



การปรับปรุงสมบัติของคอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และเส้นใยผักตบชวา

โดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนเป็นสารช่วยผสม

PROPERTY MODIFICATION OF COMPOSITES FROM

POLYPROPYLENE AND WATER HYACINTH USING ACRYLIC

ACID GRAFTED POLYPROPYLENE AS COUPLING AGENT

นายกิติวุฒิ สุวรรณ รหัส 49364615

นายภาณุมาศ แก้วประเสริฐ รหัส 49364714

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 10 มิ.ย. 2555
เลขทะเบียน..... 15904705
เลขเรียกหนังสือ..... ปร.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 66777

2552

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปีการศึกษา 2552



ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ	การปรับปรุงสมบัติของคอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีนและเส้นใยผักตบชวา โดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนเป็นสารช่วยผสม		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายกิติวุฒิ	สุวรรณ	รหัส 49364615
	นายภาณุมาศ	แก้วประเสริฐ	รหัส 49364714
ที่ปรึกษาโครงการ	อาจารย์ศิริกาญจน์ ชันรัมย์ฤทธิ์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม		
ปีการศึกษา	2552		

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

.....ที่ปรึกษาโครงการ
(อาจารย์ศิริกาญจน์ ชันรัมย์ฤทธิ์)

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์นพวรรณ ไม้ทอง)

.....กรรมการ
(อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ปิยนันท์ บุญพยัคฆ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ชูลีพรีย์ ป่าไร่)

ชื่อหัวข้อโครงการงาน	การปรับปรุงสมบัติของคอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และเส้นใยผักตบชวา โดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนเป็นสารช่วยผสม		
ผู้ดำเนินโครงการงาน	นายกิตติวุฒิ	สุวรรณ	รหัส 49364615
	นายภาณุมาศ	แก้วประเสริฐ	รหัส 49364714
ที่ปรึกษาโครงการงาน	อาจารย์ศิริกาญจน์ ชันส์สัมฤทธิ์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ปีการศึกษา	2552		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน (Polypropylene : PP) และเส้นใยผักตบชวา (Water Hyacinth) ที่ปริมาณ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีน (Acrylic acid-Grafted-Polypropylene : PP-g-AA) ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา ศึกษาถึงสมบัติต่างๆ เช่น หมู่ฟังก์ชัน สมบัติเชิงกล และสมบัติการดูดซับน้ำจากการศึกษา พบว่าสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตมีค่าลดลง เมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มมากขึ้น จากนั้นได้ทำการศึกษาปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้สารช่วยผสม PP-g-AA ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา พบว่าสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว จากการศึกษาสรุปว่า สารช่วยผสม PP-g-AA ที่ปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด หมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่าง พอลิพรอพิลีน และเส้นใยผักตบชวาที่ปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้สารช่วยผสม PP-g-AA ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวาพบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมเกิดการเชื่อมโยงระหว่างหมู่อะคริลิกของสารช่วยผสม PP-g-AA และเซลล์ลูโลสของเส้นใยผักตบชวา สมบัติการดูดซับน้ำพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย สมบัติการดูดซับน้ำมีค่าเพิ่มมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของหลายๆ ฝ่าย โดยเฉพาะ อาจารย์ศิริภาณุจน์ ชันส์มฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา แนะนำวิธีแก้ปัญหา รวมถึงข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนความดูแลเอาใจใส่ ติดตามการดำเนินโครงการมา โดยตลอด และขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม และวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยนเรศวรทุกท่าน ที่ได้ให้วิชาความรู้ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

นอกจากนี้ ยังต้องขอขอบพระคุณ อาจารย์นพวรรณ ไม้ทอง อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์ อาจารย์ปิยนันท์ บุญพยัคฆ์ และอาจารย์ชูลีพรย์ ป่าไร่ ที่กรุณาสละเวลา เป็นอาจารย์สอนโครงการ พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขโครงการนี้

ขอขอบคุณครูช่างประเทือง โมรราราย ครูช่างธวัชชัย ชุลบุตร และครูช่างรณกฤต แสงผ่อง ที่คอยเอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำโครงการ อีกทั้งยังคอยแนะนำการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ อย่างถูกต้องอีกด้วย

สุดท้ายนี้ผู้ดำเนินโครงการใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้การดูแล อบรม สั่งสอน และให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา ตลอดการดำเนินโครงการจนสำเร็จการศึกษา

ผู้ดำเนินโครงการ

กิตติวุฒิ สุวรรณ

ภาณุมาศ แก้วประเสริฐ

เมษายน 2554

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ฅ
สารบัญสัญลักษณ์ และอักษรย่อ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output).....	2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome).....	2
1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ.....	3
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงการ.....	4
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ.....	4
1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงการ.....	4
บทที่ 2 หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น.....	5
2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับพอลิเมอร์.....	5
2.2 คอมโพสิต (Composites).....	8
2.3 เมทริกซ์ (Matrixs).....	11
2.4 ส่วนเสริมแรง (Reinforcements).....	15
2.5 เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fibers).....	16
2.6 ทฤษฎีการยึดเกาะ.....	20
2.7 การปรับปรุงสภาพพื้นผิวของเส้นใย.....	22
2.8 สารช่วยผสม (Compatibilizer).....	23
2.9 กระบวนการอัดรีด (Extrusion process).....	24
2.10 กระบวนการฉีดขึ้นรูป (Injection molding process).....	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.11 การทดสอบ.....	28
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	35
<hr/>	
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ.....	37
3.1 สารเคมี และวัสดุที่ใช้ในโครงการ.....	37
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในโครงการ.....	38
3.3 การทดลอง.....	40
3.4 การทดสอบ.....	41
<hr/>	
บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์.....	44
4.1 การศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยผักตบชวา ที่อัตราส่วนของเส้นใยผักตบชวาปริมาณ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน.....	44
4.2 การศึกษาผลของการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวาโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์ พอลิพรอพิลีนเป็นสารช่วยผสม.....	53
<hr/>	
บทที่ 5 บทสรุป.....	72
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ.....	72
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	72
5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ปัญหา.....	73
<hr/>	
เอกสารอ้างอิง.....	74
<hr/>	
ภาคผนวก ก สมบัติเชิงกล และสมบัติการดูดซับน้ำของชิ้นงาน.....	76
ภาคผนวก ข วัสดุดิบ และชิ้นงาน.....	95
<hr/>	
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	104

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 อุณหภูมิในการผสม.....	3
1.2 อุณหภูมิในการฉีดขึ้นรูป.....	3
1.3 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงการ.....	4
2.1 ความแตกต่างระหว่างพอลิเมอร์เทอร์โมพลาสติก และเทอร์โมเซต.....	7
2.2 ข้อดี และข้อเสียของคอมโพสิต.....	11
2.3 สมบัติของพอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP).....	14
2.4 ลักษณะ และสมบัติของผ้ากบชวา.....	19
2.5 ช่วงของเลขคลื่นกับหมู่ฟังก์ชันกับหมู่ฟังก์ชันที่ดูดกลืนแสงอินฟราเรดได้ปานกลาง และดีมาก.....	34
3.1 สมบัติของพอลิพรอพิลีน (EL-Pro, P700J).....	37
3.2 สมบัติของอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีน เกรด Polybond® 1002.....	38
3.3 พอลิพรอพิลีนกับเส้นใยผ้ากบชวา.....	40
3.4 อัตราส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีน : เส้นใยผ้ากบชวา กับสารช่วยผสมที่มีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีน (PP-g-AA) เกรด Polybond® 1002.....	41
4.1 ตำแหน่งสเปกตรัมของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผ้ากบชวา.....	45
4.2 ตำแหน่งสเปกตรัมของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผ้ากบชวาโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีน.....	56
4.3 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต และปริมาณอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผ้ากบชวา โดยเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่มีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผ้ากบชวา.....	67
ก.1 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใยผ้ากบชวาที่ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน.....	77
ก.2 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใยผ้ากบชวาที่ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน.....	78
ก.3 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใยผ้ากบชวาที่ 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน.....	79
ก.4 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใยผ้ากบชวาที่ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน.....	80
ก.5 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใยผ้ากบชวาที่ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยผ้ากบชวา.....	81

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.16 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใยผักตบชวาที่ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้ อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา.....	92
ก.17 สมบัติการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใย ผักตบชวาที่ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน.....	93
ก.18 สมบัติการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใย ผักตบชวาที่ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา.....	93
ก.19 สมบัติการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใย ผักตบชวาที่ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ 3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา.....	94
ก.20 สมบัติการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใย ผักตบชวาที่ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา.....	94

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	โครงสร้างประเภทต่าง ๆ ของพอลิเมอร์..... 6
2.2	ประเภทของวัสดุคอมโพสิตโดยแบ่งตามลักษณะของส่วนเสริมแรง..... 10
2.3	โครงสร้างของหน่วยซ้ำของพอลิพรอพิลีน..... 12
2.4	ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน..... 13
2.5	ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของซินดีโอแทกติกพอลิพรอพิลีน..... 13
2.6	ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของอะแทกติกแทกติกพอลิพรอพิลีน..... 13
2.7	ตัวอย่างคอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน..... 15
2.8	โครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลเซลลูโลส..... 17
2.9	โครงสร้างทางเคมีของเอมิเซลลูโลส..... 17
2.10	ผักตบชวา..... 18
2.11	สายพันธุ์ผักตบชวา..... 19
2.12	แบบจำลองการยึดเกาะแบบดูดซับ..... 20
2.13	แบบจำลองการยึดเกาะแบบแพร่เข้าหากัน..... 21
2.14	แบบจำลองการยึดเกาะแบบแรงดูดประจุ..... 21
2.15	แบบจำลองการยึดเกาะโดยการเกิดพันธะเคมี..... 22
2.16	แบบจำลองการยึดเกาะเชิงกล..... 22
2.17	โครงสร้างของสารช่วยผสมชนิดอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีน..... 24
2.18	เครื่องอัดรีด และส่วนประกอบ..... 25
2.19	ลักษณะ และส่วนต่างๆ ของสกรูเครื่องอัดรีด..... 25
2.20	ส่วนประกอบของเครื่องฉีดขึ้นรูป..... 26
2.21	กราฟความเค้น-ความเครียด แสดงพฤติกรรมของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง..... 30
2.22	เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกระแทกแบบไอซอด..... 30
2.23	ชิ้นงานทดสอบความต้านทานแรงกระแทก ASTM D256..... 31
2.24	การทดสอบ Three Point Bending..... 32
3.1	แผนการดำเนินงานในโรงงาน..... 39
3.2	ชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D638..... 42

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.3	ชิ้นงานทดสอบความต้านทานแรงกระแทกตามมาตรฐาน ASTM D256..... 42
4.1	อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยผักตบชวา ปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน..... 44
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิต และปริมาณเส้นใยผักตบชวา..... 46
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านเปอร์เซ็นต์การดึง ณ จุดขาดของพอลิเมอร์คอมโพสิต และปริมาณเส้นใยผักตบชวา..... 47
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดุลัสของพอลิเมอร์คอมโพสิต และปริมาณเส้นใยผักตบชวา..... 48
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความต้านทานแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิต และปริมาณเส้นใยผักตบชวา..... 49
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิต และปริมาณเส้นใยผักตบชวา..... 50
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดุลัสโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิต และปริมาณเส้นใยผักตบชวา..... 51
4.8	กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีนและเส้นใย ผักตบชวา 10, 20, 30, และ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน..... 52
4.9	อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิพรอพิลีน และเส้นใยผักตบชวาปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์ พอลิพรอพิลีน..... 54
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิต และ ปริมาณอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวา..... 57
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านเปอร์เซ็นต์การดึง ณ จุดขาดของพอลิเมอร์คอมโพสิต และ ปริมาณอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวา..... 59
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดุลัสของพอลิเมอร์คอมโพสิต และ ปริมาณอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวา..... 60
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความต้านทานแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิต และปริมาณอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวา..... 62
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิต และ ปริมาณอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวา..... 63

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดูลัสโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิต และปริมาณอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวา.....	65
4.16 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และเส้นใยผักตบชวาที่ปรับพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้ PP-g-AA.....	69
4.17 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และเส้นใยผักตบชวาปริมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ที่ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีน.....	70
ข.1 ผักตบชวา.....	96
ข.2 วัตถุดิบในการขึ้นรูปชิ้นงาน.....	96
ข.3 สารช่วยผสม PP-g-AA.....	97
ข.4 ชิ้นงานที่ผ่านการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว.....	97
ข.5 ชิ้นงานของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใยผักตบชวาที่ 10, 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน.....	98
ข.6 ชิ้นงานของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใยผักตบชวาที่ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา.....	99
ข.7 ชิ้นงานของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใยผักตบชวาที่ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา.....	100
ข.8 ชิ้นงานของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใยผักตบชวาที่ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา.....	101
ข.9 ชิ้นงานก่อน และหลังการทดสอบความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใยผักตบชวาที่ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน.....	102
ข.10 ชิ้นงานก่อน และหลังการทดสอบแรงโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใยผักตบชวาที่ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน.....	102
ข.11 ชิ้นงานก่อน และหลังการทดสอบความต้านทานแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใยผักตบชวาที่ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน.....	103
ข.12 การทดสอบสมบัติการดูดซับน้ำ.....	103

สารบัญสัญลักษณ์ และอักษรย่อ

PP	=	พอลิพรอพิลีน
PP-g-AA	=	อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีน
FTIR	=	ฟูเรียสทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์
MPa	=	เมกกะปาลกาล
min	=	นาที
mm	=	มิลลิเมตร
kg	=	กิโลกรัม
kN	=	กิโลนิวตัน
g	=	กรัม
J	=	จูล
°C	=	องศาเซลเซียส



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของโครงการ

เครื่องใช้สอยต่างๆ ที่อำนวยความสะดวกให้กับมนุษย์ในชีวิตประจำวันเป็นเหมือนสิ่งที่ไม่ขาดไม่ได้ โดยส่วนใหญ่ทำมาจากวัสดุสังเคราะห์ ซึ่งเมื่อหมดอายุการใช้งานแล้ว ขยะที่เกิดจากวัสดุสังเคราะห์เหล่านี้ไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ทั้งยังอาจเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม วัสดุสังเคราะห์ประเภทหนึ่งซึ่งเป็นที่นิยมใช้อย่างมาก คือพอลิเมอร์ หรือพลาสติก ซึ่งถูกนำไปทำภาชนะบรรจุอาหาร ถุงพลาสติก เฟอร์นิเจอร์ อุปกรณ์ชิ้นส่วนรถยนต์ และเครื่องใช้ต่างๆ อีกมากมาย พอลิเมอร์ถูกค้นพบในช่วงคริสต์ศักราช 1950 โดยเป็นผลผลิตพลอยได้จากการกลั่นปิโตรเลียม พอลิเมอร์เป็นวัสดุที่ใช้ในงานที่ต้องการน้ำหนักเบา เนื่องจากมีน้ำหนักน้อยกว่าโลหะและเซรามิกส์ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาพอลิเมอร์ให้มีความแข็งแรงสูงขึ้น โดยการนำเส้นใยเสริมแรงเข้ามาผสมกับพอลิเมอร์เพื่อทำให้ได้วัสดุชนิดใหม่ที่มีน้ำหนักเบา และมีความแข็งแรงต่อน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น วัสดุชนิดใหม่นี้จะมีสมบัติรวมของเส้นใย และพอลิเมอร์รวมกัน ซึ่งเรียกว่า วัสดุพอลิเมอร์-คอมโพสิต (Composites Materials)

วัสดุคอมโพสิตโดยความหมายโดยทั่วไป หมายถึงวัสดุที่ได้จากการนำวัสดุตั้งแต่ 2 ชนิด มาประกอบกัน ซึ่งสมบัติของวัสดุใหม่ที่ได้จะเป็นสมบัติรวมจากวัสดุแต่ละชนิดที่นำมาประกอบกัน วัสดุคอมโพสิตจะมีความหนาแน่นต่ำ และมีสมบัติเฉพาะ (Specific Properties) บางอย่างดีขึ้น เช่น ความแข็งแรงต่อน้ำหนัก ความต้านทานการกัดกร่อน ความต้านทานการสึกหรอ เป็นต้น วัสดุคอมโพสิตถูกนำไปใช้ครั้งแรกในงานทางด้านทหาร แต่ในปัจจุบันคอมโพสิตได้ถูกนำไปใช้ในงานต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นงานทางด้านพาหนะ ทางด้านอวกาศ และทางการค้า วัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิตจะประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นพอลิเมอร์ ซึ่งเรียกว่าเมทริกซ์ (Matrix) และส่วนเสริมแรง (Reinforcements) ซึ่งนิยมใช้เส้นใย ได้แก่เส้นใยแก้ว เส้นใยคาร์บอน เส้นใยโบรอน เป็นต้น ปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้เส้นใยธรรมชาติ ทั้งเส้นใยเซลลูโลสจากพืช และเส้นใยโปรตีนจากสัตว์มาใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงในวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิต เป็นการทดแทนเส้นใยสังเคราะห์ที่มีราคาแพง ทำให้วัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ใช้เส้นใยธรรมชาติเป็นวัสดุเสริมแรงมีราคาถูก

ในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์โดยการใส่เส้นใยเสริมแรงจะมีสมบัติดีขึ้น ถ้าเส้นใยสามารถกระจายตัว และยึดเกาะกับพอลิเมอร์ได้ดี แต่ผิวของสารเสริมแรงมีความสามารถในการเข้ากับพอลิเมอร์ได้ต่างกันจึงมีผลต่อการกระจายตัว และสมบัติการใช้สารคู่ควบ (Coupling agents) ที่สามารถเข้ากันได้ดีกับทั้งพอลิเมอร์ และสารเติมแต่งเพื่อให้ทำหน้าที่เชื่อมประสานระหว่างพอลิเมอร์ และสารเติมแต่งโดยการสร้างพันธะระหว่างสารทั้งสองทำให้เกิดการยึดเกาะระหว่างเฟสที่ดีขึ้น ทำให้

ได้สมบัติของวัสดุคอมโพสิตดีขึ้น สามารถผลิตได้ง่าย และช่วยป้องกันการสูญเสียสมบัติเนื่องจากความชื้น และความร้อนในระหว่างการใช้งาน (วิจิตรรา, 2543)

ในงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาการเตรียมการตรวจวิเคราะห์ และทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และศึกษาหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และเส้นใยผักตบชวา โดยเน้นเรื่องการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิต โดยใช้สารช่วยผสมชนิดอะคริลิกแอกซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีน (Acrylic acid - grafted - Polypropylene, PP - g - AA) เพื่อปรับปรุงการยึดเกาะระหว่างพื้นผิวเส้นใยกับเมทริกซ์ให้มีการยึดเกาะที่ดีขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน สมบัติเชิงกล สมบัติการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และเส้นใยผักตบชวาที่ปริมาณ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวาโดยใช้สารช่วยผสมชนิด PP-g-AA ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา ในพอลิเมอร์คอมโพสิต

1.2.3 เพื่อศึกษาการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน สมบัติเชิงกล สมบัติการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิต ที่มีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวาโดยใช้สารช่วยผสมชนิด PP-g-AA ที่ปริมาณต่างๆ ในการปรับปรุงพอลิเมอร์คอมโพสิต

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

วัสดุคอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และเส้นใยผักตบชวาปริมาณต่างๆ และมีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้สารช่วยผสมชนิด PP-g-AA ที่ปริมาณต่างๆ

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

สมบัติเชิงกล สมบัติการดูดซับน้ำ ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีน และเส้นใยผักตบชวาที่ปริมาณ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน และสมบัติเชิงกล สมบัติการดูดซับน้ำ ของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีการใช้สารช่วยผสมชนิด PP-g-AA ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา ในการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใย

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ

1.5.1 ตัวแปรควบคุม

1.5.1.1 กระบวนการขึ้นรูป : ทำการผสมวัตถุดิบโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder Machine) และขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding Machine)

1.5.1.2 สภาวะในการขึ้นรูป : ทำการผสมวัตถุดิบโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder Machine) โดยใช้สภาวะอุณหภูมิดังตารางที่ 1.1 และนำไปฉีดขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding Machine) โดยใช้สภาวะอุณหภูมิดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.1 อุณหภูมิในการผสม

ช่วงต่างๆ ของการฉีดขึ้นรูป	อุณหภูมิ
Feed-zone (°C)	170
Compression-zone (°C)	180
Metering-zone (°C)	190
Nozzle-zone (°C)	180

ตารางที่ 1.2 อุณหภูมิในการฉีดขึ้นรูป

ช่วงต่างๆ ของการฉีดขึ้นรูป	อุณหภูมิ
Feed-zone (°C)	170
Compression-zone (°C)	180
Metering-zone (°C)	190
Nozzle-zone (°C)	180

1.5.2 ตัวแปรที่ศึกษา

1.5.2.1 ปริมาณเส้นใยผักตบชวา ที่ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิต ที่ปริมาณ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน

1.5.2.2 ปริมาณสารช่วยผสมชนิด PP-g-AA ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา

1.5.3 ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชัน สมบัติเชิงกล และสมบัติการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่เตรียมได้

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงการ

อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

กรกฎาคม 2552 – เมษายน 2554

1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงการ

ตารางที่ 1.3 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงการ

ลำดับ	การดำเนินงาน	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1.	จัดทำข้อเสนอโครงการ	↔						
2.	ศึกษาหาข้อมูล		↔					
3.	ทำการทดลอง			↔	↔			
4.	นำชิ้นงานทดสอบเชิงกล				↔	↔		
5.	ทำการวิเคราะห์ข้อมูล และปัจจัยที่มีอิทธิพล					↔	↔	
6.	สรุปผลการดำเนินงาน						↔	↔

บทที่ 2

หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับพอลิเมอร์

พอลิเมอร์ (Polymer) คือสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งประกอบด้วยหน่วยซ้ำๆ กัน ที่เรียกว่าเมอร์ (Mer) แปลว่าส่วน หรือหน่วย หรือ Repeating Unit จำนวนมากมาเชื่อมต่อกันด้วย พันธะโควาเลนต์ โดยการสังเคราะห์พอลิเมอร์นั้น เกิดจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ซึ่งได้จากปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารโมเลกุลเล็กๆ ที่เรียกว่ามอนอเมอร์ (Monomer) พอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้จะมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย ตั้งแต่ 10^4 - 10^6 กรัมต่อโมล พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงอาจเกิดขึ้นในธรรมชาติหรือถูกสังเคราะห์ขึ้นมาซึ่งมีลักษณะการใช้งาน ได้หลากหลาย ดังต่อไปนี้

- พลาสติก (Plastics) เช่นถุงพลาสติก ฟิล์มพลาสติก เป็นต้น
- ยาง (Rubber) เช่นยางธรรมชาติ (Natural Rubber) หรือยางสังเคราะห์ (Synthetic Rubber) ใช้ทำยางรถยนต์ ยางล้อ เป็นต้น
- เส้นใย (Fibers) เช่นเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากสัตว์ พืช และแร่ธาตุ หรือเส้นใย
- สารเคลือบผิว (Surface Coatings) เช่น สีทาบ้าน แล็กเกอร์ เป็นต้น
- กาว (Adhesives) เช่นกาวลาเทกซ์ กาวอีพอกซี
- วัสดุเชิงประกอบ (Composite Materials) เช่นผลิตภัณฑ์พลาสติกเสริมแรงด้วยเส้นใยแก้ว (Glass Fiber Reinforced Plastics) หรือที่เรียกว่าผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาส

โดยทั่วไปพอลิเมอร์มีน้ำหนักเบา มีความต้านทานต่อการกัดกร่อน (Corrosion Resistance) หรือการเกิดสนิม ราคาถูก ผลิตให้มีรูปร่างต่าง ๆ ได้ง่าย ใช้แรงงานในการผลิตต่ำ สามารถทำให้มีสมบัติได้หลากหลาย โดยจะมีความทนทานทางกายภาพ และทางเคมี แต่ไม่เหมาะที่จะใช้งานใน อุณหภูมิสูง นอกจากนี้พอลิเมอร์บางชนิดสามารถใช้แทนโลหะ เซรามิก แก้ว ไม้ หรือหนังสัตว์ได้ เช่น แผ่นกระจกทนความร้อน (Plexiglas) ที่มีความโปร่งใส สามารถใช้แทนแก้วหรือกระจก หรือหนังเทียมที่ทำจาก PVC (Poly Vinyl Chloride) ใช้แทนหนังสัตว์ ภาชนะเมลามีน (Melamine) ที่ใช้แทนจานชามเซรามิกส์

โครงสร้างของพอลิเมอร์ หรือลักษณะการจัดรูปร่างโมเลกุลของพอลิเมอร์นั้นมีหลายแบบขึ้นอยู่กับประเภทของพอลิเมอร์ และวิธีการสังเคราะห์ซึ่งจะมีผลต่อคุณสมบัติเฉพาะตัวของพอลิเมอร์ชนิดนั้นๆ เช่นความหนาแน่น ความเหนียว ความเปราะ ความยืดหยุ่น ความแข็ง ความใส ฯลฯ

โครงสร้างของพอลิเมอร์สามารถแบ่งได้เป็นแบบต่างๆ ดังนี้

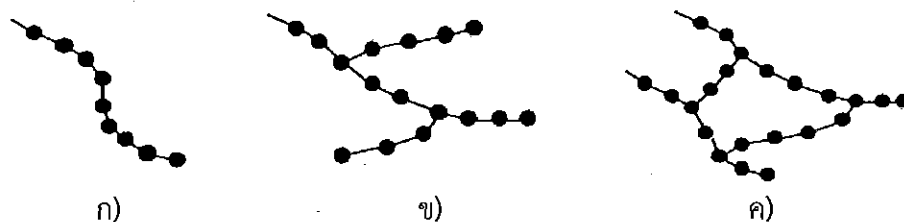
- พอลิเมอร์แบบเส้น (Linear Polymer) โดยลักษณะโมเลกุลเป็นสายโซ่เส้นยาวๆ หรือเป็นสายโซ่เดี่ยวๆ คล้ายเส้นด้ายโดยไม่มีกิ่ง หรือสาขาแยกออกมา เมื่อสายโซ่ยาวขึ้นพอลิเมอร์จะมีความแข็งแรงสูงขึ้น ทนความร้อนได้ดีขึ้น ได้แก่พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High Density Poly Ethylene, HDPE) พอลิไวนิลคลอไรด์ (Poly Vinyl Chloride), PVC พอลิเมทิลเมทาคริเลต (Poly Methy Melthacrylate), PMMA) พอลิอะคริโลไนไตรล์ (Poly Acrylo Nitrile) ไนลอน 6,6 (Nylon 6,6) เป็นต้น

- พอลิเมอร์แบบกิ่ง (Branched Polymer) โครงสร้างแบบนี้ทำให้โมเลกุลอยู่ห่างกัน จึงทำให้มีความหนาแน่นน้อย โดยโมเลกุลของพอลิเมอร์จะมีกิ่งหรือสาขาที่แยกออกมาจากสายโซ่หลัก ทำให้โมเลกุลไม่สามารถจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ ความสามารถในการเกิดผลึกจึงลดลง ทำให้พอลิเมอร์มีความหนาแน่นที่ต่ำ เช่นพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low Density Poly Ethylene, LDPE) ซึ่งกิ่งที่แยกออกมานั้นต้องมีลักษณะเป็นหน่วยซ้ำๆ กัน หรือเป็นหน่วยของเมอร์ก็ได้ แต่ละกิ่งเป็นส่วนประกอบของเมอร์นั้นๆ จะไม่จัดเป็นพอลิเมอร์แบบกิ่ง แต่จัดเป็นพอลิเมอร์แบบเส้น เช่นพอลิสไตรีน (Polystyrene) พอลิพรอพิลีน (Polypropylene)

- พอลิเมอร์แบบเชื่อมโยงหรือพอลิเมอร์แบบร่างแห (Cross-linked or Network Polymer) โครงสร้างแบบนี้ทำให้พอลิเมอร์มีความหนาแน่นสูง มีความแข็งแรง ทนความร้อนได้ดี โดยสายโซ่โมเลกุลจะเชื่อมติดกันด้วยพันธะเคมีเป็นร่างแห ได้แก่เมลามีน ฟอรัมาลดีไฮด์เรซิน (Melamine-Formaldehyde Resin) ฟีนอลฟอรัมาลดีไฮด์เรซิน (Phenol Formaldehyde Resin) ยูเรีย-ฟอรัมาลดีไฮด์เรซิน (Urea Formaldehyde Resin) เป็นต้น

พอลิเมอร์แบบเชื่อมโยง หรือพอลิเมอร์แบบร่างแหนี้จะไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆ แต่จะเกิดการบวมตัวขึ้นในตัวทำละลายบางชนิดแทน ซึ่งปริมาณการบวมตัวนั้นจะขึ้นกับปริมาณของการเชื่อมโยงโมเลกุล (Degree of crosslinking) ถ้ามีการเชื่อมโยงมาก พอลิเมอร์จะเกิดการบวมตัวได้น้อย

โดยโครงสร้างประเภทต่างๆ ของพอลิเมอร์ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างประเภทต่างๆ ของพอลิเมอร์

ก) Linear Polymer

ข) Branched Polymer

ค) Cross-linked Polymer

ที่มา : สุกโชค (2548)

พอลิเมอร์สามารถแบ่งตามพฤติกรรมเมื่อได้รับความร้อนได้เป็น 2 ประเภท คือ

- เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) พอลิเมอร์ประเภทนี้มีโครงสร้างเป็นแบบเส้น หรือแบบ กิ่งสั้น ๆ สามารถละลายได้ในตัวทำละลายบางชนิด และเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการอ่อนตัว และ หลอมเหลวเป็นของหนืด (Viscous liquid) และเมื่อเย็นตัวลงก็จะแข็งตัวได้อีก (Reharden) ดังนั้นใน การขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทนี้จะต้องอาศัยความร้อน และเมื่อเย็นตัวลงจะสามารถรักษารูปร่าง ให้เป็นไปตามที่ต้องการได้ พลาสติกประเภทนี้สามารถนำกลับมารีไซเคิล (Recycle) ได้ง่ายโดยการ ทำให้หลอมเหลวแล้วนำไปขึ้นรูปใหม่ พลาสติกประเภทนี้มีข้อจำกัด คือไม่สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูง ได้ เพราะจะทำให้บิดเบี้ยว หรือเสียรูปทรงได้ เช่น ซ้อนพลาสติกที่ทำจากโวนิลพอลิเมอร์เหมาะ สำหรับการตากไอศกรีม แต่ไม่เหมาะกับการใช้คนกาแพชนะร้อน

- เทอร์โมเซต (Thermoset) พอลิเมอร์ประเภทนี้จะหลอมเหลวในขั้นแรกเท่านั้น และเมื่อเกิด การเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลในเวลาต่อมาจนได้พอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบเชื่อมโยง หรือร่างแห ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีเสถียรภาพสูง จะไม่สามารถหลอมเหลวได้อีกเมื่อได้รับความร้อน แต่หากได้รับ ความร้อนที่สูงเกินไป จะทำให้พันธะระหว่างอะตอมภายในโมเลกุลเกิดการแตกออก การสลายตัวจึง เกิดขึ้น ทำให้พอลิเมอร์ไม่สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้เหมือนกับเทอร์โมพลาสติก พลาสติกประเภทนี้ สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงกว่าเทอร์โมพลาสติก เพราะจะไม่อ่อนตัว หรือบิดเบี้ยวเมื่อได้รับความ ร้อน เช่น ใช้ทำที่จับหุหม้อ หรือกระทะ ทำจานชามใส่อาหารขณะร้อน หรือถ้วยใส่กาแฟร้อน (สุกโชค, 2548)

โดยความแตกต่างระหว่างเทอร์โมพลาสติก และเทอร์โมเซตนั้น ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความแตกต่างระหว่างพอลิเมอร์เทอร์โมพลาสติก และเทอร์โมเซต

เทอร์โมพลาสติก	เทอร์โมเซต
- มอนอเมอร์มีหมู่ฟังก์ชัน 2 หมู่	- มอนอเมอร์อย่างน้อย 1 ชนิด มีหมู่ฟังก์ชัน มากกว่า 2 หมู่
- เป็นพอลิเมอร์แบบเส้นหรือกิ่ง	- เป็นพอลิเมอร์แบบเชื่อมโยง หรือแบบร่างแห
- อ่อนตัว หรือหลอมเหลวได้ เมื่อได้รับ ความร้อน	- จะแข็งตัวเมื่อได้รับความร้อน และสลายตัว ที่อุณหภูมิสูงๆ
- ต้องทำให้เย็นก่อนนำออกจากแม่แบบ มิฉะนั้นอาจเสียรูปทรงได้	- ไม่ต้องรอให้เย็นก่อนนำออกจากแม่แบบ
- ไม่เกิดการพอลิเมอไรเซชันอีกในแม่แบบ	- เกิดการพอลิเมอไรเซชันอีกในแม่แบบ
- นำกลับมารีไซเคิลได้	- รีไซเคิลด้วยการหลอมเหลวไม่ได้

ที่มา : สุกโชค (2548)

2.2 คอมโพสิต (Composites)

คอมโพสิต (Composites) หรือวัสดุประกอบเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยม และมีการใช้งานกันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากคอมโพสิตมีสมบัติที่ดีหลายอย่างจึงมีการนำมาประยุกต์ใช้งานทางด้านวิศวกรรม โดยใช้เป็นวัสดุวิศวกรรม (Engineering Materials) นอกจากนี้ยังมีสมบัติที่หลากหลายเนื่องจากคอมโพสิตมีหลายชนิด และหลายรูปแบบ จึงสามารถเลือกใช้ออกแบบ และสร้างวัสดุคอมโพสิตให้เหมาะสมกับการใช้งานต่าง ๆ ได้ ทำให้มีการประยุกต์ใช้วัสดุคอมโพสิตอย่างกว้างขวาง

วัสดุคอมโพสิต หมายถึงวัสดุที่เกิดจากการนำวัสดุตั้งแต่ 2 ประเภทขึ้นไปประกอบเข้าด้วยกัน โดยที่สมบัติของวัสดุคอมโพสิต คือสมบัติรวมของวัสดุที่นำมาประกอบกัน ทั้งนี้ยังคงสามารถแยกสถานะ (Phase) ของวัสดุแต่ละประเภทในเนื้อของวัสดุคอมโพสิตได้ หรือหมายถึงการรวมกันของวัสดุที่เป็นส่วนเสริมแรง (Reinforcements) กับเมทริกซ์ (Matrixs) หรือวัสดุเชื่อมประสาน ซึ่งในบางกรณีจะถือว่าสารพื้นเป็นเสมือนกาวเชื่อมวัสดุเสริมแรงเข้าด้วยกัน และปกป้องวัสดุเสริมแรงจากผลกระทบจากสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจากความหมายที่กล่าวข้างต้น สามารถแบ่งส่วนประกอบของวัสดุคอมโพสิตได้เป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ เมทริกซ์ และส่วนเสริมแรง

2.2.1 ประเภทของวัสดุคอมโพสิต

การจำแนกประเภทของวัสดุคอมโพสิตสามารถแบ่งได้หลายประเภทขึ้นอยู่กับการใช้หลักเกณฑ์ที่แตกต่างกัน ตัวอย่างการจำแนกประเภทของวัสดุคอมโพสิตที่นิยมใช้ คือ

แบ่งตามประเภทของเมทริกซ์ (Matrixs) ได้ 3 ประเภท คือ

- พอลิเมอร์ เรียกว่าพอลิเมอร์คอมโพสิต หรือพอลิเมอร์เมทริกซ์คอมโพสิต

(Polymer Matrixs Composites, PMCs)

- โลหะ เรียกว่าเมทอลเมทริกซ์คอมโพสิต (Metal Matrixs Composites, MMCs)

- เซรามิก เรียกว่าเซรามิกเมทริกซ์คอมโพสิต (Ceramic Matrixs Composites, MCs)

แบ่งตามลักษณะทางกายภาพของสารเสริมแรง โดยสามารถแบ่งวัสดุคอมโพสิตออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 3 ประเภท คือ

- คอมโพสิตแบบเส้นใย (Fibrous Composites) คือวัสดุที่ประกอบด้วยเส้นใยเสริมแรงเชื่อมอยู่กับเมทริกซ์ (Matrix) เส้นใยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กมากเมื่อเทียบกับความยาวอาจเป็นเส้นใยสั้น (Short Fibers) หรือเส้นใยยาวต่อเนื่อง (Continuous) เส้นใยเสริมแรงจะมีความแข็งแรง และมีความแข็งแกร่ง (Stiffness) สูงเมื่ออยู่ภายใต้แรงดึงในแนวตามความยาว และโดยทั่วไปแล้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยที่มีขนาดเล็กลง ก็จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ไปจากตำแหน่งของเส้นใยในวัสดุคอมโพสิตน้อยลงทำให้วัสดุมีเสถียรภาพ และความแข็งแรงมากขึ้นด้วย โดยที่เส้นใยเสริมแรงจะกระจายตัวทั่วไปในเมทริกซ์แบบเรียงสุ่ม

- คอมโพสิตแบบลามิเนต (Laminar Composites) คือประกอบด้วยเมทริกซ์ และ ส่วนเสริมแรงเชื่อม และซ้อนทับกันเป็นชั้น ๆ สลับกันไป วัสดุคอมโพสิตในกลุ่มนี้รวมถึงวัสดุ คอมโพสิตแบบแซนวิส และแบบรังผึ้ง

- คอมโพสิตแบบเป็นก้อน (Particulate Composites) ประกอบด้วยอนุภาคเล็กๆ กระจายอยู่ทั่วไปในเมทริกซ์ (Matrix) ซึ่งรูปแบบของอนุภาคเล็กๆ นี้ อาจจะมีลักษณะเป็นเม็ด (Beads) เป็นแผ่น (Flack) หรือเป็นผง (Powder)

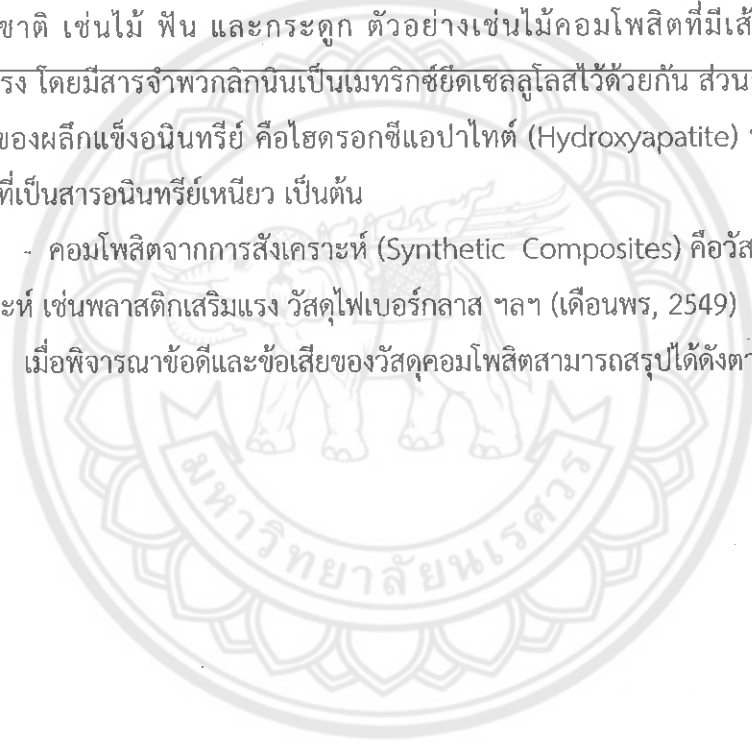
และสามารถเขียนเป็นแผนภูมิคอมโพสิตที่แบ่งตามลักษณะของส่วนเสริมแรง และ การจัดเรียงตัวได้ดังรูปที่ 2.2

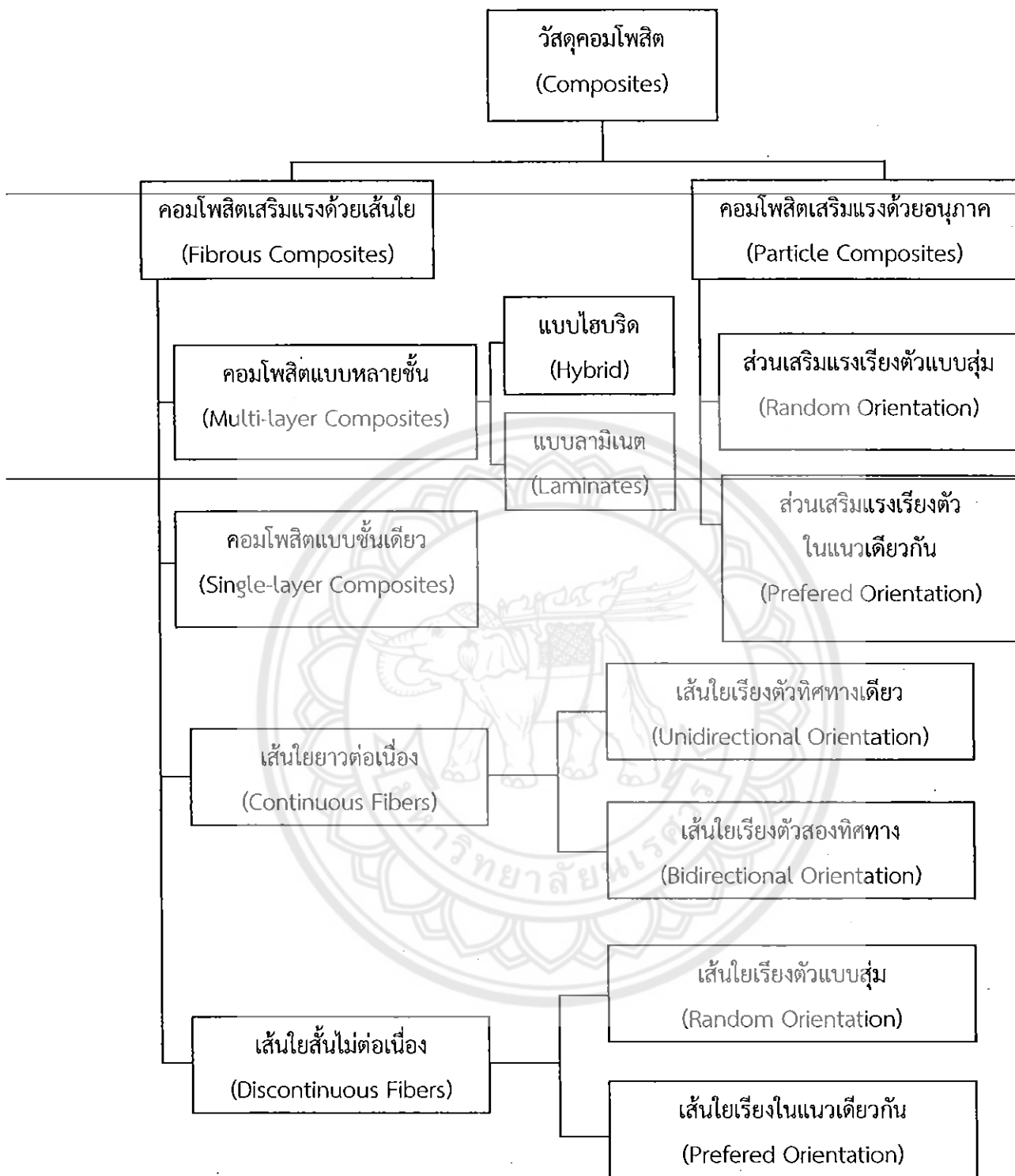
นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งชนิดของคอมโพสิตได้ตามลักษณะการเกิดของคอมโพสิต คือ

- คอมโพสิตจากธรรมชาติ (Natural Composites) คือวัสดุคอมโพสิตที่เกิดขึ้นเอง ตามธรรมชาติ เช่นไม้ ฟัน และกระดูก ตัวอย่างเช่นไม้คอมโพสิตที่มีเส้นใยเซลลูโลสเป็นส่วนเสริมแรง โดยมีสารจำพวกลิกนินเป็นเมทริกซ์ยึดเซลลูโลสไว้ด้วยกัน ส่วนกระดูก และฟันเป็น คอมโพสิตของผลึกแข็งอนินทรีย์ คือไฮดรอกซีแอปาทิต์ (Hydroxyapatite) ที่อยู่ในเมทริกซ์ของ คอลลาเจนที่เป็นสารอนินทรีย์เหนียว เป็นต้น

- คอมโพสิตจากการสังเคราะห์ (Synthetic Composites) คือวัสดุคอมโพสิตที่ได้จาก การสังเคราะห์ เช่นพลาสติกเสริมแรง วัสดุไฟเบอร์กลาส ฯลฯ (เดือนพร, 2549)

เมื่อพิจารณาข้อดีและข้อเสียของวัสดุคอมโพสิตสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.2





รูปที่ 2.2 ประเภทของวัสดุคอมโพสิตโดยแบ่งตามลักษณะของส่วนเสริมแรง
ที่มา : เดือนพร (2549)

ตารางที่ 2.2 ข้อดี และข้อเสียของคอมโพสิต

ข้อดี	ข้อเสีย
<ul style="list-style-type: none"> - มีสมบัติต่อน้ำหนักสูง เช่นความแข็งแรง จำเพาะ เนื่องจากวัสดุคอมโพสิตมีความหนาแน่นต่ำ น้ำหนักเบา 	<ul style="list-style-type: none"> - ต้นทุนการผลิตสูง เนื่องจากราคาของวัตถุดิบ และเครื่องมือการขึ้นรูปคอมโพสิต - มักมีสมบัติแต่ละทิศทางไม่เท่ากัน หรือมี
<ul style="list-style-type: none"> - ช่วยลดน้ำหนักของวัสดุ - มีสมบัติหลากหลาย - มีอายุการใช้งานยาวนาน ด้านทานการสึกกร่อนดี - สมบัติการรับแรง และแดมป์ (Damping) ที่ดี 	<ul style="list-style-type: none"> - สมบัติไอโซโทปี (Anisotropy) เนื่องจากมีการจัดเรียงตัว (Orientation) ของส่วนเสริมแรง - ยากในการต่อ (Attaching) หรือเชื่อมติดของวัสดุอื่น - ยากในการตรวจวิเคราะห์สมบัติของคอมโพสิต
<ul style="list-style-type: none"> - ความทนทานต่อการล้าดี - มีเสถียรภาพทางรูปร่างสูง เนื่องจากมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนต่ำ เมื่อเทียบกับวัสดุอื่น เช่นโลหะ 	<ul style="list-style-type: none"> - ยากในการทำลาย และนำกลับมาใช้ใหม่ หรือรีไซเคิล (Recycle)

ที่มา : เดือนพร (2549)

2.3 เมทริกซ์ (Matrixs)

เมทริกซ์ คือส่วนประกอบส่วนใหญ่ของวัสดุคอมโพสิต โดยทั่วไปจะมีความแข็งแรงน้อยกว่าส่วนเสริมแรง เมทริกซ์จะเป็นส่วนที่มีความต่อเนื่อง และปกคลุมส่วนที่เป็นสารเสริมแรงจากสิ่งแวดล้อมภายนอก เมื่อวัสดุคอมโพสิตได้รับการกระทบภายนอกกระทำ ภาระที่กระทำจะถูกส่งถ่ายจากสารพื้นไปสู่สารเสริมแรง ซึ่งมีความแข็งแรงสูงกว่าเป็นผลให้เกิดการรับภาระได้สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้วัสดุที่เป็นสารพื้นที่ไม่มีการเสริมแรง สารพื้นมีหน้าที่ต่างๆ ดังนี้

- ทำหน้าที่ถ่ายเทความเค้น (Transfer Stresses) ที่ได้รับไปยังส่วนเสริมแรง และถ่ายเทความเค้นระหว่างส่วนเสริมแรง

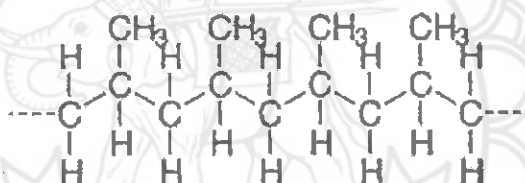
- ทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกัน (Barrier) กับสภาวะแวดล้อมใด ๆ

- ป้องกันส่วนเสริมแรงจากการขาดสูญเสีย

เมทริกซ์มีหลายชนิด คือโลหะ (Metal Matrixs) เซรามิกส์ (Ceramic Matrixs) และพอลิเมอร์ (Polymer Matrixs) โดยในโครงงานนี้จะกล่าวถึงแต่พอลิเมอร์เมทริกซ์ชนิดเทอร์โมพลาสติกประเภทพอลิพรอพิลีน (เดือนพร, 2549)

2.3.1 พอลิพรอพิลีน (Polypropylene)

พอลิพรอพิลีนเป็นพอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมพลาสติกสามารถผลิตจากกระบวนการ Co-ordination Polymerization ให้มีโครงสร้างเชิงเส้น ดังรูปที่ 2.3 มีความเป็นผลึกสูงถึง 70 เปอร์เซ็นต์ ทำให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีมาก มีความแข็ง และทนแรงดึงได้ดี มีความต้านทานแรงกระแทกดี ที่อุณหภูมิสูงกว่า 15 องศาเซลเซียส มีจุดหลอมเหลวประมาณ 165-175 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าจุดหลอมเหลวของพอลิเอทิลีน เหมาะกับการใช้งานที่อุณหภูมิสูง มีค่าความถ่วงจำเพาะ 0.90-0.91 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร นอกจากนี้ความเป็นผลึกของพอลิพรอพิลีนยังทำให้ทนต่อการซึมของไขมัน และน้ำมันได้ดี ใส น้ำ และออกซิเจนซึมผ่านได้ดี แต่พอลิพรอพิลีนมีจุดอ่อน คือเปราะแตกหักได้ง่ายที่อุณหภูมิต่ำ (ประมาณ 0 องศาเซลเซียส) และเสถียรภาพของพอลิพรอพิลีนต่อแสงอัลตราไวโอเล็ตและออกซิเจนต่ำกว่าพอลิเอทิลีนจึงไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานกลางแจ้ง เนื่องจากแสงอัลตราไวโอเล็ตจะทำให้เปราะ แตกร้าว สีซีดจางได้ง่าย จึงต้องทำการผสมสารป้องกันออกซิเดชัน (Antioxidant) และสารเพิ่มเสถียรภาพต่อแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV Stabilizer) เพื่อช่วยเพิ่มเสถียรภาพของชิ้นงานที่ผลิตจากพอลิพรอพิลีน (สุโกโชค, 2548)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของหน่วยซ้ำของพอลิพรอพิลีน
ที่มา : สุโกโชค (2548)

โมเลกุลของพอลิพรอพิลีนประกอบด้วยโซ่โมเลกุลยาวของธาตุอะตอมคาร์บอน มีหมู่เมทิลที่ยื่นออกมาเป็นกิ่งก้านอยู่ด้านข้างของโมเลกุลทำให้มีความหลากหลายในรูปแบบต่างๆ ของการจัดเรียงตัวกลุ่มโมเลกุลดังกล่าว สายโซ่โมเลกุลของอะตอมคาร์บอนจะจับตัวกันในลักษณะซิกแซก (Zig-Zag) ซึ่งอาจพิจารณาให้การเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลดังกล่าวอยู่ในระนาบเดียวกับแผ่นกระดาษ แล้วมีกลุ่ม (R) ที่เกาะยึดด้านข้างของโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์หลัก ซึ่งทุกๆ กลุ่มอาจเกาะยึดอยู่ด้านบน หรือด้านล่างของระนาบกระดาษ โครงสร้างพอลิเมอร์พอลิพรอพิลีน ถูกจำแนกด้วยการสลับตำแหน่งของกลุ่มโมเลกุลที่ยึดเกาะอยู่ด้านข้างของโซ่โมเลกุลหลักเหล่านี้ และได้มีการกำหนดชื่อเรียกของแต่ละแบบ ซึ่งปัจจุบันเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย คือ

- ไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน (Isotactic Polypropylene) เป็นโครงสร้างที่มีหมู่เมทิลยึดเกาะกับสายโซ่โมเลกุลหลักอย่างสม่ำเสมอในลักษณะเหมือนกันและต่อซ้ำๆ กันไป โดยเกาะอยู่ด้านในด้านหนึ่งเพียงด้านเดียวของสายโซ่โมเลกุลหลัก ทำให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิพรอพิลีนจัดเรียง

ตัวกันอย่างหนาแน่น ด้วยเหตุนี้ทำให้มีปริมาณผลึกที่สูง โครงสร้างแบบนี้จึงมีความแข็งแรงมากที่สุด ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน

ที่มา : สุกโชค (2548)

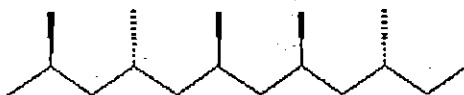
- ซินดีโอแทกติกพอลิพรอพิลีน (Syndiotactic Polypropylene) เป็นโครงสร้างที่มีหมู่เมทิลยึดเกาะกับสายโซ่โมเลกุลหลักในลักษณะสลับตำแหน่งข้ามกันไปมาอย่างเป็นระเบียบมีความสม่ำเสมอและต่อเข้าๆ กันตลอดทั้งสายโซ่โมเลกุล โดยจะยึดเกาะสลับกันทั้งด้านบนและด้านล่างของโครงสร้างโซ่หลัก ทำให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิพรอพิลีนจัดเรียงตัวกันอย่างหนาแน่นรองลงมาจากไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีน ทำให้มีปริมาณผลึกปานกลาง โครงสร้างแบบนี้จึงมีความแข็งแรงเป็นลำดับสอง ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของซินดีโอแทกติกพอลิพรอพิลีน

ที่มา : สุกโชค (2548)

- อะแทกติกพอลิพรอพิลีน (Atactic Polypropylene) เป็นโครงสร้างที่มีหมู่เมทิลยึดเกาะกับสายโซ่โมเลกุลหลักอยู่ทั้ง 2 ด้าน ในลักษณะที่ไม่เป็นระเบียบ ทำให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิพรอพิลีนจัดเรียงตัวกันได้ไม่แน่นอน ทำให้มีปริมาณผลึกน้อย ส่วนใหญ่จะเป็นอสัณฐานโครงสร้างแบบนี้จึงมีความแข็งแรงต่ำที่สุด ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของอะแทกติกพอลิพรอพิลีน

ที่มา : สุกโชค (2548)

การประยุกต์ใช้งาน เช่น ใช้ทำถุงร้อน ขวดน้ำ ถ้วยบะหมี่ หรือโถกึ่งสำเร็จรูป กล่องบรรจุอาหาร กระบอกสำหรับใส่น้ำแช่เย็น ปกแฟ้มเอกสาร กล่อง และตลับเครื่องสำอาง ถุงบรรจุปุ๋ย ลัง ถาด และขวดใส่สารเคมี เป็นต้น

สมบัติของพอลิพรอพิลีนขึ้นอยู่กับความหนาแน่น น้ำหนักโมเลกุล และการกระจายน้ำหนักโมเลกุล ซึ่งสมบัติต่าง ๆ ของพอลิพรอพิลีนดังตารางที่ 2.3

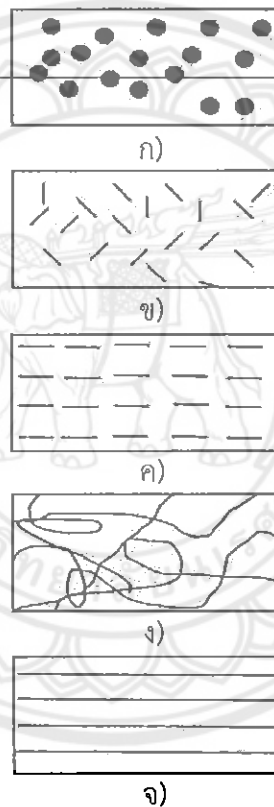
ตารางที่ 2.3 สมบัติของพอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP)

ลักษณะทางกายภาพ	PP (Impact Type)
ความถ่วงจำเพาะ	0.91 kg.m ⁻³
ปริมาตร	30.5 cm ³
ทนแรงดึง	4400 MPa
ทนแรงอัด	6000 MPa
ทนแรงกระแทก	15 J/mm ²
ทนความร้อน	210 °F
ความใส	ทึบ
ทนแสงแดด	พอใช้
ดูดซึมน้ำ (24 ชม.)	ไม่ดูดซึมน้ำ
ทนกรดอ่อน	ได้
ทนกรดแก่	ถูกทำลายอย่างช้าจาก Oxidizing acids
ทนด่าง	ได้
ทนสารละลาย	ถูกทำลายโดย hydrocarbon
อุณหภูมิที่ใช้เวลานานๆ (max)	105 °C
สภาพและกลิ่นเมื่อไหม้ไฟ	เปลวจามีแก๊สเปลวสีน้ำมัน
กลิ่น	คล้ายพาราฟินหรือเทียนไข
ส.ป.ส. การนำความร้อน	1.38 kJ/mh °C
ค่าความร้อนจำเพาะ	1.88 kJ/kg °C
ค่าความหนาแน่นที่ 20 °C	0.94-0.96 g/cm ³
ระยะเวลาในการอบแห้ง (ก่อนฉีด)	1-15 ชม. ที่ 65 °C
อัตราการหดตัว	2.0-4.0 %
อุณหภูมิในการขึ้นรูป	220-280 °C

ที่มา : จรุงและธานีทร์ (2546)

2.4 ส่วนเสริมแรง (Reinforcements)

ส่วนเสริมแรง (Reinforcements) คือส่วนประกอบที่ช่วยให้สมบัติความแข็งแรงของวัสดุคอมโพสิตดีขึ้น โดยทั่วไปจะมีความแข็งแรงมากกว่าสารพื้น เป็นส่วนรับแรงที่ส่งผ่านมาจากเมทริกซ์ ขนาด และรูปร่างของสารเสริมแรงเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญมากตัวแปรหนึ่งที่ส่งผลถึงประสิทธิภาพในการเสริมแรงซึ่งจะทำให้วัสดุคอมโพสิตมีความแข็งแรงมากขึ้น จะมีลักษณะรูปร่างได้หลายแบบอาจเป็นแผ่น เส้นใย หรืออนุภาคเล็กๆ ส่วนเสริมแรงที่นิยมใช้มีลักษณะเป็นเส้นใย (Fibers) อาจเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่อง (Continuous Fibers) หรือเส้นใยสั้น (Discontinuous) นอกจากนี้อาจเป็นเส้นใยที่พันกันหรืออยู่ในรูปของเส้นใยที่ผ่านการถัก (Knitting) หรือการทอ (Weaving) มาแล้วทำให้วัสดุคอมโพสิตมีโครงสร้างและมีการจัดเรียงตัวของส่วนเสริมแรงหลายรูปแบบ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างคอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน

- ก) ส่วนเสริมแรงเป็นอนุภาคจัดเรียงตัวแบบสุ่ม
- ข) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยสั้นจัดเรียงตัวแบบสุ่ม
- ค) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยสั้นจัดเรียงตัวทิศทางเดียวกัน
- ง) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่องจัดเรียงตัวแบบสุ่ม
- จ) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่องจัดเรียงตัวแบบในทิศทางเดียวกัน

ที่มา : เดือนพร (2549)

โดยทั่วไปเส้นใยที่ใช้เป็นส่วนเสริมแรงในคอมโพสิต สามารถแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

- เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fiber) เป็นเส้นใยที่หาได้ง่าย นำกลับมาใช้ใหม่ได้ ราคาถูกย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ไม่เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ตัวเส้นใยเกิดการเสียดสีน้อยกว่า เส้นใยสังเคราะห์สมบัติเฉพาะตัวดีกว่าเมื่อเทียบกับเส้นใยธรรมชาติ

- เส้นใยสังเคราะห์ (Synthetic Fibers) เป็นเส้นใยที่นำมาปรับปรุงโครงสร้าง เลียนแบบจากธรรมชาติ สมบัติโดยรวมดีขึ้น (เดือนพร, 2549)

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fibers) โดยใช้ผักตบชวามาเป็นส่วนเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิต

2.5 เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fibers)

เส้นใยธรรมชาติ เป็นอินทรีย์วัตถุที่สำคัญหาได้ง่ายจากธรรมชาติ มีปริมาณมาก สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้ และมีราคาถูกกว่าเส้นใยสังเคราะห์ ด้วยเหตุนี้เส้นใยธรรมชาติจึงนิยมใช้เป็น สารเติมแต่งในพลาสติกมาก ทั้งเทอร์โมพลาสติก และเทอร์โมเซต เนื่องจากมีความแข็งแรง และความแข็งแรงสูง ความหนาแน่นต่ำ การประยุกต์ใช้งานคอมโพสิตในปัจจุบัน มีการใช้เส้นใยธรรมชาติ แทนการใช้เส้นใยแก้วมากขึ้น จุดประสงค์เพื่อลดต้นทุนการผลิตเป็นหลัก

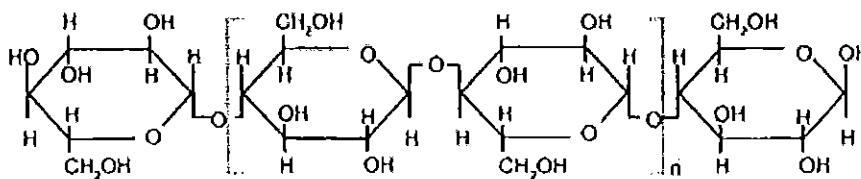
นอกจากนี้ยังมีข้อดีที่เหนือกว่าเส้นใยแก้ว คือ

- สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ
- ความหนาแน่นต่ำ เป็นผลให้วัสดุเชิงประกอบมีน้ำหนักเบา
- มีราคาถูก
- ลดของเสียจากอุตสาหกรรม

2.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย

2.5.1.1 เซลลูโลส (Cellulose)

เส้นใยธรรมชาติจากพืชทุกชนิดจัดเป็นเส้นใยประเภทเซลลูโลสที่มีองค์ประกอบทางเคมี ประกอบด้วยธาตุหลัก คือคาร์บอน 44.4 เปอร์เซ็นต์ ไฮโดรเจน 6.2 เปอร์เซ็นต์ และออกซิเจน 49.4 เปอร์เซ็นต์ มีโครงสร้างประกอบด้วยชั้นพื้นฐานซึ่งเรียกว่า Anhydro-D-glucose ($C_6H_{10}O_5$) ต่อกันเป็นลูกโซ่โมเลกุลยาว แต่ละหน่วยของกลูโคสประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลทั้งหมด 3 หมู่ด้วยกัน ซึ่งเหมือนกับโครงสร้างของน้ำตาลทั่วไป แต่เนื่องจากโมเลกุลต่อกันยาวเป็นลูกโซ่ทำให้ไม่ละลายน้ำเหมือนกับที่เกิดกับน้ำตาล โครงสร้างทางเคมีนับว่ามีบทบาทอย่างยิ่งต่อการกำหนดสมบัติของเส้นใย กล่าวคือหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จะเป็นตัวดึงดูดน้ำ ทำให้มีความสามารถในการดูดซึมความชื้นได้ดี อีกทั้งเป็นจุดก่อให้เกิดปฏิกิริยา ลักษณะการเรียงโครงสร้างโมเลกุลของเส้นใยเซลลูโลสจะเรียงตัวเป็นลูกโซ่โมเลกุลยาวที่มีความแข็งแรงสูง ดังรูปที่ 2.8

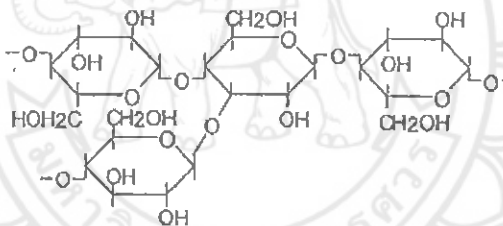


รูปที่ 2.8 โครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลเซลลูโลส

ที่มา : ศิริรัตน์ (2550)

2.5.1.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลส เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่งซึ่งคล้ายเซลลูโลสแต่ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด เช่นกลูโคส กาแลกโตส แมนโนส ไฮโลส อะราบิโนส รวมทั้งกรดกลูคูโรนิก และกาแลกทูโรนิก เฮมิเซลลูโลสพบในเนื้อเยื่อของพืชโดยรวมอยู่กับสารอื่นๆ เช่น ลิกนิน เซลลูโลส เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ พบมากใน แกลบ ช้างข้าวโพด เป็นต้น มีสูตรโมเลกุล คือ $(C_6H_{12}O_5)_{2n}$ และมีโครงสร้างทางเคมี ดังรูปที่ 2.9



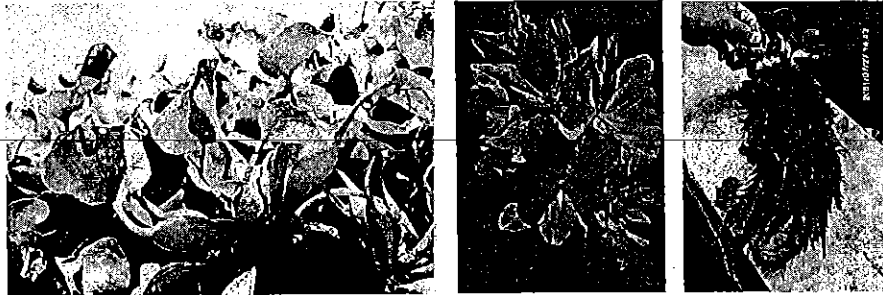
รูปที่ 2.9 โครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลเฮมิเซลลูโลส

ที่มา : ศิริรัตน์ (2550)

2.5.1.3 ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเชิงซ้อน มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โครงสร้างของลิกนินจะประกอบด้วยสารอะลิฟาติก และสารอะโรมาติกอยู่รวมกัน สารอะโรมาติกในโครงสร้างของลิกนินทำให้ลิกนินมีเสถียรภาพสูง และไม่ละลายน้ำ นอกจากนี้ลิกนินยังเป็นส่วนสำคัญที่ทำหน้าที่ยึดเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสเข้าไว้ด้วยกัน ทำให้พืชที่มีปริมาณลิกนินอยู่มากจะมีความแข็ง ทนทานต่อดินฟ้าอากาศสูงมากด้วย ซึ่งไม้ต่างชนิดกันจะมีลิกนินอยู่ในโครงสร้างในรูปที่แตกต่างกันด้วย (ศิริรัตน์, 2550)

2.5.2 ผักตบชวา (Water Hyacinth)



ก)

ข)

ค)

รูปที่ 2.10 ผักตบชวา

ก) ลำต้นผักตบชวา

ข) ดอกผักตบชวา

ค) รากผักตบชวา

ที่มา : ทะนง (2549)

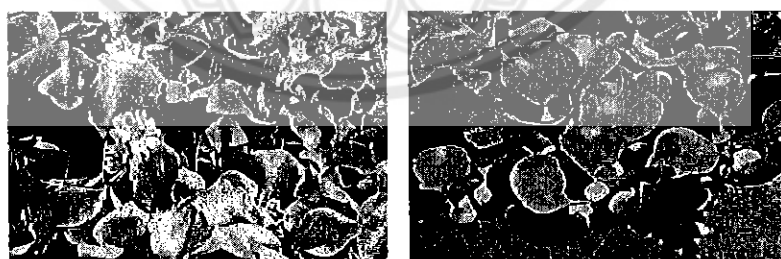
ผักตบชวาเริ่มเข้ามาในเมืองไทยตั้งแต่สมัยรัชกาลที่ 5 คือในปี พ.ศ. 2444 โดยครั้งนั้นเจ้านายฝ่ายในตามเสด็จประพาสที่เกาะชวา ประเทศอินโดนีเซีย ได้เห็นพืชชนิดนี้ออกดอกสวยงามทั่วไป จึงได้แยกต้นกลับมาปลูกในประเทศไทย และเพิ่มจำนวนมากขึ้น จนกระทั่งน้ำท่วมวังสระปทุม ทำให้ผักตบชวาล่องลอยกระจายไปตามแม่น้ำลำคลองทั่วไป และแพร่พันธุ์จำนวนมากอันเป็นปัญหาอุปสรรคต่อการคมนาคมทางน้ำ และการชลประทาน คนไทยมีความคุ้นเคยกับผักตบชวา แต่เดิมนั้นเป็นเพียงวัชพืชที่ไม่มีคุณค่าแต่อย่างใดลำต้นนำมาหมักเป็นปุ๋ยหมักเท่านั้น นอกจากนั้นยังกีดขวางการสัญจรทางน้ำ ดังนั้นจึงมีผู้คิดค้นนำผักตบชวามาทำให้เกิดประโยชน์ โดยตัดแปลงเป็นของใช้ชนิดต่างๆ เช่น ตะกร้า กระเป๋า หมวก รองเท้า เป็นต้น ลักษณะ และสมบัติของผักตบชวา ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ลักษณะ และสมบัติของผักตบชวา

รายการ	ลักษณะ และสมบัติ
ชื่อไทย	ผักตบชวา หรือผักปองสวะ
ชื่อทางพฤกษศาสตร์	<i>Water Hyacinth</i>
ชื่อวิทยาศาสตร์	Water Orchid Pontederiaceae <i>Eichornia Crassipes</i> (Mart.) Solms-Laub
ชื่อวงศ์	Pontederiaceae
ลักษณะทั่วไป	ไม้น้ำมีไหลทอดเลื้อยไปตามผิวน้ำ ต้นอวบน้ำ ใบรูปไข่ค่อนข้างกลม สีเขียวเป็นมัน ก้านใบพองออก เพื่อช่วยให้ลอยน้ำได้ ดอกออกเป็นช่อที่ปลายยอด กลีบดอกบาง 6 กลีบ สีฟ้าอมม่วง กลีบบน ขนาดใหญ่
ลักษณะเส้นใย	เป็นเส้นใยประเภทเซลลูโลสมีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วยธาตุหลัก คือคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน มีโครงสร้างประกอบด้วยชั้นพื้นฐาน ซึ่งเรียกว่า Anhydro-D-glucose ($C_6H_{10}O_5$) ต่อกันเป็นลูกโซ่โมเลกุลยาว
ขยายพันธุ์	แยกต้นอ่อนที่ปลายไหลไปปลูก
การบริโภค	ดอกอ่อน และก้านใบอ่อนกินเป็นผักลวกจิ้มน้ำพริกหรือทำแกงส้ม
สรรพคุณน้ำรั้ว	ช่วยระบายความร้อนในร่างกาย ช่อดอกผักตบชวาคลายกับดอกไฮยาซินธ์

ที่มา : ทะนง (2549)

ผักตบชวาอาจจำแนกได้ 2 สายพันธุ์หลัก ๆ ดังรูปที่ 2.11



ก)

ข)

รูปที่ 2.11 สายพันธุ์ผักตบชวา

ก) สายพันธุ์ต้นใหญ่

ข) สายพันธุ์ต้นเล็ก

ที่มา : ทะนง (2549)

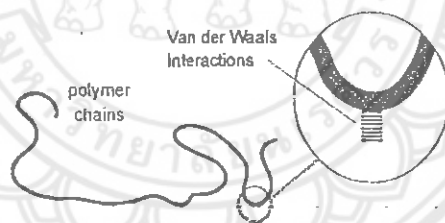
งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ฝักตบชวาสายพันธุ์ต้นใหญ่ มาเป็นส่วนเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิต โดยฝักตบชวาสายพันธุ์ต้นใหญ่ มีจำนวนมาก หาได้ง่าย และพบว่าส่วนก้านใบของฝักตบชวาสายพันธุ์ต้นใหญ่ มีปริมาณเซลลูโลสที่มากกว่าฝักตบชวาสายพันธุ์ต้นเล็ก

2.6 ทฤษฎีการยึดเกาะ

สมบัติเชิงกล และสมบัติทางกายภาพของคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไม่ได้ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของเส้นใยในเมทริกซ์เท่านั้น แต่ยังขึ้นกับลักษณะของผิวสัมผัสของเส้นใยกับเมทริกซ์ด้วย ในวัสดุคอมโพสิต เมทริกซ์สามารถยึดเกาะกับเส้นใยได้หลายวิธี กลไกการยึดเกาะหลักๆ แบ่งออกเป็น 5 กลไก ซึ่งอาจเกิดอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือเกิดร่วมกัน ดังนี้ (เดือนพร, 2549)

2.6.1 การดูดซับ และการเปียก (Adsorption and Wetting)

เมื่อพื้นผิวสองพื้นผิวที่ไม่มีประจุไฟฟ้าอยู่ใกล้กันมากพอ จะเกิด “แรงดูดเชิงกล” (Physical Attraction) เช่นการเปียก (Wetting) ของเหลวบนพื้นผิวของแข็ง ในกรณีของของแข็งสองชนิดอยู่ใกล้ชิดกันมากถึงระดับจุลภาค หรือระดับอะตอมความขรุขระของพื้นผิวจะเป็นสิ่งขัดขวางไม่ให้เกิดการยึดเกาะ หรือสัมผัสจะมีเพียงบางตำแหน่งเท่านั้นที่สามารถสัมผัสกันได้ กลไกการดูดซับและการเปียก ดังรูปที่ 2.12

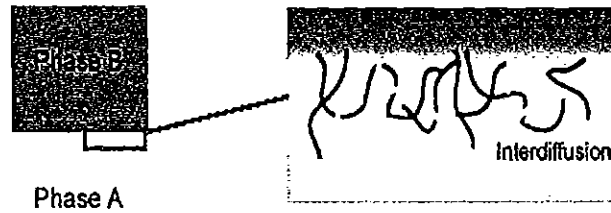


รูปที่ 2.12 แบบจำลองการยึดเกาะแบบดูดซับ

ที่มา : เดือนพร (2549)

2.6.2 การแพร่เข้าหากัน (Interdiffusion)

เกิดระหว่างสองพื้นผิวที่มีการแพร่โมเลกุลพอลิเมอร์บนพื้นหนึ่งไปยังโครงร่างโมเลกุลอีกพื้นผิวหนึ่ง ความแข็งแรงของแรงยึดติดนี้ขึ้นอยู่กับความยึดหยุ่น และความสามารถในการเคลื่อนที่ และการเกี่ยวพันของสายโซ่พอลิเมอร์ กลไกการแพร่เข้าหากัน ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แบบจำลองการยัดเกาะแบบแพร่เข้าหากัน
ที่มา : เดือนพร (2549)

2.6.3 แรงดึงดูดประจุ หรือไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Attraction)

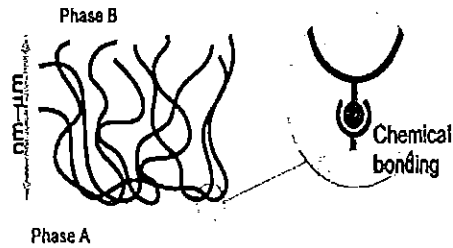
เกิดขึ้นเมื่อวัสดุสองชนิดที่มีประจุต่างกันมาอยู่ใกล้กัน นั่นคือถ้าพื้นผิวหนึ่งมีประจุรวมเป็นบวก และอีกพื้นผิวหนึ่งมีประจุรวมเป็นลบ เกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุที่ต่างกัน ความแข็งแรงของการยึดติดชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นประจุ แรงดึงดูดระหว่างประจุหรือไฟฟ้าสถิตย์จะไม่ใช้แรงยึดเกาะหลักระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ในคอมโพสิต กลไกแรงดึงดูดประจุ หรือไฟฟ้าสถิตย์ ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แบบจำลองการยัดเกาะแบบแรงดูดประจุ
ที่มา : เดือนพร (2549)

2.6.4 พันธะเคมี (Chemical Bonding)

เกิดขึ้นเมื่อเส้นใยมีฟังก์ชันเคมีบนพื้นผิว และเมทริกซ์มีหมู่ฟังก์ชันเคมีที่สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีเป็นพันธะเคมี ได้แก่พันธะโควาเลนต์เชื่อมระหว่างเส้นใยเมทริกซ์ ซึ่งเป็นการยึดเกาะที่แข็งแรง ความแข็งแรงของกลไกการยึดเกาะชนิดนี้ขึ้นอยู่กับจำนวน และชนิดของพันธะที่เกิดขึ้น กลไกพันธะเคมี ดังรูปที่ 2.15

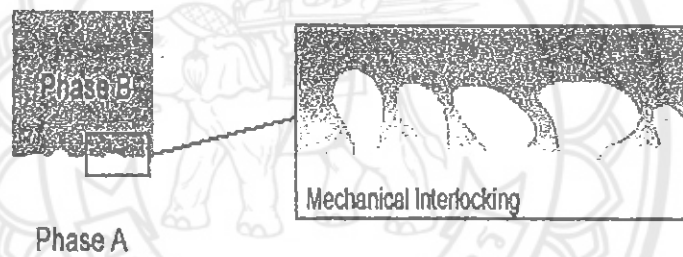


รูปที่ 2.15 แบบจำลองการยึดเกาะโดยการเกิดพันธะเคมี

ที่มา : เดือนพร (2549)

2.6.5 การยึดเกาะเชิงกล (Mechanic Adhesion or Mechanical Interlocking)

เกิดขึ้นเมื่อเมทริกซ์กระจายบนพื้นผิวเส้นใยในขณะที่เป็นของไหลสามารถที่จะแทรกตัวไปตามพื้นที่ขรุขระของเส้นใย รวมทั้งช่องว่างอื่นๆ เมื่อเมทริกซ์แข็งตัวเป็นเหตุให้เมทริกซ์ถูกล็อคแข็งติดอยู่กับพื้นผิวเส้นใย ความแข็งแรงของกลไกการยึดเกาะชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความขรุขระ (Roughness) ของพื้นผิวเส้นใยที่เมทริกซ์แทรกตัวไป กลไกการยึดเกาะเชิงกล ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แบบจำลองการยึดเกาะเชิงกล

ที่มา : เดือนพร (2549)

2.7 การปรับปรุงสภาพพื้นผิวของเส้นใย

ประสิทธิภาพของการยึดเกาะระหว่างพื้นผิวเส้นใย และเมทริกซ์นั้นเป็นส่วนสำคัญที่จะชี้บอกความสามารถในการนำวัสดุคอมโพสิตไปประยุกต์ใช้งานเพื่อให้มีความหลากหลาย ดังนั้นการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยก่อนนำมาผลิตวัสดุคอมโพสิตเพื่อเพิ่มการยึดเกาะระหว่างเส้นใย และเมทริกซ์จึงเป็นที่นิยมกันในปัจจุบัน วิธีการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยมีหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีให้ประสิทธิภาพการยึดเกาะที่ต่างกันได้ต่างกันสามารถจำแนกได้ดังนี้ (เดือนพร, 2549)

2.7.1 วิธีทางกายภาพ (Physical methods)

การปรับปรุงพื้นผิวทางกายภาพทำได้หลายวิธี เช่นการดึงยืด (Stretching) การรีดกลิ้ง (Calendering) การปรับปรุงพื้นผิวโดยใช้ความร้อน (Thermo Treatment) และการพันเส้นใย (Hybrid yarns) วิธีที่ระบุข้างต้นเหล่านี้จะไม่ทำให้องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยเปลี่ยนแปลงไปซึ่งจะมีผลต่อพันธะเชิงกลของเส้นใย และเมทริกซ์พอลิเมอร์

2.7.2 วิธีทางเคมี (Chemical methods)

เนื่องจากเส้นใยเซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโครงสร้างจึงทำให้เส้นใยเซลลูโลสมีขั้วมาก จึงเป็นเหตุให้ไม่สามารถเข้ากันได้ (Incompatibility) กับพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้ว หรือมีสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) เช่นพอลิพรอพิลีน ความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างพอลิเมอร์เมทริกซ์กับเส้นใยสามารถปรับปรุงได้โดยใช้สารคู่ควบ (Coupling Agents) ซึ่งสารคู่ควบจะเป็นตัวกลางเชื่อมวัสดุทั้งสอง สารคู่ควบมีหลายชนิดแตกต่างกันตามหน้าที่ในการเชื่อมโยง หน้าที่ของสารคู่ควบมีหลายประการดังนี้

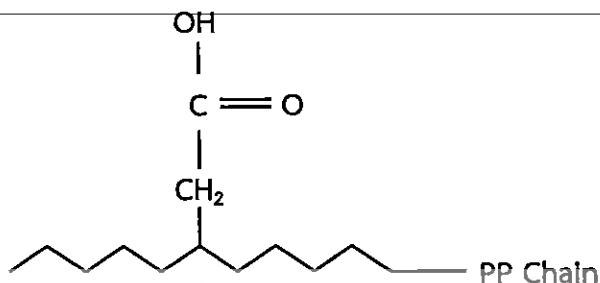
- สารคู่ควบจะปรับปรุงสมบัติการเปียกผิว (Wettability) ระหว่างพอลิเมอร์กับสารตั้งต้นโดยจะเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างพื้นผิว (Surface Tension)
- สารคู่ควบจะปรับปรุงพื้นผิวระหว่างภูมิภาคที่ไม่แข็งแรงของพลาสติกคอมโพสิต
- สารคู่ควบจะเพิ่มความเหนียว และความสามารถในการโค้งงอให้กับวัสดุ
- สารคู่ควบจะสร้างพันธะโควาเลนต์ให้เกิดขึ้นระหว่างวัสดุทั้งสอง
- สารคู่ควบจะเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดของพื้นผิวสารตั้งต้น

2.8 สารช่วยผสม (Compatibilizer)

การปรับปรุงการยึดเกาะระหว่างสารเสริมแรง และเทอร์โมพลาสติกที่มีขั้วสามารถทำได้โดยการใช้สารคู่ควบประเภทไฮเลินเกิดพันธะโควาเลนต์ระหว่างพอลิเมอร์และสารคู่ควบ แต่ในกรณีของเทอร์โมพลาสติกไม่มีขั้ว เช่นพอลิเอทิลีน พอลิพรอพิลีน พบว่ามีการใช้สารช่วยผสม เช่นมาเลอิก แอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิพรอพิลีน (MAPP) อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีน (PP-g-AA) เป็นต้น พบว่าเมื่อปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้สารช่วยผสมส่งผลให้การยึดเกาะระหว่างพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยฝักตบขชาติขึ้น (เดื่อนพร, 2549)

พอลิพรอพิลีนเป็นหนึ่งในพอลิเมอร์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้ว ส่งผลให้เมื่อทำการผสมกับวัสดุอื่นที่มีขั้ว มักมีสมบัติด้านแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพื้นผิวไม่ดี แต่สามารถที่จะทำการแก้ไขได้โดยการเติมสารอีกชนิดหนึ่งลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติการเข้ากันได้ ซึ่งในโครงการงานศึกษาได้เลือกใช้สารช่วยผสมอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีน (Acrylic acid-g-Polypropylene, PP-g-AA) ซึ่งโครงสร้างของ PP-g-AA ดังรูปที่ 2.17 สังเคราะห์ได้จากการนำอะคริลิกแอซิกไปกราฟบนสายโซ่พอลิพรอพิลีน โดยที่สารช่วยผสม PP-g-AA มีสมบัติที่ปลายข้าง

หนึ่งนั้นไม่มีขั้ว คือส่วนของพอลิพรอพิลีน สามารถที่จะเกิดการเกี่ยวพันกัน (Chain Entanglement) กับส่วนของพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ ส่วนอีกปลายข้างหนึ่งที่มีขั้ว คืออะคริลิกจะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เกิดเป็นพันธะเอสเทอร์ได้โครงสร้างเป็น (C-O) กับหมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลส ส่งผลให้เกิดการกระจายตัวยึดเกาะกันระหว่างพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวา กับพอลิพรอพิลีนที่มากขึ้น



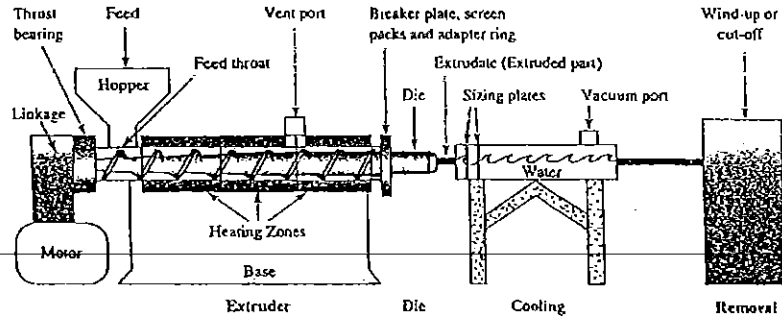
รูปที่ 2.17 โครงสร้างของสารช่วยผสมชนิดอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีน

ที่มา : เดือนพร (2549)

2.9 กระบวนการอัดรีด (Extrusion process)

กระบวนการอัดรีดเป็นการขึ้นรูปพอลิเมอร์ที่มีความต่อเนื่อง ใช้ผลิตพอลิเมอร์ที่มีลักษณะเป็นผง หรือเม็ดให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ต่อเนื่อง สามารถขึ้นรูปขึ้นงานได้หลากหลายที่มีรูปร่างไม่ซับซ้อนมาก สามารถใช้ขึ้นรูปทั้งพลาสติกชนิดแข็ง และอ่อน กระบวนการอัดรีดยังเป็นกระบวนการที่นิยมใช้ในการผสมพอลิเมอร์ ผสมสารเพิ่มเนื้อ (Filler) สี และสารเติมแต่งลงในพอลิเมอร์ที่มีประสิทธิภาพในการหลอมให้เข้ากันได้สูง ข้อดีของการที่เป็นกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง คือทำให้ได้กำลังการผลิตสูง มีต้นทุนต่ำ แต่ก็มีข้อจำกัด คือไม่สามารถออกแบบหัวขึ้นรูปให้ได้ขึ้นงานมีความซับซ้อนแบบขึ้นงานจากกระบวนการฉีดขึ้นรูป และไม่สามารถเปลี่ยนแปลงขนาดหน้าตัดของขึ้นงานได้

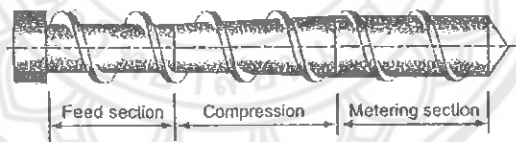
เครื่องอัดรีด และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง คือหัวขึ้นรูป ชุดหล่อเย็น และเครื่องตัดขึ้นงาน ดังรูปที่ 2.18 คือเม็ดพลาสติก และส่วนผสมต่างๆ ที่ผสมกันดีแล้ว จะถูกป้อนผ่านกรวยป้อนวัตถุดิบ (Hopper) ที่ติดอยู่กับเครื่อง วัสดุจะร่วงหล่นผ่านรูที่อยู่ด้านบนของห้องหลอมเหลว (Barrel) ลงสู่สกรูซึ่งหมุนอยู่ในห้องหลอมเหลว การหมุนของสกรูเป็นการพาพลาสติกให้เคลื่อนที่ไปด้านหน้าไปยังบริเวณที่ให้ความร้อนซึ่งเป็นความร้อนที่ได้จากภายนอกห้องหลอมเหลว และความร้อนจากการเสียดสีกันเอง ทำให้เม็ดพลาสติกเกิดการหลอม และถูกลำเลียงไปตามการหมุนของสกรูจนถึงบริเวณปลายเครื่องอัดรีด ซึ่งมีหัวขึ้นรูป (Die) ติดอยู่ หัวขึ้นรูปมีหน้าที่กำหนดรูปร่างของพอลิเมอร์หลอมเหลวที่ไหลออกมา วัสดุพอลิเมอร์ที่ไหลออกจากหัวขึ้นรูปจะถูกหล่อเย็นในทันทีด้วยน้ำเพื่อรักษารูปร่าง ข้อจำกัด คือพลาสติกจะต้องมีความหนืดสูง เพื่อว่าเมื่อพลาสติกผ่านหัวขึ้นรูปออกมาจะต้องสามารถคงรูปอยู่ได้ในระยะเวลาหนึ่งก่อนการหล่อเย็น



รูปที่ 2.18 เครื่องอัดรีดและส่วนประกอบ

ที่มา : ชนิตา (2547)

สกรูมีหน้าที่สำคัญ คือลำเลียงวัสดุให้เคลื่อนที่ไปด้านหน้า และให้แรงกลเพื่อทำให้พอลิเมอร์เกิดการหลอมเหลวและผสมกันได้ดี สกรูที่ใช้ในกระบวนการอัดรีดมีช่วงบริเวณที่ทำให้เกิดการอัด และเกิดการผสมแบ่งเป็น 3 ช่วง ดังรูปที่ 2.19 ได้แก่ช่วงนำพลาสติกเข้า (Feed Zone) มีหน้าที่เคลื่อนย้ายเม็ดพลาสติกไปด้านหน้า ช่วงการอัดพลาสติก (Compression Zone) มีหน้าที่อัด และให้แรงเฉือนแก่พอลิเมอร์ร่วมกับความร้อนที่ได้รับจากภายนอกเพื่อให้พอลิเมอร์เกิดการหลอมเหลว และท้ายสุดช่วงการหลอมพลาสติก (Metering Zone) มีหน้าที่ทำให้พอลิเมอร์เกิดการหลอมเหลวทั่วกัน แรงเฉือนที่สูงมากในช่วงนี้จะทำให้เกิดความดัน ให้พอลิเมอร์หลอมเหลวไหลออกมาทางหัวขึ้นรูปสกรูที่ใช้อาจมีลักษณะแตกต่างกันไปตามประเภทของงาน และชนิดของพอลิเมอร์



รูปที่ 2.19 ลักษณะและส่วนต่างๆ ของสกรูเครื่องอัดรีด

ที่มา : ชนิตา (2547)

1590 4705

ร/ว.

1167711

2552

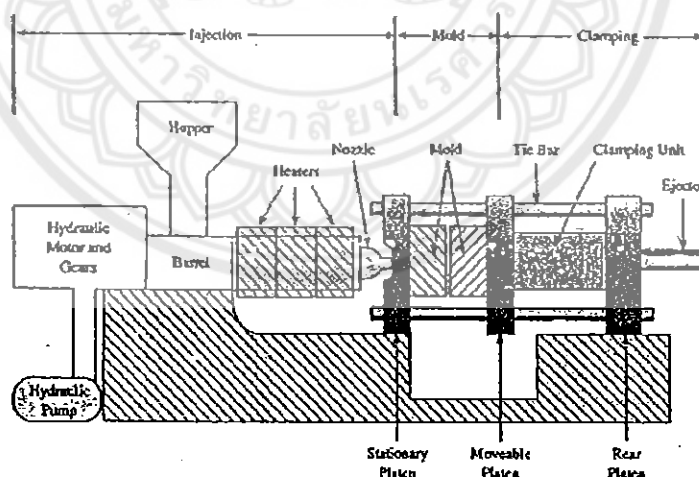
เครื่องอัดรีด แบ่งได้เป็น 2 ชนิดตามสกรูที่ใช้ คือเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder) ที่เหมาะกับการอัดรีดทั่วไป และเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin Screw Extruder) เหมาะกับการอัดรีดที่ต้องการการผสมที่ดี ต้องการปริมาณการผลิตสูง หรือใช้กับพอลิเมอร์ที่ไวต่อความร้อน เช่นพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) (ชนิตา, 2547)

2.10 กระบวนการฉีดขึ้นรูป (Injection Molding Process)

กระบวนการฉีดขึ้นรูปวัสดุเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) เป็นกระบวนการขึ้นรูปที่มีลักษณะเป็นรอบ ผลิตชิ้นงานที่มีลักษณะไม่ต่อเนื่อง สามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่มีความซับซ้อน ผลิตชิ้นงานในปริมาณมากในเวลาอันสั้น ด้วยเหตุนี้กระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกจึงเป็นกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกที่นิยมมากกว่าการขึ้นรูปชนิดอื่น ๆ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปโดยกระบวนการฉีด เช่น ของเล่นเด็ก อุปกรณ์ต่อพ่วง เครื่องใช้ในครัวเรือน เป็นต้น นอกจากนี้กระบวนการฉีดขึ้นรูปยังเป็นกระบวนการที่เหมาะสมในการขึ้นรูปวัสดุเทอร์โมพลาสติกคอมโพสิต เช่น พอลิพรอพิลีน/เส้นใยแก้ว พอลิคาร์บอเนต/เส้นใยแก้ว แต่มีข้อจำกัด เช่น ความยาวของเส้นใยเสริมแรง ปริมาณเส้นใยเสริมแรงสูงสุดที่สามารถผสมได้ การเรียงตัวของเส้นใยซึ่งข้อจำกัดเหล่านี้ มีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์

กระบวนการฉีดขึ้นรูปเป็นการให้ความร้อนกับเม็ดพลาสติก จากของแข็งที่อยู่ในรูปของเม็ดหรือผง ในห้องหลอมเหลวโดยการหมุนของสกรู และแถบความร้อน พลาสติกที่หลอมเหลวจะถูกลำเลียงไปด้านหน้าของสกรู จากนั้นสกรูจะเป็นส่วนที่ทำการฉีดพลาสติกหลอมเหลวผ่านหัวฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ซึ่งในแม่พิมพ์จะมีระบบหล่อเย็นเพื่อให้เกิดการคงรูปเป็นรูปร่างชิ้นงานตามแบบของแม่พิมพ์ จากนั้นแม่พิมพ์ถูกเปิดออกแล้วชิ้นงานจะถูกปลดออกมาจากแม่พิมพ์ เพื่อที่จะเริ่มรอบการผลิตใหม่

เครื่องฉีดพลาสติก ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ ชุดฉีด (Injection Unit) แม่พิมพ์ (Mold) และชุดเปิด-ปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit) ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 ส่วนประกอบของเครื่องฉีดขึ้นรูป

ที่มา : ชนิดา (2547)

2.10.1 ชุดฉีด (Injection Unit)

มีหลายรูปแบบในปัจจุบันที่นิยมมากที่สุดเป็นแบบสกรูเคลื่อนที่ (Reciprocating Screw) ประกอบด้วยห้องหลอม สกรู (Screw) ซึ่งมีลักษณะเดียวกับสกรูเครื่องอัดรีดแต่สั้นกว่า หัวฉีด ชุดป้อนพลาสติกฮีตเตอร์ (Heater) ชุดฉีดมีหน้าที่ 2 ขั้นตอน คือทำหน้าที่คล้ายเครื่องอัดรีด หลอมพอลิเมอร์ให้เป็นเนื้อเดียวในปริมาณที่พอสำหรับการฉีด 1 ครั้ง โดยเม็ดพอลิเมอร์ที่ป้อนมาทาง กรวยป้อนเม็ด (Hopper) จะถูกส่งผ่านโดยการหมุนของสกรู วัสดุของแข็งจะถูกอัด อากาศที่อยู่ ระหว่างเม็ดจะถูกไล่ออกไปทางกรวยป้อนเม็ดพอลิเมอร์ที่อัดแน่นจะหลอมเหลว ในขณะที่เคลื่อนที่ผ่าน สกรู พลังงานที่ใช้ในการหลอมเหลวได้จากความร้อนจากแถบให้ความร้อนและการเสียดสีที่เกิดขึ้นใน ระหว่างการหมุนสกรู ในขณะที่หมุนสกรูด้านหน้าของห้องหลอมเหลวจะปิด ความดันที่เกิดขึ้นจาก พอลิเมอร์หลอมเหลวจะผลักให้สกรู เรียกว่าความดันต้านการถอยกลับ (Back pressure) เป็น ตัวกำหนดแรงกระทำที่เกิดขึ้นกับพอลิเมอร์ ความดันต้านการถอยกลับที่เหมาะสมมีผลให้เกิดการผสม ที่ดี พอลิเมอร์หลอมเหลวมีอุณหภูมิสม่ำเสมอ ความดันต้านการถอยกลับที่มากเกินไปมีผลให้พอลิ- เมอร์เกิดการเสื่อมสภาพ และเส้นใยเสริมแรงสูญเสียความยาว เมื่อพอลิเมอร์หลอมเหลวมาสะสมอยู่ที่ ด้านหน้าสกรูในปริมาณที่มากพอแล้ว สกรูจะทำหน้าที่เป็นลูกสูบโดยการเคลื่อนที่ไปด้านหน้า พอลิ- เมอร์หลอมเหลวจะถูกฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ เพื่อป้องกันการไหลกลับของเนื้อพอลิเมอร์ที่ปลายสกรูจึงมี วาล์วป้องกันการไหลกลับของพอลิเมอร์ และในขณะที่เริ่มกระบวนการหล่อเย็น ชุดฉีดจะส่งเนื้อพอลิ- เมอร์หลอมเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์ด้วยความดันเพื่อทดแทนเนื้อพลาสติกที่หดตัวเนื่องจากการหล่อเย็น

2.10.2 แม่พิมพ์ (Mould Unit)

ติดตั้งอยู่ในชุดควบคุมการเปิด-ปิดแม่พิมพ์ มีหน้าที่ให้พอลิเมอร์ที่หลอมเข้าไปอยู่เกิด เป็นรูปร่างชิ้นงาน และแข็งตัวสามารถปลดออกจากแม่พิมพ์ได้ แม่พิมพ์ประกอบด้วย 2 ด้าน ด้าน หนึ่งติดอยู่กับส่วนที่ไม่เคลื่อนที่ของชุดควบคุมเปิด-ปิดแม่พิมพ์ แม่พิมพ์ด้านนี้มีทางเข้าพอลิเมอร์ หลอมเหลว (Sprue Bush) ซึ่งเป็นช่องที่อยู่ระหว่างแม่พิมพ์ทั้งสองด้าน เชื่อมต่อระหว่างทางเข้า พอลิเมอร์หลอมเหลว และรอยพิมพ์ซึ่งอยู่บนแม่พิมพ์อีกด้านหนึ่งที่บริเวณทางเข้ารอยพิมพ์จะแคบ มากเรียกว่า Gate แม่พิมพ์ด้านนี้จะติดตั้งอยู่บนชุดควบคุมการเปิด-ปิดแม่พิมพ์ด้านที่เคลื่อนที่ได้ แม่พิมพ์ด้านนี้มีระบบปลดชิ้นงานอยู่

2.10.3 ชุดเปิด-ปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit)

เป็นบริเวณที่ติดตั้งแม่พิมพ์ ทำหน้าที่ในการควบคุมการปิดแม่พิมพ์ในขณะที่ พอลิเมอร์หลอมเหลวถูกฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ และเปิดแม่พิมพ์เพื่อปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ กำหนด ความสามารถจากแรงในการเปิด-ปิดแม่พิมพ์ (Clamping) คือแรงสูงสุดที่ใช้ในการต้านการเปิดของ แม่พิมพ์ เนื่องจากการฉีดพอลิเมอร์หลอมเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์ ความสามารถของเครื่องจะอยู่ที่ ประมาณ 100-10000 ตัน ขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่อง ซึ่งมีค่าสูงมากจึงทำให้โครงสร้างของเครื่องฉีด

ขึ้นรูป และแม่พิมพ์ต้องมีความแข็งแรงสูง ระบบในการเปิด-ปิดแม่พิมพ์มีอยู่ 2 แบบ คือแบบใช้ระบบไฮดรอลิก และระบบข้อพับ ระบบไฮดรอลิกใช้ลูกสูบซึ่งติดอยู่กับด้านที่เคลื่อนที่ในการควบคุมการปิดแม่พิมพ์ และควบคุมความดัน ส่วนระบบข้อพับมีลักษณะเป็นแขนซึ่งหมุนรอบจุดเปิด-ปิดแม่พิมพ์ และสร้างแรงดันระบบไฮดรอลิกมีข้อดี คือสามารถสร้างแรงดันได้มาก และหลายระดับ ส่วนระบบข้อพับมีราคาถูกเปิด และปิดแม่พิมพ์ได้รวดเร็ว แต่การควบคุมแรงดันระยะการเปิด-ปิดได้ยาก และรักษายากกว่าระบบไฮดรอลิก (ชนิดา, 2547)

2.11 การทดสอบ

2.11.1 การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties Testing)

สมบัติเชิงกล คือพฤติกรรมอย่างหนึ่งของวัสดุที่แสดงออกมา เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ โดยแรงภายในของวัสดุที่เกิดขึ้นเพื่อต้านทานแรงภายนอกที่มากระทำ เรียกว่าความเค้น (Stress) วัดเป็นแรงต่อหน่วยพื้นที่ ดังสมการที่ 2.1 และส่วนอัตราส่วนระหว่างความยาวของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากวัสดุนั้นรับแรงไว้ไม่ไหวต่อความยาวเดิม เรียกว่าความเครียด (Strain) ซึ่งความเครียดไม่มีหน่วยระบุกำกับไว้ แต่นิยมบอกเป็นเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุ (Elongation) ดังสมการที่ 2.2

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

เมื่อ σ = ความเค้นเนื่องจากการดึงชิ้นงานตัวอย่าง (N/mm^2 ; MPa)
 F = แรงสูงสุดที่ใช้ในการดึง (N)
 A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน (mm^2)

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100 \quad (2.2)$$

เมื่อ ε = การยืดตัวของชิ้นงาน ณ จุดขาด (เปอร์เซ็นต์)
 L = ความยาวของชิ้นงาน ณ จุดที่เกิดการแตกหัก (mm)
 L_0 = ความยาวเริ่มต้นของชิ้นงาน (mm)

ทั้งความเค้น และความเครียดนี้เป็นสิ่งนำมาใช้พิจารณาถึงสมบัติเชิงกลของวัสดุ เช่นความยืดหยุ่น (Flexibility) ความอ่อนตัว (Ductility) ความเปราะ (Brittleness) ความเหนียว (Toughness) ความแข็งเกร็ง (Stiffness) และความแข็งแรง (Strength) (นิลบล, 2551)

2.11.1.1 การทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D638

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความแข็งแรงของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง ถ้าทำการดึงชิ้นงานที่มีสมบัติแข็งแรงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งวัสดุเกิดการแตกหักผลจากการวัดแรงที่มากระทำต่อวัสดุ ณ ตำแหน่งที่เกิดการแตกหักเรียกว่าความเค้นสูงสุดเนื่องจากแรงดึง (Ultimate Tensile Stress) หรือความต้านทานแรงดึง (Tensile Testing)

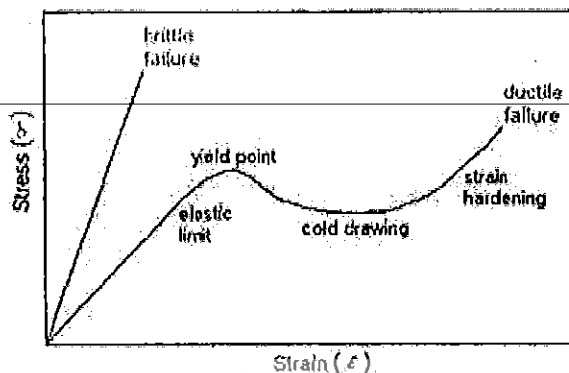
ตามกฎของฮุก (Hook's Law) สำหรับวัสดุอุดมคติที่มีสมบัติยืดหยุ่น ความเค้นเป็นสัดส่วนกับความเครียด อัตราส่วนระหว่างความเค้น และความเครียดนี้เป็นค่าคงที่ เรียกว่า โมดูลัส (Modulus ; E) สำหรับการให้ความเค้นใดๆ กับวัสดุที่มีโมดูลัสค่าวัสดุนั้นจะแสดงค่าความเครียด หรือระยะยืด หรือการสูญเสียรูปร่างของชิ้นงานได้สูงกว่าวัสดุที่มีโมดูลัสสูง ดังนั้น โมดูลัสของวัสดุจึงหมายถึงความสามารถในการต้านทานต่อการสูญเสียรูปร่างของชิ้นงานนั่นเอง ในความเป็นจริงพลาสติก และอีลาสโตเมอร์ส่วนใหญ่จะประพฤติตัวตามแบบฮุกเกียน (Hookean's Behavior) เฉพาะเมื่อทำการทดสอบด้วยอัตราเร็วในการยืดตัวต่ำ บางครั้งเรียกโมดูลัสของสภาพยืดหยุ่นว่า อีลาสติกโมดูลัส (Elastic Modulus) หรือโมดูลัสของยังส์ (Young's Modulus) การวัดโมดูลัสนี้ทำได้โดยการสร้างเส้นตรงสัมผัสกับช่วงต้นของเส้นโค้งความเค้น-ความเครียด จากนั้นคำนวณค่าความชันของเส้นสัมผัส ดังสมการที่ 2.3

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

เมื่อ E = โมดูลัส (N/mm² ; MPa)
 $\Delta\sigma$ = ความแตกต่างของความเค้นระหว่างสองตำแหน่งบนเส้นตรง (N/mm²)
 $\Delta\varepsilon$ = ความแตกต่างของความเครียดระหว่างสองตำแหน่งบนเส้นตรง

การเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับแรงดึงของพอลิเมอร์แต่ละชนิด ไม่ว่าจะเป็นเทอร์โมพลาสติก เทอร์โมเซต พอลิเมอร์ผสม พอลิเมอร์คอมโพสิต และอีลาสโตเมอร์ จะแตกต่างกันตามลักษณะการจัดเรียงตัวของพอลิเมอร์ สมบัติด้านความเป็นผลึก และความแข็งแรงในการ

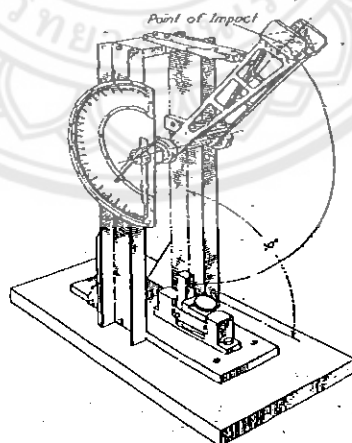
ยึดติดกันระหว่างผิวสัมผัสของพอลิเมอร์แต่ละชนิดกับวัสดุผสม (Adhesive Strength of Interface) ซึ่งแสดงให้เห็นความแตกต่างจากกราฟความเค้น-ความเครียด ดังรูปที่ 2.21 (นิลบล, 2551)



รูปที่ 2.21 กราฟความเค้น-ความเครียด แสดงพฤติกรรมของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง
ที่มา : นิลบล (2551)

2.11.1.2 ความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D256

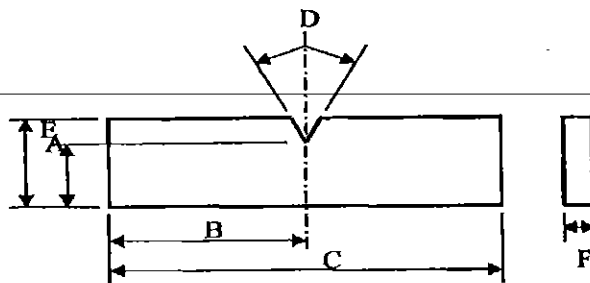
ในการทดสอบความต้านทานแรงกระแทกของพลาสติกสามารถทำได้หลายวิธี ในที่นี้จะกล่าวถึง การทดสอบความต้านทานแรงกระแทกโดยใช้ค้อนแกว่ง (Pendulum Impact Testing) โดยใช้เครื่องมือ ดังแสดงในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกระแทกแบบไอซอด
ที่มา : นิลบล (2551)

Izod Test วิธีนี้ให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกทั้งของโลหะ และพอลิเมอร์ คือใช้หัวกระแทกที่รูปร่างแน่นอน เหยียงกระแทกชิ้นงานที่วางยึดอยู่กับแท่นวางชิ้นงานใน

แนวตั้ง โดยให้รอยบากหันไปทิศทางที่หัวกระแทกตกกระทบ และอยู่เหนือที่ยึดโดยให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกที่อ่านได้จากเครื่องจะมีหน่วยเป็นจูล โดยเตรียมชิ้นงานดังรูป 2.23



รูปที่ 2.23 ชิ้นงานทดสอบความต้านทานแรงกระแทก ASTM D256

ที่มา : นิลุบล (2551)

สำหรับการคำนวณความต้านทานแรงกระแทกนั้น สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.4

(2.4)

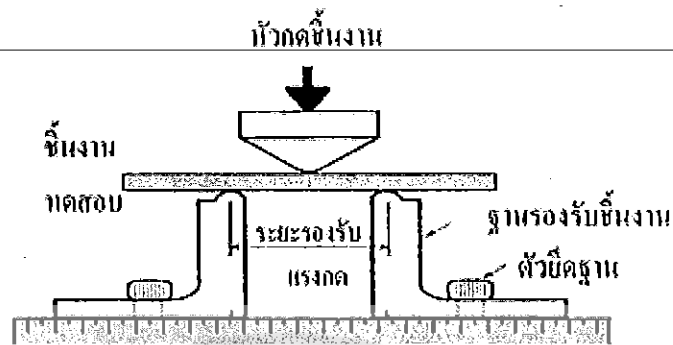
$$\text{ความต้านทานแรงกระแทก (J/mm}^2\text{)} = W / A$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } W &= \text{ค่าพลังงานกระแทก (J)} \\ A &= \text{พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานตัวอย่าง (mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

2.11.1.3 การทดสอบการทนต่อแรงโค้งงอ (Flexural Testing) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D790

การทดสอบการทนต่อแรงโค้งงอ เป็นการวัดแรงที่ต้องการเพื่อให้ชิ้นงานเกิดการงอ ข้อมูลที่ได้มักจะนำไปพิจารณาเลือกวัสดุสำหรับใช้เป็นส่วนที่ต้องรับแรงกดโดยไม่เกิดการงอ เช่นค่ามอดุลัสโค้งงอ (Flexural Modulus) ใช้ในการบ่งบอกถึงความแข็งตึงของวัสดุเมื่อเกิดการดัด โดยทั่วไปการทดสอบนี้เหมาะสำหรับพลาสติกที่มีลักษณะแข็งเปราะ แต่ไม่เหมาะกับการทดสอบพลาสติกที่มีลักษณะอ่อน หรือสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายใต้แรงดัดได้มาก เนื่องจากสมการที่ใช้ในการคำนวณของสภาพการดัดนี้ จะถูกต้องในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในระดับต่ำ วัสดุแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดแบบเชิงเส้น และอยู่ภายใต้แรงดัดเท่านั้น ดังนั้น โดยทั่วไปมักไม่ใช้ทดสอบที่เกินระดับความเครียด 5 เปอร์เซ็นต์ การทดสอบการทนต่อแรงดัดแบบ 3 จุด (Three Point Bending)

การทดสอบนี้เป็นการให้แรงกระทำที่จุดกึ่งกลางเท่านั้น ดังรูปที่ 2.24 เหมาะสำหรับการทดสอบพลาสติกที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ต่ำ หัวกดที่ให้แรงกระทำ และชุดรองรับมีลักษณะเป็นใบมีดมน (Round Knife Edges) หรือเพลาลโลหะแข็ง



รูปที่ 2.24 การทดสอบ Three Point Bending

ที่มา : นิลบล (2551)

สำหรับการทดสอบการทนต่อแรงโค้งงอนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.5 จะได้ค่าความแข็งแรงโค้งงอ และสมการที่ 2.6 จะได้ค่ามอดุลัสโค้งงอ

$$\sigma_f = \frac{1.5FL}{bh^2} \quad (2.5)$$

$$\epsilon_b = \frac{L^3}{4bh^3} \times \frac{\Delta F}{\Delta d} \quad (2.6)$$

- เมื่อ σ = ความเค้นเนื่องจากการกดชิ้นงานตัวอย่าง (MPa)
 ϵ = การยืดตัวของชิ้นงาน ณ จุดขาด (เปอร์เซ็นต์)
 L = ระยะรองรับแรงกด (mm)
 F = แรงกดสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานตัวอย่างโค้งงอ (N)
 h = ความหนาของตัวอย่าง (mm)
 b = ความกว้างของตัวอย่าง (mm)
 ΔF = ความแตกต่างของความเค้นระหว่างสองตำแหน่งบนเส้นตรง (N)
 Δd = ความแตกต่างของความเครียดระหว่างสองตำแหน่งบนเส้นตรง (mm)

2.11.2 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันโดยใช้ Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR)

อินฟราเรดเป็นช่วงหนึ่งของสเปกตรัมของการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมี Wave Number อยู่ในช่วงประมาณ 12,800 ถึง 10 cm^{-1} หรือมีช่วงความยาวคลื่นจาก 0.78 ถึง $1,000\ \mu\text{m}$ โมเลกุลของสารเคมีจะดูดกลืนแสงในช่วงอินฟราเรด (IR) ได้นั้นจะมีลักษณะเช่นเดียวกับการดูดกลืนแสงในช่วงยูวี-วิสิเบิล เพียงแต่ต่างกันที่ IR มีพลังงานน้อยกว่า ดังนั้นเมื่อโมเลกุลดูดกลืนแสง IR โมเลกุลจะถูกกระตุ้น (Excite) เป็นโมเลกุลที่มีพลังงานสูงกว่าอยู่ที่สภาวะพื้นโดยมีพลังงานเปลี่ยนแปลงอยู่ในราว 2-10 Kcal/mole ซึ่งพอที่จะทำให้โมเลกุลเกิดการสั่น (Vibration) หรือเกิดการหมุน (Rotation) เท่านั้น การดูดกลืนแสง IR ของโมเลกุลมีใช้ว่าทุกโมเลกุลของสารจะดูดกลืนแสง IR ได้หมดแต่จะต้องมีลักษณะเฉพาะสภาวะที่ต้องเหมาะสมด้วย คือ

- รังสี หรือแสงนั้นจะต้องมีพลังงานพอเหมาะพอดีที่จะทำให้เกิดทรานซิชัน

- จะต้องเกิดการควบคู่ (Coupling) พอดีระหว่างสนามไฟฟ้าจากการแผ่รังสีกับสารนั้น เมื่อมีการดูดกลืนพลังงานแล้วจะทำให้เกิดโมเมนต์ขั้วคู่ (Dipole Moment) ของโมเลกุลนั้นเปลี่ยนไป

ดังนั้นเมื่อใช้ IR ผ่านเข้าไปโมเลกุลของสารใดก็ตามแล้วเกิดปรากฏการณ์ทั้งสองอย่างข้างบนนี้เรียกลักษณะนั้นว่า IR active ถ้าไม่มีการเปลี่ยนโมเมนต์ขั้วคู่ แสดงว่าสารนั้นเป็น IR Inactive ถือว่าไม่มีการดูดกลืนแสง IR ถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ขั้วคู่มากจะได้ IR Absorption Peak สูง ถ้าเปลี่ยนแปลงน้อยก็จะได้ Weak Absorption Peak เช่นสารกลุ่ม C=O ให้ Strong IR Absorption Peak แต่กลุ่ม -C=N- ให้ Weak IR Absorption Peak และโมเลกุลที่เป็น Asymmetric Bond เช่น H_2 , Cl_2 , O_2 , N_2 , Symmetric Alkenes (C=C) หรือ Symmetric Alkynes เป็นต้น จะไม่ดูดกลืนแสง IR (ชินิตา, 2547)

ทดสอบโดยการนำชิ้นงานที่ผ่านการฉีดยาขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดพลาสติก แล้วบดด้วยเครื่องบดให้ละเอียด ทำให้ได้สารตัวอย่างที่มีขนาดอนุภาคเล็กผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.025 มิลลิเมตร นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นผสมรวมกับ KBr วิเคราะห์ด้วยเครื่องฟูเรียสทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ และทำการศึกษาฟิสิกในช่วงต่างๆ

ตารางที่ 2.5 ช่วงของเลขคลื่นกับหมู่ฟังก์ชันที่ดูดกลืนแสงอินฟราเรดได้ปานกลาง และดีมาก

ช่วงของเลขคลื่น (wave number range, cm^{-1})	หมู่ฟังก์ชัน (function group)
3700-3600	OH (H_2O , ROH, PhOH) (dilute solution)
3530-3400	NH_2 (2 bands), NH (1 bands) (dilute solution)
3500-3250	OH (polymers) (solids and liquids)
3500-3060	OH (polymers) (solids and liquids)
3320-3250	NH (amine, amides)
3110-3000	COOH (broad)
3000-2800	C-H ($\text{C}=\text{C}-\text{H}$, Ph-H, CH_3X , CH_2X)
2835-2815	C-H ($-\text{CH}_2-$, $-\text{CH}_3$)
2750-2700	OCH_3
2260-2100	CHO
1980-1950	C-H (phenyl)
1950-1600	$-\text{C}=\text{C}-$
1715-1630	$\text{C}=\text{O}$
1710-1530	RCONH_2 , RCONHR
1680-1630	$-\text{COO}-$ (broad)
1680-1560	$\text{C}=\text{C}$ (nonconjugated, noncyclic) $\text{C}=\text{N}$
1650-1590	$\text{C}=\text{C}$ (cycle or conjugated)
1650-1475	RONO , RONO_2
1615-1590	RCONH_2 , RCONHR
1615-1565	Phenyl
1610-1560	Pyridines (doublet)
1550-1490	COO

ที่มา : ชนิดา (2547)

2.11.3 สมบัติการดูดซับน้ำ (Water absorption)

ลักษณะที่แสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนของการดูดซับน้ำ คือการซึมผ่านเข้าไปได้ของน้ำ ความรวดเร็วของน้ำที่ถูกทำให้ชุ่มที่พื้นผิวของชิ้นงานพอลิเมอร์คอมโพสิต และถูกดูดซับเข้าไปอยู่ในชิ้นงาน สิ่งที่สำคัญที่สุดในการไหล คือปริมาณและลักษณะของชิ้นงาน ชิ้นงานที่เป็นเส้นใยเป็นที่รู้จักกันดีในความสามารถของมันที่จะดูดซับน้ำเข้าไปภายในพื้นผิว พื้นผิวของเส้นใยธรรมชาติ ส่วนภายในเส้นใยมีลักษณะเป็นรูพรุน ความหยัก การบิดเป็นเกลียว และความโค้งงอของพื้นผิว ส่วนที่อยู่ในเส้นใยถูกน้ำแทรกซึมได้โดยการแพร่ไปในรูพรุน ช่องว่างพื้นที่ว่างระหว่างเส้นใย นอกจากนี้ยังแพร่ผ่านเข้าไปในสารระหว่างเซลล์ของเนื้อเยื่อที่เกิดการพองหรือบวม เนื่องจากความสามารถในการซึมผ่านได้ง่ายของเส้นใย เช่น Cellulosics, Predominantly, Cotton, Rayon and Wood-pulp จึงทำให้มีการนำชิ้นงานที่เป็นเส้นใยมาใช้ในเชิงพาณิชย์

สารดูดซับที่มีความสามารถในการดึงดูดสารโมเลกุลมีขั้ว เช่นน้ำ เรียกว่า Hydrophilic ตัวอย่างสารดูดซับเหล่านี้ ได้แก่ ซิลิกาเจ ซีโอไลต์ (Zeolites) และออกไซด์ของอลูมินัม (Alumina) แบบ Active (กัมมันตภาพรังสี) หรือแบบ Porous (พรุน) สำหรับสารดูดซับที่มีความสามารถในการดึงดูดสารโมเลกุลไม่มีขั้ว เรียกว่า Hydrophobic มีความสามารถในการดึงดูดน้ำมัน และแก๊สมากกว่าน้ำ ตัวอย่างสารดูดซับเหล่านี้ ได้แก่ Activated Carbons, Polymer Adsorbents และ Silicalites สารดูดซับที่ไม่มีขั้วไม่สามารถดูดซับสารประกอบที่มีขั้วได้ เช่น คาร์บอนไม่สามารถดูดซับน้ำได้ สำหรับการคำนวณค่าสมบัติการดูดซับน้ำสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.7 (รัตนกร, 2544)

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ} = \left(\frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างเปียก} - \text{น้ำหนักเริ่มต้น}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น}} \right) \times 100 \quad (2.7)$$

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุรัชย์ และธนากร (2539) ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยผักตบชวามาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของเทอร์โมพลาสติก ชนิดพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นสูง HDPE เกรด N3260 โดยนำมาทำให้แห้ง และบด เพื่อใช้เส้นใยผักตบชวาเป็นสารเสริมแรงในเทอร์โมพลาสติก โดยทำการผสมด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้งแล้วนำมาขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดความร้อน ผลการทดสอบทางเชิงกลปรากฏว่า พลาสติกที่เติมเส้นใยผักตบชวาขนาดมากกว่า 0.16 มิลลิเมตร และขนาด 0.16 มิลลิเมตร ที่ปริมาณ 0.3, 0.6, 0.9 และ 1.2 กรัมในร้อยกรัมของพลาสติก มีค่าความทนทานต่อแรงยึดดึง เปอร์เซ็นต์การยึดที่จุดขาด ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกลดลง แต่ค่ามอดูลัสที่จุดขาด ความแข็งสูงขึ้นและเมื่อเติม Ethylene Vinyl Acetate Copolymer (EVA grade N 8038) ลงไปช่วยในการจับยึดเส้นใยผักตบชวากับ HDPE พบว่า EVA ไม่ปรากฏผลที่เด่นชัด

ในการจับยึดเส้นใยผักตบชวากับพลาสติก HDPE ได้ EVA จึงไม่สามารถใช้เป็นสาร Coupling Agent ได้

ชินวัฒน์ และพรณชนก (2541) ได้ศึกษาสมบัติเชิงกลของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงผสมเส้นใยผักตบชวา ในโครงการพิเศษนี้ได้ทำการเตรียมเส้นใยผักตบชวาพบว่าสามารถเตรียมเส้นใยผักตบชวาได้ 3 เปอร์เซ็นต์จากผักตบชวาสด และพบว่าเส้นใยผักตบชวาที่เตรียมได้จะเสียดสภาพที่อุณหภูมิ 150 °C ขึ้นไปในการเตรียมชิ้นงานเพื่อศึกษาสมบัติเชิงกล โดยทำการผสมพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง HDPE เกรด GA3750 กับเส้นใยผักตบชวาในอัตราส่วน 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีน สามารถเตรียมพลาสติกผสมโดยใช้เครื่องผสมลูกกลิ้ง และเครื่องหลอมอัดรีดชนิดเกลียวทวนคู่ จากนั้นจึงนำไปฉีดขึ้นรูปด้วยปั๊มเบล แล้วนำพลาสติกผสมมาทดสอบสมบัติการต้านทานแรงดึงพบว่าชิ้นงานพลาสติกที่ทำการผสมเส้นใยผักตบชวาในอัตราส่วน 5, 10 และ 20 โดยน้ำหนัก จะมีผลทำให้ค่า Ultimate Tensile Stress, Ultimate Tensile Strength และ Young's Modulus สูงขึ้น ส่วนเปอร์เซ็นต์ Ultimate Elongation ลดต่ำลง ซึ่งจะต่ำกว่าชิ้นงานพลาสติกที่ไม่ได้ผสมเส้นใยผักตบชวา จากผลของสมบัติเชิงกลที่กล่าวมาพบว่าการเติมเส้นใยผักตบชวาในทุกอัตราส่วน จะมีผลในการ เสริมแรงพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เกรด GA3750

ภัทรพร (2550) การเตรียมฟิล์มพอลิพรอพิลีนนาโนคอมโพสิต (PP/m-MMT) เพื่อศึกษาผลของสารช่วยผสมจำพวกพอลิพรอพิลีนกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PP-g-MA) และพอลิพรอพิลีนกราฟต์อะคริลิกแอซิก (PP-g-AA) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลและปริมาณหมู่ฟังก์ชันแตกต่างกัน รวมถึงผลของออร์กาโนเคลย์ ที่มีต่อสมบัติของฟิล์ม PP/m-MMT เพื่อพัฒนาสมบัติการต้านทานการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน และสมบัติเชิงกลให้ใกล้เคียงกับฟิล์ม BOPP โดยทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติของฟิล์ม PP/m-MMT ได้แก่ อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างสารช่วยผสมและออร์กาโนเคลย์ ชนิดออร์กาโนเคลย์ ชนิดสารช่วยผสม ปริมาณออร์กาโนเคลย์ที่เหมาะสม และอัตราส่วนการดึง (Draw Ratio) การเตรียมวัสดุนาโนคอมโพสิตดำเนินการด้วยเทคนิคการผสมแบบหลอมเหลวด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวทวนคู่ (Twin Screw Extruder) และขึ้นรูปด้วยเทคนิคการผลิตฟิล์มแบบแผ่น (Flat Film) จากนั้นทำการศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์ม PP/m-MMT ที่เตรียมได้ เช่นสมบัติการต้านทานการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจน สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยา จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างสารช่วยผสม และออร์กาโนเคลย์เท่ากับ 2:1 และการเติมสารช่วยผสมชนิด PP-g-MA เกรด Priex[®] 20095 ที่มีโครงสร้างสายโซ่หลักเป็นสายโซ่พอลิพรอพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และมีโครงสร้างสายโซ่กิ่งเป็นหมู่ฟังก์ชัน MA ที่มีปริมาณมาก รวมทั้งการเติมออร์กาโนเคลย์เกรด Cloisite[®] 20A จะส่งผลให้ฟิล์ม PP/m-MMT มีการพัฒนาสมบัติการต้านทานการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและสมบัติเชิงกลที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังพบว่าการลดปริมาณออร์กาโนเคลย์และการเพิ่มอัตราส่วนการดึง จะทำให้สมบัติการต้านทานการซึมผ่านของก๊าซออกซิเจนและสมบัติเชิงกลของฟิล์ม PP/m-MMT มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินโครงการ

การดำเนินงานโครงการกำหนดไว้ 5 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ค้นคว้าเอกสารงานโครงการ ข้อมูลพื้นฐาน และมาตรฐานการทดสอบที่เกี่ยวข้องจากแหล่งต่างๆ อาทิ เช่น วารสารเชิงวิชาการ หนังสือ รวมทั้งการสืบค้นข้อมูลจากอินเทอร์เน็ต

ขั้นตอนที่ 2 วางแผนการดำเนินโครงการ กำหนดขั้นตอนการดำเนินโครงการ และวิธีการทดลอง

ขั้นตอนที่ 3 จัดเตรียมวัสดุดิบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินโครงการ

ขั้นตอนที่ 4 ดำเนินโครงการโดยการเตรียมเส้นใยผักตบชวา เตรียมเม็ดพลาสติก ขึ้นรูปชิ้นงาน

ทดสอบสมบัติเชิงกล หมู่ฟังก์ชัน และสมบัติทางกายภาพ

ขั้นตอนที่ 5 นำผลที่ได้จากโครงการมาวิเคราะห์ สรุปผล และเขียนปริญญานิพนธ์

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในโครงการ

3.1.1 พอลิพรอพิลีน (Polypropylene) เกรด (EL-Pro, P700J) จากบริษัท SCG Plastics โดยมีสมบัติต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมบัติของพอลิพรอพิลีน (EL-Pro, P700J)

สมบัติ	มาตรฐานการทดสอบ	ปริมาณ	หน่วย
อัตราการไหล	ASTM D 1238 @ 230 °C, 2.16 kg	12	g/10 min
ความหนาแน่น	ASTM D 1505	0.910	g/cm ³
ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด	ASTM D 638 @ Crosshead speed 50 mm/min	200	kg/cm ²
เปอร์เซ็นต์การดึง ณ จุดขาด	ASTM D 638 @ Crosshead speed 50 mm/min	650	%
มอดุลัสโค้งงอ	ASTM D 790	14500	kg/cm ²

ที่มา : บริษัท SCG Plastics

3.1.2 เส้นใยผักตบชวา (Water Hyacinth Fiber) จากคลองข้างมหาวิทยาลัยนเรศวร

3.1.3 สารช่วยผสมชนิดอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีน (PP-g-AA) เกรด Polybond[®] 1002 จากบริษัท Chemtura โดยมีสมบัติต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สมบัติของอะคริลิกแอสซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีน เกรด Polybond® 1002

สมบัติ	มาตรฐานการทดสอบ	ปริมาณ	หน่วย
อัตราการไหล 2.16 kg	ASTM D 1238 at 230 °C	20	g/10 min
ความหนาแน่น	ASTM D 1238	0.910	g/cm ³
จุดหลอมเหลว	DSC	161	°C

ที่มา : บริษัท Chemtura

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในโรงงาน

3.2.1 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวทอนเดี่ยว (Single Screw Extruder Machine) : MGSE-20 รุ่น SE-20-001

3.2.2 เครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding Machine) : NEUSTADT GERMANY 50M รุ่น BOY GMBH 53577

3.2.3 เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Universal Testing Machine) : LOYD INSTRUMENT รุ่น LR10K plus

3.2.4 เครื่องทดสอบแรงกระแทก (Impact Testing Machine) : JINAN TESTING EQUIPMENT IE CORPORATION รุ่น XC-227

3.2.5 เครื่องฟูเรียสทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer) : Perkin Elmer รุ่น FTIR Spectrum GX

3.2.6 ตู้อบ (Oven) : SCIENTIFIC PROMOTION รุ่น FED 720

3.2.7 เครื่องปั่น : OTTO รุ่น BE-120

3.2.8 เครื่องร่อนแยกขนาด

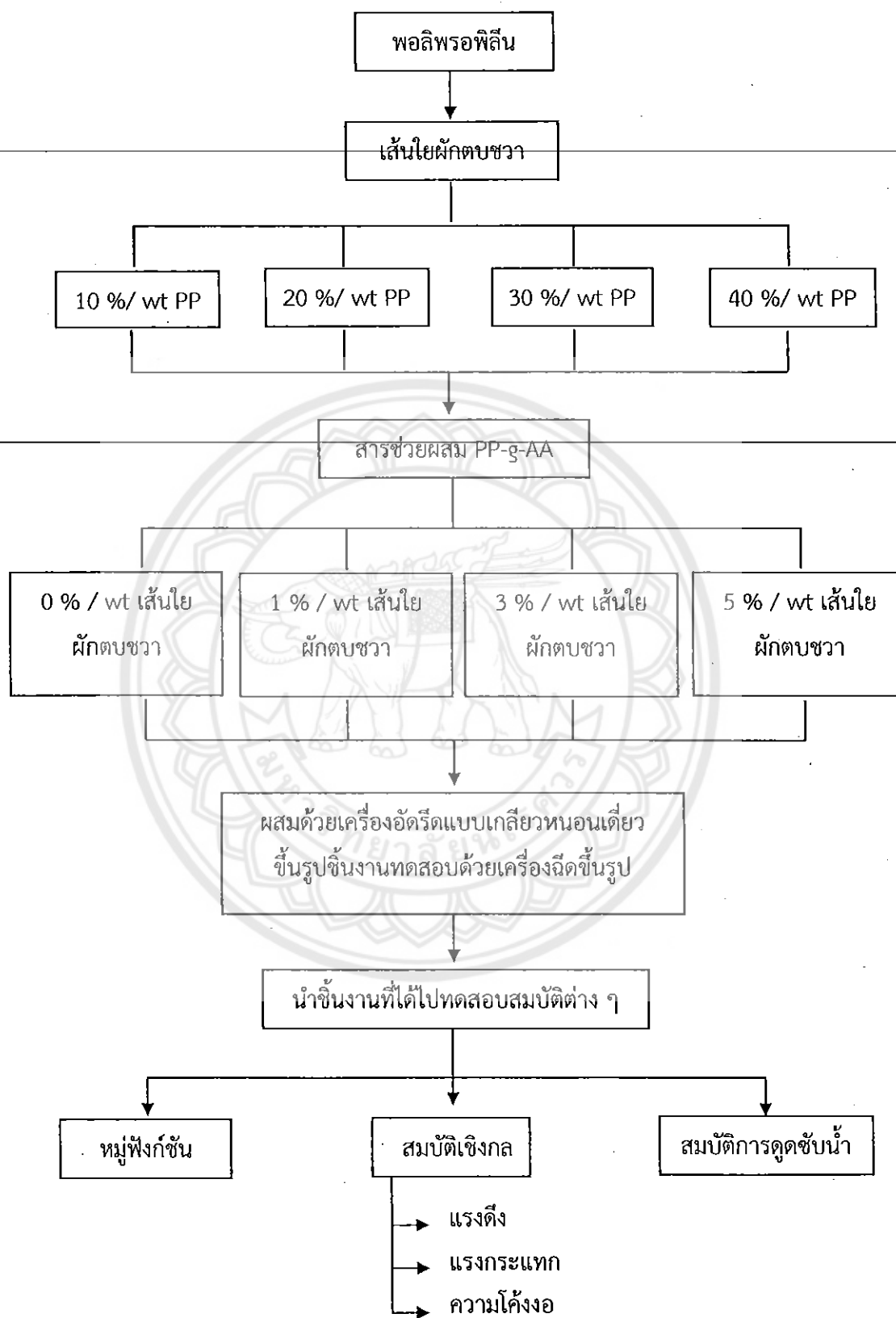
3.2.9 ตะแกรงมาตรฐานขนาด 20-50 เมช

3.2.10 เครื่องชั่ง : METTLER TOLEDO รุ่น PL303 ทศนิยม 3 ตำแหน่ง

3.2.11 เครื่องบด : WSGP POWER 4 KW รุ่น G100405

3.2.12 เวย์เนอร์คาร์ลิปเปอร์

โดยแผนการดำเนินงานแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินงานในโครงการ

3.3 การทดลอง

3.3.1 การเตรียมเส้นใยผักตบชวา

ผักตบชวาทากแห้งปกติจะมีขนาดใหญ่ และแข็งกระด้าง ทำให้เป็นการยากที่จะนำมาขึ้นรูป จึงต้องทำการปรับปรุงผักตบชวาให้กลายเป็นเส้นใยขนาดเล็กลง และมีความอ่อนนุ่มมากขึ้นโดย

3.3.1.1 หั่นให้ได้ขนาดความยาวประมาณ 1 นิ้ว

3.3.1.2 นำผักตบชวาที่หั่นแล้วมาย่อยด้วยเครื่องปั่นเพื่อให้เป็นฝอย แล้วนำไปผ่านเครื่องแยกขนาดโดยใช้ตะแกรงขนาด 20-50 เมช

3.3.1.3 นำผักตบชวาที่ผ่านการแยกขนาดไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

3.3.1.4 เวลาในการอบที่ 24 ชั่วโมง

3.3.2 การเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยผักตบชวา

3.3.2.1 ซังสูตรผสมต่างๆ ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 พอลิพรอพิลีนกับเส้นใยผักตบชวา

PP (%)	% เส้นใยผักตบชวา (% / wt PP)
100	10
100	20
100	30
100	40

3.3.2.2 ทำการผสมเส้นใยผักตบชวากับพอลิพรอพิลีน ตามสูตรดังตารางที่ 3.3

3.3.2.3 ผสมในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว โดยใช้สภาวะอุณหภูมิดังตารางที่ 1.1 นำไปฉีดขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดพลาสติก โดยใช้สภาวะอุณหภูมิดังตารางที่ 1.2

3.3.2.4 นำวัสดุที่ได้ไปทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่

ก. ศึกษาหมู่ฟังก์ชันโดยใช้เครื่องฟูเรียสทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer)

ข. ศึกษาสมบัติเชิงกล

ข.1 ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D638

ข.2 ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength) มอดุลัสการโค้งงอ (Flexural Modulus) ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D790

ข.3 ความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength) ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D256

ค. ศึกษาสมบัติทางกายภาพ การดูดซับน้ำ (เปอร์เซ็นต์ Water Absorption)

3.3.3 การปรับปรุงพอลิเมอร์คอมโพสิตโดยใช้สารช่วยผสมชนิดอะคริลิกแอซิกกราฟต์

พอลิพรอพิลีน

3.3.3.1 ซั่งสูตรผสมต่างๆ ดังตารางที่ 3.4

3.3.3.2 ขั้นตอนการทำวัสดุคอมโพสิตตามหัวข้อ 3.3.2 ในข้อ 3.3.2.2 และ 3.3.2.3

3.3.3.3 ศึกษาสมบัติต่างๆ ตามหัวข้อ 3.3.2 ในข้อ 3.3.2.4

3.3.3.4 เปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของวัสดุคอมโพสิตที่มีการใช้ปริมาณเส้นใยผักตบชวาต่างกัน และการใช้สารช่วยผสมชนิดอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีน (PP-g-AA) ที่ปริมาณต่างๆ

ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีน : เส้นใยผักตบชวาที่มีการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีน (PP-g-AA) เกรด Polybond® 1002

PP (%)	% เส้นใยผักตบชวา (% / wt PP)	% PP-g-AA (% / wt เส้นใยผักตบชวา)
100	10	1, 3, 5 %
100	20	1, 3, 5 %
100	30	1, 3, 5 %
100	40	1, 3, 5 %

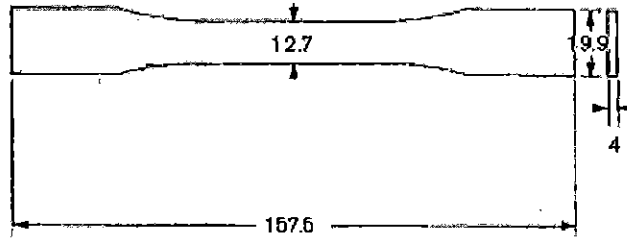
3.4 การทดสอบ

3.4.1 สมบัติเชิงกล

3.4.1.1 การทดสอบแรงดึง ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง Universal Testing Machine ตามมาตรฐาน ASTM D638 ทำการวัดขนาดชิ้นงานตัวอย่าง ด้วยเวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์เพื่อนำไปใช้คำนวณเมื่อทดสอบแรงดึง โดยเตรียมชิ้นงานในรูปดัมเบลล์ดังรูปที่ 3.2 ใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 8 ชิ้นในแต่ละสูตร และใช้สภาวะในการทดสอบดังนี้

- โหลดเซลล์ (Load cell) 5 กิโลนิวตัน (kN)
- ความเร็วในการดึง (Test speed) 5 มิลลิเมตร/นาที (mm/min)
- ความยาวของเกจ (Gauge length) 70.5 มิลลิเมตร (mm)

ซึ่งจะได้ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัส และเปอร์เซ็นต์การดึง ณ จุดขาด โดยคำนวณจากสมการที่ 2.1, 2.2 และ 2.3



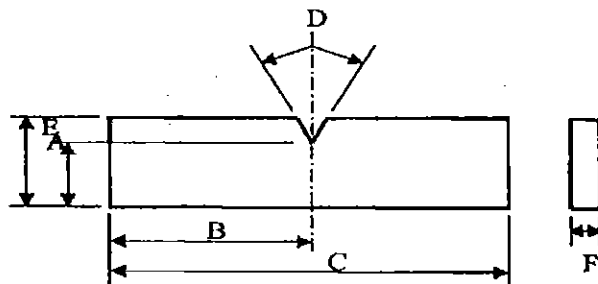
รูปที่ 3.2 ชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D638
ที่มา : นิลบล (2551)

3.4.1.2 การทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ และมอดุลัสโค้งงอ เป็นการวัดแรงเพื่อต้องการให้ชิ้นงานเกิดความงอโดยการทดสอบการทนแรงดัดแบบ 3 จุด (Three Point Bending) ตามมาตรฐาน ASTM D790 โดยการทดสอบนี้จะให้แรงกระทำที่จุดกึ่งกลางเท่ากัน โดยการทดสอบใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 8 ชิ้น ในแต่ละสูตร สภาวะที่ใช้ในการทดสอบเป็นดังนี้

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

โดยคำนวณหาค่าความแข็งแรงโค้งงอจากสมการที่ 2.5 และมอดุลัสโค้งงอจากสมการที่ 2.6

3.4.1.3 การทดสอบหาค่าความต้านทานแรงกระแทก ด้วยเครื่องทดสอบแรงกระแทก Impact Testing Machine ด้วยวิธีแบบ Izod Impact มาตรฐาน ASTM D256 โดยนำชิ้นงานไปบากด้วยเครื่องบากชิ้นงาน (Cutting Machine) ให้มีความลึกของรอยบาก 2.5 มิลลิเมตร ใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 8 ชิ้น ในแต่ละสูตร และทำการวัดความหนาของชิ้นงานแต่ละชิ้นด้วยเวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ และทำการทดสอบค่าแรงกระแทก เพื่อนำมาคำนวณเป็นหน่วยจูลต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งค่าที่ได้จะออกมาเป็นค่าของพลังงานที่วัสดุดูดกลืนไว้ต่อพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง โดยเตรียมชิ้นงานดังรูปที่ 3.3 สำหรับการคำนวณค่าความต้านทานแรงกระแทก สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.4



รูปที่ 3.3 ชิ้นงานทดสอบความต้านทานแรงกระแทกตามมาตรฐาน ASTM D256
ที่มา : นิลบล (2551)

3.4.2 ทดสอบสมบัติทางกายภาพ

โดยการนำชิ้นงานไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 35 วัน และทำการวัดปริมาณน้ำที่ดูดซับเป็นเวลาที่ต่างๆ กัน 5 ช่วงเวลา คือ 1, 7, 14, 21, 28 และ 35 วัน และนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ โดยหาจากสมการที่ 2.7

3.4.3 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR)

ทดสอบโดยการนำชิ้นงานที่ผ่านการฉีดขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดพลาสติก แล้วบดด้วยเครื่องบดให้ละเอียด ทำให้ได้สารตัวอย่างที่มีขนาดอนุภาคเล็กผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.025 มิลลิเมตร นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นผสมรวมกับ KBr วิเคราะห์ด้วยเครื่องฟูเรียสทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ และทำการศึกษาพีคในช่วงต่างๆ



บทที่ 4

ผลการทดลอง และการวิเคราะห์

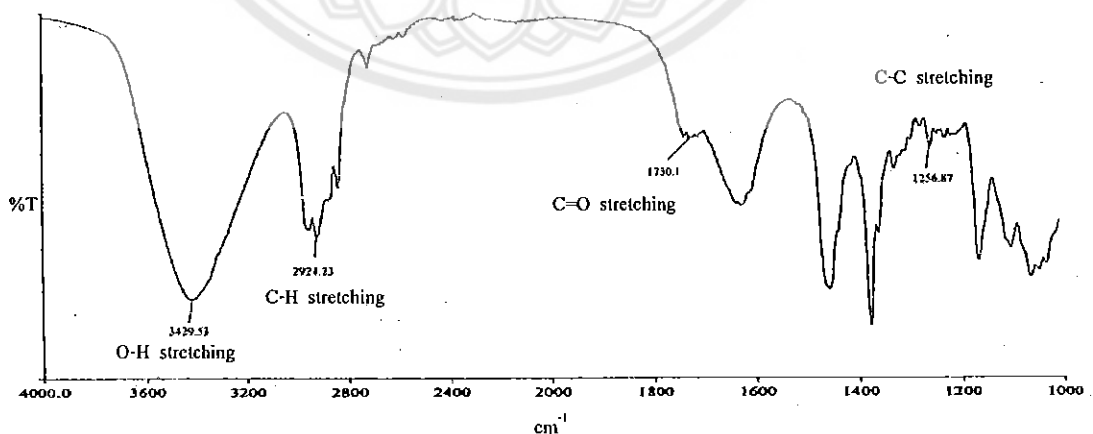
โครงการนี้เป็นการศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยผักตบชวาที่อัตราส่วนของเส้นใยผักตบชวาปริมาณ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน จากนั้นจะเป็นการศึกษาการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา เป็นสารช่วยผสม โดยได้ศึกษาถึงสมบัติเชิงกล หมู่ฟังก์ชัน และสมบัติการดูดซับน้ำจากพอลิพรอพิลีน และเส้นใยผักตบชวา ได้ผลดังต่อไปนี้

4.1 การศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยผักตบชวา ที่อัตราส่วนของเส้นใยผักตบชวาปริมาณ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน

4.1.1 การศึกษาหมู่ฟังก์ชัน

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันทางเคมีบนพื้นผิวของคอมโพสิตทำได้โดยการใช้เครื่อง FTIR (Fourier Transform Infrared Spectrometer) โดยพิจารณาจากพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีน และเส้นใยผักตบชวาปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน

จากการศึกษาหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่พอลิพรอพิลีน และเส้นใยผักตบชวาปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ได้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยผักตบชวาปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน

จากรูปที่ 4.1 แสดงสเปกตรัมของเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และเส้นใยผักตบชวาปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน และไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวา จากสเปกตรัมในรูปพบพีคอินฟราเรดสเปกตรัมช่วง 3000 cm^{-1} ในโครงงานนี้เกิดที่ตำแหน่งพีค 2924 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบ Stretching ของ CH_3 ของสายโซ่พอลิพรอพิลีน ส่วนแถบพีคช่วง $1280\text{-}1150\text{ cm}^{-1}$ ในโครงงานเกิดที่ตำแหน่งพีค 1256 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบ C-C Stretching ของ CH_3 ของสายโซ่พอลิพรอพิลีน ส่วนพีคกว้างในช่วง $1660\text{-}1820\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นลักษณะการสั่นแบบ C=O Stretching ของหมู่คาร์บอนิล ซึ่งมีอยู่ในโครงสร้างของเส้นใยผักตบชวา ในโครงงานเกิดที่ตำแหน่งพีค 1730 cm^{-1} และการสั่นแบบ O-H Stretching พบในช่วง $3400\text{-}3200\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งมีอยู่ในโครงสร้างของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินที่มีอยู่ในเนื้อไม้ ซึ่งในโครงงานนี้เกิดพีคที่ตำแหน่ง $3429\text{ (รศ. แม่น, 2539)}$

ตำแหน่งของสเปกตรัมที่สำคัญของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และเส้นใยผักตบชวาปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตำแหน่งสเปกตรัมของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่ได้ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวา

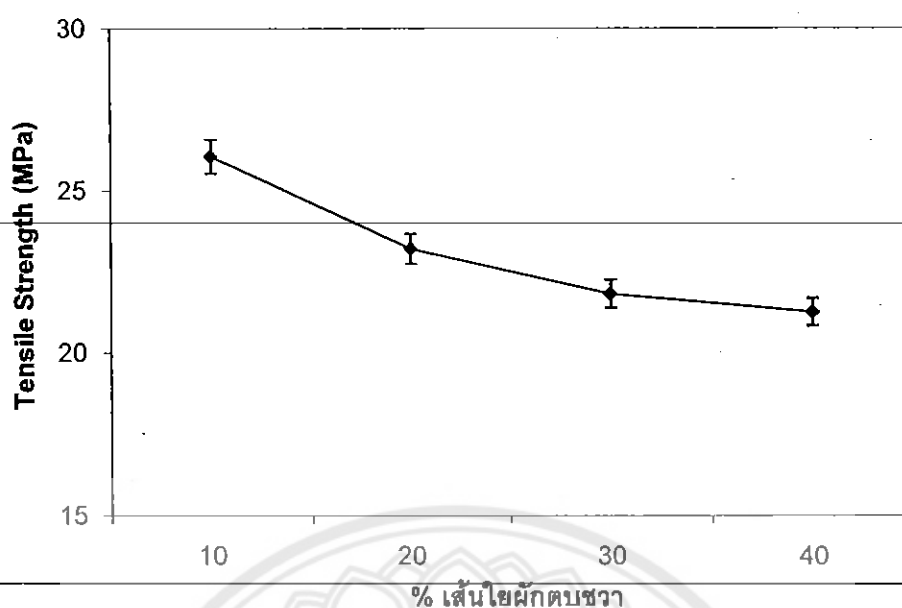
ลักษณะการสั่น	ตำแหน่งพีค (cm^{-1})
C-C Stretching ของ CH_3	1280-1150
C=O Stretching ของหมู่คาร์บอนิล	1660-1820
O-H Stretching	3400-3200
C-H Stretching ของ CH_3	3000

ที่มา : รศ. แม่น (2539)

4.1.2 สมบัติเชิงกล

ในการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตนั้น ได้แบ่งการศึกษาออกดังนี้

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติค่าความแข็งแรงดึง ค่าเปอร์เซ็นต์การดึง ณ จุดขาด ค่ามอดุลัส ค่าความต้านทานแรงกระแทก ค่าความแข็งแรงโค้งงอ และค่ามอดุลัสโค้งงอ ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยผักตบชวาที่อัตราส่วนของเส้นใยผักตบชวาปริมาณ 10, 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ได้ผลดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิต และปริมาณเส้นใยผักตบชวา

จากรูปที่ 4.2 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิต และปริมาณเส้นใยผักตบชวาที่ปริมาณ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน พบว่าเมื่อปริมาณของเส้นใยผักตบชวาเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตลดลง เนื่องจากสาเหตุดังต่อไปนี้

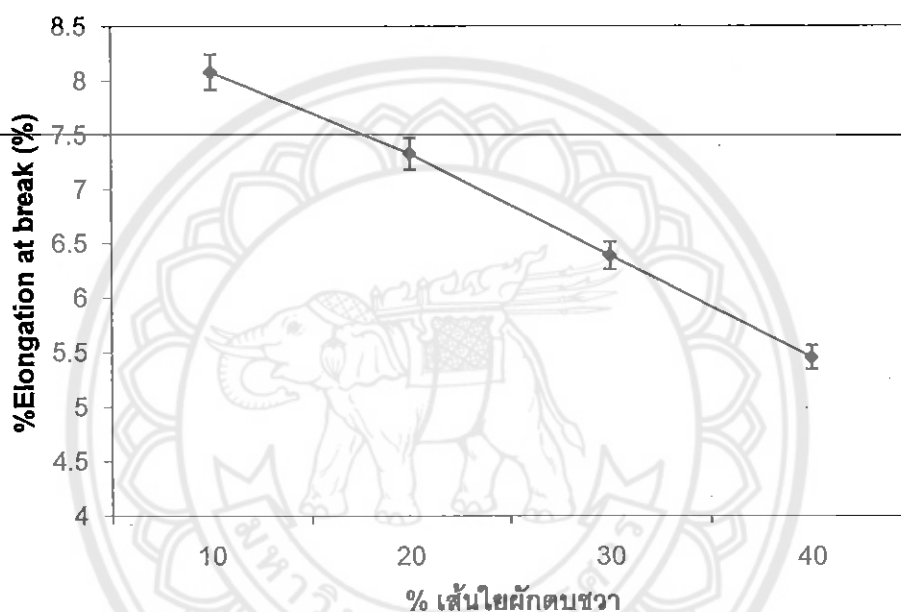
สาเหตุแรก คือการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอของเส้นใยผักตบชวา เนื่องจากเส้นใยผักตบชวามีแนวโน้มที่เกาะตัวรวมกันเป็นกลุ่ม จากการเกิดพันธะไฮโดรเจนกันระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของเซลลูโลสในเส้นใยผักตบชวา ซึ่งไฮดรอกซิลเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เส้นใยผักตบชวาระวมตัวกันเป็นกลุ่ม ส่งผลให้ไม่เกิดการกระจายตัวในพอลิพรอพิลีน

สาเหตุต่อมา คือเส้นใยผักตบชวามีโครงสร้างทางเคมีมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เป็นแบบมีขั้วและมีความชอบน้ำ (Hydrophilic) จากโครงสร้างทางเคมีที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ เส้นใยสามารถดูดความชื้นได้ในระหว่างการเก็บ การผลิต และการทดสอบ ซึ่งความชื้นอาจขัดขวางการยึดเกาะของเส้นใยกับพอลิพรอพิลีน โดยการลดการยึดเกาะทางกายภาพ ส่งผลให้เมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มมากขึ้นทำให้สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มต่ำลง

สาเหตุสุดท้าย คือการเติมเส้นใยผักตบชวาเป็นการเพิ่มจุดบกพร่องหรือเกิดการแยกจากกัน (Debonding) บริเวณรอยต่อระหว่างพื้นผิวของเส้นใยกับพอลิพรอพิลีน สังเกตได้จากผักตบชวา กับพอลิพรอพิลีนมีโครงสร้างทางเคมี และหมู่ฟังก์ชันที่ต่างกัน โดยโครงสร้างของเส้นใยผักตบชวาเป็นเซลลูโลสซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เป็นแบบมีขั้ว ส่วนพอลิพรอพิลีนมีโครงสร้างทางเคมีเป็นไฮโดรคาร์บอนซึ่งเป็นแบบไม่มีขั้ว จึงทำให้การยึดเกาะระหว่างสองวัสดุภาคไม่ดี ทำให้เกิดรอยต่อ

ระหว่างภูมิภาคทั้งสอง ซึ่งเปรียบเสมือนจุดบกพร่องภายในชิ้นงาน ส่งผลให้สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มต่ำลง (สุรชัย และธนากร, 2539)

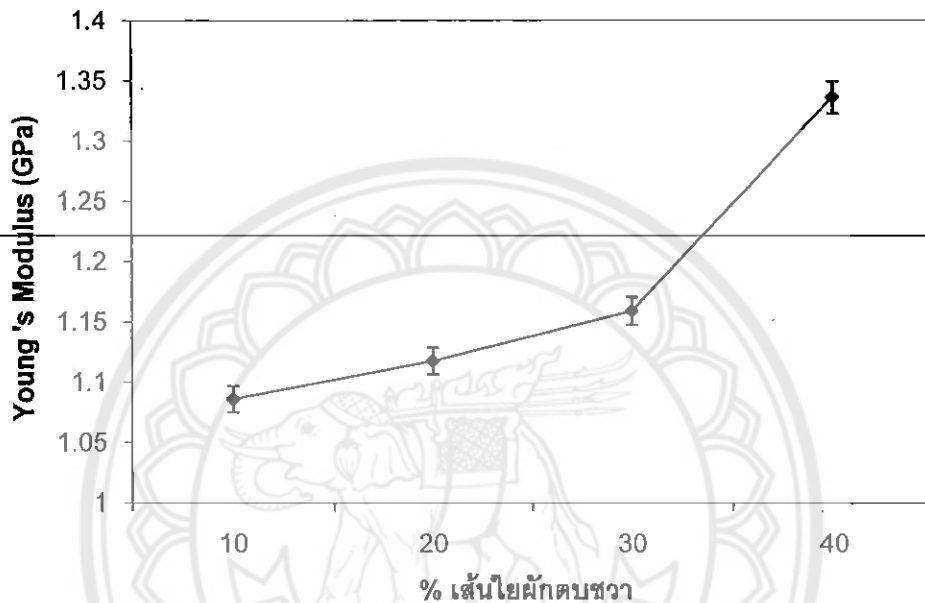
จากผลความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิต และเส้นใยผักตบชวาที่ปริมาณ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยผักตบชวา ค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มลดต่ำลง สาเหตุเนื่องมาจากการยึดเกาะระหว่างภูมิภาคของเส้นใยผักตบชวากับพอลิพรอพิลีนที่ลดลง เพราะผลของการเพิ่มขึ้นของหมู่ไฮดรอกซิล ทำให้การรับแรง และการถ่ายเทแรงของพอลิเมอร์คอมโพสิตลดลง



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านเปอร์เซ็นต์การดึง ณ จุดขาดของพอลิเมอร์คอมโพสิต และปริมาณเส้นใยผักตบชวา

จากรูปที่ 4.3 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านเปอร์เซ็นต์การดึง ณ จุดขาดของพอลิเมอร์คอมโพสิต และปริมาณเส้นใยผักตบชวาที่ปริมาณ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน เมื่อปริมาณของเส้นใยผักตบชวาเพิ่มขึ้นพบว่า มีผลทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ การดึง ณ จุดขาดของพอลิเมอร์คอมโพสิตมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเส้นใยผักตบชวากับพอลิพรอพิลีนมีโครงสร้างทางเคมีที่ต่างกัน อธิบายได้จากโครงสร้างของเส้นใยผักตบชวามีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่มีสมบัติมีขั้วจากโครงสร้างทางเคมีที่มีเฮลลูโลสเป็นองค์ประกอบ และโครงสร้างของพอลิพรอพิลีนที่มีสมบัติไม่มีขั้ว จึงไม่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ ทำให้เกิดรอยต่อระหว่างภูมิภาคทั้งสอง ดังนั้นเมื่อให้แรงดึงแก่ชิ้นงาน จะทำให้ความสามารถในการยึดตัวได้น้อยลง ส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดึง ณ จุดขาดลดลง (สุรชัย และธนากร, 2539)

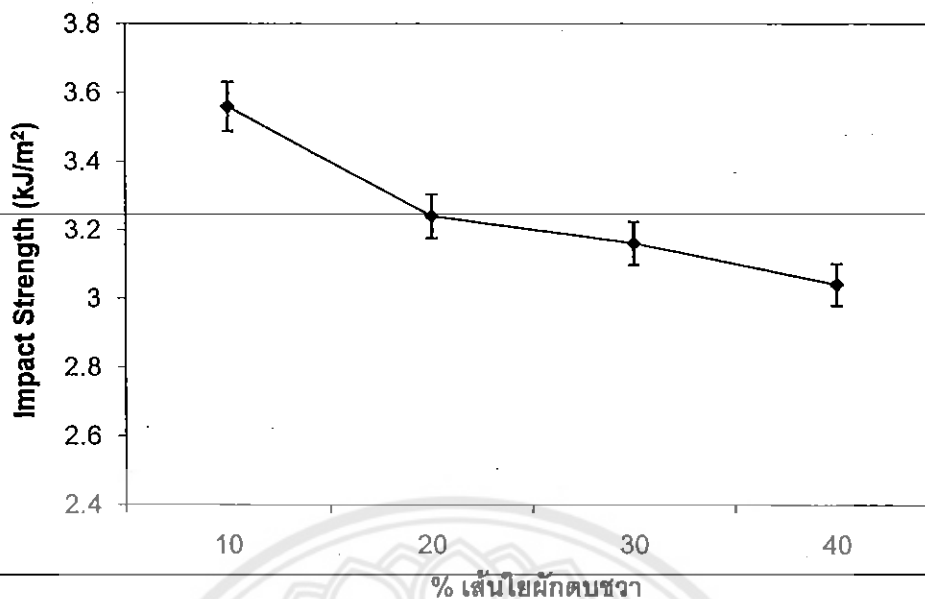
จากผลความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านเปอร์เซ็นต์การดึง ณ จุดขาดของพอลิเมอร์คอมโพสิตและเส้นใยผักตบชวาที่ปริมาณ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน พบว่าเมื่อให้แรงดึงกับชิ้นงาน ค่าเปอร์เซ็นต์การดึง ณ จุดขาดมีแนวโน้มลดต่ำลง เนื่องจากพื้นที่ในการส่งผ่านแรงจากพอลิพรอพิลีนไปยังเส้นใยผักตบชวามีน้อยเกินไป เพราะการเพิ่มปริมาณเส้นใยผักตบชวาทำให้รอยต่อระหว่างวัฏภาคของพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยผักตบชวามีมากขึ้น



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดุลัสของพอลิเมอร์คอมโพสิต และปริมาณเส้นใยผักตบชวา

จากรูปที่ 4.4 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดุลัสของพอลิเมอร์คอมโพสิต และปริมาณเส้นใยผักตบชวาที่ปริมาณ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน พบว่าเมื่อปริมาณของเส้นใยผักตบชวาเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่ามอดุลัสของวัสดุคอมโพสิตเพิ่มขึ้น เนื่องจากผักตบชวามีค่ามอดุลัสสูงกว่าพอลิพรอพิลีน เมื่อเติมปริมาณผักตบชวาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สามารถเข้าไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของพอลิพรอพิลีนมากขึ้น ทำให้ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพอลิพรอพิลีนลดลง ค่ามอดุลัสจึงเพิ่มขึ้น อีกทั้งเส้นใยผักตบชวาที่เข้าไปแทรกตัวอยู่ในพอลิพรอพิลีนช่วยรับแรงดึงทำให้วัสดุเสียรูปได้ยากขึ้น (สุรัชย์ และธนากร, 2539)

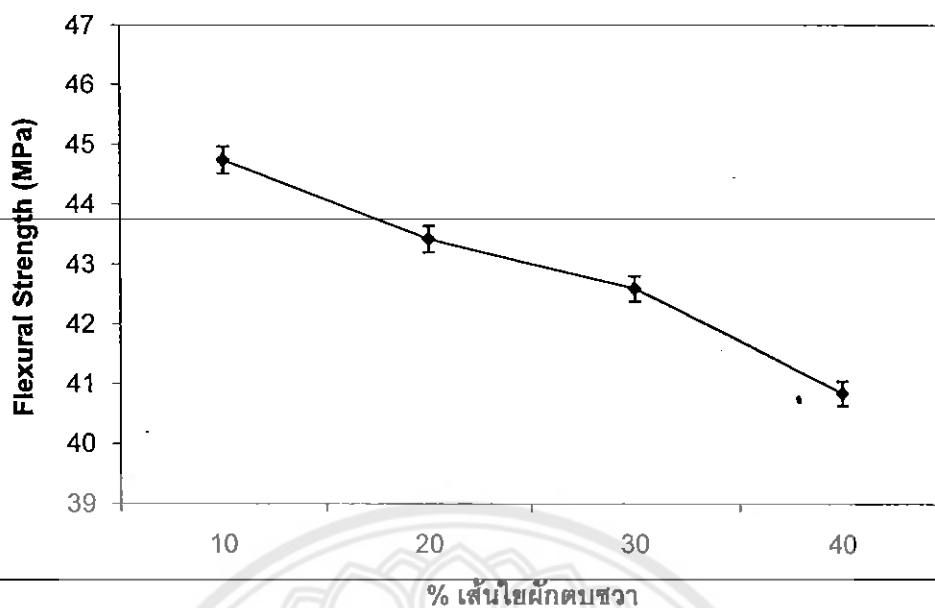
จากผลความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดุลัสของพอลิเมอร์คอมโพสิตและเส้นใยผักตบชวาที่ปริมาณ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยผักตบชวา ค่ามอดุลัสมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากผักตบชวามีค่ามอดุลัสสูงกว่าพอลิพรอพิลีน



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความต้านทานแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิต และปริมาณเส้นใยผักตบชวา

จากรูปที่ 4.5 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความต้านทานแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิต และปริมาณเส้นใยผักตบชวาที่ปริมาณ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน พบว่าเมื่อปริมาณผักตบชวาเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอของผักตบชวา และบางส่วนมีการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนของผักตบชวา เพราะองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จะเป็นตัวดึงดูดน้ำ ทำให้มีความสามารถดูดความชื้นได้ดี อีกทั้งเส้นใยผักตบชวากับพอลิพรอพิลีนไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากโครงสร้างของพอลิพรอพิลีนเป็นไฮโดรคาร์บอนแบบที่ไม่มีขั้ว ส่วนโครงสร้างของเส้นใยเป็นแบบมีขั้ว มีไฮดรอกซิลเป็นองค์ประกอบหลัก ฉะนั้นจึงทำให้พอลิพรอพิลีนกับเส้นใยผักตบชวาไม่เข้ากัน จึงเกิดช่องว่างระหว่างรอยต่อของวัฏภาค (Interphase) และเมื่อได้รับแรงเข้าไปส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลง (สุรชัย และธนากร, 2539)

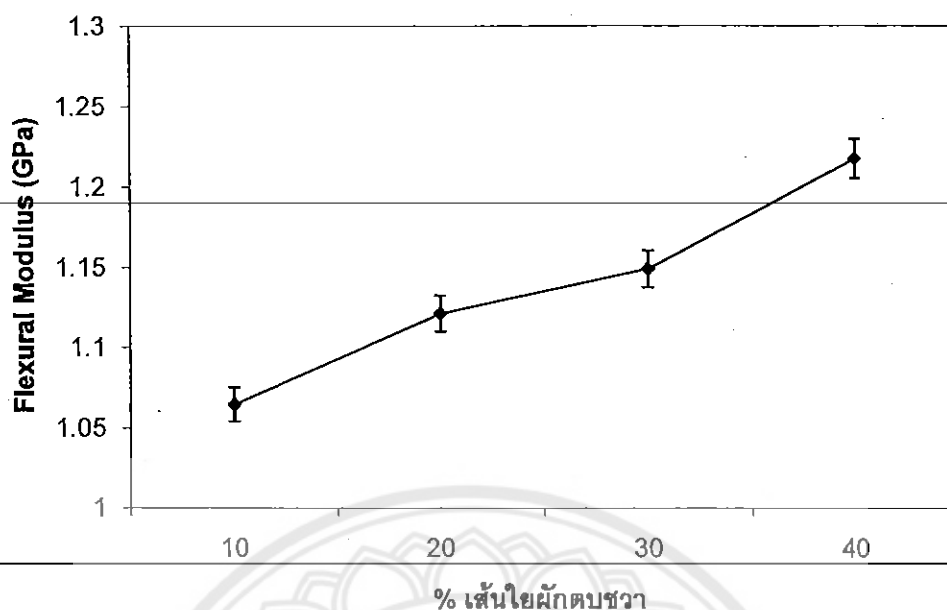
จากผลความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความต้านทานแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิต และเส้นใยผักตบชวาที่ปริมาณ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน พบว่าเมื่อชิ้นงานได้รับแรง ค่าความต้านทานแรงกระแทกมีแนวโน้มลดต่ำลง สาเหตุเกิดจากการเพิ่มปริมาณเส้นใยผักตบชวาทำให้รอยต่อระหว่างวัฏภาคของพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยผักตบชวามีมากขึ้น



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิต และปริมาณเส้นใยผักตบชวา

จากรูปที่ 4.6 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิต และปริมาณเส้นใยผักตบชวาที่ปริมาณ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน พบว่าเมื่อทำการเติมผักตบชวาปริมาณเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงโค้งงอมีค่าลดลง เกิดจากเส้นใยผักตบชวากระจายตัวได้ไม่ดี บางส่วนมีการจับตัวเป็นกลุ่มก้อน เนื่องจากผักตบชวาเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบ โดยเซลลูโลสมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เป็นส่วนประกอบ และเป็นตัวที่ชอบน้ำ ผักตบชวาจึงดูดซับน้ำเข้ามาไว้ในตัวเอง ซึ่งทำให้ผักตบชวาเกาะกลุ่มกันเป็นก้อน และโครงสร้างของพอลิพรอพิลีนเป็นไฮโดรคาร์บอนประกอบด้วยส่วนที่ไม่มีขั้ว จึงไม่มีอันตรกิริยาระหว่างกัน ส่งผลให้เมื่อรับแรงกดไม่สามารถกระจายแรงได้อย่างต่อเนื่อง ความต่อเนื่องของพอลิพรอพิลีนซึ่งทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์ลดลง ความยืดหยุ่นลดลง จึงทำให้ค่าความแข็งแรงโค้งงอลดลงตามปริมาณเส้นใยผักตบชวาที่เพิ่มขึ้น (สุรชัย และธนากร, 2539)

จากผลความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิต และเส้นใยผักตบชวาที่ปริมาณ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน พบว่าเมื่อชิ้นงานได้รับแรงกด ค่าความแข็งแรงโค้งงอมีแนวโน้มลดต่ำลง สาเหตุเกิดจากการเพิ่มปริมาณเส้นใยผักตบชวา ทำให้รอยต่อระหว่างภูมิภาคของพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยผักตบชวามีมากขึ้น พื้นที่ในการส่งผ่านแรงจากพอลิพรอพิลีนไปยังเส้นใยผักตบชวาลดลง



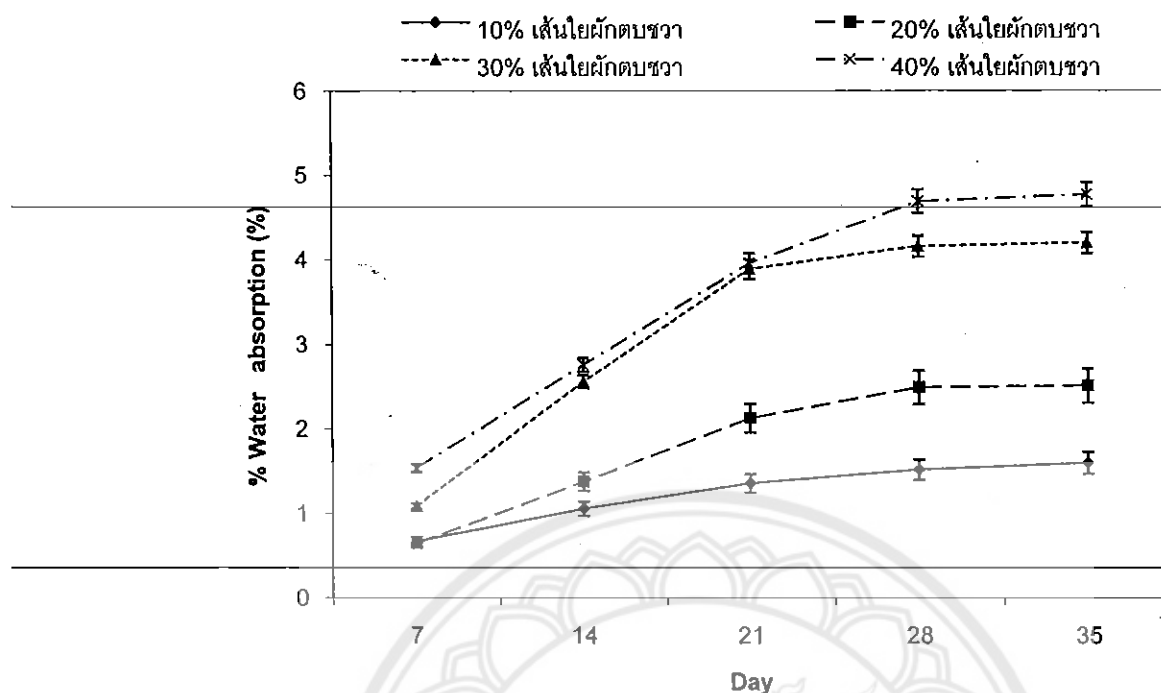
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดุลัสโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิต และปริมาณเส้นใยผักตบชวา

จากรูปที่ 4.7 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดุลัสโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิต และปริมาณเส้นใยผักตบชวาที่ปริมาณ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน พบว่าเมื่อชิ้นงานได้รับแรงกดสามารถกระจายแรงได้อย่างต่อเนื่อง จึงทำให้ค่ามอดุลัสโค้งงอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเพิ่มของผักตบชวา เนื่องจากผักตบชวามีค่ามอดุลัสสูงกว่าพอลิพรอพิลีน และเป็นส่วนเสริมแรงจึงช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างค่ามอดุลัสโค้งงอจึงมีค่าเพิ่มขึ้น (สุรัชย์ และธนากร, 2539)

จากผลความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดุลัสโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิต และเส้นใยผักตบชวาที่ปริมาณ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยผักตบชวาค่ามอดุลัสโค้งงอมีแนวโน้มสูงขึ้น สาเหตุเนื่องจากผักตบชวามีค่ามอดุลัสสูงกว่าพอลิพรอพิลีน

4.1.3 การศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ

โดยการนำชิ้นงานไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนัก ใช้เครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง จากนั้นนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 35 วัน และทำการวัดปริมาณน้ำที่ดูดซับเป็นเวลาต่างๆ กัน 5 ช่วงเวลา คือ 1, 7, 14, 21, 28 และ 35 วัน แล้วนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำจากสมการที่ 2.7 ได้ผลดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.8 สมบัติการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และเส้นใยผักตบชวา ปริมาณ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน

จากรูปที่ 4.8 สมบัติการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยผักตบชวาที่ปริมาณ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยผักตบชวาทำให้ค่าการดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยผักตบชวามีความชอบน้ำ (Hydrophilic) องค์กรประกอบทางเคมีของเส้นใยมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จะเป็นตัวดึงดูดน้ำ ทำให้มีความสามารถดูดความชื้นได้ดี และปริมาณผักตบชวาที่เพิ่มขึ้นอาจกระจายตัวไม่ดี บางส่วนมีการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนส่งผลให้พอลิเมอร์คอมโพสิตมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น ส่งผลสอดคล้องต่อสมบัติเชิงกลพบว่ามีค่าความแข็งแรงดึง ค่าเปอร์เซ็นต์การดึง ณ จุดขาด ค่าความต้านทานแรงกระแทก ค่าความแข็งแรงโค้งงอลดลง ค่ามอดุลัส และค่ามอดุลัสโค้งงอเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากผลของเส้นใยผักตบชวาที่มีมอดุลัสมากกว่าเฟสของพอลิพรอพิลีน

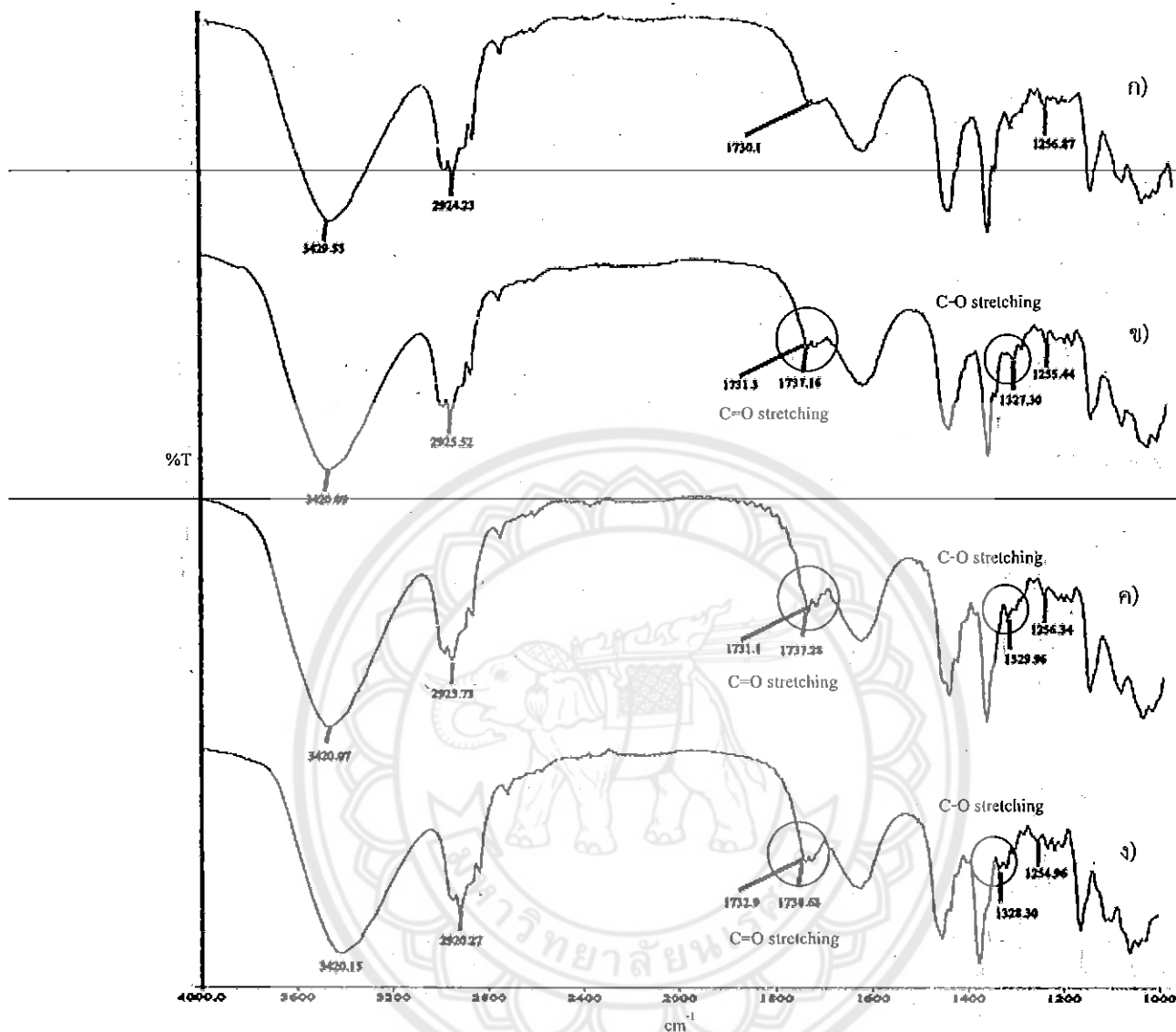
4.2 การศึกษาผลของการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวาโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนเป็นสารช่วยผสม

4.2.1 การศึกษาหมู่ฟังก์ชัน

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันทางเคมีบนพื้นผิวของคอมโพสิตทำได้โดยการใช้เครื่อง FTIR (Fourier Transform Infrared Spectrometer) โดยพิจารณาพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และเส้นใยผักตบชวาปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนปริมาณ 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวาเป็นสารช่วยผสม

จากการศึกษาหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และเส้นใยผักตบชวาปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนปริมาณ 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา เป็นสารช่วยผสม ได้ผลการทดลอง ดังรูปที่ 4.9





รูปที่ 4.9 อินฟราเรดสเปกตรัมของพอลิพรอพิลีน และเส้นใยผักตบชวาปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ปริมาณดังนี้

- ก) ไม่ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวา
- ข) ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวาโดยใช้ PP-g-AA 1 เปอร์เซ็นต์
- ค) ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวาโดยใช้ PP-g-AA 3 เปอร์เซ็นต์
- ง) ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวาโดยใช้ PP-g-AA 5 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 4.9 สเปกตรัมของเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และเส้นใยผักตบชวาปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา จากสเปกตรัมในรูปพบพีคอินฟราเรดสเปกตราช่วง 3000 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบ Stretching ของ CH_3 ของสายโซ่พอลิพรอพิลีน ซึ่งในการศึกษาพบพีคช่วงประมาณ 2924 ส่วนพีคกว้างในช่วง $1660\text{-}1820\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นลักษณะการสั่นแบบ $\text{C}=\text{O}$ Stretching ของหมู่คาร์บอนิล ซึ่งมีอยู่ในโครงสร้างของเส้นใยผักตบชวา ซึ่งในการศึกษาพบพีคช่วงประมาณ 1730 ลักษณะพีคอินฟราเรดสเปกตราช่วง $1280\text{-}1150\text{ cm}^{-1}$ เป็นลักษณะการสั่นแบบ $\text{C}-\text{C}$ Stretching ของ CH_3 ของสายโซ่พอลิพรอพิลีน ซึ่งในการศึกษาพบพีคช่วงประมาณ 1256 ส่วนการสั่นแบบ $\text{O}-\text{H}$ Stretching พบในช่วง $3400\text{-}3200\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งมีอยู่ในโครงสร้างของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินที่มีอยู่ในเนื้อไม้ ซึ่งในการศึกษาพบพีคช่วงประมาณ 3420

จากรูปที่ 4.9 ข) - ง) คาดว่าจะเกิดอันตรกิริยาขึ้นในพอลิเมอร์คอมโพสิตที่มีการปรับปรุงพื้นผิวของผักตบชวาศวยสารช่วยผสม PP-g-AA ซึ่งสารช่วยผสม PP-g-AA ทำให้เกี่ยวพันกันระหว่างสายโซ่ (Chain Entanglement) ช่วยเพิ่มความแข็งแรงบริเวณรอยต่อระหว่างวัฏภาคของพอลิเมอร์คอมโพสิตพบพีคสำคัญที่ $1320\text{-}1210\text{ cm}^{-1}$ เป็นตำแหน่งการสั่นแบบ $\text{C}-\text{O}$ Stretching ซึ่งในการศึกษาพบพีคช่วงประมาณ 1328 เป็นตำแหน่งของพีคที่เกิดจากการเชื่อมโยงระหว่างหมู่อะคริลิกของสารช่วยผสมอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีน และเซลลูโลสของเส้นใยผักตบชวา

ในการศึกษาพบพีคช่วงประมาณ 1730 เป็นตำแหน่งของการสั่นแบบ $\text{C}=\text{O}$ Stretching ของหมู่คาร์บอนิลซึ่งมีอยู่ในโครงสร้างของเส้นใยผักตบชวา นอกจากนี้ยังพบ Carboxylic Acid ($\text{C}=\text{O}$ Stretching) ขึ้นที่พีคใกล้ๆ ของหมู่คาร์บอนิลในช่วงพีค $1660\text{-}1820\text{ cm}^{-1}$ ในการศึกษาพบที่ตำแหน่งพีคประมาณ 1737 ซึ่งมีอยู่ในอะคริลิกแอซิกกราฟต์ในสารช่วยผสม PP-g-AA เป็นตำแหน่งของการสั่นแบบ $\text{C}=\text{O}$ Stretching ของ Carboxylic Acid ในช่วงพีค $1750\text{-}1700\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกับ $\text{C}=\text{O}$ Stretching ของหมู่คาร์บอนิล (รศ. แม้น, 2539)

ตำแหน่งของสเปกตรัมที่สำคัญของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และเส้นใยผักตบชวาปริมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนปริมาณ 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา เป็นสารช่วยผสม สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 4.2

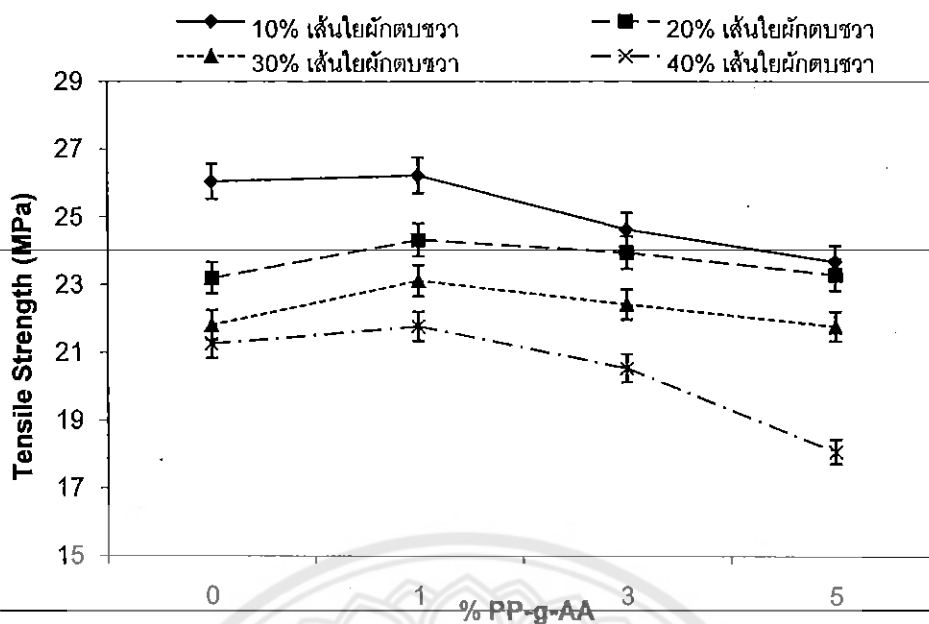
ตารางที่ 4.2 ตำแหน่งสเปกตรัมของพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวา โดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีน

ลักษณะการสั่น	ตำแหน่งพีก (cm^{-1})
C-H Stretching ของ CH_3	3000
C-C Stretching	1280-1150
C=O Stretching ของ Carboxylic Acid	1750-1700
C=O Stretching ของ หมู่คาร์บอนิล	1660-1820
C-O Stretching	1320-1210
O-H Stretching	3400-3200

ที่มา : รศ. แม้น (2539)

4.2.2 สมบัติเชิงกล

ในการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตนั้น ได้แบ่งการศึกษาออกดังนี้
ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติค่าความแข็งแรงดึง ค่าเปอร์เซ็นต์การดึง ณ จุดขาด ค่ามอดูลัส ค่าความต้านทานแรงกระแทก ค่าความแข็งแรงโค้งงอ และค่ามอดูลัสโค้งงอ ของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยผักตบชวาที่อัตราส่วนของเส้นใยผักตบชวาปริมาณ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา เป็นสารช่วยผสม ได้ผล ดังต่อไปนี้



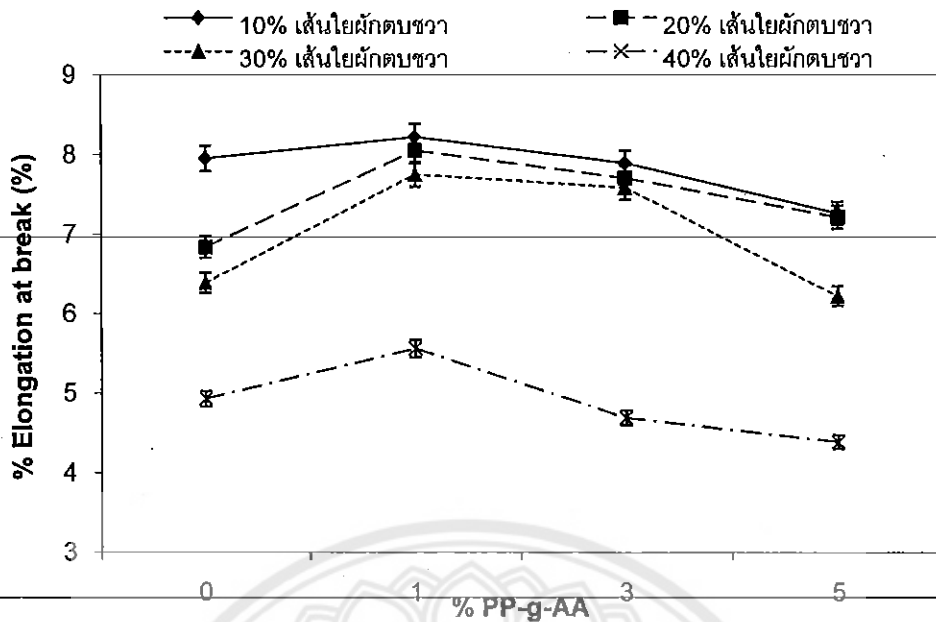
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิต และปริมาณอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวา

ผลของความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) กับปริมาณอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใย โดยสมบัติด้านแรงดึงนั้นเป็นการศึกษาสมบัติด้านพฤติกรรมของพอลิเมอร์เมื่อได้รับความเค้น (Stress) ดึงให้พอลิเมอร์ยืดยาวออกจนถึงจุดที่พอลิเมอร์เกิดการเสียหาย และขาดออกจากกันในที่สุด เมื่อพอลิเมอร์ถูกดึงยืดจนเกิดการเสียหายที่ความเครียดสูงๆ หลังจากจุดคราก (Yield Point) สายโซ่พอลิเมอร์จะเกิดการไหลเลื่อนหลุดออกจากการยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่ (Slip) เกิดการเสียหายแบบพลาสติก (Plastic Deformation) สายโซ่พอลิเมอร์ไม่สามารถกลับสู่สภาพเดิมได้ จากรูปที่ 4.10 พบว่าสมบัติด้านความแข็งแรงดึงเมื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวาโดยใช้สารช่วยผสมอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนนั้น มีค่าที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อทำการเปรียบเทียบกับพอลิพรอพิลีนคอมโพสิตที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยผักตบชวา เนื่องจากเมื่อทำการปรับปรุงความแข็งแรงบริเวณพื้นผิวระหว่างภูมิภาคจะช่วยต้านทานการเสียรูป หรือการหลุดเลื่อนของสายโซ่เมื่อได้รับแรงดึงทำให้การเสียหายแบบยืดหยุ่น (Elastic deformation) เป็นไปได้ยากขึ้น ซึ่งการปรับปรุงความแข็งแรงบริเวณพื้นผิวระหว่างภูมิภาคจะช่วยต้านทานการเสียรูปหรือการหลุดเลื่อนของสายโซ่เมื่อได้รับแรงดึงมากขึ้น

เมื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนปริมาณ 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา พบว่าปริมาณของสารช่วยผสมอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา ส่งผลให้ค่าของสมบัติด้านความแข็งแรงดึงมีค่าสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว เนื่องจากสารช่วยผสมจะทำหน้าที่ลดแรงดึงผิวของพอลิเมอร์หลอมเหลวทำให้เกิดการกระจายตัวของ

เส้นใยในพอลิเมอร์ในวัฏภาคที่ดีขึ้น และส่งผลต่อการเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างผิวสัมผัส ทำให้การถ่ายเทความเค้นเกิดได้ดีขึ้น โดยที่สารช่วยผสม PP-g-AA มีสมบัติที่ปลายข้างหนึ่งนั้นไม่มีขั้ว คือส่วนของพอลิพรอพิลีน สามารถที่จะเกิดการเกี่ยวพันกัน (Chain Entanglement) กับส่วนของพอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ ส่วนอีกปลายข้างหนึ่งที่มีขั้ว คืออะคริลิกจะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) เกิดพันธะเอสเทอร์ได้เป็นโครงสร้าง (C-O) กับหมู่ฟังก์ชันของเซลลูโลส บนพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวา สามารถดูได้จากผลของการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันโดยใช้เทคนิค FTIR ที่พีกประมาณ $1320-1210\text{ cm}^{-1}$ ส่งผลทำให้เกิดการกระจายตัวยึดเกาะกันระหว่างพื้นที่ผิวของเส้นใยผักตบชวากับพอลิพรอพิลีนที่มากขึ้น ช่วยลดรอยตำหนิที่เกิดขึ้นทำให้การถ่ายเทแรงจากเมทริกซ์ไปสู่เส้นใยผักตบชวามีประสิทธิภาพมากขึ้น (รศ. แม้น, 2539)

แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิดกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา พบว่าแนวโน้มของค่าสมบัติความแข็งแรงดึง มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณสารช่วยผสมที่ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา เนื่องจากมี 2 สาเหตุ สาเหตุที่ 1 คือเมื่อเติมสารช่วยผสม PP-g-AA มีปริมาณเพิ่มขึ้น สารช่วยผสม PP-g-AA สามารถที่จะจับตัวรวมกันเป็นกลุ่มก้อนทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างวัฏภาคของพอลิเมอร์คอมโพสิตกับสารช่วยผสม PP-g-AA สาเหตุที่ 2 คือที่ปริมาณ PP-g-AA 1 เปอร์เซ็นต์ อะคริลิกเกิดปฏิกิริยากับไฮดรอกซิล (-OH) ของเส้นใยอย่างพอดี เมื่อเพิ่มปริมาณ PP-g-AA ที่ 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้มีอะคริลิกมากเกินไปที่จะเกิดปฏิกิริยา ส่งผลให้วัสดุคอมโพสิตมีหมู่ฟังก์ชันที่มีความชอบน้ำเพิ่มมากขึ้น ทำให้การยึดเกาะระหว่างวัฏภาคที่เป็นแบบไม่มีขั้วกับมีขั้วลดลง เกิดเป็นจุดบกพร่องของชิ้นงานลดการส่งผ่าน และถ่ายเทแรง (ศิริกาญจน์, 2550)

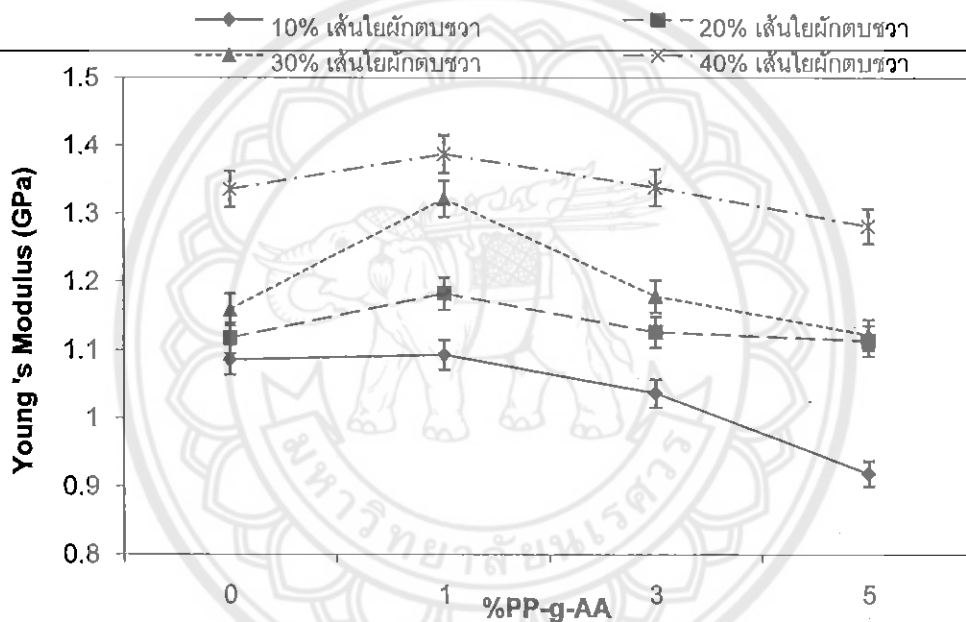


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านเปอร์เซ็นต์การดึง ณ จุดขาดของพอลิเมอร์คอมโพสิต และปริมาณอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวา

ผลของความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านเปอร์เซ็นต์การดึง ณ จุดขาด (Percent Elongation at Break) กับปริมาณอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวาโดยสมบัติด้านเปอร์เซ็นต์การดึง ณ จุดขาด เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการยืดตัวของชิ้นงานก่อนเกิดการขาด จากรูปที่ 4.11 พบว่าสมบัติด้านเปอร์เซ็นต์การดึง ณ จุดขาด เมื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีน มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบกับพอลิพรอพิลีนคอมโพสิตที่ไม่ผ่านการปรับปรุงเส้นใยผักตบชวา เนื่องจากเมื่อทำการปรับปรุงความแข็งแรงบริเวณพื้นผิวระหว่างวัฏภาคจะช่วยต้านทานการเสียรูป หรือการหลุดเลื่อนของสายโซ่เมื่อได้รับแรงดึงทำให้การเสียสภาพแบบยืดหยุ่น (Elastic Deformation) เป็นไปได้ยากขึ้น เนื่องจากสายโซ่มีการเกี่ยวพันกัน (Chain Entanglement) ทำให้สายโซ่เคลื่อนที่ได้ยาก สมบัติด้านเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดจึงเพิ่มขึ้น

เมื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนปริมาณ 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักเส้นใยผักตบชวา พบว่าปริมาณของสารช่วยผสมอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักเส้นใยผักตบชวา ส่งผลให้ค่าของสมบัติด้านเปอร์เซ็นต์การดึง ณ จุดขาดมีค่าสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับปรุง เช่นเดียวกับสมบัติด้านความแข็งแรงดึง เนื่องจากสารช่วยผสมอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนมีสมบัติในการปรับปรุงการยึดเกาะระหว่างผิวสัมผัสของพอลิเมอร์คอมโพสิต จึงช่วยเพิ่มการยึดเกาะระหว่างวัฏภาค (Interphase) ของพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยผักตบชวา เกิดการกระจายตัวของเส้นใยผักตบชวาในพอลิพรอพิลีนที่ดี เมื่อชิ้นงานได้รับแรงจึงสามารถส่งผ่านแรงได้อย่างต่อเนื่อง

แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์ พอลิพรอพิลีนที่ 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักเส้นใยผักตบชวา พบว่าแนวโน้มของสมบัติด้านเปอร์เซ็นต์การดึง ณ จุดขาด มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของสารช่วยผสมที่ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักเส้นใยผักตบชวา เนื่องจากเมื่อเติมสารช่วยผสมที่ปริมาณมากขึ้น สารช่วยผสมสามารถที่จะจับตัวรวมเป็นกลุ่มก้อนทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างระหว่างวัฏภาค (Interphase) ของเส้นใยผักตบชวา และพอลิพรอพิลีน ทำให้การยึดเกาะระหว่างวัฏภาค (Interphase) มีค่าลดลง ส่งผลให้เกิดจุดบกพร่องมีรอยตำหนิของชิ้นงาน ลดการส่งผ่าน และถ่ายเทแรง และอีกสาเหตุมีแนวโน้มสอดคล้องกับสมบัติด้านความแข็งแรงดึง (ศิริกาญจน์, 2550)

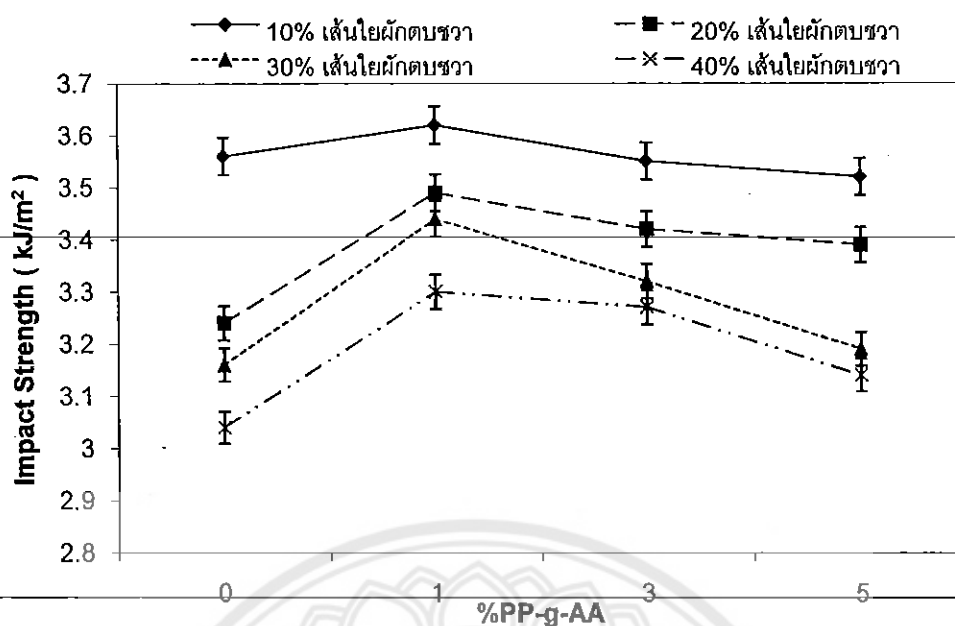


รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดุลัสของพอลิเมอร์คอมโพสิต และปริมาณอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวา

ผลของความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดุลัสกับปริมาณอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวา โดยสมบัติด้านมอดุลัสเป็นการศึกษาความต้านทานการเปลี่ยนรูปร่างในช่วงของการยืดหยุ่น เป็นช่วงที่สายโซ่พอลิเมอร์สามารถที่จะกลับคืนสู่รูปร่างเดิมได้เมื่อปล่อยแรง จากรูปที่ 4.12 พบว่าสมบัติด้านมอดุลัส เมื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีน มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบกับพอลิพรอพิลีนคอมโพสิตที่ไม่ผ่านการปรับปรุงเส้นใยผักตบชวา เนื่องจากเมื่อทำการปรับปรุงความแข็งแรงบริเวณพื้นผิวระหว่างวัฏภาคจะช่วยต้านทานการเสียรูป หรือการหลุดเคลื่อนของสายโซ่พอลิเมอร์เมื่อได้รับแรงดึงทำให้เกิดการเสียสภาพแบบยืดหยุ่น (Elastic Deformation) เป็นไปได้ยากขึ้น

เมื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนปริมาณ 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักเส้นใยผักตบชวา พบว่าปริมาณของสารช่วยผสมอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีน ที่ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักเส้นใยผักตบชวา ส่งผลให้ค่าของสมบัติด้านมอดูลัสมีค่าสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับปรุง เช่นเดียวกับสมบัติด้านความแข็งแรงดึง และสมบัติด้านเปอร์เซ็นต์การดึง ณ จุดขาด เนื่องจากสารช่วยผสมอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนทำให้เกิดการกระจายตัวยึดเกาะกันระหว่างพื้นที่ผิวของเส้นใยผักตบชวากับพอลิพรอพิลีนมากขึ้น ส่งผลต่อการเกี่ยวพันกันของสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้สายโซ่เคลื่อนที่ได้ยากเมื่อได้รับแรงเกิดความแข็งแรงบริเวณรอยต่อระหว่างวัฏภาค (Interphase) ช่วยต้านทานการเสีรูปร่างหรือการหลุดเคลื่อนของสายโซ่พอลิเมอร์ อธิบายได้จากโครงสร้างของสารช่วยผสม PP-g-AA ซึ่งโครงสร้างประกอบด้วยส่วนที่มีขั้วและส่วนไม่มีขั้ว โดยส่วนที่มีขั้วสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับกับหมู่ไฮดรอกซิลของผักตบชวาได้ และส่วนที่ไม่มีขั้วซึ่งมีโครงสร้างเป็นไฮโดรคาร์บอนไปยึดเหนี่ยวกับส่วนที่ไม่มีขั้วของพอลิเมอร์คอมโพลิต

แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักเส้นใยผักตบชวา พบว่าแนวโน้มของสมบัติด้านมอดูลัสมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของสารช่วยผสมที่ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักเส้นใยผักตบชวา เนื่องจากเมื่อเติมสารช่วยผสมปริมาณมากขึ้น สารช่วยผสมสามารถที่จะจับตัวรวมเป็นกลุ่มก้อนทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างระหว่างวัฏภาค (Interphase) ของเส้นใยผักตบชวาและพอลิพรอพิลีน เกิดเป็นจุดบกพร่องของชิ้นงาน ไม่สามารถเกิดการเกี่ยวพันกันระหว่างสายโซ่ได้ ส่งผลต่อความแข็งแรง และค่าต้านทานการเสีรูปร่างต่ำลง และอีกสาเหตุมีแนวโน้มสอดคล้องกับสมบัติด้านความแข็งแรงดึง (ศิริกาญจน์, 2550)



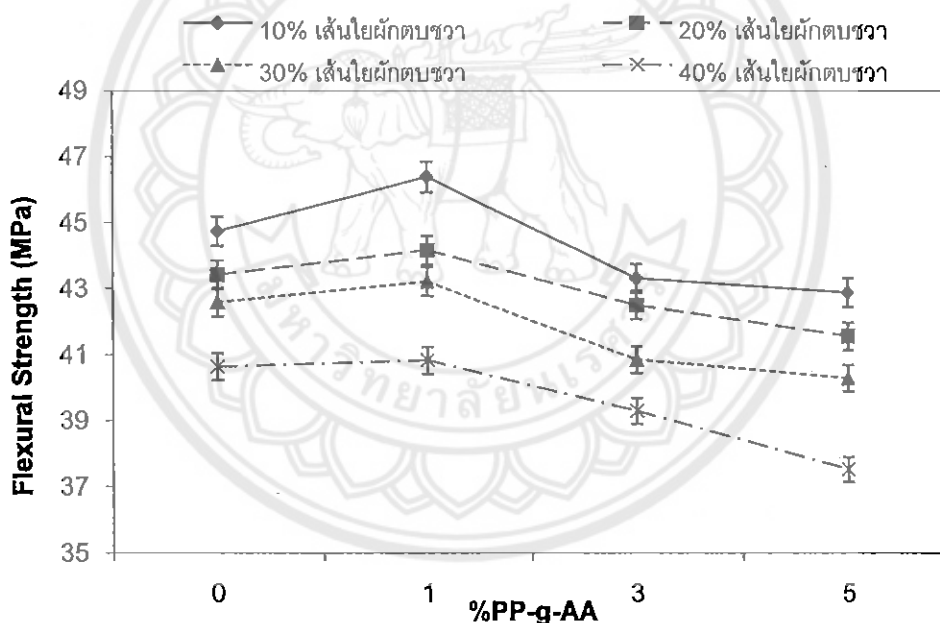
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความต้านทานแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิต และปริมาณอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวา

ผลของความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength) กับปริมาณอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวา โดยสมบัติด้านความต้านทานแรงกระแทก เป็นการให้พลังงานแก่ชิ้นงานทันทีก่อนชิ้นงานจะเกิดการแตกหักอย่างถาวร เกิดความเค้นบริเวณรอยบากของชิ้นงานในวัสดุภายใต้แรง จากรูปที่ 4.13 พบว่าสมบัติด้านความต้านทานแรงกระแทก เมื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีน มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบกับพอลิพรอพิลีนคอมโพสิตที่ไม่ผ่านการปรับปรุงเส้นใยผักตบชวา เนื่องจากเมื่อทำการปรับปรุงความแข็งแรงบริเวณพื้นผิวระหว่างวัฏภาคจะทำให้พอลิเมอร์คอมโพสิตสามารถถ่ายเทความเค้นระหว่างรอยต่อของพอลิเมอร์คอมโพสิตได้ ทำให้ค่าความแข็งแรงกระแทกดีขึ้น

เมื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนปริมาณ 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักเส้นใยผักตบชวา พบว่าปริมาณของสารช่วยผสมอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักเส้นใยผักตบชวา ส่งผลให้ค่าของสมบัติด้านความต้านทานแรงกระแทกมีค่าสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับปรุง อธิบายได้จากโครงสร้างของสารช่วยผสม PP-g-AA ซึ่งโครงสร้างประกอบด้วยส่วนที่มีขั้วและส่วนไม่มีขั้ว โดยส่วนที่มีขั้วสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับกับหมู่ไฮดรอกซิลของผักตบชวาได้ และส่วนที่ไม่มีขั้วซึ่งมีโครงสร้างเป็นไฮโดรคาร์บอนไปยึดเหนี่ยวกับส่วนที่ไม่มีขั้วของพอลิเมอร์คอมโพสิต สามารถที่จะเกิดการเกี่ยวพันกันทางเชิงกล หรือเกิดการเกี่ยวพันกันของสายโซ่ (Chain Entanglement) กับสายโซ่พอลิพรอพิลีนเมทริกซ์ เพิ่มความแข็งแรงบริเวณรอยต่อระหว่างวัฏภาคของพอลิเมอร์คอมโพสิต

ช่วยลดน้ำหนักที่เกิดขึ้นทำให้การถ่ายเทแรงจากเมทริกซ์ไปสู่เส้นใยผักตบชวามีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นเมื่อให้แรงดึงแก่ชิ้นงานส่งผลให้ช่วยรับแรงได้ดี

แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์ พอลิพรอพิลีนที่ 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักเส้นใยผักตบชวา พบว่าแนวโน้มของสมบัติด้านความต้านทานแรงกระแทก มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของสารช่วยผสมที่ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักเส้นใยผักตบชวา เนื่องจากเมื่อเติมสารช่วยผสมที่ปริมาณมากขึ้น สารช่วยผสมมีแนวโน้มเกาะกลุ่มกันเป็นก้อน เกิดความแตกต่างระหว่างระหว่างวัฏภาค (Interphase) ทำให้เกิดช่องว่างบริเวณรอยต่อระหว่างวัฏภาค (Interphase) ของเส้นใยผักตบชวาและพอลิพรอพิลีน เกิดความเค้นของชิ้นงานส่งผลให้การรับแรงของชิ้นงานเกิดการแตกหักเริ่มต้น (Crack Initiation) แล้วปลดปล่อยพลังงานออกมาเกิดการแตกหักอย่างต่อเนื่อง (Crack Propagation) และอีกสาเหตุมีแนวโน้มสอดคล้องกับสมบัติด้านความแข็งแรงดึง (ศิริกาญจน์, 2550)



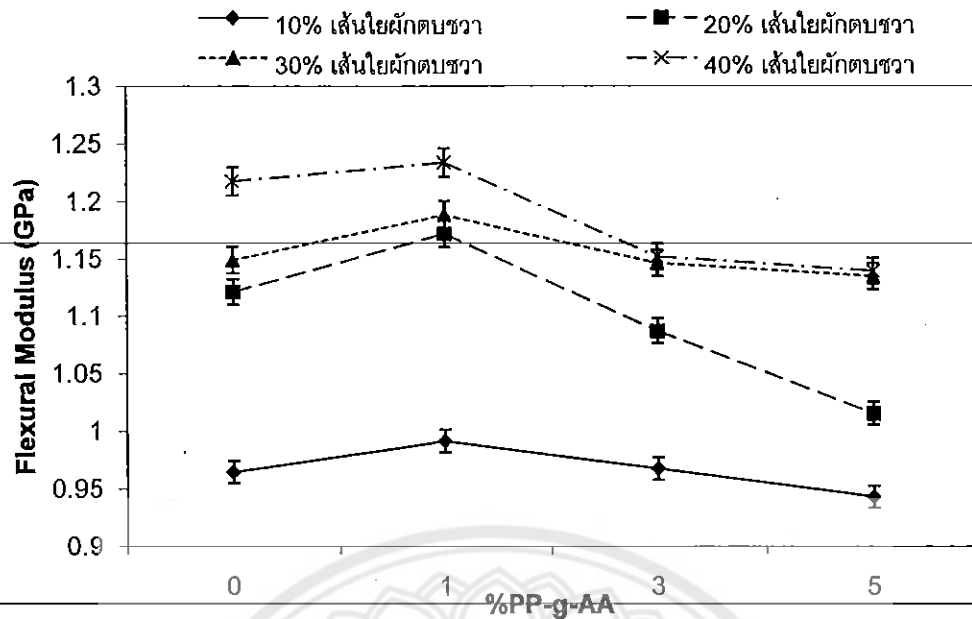
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิต และปริมาณอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวา

ผลของความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength) กับปริมาณอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวา โดยสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอ คือ ค่าความเค้นสูงสุดที่ให้แก่ชิ้นงานก่อนการเสียรูปของชิ้นงานอย่างถาวร เมื่อชิ้นงานได้รับแรงกดเกิดการกระจายแรงจากเมทริกซ์สู่เส้นใยผักตบชวา จากรูปที่ 4.14 พบว่าสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอ เมื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์

พอลิพรอพิลีนมีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบกับพอลิพรอพิลีนคอมโพสิตที่ไม่ผ่านการปรับปรุง เส้นใยผักตบชวา เนื่องจากเมื่อทำการปรับปรุงความแข็งแรงบริเวณพื้นผิวระหว่างวัฏภาคจะช่วย ด้านทานการเสียรูป หรือการหลุดเลื่อนของสายโซ่ เป็นไปได้ยากขึ้น เนื่องจากสายโซ่มีการเกี่ยวพันกัน (Chain Entanglement) ทำให้สายโซ่เคลื่อนที่ได้ยาก ทำให้ค่าของความแข็งแรงโค้งงอเพิ่มขึ้น

เมื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนปริมาณ 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักเส้นใยผักตบชวา พบว่าปริมาณของสารช่วยผสมอะคริลิกแอซิก กราฟต์พอลิพรอพิลีน ที่ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักเส้นใยผักตบชวา ส่งผลให้ค่าของสมบัติด้านความ แข็งแรงโค้งงอมีค่าสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับปรุง เนื่องจากสารช่วย ผสมอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนทำให้เกิดการกระจายตัวยึดเกาะกันระหว่างพื้นที่ผิวของ เส้นใยผักตบชวากับพอลิพรอพิลีนมากขึ้น ทำให้การยึดเกาะระหว่างวัฏภาค (Interphase) ของเส้นใย ผักตบชวาและพอลิพรอพิลีนเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้รอยตำหนิของชิ้นงานลดลง ทำให้ส่งผ่านแรงได้อย่าง ต่อเนื่อง เมื่อรับแรงจะทำให้ความต่อเนื่องของพอลิพรอพิลีนซึ่งทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์เพิ่มขึ้นด้วย

แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์ พอลิพรอพิลีนที่ 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักเส้นใยผักตบชวา พบว่าแนวโน้มของสมบัติด้าน ความแข็งแรงโค้งงอ มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของสารช่วยผสมที่ 1 เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนักเส้นใยผักตบชวา เนื่องจากการเติมสารช่วยผสมปริมาณมากขึ้น สารช่วยผสมมีแนวโน้มเกาะ กลุ่มกันเป็นก้อน เกิดความแตกต่างระหว่างระหว่างวัฏภาค (Interphase) จะทำให้เกิดรอยตำหนิหรือ ช่องว่างระหว่างวัฏภาคของเส้นใยผักตบชวาและพอลิพรอพิลีน ความสามารถในการรับแรงลดลง และอีกสาเหตุมีแนวโน้มสอดคล้องกับสมบัติด้านความแข็งแรงดึง (ศิริกาญจน์, 2550)



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดุลัสโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิต และปริมาณอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวา

ผลของความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดุลัสโค้งงอ (Flexural Modulus) กับปริมาณอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวา โดยสมบัติด้านมอดุลัสโค้งงอเกิดจากแรงกดอัดแบบโค้งงอทำให้เกิดความเค้นขึ้นบริเวณภายในของพอลิเมอร์คอมโพสิต จากรูปที่ 4.15 พบว่าสมบัติด้านมอดุลัสโค้งงอ เมื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีน มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบกับพอลิพรอพิลีนคอมโพสิตที่ไม่ผ่านการปรับปรุงเส้นใยผักตบชวา เนื่องจากเมื่อทำการปรับปรุงความแข็งแรงบริเวณพื้นผิวระหว่างวัฏภาคจะช่วยต้านทานการเสียรูป หรือการหลุดเลื่อนของสายโซ่เมื่อได้รับแรง เนื่องจากสายโซ่มีการเกี่ยวพันกัน (Chain Entanglement) ทำให้สายโซ่เคลื่อนที่ได้ยาก ค่ามอดุลัสโค้งงอจึงเพิ่มขึ้น

เมื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนปริมาณ 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักเส้นใยผักตบชวา พบว่าปริมาณของสารช่วยผสมอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีน ที่ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักเส้นใยผักตบชวา ส่งผลให้ค่าของสมบัติด้านมอดุลัสโค้งงอมีค่าสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยผักตบชวาที่ไม่ผ่านการปรับปรุง เนื่องจากสารช่วยผสมทำให้เกิดการยึดเกาะระหว่างวัฏภาค (Interphase) ของเส้นใยผักตบชวาและพอลิพรอพิลีนเพิ่มมากขึ้น เพราะสารช่วยผสม PP-g-AA ช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนรูปของคอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และเส้นใยผักตบชวาเมื่อได้รับแรงกดมากขึ้น อธิบายได้จากโครงสร้างของสารช่วยผสม PP-g-AA ซึ่งมีหมู่อะคริลิกที่สามารถเกิดปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของผักตบชวา เกิดเป็นพันธะเอสเทอร์บริเวณรอยต่อระหว่างวัฏภาคช่วยลดรอยตำหนิ หรือช่องว่าง (Void) บริเวณรอยต่อ

ระหว่างวัฏภาคได้ดีขึ้น การปรับปรุงพื้นผิวผักตบชวาทำให้พอลิเมอร์คอมโพสิตมีความแข็งแรงมากขึ้น จึงสามารถทนต่อการรับแรงกดเพื่อให้เกิดการเสียรูปได้ดียิ่งขึ้น

แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิดกราฟต์ พอลิพรอพิลีนที่ 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักเส้นใยผักตบชวา พบว่าแนวโน้มของสมบัติด้านมอดูลัสโค้งงอ มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของสารช่วยผสมที่ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักเส้นใยผักตบชวา เนื่องจากการเติมสารช่วยผสมปริมาณมากขึ้น สารช่วยผสมมีแนวโน้มเกาะกลุ่มกันเป็นก้อน เกิดความแตกต่างระหว่างระหว่างวัฏภาค (Interphase) จะทำให้เกิดรอยตำหนิหรือช่องว่างระหว่างวัฏภาคของเส้นใยผักตบชวา และพอลิพรอพิลีน จึงส่งผลให้ความต้านทานการเปลี่ยนรูปของคอมโพสิตลดลงและอีกสาเหตุมีแนวโน้มสอดคล้องกับสมบัติด้านความแข็งแรงดึง (ศิริกาญจน์, 2550)



ตารางที่ 4.3 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิต และปริมาณอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวา โดยเปรียบเทียบกับพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ไม่มี การปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยผักตบชวา

สมบัติ	ปริมาณ เส้นใย (% wt PP)	สารช่วยผสม PP-g-AA (% / wt เส้นใยผักตบชวา)			
		0%	1%	3%	5%
Tensile Strength (MPa)	10	26.05	26.23	24.64	23.68
	20	23.20	24.33	23.95	23.29
	30	21.81	23.12	22.42	21.77
	40	21.25	21.77	20.54	18.08
Percent Elongation at Break (%)	10	7.95	8.22	7.89	7.26
	20	6.84	8.05	7.70	7.21
	30	6.39	7.75	7.59	6.22
	40	4.93	5.56	4.69	4.39
Young's Modulus (GPa)	10	1.08	1.09	1.03	9.18
	20	1.11	1.18	1.12	1.11
	30	1.15	1.32	1.17	1.12
	40	1.33	1.38	1.33	1.28
Impact Strength (kJ/m ²)	10	3.04	3.30	3.27	3.14
	20	3.16	3.44	3.32	3.19
	30	3.24	3.49	3.42	3.39
	40	3.56	3.62	3.55	3.53
Flexural Strength (MPa)	10	44.74	46.39	43.31	42.89
	20	43.42	44.17	42.51	41.57
	30	42.59	43.22	40.86	40.30
	40	40.64	40.84	39.30	37.53
Flexural Modulus (GPa)	10	0.96	0.99	0.96	0.94
	20	1.12	1.17	1.08	1.01
	30	1.15	1.18	1.14	1.13
	40	1.21	1.23	1.15	1.13

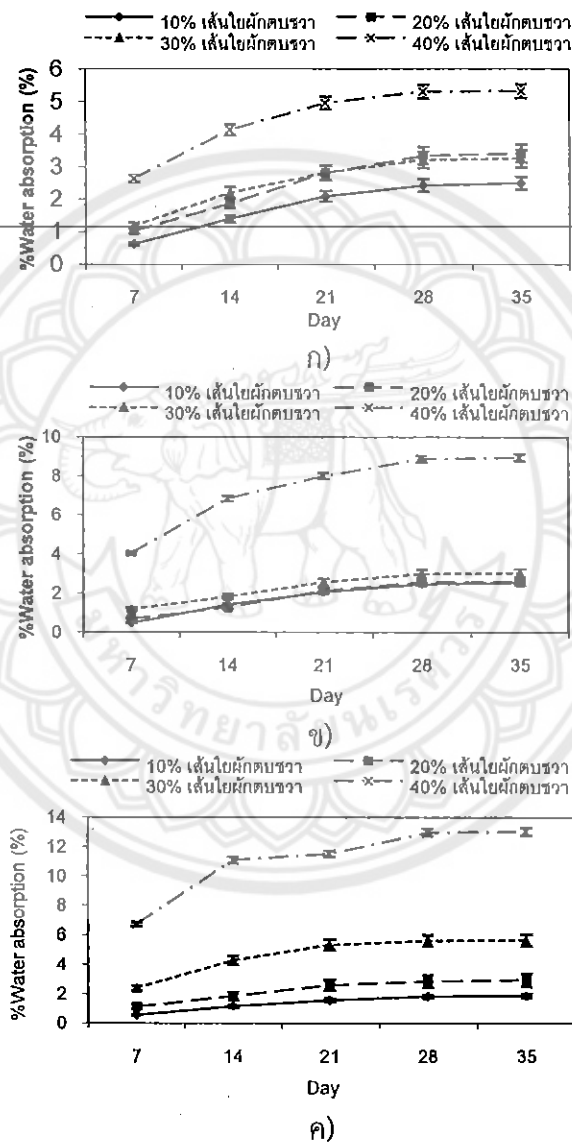
ตารางที่ 4.3 แสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และเส้นใย ผักตบชวาที่ปริมาณ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิว ของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ของเส้นใยผักตบชวา พบว่าสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีนและเส้นใย ผักตบชวาที่ปริมาณ 10, 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน มีค่าความแข็งแรง ดึง ค่าเปอร์เซ็นต์การดึง ณ จุดขาด ค่าความต้านทานแรงกระแทก และค่าความแข็งแรงโค้งงอมีค่า ลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ส่วนค่ามอดุลัส และค่ามอดุลัสโค้งงอเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น

เมื่อปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา พบว่าสมบัติเชิงกลมีค่าที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อทำการ เปรียบเทียบกับพอลิพรอพิลีนคอมโพสิตที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยผักตบชวา และที่สารช่วย- ผสม PP-g-AA ที่ปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา ส่งผลให้ค่าสมบัติเชิงกลดี ที่สุด แต่เมื่อเติมสารช่วยผสม PP-g-AA ที่ปริมาณ 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ค่าของสมบัติเชิงกล ลดลง



4.2.3 การศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ

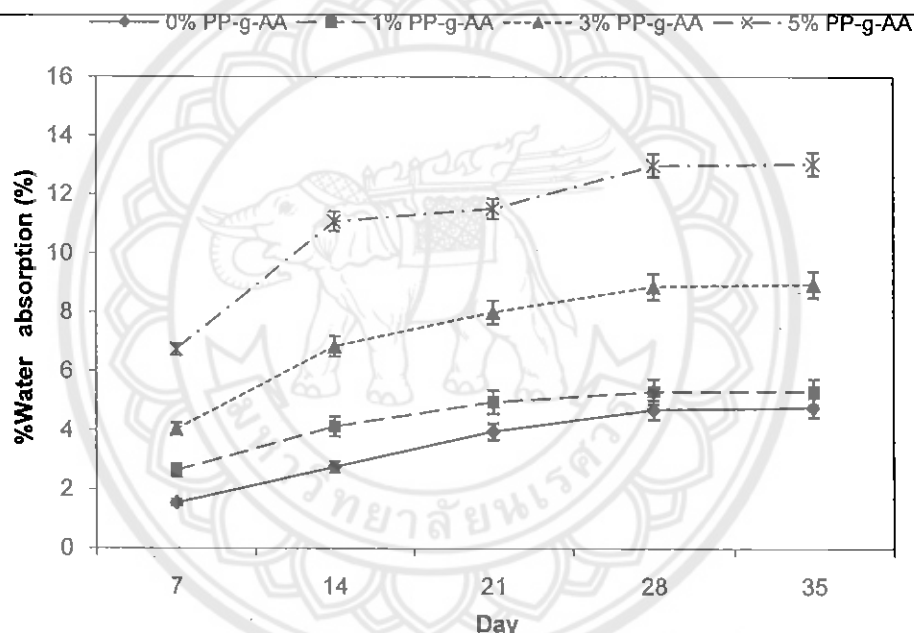
โดยการนำชิ้นงานไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนัก ใช้เครื่องชั่งทศนิยม 3 ตำแหน่ง จากนั้นนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 35 วัน และทำการวัดปริมาณน้ำที่ดูดซับเป็นเวลาต่าง ๆ กัน 5 ช่วงเวลา คือ 1, 7, 14, 21, 28 และ 35 วัน แล้วนำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำจากสมการที่ 3.1 ได้ผลดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และเส้นใยผักตบชวาที่ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้ PP-g-AA

ก) 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา
 ข) 3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา
 ค) 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา

จากรูปที่ 4.16 สมบัติการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยผักตบชวาที่ปริมาณ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา พบว่าทุกปริมาณเส้นใย เมื่อมีการปรับปรุงพื้นผิวทำให้ค่าการดูดซับน้ำเพิ่มมากขึ้น ในทุกความเข้มข้นของการใช้สารช่วยผสม PP-g-AA เนื่องจากเส้นใยผักตบชวามีความชอบน้ำ (Hydrophilic) องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จะเป็นตัวดึงดูดน้ำ ทำให้มีความสามารถดูดความชื้นได้ดี ส่งผลสอดคล้องต่อสมบัติเชิงกลพบว่ามีความแข็งแรงดึง ค่าร้อยละการดึง ณ จุดขาด ค่าความต้านทานแรงกระแทก ค่าความแข็งแรงโค้งงอ ค่ามอดูลัส และค่ามอดูลัสโค้งงอมีค่าลดลง



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงค่าการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และเส้นใยผักตบชวาปริมาณ 40% ที่ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีน

จากรูปที่ 4.17 ค่าการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีนกับเส้นใยผักตบชวาปริมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ปริมาณ 0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารช่วยผสม ทำให้ค่าการดูดซับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

โดยปริมาณเส้นใยผักตบชวาเท่ากันแตกต่างกันที่ปริมาณสารช่วยผสม PP-g-AA พบว่า ปริมาณสารช่วยผสม PP-g-AA ที่ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา มีแนวโน้มค่าการดูดซับน้ำมากที่สุด และปริมาณสารช่วยผสมที่ 0 และ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา มีแนวโน้มค่าการดูดซับน้ำใกล้เคียงกัน เนื่องจากการเติมสารช่วยผสม PP-g-AA ที่ปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของ เส้นใยผักตบชวา อะคริลิกสามารถทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิล (-OH) ได้พอดี แต่การเติมสารช่วยผสม PP-g-AA ที่ปริมาณ 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา ส่งผลให้มีอะคริลิกมากเกินไปที่จะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิล (-OH) ในส่วนของเส้นใยผักตบชวา ทำให้อะคริลิกที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาสามารถที่จะดูดซับน้ำได้ ส่งผลให้ค่าการดูดซับน้ำเพิ่มมากขึ้น และสอดคล้องต่อสมบัติเชิงกล คือ มีค่าความแข็งแรงดึง ค่าร้อยละการดึง ณ จุดขาด ค่าความต้านทานแรงกระแทก ค่าความแข็งแรงโค้งงอ ค่ามอดุลัส และค่ามอดุลัสโค้งงอมีค่าลดลง เมื่อปริมาณสารช่วยผสม PP-g-AA ที่เพิ่มมากขึ้น



บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

โครงการนี้เป็นการศึกษาสมบัติต่างๆ เช่นการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์คอมโพสิต ที่มีการใช้สารช่วยผสมชนิด PP-g-AA ที่ปริมาณต่างๆ ในการปรับปรุงพอลิเมอร์คอมโพสิต ซึ่งสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 ผลของการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันโดยเทคนิค FTIR ของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และเส้นใยผักตบชวาที่ปริมาณ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน พบอินฟราเรดสเปกตรัมที่หมู่ฟังก์ชันของหมู่คาร์บอนิล ซึ่งอยู่ในโครงสร้างของผักตบชวา (C=O) การศึกษาสมบัติเชิงกล พบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยผักตบชวาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สมบัติเชิงกลต่ำลง และพบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยผักตบชวาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น

5.1.2 การศึกษาการใช้สารช่วยผสม PP-g-AA พบว่าที่ปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวาให้ผลด้านสมบัติเชิงกลดีที่สุด แต่เมื่อเพิ่มปริมาณที่ 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ค่าของสมบัติเชิงกลลดลง

5.1.3 ผลของการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันโดยเทคนิค FTIR ของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และเส้นใยผักตบชวาโดยใช้ PP-g-AA เป็นสารช่วยผสม พบอินฟราเรดสเปกตรัมที่หมู่ฟังก์ชันของการเชื่อมโยงระหว่างหมู่อะคริลิกของสารช่วยผสมอะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีน และเซลล์ูลอสของเส้นใยผักตบชวา (C-O) และการศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำ พบว่าการเติมสารช่วยผสม PP-g-AA ที่ปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ สามารถทำปฏิกิริยากันได้พอดี แต่เมื่อเติมสารช่วยผสมที่ปริมาณ 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเกิดการรวมตัวของสารช่วยผสม ค่าการดูดซับน้ำจึงมีค่าเพิ่มมากขึ้น และส่งผลสอดคล้องทำให้สมบัติเชิงกลมีค่าต่ำลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เมื่อปริมาณเส้นใยผักตบชวาเพิ่มขึ้น ทำให้การอัดรีดโดยใช้เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-Screw Extruder) คอมโพสิตยากขึ้น ดังนั้นการศึกษ ปริมาณเส้นใยผักตบชวาที่เหมาะสมนั้นควรใช้เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนคู่ (Twin-Screw Extruder) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผสมและการเข้ากันได้ดียิ่งขึ้น

5.2.2 ศึกษาสัณฐานวิทยา และสมบัติทางความร้อน

5.2.3 ศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยการใช้สารช่วยผสมชนิดอื่น

5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ปัญหา

5.3.1 การฉีดขึ้นรูปชิ้นงานเกิดการบวม แก้ปัญหาโดยเพิ่มเวลาในการอบก่อนการฉีดขึ้นรูป

5.3.2 ฝุ่นละอองจากเส้นใยผักตบชวา ควันไฟหน้ากาก และถุงมือ เพื่อป้องกันอันตราย

5.3.3 การปฏิบัติงานทุกครั้งควรทำด้วยความระมัดระวัง โดยทำการศึกษาการใช้เครื่องมือก่อน
การปฏิบัติงานจริง เพื่อให้เกิดความชำนาญ และปลอดภัยในการใช้งาน



เอกสารอ้างอิง

- จรรยา พรธรรณา และธานีรินทร์ ภูเพียร. (2546). **สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง**. ปรินญาณิพนธ์ ปรินญาณวิศวะกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.
- ชนิดา โยธินวัฒน์กำธร. (2547). **การศึกษาความสามารถในการขึ้นรูปและสมบัติของวัสดุคอมโพสิตพอลิพรอพิลีน/ซีลีย**. วิทยานิพนธ์ ปรินญาณวิศวะกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- ชินวัฒน์ ทองซัซ และพรธรรณชนก เพิ่มขึ้น. (2541). **การศึกษาสมบัติเชิงกลของพลาสติกพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงโดยผสมเส้นใยผักตบชวา**. วิทยานิพนธ์ ปรินญาณวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.
- เดือนพร บุญศิริคำชัย. (2549). **ทำการสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบคล้ายไม้จากพอลิไวนิลคลอไรด์กับผงของหนังและเยื่อของชานอ้อย**. วิทยานิพนธ์ ปรินญาณวิศวะกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- ทะนง บุญมีมาพาสุข. (2549). **การผลิตแผ่นฉนวนทางความร้อนห่อวงไฟจากเส้นใยผักตบชวาและน้ำยางที่ได้จากธรรมชาติ**. วิทยานิพนธ์ ปรินญาณวิศวะกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- นิลบล เผือกบัวขาว. (2551). **สมบัติเชิงกลและสัญญาณวิทยาของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปใหม่โดยมีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารเติมแต่ง**. วิทยานิพนธ์ ปรินญาณวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.
- ภัทรพร สงวนสัตย์. (2550). **ผลสารช่วยผสมและออร์กาโนเคลย์ที่มีต่อสมบัติของฟิล์มพอลิพรอพิลีนนาโนคอมโพสิต**. วิทยานิพนธ์ ปรินญาณวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- รองศาสตราจารย์แมน อมรสิทธิ์. (2539). **หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ**. กรุงเทพฯ. ชวนพิมพ์
- รัตนกร ระวังกุล (2544). **การศึกษาความเป็นไปได้การนำเส้นใยจากธรรมชาติเป็นสารดูดความชื้นเพื่อใช้ในระบบปรับอากาศสวิตช์กรเปิด**. วิทยานิพนธ์ ปรินญาณวิศวะกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- วิจิตรา เจริญชัย. (2543). **การศึกษาการใช้เส้นใยธรรมชาติมาเป็นวัสดุเสริมแรง ในพอลิพรอพิลีน**. วิทยานิพนธ์ ปรินญาณวิศวะกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- ศิริกาญจน์ ชันส์มฤตธี. (2550). การศึกษาปรับปรุงสมบัติของคอมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง พอลิไวนิลคลอไรด์และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำโดยใช้ซีลีเนียมยางพาราเป็น สารเสริมแรง. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- ศิริรัตน์ เตชะเพิ่มผล. (2550). พอลิเมอร์คอมพอลิเมอร์ด้วยเส้นใยจากมะพร้าว. ปริญญาโท วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร, กรุงเทพฯ.
- ศุภโชค ต้นพิชัย. (2548). พอลิเมอร์ผสมจากผงพอลิพรอพิลีนและขดเพดใช้แล้วที่บดด้วยเทคนิค พัลเวอไรเซชัน. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- สุรัชย์ พิพัฒน์วุฒิมังค์ และธนากร กลิ่นจันทร์. (2539). การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทาง กายภาพของพลาสติก HDPE (เกรด N3260) โดยการเสริมแรงด้วยเส้นใยจากผักตบชวา. ปริญญาโท วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.
- ASTM D 256. (1996). **Standard Test Methods for Impact Resistance of Plastics and Electrical Insulating Materials.** Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- ASTM D 638. (1996). **Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastic (Metric).** Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- ASTM D 790. (1996). **Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastic (Metric).** Philadelphia: American Society for Testing and Materials.



ภาคผนวก ก

สมบัติเชิงกล และสมบัติการดูดซับน้ำของชิ้นงาน

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ตารางที่ ก.1 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใยผักตบชวา
ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน

No.	Tensile Strength (MPa)	% Elongation at Break	Young 's Modulus (GPa)	Impact Strength (kJ/m ²)	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (GPa)
1	25.83	7.27	1.08	3.19	44.65	0.96
2	25.94	7.50	1.07	2.90	44.70	0.96
3	27.02	7.74	1.09	3.16	44.70	0.96
4	26.38	7.21	1.08	2.91	44.90	0.97
5	25.92	8.35	1.07	3.21	44.63	0.96
6	26.26	8.18	1.10	2.88	44.72	0.96
7	25.94	9.16	1.09	3.18	44.68	0.96
8	25.07	8.19	1.10	2.89	44.92	0.97
ค่าเฉลี่ย	26.05	7.95	1.09	3.04	44.74	0.96
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.55	0.65	0.01	0.16	0.11	0.004

ตารางที่ ก.2 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใยผักตบชวา ที่ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน

No.	Tensile Strength (MPa)	% Elongation at Break	Young 's Modulus (GPa)	Impact Strength (kJ/m ²)	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (GPa)
1	23.33	6.65	1.13	2.93	43.39	1.12
2	23.00	6.64	1.12	3.19	43.39	1.13
3	23.36	6.25	1.11	3.33	43.45	1.11
4	23.33	6.04	1.12	2.18	43.35	1.13
5	23.06	7.09	1.12	2.91	43.37	1.12
6	23.30	7.06	1.11	3.21	43.41	1.13
7	23.12	7.46	1.12	3.31	43.43	1.11
8	23.07	7.55	1.12	2.20	43.37	1.13
ค่าเฉลี่ย	23.20	6.84	1.12	3.16	43.42	1.12
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.15	0.54	0.01	0.17	0.06	0.01

ตารางที่ ก.3 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใยผักตบชวา ที่ 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน

No.	Tensile Strength (MPa)	% Elongation at Break	Young 's Modulus (GPa)	Impact Strength (kJ/m ²)	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (GPa)
1	21.79	5.81	1.16	3.23	42.24	1.16
2	21.65	5.79	1.15	3.28	42.82	1.14
3	20.32	6.05	1.16	3.30	43.02	1.14
4	22.23	6.82	1.16	3.14	42.28	1.15
5	23.47	6.57	1.16	3.21	42.22	1.16
6	21.20	6.95	1.17	3.30	42.84	1.14
7	22.50	6.01	1.16	3.32	43.04	1.14
8	21.31	7.10	1.15	3.12	42.26	1.15
ค่าเฉลี่ย	21.81	6.39	1.16	3.24	42.59	1.15
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.95	0.53	0.01	0.07	0.39	0.01

ตารางที่ ก.4 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใยผักตบชวา ที่ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน

No.	Tensile Strength (MPa)	% Elongation at Break	Young 's Modulus (GPa)	Impact Strength (kJ/m ²)	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (GPa)
1	22.06	4.54	1.35	3.60	40.32	1.21
2	19.85	4.58	1.33	3.49	40.40	1.20
3	21.13	4.71	1.34	3.63	41.83	1.24
4	21.90	4.98	1.34	3.50	40.01	1.22
5	21.35	4.76	1.35	3.62	40.30	1.21
6	22.24	5.03	1.34	3.47	40.42	1.20
7	20.16	5.37	1.33	3.65	41.81	1.24
8	21.32	5.47	1.32	3.48	40.03	1.22
ค่าเฉลี่ย	21.25	4.93	1.34	3.56	40.64	1.22
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.86	0.35	0.01	0.07	0.81	0.02

ตารางที่ ก.5 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใยผักตบชวา ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้ อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา

No.	Tensile Strength (MPa)	% Elongation at Break	Young 's Modulus (GPa)	Impact Strength (kJ/m ²)	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (GPa)
1	25.82	9.49	1.11	3.41	46.31	0.99
2	27.27	7.43	1.10	3.21	46.02	1.00
3	27.41	9.24	1.10	3.21	46.36	0.98
4	26.00	7.94	1.10	3.38	46.88	1.00
5	25.66	7.71	1.10	3.39	46.33	1.00
6	25.67	8.62	1.10	3.23	46.04	1.00
7	26.46	7.60	1.10	3.23	46.38	0.98
8	25.56	7.74	1.10	3.36	46.86	1.00
ค่าเฉลี่ย	26.23	8.22	1.10	3.30	46.39	0.99
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.74	0.79	0.004	0.11	0.36	0.009

ตารางที่ ก.6 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใยผักตบชวา ที่ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้ อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา

No.	Tensile Strength (MPa)	% Elongation at Break	Young 's Modulus (GPa)	Impact Strength (kJ/m ²)	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (GPa)
1	24.82	7.81	1.19	3.43	44.35	1.17
2	24.61	8.20	1.19	3.49	33.23	1.17
3	25.11	8.10	1.19	3.40	44.07	1.18
4	24.10	6.16	1.18	3.44	44.03	1.17
5	25.00	8.90	1.19	3.41	44.37	1.17
6	23.59	8.39	1.16	3.51	33.21	1.17
7	23.74	8.04	1.20	3.42	44.09	1.18
8	23.63	8.82	1.17	3.46	44.01	1.17
ค่าเฉลี่ย	24.33	8.05	1.18	3.44	44.17	1.17
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.63	0.85	0.01	0.04	0.15	0.005

ตารางที่ ก.7 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใยผักตบชวา ที่ 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้ อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา

No.	Tensile Strength (MPa)	% Elongation at Break	Young's Modulus (GPa)	Impact Strength (kJ/m ²)	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (GPa)
1	23.07	7.05	1.32	3.50	42.34	1.18
2	22.54	7.16	1.32	3.45	43.88	1.19
3	23.56	7.49	1.33	3.45	43.36	1.20
4	23.82	7.81	1.32	3.55	43.28	1.18
5	23.76	7.78	1.31	3.55	42.36	1.18
6	23.26	8.53	1.31	3.40	43.86	1.19
7	22.73	7.31	1.35	3.40	43.34	1.20
8	22.22	8.89	1.32	3.60	43.30	1.18
ค่าเฉลี่ย	23.12	7.75	1.32	3.49	43.22	1.19
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.59	0.66	0.01	0.05	0.64	0.009

ตารางที่ ก.8 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใยผักตบชวา ที่ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้ อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา

No.	Tensile Strength (MPa)	% Elongation at Break	Young's Modulus (GPa)	Impact Strength (kJ/m ²)	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (GPa)
1	21.04	5.74	1.40	3.60	40.15	1.23
2	21.74	6.55	1.38	3.65	41.99	1.23
3	22.00	5.39	1.39	3.63	41.08	1.24
4	21.71	5.92	1.35	3.60	40.13	1.23
5	22.01	5.07	1.39	3.62	40.17	1.23
6	21.77	6.00	1.40	3.63	41.97	1.23
7	22.05	4.90	1.39	3.65	41.10	1.24
8	21.82	4.90	1.39	3.58	40.11	1.23
ค่าเฉลี่ย	21.77	5.56	1.39	3.62	40.84	1.23
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.32	0.59	0.02	0.02	0.89	0.005

ตารางที่ ก.9 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใยผักตบชวา ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้ อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ 3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา

No.	Tensile Strength (MPa)	% Elongation at Break	Young 's Modulus (GPa)	Impact Strength (kJ/m ²)	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (GPa)
1	24.50	8.12	1.03	3.27	43.45	0.95
2	24.69	8.73	1.04	3.27	43.17	0.96
3	24.90	8.21	1.02	3.25	43.07	0.98
4	24.42	7.64	1.03	3.28	43.55	0.98
5	24.06	7.21	1.03	3.25	43.43	0.95
6	24.28	7.89	1.07	3.29	43.19	0.96
7	25.17	7.83	1.05	3.23	43.05	0.98
8	25.07	7.50	1.02	3.30	43.57	0.98
ค่าเฉลี่ย	24.64	7.89	1.04	3.27	43.31	0.97
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.39	0.47	0.02	0.01	0.23	0.01

ตารางที่ ก.10 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใย ผักตบชวาที่ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของ เส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ 3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของ เส้นใยผักตบชวา

No.	Tensile Strength (MPa)	% Elongation at Break	Young 's Modulus (GPa)	Impact Strength (kJ/m ²)	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (GPa)
1	23.30	7.93	1.13	3.20	43.20	1.09
2	23.70	7.94	1.15	3.30	43.19	1.10
3	23.08	7.00	1.14	3.28	42.10	1.06
4	24.41	6.50	1.11	3.50	41.55	1.10
5	23.04	8.42	1.12	3.22	43.22	1.09
6	24.75	8.06	1.12	3.28	43.17	1.10
7	24.70	7.31	1.13	3.26	42.15	1.06
8	24.61	8.40	1.12	3.52	41.50	1.10
ค่าเฉลี่ย	23.95	7.70	1.13	3.32	42.51	1.09
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.75	0.69	0.01	0.13	0.82	0.02

ตารางที่ ก.11 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใย ผักตบชวาที่ 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของ เส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ 3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของ เส้นใยผักตบชวา

No.	Tensile Strength (MPa)	% Elongation at Break	Young 's Modulus (GPa)	Impact Strength (kJ/m ²)	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (GPa)
1	22.89	6.58	1.19	3.40	40.13	1.15
2	21.46	7.23	1.18	3.45	40.83	1.15
3	22.34	7.59	1.18	3.39	41.89	1.15
4	22.32	7.49	1.19	3.44	40.58	1.14
5	22.43	7.83	1.17	3.45	40.11	1.15
6	22.92	8.29	1.16	3.40	40.85	1.15
7	22.58	7.77	1.20	3.38	41.88	1.15
8	22.40	7.91	1.17	3.45	40.59	1.14
ค่าเฉลี่ย	22.42	7.59	1.18	3.42	40.86	1.15
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.45	0.51	0.01	0.03	0.75	0.005

ตารางที่ ก.12 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใย ผักตบชวาที่ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของ เส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ 3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของ เส้นใยผักตบชวา

No.	Tensile Strength (MPa)	% Elongation at Break	Young 's Modulus (GPa)	Impact Strength (kJ/m ²)	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (GPa)
1	20.24	4.70	1.36	3.49	39.57	1.16
2	20.44	4.63	1.33	3.56	39.53	1.15
3	20.34	4.25	1.34	3.55	39.19	1.15
4	20.92	5.05	1.33	3.58	38.89	1.15
5	20.73	5.10	1.34	3.47	39.59	1.16
6	21.05	4.74	1.33	3.58	39.51	1.15
7	20.44	4.81	1.35	3.53	39.20	1.15
8	20.12	4.21	1.33	3.60	38.88	1.15
ค่าเฉลี่ย	20.54	4.69	1.34	3.55	39.30	1.15
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.33	0.33	0.01	0.04	0.32	0.005

ตารางที่ ก.13 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใย ผักตบชวาที่ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของ เส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของ เส้นใยผักตบชวา

No.	Tensile Strength (MPa)	% Elongation at Break	Young 's Modulus (GPa)	Impact Strength (kJ/m ²)	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (GPa)
1	23.04	6.85	0.92	3.11	43.15	0.94
2	23.43	7.52	0.91	3.18	42.79	0.95
3	23.71	7.17	0.93	3.15	42.02	0.94
4	23.88	7.38	0.92	3.13	43.61	0.94
5	23.06	6.15	0.93	3.13	43.13	0.94
6	23.20	7.63	0.91	3.16	42.81	0.96
7	24.42	8.05	0.92	3.17	42.04	0.94
8	24.71	7.36	0.92	3.11	43.59	0.94
ค่าเฉลี่ย	23.68	7.26	0.92	3.14	42.89	0.94
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.63	0.57	0.008	0.03	0.67	0.007

ตารางที่ ก.14 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใย ผักตบชวาที่ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของ เส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของ เส้นใยผักตบชวา

No.	Tensile Strength (MPa)	% Elongation at Break	Young 's Modulus (GPa)	Impact Strength (kJ/m ²)	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (GPa)
1	23.65	7.55	1.10	3.28	41.68	1.02
2	23.58	6.46	1.12	3.18	41.80	1.02
3	24.19	6.84	1.11	3.18	41.33	1.01
4	24.29	7.95	1.12	3.13	41.45	1.01
5	22.11	6.98	1.12	3.26	41.66	1.02
6	22.38	7.61	1.12	3.20	41.82	1.02
7	23.16	7.34	1.12	3.16	41.31	1.01
8	22.93	6.94	1.12	3.15	41.47	1.01
ค่าเฉลี่ย	23.29	7.21	1.11	3.19	41.57	1.02
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.79	0.49	0.007	0.06	0.21	0.005

ตารางที่ ก.15 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใย ผักตบชวาที่ 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของ เส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของ เส้นใยผักตบชวา

No.	Tensile Strength (MPa)	% Elongation at Break	Young 's Modulus (GPa)	Impact Strength (kJ/m ²)	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (GPa)
1	21.55	6.15	1.12	3.40	40.73	1.13
2	21.38	6.35	1.12	3.37	40.06	1.13
3	22.76	6.41	1.11	3.40	40.01	1.14
4	21.80	5.50	1.12	3.38	40.41	1.14
5	21.50	6.11	1.13	3.42	40.71	1.13
6	21.43	6.12	1.16	3.35	40.08	1.13
7	21.24	6.75	1.12	3.42	40.03	1.14
8	22.50	6.38	1.11	3.36	40.39	1.14
ค่าเฉลี่ย	21.77	6.22	1.12	3.39	40.30	1.13
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.56	0.36	0.02	0.02	0.34	0.005

ตารางที่ ก.16 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใย ผักตบชวาที่ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของ เส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของ เส้นใยผักตบชวา

No.	Tensile Strength (MPa)	% Elongation at Break	Young 's Modulus (GPa)	Impact Strength (kJ/m ²)	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (GPa)
1	17.71	4.59	1.28	3.48	37.81	1.13
2	17.80	4.26	1.28	3.55	37.74	1.14
3	17.58	4.38	1.29	3.55	37.13	1.14
4	18.28	3.50	1.29	3.55	37.45	1.14
5	18.88	4.92	1.27	3.46	37.85	1.13
6	18.20	4.18	1.28	3.57	37.70	1.14
7	17.53	4.03	1.27	3.53	37.15	1.14
8	18.66	5.23	1.29	3.57	37.43	1.14
ค่าเฉลี่ย	18.08	4.39	1.28	3.53	37.53	1.14
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	0.50	0.54	0.008	0.04	0.31	0.005

ตารางที่ ก.17 สมบัติการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใย ผักตบชวาที่ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน

PP : เส้นใย ผักตบชวา (% / wt PP)	% Water absorption				
	วันที่ 7	วันที่ 14	วันที่ 21	วันที่ 28	วันที่ 35
10%	0.67	1.06	1.36	1.52	1.6
20%	0.65	1.38	2.13	2.49	2.51
30%	1.09	2.56	3.89	4.16	4.2
40%	1.54	2.76	3.96	4.69	4.77

ตารางที่ ก.18 สมบัติการดูดซับน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใย ผักตบชวาที่ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา

PP : เส้นใย ผักตบชวา (% / wt PP)	% Water absorption				
	วันที่ 7	วันที่ 14	วันที่ 21	วันที่ 28	วันที่ 35
10%	0.63	1.4	2.09	2.42	2.49
20%	1.03	1.87	2.81	3.34	3.41
30%	1.19	2.2	2.82	3.21	3.25
40%	2.64	4.13	4.96	5.31	5.32

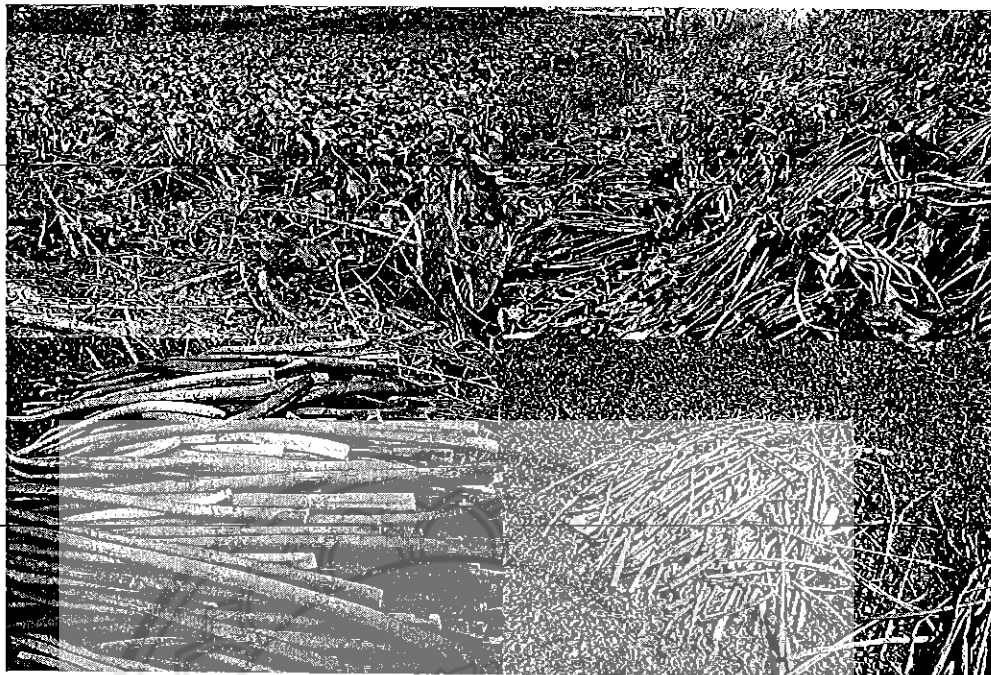
ตารางที่ ก.19 สมบัติการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใย ผักตบชวาที่ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ 3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา

PP : เส้นใย ผักตบชวา (% / wt PP)	% Water absorption				
	วันที่ 7	วันที่ 14	วันที่ 21	วันที่ 28	วันที่ 35
10%	0.47	1.42	2.06	2.48	2.54
20%	0.69	1.26	2.12	2.56	2.58
30%	1.18	1.83	2.57	3	3.03
40%	4.04	6.84	8	8.87	8.95

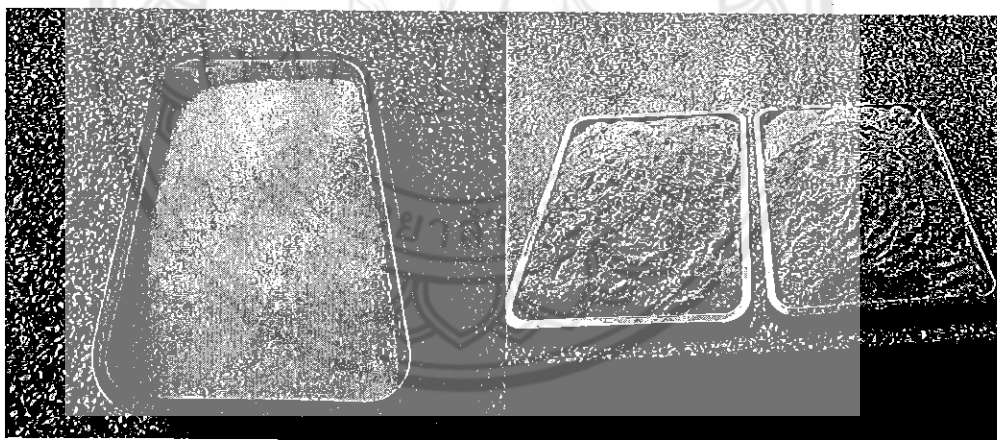
ตารางที่ ก.20 สมบัติการดูดซึมน้ำของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใย ผักตบชวาที่ 10, 20, 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา

PP : เส้นใย ผักตบชวา (% / wt PP)	% Water absorption				
	วันที่ 7	วันที่ 14	วันที่ 21	วันที่ 28	วันที่ 35
10%	0.57	1.16	1.57	1.83	1.87
20%	1.14	1.85	2.6	2.87	2.95
30%	2.4	4.29	5.33	5.62	5.66
40%	6.73	11.09	11.52	12.99	13.05





รูปที่ ข.1 ผักตบชวา



ก)

ข)

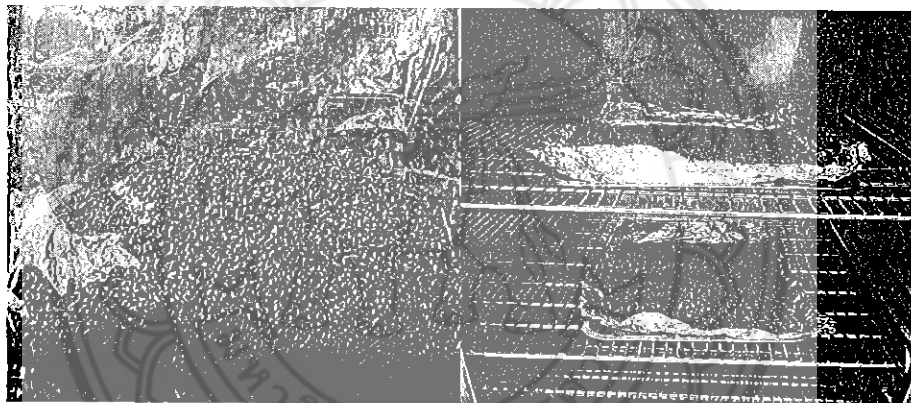
รูปที่ ข.2 วัตถุดิบในการขึ้นรูปชิ้นงาน

ก) พอลิพรอพิลีน

ข) ผักตบชวาที่ผ่านเครื่องร่อนแยกขนาด 20-50 เมช



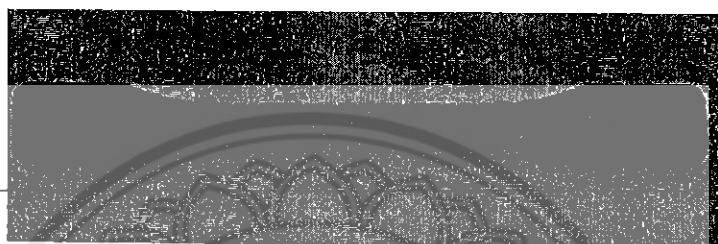
รูปที่ ข.3 สารช่วยผสม PP-g-AA



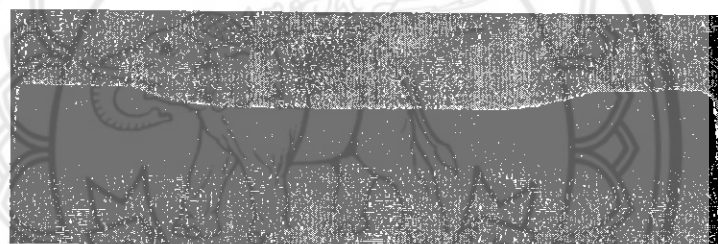
รูปที่ ข.4 ชิ้นงานที่ผ่านการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวทวนคนเดียว



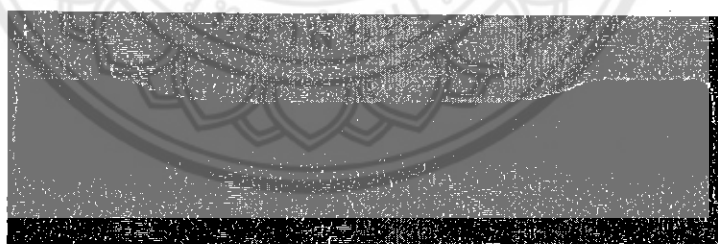
ก)



ข)

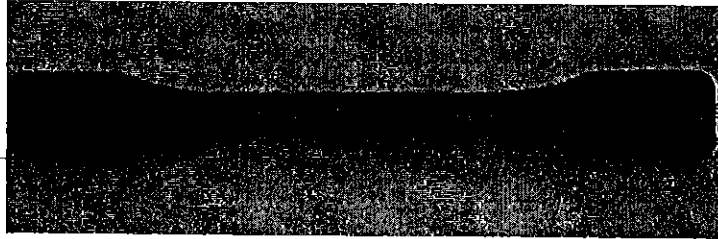


ค)

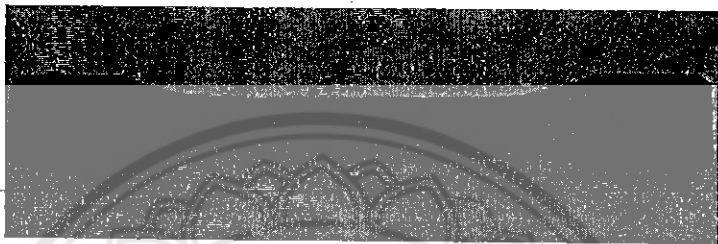


ง)

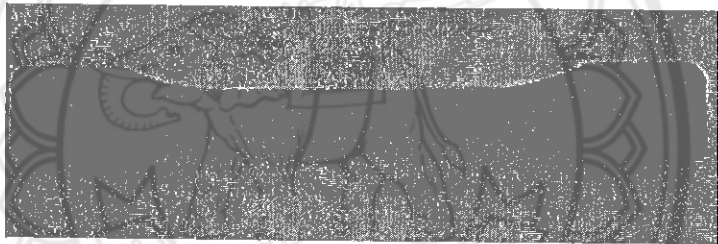
- รูปที่ ข.5** ชั้นงานของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใยผ้าตบขวาที่ 10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน
- ก) 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน
 - ข) 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน
 - ค) 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน
 - ง) 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน



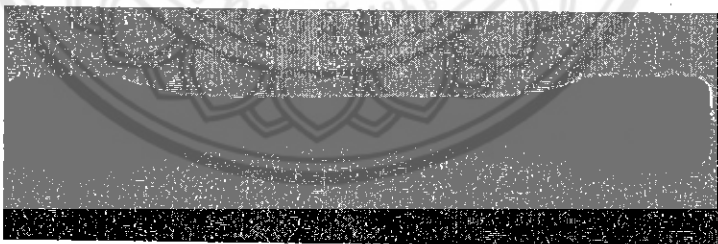
ก)



ข)

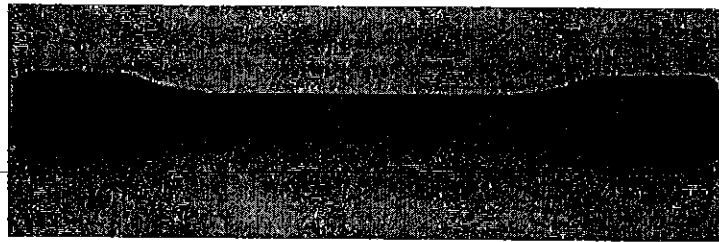


ค)

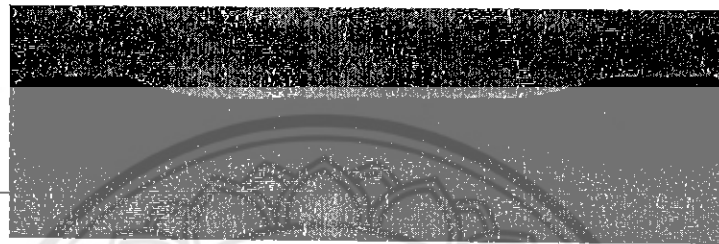


ง)

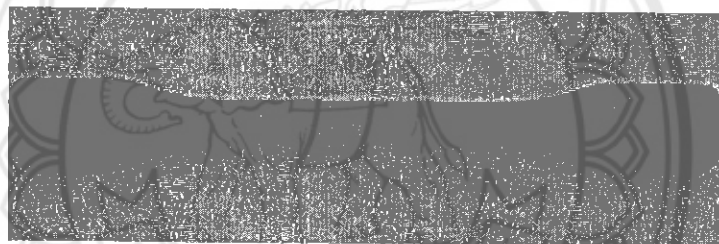
- รูปที่ ข.6** ชิ้นงานของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใยผักตบชวาที่ 10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา
- ก) 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน
 - ข) 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน
 - ค) 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน
 - ง) 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน



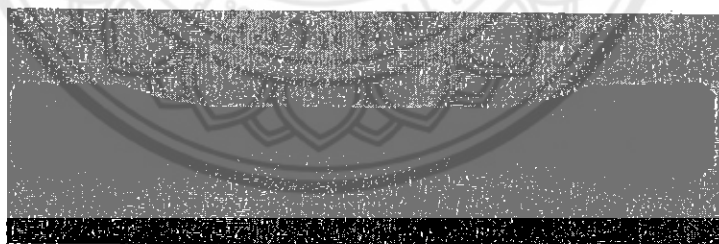
ก)



ข)

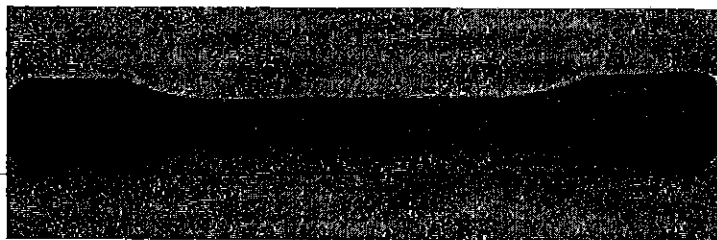


ค)

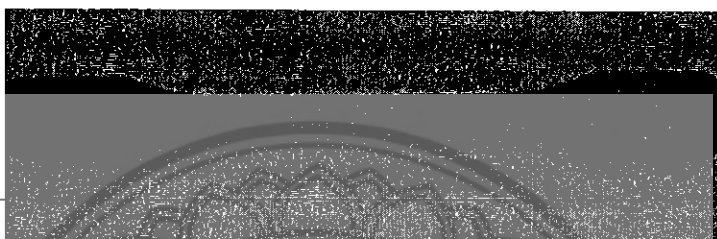


ง)

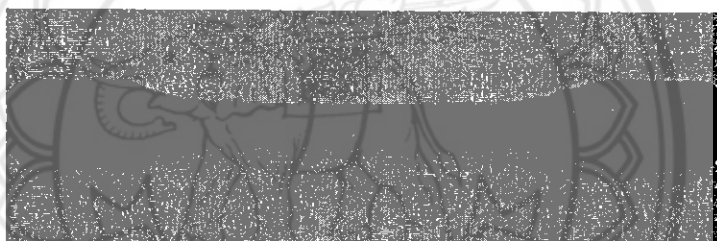
- รูปที่ ข.7** ชั้นงานของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใยผักตบชวาที่ 10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ 3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา
- ก) 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน
 - ข) 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน
 - ค) 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน
 - ง) 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน



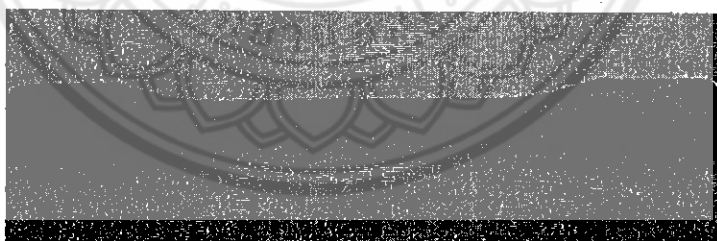
ก)



ข)

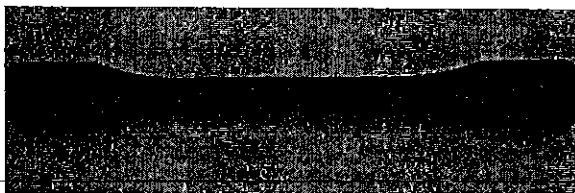


ค)

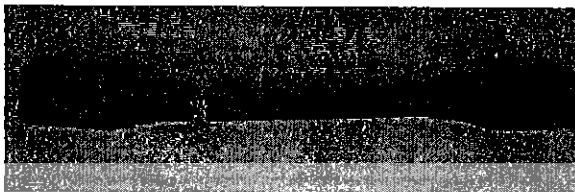


ง)

- รูปที่ ข.8** ชิ้นงานของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใยผักตบชวาที่ 10 20 30 และ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน ปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยโดยใช้อะคริลิกแอซิกกราฟต์พอลิพรอพิลีนที่ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา
- ก) 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน
 - ข) 20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน
 - ค) 30 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน
 - ง) 40 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน



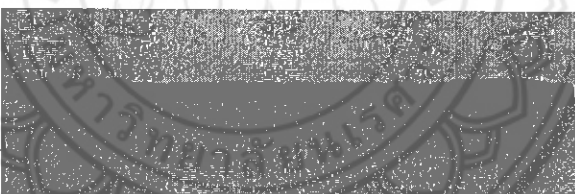
ก)



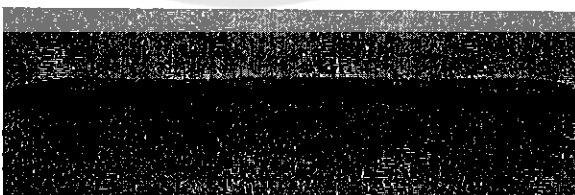
ข)

รูปที่ ข.9 ชั้นงานก่อน และหลังการทดสอบความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใยผ้าตบขวาที่ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน

- ก) ชั้นงานก่อนการทดสอบความแข็งแรงดึง
- ข) ชั้นงานหลังการทดสอบความแข็งแรงดึง



ก)



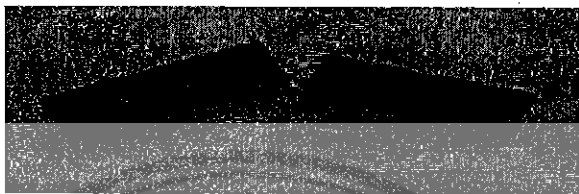
ข)

รูปที่ ข.10 ชั้นงานก่อน และหลังการทดสอบแรงโค้งงอของพอลิเมอร์คอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใยผ้าตบขวาที่ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน

- ก) ชั้นงานก่อนการทดสอบแรงโค้งงอ
- ข) ชั้นงานหลังการทดสอบแรงโค้งงอ



ก)

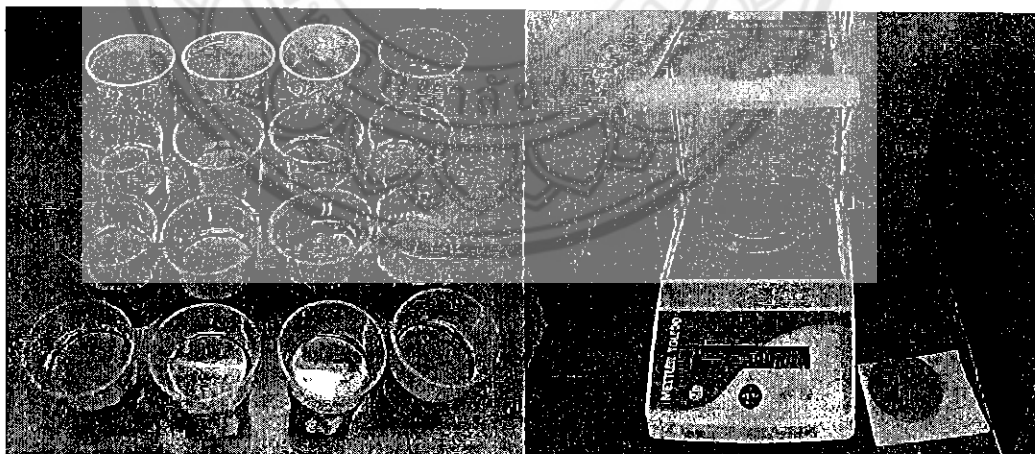


ข)

รูปที่ ข.11 ชิ้นงานก่อน และหลังการทดสอบความต้านทานแรงกระแทกของพอลิเมอร์คอมโพสิต จากพอลิพรอพิลีน และปริมาณเส้นใยผ้าใบหนาที่ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของ พอลิพรอพิลีน

ก) ชิ้นงานก่อนการทดสอบความต้านทานแรงกระแทก

ข) ชิ้นงานหลังการทดสอบความต้านทานแรงกระแทก



ก)

ข)

รูปที่ ข.12 การทดสอบสมบัติการดูดซับน้ำ

ก) ชิ้นงานแช่น้ำเพื่อวัดหาค่าการดูดซับน้ำ

ข) การวัดหาค่าการดูดซับน้ำ

ประวัติผู้ดำเนินโครงการ

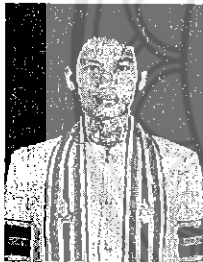


ชื่อ นายกิติวุฒิ สุวรรณ
ภูมิลำเนา 316 ซอยอ่อนนุช 17 ถนนสุขุมวิท 77
แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง จ. กรุงเทพฯ

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพระโขนง
พิทยาลัย จ.กรุงเทพฯ
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 5
สาขาวิศวกรรมวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: kitiwut.s@hotmail.com



ชื่อ นายภาณุมาศ แก้วประเสริฐ
ภูมิลำเนา 91 หมู่ 10 ต. ฆะมัง อ. เมือง จ. พิจิตร
ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสระหลวง
จ.พิจิตร
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 5
สาขาวิศวกรรมวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: panu-mat@hotmail.com