**An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree**

**MASTER OF ENGINEERING**

**Department of Materials Science and Engineering**

**Graduate School**

**SILPAKORN UNIVERSITY**

**2007**

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้การค้นคว้าอิสระเรื่อง “พอลิเมอร์คอมโพสิตด้วยเส้นใยจากมะพร้าว” เสนอโดย นางสาวศิริรัตน์ เตชะเพิ่มผล เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะตั้งกูร)  
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐกาญจน์ หงส์ศรีพันธ์

คณะกรรมการตรวจสอบการค้นคว้าอิสระ

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

..... ประธานกรรมการ  
(อาจารย์ ดร. ณัฐวุฒิ ชัยยุตต์)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทร์ฉาย ทองปิ่น)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐกาญจน์ หงส์ศรีพันธ์)

...../...../.....

47402304 : สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์

คำสำคัญ : พอลิเอทิลีนคอมโพสิต

ศิริรัตน์ เตชะเพิ่มผล : พอลิเมอร์คอมโพสิตด้วยเส้นใยจากมะพร้าว. อาจารย์ที่ปรึกษา  
การค้นคว้าอิสระ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐกาญจน์ หงส์ศรีพันธ์. 63 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและเส้นใยก้านมะพร้าว และศึกษาผลของการปรับปรุงเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นต่างๆ ที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต พอลิเมอร์คอมโพสิตเตรียมจากการผสมเส้นใยก้านมะพร้าว 1% และ 5% โดยน้ำหนัก เข้าไปในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วชนิดสั้น (ไม่มีสารเชื่อมประสาน) ในสัดส่วนการผสมที่เท่ากัน เพื่อศึกษาเปรียบเทียบ จากผลการศึกษา พบว่า เส้นใยก้านมะพร้าว ประกอบไปด้วยแอลฟาเซลลูโลส 52.6% เฮมิเซลลูโลส 34.5% และลิกนิน 16% โดยน้ำหนัก การปรับปรุงเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้เกิดการละลายของชั้นไขมันออกจากผิวของเส้นใยและโครงสร้างภายในของเส้นใยเปลี่ยนแปลง การเสริมแรงด้วยเส้นใยก้านมะพร้าวที่ไม่มีการปรับปรุงผิว ทำให้ได้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีค่า Tensile modulus สูงกว่าพอลิเมอร์คอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วชนิดสั้น ค่า Tensile modulus เพิ่มขึ้นไปตามปริมาณของสารเสริมแรงที่ใช้ สำหรับการผสมเส้นใยก้านมะพร้าว 5% โดยน้ำหนักนั้น การปรับปรุงผิวเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ส่งผลให้ค่า Tensile modulus ของพอลิเมอร์คอมโพสิตเพิ่มขึ้นไปตามความเข้มข้นของสารละลาย หากแต่พอลิเมอร์คอมโพสิต มีค่า Tensile strength at break และ %Elongation at break ลดลง เมื่อเทียบกับพอลิเมอร์บริสุทธิ์ เนื่องจากเกิดการแยกเฟสระหว่างพอลิเมอร์เมทริกซ์และสารเสริมแรง ส่วนสมบัติการดัดโค้งนั้น พบว่าการเสริมแรงด้วยเส้นใยก้านมะพร้าว ได้พอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีค่า Flexural modulus ต่ำกว่าการเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว

---

ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2550  
ลายมือชื่อนักศึกษา.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ .....

47402304 : MAJOR : POLYMER SCIENCE AND ENGINEERING

KEY WORD : POLYETHYLENE COMPOSITE

SIRIRAT TECHAPERMPHOL : POLYMER COMPOSITES WITH TREATED  
NATURAL FIBERS FROM COCONUT. AN INDEPENDENT STUDY ADVISOR : ASST. PROF.  
NATTAKARN HONGSRIPHAN, Ph.D. 62 pp.

In this research, polymer composites of low-density polyethylene and coconut fiber were prepared and effect of fiber treatment with sodium hydroxide solution in various concentrations on polymer composites' mechanical properties was studied. Polymer composites were prepared by mixing coconut fibers 1% and 5% by weight into low-density polyethylene and polymer composites reinforced with short glass fibers (without coupling agent) in the same ratio were prepared for comparison. It was found that coconut fiber consisted of alpha-cellulose 52.6%, hemi-cellulose 34.5%, and lignin 16% by weight. Fiber treatment with sodium hydroxide solution dissolved lipid layers from fiber surfaces and cellular structure of fiber was changed. Reinforcing with untreated coconut fibers produced composites with higher tensile modulus than reinforcing with short glass fibers. Tensile modulus was increased with respect to reinforcing contents. For mixing with coconut fibers 5% by weight, fiber treatment with sodium hydroxide solution resulted to increasing of tensile modulus of polymer composites with respect to solution concentration. However, polymer composites had lower tensile strength at break and %elongation at break compared to neat polymer, due to phase separation between polymer matrix and reinforcing agents. For flexural properties, reinforcing with coconut fibers produced polymer composites with lower flexural modulus than reinforcing with short glass fibers.

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

---

Department of Materials Science and Engineering Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2007

Student's signature .....

An Independent Study Advisor's signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐกาญจน์ หงส์ศรีพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและให้ข้อชี้แนะปรับปรุงแก้ไข ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทร์ฉาย ทองปิ่น และ อาจารย์ ดร.ณัฐวุฒิชัย ชัยยศุตต์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขการค้นคว้าอิสระให้สำเร็จสมบูรณ์

ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ ตลอดจนวัสดุอุปกรณ์ ในการทำงานวิจัย เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ ที่ช่วยเหลือประสานงานอย่างดียิ่ง รุ่งน่อง มหาวิทยาลัยที่ให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจด้วยดีตลอดมา รุ่นพี่ที่ทำงาน คุณสุเทพ เจริญวรานนท์ ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดหาวัสดุในการวิจัยและเป็นแรงผลักดันให้การวิจัยสำเร็จลุล่วงได้

ขอขอบคุณบิดา มารดา ที่สนับสนุนการเรียน คณาจารย์ทุกท่านสำหรับคำแนะนำและคำปรึกษา

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ฅ
สารบัญรูป .....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	4
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย .....	4
1.4 ขอบเขตงานวิจัย .....	4
1.5 ขั้นตอนการวิจัย .....	5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	5
2 เอกสารและรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	6
2.1 เส้นใยธรรมชาติ .....	6
2.2 เส้นใยแก้ว .....	9
2.3 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ .....	11
2.4 วัสดุเสริมองค์ประกอบ .....	12
2.5 วัสดุเสริมองค์ประกอบที่มีพอลิเมอร์เป็นเมทริกซ์ .....	12
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	13
3 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....	15
3.1 วัสดุดิบ .....	15
3.2 เครื่องมือ .....	16
3.3 วิธีการทดลอง .....	16

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี



บทที่	หน้า
3.3.1 การเตรียมเส้นใยธรรมชาติจากก้านมะพร้าว และทำการศึกษาคู่ประกอบ ทางเคมีของเส้นใย .....	16
3.3.2 การเตรียมตัวอย่าง .....	24
3.3.3 การศึกษาสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน .....	26
3.3.4 การศึกษาลักษณะพื้นฐานภายในของชิ้นงาน.....	28
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง .....	29
4.1 การวิเคราะห์ห้วงคู่ประกอบทางเคมีของเส้นใยก้านมะพร้าว .....	29
4.2 ลักษณะพื้นฐานวิทยาของเส้นใยก้านมะพร้าวที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ .....	30
4.3 ผลของการเสริมแรงด้วยเส้นใยก้านมะพร้าวที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีน คอมโพสิต .....	34
4.4 ลักษณะพื้นฐานภายในของเส้นใยหลังทำการทดสอบการดึงยึด .....	46
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	48
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	48
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	49
บรรณานุกรม .....	50
ภาคผนวก .....	52
ประวัติผู้วิจัย .....	63

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1	แสดงสถิติทางเศรษฐกิจของมะพร้าว รายจังหวัด ปีการเพาะปลูก 2544..... 2
2	เปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียของเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยแก้ว ..... 9
3	แสดงสมบัติเชิงกลของเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยแก้ว ..... 11
4	แสดงองค์ประกอบทางเคมีในเส้นใยก้านมะพร้าว ..... 14
5	แสดงรหัสตัวอย่างและส่วนผสมต่างๆ ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง ..... 25
6	ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีในเส้นใยก้านมะพร้าว ..... 29
7	ผลของเส้นใยก้านมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วย NaOH 5%และ10% ในอัตราส่วน เส้นใย 1%และ5% ที่ส่งผลต่อค่า Tensile strength ของพอลิเอทิลีนคอมโพสิต..... 52
8	ผลของเส้นใยก้านมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วย NaOH15%และ20% ในอัตราส่วน เส้นใย 1%และ5% ที่ส่งผลต่อค่า Tensile strength ของพอลิเอทิลีนคอมโพสิต..... 53
9	ผลของเส้นใยก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุง เส้นใยแก้วชนิดสั้นและพอลิเอทิลีน ในอัตราส่วนเส้นใย1%และ5% ที่ส่งผลต่อค่า Tensile strength ของพอลิเอทิลีน คอมโพสิต ..... 54
10	ผลของเส้นใยก้านมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุงด้วย NaOH 5%และ10% ในอัตราส่วน เส้นใย 1%และ5% ที่ส่งผลต่อค่า Tensile modulus ของพอลิเอทิลีนคอมโพสิต..... 55
11	ผลของเส้นใยก้านมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุงด้วย NaOH 15%และ20%ในอัตราส่วน เส้นใย 1%และ5% ที่ส่งผลต่อค่า Tensile modulus ของพอลิเอทิลีนคอมโพสิต..... 56
12	ผลของเส้นใยก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุง เส้นใยแก้วชนิดสั้นและพอลิเอทิลีน ในอัตราส่วนเส้นใย 1% และ 5% ที่ส่งผลต่อค่า Tensile modulus ของพอลิเอทิลีน คอมโพสิต..... 57
13	ผลของเส้นใยก้านมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุงด้วย NaOH 5%และ10% ในอัตราส่วน เส้นใย 1%และ5%ที่ส่งผลต่อค่า Elongation at break ของพอลิเอทิลีนคอมโพสิต... 58
14	ผลของเส้นใยก้านมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุงด้วย NaOH 15%และ20% ในอัตราส่วน เส้นใย 1%และ5% ที่ส่งผลต่อค่า Elongation at break ของพอลิเอทิลีนคอมโพสิต... 59

15	ผลของเส้นใยก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุง เส้นใยแก้วชนิดสั้นและพอลิเอทรีน ในอัตราส่วนเส้นใย 1%และ5% ที่ส่งผลต่อค่า Elongation at break ของพอลิเอทรีน คอม โพลีต.....	60
16	ผลของเส้นใยก้านมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุงด้วย NaOH5%และ10%ในอัตราส่วน เส้นใย 1%และ5% ที่ส่งผลต่อค่า Flexural modulusของพอลิเอทรีนคอม โพลีต....	61
17	ผลของเส้นใยก้านมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุงด้วย NaOH 15%และ20% ในอัตราส่วน เส้นใย1%และ5% ที่ส่งผลต่อค่า Flexural modulus ของพอลิเอทรีนคอม โพลีต.....	61
18	ผลของเส้นใยก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุง เส้นใยแก้วชนิดสั้นและพอลิเอทรีน ในอัตราส่วนเส้นใย1%และ5% ที่ส่งผลต่อค่า Flexural modulus ของพอลิเอทรีน คอม โพลีต.....	62

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1	แสดงกลไกการเข้าทำปฏิกิริยาของ NaOH.....	3
2	แสดงสูตรโครงสร้างของเซลลูโลส .....	6
3	แสดงสูตรโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส .....	8
4	แสดงโครงสร้างของลิกนิน .....	8
5	แสดงการจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในไม้ .....	9
6	กระบวนการเตรียมเส้นใยก้านมะพร้าวจากก้านมะพร้าวสด .....	17
7	แสดงลำดับการทดสอบหาค่าประกอบทางเคมีในเนื้อไม้ .....	18
8	แสดงลักษณะพื้นผิวของเส้นใยก้านมะพร้าว (a) ก่อนทำการปรับปรุง, (b) หลังปรับปรุงด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 5%, (c) 10%, (d) 15%, (e) 20% ด้วยเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 1000 เท่า และ (f) เส้นใยแก้วชนิดสั้น ที่กำลังขยาย 600 เท่า.....	31
9	แสดงภาคตัดขวางของเส้นใย (a) ก่อนทำการปรับปรุง, (b) หลังปรับปรุงด้วยสารละลาย NaOH 5%, (c) 10%, (d) 15% และ (e) 20% ที่กำลังขยาย 200 เท่า .....	33
10	แสดงค่า Tensile modulus ของพอลิเอทิลีนและพอลิเอทิลีนคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว เส้นใยก้านมะพร้าวธรรมชาติ ที่ปริมาณ 1% โดยน้ำหนัก.....	34
11	แสดงค่า Tensile modulus ของพอลิเอทิลีนและพอลิเอทิลีนคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว เส้นใยก้านมะพร้าวธรรมชาติ ที่ปริมาณ 1% และ 5% โดยน้ำหนัก.....	35
12	แสดงค่า Tensile modulus ของพอลิเอทิลีนคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5%, 10%, 15% และ 20% ที่ปริมาณ 1% และ 5% โดยน้ำหนัก .....	36
13	แสดงค่า Tensile strength at break ของพอลิเอทิลีนและพอลิเอทิลีนคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วและเส้นใยก้านมะพร้าวธรรมชาติ.....	37
14	แสดงค่า Tensile strength at break ของพอลิเอทิลีนและพอลิเอทิลีนคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วและเส้นใยก้านมะพร้าวธรรมชาติ ที่ปริมาณ 1% และ 5% โดยน้ำหนัก.....	38

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

- 15 แสดงค่า Tensile strength at break พอลิเอทธิลีนคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใย  
ก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารละลายโพลีเอทิลีนไดออกไซด์  
5%, 10%, 15% และ 20% ที่ ปริมาณ 1% และ 5% โดยน้ำหนัก ..... 39
- 16 แสดงค่า Elongation at break ของพอลิเอทธิลีนและพอลิเอทธิลีนคอมโพสิตที่เสริมแรง  
ด้วยเส้นใยแก้วและเส้นใยก้านมะพร้าวธรรมชาติ ..... 40
- 17 แสดงค่า Elongation at break ของพอลิเอทธิลีนและพอลิเอทธิลีนคอมโพสิตที่เสริมแรง  
ด้วยเส้นใยแก้วและเส้นใยก้านมะพร้าวธรรมชาติที่ปริมาณ 1% และ 5% โดย  
น้ำหนัก ..... 41
- 18 แสดงค่า Elongation at break พอลิเอทธิลีนคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยก้านมะพร้าว  
ที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับปรุงผิวด้วย NaOH 5%, 10%, 15% และ 20% ที่ปริมาณ  
1% และ 5% โดยน้ำหนัก ..... 42
- 19 แสดงค่า Flexural modulus ของพอลิเอทธิลีนและพอลิเอทธิลีนคอมโพสิตที่เสริมแรง  
ด้วยเส้นใยแก้วและเส้นใยก้านมะพร้าวธรรมชาติ ..... 43
- 20 แสดงค่า Flexural modulus ของพอลิเอทธิลีนและพอลิเอทธิลีนคอมโพสิตที่เสริมแรง  
ด้วยเส้นใยแก้วและเส้นใยก้านมะพร้าวธรรมชาติ ที่ปริมาณ 1% และ 5%  
โดยน้ำหนัก ..... 44
- 21 แสดงค่า Flexural modulus พอลิเอทธิลีนคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยก้านมะพร้าวที่  
ไม่ผ่านและผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารละลายโพลีเอทิลีนไดออกไซด์ 5%, 10%,  
15% และ 20% ที่ปริมาณ 1% และ 5% โดยน้ำหนัก ..... 45
- 22 แสดงสัณฐานภายใน ของตัวอย่างหลังทำการทดสอบการดึงยึดที่ปริมาณเส้นใย 5% โดย  
น้ำหนัก (a) เส้นใยก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุง (b) เส้นใยก้านมะพร้าวที่ผ่าน  
การปรับปรุงผิวด้วยสารละลายโพลีเอทิลีนไดออกไซด์ 5%, (c) 10%, (d) 15%, (e) 20%  
และ (f) เส้นใยแก้วสั้น ด้วยเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 40 เท่า ..... 47

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การใช้เส้นใยแก้ว (glass fiber) ทำหน้าที่เสริมแรงให้กับวัสดุ จะทำให้วัสดุคอมโพสิตมีความแข็งแรงเชิงกลที่ดี และมีความสามารถทนความร้อนได้สูงขึ้น หากแต่ถ้าเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาในการใช้ประโยชน์หรือเกิดเป็นของเสียในระหว่างการผลิต กรรมวิธีการกำจัดวัสดุคอมโพสิตที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วทำได้ยาก และมักนิยมใช้การเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิสูง ก่อให้เกิดควันพิษและกลิ่นเหม็นซึ่งเป็นมลพิษทางอากาศ นอกจากนี้ การใช้เส้นใยแก้วนั้นเมื่อเกิดการหลอมเหลวในระหว่างการเผาได้สร้างความเสียหายแก่เตาเผา และหากปล่อยให้เกิดการย่อยสลายเองโดยวิธีทางธรรมชาติจะใช้เวลายาวนานถึง 10 ปี ขึ้นไป ดังนั้น จึงทำให้วัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติถูกพัฒนาขึ้นมาแทนที่ เช่น การใช้เส้นใยรามี่ (ramie) เส้นใยป่าน เส้นใยไม้ไผ่ เส้นใยกล้วย และเส้นใยปาล์มน้ำมัน ซึ่งเส้นใยเหล่านี้ถูกนำมาใช้ทดแทนเส้นใยแก้วในการทำหน้าที่เป็นตัวเสริมแรงให้กับวัสดุคอมโพสิต ในปัจจุบันเส้นใยธรรมชาติจึงมีความสำคัญต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมวัสดุคอมโพสิตเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีความต้องการใช้วัสดุคอมโพสิตที่เรียกว่า **Green composite** เพื่อแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้วัสดุคอมโพสิตที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยวิธีทางธรรมชาติ

มะพร้าวเป็นพืชในตระกูลปาล์มพวกใบเลี้ยงเดี่ยว (Monocotyledon) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Cocos nucifera Linn.* มีชื่ออื่น เช่น หมากอุนดง(จันทบุรี) โพล(กาญจนบุรี) ย่อ(ภาคใต้) โดง(สุรินทร์) มะข่าว พริ้ว มะพร้าว หมากพร้าว มะพร้าวเป็นพืชตระกูลเดียวกับหมาก ลำต้นกลม ฐานลำต้นกว้าง มีข้อปล้องตามลำต้น ใบเป็นใบประกอบเรียงขนานกันอยู่บนก้านใหญ่ ใบมะพร้าวมีสีเขียวลักษณะยาวเรียว มีก้านหรือทางมะพร้าวเป็นแกนกลาง ออกดอกเป็นช่อ ดอกมีสีเหลืองอ่อน โดยดอกอ่อนจะมีกาบหุ้มช่อเหมือนปลีกล้วย เรียกช่อดอกอ่อนว่า งวงมะพร้าว ส่วนช่อดอกที่บานแล้วกาบหลุดออกเรียกว่า จั่นมะพร้าว และออกเป็นผลเป็นทะลาย คือ มีหลายๆ ผลในช่อเดียวกัน ผลมะพร้าวเป็นทรงกลม ผลอ่อนมีเปลือกสีเขียวอ่อน ผลมะพร้าวประกอบด้วยเปลือกแข็งที่เป็นเส้นใยเรียกว่า กาบมะพร้าว และมีกะลามะพร้าวที่หุ้มเนื้อและน้ำมะพร้าวไว้

มะพร้าวเป็นพืชที่สามารถใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมาย เปรียบเสมือนต้นไม้แห่งชีวิต (Tree of life) เพราะสามารถใช้ประโยชน์ได้ทุกๆ ส่วน เช่น รากใช้ทำยา ลำต้นใช้ก่อสร้างและเฟอร์นิเจอร์

ยอดอ่อนใช้ประกอบอาหาร ใบใช้ทำเครื่องจักรสานและก่อสร้าง ดอก (ช่อดอก) ใช้ผลิตน้ำหวาน สำหรับทำเครื่องดื่มและน้ำตาล ผลเป็นส่วนที่ใช้ประโยชน์มากที่สุด คือ เนื้อใช้ประกอบอาหารและ สกัดน้ำมันใช้ในงานอุตสาหกรรม กะลาใช้ทำถ่าน เครื่องประดับ ตกแต่งบ้านและเครื่องดนตรี เส้นใยใช้ทำฟูกที่นอน น้ำมันมะพร้าวใช้ทำอาหารและทำน้ำส้มสายชู เปลือกใช้ทำเชือก ฝูยและวัสดุเพาะชำ มะพร้าวอ่อนใช้บริโภคเป็นเครื่องดื่มได้ [1]

พื้นที่ปลูกมะพร้าวที่สำคัญของประเทศส่วนใหญ่มากที่สุดในเขตภาคกลางตอนล่าง จึงจัดได้ว่ามะพร้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของกลุ่มจังหวัด ซึ่งประกอบด้วย 8 จังหวัด ได้แก่ ราชบุรี สมุทรสงคราม สมุทรสาคร นครปฐม สุพรรณบุรี กาญจนบุรี เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ ข้อมูลปริมาณผลผลิต และมูลค่าผลผลิตจากมะพร้าวในพื้นที่ภาคกลางตอนล่าง แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงสถิติทางเศรษฐกิจของมะพร้าว รายจังหวัด ปีการเพาะปลูก 2544 [1]

จังหวัด	พื้นที่ให้ผล (ไร่)	ผลผลิตรวม (ตัน)	ราคาเฉลี่ย (บาท/กก.)	มูลค่ารวม (ล้านบาท)
1. ประจวบคีรีขันธ์	464,423	452,725	5.42	2,453.77
2. สมุทรสงคราม	90,184	90,687	15.78	1,431.04
3. สมุทรสาคร	31,515	98,644	14.05	1,385.95
4. ราชบุรี	29,481	56,638	9.02	510.87
5. นครปฐม	20,702	37,892	7.11	269.41
6. เพชรบุรี	14,197	17,356	9.57	166.10
7. สุพรรณบุรี	10,147	12,599	9.18	115.66
8. กาญจนบุรี	5,578	12,503	7.17	89.65

