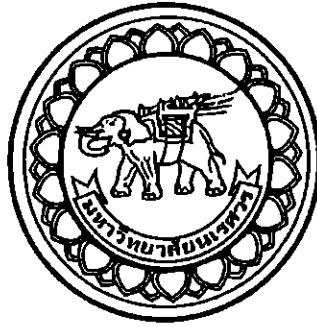




การศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความ
หนาแน่นสูงและเส้นใยฟางข้าว

STUDY ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH - DENSITY
POLYETHYLENE AND RICE STRAW FIBER COMPOSITE

นายปฐมพงศ์ เครือน้ำคำ รหัส 49364660

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ.....- 1. ต.ค. 2555 /
เลขทะเบียน..... 16322554
เลขเรียกหนังสือ..... 76
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ 1629

2555

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ปีการศึกษา 2555



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการ การศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความ
หนาแน่นสูง และเส้นใยฟางข้าว

ผู้ดำเนินโครงการ นายปฐมพงศ์ เครื่องน้ำคำ รหัส 49364660

ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์ศิริกาญจน์ ชันสัมฤทธิ์

สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2555

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

.....ที่ปรึกษาโครงการ
(อาจารย์ศิริกาญจน์ ชันสัมฤทธิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ทศพล ศรีจิราภาพงค์)

.....กรรมการ
(อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ธนิศานต์ ธงชัย)

ชื่อหัวข้อโครงการ	การศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยฟางข้าว
ผู้ดำเนินโครงการ	นายปฐมพงศ์ เครือน้ำคำ รหัส 49364660
ที่ปรึกษาโครงการ	อาจารย์ศิริกาญจน์ ชันสัมฤทธิ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2555

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาสมบัติเชิงกลด้านแรงดึง (Tensile Test) และความโค้งงอ (Flexural Test) ของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High – Density Polyethylene : HDPE) และเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณ 0, 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง จากการศึกษาพบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยฟางข้าวเพิ่มขึ้นส่งผลให้สมบัติด้านมอดูลัสความยืดหยุ่น ความแข็งแรงโค้งงอและค่ามอดูลัสโค้งงอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณฟางข้าวจะส่งผลให้ความแข็งแรงดึง และร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดมีแนวโน้มลดลง

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก อาจารย์ศิริกาญจน์ ชันสัมฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ในการให้ความรู้ คำปรึกษาและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการค้นหาข้อมูล และแนวทางการวิเคราะห์ต่างๆ ตลอดจนสละเวลาให้คำแนะนำทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ที่ดีเยี่ยม และขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงยิ่ง

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทศพล ตรีจุริราภาพงศ์ อาจารย์กฤษฎา พูลสวัสดิ์ และอาจารย์ธนิกันต์ ธงชัย ที่กรุณาสละเวลา เป็นอาจารย์สอนโครงการพร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขโครงการนี้

ครูช่างประเทือง โมราราย ครูช่างธวัชชัย ชูลบุตร ครูช่างรณกฤต แสงผ่อง นักวิทยาศาสตร์ อีสรีย์ วัตถุมภาพ ที่คอยเอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำโครงการ อีกทั้งยังคอยแนะนำการใช้ อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ อย่างถูกต้องอีกด้วย

ขอขอบพระคุณภาคิวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และอบรมสั่งสอนให้คณะผู้จัดทำเป็นคนดีของสังคม

ขอขอบพระคุณเพื่อนทุกคนที่คอยช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และให้คำปรึกษาในการทำโครงการนี้ จำสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ผู้ให้กำเนิด และทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้
คุณค่า และประโยชน์อันพึงมีจากโครงการนี้ ทางผู้จัดทำขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้

คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นายปฐมพงศ์ เครือน้ำคำ

พฤษภาคม 2556

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output).....	1
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome).....	2
1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ.....	2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงการ.....	3
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ.....	3
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินการ (Gantt Chart).....	3
บทที่ 2 หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น.....	4
2.1 วัสดุเชิงประกอบ (Composite Materials).....	4
2.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High-Density Polyethylene: HDPE).....	8
2.3 เส้นใยธรรมชาติ.....	9
2.4 กระบวนการผลิต.....	14
2.5 วิธีการทดสอบ.....	16
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ.....	21
3.1 สารเคมี และวัสดุที่ใช้ในโครงการ.....	21
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในโครงการ.....	22
3.3 วิธีการทดลอง.....	23
3.4 วิธีการทดสอบ.....	24

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล.....	25
4.1 ผลการศึกษาสมบัติเชิงกลด้านแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ ระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณต่าง ๆ.....	25
4.2 ผลการศึกษาสมบัติเชิงกลด้านความโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบ ระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณต่างๆ.....	29
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	31
5.1 สรุปผลงานวิจัย.....	31
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	31
5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางแก้ไข.....	31
เอกสารอ้างอิง.....	32
ภาคผนวก ก.....	33
ภาคผนวก ข.....	44

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 สภาวะการผสมโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดียว (Single Screw Extruder).....	2
1.2 อุณหภูมิในการขึ้นรูปโดยการฉีดขึ้นรูป (Injection Molding).....	2
1.3 ขั้นตอน และแผนการดำเนินการ (Gantt Chart).....	3
2.1 ข้อดี และข้อเสียของวัสดุเชิงประกอบ.....	4
2.2 องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว.....	13
3.1 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เกรด H5818J.....	21
3.2 อัตราส่วนระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเส้นใยฟางข้าว.....	23



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะสายโซ่โมเลกุลของเทอร์โมเซต (Thermoset).....	5
2.2 ลักษณะสายโซ่โมเลกุลของเทอร์โมพลาสติกแบบไม่มีผลึก.....	6
2.3 ลักษณะสายโซ่โมเลกุลของเทอร์โมพลาสติกแบบมีผลึกบางส่วน.....	6
2.4 ตัวอย่างวัสดุเชิงประกอบที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน.....	7
2.5 โครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีน.....	8
2.6 โครงสร้างพอลิเอทิลีนแบบต่างๆ.....	8
2.7 ตัวอย่างภาชนะพลาสติกที่ทำจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....	9
2.8 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูลอส.....	9
2.9 ลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยเซลลูลอส.....	10
2.10 โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูลอส.....	11
2.11 โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน.....	11
2.12 การจัดเรียงตัวของเซลลูลอส เฮมิเซลลูลอส และลิกนินในไม้.....	12
2.13 ฟางข้าว.....	12
2.14 ผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากฟางข้าว.....	13
2.15 เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single Screw Extruder).....	14
2.16 เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill).....	15
2.17 เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding).....	16
2.18 การทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile Test).....	17
2.19 กราฟความเค้น - ความเครียด.....	18
2.20 การทดสอบ Three Point Bending.....	19
3.1 แผนภาพการดำเนินงาน.....	22
3.2 เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Tester).....	24
3.3 ชิ้นงานที่ทดสอบความแข็งแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D638.....	24
3.4 การทดสอบความโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอตามมาตรฐาน ASTM D790.....	25
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบจากพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณต่าง ๆ.....	26
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติมอดุลัสยืดหยุ่นของวัสดุเชิงประกอบจากพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณต่าง ๆ.....	27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติร้อยละการดิ่งยัด ณ จุดขาดของวัสดุเชิงประกอบ จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยพางข้าวที่ปริมาณต่าง ๆ.....	28
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบจาก พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยพางข้าวที่ปริมาณต่าง ๆ.....	29
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดุลัสโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบ จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยพางข้าวที่ปริมาณต่าง ๆ.....	30



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของโครงการ

เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากรโลกและความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ เป็นผลให้ความต้องการผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไม้เป็นวัตถุดิบเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ทรัพยากรป่าไม้ที่มีจำนวนลดลงอย่างต่อเนื่อง จึงได้มีการผลิตวัสดุอื่นเพื่อใช้ทดแทนไม้ โดยมีการนำเอาเศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรมาทำให้มีคุณค่าเป็นวัสดุทดแทนไม้ธรรมชาติหรือผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่าง ๆ

ฟางข้าวจัดเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ปราศจากคุณค่า ในปัจจุบันนี้ยังคงมีความสนใจในการนำเส้นใยเซลลูโลสจากธรรมชาติมาเสริมแรงพลาสติก เพราะมีความปลอดภัยต่อสิ่งมีชีวิต ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ และราคาถูก การใช้ประโยชน์จากฟางข้าวเพื่อทดแทนไม้ ยังมีการพัฒนาฟางข้าวมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแผ่นประกอบชีวภาพ คล้ายคลึงกับแผ่นไม้ประกอบ เช่น แผ่นขึ้นไม้อัด แผ่นใยไม้อัด และแผ่นไม้อัดสารแร่ เป็นต้น โดยแผ่นประกอบชีวภาพนั้น สามารถนำมาผลิตเป็นเครื่องเรือนเครื่องไม้ในครัวเรือนต่าง ๆ ทดแทนไม้จริงตามธรรมชาติ ตลอดจนการศึกษาพัฒนาการผลิตแผ่นพลาสติกเสริมแรงด้วยฟางข้าว เพื่อเป็นวัสดุพอลิเมอร์ชนิดใหม่ ซึ่งขณะนี้ยังอยู่ระหว่างการศึกษาการเตรียมวัสดุเชิงประกอบจากพอลิเมอร์และเส้นใยฟางข้าว เพื่อใช้งานเป็นวัสดุไม้เทียม (กรมป่าไม้, 2555)

ดังนั้นในโครงการนี้งานจะเป็นการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและเส้นใยฟางข้าว โดยจะใช้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเป็นสารพื้นให้กับวัสดุเชิงประกอบเนื่องจากเป็นพลาสติกประเภทหนึ่งที่ยิมนำมาใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ และใช้ฟางข้าวเป็นส่วนเสริมแรง ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร โดยในการศึกษาจะศึกษาด้านปัจจัยของปริมาณเส้นใยฟางข้าวที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลด้านแรงดึง (Tensile Test) และความโค้งงอ (Flexural Test) ของวัสดุเชิงประกอบจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณต่าง ๆ

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

วัสดุเชิงประกอบจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณ 0, 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

สมบัติเชิงกลด้านแรงดึง (Tensile Test) และความโค้งงอ (Flexural Test) ของวัสดุเชิงประกอบจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและเส้นใยพางข้าวที่ปริมาณ 0, 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ

1.5.1 ตัวแปรควบคุม

1.5.1.1 วัตถุดิบ

ก. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High – Density Polyethylene : HDPE)

เกรด H5818J

ข. เส้นใยพางข้าวขนาด 40-50 เมช

1.5.1.2 กระบวนการผลิต

ก. ผสมวัตถุดิบโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw - Extruder) โดยใช้สภาวะการผสมตามตารางที่ 1.1 โดยใช้ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาทีและผสมโดยใช้เครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill) โดยใช้อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียสใช้เวลาในการผสม 10 นาที

ตารางที่ 1.1 สภาวะการผสมโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder)

ช่วงของการผสม	อุณหภูมิ (°C)
Feed Zone	180
Compression Zone	190
Metering Zone	200
Die Zone	200

ที่มา : www.matweb.com (2555)

ข. ขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding) โดยใช้สภาวะการฉีดขึ้นรูปตามตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 สภาวะการฉีดขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding)

ช่วงของการผสม	อุณหภูมิ (°C)
Feed Zone	200
Compression Zone	210
Metering Zone	220
Nozzle Zone	210

ที่มา : www.matweb.com (2555)

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 วัสดุเชิงประกอบ (Composite Materials)

วัสดุเชิงประกอบ (Composite Materials) หมายถึงวัสดุที่ประกอบด้วยส่วนประกอบสองส่วน (หรือมากกว่า) ที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน (Distinct Component) เมื่อผสมเป็นวัสดุเชิงประกอบแล้ว จะมีความแข็งแรงมากกว่า วัสดุเชิงประกอบเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมและมีการใช้งานกันอย่างมาก เนื่องจากวัสดุเชิงประกอบมีสมบัติที่ดีหลายอย่าง จึงมีการนำมาประยุกต์ใช้ในทางด้านวิศวกรรม โดยใช้เป็นวัสดุวิศวกรรม (Engineering Materials) เนื่องจากมีวัสดุเชิงประกอบหลายชนิดและหลายรูปแบบจึงสามารถเลือกใช้ ออกแบบและสร้างวัสดุให้เหมาะสมกับการใช้งานต่าง ๆ จึงทำให้มีการประยุกต์ใช้วัสดุเชิงประกอบอย่างกว้างขวาง จะเห็นได้ว่าวัสดุเชิงประกอบมีมากมายหลายชนิด และมีสมบัติเด่นหลายประการ นอกจากนี้ยังสามารถออกแบบโครงสร้างของวัสดุเชิงประกอบให้เหมาะสมกับการใช้งานต่าง ๆ ซึ่งข้อดีและข้อเสียของวัสดุเชิงประกอบแสดงดังตารางที่ 2.1

การจำแนกประเภทของวัสดุเชิงประกอบสามารถแบ่งได้หลายประเภทขึ้นอยู่กับการใช้หลักเกณฑ์ที่แตกต่างกัน ตัวอย่างการจำแนกประเภทของวัสดุเชิงประกอบที่นิยมใช้คือแบ่งตามประเภทของเนื้อพื้น (Matrix) ได้ 3 ประเภท คือ วัสดุเชิงประกอบที่มีพอลิเมอร์เป็นส่วนผสมหลัก (Polymer Matrix Composites, PMCs) เป็นวัสดุเชิงประกอบที่ใช้พอลิเมอร์เป็นเนื้อพื้น และใช้งานกันอย่างแพร่หลายในชีวิตประจำวัน วัสดุเชิงประกอบที่ใช้โลหะเป็นส่วนผสมหลัก (Metal Matrix-Composites, MMCs) เป็นวัสดุเชิงประกอบที่ใช้โลหะเป็นเนื้อพื้น นำมาใช้งานมากในส่วนประกอบของชิ้นส่วนรถยนต์ และวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เซรามิกเป็นส่วนผสมหลัก (Ceramic Matrix-Composites CMCs) วัสดุเชิงประกอบที่ใช้เซรามิกเป็นเนื้อพื้น และสามารถทนความร้อนได้สูง (อิทธิพล, 2544)

ตารางที่ 2.1 ข้อดี และข้อเสียของวัสดุเชิงประกอบ

ข้อดี	ข้อเสีย
1. มีสมบัติต่อน้ำหนักสูง เช่น ความแข็งแรงจำเพาะ เนื่องจากวัสดุเชิงประกอบมีความหนาแน่นต่ำ น้ำหนักเบา	1. ต้นทุนการผลิตสูงเนื่องจากราคาของวัตถุดิบและเครื่องมือการขึ้นรูปวัสดุเชิงประกอบ
2. ช่วยลดน้ำหนักของวัสดุ	2. มักมีสมบัติแต่ละทิศทางไม่เท่ากันหรือมีสมบัติแอนไอโซโทปี (Anisotropy) เนื่องจากมีการจัดเรียงตัว (Orientation) ของส่วนเสริมแรง
3. มีสมบัติหลากหลาย	3. ยากในการต่อ (Attaching) หรือเชื่อมติดของวัสดุอื่น
4. มีอายุการใช้งานยาวนาน ด้านการสึกกร่อนดี	4. ยากในการตรวจวิเคราะห์สมบัติของวัสดุเชิงประกอบ

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) ข้อดี และข้อเสียของวัสดุเชิงประกอบ

ข้อดี	ข้อเสีย
5. สมบัติการรับแรงที่ดี	5. ยากในการทำลาย และนำกลับมาใช้
6. ทนทานต่อการล้าดี	
7. มีเสถียรภาพทางรูปร่างสูง เนื่องจากมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนต่ำเมื่อเทียบกับวัสดุอื่น เช่น โลหะ	

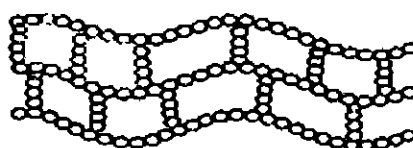
ที่มา : อธิพิล (2544)

2.1.1 เนื้อพื้น (Matrix)

เนื้อพื้น (Matrix) เป็นองค์ประกอบหลักที่มีความต่อเนื่องที่ยึดส่วนเสริมแรงเข้าด้วยกัน ทำให้ ส่วนเสริมแรงอยู่ในตำแหน่ง และการเรียงตัวที่กำหนดโดยเนื้อพื้นจะล้อมรอบ และปกป้องส่วนเสริมแรงจากการเสียดสีจากสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น เนื้อพื้นมักเป็นส่วนที่มีความแข็งแรงและมอดูลน้อยกว่าส่วนเสริมแรง เนื้อพื้นมีหน้าที่ต่าง ๆ ได้แก่ (อธิพิล, 2554) ทำหน้าที่ถ่ายเทความเค้น (Stresses Transfer) ที่ได้รับไปยังเส้นใยเสริมแรงและถ่ายเทความเค้นระหว่างเส้นใย ทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกัน (Barrier) กับสภาวะแวดล้อมใด ๆ ป้องกันเส้นใยจากการขัดถูเสียดสี (Abrasion) พอลิเมอร์เนื้อพื้นที่ใช้โดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

2.1.1.1 เทอร์โมเซต (Thermoset)

พอลิเมอร์กลุ่มนี้เมื่อผ่านกรรมวิธีการผลิตจะมีรูปทรงถาวร ผลผลิตที่ได้ไม่สามารถกลับไปหลอมอีกไม่ได้ เพราะว่าก่อนผ่านกระบวนการเตรียมโครงสร้างของพอลิเมอร์ยังไม่เป็นร่างแห แต่เมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อน หรือความดันเข้าไปจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในโครงสร้างเกิดการเชื่อมโยง (Cross Linking) ระหว่างสายโซ่โมเลกุลทำให้มีลักษณะเป็นระบบสามมิติ แสดงดังรูปที่ 2.1 และมีการสร้างพันธะโควาเลนต์ระหว่างสายโซ่โมเลกุล ทำให้ผลผลิตที่ได้มีความคงทนไม่หลอมละลาย การเกิดการเชื่อมโยงทำให้พอลิเมอร์แข็งตัว มีความแข็งแรงสูง มีความต้านทานการละลาย มีเสถียรภาพทางความร้อน และความต้านทานการเกิดออกซิเดชันได้ดี สมบัติเหล่านี้สัมพันธ์โดยตรงกับความหนาแน่นของการเกิดการเชื่อมโยงและน้ำหนักโมเลกุลของสายโซ่ระหว่างการเชื่อมโยง เทอร์โมเซตที่ใช้เป็นเมทริกซ์ส่วนใหญ่ ได้แก่ อีพอกซี พอลิเอสเทอร์ และไวนิลเอสเทอร์ เป็นต้น (มาลินี, 2543)



รูปที่ 2.1 ลักษณะสายโซ่โมเลกุลของเทอร์โมเซต (Thermoset)

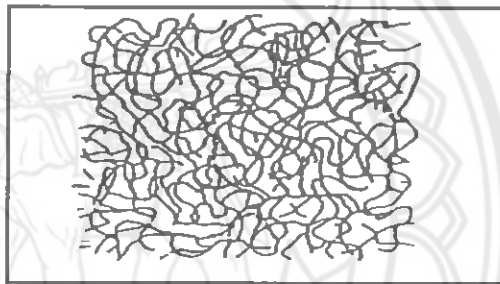
ที่มา : มาลินี (2543)

2.1.1.2 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)

เทอร์โมพลาสติกจะละลายได้ดีในตัวทำละลายบางชนิด แต่เมื่อถูกความร้อนสามารถหลอมตัวได้ และมีสมบัติเมื่อเย็นลงก็จะแข็งตัวสามารถทำให้หลอม และแข็งตัวได้ในหลาย ๆ ครั้ง โดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งสมบัติของเทอร์โมพลาสติกจะขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดผลึกสัณฐานวิทยา และการจัดเรียงตัวของผลึก (มาลินี, 2543) สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเทอร์โมพลาสติกอสัณฐาน (Amorphous Thermoplastic) และกลุ่มเทอร์โมพลาสติกที่มีผลึกในบางส่วน (Semi-Crystalline Thermoplastic)

ก. กลุ่มเทอร์โมพลาสติกอสัณฐาน (Amorphous Thermoplastic)

ประกอบด้วยสายโซ่โมเลกุลเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ ซึ่งสายโซ่โมเลกุลจะอยู่ห่างกัน แสดงดังรูปที่ 2.2 ทำให้พลาสติกชนิดนี้มีความแข็งแรงน้อย ทนความร้อนได้ต่ำ เปลี่ยนแปลงขนาดได้น้อย และมีความใส เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิสไตรีน และพอลิคาร์บอนเนต เป็นต้น



รูปที่ 2.2 ลักษณะสายโซ่โมเลกุลของเทอร์โมพลาสติกแบบอสัณฐาน
ที่มา : มาลินี (2543)

ข. กลุ่มเทอร์โมพลาสติกแบบมีผลึกบางส่วน (Semi-Crystalline Thermoplastic)

จะมีสายโซ่โมเลกุลบางส่วนที่มีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ แสดงดังรูปที่ 2.3 เรียกว่า ส่วนที่เป็นผลึก จึงทำให้พลาสติกชนิดนี้ มีความแข็งแรง ทนต่อสารเคมี น้ำมัน และความร้อนได้ดีกว่า แต่มักจะขุ่น และทึบแสง

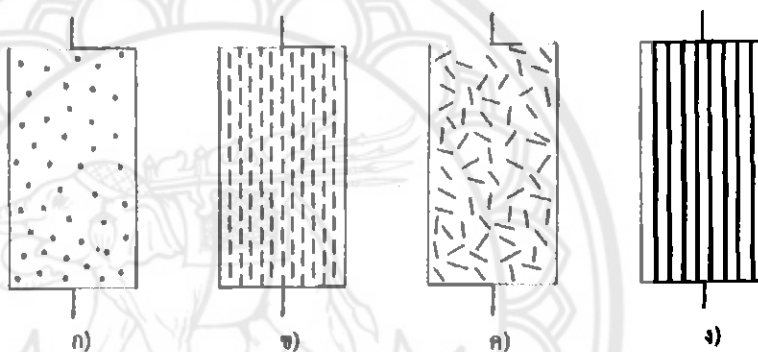


รูปที่ 2.3 ลักษณะสายโซ่โมเลกุลของเทอร์โมพลาสติกแบบมีผลึกบางส่วน
ที่มา : มาลินี (2543)

ซึ่งในโครงการวิจัยนี้เลือกใช้พอลิเมอร์ ประเภทเทอร์โมพลาสติกโดยใช้พอลิเมอร์ชนิด พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงใช้เป็นเนื้อพื้น

2.1.2 ส่วนเสริมแรง (Reinforcement)

ส่วนเสริมแรง (Reinforcement) เป็นส่วนประกอบที่ให้ความแข็งแรงแก่วัสดุเชิง - ประกอบ วัสดุที่จะเป็นส่วนเสริมแรงนั้นจะมีความแข็งแรง และมอดูลัสสูง มีลักษณะรูปร่างได้หลาย แบบอาจเป็นแผ่น เส้นใย หรืออนุภาคเล็ก ๆ ส่วนเสริมแรงที่นิยมใช้ลักษณะเป็นเส้นใย (Fibers) อาจ เป็นเส้นใยยาวต่อเนื่อง (Continuous Fibers) หรือเส้นใยสั้น (Discontinuous Fibers) นอกจากนี้ อาจเป็นเส้นใยที่พันกันหรืออยู่ในรูปของเส้นใยที่ผ่านการถัก (Knitting) หรือการทอ (Weaving) มาแล้วทำให้ วัสดุเชิงประกอบ มีโครงสร้างและมีการจัดเรียงตัวของส่วนเสริมแรงหลายรูปแบบ แสดง ดังรูปที่ 2.4



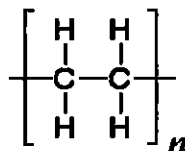
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างวัสดุเชิงประกอบที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน

- ก) ส่วนเสริมแรงเป็นอนุภาคจัดเรียงตัวแบบสุ่ม
- ข) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยสั้นจัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน
- ค) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยสั้นจัดเรียงตัวแบบสุ่ม
- ง) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยยาวจัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน

ที่มา : มალიนี (2543)

2.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High – Density Polyethylene : HDPE)

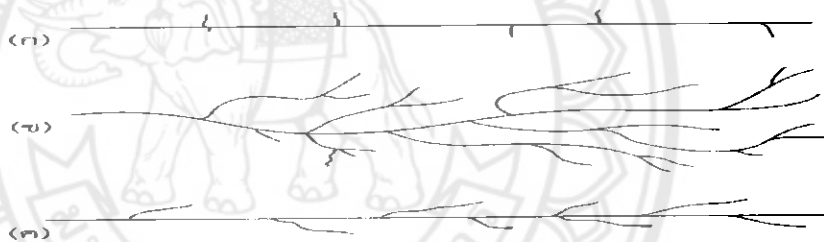
โดยทั่วไปแล้ว พอลิเอทิลีนมีน้ำหนักเบามาก คือ มีความถ่วงจำเพาะ 0.92 เท่านั้นในรูปแผ่น บางสามารถพับงอได้ดี มีความหนามากขึ้นจะคงรูปรับแรงดึงและแรงอัดได้น้อย มีความยืดตัวสูงถึง 5 เท่าตัว ฉีกขาดยาก มีลักษณะคล้ายซีเมนต์ ไม่เกาะติดน้ำ เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดีมาก ทนความร้อนได้น้อย แต่ทนความเย็นได้ขนาด -100 องศาฟาเรนไฮต์ โครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีนแสดงดังรูป- ที่ 2.5 และไม่ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลง ทนกรดและด่างอ่อน แต่จะเกิดปฏิกิริยาอย่างช้า ๆ กับสารเร่งการติดไฟ ไม่ทนน้ำมันและไขมัน โดยเฉพาะน้ำมันก๊าด น้ำมันเบนซิน และในขณะที่มีอุณหภูมิสูง แม้ว่าจะไม่ดูดซึมความชื้นแต่ยอมให้ก๊าซผ่านได้ จึงเหมาะใช้บรรจุอาหารสด เช่น ผัก ผลไม้และเนื้อได้ดี โดยทั่วไปพอลิเอทิลีน มีลักษณะใสเมื่อเป็นแผ่นบาง จะมีสีขุ่นเมื่อความหนาเพิ่มขึ้น สามารถทำเป็นสีต่าง ๆ ได้ตามความต้องการไม่แนะนำให้ใช้ภายนอก



รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีน
ที่มา : มานี (2543)

2.2.1 โครงสร้างและสมบัติของพอลิเอทิลีน

พอลิเอทิลีนมีโครงสร้างทั้งแบบชนิดความหนาแน่นต่ำ และสูงดังแสดงในรูปที่ 2.6 แบบความหนาแน่นสูง ก) จะมีโครงสร้างที่มีกิ่งก้านสาขาน้อยทำให้โมเลกุลสามารถเข้าไปใกล้กันได้มากขึ้น ทำให้ผลึกและความแข็งแรง เพิ่มขึ้นด้วย และในปัจจุบันการผลิตพอลิเอทิลีนได้พัฒนาขึ้นโดยใช้ความดันเพียง 100 – 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และอุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส ในทางตรงข้ามพอลิเอทิลีนชนิดแบบความหนาแน่นต่ำ ข) โครงสร้างจะมีกิ่งก้านสาขาทำให้ปริมาณของผลึก และทำให้ความหนาแน่นต่ำลงโครงสร้างแบบนี้ยังทำให้ความแข็งแรงต่ำลงอีกด้วยเนื่องจากไปทำให้แรงของการเกิดพันธะระหว่างโมเลกุลลดลง ค) พอลิเอทิลีนที่ผลิตได้จะเป็นโครงสร้างเส้นตรงมีกิ่งสั้น ๆ



รูปที่ 2.6 โครงสร้างพอลิเอทิลีนแบบต่างๆ

ก) แบบความหนาแน่นสูง (High - Density)

ข) แบบความหนาแน่นต่ำ (Low - Density)

ค) แบบโครงสร้างเป็นเส้นตรงความหนาแน่นต่ำ (Linear – Low Density)

ที่มา : แม้น (2539)

2.2.2 การใช้งาน

พอลิเอทิลีนมีปริมาณการใช้สูงสุดในพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก แม้ว่าราคาต่อปอนด์จะไม่ถูกที่สุด แต่เพราะมีน้ำหนักเบาจึงสามารถผลิตได้ปริมาณมาก นิยมใช้ทำถุงบรรจุอาหารและเสื้อผ้าตุ๊กตาเด็กเล่น ดอกไม้พลาสติก ภาชนะบรรจุเครื่องใช้ในครัว ถาดน้ำแข็งในตู้เย็น ขวด และภาชนะบรรจุของเหลว เชียงพลาสติกคลุมโรงเพาะชำ สายเคเบิล แผ่นกันความชื้นในอาคาร และของใช้ราคาถูกอีกมากมายแสดงดังรูปที่ 2.7



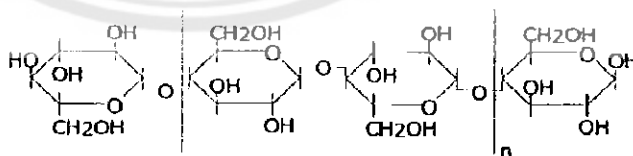
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างภาชนะพลาสติกที่ทำจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
ที่มา : มาลินี (2543)

2.3 เส้นใยธรรมชาติ

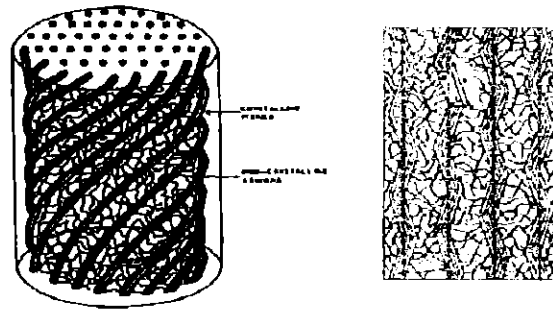
เส้นใยธรรมชาติเป็นใยที่ได้จากส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ฝ้าย (Cotton) ป่าน (Flax) กระเจา (Jute) เป็นต้น เส้นใยธรรมชาติมีราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์ จึงนิยมใช้เส้นใยธรรมชาติเป็นสารตัวเติมชนิดเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบ เพื่อปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ให้ดีขึ้นและเป็นการลดต้นทุนการผลิต โครงสร้างของเส้นใยธรรมชาติมีองค์ประกอบได้แก่ เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ลิกนิน (Lignin) และสารประกอบอื่น ๆ เช่น ส่วนที่ละลายน้ำได้ และไขมัน (Wax) เป็นต้น (เดือนพร, 2549)

2.3.1 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสเป็นสารประกอบของพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharides) เชิงเส้นตรงที่ประกอบด้วยหน่วยซ้ำ ๆ กันมีสูตรโมเลกุลทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ เป็นโครงสร้างในเนื้อเยื่อพืช โดยพบร่วมกับลิกนิน เพนโตแซม กัม แทนนิน ไขมัน สารที่ทำให้เกิดสี เป็นต้นเซลลูโลสจะมีหน่วยโมเลกุลยาว โดยเซลลูโลสจะมีสูตรโครงสร้างทางเคมี แสดงดังรูปที่ 2.8 และลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยเซลลูโลส แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.8 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส
ที่มา : เดือนพร (2549)

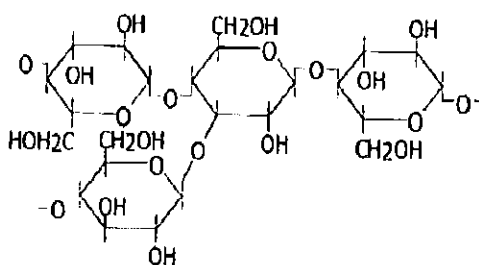


รูปที่ 2.9 ลักษณะการจัดเรียงตัวของเส้นใยเซลลูโลส
ที่มา : เดือนพร (2549)

เซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลถึง 3 หมู่ สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสจึงมีมาก และโครงสร้างของเซลลูโลสยังจัดเรียงตัวอย่างมีระเบียบ จึงทำให้เซลลูโลสมีความเป็นผลึกสูงมาก อุณหภูมิหลอมตัวจึงสูงมาก มักจะเกิดการสลายตัวก่อนถึงอุณหภูมิหลอมตัว และมีความสามารถในการละลายต่ำ เซลลูโลสธรรมชาติจะมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยต่างกัน การกระจายน้ำหนักโมเลกุลของเซลลูโลสมีความสำคัญต่อสมบัติทางกายภาพ ส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะส่งผลให้สมบัติทางกายภาพไม่ดี ในทางอุตสาหกรรมจะหาน้ำหนักโมเลกุลโดยประมาณได้โดยการวัดความหนืด ความหนาแน่นของเส้นใยเดียวมีค่าความหนาแน่นไม่แน่นอน ซึ่งความหนาแน่นแปรเปลี่ยนตามแหล่งที่มาและการปรับปรุงทางเคมี เซลลูโลส เป็นของแข็งไม่มีสี มีการดูดซับหรือคายไอน้ำหรือของเหลวอื่น ที่อยู่ในบรรยากาศรอบๆ จนกระทั่งถึงสมดุลปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศนั้น ปริมาณความชื้นของเซลลูโลสมีผลต่อสมบัติบางอย่าง เช่น ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) การละลายเซลลูโลสไม่ละลายน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ แต่จะละลายในกรดเข้มข้น เช่น 40 เปอร์เซ็นต์ของกรดไฮโดรคลอริก และ 72 เปอร์เซ็นต์ของกรดซัลฟิวริก เซลลูโลสจะเกิดปฏิกิริยา ไฮโดรไลซิส อย่างรวดเร็วในสารละลายกรดที่อุณหภูมิห้อง และปฏิกิริยาจะหยุดที่อุณหภูมิต่ำ และสารละลายเกลือเข้มข้นบางชนิด เช่น สารละลายอัลคาไลไฮดรอกไซด์ (Alkali - Hydroxide)

2.3.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่ง ซึ่งคล้ายเซลลูโลส แต่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น กลูโคส กาแลกโตส แมนโนส ซาโคส อะราบิโนส รวมทั้งกรดกลูคูโรนิก และกาแลกทูโรนิก เฮมิเซลลูโลสพบในเนื้อเยื่อของพืชโดยรวมอยู่กับสารอื่นๆ เช่น ลิกนิน เซลลูโลส เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ พบมากในแกลบ ชังข้าวโพด สูตรทางเคมีคือ $(C_6H_{12}O_2)_{2n}$ โครงสร้างทางเคมี แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส

ที่มา : เดือนพร (2549)

ความแตกต่างระหว่างเฮมิเซลลูโลสกับเซลลูโลส มีดังนี้ คือ

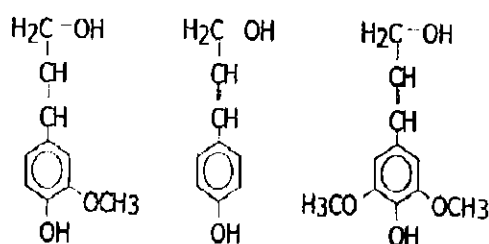
2.3.2.1 เฮมิเซลลูโลสจะประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่น กลูโคส (Glucose) กาแลกโตส (Galactose) แมนโนส (Mannose) ไคโลส (Xylose) อะราบินโนส (Arabinose) รวมอีกทั้งกรด กลูคูโรนิก (Glucuronic Acid) และกาแลกทูโรนิก (Galacturonic Acid) แต่เซลลูโลสจะประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเป็น กลูโคสอย่างเดียว

2.3.2.2 เฮมิเซลลูโลสจะมีลักษณะสายโซ่โมเลกุลเป็นกิ่ง (Branch Chain) แต่เซลลูโลสจะมีสายโซ่โมเลกุลเป็นเส้นตรง (Linear Chain)

2.3.2.3 องศาของการเกิดพอลิเมอร์ (Degree of Polymerization) ของเซลลูโลสจะมีค่าสูงกว่าเฮมิเซลลูโลสประมาณ 10-100 เท่า

2.3.3 ลิกนิน (Lignin)

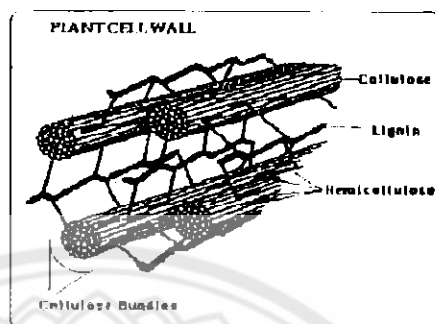
ลิกนินเป็นสารประกอบเชิงซ้อน มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักพบอยู่ร่วมกับเซลลูโลส ลิกนินเป็นสารที่ประกอบด้วยคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) รวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิดซึ่งเป็นสารอะโรมาติก ลิกนินไม่ละลายน้ำ ไม่มีสมบัติทางการยืดหยุ่น เพราะฉะนั้นจึงทำให้พืชที่มีลิกนินมากมีความแข็งแรงทนทาน เมื่อพืชตาย ลิกนินจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ลิกเนส (Lignase) หรือ ลิกนินเนส (Ligninase) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญในรา ตัวอย่างโครงสร้างของลิกนินแสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน

ที่มา : เดือนพร (2549)

ไม้แต่ละชนิดจะมีอัตราส่วนระหว่างเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ไม่เท่ากันขึ้นกับชนิดและอายุของไม้ โดยไม้ที่มีลิกนินมาก จะมีความแข็งแรงสูง และในไม้ชนิดเดียวกัน ไม้ที่มีอายุมาก จะมีปริมาณลิกนินมากเช่นเดียวกัน โดยการจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในไม้แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การจัดเรียงตัวของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในไม้

ที่มา : เดือนพร (2549)

2.3.4 ฟางข้าว (Rice Straw)

ข้าวเป็นพืชที่ปลูกกันทั่วประเทศ มีปริมาณมาก นอกจากใช้บริโภคภายในประเทศแล้วยังส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศทำรายได้เข้าประเทศมาเป็นอันดับหนึ่งทางด้านสินค้าส่งออกทางการเกษตร ดังนั้น เห็นได้ว่าในแต่ละปีจะมีสิ่งเหลือใช้จากการปลูกข้าว คือ ฟางข้าวเป็นจำนวนมาก และทำให้เป็นปัญหาที่เกษตรกรต้องกำจัด โดยการเผาฟางข้าวทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ และภาวะโลกร้อน ลักษณะของฟางข้าวแสดงดังรูปที่ 2.13

ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Oryza sativa</i>
ชื่อพฤกษศาสตร์	<i>Triticum aestivum</i> L
ชื่อวงศ์	POACEAE

ลักษณะของเส้นใยเป็นเส้นใยชนิดสั้น ความยาวเฉลี่ยประมาณ 0.54 – 0.92 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.13 ฟางข้าว

ที่มา : Wollerderfer (1998)

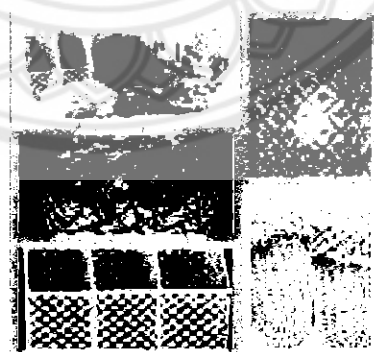
ฟางข้าวอุดมสมบูรณ์ไปด้วยแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส และไนโตรเจนยังช่วยปรับโครงสร้างของดินที่เป็นกรดหรือเป็นด่างให้เกิดความสมดุลในตัวเอง ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว แสดงได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว

องค์ประกอบทางเคมี	ฟางข้าว (%)
โปรตีนรวม	2.5
เฮมิเซลลูโลส	28.0
ลิกนิน	4.5
เซลลูโลส	34.0
เถ้า	18.3
ซิลิกา	9.0
ไนโตรเจน	0.75
อื่นๆ	2.95

ที่มา : Wollerderfer (1998)

ฟางข้าวสามารถนำมาสานทำเป็นผลิตภัณฑ์ เครื่องใช้ต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2.14 เช่น รองเท้าแตะ กระเป๋าถือ ตะกร้า นำไปใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ในฤดูแล้ง ใช้ทำปุ๋ยหมัก นำไปใช้เพาะเห็ด นำไปใช้คลุมหน้าดินเพราะปลูกในฤดูแล้ง ถ้าหากนำฟางไปคลุมดินไว้จะทำให้เกิดชั้นหน้าดินอีกทีหนึ่ง ช่วยคลุมหญ้าและวัชพืชต่างๆ เมื่อนำฟางข้าวไปคลุมหญ้าและวัชพืชหนาพอสมควรโดยไม่ให้อากาศหรือแสงแดดส่องถึงพื้นดินจะทำให้หญ้าและวัชพืชเน่าเป็นปุ๋ยหมักตามธรรมชาติอย่างดี ฟางข้าวช่วยรักษาความชื้นให้แก่ดินเป็นการสร้างดินให้มีชีวิต



รูปที่ 2.14 ผลิตภัณฑ์ทำมาจากฟางข้าว

ที่มา : กลุ่มสตรีห้วยทองกลาง สระบุรี (2555)

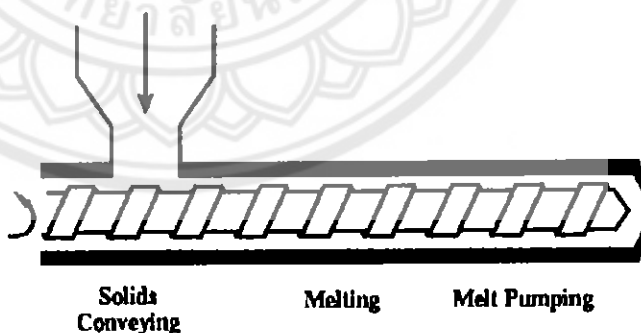
2.4 กระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตวัสดุสำเร็จรูปให้ออกมาเป็นแผ่น เป็นแท่ง หรือให้มีรูปร่างต่าง ๆ จากเม็ดพลาสติกนั้น ทำได้หลายวิธี เช่น ใช้กระบวนการอัดฉีดเข้าไปในแบบหรือทำออกมาเป็นท่อ การจะใช้กระบวนการใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกคือเป็นเทอร์โมพลาสติก หรือเทอร์โมเซต สำหรับเทอร์โมพลาสติกจะใช้วิธีทำให้ร้อนจนอ่อนตัวลงหรือเหลวแล้วจึงอัดฉีดเข้าไปในแบบให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ กันก่อนที่จะเย็นตัวลง แต่ถ้าเป็นเทอร์โมเซตจะใช้กระบวนการทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเชื่อมโยงเป็นโครงข่ายแล้วเข้าไปในแบบเป็นรูปร่างตามที่ต้องการก่อนที่จะกระบวนการพอลิเมอไรเซชันจะสิ้นสุดลง และขั้นตอนสุดท้ายของการเกิดพอลิเมอไรเซชันก็คือ การให้ความกดดันหรือใช้ตัวเร่งที่อุณหภูมิห้อง (เจริญ, 2542)

2.4.1 กระบวนการผสม

2.4.1.1 เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single Screw Extruder)

ทำโดยการให้พลาสติกผง (Powder) หรือเม็ด (Pellets) หลอมเป็นเนื้อเดียว แล้วผลักดันโดยการหมุนของสกรูให้พลาสติกหลอมไหลผ่านหัวฉีด (Die) ที่มีรูปร่างตามลักษณะชิ้นงานที่ต้องการผลิต พลาสติกหลอมจะแข็งตัวเมื่อออกจากหัวฉีด แสดงดังรูปที่ 2.15 เนื่องจากการหล่อเย็น การอัดรีดพลาสติกในกลุ่มเทอร์โมเซตบางตัว ก็สามารถกระทำได้ แต่พอลิเมอร์ในกลุ่มนี้จะเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงเนื่องจากความร้อนในขณะที่ทำการอัดรีด นอกจากนี้เครื่องอัดรีดมีความสำคัญในการแปรรูปพลาสติกแล้ว ยังมีความสำคัญในการใช้เป็นเครื่องผสมเพื่อการผลิตพลาสติก โดยการผสมพลาสติกกับสารเติมแต่ง (Additives) และสารตัวเติม (Fillers) ชนิดต่าง ๆ เข้าด้วยกัน เพื่อเป็นการเตรียมวัสดุสำหรับการแปรรูปโดยเทคนิคต่าง ๆ (เจริญ, 2542)

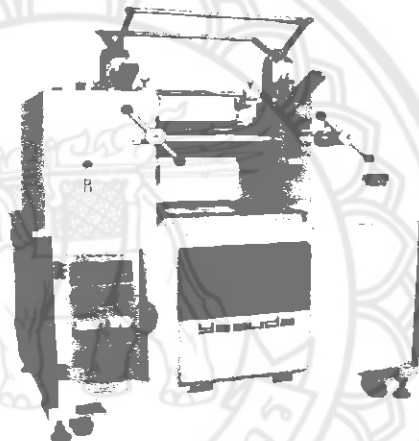


รูปที่ 2.15 เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single Screw Extruder)

ที่มา : เจริญ (2542)

2.4.1.2 เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill)

เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง ใช้ได้กับทั้งการผสมสารเคมีกับยางและพลาสติกในกรณีพลาสติกนิยมใช้ในการเตรียมคอมพาวด์ของ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ลูกกลิ้งของเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งทำจากเหล็กหล่อที่มีการเคลือบผิวให้มีความแข็งลื่น ขนาดของเครื่องผสมชนิดนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของลูกกลิ้ง ซึ่งอาจมีความยาวตั้งแต่ 15 เซนติเมตร กรณีเครื่องที่ใช้ในห้องปฏิบัติการจนถึงเครื่องที่มีลูกกลิ้งยาวมากกว่า 2 เมตร ซึ่งเป็นเครื่องที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้งจะเพิ่มขึ้นตามความยาว ลักษณะของเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งแสดงดังรูปที่ 2.16 ส่วนประกอบหลักของเครื่องคือ ลูกกลิ้งสองตัวได้มาจากชุดให้ความร้อนซึ่งอาจจะเป็นตัวให้ความร้อนไฟฟ้า หรือให้ความร้อนโดยการไหลหมุนเวียนของน้ำหรือน้ำมันร้อนผ่านภายในลูกกลิ้ง ส่วนอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ เช่น ใบมีดปาด เป็นต้น



รูปที่ 2.16 เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill)
ที่มา : เจริญ (2542)

2.4.2 กระบวนการขึ้นรูปโดยเทคนิคการฉีดขึ้นรูป (Injection Molding)

ในกระบวนการผลิตด้วยการฉีดพลาสติกเหลวเข้าไปในแบบนั้น แสดงดังรูปที่ 2.17 เม็ดพลาสติกจะถูกส่งลงมาจากถังใส่ (Hopper) เข้าไปยังกระบอกฉีดซึ่งมีสกรูหมุนไปรอบ ๆ พร้อมกันนั้น เม็ดพลาสติกจะถูกทำให้ร้อนจนหลอมเหลว เมื่อพลาสติกเหลวที่ปลายสกรูมีมากพอ สกรูจะหยุดหมุน แต่จะทำหน้าที่เป็นตัวอัดฉีดจากช่องออกเข้าสู่แบบ ในช่วงเวลาสั้นและให้ความดันคงที่จนพลาสติกแข็งตัว สกรูจะถอยออกมา แบบที่ใช้หล่อ จะมีน้ำเย็นเข้าไปหล่อ เพื่อให้พลาสติกแข็งตัวเร็วขึ้นสุดท้ายแบบจะเปิดออก พลาสติกจะหลุดออกมาจากแบบด้วยการใช้อากาศหรือสปริงดันออกมา แล้วแบบก็จะประกอบเข้าไปใหม่พร้อมที่จะอัดฉีดต่อไป

เมื่อ $\%El$ = ร้อยละการดึงยืดของชิ้นงาน ณ จุดขาด (%)
 L = ความยาวของชิ้นงาน ณ จุดที่เกิดการแตกหัก (mm)
 L_0 = ความยาวเริ่มต้นของชิ้นงาน (mm)



รูปที่ 2.18 การทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile Testing)
 ที่มา : เดช (2548)

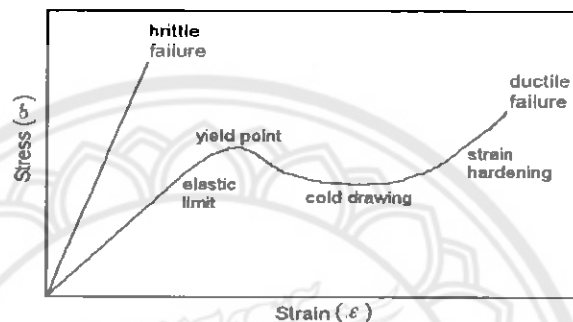
เมื่อออกแรงดึงวัสดุ จะเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงแบบอีลาสติก คือ เมื่อเอาแรงออกวัสดุสามารถกลับคืนสู่สภาพเดิม (Reversible Change) เมื่อดึงผ่านขีดจำกัดความยืดหยุ่น (Elastic-Limit) ไปแล้วจะไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้อีกเมื่อเอาแรงออก เมื่อพื้นที่หน้าตัดของวัสดุมีการลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งขาดออกจากกัน จะได้ค่าความเค้นดึงสุดท้าย ซึ่งเรียกว่า Fracture Stress

2.5.1.3 มอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity : E)

$$E = \frac{\sigma}{e} \quad (2.3)$$

เมื่อ E = มอดูลัสยืดหยุ่น (MPa)
 σ = ความเค้น (MPa)
 e = ความเครียด

การหาค่ามอดูลัสจากกราฟความเค้น - ความเครียดแสดงดังรูปที่ 2.19 โดยหาค่ามอดูลัสแบบยืดหยุ่น (E) ดังสมการที่ 2.3 ได้จากการวัดความชัน (Slope) ของเส้นสัมผัสเริ่มแรกซึ่งเป็นส่วนที่ชันที่สุดของเส้นโค้ง Yield Stress เป็นความเค้นที่จุดคราก (Yield Point) ซึ่งจุดครากเป็นจุดแรกบนเส้นโค้งความเค้น - ความเครียดที่เกิดการเพิ่มความเครียด โดยที่ไม่มีการเพิ่มความเค้น เมื่อวัสดุถูกดึงถึงจุดครากแล้วจะไม่สามารถคืนตัวได้อีก เมื่อเอาแรงกระทำออกไปพื้นที่ภายใต้เส้นโค้งความเค้น - ความเครียดเป็นสิ่งที่บ่งชี้ถึงความเหนียว (Toughness) ของพลาสติก พลาสติกที่มีพื้นที่ใต้เส้นโค้งความเค้น - ความเครียดมากเป็นวัสดุที่มีความเหนียว ส่วนวัสดุที่เปราะจะมีพื้นที่ใต้เส้นโค้งน้อย

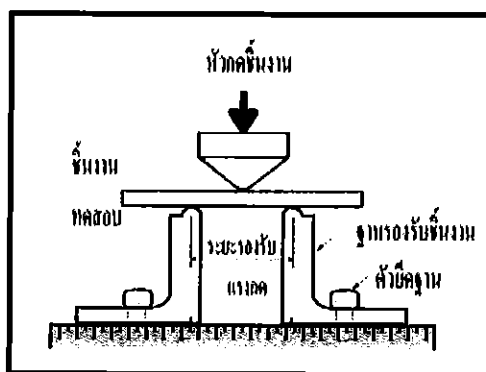


รูปที่ 2.19 กราฟความเค้น - ความเครียด
ที่มา : เดช (2548)

2.5.2 การทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Test)

การทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ กับมอดูลัสความโค้งงอ เป็นการวัดแรงที่ต้องการเพื่อให้ชิ้นงานเกิดการงอ ข้อมูลที่ได้มักจะนำไปพิจารณาเลือกวัสดุสำหรับใช้เป็นส่วนที่ต้องรับแรงกดโดยไม่เกิดการงอ เช่น ค่ามอดูลัสความโค้งงอ (Flexural Modulus) ใช้ในการบ่งบอกถึงความแข็งแรงของวัสดุเมื่อเกิดการโค้งงอ โดยทั่วไปการทดสอบนี้เหมาะสำหรับพลาสติกที่มีลักษณะแข็งเปราะ แต่ไม่เหมาะกับการทดสอบพลาสติกที่มีลักษณะอ่อนหรือสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายใต้แรงดัดได้มาก เนื่องจากสมการที่ใช้ในการคำนวณของสภาพการดัดนี้ จะถูกต้องในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในระดับต่ำ วัสดุแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดแบบเชิงเส้น จะอยู่ภายใต้แรงดัดดังนั้นโดยทั่วไปมักไม่ใช้ทดสอบที่เกินระดับความเครียด 5 เปอร์เซ็นต์ (เดช, 2548)

การทดสอบความแข็งแรงโค้งงอแบบ 3 จุด การทดสอบนี้เป็นการให้แรงกระทำที่จุดกึ่งกลางเท่านั้น แสดงดังรูปที่ 2.20 เหมาะสำหรับการทดสอบพลาสติกที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ต่ำ



รูปที่ 2.20 การทดสอบ Three Point Bending

ที่มา : (เดช, 2548)

สำหรับการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอคำนวณได้จากสมการที่ 2.4 และค่ามอดูลัสความโค้งงอคำนวณได้จากสมการที่ 2.5

$$\sigma_f = \frac{1.5FL}{bh^2} \quad (2.4)$$

$$\epsilon_b = \frac{L^3}{4bh^3} \times \frac{\Delta F}{\Delta d} \quad (2.5)$$

เมื่อ σ_f = ความแข็งแรงโค้งงอ (MPa)

ϵ_b = มอดูลัสความโค้งงอ (MPa)

L = ระยะห่างของฐานรองรับชิ้นงาน (mm)

F = แรงกดสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานเกิดความโค้งงอ (N)

h = ความหนาของชิ้นงาน (mm)

b = ความกว้างของชิ้นงาน (mm)

ΔF = ความแตกต่างของความเค้นระหว่างสองตำแหน่งบนเส้นตรง (N)

Δd = ความแตกต่างของความเครียดระหว่างสองตำแหน่งบนเส้นตรง (mm)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จิราภรณ์ คำศรี (2549) ได้ทำการศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์ และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำโดยใช้ซีลี้อย่างพาราเป็นสารเสริมแรง สรุปรงานวิจัยได้ศึกษาถึงปริมาณซีลี้อย 10, 20, 30, 40 และ 50 % โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ พบว่า เมื่อเติมซีลี้อยลงในพอลิเมอร์ที่ปริมาณ 10 - 40% ของพอลิเมอร์ทำให้มอดูลัสยืดหยุ่น และมอดูลัสโค้งงอมีค่าสูงขึ้น ความแข็งแรงดึงร้อยละของการดึงยึด ณ จุดขาด และความแข็งแรงโค้งงอ มีค่าลดลง และเมื่อปริมาณซีลี้อยเพิ่ม 50% ของพอลิเมอร์ทำให้สมบัติเชิงกลลดลง และการผสมโดยใช้เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยวตามด้วยเครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง ทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์มีค่าสูงกว่าการใช้เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยวเพียงขั้นตอนเดียว

ธีรวัฒน์ อุณหโชค และพจนีย์ ศรธรรมลี (2543) ได้ทำการศึกษาไม่เทียมพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และเส้นใยผักตบชวา สรุปรงานวิจัยได้ศึกษาอัตราส่วนระหว่างปริมาณของเส้นใยผักตบชวาและขนาด 35 - 50 เมช และ 50 - 80 เมช และ 80 เมชขึ้นไปของเส้นใยผักตบชวาต่อพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ผลการทดลองพบว่ามอดูลัสยืดหยุ่นจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยผักตบชวาเพิ่มขึ้น ส่วนค่าร้อยละการยืดออก ณ จุดขาดและความแข็งแรงกระแทกมีค่าลดลง และอัตราส่วน 30:70 ระหว่างเส้นใยผักตบชวากับพอลิเอทิลีนที่ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด และขนาดเส้นใยผักตบชวาที่เหมาะสมที่แสดงสมบัติเชิงกลดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเชิงประกอบที่ขนาดต่าง ๆ คือ 50-80 เมช

ศลิษญา สุริโย (2547) ได้ทำการศึกษาการเตรียมวัสดุเชิงประกอบจากพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวและฟางข้าวขนาด 120 เมช ที่ปริมาณ 10, 20, 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของฟางข้าว จากการทดสอบชิ้นงานตัวอย่างของวัสดุเชิงประกอบพอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวและฟางข้าวที่ 70 : 30 แสดงสมบัติเชิงกลที่สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเชิงประกอบจากฟางข้าวในอัตราส่วนอื่น

บทที่ 3

วิธีการดำเนินโครงการ

การดำเนินโครงการกำหนดไว้ 5 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ค้นหาเอกสารโครงการ ข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องจากแหล่งต่างๆ เช่น หนังสือ การสืบค้นข้อมูลอินเทอร์เน็ต

ขั้นตอนที่ 2 วางแผนการดำเนินโครงการ กำหนดขั้นตอนการดำเนินงาน ศึกษาวิธีการทดลอง และกระบวนการต่างๆ ที่ใช้ในโครงการ

ขั้นตอนที่ 3 เตรียมวัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการ

ขั้นตอนที่ 4 ดำเนินงานวิจัยโดยการเตรียมเส้นใยฟางข้าว เตรียมเม็ดพลาสติก ขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบสมบัติเชิงกล

ขั้นตอนที่ 5 นำผลที่ได้จากโครงการมาวิเคราะห์ สรุปผล และเขียนปริญญานิพนธ์

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในโครงการ

3.1.1 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High – Density Polyethylene : HDPE) เกรด H5818J โดยมีสมบัติต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เกรด H5818J

คุณสมบัติ	มาตรฐานการทดสอบ	ค่า	หน่วย
อัตราการไหล	ASTM D 1238 at 190 °C, 2.16 kg	18	g/10 min
ความหนาแน่น	ASTM D 1505	0.962	g/cm ³
ความทนต่อแรงดึง ณ จุดขาด	ASTM D 638 at Crosshead speed 50 mm/min	27.4	MPa
การยืดตัว ณ จุดขาด	ASTM D 638 at Crosshead speed 50 mm/min	100	%
อุณหภูมิหลอมเหลว	ASTM D 2117	200 - 250	°C

ที่มา : www.matweb.com (2555)

3.1.2 เส้นใยฟางข้าวขนาด 40-50 เมช

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวท่อนเดียว (Single Screw Extruder)

3.2.2 เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill)

3.2.3 เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding)

3.2.4 เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Universal Tester)

3.2.5 ตู้อบ (Oven)

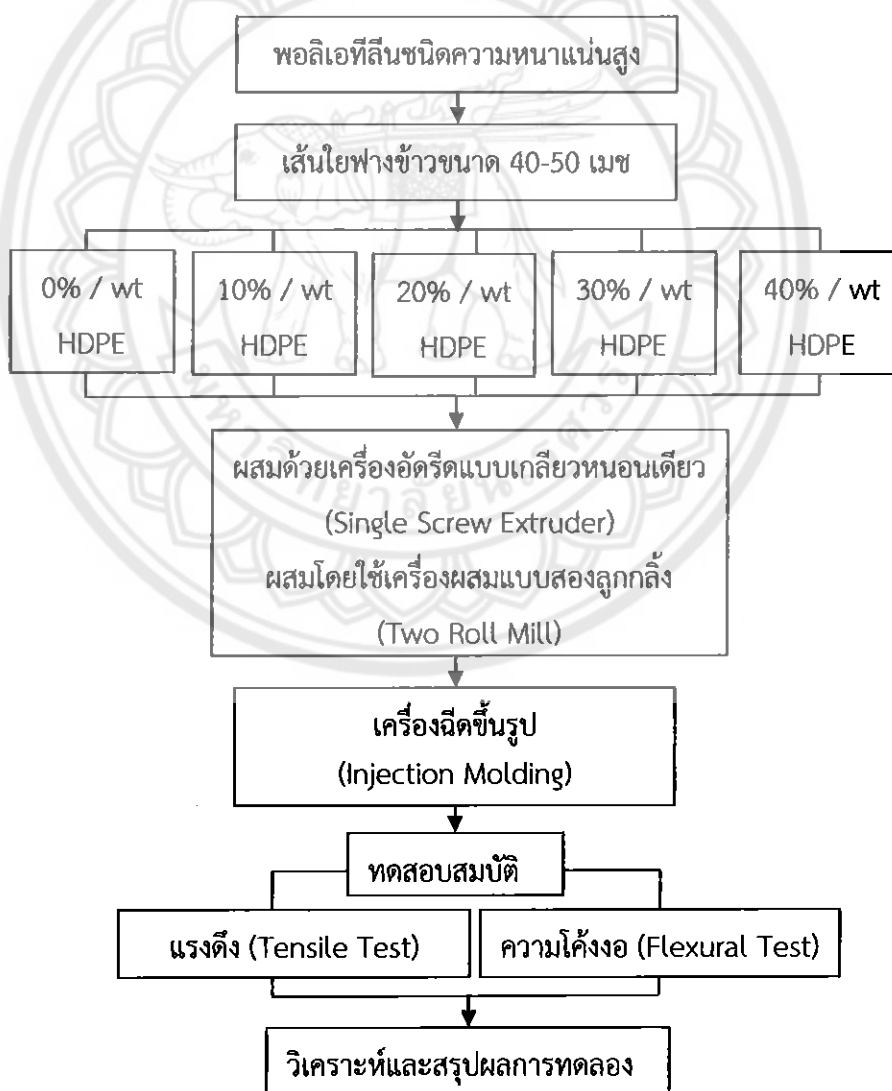
3.2.6 ตะแกรงมาตรฐานขนาด 40-50 เมช

3.2.7 เครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง

3.2.8 เครื่องบดพลาสติก

3.2.9 เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์

แผนการดำเนินงานสามารถแสดงได้ดังรูป 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพการดำเนินงาน

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมเส้นใยฟางข้าว

3.3.1.1 นำฟางข้าวมาตากให้แห้ง จากนั้นบดย่อยขนาดด้วยเครื่องบดพลาสติกเพื่อย่อยให้มีขนาดเล็กลง

3.3.1.2 นำฟางข้าวที่ได้มาคัดแยกขนาดโดยเครื่องร่อนแยกขนาด 40-50 เมช

3.3.1.3 นำฟางข้าวที่ได้ขนาดแล้วไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลาในการอบที่ 24 ชั่วโมง

3.3.2 การเตรียมวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเส้นใยฟางข้าว

3.3.2.1 ชั่งสูตรผสมต่างๆ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเส้นใยฟางข้าว

พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง	ปริมาณของเส้นใยฟางข้าว (%/wt of HDPE)
100	0
	10
	20
	30
	40

3.3.2.2 ทำการผสมเส้นใยฟางข้าวกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงอัตราส่วนตามตารางที่ 3.2

3.3.2.3 จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้มาเข้าสู่เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหอนเดี่ยว (Single - Screw Extruder) โดยใช้อุณหภูมิตามตารางที่ 1.1 โดยใช้ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที

3.3.2.4 นำเม็ดพลาสติกที่ได้จากการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหอนเดี่ยว (Single - Screw Extruder) ไปผสมด้วยเครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง (Two-Roll mill) โดยใช้อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียสใช้เวลาในการผสม 10 นาที

3.3.2.5 นำไปขึ้นรูปโดยการฉีดขึ้นรูป (Injection Molding) โดยใช้สภาวะอุณหภูมิดังตารางที่ 1.2 นำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกลได้แก่ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) มอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break) ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength) และมอดูลัสโค้งงอ (Flexural Modulus)

3.4 วิธีการทดสอบ

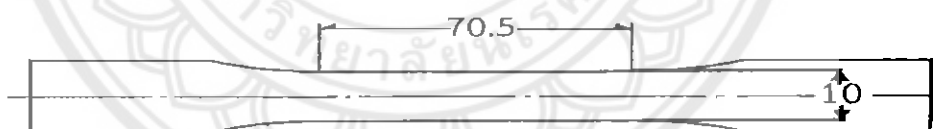
3.4.1 ความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และมอดูลัสยืดหยุ่น

การทดสอบหาค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D638 โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Tester) แสดงดังรูปที่ 3.2 ในการคำนวณชิ้นงานตัวอย่างอยู่ในรูปดัมเบลล์มีความหนา 3.8 มิลลิเมตรแสดงดังรูปที่ 3.3 ใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 10 ชิ้นในแต่ละสูตรและใช้สภาวะในการทดสอบดังนี้

- | | |
|---------------------------------|---------------------------|
| - โหลดเซลล์ (Load Cell) | 5 กิโลนิวตัน (kN) |
| - ความเร็วในการดึง (Test Speed) | 5 มิลลิเมตร/นาที (mm/min) |
| - ความยาวเกจ (Gauge Length) | 70.5 มิลลิเมตร (mm) |



รูปที่ 3.2 เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Tester)

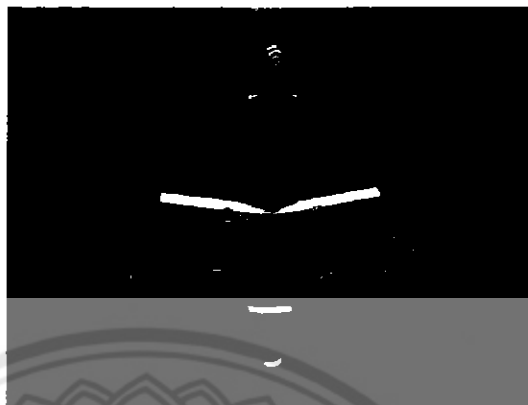


รูปที่ 3.3 ชิ้นงานที่นำมาทดสอบหาค่าความแข็งแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D638 (Type I)
ที่มา : เจริญ (2542)

3.4.2 ความแข็งแรงโค้งงอและมอดูลัสโค้งงอ

การทดสอบหาค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength) และมอดูลัสโค้งงอ (Flexural Modulus) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D790 การทดสอบการทนแรงดัดแบบ 3 จุด (Three Point Bending) แสดงดังรูปที่ 3.4 โดยการทดสอบจะให้แรงกระทำที่จุดกึ่งกลางเท่ากัน โดยการทดสอบจะใช้ทดสอบชิ้นงานจำนวน 10 ชิ้น ในแต่ละสูตร สำหรับการทดสอบสมบัติโค้งงอ นั้นสามารถคำนวณหาค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength) และมอดูลัสโค้งงอ (Flexural Modulus) จากสมการที่ 2.4 และ 2.5 และใช้สภาวะในการทดสอบดังนี้

- โหลดเซลล์ (Load Cell) 5 กิโลนิวตัน (kN)
- ความเร็วในการกด (Compression Speed) 5 มิลลิเมตร/นาที (mm/min)
- ระยะห่างของขารองรับชิ้นงาน (Span Length) 40 มิลลิเมตร (mm)



รูปที่ 3.4 การทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอตามมาตรฐาน ASTM D790
ที่มา : เจริญ (2542)

3.5 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลอง

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณ 0, 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

3.6 สรุปผลการทดลองและจัดทำรูปเล่ม

สรุปผลการทดลองของการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยฟางข้าวแล้วนำข้อมูลที่ได้มาจัดทำรูปเล่มเพื่อรายงานผลการทดลอง

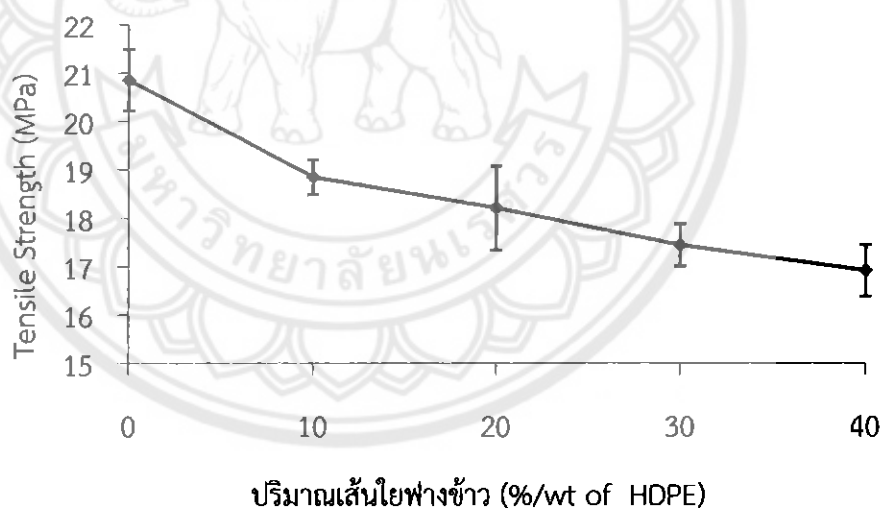
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์

โครงการนี้เป็นการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณ 0, 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ซึ่งให้ผลการทดลองดังนี้

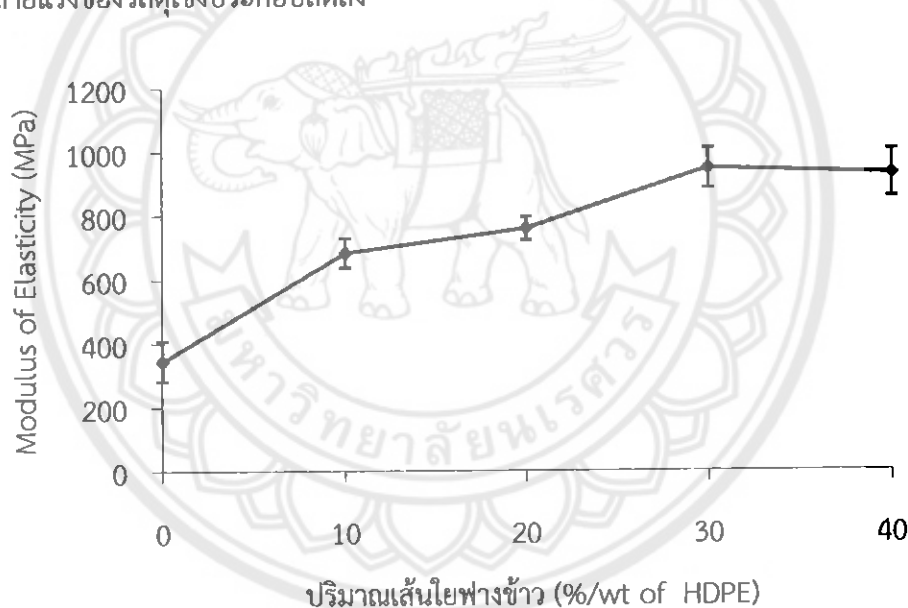
4.1 ผลการศึกษาสมบัติเชิงกลด้านแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีน - ชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณต่าง ๆ

ในการศึกษาสมบัติเชิงกลด้านแรงดึง (Tensile Test) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณต่าง ๆ โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง โดยใช้สภาวะการขึ้นรูปตามตารางที่ 1.1 และ 1.2 ให้มีผลดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณต่าง ๆ

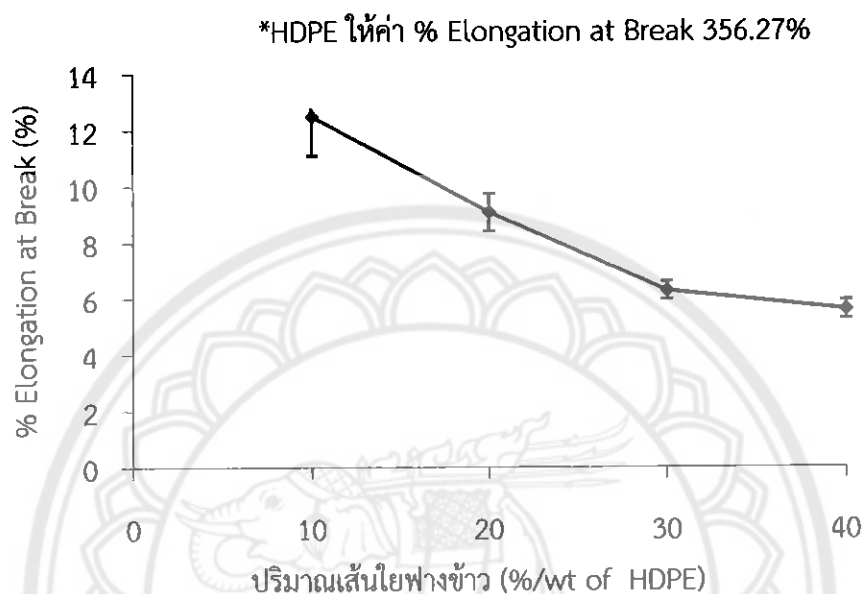
จากรูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณ 0, 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง พบว่าที่ 0 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าความแข็งแรงดึงสูง และเมื่อมีการเติมปริมาณของเส้นใยฟางข้าวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากปริมาณเส้นใยฟางข้าวที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การกระจายตัวของเส้นใยในวัสดุเชิงประกอบไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากเซลล์โลสมิหมู่ไฮดรอกซิลถึง 3 หมู่ สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเซลล์โลสจึงมีมากประกอบกับการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบของหน่วยซ้ำๆ กันในโมเลกุล ทำให้มีความเป็นผลึกสูง ทำให้เส้นใยมีแนวโน้มที่เกาะตัวรวมกันเป็นกลุ่มก้อน จึงเกิดการกระจายตัวน้อยลง ส่งผลให้สมบัติด้านความแข็งแรงดึงลดลง นอกจากนี้การเติมเส้นใยทำให้เกิดช่องว่างบริเวณรอยต่อระหว่างวัฏภาคของเนื้อพื้กับส่วนเสริมแรง เนื่องจากปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้นทำให้พอลิเมอร์เนื้อพื้หลอมเหลวไม่สามารถแทรกตัวเข้าไประหว่างเส้นใยได้ จึงทำให้ความแข็งแรงการยึดเกาะระหว่างวัฏภาคต่ำ ทำให้ส่งถ่ายแรงของวัสดุเชิงประกอบลดลง



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติมอดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุเชิงประกอบจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง มอดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และปริมาณของเส้นใยฟางข้าว พบว่าที่ 0 เปอร์เซ็นต์เส้นใยฟางข้าวให้ค่ามอดูลัสต่ำสุด และเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นส่งผลให้ ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

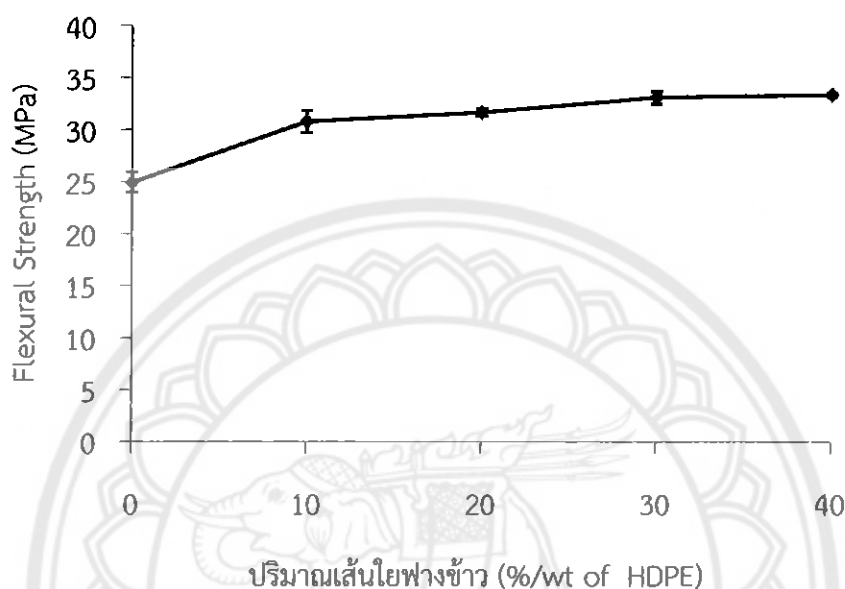
เนื่องจากเส้นใยฟางข้าวมีค่ามอดูลัสสูงกว่าเนื้อพื้นพอลิเมอร์ เมื่อเติมปริมาณเส้นใยฟางข้าวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ฟางข้าวสามารถเข้าไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของพอลิเมอร์เนื้อพื้นมากขึ้น ทำให้ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพอลิเมอร์เนื้อพื้นลดลง ค่ามอดูลัสจึงเพิ่มขึ้น อีกทั้งเส้นใยจะเข้าไปแทรกตัวในเนื้อพื้นพอลิเมอร์ช่วยรับแรงดึงทำให้วัสดุเชิงประกอบเสียรูปได้ยาก



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของวัสดุเชิงประกอบจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณต่าง ๆ

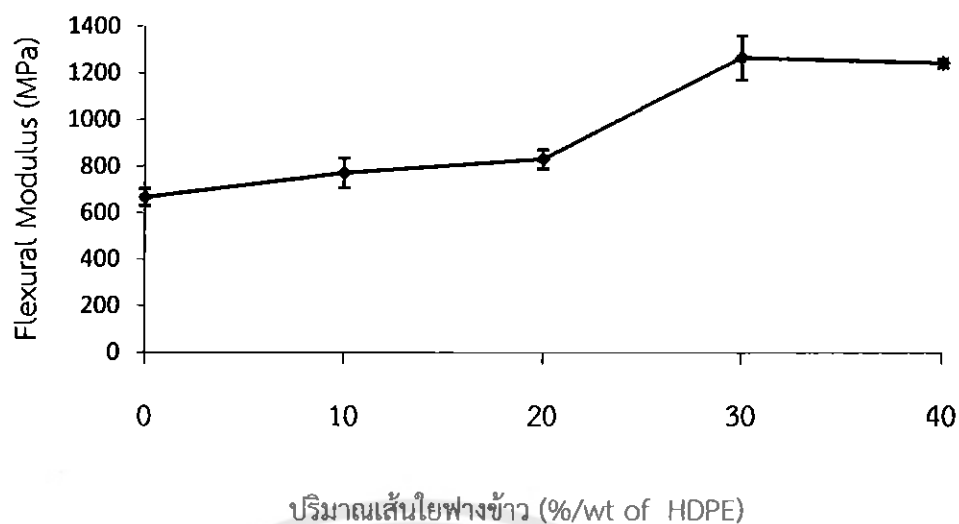
จากรูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และปริมาณของเส้นใยฟางข้าว พบว่า ที่ 0 เปอร์เซ็นต์ ให้สมบัติด้านร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดสูงสุดที่ 356.27% และเมื่อปริมาณเส้นใยฟางข้าวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สมบัติร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดลดลง เนื่องจากเส้นใยฟางข้าวมีโครงสร้างทางเคมีที่ต่างกัน โครงสร้างพอลิเอทิลีนที่มีสมบัติไม่มีขั้ว และโครงสร้างของเส้นใยฟางข้าวมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่มีสมบัติมีขั้ว ดูจากโครงสร้างทางเคมีที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ จึงไม่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ ทำให้เกิดรอยต่อระหว่างวัสดุทั้งสอง ดังนั้นเมื่อให้แรงดึงแก่ชิ้นงานทำให้ความสามารถในการยึดตัวได้น้อยลง ส่งผลให้ค่าร้อยละการดึง ณ จุดขาดลดลง เมื่อให้แรงดึงกับชิ้นงานมีแนวโน้มลดต่ำลง เนื่องจากพื้นที่ส่งผ่านแรงจากพอลิเอทิลีนไปยังเส้นใยฟางข้าวมีน้อยเกินไป เพราะการเพิ่มปริมาณเส้นใยทำให้รอยต่อระหว่างวัสดุของพอลิเอทิลีนกับฟางข้าวมีมากขึ้น ส่งผลให้ค่าร้อยละการดึง ณ จุดขาดลดต่ำลง พอลิเอทิลีนมีโครงสร้างเป็นไฮโดรคาร์บอนประกอบด้วยส่วนที่ไม่มีขั้ว จึงไม่มีอันตรกิริยาระหว่างกัน ส่งผลให้พอลิเอทิลีนทำหน้าที่เป็นพอลิเมอร์เนื้อพื้นลดความยืดหยุ่นลดลง

4.2 ผลการศึกษาสมบัติเชิงกลด้านความโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอ- ทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณต่าง ๆ



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และปริมาณของเส้นใยฟางข้าว พบว่าที่ 0 เปอร์เซ็นต์ เส้นใยฟางข้าวให้สมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอต่ำสุด และเมื่อปริมาณเส้นใยฟางข้าวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ สมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอสูงขึ้น เนื่องจากที่ 0 เปอร์เซ็นต์ เส้นใยฟางข้าวพอลิเมอร์เนื้อพื้นเป็นพอลิเอทิลีนมีความหนาแน่นสูง ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีความอ่อนนุ่ม (Soft) จึงสามารถทนแรงโค้งงอได้ต่ำ แต่เมื่อเติมปริมาณของเส้นใยฟางข้าวเพิ่มขึ้น เหมือนเป็นการเติมวัสดุที่แข็งลงไป ทำให้สามารถไปขัดขวางการเคลื่อนผ่านกันของสายโซ่ได้มากขึ้น ส่งผลให้เมื่อปริมาณเส้นใยฟางข้าวเพิ่มขึ้น จะทำให้วัสดุเชิงประกอบรับแรงโค้งงอได้สูงขึ้น



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดูลัสโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดูลัสโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และปริมาณของเส้นใยฟางข้าว พบว่าที่ 0 เปอร์เซ็นต์เส้นใยฟางข้าวให้สมบัติด้านมอดูลัสโค้งงอต่ำสุด และเมื่อปริมาณเส้นใยฟางข้าวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สมบัติด้านมอดูลัสโค้งงอเพิ่มขึ้น เนื่องจาก เส้นใยฟางข้าวเป็นวัสดุที่มีความแข็งตึง (Stiffness) สูงกว่าเนื้อพอลิเมอร์จึงส่งผลให้สมบัติด้านมอดูลัสโค้งงอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติเชิงกลด้านแรงดึง (Tensile Test) และความโค้งงอ (Flexural-Test) ของวัสดุเชิงประกอบจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณต่าง ๆ ซึ่งสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

จากผลการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณ 0, 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง พบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยฟางข้าวเพิ่มขึ้นส่งผลให้สมบัติด้านมอดูลัสความยืดหยุ่น ความแข็งแรงโค้งงอ และค่ามอดูลัสโค้งงอเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณเส้นใยฟางข้าวจะส่งผลให้ความแข็งแรงดึง และร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดมีแนวโน้มลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.2 ปรับปรุงสีของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยฟางข้าวให้มีความเหมาะสมเพื่อนำไปใช้งานเป็นวัสดุไม้เทียม

5.2.4 ควรมีการปรับปรุงผิวของเส้นใยฟางข้าวโดยการใช้สารช่วยผสม

5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางแก้ไข

เนื่องจากนำฟางข้าวมาคัดแยกขนาดโดยใช้เครื่องร่อนแยกขนาดซึ่งใช้เส้นใยฟางข้าวในปริมาณมากทำให้ในการร่อนเกิดฝุ่นละอองขึ้น จึงควรร่อนเส้นใยฟางข้าวในพื้นที่ปิดเพื่อป้องกันฝุ่นละอองที่จะเกิดขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- กรมป่าไม้. (2550). งานอุตสาหกรรมวัสดุทดแทนไม้. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. สืบค้นเมื่อ 28 มิถุนายน 2555, จาก <http://forprod.forest.go.th>.
- กลุ่มสตรีห้วยทองกลาง. (2549). ผลิตภัณฑ์จักสานเชือกมัดฟาง. ไทยตำบล. สืบค้นเมื่อวันที่ 3 กรกฎาคม 2555, จาก www.thaitambon.com/SR/HuayThongLang.htm.
- จิราภรณ์ คำศรี. (2549). สมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์ และ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำโดยใช้ซีลีออยไมยางพาราเป็นสารเสริมแรง. วิทยานิพนธ์ วท.บ., ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- เจริญ นาคะสรรค์. (2542). กระบวนการแปรรูปพลาสติก. ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- เดช พุทธเจริญทอง. (2548). ทฤษฎีพลาสติกและการเปลี่ยนรูปถาวร. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- เดือนพร บุญศิริคำชัย. (2549). ศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบคล้ายไม้จากพอลิไวนิลคลอไรด์กับผงหนังและเยื่อขานอ้อย. วิทยานิพนธ์ วศ.ม., สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- ธีรวัฒน์ อุณหโชค และพจนีย์ ศรธรรมลี. (2543). การศึกษาไม้เทียมพอลิเมอร์คอมโพสิตจาก พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และเส้นใยผักตบชวา. วิทยานิพนธ์ วท.บ., ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- มาลินี ชัยศุกกิจสินธ์. (2543). เคมีพอลิเมอร์. โครงการตำรา ภาควิชาเคมีวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- แมน อมรสิทธิ์ และชนิษฐา คำวิสัยศักดิ์. (2539). วัสดุวิศวกรรม (Engineering Materials). ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศลิษญา สุริโย. (2547). การเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิเอสเตอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัวและ ฟางข้าว. วิทยานิพนธ์ วศ.บ., ภาควิชาปิโตรเคมี วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- อิทธิพล แจ่มชัด. (2544). เอกสารประกอบการสอนวิชาพอลิเมอร์คอมโพสิต. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- MatWeb. (15 เมษายน 2547). H5818J HDPE Resin. สืบค้นเมื่อ 30 มิถุนายน 2555, จาก- <http://www.matweb.com/serch>.
- Wollerdorfer. M, and Bader. H, (1998). Influence of natural fibers on the mechanical properties of biodegradable polymers industrial Corps and Production. 8: 105-112.



ภาคผนวก ก

การศึกษาสมบัติเชิงกลด้านแรงดึง (Tensile Test) และความโค้งงอ (Flexural Test) ของวัสดุเชิงประกอบจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยพางข้าวที่ปริมาณต่าง ๆ

ตารางที่ ก.1 สมบัติเชิงกลด้านแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

No.	Tensile Strength (MPa)	Modulus of Elasticity (MPa)	%Elongation at Break (%)
1	20.70	352.16	333.60
2	21.38	406.13	298.70
3	21.53	349.60	349.45
4	19.52	319.44	346.69
5	20.60	351.22	332.90
6	21.16	211.64	567.42
7	21.22	356.06	338.21
8	20.73	415.35	283.17
ค่าเฉลี่ย	20.86	345.20	356.27
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.63	62.51	88.40

ตารางที่ ก.2 สมบัติเชิงกลด้านแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

No.	Tensile Strength (MPa)	Modulus of Elasticity (MPa)	%Elongation at Break (%)
1	18.73	700.82	14.22
2	18.64	694.43	14.00
3	19.51	781.18	10.02
4	18.52	662.27	12.90
5	18.71	671.01	11.64
6	19.14	634.62	11.72
7	19.08	642.30	12.06
8	18.50	674.66	13.33
ค่าเฉลี่ย	18.85	682.66	12.48
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.35	45.86	1.40

ตารางที่ ก.3 สมบัติเชิงกลด้านแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

No.	Tensile Strength (MPa)	Modulus of Elasticity (MPa)	%Elongation at Break (%)
1	18.79	752.84	8.66
2	18.65	832.76	8.42
3	18.78	769.21	9.16
4	18.37	772.30	8.58
5	16.23	767.37	10.07
6	17.93	717.84	8.86
7	18.83	726.51	10.13
8	18.16	734.09	8.70
ค่าเฉลี่ย	18.22	759.12	9.07
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.86	36.25	0.67

ตารางที่ ก.4 สมบัติเชิงกลด้านแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยพางข้าวที่ปริมาณ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

No.	Tensile Strength (MPa)	Modulus of Elasticity (MPa)	%Elongation at Break (%)
1	17.33	921.51	6.16
2	17.75	842.83	6.56
3	17.94	1038.86	6.02
4	17.68	927.23	6.42
5	17.07	1006.34	6.28
6	17.75	940.74	6.81
7	17.54	996.70	6.25
8	16.60	914.01	5.77
ค่าเฉลี่ย	17.46	948.53	6.28
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.44	62.60	0.32

ตารางที่ ก.5 สมบัติเชิงกลด้านแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยพางข้าวที่ปริมาณ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

No.	Tensile Strength (MPa)	Modulus of Elasticity (MPa)	%Elongation at Break (%)
1	16.86	1068.07	6.30
2	16.02	843.44	5.25
3	17.20	893.44	5.66
4	16.86	845.12	5.76
5	17.68	934.81	5.59
6	17.24	950.59	5.53
7	17.20	988.67	5.39
8	16.3	931.45	5.32
ค่าเฉลี่ย	16.92	931.95	5.60
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.53	74.60	0.33

ตารางที่ ก.6 สมบัติเชิงกลด้านความโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยพางข้าวที่ปริมาณ 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

No.	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (MPa)
1	25.31	736.66
2	24.59	653.43
3	24.25	710.01
4	23.23	652.81
5	24.50	643.97
6	25.67	699.77
7	25.56	630.68
8	26.37	644.42
ค่าเฉลี่ย	24.93	667.72
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.99	36.74

ตารางที่ ก.7 สมบัติเชิงกลด้านความโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

No.	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (MPa)
1	31.70	846.06
2	29.95	764.07
3	31.06	731.95
4	32.38	717.18
5	29.96	777.52
6	31.64	888.41
7	29.57	714.41
8	29.90	738.12
ค่าเฉลี่ย	30.77	772.21
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.06	63.48

ตารางที่ ก.8 สมบัติเชิงกลด้านความโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

No.	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (MPa)
1	31.33	802.76
2	32.02	903.48
3	32.20	879.83
4	31.77	845.97
5	31.04	790.12
6	31.75	827.76
7	31.62	802.65
8	31.43	804.79
ค่าเฉลี่ย	31.64	832.17
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.38	41.09

ตารางที่ ก.9 สมบัติเชิงกลด้านความโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยพางข้าวที่ปริมาณ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

No.	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (MPa)
1	32.00	1340.18
2	33.21	1297.42
3	34.58	1323.04
4	33.47	1045.15
5	33.74	1296.07
6	33.31	1314.47
7	33.89	1228.20
8	33.44	1285.33
ค่าเฉลี่ย	33.46	1266.33
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.73	95.30

ตารางที่ ก.10 สมบัติเชิงกลด้านความโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยพางข้าวที่ปริมาณ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

No.	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (MPa)
1	33.44	1244.95
2	33.73	1251.10
3	33.59	1235.01
4	33.29	1242.29
5	33.52	1223.63
6	33.75	1244.90
7	33.42	1284.37
8	33.42	1219.26
ค่าเฉลี่ย	33.50	1243.31
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.18	20.02

ภาคผนวก ข

การทดสอบวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
และเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณต่าง ๆ



ก)



ข)



ค)

รูปที่ ข.1 ชิ้นงานทดสอบของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใย-
ฟางข้าวที่ปริมาณต่าง ๆ

- ก) ปริมาณเส้นใยฟางข้าวที่ 0% โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
- ข) ปริมาณเส้นใยฟางข้าวที่ 10% โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
- ค) ปริมาณเส้นใยฟางข้าวที่ 20% โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง



ง)



จ)

รูปที่ ข.1 (ต่อ) ชิ้นงานทดสอบของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณต่าง ๆ

ง) ปริมาณเส้นใยฟางข้าวที่ 30% โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

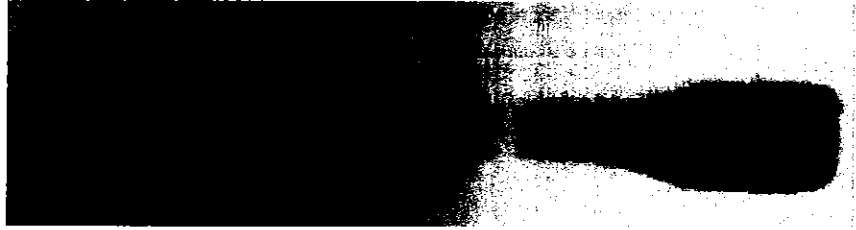
จ) ปริมาณเส้นใยฟางข้าวที่ 40% โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง



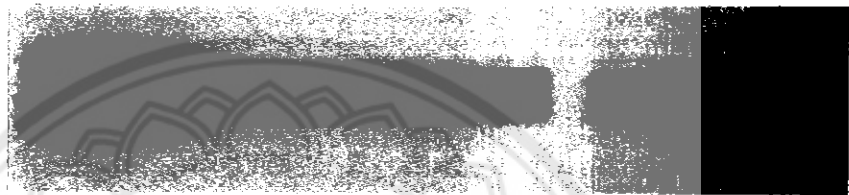
รูปที่ ข.2 ชิ้นงานหลังการทดสอบสมบัติเชิงกลด้านแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณ 0% โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง



รูปที่ ข.3 ชิ้นงานหลังการทดสอบสมบัติเชิงกลด้านแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง



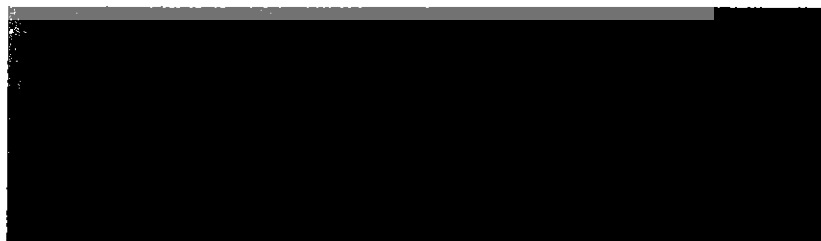
รูปที่ ข.4 ชิ้นงานหลังการทดสอบสมบัติเชิงกลด้านแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีน-ชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณ 20% โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีน-ชนิดความหนาแน่นสูง



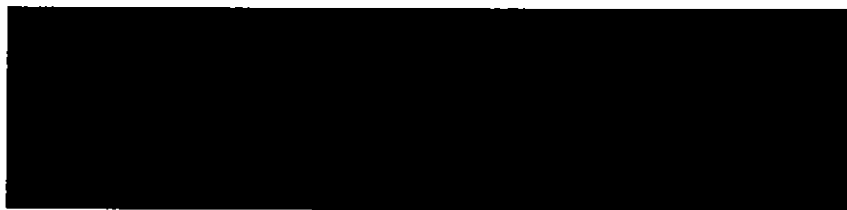
รูปที่ ข.5 ชิ้นงานหลังการทดสอบสมบัติเชิงกลด้านแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีน-ชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณ 30% โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีน-ชนิดความหนาแน่นสูง



รูปที่ ข.6 ชิ้นงานหลังการทดสอบสมบัติเชิงกลด้านแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีน-ชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณ 40% โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีน-ชนิดความหนาแน่นสูง



รูปที่ ข.7 ชิ้นงานหลังการทดสอบสมบัติเชิงกลด้านความโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีน-ชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยฟางข้าวที่ปริมาณ 0% โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีน-ชนิดความหนาแน่นสูง



รูปที่ ข.8 ชิ้นงานหลังการทดสอบสมบัติเชิงกลด้านความโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอ-
เททิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยพางข้าวที่ปริมาณ 10% โดยน้ำหนักของพอลิ-
เอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง



รูปที่ ข.9 ชิ้นงานหลังการทดสอบสมบัติเชิงกลด้านความโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอ-
เททิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยพางข้าวที่ปริมาณ 20% โดยน้ำหนักของพอลิ-
เอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง



รูปที่ ข.10 ชิ้นงานหลังการทดสอบสมบัติเชิงกลด้านความโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอ-
เททิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยพางข้าวที่ปริมาณ 30% โดยน้ำหนักของพอลิ-
เอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง



รูปที่ ข.11 ชิ้นงานหลังการทดสอบสมบัติเชิงกลด้านความโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอ-
เททิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยพางข้าวที่ปริมาณ 40% โดยน้ำหนักของพอลิ-
เอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง