

การพัฒนาพอลิเมอร์เชิงประกอบเสริมแรงด้วยเส้นใยเพ็ก

DEVELOPMENT OF POLYMER COMPOSITE REINFORCED BY  
VIETNAMOSASA PUSILLA

สุปราณี เลือดดาว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

# การพัฒนาพอลิเมอร์เชิงประกอบเสริมแรงด้วยเส้นใยเพ็ก

สุปราณี เลื่อนดาว

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การพัฒนาพอลิเมอร์เชิงประกอบเสริมแรงด้วยเส้นใยเพ็ก

Development of Polymer Composite Reinforced by Vietnamosasa  
Pusilla Fiber

ชื่อ - นามสกุล

นางสาวสุปราณี เสือดาว

สาขาวิชา

วิศวกรรมวัสดุ

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์สุนนมาลย์ เนียมกลาง, ปร.ด.

ปีการศึกษา

2559

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  
.....  
.....

ประธานกรรมการ

(อาจารย์ฉัตรชัย วีระนิติสกุล, Ph.D.)

.....  
.....  
.....

กรรมการ

(อาจารย์พิมลพรรณ เนียมกลาง, ปร.ด.)

.....  
.....  
.....

กรรมการ

(อาจารย์ณรงค์ชัย โอเจริญ, Ph.D.)

.....  
.....  
.....

กรรมการ

(อาจารย์สุนนมาลย์ เนียมกลาง, ปร.ด.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....  
.....  
.....

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 17 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2560

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาพอลิเมอร์เชิงประกอบเสริมแรงด้วยเส้นใยเพ็ก
ชื่อ-นามสกุล	นางสาวสุปราณี เกื้อดาว
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุมนมาลย์ นิยมกลาง, ปร.ค.
ปีการศึกษา	2559

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการพัฒนาหญ้าเพ็ก (Vietnamosasa Pusilla, VP) ที่เป็นพืชตระกูลไผ่ที่มีการขยายพันธุ์อย่างรวดเร็วและยังเป็นวัชพืชที่กำจัดได้ยากและไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เนื่องจากเส้นใยของหญ้าเพ็กเหนียวมาก จึงมีแนวความคิดที่จะนำหญ้าเพ็กมาทำให้มีมูลค่าเพิ่ม โดยการนำมาพัฒนาเป็นแผ่นอัดเชิงประกอบกับพอลิเมอร์ใช้เป็นวัสดุทางเลือกเป็นวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในงานตกแต่งภายใน โดยพอลิเมอร์ที่นำมาศึกษา คือ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง, (HDPE) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น, (LLDPE), พอลิโพรพิลีน, (PP) และพอลิแลคติกแอซิด, (PLA)

จากนั้นทำการเตรียมโดยนำหญ้าเพ็กมาทำการริดใบและทำการตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 7 โดยน้ำหนักเป็นเวลา 8 ชั่วโมง และหลังจากนั้นทำการล้างเส้นใยด้วยน้ำกลั่นจนมีค่า pH 7 ทำการอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบดและคัดแยกขนาด นำเส้นใยที่ได้ไปผสมกับ HDPE, PP, LLDPE และ PLA ด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งอุณหภูมิที่ใช้ในการผสม 160, 160, 130 และ 130 องศาเซลเซียสตามลำดับ และขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องอัดแบบไฮดรอลิกที่ความดัน 250 เมกกะปาสกาล อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาผลของปริมาณเส้นใยเพ็กต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพของแผ่นอัดที่ขึ้นรูปได้ โดยปริมาณของเส้นใยเพ็กที่ใช้ คือ ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 50 โดยน้ำหนัก

วัสดุเชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยเส้นใยเพ็กจะมีสีน้ำตาลและมีลวดลายคล้ายหินอ่อน จึงนำมาทำการทดสอบสมบัติเชิงกล ซึ่งพบว่าค่า Young's Modulus นั้นสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของเส้นใยเพ็กลงไป และความแข็งของแผ่นอัดเชิงประกอบก็มีความแข็งมากขึ้น เนื่องจากเส้นใยเพ็กนั้นเข้าไปเสริมแรงให้กับในพอลิเมอร์เมทริกซ์แต่ค่าการทนต่อแรงดึงและร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด และความต้านทานต่อแรงกระแทกตกลง เมื่อเปรียบเทียบกับสมบัติเชิงกลและราคาต้นทุนพบว่าวัสดุเชิงประกอบที่ขึ้นรูปได้นี้มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ มีสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมและสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุตกแต่งภายใน

คำสำคัญ: เส้นใยเพ็ก วัสดุตกแต่งภายใน

<b>Thesis Title</b>	Development of Polymer Composite Reinforced by Vietnamosasa Pusilla Fiber
<b>Name - Surname</b>	Miss Supranee Suadaow
<b>Program</b>	Materials Engineering
<b>Thesis Advisor</b>	Miss Sumonman Niamlang, Ph.D.
<b>Academic Year</b>	2016

## ABSTRACT

This research studied the development of Vietnamosasa pusilla fiber (VP), which is a species in the genus Vietnamosasa (family Poaceae) and has a high growth rate, as well as its fiber is quite tough. The VP fiber cannot be widely used owing to the toughness. The study developed a polymer composite by reinforcing VP as alternative material. The composites produced would be environmentally friendly and can be used as interior decoration application. The polymers used in this study were comprised of high density polyethylene (HDPE), linear low density Polyethylene, (LLDPE), polypropylene (PP), and polylactic acid (PLA).

To prepare the fiber, VP leaves were removed and cut into small pieces before immersing in 7%w/w of NaOH for 8 hours. The treated VP fiber was, then, rinsed in refined water which has a pH 7 before being dried in the oven at 60 °C for 24 hours. After that, the fiber was ground and sieved. The VP fiber was, then, mixed with HDPE, LLDPE, PP and PLA by the two-roll mill at 160, 160, 130, and 130°C, respectively. The composites were fabricated by compression molding at 250 MPa and 190°C. To investigate the amount of VP fiber that had an effect on mechanical and physical properties of the composites, various amounts of VP fiber (0, 10, 20, 30 and 50 %w/w) were prepared.

The VP fiber-reinforced composite was brown and marble-like. After being tested mechanically, it was found that the more the Young's Modulus, the more the amounts of VP fiber. Moreover, the hardness increased when increasing the amounts of the fiber. This was because the VP fiber reinforced the strength of matrix polymer. However, tensile strength, Elongation at break and impact strength decreased when increasing the amounts of the fiber. When comparing mechanical properties and production costs, the VP-reinforced composites were more reasonable and could be used as interior decoration application.

**Keywords:** vietnamosasa pusilla fiber, interior decoration application

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความกรุณา และความอนุเคราะห์ของ ดร.สุมนมาลย์ เนียงกลาง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษาแนะนำ และให้ข้อเสนอแนะในการแก้ไขปัญหาและข้อบกพร่องต่างๆ รวมถึงเอื้อเฟื้อวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง มา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ ดร.ฉัตรชัย วีระนิติสกุล และ ดร.ณรงค์ชัย โอเจริญ อาจารย์จากภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และ ดร.พิมลพรรณ เนียมกลาง อาจารย์จากสาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ให้ข้อเสนอแนะและเป็นกรรมการสำหรับสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชมงคลธัญบุรี ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือทดสอบ

ขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดา ที่ได้ให้กำเนิด เลี้ยงดู อบรมสั่งสอน และคอยช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ และคอยให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณคณะครู-อาจารย์ ที่ให้การสนับสนุนประสิทธิ์ประสาทวิชา และ เพื่อน พี่น้อง ที่คอยช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ และเป็นกำลังใจให้

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์เล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ หากวิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความผิดพลาด ขาดตกบกพร่องประการใด หรือไม่สมบูรณ์ประการใด ผู้วิจัยขอกราบขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

สุปราณี เสือดา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญรูป.....	(8)
สารบัญตาราง.....	(12)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	(13)
บทที่ 1 บทนำ .....	14
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย.....	14
1.2 วัตถุประสงค์.....	15
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	15
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	16
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	17
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	17
2.2 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง.....	34
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง.....	41
3.1 วัสดุอุปกรณ์ สารเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	41
3.2 ขั้นตอนในการทดลอง.....	42
3.3 วิธีการศึกษาสมบัติของแผ่นอัดแข็งประกอบ.....	43
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์.....	49
4.1 การเตรียมและทดสอบเส้นใยเพ็กที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีอัลคาไลน์.....	49
4.2 ลักษณะทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบเสริมแรงด้วยเส้นใยเพ็ก.....	53
4.3 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบเสริมแรงด้วยเส้นใยเพ็กที่ขึ้นรูปได้.....	58
4.4 สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบเสริมแรงด้วยเส้นใยเพ็ก.....	62

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	79
5.1 สรุป.....	79
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	80
บรรณานุกรม.....	81
ภาคผนวก.....	84
ผลงานตีพิมพ์และเผยแพร่.....	85
ประวัติผู้เขียน.....	101





## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้าง HDPE.....	17
รูปที่ 2.2 โครงสร้าง PP.....	19
รูปที่ 2.3 โครงสร้าง PLA.....	20
รูปที่ 2.4 หนู่าเพ็ก.....	23
รูปที่ 2.5 วัสดุเชิงประกอบเสริมแรงโดยเส้นใย.....	24
รูปที่ 2.6 เครื่องเครื่องผสมพลาสติกแบบ 2 ลูกกลิ้ง.....	25
รูปที่ 2.7 เครื่อง Compression Molding.....	26
รูปที่ 2.8 เครื่องการทดสอบความทนทานต่อแรงดึง.....	27
รูปที่ 2.9 ประเภทของกราฟความเค้นความเครียด.....	28
รูปที่ 2.10 เครื่องทดสอบความแข็ง Shore Sclerocscope.....	28
รูปที่ 2.11 เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM).....	29
รูปที่ 2.12 ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง SEM.....	30
รูปที่ 2.13 ส่วนประกอบของเครื่องตรวจวัด.....	30
รูปที่ 2.14 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์.....	31
รูปที่ 2.15 เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์.....	32
รูปที่ 2.16 กราฟ FTIR ก่อนการปรับปรุงผิวและหลังจากปรับปรุงผิวของเส้นใยอัลฟา.....	33
รูปที่ 2.17 กราฟ XRD ก่อนการปรับปรุงผิวและหลังจากปรับปรุงผิวของเส้นใยอัลฟา.....	33
รูปที่ 2.18 กราฟแสดงความต้านทานแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การเติมเส้นใยมะพร้าวสีเขียว..	34
รูปที่ 2.19 (ก) กราฟแสดงระหว่างค่าTensile strengthของ BCF/Eกับปริมาณการเติมเส้นใยใฝ่	
(ข) กราฟแสดงระหว่างค่ายังโมดูลัสกับปริมาณการเติมเส้นใยใฝ่	
(ค) กราฟแสดงระหว่างค่าการทนต่อแรงกระแทกกับกับปริมาณการเติมเส้นใยใฝ่.....	35

## สารบัญรูป (ต่อ)

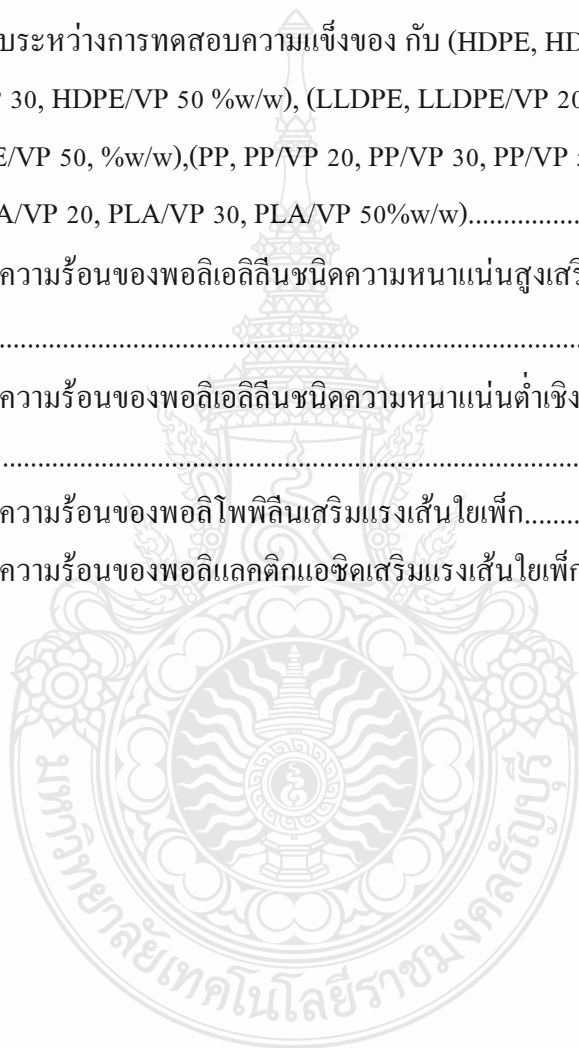
	หน้า
รูปที่ 2.20 ผลการทดสอบค่า Tensile strength และ elongation at break ที่เปรียบเทียบกับปริมาณเส้นใยพาล์ม/LDPE.....	36
รูปที่ 2.21 ค่า Young's modulus ของ LDPE และเส้นใยพาล์ม/LDPE 0–30 wt%.....	36
รูปที่ 2.22 ค่า tensile strength ของวัสดุเชิงประกอบเส้นใยปอแก้ว/PP–MAPP กับวัสดุที่ผสมเส้นใยชนิดต่างๆ.....	37
รูปที่ 2.23 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่า Young's modulus ระหว่างเส้นใยชนิดต่างๆ.....	37
รูปที่ 2.24 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่า Tensile stress ของ hemp–vHDPE และ hemp–rHDPE กับปริมาณการเติมเส้นใยปอ.....	38
รูปที่ 2.25 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่า Impact strength ของ hemp–vHDPE และ hemp–rHDPE กับ ปริมาณการเติมเส้นใยปอ.....	38
รูปที่ 2.26 สมบัติเชิงกลของวัสดุชีวภาพ HDPE/CS กับปริมาณการเติมเส้นใย Cortaderia selloana %w/w.....	39
รูปที่ 2.27 กราฟ DSC ของพอลิแลคติกแอซิดและเส้นใยหญ้าแฝก ที่ปริมาณหญ้าแฝก 20% บันทึกระหว่างการให้ความร้อนด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน.....	40
รูปที่ 3.1 เฟ็ก (a.) ต้นเฟ็ก (b.) เส้นใยเฟ็ก.....	42
รูปที่ 3.2 (a.) เครื่องทดสอบสมบัติการทนแรงดึง (Tensile strength) (b.) ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการทนแรงดึง (หน่วย มิลลิเมตร).....	43
รูปที่ 3.3 เครื่องทดสอบความแข็ง (Hardness).....	44
รูปที่ 3.4 (a) เครื่องบดชิ้นงาน (b) เครื่องทดสอบแรงกระแทกแบบ Izod.....	44
รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบสมบัติทางกายภาพ Scanning Eletron Microscopy.....	45
รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันเคมี Fourier Transform Infrared.....	46
รูปที่ 3.7 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์.....	46
รูปที่ 3.8 เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์.....	47
รูปที่ 4.1 (ก) ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว (ข) ผ่านการปรับปรุงผิว (ค) ขนาดเส้นใยเฟ็ก.....	49
รูปที่ 4.2 สเปกตรัมของเส้นใยเฟ็กที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุงผิวและเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิวที่ 1% w/w ที่เวลา 2, 4, 6, 8 และ 24 ชั่วโมง.....	51

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.3 สเปกตรัมของเส้นใยเพ็ทที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุงผิวและเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิวที่ 3% w/w ที่เวลา 2, 4, 6, 8 และ 24 ชั่วโมง.....	51
รูปที่ 4.4 สเปกตรัมของเส้นใยเพ็ทที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุงผิวและเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิวที่ 5% w/w ที่เวลา 2, 4, 6, 8 และ 24 ชั่วโมง.....	52
รูปที่ 4.5 สเปกตรัมของเส้นใยเพ็ทที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุงผิวและเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิวที่ 7% w/w ที่เวลา 2, 4, 6, 8 และ 24 ชั่วโมง.....	52
รูปที่ 4.6 XRDสเปกตรัมของเส้นใยเพ็ทเส้นใยเพ็ทที่ไม่ปรับปรุงพื้นผิวกับการปรับปรุงพื้นผิวที่ 7 %w/w เวลา 8 ชั่วโมง.....	53
รูปที่ 4.7 ภาพถ่าย SEM ของ HDPE/VP (ก)HDPE (ข) HDPE/VP 10% (ค) HDPE/VP 20% (ง) HDPE/VP 30% (จ) HDPE/VP 50%.....	58
รูปที่ 4.8 ภาพถ่าย SEM ของ LLDPE/VP (ก) LLDPE (ข) LLDPE/VP 10% (ค) LLDPE/VP 20% (ง) LLDPE/VP 30% (จ) LLDPE/VP 50%.....	59
รูปที่ 4.9 ภาพถ่าย SEM ของ PP/VP (ก) PP (ข) PP/VP 10% (ค) PP/VP 20% (ง) PP/VP 30% (จ) PP/VP 50%.....	60
รูปที่ 4.10 ภาพถ่าย SEM ของ PLA/VP (ก) PLA (ข) PLA/VP 10% (ค) PLA/VP 20% (ง) PLA/VP 30% (จ) PLA/VP 50%.....	61
รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบระหว่างค่าการทนต่อแรงดึง กับ (HDPE, HDPE/VP 20, HDPE/VP 30, HDPE/VP 50 %w/w), (LLDPE, LLDPE/VP 20, LLDPE/VP 30, LLDPE/VP 50, %w/w), (PP, PP/VP 20, PP/VP 30, PP/VP 50 %w/w) และ (PLA, PLA/VP 20, PLA/VP 30, PLA/VP 50 %w/w).....	65
รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบระหว่างค่าการทนแรงกระแทก กับ (HDPE, HDPE/VP 20, HDPE/VP 30,HDPE/VP 50 %w/w), (LLDPE, LLDPE/VP 20, LLDPE/VP 30, LLDPE/VP 50, %w/w), (PP, PP/VP 20, PP/VP 30, PP/VP 50 %w/w) และ (PLA, PLA/VP 20, PLA/VP 30, PLA/VP 50 %w/w).....	69
รูปที่ 4.13 HDPE/VPกราฟระหว่าง Hardness และการเติมปริมาณเส้นใยเพ็ท.....	70

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.14 PP/VP กราฟระหว่าง Hardness และการเติมปริมาณเส้นใยพืช.....	71
รูปที่ 4.15 LLDPE/VP กราฟระหว่าง Hardness และการเติมปริมาณเส้นใยพืช.....	71
รูปที่ 4.16 PLA/VP กราฟระหว่าง Hardness และการเติมปริมาณเส้นใยพืช.....	72
รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบระหว่างการทดสอบความแข็งของ กับ (HDPE, HDPE/VP 20, HDPE/VP 30, HDPE/VP 50 %w/w), (LLDPE, LLDPE/VP 20, LLDPE/VP 30, LLDPE/VP 50, %w/w), (PP, PP/VP 20, PP/VP 30, PP/VP 50 %w/w) และ (PLA, PLA/VP 20, PLA/VP 30, PLA/VP 50%w/w).....	73
รูปที่ 4.18 สมบัติทางความร้อนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเสริมแรงเส้นใยพืช.....	74
รูปที่ 4.19 สมบัติทางความร้อนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นเสริมแรงเส้นใยพืช.....	75
รูปที่ 4.20 สมบัติทางความร้อนของพอลิโพรพิลีนเสริมแรงเส้นใยพืช.....	76
รูปที่ 4.21 สมบัติทางความร้อนของพอลิแลคติกแอซิดเสริมแรงเส้นใยพืช.....	78

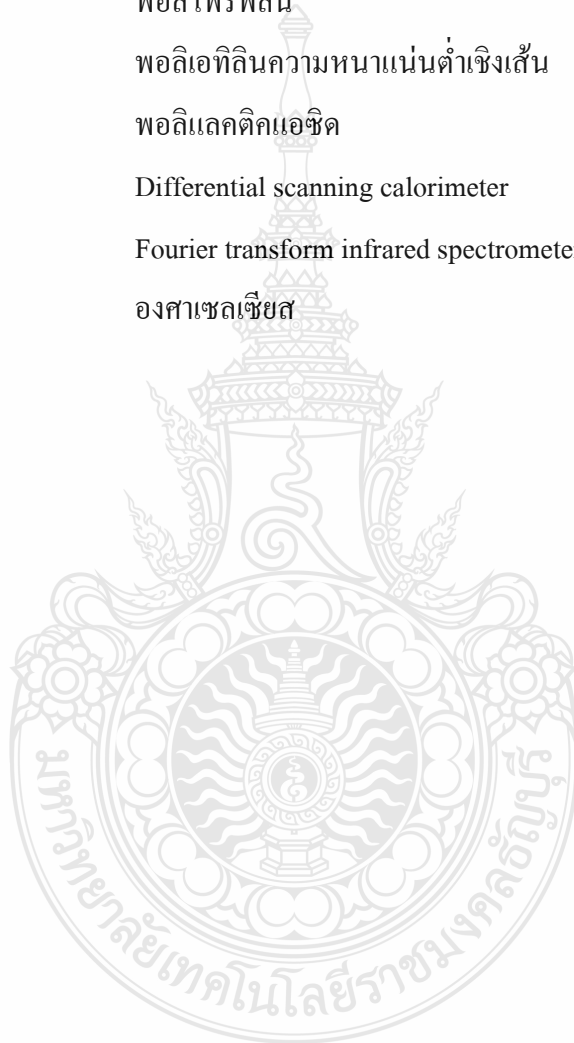


## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การใช้งานทั่วไปของ HDPE.....	18
ตารางที่ 2.2 การใช้งานทั่วไปของ LLDPE.....	19
ตารางที่ 2.3 การใช้งานทั่วไปของ PP.....	20
ตารางที่ 2.4 การใช้งานทั่วไปของ PLA.....	21
ตารางที่ 3.1 ตารางการดำเนินงาน.....	48
ตารางที่ 4.1 วัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเสริมแรงด้วยเส้นใยพืช	54
ตารางที่ 4.2 วัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นเสริมแรงด้วยเส้นใย พืช.....	55
ตารางที่ 4.3 วัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยพืช.....	56
ตารางที่ 4.4 วัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิแลคติกแอซิด เสริมแรงด้วยเส้นใยพืช.....	57
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบแรงดึง HDPE/VP.....	62
ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบแรงดึงLLDPE/VP.....	63
ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบแรงดึงPP/VP.....	63
ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบแรงดึง PLA/VP.....	64
ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบการทนแรงกระแทก HDPE/VP.....	66
ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบการทนแรงกระแทก LLDPE/VP.....	67
ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบการทนแรงกระแทก PP/VP.....	67
ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบการทนแรงกระแทก PLA/VP.....	68
ตารางที่ 4.13 สมบัติทางความร้อนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเสริมแรงเส้น ใยพืช.....	74
ตารางที่ 4.14 สมบัติทางความร้อนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น เสริมแรงเส้นใยพืช.....	75
ตารางที่ 4.15 สมบัติทางความร้อนของพอลิโพรพิลีนเสริมแรงเส้นใยพืช.....	76
ตารางที่ 4.16 สมบัติทางความร้อนของพอลิแลคติกแอซิดเสริมแรงเส้นใยพืช.....	77

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

VP	หญ้าพีค
HDPE	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
PP	พอลิโพรพิลีน
LLDPE	พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น
PLA	พอลิแลคติกแอซิด
DSC	Differential scanning calorimeter
FTIR	Fourier transform infrared spectrometer
°C	องศาเซลเซียส



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

หญ้าเพ็ก มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ Vietnamosasa Pusilla, VP มีลักษณะทั่วไปเป็นไม้พุ่มคล้ายพืชตระกูลไผ่ ส่วนมากจะพบหญ้าเพ็กขึ้นในที่ดอนและในพื้นที่ริมภายในป่าโปร่ง หญ้าเพ็กมีสมบัติทนต่อสภาพแห้งแล้งและการถูกไฟเผา มีการขยายพันธุ์ได้เองและรวดเร็วมากแต่หญ้าชนิดนี้จะเหี่ยวเฉาได้ง่าย [1] ในงานเกษตรกรรมหญ้าเพ็กเป็นวัชพืชที่ทนต่อสภาพแห้งแล้งได้ดีมากและไม่สามารถนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ เนื่องจากมีความแข็งและความเหนียวสูงเกิน ดังนั้นจึงเป็นพืชที่เหมาะสมกับการนำมาพัฒนาเพิ่มมูลค่าโดยการนำวัชพืชที่เป็นศัตรูสำหรับเกษตรกรรม โดยนำมาเพิ่มมูลค่าเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ในปัจจุบันพลาสติกเข้ามามีบทบาทมากในชีวิตประจำวัน เนื่องจากสมบัติของพลาสติกนั้นดีกว่าวัสดุชนิดอื่นๆ เช่น เหล็ก ไม้ ด้วยสมบัติที่โดดเด่นของพลาสติกทำให้มีการต้องการเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้มีการแข่งขันในการพัฒนาผลิตภัณฑ์และทำการเพิ่มสมบัติต่างๆ ในพลาสติกเพื่อนำไปใช้ให้เหมาะสมกับงานมากที่สุด โดยวิธีที่เราเลือกใช้ในการปรับปรุงสมบัติของพลาสติกให้ดีขึ้นคือ การนำพลาสติกผสมกับเส้นใยธรรมชาติ เช่น เส้นใยไผ่, เส้นใยปอ [13,23] พบว่าเมื่อเติมเส้นใยธรรมชาติเหล่านั้นลงไป สมบัติเชิงกลของพลาสติกนั้นดีขึ้นกว่าในระบบพลาสติกที่ไม่ได้เติมเส้นใยธรรมชาติเข้าไป อีกทั้งการผสมวัตถุดิบจากธรรมชาติลงไปในพลาสติกในผลิตภัณฑ์ทำให้ลดต้นทุนส่วนพลาสติกอีกด้วย

ในงานวิจัยนี้สนใจที่จะเพิ่มประสิทธิภาพให้กับพลาสติกให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานตกแต่งซึ่งได้แก่ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE), พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (Linear Low Density Polyethylene, LLDPE), พอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP), ซึ่งเป็นพลาสติกที่มีปริมาณการใช้มากในประเทศไทย นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังจะทำการเปรียบเทียบวัสดุเชิงประกอบพลาสติกทั่วไปกับเส้นใยเพ็กและวัสดุเชิงประกอบพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพกับเส้นใยเพ็ก โดยพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ คือ พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid, PLA) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปสำหรับ

นำไปพัฒนาเป็นวัสดุตกแต่งภายใน และศึกษาผลของสัดส่วนของเส้นใยพีกต่อสมบัติเชิงกล, สมบัติทางกายภาพ, สมบัติทางเคมีของพลาสติกที่ขึ้นรูปได้ อีกทั้งยังเปรียบเทียบสมบัติของวัสดุเชิงประกอบจากพลาสติกที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพกับเส้นใยพีก กับวัสดุเชิงประกอบจากพลาสติกทั่วไป เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีสมบัติเชิงกลสูงและนำไปใช้เป็นวัสดุตกแต่งภายใน

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบจาก HDPE, LLDPE, PP และ PLA กับเส้นใยพีกในสัดส่วนต่างๆ

1.2.2 ศึกษาการทดสอบสมบัติเชิงกลและกายภาพตามมาตรฐานต่างๆของวัสดุเชิงประกอบที่ขึ้นรูปได้

## 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยพีกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่สัดส่วน 0, 1, 3, 5, 7, %w/w จากนั้นทำการทดสอบเพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุดในการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยพีกด้วย เครื่อง FT-IR Spectrophotometer และ XRD จากนั้นทำการผสมเส้นใยพีกที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวแล้วกับพลาสติกด้วยเครื่อง Two Roll Mill โดยทำการผสม HDPE/VP, LLDPE/VP, PP/VP และ PLA/VP ที่สัดส่วนเส้นใยพีก 0, 10, 20, 30 และ 50 %w/w และทำการอัดขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่อง Compress Molding

1.3.2 ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่

- ชนิดของเมทริกซ์ HDPE, LLDPE, PP, PLA และเส้นใยเสริมแรง:เส้นใยพีก
- สภาวะที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยพีก ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0, 1, 3, 5 และ 7 %w/w ที่เวลา 2, 4, 6, 8 และ 24 ชั่วโมง
- ปริมาณเส้นใยพีกในวัสดุเชิงประกอบ 0, 10, 20, 30 และ 50 %w/w

1.3.3 การทดสอบสมบัติตามมาตรฐานต่างๆดังนี้

- ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

(Scanning Electron Microscope, SEM)



- ทดสอบความแข็ง (Hardness) ตามมาตรฐาน ASTM D2240 Shore D
- ทดสอบความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) ตามมาตรฐาน ASTM D638
- ทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (Izod Impact) ตามมาตรฐาน ASTM D256

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้วัสดุเชิงประกอบจาก HDPE, LLDPE, PP, PLA กับเส้นใยพืช ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมต้นทุนต่ำและมีสมบัติเชิงกลเทียบเคียงกับพลาสติกเชิงการค้า

1.4.2 ทราบถึงทดสอบสมบัติตามมาตรฐานต่างๆของวัสดุเชิงประกอบจากพลาสติกและเส้นใยพืช



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและแฉะวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

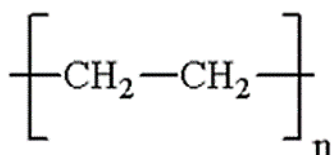
ในปัจจุบันมีการนิยมนำพลาสติกมาใช้ในชีวิตประจำวันเพิ่มมากขึ้น โดยที่นำวัสดุธรรมชาติมาแทน เช่น ไม้ หน้ัง หรือโลหะต่างๆ ทำให้พลาสติกมีส่วนร่วมในผลิตภัณฑ์เกือบทุกประเภท เช่น อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ อุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมเครื่องใช้ในครัวเรือน อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ และอุตสาหกรรมของเล่นเด็ก สำหรับพลาสติกที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทย เช่น พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) พอลิโพรพิลีน (PP) และพอลิแลคติกแอซิด (PLA)

#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1.1 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง High Density Polyethylene, (HDPE) [2]

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง High Density Polyethylene, (HDPE) เป็นพลาสติกประเภทพอลิเอทิลีน Polyethylene, (PE) มีค่าความหนาแน่นสูง การเรียงตัวของโมเลกุลมีกึ่งกันมาก HDPE มีความหนาแน่นประมาณ 0.941-0.965 g/cm<sup>3</sup> และเป็นพลาสติกที่มีลักษณะเหนียวและแตกหักยาก ค่อนข้างแข็งและสามารถยืดได้มาก มีความทนทานต่อสารเคมีและยังสามารถขึ้นเป็นรูปทรงต่างๆได้ง่าย เช่น ใช้ทำขวดนม ขวดน้ำและบรรจุภัณฑ์น้ำยาทำความสะอาด ขวดยาสระผมและยังเป็นพลาสติกที่สามารถนำกลับมารีไซเคิลเป็น ขวดน้ำมันเครื่อง ลังพลาสติก ไม้เทียม เป็นต้น

HDPE มีโครงสร้างทางเคมีที่เป็นกิ่งสาขา (Branching) น้อยจึงมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ค่อนข้างสูงมีความแข็งแรง มีสีขาวขุ่น โปร่งแสง มีความลื่นมันในตัว มีความเหนียวและยืดหยุ่น ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส มีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำจึงลอยน้ำได้ สามารถผสมให้มีสีต่างๆ ได้



รูปที่ 2.1 โครงสร้าง HDPE

สมบัติทั่วไป มีโครงสร้างเป็นสายโซ่ยาว ๆ มีกิ่งก้านสาขาน้อยหรือประปราย ทำให้โมเลกุลมีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบและความเป็นผลึกสูงกว่า LDPE มีความเหนียว ความทนแรงดึง ความแข็ง ความทนทานต่อความร้อนและสารเคมีมากกว่าด้วยอีกทั้งมีสมบัติการเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี HDPE มีจุดหลอมเหลวประมาณ 135 °C และจุดอ่อนตัวประมาณ 125 °C

## ตารางที่ 2.1 การใช้งานทั่วไปของ HDPE

การใช้งานทั่วไปของ HDPE	ผลิตภัณฑ์
งานฉีดแบบ (Injection Molding)	กะละมัง กระจกน้ำ ถาดน้ำแข็ง
งานเป่าทั่วไป (Blow Molding)	ขวดน้ำยาทำความสะอาด ขวด เครื่องสำอางค์ ภาชนะใส่น้ำมันเครื่อง
งานอัดรีด (Extrusion)	ขวดนม ขวดน้ำดื่ม และ ขวดยา ท่อน้ำประปา ท่อระบายน้ำ ท่อใน อุตสาหกรรมเคมี และ ท่อร้อยสายไฟ
งานเป่าฟิล์ม (Blown Film)	ถุงหูหิ้ว ถุงร้อน

### 2.1.2 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น Linear Low Density Polyethylene, (LLDPE) [3]

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นนี้จะมีสมบัติทางกายภาพอยู่ระหว่าง HDPE และ LDPE เนื่องจาก LLDPE มีความยาวสายโซ่โมเลกุลที่สั้นกว่า HDPE แต่มีขนาดโซ่กิ่งสม่ำเสมอกว่า LDPE กล่าวคือ LLDPE มีความยืดหยุ่น กว่า HDPE แต่ทนแรงกระแทก แรงฉีกขาด ได้สูงกว่า LDPE

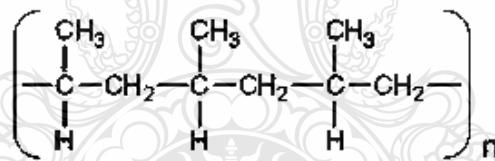
สมบัติทั่วไป พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น เป็นตัวที่มีความหนาแน่นปานกลาง (เป็นส่วนผสมระหว่าง HDPE กับ LDPE) มีสมบัติเหมือนกับ LDPE แต่เหนียวกว่า และแข็งกว่า ทรงรูปได้ดีกว่า แต่ไม่ถึง HDPE ส่วนใหญ่จะใช้งานที่ต้องการยืดหยุ่นตัวเพื่อรับแรงกระแทก เช่น หลัปลา หลัส้ม หรือใช้แทนงานของ LDPE สามารถทนอุณหภูมิได้ถึง 121 °C ทนต่อแรงกระแทกและแรงที่มทะเล่ได้สูง

ตารางที่ 2.2 การใช้งานทั่วไปของ LLDPE

การใช้งานทั่วไปของ LLDPE	ผลิตภัณฑ์
เป่าฟิล์ม (blown film)	ฟิล์มสำหรับบรรจุอาหาร ฟิล์มสำหรับหีบห่อ ตัวอย่างหนา ฟิล์มสำหรับงานเกษตรกรรม
งานหล่อแบบหมุนเหวี่ยง (Spin Casting)	ถังบรรจุสารเคมี ถังน้ำบนดิน ถังน้ำใต้ดิน ถังบำบัด ถังแช่ ชุดเครื่องเล่นเด็ก

2.1.3 พอลิโพรพิลีน Polypropylene, (PP) [4]

พอลิโพรพิลีนมีลักษณะแข็ง ไม่มีสี และยังมีทั้ง โปร่งใสและ โปร่งแสง ผิวเป็นมันเงา ทนต่อกรด ด่าง และสารเคมีต่างๆ ซึ่งยกเว้นกลุ่มไฮโดรคาร์บอนและคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอน แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามโครงสร้างของพอลิโพรพิลีน ได้แก่ ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีน ซินดีโอแทกติกพอลิ-โพรพิลีน และ แอแทกติกพอลิโพรพิลีน



รูปที่ 2.2 โครงสร้าง PP [4]

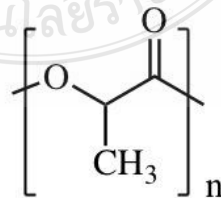
สมบัติทั่วไป พอลิโพรพิลีนทนแรงกระแทกสูง ทนการขีดข่วน ทนสารเคมี มีจุดอ่อนตัวสูง มีความหนาแน่นต่ำ และมีอุณหภูมิในการหลอมสูง ทำให้ใช้งานที่อุณหภูมิสูงถึง 120 °C ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพอลิโพรพิลีน ได้แก่ ถังของเล่นเด็ก ถุงปุ๋ย ไหมเทียม พรมและแผ่นรองพรม ผ้าใบกันน้ำ เชือก สายรัดบรรจุภัณฑ์ ถุงร้อน ขวดใส่เครื่องดื่ม ซองขนม ท่อ ปลูกหุ้มสายไฟและสายเคเบิล งานเคลือบกระดาษ วัสดุอุดรอยรั่ว กาว และอุปกรณ์ภายในรถยนต์

## ตารางที่ 2.3 การใช้งานทั่วไปของ PP

การใช้งานทั่วไปของ PP	ผลิตภัณฑ์
งานฉีดแบบ (Injection Molding)	กล่องแบตเตอรี่ ถังน้ำมันในรถยนต์ กันชน รถยนต์ ลังใส่ขวด กระจาดต้นไม้ ของเด็กเล่น
งานเป่าแบบ (Blow Molding)	ขวด ถัง หรือภาชนะที่ต้องการความทนทาน สูง
งานสิ่งทอ (Textile)	ทำเส้นใยกระสอบสาน เชือกฟาง แห อวน ผ้าใบป้องกันพืชสวน
งานเป่าถุง (Blown Film)	ทำพลาสติกหุ้มซองบุหรี่ ซองเสื้อเชิ้ต ถุง ร้อน ถุงเย็น

### 2.1.4 พอลิแลคติกแอซิด Polylactic Acid, (PLA) [6]

พอลิแลคติกแอซิด เป็นพลาสติกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable Plastic) เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ด้วยจุลินทรีย์ในธรรมชาติภายหลังจากการใช้งาน ผลิตมาจากวัตถุดิบที่สามารถผลิตทดแทนขึ้นใหม่ได้ในธรรมชาติ เช่น ผลิตมาจากพืช เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง และอ้อย เป็นต้น โดยการบดหรือม่พืชนั้นให้ละเอียดเป็นแป้งแล้วใช้เอนไซม์ย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลกลูโคส ผ่านกระบวนการหมัก โดยใช้แบคทีเรีย *Lactobacillus Brevis* ได้ผลผลิตเป็น กรดแลคติก ผ่านกระบวนการทางเคมีได้แลคไทด์ มีโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวน แล้วจึงนำไปผ่านกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน กลั่นในระบบสุญญากาศเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างได้เป็นพอลิแลคติกแอซิด



### รูปที่ 2.3 โครงสร้าง PLA [6]

สมบัติทั่วไป PLA มีช่วงการหลอมเหลว (Melting range) 173 - 178 °C แต่ทนความร้อนได้เกิน 110 °C มีปริมาณความเป็นผลึก (Crystallinity) ประมาณ 37% และอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature) อยู่ระหว่าง 60 - 65 °C มีสมบัติขวางกั้น (Barrier Properties) ดีเข้ากับเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต (Biocompatibility) สมบัติพิเศษ คือ มีความใส ไม่ย่อยสลายในระหว่างการใช้งาน แต่สามารถย่อยสลายได้เอง เมื่อนำไปฝังกลบในสภาวะเฉพาะ สามารถขึ้นรูปด้วยเทคนิคการขึ้นรูปเทอร์โมพลาสติกทั่วไป

#### ตารางที่ 2.4 การใช้งานทั่วไปของ PLA

การใช้งานทั่วไปของ PLA	ผลิตภัณฑ์
งานฉีดแบบ (Injection Molding)	กล่อง งาน ช้อน มีด ส้อม ตะเกียบ แก้วน้ำ
งานสิ่งทอ (Textile)	งานด้านการผลิตเป็นเสื้อผ้าและผ้าเบาะรถยนต์
งานอัดรีดฟิล์ม (film Extrusion)	ฟิล์มสำหรับห่อหุ้มอาหาร

#### 2.1.5 เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fibers) [7]

เส้นใยจากธรรมชาตินั้นมี 4 ประเภทหลักๆ ได้แก่

1. เส้นใยเซลลูโลสธรรมชาติ (Natural Cellulose Fibers) เป็นกลุ่มเส้นใยที่ได้จาก พืช เช่น ฝ้าย ลิ้นจี่ ป่าน ปอ โครงสร้างของโมเลกุลประกอบด้วยกลุ่ม แอนไฮโดรกลูโคส เกาะ เกี่ยวกันเป็นสายโซ่ยาว โมเลกุลใหญ่ สายโมเลกุลนี้รวมกันจำนวนมากจะเกิดเป็นเส้นใยและยัง มีความยาวมาก จะมีผลทำให้เซลลูโลสมีความเหนียวมากขึ้น โซ่โมเลกุลจะยาวมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ จำนวน โมเลกุลกลูโคส กลูโคสแต่ละหน่วยประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน

2. เส้นใยโปรตีนจากธรรมชาติ (Natural Protein Fibers) เส้นใยที่ได้จากสัตว์ ได้แก่ ใยขนสัตว์และใยไหม เส้นใยขนสัตว์คือใยที่ได้จากขนสัตว์ ที่ปกคลุมตัวสัตว์ ได้จากพวกขนแกะ แพะ อูฐ แอลปากา วิคินา ขนจากสัตว์เหล่านี้เรียกว่า Hair Fiber และยังมีขนสัตว์อีกประเภทหนึ่งที่ มีขนาดลำตัวเล็ก เช่น ขนมิงค์ กระต่าย บีเวอร์ จะให้เส้นใยที่อ่อนนุ่มกว่าขนสัตว์ประเภทแรก จะเรียกว่า Fur Fiber

3. เส้นใยธรรมชาติจากแร่ (Mineral Fibers) เส้นใยหิน (Asbestos) ใยหินเป็นใยธรรมชาติที่แยกจากหินชนิดหนึ่งที่มีสีเขียวที่เรียกว่า Serpentine หรือ Amphibole Rock มีลักษณะเป็นชั้นลื่นเหมือนสบู่ หินชนิดนี้รู้จักกันมาตั้งแต่ในสมัยกรีก และโรมันตอนต้น Asbestos เป็นภาษากรีก เส้นใยหินที่ได้มานั้นจะถูกนำไปทำความสะอาด แยกประเภทตามความยาวแล้วจึงนำไปส่งต่อไปยังโรงงานสิ่งทอ เส้นใยหินที่จะทำเป็นเส้นใยฝ้านั้นจะต้องผสมกับใยผ้าฝ้าย 5-20% หรือไม้ไผ่เรยอน และขนสัตว์ เพื่อปั่นให้เป็นเส้นด้ายและทอเป็นผ้าต่อไป ผ้าที่ผลิตจากใยหินนั้นมีสมบัติทนไฟ สามารถทอเป็นผ้าได้หลากหลายชนิด ใช้ทำผ้าม่านกันไฟ ชุดเสื้อกันไฟที่ใช้สำหรับพนักงานดับเพลิง ผ้าฉนวนป้องกันไฟฟ้า เส้นใยโลหะ (Metallic Fibers) เส้นใยที่รู้จักกันมานานับพันปีก่อนที่จะรู้จักใยเรยอน และไนลอน ใยโลหะเป็นใยเดี่ยว อาจเรียกว่าด้ายโลหะ (Metallic Yarns) ก็ได้ เพราะมีลักษณะเป็นใยยาวเดี่ยว แบบคล้ายริบบิ้น สามารถผลิตใหม่ขนาดตามต้องการ อาจใช้พันสลับกับเส้นด้ายจะมีลักษณะกลม นิยมทำด้วยโลหะแท้ เช่น ทองซึ่งมีราคาแพงมาก เงิน ทองแดง อลูมิเนียม ส่วนใยโลหะสังเคราะห์ทำจากโลหะอลูมิเนียม หรือโลหะหุ้มพลาสติก สารที่ พันทับโลหะ ได้แก่ สารพอลิเอสเตอร์ เช่น Mylar หรือสารเซลลูโลส อซิเตท-บิวไทเรท มีหลายสีสดใสแวววาว สวยงาม เช่น สีน้ำเงิน สีทอง ผลิตขึ้นเพื่อเลียนแบบโลหะแท้ ใยโลหะหุ้มพลาสติกใช้ประโยชน์ได้ดีไม่ดำเมื่อถูกอากาศ ความเค็ม คลอรีน จากน้ำและต่างจากผงซักฟอก

4. เส้นใยยางธรรมชาติ (Natural Rubber Fiber) เส้นใยยางยัดนั้นได้จากทั้งยางธรรมชาติ การนำเส้นใยยางมาใช้ในเสื้อฝ้านั้นมักจะใช้เป็นเส้น แถบยางยัด โดยภายในมีเส้นด้ายหรือเส้นใยประเภทอื่นๆ เช่นเส้นใยฝ้าย, เรยอน หรือไนลอน มาหุ้มอยู่โดยรอบเพื่อเพิ่มคุณสมบัติ และป้องกันไม่ให้ใยยางเสื่อมคุณภาพเร็วเมื่อถูกความร้อนและแสงแดด

#### 2.1.6 หนุ่ฟ้าเพ็ก [1]

หนุ่ฟ้าเพ็ก มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ Vietnamosasa Pusilla, VP มีลักษณะเป็นไม้พุ่ม เป็นพืชตระกูลไผ่ มีชื่อสามัญเรียกไผ่เพ็ก เป็นพืชที่มีอายุหลายปี แตกกอสูง 70 - 120 เซนติเมตร ลำต้นแข็งแรงเหนียวคล้ายไม้ไผ่ เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 - 1.0 เซนติเมตร ใบหยากกระด้าง แผ่นใบยาว 8 - 14 เซนติเมตร กว้าง 1 เซนติเมตร มีกิ่งก้านแตกจากข้อ ดอกเป็นช่อแยกแขนง (Panicle) รากตื้น แต่มีรากแข็งแรง แพร่พันธุ์โดยแตกหน่อ ขึ้นในที่ดอนและในที่ร่มเงาของป่าโปร่ง เช่น ป่าพลวง ป่าเหียง ทนต่อสภาพแห้งแล้งและการถูกไฟเผา แต่หนุ่ฟ้าชนิดนี้ตายเร็วลำต้นจะแข็งแบบกิ่งไผ่ ออกดอกช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม มีการขยายพันธุ์ได้เองและรวดเร็วมาก หนุ่ฟ้าเพ็กเป็นหนุ่ฟ้าพื้นเมืองชนิดหนึ่ง

พบมากในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่นจังหวัดนครราชสีมา ขอนแก่น นครพนม เป็นวัชพืชที่ทนต่อสภาพแห้งแล้งได้ดีมากและไม่มีประโยชน์ต่อเกษตรกรรวมไปถึงสัตว์ที่กินวัชพืชเป็นอาหาร เพราะทั้งแข็งและเหนียว



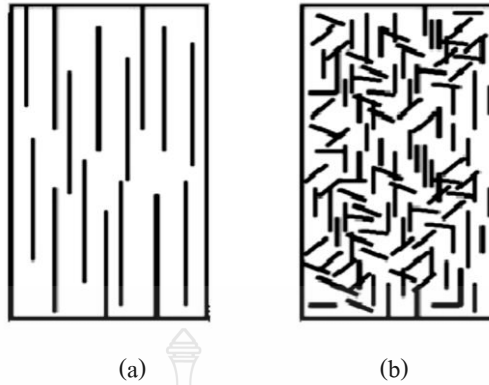
รูปที่ 2.4 หญ้าเพ็ก [1]

#### 2.1.8 วัสดุเชิงประกอบ (Composites) [8]

วัสดุเชิงประกอบเป็นวัสดุผสมจะถูกแบ่งออกเป็นสองเฟส เฟสหลักคือเฟสที่เป็นเนื้อพื้นกับเฟสที่กระจายตัวเสริมแรง โดยเฟสที่กระจายตัวสามารถแบ่งได้เป็น ผง เม็ด เส้นใย หรือเป็นเส้นใยยาวเสริมแรงและสมบัติของวัสดุเชิงประกอบมีค่าเฉลี่ยระหว่างสมบัติของพื้นเนื้อและเฟสที่กระจายตัวสามารถแยกประเภทต่างๆได้โดยใช้เฟสที่กระจายตัวเป็นตัวชี้วัด

- 1) วัสดุเชิงประกอบเสริมแรงโดยผง (Particle-reinforced Composites)
- 2) วัสดุเชิงประกอบเสริมแรงโดยเส้นใย (Fiber-reinforced Composites) และวัสดุเชิงประกอบเสริมแรงโดยเส้นใยสั้น (Short Fiber-Reinforced Composites) สามารถแบ่งออกได้สองประเภท
  - วัสดุเชิงประกอบเสริมแรงโดยเส้นใยสั้นเรียงตัวเป็นระเบียบ (Aligned Discontinuous Fiber-Reinforced Composites) ซึ่งมีสมบัติทางกลที่ดีขึ้นเมื่อต้องรับโหลดในทิศทางเดียวกับทิศทางการจัดเรียงตัวของเส้นใยทำให้วัสดุเชิงประกอบชนิดนี้มีสมบัติแบบ Anisotropy
  - วัสดุเชิงประกอบเสริมแรงโดยเส้นใยสั้นเรียงตัวแบบสุ่ม (Randomly Oriented Discontinuous Fiber-Reinforced Composites) เนื่องจากเส้นใยที่ใช้เป็นเฟสที่กระจายตัวจัดเรียงตัวแบบสุ่มและไม่มีการจัดเรียงตัวในทิศทางใดทิศทางหนึ่งเป็นพิเศษทำให้วัสดุชนิดนี้มีสมบัติที่เท่ากันในทุกทิศทาง (Isotropy) ไม่ว่าจะรับโหลดในทิศทางใดก็ตาม





รูปที่ 2.5 วัสดุเชิงประกอบเสริมแรงโดยเส้นใย [9]

(a) เส้นใยเส้นเรียงตัวเป็นระเบียบ (b) เส้นใยเส้นเรียงตัวแบบสุ่ม

ข้อดีและข้อเสียของวัสดุเชิงประกอบ

ข้อดีของวัสดุเชิงประกอบ

- มีสมบัติต่อน้ำหนักหรือความหนาแน่น (Properties to Weight/Density Ratio) สูงเช่น ความแข็งแรงจำเพาะ (Specific Strength) โมดูลัสจำเพาะ (Specific Modulus) ความแข็งเปราะจำเพาะ (Specific Stiffness) เป็นต้น เนื่องจากวัสดุเชิงประกอบมีความหนาแน่นต่ำ น้ำหนักเบา
- มีสมบัติหลากหลายสามารถสร้างวัสดุเชิงประกอบให้เหมาะสมกับการใช้งาน เช่น จัดให้เส้นใย (ส่วนเสริมแรง) เรียงตัวตามแนวรับแรง
- มีสมบัติการรับแรงและมีการหน่วงที่ดี (Damping)
- ความทนทานต่อการล้าตัวดี (Fatigue Resistance)
- มีเสถียรภาพของรูปร่าง (Dimensional stability) สูง เนื่องจากมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน Coefficients of thermal expansion, (CTE)

ข้อเสียของวัสดุเชิงประกอบ

- ต้นทุนการผลิตสูง เนื่องจากราคาของวัตถุดิบและเครื่องมือการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบ
- มักมีสมบัติแต่ละทิศทางไม่เท่ากัน หรือมีสมบัติแอนไอโซโทรปี (Anisotropy) เนื่องจากมีการจัดเรียงตัว (Orientation) ของส่วนเสริมแรง เป็นสาเหตุให้วัสดุเชิงประกอบไม่แข็งแรงในแนวตั้งฉากกับแนวการเรียงตัว (Transverse Direction)

- การต่อ (Attaching) หรือเชื่อมติดกับวัสดุอื่น ทำได้ยาก
- การตรวจวิเคราะห์สมบัติวัสดุเชิงประกอบทำได้ยาก
- การทำลายและนำกลับมาใช้ใหม่หรือรีไซเคิล (Recycle) ทำได้ยาก

### 2.1.9 ทฤษฎีเกี่ยวกับการขึ้นรูปและการทดสอบ

- เครื่องผสมพลาสติกแบบสองลูกกลิ้ง (Two Rolls Mill) [10]

เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งนี้ใช้ในการผสมสารเคมีกับพลาสติก ส่วนประกอบหลักของเครื่องคือลูกกลิ้งสองตัวที่หมุนสวนทางกัน ความร้อนของลูกกลิ้งได้มาจากชุดให้ความร้อน ข้อดีของเครื่องผสมชนิดนี้คือ สามารถมองเห็นลักษณะและระดับการเข้ากันของสารเคมี กับพลาสติกได้ มีความสะดวกในการทำความสะดวก การผสมแบบนี้จะได้ผลิตภัณฑ์ ในลักษณะเป็นแผ่น ซึ่งเหมาะกับการแปรรูปต่อโดยเทคนิคบางเทคนิค เช่น การขึ้นรูปแบบกดอัด(Compression Molding) สำหรับข้อเสียของเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งคือ ผู้ผสมจะต้องมีทักษะในการใช้เครื่อง และมีความรู้เรื่องการคอมพาวด์สูง นอกจากนี้การผสมโดยใช้เครื่องผสมชนิดนี้จะกระทำในที่เปิด ดังนั้นจึงมีโอกาสที่ฝุ่นละอองและสิ่งปนเปื้อนชนิดต่าง ๆ เข้ามา ปะปนกับคอมพาวด์และมีโอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของคอมพาวด์ได้ง่าย การผสมโดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งจะช้ากว่าการผสมแบบเครื่องผสมระบบปิด

หลักการทำงานของเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งเมื่อทำการใส่เนื้อพอลิเมอร์ลงไป ในปริมาณที่เหมาะสมลงในช่องระหว่างลูกกลิ้ง เนื้อพอลิเมอร์จะถูกรีดผ่านลูกกลิ้งจนเนื้อพอลิเมอร์มีการอ่อนตัวและเกาะตัวเป็นแผ่นที่ลูกกลิ้งข้างใดข้างหนึ่งไว้ อุณหภูมิที่ใช้ในการผสมก็จะขึ้นอยู่กับพอลิเมอร์แต่ละชนิด



รูปที่ 2.6 เครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง

- การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบกดอัด (Compression Molding) [10,11]

การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบกดอัดเป็นวิธีที่ใช้กันมากที่สุด ในอุตสาหกรรมเมื่อเทียบกับการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบอื่น เพราะเป็นวิธีที่ง่าย และเครื่องจักรที่ใช้มีราคาไม่สูงมากนัก เครื่องจักรที่ใช้ได้แก่ เครื่องกดอัดระบบ ไฮดรอลิก (Hydraulic press) ซึ่งประกอบด้วยแผ่นกดอัดจำนวน 2 แผ่น หรือมากกว่า 2 แผ่น ขึ้นกับการออกแบบ แผ่นกดอัดจะเลื่อนขึ้นลงด้วยระบบไฮดรอลิกเพื่ออัดและส่งผ่านแรงดันไปสู่แม่พิมพ์ที่อยู่ตรงกลางระหว่าง แผ่นกดอัด เครื่องจะสามารถตั้งอุณหภูมิและควบคุมความร้อนให้คงที่ระหว่างการกดอัด ในส่วนของแม่พิมพ์แบบกดอัดนี้ประกอบด้วยแม่พิมพ์ 2 ส่วน คือ แม่พิมพ์ส่วนบน และแม่พิมพ์ส่วนล่าง โดยแม่พิมพ์ส่วนล่างจะมีช่องเป็นรูปร่างของผลิตภัณฑ์เรียกว่า เบ้าพิมพ์ สำหรับใส่พอลิเมอร์ที่จะทำการขึ้นรูป จากนั้นนำแม่พิมพ์ส่วนบนมาปิดทับ แม่พิมพ์ส่วนบนจะช่วยล็อกไม่ให้เกิดการเคลื่อนตัวในแนวระนาบขณะที่ได้รับ แรงกดอัด เมื่อให้แรงดันแก่แม่พิมพ์ เม็ดพอลิเมอร์คอมจะถูกบังคับให้ไหลจนเต็ม เบ้าพิมพ์และความร้อนจากแม่พิมพ์จะทำให้เม็ดพอลิเมอร์เกิดการคงรูปเม็ดพอลิเมอร์ที่เกิดการหลอมจนเป็นเนื้อเดียวกันแล้วจากนั้นจึงทำให้แม่พิมพ์ค่อยๆเย็นตัวด้วยการหล่อเย็นที่ตัวแม่พิมพ์ เมื่อทำการหล่อเย็นเสร็จแล้วพอลิเมอร์ที่ได้จะได้ชิ้นงานตามแม่พิมพ์



รูปที่ 2.7 เครื่อง Compression Molding

#### 2.1.10 การทดสอบสมบัติตามมาตรฐาน

- การทดสอบความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) ตามมาตรฐาน ASTM D 638

[15,16]

การทดสอบการทนต่อแรงดึง หลักการทำงานของเครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงดึง เป็นการดึงชิ้นตัวอย่างทดสอบจนขาดออกจากกัน ในขณะเดียวกันจะมีการบันทึกแรงที่ใช้ใน

การดึง และระยะยืดของชิ้นตัวอย่างทดสอบด้วยเครื่องบันทึก เพื่อตรวจสอบความแข็งแรงของวัสดุ เมื่อได้รับแรงดึง เมื่อดึงชิ้นตัวอย่างที่มีสมบัติแข็งแรงอย่างต่อเนื่องจนเกิดการแตกหัก



รูปที่ 2.8 เครื่องการทดสอบความทนทานต่อแรงดึง

- การทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact Test) ทดสอบแบบ Izod Impact ตามมาตรฐาน ASTM D256 [16]

การทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทกนั้นศึกษาโดยใช้แรงกระทำเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว กระแทกชิ้นงานทดสอบให้แตกในเวลาอันสั้นเพื่อศึกษาพฤติกรรมของวัสดุเมื่อถูกแรงกระแทก การทดสอบแรงกระแทกแบบลูกตุ้มเหวี่ยง เป็นตามมาตรฐาน ASTM D256 ซึ่งใช้สำหรับแสดงความสามารถของวัสดุ ในการต้านแรงกระแทกจากการตีด้วยค้อน ซึ่งอยู่ในรูปพลังงานจลน์ทั้งหมดที่จำเป็นเพื่อให้วัสดุเริ่มเกิดการแตกหัก (Initiate Fracture) และดำเนินต่อไปจนวัสดุขาดออกจากกัน ใช้เปรียบเทียบความเหนียวของวัสดุ ในการเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบนั้น จะถูกเตรียมโดยทำการบากชิ้นงานก่อนการทดสอบ ทั้งนี้เนื่องจากรอยบากบนชิ้นงานจะเปลี่ยนรูป (Deformation) ของชิ้นงานเกิดขึ้นได้ยาก เพราะการแตกขาดของชิ้นงานจะเกิดที่บริเวณรอยบากเท่านั้น ค่าการทนต่อแรงกระแทก จะรายงานในหน่วยของพลังงานต่อความกว้างของชิ้นงานจุลต่อตารางเมตร ( $J/m^2$ )



รูปที่ 2.9 เครื่องทดสอบความทนต่อแรงกระแทก

- การทดสอบความแข็ง (Hardness) ตามมาตรฐาน ASTM D2240 [17]

วิธีทดสอบความแข็ง ShoreD Sclerocscope วัดความแข็งในเทอมความยืดหยุ่นของวัสดุ ทดสอบโดยปล่อยหัวค้อนปลายเพชร (ขนาด 40 เกรน; 2.5 กรัม; 0.0914 ออนซ์) ตกด้วยน้ำหนักของตัวเองและจากความสูงที่ทราบค่า (10 นิ้ว; 254 มิลลิเมตร) ในท่อแก้ว ความสูงที่กระดอนกลับวัดได้จากสเกลที่ได้แบ่งเป็น 100 ส่วน ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยจากการกระดอนของเหล็กกล้าคาร์บอนแข็งที่สมบูรณ์ ค่าความแข็งขึ้นอยู่กับความสูงที่กระดอนกลับของหัวค้อน วัสดุที่แข็ง ความสูงกระดอนจะมาก ความแข็งก็จะมาก วัสดุที่อ่อน ความสูงกระดอนจะน้อย ความแข็งก็จะน้อย



รูปที่ 2.10 เครื่องทดสอบความแข็ง ShoreD Sclerocscope

## การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

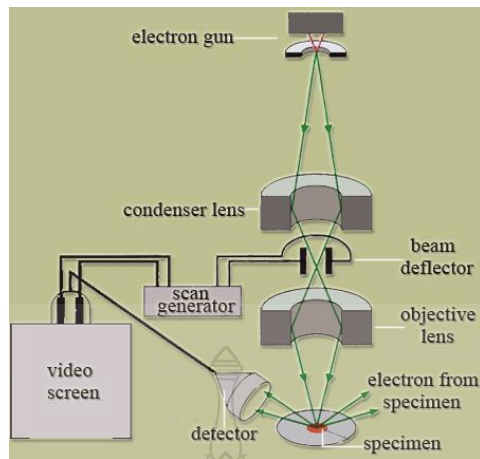
### - Scanning Electron Microscope (SEM) [18]

เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ ดังนั้นเครื่อง SEM จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์ หน้าตัดของโลหะและวัสดุ เป็นต้น



รูปที่ 2.11 เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

หลักการการทำงานของ SEM จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (Condenser Lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ เมื่อต้องการทำให้ภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัส โดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective Lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron) ขึ้น ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และ ถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไป และสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ได้เลย

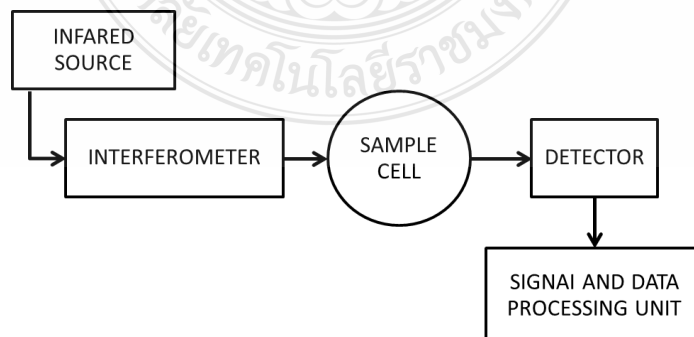


รูปที่ 2.12 ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง SEM [18]

- เครื่องมือวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี Fourier Transform Infrared Spectro photometer, (FTIR) [19]

หลักการของ Fourier Transform Infrared (FTIR) เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการแยกประเภทของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และพันธะเคมีใน โมเลกุล รวมถึงสามารถบอกถึงปริมาณองค์ประกอบที่มีอยู่ในโมเลกุลของสารผสมตัวอย่างที่ไม่ทราบชนิด โดยทำการตรวจวัดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของตัวอย่างที่ความถี่ต่าง ๆ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของแต่ละพันธะ

การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่อุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาสมบูรณ์ อะตอมทุกตัวในโมเลกุลจะมีการสั่นอยู่ตลอดเวลา เมื่อความถี่ของการสั่นมีค่าเท่ากับความถี่ของรังสีอินฟราเรดที่ฉายมายัง โมเลกุล และทำการดูดกลืนรังสี จำนวนแถบการดูดกลืนทั้งหมดที่ได้จะมีค่าไม่เท่ากับการสั่นมูลฐานของโมเลกุลทั้งหมด โดยจะมีค่าลดลง เพราะมีบางแถบพลังงานที่ไม่มีการตอบสนองต่อพลังงานในช่วงรังสีอินฟราเรดส่วนประกอบของเครื่องตรวจวัดระบบ FTIR มีส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน ดังนี้



รูปที่ 2.13 ส่วนประกอบของเครื่องตรวจวัด [19]

แหล่งกำเนิดรังสีของ Infrared Spectrometer คือสารเนื้อเยื่อที่ถูกทำให้ร้อนจนมีอุณหภูมิระหว่าง 1,000 – 1,800 °C ตัวแยกรังสีแบบ Interferometer มีหน้าที่แยกลำรังสีออกทำให้เกิด Path difference ระหว่างลำแสงแล้วทำการรวมสัญญาณการแทรกสอดซึ่งเป็นฟังก์ชันกับ Path difference โดยเครื่องตรวจวัด เครื่องตรวจวัดทำหน้าที่ประมวลผลจากสัญญาณการแทรกสอดที่ส่งผ่านมาจากตัวแยกรังสี

- เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ X-ray diffractometer, (XRD) [14]

เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ เครื่องมือวิเคราะห์วัสดุขั้นพื้นฐาน ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แบบไม่ทำลายตัวอย่าง (non-destructive analysis) เพื่อศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึก การจัดเรียงตัวของอะตอมในโมเลกุลของสารประกอบต่าง ๆ ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนและการกระเจิงของรังสีเอกซ์ และความรู้เกี่ยวกับวิจาาระบบ โครงสร้างผลึก เครื่องมือชนิดนี้มีความสำคัญมากในกระบวนการควบคุมคุณภาพการผลิต ใช้สำหรับตรวจสอบสมบัติของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตตามขั้นตอนต่าง ๆ

หลักการของ XRD อาศัยหลักการเลี้ยวเบนของลำรังสีเอกซ์ เมื่อลำรังสีตกกระทบวัตถุหรืออนุภาคจะเกิดการหักเหของลำรังสีที่สะท้อนทำมุมกับระนาบของอนุภาคเท่ากับมุมของลำรังสีตกกระทบ



รูปที่ 2.14 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์



- ทดสอบการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter; DSC) [25]

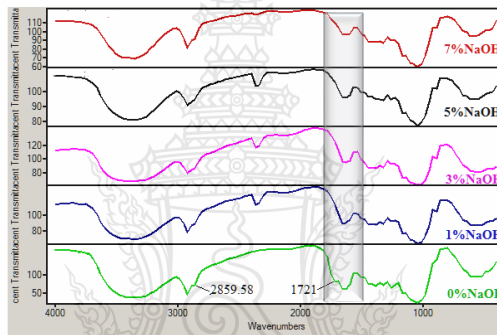
หลักการทดสอบด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ เป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางความร้อน ของวัสดุที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงพลังงานดูดหรือคายพลังงานความร้อน เมื่อถูกเพิ่มหรือลดอุณหภูมิภายใต้บรรยากาศที่ถูกควบคุม หลักการพื้นฐานของ DSC คือ นำถาดสองถาดมาบรรจุวัสดุตัวอย่าง และ ถาดอ้างอิงซึ่งเป็นถาดว่างเปล่าวางอยู่ข้างๆกันบนอุปกรณ์ให้ความร้อนในเครื่องทดสอบ เมื่อเครื่องทดสอบเริ่มทำงานอุปกรณ์ให้ความร้อน จะให้ความร้อนแก่ถาดทั้งสอง โดยเครื่อง DSC จะควบคุม อัตราการเพิ่มอุณหภูมิให้คงที่เช่น 10 องศาเซลเซียสต่อ 1 นาที โดยจะควบคุมอุณหภูมิที่ให้แก่ถาดทั้งสองที่วางแยกกัน ด้วยอัตราการเพิ่มความร้อนที่เท่ากันตลอดทั้งการทดลอง



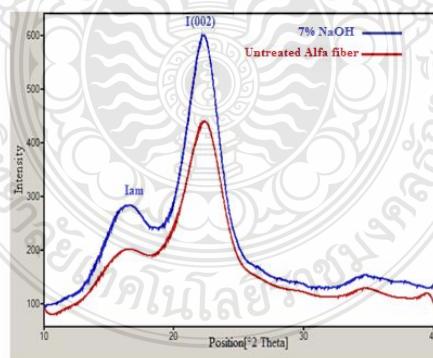
รูปที่ 2.15 เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์

## 2.2 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

A.Benyahia และคณะ ปี 2013 [5] ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวัสดุเชิงประกอบเรซินที่ทำการเสริมแรงด้วยเส้นใยอัลฟา โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยอัลฟาด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ในความเข้มข้นต่างๆ (1, 3, 5 และ 7 %w/w) เวลาที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเมื่อทำการวิเคราะห์ด้วย FT-IR spectrum และ XRD ผลที่ได้จากการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยอัลฟาที่ 7% จากกราฟ FT-IR spectrum จะเห็นว่าค่าของลิกนินในเส้นใยอัลฟามีค่าลดลงมากที่สุดและกราฟ XRD เมื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยแล้วค่าเชลูลอสที่ 7% มากขึ้นซึ่งส่งผลให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น

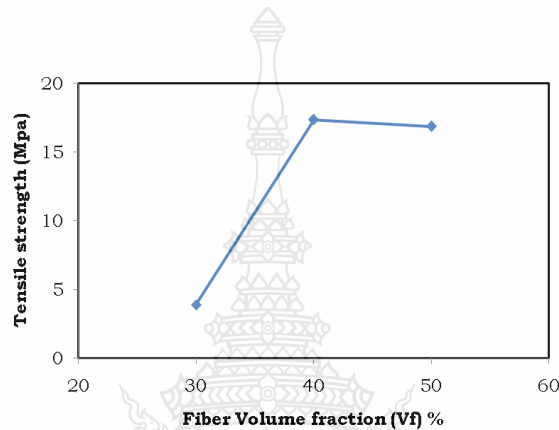


รูปที่ 2.16 FT-IR spectrum ก่อนการปรับปรุงผิวและหลังจากปรับปรุงผิวของเส้นใยอัลฟา [5]



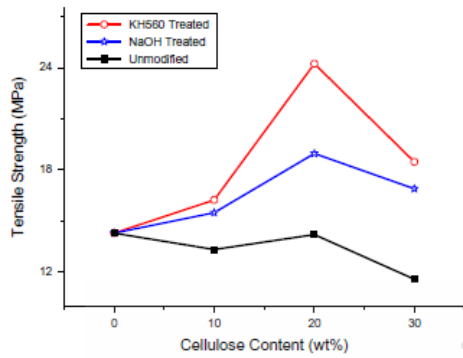
รูปที่ 2.17 กราฟ XRD ก่อนการปรับปรุงผิวและหลังจากปรับปรุงผิวของเส้นใยอัลฟา [5]

T.Balarami Reddy ปี 2013 [11] ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยเส้นใยมะพร้าวสีเขียว โดยปริมาณเส้นใยที่ทำการเติมในอัตราส่วน 30, 40, และ 50% จากกราฟจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าในอัตราส่วนที่เติมเส้นใยมะพร้าวสีเขียว 40% มีการเพิ่มขึ้นของความต้านทานแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบแล้วหลังจากนั้นเกิดการลดลงเล็กน้อย แต่เมื่อทำการเติมเส้นใยมะพร้าวสีเขียวในปริมาณที่มากขึ้นความต้านทานแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบมีการลดลง

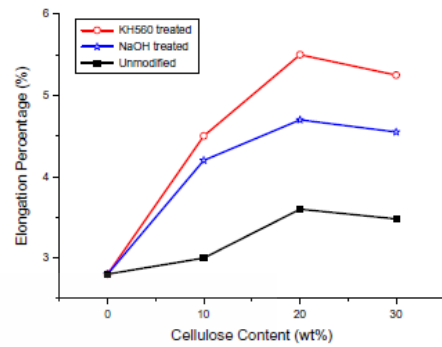


รูปที่ 2.18 กราฟแสดงความต้านทานแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การเติมเส้นใยมะพร้าวสีเขียว [11]

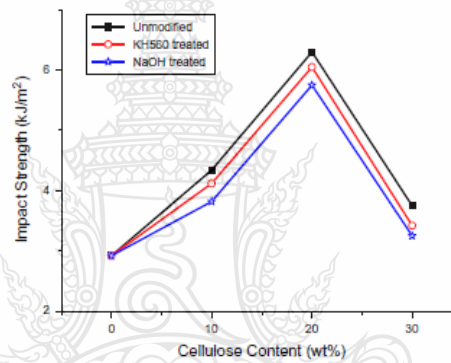
Tingju Lu และคณะ ปี 2013 [13] ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลระหว่างเส้นใยกับ PLLA โดยเส้นใยไผ่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลายระหว่าง NaOH กับ ไซเลน ผลจากการทดลองเมื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวด้วย NaOH และจึงนำเส้นใยไผ่ไปผสมกับเนื้อเมทริกซ์ที่ปริมาณ 10, 20 และ 30 %wt ค่าความแข็งและค่ายังมอดูลัสเพิ่มขึ้น 28.6% และ 34.6% ตามลำดับ ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของเส้นใยไผ่ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยไซเลนมีค่าสูงกว่าตัวที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย NaOH คือ 115% และ 62% แต่เมื่อทำการเติมเส้นใยไผ่ลงไปแล้วค่าการทนต่อแรงกระแทงจะที่ 30% มีค่าลดลง วัสดุทั้งสามตัวที่มีการเติมเส้นใยไผ่ลงไปนั้นตัวที่มีค่าสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดคือ 20% ของทุกชนิด



(ก)



(ข)



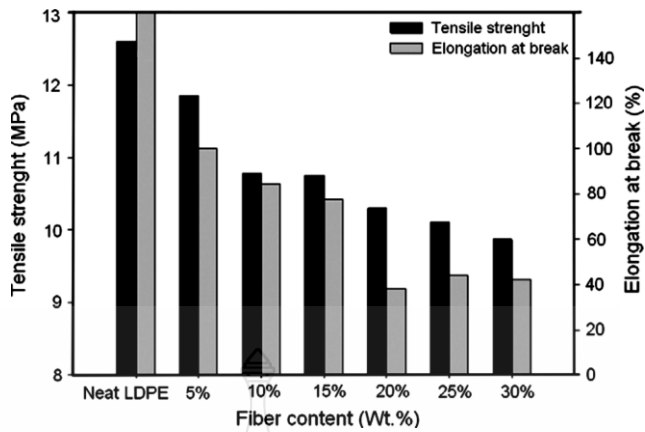
(ค)

รูปที่ 2.19 (ก) กราฟแสดงระหว่างค่าTensile strengthของ BCF/Eกับปริมาณการเติมเส้นใยไฟ [13]

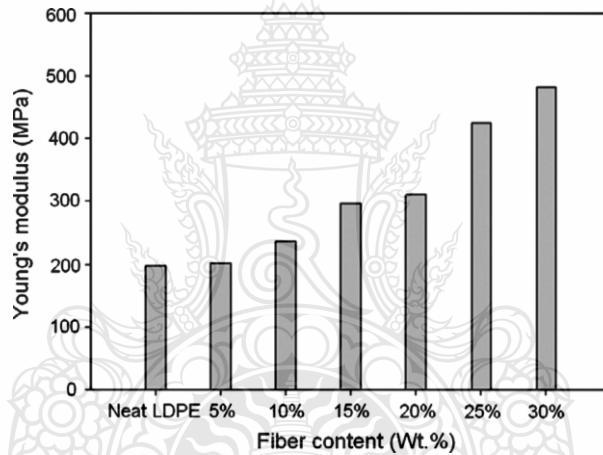
(ข) กราฟแสดงระหว่างค่ายังโมดูลัสกับปริมาณการเติมเส้นใยไฟ

(ค) กราฟแสดงระหว่างค่าการทนต่อแรงกระแทกกับกับปริมาณการเติมเส้นใยไฟ

F.Z. Arrakhiza และคณะ ปี 2012 [22] ได้ทำการศึกษาการเข้ากันของเส้นใยปาล์มกับ LDPE และในงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยปาล์มด้วยอัลคาไล เมื่อเส้นใยปาล์มที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวแล้วจึงนำมาผสมกับ LDPE ผลที่ได้ คือ สมบัติเชิงกลของวัสดุมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อทำการเพิ่มเส้นใยลงไปค่าการทนต่อแรงดึงและค่า Elongation at break ลดลง ในส่วนของค่ายังโมดูลัสมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อเทียบกับตัว LDPE ที่ไม่ได้มีการเติมเส้นใยลงไป

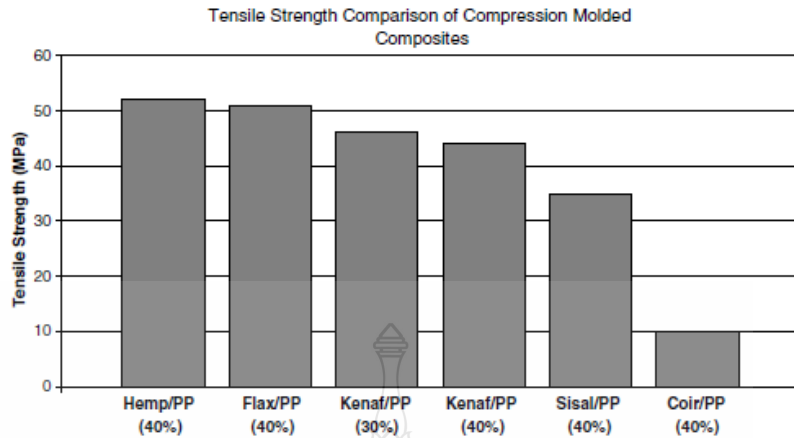


รูปที่ 2.20 ผลการทดสอบค่า Tensile strength และ elongation at break ที่เปรียบเทียบกับปริมาณเส้นใยปาล์ม/LDPE [22]

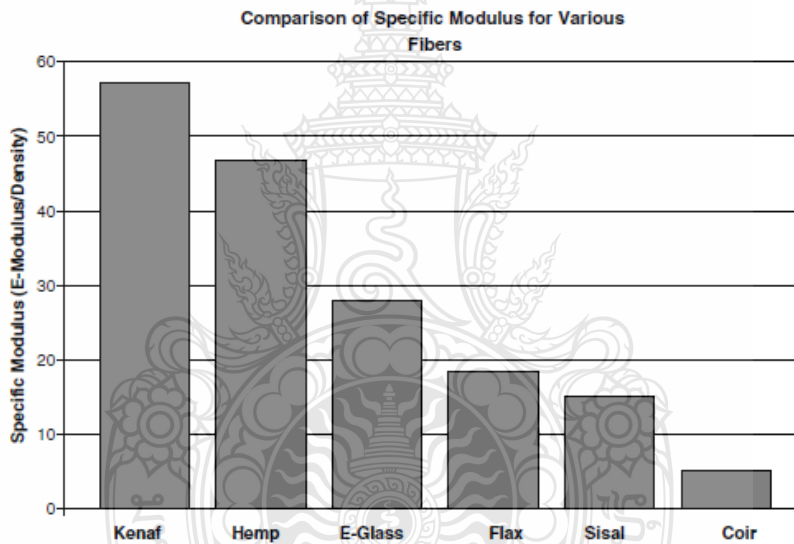


รูปที่ 2.21 ค่า Young's modulus ของ LDPE และเส้นใยปาล์ม/LDPE 0–30 wt% [22]

M. Zampaloni b และคณะ ปี 2007 [23] ได้ทำการศึกษาการเสริมแรงโพลิโพรพิลีนด้วยเส้นใยต่างๆเมื่อทำเทียบค่าการทนต่อแรงดึงเส้นใยปอแก้ว/PP 30% และ 40% กับ เส้นใยป่าน/PP เส้นใยลินิน/PP และ เส้นใยมะพร้าว/PP 40% จะเห็นว่าเส้นใยปอแก้ว/PP 30% มีความการทนต่อแรงดึงต่างจากเส้นใยป่าน/PP 40% และเส้นใยลินิน/PP 40% ไม่มากนัก แต่เส้นใยปอแก้ว/PP 30%มีค่าการทนต่อแรงดึงสูงกว่าเส้นใยมะพร้าว/PP 40% อย่างเห็นได้ชัด และค่ายังโมดูลัสของการเติมเส้นใยปอแก้วลงในPPยังมีค่าสูงที่สุดเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเส้นใยชนิดอื่นๆ



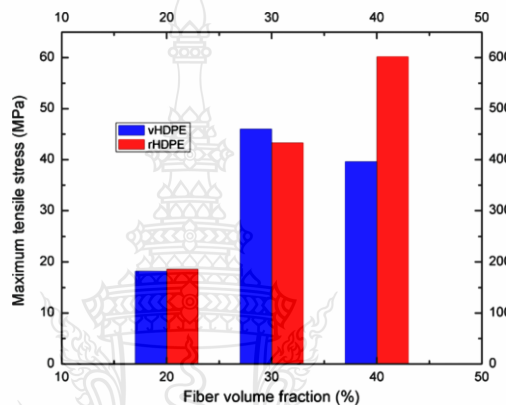
รูปที่ 2.22 ค่า tensile strength ของวัสดุเชิงประกอบเส้นใยโปแก้ว/PP-MAPP กับวัสดุที่ผสมเส้นใยชนิดต่างๆ[23]



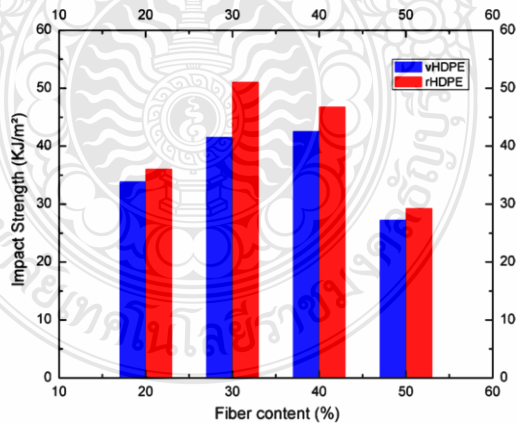
รูปที่ 2.23 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่ายังโมดูลัสระหว่างเส้นใยชนิดต่างๆ [23]

Na Lu และคณะ ปี 2012 [24] ในงานวิจัยนี้ศึกษาเรื่องการเติมเส้นใยโปเพื่อเป็นสารเสริมแรงให้กับ Recycled high density polyethylene (rHDPE) และ virgin high density polyethylene (vHDPE) และศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุและยังการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโปด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 5 %wt หลังจากทำการปรับปรุงพื้นผิวแล้วที่ผิวของเส้นใยโปแล้วจึงนำมาผสมกับเนื้อเมทริกซ์ (20, 30, 40 %w/w) และผลของการทนต่อแรงดึงระหว่าง rHDPE และ vHDPE เมื่อเติมเส้นใยโปลงไปเนื้อเมทริกซ์แล้วพบว่า rHDPE มีค่าการทนต่อแรงดึงสูงขึ้นมากตามลำดับ และค่าการทนต่อแรงกระแทกจากกราฟจะเห็นว่า rHDPE/30% มีค่าการทนต่อแรงกระแทกสูงมากที่สุดเมื่อเทียบกับ

rHDPE/20% rHDPE/40% และยังทนแรงกระแทกได้มากกว่า vHDPE ทั้งหมด จากการศึกษาสมบัติเชิงกลในงานวิจัยนี้ rHDPE/30% เมื่อเติมเส้นใยปอกลงใน rHDPE และ vHDPE แล้วจะเห็นได้ว่าสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบมีสมบัติเชิงกลดีขึ้นกว่าตัวที่ไม่ได้ทำการเติมเส้นใยและยังสามารถนำมาใช้ทดแทน rHDPE และ vHDPE ที่ไม่ได้เติมเส้นใยได้ rHDPE ที่มีค่าสมบัติเชิงกลดีขึ้นกว่า vHDPE เพราะว่าในกระบวนการรีไซเคิล HDPE มีการเติมสารเคมีเข้าไปในกระบวนการรีไซเคิลทำให้ rHDPE มีค่าความหนาแน่นมากกว่าตัว vHDPE จึงทำให้เมื่อทำการผสมกับเส้นใยจึงทำค่าสมบัติเชิงกลดีขึ้นกว่า vHDPE

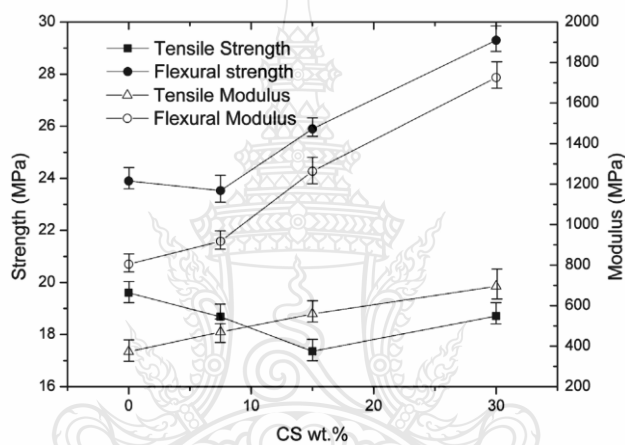


รูปที่ 2.24 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าTensile stress ของ hemp-vHDPE และ hemp-rHDPE กับปริมาณการเติมเส้นใยปอ [24]



รูปที่ 2.25 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าImpact strength ของ hemp-vHDPE และ hemp-rHDPE กับปริมาณการเติมเส้นใยปอ [24]

A. Jorda-Vilaplana และคณะ ปี 2017 [26] ในงานวิจัยนี้ศึกษาวัสดุเชิงประกอบพลาสติกชีวภาพที่ทำขึ้นจากโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงชีวภาพ (จากอ้อย) และผสมเส้นใย Cortaderia selloana (CS) ผลของสมบัติทางความร้อนของ (DSC) และสมบัติเชิงกล สมบัติการทนต่อแรงดึง โดยปริมาณการเติมเส้นใย Cortaderia selloana จะเติมเส้นใยที่ 15 – 30 %w/w ผลของสมบัติเชิงกลจากรูปที่ 2.26 พบว่าเมื่อทำการเติมเส้นใย Cortaderia selloana ลงใน HDPE พบว่าเมื่อเติมเส้นใย Cortaderia selloana ไปในปริมาณที่มากขึ้นค่าการทนต่อแรงดึงและค่าการทนต่อแรงดึง โมดูลัสมีค่าสูงขึ้นกว่าตัวที่ไม่ได้มีการเติมเส้นใย Cortaderia selloana จากรูปจะเห็นว่าการยึดตัวที่มากขึ้นความแข็งมากขึ้น ดังนั้นการเติมเส้นใย Cortaderia selloana จึงเป็นตัวเสริมแรงให้กับ HDPE

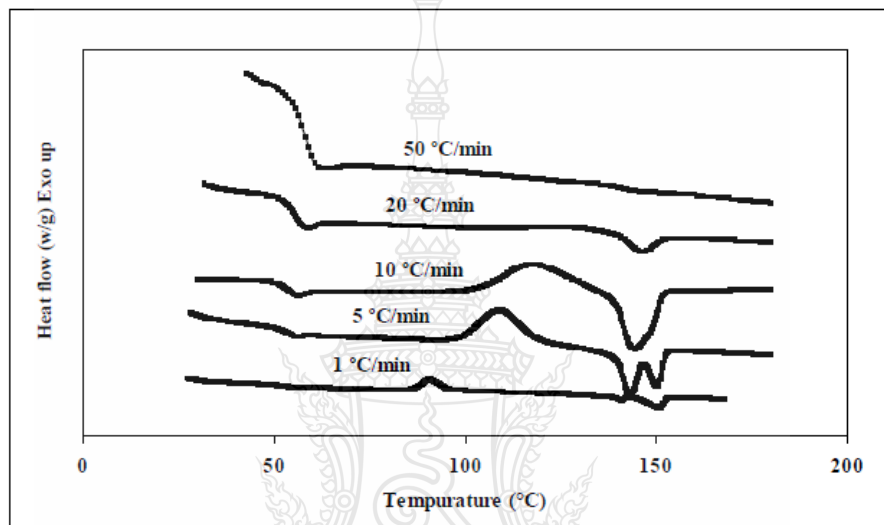


รูปที่ 2.26 สมบัติเชิงกลของวัสดุชีวภาพ HDPE/CS กับปริมาณการเติมเส้นใย Cortaderia selloana %w/w [26]

ยุพาพร รักสกุลวัฒน์ และคณะ ปี 2015 [27] งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหน้าที่ของเส้นใยหญ้าแฝกที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการเกิดผลึกของวัสดุเชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิด การตรวจสอบสมบัติทางความร้อนของพอลิแลคติกแอซิด ทำโดยใช้เทคนิค Differential Scanning Calorimeter (DSC) ได้มีการศึกษาเปรียบเทียบผลของ การเกิดนิวคลีไอของเส้นใยหญ้าแฝกและทัลก์ต่อการเกิดผลึกของวัสดุเชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิด พบว่าผลที่ได้จากรูปที่ 2.27 อนุภาครเกิดผลึกของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและเส้นใยหญ้าแฝกและวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและทัลก์ เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับพอลิแลคติกแอซิดที่ไม่มีการเติมสารตัวเติมใดๆลงไป เมื่อปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกเพิ่มขึ้นจาก 1% ถึง 10% อนุภาครเกิดผลึกเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับพอลิแลคติกแอซิด เมื่อปริมาณเส้นใยหญ้าแฝกเพิ่มขึ้นถึง 20% อนุภาครเกิดผลึกลดลงเมื่อเทียบกับคอมโพสิต ระหว่างพอลิ



แลคติกแอซิดและเส้นใยหญ้าแฝกที่ปริมาณ 1% ถึง 10% อธิบายได้ว่าเนื่องจาก สัดส่วนโดยปริมาตร (volume fraction) ของเส้นใยหญ้าแฝกต่อพอลิแลคติกแอซิดสูง ทำให้พบการเกิดผลึกที่บริเวณผิวของเส้นใยหรือเรียกว่าการเกิดผลึกแบบทรานคริสตัลไลเซชันเท่านั้น ผลึกที่เกิดในบัลค์เกิดขึ้นได้ยากเนื่องจากเส้นใยหญ้าแฝกอยู่ชิดกัน ทำให้ไม่มีพื้นที่ในการเกิดผลึกในส่วนที่เป็นเนื้อเมทริกซ์ สำหรับคอมโพสิทระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและทล็ก ่องศาการเกิดผลึกที่ปริมาณทล็ก 20% ลดลงเมื่อเทียบกับปริมาณทล็ก 1% ซึ่งอธิบายได้เช่นเดียวกับกรณีของเส้นใยหญ้าแฝก



รูปที่ 2.27 กราฟ DSC ของพอลิแลคติกแอซิดและเส้นใยหญ้าแฝก ที่ปริมาณหญ้าแฝก 20% บันทึกระหว่างการให้ความร้อนด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกัน [27]

## บทที่ 3

### ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

#### 3.1 วัสดุอุปกรณ์ สารเคมีและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

##### 3.1.1 สารเคมีและวัสดุอุปกรณ์

3.1.1.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) บริษัท Ajax Finechem เกรด AR

3.1.1.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) จาก InnoPlus

เกรด HD5200B

3.1.1.3 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) บริษัท InnoPlus

เกรด M3204RU

3.1.1.4 พอลิโพรพิลีน (PP) บริษัท Nature work เกรด 1102H

3.1.1.5 พอลิแลคติกแอซิด (PLA) บริษัท Nature work เกรด 3052

3.1.1.6 ฟิล์ม บริษัท memmert

##### 3.1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน

3.1.2.1 เครื่องบดสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) บริษัท LAB TECH

ENGINEERING CO., LTD

3.1.2.2 การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบกดอัด (Compression Molding)

บริษัท LAB TECH ENGINEERING CO., LTD

##### 3.1.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

3.1.3.1 เครื่องทดสอบค่าการทนต่อแรงดึง บริษัท อินโทรเอ็นเตอร์พรี จำกัด

3.1.3.2 เครื่องทดสอบความแข็งแบบ (Shore Hardness) ยี่ห้อ

PTC®INSTRUMENTS

3.1.3.3 การทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (Izod Impact) ยี่ห้อ CEAST

3.1.3.4 เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) รุ่น JSM 6610LV

บริษัท JEOL

### 3.1.3.5 เครื่อง Fourier Transform Infrared FT-IR Spectroscopy

## 3.2 ขั้นตอนในการทดลอง

### 3.2.1 ขั้นตอนในการเตรียมหญ้าเพ็ก

ในขั้นตอนแรกจะทำการริดใบเพ็อกจากกิ่ง จากนั้นทำความสะอาดโดยการแช่สารละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0, 1, 3, 5, 7 %w/w ที่เวลา 2, 4, 6, 8, 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการล้างเส้นใยเพ็กลงจนมีค่า pH เป็น 7 ด้วยเครื่องวัดค่า pH แล้วนำเข้าตู้อบเพื่อทำการไล่ความชื้นออกจากเส้นใยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตามงานวิจัยของ A.Benyahia [5] เมื่ออบเสร็จแล้วจึงนำเส้นใยที่ได้จากการอบไปบดและร่อนเพื่อแยกขนาดเพื่อนำไปทดสอบด้วยเครื่อง FT-IR spectroscopy เพื่อตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันเคมีแล้วทำการเลือกอัตราส่วนในการปรับปรุงผิวเส้นใยเพ็กที่ดีที่สุด



(ก) ต้นเพ็ก

(ข) เส้นใยเพ็ก

รูปที่ 3.1 เพ็ก (ก) ต้นเพ็ก (ข) เส้นใยเพ็ก

### 3.2.2 ขั้นตอนการผสมและขึ้นรูป

ขั้นตอนนี้จะทำการเตรียมเม็ดพลาสติกผสมระหว่างเส้นใยเพ็กที่ได้เตรียมไว้ นำเม็ดพลาสติกผสมกับเส้นใยเพ็กตามปริมาณดังนี้ คือ 0, 10, 20, 30 และ 50 %w/w ทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) ในการผสมระหว่าง HDPE/VP ใช้อุณหภูมิในการผสมอยู่ที่ 160 องศาเซลเซียส ในส่วนของการผสมระหว่าง PLA/VP จะใช้อุณหภูมิในการผสมอยู่ที่ 130 องศาเซลเซียส, LLDPE/VP ใช้อุณหภูมิในการผสมอยู่ที่ 130 องศาเซลเซียส และ PP/VP ใช้อุณหภูมิในการผสมอยู่ที่ 160 องศาเซลเซียส หลังจากทีผสมจนเข้ากันแล้ว นำไปขึ้นเป็นแผ่นโดยเครื่องอัดเข้าแบบไฮดรอลิก (Compression Molding) ที่ความดัน 250 MPa อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที

แล้วทำการลดอุณหภูมิของชิ้นด้วยการหล่อเย็น หลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ไปทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

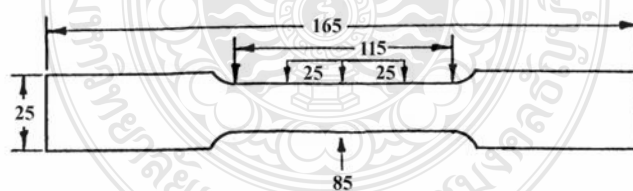
### 3.3 วิธีการศึกษาสมบัติของแผ่นอัดแข็งประกอบ

#### 3.3.1 ทดสอบสมบัติการทนแรงดึง (Tensile Strength)

ในการทดสอบนี้เป็นการหาค่าการทนต่อแรงดึงของชิ้นงานเพื่อทำการทดสอบหาความสามารถในการทนแรงดึงของพลาสติกด้วยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D638 ในการทดสอบนี้จะบอกถึงค่าการทนต่อแรงดึงของชิ้นงาน ในการทดสอบชิ้นงานที่ใช้ในจะต้องมีขนาดของชิ้นงานตามรูปที่ 3.2



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.2 (ก) เครื่องทดสอบสมบัติการทนแรงดึง (Tensile Strength)

(ข) ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการทนแรงดึง (หน่วย มิลลิเมตร)

### 3.3.2 ทดสอบความแข็ง (Hardness)

ทดสอบความสามารถของแผ่นอัดที่ทำการผสมกับเส้นใยเพ็ก ด้วยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2240 Shore D ชิ้นงานที่นำมาทดสอบจะต้องมีความหนา 6 mm. และผิวเรียบวิธีทดสอบกดหัวเข็มลงบนชิ้นงานจนหัวเข็มถึงจุดหยุดทำการจับเวลาประมาณ 10 วินาที แล้วอ่านค่าจากหน้าปัดจะไม่มีหน่วยสำหรับหัวกดแบบ Shore D จะใช้กับวัสดุที่ค่อนข้างแข็ง



รูปที่ 3.3 Durometer สอบความแข็ง

### 3.2.3 การทดสอบการทนต่อแรงกระแทกตามมาตรฐาน ASTM D 256

ทดสอบความสามารถของแผ่นอัดที่ทำการผสมกับเส้นใยเพ็ก ด้วยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2240 Shore D ชิ้นงานที่นำมาทดสอบจะต้องมีความหนา 6 มิลลิเมตร และผิวเรียบวิธีทดสอบกดหัวเข็มลงบนชิ้นงานจนหัวเข็มถึงจุดหยุดทำการจับเวลาประมาณ 10 วินาที แล้วอ่านค่าจากหน้าปัดจะไม่มีหน่วยสำหรับหัวกดแบบ Shore D จะใช้กับวัสดุที่ค่อนข้างแข็ง



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.4 (ก) เครื่องบากชิ้นงาน (ข) เครื่องทดสอบแรงกระแทกแบบ Izod

ค่าความแข็งแรงกระแทกสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Impact strength} = W/A \quad (3.1)$$

เมื่อ W คือ ค่าพลังงานกระแทก (kJ)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง ( $\text{m}^2$ )

### 3.3.4 ทดสอบสมบัติทางกายภาพ (Scanning Electron Microscopy, SEM)

ทดสอบสัณฐานวิทยา ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อดูพื้นผิวของแผ่นอัดที่ทำ การผสมกับเส้นใยพืช โดยดูลักษณะการแตกหักของของวัสดุซึ่งรอยแตกอาจจะเป็นตัวบ่งชี้ว่า ชิ้นงานของเรามีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นหรือไม่ และยังสามารถบอกได้ว่าชิ้นงานของเรามีลักษณะเหนียว หรือเปราะ



รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบสมบัติทางกายภาพ Scanning Electron Microscopy, (SEM)

### 3.3.5 ทดสอบหมู่ฟังก์ชันเคมี Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR Spectrophotometer)

ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันเคมีด้วยเครื่อง FTIR ทดสอบเส้นใยพืชที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวและเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิว ในช่วงความยาวคลื่น (wave number) โดยทำการวิเคราะห์ในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง  $4,000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$



รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันเคมี Fourier Transform Infrared Spectrophotometer

### 3.3.6 ทดสอบเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ X-ray diffractometer, (XRD)

การทดสอบด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาวิเคราะห์เกี่ยวกับการเกิดผลึกของวัสดุผสมโดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนและการกระเจิงของรังสีเอกซ์ โดยใช้ผงของเส้นใยเพ็กที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวและที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวมาใส่บนแผ่น สไลด์จากนั้นทำการนำเข้าเครื่อง และทำการกำหนดองศา 10 ถึง 40 องศา



รูปที่ 3.7 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ X-ray diffractometer, (XRD)

### 3.3.7 ทดสอบการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter; DSC) [25]

การทดสอบด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ ทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบให้มีน้ำหนักใกล้เคียง 5 มิลลิกรัมมากที่สุดและทำการใส่ตัวอย่างลงในที่บรรจุสาร

(Pan) จากนั้นทำการปิด Pan ให้แน่นเพื่อไม่ให้อากาศเข้าไปและทำการทดสอบ โดยอัตราการเพิ่มความร้อนจะค่อยๆเพิ่มทีละ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เริ่มต้นที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ถึง 200 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.8 เครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (differential scanning calorimeter; DSC)

การเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานของวัสดุเหล่านี้สามารถนำมาคำนวณเพื่อวิเคราะห์ปริมาณการเกิดผลึกของวัสดุได้แสดงดังสมการที่ (3)

$$\%Crystallinity = \frac{\Delta H_m - \Delta H_c}{\Delta H_m^\circ} \times 100\% \quad (3.2)$$

เมื่อ  $\Delta H_m$  คือ ค่าพลังงานที่ใช้ในการหลอมเหลววัสดุ ( $T_m$ ) (J/g)

$\Delta H_c$  คือ ค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดผลึกของวัสดุ ( $T_c$ ) (J/g)

$\Delta H_m^\circ$  คือ ค่าพลังงานเริ่มต้นที่ใช้ในการหลอมเหลววัสดุที่มีปริมาณผลึก 100% (J/g)

หมายเหตุ ค่า  $\Delta H_m$  และ ค่า  $\Delta H_c$  สามารถคำนวณได้จากพื้นที่ใต้กราฟของผลที่ได้จากเครื่องทดสอบ



ตารางที่ 3.1 ตารางการดำเนินงาน

การดำเนินงานวิจัย	ระยะเวลา (เดือนเมษายน 58-เดือนเมษายน 60)											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
1.การเตรียมวัสดุ / สารเคมี / อุปกรณ์ ที่ใช้ในงานวิจัยและค้นคว้างานวิจัยที่ เกี่ยวข้อง												
2.วางแผนขั้นตอนการดำเนินงาน												
3.เตรียมวัสดุคอมพิวเตอร์ด้วยเครื่อง ผสมสองลูกกลิ้ง												
4.เตรียมชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่อง ผสมสองลูกกลิ้งเพื่อขึ้นรูป, ทำการ ทดสอบวัสดุคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีต่างๆ												
5.วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการวิจัย												
6.รายงานความก้าวหน้า												
7.เสนอผลงานวิชาการ												
8. สรุปผลและเขียนรายงาน ผลการวิจัย												

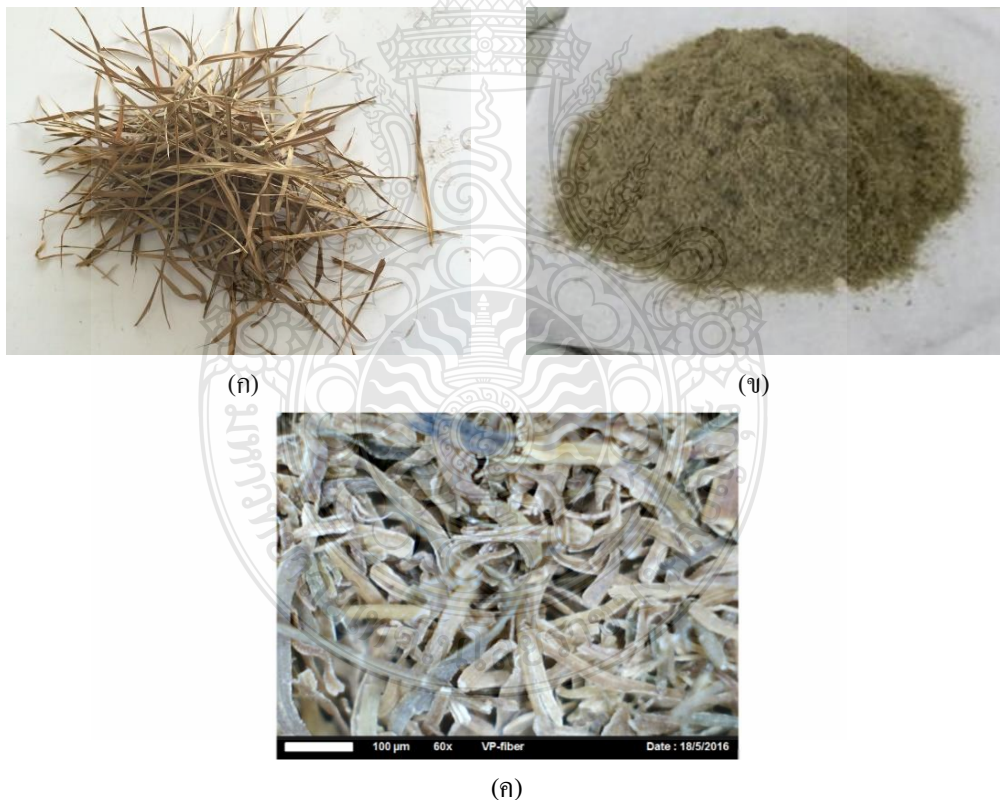
Act Plan

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์

จากการศึกษาจากการทดสอบสมบัติทางกลประกอบไปด้วย การทดสอบหญาเพ็กที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุงผิวและที่ผ่านการปรับปรุงผิว การทดสอบแรงดึง การทดสอบความทนต่อแรงกระแทก การทดสอบความแข็ง และสันฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบด้วยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่ขึ้นรูปได้สำหรับใช้เป็นวัสดุเชิงประกอบที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ได้ผลการทดลองดังนี้

#### 4.1 การเตรียมและทดสอบเส้นใยเพ็กที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีอัลคาไลน์

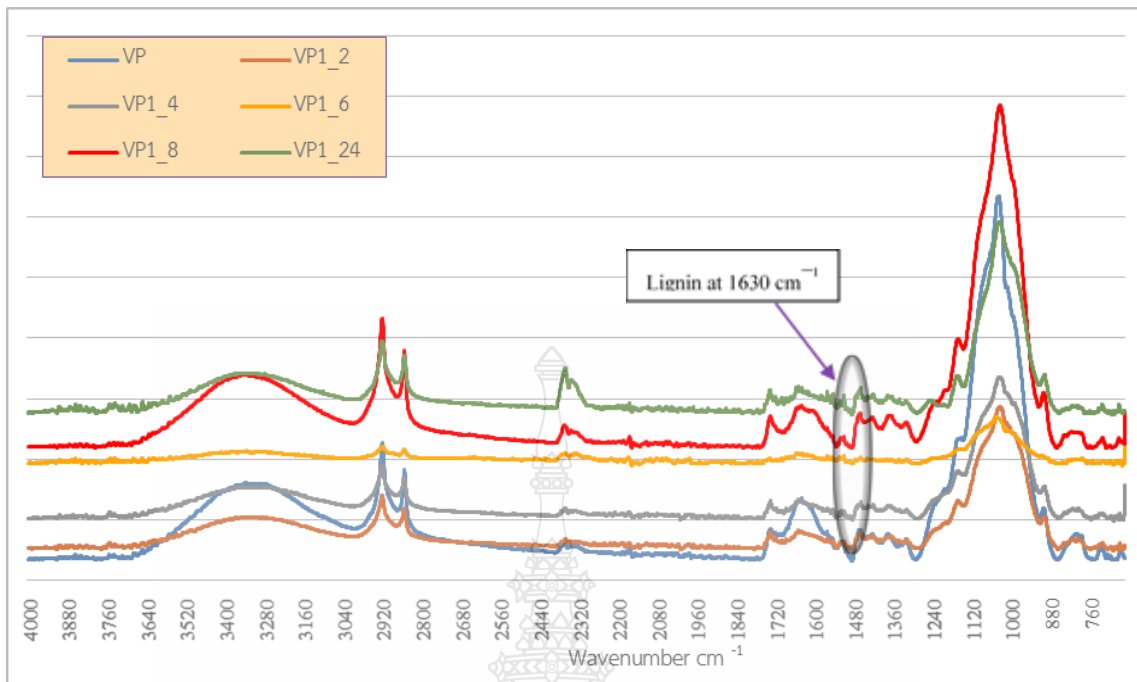


รูปที่ 4.1 ลักษณะกายภาพของเส้นใยเพ็ก (ก)ไม่ผ่านการปรับปรุงผิว (ข) ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยวิธีอัลคาไลน์ (ค) ผ่านการปรับปรุงผิวด้วยวิธีอัลคาไลน์ (60x)

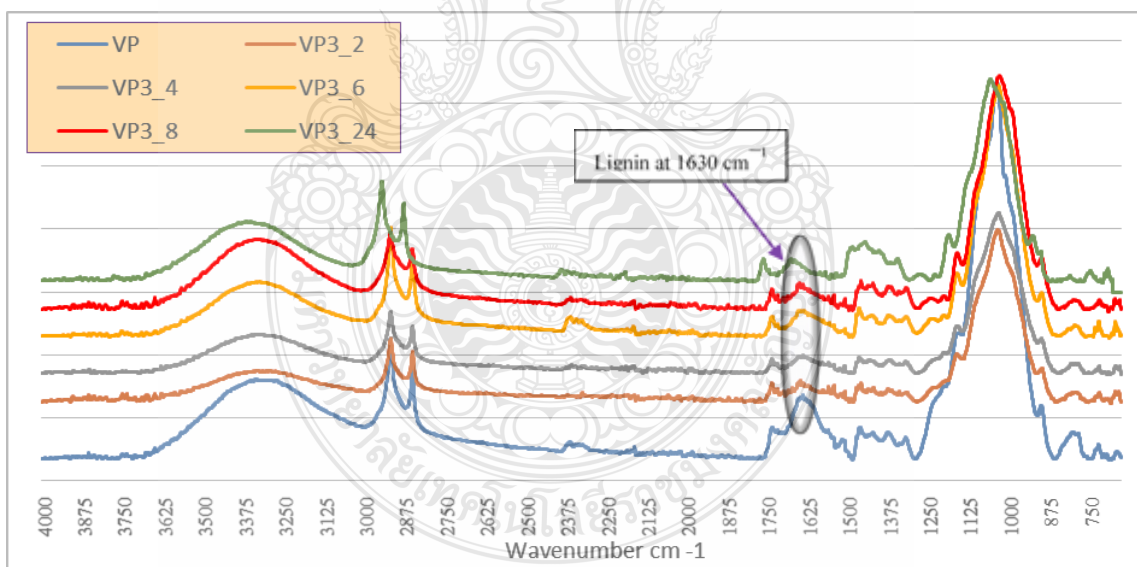
ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยเพ็กนำหน้าเพ็กที่ได้มาทำการปั่นด้วยเครื่องปั่นอเนกประสงค์และจากนั้นทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยเพ็กด้วย โดยการแช่สารละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อต้องการเอาลิกนินที่อยู่ในเส้นใยเพ็กออกที่ความเข้มข้น 0, 1, 3, 5, 7 %w/w ที่เวลา 2, 4, 6, 8, 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการล้างเส้นใยเพ็กจนมีค่า pH เป็น 7 แล้วนำเข้าสู่อบเพื่อทำการไล่ความชื้นออกจากเส้นใยที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่ออบเสร็จแล้วจึงนำเส้นใยที่ได้จากการอบไปบดและร่อนเพื่อแยกขนาดและทำการวัดขนาดเส้นใยเพ็กโดยใช้โปรแกรม ImageJ ขนาดของเส้นใยเพ็กที่ได้ได้ประมาณ 150  $\mu\text{m} \pm 26.45$  ดังภาพ 4.1 (ก) จากนั้นนำไปทดสอบด้วยเครื่อง FT-IR Spectrophotometer เพื่อตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันเคมีแล้วทำการเลือกอัตราส่วนในการปรับปรุงผิวเส้นใยเพ็กที่ดีที่สุด

#### 4.1.1 ผลการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี

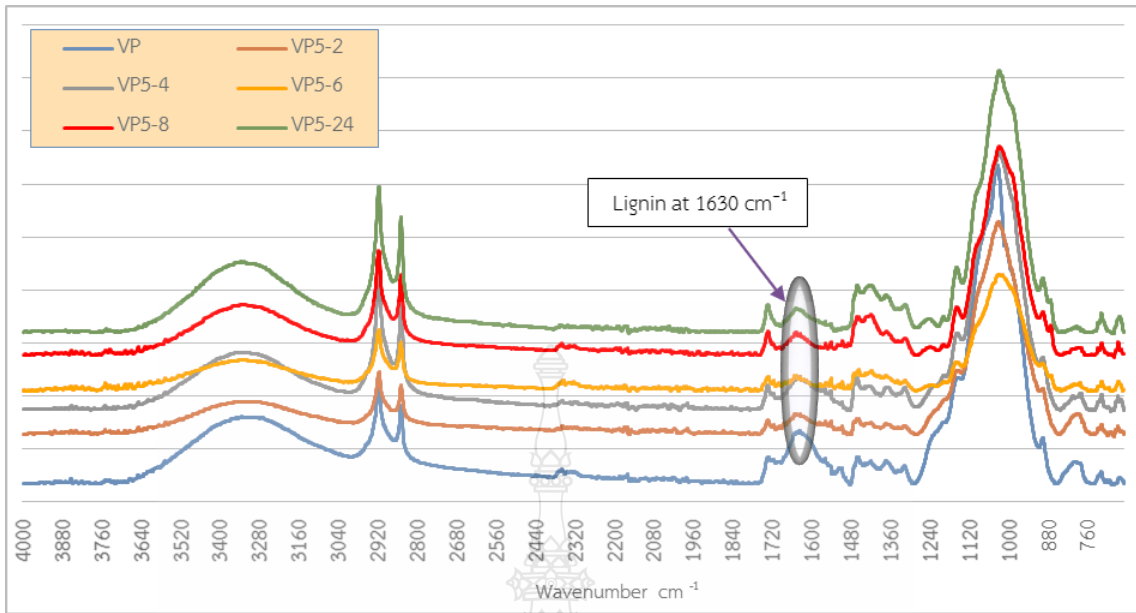
จากผลการทดสอบด้วยเทคนิค FT-IR Spectrophotometer จะได้สเปกตรัมดังภาพ 4.2, 4.3, 4.4 และ 4.5 เป็นเส้นใยเพ็กที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงผิว จะมีลิกนินอยู่ที่ตำแหน่งคลื่น  $1630 \text{ cm}^{-1}$  และเมื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยเพ็กด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 7 %w/w ที่เวลา 2, 4, 6, 8, 24 ชั่วโมง พบว่าพีคของลิกนินความเข้มลดลงทุกความเข้มข้น ลดลงเมื่อเพิ่มเวลา และเมื่อเปรียบเทียบผลของความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อปริมาณลิกนิน พบว่ามีความเข้มข้น 7% w/w นั้นสามารถทำลายลิกนินลงไปได้มากที่สุดซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ A. BENYAHIA และคณะ [5] ที่สามารถกำจัดลิกนินได้ด้วยการแช่สารละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 7 %w/w จะพบว่าพีคของลิกนินลดลง จากผลการทดสอบข้างต้นได้เลือกสถานะความเข้มข้นของสารละลายที่ 7 %w/w เป็นเวลา 8 ชั่วโมงเหตุผลเพราะเมื่อเวลามากขึ้นค่าลิกนินมีการลดลงเริ่มคงที่ เพื่อเป็นการประหยัดเวลาเราจึงเลือกใช้สถานะความเข้มข้นของสารละลายที่ 7 %w/w เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เป็นสถานะที่ใช้ในการเตรียมเส้นใยเพ็กและยืนยันผลของการเพิ่มขึ้นของเซลลูโลส เส้นใยที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวถูกนำไปตรวจด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ (XRD) จากผลการทดลองด้วยเทคนิค XRD เพื่อเป็นการยืนยันผลของค่า FT-IR Spectrophotometer ที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงผิวและที่มีการปรับปรุงผิวของเส้นใย ที่ 7 %w/w เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จะเห็นได้ชัดว่าค่าเซลลูโลสที่พีค  $2\theta$  ที่ 24 [3] มีพีคสูงขึ้นเมื่อเทียบกับเส้นใยเพ็กที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงผิวโดยเส้นใยที่ได้รับการปรับปรุงผิวมีความเข้มข้นสูงกว่าซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ A. BENYAHIA [5]



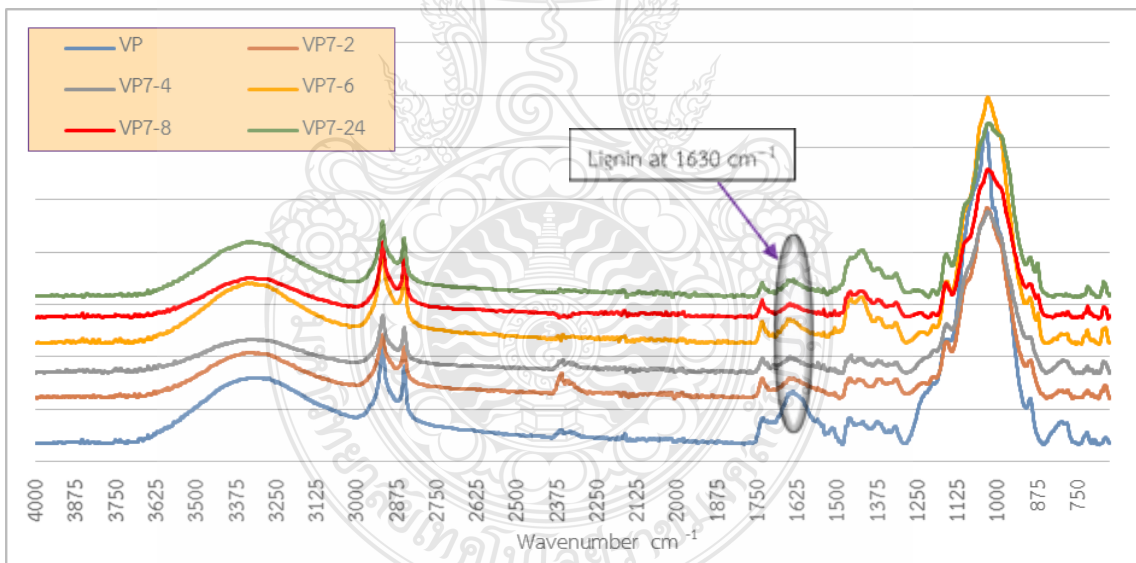
รูปที่ 4.2 สเปกตรัมของเส้นใยเพ็คที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุงผิวและเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิวที่ 1% w/w ที่เวลา 2, 4, 6, 8 และ 24 ชั่วโมง



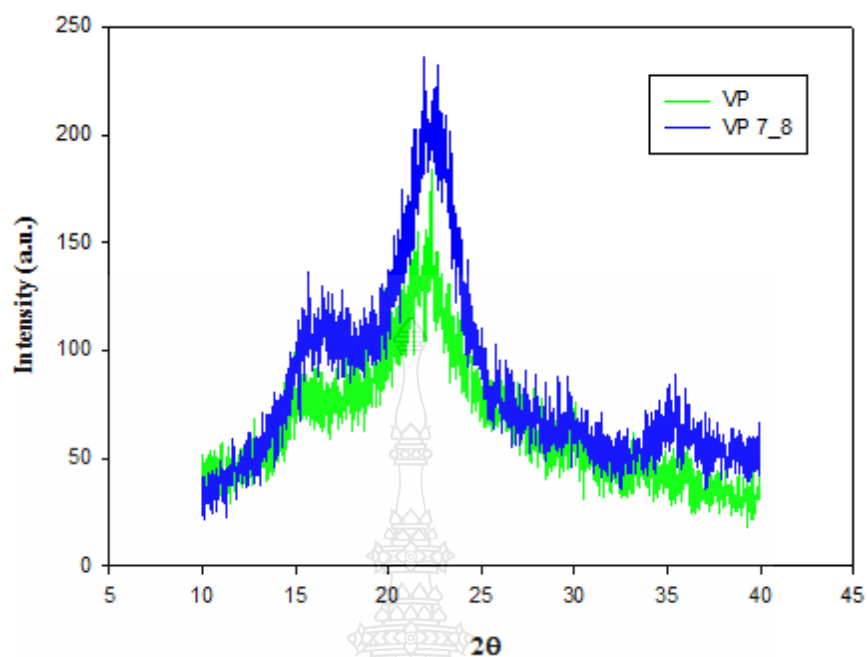
รูปที่ 4.3 สเปกตรัมของเส้นใยเพ็คที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุงผิวและเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิวที่ 3% w/w ที่เวลา 2, 4, 6, 8 และ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.4 สเปกตรัมของเส้นใยเพ็กที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุงผิวและเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิวที่ 5% w/w ที่เวลา 2, 4, 6, 8 และ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.5 สเปกตรัมของเส้นใยเพ็กที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุงผิวและเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิวที่ 7% w/w ที่เวลา 2, 4, 6, 8 และ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.6 XRD สเปกตรัมของเส้นใยเพ็กเส้นใยเพ็กที่ไม่ปรับปรุงพื้นผิวกับการปรับปรุงพื้นผิวที่ 7 %w/w เวลา 8 ชั่วโมง


#### 4.2 ลักษณะทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบเสริมแรงด้วยเส้นใยเพ็ก

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำหญาเพ็กมาเพิ่มมูลค่าและสร้างวัสดุเชิงประกอบเสริมแรงด้วยเส้นใยเพ็ก สำหรับใช้เป็นวัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม พอลิเอธิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) พอลิเอธิลีนความหนาแน่นต่ำ (LLDPE) พอลิโพรพิลีน (PP) และพอลิแลคติกแอซิด (PLA) ถูกนำมาผสมกับเส้นใยเพ็กที่ผ่านการปรับปรุงผิวแล้วในสัดส่วน 0, 10, 20, 30 และ 50 %w/w และทำการขึ้นรูปด้วยเครื่อง Compression molding ได้ชิ้นงานที่มีลักษณะแข็ง เหนียว สีเปลี่ยนแปลงตามปริมาณ เส้นใยเพ็กที่ใส่ลงไป ดังแสดงในตารางที่ 4.1, 4.2, 4.3 และ 4.4 สำหรับวัสดุเชิงประกอบพอลิเอธิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเสริมแรงด้วยเส้นใยเพ็ก (HDPE/VP) วัสดุเชิงประกอบพอลิเอธิลีนความหนาแน่นต่ำเสริมแรงด้วยเส้นใยเพ็ก (LLDPE/VP) วัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยเพ็ก (PP/VP) และวัสดุเชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดเสริมแรงด้วยเส้นใยเพ็ก (PLA/VP) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 วัสดุเชิงประกอบพอลิเอธิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเสริมแรงด้วยเส้นใยพืช


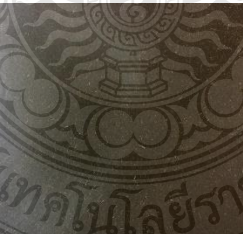
ตัวอย่าง	ลักษณะของชิ้นงาน	หมายเหตุ
HDPE		มีสีขาวขุ่น แข็ง และเหนียว
HDPE/VP 10%		มีสีน้ำตาลเข้ม แข็ง
HDPE/VP 20 %		มีสีน้ำตาลเข้ม แข็ง
HDPE/VP 30%		มีสีน้ำตาลจนเกือบดำเข้ม แข็ง
HDPE/VP 50%		มีสีน้ำตาลจนเกือบดำเข้ม แข็ง

ตารางที่ 4.2 วัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นเสริมแรงด้วยเส้นใยพืช

ตัวอย่าง	ลักษณะของชิ้นงาน	หมายเหตุ
LLDPE		มีสีขุ่น และ เหนียว
LLDPE/VP 10%		มีสีน้ำตาล แข็ง
LLDPE/VP 20%		มีสีน้ำตาลเข้ม แข็ง
LLDPE/VP 30%		สีน้ำตาลเข้มจนเกือบดำ แข็ง
LLDPE/VP 50%		สีน้ำตาลเข้มจนเกือบดำ แข็ง



ตารางที่ 4.3 วัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิโพรพิลีนเสริมแรงด้วยเส้นใยพืช

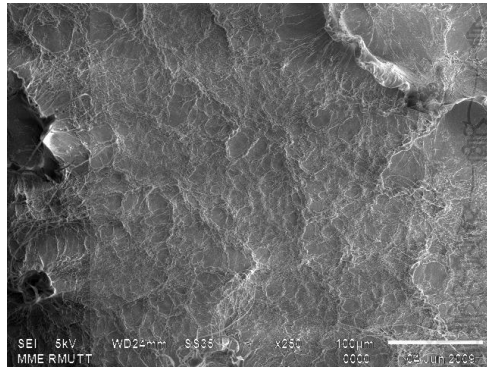
ตัวอย่าง	ลักษณะของชิ้นงาน	หมายเหตุ
PP		มีสีใส แข็ง
PP/VP 10%		แข็งสีน้ำตาลเข้ม
PP/VP 20%		แข็งสีน้ำตาลเข้ม
PP/VP 30%		แข็งสีน้ำตาลเข้มจนเกือบดำ
PP/VP 50%		แข็งสีน้ำตาลเข้มจนเกือบดำ

ตารางที่ 4.4 วัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิแลคติกแอซิด เสริมแรงด้วยเส้นใยพืช

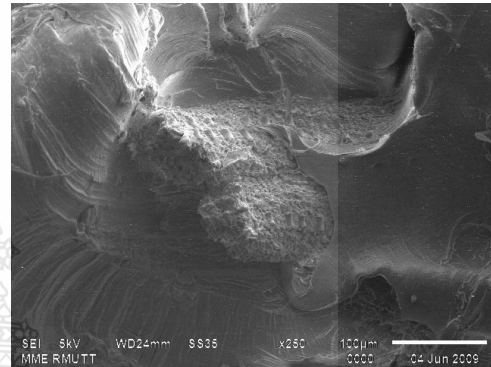
ตัวอย่าง	ลักษณะของชิ้นงาน	หมายเหตุ
PLA		มีสีใส แข็ง
PLA/VP 10%		แข็งสีน้ำตาลเข้ม
PLA/VP 20%		แข็งสีน้ำตาลเข้ม
PLA/VP 30%		แข็งสีน้ำตาลเข้มจนเกือบดำ
PLA/VP 50%		แข็งสีน้ำตาลเข้มจนเกือบดำ

### 4.3 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบเสริมแรงด้วยเส้นใยพืชที่ขึ้นรูปได้

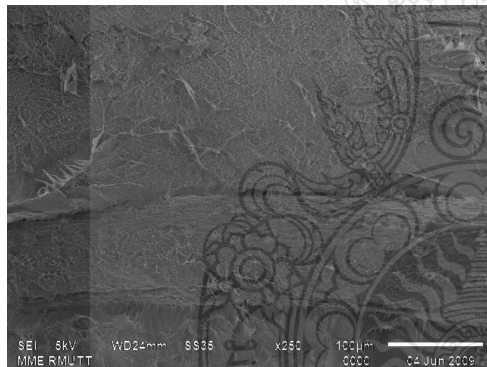
การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบเสริมแรงด้วยเส้นใยพืชที่ทำการขึ้นรูปได้ด้วย SEM พบว่าพื้นผิวที่ทำการเติมเส้นใยพืชที่กระจายตัวอยู่ในเนื้อเมทริกซ์ ทำการศึกษาทางสัณฐานวิทยาในครั้งนี้ใช้กำลังขยายเพียง 250 เท่า เพื่อดูการกระจายตัวของเส้นใยพืชในเนื้อเมทริกซ์ซึ่งเส้นใยพืชเข้ากันได้ดีกับเนื้อเมทริกซ์ดูได้จากรูปที่ 4.7, 4.8, 4.9 และ 4.10



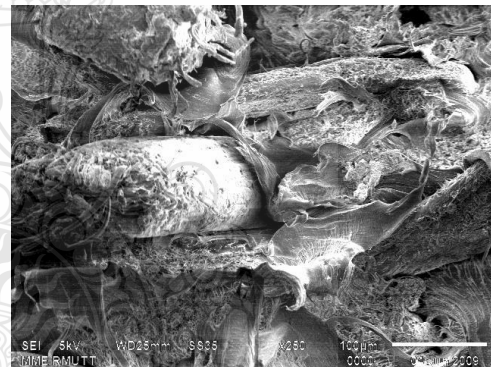
(ก)



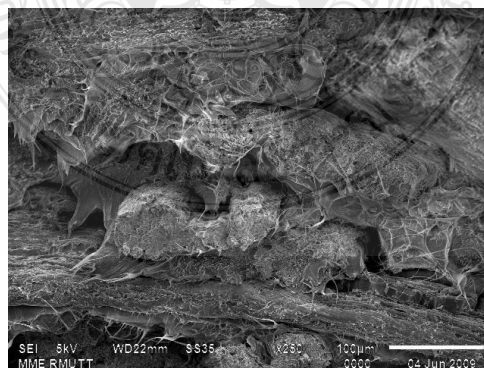
(ข)



(ค)

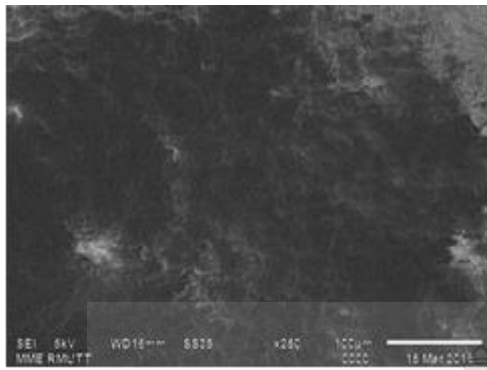


(ง)

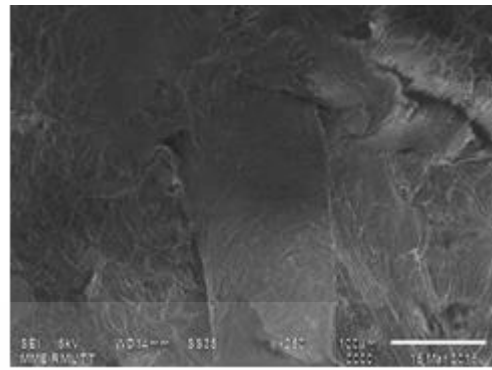


(จ)

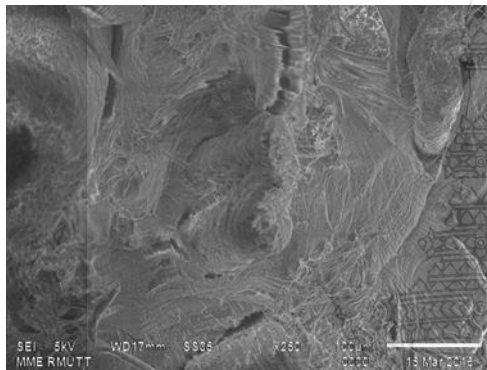
รูปที่ 4.7 สัณฐานวิทยาจาก SEM ของ HDPE/VP (ก) HDPE (ข) HDPE/VP 10% (ค) HDPE/VP 20% (ง) HDPE/VP 30% (จ) HDPE/VP 50%



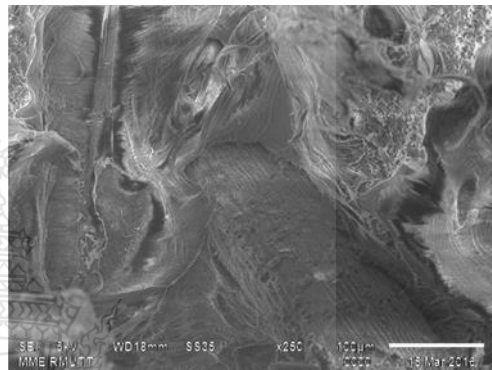
(ก)



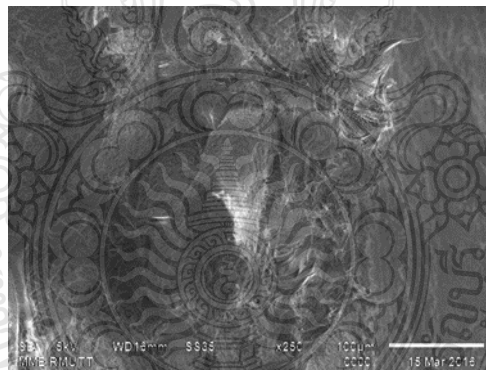
(ข)



(ค)

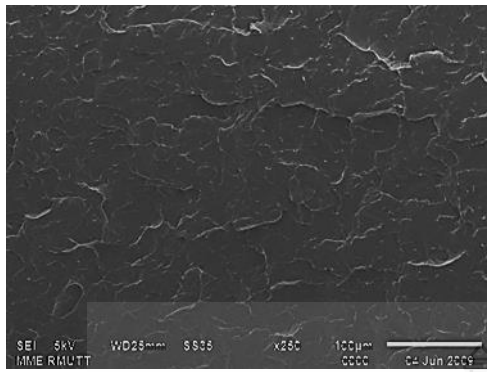


(ง)

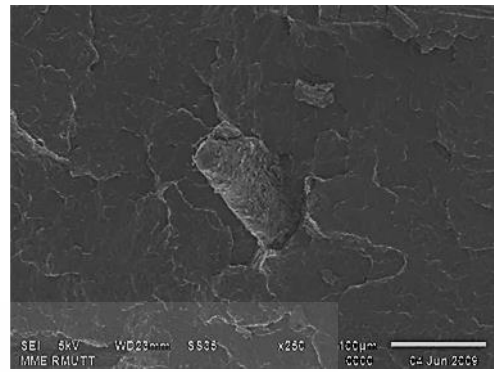


(จ)

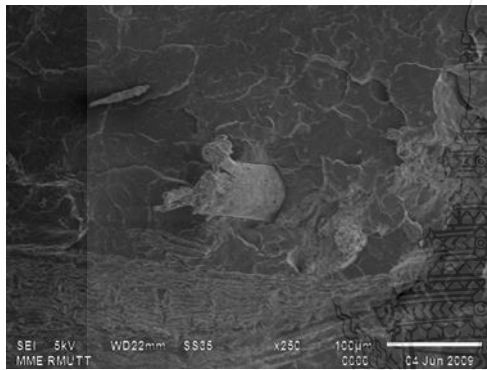
รูปที่ 4.8 ตัณฐานวิทยาจาก SEM ของ LLDPE/VP (ก) LLDPE (ข) LLDPE/VP 10% (ค) LLDPE/VP 20% (ง) LLDPE/VP 30% (จ) LLDPE/VP 50%



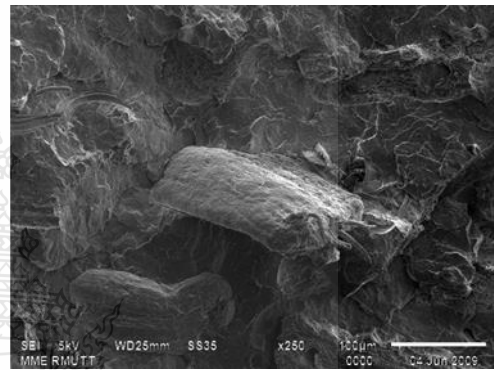
(ก)



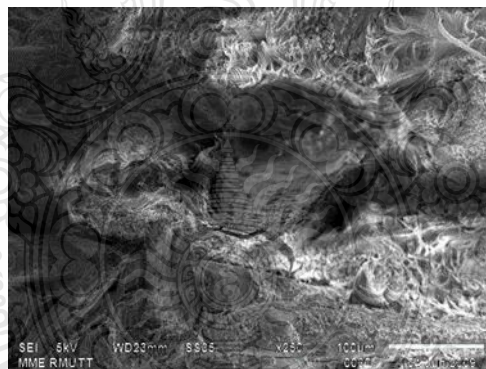
(ข)



(ค)

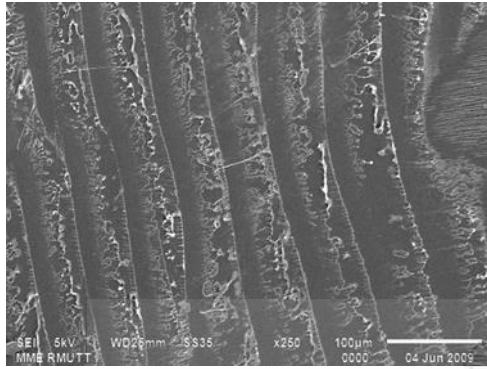


(ง)

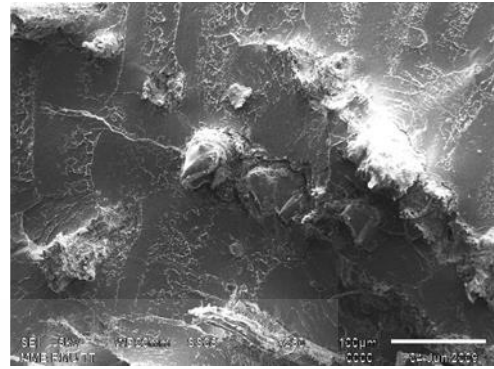


(จ)

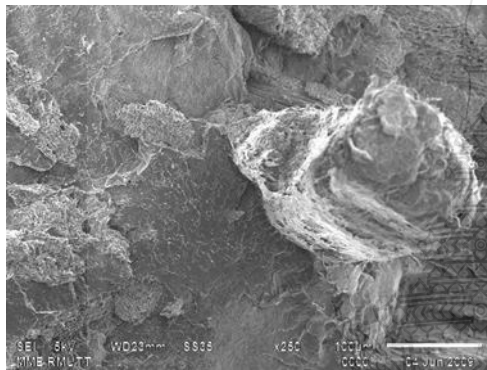
รูปที่ 4.9 ตัณฐานวิทยาจาก SEM ของ PP/VP (ก) PP (ข) PP/VP 10% (ค) PP/VP 20% (ง) PP/VP 30% (จ) PP/VP 50%



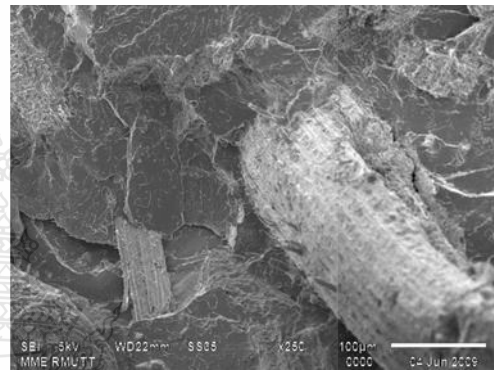
(ก)



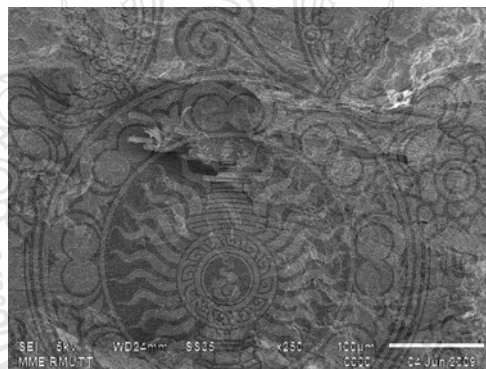
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 4.10 ตัณฐานวิทยาจาก SEM ของ PLA/VP (ก) PLA (ข) PLA/VP 10% (ค) PLA/VP 20% (ง) PLA/VP 30% (จ) PLA/VP 50%

#### 4.4 สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบเสริมแรงด้วยเส้นใยเพ็ก

##### 4.4.1 ผลการทดสอบการทนต่อแรงดึง

##### 4.4.1.1 วัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเสริมแรงเส้นใยเพ็ก (HDPE/VP)

จากการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยเพ็กด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ ผลจากการทดสอบการทนต่อแรงดึง จากอัตราส่วนผสมที่ทำการศึกษาของ HDPE/VP 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, และ 50:50 %w/w ผลจากการศึกษาผลของความทนต่อแรงดึง ที่อัตราส่วน 50:50 %w/w มีความทนต่อแรงดึงมากที่สุด 21.12 MPa และมีค้ำย้งมอดูลัส 1511.17 MPa สูงที่สุดด้วยเช่นกัน แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 3.39

##### ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบแรงดึง HDPE/VP

HDPE/VP	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)	% Elongation at break
100:0	14.30±0.6	522.66±12.8	13.15±0.2
90:10	18.51±0.4	353.43±46.6	13.40±0.7
80:20	20.17±0.4	1037.47±70.2	6.88±1.1
70:30	14.85±0.1	1065.13±94.4	5.92±0.5
50:50	21.12±1.5	1511.17±85.3	3.94±0.7

##### 4.4.1.2 วัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นเสริมแรงเส้นใยเพ็ก(LLDPE/VP)

จากการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยเพ็กด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ ผลจากการทดสอบการทนต่อแรงดึง จากอัตราส่วนผสมที่ทำการศึกษาของ LLDPE/VP 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, และ 50:50 %w/w ผลจากการศึกษาผลของความทนต่อแรงดึง ที่อัตราส่วน 90:10, 80:20, 70:30, และ 50:50 %w/w ใกล้เคียงกัน แต่ที่ 50:50 %w/w และมีค้ำย้งมอดูลัส 1438.25MPa สูงที่สุด แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 2.68

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบแรงดึง LLDPE/VP

LLDPE/VP	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)	% Elongation at break
100:0	22.45±0.5	1106.36±42.1	85.35±5.2
90:10	14.57±0.3	693.12±30.4	15.50±2.3
80:20	14.64±0.3	952.41±32.3	5.54±0.3
70:30	13.14±0.4	996.68±35.8	5.58±0.6
50:50	12.48±0.7	1480.35±59.8	2.68±0.3

4.4.1.3 วัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนเสริมแรงเส้นใยเพ็ก (PP/VP)

จากการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยเพ็กด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ผลจากการทดสอบการทนต่อแรงดึง จากอัตราส่วนผสมที่ทำการศึกษาของ PP/VP 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, และ 50:50 %w/w ผลจากการศึกษาผลของความทนต่อแรงดึง มีความทนต่อแรงก้อยๆลดลงตามการเติมเส้นใยเพ็กแต่ที่ 70:30%w/w มีค่ายังมอดูลัส 1438.25 MPa สูงที่สุด แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 4.03

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบแรงดึง PP/VP

PP/VP	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)	% Elongation at break
100:0	32.37±2.7	1425.86±109.8	12.75±1.9
90:10	31.64±1.1	1626.32±63.7	7.87±0.6
80:20	24.11±0.5	1723.81±23.9	4.48±0.4
70:30	23.52±0.5	1772.07±80.7	4.03±0.4
50:50	9.82±0.5	1534.40±59.1	2.09±0.5



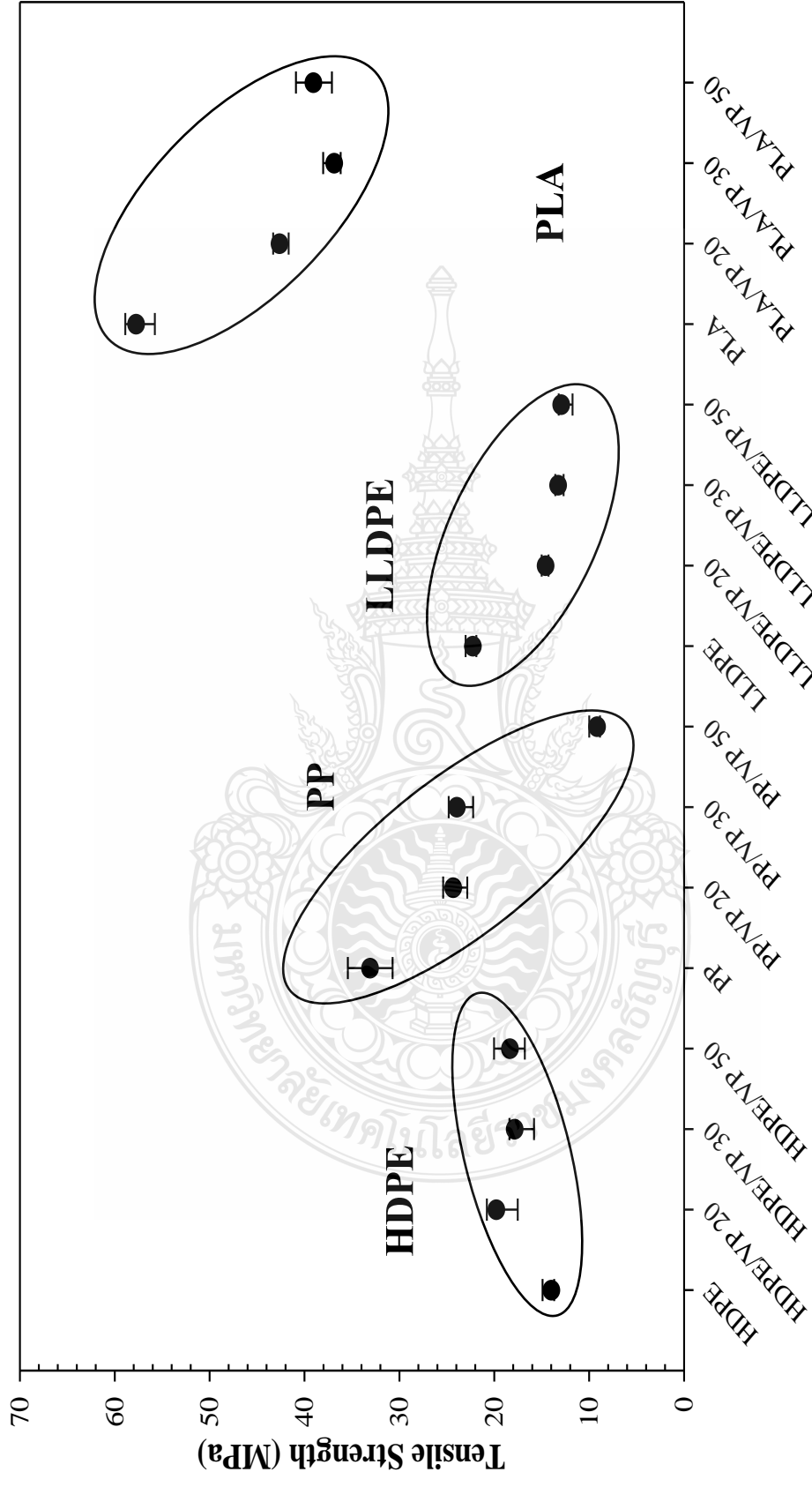
#### 4.4.1.4 วัสดุเชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิด เสริมแรงเส้นใยพืช (PLA/VP)

จากการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยพืชด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ ผลจากการทดสอบการทนต่อแรงดึง จากอัตราส่วนผสมที่ทำการศึกษากของ PLA/VP 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, และ 50:50 %w/w ผลจากการศึกษาผลของความทนต่อแรงดึง ที่อัตราส่วน 70:30%w/w มีความทนต่อแรงดึงที่ 37.11 MPa และมีค่า Young's Modulus 3431.68MPa สูงเกือบเท่าอัตราส่วน 50:50 %w/w แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดมีค่าอยู่ที่ 2.19

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบแรงดึง PLA/VP

PLA/VP	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)	% Elongation at break
100:0	57.33±0.6	2158.85±114.4	4.21±0.4
90:10	45.57±1.4	2834.43±88.5	2.79±0.3
80:20	41.47±2.1	2844.62±88.3	2.55±0.1
70:30	37.11±0.9	3166.41±59.8	2.19±0.1
50:50	39.01±1.8	3431.68±69.8	2.12±0.4

จากการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยพืชด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ ผลจากการทดสอบการทนต่อแรงดึงของ HDPE, LLDPE, PP, และ PLA เมื่อนำมาทำเปรียบเทียบกับที่ทำการผสมกับ HDPE/VP 20, HDPE/VP 30, HDPE/VP 50 %w/w, LLDPE/VP 20, LLDPE/VP 30, LLDPE/VP 50, %w/w, PP/VP 20, PP/VP 30, PP/VP 50 %w/w และ PLA/VP 20, PLA/VP 30, PLA/VP 50 %w/w) พบว่าค่าการทนต่อแรงดึงของเมื่อทำการเติมเส้นใยพืชลงในเนื้อเมทริกซ์ พบว่าค่าการทนต่อแรงดึงลดลงเมื่อทำการเติมเส้นใยลงไปมากขึ้นซึ่งจากงานวิจัยของ Tingju Lu [13] เมื่อเติมเส้นใยไผ่ในปริมาณที่มากขึ้นเนื้อเมทริกซ์ไม่ต่อเนื่องจึงทำให้ค่าการทนต่อแรงดึงตกลง ในงานวิจัยนี้ค่าการทนต่อแรงดึงลดลงทุกตัวยกเว้น HDPE ที่มีค่าการทนต่อแรงดึงแทบจะไม่มีเปลี่ยนแปลงเพราะความเหนียวของเนื้อเมทริกซ์ที่มากกว่าพลาสติกชนิดอื่นจึงทำให้การเติมเส้นใยพืชลงไปนั้นไม่มีผลกับค่าการทนต่อแรงดึงจึงทำให้เส้นใยที่เติมลงไปจึงเป็นตัวเสริมแรงให้กับ HDPE [26] ซึ่งสามารถดูได้จากรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบระหว่างค่าการทนต่อแรงดึง กับ (HDPE, HDPE/VP 20, HDPE/VP 30, HDPE/VP 50 %w/w), (PP, PP/VP 20, PP/VP 30, PP/VP 50 %w/w), (LLDPE, LLDPE/VP 20, LLDPE/VP 30, LLDPE/VP 50, %w/w) และ (PLA, PLA/VP 20, PLA/VP 30, PLA/VP 50 %w/w)

#### 4.4.2 ผลการทดสอบการทนแรงกระแทก

##### 4.4.2.1 ความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเสริมแรงเส้นใยเพ็ก (HDPE/VP)

ผลของความทนแรงกระแทกของ HDPE/VP กรณีไม่เติมสารเส้นใยเพ็กแต่มีค่าสูงกว่าเกินครึ่ง ซึ่งค่าที่ลดลงส่งผลทำให้มีค่าทนแรงกระแทกลดลง โดยที่อัตราส่วน 90:10, 80:20, 70:30 มีค่าไม่แตกต่างกันมากซึ่งแสดงให้เห็นว่าความแข็งแรงกระแทกจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณอัตราส่วนของเนื้อพอลิเมอร์มากขึ้น โดยพบว่าความแข็งแรงกระแทกมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยเนื่องจากเส้นใยหรือสารตัวเติมมีความแข็งหรือค่า Young's Modulus สูงกว่าวัสดุเนื้อหลักเพราะเมื่อใส่เส้นใยเพ็กเข้าไปจะทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของเนื้อเมทริกซ์จึงทำให้ค่าทนแรงกระแทกลดลงซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Na Lu [24]

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบการทนแรงกระแทก HDPE/VP

HDPE/VP	Impact strength (J/m)
100:0	24.83±0.5
90:10	22.03±1.1
80:20	21.58±1.4
70:30	18.0±1.0
50:50	9.51±0.3

##### 4.4.2.1 ความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นเสริมแรงเส้นใยเพ็ก (LLDPE/VP)

ผลของความทนแรงกระแทกของ LLDPE/VP กรณีไม่เติมสารเส้นใยเพ็กค่าน้อยกว่าเกินครึ่ง ซึ่งค่าที่ลดลงส่งผลทำให้มีค่าทนแรงกระแทกเพิ่มขึ้น ที่อัตราส่วน 90:10, 80:20แสดงให้เห็นว่าความแข็งแรงกระแทกจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณอัตราส่วนของเนื้อพอลิเมอร์น้อยลง ซึ่งค่าที่มีการเติมเส้นใยเพ็กลงไปมีค่าที่เพิ่มขึ้นมาก ซึ่งเมื่อเติมเส้นใยลงไปแล้วอาจทำให้ค่าทนแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อถึงอัตราส่วนที่ 70:30, 50:50 มีค่าความแข็งแรงกระแทกมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยเพ็ก เพราะเมื่อใส่เส้นใยเพ็กเข้าไปจะทำให้เกิดการกระจายตัวได้ไม่ดีและทำให้เนื้อเมทริกซ์มีความไม่ต่อเนื่องจึงทำให้ค่าทนแรงกระแทกลดลงซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Na Lu <sup>a</sup> [24]

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบการทนแรงกระแทก LLDPE/VP

LLDPE/VP	Impact strength (J/m)
100:0	4.33±0.3
90:10	12.73±0.6
80:20	10.58±0.5
70:30	7.73±0.7
50:50	6.83±0.2

4.4.2.3 ความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนเสริมแรงเส้นใย  
เพ็ก (PP/VP)

ผลของความทนแรงกระแทกของ PP/VP กรณีไม่เติมสารเส้นใยเพ็ก โดยที่อัตราส่วน 90:10, 80:20, 70:30 แสดงให้เห็นว่าความแข็งแรงกระแทกจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณอัตราส่วนของเนื้อพอลิเมอร์น้อยลง ซึ่งค่าที่มีการเติมเส้นใยเพ็กลงไปมีค่าที่เพิ่มขึ้นมาก ซึ่งเมื่อเติมเส้นใยลงไปจะทำให้เกิดการกระจายตัวได้ไม่ดีและทำให้เนื้อเมทริกซ์มีความไม่ต่อเนื่องจึงทำให้ค่าทนแรงกระแทกตกลงซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Na Lu [24]

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบการทนแรงกระแทก PP/VP

PP/VP	Impact strength (J/m)
100:0	4.49±0.3
90:10	4.95±0.3
80:20	4.71±0.1
70:30	4.91±0.3
50:50	5.01±0.4

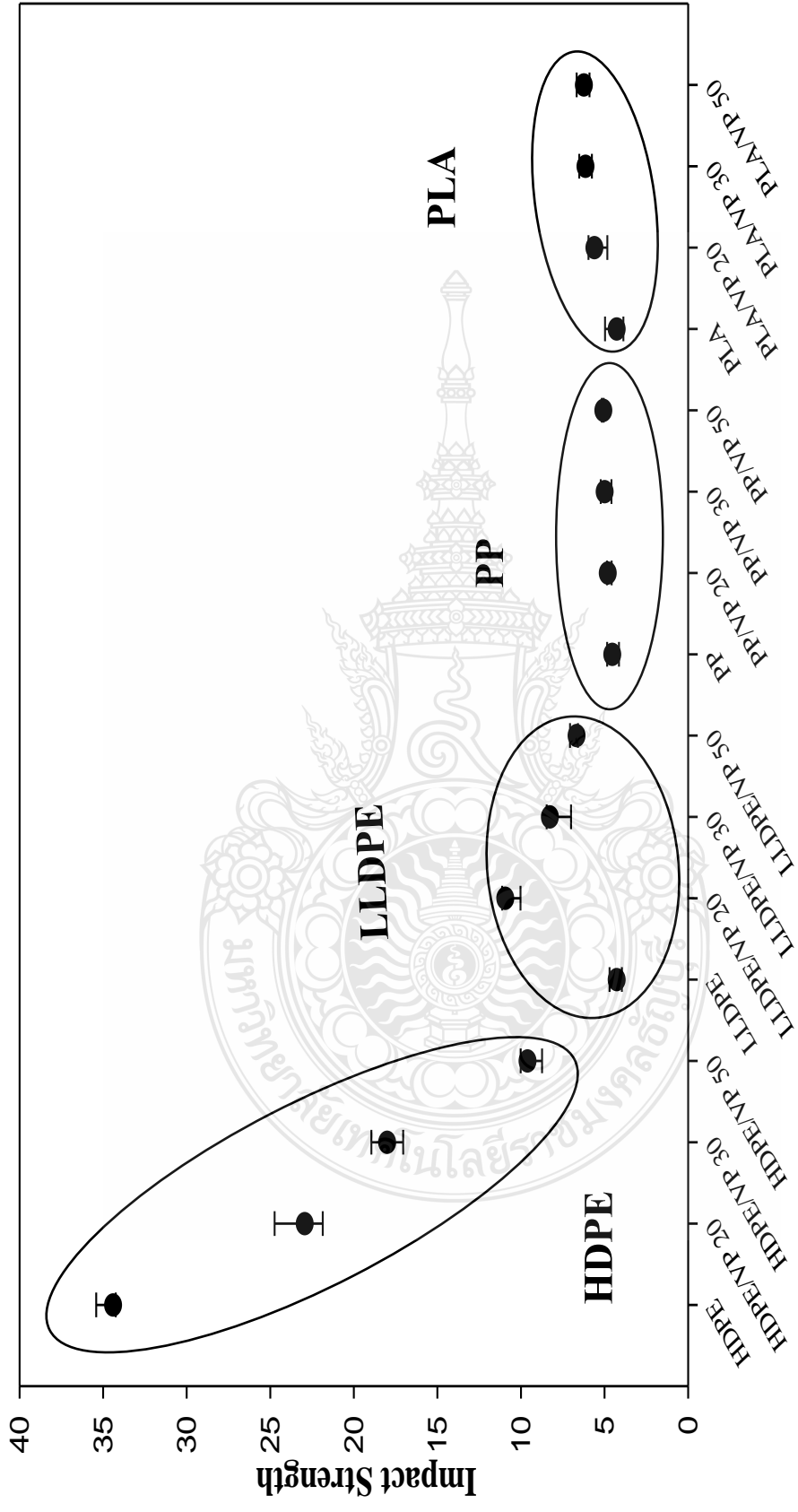
#### 4.4.2.4 ความทนแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดเสริมแรงเส้นใยพืช (PLA/VP)

ผลของความทนแรงกระแทกของ PLA/VP กรณีไม่เติมสารเส้นใยพืชแต่มีค่าน้อยกว่า โดยที่อัตราส่วน 90:10, 80:20, 70:30 ซึ่งค่าที่มีการเติมเส้นใยพืชลงไปแต่ค่าที่เพิ่มขึ้นมีค่าต่างกันมาก ซึ่งเมื่อเติมเส้นใยลงไปแล้วค่าการทนต่อแรงกระแทกแทบไม่ต่างจากตัวที่ไม่มีการเติมเส้นใยพืช

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบการทนแรงกระแทก PLA/VP

PLA/VP	Impact strength (J/m)
100:0	4.42±0.5
90:10	4.8±0.5
80:20	5.39±0.5
70:30	6.13±0.3
50:50	6.46±0.2

ผลของการเปรียบเทียบความทนแรงกระแทกของ HDPE, LLDPE, PP, และ PLA กรณีไม่เติมสารเส้นใยพืชกับที่ทำการเติมเส้นใยพืช เมื่อนำมาทำเปรียบเทียบกับที่ทำการผสมกับ HDPE/VP 20, HDPE/VP 30, HDPE/VP 50 %w/w, LLDPE/VP 20, LLDPE/VP 30, LLDPE/VP 50, %w/w, PP/VP 20, PP/VP 30, PP/VP 50 %w/w และ PLA/VP 20, PLA/VP 30, PLA/VP 50 %w/w ค่าความทนแรงกระแทกเมื่อทำการเติมเส้นใยพืชมากขึ้นค่าความทนแรงกระแทกลดลงเนื่องจากการกระจายตัวไม่ดีของเส้นใยพืชในเนื้อเมทริกซ์ค่าการทนต่อแรงกระแทกจึงตกลงหรือมีค่าที่ค่อนข้างไม่แตกต่างกันมากดังรูปที่ 4.12



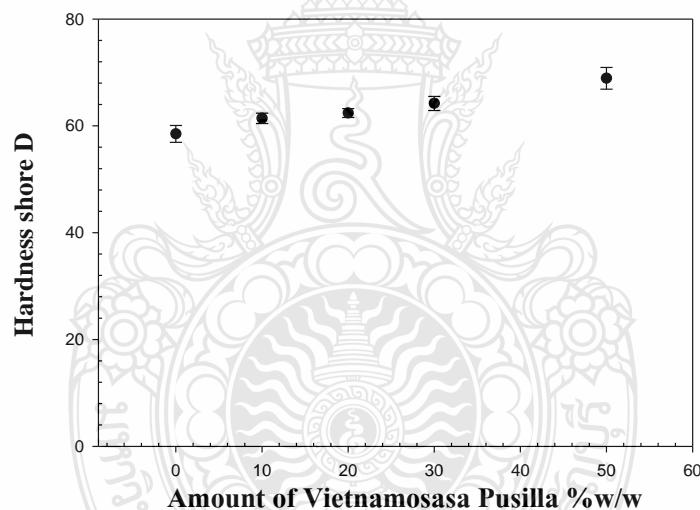
รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบระหว่างค่าการทนแรงกระแทก กับ (HDPE, HDPE/VP 20, HDPE/VP 30, HDPE/VP 50 %w/w), (PP, PP/VP 20, PP/VP 30, PP/VP 50 %w/w), (LLDPE, LLDPE/VP 20, LLDPE/VP 30, LLDPE/VP 50, %w/w) และ (PLA, PLA/VP 20, PLA/VP 30, PLA/VP 50 %w/w)

#### 4.4.3 ผลการทดสอบความแข็ง

ผลที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรง พบว่าเมื่อมีการเติมเส้นใยพืชลงไป ความแข็งผิวจะเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณเส้นใยที่เพิ่มมากขึ้นเป็นส่วนที่ทำให้วัสดุเชิงประกอบมีค่าความแข็งผิวที่สูง แต่การเติมสารประสานไม่มีผลต่อความแข็งผิวมากนัก เนื่องจากการทดสอบความแข็งผิวเป็นการทดสอบบริเวณพื้นผิวของชิ้นงานเท่านั้น ซึ่งแตกต่างจากสมบัติทางกลอื่น ๆ

##### 4.4.3.1 ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เสริมแรงเส้นใยพืช (HDPE/VP)

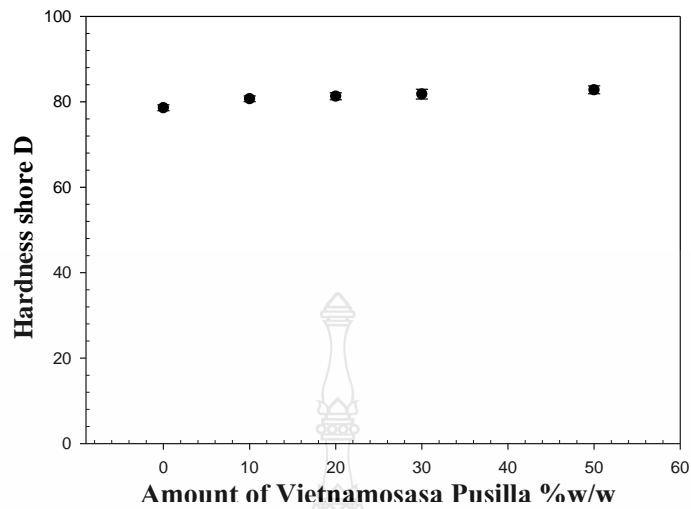
ผลจากการทดสอบความแข็งของ HDPE/VP ค่าความแข็งที่ผิวพบว่าค่าความแข็งที่ผิวของแผ่นอัดที่เติมเส้นใยพืชลงไป ในอัตราส่วนที่มากขึ้นพบว่าค่าความแข็งที่ 50% มีค่าสูงกว่าที่อัตราส่วนอื่นๆ มีค่าความแข็งที่ผิวของแผ่นอัด สอดคล้องกับงานวิจัยของ A.Benyahia [5]



รูปที่ 4.13 HDPE/VPกราฟระหว่าง Hardness และการเติมปริมาณเส้นใยพืช

##### 4.4.3.2 ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิง เสริมแรงเส้นใยพืช (LLDPE/VP)

ผลจากการทดสอบความแข็งของ LLDPE/VP ค่าความแข็งที่ผิวพบว่าค่าความแข็งที่ผิวของแผ่นอัดที่เติมเส้นใยพืชลงไป ในอัตราส่วนที่มากขึ้นพบว่าค่าความแข็งที่ 50% มีค่าสูงกว่าที่อัตราส่วนอื่นๆ มีค่าความแข็งที่ผิวของแผ่นอัด สอดคล้องกับงานวิจัยของ A.Benyahia [5]

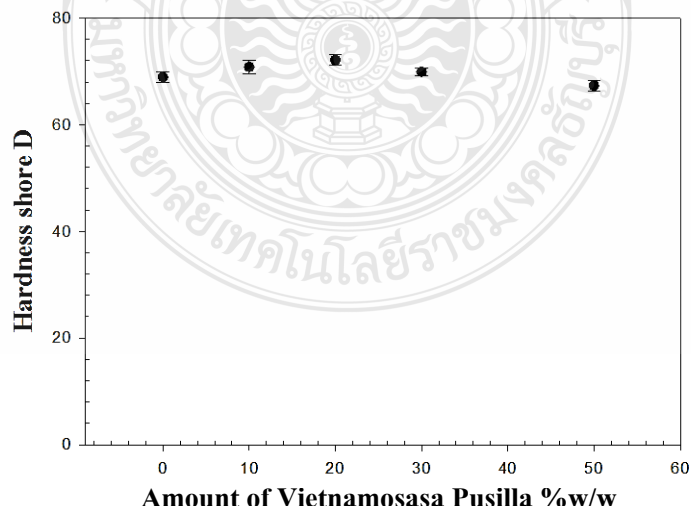


รูปที่ 4.14 LLDPE/VP กราฟระหว่าง Hardness และการเติมปริมาณเส้นใยพืช

#### 4.4.3.3 ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบพอลิโพรพิลีนเสริมแรงเส้นใยพืช

(PP/VP)

ผลจากการทดสอบความแข็งของ PP/VP ค่าความแข็งที่ผิวพบว่าค่าความแข็งที่ผิวของแผ่นอัดที่เติมเส้นใยพืชลงไป ในอัตราส่วนที่มากขึ้นพบว่าค่าความแข็งขึ้นจนถึง 20% หลังจากนั้นเมื่อเติมเส้นใยพืชลงไปเพิ่มขึ้นค่าความแข็งเริ่มมีการลดลงแต่ไม่แตกต่างจากตัวที่ไม่ได้มีการเติมแค่เพียงไม่มาก



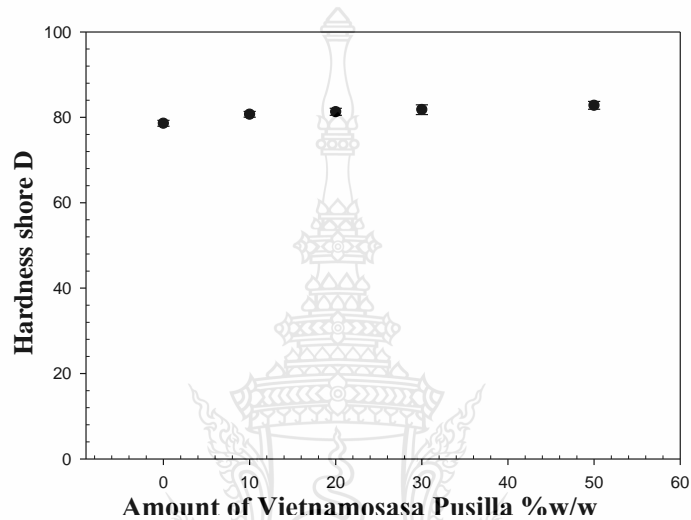
รูปที่ 4.15 PP/VP กราฟระหว่าง Hardness และการเติมปริมาณเส้นใยพืช



#### 4.4.2.4 ความแข็งของวัสดุเชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดเสริมแรงเส้นใยเพ็ก

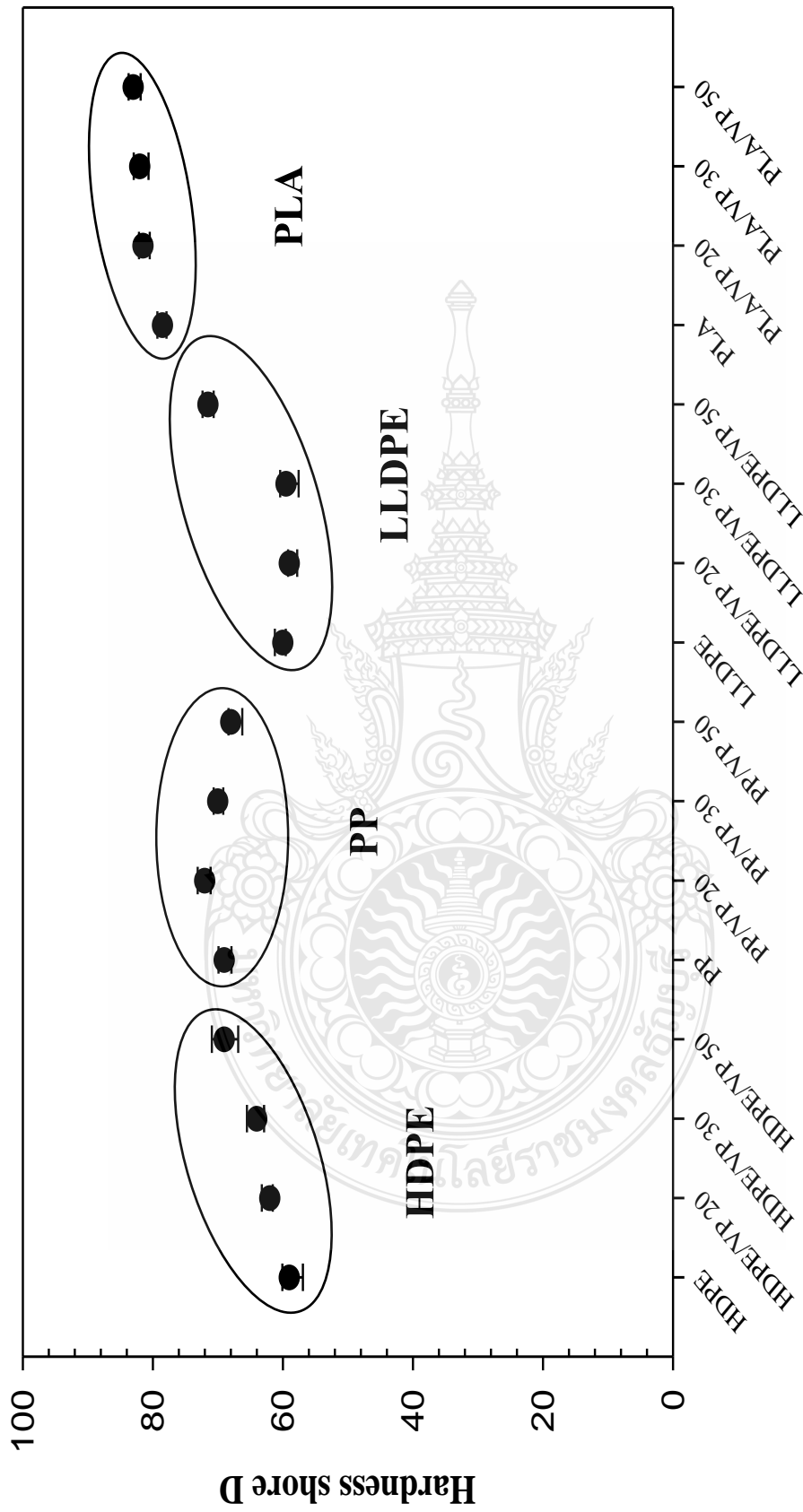
(PLA/VP)

ผลจากการทดสอบความแข็งของ PLA/VP ค่าความแข็งที่ผิวพบว่าค่าความแข็งที่ผิวของแผ่นอัดที่เติมเส้นใยเพ็กลงไป ในอัตราส่วนที่มากขึ้นพบว่าค่าความแข็งที่ 50% มีค่าสูงกว่าที่อัตราส่วนอื่นๆ มีค่าความแข็งที่ผิวของแผ่นอัด สอดคล้องกับงานวิจัยของ A.Benyahia [5]



รูปที่ 4.16 PLA/VP กราฟระหว่าง Hardness และการเติมปริมาณเส้นใยเพ็ก

ผลของการเปรียบเทียบการทดสอบความแข็งของ HDPE, PP, LLDPE และ PLA เปรียบเทียบกับตัวที่มีการเติมเส้นใยเพ็กที่ปริมาณ HDPE/VP 20, HDPE/VP 30, HDPE/VP 50 %w/w, LLDPE/VP 20, LLDPE/VP 30, LLDPE/VP 50, %w/w, PP/VP 20, PP/VP 30, PP/VP 50 %w/w) และ PLA/VP 20, PLA/VP 30, PLA/VP 50 %w/w ผลที่ได้คือเมื่อเติมเส้นใยเพ็กลงไป ในเนื้อเมทริกซ์ซึ่งเส้นใยเพ็กเป็นสารเสริมแรงในเนื้อเมทริกซ์เมื่อทำการเติมเส้นใยมากขึ้นจึงทำให้แผ่นอัดมีความแข็งเพิ่มสูงขึ้นซึ่งจะเห็นได้ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบระหว่างค่าการทดสอบความแข็งของ กับ (HDPE, HDPE/VP 20, HDPE/VP 30, HDPE/VP 50 %w/w), (PP, PP/VP 20, PP/VP 30, PP/VP 50 %w/w) , (LLDPE, LLDPE/VP 20, LLDPE/VP 30, LLDPE/VP 50, %w/w) และ (PLA, PLA/VP 20, PLA/VP 30, PLA/VP 50%w/w)

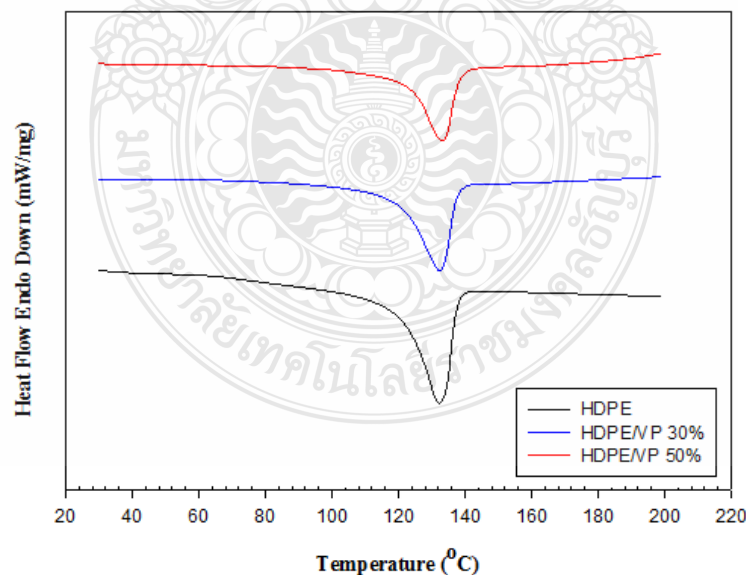
#### 4.4.4 ผลการทดสอบทางความร้อน

##### 4.4.4.1 วัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเสริมแรงด้วยเส้นใยพืช

พบว่าอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง มีค่าอุณหภูมิการหลอมเหลว  $T_m$  คือ  $132.2\text{ }^{\circ}\text{C}$  และจากการทดสอบเมื่อทำการเติมเส้นใยพืชลงไปแล้วพบว่าอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิเมอร์มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเติมเส้นใยพืชผสม HDPE ดังแสดงในตารางที่ 4.13 และรูปที่ 4.18

ตารางที่ 4.13 สมบัติทางความร้อนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเสริมแรงเส้นใยพืช

DSC Results			
HDPE/VP	Melt Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\Delta H_m$ (J/g)	Crystallization (%)
100:0	132.2	146.2	49.89
70:30	132.5	106.8	25.51
50:50	133.2	84.14	14.35



รูปที่ 4.18 สมบัติทางความร้อนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเสริมแรงเส้นใยพืช

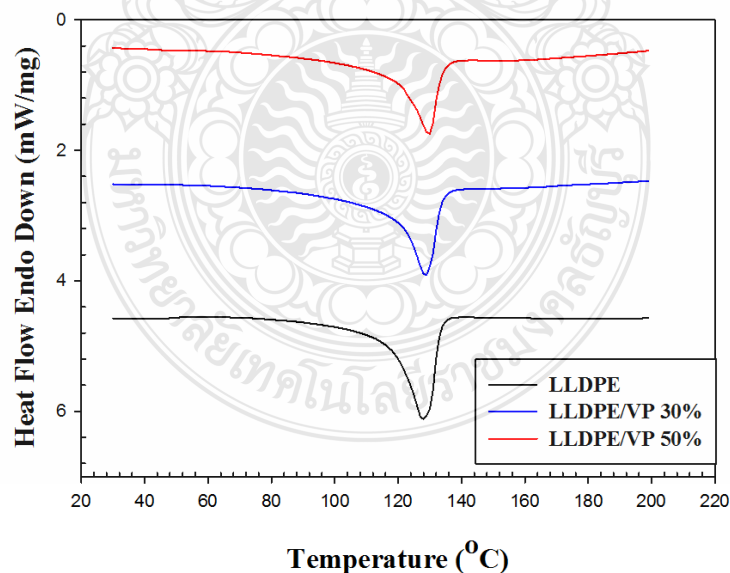
#### 4.4.4.2 วัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นเสริมแรง

ด้วยเส้นใยพืช

พบว่าอุณหภูมิการหลอมเหลวของชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น มีค่าอุณหภูมิการหลอมเหลว  $T_m$  คือ  $127.8\text{ }^{\circ}\text{C}$  และจากการทดสอบเมื่อทำการเติมเส้นใยพืชลงไปแล้ว พบว่าอุณหภูมิหลอมเหลวของพอลิเมอร์มีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกับ HDPE คือเมื่อมีการเติมเส้นใยพืชผสม LLDPE แล้ว ค่าอุณหภูมิการหลอมเหลวเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.14 และ รูปที่ 4.19

ตารางที่ 4.14 สมบัติทางความร้อนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นเสริมแรงเส้นใยพืช

DSC Results			
LLDPE/VP	Melt Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\Delta H_m$ (J/g)	Crystallization (%)
100:0	127.80	104.40	35.63
70:30	128.70	101.10	24.15
50:50	129.70	71.38	17.05



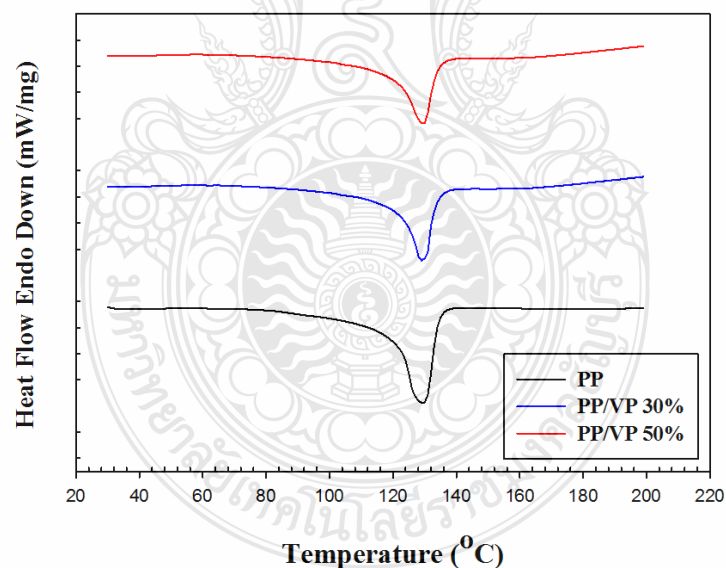
รูปที่ 4.19 สมบัติทางความร้อนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้นเสริมแรงเส้นใยพืช

#### 4.4.4.3 วัสดุเชิงประกอบพอลิ โปฟิ ลีน เสริมแรงด้วยเส้นใยเพ็็ก

พบว่าอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิ โปฟิ ลีน มีค่าอุณหภูมิการหลอมเหลว  $T_m = 129.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  และจากการทดสอบเมื่อทำการเติมเส้นใยเพ็็กลงไปแล้ว พบว่าอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิเมอร์มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเติมเส้นใยเพ็็กผสม PP ดังแสดงในตารางที่ 4.15 และรูปที่ 4.20

ตารางที่ 4.15 สมบัติทางความร้อนของพอลิ โปฟิ ลีน เสริมแรงเส้นใยเพ็็ก

PP/VP	DSC Results		
	Melt Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\Delta H_m$ (J/g)	Crystallization (%)
100:0	129.30	1190	57.48
70:30	129.61	64.00	21.64
50:50	129.60	64.90	15.67



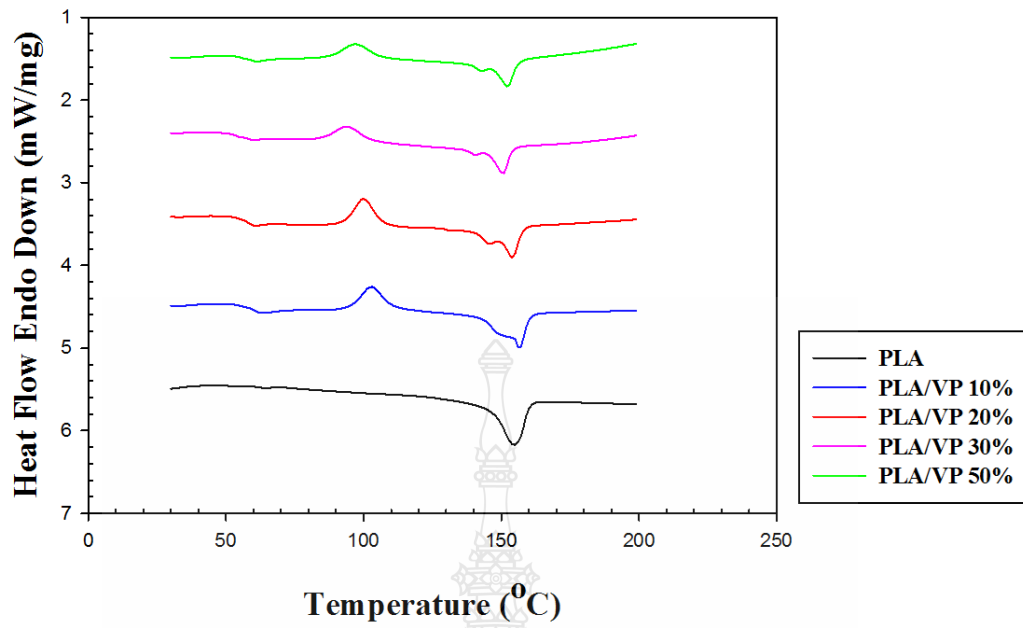
รูปที่ 4.20 สมบัติทางความร้อนของพอลิ โปฟิ ลีน เสริมแรงเส้นใยเพ็็ก

#### 4.2.4.4 วัสดุเชิงประกอบพอลิแลคติกแอซิดเสริมแรงด้วยเส้นใยพืช

พบว่าอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิแลคติกแอซิดเสริมแรง มีค่าอุณหภูมิการหลอมเหลว  $T_m = 154.7\text{ }^{\circ}\text{C}$  และจากการทดสอบเมื่อทำการเติมเส้นใยพืชลงไปแล้ว พบว่าอุณหภูมิหลอมเหลวของพอลิเมอร์มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเติมเส้นใยพืชผสม PLA ดังแสดงในตารางที่ 4.16 และรูปที่ 4.21 จากรูปที่ 4.21 พบว่าการเกิดผลึกระหว่าง PLA/VP ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยหญ้าพืชมากขึ้นการเกิดผลึกลดลงเนื่องจากสัดส่วนโดยน้ำหนักของเส้นใยหญ้าพืชต่อ PLA สูงจึงพบการเกิดผลึกที่บริเวณผิวของเส้นใย ผลึกที่เกิดขึ้นได้ยาก เนื่องจากเส้นใยหญ้าพืชอยู่ชิดกัน จึงทำให้ไม่มีพื้นที่ในการเกิดผลึก ซึ่งพฤติกรรมนี้สามารถนำไปเอาอธิบายการลดลงของเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของวัสดุเชิงประกอบ HDPE, LLDPE และ PP ด้วย [27]

ตารางที่ 4.16 สมบัติทางความร้อนของพอลิแลคติกแอซิดเสริมแรงเส้นใยพืช

PLA/VP	DSC Results		
	Melt	$\Delta H_m$	Crystallization
	Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	(J/g)	(%)
100:0	154.70	31.04	33.16
90:10	156.70	22.44	21.57
80:20	153.90	25.2	21.53
70:30	150.40	14.12	10.56
50:50	152.20	14.39	7.68



รูปที่ 4.21 สมบัติทางความร้อนของพอลิแลคติกแอซิดเสริมแรงเส้นใยพืช



## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการพัฒนาพอลิเมอร์เชิงประกอบเสริมแรงด้วยเส้นใยเพื่อการดำเนินการจัดทำงานวิจัยได้สำเร็จล่วงหน้าโดยผลการดำเนินการวิจัยนั้นทำให้ได้ข้อสรุปดังนี้

#### 5.1 สรุป

จากการศึกษาการพัฒนาพอลิเมอร์เชิงประกอบเสริมแรงด้วยเส้นใยเพ็กโดยการนำมาพัฒนาเป็นแผ่นอัดเชิงประกอบกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LLDPE) พอลิโพรพิลีน (PP) และพอลิแลคติกแอซิด (PLA) ผสมกับเส้นใยเพ็ก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผสมกันของเส้นใยเพ็ก เส้นใยเพ็กถูกนำมาปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0, 1, 3, 5 และ 7%w/w ที่เวลา 2, 4, 6, 8 และ 24 ชั่วโมง โดยปรับปรุงพื้นผิวแล้วลิกนินจะมีปริมาณลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้น และเวลา ยืนยันผลด้วยเทคนิค FT-IR spectroscopy และ XRD ในการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 7 %w/w เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ที่มีเป็นจะมีลิกนินอยู่ที่ตำแหน่งคลื่น  $1630\text{ cm}^{-1}$  และเมื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยเพ็กด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 7 %w/w ที่เวลา 8 ชั่วโมง พบว่าพีคของลิกนินมีค่าลดลงมากเมื่อเทียบกับเส้นใยเพ็กที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงพื้นผิว เมื่อนำเส้นใยเพ็กที่ดีที่สุดนำมาผสมกับ HDPE, LLDPE, PP และ PLA นำมาผสมกับพลาสติกที่ปริมาณ 0, 10, 20, 30 และ 50 %w/w เมื่อทำการผสมแล้วค่าการทนต่อแรงดึงมีค่าลดลงเกินครึ่งในทุกอัตราส่วนและค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด ลดลงทุกอัตราส่วนเช่นกันเนื่องจากสมบัติการเข้ากันระหว่างเส้นใยเพ็กกับเนื้อเมทริกซ์เมื่อเติมเส้นใยลงไปปริมาณที่มากขึ้นจึงทำให้เส้นใยเพ็กและเนื้อเมทริกซ์เข้ากันได้ไม่ดี ในส่วนของค่ายังโมดูลัสมีแนวโน้มมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเติมเส้นใยเพ็กมากขึ้น ในส่วนของค่าการทนต่อแรงกระแทกมีแนวโน้มค่าที่ได้ลดลง เนื่องจากการเมื่อเติมเส้นใยเพ็กลงไปปริมาณที่สูงขึ้น ทำให้การกระจายตัวทำได้ไม่ดี สมบัติการทนต่อแรงดึงทนต่อแรงกระแทกได้ดีกว่าพลาสติกที่ไม่ได้ทำการเติมเส้นใยเพ็ก PP/VP, LLDPE/VP และ PLA/VP ค่าความแข็งของวัสดุเชิงประกอบที่ได้ทำการผสมเส้นใยเพ็กในส่วนต่างๆ มีค่าแนวโน้มสูงขึ้นในทุกวัสดุเชิงประกอบ

ในงานวิจัยนี้เราต้องการให้ผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์สามารถเลือกค่าของสมบัติเชิงกลในวัสดุที่เราได้ทำการเปรียบเทียบค่าการทนต่อแรงดึง ค่าการทนต่อแรงกระแทก หรือค่าความแข็งของวัสดุ ดังนั้นจากวิทยานิพนธ์นี้ได้รับความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงกล และราคาของวัสดุเชิงประกอบเพื่อเป็น



วัสดุทางเลือกสำหรับนำไปใช้เป็นวัสดุเชิงประกอบที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์  
ได้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการทำการผสมพอลิเมอร์กับเส้นใยพืช มีการผสมแบบเปิดทำให้ค่อนข้างผสมลำบาก  
และด้วยอุณหภูมิที่สูงของลูกกลิ้งทำให้อาจเกิดอันตรายถ้าหากสัมผัสโดนที่ลูกกลิ้งจึงเสนอให้ใช้  
เครื่องผสมเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ในการผสมแทนเครื่องผสมแบบลูกกลิ้ง

2. ขั้นตอนในการบดเส้นใยและการเติมเส้นใยลงในเครื่องผสมเราควรที่จะต้องการใช้ผ้า  
ปิดจุ่มเพื่อป้องกันการระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ และควรระวังผงเส้นใยอาจจะทำให้ผิวหนังเรา  
ระคายเคืองด้วย ทางที่ดีควรสวมปลอกแขนเพื่อป้องกันด้วย หรือใช้วิธีอื่นในการปรับปรุงพื้นผิวที่  
ไม่ใช่สารเคมีและได้ผลที่ดีใกล้เคียงกัน เช่น วิธีทางกลในการปรับปรุงพื้นผิว หรือใช้สารเคมีที่มีความ  
รุนแรงน้อยกว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์



## บรรณานุกรม

- [1] ไร่เพ็ก, (ออนไลน์) สืบค้นจาก [http://www.ifarm.in.th/index.php?option=com\\_Mtree&task=viewlink&link\\_id=115&Itemid=162](http://www.ifarm.in.th/index.php?option=com_Mtree&task=viewlink&link_id=115&Itemid=162). (วันที่ 8 มกราคม 2558)
- [2] พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง, (ออนไลน์) สืบค้นจาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1909/high-density-polyethylene-hdpe-พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง> (วันที่ 8 มกราคม 2558)
- [3] พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น, (ออนไลน์) สืบค้นจาก <http://ultragroup-thailand.com/files/knowledge/LLDPE%20&%20LDPE%20&%20HDPE%20Training.pdf> (วันที่ 8 มกราคม 2558)
- [4] พอลิโพรพิลีน, (ออนไลน์) สืบค้นจาก <http://arceehchan-freedom.blogspot.com/2012/10/polypropylene.html> (วันที่ 8 มกราคม 2558)
- [5] A. BENYAHIAa, A. MERROUCHEa, M. ROKBib,c, Z. KOUADRIa, “Study the effect of alkali treatment of natural fibers on the mechanical behavior of the composite unsaturated Polyester-fiber Alfa”, 21ème Congrès Français de Mécanique Bordeaux, 26 au 30 août 2013
- [6] พอลิแลคติกแอซิด, (ออนไลน์) สืบค้นจาก <https://enchemcom1po.wordpress.com/bioplastics-ไบโอพลาสติก/พลาสติก-pla-poly-lactic-acid/> (วันที่ 8 มกราคม 2558)
- [7] เส้นใยธรรมชาติ, (ออนไลน์) สืบค้นจาก <http://epg.science.cmu.ac.th/induschem/article-download.php?id=448> (วันที่ 12 มีนาคม 2558)
- [8] วัสดุเชิงประกอบ, (ออนไลน์) สืบค้นจาก <https://sites.google.com/site/3tidesign/7> (วันที่ 12 มีนาคม 2558)
- [9] วัสดุเชิงประกอบ, (ออนไลน์) สืบค้นจาก <http://ir.rmuti.ac.th/xmlui/bitstream/handle/123456789/384/Chapter%202.pdf?sequence=4> (วันที่ 12 มีนาคม 2558)
- [10] रामคำแหง, มหาวิทยาลัย. (2549). พอลิเมอร์เบื้องต้น 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง
- [11] T.Balarami Reddy Int. Journal of Engineering Research and Applications, ISSN : 2248-9622, Vol. 3, Issue 6, Nov-Dec 2013, pp.1262-1270

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [12] Vijay kumar Singh Antibacterial Activity of Leaves of BAMBOO International Journal of Pharma and Bio Sciences VI(2) 2010
- [13] Tingjulu<sup>a</sup>, Shimeng Liu<sup>a</sup>, Man Jiang<sup>a</sup>, Xiaoling Xu<sup>a</sup>, Yong Wang<sup>a</sup>, Zeyong Wang<sup>a</sup>, Jan Gou<sup>b</sup>, David Hui<sup>c</sup>, Zuowan Zhou<sup>a,c</sup> “Effect of surface modification of bamboo cellulose fibers on mechanical properties of cellulose/epoxy composites” Journal of 2014 Elsevier Ltd. Composites: Part B 62 (2014) 191–197
- [14] ญัตติชูชญาภา ชนวัฒนาศิริกุล ชเนศ รัตนวิไล และ กลางเดือน โพชนา, วัสดุไม้พลาสติกจากไม้ปาเล็มและ HDPE. บทความวิจัย วิศวกรรมสาร มข. ปีที่ 38 ฉบับที่ 3 (285 -296) กรกฎาคม – กันยายน 2554
- [15] วณิชกุล เพ็ญบัวขาว, 2550. สมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ ผ่านกระบวนการขึ้นรูปใหม่โดยมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารเติมแต่ง. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- [16] ชวัฒน์ สร้อยทอง, 2557. วัสดุคอมโพสิตด้วยเส้นใยธรรมชาติสำหรับการใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์. มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- [17] วีระชัย ลามอ, การทดสอบความแข็ง. (ออนไลน์) สืบค้นจาก [http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/pep\\_5\\_2550\\_hardness.pdf](http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/pep_5_2550_hardness.pdf) (วันที่ 5 มิถุนายน 2558) รศ.ดร.จตุพร วุฒิกนก กาญจน์ คณะ, เอกสารประกอบการสอน วิชา MTT656 Polymer Characterization and Analysis. พลังงาน สิ่งแวดล้อมและวัสดุ (มจร.)
- [18] Scanning Electron Microscope, (ออนไลน์) สืบค้นจาก <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit4-5.html> (วันที่ 7 มิถุนายน 2558)
- [19] Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy, (ออนไลน์) สืบค้นจาก [http://digi.library.tu.ac.th/thesis/ra/0126/19APPENDIX\\_E.pdf](http://digi.library.tu.ac.th/thesis/ra/0126/19APPENDIX_E.pdf) (วันที่ 7 มิถุนายน 2558)
- [20] การทดสอบการต้านเชื้อ, (ออนไลน์) สืบค้นจาก <http://www.lib.ku.ac.th/KUthesis/2552/ThitikornDUA/ThitikornDUAAll.pdf> (วันที่ 7 มิถุนายน 2558)

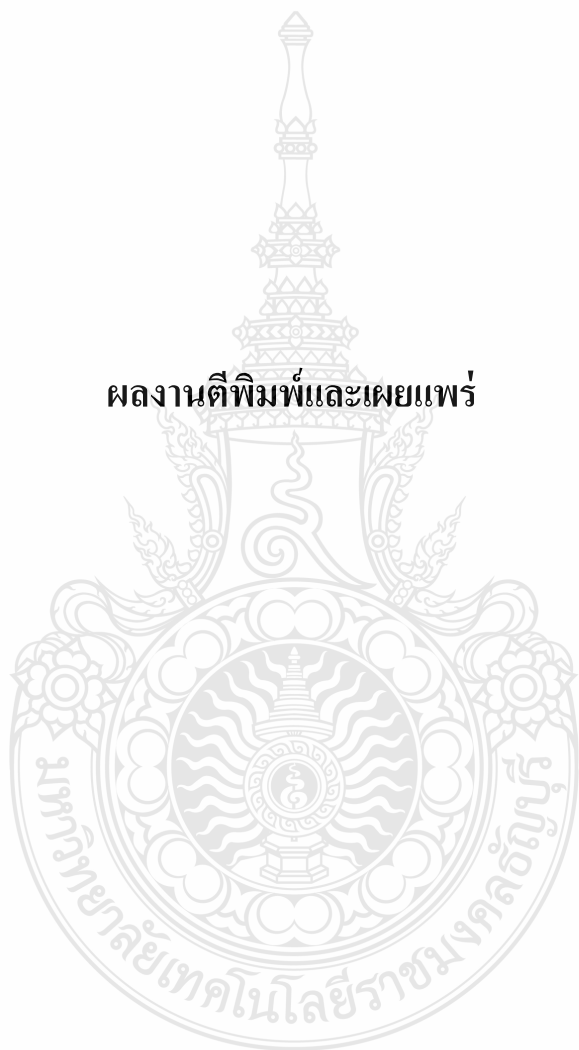
## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [21] เฉศรา แก้วคง, เลิศณรงค์ ศรีพนม, เจ๊ะฮาซันเจ๊ะอุบง, ศิริวรรณดีฎ, การสังเคราะห์และตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของอนุภาคนาโนเงินที่สังเคราะห์โดยวิธีรีดักชันทางเคมี, Science and Technology RMUTT Journal, Vol.4 No.2 (2014): 1-10.
- [22] F.Z. Arrakhiz, M. El Achaby, M. Malha, M.O. Bensalah, O. Fassi-Fehri, R. Bouhfid, K. Benmoussa, A. Qaiss, “Mechanical and thermal properties of natural fibers reinforced polymer composites: Doum/low density polyethylene” Journal Materials and Design 43 (2013) 200–205
- [23] M. Zampaloni, F. Pourboghra, S.A. Yankovich, B.N. Rodgers, J. Moore, L.T. Drzal, A.K. Mohanty, M. Misra, “Kenaf natural fiber reinforced polypropylene composites: A discussion on manufacturing problems and solutions”, Journal Composites: Part A 38 (2007) 1569–1580
- [24] Na Lu, Shubhashini Oza, “A comparative study of the mechanical properties of hemp fiber with virgin and recycled high density polyethylene matrix”, Journal Composites: Part B 45 (2013) 1651–1656
- [25] การทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ ตอนที่ 1 เครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์, (ออนไลน์) สืบค้นจาก <http://www0.tint.or.th/nkc/nkc51/nkc5102/nkc5102t.html> (วันที่ 7 มิถุนายน 2558)
- [26] A. Jorda-Vilaplana, A. Carbonell-Verdú, M.D. Samper, A. Pop, D. Garcia-Sanoguera, “Development and characterization of a new natural fiber reinforced thermoplastic (NFRP) with Cortaderia selloana (Pampa grass) short fibers”, Journal Composites Science and Technology 145 (2017) 1-9
- [27] ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์, วิมลลักษณ์ สุตะพันธ์, นิธินาด สุภกาญจน์, 2555. การตกผลึกของหญ้าแฝก-พอลิแลคติกแอซิดคอมโพสิต

ภาคผนวก



**ผลงานตีพิมพ์และเผยแพร่**



Proceedings of IE Network Conference

เอกสารรวมบทความการประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม

# IE NETWORK CONFERENCE 2015

6-7 August 2015 The Emerald Hotel Bangkok



Academics-Industrial Research Collaborations in order to be  
Excellence in ASEAN

การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2558

ASEAN  
Economic  
Community

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม  
มหาวิทยาลัยศิลปากร



Minitab



**คณะกรรมการ**  
**คณะกรรมการดำเนินการ**

**มหาวิทยาลัยศิลปากร**

1. อธิการบดีมหาวิทยาลัยศิลปากร	ที่ปรึกษา
2. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม	ที่ปรึกษา
3. รองศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร	ประธานกรรมการ
4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์จันทร์เพ็ญ อนุรัตน์านนท์	กรรมการ
5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปฎิพัทธ์ หงษ์สุวรรณ	กรรมการ
6. ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันชัย ลีลากวีวงศ์	กรรมการ
7. ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุชุม โฆษิตชัยมงคล	กรรมการ
8. ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุวัฒน์ เนรโต	กรรมการ
9. อาจารย์ ดร.กัญจนา ทองสนิท	กรรมการ
10. อาจารย์ ดร.คเนศ พลอยตัญญู	กรรมการ
11. อาจารย์ ดร.ชูศักดิ์ พรสิงห์	กรรมการ
12. อาจารย์ ดร.วรฤทัย ชูเกียรติ	กรรมการ
13. อาจารย์ ดร.สิทธิชัย แซ่เหล่ม	กรรมการ
14. อาจารย์ ดร.สุจินต์ วุฒิชัยวัฒน์	กรรมการ
15. อาจารย์ ธนาธร เกรอด	กรรมการ
16. อาจารย์ บัญญัติ พันธุ์ประสิทธิ์เวช	กรรมการ
17. อาจารย์ มนตรี พิพัฒน์ไพบูลย์	กรรมการ
18. อาจารย์วิรัช จันทรักษา	กรรมการ
19. นางสาวนวลอนงค์ สาโคตร	กรรมการ
20. นางสาวเปรมทิพย์ อิมเอิบปฐม	กรรมการ
21. นางสาวณัฐธิดา นกมลศิริ	กรรมการ
22. นายเจน พลินทร์สุคนธ์	กรรมการ
23. นายธรรเชชา ศักดิ์เพ็ญนนท์	กรรมการ
24. นายสรวิทย์ เชื้อพิสุทธิกุล	กรรมการ
25. นางสาวชยานิษฐ์ ตั้งธนาโชติพัฒน์	กรรมการ
26. อาจารย์ กวินธร สัยเจริญ	กรรมการและเลขานุการ



### คณะกรรมการฝ่ายบทความ

- |                                       |                     |
|---------------------------------------|---------------------|
| 1. อาจารย์ ดร.ชูศักดิ์ พรสิงห์        | ประธานกรรมการ       |
| 2. รองศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร | กรรมการ             |
| 3. อาจารย์ ดร.กัญญา ทองสนิท           | กรรมการ             |
| 4. นายสรวิทย์ เชื้อพิสุทธิกุล         | กรรมการ             |
| 5. นางสาวเปรมทิพย์ อิ่มเอิบปฐม        | กรรมการและเลขานุการ |

### คณะกรรมการฝ่ายสื่อการพิมพ์ ประชาสัมพันธ์ และระบบสารสนเทศ

- |                                       |                     |
|---------------------------------------|---------------------|
| 1. รองศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร | ประธานกรรมการ       |
| 2. อาจารย์ ดร.วรฤทัย ชูเกียรติ        | กรรมการ             |
| 3. อาจารย์ กวินธร สัยเจริญ            | กรรมการ             |
| 4. นางสาวณัฐริดา นฤมลศิริ             | กรรมการ             |
| 5. นายสรวิทย์ เชื้อพิสุทธิกุล         | กรรมการและเลขานุการ |

### คณะกรรมการฝ่ายติดต่อผู้สนับสนุนการจัดประชุมวิชาการ

- |  |                     |
|--|---------------------|
| 1. รองศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร          | ประธานกรรมการ       |
| 2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จันทรีเพ็ญ อนรรังคนานนท์ | กรรมการ             |
| 3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปฏิพัทธ์ หงษ์สุวรรณ      | กรรมการ             |
| 4. อาจารย์ ดร.คเนศ พลอยคณีย์                   | กรรมการ             |
| 5. อาจารย์ ดร.วรฤทัย ชูเกียรติ                 | กรรมการ             |
| 6. นางสาวชยานันธุ์ ตั้งธนาโชติพัฒน์            | กรรมการและเลขานุการ |

### คณะกรรมการฝ่ายการเงินและบัญชี

- |   |                     |
|---|---------------------|
| 1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปฏิพัทธ์ หงษ์สุวรรณ | ประธานกรรมการ       |
| 2. รองศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร     | กรรมการ             |
| 3. อาจารย์ ดร.ชูศักดิ์ พรสิงห์            | กรรมการ             |
| 4. อาจารย์ กวินธร สัยเจริญ                | กรรมการ             |
| 5. นางสาวชยานันธุ์ ตั้งธนาโชติพัฒน์       | กรรมการ             |
| 6. นางสาวเปรมทิพย์ อิ่มเอิบปฐม            | กรรมการ             |
| 7. นางสาวนวลอนงค์ สาโคตร                  | กรรมการและเลขานุการ |

**คณะกรรมการฝ่ายเลี้ยงต้อนรับและพิธีการ**

1. อาจารย์ กวินธร สัยเจริญ	ประธานกรรมการ
2. อาจารย์ ดร.คณศ พลอยदनัย	กรรมการ
3. อาจารย์ ดร.วรฤทัย ชูเกียรติ	กรรมการ
4. อาจารย์ ดร.ชูศักดิ์ พรสิงห์	กรรมการ
5. อาจารย์ บัญญัติ พันธุ์ประสิทธิ์เวช	กรรมการ
6. นางสาวชยานันธุ์ ตั้งธนาโชติพัฒน์	กรรมการ
7. นายสรวิทย์ เชื้อพิสุทธิกุล	กรรมการ
8. นางสาวณัฐธิดา นฤมลสิริ	กรรมการและเลขานุการ

**คณะกรรมการฝ่ายเลขานุการ ลงทะเบียน สถานที่ และของที่ระลึก**

1. อาจารย์ ดร.วรฤทัย ชูเกียรติ	ประธานกรรมการ
2. อาจารย์ ดร.กัญจนา ทองสนิท	กรรมการ
3. อาจารย์ กวินธร สัยเจริญ	กรรมการ
4. อาจารย์ บัญญัติ พันธุ์ประสิทธิ์เวช	กรรมการ
5. นางสาวนวลอนงค์ สาโคตร	กรรมการ
6. นางสาวเปรมทิพย์ อิ่มเอิบปฐม	กรรมการ
7. นางสาวณัฐธิดา นฤมลสิริ	กรรมการ
8. นายเจน พลินทรสุคนธ์	กรรมการ
9. นายธรรเชชา คำแพงนนท์	กรรมการ
10. นายสรวิทย์ เชื้อพิสุทธิกุล	กรรมการ
11. นางสาวชยานันธุ์ ตั้งธนาโชติพัฒน์	กรรมการและเลขานุการ

**คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความทางวิชาการ**

1. รศ.ดร.ประจวบ กล่อมจิตร	มหาวิทยาลัยศิลปากร	ประธานกรรมการ
2. ผศ.จันทร์เพ็ญ อนุรัตน์นนท์	มหาวิทยาลัยศิลปากร	กรรมการ
3. ผศ.วันชัย ลีลาภวิวงศ์	มหาวิทยาลัยศิลปากร	กรรมการ
4. อ.ดร.กัญจนา ทองสนิท	มหาวิทยาลัยศิลปากร	กรรมการ
5. อ.ดร.คณศ พลอยदनัย	มหาวิทยาลัยศิลปากร	กรรมการ
6. อ.ดร.ชูศักดิ์ พรสิงห์	มหาวิทยาลัยศิลปากร	กรรมการ
7. อ.ดร.วรฤทัย ชูเกียรติ	มหาวิทยาลัยศิลปากร	กรรมการ
8. อ.ดร.สิทธิชัย แซ่เหล่ม	มหาวิทยาลัยศิลปากร	กรรมการ

9.	ผศ.ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	กรรมการ
10.	ผศ.ดร.ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	กรรมการ
11.	อ.ดร.โอฬาร กิตติศิริพรชัย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	กรรมการ
12.	อ.ดร.พิศิษฐ์ จารุมณีโรจน์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	กรรมการ
13.	อ.ดร.ไพโรจน์ อดาวิจิตรกุล	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	กรรมการ
14.	รศ.ดร.จิตรา รุ้กกิจการพานิช	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	กรรมการ
15.	รศ.ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตลิตเจริญ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	กรรมการ
16.	ผศ.ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	กรรมการ
17.	ผศ.ดร.วิสุทธิ สุพิทักษ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน	กรรมการ
18.	อ.ดร.วรุณี หวังวัชรกุล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน	กรรมการ
19.	ผศ.ดร.ชนะ รักษศิริ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน	กรรมการ
20.	อ.ปริญญา พัฒนสันต์พร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน	กรรมการ
21.	อ.ชัยมงคล ลิ้มเพียรชอบ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน	กรรมการ
22.	รศ.ดร.นิเวศ เจริญใจ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	กรรมการ
23.	รศ.ดร.เศรษฐ์ สัมภิตตะกุล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	กรรมการ
24.	อ.ดร.อนิรุท ไชยจาวุธนิช	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	กรรมการ
25.	ผศ.ดร.กรกฎ ไยบัวเทศ ทิพย์วงค์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	กรรมการ
26.	อ.ดร.วสุวัชร นาคเขียว	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	กรรมการ
27.	อ.ดร.วิภา วิลิทธิพานิช	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	กรรมการ
28.	ผศ.ดร.รุ่งฉัตร ชมภูอินไหว	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	กรรมการ
29.	รศ.ดร.คมกฤต เล็กสกุล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	กรรมการ
30.	รศ.ดร.อภิชาติ โสภางค์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	กรรมการ
31.	อ.ดร.ชนม์เจริญ แสงรัตน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	กรรมการ
32.	ผศ.ดร.วิชาญ ช่วยพันธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ	กรรมการ
33.	อ.ดร.ฤทธิชัย เถาเนียม	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ	กรรมการ
34.	ผศ.ดร.พิชัย จันทรมณี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ	กรรมการ
35.	รศ.ดร.ณฐา คุปต์เชษฐียร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	กรรมการ
36.	อ.ดร.ระพี กาญจนะ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	กรรมการ
37.	ผศ.สุรัตน์ ตริยวนพงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	กรรมการ
38.	อ.ดร.อนันท์ มิมนต์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	กรรมการ
39.	ผศ.ดร.ศิริชัย ต่อสกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	กรรมการ
40.	ผศ.ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	กรรมการ
41.	อ.ดร.ชัยยะ ปราณิตพลกรัง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	กรรมการ
42.	ผศ.ศุภเอก ประมูลมาก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	กรรมการ
43.	ผศ.ศรีโร จารุกัญญา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	กรรมการ
44.	ผศ.กฤษณะ ทอศรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี	กรรมการ
45.	ผศ.จตุพร ใจดำรงค์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	กรรมการ
46.	ผศ.ยงยุทธ ดุลยกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	กรรมการ
47.	ผศ.เดช เหมื่อนขาว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	กรรมการ

48.	ผศ.ดร.ปณิธาน พีรพัฒนา	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	กรรมการ
49.	ผศ.ดร.วิวัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	กรรมการ
50.	รศ.ดร.พรเทพ ขอบชายเกียรติ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	กรรมการ
51.	ผศ.ดร.สุของค์ณา แกล่งกันต์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	กรรมการ
52.	รศ.ดร.ศิรินทร์ สุธาโต	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	กรรมการ
53.	รศ.ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	กรรมการ
54.	รศ.ดร.กาญจนา เศรษฐ์นันท์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	กรรมการ
55.	ผศ.ดร.ปาพจน์ เจริญอภิบาล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	กรรมการ
56.	ผศ.ดร.ธนา ราษฎร์ภักดิ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	กรรมการ
57.	ผศ.ดร.คมกฤษ บิตติภรณ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	กรรมการ
58.	ผศ.ดร.จิรวรรณ คล้อยภักดิ์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	กรรมการ
59.	รศ.ดร.วุฒิชัย วงษ์ทัศนีย์กร	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	กรรมการ
60.	รศ.ดร.บุษบา พงษ์พานิชรัตน์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	กรรมการ
61.	รศ.ดร.เสมอจิตร์ หอมรสสุคนธ์	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	กรรมการ
62.	ผศ.ดร.ภาณุ บูรณจารุกร	มหาวิทยาลัยนเรศวร	กรรมการ
63.	อ.ดร.ขวัญนิจ คำเมือง	มหาวิทยาลัยนเรศวร	กรรมการ
64.	ผศ.ศรีสัจจา วิทศศักดิ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร	กรรมการ
65.	ผศ.ศิษฏา สิมารักษ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร	กรรมการ
66.	รศ.ดร.เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล	มหาวิทยาลัยบูรพา	กรรมการ
67.	ผศ.ธีรวัฒน์ สมสิริกาญจนคุณ	มหาวิทยาลัยบูรพา	กรรมการ
68.	อ.ดร.ฤฎาวัลย์ จันทร์สา	มหาวิทยาลัยบูรพา	กรรมการ
69.	ผศ.ดร. บรรหาญ ลีลา	มหาวิทยาลัยบูรพา	กรรมการ
70.	อ.ดร.จักรวาล คุณะติลภ	มหาวิทยาลัยบูรพา	กรรมการ
71.	ผศ.จันทร์หา นาควชิระกุล	มหาวิทยาลัยบูรพา	กรรมการ
72.	อ.ดร.กฤษดา ประสพชัยชนะ	มหาวิทยาลัยบูรพา	กรรมการ
73.	อ.ดร.ปัญชา อริยะจรรยา	มหาวิทยาลัยบูรพา	กรรมการ
74.	อ.ดร.วรัตถา อุทัยรัตน์	มหาวิทยาลัยบูรพา	กรรมการ
75.	อ.ดร.สุนิสา คำสุข	มหาวิทยาลัยบูรพา	กรรมการ
76.	อ.ดร.ทองศักดิ์ เทพสนธิ์	มหาวิทยาลัยบูรพา	กรรมการ
77.	อ.ดร.สัญญา ยิ้มศิริ	มหาวิทยาลัยบูรพา	กรรมการ
78.	อ.ดร.ศุภชัย ราษฎร์ศิริ	มหาวิทยาลัยมหิดล	กรรมการ
79.	อ.ธนา สาตรา	มหาวิทยาลัยมหิดล	กรรมการ
80.	ผศ.ดร.รณชัย ศิโรเวรกุล	มหาวิทยาลัยมหิดล	กรรมการ
81.	อ.ดร.จิรพรรณ เลียงโรคาพาธ	มหาวิทยาลัยมหิดล	กรรมการ
82.	รศ.ดร.ดวงพรรณ ศงคารินทร์	มหาวิทยาลัยมหิดล	กรรมการ
83.	ผศ.ดวงยศ สุภักดิ์	มหาวิทยาลัยมหิดล	กรรมการ
84.	ผศ.ดร.เพ็ญจันทร์ จริงจิตร์	มหาวิทยาลัยรังสิต	กรรมการ
85.	อ.ดร.พิษณุ มนต์ปิติ	มหาวิทยาลัยรังสิต	กรรมการ
86.	ผศ.ดร.ธนวรรณ อัคราไพบูลย์	มหาวิทยาลัยรังสิต	กรรมการ

87.	อ.ต่อศักดิ์ อุทัยไขฟ้า	มหาวิทยาลัยรังสิต	กรรมการ
88.	อ.ศิลปชัย วัฒนเสย	มหาวิทยาลัยรังสิต	กรรมการ
89.	อ.พรศพงษ์ แก่นณรงค์	มหาวิทยาลัยรังสิต	กรรมการ
90.	อ.สายสุนีย์ พงษ์พัฒนศึกษา	มหาวิทยาลัยรังสิต	กรรมการ
91.	อ.สมพร พรหมดวง	มหาวิทยาลัยรังสิต	กรรมการ
92.	อ.ประพล จิวะพรทิพย์	มหาวิทยาลัยรังสิต	กรรมการ
93.	ผศ.นุกูล อุบลบาน	มหาวิทยาลัยรามคำแหง	กรรมการ
94.	ผศ.พิศิษฐ์ แสง-ชูโต	มหาวิทยาลัยรามคำแหง	กรรมการ
95.	ผศ.ดร.กฤษดา พิศลยบุตร	มหาวิทยาลัยรามคำแหง	กรรมการ
96.	อ.ดร.เลิศเลขา ธนะชัยพันธ์	มหาวิทยาลัยรามคำแหง	กรรมการ
97.	ผศ.ดร.เจริญ เจตวิจิตร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	กรรมการ
98.	รศ.ดร.เสกสรร สุธรรมานนท์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	กรรมการ
99.	รศ.ดร.ธเนศ รัตนวิไล	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	กรรมการ
100.	รศ.ดร.สมชาย ชูโณม	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	กรรมการ
101.	รศ.ดร.วนิดา รัตนเมธี	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	กรรมการ
102.	ผศ.ดร.อรุณ สังขพงศ์	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	กรรมการ
103.	ผศ.ดร.กลางเดือน โพชนา	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	กรรมการ
104.	ผศ.สงวน ตั้งโพธิธรรม	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	กรรมการ
105.	ผศ.พีเชษฐ ตระการชัยศิริ	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	กรรมการ
106.	อ.ดร.วันรัฐพงษ์ คงแก้ว	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	กรรมการ
107.	ผศ.ดร.ชนะ เบียงกมลสิงห์	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย	กรรมการ
108.	ผศ.ดร.กาญจนา กาญจนสุนทร	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย	กรรมการ
109.	อ.ดร.วิวัฒน์ พงษ์กานนท์	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย	กรรมการ
110.	อ.อรอุมา กอสนาน	มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย	กรรมการ
111.	อ.จรุงรัตน์ พันธุ์สุวรรณ	มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย	กรรมการ
112.	อ.วรลักษณ์ เสถียรรังษะภูฏี	มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย	กรรมการ
113.	รศ.ดร.ระพีพันธ์ ปิตากระไล	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี	กรรมการ
114.	ผศ.ดร.นุชสรา เกรียงกรกฎ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี	กรรมการ
115.	อ.ดร.จริยาภรณ์ อุ่นวงษ์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี	กรรมการ
116.	อ.ดร.ธารชุตตา พันธุ์นุกูล	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี	กรรมการ
117.	อ.ดร.ปรีชา เกรียงกรกฎ	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี	กรรมการ
118.	ผศ.ดร.สมบัติ สิ้นธุ์ไขว่น	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี	กรรมการ
119.	ผศ.ดร.นลิน เพียรทอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี	กรรมการ
120.	ผศ.ดร.วิภู ศรีสืบสาย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	กรรมการ
121.	รศ.ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	กรรมการ
122.	รศ.ดร.ฤดี มาสุจันทร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	กรรมการ
123.	รศ.ดร.ภรณ์ชัย กัลยาศิริ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	กรรมการ
124.	รศ.ดร.สกันธ์ คล่องบุญจิต	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	กรรมการ
125.	อ.อรดี พงศ์ศิริณนนท์	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต	กรรมการ

126.	ผศ.ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต	กรรมการ
127.	อ.ดร.สัณหะ รัฐวิบูลย์	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต	กรรมการ
128.	อ.ดร.ณัฐพัชร อารีรัชกุลกานต์	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต	กรรมการ
129.	อ.ดร.สมหญิง งามพรประเสริฐ	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต	กรรมการ
130.	ผศ.ดร.ปัญญา พิทักษ์กุล	มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต	กรรมการ
131.	ผศ.ดร.ไพฑูรย์ ศิริโอฬาร	สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์	กรรมการ
132.	อ.ชลิตา ชาญวิจิตร	สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์	กรรมการ
133.	อ.จุฑาทิพย์ สีสานนพิพัฒน์	สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์	กรรมการ
134.	ผศ.ดร.วิชัย รุ่งเรืองอนันต์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	กรรมการ
135.	ผศ.นราธิป แสงซ้าย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	กรรมการ
136.	ผศ.ดร.สุพัฒตรา เกษราพงศ์	มหาวิทยาลัยศรีปทุม	กรรมการ



แผ่นอัดเชิงประกอบจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและเส้นใยเพ็ก  
สำหรับงานตกแต่งภายใน  
High Density Polyethylene/Vietamosasa Pusilla Fiber composite plate  
for decoration application

สุปราณี เสือดาว<sup>1</sup>, สุมนมาลัย เนียมหลวง\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ 1 อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110 โทรศัพท์ : 02 549 3403

E-mail: [sumonman.n@en.rmutt.ac.th](mailto:sumonman.n@en.rmutt.ac.th)\*

Supranee Suadaow<sup>1</sup>, Sumonman Naimlang<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Material and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110

E-mail: [sumonman.n@en.rmutt.ac.th](mailto:sumonman.n@en.rmutt.ac.th)\*

บทคัดย่อ

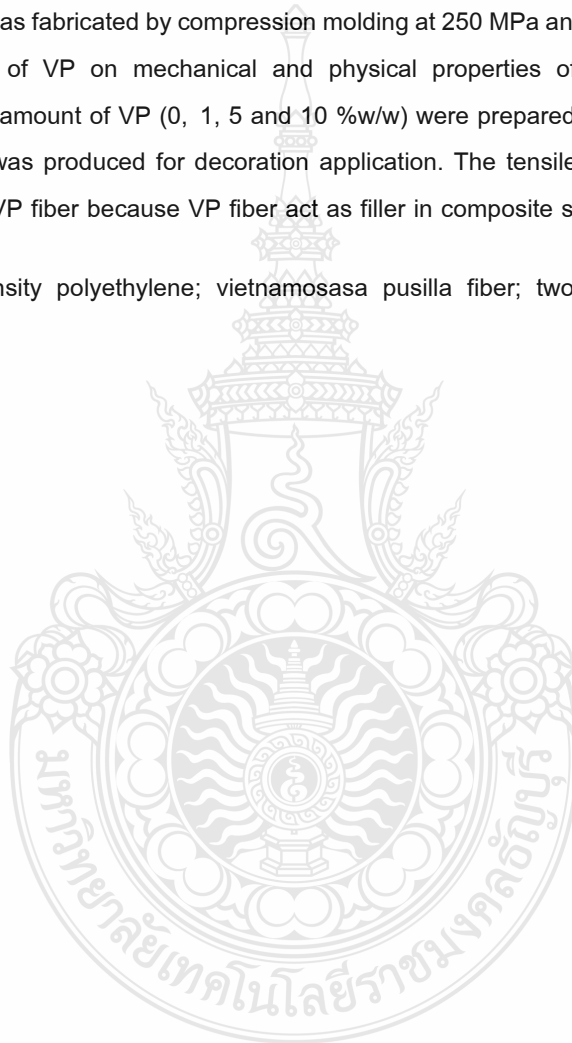
หญ้าเพ็ก (Vietamosasa Pusilla, VP) เป็นไม้พุ่มคล้ายพืชตระกูลไผ่ มีการขยายพันธุ์ได้เองและ  
รวดเร็วมาก เป็นวัชพืชที่กำจัดยากเนื่องจากมีความเหนียวสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะนำวัชพืชที่เป็น  
ปัญหาของเกษตรกรมาก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มโดยการนำมาพัฒนาเป็นแผ่นอัดเชิงประกอบกับพอลิเอทิลีน  
ชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) สำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในงานตกแต่ง  
ภายในนั้น ใบหญ้าเพ็กนั้นจะถูกตัดให้เล็กหลังจากนั้นนำไปแช่ในสารละลายไฮโดรคลอริก ความ  
เข้มข้น 5% w/w เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 5%w/w  
เป็นเวลา 10 ชั่วโมง หลังจากนั้นล้างเส้นใยที่สกัดได้ด้วยน้ำกลั่นจนมีค่า pH 7 อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ  
60 °C 24 ชั่วโมง แล้วนำเส้นใยที่ได้ไปบดและร่อนแยกขนาด นำเส้นใยที่ได้ไปผสมกับพอลิเอทิลีนชนิด  
ความหนาแน่นสูงด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) และขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องอัดเบ้า  
แบบไฮดรอลิกที่ความดัน 250 MPa อุณหภูมิ 190 °C เพื่อศึกษาผลของปริมาณเส้นใยเพ็กต่อสมบัติเชิงกล  
ของแผ่นอัดที่ขึ้นรูปได้ แผ่นอัดเชิงประกอบจึงถูกขึ้นรูปที่ปริมาณของเส้นใยเพ็กต่าง ๆ คือ 0, 1, 5 และ  
10 %w/w แผ่นอัดที่ขึ้นรูปได้แสดงนั้นมีลักษณะลวดลายคล้ายแผ่นหินอ่อน มีสีเขียวสวยงาม และเมื่อนำ  
ชิ้นงานมาทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าสมบัติการทนต่อแรงดึงนั้นสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของเส้นใยเพ็กลงไป  
เนื่องจากเส้นใยเพ็กนั้นเข้าไปเสริมแรงให้กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

**คำหลัก:** พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง; เส้นใยเพ็ก; เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง; เครื่องอัดเบ้า  
แบบไฮดรอลิก

**Abstract**

The vietnamosasa pusilla, VP is one of a herbicide plant which has high growth rate and toughness thus it is the major problem for farmer. To increase the useless VP benefit, high density polyethylene/ vietnamosasa pusilla (HDPE/VP) composite was prepared for decoration applications in this research work. VP leaf was first immersed in 5%w/w of HCL solution for 24 hr and then was immersed in 5%w/w of NaOH solution for 10 hr. The extract fiber was dried in oven at 60 °C for 24 hr. Dry extracted VP fiber was grinded and sieved. VP fiber mix with HDPE by two roll mill. The HDPE/VP composite was fabricated by compression molding at 250 MPa and 190 °C. To investigate the effect of amount of VP on mechanical and physical properties of composite, HDPE/VP composites at various amount of VP (0, 1, 5 and 10 %w/w) were prepared. The green marble like HDPE/VP composite was produced for decoration application. The tensile strength increase with increasing amount of VP fiber because VP fiber act as filler in composite system.

**Keywords:** high density polyethylene; vietnamosasa pusilla fiber; two roll mill; compression molding





## 1. บทนำ

หญ้าเพ็ก มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ (Vietnamosasa Pusilla, VP) มีลักษณะทั่วไปเป็นไม้พุ่มคล้ายพืชตระกูลไผ่ ส่วนมากจะพบหญ้าเพ็กขึ้นในที่ดอนและในพื้นที่ริมภายในป่าโปร่ง หญ้าเพ็กมีสมบัติทนต่อสภาพแห้งแล้งและการถูกไฟเผา มีการขยายพันธุ์ได้เองและรวดเร็วมากแต่หญ้าชนิดนี้จะเหี่ยวเฉาได้ง่าย[1] ในงานเกษตรกรรมหญ้าเพ็กเป็นวัชพืชที่ทนต่อสภาพแห้งแล้งได้ดีมากและไม่สามารถนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ เนื่องจากมีความแข็งและความเหนียวสูงเกิน ดังนั้นจึงเป็นพืชที่เหมาะสมกับการนำมาพัฒนาเพิ่มมูลค่าโดยการนำวัชพืชที่เป็นศัตรูสำหรับเกษตรกรรม โดยนำมาเพิ่มมูลค่าเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ในปัจจุบันพลาสติกเข้ามามีบทบาทมากในชีวิตประจำวัน เนื่องจากคุณสมบัติของพลาสติกนั้นดีกว่าวัสดุชนิดอื่นๆ เช่น เหล็ก ไม้ ด้วยคุณสมบัติที่โดดเด่นของพลาสติกทำให้มีการต้องการเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้มีการแข่งขันในการพัฒนาผลิตภัณฑ์และทำการเพิ่มคุณสมบัติต่างๆในพลาสติกเพื่อนำไปใช้ให้เหมาะสมกับงานมากที่สุด[1] โดยวิธีที่เราเลือกใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของพลาสติกให้ดีขึ้นคือ การนำพลาสติกผสมกับเส้นใยธรรมชาติ เช่น กากมะพร้าว, ฟางข้าว, กากกาแฟ หรือเส้นใยกล้วย [2-4] ในพลาสติก พบว่าเมื่อเติมสมบัติเชิงกลดีขึ้นกว่าในระบบที่ไม่ได้เติมสารเติมแต่งเข้าไป อีกทั้งยังใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติลงไปในพลาสติกเพิ่มมูลค่าทางด้านสิ่งแวดล้อมในผลิตภัณฑ์อีกด้วย

ในงานวิจัยนี้สนใจที่จะเพิ่มประสิทธิภาพกับพลาสติก พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) ซึ่งเป็นพลาสติกที่มีปริมาณการใช้มากในประเทศไทย เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปสำหรับนำไปพัฒนาเป็นวัสดุตกแต่งภายใน และศึกษาผลของสัดส่วนของเส้นใยเพ็กต่อสมบัติเชิงกล โดยงานวิจัยนี้จะศึกษาผลของสัดส่วนเส้นใยเพ็กในวัสดุเชิงประกอบต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่ขึ้นรูปได้ที่มีสมบัติเชิงกลสูงและนำไปใช้เป็นวัสดุตกแต่งภายใน

## 2. วิธีการดำเนินการทดลอง

### 2.1 ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยเพ็ก

ในการเตรียมเส้นใยเพ็กจะต้องทำการริดใบเพ็กออกจากกิ่งต้นเพ็ก จากนั้นทำการตัดเป็นชิ้นเล็กๆจากต้นนำใบที่ตัดแล้วนำมาแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 5% w/w เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปแช่ในสารละลายโซเดียม ไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 5% w/w เป็นเวลา 10 ชั่วโมง จากนั้นทำการล้างเส้นใยเพ็กจนมีค่า pH เป็น 7 แล้วนำเข้าสู่ตูบเพื่อทำการไล่ความชื้นออกจากเส้นใยที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำเส้นใยที่ได้จากการอบไปบดและร่อนแยกขนาด



(a.) ใบเพ็ก

(b.) เส้นใยเพ็ก

รูปที่ 1 (a.) ใบเพ็ก (b.) เส้นใยเพ็ก

## 2.2 ขั้นตอนการผสมและขึ้นรูป

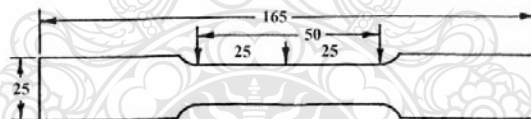
นำเม็ดพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงผสมกับเส้นใยเพ็กตามปริมาณดังนี้ คือ 0, 1, 5 และ 10 %w/w (HDPE, HDPE:VP 1%, HDPE:VP 5%, และ HDPE:VP 10% ตามลำดับ) ทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) หลังจากที่ได้ผสมจนเข้ากันแล้ว นำไปขึ้นเป็นแผ่นโดยเครื่องอัดเข้าแบบไฮดรอลิค (Compression molding) ที่ความดัน 250 MPa อุณหภูมิ 190 °C เป็นเวลา 7 นาที แล้วทำการลดอุณหภูมิของชิ้นด้วยการหล่อเย็น หลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ไปทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล หลังจากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ไปทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

## 2.3 ทดสอบสมบัติการทนแรงดึง (Tensile strength)

ทดสอบหาความสามารถในการทนแรงดึงของพลาสติกด้วยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D638 ในการทดสอบชิ้นงานที่ใช้จะต้องมีขนาด ของชิ้นงานตามรูปที่ 2



รูปที่ 1 การทดสอบสมบัติการทนแรงดึง (Tensile strength)



รูปที่ 2 ขนาดของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการทนแรงดึง

## 2.4 ทดสอบความแข็ง (Hardness)

ทดสอบความสามารถของแผ่นอัดพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงผสมเส้นใยเพ็ก ด้วยวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2240 Shore D



รูปที่ 3 การทดสอบความแข็ง (Hardness)

### 3. ผลและวิเคราะห์ผล

#### 3.1 ลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานที่ขึ้นรูปได้

เนื่องจากงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบระหว่างพลาสติกรีไซเคิลและเส้นใยเพ็กสำหรับใช้ในงานตกแต่งภายใน ดังนั้น หลังจากทำการขึ้นรูปแล้ววัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงชนิดรีไซเคิลและเส้นใยเพ็ก ที่ปริมาณเส้นใยเพ็กต่างๆ ถูกศึกษาลักษณะทางกายภาพดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบ

วัสดุเชิงประกอบ	ลักษณะทางกายภาพ	รูปภาพ
HDPE	แข็งเหนียว สีขาว	
HDPE:V P 1%	แข็งเหนียว ยังสีขาวปนเป็นลายคล้ายหินอ่อน	
HDPE:V P 5%	แข็ง สีน้ำตาล	
HDPE:V P 10%	แข็ง สีน้ำตาลเข้มมาก	

#### 3.2 ผลของปริมาณเส้นใยเพ็กต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ

เพื่อศึกษาผลของปริมาณเส้นใยเพ็กต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงรีไซเคิลและเส้นใยเพ็ก วัสดุเชิงประกอบที่ขึ้นรูปได้ถูกนำมาทดสอบสมบัติเชิงกลได้แก่ การทดสอบการทนแรงดึง และทดสอบความแข็ง และมอดูลัสของยังก็ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ

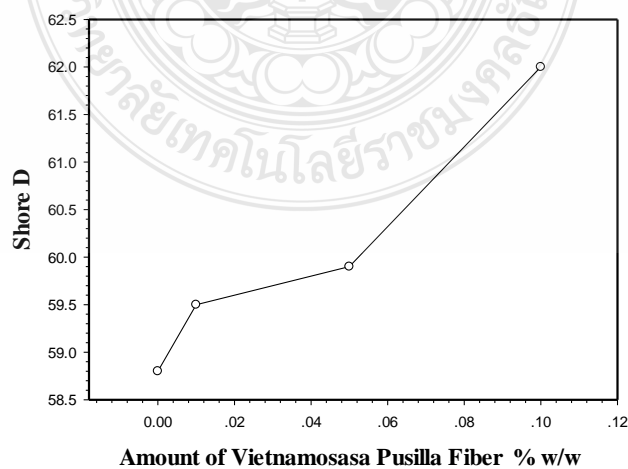
วัสดุ	ความทนแรงดึง (MPa)	มอดูลัสของยัง (MPa)	การยืดตัว ณ จุดขาด(%)
HDPE	27.46	1361.95±121	10.6±1.51
HDPE:VP 1%	26.68	1361.86±120	10.2±1.08
HDPE:VP 5%	27.76	1491.62±106	7.9±1.03
HDPE:VP 10%	26.69	1656.34±114	8.0±1.02

### 3.2.1 ผลการทดสอบแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงรีไซเคิลผสมเส้นใยเพ็ก

ผลจากการทดลองจากที่พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงผสมเส้นใยเพ็ก ในการทดลองได้ทำการเติมเส้นใยเพ็กเพ็กในการเสริมแรงของวัสดุ คือ 0, 1, 5 และ 10 %w/w ผลจากการทดลองพบว่าค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus) ของวัสดุที่ผสมเส้นใยเพ็ก 0, 1, 5 และ 10 %w/w มีค่า 1361, 1361, 1491 และ 1656 MPa ตามลำดับ ซึ่งจากค่าที่ได้สามารถบอกได้ว่าเมื่อเติมเส้นใยเพ็กในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้ความแข็งแรงของวัสดุที่ผสมเส้นใยเพ็กมีความแข็งแรงมากขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด (% Elongation at break) มีค่าลดลง เนื่องจากเนื่องจากการกระจายตัวของเส้นใยในพอลิเมอร์ เนื้อหลักของวัสดุคอมมีค่าลดลง อาจเนื่องมาจากปริมาณเส้นใยเพ็กเป็นตัวที่มีผลทำให้การผสมกันระหว่างเส้นใยเพ็กกับพลาสติกถ้ามีปริมาณเส้นใยมากเกินไปจะทำให้เกิดการขัดขวางของเส้นใยในเมทริกซ์พอลิเมอร์ จึงทำให้วัสดุคอมโพสิตที่ทำการผสมเส้นใยเพ็กสามารถยืดตัวได้น้อยจึงทำให้เกิดการแตกหักได้ง่าย

### 3.2.2. ผลทดสอบความแข็งของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงรีไซเคิลผสมเส้นใยเพ็ก

ผลการทดสอบความสามารถของแผ่นอัดพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงผสมเส้นใยเพ็กที่มีปริมาณ 0, 1, 5 และ 10 %w/w ตามลำดับ ที่แสดงในรูปที่ 4 จะเห็นว่าความความแข็งแรงของวัสดุที่ผสมเส้นใยเพ็กในปริมาณที่มากขึ้นทำให้ความค่าแข็งแรงที่ขึ้นงานเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงและปริมาณเส้นใยเพ็ก

#### 4. บทสรุป

จากการศึกษาพบว่าแผ่นอัดพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงผสมเส้นใยเพ็ก ที่ได้ทำการเตรียมในปริมาณ 0, 1, 5 และ 10 %w/w ซึ่งในปริมาณที่เติมเส้นใยเพ็ก 10 %w/w พบว่าผลจากการทดสอบความแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตที่เตรียมได้มีค่ามอดูลัสของยังเพิ่มมากขึ้นและผลของค่าการทดสอบความแข็งก็มีการเพิ่มขึ้นด้วย แต่เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด มีค่าลดลงอาจเป็นเพราะเมื่อเติมปริมาณเส้นใยลงไปมีการขัดขวางของเมทริกซ์เส้นใยในพอลิเมอร์จึงทำให้วัสดุคอมโพสิตยืดตัวได้น้อย ดังนั้นแผ่นอัดจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและเส้นใยเพ็กจึงเป็นวัสดุอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับวัสดุตกแต่งภายใน เช่น โต๊ะ เก้าอี้ เฟอร์นิเจอร์ในบ้าน ที่สีสนสวยงาม มีสมบัติเชิงกลที่ดี โดยจะต้องทำการศึกษสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียในสภาวะชื้น และประกอบเป็นชิ้นงานตกแต่งภายในเพิ่มเติม

#### กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณกลุ่มวิจัย Advanced Materials Research Group ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีและกลุ่มชาวบ้านอำเภอย้ายเม็ก จังหวัดกาฬสินธุ์สำหรับแหล่งที่มาของหญ้าเพ็ก

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] ไม้เพ็ก, (2011) (ออนไลน์) สืบค้นจาก:  
[http://www.ifarm.in.th/index.php?option=com\\_mtree&task=viewlink&link\\_id=115&Itemid=162](http://www.ifarm.in.th/index.php?option=com_mtree&task=viewlink&link_id=115&Itemid=162). 9 มกราคม 2558.
- [2] อติศักดิ์ ขานทอง, ฤทธิชัย จันทร์คาเรือง, อรรถกฤต ครุฑปักษ์, (2553) การเตรียมและสมบัติเชิงกลบางประการของแผ่นอัดจากวัสดุรีไซเคิล (ขวดน้ำดื่ม HDPE กับกากกาแฟ)
- [3] A. Alavudeen <sup>a</sup>, N. Rajini <sup>a</sup>, S. Karthikeyan <sup>a</sup>, M. Thiruchitrabalam <sup>b</sup>, N. Venkateshwaren <sup>c</sup>, (2014) , Mechanical properties of banana/kenaf fiber-reinforced hybrid polyester composites: Effect of woven fabric and random orientation
- [4] มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์\*, ทิพย์รัตน์ พิฑูรทัศน์, พนิดา พุทธชาติสมบัติ และ รัชมาลินี สุเริงฤทธิ์, (2553) , สมบัติของแผ่นใยไม้อัดจากใยมะพร้าวกับโพลีเอทิลีนผสมสารหน่วงไฟ
- [5] T. Kunanopparat, P. Menut \*, M.-H. Morel, S. Guilbert , (2008) , Reinforcement of plasticized wheat gluten with natural fibers: From mechanical improvement to deplasticizing effect
- [6] Benjamin Bax, Joerg Mu¨ssig \*, (2008) , Impact and tensile properties of PLA/Cordenka and PLA/flax composites

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – สกุล	สุปราณี เสือดาว
วัน เดือน ปีเกิด	19 กันยายน 2533
ที่อยู่	24 หมู่ 10 ตำบลต้นโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดสิงห์บุรี 16000
การศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประสบการณ์การทำงาน	-
เบอร์โทรศัพท์	08-7999-9482
อีเมลล์	supraanee1990@gmail.com