การสร้างมูลค่าเพิ่มจากการแปรรูปมะพร้าวและผลิตภัณฑ์จากมะพร้าว โดยมะพร้าวผลสามารถนำไปใช้ได้ประโยชน์ ดังนี้ คือ มะพร้าวผลแก่ มะพร้าวขาว กะทิ น้ำมันมะพร้าวดิบ ฐันน้ำมะพร้าว ถ่านกะลาอัดแท่ง เส้นใยมะพร้าว โดยเทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการผลิตเส้นใยมะพร้าว คือ 1. การตีเส้นใยมะพร้าว โดยใช้เครื่องตีเส้นใยที่พัฒนาจากชาวบ้าน

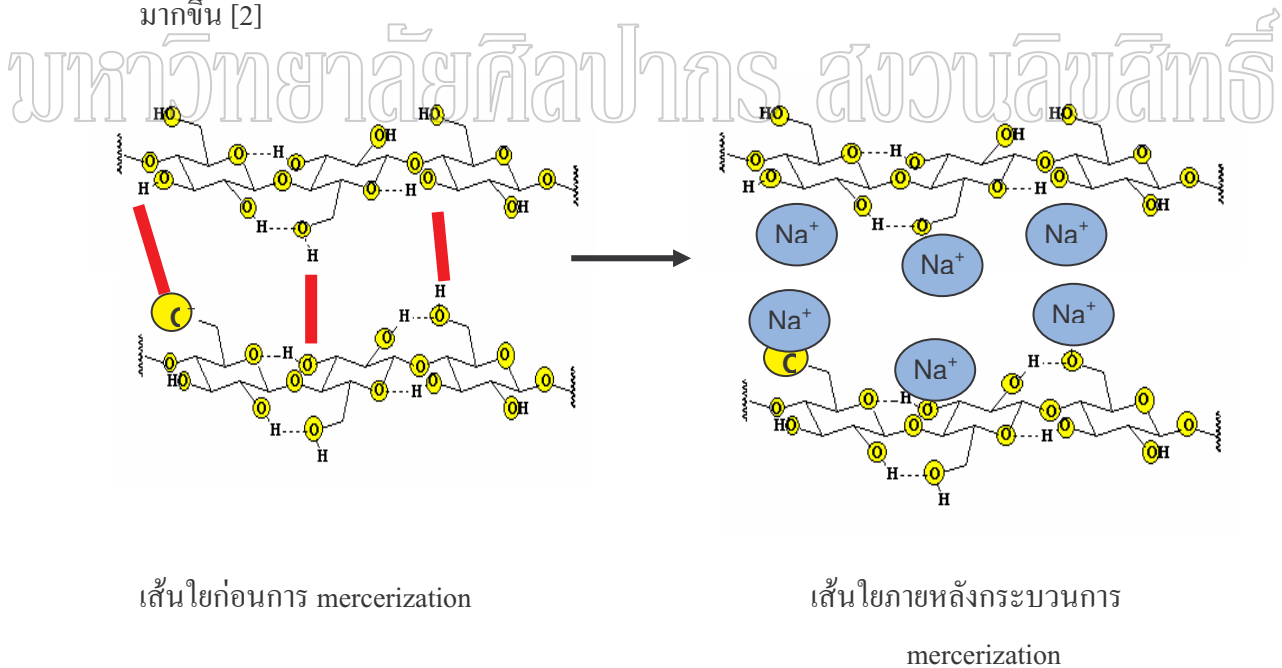
2. การอัดใยมะพร้าว โดยใช้แรงงานคนกับเครื่องยนต์ที่ถูกพัฒนาโดยชาวบ้าน

ทั้งนี้ธุรกิจเส้นใยมะพร้าวมีการขยายตัวความต้องการใช้เส้นใยในการส่งออกไปประเทศจีนเพื่อทำที่นอน มีแนวโน้มสูงขึ้น จึงเกิดผู้ประกอบการเส้นใยจำนวนมาก ซึ่งน่าจะมีความเติบโตและ

อนาคตที่ดี ซึ่งนอกเหนือจากกาบมะพร้าวแล้ว ยังมีการศึกษานำส่วนของมะพร้าวที่ปล่อยทิ้งไว้ตามธรรมชาติ และยังไม่ถูกนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เช่น ก้านมะพร้าว มาทำให้เป็นเส้นใยก้านมะพร้าว เพิ่มมูลค่าให้ผลิตภัณฑ์มากขึ้น และยังเป็นวัสดุเสริมแรง โดยเฉพาะในการเสริมแรงให้กับวัสดุคอมโพสิต เพื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษามีผู้นำเส้นใยกาบมะพร้าวมาทำเป็นวัสดุเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิต

อย่างไรก็ตาม ปัญหาหลักที่พบในการนำเส้นใยธรรมชาติมาเสริมแรงในวัสดุพอลิเมอร์ คือ การเข้ากันกับ polymer matrix จะเป็นไปได้ยากเนื่องจากเส้นใยเหล่านี้มีความเป็น hydrophilic ก่อนข้างสูง แต่สามารถลดปัญหาดังกล่าวได้ด้วยการทำ **mercerization** ซึ่งสามารถแก้ปัญหาได้ และยังสามารถปรับปรุงสมบัติเชิงกลของเส้นใยให้ดีขึ้นด้วย

**Mercerization** คือการปรับปรุงคุณสมบัติของเส้นใยด้วยด่าง ภายใต้แรงดึงในสารละลาย NaOH โดยจะนำเส้นใยไปแช่ในสารละลาย NaOH ที่ความเข้มข้นต่างๆ ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งานในด้านต่างๆ ด้วย ซึ่งการใช้ด่างนี้จะทำให้เกิดการคลายตัวของเส้นใยเซลลูโลส แสดงดังรูปที่ 1 ทำให้เส้นใยสามารถดึงยึดได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้เส้นใยไม่เกิดการหดตัวและเกิดความมันวาวมากขึ้น [2]



รูปที่ 1 แสดงกลไกการเข้าทำปฏิกิริยาของ NaOH [2]



## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยจากก้านมะพร้าว ซึ่งจะนำมาใช้เป็นวัสดุเสริมแรงของพอลิเอทิลีน
2. ศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยมะพร้าว ทั้งแบบที่ไม่มีการปรับปรุงผิวและมีการปรับปรุงผิวด้วยสารละลายต่าง และเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลกับวัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงจากเส้นใยแก้ว
3. เพื่อเป็นการนำเส้นใยจากธรรมชาติที่เหลือทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น

## 1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

การเสริมแรงพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำด้วยเส้นใยจากก้านมะพร้าว จะช่วยเสริมแรงให้กับพอลิเมอร์ได้สูงมากขึ้น โดยจะเปรียบเทียบกับการเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว และสามารถให้คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตที่ดีได้

## บทนำ 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1. พอลิเมอร์ที่ใช้คือ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และเส้นใยมะพร้าวจากก้านมะพร้าวในงานวิจัยควรนำมาจากแหล่งต้นกำเนิดเดียวกัน มีอายุใกล้เคียงกัน มีขนาดเท่ากัน และระยะเวลาในการเก็บมาทดสอบควรเท่ากัน เพื่อให้ได้คุณสมบัติของเส้นใยมะพร้าวที่ค่อนข้างคงที่ไม่แปรเปลี่ยนไปตามการเจริญเติบโต สภาพภูมิอากาศและภูมิภาค
2. สารละลายที่ใช้ในการปรับปรุงผิวเส้นใยจากก้านมะพร้าวคือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 5-20%
3. เส้นใยแก้วที่ใช้ในงานวิจัยเป็นเส้นใยแก้วชนิดสั้น ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ กับเส้นใยมะพร้าวทั้งที่ผ่านการปรับปรุงและไม่ผ่านการปรับปรุงผิวเส้นใย โดยที่เส้นใยแก้วที่ใช้เป็นแบบที่ไม่มีการปรับปรุงผิวด้วยสารประสาน (Coupling agent)
4. อัตราส่วนในการผสมเส้นใยจากก้านมะพร้าวหรือจากเส้นใยแก้ว ต่อ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ คือ 1:99 และ 5:95

## 1.5 ขั้นตอนการวิจัย

1.5.1 ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 ออกแบบวิธีการทดลอง และวางแผนการทดสอบ

1.5.3 ดำเนินงานวิจัย

1.5.3.1 เตรียมเส้นใยจากก้านมะพร้าวสด โดยวิธีการหมักแช่ให้ส่วนที่ไม่ใช่เส้นใยเน่าเปื่อยหลุดออกมาในน้ำ และนำเส้นใยที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และทำการศึกษองศ์ประกอบทางเคมีของเส้นใย

1.5.3.2 ทำการปรับปรุงเส้นใยที่ได้ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 5% 10% 15% และ 20% หลังจากนั้นนำเส้นใยทั้งที่ผ่านการปรับปรุงและไม่ผ่านการปรับปรุงผิวมาผสมกับพอลิเอทิลีน โดยใช้เครื่อง Brabender internal mixer ที่อัตราส่วนเส้นใยต่อพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำ เท่ากับ 1:99 และ 5:95

1.5.3.3 ขึ้นรูปชิ้นงานวัสดุคอมโพสิตด้วยเครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection molding)

1.5.3.4 นำชิ้นงานที่ได้มาทำการทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความคงทนต่อการดึงยืด

ความทนทานต่อการโค้งงอ และทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพ โดยอาศัยเทคนิค Scanning electron microscope (SEM)

1.5.3.5 วิเคราะห์ผลการวิจัย

1.5.3.6 สรุปผลการวิจัย

1.5.3.7 รายงานผลการวิจัย

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

6.1 สามารถผลิตวัสดุคอมโพสิตธรรมชาติที่มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี และมีต้นทุนในการผลิตถูกลงได้

6.2 สามารถนำวัสดุเหลือทิ้งที่มีอยู่ตามธรรมชาติเป็นปริมาณมาก มาใช้ให้เกิดประโยชน์ เป็นการเพิ่มมูลค่าให้วัสดุเหลือทิ้งได้

6.3 สามารถอธิบายถึงอิทธิพลของเส้นใยธรรมชาติที่เป็นสารเสริมแรง ที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพ สมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตได้

## บทที่ 2

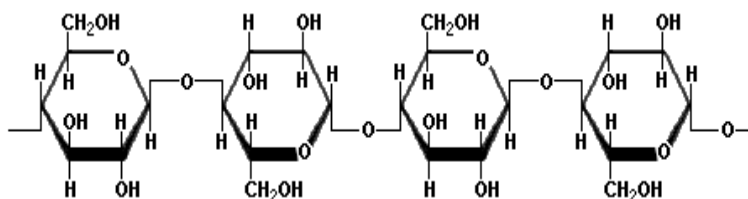
### เอกสารและรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 เส้นใยธรรมชาติ [3]

เส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers) เป็นอินทรีย์วัสดุที่สำคัญ หาได้ง่ายจากธรรมชาติ มีปริมาณมาก สามารถเกิดขึ้นได้ใหม่เรื่อยๆ และมีราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์ ด้วยเหตุนี้เส้นใยธรรมชาติจึงนิยมใช้เป็นสารเติมแต่งในพลาสติก โดยอาจเป็นทั้งสารตัวเติม และสารเสริมแรง เพื่อเป็นการลดต้นทุน เพิ่มปริมาณการผลิต และเสริมแรงแก่ผลิตภัณฑ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิด และขนาดของเส้นใยที่นำมาใช้ โครงสร้างโดยทั่วไปของเส้นใยธรรมชาติประกอบด้วยเซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ลิกนิน (Lignin) และสารประกอบอื่นๆ

#### เซลลูโลส

เซลลูโลส (Cellulose) เป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharides) เชิงเส้นตรงที่ประกอบด้วยหน่วยซ้ำๆ กัน มีสูตรโมเลกุลทั่วไปคือ  $(C_6H_{10}O_5)_n$  เป็นโครงสร้างในเนื้อเยื่อพืช แสดงดังรูปที่ 2 โดยพบร่วมกับลิกนิน เพนโตแซนแกม แทนนิน ไขมัน สารที่ทำให้เกิดสีเป็นต้น เซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลถึง 3 หมู่ สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสจึงมีมากและโครงสร้างของเซลลูโลสยังจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ จึงทำให้เซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูงมาก อุณหภูมิการหลอมตัวจึงสูงมาก มักจะเกิดการสลายตัวก่อนถึงอุณหภูมิหลอมตัว และมีความสามารถในการละลายต่ำ เซลลูโลสธรรมชาติจะมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยต่างกัน การกระจายน้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลสมีความสำคัญต่อสมบัติทางกายภาพ ส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพไม่ดี ในทางอุตสาหกรรมจะหาน้ำหนักโมเลกุลโดยประมาณได้โดยการวัดความหนืด



รูปที่ 2 แสดงสูตรโครงสร้างของเซลลูโลส [3]

### สมบัติทางกายภาพของเซลลูโลส

- **การละลาย** เซลลูโลสไม่ละลายน้ำ แต่จะละลายในกรดเข้มข้น เช่น กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl) กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) เป็นต้น โดยเซลลูโลสจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสอย่างรวดเร็วในสารละลายกรดที่อุณหภูมิห้อง แต่จะหยุดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำ เซลลูโลสบวมตัวในสารละลายของเกลือเข้มข้นบางชนิด เช่น สารละลายอัลคาไลไฮดรอกไซด์ (Alkali hydroxide) บางครั้งทำให้เซลลูโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำสามารถละลายได้

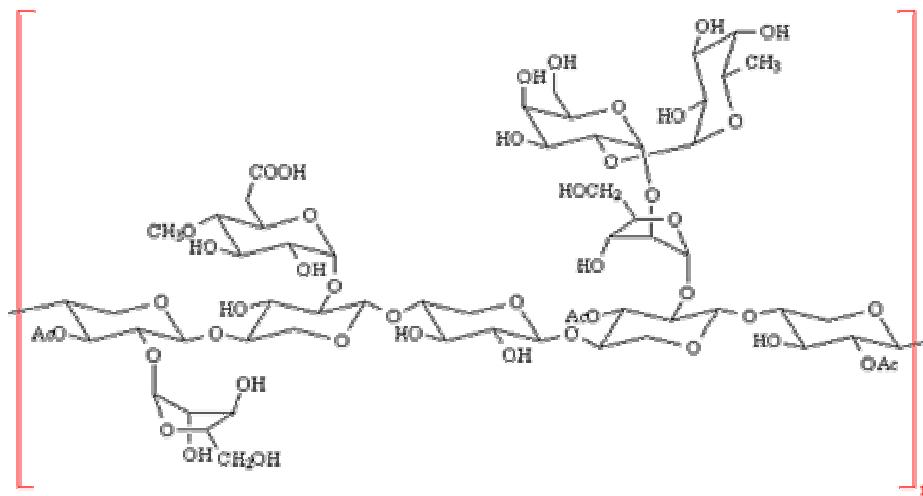
- **ความหนืด** ความหนืดเป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของเซลลูโลส โดยถ้าเราเพิ่มความเข้มข้นของเซลลูโลส ความหนืดก็จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้มีสมบัติทางกายภาพดีขึ้น

- **การดูดซับความชื้น** เซลลูโลสส่วนใหญ่จะมีการดูดซับหรือการคายไอน้ำ หรือของเหลวอื่นๆ ในบรรยากาศรอบตัวของมันจนกระทั่งถึงจุดสมดุล โดยสมดุลของความชื้นของเซลลูโลสจะแปรเปลี่ยนไปตามความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศนั้น ปริมาณความชื้นของเซลลูโลสมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพบางประการ เช่น เมื่อความชื้นสูงขึ้น ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น

- **ความหนาแน่น** เซลลูโลสที่เป็นเส้นใยเดี่ยว จะไม่มีค่าความหนาแน่นที่แน่นอน ค่าความหนาแน่นจะแปรเปลี่ยนไปตามแหล่งที่มา หรืออาจเปลี่ยนไป เนื่องจาก การปรับปรุงทางเคมี

### เฮมิเซลลูโลส

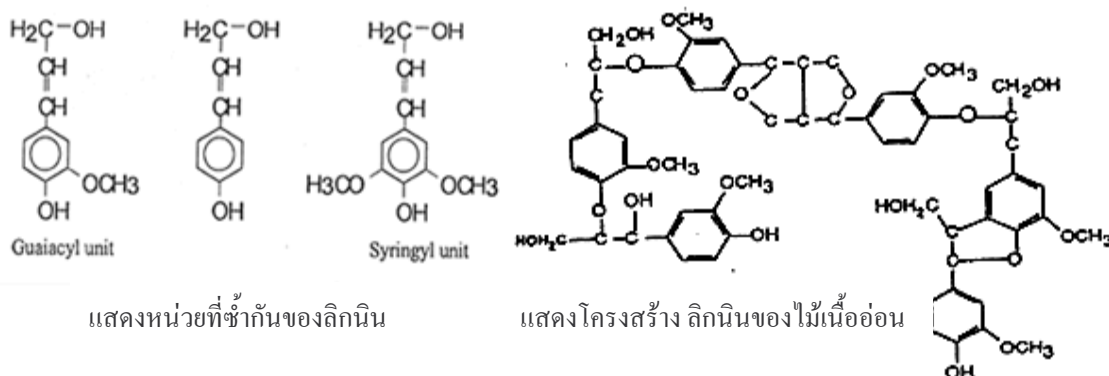
เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่งซึ่งคล้ายเซลลูโลสแต่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น กลูโคส กาแลกโตส แมนโนสไซโลส อะราบิโนส รวมทั้งกรดกลูคูโรนิก และกาแลกทูโรนิก เฮมิเซลลูโลสพบในเนื้อเยื่อของพืชโดยรวมอยู่กับสารอื่นๆ เช่น ลิกนิน เซลลูโลส เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ พบมากในแกรบ ชังข้าวโพด เสกโซแซน สูตรทางเคมีคือ (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>5</sub>)<sub>2n</sub> โครงสร้างทางเคมีแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงสูตร โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส [3]

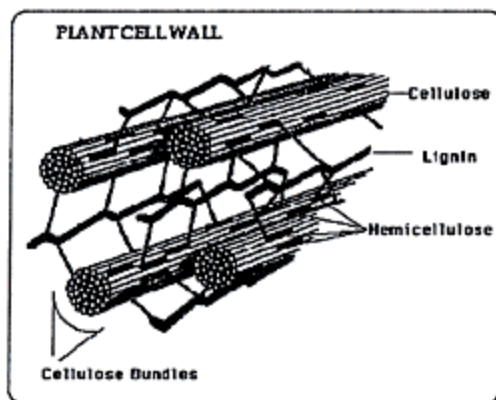
### ลิกนิน

ลิกนิน (Lignin) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนมีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักพบอยู่ร่วมกับ เซลลูโลส ลิกนินเป็นสารที่ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนรวมกันเป็นหน่วยย่อย หลายชนิดซึ่งเป็นสารอะโรมาติก ลิกนิน ไม่ละลายน้ำ ไม่มีสมบัติทางการยืดหยุ่น เพราะฉะนั้นจึงทำให้พืชที่มีลิกนินมากมีความแข็งแรงทนทาน เมื่อพืชตาย ลิกนินจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ลิกเนส (Lignase) หรือลิกนินเนส (Ligninase) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญในรา ตัวอย่างหน่วยที่ซ้ำกันของ ลิกนิน แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงโครงสร้างของลิกนิน [3]

ไม้แต่ละชนิดจะมีอัตราส่วนระหว่างเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินไม่เท่ากัน ขึ้นกับชนิดและอายุของไม้ โดยไม้ที่มีลิกนินมากจะมีความแข็งแรงสูง และในไม้ชนิดเดียวกัน ไม้ที่มีอายุมากจะมีปริมาณลิกนินมาก เช่นเดียวกัน โดยการจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนินในไม้จะเป็นไป แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงการจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในไม้ [3]

## บททวิศึกษาด้วยศิลปะปากกร สงวนลิขสิทธ์

### 2.2 เส้นใยแก้ว (Fiber glass) [4]

#### เส้นใยธรรมชาติและเส้นใยแก้ว

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียของเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยแก้ว [4]

	Natural fibres	Glass fibres
Density	Low	Twice that of natural fibres
Cost	Low	Low, but higher than NF
Renewability	Yes	No
Recyclability	Yes	No
Energy consumption	Low	High
Distribution	Wide	Wide
CO <sub>2</sub> neutral	Yes	No
Abrasion to machines	No	Yes
Health risk when inhaled	No	Yes
Disposal	Biodegradable	Not biodegradable

ข้อเสียที่สำคัญของเส้นใยแก้วแสดงดังตารางที่ 2 มีดังนี้ คือ

- เส้นใยแก้วเป็นเส้นใยที่ผลิตมาจากการถลุงแร่พวก  $\text{SiO}_2$  โดยใช้ความร้อนสูง ดังนั้นการที่จะได้พลังงานตามต้องการต้องมีการเผาเชื้อเพลิงพวกปิโตรเลียม ซึ่งทำให้เกิดมลภาวะ
- เส้นใยแก้วเมื่อมีปัญหาหลังจากการผลิต เช่น มีรอยแตกร้าวในเส้นใยหรือไม่ได้ขนาดตามต้องการ จะไม่สามารถทำการรีไซเคิลได้อีก
- เส้นใยแก้วผลิตมาจากสารตั้งต้นที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติที่ต้องใช้เวลาในการเกิดที่นานมาก จึงทำให้จัดเป็นพวกที่ไม่สามารถทำให้เกิดขึ้นมาใหม่ (renewable) สามารถหมดไปได้
- การผลิตและการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ของวัสดุเสริมแรงที่มีใยแก้วเป็นองค์ประกอบ เส้นใยแก้วจะมีผลทำให้เครื่องจักรเสีย หรือสึกหรอได้
- เส้นใยแก้วมีอันตรายต่อผู้ใช้ คือ หากมีการสูดใยแก้วเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ เส้นใยแก้วจะไปแทงระบบทางเดินหายใจ ทำให้เกิดอันตรายได้
- ไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ

ซึ่งจากข้อเสียข้างต้น ปัจจุบันจึงมีการหาวัสดุที่จะนำมาทดแทนการใช้งานของเส้นใยแก้ว โดยปัจจุบันวัสดุที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง คือ เส้นใยที่มีเซลลูโลส ซึ่งได้มาจากพืชเป็นพื้นฐาน พบได้โดยทั่วไปตามธรรมชาติซึ่งมีข้อดีดังนี้คือ

- พืชที่ให้เส้นใยพบได้โดยทั่วไป และสามารถเกิดขึ้นใหม่ทดแทนได้
- เส้นใยเซลลูโลส หากทำการผลิตผิดพลาดหรือมีการใช้แล้ว สามารถนำมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้
- เส้นใยเซลลูโลสมีความหนาแน่นต่ำ ซึ่งน้อยกว่าเส้นใยแก้วถึง 2 เท่า และยังมีราคาถูกกว่าเส้นใยแก้ว
- การผลิตเส้นใยธรรมชาติใช้พลังงานในการผลิตต่ำกว่าเส้นใยแก้ว ซึ่งไม่ทำให้เกิดการสึกหรอของเครื่องจักร
- ไม่เกิดอันตรายเมื่อมีการสูดดมเข้าไป
- ย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ

แต่เส้นใยธรรมชาติยังมีข้อเสียที่สำคัญคือ ลักษณะการเข้ากันได้ของ polymer matrix และเส้นใยธรรมชาติ เพราะโดยทั่วไปการที่วัสดุ 2 ชนิดจะสามารถเข้ากันได้ดีจะต้องมีความเป็นขั้วที่ใกล้เคียงกัน แต่พอลิเมอร์ส่วนใหญ่จะไม่มีขั้ว และจากสูตรโครงสร้างของเซลลูโลสจะมีหมู่  $-\text{OH}$  ซึ่งมีความเป็นขั้ว ดังนั้นการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ที่เป็น hydrophobic จึงเกิดขึ้นได้ไม่ดีนักและทำให้สมบัติเชิงกลที่ได้ไม่ดีเท่าที่ควร

สมบัติของสารเสริมแรงจะแปรตามสมบัติของเส้นใยเสริมแรงที่ใส่ลงไปแสดงดังตารางที่ 3 แต่สมบัติของเส้นใยธรรมชาติจะมีความแปรปรวนอันเนื่องมาจากลักษณะของการเจริญเติบโต ทำให้เส้นใยธรรมชาติมีขนาดไม่เท่ากัน เช่น ความยาว เส้นผ่านศูนย์กลาง ดังนั้นในการทำการทดลองวัดค่าต่างๆซ้ำ จะได้ค่าที่ไม่เท่ากัน

ตารางที่ 3 แสดงสมบัติเชิงกลของเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยแก้ว [4]

Properties	E-glass	Coir	Cotton
Density g/cm <sup>3</sup>	2.55	1.25	1.51
Tensile strength (MPa)	2400	220	400
E-Modulus (GPa)	73	6	12
Specific (E/d)	29	5	8
Elongation at failure (%)	3	15-25	3-10
Moisture absorption (%)	-	10	8-25

## 2.3 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) [5]

โครงสร้างและคุณสมบัติของพลาสติกที่ใช้

สูตรโครงสร้าง



พอลิเมอร์นี้อาจเรียกว่าพอลิเอทิลีนที่มีสาขาโซ่ (branched polyethylene) เพราะโครงสร้างประกอบด้วยสายโซ่ยาวของ CH<sub>2</sub> ที่มีการแตกกิ่งก้านสาขาออกไปหรืออาจเรียกว่า พอลิเอทิลีนความดันสูง (high pressure polyethylene) เพราะกระบวนการผลิตใช้ความดันสูงมาก และเริ่มผลิตเชิงการค้าในปี ค.ศ.1939

คุณสมบัติและการนำไปใช้ประโยชน์

พอลิเอทิลีนที่เตรียมโดยกระบวนการใช้ความดันสูงมีความเป็นผลึกปานกลาง (ทั่วไปมีร้อยละของความเป็นผลึก ประมาณ 50-60) มีจุดหลอมตัว T<sub>m</sub> ประมาณ 115<sup>o</sup>C มีความหนาแน่น 0.91-0.94 g/cm<sup>3</sup> ไม่ละลายในตัวทำละลายจำพวกไฮโดรคาร์บอนและไฮโดรเจนเนเตดไฮโดรคาร์บอน เช่น โทลูอิน ไซลีน และไดคลอโรเอทิลีน นอกจากนี้ยังมีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีเยี่ยมและเนื้อเยื่อเป็นพิษต่อปฏิกิริยาเคมีทั่วไป สามารถทนทานต่อกรดและเบสเป็นอย่างดี เช่น



แม้พอลิเอทิลีนในกรดซัลฟูริกหรือกรดไฮโดรคลอริก ที่  $100^{\circ}\text{C}$  นาน 24 ชั่วโมง ไม่พบการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด แต่กับกรดไนตริก ณ สถานะเดียวกันจะเปลี่ยนเป็นสีดำที่ผิว

เมื่อให้พอลิเมอร์นี้สัมผัสกับแสงแดดและออกซิเจนเป็นเวลานานๆ จะเกิดการเสื่อมคุณภาพได้ เช่น สูญเสียความแข็งแรง ความสามารถในการยืดหยุ่นได้และความสามารถในการต่อต้านการสึกกร่อนและการฉีกขาด ทั้งนี้เป็นเพราะเกิดการสูญเสียไฮโดรเจนอะตอมจากคาร์บอนองศา 3 ที่เป็นคาร์บอนที่เกิดสาขาโซ่ การเติมตัวสเติมไลเซอร์อาจช่วยถ่วงหรือหน่วงเหนี่ยวการเสื่อมคุณภาพได้ แต่โดยทั่วไปช่วยอะไรไม่ได้มากนัก

เกือบครึ่งหนึ่งของพอลิเอทิลีนที่ผลิตได้นำไปผลิตเป็นแผ่นฟิล์มใช้สำหรับห่อของ อาหาร ทำถุงพลาสติก ผ้า พลาสติก กันน้ำ ผ้าปูโต๊ะ ที่เหลือใช้ทำของใช้ในบ้าน ในครัว ของเด็กเล่น ใช้หุ้มลวดไฟฟ้า และในงานก่อสร้างเป็นต้น

#### 2.4 วัสดุเสริมองค์ประกอบ (composite) [6-8]

วัสดุเสริมองค์ประกอบเป็นวัสดุที่มีองค์ประกอบตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป เพื่อใช้ประโยชน์เฉพาะงาน วัสดุเสริมองค์ประกอบนั้นจะรวมคุณสมบัติและคุณลักษณะของวัสดุต่างๆที่นำมารวมกันไว้ การผสมกันของวัสดุเหล่านี้จะไม่เป็นเนื้อเดียวกันแต่จะแยกกันเป็นเฟสที่เห็นได้อย่างเด่นชัด โดยที่มีองค์ประกอบหนึ่งเป็นเฟสต่อเนื่องเรียกว่า เมทริกซ์ (matrix) ซึ่งจะอยู่ล้อมรอบอีกองค์ประกอบหนึ่งที่เป็นเฟสไม่ต่อเนื่องกระจายตัวอยู่ในเมทริกซ์ เรียกว่า สารเสริมแรง (reinforcement) ซึ่งจะอยู่ในรูปของเส้นใย (fibres) หรืออนุภาค (particles) คุณสมบัติของวัสดุเสริมองค์ประกอบที่ได้จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ รูปทรงทางเรขาคณิตและปริมาณของสารเสริมแรงเหล่านี้

#### 2.5 วัสดุเสริมองค์ประกอบที่มีพอลิเมอร์เป็นเมทริกซ์ [6-8]

วัสดุเสริมองค์ประกอบที่มีพอลิเมอร์เป็นเมทริกซ์ ส่วนมากจะเป็นระบบที่พอลิเมอร์มีการเสริมแรงด้วยเส้นใย ซึ่งเมทริกซ์ที่ใช้สามารถเป็นได้ทั้งเทอร์โมเซตและเทอร์โมพลาสติก โดยพอลิเมอร์เมทริกซ์นั้นจะทำหน้าที่ดังนี้

- ทำให้เส้นใยมีรูปทรงตามต้องการ
- ป้องกันเส้นใยจากสิ่งแวดล้อมและการเสียดสีกัน
- รับแรงไว้ส่วนหนึ่งก่อนที่วัสดุจะเกิดการแตกหัก

สมบัติของพอลิเมอร์เมทริกซ์ที่ดีจะแตกต่างกับสมบัติของสารเสริมแรง เนื่องจากสารเสริมแรงเป็นส่วนหลักในการรับแรงของวัสดุเสริมองค์ประกอบจึงต้องมีความแข็งแรงสูง มีความ

สามารถในการโค้งงอต่ำ แต่ในทางกลับกันเมทริกซ์จะต้องมีคุณสมบัติในการโค้งงอสูง นอกจากนี้ การเลือกเมทริกซ์เพื่อนำไปใช้งานจะต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น สารเคมี ความร้อน และแสงแดดอีกด้วย

ข้อดีของวัสดุเสริมองค์ประกอบที่มีพอลิเมอร์เป็นเมทริกซ์

- เป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรงสูง พอลิเมอร์เป็นเมทริกซ์ที่มีน้ำหนักเบา เนื่องจากมีองค์ประกอบที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะหรืออะลูมิเนียม ทำให้วัสดุเสริมองค์ประกอบที่มีพอลิเมอร์เป็นเมทริกซ์มีอัตราส่วนของความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูงเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเสริมองค์ประกอบที่มีโลหะหรือเซรามิกซ์เป็นเมทริกซ์
- สามารถกำหนดให้เส้นใยมีการจัดเรียงตัวได้หลากหลายรูปแบบ ตามลักษณะการผลิต ชนิด และการจัดเรียงตัวของเส้นใย

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

S.V.Prasad และคณะ [9] ได้ศึกษาถึงการปรับปรุงเส้นใยมะพร้าวด้วยสารละลายต่างเพื่อใช้ในการทำวัสดุคอมโพสิตระหว่างเส้นใยมะพร้าวและพอลิเอสเตอร์ พบว่า เมื่อนำเส้นใยมะพร้าว (Coir) มาทำการปรับปรุงด้วยสารละลาย NaOH 5% ที่อุณหภูมิ  $28 \pm 1^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 72-76 ชั่วโมง จะช่วยปรับปรุงในเรื่องความสามารถในการดูดซับน้ำ (Wettability) ความคงทนต่อแรงดึง (Tensile strength) ของเส้นใยมีค่าเพิ่มขึ้น 15% ซึ่งความคงทนต่อแรงดึงนี้จะลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อนำเส้นใยมะพร้าวแช่ในสารละลาย NaOH ต่อไปอีก 24 ชั่วโมง จากผลการทดสอบลักษณะพื้นฐานที่พื้นผิวเส้นใยด้วยเทคนิค SEM พบว่า จากพื้นผิวเส้นใยที่มีความขรุขระเมื่อผ่านสารละลายต่าง จะมีพื้นผิวที่เรียบเป็นระเบียบมากขึ้น แรงเค้น (stress) จากการแตกพันธะของเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายต่างใน polyester matrix มีค่าสูงถึง 90% มากกว่า polyester matrix ของเส้นใยมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุง และวัสดุคอมโพสิตมีความเป็นรูพรุน 11% ในเส้นใยมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุง และน้อยกว่า 5 % ในเส้นใยมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุง

J. E. G. van Dam และคณะ [10] ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยกาบมะพร้าวที่มีอายุ 11 เดือน ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงองค์ประกอบทางเคมีในเส้นใยจากมะพร้าว [10]

Composition (%)	Fiber	Pith
$\alpha$ -Cellulose	36.3	21.0
NaOH extractive	12.4	29.5
Extractive		
Ethanol/toluene	4.9	23.6
95% Ethanol	1.7	0.4
Hot water	4.3	15.0
Klason lignin		
AIL	31.9	24.1
ASL	0.8	0.4
Ash	3.4	4.5

A. Alemdar และคณะ [11] ได้ทำการศึกษาการนำเส้นใยที่ได้จากฟางข้าวสาเล่ย์เปลือกกล้วยเหลือทิ้ง ในการทำเป็นเส้นใยเสริมแรงใน biocomposite โดยใช้วิธีการปรับปรุงทางเคมีและวิธีทางเชิงกล เมื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีหลังจากที่ปรับปรุงทางเคมีโดยใช้สารละลาย NaOH 17.5% และสารละลาย HCl 1M พบว่า ฟางข้าวสาเล่ย์มีปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้น จาก 43% เป็น 84% และเมื่อทำการวิเคราะห์เส้นใยหลังการปรับปรุงทางเคมีด้วยเทคนิค FT-IR spectroscopy พบว่า มีการกำจัดเฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ออกจากเส้นใย และผลของการศึกษา PXRD แสดงให้เห็นว่าเส้นใยหลังการปรับปรุงทางเคมี มีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น

M. Brahmakumar และคณะ [12] ได้ทำการศึกษาเส้นใยก้านมะพร้าวเป็นวัสดุเสริมแรงให้กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) โดยทำการปรับปรุงเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5% ที่สภาวะห้องเป็นเวลา 84 ชั่วโมง พบว่าพื้นผิวเส้นใยก่อนการปรับปรุงที่มีชั้นไขมันปกคลุมอยู่จะทำให้เกิดพันธะระหว่างเมทริกซ์และเส้นใยแข็งแรงขึ้น ซึ่งเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยในวัสดุคอมโพสิตจะให้ค่า Tensile strength และ ค่า Tensile modulus เพิ่มขึ้น แต่จะให้ค่า Elongation at break ต่ำลง นอกจากนี้ความยาวของเส้นใยยังส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลที่ได้ คือ ที่ความยาวเส้นใยเพิ่มขึ้น ทำให้ค่า Tensile strength และค่า Young's modulus เพิ่มสูงขึ้น โดยในงานวิจัยพบว่า เส้นใยที่มีความยาว 2 เซนติเมตร จะให้ทั้ง 2 ค่านี้สูงที่สุด

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อใช้เส้นใยจากก้านมะพร้าวซึ่งเป็นวัตถุดิบในธรรมชาติที่เหลือทิ้งอยู่ทั่วไปของมะพร้าวซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจที่หาได้ง่าย และมีราคาถูกในประเทศไทย มาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างเต็มที่ ในการทำวัสดุคอมโพสิต โดยงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในเส้นใย ได้แก่ ปริมาณการละลายในเบนซีน และแอลกอฮอล์ ลิกนิน โพลีแซคคาไรด์ ได้แก่ แอลฟาเซลลูโลส เบต้าเซลลูโลส แกมมาเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ซึ่งสารประกอบเหล่านี้เป็นองค์ประกอบที่บอกคุณสมบัติและความแข็งแรงของเส้นใย และศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) ที่ใช้ในการปรับปรุงผิวก้านมะพร้าว

2. ศึกษาลักษณะสัณฐานภายใน (morphology) ของพอลิเอทิลีนคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยก้านมะพร้าว ที่มีและไม่มีการปรับปรุงสภาพผิว

3. ศึกษาผลของการเสริมแรงด้วยเส้นใยก้านมะพร้าวที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนคอมโพสิต

#### 3.1 วัตถุดิบ (Materials)

3.1.1 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE)

พอลิเอทิลีนเป็นเทอร์โมพลาสติกพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นเมทริกซ์ในการทำวิจัยนี้ ผลิตโดยบริษัท ไทยปิโตรเคมีคัล จำกัด (มหาชน) ประเทศไทย เกรด S1018 (Injection grade)

3.1.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH)

สารละลายที่ใช้ จากบริษัทบุญช่วยอุตสาหกรรม จำกัด เป็นเกรดอุตสาหกรรม

3.1.3 เส้นใยก้านมะพร้าว

เส้นใยก้านมะพร้าวได้จากเกษตรกรในอำเภอสามพราณ จังหวัดนครปฐม โดยตัดก้านมะพร้าวสดที่ยังติดอยู่ที่ต้นมะพร้าว โดยคัดเลือกตัดในต้นมะพร้าวที่มีอายุใกล้เคียงกันคือ 4-5 ปี และอยู่ในสถานที่ปลูกใกล้เคียงกัน

3.1.4 เส้นใยแก้วชนิดสั้น ความยาว 1 เซนติเมตร

### 3.2 เครื่องมือ

- 3.2.1 เครื่องฉีดพลาสติก (Injection molding) บริษัท Battenfeld รุ่น PLUS 350/75 ประเทศเยอรมัน
- 3.2.2 เครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer) บริษัท Brabender รุ่น Plastic-corder Lab station ประเทศเยอรมัน
- 3.2.3 เครื่องบดตัดพลาสติก บริษัท BOSCO Engineering รุ่น 2035 ประเทศไทย
- 3.2.4 เครื่องทดสอบวัสดุอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) บริษัท Lloyd Instrument รุ่น LR 50K ประเทศสหราชอาณาจักร
- 3.2.5 เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพด้วยลำแสงอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) บริษัท Hitachi รุ่น S3400N ประเทศญี่ปุ่น

### 3.3 วิธีการทดลอง

- 3.3.1 การเตรียมเส้นใยธรรมชาติจากก้านมะพร้าว และทำการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของ

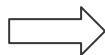
เส้นใย

#### 3.3.1.1 การเตรียมเส้นใยธรรมชาติจากก้านมะพร้าว

นำก้านมะพร้าวสดมาตัดให้เป็นท่อนขนาดความยาวประมาณ 25-30 ซม. และตัดแต่ละท่อนให้มีขนาดบางประมาณ 0.5-1 เซนติเมตร เพื่อให้เส้นใยเน่าเปื่อยได้เร็ว และนำไปแช่ในถังที่มีน้ำสะอาดใสไว้เต็มถัง ปิดฝาให้สนิท ตั้งทิ้งไว้ในสภาวะอากาศ ปล่อยให้โดนแสงแดด ประมาณ 5-7 สัปดาห์ หรือจนกว่าเส้นใยจะเกิดการเน่าเปื่อยเต็มที่ เพื่อให้ส่วนที่ไม่ใช่เส้นใยเกิดการเน่าเปื่อยและหลุดออกมาอยู่ในน้ำ (สังเกตได้จากลักษณะของเส้นใย ถ้าเกิดการเน่าเปื่อยจะได้เส้นใยที่สมบูรณ์ เมื่อตัดเส้นใยขึ้นมาจะมีลักษณะเป็นเส้นๆ ไม่เป็นแพ และน้ำจะมีกลิ่นเน่าเหม็น) หลังจากนั้นนำเส้นใยไปล้างน้ำสะอาด ซึ่งจะมีส่วนของขุยเส้นใยที่ยังเกาะติดอยู่ นำไปผ่านกระบวนการรีด เพื่อให้ขุยเส้นใยหลุดออก นำเส้นใยที่ได้ไปล้างด้วยน้ำสะอาดอีกครั้งหนึ่ง ผึ่งลมหรือตั้งทิ้งไว้ให้แห้ง ป้องกันอย่าให้โดนแสงแดด จะได้เส้นใยมะพร้าวสีครีมอ่อน นำไปอบที่อุณหภูมิ 105°C เวลา 6 ชม. เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป กระบวนการเตรียมเส้นใยจากก้านมะพร้าว แสดงดังรูปที่ 6



(ก) ตัดก้านมะพร้าวสดให้มีขนาดต่างๆ  
และมีความยาวไล่ลงถึงได้



(ข) นำลงไปแช่น้ำในถังและปิดฝา  
ให้สนิท



(ง) เส้นใยก้านมะพร้าวหลังล้างด้วยน้ำสะอาด



(ค) เส้นใยเกิดการเนาเปื่อย น้ำจะมี  
สีน้ำตาลและมีกลิ่นเหม็น

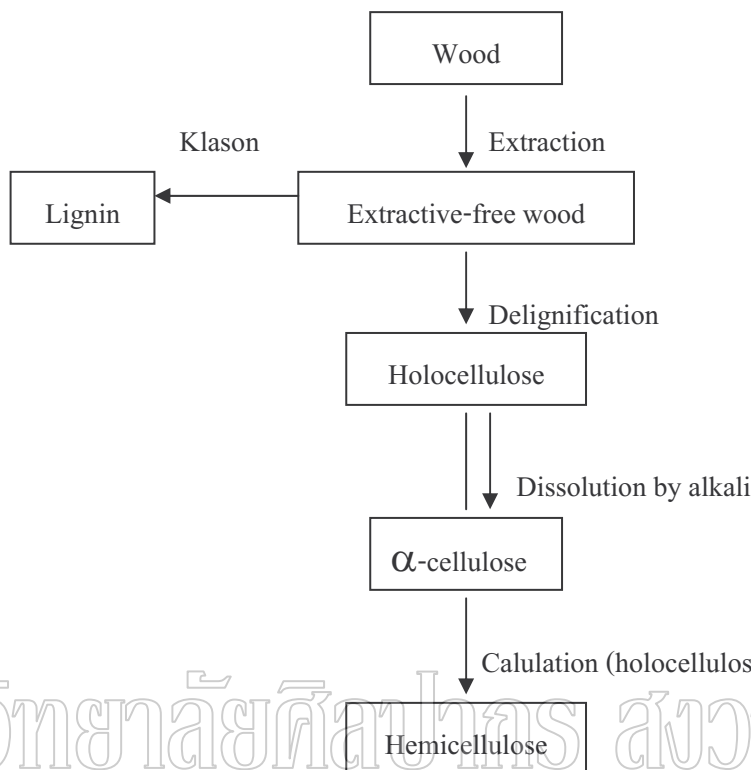


(จ) เส้นใยก้านมะพร้าวหลังทำให้แห้ง

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รูปที่ 6 กระบวนการเตรียมเส้นใยก้านมะพร้าวจากก้านมะพร้าวสด

### 3.3.1.2 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย



รูปที่ 7 แสดงลำดับการทดสอบหาองค์ประกอบทางเคมีในเนื้อไม้ [13]

โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ตามมาตรฐานของ TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry) [14-19] แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 7 โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.3.1.2.1 การเตรียมตัวอย่างวัตถุดิบสำหรับวิเคราะห์ เตรียมตามมาตรฐาน TAPPI T264-om88

3.3.1.2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณสารแทรกที่ละลายได้ในแอลกอฮอล์และเบนซีน ตามมาตรฐาน TAPPI T204-om88

3.3.1.2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณลิกนิน ตามมาตรฐาน TAPPI T222-om88

3.3.1.2.4 การวิเคราะห์หาปริมาณไฮโดรเซลลูโลส ตามวิธี Acid chlorite ของ Browing ใน Method of Wood Chemistry

3.3.1.2.5 การหาปริมาณแอลฟาเซลลูโลส เบต้าเซลลูโลส และแกมมาเซลลูโลส ตามมาตรฐาน TAPPI T203-om88

ซึ่งแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 3.3.1.2.1 การเตรียมตัวอย่างวัตถุดิบสำหรับวิเคราะห์ เตรียมตามมาตรฐาน TAPPI T264-om88

องค์ประกอบในเนื้อไม้จะถูกแยกออกมาและละลายในตัวทำละลาย ซึ่งองค์ประกอบในเนื้อไม้จะต้องถูกแยกออกมาก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ทางเคมีต่อไป โดยสารละลายเอธานอล-เบนซีน จะทำการแยกไขมัน เรซินบางชนิดและยางไม้ต่างๆ สำหรับน้ำร้อนจะช่วยแยกแทนนิน ยาง น้ำตาล แป้งและสีออกจากเนื้อไม้ได้

วิธีการทดลอง

- ก) เตรียมตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ให้มีขนาดตามที่มาตรฐานกำหนดคือ 40 mesh (0.4 มิลลิเมตร) เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดได้สมบูรณ์
- ข) ล้างทำความสะอาด extraction flask และขวดก้นกลม และนำไปอบให้แห้ง
- ค) ใส่ตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 10 กรัมลงใน extraction thimble และติดตั้งชุดการทดลอง
- ง) ทำการสกัดด้วยสารละลายเอธานอล:เบนซีน(1:2) ปริมาตร 200 ml เป็นเวลา 6-8 ชั่วโมง
- จ) แยกตัวทำละลายออกโดยการกรองตัวอย่างด้วยเครื่องกรองแบบสุญญากาศ จากนั้นทำการล้างตัวอย่างด้วยเอธานอลเพื่อแยกเบนซีนออกไป
- ฉ) นำตัวอย่างกลับไปทำการรีฟลักซ์ต่อโดยใช้ 95% เอธานอล ปริมาตร 200 ml เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
- ช) กรองตัวอย่างอีกครั้งและล้างตัวทำละลายออกโดยใช้น้ำกลั่น
- ซ) ใส่ตัวอย่างลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 1,000 ml และใส่น้ำกลั่นเดือด 500 ml ต้มให้เดือดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทำการกรองและล้างด้วยน้ำร้อน 500 ml ปล่อยให้แห้งในอากาศและเก็บตัวอย่างไม้ไว้ในภาชนะที่มิดชิด

3.3.1.2.2 การวิเคราะห์หาปริมาณสารแทรกที่ละลายได้ในแอลกอฮอล์และเบนซีน ตามมาตรฐาน TAPPI T204-om88 โดยองค์ประกอบที่อยู่ในเนื้อไม้จะละลายในตัวทำละลายอินทรีย์

วิธีการทดลอง

- ก) ล้างทำความสะอาด soxhlet extraction flask และขวดก้นกลมขนาด 250 ml นำไปอบให้แห้ง
- ข) ใส่ตัวอย่างประมาณ 3 กรัมลงในขวดก้นกลม เติมตัวทำละลายเอธานอล-เบนซีน (อัตราส่วน 1:2 โดยปริมาตร) ปริมาตร 200 ml



- ค) ทำการติดตั้งอุปกรณ์ ควบคุมอุณหภูมิและจุดเดือดของตัวทำละลาย ให้เวลาสกัดเป็นเวลา 4-5 ชั่วโมง
- ง) นำสารละลายที่ได้มาทำการระเหยตัวทำละลายออกไป ให้เหลือสารละลายปริมาตร 20-25 ml โดยเครื่อง rotary evaporator แล้วเทใส่บีกเกอร์ที่รู้น้ำหนัก
- จ) นำบีกเกอร์เข้าไประเหยใน oven ซึ่งตั้งอุณหภูมิไว้ที่  $105 \pm 3$  °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และนำไปเก็บไว้ในเคซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักของสารที่เหลือรวมกับน้ำหนักของบีกเกอร์
- ฉ) ทำ blank โดยการนำตัวทำละลายเอทานอล-เบนซีน 200 ml ไประเหยให้แห้งโดยทำการทดลองเหมือนกับการทดลองตามข้อ 4
- ช) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์สารแทรกที่ละลายในตัวทำละลายจากสูตร

$$\text{สารแทรก} = [(W_c - W_b) / W_p] \times 100$$

เมื่อ  $W_c$  คือ น้ำหนักแห้งเป็นกรัมของสารที่ถูกสกัด

$W_b$  คือ น้ำหนักแห้งเป็นกรัมของ blank

$W_p$  คือ น้ำหนักแห้งเป็นกรัมของตัวอย่างที่ใช้ทดลอง

### 3.3.1.2.3 การวิเคราะห์หาปริมาณลิกนิน ตามมาตรฐาน TAPPI T222-om88

#### วิธีการทดลอง

- ก) ชั่งน้ำหนักแห้งที่ปราศจากสารแทรกของตัวอย่างหนัก 1 กรัม ใส่ลงบีกเกอร์ขนาด 100 ml วางบีกเกอร์ลงในอ่างน้ำแข็ง จากนั้นค่อยๆเติม 72%  $H_2SO_4$  ที่แช่เย็นไว้ลงไป 15 ml ขณะที่เติมกรดให้วางบีกเกอร์ในอ่างน้ำแข็ง และกวนด้วยแท่งแก้วตลอดเวลา จนกระทั่งสารละลายกระจายตัวทั่วทั้งเนื้อไม้
- ข) ปิดบีกเกอร์ด้วยกระจกนาฬิกา และควบคุมอุณหภูมิไว้ที่  $20 \pm 1$  °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พร้อมคนสารละลายอย่างสม่ำเสมอทุกๆ 15 นาที
- ค) เติมน้ำกลั่นปริมาตร 400 ml ลงในขวดก้นกลมขนาด 1,000 ml และถ่ายสารละลายจากบีกเกอร์ลงในขวดก้นกลม และใช้กรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 3 % ล้างข้างบีกเกอร์ และเทลงในขวดก้นกลม
- ง) เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรรวมเท่ากับ 575 ml
- จ) ทำการ reflux เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นเทสารละลายทั้งหมดลงในบีกเกอร์ขนาด 1,000 ml ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน

- ฉ) กรองตัวอย่างผ่าน glass crucible ที่ทราบน้ำหนักแล้ว ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ  $105 \pm 3$  °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
- ช) นำออกมาทำให้เย็นลงในเคซิเคเตอร์และนำไปชั่งน้ำหนักรวมของ glass crucible และลิกนิน
- ซ) คำนวณหา % ลิกนินจาก

$$\% \text{ ลิกนิน} = A100 / W$$

$$\text{เมื่อ } A = \text{น้ำหนักของลิกนินเป็นกรัม}$$

$$W = \text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่างเป็นกรัม}$$

3.3.1.2.4 การวิเคราะห์หาปริมาณไฮโดรเซลลูโลส ตามวิธี Acid chlorite ของ Browing ใน Method of Wood Chemistry (TAPPI Section , January 10, 1946) ปริมาณไฮโดรเซลลูโลส จะประกอบไปด้วย  $\alpha$ ,  $\beta$  และ  $\gamma$ -cellulose

วิธีทดลอง

- ก) ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างไม้ที่ปราศจากสารแทรก ประมาณ 3 กรัม ใส่ลงในขวดก้นกลม ขนาด 250 ml
- ข) เติมน้ำกลั่นปริมาตร 150 ml กรดอะซิติก 0.5 ml และโซเดียมคลอไรท์ 1.5 กรัม ตามลำดับใส่ลงในขวดก้นกลมและทำการทดลองในตู้ควัน
- ค) นำไปให้ความร้อนโดยใช้ water bath ที่มีอุณหภูมิ  $70-80$  °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยเขย่าขวดอย่างสม่ำเสมอ
- ง) หลังจากครบ 1 ชั่วโมง เติมกรดอะซิติก 0.5 ml โซเดียมคลอไรท์ 1.5 กรัม ลงในสารละลายที่ยังร้อนอยู่แล้วเขย่าขวด
- จ) ทำตามข้อ ง จนครบทั้งหมด 4 ชั่วโมง นำขวดก้นกลมมาวางในอ่างน้ำแข็ง จนกระทั่งสารละลายในขวดมีอุณหภูมิประมาณ  $10$  °C
- ฉ) นำสารละลายมากรองผ่าน glass crucible ที่ชั่งน้ำหนักไว้แล้ว และล้างด้วยน้ำเย็นจนหมด  $Cl_2$  (สารละลายจะใส) และล้างต่อด้วยอะซิโตน 100 ml
- ช) เชียตะกอนลงในบีกเกอร์ โดยไม่ต้องล้าง glass crucible ที่ขำมกั้น จากนั้นชั่งตะกอนที่ได้ และน้ำหนัก glass crucible
- ซ) นำตะกอนที่ได้ไปทำการทดลองหา  $\alpha$ ,  $\beta$  และ  $\gamma$ -cellulose ต่อไป

คำนวณหาปริมาณไฮโดรเซลลูโลสได้จาก

$$\% \text{ ไฮโดรเซลลูโลส} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของไฮโดรเซลลูโลสหลังการอบ}}{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง}} \times 100$$

3.3.1.2.5 การหาปริมาณ  $\alpha$ ,  $\beta$  และ  $\gamma$ -cellulose ตามมาตรฐาน TAPPI T203-om88

วิธีการทดลอง

ก) ชั่งตัวอย่างที่ได้จากการหาไฮโดรเซลลูโลสประมาณ 1.5 กรัมลงในบีกเกอร์ขนาด 300 ml เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5% ปริมาตร 75 ml ปรับอุณหภูมิของสารละลายให้อยู่ในช่วง  $25 \pm 0.2$  °C

ข) ทำการกวนจนตัวอย่างกระจายตัวอย่างสมบูรณ์

ค) ล้างตัวอย่างที่เกาะติดอยู่กับข้างบีกเกอร์ ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5% ปริมาตร 25 ml ดังนั้นจะมีสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์อยู่ในบีกเกอร์เท่ากับ 100 ml

ง) ทำการกวนตัวอย่างด้วยแท่งแก้วและวางไว้ใน bath ที่อุณหภูมิ  $25 \pm 0.2$  °C เป็นเวลา 30 นาที

จ) เติมน้ำกลั่น 100 ml ควบคุมอุณหภูมิที่  $25 \pm 0.2$  °C จากนั้นทำการกวนตัวอย่างด้วยแท่งแก้วอีก 30 นาที

ฉ) เมื่อครบเวลานำบีกเกอร์ออกจากอ่างควบคุมอุณหภูมิ กรองตัวอย่างด้วย glass crucible (ห้ามล้างด้วยน้ำ) เก็บสิ่งที่กรองได้ไว้ จะได้เป็นสารละลายสีเหลืองใส

3.3.1.2.5.1 การวิเคราะห์หา  $\alpha$ -cellulose

วิธีการทดลอง

ก) ปิเปตสารละลายที่กรองได้ 25 ml ใส่ใน flask 250 ml และเติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) 0.5 N ปริมาตร 10 ml ลงไป จากนั้นทำการกวนสารละลาย

ข) ค่อยๆ ใสกรดซัลฟูริกเข้มข้น 50 ml ลงไป ซึ่งจะทำให้มีความร้อนเกิดขึ้น ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที

ค) เติมน้ำกลั่น 50 ml และทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

ง) เติมเฟอร์โรอิน อินดิเคเตอร์ 2-4 หยด และทำการไตเตรตด้วย 0.1 N ของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีม่วง

จ) ทำเบลงค์โดยการเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5% ปริมาตร 12.5 ml ผสมกับน้ำ 12.5 ml

ฉ) คำนวณหา %  $\alpha$ -cellulose ได้จาก

$$\% \alpha\text{-cellulose} = 100 - \frac{6.85(V_2 - V_1) \times N \times 20}{A \times W}$$

เมื่อ  $V_1$  = ปริมาตรที่ใช้ในการไตเตรตสารตัวอย่าง (ml)

$V_2$  = ปริมาตรที่ใช้ในการไตเตรต blank (ml)

N = Normality ของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต

A = ปริมาตรของส่วนที่กรองได้ (ml)

W = น้ำหนักแห้งของตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)

### 3.3.1.2.5.2. การวิเคราะห์หา $\beta$ และ $\gamma$ -cellulose

#### วิธีการทดลอง

ก) ปิเปตสารละลายที่กรองได้ปริมาตร 50 ml ใส่ลงในกระบอกตวงขนาด 100 ml

ข) เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 3 N ปริมาตร 50 ml เขย่าให้เข้ากัน

ค) ให้ความร้อนกับกระบอกตวง โดยใช้ water bath ที่อุณหภูมิ 70-90°C (ให้ใช้เวลาประมาณ 15 นาที) หลังจากนั้นนำไปใส่ตู้เย็นเป็นเวลา 1 คืน ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน

ง) หากการแยกชั้นยังไม่สมบูรณ์ ให้ทำการ centrifuge (ที่ความเร็วรอบ 4,000 รอบ/นาที) เป็นเวลา 30 นาที และค่อยๆรินส่วนที่เป็นสารละลายใสออกมาเก็บไว้

จ) ปิเปตสารละลายใสมา 50 ml ใส่ใน flask 300 ml เติมสารละลาย  $K_2Cr_2O_7$  0.5 N 10 ml จากนั้นค่อยๆใส่กรดซัลฟูริกเข้มข้น 90 ml จะมีความร้อนเกิดขึ้น

6. ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที เติมน้ำกลั่น 50 ml และทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

ช) เติมเฟอร์โรอิน อินดิเคเตอร์ 2-4 หยด และทำการไตเตรตด้วย 0.1 N ของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต  $[Fe(NH_4)SO_4]$  จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีม่วง

ซ) ทำ blank โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 17.5% ปริมาตร 12.5 ml ผสมกับน้ำ 12.5 ml และกรดซัลฟูริก 3 N 25 ml

ฉ) คำนวณหา %  $\gamma$ -cellulose ได้จาก

$$\% \gamma\text{-cellulose} = \frac{[6.85(V_4 - V_2) \times N \times 20]}{25 \times W}$$

เมื่อ  $V_3 =$  ปริมาตรที่ใช้ในการไตเตรตสารตัวอย่าง (ml)

$V_4 =$  ปริมาตรที่ใช้ในการไตเตรต blank (ml)

ณ) คำนวณหา %  $\beta$ -cellulose ได้จาก

$$\% \beta\text{-cellulose} = \% \text{holocellulose} - \% \alpha\text{-cellulose} - \% \gamma\text{-cellulose}$$

### 3.3.2 การเตรียมตัวอย่าง

#### 3.3.2.1 การเตรียมสารเสริมแรง

ทำการอบเส้นใยก้านมะพร้าวที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อให้มีความชื้นประมาณ 1-2 % จากนั้นทำการปรับปรุงผิวเส้นใยก้านมะพร้าวโดยนำไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 5% 10% 15% และ 20% อุณหภูมิ  $28 \pm 1^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 72-76 ชั่วโมง ล้างด้วยน้ำสะอาดหลายๆครั้ง จนกว่าเส้นใยไม่มีความลื่นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เหลืออยู่ และทำการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ให้ได้ที่ pH เท่ากับ 7 ล้างด้วยน้ำกลั่นอีกครั้ง จึงนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

#### 3.3.2.2 การเตรียมของผสมระหว่างสารเสริมแรงและพอลิเอทิลีน

ตามอัตราส่วนดังแสดงในตารางที่ 5 ด้วยเครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer) เพื่อให้ของผสมเกิดการกระจายตัวเข้าหากันภายใต้แรงเค้นเฉือนและความร้อน โดยของผสมจะถูกลบอัดที่ความเร็วรอบเท่ากับ 50 รอบ/นาที อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 นาที

ตารางที่ 5 แสดงรหัสตัวอย่างและส่วนผสมต่างๆ ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง

รหัสตัวอย่าง	PE %	% เส้นใยที่ไม่ผ่านการ ปรับปรุง		% เส้นใยก้านมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุง			
		ก้านมะพร้าว	เส้นใยแก้ว	NaOH	NaOH	NaOH	NaOH
				5%	10%	15%	20%
untreat5-1F	99	1	-	-	-	-	-
untreat5-5F	95	5	-	-	-	-	-
glass 1%	99	-	1	-	-	-	-
glass 5%	95	-	5	-	-	-	-
NaOH5%-1F	99	-	-	1	-	-	-
NaOH5%-5F	95	-	-	5	-	-	-
NaOH10%-1F	99	-	-	-	1	-	-
NaOH10%-5F	95	-	-	-	5	-	-
NaOH15%-1F	99	-	-	-	-	1	-
NaOH15%-5F	95	-	-	-	-	5	-
NaOH20%-1F	99	-	-	-	-	-	1
NaOH20%-5F	95	-	-	-	-	-	5

นำของผสมที่ได้ไปตัดให้เป็นเม็ดเล็กๆ ด้วยเครื่องบดตัดพลาสติก เพื่อให้ได้ชิ้นงานเป็นเม็ดเล็ก พร้อมนำไปขึ้นรูปชิ้นงานโดยผ่านเครื่องฉีดพลาสติกต่อไป

### 3.3.2.3 การเตรียมชิ้นงานพอลิเอทิลีนคอมโพสิต

นำเม็ดพอลิเมอร์ที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.2.2 ในทุกอัตราส่วนไปฉีดขึ้นรูปเป็นชิ้นงานด้วยเครื่องฉีดพลาสติก เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบความต้านทานแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D 638 Type I [20] ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบความต้านทานต่อการโค้งงอตามมาตรฐาน ASTM D 790 [21] โดยกำหนดสภาวะการเตรียมชิ้นงานดังนี้

- อุณหภูมิแต่ละช่วงของกระบอกหลอม ดังนี้

ช่วงที่ 1 เท่ากับ 220 องศาเซลเซียส (ใกล้ hopper)

ช่วงที่ 2 เท่ากับ 230 องศาเซลเซียส

ช่วงที่ 3 เท่ากับ 240 องศาเซลเซียส (ใกล้ nozzle)

- สภาวะความดันในการฉีดพอลิเอทธิลีนเมื่อไม่มีการเติมเส้นใย เท่ากับ 100 bar
- สภาวะความดันในการฉีดพอลิเอทธิลีนคอมโพสิต เท่ากับ 150 bar
- อุณหภูมิของแม่พิมพ์ เท่ากับ 70 องศาเซลเซียส

### 3.3.3 การศึกษาสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน

#### 3.3.3.1 การศึกษาสมบัติความทนทานต่อการดึง

ความทนทานต่อการดึงยึด คือ สมบัติของวัสดุที่แสดงถึงความแข็งแรงและความสามารถในการทนรับแรงดึงของวัสดุจนกว่าจะขาดในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ด้วยอัตราการดึงที่คงที่ ชิ้นงานสำหรับทดสอบจะมีลักษณะเป็นแบบดัมเบลล์ (Dumbbell) ตามมาตรฐาน ASTM D 638 Type I การทดสอบทำโดยนำชิ้นงานที่เตรียมไว้ไปจับยึดด้วยหัวจับขนาด 5 kN ที่ด้านปลายทั้งสองข้างของชิ้นงาน และทำการดึงชิ้นงานด้วยเครื่อง Universal Testing Machine ของบริษัท LLOYD Instrument รุ่น LR50K ด้วยความเร็วคงที่เท่ากับ 5 มิลลิเมตรต่อนาที ผลการทดสอบแสดงอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (stress) และความเครียด (strain) ซึ่งได้จากการคำนวณตามสมการที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ โดยค่าที่ได้จากการทดสอบรายงานในรูปของค่าเฉลี่ยของการทดสอบตัวอย่าง อย่างน้อย 10 ชิ้น

$$\text{Stress } (\sigma) = \frac{F}{A_0} \quad (3.1)$$

$$\text{Strain } (\epsilon) = \frac{(L_i - L_0)}{L_0} \quad (3.2)$$

เมื่อ Stress ( $\sigma$ ) คือ ความเค้น มีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางเมตร

Strain ( $\epsilon$ ) คือ ความเครียด

F คือ แรงดึงที่ให้กับชิ้นงาน มีหน่วยเป็นนิวตัน

$A_0$  คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานในช่วงความยาวเกจ (gauge length) มีหน่วยเป็นตารางเมตร

$L_i$  คือ ความยาวของชิ้นงาน ณ ตำแหน่งหรือระยะยึดใดๆ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

$L_0$  คือ ความยาวเกจของชิ้นงานเริ่มต้น มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

ค่าความทนทานต่อการเสีรูป (Young's modulus) คือค่าความชันของกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดในช่วงที่มีความสัมพันธ์ของกราฟเป็นเส้นตรงก่อนถึงจุดคราก (yield point) ของชิ้นงาน ในช่วงก่อนถึงจุดครากชิ้นงานจะมีสมบัติเป็น linear elasticity

คือ เมื่อทำการดึงชิ้นงานแล้วนำแรงออก ชิ้นงานจะสามารถกลับคืนสู่ขนาดเดิมก่อนการดึงได้ โดยสามารถคำนวณค่าความทนทานต่อการเสียรูปได้จากสมการที่ 3.3

$$\text{Young's modulus} = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (3.3)$$

ค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) คือ ค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุทนได้ก่อนการขาด มีหน่วยเป็น นิวตันต่อตารางเมตร โดยในงานวิจัยนี้จะนำเสนอค่าความต้านทานแรงดึงที่ได้จากการทดสอบในรูปของค่า tensile strength ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่า Tensile strength ต่อความหนาแน่นของชิ้นงาน

### 3.3.3.2 การศึกษาสมบัติความทนทานต่อการโค้งงอ

การทดสอบสมบัติความทนทานต่อการโค้งงอ (Flexural test) เป็นการทดสอบสมบัติความแข็งแรงเมื่อชิ้นงานทดสอบได้รับแรงคด (bending) ซึ่งเป็นการให้แรงกดลงบนชิ้นทดสอบที่มีจุดรองรับ 2 จุดอยู่ห่างกันเป็นระยะ L จนกระทั่งความเครียดของชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 5% ตามมาตรฐาน ASTM D790, Procedure B

การทดสอบทำโดยนำชิ้นงานที่เตรียมไว้ไปวางบนจุดรองรับ (support) 2 จุดที่มีระยะห่างเท่ากับ 52 มิลลิเมตร แล้วทำการกดชิ้นงานด้วยเครื่อง Universal testing machine ด้วยความเร็วของหัวกดคดที่เท่ากับ 5 มิลลิเมตรต่อนาที ผลการทดสอบที่ได้แสดงอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นคด (flexural stress) และความเครียดคด (flexural strain) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (3.4)$$

$$\epsilon_f = \frac{6Dd}{L^2} \quad (3.5)$$

$$D = \frac{rL^2}{6d} \quad (3.6)$$

เมื่อ  $\sigma_f$  คือ ความเค้นคด (flexural stress) มีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร

$\epsilon_f$  คือ ความเครียดคด (flexural strain)

P คือ แรงกดที่ให้กับชิ้นงาน มีหน่วยเป็นนิวตัน

L คือ ระยะทางระหว่างจุดรองรับ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

b คือ ความกว้างของชิ้นงานทดสอบ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร



- d คือ ความหนาของชิ้นงานทดสอบ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
- D คือ ระยะการโค้งงอของชิ้นงาน มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
- r คือ ความเครียดคดสูงสุดของผิวด้านนอกชิ้นงาน มีค่าเท่ากับ 0.05 mm/mm

โดยงานวิจัยนี้นำเสนอข้อมูลในรูปของค่า flexural modulus ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าความทนทานต่อการโค้งงอต่อค่าความหนาแน่นของชิ้นงาน ซึ่งค่าที่ได้จากการทดสอบเป็นค่าเฉลี่ยของการทดสอบตัวอย่าง อย่างน้อย 5 ชิ้น

#### 3.3.4 การศึกษาลักษณะพื้นฐานภายในของชิ้นงาน

โดยทำการศึกษาลักษณะพื้นฐานภายในของชิ้นงาน ที่ได้จากการทดสอบความทนทานต่อการดึงยึด ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM) โดยตัดชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบความทนทานต่อการดึงยึดตามภาคตัดขวาง ไปวางบนแผ่นรองตัวอย่างที่มีแถบกาวติดไว้ โดยให้ด้านที่ทำการตัดติดอยู่กับแถบกาวและให้ด้านที่ขาดจากการดึงยึดอยู่ด้านบน เพื่อให้อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ได้ จากนั้นนำตัวอย่างที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM ของบริษัท Hitachi รุ่น S3400N

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยก้านมะพร้าว

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีในเส้นใยก้านมะพร้าว

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละของน้ำหนักตัวอย่างอบแห้ง
การละลายในแอลกอฮอล์และเบนซีน	1.25
ลิกนิน	16.0
ไฮโดรเซลลูโลส	87.1
แอลฟาเซลลูโลส	52.6
เบต้าเซลลูโลส	21.4
แกมมาเซลลูโลส	13.1
เฮมิเซลลูโลส	34.5

หมายเหตุ ปริมาณของเฮมิเซลลูโลส มีค่าเท่ากับปริมาณของไฮโดรเซลลูโลส หักด้วยปริมาณของ แอลฟาเซลลูโลส ปริมาณของไฮโดรเซลลูโลส มีค่าเท่ากับปริมาณรวมทั้งหมดของ แอลฟาเซลลูโลส เบต้าเซลลูโลส และแกมมาเซลลูโลส

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยก้านมะพร้าว แสดงดังตารางที่ 6 พบว่าองค์ประกอบหลักของเส้นใยก้านมะพร้าว คือ แอลฟาเซลลูโลส มีปริมาณสูงถึง 52.6% โดยน้ำหนัก องค์ประกอบรองลงมา คือ เฮมิเซลลูโลส มีปริมาณ 34.5% โดยน้ำหนัก และมีปริมาณลิกนิน 16% โดยน้ำหนัก ผลการทดสอบดังกล่าวสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Jan E. G. van Dam และคณะ [11] แอลฟาเซลลูโลสหรือที่เรียกทั่วไปว่าเซลลูโลสนั้น จัดเป็น linear condensation polymer ที่ประกอบไปด้วยหน่วยของ D-anhydroglucopyranose หรือที่เรียกว่า glucose ต่อกันด้วยพันธะของ  $\beta$ -1,4-glycosidic ในโครงสร้างของเซลลูโลสประกอบไปด้วยหมู่ hydroxyl จำนวนมาก ทำให้มีพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงระหว่างโมเลกุล สายโซ่ของเซลลูโลสมีลักษณะบิดตัวคล้ายกับริบบิ้นที่มีความเป็นผลึกสูง [8] ดังนั้นการเสริมแรงด้วยเส้นใยที่มีปริมาณแอลฟาเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบสูงจึงมีแนวโน้มทำให้วัสดุผสมมีค่ามอดุลัสสูงขึ้น สำหรับลิกนินนั้นเป็นสารประกอบ

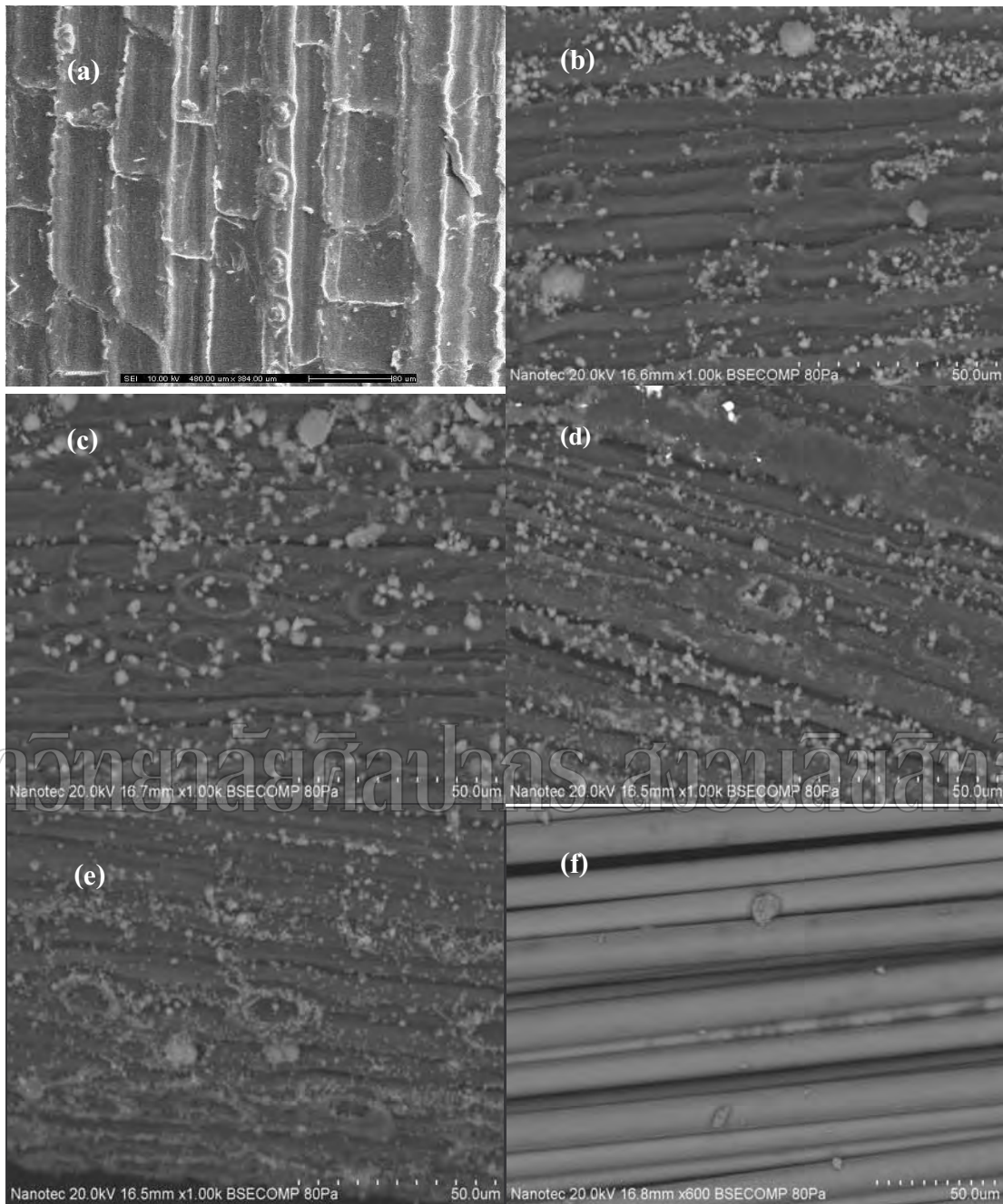
เชิงซ้อนมีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักพบอยู่ร่วมกับเซลลูโลส ลิกนินเป็นสารที่ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนรวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิด ซึ่งเป็นสารอะโรมาติก ไม่ละลายน้ำและไม่มีสมบัติทางการยืดหยุ่น เพราะฉะนั้น จึงทำให้พืชที่มีลิกนินมาก มีความแข็งแรงสูง ดังนั้น การเสริมแรงด้วยเส้นใยที่มีปริมาณลิกนินเป็นองค์ประกอบมาก จึงมีแนวโน้มทำให้วัสดุผสมมีความแข็งแรงมากขึ้น [4]

#### 4.2 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยก้านมะพร้าวที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วย

##### สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

เมื่อนำตัวอย่างมาศึกษาลักษณะพื้นผิวของเส้นใยก้านมะพร้าวก่อนและหลังการปรับปรุงผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 8 พบว่าพื้นผิวของเส้นใยจะมีชั้นของไขมันหุ้มอยู่ที่ผนังเซลล์รอบนอกดังแสดงในรูปที่ 8 (a) เส้นใยมีพื้นผิวเรียบเนื่องจากมีชั้นของ waxy layer ปกคลุม ตลอดแนวความยาวจะประกอบไปด้วยเม็ดกลมๆ เรียกว่า tylose ฝังตัวอยู่ที่พื้นผิวเส้นใยเป็นระยะ เมื่อนำตัวอย่างไปทำการปรับปรุงผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ดังแสดงในรูปที่ 4 (b)-(e) พบว่า ชั้นของไขมันหลุดออกไป [12] เกิดการหลุดออกของ tylose ทำให้มองเห็นร่องและหลุมลึกที่ผิวเส้นใย เม็ดสีขาวขนาดเล็กที่พบบนพื้นผิวเส้นใยอาจเกิดจากการทำปฏิกิริยา Saponification ระหว่างไขมันและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้ชั้นของไขมันแตกออกเป็นกลุ่มของแข็งสีขาวกระจายไปตามพื้นผิวของเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุง

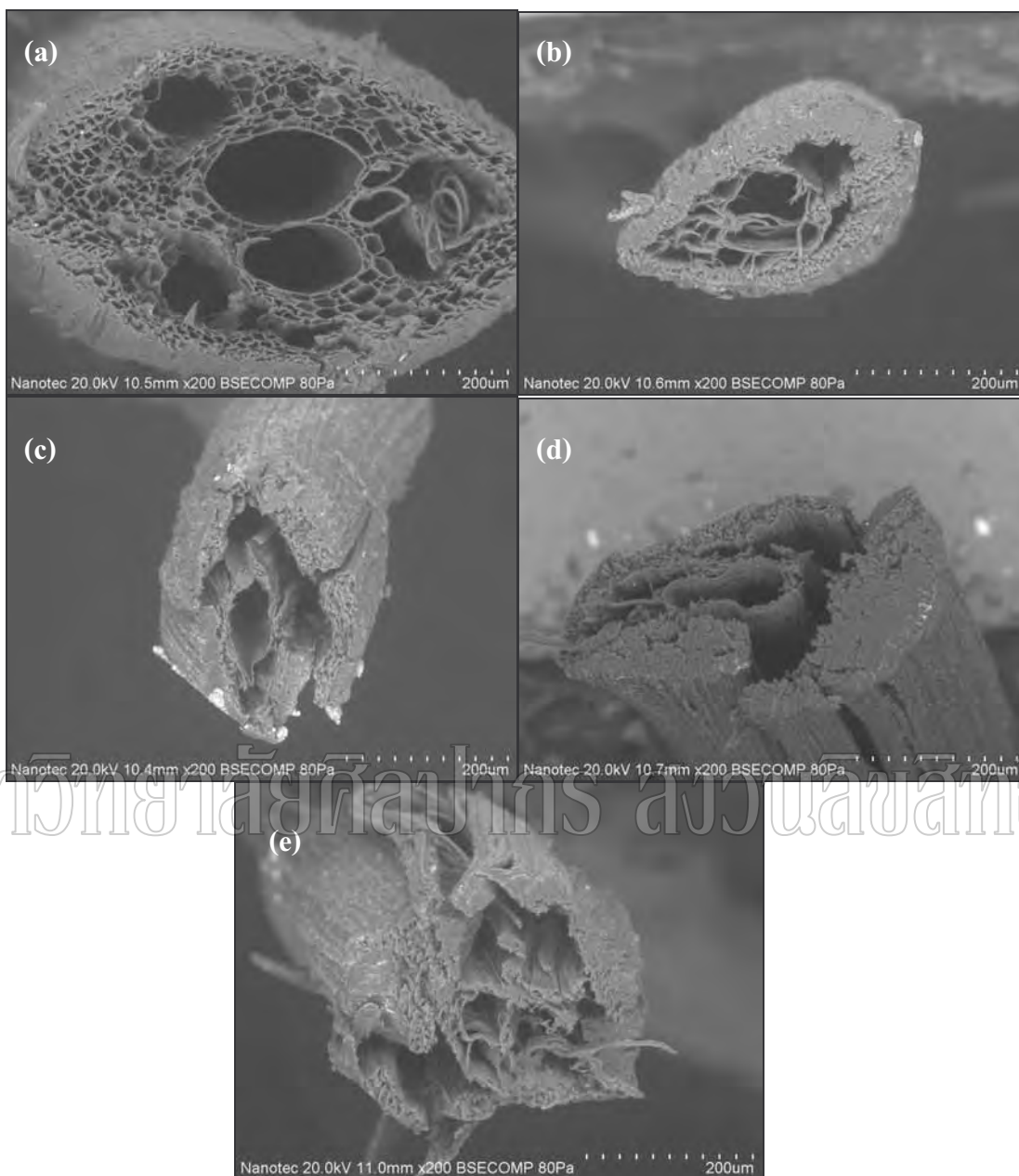
ในรูปที่ 8 (f) เป็นลักษณะพื้นผิวของเส้นใยแก้ว ซึ่งจะเห็นว่ามีความเรียบมัน ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพื้นผิวเส้นใยก้านมะพร้าวและเส้นใยแก้ว จากรูปที่ 8 (a) ถึง (e) และ (f) พบว่าเส้นใยก้านมะพร้าวทั้งที่ผ่านการปรับปรุงผิว และไม่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีพื้นผิวที่ขรุขระมากกว่าเส้นใยแก้ว ปัจจัยดังกล่าวมีผลกระทบต่อเกิดการเกาะเกี่ยวเชิงกล (mechanical interlocking) ระหว่างเส้นใยและพอลิเมอร์เมทริกซ์ในวัสดุคอมโพสิต ซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตได้



รูปที่ 8 แสดงลักษณะพื้นผิวของเส้นใยก้านมะพร้าว (a) ก่อนทำการปรับปรุง, (b) หลังปรับปรุงด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 5%, (c) 10%, (d) 15%, (e) 20% ด้วยเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 1000 เท่า และ (f) เส้นใยแก้วชนิดสั้น ที่กำลังขยาย 600 เท่า

เมื่อนำเส้นใยก้านมะพร้าวไปศึกษาลักษณะภาคตัดขวางของมันด้วยเทคนิค SEM ได้ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 9 พบว่าเส้นใยก้านมะพร้าวก่อนการปรับปรุงผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีลักษณะเป็นเส้นใยที่เกาะตัวกันเป็น cellular structure และมีช่อง lumen ตรงกลางสำหรับการลำเลียงน้ำและสารอาหาร สารเชื่อมประสานที่ช่วยให้เกิดการเกาะตัวกันของเส้นใย คือ ลิกนิน เพกตินและเฮมิเซลลูโลส แต่เมื่อนำเส้นใยไปทำการปรับปรุงผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ เส้นใยจะสูญเสียลักษณะที่เป็น cellular structure เพราะสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้ไปละลายส่วนที่เป็นลิกนิน เพกตินและเฮมิเซลลูโลส ซึ่งเป็นตัวเชื่อมโยง (adhesive) เส้นใยให้อยู่เป็นกลุ่ม (bundle) ให้ละลายออกมา ทำให้เส้นใยมีขนาด lumen หรือช่องตรงกลางระหว่างเส้นใยมีขนาดลดลง [11,22]

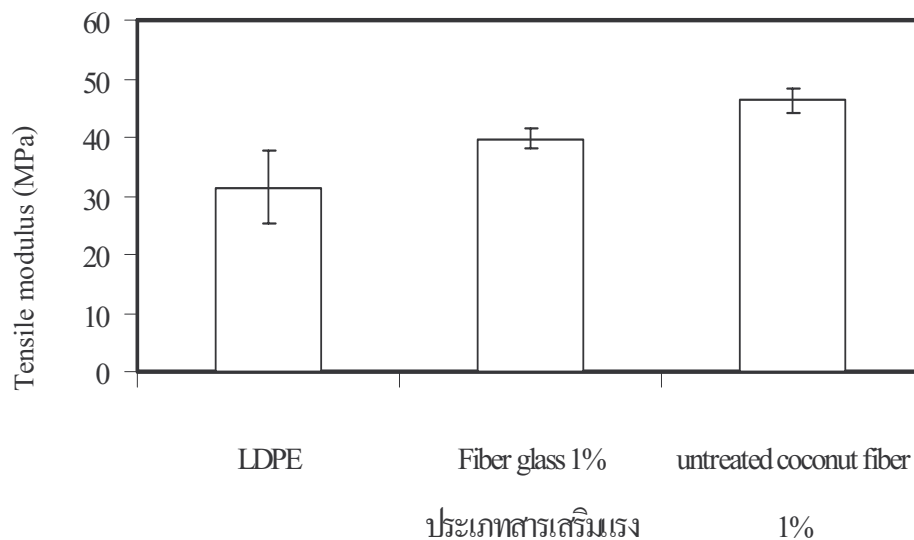
รูปที่ 9 (a) แสดงภาคตัดขวางของเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ซึ่งมีลักษณะเป็น cellular structure สังเกตเห็นช่อง lumen ตรงกลางเป็นวงกลม ในรูปที่ 9(b) เป็นภาพของเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 5% แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของ cellular structure ของเส้นใย ขนาดช่อง lumen ตรงกลางเส้นใยมีขนาดเล็กลงและไม่เป็นรูปวงกลม เส้นใยมีการหดตัวจนมีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กลงจากการอบด้วยความร้อน และเมื่อทำการปรับปรุงผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นสูงขึ้น จะทำให้ cellular structure ของเส้นใยมีการเสียรูปไปมากขึ้น เกิดการแตกออกของเส้นใยที่เคยเกาะกันเป็นกลุ่ม และนี่ก็ออกที่บริเวณผิวของเส้นใย ดังแสดงในรูปที่ 9(e) ดังนั้น พื้นผิวเส้นใยจึงเสมือนว่าเกิดความขรุขระเพิ่มมากขึ้นไปตามความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งความขรุขระที่ผิวเส้นใยจะส่งผลต่อการเกิดเกาะเกี่ยวเชิงกล (mechanical interlocking) ระหว่างเส้นใยก้านมะพร้าวและพอลิเมอร์เมทริกซ์ ในกลไกการเสริมแรงของเส้นใยก้านมะพร้าวในวัสดุคอมโพสิต



รูปที่ 9 แสดงภาพภาคตัดขวางของเส้นใย (a) ก่อนทำการปรับปรุง, (b) หลังปรับปรุงด้วยสารละลาย NaOH 5%, (c) 10%, (d) 15% และ (e) 20% ที่กำลังขยาย 200 เท่า

#### 4.3 ผลของการเสริมแรงด้วยเส้นใยก้านมะพร้าวที่มีต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนคอมโพสิต

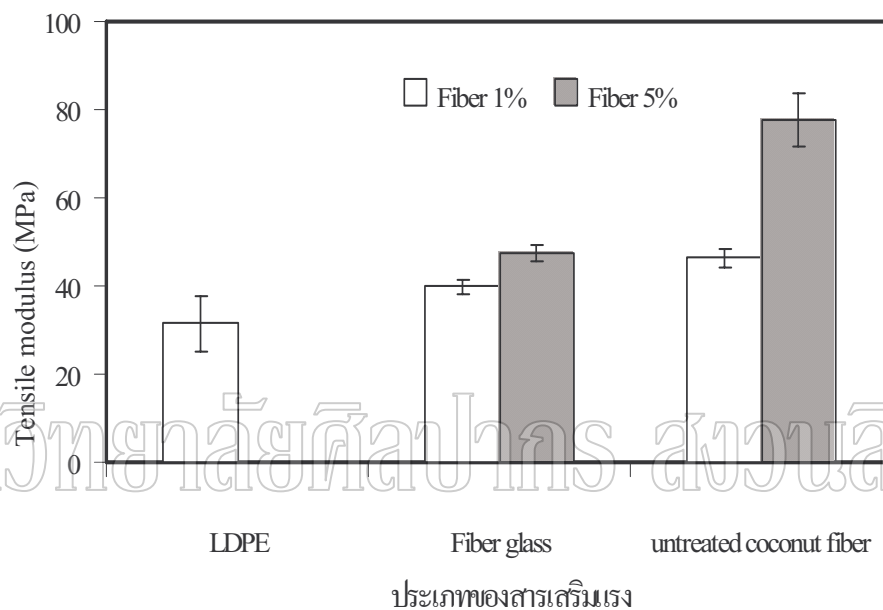
##### 4.3.1 ผลของสมบัติความทนทานต่อการดึงยึดของพอลิเอทิลีนและพอลิเอทิลีนคอมโพสิตที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยก้านมะพร้าว



รูปที่ 10 แสดงค่า Tensile modulus ของพอลิเอทิลีนและพอลิเอทิลีนคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว เส้นใยก้านมะพร้าวธรรมชาติ ที่ปริมาณ 1% โดยน้ำหนัก

เมื่อนำพอลิเอทิลีนและพอลิเอทิลีนคอมโพสิต ที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วและเส้นใยก้านมะพร้าวธรรมชาติ ไปทำการทดสอบหาค่า Tensile modulus ได้ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 10 พอลิเอทิลีนคอมโพสิตที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วและเส้นใยก้านมะพร้าว มีค่า Tensile modulus สูงกว่าพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์ เนื่องจากเส้นใยแก้วและเส้นใยก้านมะพร้าวซึ่งมีค่ามอดุลัสสูงกว่าพอลิเอทิลีนไปช่วยเสริมแรงและต้านทานการแปรรูปของวัสดุคอมโพสิตเมื่อได้รับแรงเค้นจากภายนอก ส่วนการเสริมแรงด้วยเส้นใยก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวทำให้ค่า Tensile modulus สูงกว่าการเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วสั้น ถึงแม้ว่าค่ามอดุลัสของเส้นใยแก้วจะสูงกว่าเส้นใยก้านมะพร้าว เนื่องจากเส้นใยแก้วที่ใช้เป็นเส้นใยแก้วที่ไม่มีสารประสาน (coupling agent) เคลือบอยู่รอบเส้นใย จึงเกิดการแยกเฟสออกจากพอลิเอทิลีนอย่างชัดเจนดังแสดงในรูปที่ 22 (f) ทำให้การถ่ายโอนแรงระหว่างสารเสริมแรงและเมทริกซ์เกิดขึ้นได้ไม่ดี สำหรับเส้นใยก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ พื้นผิวยังคงมีชั้นของไขมันเคลือบอยู่ ซึ่งอาจจะเชื่อมประสานกับพอลิเอทิลีนเมทริกซ์ได้บ้างจากความมันที่เหมือนกัน นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพของพื้นผิวเส้นใยก้านมะพร้าวเปรียบเทียบกับเส้นใย

แก้ว จากรูปที่ 8 นั้นพบว่าเส้นใยก้านมะพร้าวอาจเกิดการเกาะเกี่ยวเชิงกล (mechanical interlocking) ระหว่างพอลิเมอร์ที่เป็นเมทริกซ์และเส้นใยได้ดีกว่าเส้นใยแก้ว เนื่องจากพื้นผิวของเส้นใยก้านมะพร้าวมีความขรุขระมากกว่า ดังนั้นเมื่อให้แรงดึงยึดกระทำกับชิ้นงานทดสอบจะเกิดการถ่ายโอนแรงจากจากเมทริกซ์ไปสู่สารเสริมแรงที่เป็นเส้นใยได้ดีกว่า ส่งผลให้ความแข็งแรงต่อการแปรรูปหรือค่า Tensile modulus สูงกว่าพอลิเอทิลีนและพอลิเอทิลีนคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว

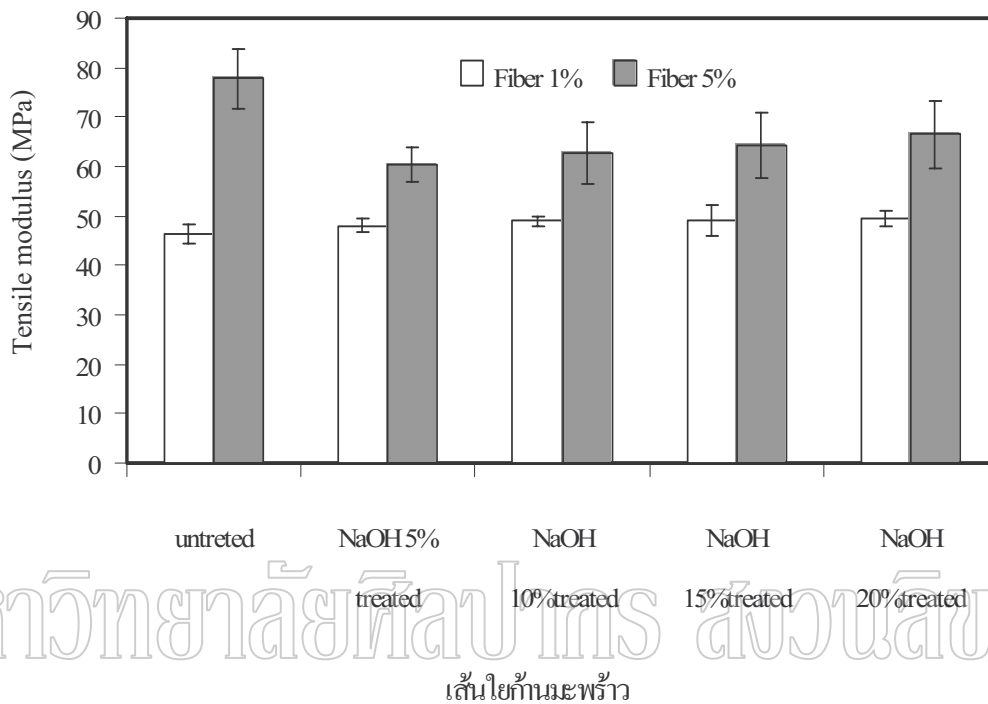


รูปที่ 11 แสดงค่า Tensile modulus ของพอลิเอทิลีนและพอลิเอทิลีนคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว เส้นใยก้านมะพร้าวธรรมชาติ ที่ปริมาณ 1% และ 5% โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 11 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพอลิเอทิลีนคอมโพสิตที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วหรือเส้นใยก้านมะพร้าวในสัดส่วนการผสม 1% และ 5% โดยน้ำหนัก พบว่าค่า Tensile modulus มีค่าสูงมากขึ้นไปตามปริมาณสารเสริมแรงที่เพิ่มมากขึ้น สำหรับการเสริมแรงด้วยเส้นใยในปริมาณ 5% โดยน้ำหนัก พบว่าการใช้เส้นใยก้านมะพร้าวที่ไม่มีการปรับปรุงผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้ได้วัสดุคอมโพสิตที่มีค่า Tensile modulus สูงกว่าการเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว อย่างเด่นชัด อาจเป็นผลมาจากสารเสริมแรงที่ผสมในวัสดุคอมโพสิตในงานวิจัยนี้ได้ใช้การผสมในสัดส่วนโดยน้ำหนักของวัสดุคอมโพสิต ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นระหว่างเส้นใยแก้วและเส้นใยก้านมะพร้าวจะเห็นได้ว่าเส้นใยแก้วมีความหนาแน่นมากกว่าเส้นใยธรรมชาติถึง 2 เท่า [4] ทำให้ปริมาณเส้นใยก้านมะพร้าว (จำนวนเส้นใย) ที่ผสมลงไปวัสดุคอมโพสิตมีปริมาณ



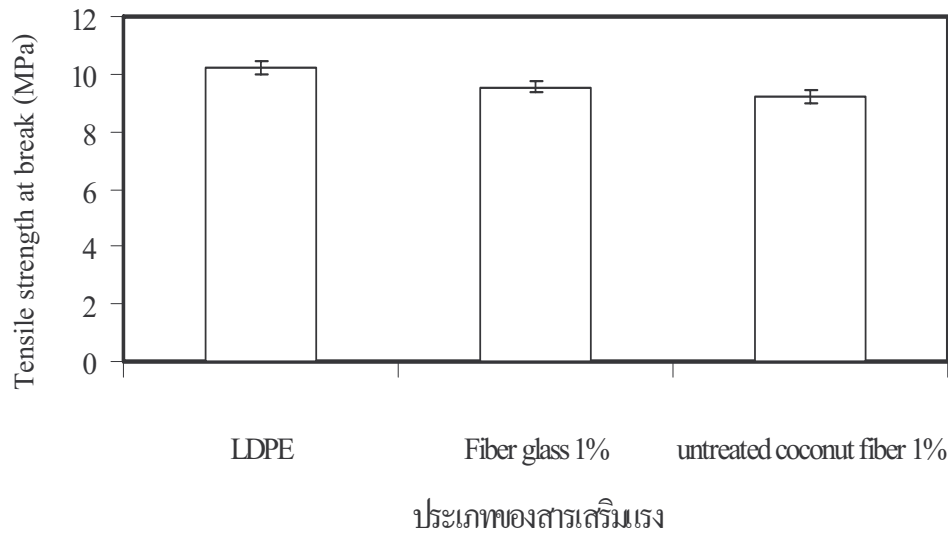
(จำนวนเส้นใย) ที่มากกว่าการใช้เส้นใยแก้ว ดังนั้น เส้นใยก้านมะพร้าวจึงสามารถกระจายอยู่ในวัสดุคอมโพสิตได้มากกว่า ทำให้กลไกการเสริมแรงเกิดขึ้นได้ดีกว่านั่นเอง



รูปที่ 12 แสดงค่า Tensile modulus ของพอลิเอทิลีนคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5%, 10%, 15% และ 20% ที่ปริมาณ 1% และ 5% โดยน้ำหนัก

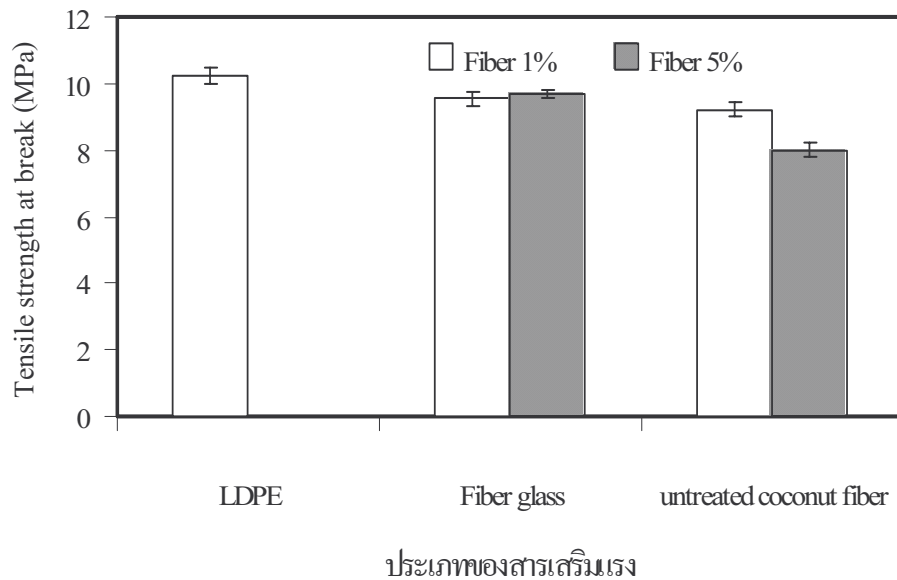
เมื่อทำการปรับปรุงผิวของเส้นใยก้านมะพร้าวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 5%, 10% 15% และ 20% แสดงดังรูปที่ 12 พบว่า ค่า Tensile modulus ของการเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิวในสัดส่วนการผสม 1% โดยน้ำหนัก ไม่พบความแตกต่างอย่างชัดเจน แต่เมื่อพิจารณาในสัดส่วนการผสม 5% โดยน้ำหนัก พบว่าค่า Tensile modulus จะสูงขึ้นไปตามการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ปรับปรุงผิวเส้นใย ทั้งนี้ น่าจะเป็นผลมาจากความขรุขระที่เพิ่มมากขึ้นของพื้นผิวของเส้นใยก้านมะพร้าว ดังแสดงในรูปที่ 9 ทำให้กลไกการเสริมแรงจากการเกิด mechanical interlocking ของเส้นใยก้านมะพร้าวและเมทริกซ์ น่าจะเป็นไปได้มากขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์พบว่าได้ค่า Tensile modulus ที่สูงกว่า ทั้งนี้ น่าจะเป็นผลมาจากชั้น

ของไขมันของผิวเส้นใยช่วยทำให้เกิดการเชื่อมประสานที่ดีมากกว่าการละลายชั้นของไขมันออกด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ 13 แสดงค่า Tensile strength at break ของพอลิเอทิลีนและพอลิเอทิลีนคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วและเส้นใยก้านมะพร้าวธรรมชาติ

ค่า Tensile strength at break ของพอลิเอทิลีนและวัสดุคอมโพสิตจากการทดสอบการดึงยึด แสดงได้ดังรูป 13 พบว่าการเสริมแรงด้วยเส้นใยก้านมะพร้าวและเส้นใยแก้วทำให้ค่า Tensile strength at break ของวัสดุมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์ เป็นผลมาจากเกิดการแยกเฟสระหว่างเส้นใยและพอลิเมอร์เมทริกซ์ ดังแสดงในรูปที่ 22 ทำให้วัสดุคอมโพสิตเกิดการฉีกขาดออกจากกันได้ง่ายที่รอยต่อระหว่างทั้งสองเฟส ดังนั้น จึงใช้แรงเค้นในการดึงให้ตัวอย่างขาดออกจากกันน้อยลง ส่วนคอมโพสิตที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วและเส้นใยก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวไม่พบความแตกต่างของค่า Tensile strength at break อย่างชัดเจน

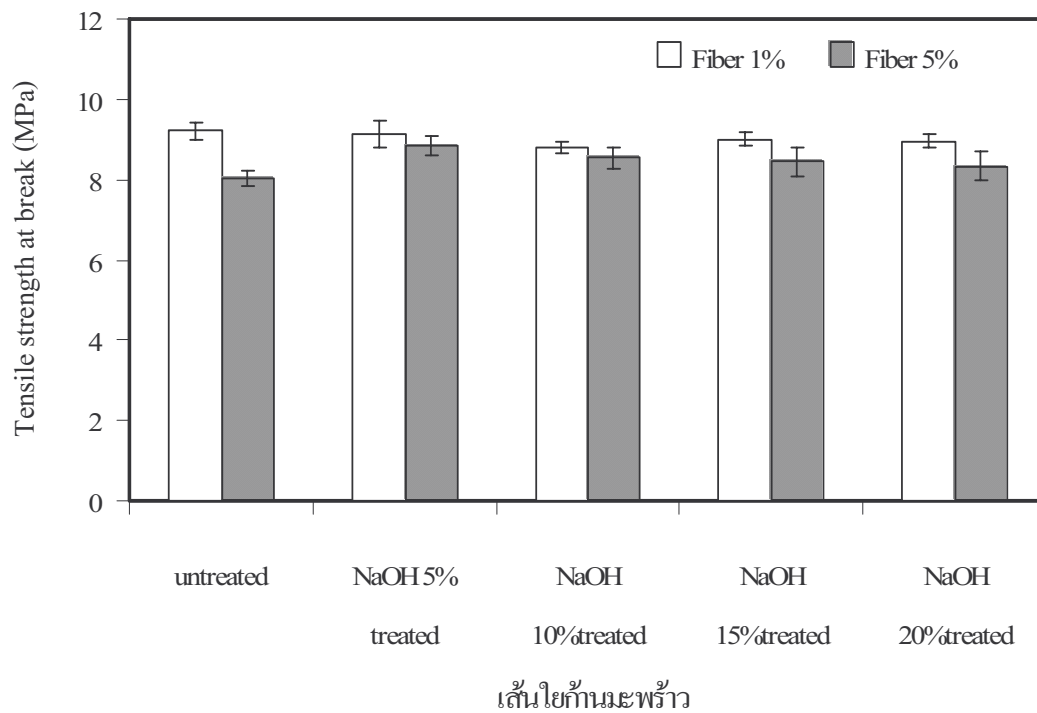


รูปที่ 14 แสดงค่า Tensile strength at break ของพอลิเอทิลีนและพอลิเอทิลีนคอมโพสิตที่

เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วและเส้นใยก้านมะพร้าวธรรมชาติ ที่ปริมาณ 1% และ 5% โดย

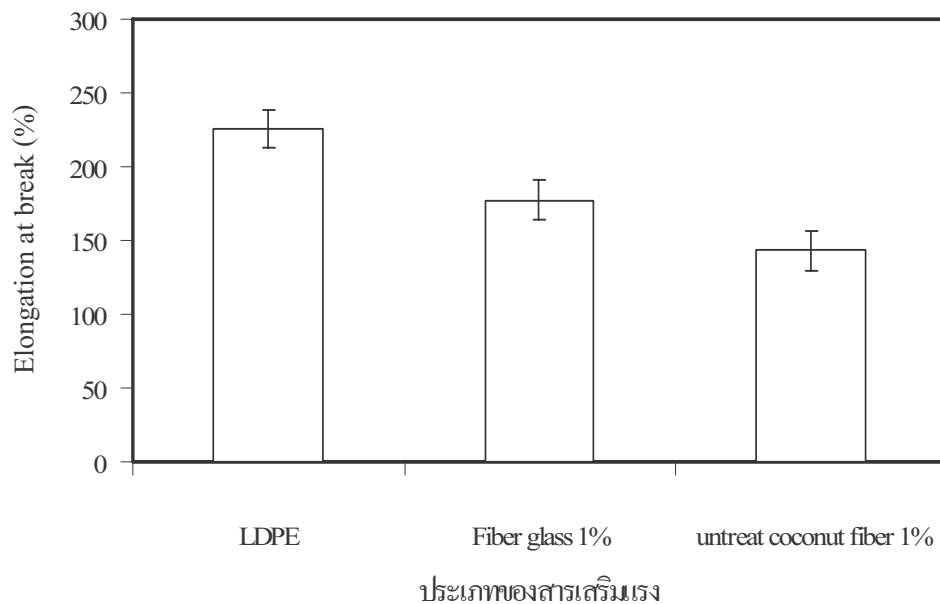
น้ำหนัก

จากรูปที่ 14 เปรียบเทียบค่า Tensile strength at break ระหว่างพอลิเอทิลีนคอมโพสิตที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วและเส้นใยก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ในสัดส่วนการผสม 1% และ 5% โดยน้ำหนัก พบว่าปริมาณสารเสริมแรงไม่มีผลต่อค่า Tensile strength at break ของการเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วอย่างเด่นชัด แต่กรณีการเสริมแรงด้วยเส้นใยก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ในสัดส่วนการผสม 5% โดยน้ำหนัก จะมีค่า Tensile strength at break ต่ำกว่าในสัดส่วนการผสม 1% โดยน้ำหนัก เนื่องจากปริมาณของเส้นใยที่มีจำนวนมากขึ้นทำให้เกิดรอยต่อของการแยกเฟสระหว่างเส้นใยและพอลิเมอร์เมทริกซ์มากขึ้น จึงทำให้เกิดการขาดออกได้ง่ายมากขึ้น



รูปที่ 15 แสดงค่า Tensile strength at break พอลิเอทรีนคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5%, 10%, 15% และ 20% ที่ปริมาณ 1% และ 5% โดยน้ำหนัก

ค่า Tensile strength at break ของวัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยก้านมะพร้าวที่ปรับปรุงผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 5%, 10% 15% และ 20% แสดงดังรูปที่ 15 พบว่า การเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิวในสัดส่วนการผสม 1% โดยน้ำหนัก ค่า Tensile strength at break ไม่มีความแตกต่างอย่างเด่นชัด แต่เมื่อพิจารณาในสัดส่วนการผสม 5% โดยน้ำหนัก พบว่าค่า Tensile strength at break มีแนวโน้มลดลงไปตามความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ไปละลายชั้นของไขมันออกจากผิวเส้นใยทำให้การถ่ายโอนแรงระหว่างทั้งสองเฟสเกิดได้น้อยลง รวมทั้งสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ยังไปละลายลิกนิน เพกติน หรือเฮมิเซลลูโลสออกมาจากเส้นใย ทำให้โครงสร้าง cellular structure ของเส้นใยเสียรูปไป จึงทำให้เส้นใยมีความแข็งแรงน้อยลง



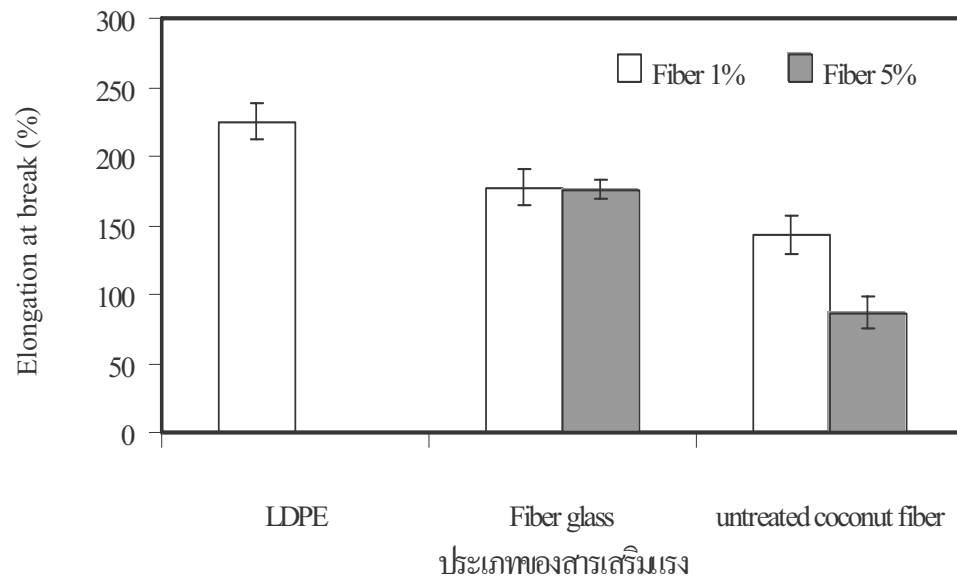
รูปที่ 16 แสดงค่า Elongation at break ของพอลิเอทิลีนและพอลิเอทิลีนคอมโพสิตที่เสริมแรง

ด้วยเส้นใยแก้วและเส้นใยก้านมะพร้าวธรรมชาติ

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

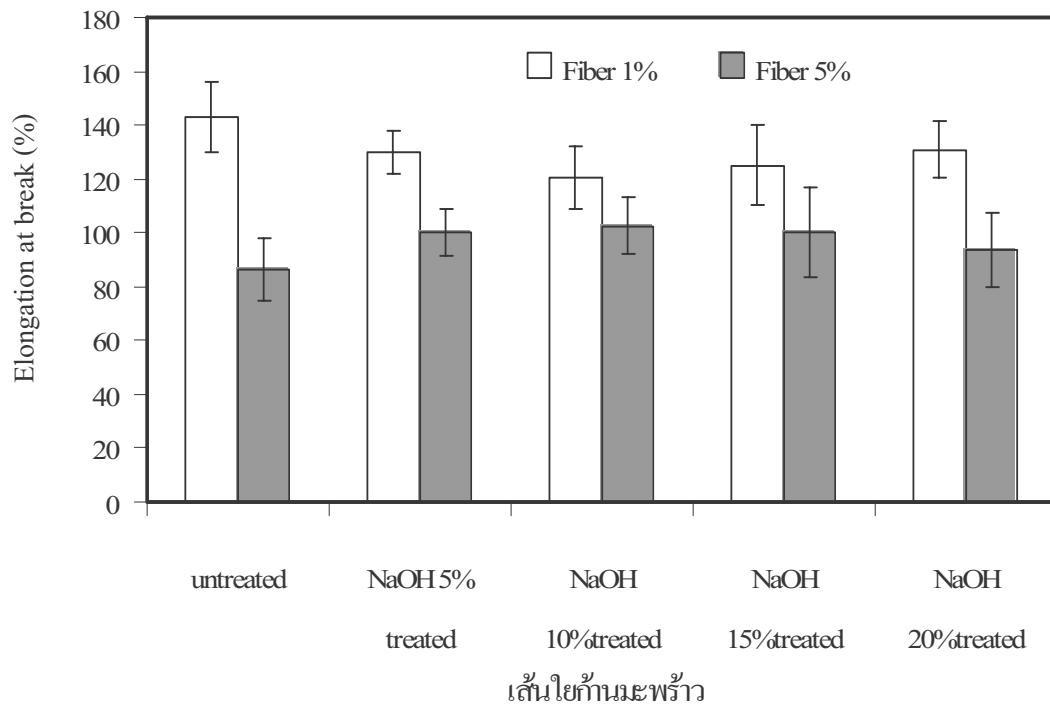
จากรูปที่ 16 แสดงให้เห็นว่าค่า Elongation at break ของวัสดุคอมโพสิตที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วและเส้นใยก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว มีค่าน้อยกว่าพอลิเอทิลีน ซึ่งค่า Elongation at break เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการยืดตัวของชิ้นงานก่อนเกิดการขาดตัว แสดงว่าพอลิเอทิลีนคอมโพสิตที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใย มีความสามารถในการยืดตัวก่อนขาดได้ต่ำลง เป็นผลมาจากเกิดการแยกเฟสระหว่างเส้นใยและพอลิเมอร์เมทริกซ์ ดังแสดงในรูปที่ 22 ทำให้วัสดุคอมโพสิตเกิดการฉีกขาดออกจากกันได้ง่ายที่รอยต่อระหว่างทั้งสองเฟส

และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างวัสดุคอมโพสิตที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว และเส้นใยก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว พบว่าวัสดุคอมโพสิตที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว จะให้ค่า Elongation at break มากกว่าการเสริมแรงด้วยเส้นใยก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว น่าจะเป็นผลมาจากจำนวนเส้นใยแก้วที่ใช้ในการเสริมแรงมีปริมาณน้อยกว่าเส้นใยก้านมะพร้าว ซึ่งส่งผลให้เกิดรอยต่อระหว่างเส้นใยและพอลิเมอร์น้อยกว่า ทำให้เกิดการยืดตัวได้ดีกว่า



รูปที่ 17 แสดงค่า Elongation at break ของพอลิเอทิลีนและพอลิเอทิลีนคอม โพลีตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วและเส้นใยก้านมะพร้าวธรรมชาติ ที่ปริมาณ 1% และ 5% โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 17 พบว่าพอลิเอทิลีนคอม โพลีตที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วและเส้นใยก้านมะพร้าว มีผลทำให้ค่า Elongation at break ต่ำกว่าพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพอลิเอทิลีนคอม โพลีตที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วหรือเส้นใยก้านมะพร้าวในสัดส่วนการผสม 1% และ 5% โดยน้ำหนัก พบว่าค่า Elongation at break ของการเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วไม่พบความแตกต่างอย่างเด่นชัด แต่กรณีการเสริมแรงด้วยเส้นใยก้านมะพร้าว ในสัดส่วนการผสม 5% โดยน้ำหนัก จะมีค่า Elongation at break ต่ำกว่าในสัดส่วนการผสม 1% โดยน้ำหนัก เนื่องจากมีจำนวนเส้นใยที่ไปขัดขวางการเกิดการยืดตัวของพอลิเมอร์มากขึ้น นอกจากนี้ จำนวนรอยต่อระหว่างของเส้นใยและพอลิเมอร์ยังเพิ่มจำนวนมากขึ้น ส่งผลต่อระยะทางในการยืดออกของวัสดุคอม โพลีต

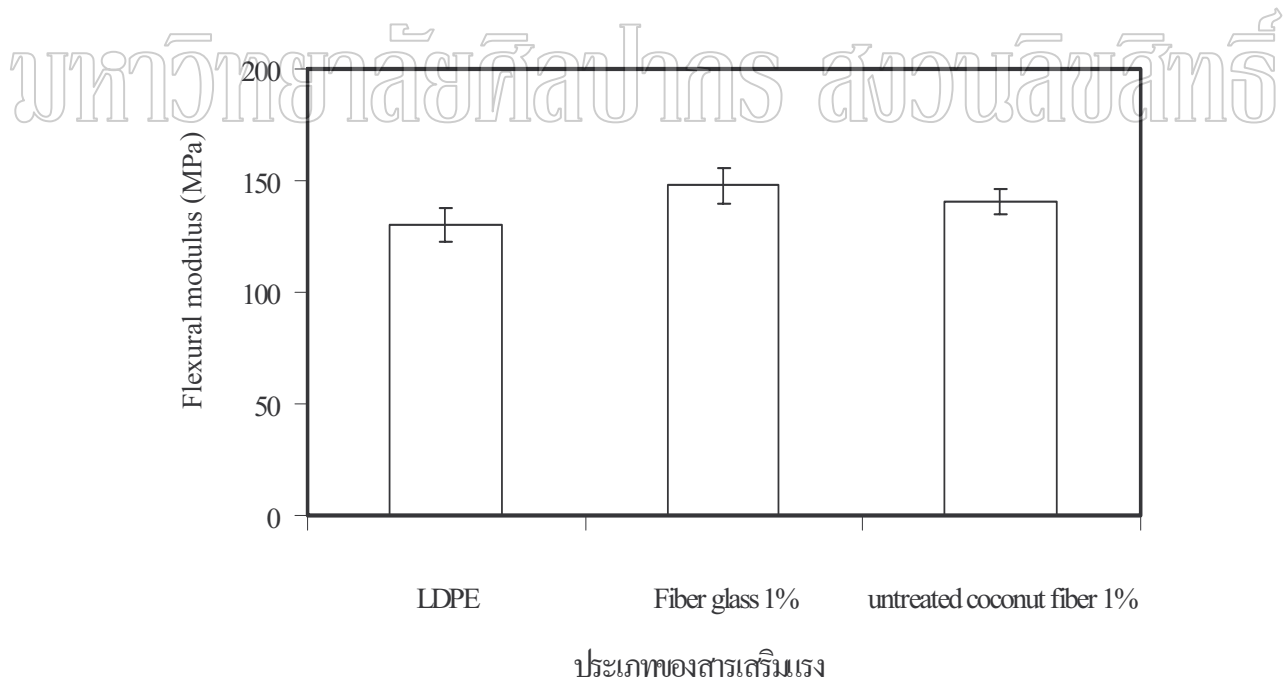


รูปที่ 18 แสดงค่า Elongation at break พอลิเอทิลีนคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวและผ่านการปรับปรุงผิวด้วย NaOH 5%, 10%, 15% และ 20% ที่ปริมาณ 1% และ 5% โดยน้ำหนัก

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพอลิเอทิลีนคอมโพสิตที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยจากก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว และเส้นใยก้านมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ นั้น พบว่าการเสริมแรงด้วยเส้นใยจากก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในสัดส่วนการผสม 1% โดยน้ำหนัก ให้ค่า %Elongation at break ที่สูงกว่าการปรับปรุงผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่ในสัดส่วนการผสม 5% โดยน้ำหนัก กลับให้ค่า %Elongation at break ต่ำกว่าการปรับปรุงผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ น่าจะเป็นผลมาจากจำนวนเส้นใยที่ผสมในวัสดุคอมโพสิตที่ทำให้เกิดรอยต่อระหว่างเฟสของเส้นใยและพอลิเมอร์ การปรับปรุงด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้เส้นใยก้านมะพร้าวมีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้นจากการหดตัวของช่อง lumen ทำให้สัดส่วนการผสมโดยน้ำหนักที่เท่ากันของเส้นใยที่ไม่ได้ปรับปรุงผิวมีจำนวนของเส้นใยที่มากกว่า ซึ่งส่งผลต่อการยึดตัวของวัสดุคอมโพสิตสำหรับการผสมสารเสริมแรงในปริมาณมากขึ้น

เมื่อทำการปรับปรุงผิวของเส้นใยก้านมะพร้าวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 5%, 10% 15% และ 20% แสดงดังรูปที่ 18 พบว่า การเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิวในสัดส่วนการผสม 1% และ 5% ค่า Elongation at break ไม่พบความแตกต่างอย่างเด่นชัด โดยพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยที่ใช้เสริมแรง ค่า Elongation at break มีค่าต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยที่มากขึ้นจะเป็นตัวขัดขวางการเกิดการยืดตัวของชิ้นงาน และเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยทำให้เกิดพื้นที่ผิวระหว่างรอยต่อของเส้นใยและพอลิเมอร์มากขึ้น และบริเวณรอยต่อที่เกิดขึ้นจะเป็นบริเวณที่มีปัญหาในเรื่องการยึดติด จากรูปที่ 22 เมื่อผ่านการดึงยึดไม่สังเกตเห็นพอลิเมอร์ติดที่ผิวของเส้นใย ดังนั้นการผสมเส้นใยลงในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำจะผสมเข้ากันไม่ดี เกิดการแยกเฟส ส่งผลต่อสมบัติทางกลของวัสดุ เป็นผลให้เกิดปัญหาเรื่องการยึดติดของเส้นใยและพอลิเมอร์ไม่ติดนั่นเอง

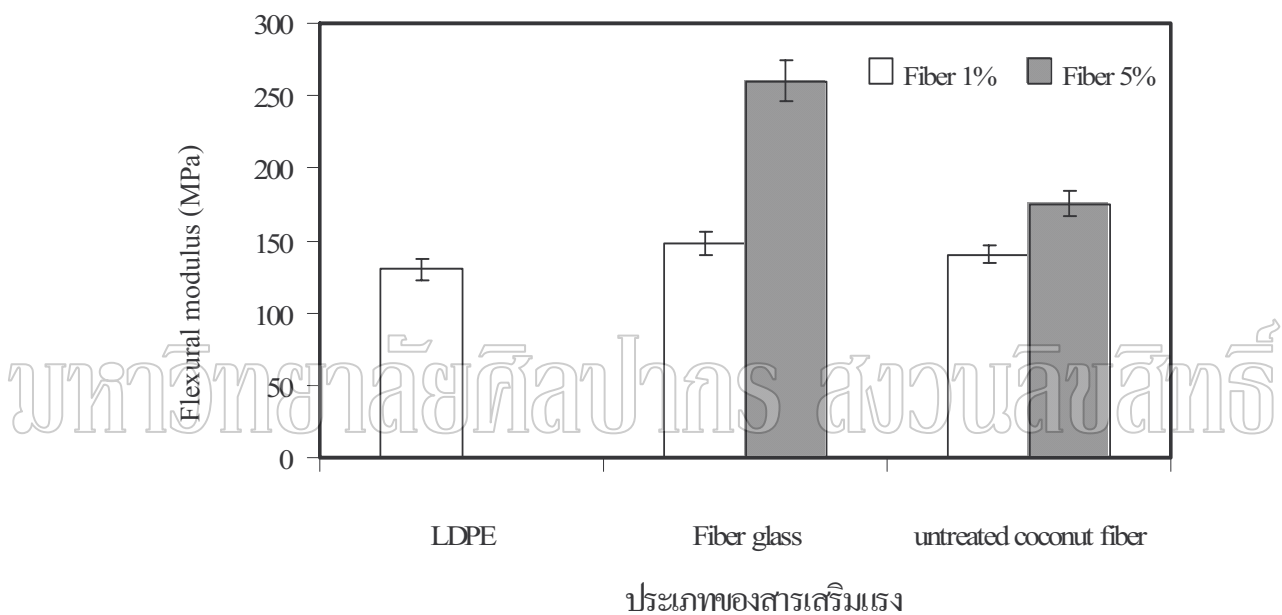
#### 4.3.2 ผลของสมบัติความทนทานต่อการโค้งงอของพอลิเอทิลีนและพอลิเอทิลีนคอมโพสิตที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยก้านมะพร้าว



รูปที่ 19 แสดงค่า Flexural modulus ของพอลิเอทิลีนและพอลิเอทิลีนคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วและเส้นใยก้านมะพร้าวธรรมชาติ

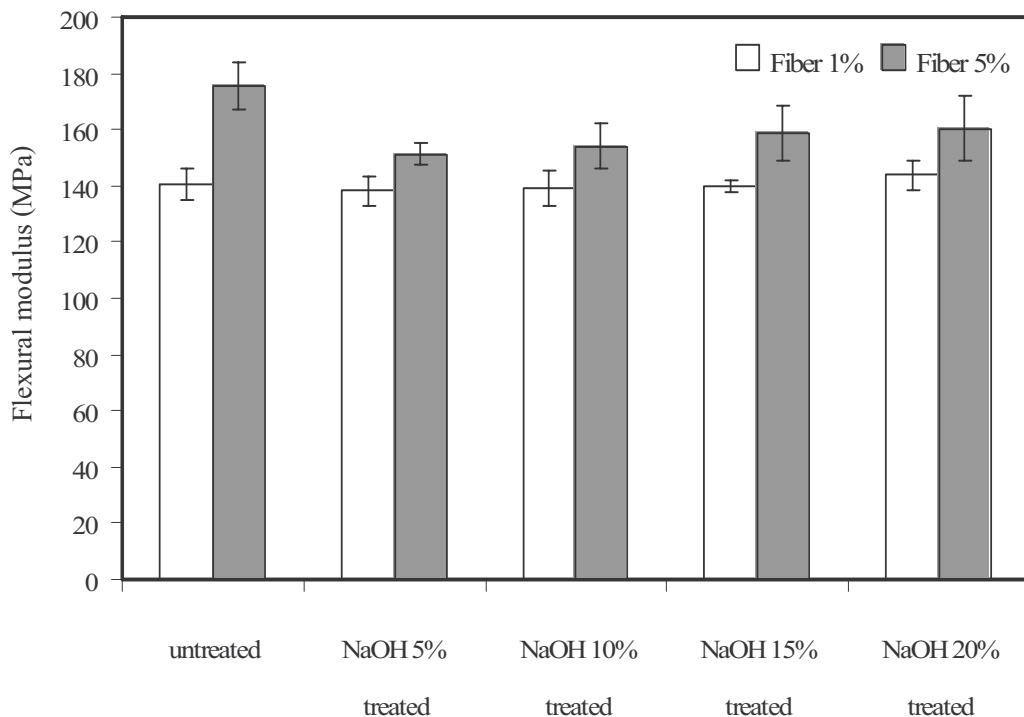


จากรูปที่ 19 พบว่าพอลิเอทิลีนคอมโพสิตที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วและเส้นใย ก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ในสัดส่วนการผสม 1% โดยน้ำหนัก มีผลทำให้ค่า Flexural modulus สูงกว่าพอลิเอทิลีนบริสุทธิ์ เช่นเดียวกับผลการทดสอบการดึงยืด และเมื่อเปรียบเทียบ ระหว่างพอลิเอทิลีนคอมโพสิตที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วและเส้นใยจากก้านมะพร้าว พบว่าค่า Flexural modulus กรณีเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วมีค่าสูงกว่า ทั้งนี้เป็นผลมาจากเส้นใยแก้วมีค่ามอดูลัสเท่ากับ 73 GPa ซึ่งสูงกว่าเส้นใยมะพร้าวที่มีค่ามอดูลัสเท่ากับ 6 GPa [4] ดังนั้นทำให้วัสดุ คอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วมี Flexural modulus สูงกว่า



รูปที่ 20 แสดงค่า Flexural modulus ของพอลิเอทิลีนและพอลิเอทิลีนคอมโพสิตที่เสริมแรง ด้วยเส้นใยแก้วและเส้นใยก้านมะพร้าวธรรมชาติ ที่ปริมาณ 1% และ 5% โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 20 เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพอลิเอทิลีนคอมโพสิตที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใย แก้วหรือเส้นใยก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ในสัดส่วนการผสม 1% และ 5% โดยน้ำหนัก พบว่าค่า Flexural modulus มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารเสริมแรง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างวัสดุ คอมโพสิตที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วและเส้นใยจากก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว ใน สัดส่วนการผสม 5% โดยน้ำหนัก พบว่าวัสดุคอมโพสิตที่มีการเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้วจะให้ค่า Flexural modulus ที่สูงกว่ามาก ทั้งนี้ เป็นผลมาจากค่าแรงกดดัน (compressive stress) ของเส้นใย แก้วมีค่าสูงจึงทำให้ค่า Flexural modulus ซึ่งเป็นผลรวมของการกดอัดและการดึงยืด มีค่าสูงตามไป ด้วย



มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์  
เส้นใยก้านมะพร้าว

รูปที่ 21 แสดงค่า Flexural modulus พอลิเอทิลีนคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5%, 10%, 15% และ 20% ที่ปริมาณ 1% และ 5% โดยน้ำหนัก

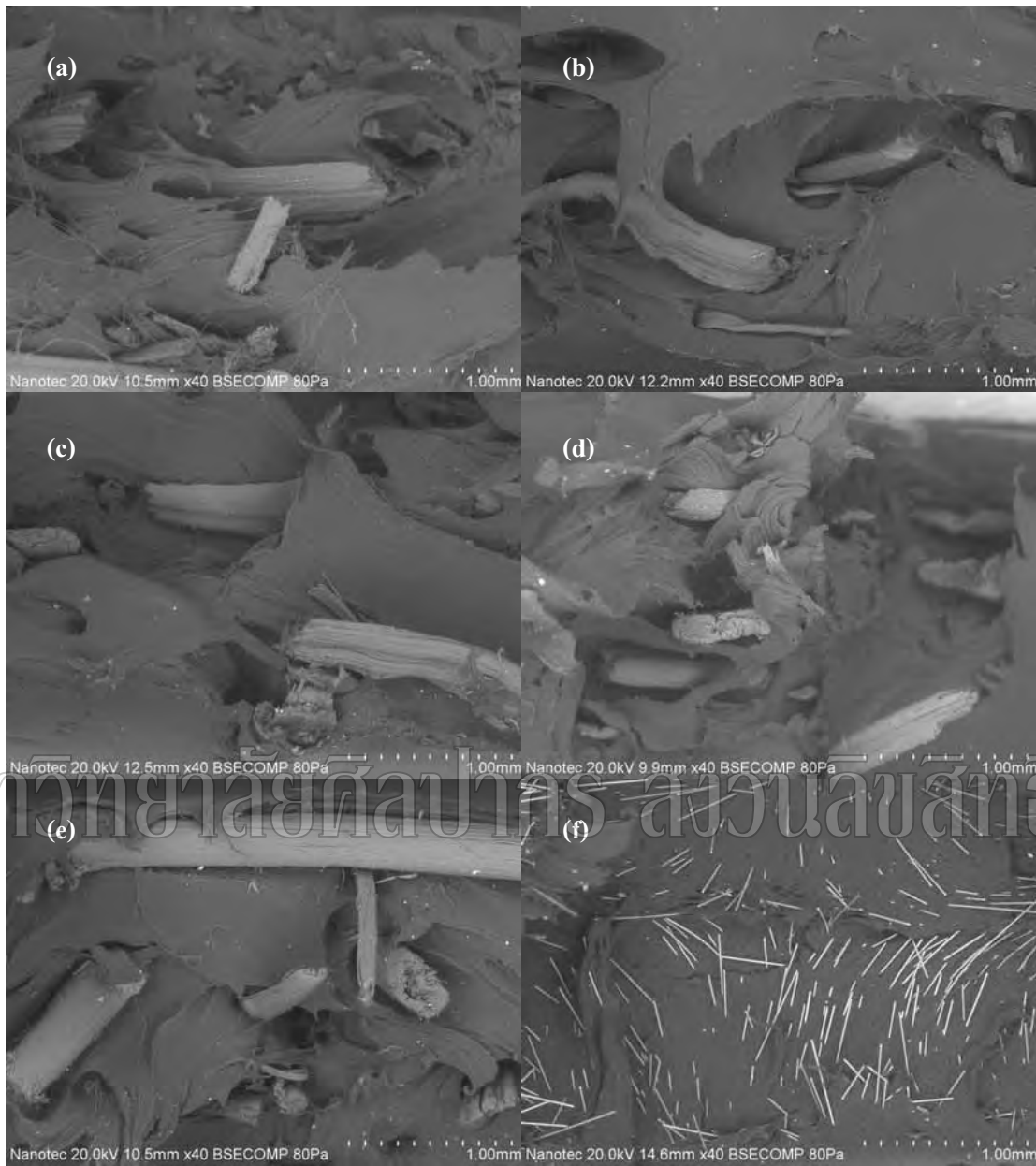
เมื่อทำการปรับปรุงผิวของเส้นใยก้านมะพร้าวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 5%, 10% 15% และ 20% แสดงดังรูปที่ 21 พบว่า การเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิวในสัดส่วนการผสม 1% โดยน้ำหนัก ค่า Flexural modulus ไม่พบความแตกต่างอย่างเด่นชัด แต่เมื่อพิจารณา ในสัดส่วนการผสม 5% โดยน้ำหนัก พบว่าค่า Flexural modulus จะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ปรับปรุงผิวเส้นใย เนื่องจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีผลให้เส้นใยที่ประกอบไปด้วยลิกนินและเพกติน ซึ่งเป็นส่วนประกอบในการทำให้เส้นใยเกาะตัวกันเป็น cellular structure มีช่อง lumen ตรงกลางสำหรับการลำเลียงน้ำและสารอาหาร เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง เส้นใยสูญเสียความเป็น cellular structure โดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะดึงส่วนที่เป็นเฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเพกติน ซึ่งเป็นตัวห่อหุ้มกลุ่ม bundle ที่อยู่บริเวณพื้นผิวให้หลุดออกมา ทำให้เส้นใยมีขนาด lumen หรือช่องตรงกลางระหว่างเส้นใยมีขนาดลดลง [11,22] เส้นใยก้านมะพร้าวมีผิวขรุขระมากขึ้น ปัจจัย

ดังกล่าวส่งผลให้ เกิด mechanical interlocking ของเส้นใยก้านมะพร้าวที่ปรับปรุงผิวด้วย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20%มีมากกว่าการปรับปรุงผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้นต่ำกว่า

เมื่อพิจารณาการเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับปรุงผิว ด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าในสัดส่วนการผสม 1% โดยน้ำหนัก ค่า Flexural modulus ไม่พบความ แตกต่างอย่างเด่นชัด แต่เมื่อพิจารณา ในสัดส่วนการผสม 5% โดยน้ำหนัก พบว่าค่า Flexural modulus กรณีเสริมแรงด้วยเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะ ให้ค่าที่สูงกว่า เนื่องจากเส้นใยก้านมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ภายหลังการปรับปรุงจะทำให้เส้นใยที่ประกอบไปด้วยลิกนินและเพกติน ซึ่งเป็นส่วนประกอบใน การทำให้เส้นใยเกาะตัวกันเป็น cellular structure เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง เส้นใยสูญเสีย ความเป็น cellular structure โดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะดึงส่วนที่เป็นเฮมิเซลลูโลส ลิกนินออกมีผลทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยมีค่าลดลง

#### 4.4 ลักษณะพื้นฐานภายในของเส้นใยหลังทำการทดสอบการดึงยึด

จากรูปที่ 22 เมื่อนำตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบการดึงยึด ไปศึกษาด้วยเทคนิค SEM พบว่า เกิดการแยกเฟสอย่างชัดเจนระหว่างสารเสริมแรงและพอลิเมอร์เมทริกซ์ ในวัสดุคอมโพสิตที่ใช้ เส้นใยแก้ว เส้นใยก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว และเส้นใยก้านมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุง ผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ขอบของเส้นใยทุกชนิดสังเกตเห็นได้ อย่างชัดเจนแสดงว่าไม่เกิดการเชื่อมติดกันระหว่างเส้นใยและเนื้อพอลิเมอร์ ลักษณะการแตกหัก ของวัสดุคอมโพสิตเป็นแบบ “pull-out” คือ สังเกตเห็นเส้นใยถูกดึงหลุดออกมาจากพอลิเมอร์ เมทริกซ์ โดยที่ไม่สังเกตเห็นพอลิเมอร์จึติดอยู่บนผิวของเส้นใย ดังนั้น การผสมเส้นใยก้าน มะพร้าวและเส้นใยแก้วสั้น (ที่ไม่มีสารเชื่อมประสาน) ลงในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำจะ เกิดการแยกเฟส อย่างชัดเจน ซึ่งส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิต



รูปที่ 22 แสดงลักษณะภายนอก ของตัวอย่างหลังทำการทดสอบการดึงยึด ที่ปริมาณเส้นใย 5% โดย น้ำหนัก (a) เส้นใยก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุง (b) เส้นใยก้านมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุง ผิดด้วย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5%, (c) 10%, (d) 15%, (e) 20% และ (f) เส้นใยแก้วสั้น ด้วยเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 40 เท่า

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

เมื่อนำเส้นใยก้านมะพร้าวมาทำการปรับปรุงผิว ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 5-20% พบว่าที่ความเข้มข้น 20% มีผลต่อ cellular structure ของเส้นใยมากที่สุด ทำให้กลุ่ม bundle ของเส้นใยมีขนาด lumen ที่ลดลงและไม่เป็นทรงกลม เส้นใยสูญเสียสารประกอบที่เป็นลิกนิน เพกตินและ เฮมิเซลลูโลส ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการให้ความแข็งแรงกับเส้นใย สำหรับภาคตัดขวางของเส้นใย พบว่าตลอดแนวความยาวของเส้นใยจะประกอบไปด้วยท่อเล็กๆจำนวนมากเป็นกลุ่ม bundle ซึ่งการปรับปรุงผิวด้วย NaOH ในเส้นใยก้านมะพร้าวมีผลทำให้ภาคตัดขวางของเส้นใยเปลี่ยนแปลงไป

องค์ประกอบทางเคมี ของเส้นใยก้านมะพร้าว ตรวจพบมี ลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ ผลการศึกษาอิทธิพลของการเสริมแรงด้วยเส้นใยก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วย NaOH ต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนคอมโพสิต พบว่า ค่า Tensile strength และ % Elongation at break ของพอลิเอทิลีนคอมโพสิตจะมีค่าต่ำกว่าพอลิเอทิลีน โดยการเสริมแรงด้วยเส้นใยก้านมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วย NaOH จะให้ค่าที่สูงกว่าการเสริมแรงด้วยเส้นใยก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว สำหรับค่า Tensile modulus และ Flexural modulus การเสริมแรงด้วยเส้นใยจะให้ค่ามากกว่าพอลิเอทิลีนโดยที่ปริมาณเส้นใย 5% จะให้ค่าการทดสอบทั้ง 2 เพิ่มมากขึ้น ซึ่งผลของความเข้มข้นของ NaOH ที่ใช้ พบว่าให้ค่าในการทดสอบสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกัน

เมื่อเปรียบเทียบผลของสารเสริมแรงระหว่างเส้นใยจากก้านมะพร้าวธรรมชาติและเส้นใยแก้ว ต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนคอมโพสิต พบว่า กรณีเสริมแรงด้วยเส้นใยจากก้านมะพร้าวธรรมชาติจะให้ค่า Tensile modulus สูงกว่ากรณีเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว แต่ค่า Tensile strength, Flexural modulus และ % Elongation at break จะให้ค่าต่ำกว่ากรณีเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

นอกจากอิทธิพลของประเภทสารเสริมแรง จะมีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเอทธิลีนคอมโพลีตแล้ว พบว่ายังมีอีกหลายปัจจัยที่ส่งผล เช่น ขนาดและความยาวของสารเสริมแรง สภาวะและสารละลายที่ใช้ในการปรับปรุงผิวเส้นใย กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของปัจจัยต่างๆเหล่านี้เพิ่มเติม

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

## บรรณานุกรม

- [1] ทศพร ทองเที่ยง และ นฤมล จิยโชค. รายงาน โครงการศึกษาแนวทางพัฒนามะพร้าวและผลิตภัณฑ์จากมะพร้าว . มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. มิถุนายน 2548.
- [2] K. Goda, M. S. Sreekala, A. Gomes, T. K. Kaji and J. Ohgi, Applied Science and Manufacturing, 37 (2006), 2213-2220.
- [3] [http://www.forest.go.th/biocom/garbage\\_fiber.html](http://www.forest.go.th/biocom/garbage_fiber.html) วันที่สืบค้น 31 ตุลาคม พ.ศ. 2548.
- [4] P. Wambua, J. Ivens and I. Verpoest, Composite Science and Technology, 63 (2003), 1259-1264.
- [5] ชัยวัฒน์ เจนวนิชย์. เคมีพอลิเมอร์พื้นฐาน. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์. พิมพ์ครั้งที่ 1, 2527.
- [6] P.K. Mallick, Composite engineering handbook, New York : Mercel Dekker, 1997, 1-30.
- [7] P.K. Mallick and S. Newman, Composites Materials Technology : Processes and Properties, New York : Hanser Publishers, 1990, 1-23, 265-314.
- [8] J.C. Anderson and K.D. Leayer, Materials Science. 4<sup>th</sup> ed. Hong Kong : Chapman & Hall, 1990, 322-353.
- [9] S.V. Prasad, C. Pavithran and P.K. Rohatgi, Journal of Material Science, 18 (1983), 1443-1454.
- [10] J. E. G. Van Dam, M. J.A. Van den Oever, W. Teunissen, E. R. P. Keijsers and A. G. Peralta, Industrial Crops and Products, 19 (2004), 207-216.
- [11] A. Alemdar, M. Sain, Bioresourc Technology, 99 (2008), 1664-1671.
- [12] M. Brahmakumar, C. Pavithran and R.M. Pillai, Composites Science and Technology, 65 (2005), 563-569.
- [13] T. Ona, T. Sonoda, M. Shibata, and K. Fukazawa, TAPPI J., 78 (1995), 121.
- [14] TAPPI Test Methods, Technical Association of the Pulp and Paper Industry, Atlanta, GA Method T 264 om-88, 1988.
- [15] TAPPI Test Methods, Technical Association of the Pulp and Paper Industry, Atlanta, GA Method T 204 om-88, 1987.
- [16] TAPPI Test Methods, Technical Association of the Pulp and Paper Industry, Atlanta, GA Method T 222 om-88, 1988.

- [17] B. L. Browning, Method of Wood Chemistry, Interscience, New York, January 10, 1946.
- [18] TAPPI Test Methods, Technical Association of the Pulp and Paper Industry, Atlanta, GA Method T 203 om-93, 1988.
- [19] TAPPI Test Methods, Technical Association of the Pulp and Paper Industry, Atlanta, GA Method T 610 sp-97, 1997.
- [20] American Society for Testing and Materials, “ASTM D638 : Tensile Properties of Plastics. “In 1999 Annual Book of ASTM Standards. Vol. 08.01 ASTM, Philadelphia, 1999, 46-58.
- [21] American Society for Testing and Materials, “ASTM D790 : Flexural Properties of Unreinforced and reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. “ In 1999 Annual Book of ASTM Standards. Vol. 08.01 ASTM, Philadelphia, 1999, 290-298.
- [22] V. Vilay, M. Mariatti, R. Mat Taib, Mitsugu Todo, Composites Science and Technology, 68 (2008), 631-638.
- [23] S. H. Aziz, M. P. Ansell, Composites Science and Technology, 64 (2004), 1219-1230.

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



### ภาคผนวก

ตารางแสดงผลชนิดของสารเสริมแรงต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของ  
พอลิเอทธิลีนคอมโพสิต

ตารางที่ 7 ผลของเส้นใยกันมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วย NaOH 5%และ10% ในอัตราส่วน  
เส้นใย 1%และ5% ที่ส่งผลต่อค่า Tensile strength ของพอลิเอทธิลีนคอมโพสิต

No.	Tensile strength (MPa)			
	NaOH5%_1F	NaOH5%_5F	NaOH10%_1F	NaOH10%_5F
1	9.18	8.59	8.86	8.59
2	8.97	8.84	8.68	8.66
3	9.98	8.68	8.97	8.23
4	9.11	9.06	8.58	8.52
5	9.13	9.17	8.82	8.87
6	9.19	9.20	8.93	8.45
7	8.90	8.91	8.97	8.61
8	8.77	8.59	8.91	8.68
9	8.96	8.79	8.78	8.29
10	9.10	8.58	8.56	8.54
Avg.	9.13	8.84	8.81	8.54
SD	0.33	0.24	0.15	0.20

ตารางที่ 8 ผลของเส้นใยก้านมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วย NaOH15%และ20% ในอัตราส่วนเส้นใย 1%และ5% ที่ส่งผลต่อค่า Tensile strength ของพอลิเอทิลีนคอมโพลีเมอร์

No.	Tensile strength (MPa)			
	NaOH15%_1F	NaOH15%_5F	NaOH20%_1F	NaOH20%_5F
1	8.96	8.14	8.90	8.85
2	8.75	8.06	8.72	8.03
3	9.16	8.72	9.25	8.46
4	9.23	8.58	8.76	8.45
5	8.90	8.48	8.96	8.47
6	9.10	9.01	9.01	7.55
7	9.04	7.80	8.93	8.17
8	9.20	8.63	8.98	8.44
9	8.87	8.38	8.96	8.48
10	8.82	8.68	9.08	8.47
Avg.	9.00	8.45	8.96	8.34
SD	0.17	0.36	0.15	0.35

ตารางที่ 9 ผลของเส้นใยก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุง เส้นใยแก้วชนิดสั้นและพอลิเอทธิลีน ในอัตราส่วนเส้นใย1%และ5% ที่ส่งผลต่อค่า Tensile strength ของพอลิเอทธิลีน คอมโพลีต

No.	Tensile strength (MPa)				
	LDPE	Glass 1%	Glass 5%	Untreat-fiber 1%	Untreat-fiber 5%
1	10.58	9.11	9.48	8.93	7.93
2	10.04	9.9	9.70	9.31	8.08
3	9.80	9.74	9.75	9.1	8.18
4	10.17	9.52	9.61	9.4	7.94
5	10.29	9.63	9.54	9.34	8.13
6	10.08	9.52	9.69	9.34	7.86
7	10.23	9.39	9.72	9.55	8.16
8	10.33	9.65	9.80	9.16	8.28
9	10.11	9.47	9.89	8.89	7.64
10	10.63	9.51	9.62	9.2	7.89
Avg.	10.23	9.54	9.68	9.22	8.01
SD	0.25	0.21	0.12	0.21	0.19

ตารางที่ 10 ผลของเส้นใยก้านมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุงด้วย NaOH 5%และ10% ในอัตราส่วน  
เส้นใย 1%และ5% ที่ส่งผลต่อค่า Tensile modulus ของพอลิเอทธิลีนคอมโพสิต

No.	Tensile modulus (MPa)			
	NaOH5%_1F	NaOH5%_5F	NaOH10%_1F	NaOH10%_5F
1	49.51	63.62	50.22	64.68
2	47.58	60.21	49.07	61.61
3	47.27	65.82	47.68	63.99
4	48.42	56.47	48.35	59.84
5	49.88	55.39	50.91	65.22
6	46.65	56.87	49.15	62.05
7	45.75	59.42	48.91	59.53
8	49.24	64.41	47.24	61.92
9	49.00	61.74	49.02	66.46
10	47.18	58.80	48.45	62.8
Avg.	48.05	60.28	48.90	62.81
SD	1.37	3.56	1.09	2.27

ตารางที่ 11 ผลของเส้นใยก้านมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุงด้วย NaOH 15%และ20%ในอัตราส่วนเส้นใย 1%และ5% ที่ส่งผลต่อค่า Tensile modulus ของพอลิเอทิลีนคอม โพลีต

No.	Tensile modulus (MPa)			
	NaOH15%_1F	NaOH15%_5F	NaOH20%_1F	NaOH20%_5F
1	49.66	70.55	51.54	74.58
2	47.18	74.75	50.80	62.61
3	46.73	60.78	49.20	64.64
4	46.26	68.24	49.52	66.80
5	48.75	57.51	48.27	70.91
6	47.97	56.73	46.82	70.01
7	53.41	72.23	51.84	58.98
8	46.35	59.20	50.40	75.15
9	50.36	63.09	47.56	55.19
10	54.96	60.16	48.63	
Avg.	49.16	64.32	49.46	66.54
SD	3.00	6.56	1.68	6.85

ตารางที่ 12 ผลของเส้นใยแก้วมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุง เส้นใยแก้วชนิดสั้นและพอลิเอทิลีน ในอัตราส่วนเส้นใย 1% และ 5% ที่ส่งผลต่อค่า Tensile modulus ของพอลิเอทิลีน คอมโพลีเมอร์

No.	Tensile modulus (MPa)				
	LDPE	Glass 1%	Glass 5%	Untreat-fiber 1%	Untreat-fiber 5%
1	23.35	41.81	45.43	47.91	79.55
2	17.41	42.74	47.5	42.49	78.29
3	33.65	38.96	49.87	47.43	79.00
4	33.17	40.77	44.63	47.55	76.25
5	37.25	39.51	46.39	47.58	75.26
6	32.57	40.48	48.21	44.61	88.27
7	35.37	38.23	47.84	47.23	72.24
8	32.20	39.36	47.24	44.21	67.47
9	34.54	37.2	49.82	47.57	85.54
10	35.32	38.62	47.28	46.3	76.36
Avg.	31.48	39.77	47.42	46.29	77.82
SD	6.20	1.69	1.68	1.98	5.99

ตารางที่ 13 ผลของเส้นใยก้านมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุงด้วย NaOH 5%และ10% ในอัตราส่วน  
เส้นใย 1%และ5% ที่ส่งผลต่อค่า Elongation at break ของพอลิเอทิลีนคอมโพสิต

No.	Elongation at break (%)			
	NaOH5%_1F	NaOH5%_5F	NaOH10%_1F	NaOH10%_5F
1	131.69	88.10	123.00	89.98
2	135.12	98.65	108.02	89.70
3	130.32	89.32	120.55	109.83
4	123.64	110.20	116.17	117.89
5	125.31	108.85	130.77	113.72
6	146.78	113.20	142.82	109.28
7	134.32	105.45	125.93	107.48
8	117.70	94.10	125.19	93.71
9	124.73	94.86	107.50	92.53
10	130.45	98.31	104.24	102
Avg.	130.01	100.10	120.42	102.61
SD	7.97	8.87	11.88	10.46

ตารางที่ 14 ผลของเส้นใยก้านมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุงด้วย NaOH 15%และ20% ในอัตราส่วน  
เส้นใย 1%และ5% ที่ส่งผลต่อค่า Elongation at break ของพอลิเอทิลีนคอมโพสิต

No.	Elongation at break (%)			
	NaOH15%_1F	NaOH15%_5F	NaOH20%_1F	NaOH20%_5F
1	121.38	89.21	135.80	116.25
2	114.02	73.14	125.95	72.55
3	126.40	110.20	150.36	93.43
4	142.63	94.32	121.27	91.00
5	121.78	110.14	137.04	86.14
6	141.00	120.26	118.61	81.29
7	126.18	73.74	123.21	93.61
8	145.80	111.32	144.74	105.23
9	109.39	113.31	121.66	86.17
10	101.05	106.18	131.63	112.32
Avg.	124.96	100.18	131.03	93.80
SD	14.77	16.73	10.78	13.79



ตารางที่ 15 ผลของเส้นใยก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุง เส้นใยแก้วชนิดสั้นและพอลิเอทิลีน ในอัตราส่วนเส้นใย 1%และ5% ที่ส่งผลต่อค่า Elongation at break ของพอลิเอทิลีน คอมโพลีเมอร์

No.	Elongation at break (%)				
	LDPE	Glass 1%	Glass 5%	Untreat-fiber 1%	Untreat-fiber 5%
1	229.44	148.95	180.39	124.61	80.06
2	232.33	171.2	170.49	166.3	91.00
3	220.11	183.9	159.82	132.86	82.27
4	224.84	165.27	177.26	145.38	88.45
5	219.74	183.32	183.68	140.13	95.79
6	226.62	170.13	172.20	154.07	65.39
7	211.13	187.2	178.50	149.54	97.18
8	256.43	186.24	179.46	150.12	104.70
9	213.24	193.16	181.04	123.99	79.22
10	218.50	185.96	177.19	140.5	79.90
Avg.	225.24	177.53	176.00	142.75	86.40
SD	12.86	13.42	6.92	13.25	11.34

ตารางที่ 16 ผลของเส้นใยก้านมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุงด้วย NaOH 5% และ 10% ในอัตราส่วนเส้นใย 1% และ 5% ที่ส่งผลต่อค่า Flexural modulus ของพอลิเอทิลีนคอมโพสิต

No.	Flexural modulus (MPa)			
	NaOH5%_1F	NaOH5%_5F	NaOH10%_1F	NaOH10%_5F
1	136.10	156.20	143.79	151.61
2	140.61	151.49	133.58	164.84
3	131.67	151.61	131.67	152.24
4	137.43	151.38	140.90	143.14
5	145.07	145.41	145.35	158.55
Avg.	138.18	151.22	139.06	154.08
SD	5.016122	3.834289	6.123012	8.138312

ตารางที่ 17 ผลของเส้นใยก้านมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุงด้วย NaOH 15% และ 20% ในอัตราส่วนเส้นใย 1% และ 5% ที่ส่งผลต่อค่า Flexural modulus ของพอลิเอทิลีนคอมโพสิต

No.	Flexural modulus (MPa)			
	NaOH15%_1F	NaOH15%_5F	NaOH20%_1F	NaOH20%_5F
1	142.70	155.05	144.96	158.77
2	138.39	160.85	136.18	157.23
3	138.55	157.88	142.32	180.44
4	138.27	146.01	150.63	150.32
5	141.11	173.00	145.34	155.02
Avg.	139.80	158.56	143.89	160.36
SD	2.001095	9.798503	5.257944	11.671

ตารางที่ 18 ผลของเส้นใยก้านมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุง เส้นใยแก้วชนิดสั้นและพอลิเอทิลีน ในอัตราส่วนเส้นใย1%และ5% ที่ส่งผลต่อค่า Flexural modulus ของพอลิเอทิลีน คอมโพสิต

No.	Flexural modulus (MPa)				
	LDPE	Glass 1%	Glass 5%	Untreat-fiber 1%	Untreat-fiber 5%
1	133.00	135.72	278.15	124	183.26
2	139.65	150.74	260.10	133.36	162.12
3	122.69	155.24	268.68	123.75	180.08
4	132.18	144.61	245.67	136.5	175.47
5	123.12	153.4	247.32	130.19	176.81
Avg.	130.13	147.942	259.98	129.56	175.55
SD	7.203532	7.927151	13.88259	5.649562	8.092031

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวศิริรัตน์ เตชะเพิ่มผล
ที่อยู่	23 วงศ์ฤทธิ ต.ห้วยจรเข้ม อ.เมือง จ.นครปฐม 73000 โทรศัพท์ 085-9627209
ที่ทำงาน	บริษัทบุญช่วยอุตสาหกรรม จำกัด อ.สามพราน จ.นครปฐม โทรศัพท์ (034) 311369-70
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2542	สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี) จากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2541	นักศึกษาฝึกงานที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ กรุงเทพฯ
พ.ศ. 2542- ปัจจุบัน	นักวิชาการส่วน Lab และส่วนย้อม (Laboratory for continuous and exhaust dyeing, Production planning for exhaustion dyeing) บริษัทบุญช่วยอุตสาหกรรม จำกัด

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงขลา