



ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ การศึกษาสมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเส้นใยจากเปลือกข้าว

ผู้ดำเนินโครงการ นายเจนวุฒิ แต่งไทย รหัส 52363233
นางสาวเทียนพรรษา แจ่มแสง รหัส 52363271
นางสาวสุชาร์ตน์ ทิศพรหม รหัส 52363561

ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์ศิริกาญจน์ ชั้นสัมฤทธิ์

สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2555

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

.....ที่ปรึกษาโครงการ
(อาจารย์ศิริกาญจน์ ชั้นสัมฤทธิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ทศพล ตริ์รุจิราภาพงศ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ธนิกันต์ ธงชัย)

.....กรรมการ
(อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์)

ชื่อหัวข้อโครงการ	การศึกษาสมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าว		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายเจนวุฒิ	แต่งไทย	รหัส 52363233
	นางสาวเทียนพรรษา	แจ้จ้งแสง	รหัส 52363271
	นางสาวสุทาร์ตน์	ทิศพรหม	รหัส 52363561
ที่ปรึกษาโครงการ	อาจารย์ศิริกาญจน์ ชันรัมย์ฤทธิ์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม		
ปีการศึกษา	2555		

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเถ้าแกลบดำที่เตรียมได้จากเปลือกข้าวที่ขนาด 50-100 เมช, 100-150 เมช ที่ปริมาณ 0, 0.1, 0.2 และ 0.3 % โดยนำนักพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูง จากการทดลอง พบว่าวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาด 100-150 เมช มีแนวโน้มของสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาด 50-100 เมช เนื่องจากขนาดเถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาด 100-150 เมช มีขนาดอนุภาคที่เล็ก มีพื้นที่ผิวสัมผัสที่มากกว่า ทำให้เถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวมีการกระจายตัวและยึดเกาะในเนื้อพื้นพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูงได้ดี ส่วนผลการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนปริมาณของเถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าว พบว่าที่ปริมาณเถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สมบัติด้านมอดูลัสของยังส์, มอดูลัสความโค้งงอ, ความแข็งแรงแบบซอร์ดี มีแนวโน้มที่สูงขึ้น แต่สมบัติด้านความแข็งแรงดึง, ร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาด, ความแข็งแรงโค้งงอ มีแนวโน้มที่ต่ำลง จากการทดสอบสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy ; SEM) พบว่า วัสดุเชิงประกอบที่มีการใช้เถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาด 100-150 เมช มีลักษณะความเรียบของพื้นผิว และความสม่ำเสมอที่ดี เมื่อพิจารณาการแตกหักของวัสดุเชิงประกอบ พบว่าวัสดุเชิงประกอบมีการแตกหักแบบเชื่อมแน่น (Cohesive) ทำให้รอยต่อระหว่างวัฏภาคแคบลง มีประสิทธิภาพในการกระจายแรงที่มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลสมบัติเชิงกลที่สูง

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงการวิจัยนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณ อาจารย์ศิริภาณุจน์ ชันส์สัมฤทธิ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ในการให้ความรู้ ข้อเสนอแนะ เกี่ยวกับการค้นหาข้อมูลในการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ และความช่วยเหลือทางด้านต่างๆ ตลอดจนแนะนำวิธีการในการแก้ปัญหา และให้กำลังใจในการทำงานตลอดมา จนสามารถทำงานลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ที่ดีเยี่ยม และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทศพล ตริรุจิราภาพงศ์ อาจารย์มานะ วีรวิกรม อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย และอาจารย์ภุชญา พูลสวัสดิ์ ที่กรุณาเสียสละเวลามาเป็นอาจารย์สอบโครงการ พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขโครงการนี้

ขอขอบพระคุณ ครูช่างประเทือง โมรราราย ครูช่างธวัชชัย ชูลบุตร ครูช่างรณกฤต แสงผ่อง และนักวิทยาศาสตร์อิสริย์ วัตถุประสงค์ เพื่อสถานที่ และอุปกรณ์ในการทำโครงการ รวมไปถึงการแนะนำการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ อย่างถูกวิธี

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้กับผู้ทำโครงการ จนงานลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยสนับสนุนในเรื่องค่าใช้จ่ายและกำลังใจ จนสามารถศึกษา และจัดทำโครงการวิจัยเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจในการทำโครงการนี้จนสำเร็จไปได้ด้วยดี

คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นายเจนวุฒิ แต่งไทย

นางสาวเทียนพรรษา แจ้งแสง

นางสาวสุทาร์ตัน ทิศพรหม

มีนาคม 2556

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output).....	1
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome).....	2
1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ.....	2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงการ.....	3
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ.....	3
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น.....	4
2.1 วัสดุเชิงประกอบ (Composite Materials).....	4
2.2 เถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าว (Black Rice Husk Ash).....	10
2.3 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High-Density Polyethylene : HDPE).....	12
2.4 กระบวนการผลิต.....	14
2.5 การทดสอบสมบัติของวัสดุ.....	17
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ.....	26
3.1 วัสดุที่ใช้ในโครงการ.....	26
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในโครงการ.....	26
3.3 วิธีการทดลอง.....	28
3.4 วิธีการทดสอบ.....	29

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง	31
3.6 สรุปผลการทดลอง	31
บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์.....	32
4.1 การศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทีลีนชนิด ความหนาแน่นสูงกับเส้นใยแก้วจากเปลือกข้าว.....	32
4.2 การศึกษาสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทีลีนชนิด ความหนาแน่นสูงกับเส้นใยแก้วจากเปลือกข้าว.....	40
บทที่ 5 บทสรุป และข้อเสนอแนะ.....	44
5.1 บทสรุป.....	44
5.2 ข้อเสนอแนะ และการพัฒนา.....	44
5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ปัญหา.....	44
เอกสารอ้างอิง.....	46
ภาคผนวก ก.....	49
ภาคผนวก ข.....	52
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	55

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนและการดำเนินโครงการ.....	3
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของแก้วกลบ.....	11
2.2 ตารางแสดงสมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....	13
2.3 รายละเอียดการทดสอบความแข็งกดแบบดูโรมิเตอร์ (Durometer).....	23
3.1 สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เกรด HDPE H5818J.....	26
3.3 อัตราส่วนที่ใช้ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับแก้วกลบดำจากเปลือกข้าว.....	28
3.4 อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการผสมโดยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวทวนคนเดียว.....	28
3.5 อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการผลิตโดยการฉีดขึ้นรูป.....	29



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 รูปร่างของสารตัวเติม.....	4
2.2 แสดงการจัดเรียงตัวของเทอร์โมเซต.....	6
2.3 แสดงการจัดเรียงตัวของเทอร์โมพลาสติก.....	6
2.4 การยึดเกาะกันระหว่างเส้นใยและเนื้อพื้น.....	7
2.5 แสดงวัสดุเชิงประกอบที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน.....	8
2.6 ภาพวาดแสดงอนุภาคของส่วนเสริมแรงที่กระจายในรูปทรงและการวางเรียงต่างกัน.....	9
2.7 สูตรโครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....	12
2.8 การจัดเรียงตัวของสายโซ่เป็นกิ่งสาขาของพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....	12
2.9 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder Machine).....	15
2.10 เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill Machine).....	16
2.11 เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding Machine).....	16
2.12 กราฟระหว่างความเค้นและความเครียดของพอลิเมอร์ที่มีสมบัติแบบต่างๆ.....	17
2.13 เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile Testing Machine).....	19
2.14 การทดสอบความแข็งแรงโค้งงอแบบ 3 จุด (Three Point Bending).....	21
2.15 เครื่องทดสอบความแข็งกดดูโรมิเตอร์ (Durometer) แบบชอร์ (Shore).....	22
2.16 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM).....	23
2.17 แสดงหลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	24
3.1 แผนการดำเนินงาน.....	27
3.2 ชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึง.....	29
3.3 ชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ.....	30
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบ ที่ใช้แก้วกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาด 50-100 เมช, 100-150 เมช และปริมาณต่างๆ.....	33
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดุลัสของยังส์ของวัสดุเชิงประกอบ ที่ใช้แก้วกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาด 50-100 เมช, 100-150 เมช และปริมาณต่างๆ.....	34
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาด ของวัสดุเชิงประกอบ ที่ใช้แก้วกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาด 50-100 เมช, 100-150 เมช และปริมาณต่างๆ.....	36
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอ ของวัสดุเชิงประกอบ ที่ใช้แก้วกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาด 50-100 เมช, 100-150 เมช และปริมาณต่างๆ.....	37
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดุลัสความโค้งงอ ของวัสดุเชิงประกอบ ที่ใช้แก้วกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาด 50-100 เมช, 100-150 เมช และปริมาณต่างๆ.....	38

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งกดแบบชอร์ดี ของวัสดุเชิงประกอบ ที่ใช้ผ้าเคลือบ ด้าจากเปลือกข้าวที่ขนาด 50-100 เมช, 100-150 เมช และปริมาณต่างๆ.....	40
4.7 สัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับผ้า เคลือบด้าจากเปลือกข้าว ที่ปริมาณ 0.2 % โดยน้ำหนักของพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่กำลังขยาย 50 เท่า.....	41
4.8 สัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับผ้า เคลือบด้าจากเปลือกข้าว ที่ปริมาณ 0.2 % โดยน้ำหนักของพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่กำลังขยาย 200 เท่า.....	42



บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ในปัจจุบันวัสดุเชิงประกอบได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก ทั้งงานในส่วนอุตสาหกรรม งานก่อสร้าง งานผลิตชิ้นส่วนทางวิศวกรรม การใช้งานในด้านวัสดุโครงสร้าง และรับแรงสำหรับงานทางวิศวกรรม ทั้งนี้ เนื่องจากวัสดุเชิงประกอบมีสมบัติที่ดีหลายประการที่สำคัญ คือ มีความแข็งแรงสูง แต่มีน้ำหนักเบา เมื่อเทียบกับวัสดุอื่นๆ เช่น โลหะหรือเซรามิก นอกจากนี้วัสดุเชิงประกอบยังมีสมบัติที่กว้าง สามารถเลือกใช้ ออกแบบ และสร้างวัสดุเชิงประกอบให้เหมาะสมกับการใช้งานได้ ทำให้มีการประยุกต์ใช้วัสดุเชิงประกอบอย่างกว้างขวาง

วัสดุเชิงประกอบ เป็นการนำวัสดุหลักตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไปมาผสมกัน เพื่อปรับปรุงหรือเพิ่มสมบัติต่างๆ ให้ดีขึ้น โดยผลของการรวมวัสดุหลัก 2 ประเภทจะทำให้ได้วัสดุที่มีความแข็งแรงโดยรวมมากกว่าเมื่อเทียบกับความแข็งแรงของวัสดุเพียงชนิดเดียว ตัวอย่างเช่น พลาสติกเสริมแรงด้วยใยแก้วที่ใช้ผลิตหลังคารถบรรทุก ข้อเทียมที่ผลิตจากพลาสติกเสริมแรงด้วยเส้นใยคาร์บอนเพื่อให้มีสมบัติเชิงกลที่ใกล้เคียงกับกระดูกธรรมชาติได้มากกว่าข้อเทียมจากโลหะ เป็นต้น โดยทั่วไปวัสดุเชิงประกอบ จะประกอบด้วยส่วนเสริมแรง (Reinforcement) ที่อาจอยู่ในรูปของเส้นใย อนุภาค แผ่นหรือชิ้นเล็กๆ ซึ่งเป็นเฟสกระจายฝังตัวอยู่ในเนื้อพื้น (Matrix) ซึ่งส่วนเสริมแรงจะช่วยเพิ่มหรือปรับปรุงสมบัติเชิงกลของวัสดุเนื้อพื้นให้ดีขึ้น ส่วนวัสดุที่เป็นเนื้อพื้นจะรองรับส่วนเสริมแรงให้อยู่ในรูปร่างที่กำหนดซึ่งเนื้อพื้นอาจเป็นโลหะ เซรามิกหรือพอลิเมอร์ โดยพอลิเมอร์มีสมบัติเด่นกว่าโลหะและเซรามิก คือ มีน้ำหนักเบา มีความเหนียว และทนต่อสารเคมี แต่มีข้อเสีย คือ มีความแข็งแรงต่ำ จึงได้มีการศึกษาการใช้วัสดุที่มีสมบัติช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับพอลิเมอร์ โดยพบว่าวัสดุทางธรรมชาติ เช่น เถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวจะช่วยให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ดีขึ้น เนื่องจากมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบประมาณ 70-90 % (บุญรักษ์, 2552)

ดังนั้นในโครงการนี้จึงได้ทำการศึกษาปัจจัยในด้านขนาดและปริมาณของเถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ใช้เป็นส่วนเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการนำวัสดุที่เหลือใช้มาเพิ่มมูลค่า และใช้วัสดุให้เกิดประโยชน์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 ศึกษาผลของขนาดของเถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่เป็นส่วนเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยา

1.2.2 ศึกษาผลของปริมาณของเถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่เป็นส่วนเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

1.3.1 สมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าว ที่ขนาด 50-100 เมช และขนาด 100-150 เมชเป็นส่วนเสริมแรง

1.3.2 สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวในปริมาณ 0, 0.1, 0.2 และ 0.3 % โดยน้ำหนักของพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูง เป็นส่วนเสริมแรง

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

1.4.1 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของขนาดเถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาด 50-100 เมช และขนาด 100-150 เมช ที่เป็นส่วนเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบในพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูง

1.4.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสมบัติเชิงกลของปริมาณเถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ปริมาณ 0, 0.1, 0.2 และ 0.3 % โดยน้ำหนักของพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูง ตามลำดับ ที่เป็นส่วนเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบในพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูง

1.5 ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย

1.5.1 ตัวแปรควบคุม

1.5.1.1 วัสดุดิบ

ก. พอลิเมอร์ชนิดพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูง เกรด H5818J

ข. เถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าว จากจังหวัดพิษณุโลก

1.5.1.2 กระบวนการผลิต

ก. ผสมวัสดุดิบโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder Machine) และผสมในเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill Machine)

ข. ขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding Machine)

1.5.2 ตัวแปรที่ศึกษา

1.5.2.1 ศึกษาผลของขนาดของเถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาด 50-100 เมช และขนาด 100-150 เมช ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบ

1.5.2.2 ศึกษาผลของปริมาณของเถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ปริมาณ 0, 0.1, 0.2 และ 0.3 % โดยน้ำหนักของพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 วัสดุเชิงประกอบ (Composite Materials)

วัสดุเชิงประกอบคือวัสดุที่ประกอบด้วยส่วนประกอบอย่างน้อย 2 ชนิดที่มีสมบัติต่างกัน โดยส่วนประกอบจะไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน แต่จะแยกกันเป็นเฟสที่เห็นได้อย่างเด่นชัด และทำให้มีสมบัติดีขึ้นมีความแข็งแรงมากกว่าส่วนประกอบย่อย วัสดุเชิงประกอบเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในปัจจุบัน และมีปริมาณการใช้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากวัสดุเชิงประกอบมีข้อดีหลายประการ เช่น มีความแข็งแรงสูง แต่มีน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับวัสดุอื่นๆ ค่ามอดูลัสต่อน้ำหนักสูง ขึ้นรูปได้ง่าย มีความเสถียรในรูปร่าง และต้นทุนการผลิตต่ำ ประกอบกับวัสดุเชิงประกอบหลายชนิดหลายรูปแบบสามารถเลือกใช้ ออกแบบ และสร้างวัสดุเชิงประกอบให้เหมาะสมกับการใช้งานได้ ทำให้มีการประยุกต์ใช้งานกันอย่างกว้างขวางแทนวัสดุอื่นๆ เช่น โลหะ เซรามิก เป็นต้น (อิทธิพล, 2544)

วัสดุเชิงประกอบสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดใหญ่ ได้แก่ วัสดุเชิงประกอบแบบเส้นใย (Fibrous Composites) คือ วัสดุเชิงประกอบที่มีส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใย (Fibers) อาจเป็นเส้นใยสั้น (Short Fiber) หรือเส้นใยยาวต่อเนื่อง (Continuous Fiber) มักเป็นเส้นใยขนาดเล็ก มีความแข็งแรงและมอดูลัสสูง ทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความแข็งแรง ตามแนวการเรียงตัวของเส้นใยสูงกว่าแนวอื่นๆ, วัสดุเชิงประกอบแบบแผ่นหรือลามิเนต (Laminar Composites) คือ วัสดุเชิงประกอบที่ประกอบด้วยชั้น หรือแผ่นของวัสดุที่ยึดติดกันด้วยตัวเชื่อมเนื้อพื้น มีลักษณะเป็นชั้นๆ คล้ายแผ่นประกบ หรือเป็นโครงสร้างคล้ายรังผึ้ง และวัสดุเชิงประกอบแบบเป็นก้อน (Particulate Composites) คือ วัสดุเชิงประกอบที่มีส่วนเสริมแรงเป็นเม็ด (Beads) แผ่น (Flake) หรือผง (Powder) ที่มีขนาดเล็กรูปร่างของสารตัวเติมที่ใช้ผสมในเนื้อพื้นแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 รูปร่างของสารตัวเติม

ก) เส้นใยสั้น

ข) อนุภาค

ค) แผ่น

ที่มา : วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยขอนแก่น (2552)

วัสดุเชิงประกอบมีองค์ประกอบหลัก คือ

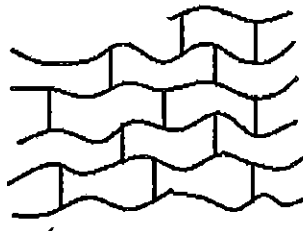
2.1.1 เนื้อพื้น (Matrix)

เนื้อพื้นเป็นวัสดุที่เป็นองค์ประกอบหลักของวัสดุเชิงประกอบทำหน้าที่ยึดส่วนเสริมแรงเข้าด้วยกัน ให้อยู่ในตำแหน่งและการเรียงตัวที่กำหนด โดยจะล้อมรอบและปกป้องส่วนเสริมแรงจากการเสียดสีเนื่องจากสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้น เป็นต้น มักมีความแข็งแรงและมอดูลัสที่น้อยกว่าส่วนเสริมแรง เนื้อพื้นเป็นส่วนที่มีความต่อเนื่อง (Continuous Phase) จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางถ่ายเทแรงที่ได้รับไปสู่ส่วนเสริมแรงและทำหน้าที่ปกป้องผิวของวัสดุเชิงประกอบ เนื้อพื้นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ พอลิเมอร์ (Polymer Composites) สามารถใช้ได้ทั้งพอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) และเทอร์โมเซต (Thermoset), โลหะ (Metal Composites) และเซรามิก (Ceramic Composites)

โดยในงานวิจัยนี้ได้นำพอลิเมอร์มาเป็นส่วนเนื้อพื้น เนื่องจากพอลิเมอร์มีสมบัติเด่นกว่าโลหะและเซรามิก คือ มีน้ำหนักเบา มีความเหนียว และทนต่อสารเคมี สำหรับพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นเนื้อพื้นโดยทั่วไปจะแบ่งเป็น 2 ประเภทได้แก่

2.1.1.1 เทอร์โมเซต (Thermoset)

พอลิเมอร์กลุ่มนี้เมื่อผ่านกระบวนการวิธีผลิตจะมีรูปร่างถาวร ผลผลิตที่ได้นำไปหลอมขึ้นรูปใหม่อีกไม่ได้และไม่ละลายในตัวทำละลาย คือ ไม่เกิดกระบวนการย้อนกลับ ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าก่อนผ่านกระบวนการโครงสร้างของพอลิเมอร์ยังไม่เป็นร่างแห แต่เมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนหรือให้ความดันเข้าไป จะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ในโครงสร้างเกิดการเชื่อมโยง (Crosslinking) ระหว่างสายโซ่โมเลกุลมีลักษณะเป็นระบบสามมิติ มีการสร้างพันธะโควาเลนต์ระหว่างสายโซ่โมเลกุล ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความคงทนไม่หลอมละลาย ถ้าให้ความร้อนมากๆ จะไหม้เกรียม และสมบัติเปลี่ยนไปจากเดิม เทอร์โมเซตที่ใช้เป็นเนื้อพื้นส่วนใหญ่ ได้แก่ พอลิเอสเทอร์ ไวนิลเอสเทอร์อีพอกซี พอลิอิมิดและพีนอลิก การเชื่อมโยงของเนื้อพื้นชนิดเทอร์โมเซตทำให้เกิดการเชื่อมต่อของสายโซ่ การตอก และ การเชื่อมโยง ซึ่งทำให้ได้วัสดุที่มีความแข็ง และมีสมบัติเชิงกลที่ดี ทนทานต่อตัวทำละลาย มีเสถียรภาพต่อการเกิดออกซิเดชันและทนต่ออุณหภูมิสูง สมบัติของเทอร์โมเซต จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของการเชื่อมโยงและน้ำหนักโมเลกุลของสายโซ่ระหว่างการเชื่อมโยง ถ้าเกิดการเชื่อมโยงสูงจะส่งผลให้เนื้อพื้นมีความแข็งและมอดูลัสสูง แต่จะมีน้ำหนักโมเลกุลของสายโซ่ระหว่างการเชื่อมโยงน้อยทำให้การเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุลเกิดได้ยากส่งผลต่อการถ่ายเทพลังงานที่ได้รับ เป็นผลให้วัสดุแข็งแต่เปราะ แตกหักที่เปอร์เซ็นต์การดึงยึดต่ำและมีความทนทานต่อแรงกระแทกต่ำ (อิทธิพล, 2544) รูปแบบการจัดเรียงตัวของเทอร์โมเซตแสดงได้ดังรูปที่ 2.2

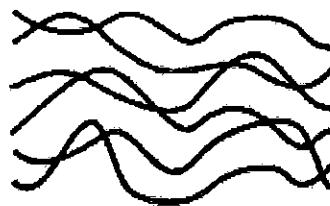


รูปที่ 2.2 แสดงการจัดเรียงตัวของเทอร์โมเซต

ที่มา : วารสารวิชาการ (2555)

2.1.1.2 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)

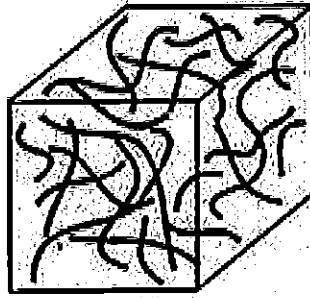
พอลิเมอร์กลุ่มนี้จะละลายได้ดีในตัวทำละลายบางชนิด เมื่อได้รับความร้อนสามารถหลอมตัวได้ เมื่อเย็นลงจะแข็งตัว สามารถหลอมและแข็งตัวหลายๆ ครั้งโดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีเปลี่ยนแปลงไป อาจแยกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเทอร์โมพลาสติกอสัณฐาน (Amorphous Thermoplastic) และเทอร์โมพลาสติกที่มีผลึกบางส่วน (Semi-Crystalline Thermoplastic) เทอร์โมพลาสติกไม่จำเป็นต้องทำให้เกิดการเชื่อมโยงโครงสร้างก่อนการใช้งาน ดังนั้น ความแข็งแรงจึงต้องเป็นผลโดยตรงมาจากสมบัติของสายโซ่พอลิเมอร์ และการพันกันของสายโซ่ ดังนั้นเทอร์โมพลาสติกที่นำมาใช้งานเป็นเนื้อพื้นสำหรับวัสดุเชิงประกอบ จะต้องมีน้ำหนักโมเลกุลสูงมากหรือมีความยาวสายโซ่มากพอที่จะเกิดการพันกัน ข้อเสียของพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง คือ มีความหนืดของพอลิเมอร์หลอมเหลวสูงทำให้ไหลยาก จึงเป็นอุปสรรคในการขึ้นรูป (อิทธิพล, 2544) รูปแบบการจัดเรียงตัวของเทอร์โมพลาสติกแสดงได้ดังรูปที่ 2.3 โดยพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High-Density Polyethylene : HDPE) ซึ่งผลิตจากแก๊สเอทิลีนที่ผ่านกระบวนการเติมสาร มีสมบัติพิเศษ คือ ทนสารเคมีได้ดี ทนต่อสภาพอากาศได้ดีแต่อากาศสามารถซึมผ่านได้ มีสีขาวขุ่น โปร่งแสง มีความลื่นมันในตัว มีความเหนียวและยืดหยุ่น ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เช่น ขวดบรรจุนมสด ขวดบรรจุน้ำยาซักผ้า ถังบรรจุน้ำมันในยานยนต์ ท่อประปา โตะเก้าอี้พับได้ ถุงพลาสติก ขวดน้ำดื่ม เป็นต้น (วารสารมหาวิทยาลัยศิลปากร, 2555)



รูปที่ 2.3 แสดงการจัดเรียงตัวของเทอร์โมพลาสติก

ที่มา : วารสารวิชาการ (2555)

สำหรับการยึดเกาะกันระหว่างเส้นใยและเนื้อพื้นแสดงดังรูปที่ 2.4



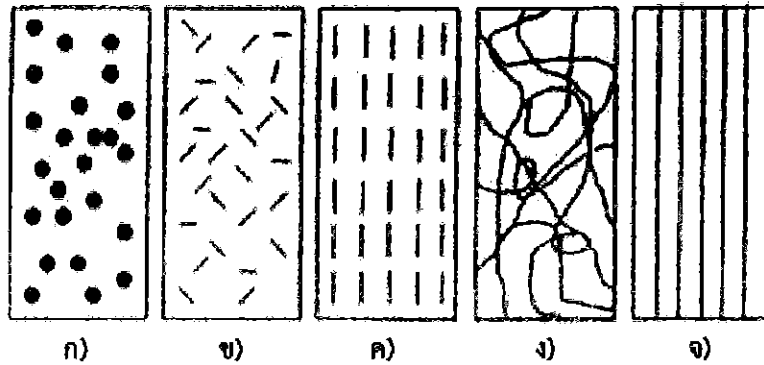
รูปที่ 2.4 การยึดเกาะกันระหว่างเส้นใยและเนื้อพื้น
ที่มา : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (2553)

2.1.2 ส่วนเสริมแรง (Reinforcement)

ส่วนเสริมแรงเป็นวัสดุที่มีสถานะเป็นของแข็งจำนวนมากกระจายตัวได้ดีในเนื้อพื้นพอลิเมอร์ ส่วนเสริมแรงจัดเป็นสารเติมแต่งที่นิยมใช้สำหรับพอลิเมอร์ทุกชนิด แตกต่างกันในปริมาณที่ใช้ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดของพอลิเมอร์ชนิดนั้นๆ

สารเติม คือ อนุภาคของแข็งที่ไม่เพิ่มความแข็งแรงทางกลให้กับเนื้อพื้นที่เป็นพอลิเมอร์ โดยปกติสารเติมที่มีราคาถูกระบุจะเรียกเป็นสารเพิ่มเนื้อ (Fillers) ส่วนวัสดุประเภทเส้นที่สามารถเพิ่มความแข็งแรงทางกลได้เรียกว่า ส่วนเสริมแรงสำหรับสารเติมประเภทเส้นใยในกระบวนการหลอมเหลวที่มีอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย เรียกว่า สารเติมแรง นอกจากนี้ผลที่มีต่อสมบัติความแข็งแรงแล้ว สารเติมและเส้นใยหลายชนิดมีส่วนช่วยทำให้สมบัติเฉพาะอื่นๆ ดีขึ้น

สารเติมที่นิยมใช้ ได้แก่ สารเติมเพิ่มเนื้อ (Extender Filler) จัดเป็นสารเติมที่มีอนุภาคละเอียดใช้เติมเป็นสารหลักในพอลิเมอร์เพื่อลดค่าใช้จ่ายของวัตถุดิบที่นำมาเป็นสารประกอบ เช่น การใช้ผงไม้ในการอัดแบบสารประกอบพีนอลิก หรือโนโวแอค เป็นต้น, สารเติมตามหน้าที่ (Functional Filler) จัดเป็นสารตัวเติมที่มีราคาถูกร ช่วยเสริมสมบัติตามหน้าที่ตั้งแต่หนึ่งหน้าที่ขึ้นไป เช่น สารเติมแบ่งทาคัม หรือไมก้าในพอลิพรอพิลีน เป็นต้น และสารเติมเสริมแรง (Reinforcing Filler) เป็นสารเติมแต่งที่มีขนาดใหญ่ ช่วยเพิ่มสมบัติของพอลิเมอร์ให้ดีขึ้น มีราคาแพงกว่าพอลิเมอร์หลักที่ใช้ เช่น เส้นใยกราไฟท์ในพรี-เพริกซ์เอพอกซีและเส้นใยเหล็กไร้สนิมและเส้นใยโบรอนในพรี-เพริกซ์เอพอกซี เป็นต้น (สมศักดิ์, 2544) ในงานวิจัยนี้ได้นำซิลิกาจากแก้วกลบดำจากเปลือกข้าวซึ่งเป็นสารตัวเติมแบบอนุภาคมาเป็นส่วนเสริมแรงเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุเชิงประกอบ รูปที่ 2.5 แสดงวัสดุเชิงประกอบที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน



รูปที่ 2.5 แสดงวัสดุเชิงประกอบที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน

- ก) ส่วนเสริมแรงเป็นอนุภาคเรียงตัวแบบสุ่ม
- ข) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยสั้นเรียงตัวแบบสุ่ม
- ค) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยสั้นเรียงตัวแบบทิศทางเดียวกัน
- ง) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่องเรียงตัวแบบสุ่ม
- จ) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่องเรียงตัวแบบทิศทางเดียวกัน

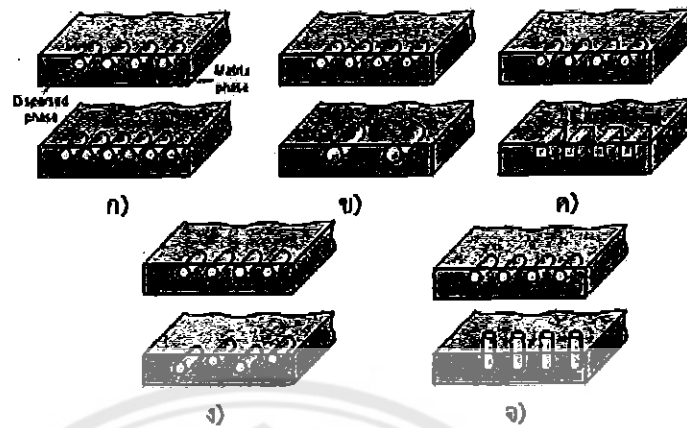
ที่มา : อธิพิล (2544)

2.1.3 ซิลิกา (Silicon dioxide ; SiO_2)

จัดเป็นแร่ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติส่วนใหญ่จะบดให้มีอนุภาค 2-10 ไมครอนและใช้เป็นสารเติมสีขาวที่มีเสถียรภาพ ราคาถูก ใช้ในเอพอกซี พลาสติกพอลิเอสเตอร์ ยางและสีทาเอพอกซีและสีทาประเภทซิลิกาสังเคราะห์ (Synthetic Fumed Silicas) จัดเป็นซิลิกาที่มีขนาดอนุภาคละเอียดมักจะรวมกันเป็นโครงสร้างแบบกลุ่ม (Hight Structure Clusters) มีพื้นที่ผิวและความมีรูพรุนสูงเพื่อทำให้เกิดทิกซ์โทรปิก (Thixotropic) ที่มีลักษณะชั้นคล้ายแป้งเปียก มีราคาค่อนข้างสูงและมีผลต่อความหนืดอย่างมาก แต่ก็สามารถใช้แทนผงคาร์บอนสีขาว (White Carbon Black) ได้เป็นอย่างดี (สมศักดิ์, 2544)

ประสิทธิภาพของการยึดเกาะระหว่างเนื้อพื้นและส่วนเสริมแรง เป็นส่วนสำคัญที่จะชี้บอกความสามารถในการนำวัสดุเชิงประกอบไปประยุกต์ใช้งาน โดยปัจจัยทางด้านขนาดปริมาณ รูปร่าง และการกระจายตัวของสารเสริมแรงมีผลต่อสมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบ ซึ่งปริมาณ ขนาด รูปร่างลักษณะการกระจายตัว และการจัดเรียงตัวของอนุภาคที่แตกต่างกันจะทำให้วัสดุเชิงประกอบที่ได้จะมีสมบัติที่แตกต่างกัน ซึ่งอนุภาคที่เสริมเข้าไปในวัสดุเชิงประกอบอาจเป็นแผ่น ผง หรืออนุภาคโดยอนุภาคจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10-100 นาโนเมตร อันตรกิริยาระหว่างอนุภาคกับเนื้อพื้น (Particle-Matrix Interaction) จะเป็นตัวช่วยเพิ่มความแข็งแรงในระดับอะตอมหรือโมเลกุล (สถาบันพัฒนาวิชาชีพ, 2555)

อนุภาคของส่วนเสริมแรงที่กระจายในเนื้อพื้นในรูปทรงและการวางเรียงต่างกันแสดงดัง
รูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ภาพวาดแสดงอนุภาคของส่วนเสริมแรงที่กระจายในเนื้อพื้นในรูปทรงและการ
วางเรียงต่างกัน

- ก) ปริมาณ
- ข) ขนาด
- ค) รูปร่าง
- ง) การกระจายตัว
- จ) ทิศทางการเรียงตัว

ที่มา : สถาบันพัฒนาวิชาชีพ (2555)

จากภาพวาดแสดงอนุภาคของส่วนเสริมแรงที่กระจายในเนื้อพื้นในรูปทรงและการ
จัดเรียงตัวที่ต่างกันโดยในรูปที่ 2.6 ก) แสดงปริมาณของอนุภาคที่เติมเข้าไปในวัสดุเชิงประกอบใน
ปริมาณมากจะทำให้วัสดุเชิงประกอบมีค่ามอดูลัสที่สูงขึ้น มีความแข็งเพิ่มขึ้นเนื่องจากส่วนเสริมแรง
จะช่วยรับแรงกระทำจากภายนอกแต่ร้อยละการยึดตัวมีค่าลดลงเมื่อปริมาณของส่วนเสริมแรงที่ลดลง
จะทำให้วัสดุเชิงประกอบมีค่ามอดูลัสที่ต่ำ ความแข็งแรงลดลง ร้อยละการยึดตัวเพิ่มขึ้นรูปที่ 2.6 ข)
แสดงขนาดของอนุภาคที่ต่างกัน ที่เติมเข้าไปในวัสดุเชิงประกอบ พบว่าขนาดของอนุภาคที่มีขนาด
ใหญ่เกินไปจะทำให้การกระจายตัวของอนุภาคต่ำลง เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสที่ลดลง เมื่อมีการใช้
ขนาดอนุภาคที่เล็กของส่วนเสริมแรงจะทำให้มีการกระจายตัวดีขึ้น ส่งผลให้มีสมบัติเชิงกลที่เพิ่มขึ้น
รูปที่ 2.6 ค) แสดงปัจจัยทางด้านรูปร่างของอนุภาคของส่วนเสริมแรงที่ต่างกัน โดยทั่วไปอาจมีหลาย
รูปแบบ เช่น แบบทรงกลมแบบแท่งและแบบแผ่น เป็นต้น ซึ่งอนุภาคที่มีรูปร่างเป็นแบบทรงกลมจะ
ส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบมีสมบัติเหมือนกันในทุกทิศทางในขณะที่การเติมอนุภาคที่มีรูปร่างแบบแท่ง
และแบบแผ่น อาจส่งผลทำให้สมบัติของวัสดุเชิงประกอบในแต่ละทิศทางมีค่าไม่เท่ากันรูปที่ 2.6 ง)
แสดงผลของการกระจายตัวของอนุภาคของส่วนเสริมแรงในเนื้อพื้น พบว่า อนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะมี

การกระจายตัวที่ต่ำ แต่ในอนุภาคขนาดเล็ก จะมีการกระจายตัวที่ดี ทำให้สมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้น และรูปที่ 2.6 จ) แสดงถึงทิศทางของการจัดเรียงตัวของส่วนเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบ โดยพบว่าการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบจะทำให้มีสมบัติที่สามารถรับแรงได้ดีและวัสดุเชิงประกอบจะมีสมบัติที่ดีเมื่อมีการรับแรงหรือใช้งานในทิศทางเดียวกับทิศทางการจัดเรียงตัวของอนุภาค (สวดสวย, 2544)

การเลือกใช้วัสดุเชิงประกอบต้องเริ่มจากการวิเคราะห์ความต้องการของการออกแบบ รวมถึงข้อจำกัด (Constraints) ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นข้อจำกัดด้านสมบัติ (Properties) หรือว่าข้อจำกัดในด้านหน้าที่ (Functions) และหากผลจากการวิเคราะห์และการคัดเลือกวัสดุเบื้องต้นปรากฏว่ามีวัสดุชนิดใดๆ ก็ตามที่สามารถตอบสนองข้อจำกัดทั้งหมดได้ วัสดุชนิดนั้นจะถูกเลือกใช้ แต่หากว่าไม่มีวัสดุชนิดใดชนิดหนึ่งที่สามารถตอบสนองความต้องการและข้อจำกัดของการออกแบบดังนั้น จำเป็นต้องแยกวิเคราะห์หน้าที่ และสมบัติแต่ละประการของชิ้นงานที่นำมาทำการคัดเลือกวัสดุและคัดเลือกวัสดุที่ดีที่สุดสำหรับแต่ละหน้าที่ หลังจากนั้นนำแต่ละวัสดุที่เลือกสำหรับแต่ละหน้าที่มาวิเคราะห์เพื่อนำมาผสมกันเป็นวัสดุเชิงประกอบ

เมื่อทำการพิจารณาสมบัติของวัสดุสองชนิดที่มีสมบัติเหมาะสมและสามารถตอบสนองต่อข้อจำกัดจากการออกแบบแล้วโดยเลือกวัสดุชนิดหนึ่งให้เป็นวัสดุเนื้อพื้น และวัสดุอีกชนิดเป็นเฟสที่กระจาย หรือส่วนเสริมแรง ทำการเลือกโครงสร้างของวัสดุเชิงประกอบที่เหมาะสมกับหน้าที่ของชิ้นงานนั้นๆ จากนั้นทำการเลือกสัดส่วนปริมาตร (Volume Fraction) ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้สมบัติที่ต้องการซึ่งต้องอยู่ภายในขอบเขตบนและขอบเขตล่างของสมบัติของวัสดุผสม (Upper And Lower Bounds) ต้องพิจารณาและวิเคราะห์ถึงเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ซึ่งเป็นไปตามดัชนีวัสดุ (Material Index) และหากวัสดุเชิงประกอบ มีค่าต่างๆเหล่านี้สูงกว่าวัสดุเนื้อเดียวและสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด วัสดุเชิงประกอบชนิดนี้ก็สามารถใช้เป็นวัสดุในการผลิตชิ้นงานนี้ได้ (สถาบันพัฒนาวิชาชีพ, 2555)

2.1.4 การประยุกต์ใช้งานวัสดุเชิงประกอบ

ในการประยุกต์ใช้งานวัสดุเชิงประกอบนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อพื้นที่เป็นพอลิเมอร์และส่วนเสริมแรง นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ ที่นำมาใช้งานแทนโลหะ เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ เครื่องบิน ยานอวกาศ อุปกรณ์กีฬา เนื่องจากมีน้ำหนักเบา เช่น ใช้ในเครื่องบินจะพบได้ในส่วนของประตู ปีก ใบพัด ตัวเครื่อง, อุตสาหกรรมยานยนต์ พบได้ในส่วนของตัวถังรถยนต์ กันชน เครื่องยนต์, อุตสาหกรรมเรือ พบได้ในส่วนของตัวถังเรือ ดาดฟ้าเรือ และอุปกรณ์กีฬา พบในไม้แบดมินตัน ไม้เทนนิส ก้านไม้กอล์ฟ หมวกกันกระแทก เป็นต้น

2.2 ถ้ำแกลบดำจากเปลือกข้าว (Black Rice Husk Ash)

แกลบดำ คือ เปลือกข้าวหรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่าแกลบ ที่นำมาผ่านกระบวนการเผาจนกลายเป็นถ้ำสีดำ องค์ประกอบทางเคมีของถ้ำแกลบ แสดงดังตารางที่ 2.1 และพบว่าในแกลบที่นำมาเผาแล้วมีปริมาณซิลิกาสูงถึง 94.5 % (บุญรักษ์, 2552) เนื่องจากต้นข้าวจะดูดสารละลายที่มี

ซิลิกาไดออกไซด์เป็นส่วนผสมที่อยู่ในดินมาสู่ลำต้น โดยจะมีอยู่ทั้งในลำต้น ใบ และเปลือกข้าว ซึ่งในส่วนของเปลือกข้าวจะพบปริมาณซิลิกามากที่สุด

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ

องค์ประกอบ	ปริมาณ(%)
ซิลิกา	94.5
แคลเซียม ไดออกไซด์	0.25
แมกนีเซียม ไดออกไซด์	0.23
โซเดียม ไดออกไซด์	0.78
โพแทสเซียม ไดออกไซด์	1.10
ฟอสฟอรัส เพนตะไดออกไซด์	0.53
7.ซิลเฟอร์ ไดออกไซด์	0.60
8.เฟอร์ริก ไดออกไซด์ เทรด	<0.50

ที่มา : รัตนา (2552)

2.2.1 สมบัติของเถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าว

เถ้าแกลบมีความพรุน (Porosity) มาก น้ำหนักเบา มีพื้นที่ผิวมาก มีสมบัติดูดซับ (Absorbent) ดี อีกทั้งมีสมบัติเป็นฉนวน แกลบที่เผาในระบบเปิดจะได้เถ้าแกลบ 2 ชนิด คือ เถ้าแกลบขาว (White Rice Husk Ash, WRHA) และเถ้าแกลบดำ (Black Rice Husk Ash, BRHA) โดยเถ้าแกลบดำจะเกิดจากการเผาที่ไม่สมบูรณ์จะมีสัดส่วนของซิลิกาและคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผาที่สูงขึ้นจะให้เถ้าแกลบขาวในปริมาณที่เพิ่มขึ้น และสามารถพบซิลิกาได้สูงถึงประมาณ 96% ในงานวิจัยนี้สนใจเฉพาะเถ้าแกลบที่เกิดจากการเผาในโรงสีข้าวทั่วไปที่มีการเผาที่อุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียสซึ่งที่อุณหภูมินี้จะทำให้เถ้าแกลบข้าวกลายเป็นสีดำ (บุญรักษ์, 2552)

2.2.2 การใช้งาน

เถ้าแกลบมีราคาถูกและหาง่าย หลายอุตสาหกรรมจึงนำเถ้าแกลบไปใช้ประโยชน์ เช่น

2.2.2.1 อุตสาหกรรมโลหะ (Steel Industry) ในอุตสาหกรรมการผลิตแผ่นเหล็กกล้าคุณภาพสูงด้วยกระบวนการหล่อโลหะแบบต่อเนื่อง (Continuous Casting) โรงงานบางแห่งจะนำเถ้าแกลบมาโรยลงบนผิวหน้าอ่างรับน้ำโลหะ (Tundish) เพื่อป้องกันการเย็นตัวอย่างรวดเร็วของเหล็ก และเพื่อให้เหล็กแข็งตัวอย่างสม่ำเสมอเพราะเถ้าแกลบมีสมบัติเป็นฉนวนความร้อนที่ดี และมีจุดหลอมเหลวสูง

2.2.2.2 อุตสาหกรรมซีเมนต์และคอนกรีต (Cement and Concrete) มีการใช้แก้ว
 แกลบในอุตสาหกรรมมีวัตถุประสงค์หลัก 2 อย่างคือ

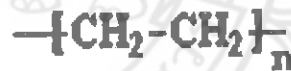
ก. ใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland) เพื่อลดต้นทุนในการผลิตอิฐ
 ก่อสร้างราคาถูกลง

ข. ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตความแข็งแรงสูง (High Strength
 Concrete)

2.2.2.3 วัสดุก่อสร้างน้ำหนักเบา (Lightweight Construction Materials) ด้วยเหตุที่
 แก้วกลบมีสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อน เช่น การนำแก้วกลบมาใช้ผลิตฝ้ากันความร้อนที่มีน้ำหนัก
 เบา เป็นต้น (บุญรักษ์, 2552)

2.3 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High-Density Polyethylene : HDPE)

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงผลิตจากแก๊สเอทิลีนที่ผ่านกระบวนการเติมสาร ที่ทำให้
 สามารถจับตัวกันเป็นพอลิเมอร์ได้ภายใต้แรงดันขนาดต่างๆ ทำให้ได้พอลิเมอร์ที่มีขนาดตั้งแต่น้ำหนัก
 โมเลกุลต่ำจนถึงขนาดโมเลกุลสูง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเป็นวัสดุประเภทเทอร์โมพลาสติก
 ที่ได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม เป็นพลาสติกที่มีสัญลักษณ์เลข 2 เพื่อความสะดวกสำหรับการ
 จำแนกชนิดของพลาสติกในการนำกลับไปเวียนทำใหม่ (Recycled) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่น
 สูงมีโครงสร้างทางเคมี แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 สูตรโครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
 ที่มา : ปกรณ์ และมณฑนา (2551)

โดยพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมีการจัดเรียงตัวของสายโซ่เป็นกิ่งสาขา (Branching)
 แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การจัดเรียงตัวของสายโซ่เป็นกิ่งสาขาของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
 ที่มา : ปกรณ์ และมณฑนา (2551)

2.3.1 สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมีโครงสร้างทางเคมีที่เป็นกิ่งสาขา (Branching) น้อย จึงมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ค่อนข้างสูง มีความแข็งแรง เมื่อความหนาแน่นสูงขึ้นจะทำให้มีความแข็ง และความเหนียวเพิ่มขึ้น แต่เมื่อความหนาแน่นลดลง จะทำให้ผิวแตกранได้ง่าย ทนความร้อนได้ไม่มากนัก แต่ทนสารเคมีได้ดี ทนต่อสภาพอากาศได้ดี แต่อากาศสามารถซึมผ่านได้ มีสีขาวขุ่น โปร่งแสง มีความลื่นมันในตัว มีความเหนียว และยืดหยุ่น ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส มีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำ จึงลอยน้ำได้ สามารถผสมให้มีสีต่างๆ ได้ (วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยศิลปากร, 2555) สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงสมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

สมบัติ	ปริมาณ	หน่วย
ความถ่วงจำเพาะ	0.96	-
มอดุลัสแรงดึง	26-33	MPa
ความแข็งแรงดึงสูงสุด	19.56	MPa
ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก	27.4	MPa
การยืดตัว ณ จุดขาด	100	%
อุณหภูมิหลอมเหลว	200-250	°C
อุณหภูมิตราบดีขึ้นแก้ว	-90	°C

ที่มา : บริษัท SCG Plastic จำกัด (2555)

2.3.2 การใช้งาน

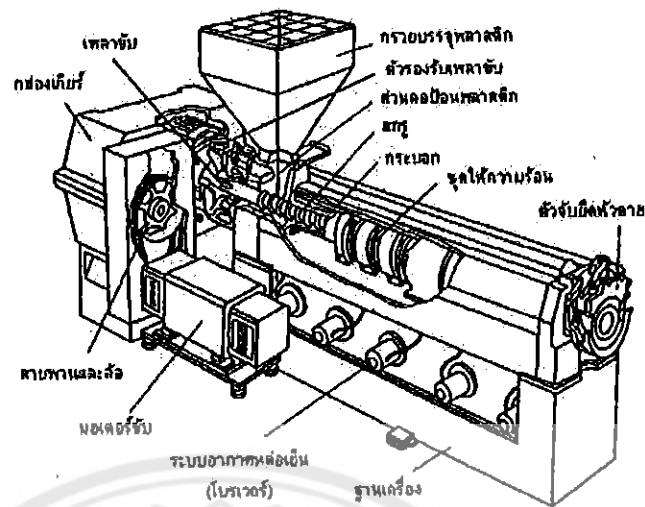
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงทนทานต่อสารเคมีและตัวทำละลายหลายชนิด มีความยืดหยุ่นต่อแรงกระแทกกระทึก ไม่แตกง่าย สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในงานต่างๆ โดยเฉพาะการผลิตภาชนะบรรจุที่เตรียมจากการเป่าจากแม่พิมพ์ (Blow Molding) เนื่องจากหดตัวในแม่พิมพ์ได้ดีมาก ไม่ติดแม่พิมพ์ ทำให้ถอดออกจากแม่พิมพ์ได้ง่าย ภาชนะที่ผลิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เช่น ขวดบรรจุนมสด ขวดบรรจุน้ำยาซักผ้า ถังบรรจุน้ำมันในยานยนต์ ท่อประปา โตะแก้อีหับได้ ถังพลาสติก ขวดน้ำดื่ม เป็นต้น นอกจากนี้ ยังใช้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงในการบุพื้นบ่อฝังกลบขยะ เพื่อป้องกันการรั่วซึมของสารเคมีลงสู่พื้นดิน และแหล่งน้ำธรรมชาติ (วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยศิลปากร, 2555)

2.4 กระบวนการผลิต

กระบวนการขึ้นรูปพอลิเมอร์นับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่ออุตสาหกรรมพอลิเมอร์เพราะเกี่ยวข้องกับการนำเอาพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ที่มีสมบัติเหมาะสมมาผลิตเป็นรูปทรงต่างๆ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์โดยทั่วไปการขึ้นรูปพอลิเมอร์ทำได้โดยการหลอมให้อยู่ในสถานะของเหลวแล้วทำการเคลื่อนของเหลวนี้ผ่านหรือเข้าไปเติมในแม่พิมพ์แล้วปล่อยให้เย็นตัวลงเพื่อให้ได้ชิ้นงานในรูปทรงที่ต้องการการขึ้นรูปทำได้หลายวิธีเช่นเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder Machine), เครื่องขึ้นรูปแบบฉีด (Injection Molding Machine) เป็นต้น

2.4.1 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder Machine)

กระบวนการผลิตโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว หรือเอ็กซ์ทรูด (Extrusion Processes) เป็นกระบวนการแปรรูปพลาสติกให้ได้รูปทรงตามที่ต้องการโดยการอัดพลาสติกหลอมไหลผ่านหัวตาย (Die) ตามรูปร่างที่เหมาะสม โดยการแปรรูปพลาสติกแบบเอ็กซ์ทรูดจัดเป็นการแปรรูปแบบกระบวนการต่อเนื่อง (Continuous Process) และผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่จะเป็นผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จรูปที่ต้องนำไปเข้ากระบวนการชนิดอื่น เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายก่อนจะนำไปใช้งานต่อไปในกระบวนการเอ็กซ์ทรูด (Extrusion) จะใช้เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) ที่เป็นพลาสติกผงหรือเม็ดพลาสติกมาทำการหลอมให้เป็นเนื้อเดียวกันแล้วผลักดันโดยการหมุนของสกรูให้พลาสติกที่หลอมไหลผ่านหัวตายที่มีรูปทรงตามลักษณะชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิตพลาสติกที่หลอมจะแข็งตัวเมื่อออกจากตาย เนื่องจากการหล่อเย็นส่วนพลาสติกในกลุ่มเทอร์โมเซต (Thermoset) บางตัวก็สามารถที่จะเอ็กซ์ทรูดได้เช่นกัน แต่พอลิเมอร์ในกลุ่มนี้จะเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงอันเนื่องมาจากความร้อนในขณะที่ทำการเอ็กซ์ทรูด นอกจากนี้การเอ็กซ์ทรูดสามารถใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกในรูปแบบต่างๆ เช่น ผลิตเส้นใย (Fiber), แผ่นพลาสติก (Sheet) และฟิล์มพลาสติก (Film) เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเอ็กซ์ทรูดสามารถขึ้นรูปทรงต่างๆ ได้และยังสามารถใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูดในการผสมเม็ดพลาสติกเพื่อเตรียมคอมปาวด์ (Compound) โดยการผสมพลาสติกกับสารเติมแต่ง (Additives) และสารตัวเติม (Filler) ชนิดต่างๆ เข้าด้วยกันเพื่อให้ได้พลาสติกที่ใช้สำหรับการแปรรูปด้วยวิธีการอื่นต่อไป (บรรเลง, 2548) โดยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวแสดงดังรูปที่ 2.9

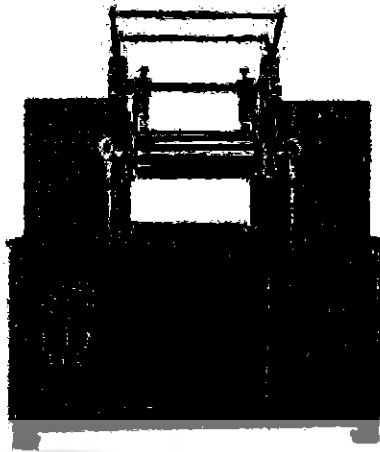


รูปที่ 2.9 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder Machine)

ที่มา : เจริญ (2542)

2.4.2 เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill Machine)

เครื่องผสมชนิดนี้ประกอบด้วยลูกกลิ้งสองลูก ซึ่งทำจากเหล็กหล่อที่มีการเคลือบผิวให้มีความแข็งและลื่น ลูกกลิ้งทั้งสองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 300-500 มิลลิเมตร และความยาวระหว่าง 800-1,500 มิลลิเมตร โดยวางขนานกัน และหมุนสวนทางกันด้วยความเร็วแตกต่างกันเล็กน้อย ในขณะที่ทำการผสมจะมีการให้ความร้อนแก่พลาสติกผ่านผิวลูกกลิ้งทั้งสอง โดยความร้อนของลูกกลิ้งมาจากชุดให้ความร้อนไฟฟ้าหรือการไหลเวียนของน้ำร้อน หรือน้ำมันร้อนผ่านภายในลูกกลิ้ง ข้อดีของเครื่องผสมชนิดนี้ คือ สามารถมองเห็นลักษณะ และระดับการผสมเข้ากันของสารเติมแต่ง และพลาสติกได้ สามารถทำการผสมในปริมาณที่แตกต่างกันได้ สะดวกในการทำความสะอาด สະอาดรวมทั้งการผสมชนิดนี้จะได้ผลิตภัณฑ์ในลักษณะแผ่น ซึ่งเหมาะสำหรับการแปรรูปต่อโดยบางเทคนิคเช่น การอัด (Compression Molding) สำหรับข้อเสียของเครื่องผสมชนิดนี้ คือ ผู้ปฏิบัติต้องมีทักษะในการใช้เครื่อง และมีความรู้เกี่ยวกับการคอมพิวเตอร์สูง ต้องมีการช่วยผสมโดยการปาดพลาสติกให้เข้าไปอยู่ตรงกลางระหว่างลูกกลิ้งเสมอ ความสม่ำเสมอในการผสมแต่ละครั้งค่อนข้างต่ำ และเกิดการสูญเสียสารเคมีหรือเกิดการปนเปื้อนได้ง่ายเพราะเป็นการผสมในระบบเปิด (กฤษวรรษ, 2552) โดยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง แสดงดังรูปที่ 2.10

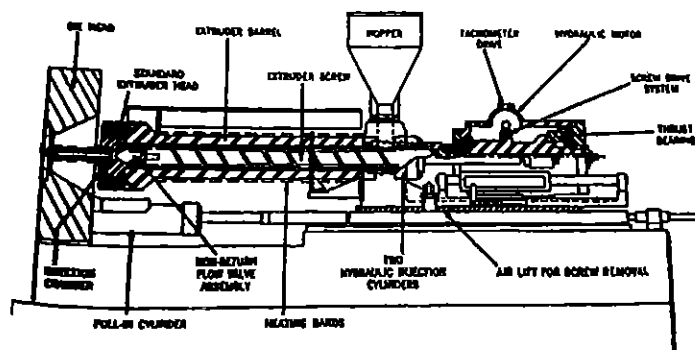


รูปที่ 2.10 เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill Machine)

ที่มา: ชาญศักดิ์ (2553)

2.4.3 เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding Machine)

เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding Machine) ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ ชุดฉีด (Injection Unit) จะทำหน้าที่ดึงพลาสติกเข้าสู่กระบอกฉีดหลอมเหลวแล้วส่งพลาสติกเหลวไปที่หัวฉีด ทำการฉีดและรักษาความดันย้า, ชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit) ทำหน้าที่ในการยึดแม่พิมพ์ทั้งสองส่วน เลื่อนปิด-เปิดแม่พิมพ์ ให้แรงในการปิดแม่พิมพ์หล่อเย็นชิ้นงานฉีดพลาสติก และปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ประกอบไปด้วยแผ่นยึดแม่พิมพ์ ซึ่งมีส่วนที่เคลื่อนที่และอยู่กับที่ เพลาหน้าเลื่อน ระบบขับเคลื่อนปิด-เปิดแม่พิมพ์ และแผ่นยึดระบบขับเคลื่อน, ฐานเครื่อง (Base Unit) ทำหน้าที่คอยรับน้ำหนักของชุดฉีด และชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ ยึดติดอุปกรณ์ไฮดรอลิกทั้งหมดในเครื่องและเป็นถังน้ำมันไฮดรอลิก โดยส่วนใหญ่แล้วฐานเครื่องจะทำด้วยเหล็กเหนียวที่เชื่อมประกอบเข้าเป็นฐานเครื่องเพื่อความแข็งแรง และสามารถรับน้ำหนักมากๆ ได้ดี (ศิริรัตน์, 2554)



รูปที่ 2.11 เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding Machine)

ที่มา : สมศักดิ์ (2543)

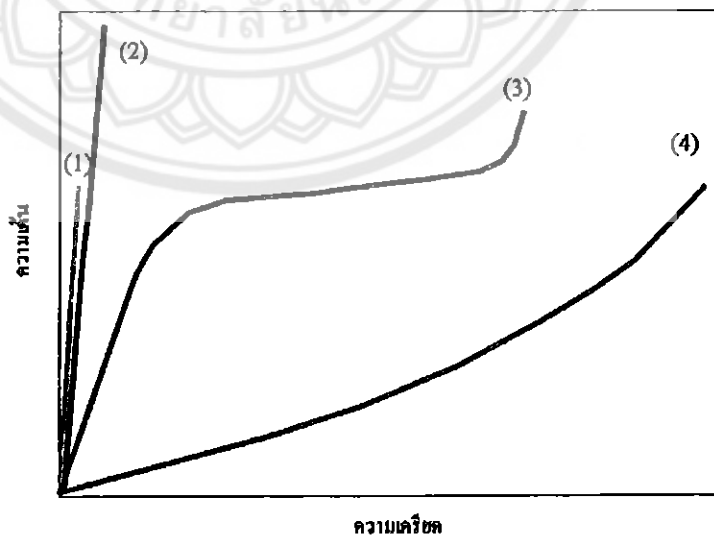
2.5 การทดสอบสมบัติของวัสดุ

โดยในการทดสอบสมบัติของวัสดุจะทำการศึกษาสมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.5.1 การทดสอบสมบัติเชิงกล

สมบัติเชิงกลนับว่ามีความสำคัญมากในการกำหนดการใช้ประโยชน์วัสดุพอลิเมอร์ ความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) คือสมบัติเชิงกลพื้นฐานของพอลิเมอร์ และสามารถนำมาพิจารณาประกอบการประยุกต์ใช้ประโยชน์พอลิเมอร์ได้ สมบัตินี้สามารถทดสอบได้โดยการดึงขึ้นตัวอย่างพอลิเมอร์ด้วยแรงที่ควบคุมได้ ในขณะที่เดียวกันก็วัดการยืดตัวของชิ้นตัวอย่างเทียบกับขนาดของแรงที่ใช้ การทดลองนี้เรียกว่า เทนไซ เอกเพอริเมนต์ (Tensile Experiment) จากนั้นจึงคำนวณความเค้น จากอัตราส่วนของแรงต่อหน่วยพื้นที่ และคำนวณความเครียด จากอัตราการยืดตัวของชิ้นตัวอย่างต่อความยาวเริ่มต้น กราฟที่ได้จากการวาดความเค้นและความเครียด จะมีลักษณะ และความชัน (อัตราส่วนของความเค้นต่อความเครียด) ที่ต่างกันตามสมบัติของพอลิเมอร์ กล่าวคือ สมบัติแบบพลาสติก (Plastic) สมบัติแบบวัสดุยืดหยุ่น (Elastomer) และสมบัติแบบเส้นใย (Fiber) โดยความชันของกราฟจะบ่งบอกความแข็ง (Modulus) ของพอลิเมอร์ (ปกรณ์ และมัทธนา, 2551)

กราฟระหว่างความเค้น และความเครียดมีค่าอัตราส่วนระหว่างความเค้นและความเครียดเรียกว่า มอดูลัส ซึ่งหาได้จากค่าความชันของกราฟจากค่ามอดูลัสและลักษณะของกราฟนี้สามารถจำแนกพอลิเมอร์เป็น 4 ชนิดใหญ่ๆ คือ พลาสติกแข็งเกร็ง (Rigid Plastic), เส้นใย (Fiber), พลาสติกชนิดยืดหยุ่น (Flexible Plastic) และวัสดุอีลาสโตเมอร์ (Elastomer) ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 กราฟระหว่างความเค้นและความเครียดของพอลิเมอร์ที่มีสมบัติแบบต่างๆ

ที่มา : ปกรณ์ และมัทธนา (2551)

กราฟเส้นที่ 1 สมบัติแบบวัสดุพลาสติกชนิดแข็งเกร็ง (Rigid Plastic) พอลิเมอร์จะยืดตัวได้น้อย เมื่อเพิ่มความเค้นจะได้กราฟที่มีความชันสูงมาก และเมื่อเพิ่มความเค้นถึงค่าหนึ่งจะทำให้ชิ้นตัวอย่างไม่สามารถทนได้อีกและขาดเป็น 2 ชิ้น ส่งผลให้กราฟมีความยาวน้อยที่สุด เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC), พอลิสไตรีน (PS), พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) เป็นต้น

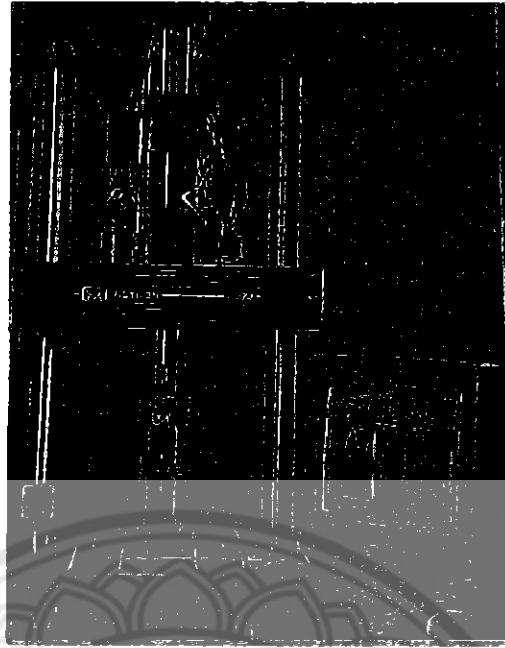
กราฟเส้นที่ 2 สมบัติแบบวัสดุเส้นใย (Fiber) พอลิเมอร์จะยืดตัวได้น้อยเมื่อเพิ่มแรงเค้น เช่นเดียวกับพลาสติกแบบแข็งเกร็ง แต่จะทนความเค้นได้มากกว่าก่อนชิ้นตัวอย่างจะขาด ทำให้ได้กราฟที่มีความชันใกล้เคียงกับชนิดแรกแต่ความยาวมากกว่า เช่น เส้นใยแก้ว (Fiber Glass), เส้นใยคาร์บอน (Carbon Fiber) เป็นต้น

กราฟเส้นที่ 3 สมบัติแบบวัสดุพลาสติกชนิดยืดหยุ่น (Flexible Plastic) ในช่วงแรก พอลิเมอร์จะยืดตัวได้ค่อนข้างน้อย เมื่อเพิ่มความเค้นจนถึงขณะหนึ่งจะเปลี่ยนเป็นยืดตัวอย่างมาก เมื่อเทียบกับความเค้นแล้วกลับมายืดตัวได้น้อยอีกครั้งหนึ่ง ก่อนที่ชิ้นงานจะขาดมักจะพบในพอลิเมอร์ที่เป็นแบบกิ่งผลึก เช่น พอลิเอทิลีน (PE), พอลิพรอพิลีน (PP) เป็นต้น

กราฟเส้นที่ 4 สมบัติแบบวัสดุอีลาสโตเมอร์ (Elastomer) พอลิเมอร์จะยืดตัวอย่างมากเทียบกับการเพิ่มความเค้นเพียงเล็กน้อยจึงได้กราฟที่มีความชันต่ำที่สุด และจะยืดตัวได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุชนิดอื่นก่อนที่ชิ้นงานจะขาด มักจะพบในพอลิเมอร์ที่เป็นอสัณฐาน เช่น ยาง เป็นต้น (ปกรณ และมณฑนา, 2551)

2.5.1.1 การทดสอบแรงดึง (Tensile Test)

การทดสอบแรงดึง คือ การวัดความทนทานของวัสดุที่ได้รับแรงคงที่หรือได้รับแรงอย่างช้า ๆ บอกลักษณะความแข็งแรงของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึงความแข็งแรงของการยึดเกาะทดสอบกับชิ้นงานลักษณะดัมเบลล์ โดยจะนำตัวอย่างที่จะทดสอบมาดึงอย่างช้า ๆ แล้วบันทึกค่าของความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นไว้ ขนาดและรูปร่างของชิ้นทดสอบมีต่างๆ กัน ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุนั้น ๆ มาตรฐานต่างๆ ของการทดสอบโดยการทดสอบแรงดึงใช้ในการตรวจวัดพฤติกรรมเชิงกลของวัสดุภายใต้แรงดึงหรือการยึดในแนวแกน ข้อมูลและการคำนวณในการทดสอบโดยทั่วไป ได้แก่ ขีดจำกัดการยืดหยุ่น (Elastic Limit) ร้อยละการดึงยืด (Percent Elongation) มอดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) จุดคราก (Yield Point) และความแข็งแรง ณ จุดคราก (Yield Strength) เป็นต้น เครื่องวัดความแข็งแรงดึงแสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile Testing Machine)

ที่มา: จินตมัย (2547)

ความเค้น (Stress) เป็นความเข้มของแรงที่เกิดขึ้นกระจายอยู่ภายในวัสดุในระหว่างการทดสอบค่าความเค้น คำนวณได้จากแรงกระทำหรือน้ำหนักดึงหารด้วยพื้นที่หน้าตัดเริ่มต้น วัสดุที่กลับคืนรูปทรงเดิมโดยปราศจากการเสียรูปถาวร หลังจากให้นำความเค้นออกเรียกว่า วัสดุยืดหยุ่น และวัสดุเหล่านี้จะแสดงพฤติกรรมแบบยืดหยุ่น ในช่วงยืดหยุ่นของวัสดุจะใช้กฎของฮุกส์ (Hook's Law) ในการอธิบายพฤติกรรมและความเครียดที่เกิดขึ้น ในช่วงนี้จะมีลักษณะเป็นสัดส่วนกับความเค้นที่กระทำในกราฟความเค้นและความเครียดช่วงยืดหยุ่น คือ ช่วงเริ่มแรกของกราฟจนถึงช่วงขีดจำกัดการยืดหยุ่นช่วงขีดจำกัดการยืดหยุ่น คือ ตำแหน่งซึ่งความเค้นเพิ่มขึ้นและเริ่มเข้าสู่ช่วงของการเสียรูปถาวร

ความเครียด (Strain) เมื่อชิ้นงานได้รับแรงดึงในทางเดียวเป็นเหตุให้ชิ้นงานเกิดการยืดออกในทิศทางของแรงนั้นการยืดออกในที่นี้เรียกว่าความเครียด (Strain) ก่อนทำการทดสอบต้องวัดพื้นที่หน้าตัดและระยะทดสอบเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ ผลต่างระหว่างระยะทดสอบเริ่มต้นกับสุดท้ายเรียกว่าระยะยืด (Elongation) เมื่อนำค่าระยะยืดหารด้วยระยะทดสอบเริ่มต้นเรียกว่าความเครียด ซึ่งจากการทดสอบทำให้สามารถหาค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) มอดูลัสของยังส์ (Young's Modulus) และร้อยละการดึงยึดณจุดขาด (% Elongation at Break) จากสมการดังต่อไปนี้

ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength: σ)

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (2.1)$$

เมื่อ

σ = ความเค้นเนื่องจากการดึงชิ้นงานตัวอย่าง (MPa)

F = แรงที่ใช้ในการดึงยึดชิ้นงานตัวอย่าง ณ จุดสูงสุด (N)

A_0 = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานตัวอย่าง (mm^2)

มอดูลัสของยังส์ (Young's Modulus : E)

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad (2.2)$$

เมื่อ

E = มอดูลัสของยังส์ (MPa)

$\Delta\sigma$ = ความแตกต่างของความเค้นระหว่างสองตำแหน่งบนเส้นตรง (MPa)

$\Delta\varepsilon$ = ความแตกต่างของความเครียดระหว่างสองตำแหน่งบนเส้นตรง

ร้อยละการดึงยึดจนจุดขาด (% Elongation at Break)

$$\% \text{ Elongation at Break} = \frac{l-l_0}{l_0} \times 100 \% \quad (2.3)$$

เมื่อ

% Elongation at Break = ร้อยละการดึงยึดจนจุดขาด

l_0 = ความยาวเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ (mm)

l = ความยาวชิ้นทดสอบหลังการทดสอบ (mm)

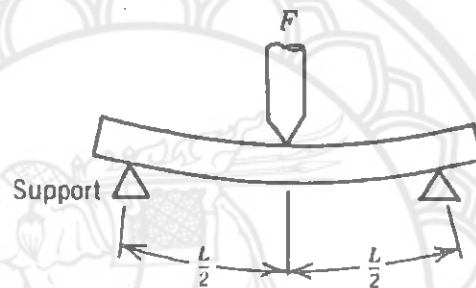
2.5.1.2 ความแข็งแรงโค้งงอ (Bending Test)

การทดสอบความแข็งแรงโค้งงอเป็นการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปของวัสดุหลังจากทำการดัดโค้ง และเป็นการวัดแรงที่ต้องการให้ชิ้นงานเกิดการงอตัว ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ เช่น ค่ามอดูลัสความโค้งงอ (Flexural Modulus) ใช้ในการบอกถึงความแข็งของวัสดุเมื่อเกิดการโค้งงอโดยทั่วไปการทดสอบนี้เหมาะสำหรับพลาสติกที่มีลักษณะแข็งเปราะ แต่ไม่เหมาะกับการพลาสติกที่มีลักษณะอ่อนหรือสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายใต้แรง

ตัดได้มาก เนื่องจากสมการที่ใช้ในการคำนวณของการทดสอบนี้ จะมีความถูกต้องในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในระดับต่ำ วัสดุจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแบบเชิงเส้น ซึ่งจะอยู่ภายใต้แรงตัด โดยทั่วไปมักจะไม่ใช่ทดสอบเกินระดับความเครียดที่ 5% (จินตมัย และคณะ, 2547)

การทดสอบความแข็งแรงโค้งงอแบบ 3 จุด (Three Point Bending) เป็นการให้แรงกระทำที่จุดกึ่งกลางของชิ้นงานเท่ากัน แสดงได้ดังรูปที่ 2.14 เหมาะสำหรับการทดสอบพลาสติกที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ดี หักกดที่ให้แรงกระทำและชุดรองรับมีลักษณะเป็นใบมีดมน (Round Knife Edges) หรือเพลาลูโลหะแข็ง

การบันทึกข้อมูลแรงที่กระทำกับการโค้งงอที่เกิดขึ้นสามารถนำไปเขียนเป็นกราฟแรงความเค้นและความเครียดของการโค้งงอ เพื่อใช้ในการอธิบายคุณลักษณะของวัสดุจากการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ



รูปที่ 2.14 การทดสอบความแข็งแรงโค้งงอแบบ 3 จุด (Three Point Bending)

ที่มา : หนังสืออิเล็กทรอนิกส์มหาวิทยาลัยรามคำแหง (2554)

สำหรับการทดสอบความแข็งแรงโค้งงอนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.4 และมอดูลัสความโค้งงอได้จากสมการที่ 2.5

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

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

เมื่อ

σ_f = ความแข็งแรงโค้งงอ (MPa)

ϵ_b = มอดูลัสความโค้งงอ (MPa)

L = ระยะห่างของฐานรองรับชิ้นงาน (mm)

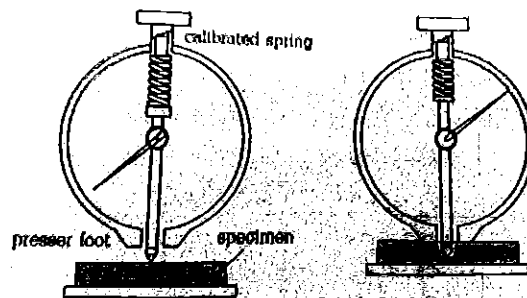
F = แรงกดสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานเกิดความโค้งงอ (N)

- h = ความหนาของชิ้นงาน (mm)
 b = ความกว้างของชิ้นงาน (mm)
 ΔF = ความแตกต่างของความเค้นระหว่างสองตำแหน่งบนเส้นตรง (N)
 Δd = ความแตกต่างของความเครียดระหว่างสองตำแหน่งบนเส้นตรง (mm)

2.5.1.3 การทดสอบความแข็งกด (Hardness Test)

ความแข็งเปรียบเสมือนการวัดค่ามอดูลัสที่ต้านทานการกดเป็นรอย (Indentation) ของวัสดุ นอกจากนี้ยังใช้บ่งบอกถึงความต้านทานต่อการขีดข่วนเป็นรอย (Scratch Resistance) และการกระดุ้งตัว (Resilience) ได้เช่นกัน ลักษณะของการกดให้เป็นรายนั้นเป็นการผสมผสานระหว่าง การดึง การเฉือนและการกด ผลการทดสอบขึ้นอยู่กับรูปแบบของหัวกด และขนาดแรงที่ใช้กดเป็นสำคัญ ความแข็งกดเป็นที่นิยมใช้สำหรับทดสอบ เนื่องจากทำได้ง่าย มีให้เลือกหลายวิธี เพื่อให้เหมาะกับวัสดุหลายๆ ประเภท ความแข็งกดใช้ตรวจสอบกันทั่วไปสำหรับยาง และโลหะ แต่สำหรับพลาสติกแล้วใช้ค่อนข้างน้อย บ่อยครั้งที่พบเห็นการตรวจวัดความแข็งกดคุณภาพของพลาสติกเพื่อดูผลกระทบจากสภาพแวดล้อมมากกว่า ในการทดสอบแรงที่ใช้กดสามารถทำได้ 3 วิธี คือ ให้แรงกระทำที่แล้ววัดผลจากการรอยกด, วัดแรงที่ให้รอยการกดเท่ากัน และการวัดทั้งแรงและรอยกดต่างๆ พร้อมกัน

มาตรฐานที่ใช้วัดความแข็งกดพอลิเมอร์หรือพลาสติกที่ใช้กันทั่วไป เช่น การทดสอบความแข็งกดแบบดูโรมิเตอร์แบบชอร์ (Shore) เป็นเครื่องทดสอบด้วยมือ ซึ่งออกแบบให้ใช้ในการทดสอบความแข็งกับวัสดุอ่อน เช่น ยาง พลาสติก และวัสดุเชิงประกอบต่างๆ เป็นต้น แสดงได้ดังรูปที่ 2.15 ซึ่งมีสองชนิดพื้นฐานได้แก่ ชอร์ A กับ D ทั้งสองชนิดนี้มีขั้นตอนการทดสอบเหมือนกัน คือ สปริงจะส่งน้ำหนักไปยังหัวกดซึ่งจะกดลงบนพื้นผิวของชิ้นทดสอบความต้านทานต่อการเกิดรอยกดของพื้นผิวชิ้นทดสอบสามารถอ่านค่าได้โดยตรงจากหน้าปัดดูโรมิเตอร์ โดยแบบ A จะมีสปริงที่ให้น้ำหนักกดระหว่าง 56-822 กรัม ส่วนแบบ D น้ำหนักกดอยู่ในช่วง 0-45 กรัม ทั้งสองแบบนี้อ่านค่าความแข็งได้จาก 0-100 กล่าวคือ วัสดุที่อ่านค่าได้สูงแสดงว่ามีความแข็งมากหรือมีความต้านทานต่อการเกิดรอยกดได้สูง ส่วนการแสดงผลหน่วยจะขึ้นอยู่กับชนิดที่ใช้เช่น 50A หรือ A50 เป็นต้น



รูปที่ 2.15 เครื่องทดสอบความแข็งกดดูโรมิเตอร์ (Durometer) แบบชอร์ (Shore)

ที่มา : จินตมัย (2547)

รายละเอียดเกี่ยวกับลักษณะของหัวกด น้ำหนักกดที่ได้จากสปริงลักษณะการใช้งานของสเกลต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 2.3 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D2240 ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ลักษณะหัวกดแบบ D (หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ทรอนิกมหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2554)

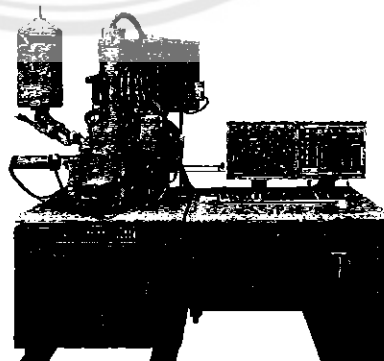
ตารางที่ 2.3 รายละเอียดการทดสอบความแข็งกดแบบคูโรมิเตอร์ (Durometer)

สเกล	น้ำหนักจากสปริง	รายละเอียดหัวกด	รูปหัวกด	ประเภทชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ
A	821 gf 1.81 lbs	กรวยมุม 35° ปลายตัด		ยางหนังเทียม wax หรือวัสดุกลุ่ม Elastomer ที่อ่อนนุ่ม
B	821 gf 1.81 lbs	กรวยมุม 30° ปลายแหลม		ยางหรือ Elastomer ที่มีความแข็งไม่มากนัก
C	4.5 kgf 10 lbs	กรวยมุม 35° ปลายตัด		ยางหรือพลาสติกที่มีความแข็งปานกลาง
D	4.5 kgf 10 lbs	กรวยมุม 30° ปลายแหลม		ยางหรือพลาสติกที่มีความแข็งมาก

ที่มา : หนังสืออิเล็กทรอนิกส์ทรอนิกมหาวิทยาลัยรามคำแหง (2554)

2.5.2 การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา

ทำการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy ; SEM) แสดงได้ดังรูปที่ 2.16

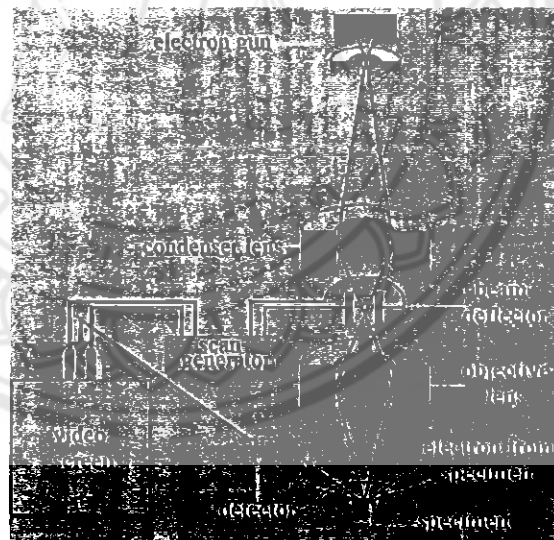


รูปที่ 2.16 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM)

ที่มา : สถาบันนวัตกรรมและพัฒนาระบบการเรียนรู้ (2552)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีการสร้างภาพโดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างชิ้นงานที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดนี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ ดังนั้นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานวิทยา และรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างชิ้นงาน เช่น หน้าตัดของโลหะ และวัสดุ เป็นต้น หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงได้ดังรูปที่ 2.17

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน ซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (Condenser Lens) เพื่อให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective Lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษาหลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงาน จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron) ขึ้น ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึกและแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไป และสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ได้เลย



รูปที่ 2.17 แสดงหลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ที่มา : สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้ (2552)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

E.P. Ayswarya, K.F. Vidya Francis, V.S. Renju and Eby Thomas Thachil (2012) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการใช้แก้วกลบขาวเป็นสารตัวเติมในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)

ในปริมาณ 0, 0.5, 1, 1.5, 2 และ 2.5 % โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง พบว่าที่ปริมาณเก่าแกลบข้าวที่น้อยกว่า 1.5 % โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง วัสดุเชิงประกอบมีสมบัติเชิงกลโดยรวมที่ดีขึ้น เมื่อศึกษาสัณฐานวิทยา พบว่าเก่าแกลบข้าวมีการกระจายตัวที่ดีในเนื้อพอลิเมอร์ และมีความเข้ากันได้ดี

Iftekhhar Ahmad and Prakash A. Mahanwar (2010) เป็นการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่มีการใช้เก่าแกลบข้าวเป็นสารตัวเติมในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่ขนาด 45, 53, 90 ไมโครเมตร ที่ปริมาณ 5, 10, 15, 20, 30 และ 40 % โดยน้ำหนักของเก่าแกลบ พบว่าวัสดุเชิงประกอบที่มีการใช้เก่าแกลบข้าวที่ปริมาณ 40 % มีผลทำให้สมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอ มอดูลัสความโค้งงอ และความแข็งกดมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น และวัสดุเชิงประกอบที่มีการใช้เก่าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาด 45 ไมโครเมตร มีผลทำให้สมบัติด้านมอดูลัสของยังส์ และความแข็งแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้น

ยุพาพร และคณะ (2546) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นในการใช้เก่าดำจากแกลบข้าวที่เตรียมได้จากการนำแกลบข้าวไปเผาเพื่อเป็นสารตัวเติมในวัสดุวิศวกรรมพอลิเมอร์ คือ พอลิออกซีเมทธีลีน (Polyoxymethylene) หรือพอม (POM) อัตราส่วนระหว่างเก่าแกลบดำกับพอม ได้แก่ 0.05, 0.1, 0.25, 3, 5 และ 10 % โดยน้ำหนักของพอม พบว่าการผสมพอมกับเก่าแกลบดำที่อัตราส่วนน้อยกว่า 3 % โดยน้ำหนักของพอม จะทำให้สมบัติด้านความทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น ทั้งนี้จากการศึกษาลักษณะโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของวัสดุผสมระหว่างพอมกับเก่าแกลบดำจะพบว่า เมื่ออัตราส่วนของเก่าแกลบดำน้อยกว่า 3 % โดยน้ำหนักของพอมอนุภาคของเก่าแกลบดำจะกระจายอยู่อย่างเป็นระเบียบในเนื้อพอลิเมอร์

M.Y. Ahmad Fuad, Z. Ismail, M.S. Mansor, Z.A. Mohd Ishak and A.K. Mohd Omar (1995) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการใช้เก่าแกลบข้าวเป็นสารตัวเติมในพอลิพรอพิลีน ที่ปริมาณ 10 - 40 % โดยน้ำหนักของพอลิพรอพิลีน โดยเปรียบเทียบผลกับวัสดุเชิงประกอบที่มีการใช้ซิลิกาสังเคราะห์เป็นสารตัวเติมในพอลิพรอพิลีน ทำการผสมวัตถุดิบด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว พบว่าเมื่อปริมาณของเก่าแกลบข้าวเพิ่มขึ้น มีผลทำให้สมบัติเชิงกลโดยรวมของวัสดุเชิงประกอบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลที่สอดคล้องกับวัสดุเชิงประกอบที่มีการใช้ซิลิกาสังเคราะห์เป็นสารตัวเติมในพอลิพรอพิลีน

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินโครงการงาน ซึ่งจะอธิบายถึงวัสดุและเครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมโครงการงาน ขั้นตอนในการดำเนินงาน วิธีการดำเนินงาน การวิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 วัสดุที่ใช้ในโครงการงาน

3.1.1 แก้วกลมดำจากเปลือกข้าว จากโรงสีข้าวในจังหวัดพิษณุโลก

3.1.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High-Density Polyethylene : HDPE) เกรด HDPE H5818J ซึ่งมีสมบัติดังตารางที่ 3.1 ดังนี้

ตารางที่ 3.1 สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เกรด HDPE H5818J

สมบัติ	มาตรฐาน	ปริมาณ	หน่วย
อัตราการไหล (Melt Flow Rate (200 °C/ 5 kg))	ASTM D1238	18	g/10 min
ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก(Tensile Strength at Yield)	ASTM D638	27.4	MPa
การยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at Break)	ASTM D638	100	%
มอดุลัสความโค้งงอ (Flexural Modulus)	ASTM D790	1.27	GPa
ความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength)	ASTM D256	19.8	J/m
อุณหภูมิการขึ้นรูป	-	177-260	°C

ที่มา : บริษัท SCG Plastic จำกัด (2555)

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในโครงการงาน

3.2.1 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder Machine)

3.2.2 เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill Machine)

3.2.3 เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding Machine)

3.2.4 เครื่องทดสอบความแข็งกดดูโรมิเตอร์ (Durometer แบบ Shore D)

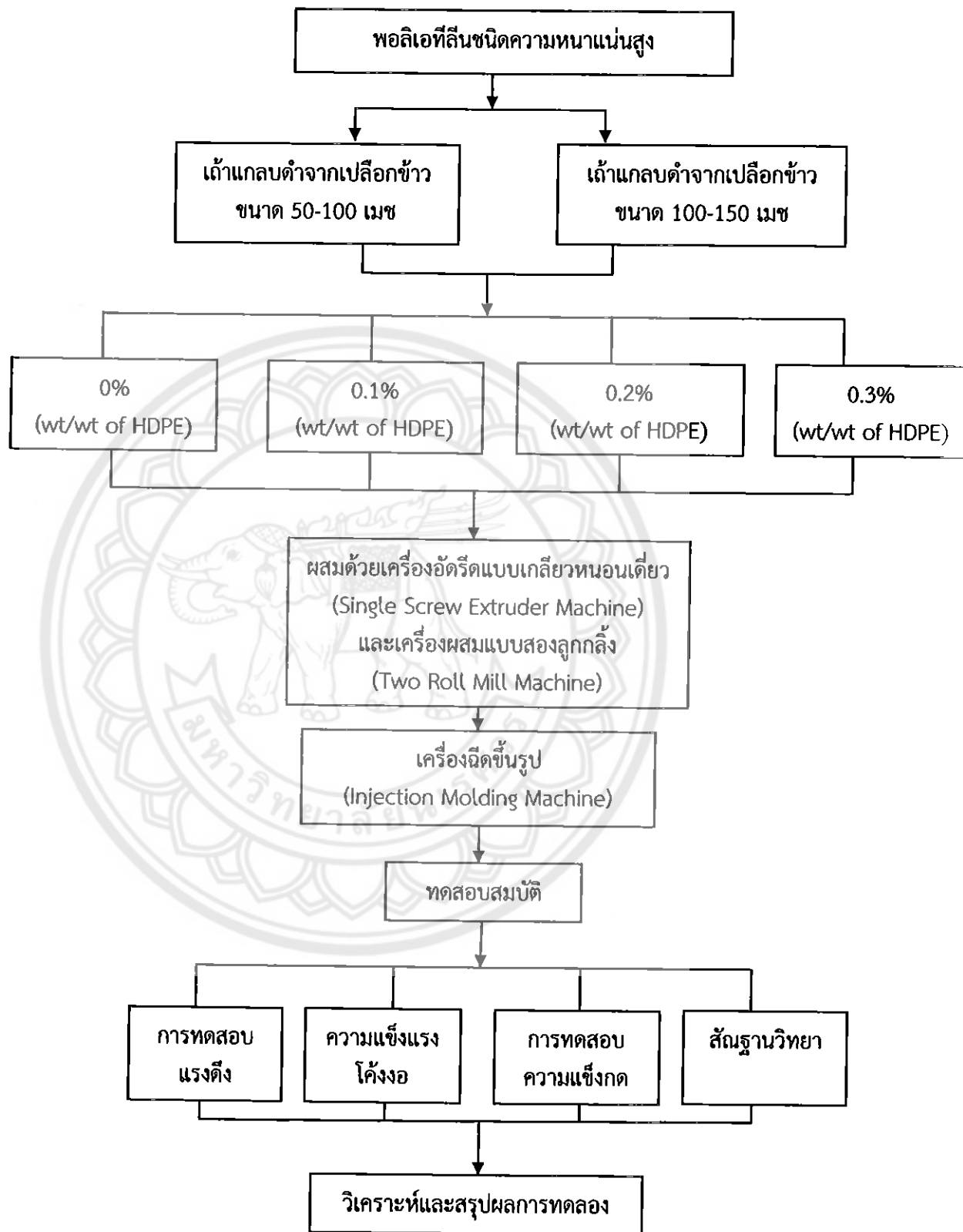
3.2.5 เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile Testing Machine)

3.2.6 เครื่องอบ

3.2.7 ตะแกรงร่อน ขนาด 50-150 เมช

3.2.8 เครื่องชั่ง

แผนการดำเนินงาน แสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินงาน

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมเส้นแกลบดำจากเปลือกข้าว

3.3.1.1 นำเส้นแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ได้จากโรงสีไปคัดขนาดที่ขนาด 50-100 เมช และขนาด 100-150 เมช ด้วยตะแกรงร่อนขนาด 50-150 เมช

3.3.1.2 อบเส้นแกลบดำจากเปลือกข้าว ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบ 24 ชั่วโมง

3.3.2 การเตรียมวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเส้นแกลบดำจากเปลือกข้าว

3.3.2.1 ผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเส้นแกลบดำจากเปลือกข้าว ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนที่ใช้ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเส้นแกลบดำจากเปลือกข้าว

ปริมาณพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง	ปริมาณเส้นแกลบดำจากเปลือกข้าว (% wt/wt of HDPE)
100	0
100	0.1
100	0.2
100	0.3

3.3.2.2 ผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเส้นแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาด 50-100 เมช และขนาด 100-150 เมช

3.3.2.3 ผสมโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder Machine) โดยใช้อุณหภูมิดังตารางที่ 3.4 และเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill Machine) โดยใช้อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการผสม 10 นาที

ตารางที่ 3.4 อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการผสมโดยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

ตำแหน่งในแต่ละช่วงของเครื่อง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
Feed Zone	210
Compression Zone	220
Metering Zone	230
Die Zone	220

3.3.2.4 ทำการขึ้นรูปชิ้นงานโดยการฉีดขึ้นรูป (Injection Molding Machine) โดยใช้ อุณหภูมิดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการผลิตโดยการฉีดขึ้นรูป

ตำแหน่งในแต่ละช่วงของเครื่อง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
Feed Zone	210
Compression Zone	220
Metering Zone	230
Nozzle Zone	220

3.3.2.5 นำชิ้นงานไปทำการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ได้แก่

ก. สมบัติเชิงกล ดังต่อไปนี้

ก.1 การทดสอบแรงดึง (Tensile Test)

ก.2 ความแข็งแรงโค้งงอ (Bending Test)

ก.3 การทดสอบความแข็งกด (Hardness Test)

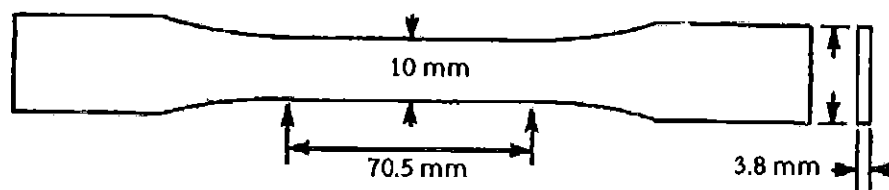
ข. สัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

3.4 วิธีการทดสอบ

3.4.1 สมบัติเชิงกล

3.4.1.1 การทดสอบแรงดึง (Tensile Test)

การทดสอบหาค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Test) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 638 Type I โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึงของวัสดุ (Universal Testing Machine) ในการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างอยู่ในรูปคัมเบลล์ โดยมีขนาดชิ้นงานดังรูปที่ 3.2 ความหนาของชิ้นงาน = 3.8 มิลลิเมตร ความกว้างของเกจ = 10 มิลลิเมตร และความยาวของเกจ = 70.5 มิลลิเมตร ใช้ชิ้นงาน ตัวอย่าง 8 ชิ้น ในแต่ละสภาวะการทดสอบ ซึ่งจะได้ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดูลัสของยังส์ และร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด โดยคำนวณจากสมการ ที่ 2.1, 2.2 และ 2.3

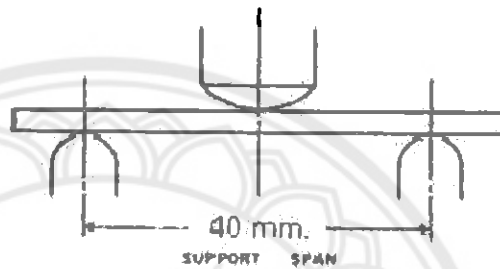


รูปที่ 3.2 ชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึง

ที่มา : ASTM D 638 (1996)

3.4.1.2 ความแข็งแรงโค้งงอ (Bending Test)

การทดสอบหาค่าความแข็งแรงโค้งงอ (Bending Test) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 790 โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึงของวัสดุ (Universal Testing Machine) ในการทดสอบชิ้นงานตัวอย่างอยู่ในรูปแท่งสี่เหลี่ยม โดยมีขนาดชิ้นงานดังรูปที่ 3.3 กำหนด $L/d = 16/1$ เมื่อ d คือเส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter), ระยะห่างของขารองรับชิ้นงาน (L) = 40 มิลลิเมตร, ความยาวของชิ้นงาน = 70 มิลลิเมตร, ความกว้างของชิ้นงาน = 10 มิลลิเมตร ใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 8 ชิ้น ในแต่ละสภาวะการทดสอบ ซึ่งจะได้ค่าความแข็งแรงโค้งงอ และมอดูลัสความโค้งงอ โดยคำนวณจากสมการที่ 2.4 และ 2.5



รูปที่ 3.3 ชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงโค้งงอ
ที่มา : ASTM D 790 (1996)

3.4.1.3 การทดสอบความแข็งกด (Hardness Test)

การทดสอบหาค่าความแข็งกด (Hardness Test) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 2240 โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งกดดูโรมิเตอร์ (Durometer) แบบชอร์ (Shore) D ในการทดสอบชิ้นงานตัวอย่างอยู่ในรูปแท่งสี่เหลี่ยม โดยใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 8 ชิ้น ในแต่ละสภาวะการทดสอบ กำหนดให้อ่านค่าทดสอบที่ประมาณ 15 วินาที หลังการกด ซึ่งจะได้ค่าความแข็งสัมพัทธ์

3.4.2 การศึกษาสัณฐานวิทยาโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM)

ทำการศึกษาลักษณะพื้นผิวและการกระจายตัวของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทีลีน ชนิดความหนาแน่นสูงกับแก้วกลมดำจากเปลือกข้าว ที่ขนาด 50-100 และ 100-150 เมช โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด การเตรียมตัวอย่างทำได้โดยนำชิ้นงานตัวอย่างที่ได้จากการขึ้นรูปมาแช่ในไนโตรเจนเหลวแล้วทำการหักทันที หลังจากนั้นนำมาเคลือบด้วยทอง และนำเข้ากล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.5 วิเคราะห์ และเปรียบเทียบผลการทดลอง

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ ทำการเปรียบเทียบผลของขนาดของแก้วกลมดำจากเปลือกข้าวที่ขนาดต่างๆ ที่มีต่อสมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยา และเปรียบเทียบปริมาณของแก้วกลมดำจากเปลือกข้าวในอัตราส่วนต่างๆ ที่มีต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับแก้วกลมดำจากเปลือกข้าว

3.6 สรุปผลการทดลอง และจัดทำรูปเล่ม

สรุปผลการทดลองของการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ ที่ขนาดและปริมาณของแก้วกลมดำจากเปลือกข้าวในอัตราส่วนต่างๆ และสรุปผลการทดลองของสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่ขนาดต่างๆ จัดทำรูปเล่ม เพื่อรายงานผลการทดลอง



บทที่ 4

ผลการทดลอง และการวิเคราะห์

โครงการนี้เป็นการศึกษาสมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเส้นใยแก้วจากเปลือกข้าวที่ขนาด 50-100 เมช, 100-150 เมช และที่ปริมาณ 0, 0.1, 0.2 และ 0.3 % โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ได้ผลดังต่อไปนี้

4.1 การศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเส้นใยแก้วจากเปลือกข้าว

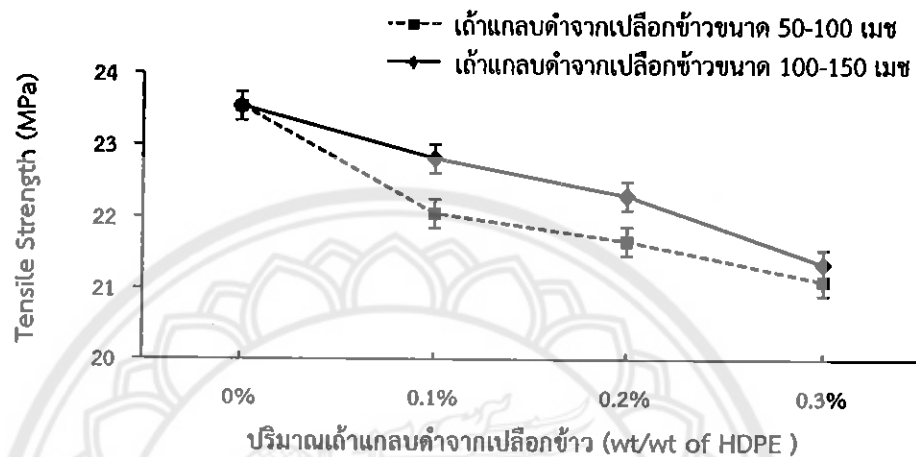
ในการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติค่าความแข็งแรงดึง ค่าความแข็งแรงโค้งงอ ค่าความแข็งกดแบบชอร์ดี ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเส้นใยแก้วจากเปลือกข้าว โดยทำการเปลี่ยนขนาดของอนุภาคของเส้นใยแก้วจากเปลือกข้าวเป็น 50-100 เมช, 100-150 เมช และเปลี่ยนปริมาณของเส้นใยแก้วจากเปลือกข้าวเป็น 0, 0.1, 0.2, และ 0.3 % โดยน้ำหนักของ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

4.1.1 การทดสอบแรงดึง (Tensile Test)

4.1.1.1 ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength)

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเส้นใยแก้วจากเปลือกข้าว โดยทำการศึกษาปัจจัยด้านขนาด คือ 50-100 เมช และ 100-150 เมช และทำการศึกษาปัจจัยทางด้านปริมาณของเส้นใยแก้วจากเปลือกข้าวที่ใช้เป็นสารตัวเติมที่ 0, 0.1, 0.2 และ 0.3 % โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.1 พบว่าวัสดุเชิงประกอบที่มีการใช้เส้นใยแก้วจากเปลือกข้าวที่ขนาดอนุภาค 100-150 เมช เป็นสารตัวเติมให้แนวโน้มสมบัติด้านความแข็งแรงดึงที่สูงกว่าการใช้เส้นใยแก้วจากเปลือกข้าวที่ขนาดอนุภาค 50-100 เมช เนื่องจากเส้นใยแก้วจากเปลือกข้าวที่ขนาดอนุภาค 100-150 เมช ซึ่งมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า มีพื้นที่ผิวสัมผัส (Surface Area) มากกว่า ส่งผลให้ความสามารถในการเกิดอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างเนื้อพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับสารตัวเติมเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ความสามารถในการเข้ากันได้ (Compatibility) เพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปได้ยากขึ้น จึงต้องใช้แรงกระทำสูงขึ้นเพื่อเข้าไปทำลายพันธะของพอลิเมอร์ ส่งผลให้สมบัติด้านความแข็งแรงดึงสูงกว่า ส่วนวัสดุเชิงประกอบที่มีการใช้เส้นใยแก้วจากเปลือกข้าวที่ขนาดอนุภาค 50-100 เมช เป็นสารตัวเติมให้แนวโน้มของสมบัติด้านความแข็งแรงดึงต่ำกว่า เนื่องจากขนาดของเส้นใยแก้วจากเปลือกข้าวที่ขนาดอนุภาค 50-100 เมช

ซึ่งมีอนุภาคที่ใหญ่กว่า ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสต่ำกว่า ความสามารถในการเกิดอันตรกิริยาระหว่างเนื้อพื้นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับสารตัวเติมลดลง มีผลทำให้ความสามารถในการเข้ากันได้ลดลง มีการกระจายตัวของแก้วกลบดำจากเปลือกข้าวในเนื้อพื้นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ต่ำ ทำให้เกิดการรวมตัวกันเป็นก้อนของแก้วกลบดำจากเปลือกข้าว จึงใช้แรงกระทำลดลง ในการทำลายพันธะของพอลิเมอร์ ส่งผลให้สมบัติด้านความแข็งแรงดิ่งต่ำกว่า

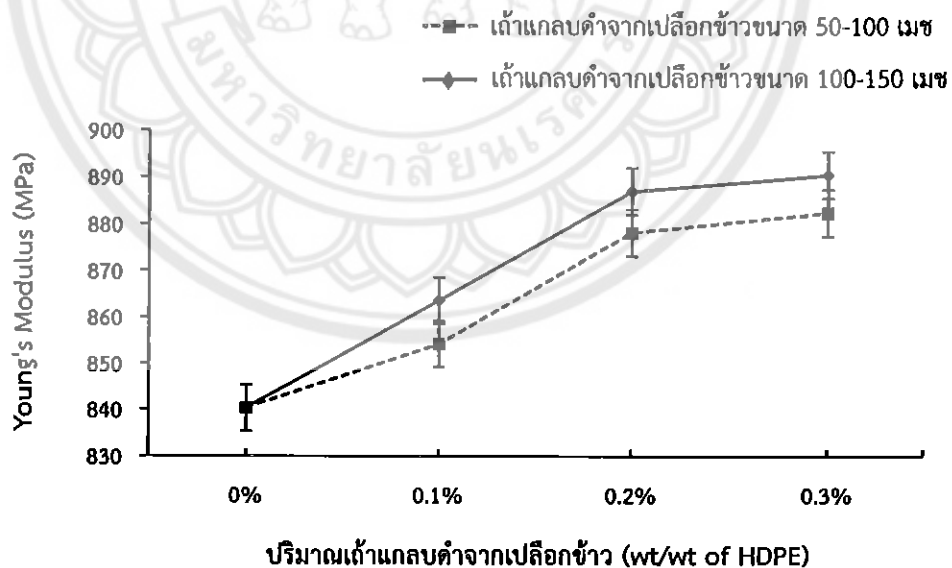


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงดิ่งของวัสดุเชิงประกอบ ที่ใช้แก้วกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาด 50-100 เมช, 100-150 เมช และปริมาณต่างๆ

จากรูปที่ 4.1 เมื่อพิจารณาถึงปริมาณของแก้วกลบดำจากเปลือกข้าวที่ 0, 0.1, 0.2 และ 0.3 % โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่มีผลต่อสมบัติด้านความแข็งแรงดิ่ง พบว่าเมื่อปริมาณของแก้วกลบดำจากเปลือกข้าวเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้สมบัติด้านความแข็งแรงดิ่งของวัสดุเชิงประกอบมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีที่ต่างกันของเนื้อพื้นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับแก้วกลบดำจากเปลือกข้าว โดยพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมีโครงสร้างเป็นไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ซึ่งเป็นสารประกอบชนิดไม่มีขั้ว ส่วนแก้วกลบดำจากเปลือกข้าว เป็นสารประกอบชนิดมีขั้ว ส่งผลให้ความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างเนื้อพื้นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับแก้วกลบดำจากเปลือกข้าวต่ำ จึงทำให้มีความสามารถในการยึดเกาะกันตรงรอยต่อระหว่างพื้นผิวต่ำ ซึ่งทำให้การถ่ายเทแรง (Stress Transfer) จากเนื้อพื้นพอลิเมอร์ไปยังสารตัวเติมเกิดขึ้นได้ไม่ดี ส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงดิ่งของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับแก้วกลบดำจากเปลือกข้าวลดลง เมื่อปริมาณแก้วกลบดำจากเปลือกข้าวเพิ่มมากขึ้น

4.1.1.2 มอดูลัสของยังส์ (Young's Modulus)

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดูลัสของยังส์ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับแก้วกลบดำจากเปลือกข้าว โดยทำการศึกษาปัจจัยด้านขนาด และศึกษาปัจจัยทางด้านปริมาณของแก้วกลบดำจากเปลือกข้าวที่ใช้เป็นสารตัวเติม ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.2 พบว่าวัสดุเชิงประกอบที่มีการใช้แก้วกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาดอนุภาค 100-150 เมช เป็นสารตัวเติมให้แนวโน้มสมบัติด้านมอดูลัสของยังส์ที่สูงกว่าการใช้แก้วกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาดอนุภาค 50-100 เมช เนื่องจากแก้วกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาดอนุภาค 100-150 เมช ซึ่งมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่า มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่า ทำให้ความสามารถในการเกิดอันตรกิริยาระหว่างเนื้อพื้นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับสารตัวเติมเพิ่มมากขึ้น เกิดการกระจายตัวในเนื้อพอลิเมอร์ที่ดีกว่า ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปได้ยากขึ้น ส่งผลให้สมบัติด้านมอดูลัสของยังส์สูงกว่า ส่วนวัสดุเชิงประกอบที่มีการใช้แก้วกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาดอนุภาค 50-100 เมช เป็นสารตัวเติมให้แนวโน้มของสมบัติด้านมอดูลัสของยังส์ต่ำกว่า เนื่องจากที่ขนาดอนุภาค 50-100 เมช เป็นอนุภาคขนาดใหญ่กว่า ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสน้อยกว่า ความสามารถในการเกิดอันตรกิริยาระหว่างเนื้อพื้นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับสารตัวเติมลดลง มีการกระจายตัวของแก้วกลบดำจากเปลือกข้าวในเนื้อพื้นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ต่ำกว่า ส่งผลให้สมบัติด้านมอดูลัสของยังส์มีค่าต่ำกว่า

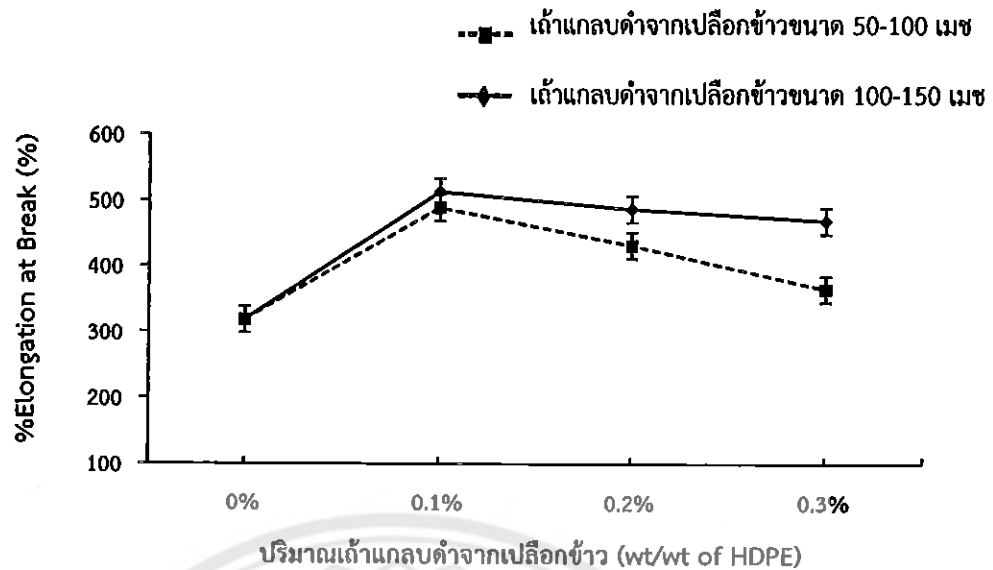


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดูลัสของยังส์ของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้แก้วกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาด 50-100 เมช, 100-150 เมช และปริมาณต่างๆ

จากรูปที่ 4.2 เมื่อพิจารณาถึงปริมาณของเก้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ 0, 0.1, 0.2 และ 0.3 % โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่มีผลต่อสมบัติด้านมอดูลัสของยังส์ พบว่าเมื่อปริมาณของเก้าแกลบดำจากเปลือกข้าวเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้สมบัติด้านมอดูลัสของยังส์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเก้าแกลบดำจากเปลือกข้าวจะเข้าไปขัดขวางความสามารถในการเคลื่อนที่ของเนื้อพื้นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ทำให้ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Deformation) ของเนื้อพื้นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเป็นไปได้ยากขึ้น อีกทั้งเก้าแกลบดำจากเปลือกข้าวมีค่ามอดูลัสที่สูง เพราะเก้าแกลบดำจากเปลือกข้าวมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลัก (บุญรักษ์, 2552) ซึ่งซิลิกาตั้งกล่าวมีโครงสร้างที่มีความแข็งตึง (Stiffness) ที่สูง เมื่อปริมาณเก้าแกลบดำจากเปลือกข้าวเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้สมบัติด้านมอดูลัสของยังส์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

4.1.1.3 ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at Break)

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเก้าแกลบดำจากเปลือกข้าว โดยทำการศึกษาปัจจัยด้านขนาด และศึกษาปัจจัยทางด้านปริมาณของเก้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ใช้เป็นสารตัวเติม ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.3 พบว่าวัสดุเชิงประกอบที่มีการใช้เก้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาดอนุภาค 100-150 เมช เป็นสารตัวเติมให้แนวโน้มสมบัติด้านร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดที่สูงกว่าการใช้เก้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาดอนุภาค 50-100 เมช เนื่องจากขนาดของเก้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาดอนุภาค 100-150 เมช ซึ่งมีอนุภาคที่เล็กกว่า ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่า โอกาสในการเกิดอันตรกิริยาระหว่างเนื้อพื้นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับสารตัวเติมเพิ่มขึ้น มีการกระจายตัวในเนื้อพื้นพอลิเมอร์ที่ดีกว่า จึงทำให้ความสามารถในการเข้ากันได้เพิ่มมากขึ้น เกิดการเปลี่ยนรูปได้ยากขึ้น ต้องใช้แรงเพิ่มมากขึ้น ทำให้การยึดตัวของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้สมบัติด้านร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดมีแนวโน้มสูงกว่า ส่วนวัสดุเชิงประกอบที่มีการใช้เก้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาดอนุภาค 50-100 เมช เป็นสารตัวเติมให้แนวโน้มของสมบัติด้านร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดต่ำกว่า เนื่องจากขนาดของเก้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาดอนุภาค 50-100 เมช มีอนุภาคที่ใหญ่กว่า มีพื้นที่ผิวสัมผัสต่ำกว่า ทำให้ความสามารถในการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง เนื้อพื้นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับสารตัวเติมลดลง โดยเก้าแกลบดำจากเปลือกข้าวมีการกระจายตัวในเนื้อพื้นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ต่ำ มีการรวมตัวกันเป็นก้อน เกิดเป็นรอยต่อระหว่างวัฏภาค มีการเปลี่ยนรูปที่ง่ายขึ้น จึงใช้แรงในการทำลายพันธะของพอลิเมอร์ที่ลดลง ทำให้พอลิเมอร์มีการยึดตัวที่ลดลง ส่งผลให้สมบัติด้านร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดต่ำกว่า



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เถ้ากลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาด 50-100 เมช, 100-150 เมช และปริมาณต่างๆ

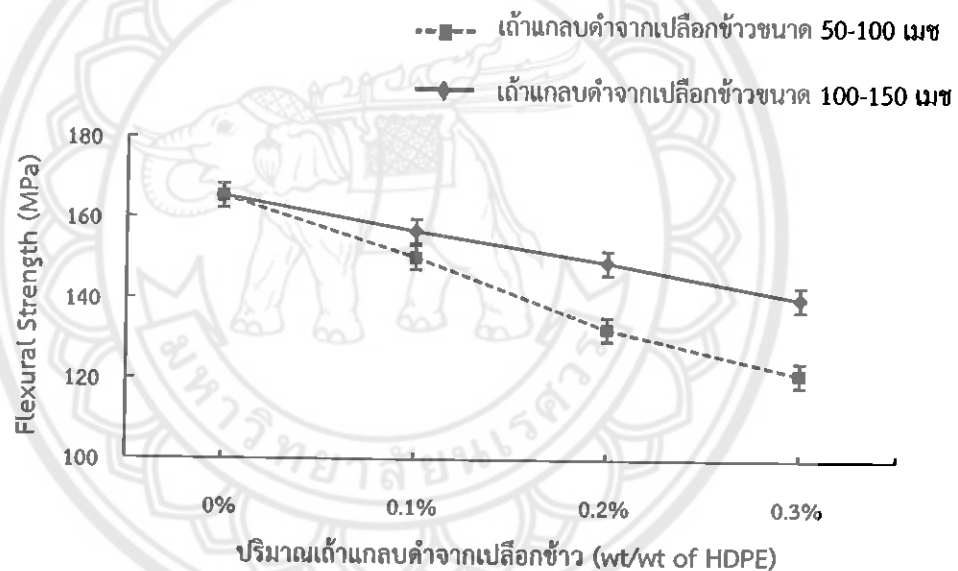
จากรูปที่ 4.3 เมื่อพิจารณาถึงปริมาณของเถ้ากลบดำจากเปลือกข้าวที่ 0, 0.1, 0.2 และ 0.3 % โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่มีผลต่อสมบัติด้านร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด พบว่าเมื่อมีการเติมเถ้ากลบดำจากเปลือกข้าวเข้าไปที่ปริมาณ 0.1 % โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง มีผลทำให้สมบัติด้านร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น เนื่องจากเถ้ากลบดำจากเปลือกข้าวเกิดอันตรกิริยากับพอลิเมอร์ มีการแทรกตัวในเนื้อพอลิเมอร์ที่ดี ส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบเกิดการเปลี่ยนรูปได้ยากขึ้น เมื่อมีการให้แรงดึงกับชิ้นงาน ส่งผลให้พอลิเมอร์มีความสามารถในการยึดตัวได้เพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้ากลบดำจากเปลือกข้าวที่ 0.2-0.3 % โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง พบว่าสมบัติด้านร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากปริมาณเถ้ากลบดำจากเปลือกข้าวที่เพิ่มมากขึ้น จะเข้าไปขัดขวางการเคลื่อนที่ (Mobility) ของสายโซ่เนื้อพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงได้มากขึ้น โดยเนื้อพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและเถ้ากลบดำจากเปลือกข้าว มีความสามารถในการเข้ากันได้ที่จำกัด เนื่องจากสภาพขั้วที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ความสามารถในการยึดเกาะกันตรงรอยต่อระหว่างพื้นผิวต่ำ จึงเป็นจุดบกพร่อง (Defect) ของชิ้นงาน และเมื่อได้รับแรงดึง จุดบกพร่องนี้เปรียบเสมือนเป็นจุดริเริ่มของการแตก (Crack) หรือการแยกออกจากกันบริเวณพื้นผิวของทั้งสองวัสดุ

4.1.2 ความแข็งแรงโค้งงอ (Bending Test)

4.1.2.1 ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength)

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเถ้ากลบดำจากเปลือกข้าว

โดยทำการศึกษาปัจจัยด้านขนาด และศึกษาปัจจัยทางด้านปริมาณของเส้นใยจากเปลือกข้าวที่ใช้เป็นสารตัวเติม ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.4 พบว่าวัสดุเชิงประกอบที่มีการใช้เส้นใยจากเปลือกข้าวที่ขนาดอนุภาค 100-150 เมช เป็นสารตัวเติมให้แนวโน้มสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอที่สูงกว่าการใช้เส้นใยจากเปลือกข้าวที่ขนาดอนุภาค 50-100 เมช ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกันกับสมบัติด้านความแข็งแรงดึง กล่าวคือ เส้นใยจากเปลือกข้าวที่ขนาดอนุภาค 100-150 เมช ซึ่งมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่า ทำให้เกิดการกระจายตัวในเนื้อพื้นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่สูงกว่า เมื่อมีแรงกระทำกับชิ้นงาน ทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความสามารถในการโค้งงอที่เพิ่มขึ้น ส่วนวัสดุเชิงประกอบที่มีการใช้เส้นใยจากเปลือกข้าวที่ขนาดอนุภาค 50-100 เมช เป็นสารตัวเติมให้แนวโน้มของสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอที่ต่ำกว่า เนื่องจากขนาดที่ใหญ่มีพื้นที่ผิวสัมผัสต่ำ มีการกระจายตัวในเนื้อพอลิเมอร์ที่ต่ำ เกิดการรวมตัวกันเป็นก้อนความสามารถในการโค้งงอจึงมีแนวโน้มลดลง



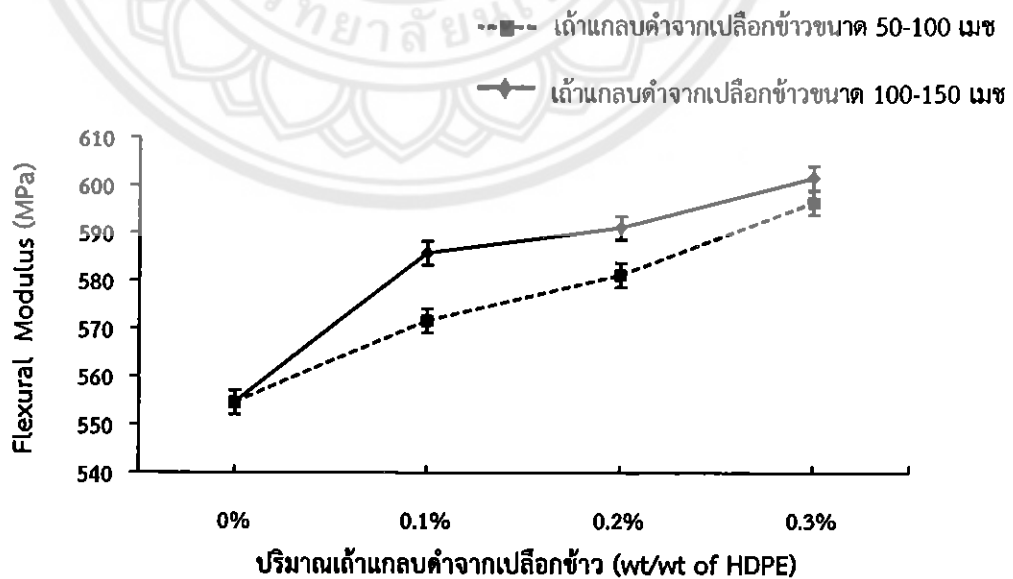
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เส้นใยจากเปลือกข้าวที่ขนาด 50-100 เมช, 100-150 เมช และปริมาณต่างๆ

จากรูปที่ 4.4 เมื่อพิจารณาถึงปริมาณของเส้นใยจากเปลือกข้าวที่ 0, 0.1, 0.2 และ 0.3 % โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่มีผลต่อสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอ พบว่าเมื่อปริมาณของเส้นใยจากเปลือกข้าวเพิ่มมากขึ้นสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีที่ต่างกันของเนื้อพื้นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเส้นใยจากเปลือกข้าวที่มีความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างเนื้อพื้นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเส้นใยจากเปลือกข้าวจำกัด ทำให้ความสามารถในการยึดเกาะกันบริเวณรอยต่อระหว่างพื้นผิวต่ำ เกิดเป็นรอยต่อระหว่างวัฏภาค การ

ถ่ายเทแรงจากเนื้อพื้นพอลิเมอร์ไปยังสารตัวเติมไม่มีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่เป็นวัสดุที่มีความแข็ง มีความสามารถในการโค้งงอได้น้อยกว่าเนื้อพื้นพอลิเมอร์ ดังนั้นเมื่อปริมาณแกลบดำจากเปลือกข้าวเพิ่มขึ้นจึงทำให้ความสามารถในการโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบลดลง

4.1.2.2 มอดูลัสความโค้งงอ (Flexural Modulus)

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดูลัสความโค้งงอ ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับแกลบดำจากเปลือกข้าว โดยทำการศึกษาปัจจัยด้านขนาด และศึกษาปัจจัยทางด้านปริมาณของแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ใช้เป็นสารตัวเติม ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.5 พบว่าวัสดุเชิงประกอบที่มีการใช้แกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาดอนุภาค 100-150 เมช เป็นสารตัวเติมให้แนวโน้มสมบัติด้านมอดูลัสความโค้งงอที่สูงกว่า เนื่องจากแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาดอนุภาค 100-150 เมช ซึ่งมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่า ทำให้วัสดุเชิงประกอบสามารถรับแรงที่ทำให้วัสดุเกิดการโค้งงอได้ดีกว่า ส่งผลให้ค่ามอดูลัสความโค้งงอสูงกว่า ส่วนวัสดุเชิงประกอบที่มีการใช้แกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาดอนุภาค 50-100 เมช เป็นสารตัวเติมให้แนวโน้มของสมบัติด้านมอดูลัสความโค้งงอต่ำกว่า เนื่องจากขนาดของแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาดอนุภาค 50-100 เมช มีอนุภาคที่ใหญ่กว่า มีพื้นที่ผิวสัมผัสต่ำกว่า ทำให้มีการกระจายตัวที่ต่ำกว่า เกิดการรวมตัวกันเป็นก้อน เกิดเป็นรอยต่อระหว่างวัสดุ เมื่อมีการให้แรงกับชิ้นงาน ทำให้วัสดุเชิงประกอบสามารถรับแรงที่ทำให้เกิดการโค้งงอได้น้อยกว่า ส่งผลให้สมบัติด้านมอดูลัสความโค้งงอต่ำกว่า

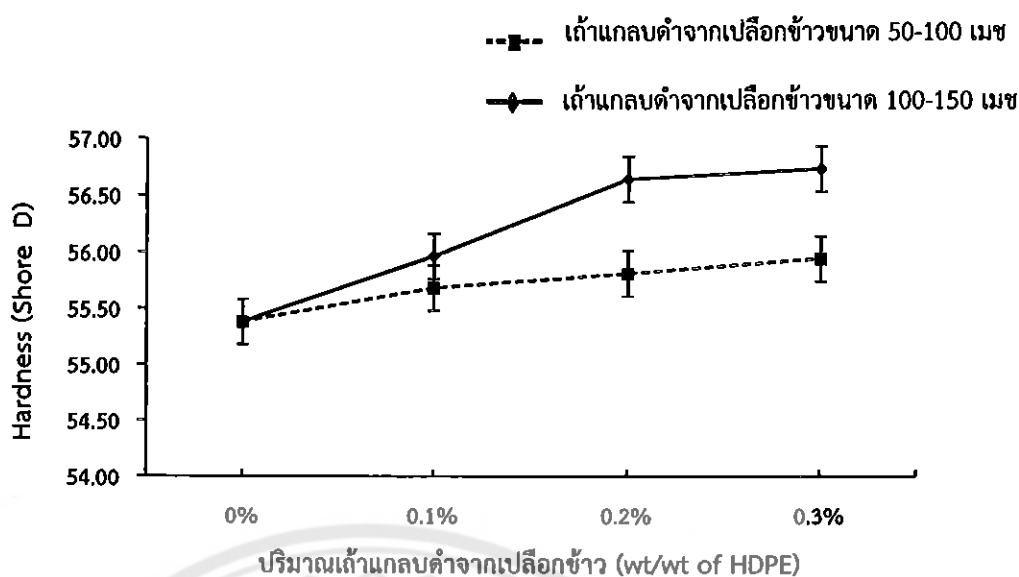


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดูลัสความโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้แกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาด 50-100 เมช, 100-150 เมช และปริมาณต่างๆ

จากรูปที่ 4.5 เมื่อพิจารณาถึงปริมาณของเถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ 0, 0.1, 0.2 และ 0.3 % โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่มีผลต่อสมบัติด้านมอดูลัสความโค้งงอ พบว่าเมื่อปริมาณของเถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวเพิ่มมากขึ้นสมบัติด้านมอดูลัสความโค้งงอมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งอธิบายได้ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกันกับสมบัติด้านมอดูลัสของยังส์ กล่าวคือ เนื่องจากเถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวเป็นวัสดุที่มีความแข็งตึง (Stiffness) ที่มากกว่าเนื้อพื้นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง จึงมีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง หรือมีความสามารถในการโค้งงอที่มากกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และการผสมเถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าว ซึ่งจะเข้าไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของเนื้อพื้นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงหรือทำให้ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเนื้อพื้นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเป็นไปได้ยาก ดังนั้นเมื่อปริมาณเถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวเพิ่มมากขึ้นสมบัติด้านมอดูลัสความโค้งงอจึงสูงขึ้น

4.1.3 การทดสอบความแข็งกด (Hardness Test)

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งกดแบบชอร์ดี้ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าว โดยทำการศึกษาปัจจัยด้านขนาด และศึกษาปัจจัยทางด้านปริมาณของเถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ใช้เป็นสารตัวเติม ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.6 พบว่าวัสดุเชิงประกอบที่มีการใช้เถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาดอนุภาค 100-150 เมช เป็นสารตัวเติมให้แนวโน้มสมบัติด้านความแข็งกดแบบชอร์ดี้ที่สูงกว่าการใช้เถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาดอนุภาค 50-100 เมช เนื่องจากเถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาดอนุภาค 100-150 เมช ซึ่งมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่า มีการกระจายตัวในเนื้อพื้นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ดี และสามารถเข้าไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงทำให้ไหลได้ยากขึ้น จึงทำให้สมบัติด้านความแข็งกดที่สูงกว่า การใช้เถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาด 50-100 เมช เป็นสารตัวเติม

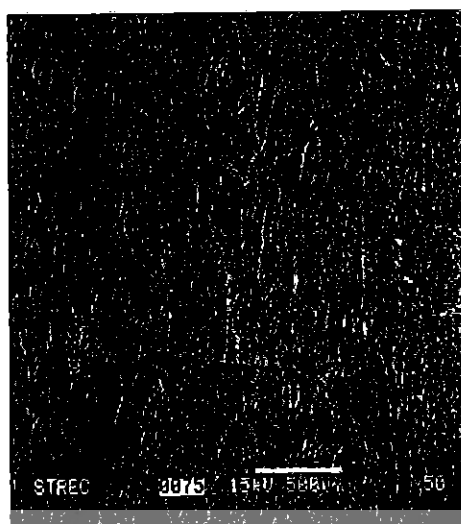


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งกดแบบชอร์ดี้ของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เถ้ากลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาด 50-100 เมช, 100-150 เมช และปริมาณต่างๆ

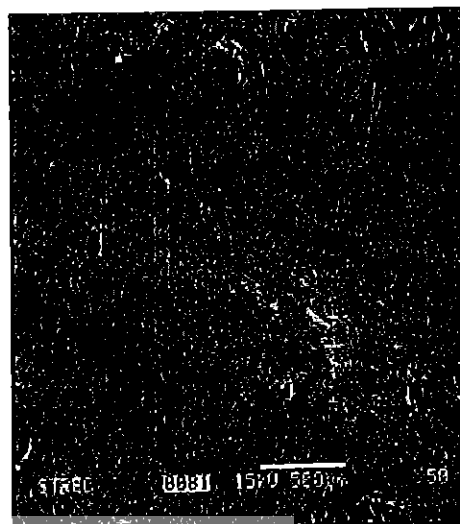
จากรูปที่ 4.6 เมื่อพิจารณาถึงปริมาณของเถ้ากลบดำจากเปลือกข้าวที่ 0, 0.1, 0.2 และ 0.3 % โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่มีผลต่อสมบัติด้านความแข็งกดแบบชอร์ดี้ พบว่าเมื่อปริมาณของเถ้ากลบดำจากเปลือกข้าวเพิ่มมากขึ้น สมบัติด้านความแข็งกดของวัสดุเชิงประกอบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเถ้ากลบดำจากเปลือกข้าวเป็นวัสดุที่มีความแข็งตึง (Stiffness) สามารถรับแรงกดได้มาก เมื่อนำไปผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ซึ่งมีความอ่อน นุ่ม มีความสามารถในการรับแรงกดได้น้อยกว่า ทำให้วัสดุเชิงประกอบมีความสามารถในการรับแรงกดได้มากกว่า ส่งผลให้สมบัติด้านความแข็งกดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

4.2 การศึกษาสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเถ้ากลบดำจากเปลือกข้าว

การศึกษาสัณฐานวิทยา เป็นการศึกษาโครงสร้างทางกายภาพของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเถ้ากลบดำจากเปลือกข้าว โดยทำการศึกษาเพื่อคุณลักษณะพื้นผิว ความเข้ากันได้ระหว่างพอลิเมอร์และเถ้ากลบดำจากเปลือกข้าว ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy ; SEM) ได้ผลการทดสอบดังนี้



ก)



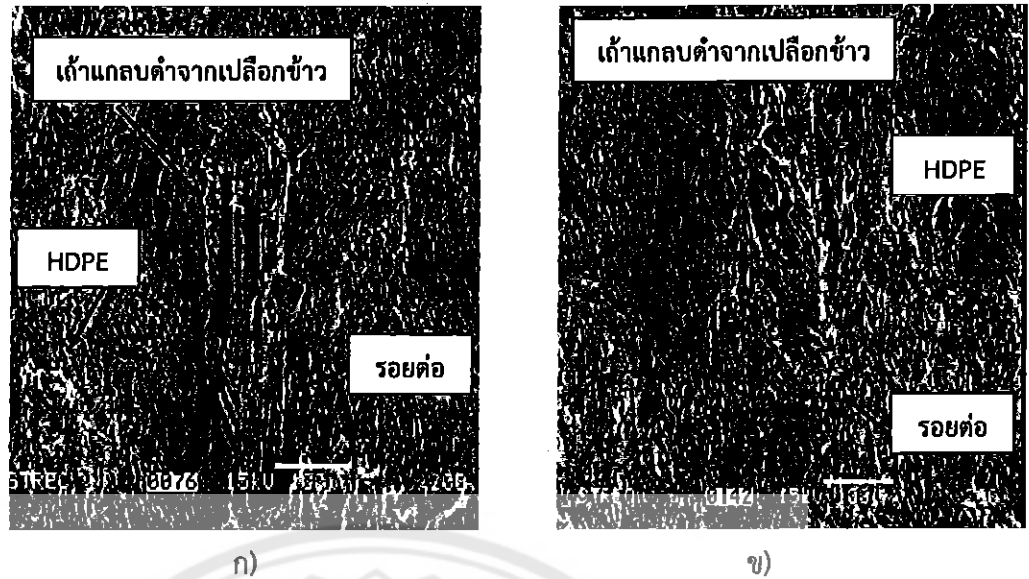
ข)

รูปที่ 4.7 สัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับแก้ว
 แกลบดำจากเปลือกข้าว ที่ปริมาณ 0.2 % โดยน้ำหนักของพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่น-
 สูง ที่กำลังขยาย 50 เท่า

ก) วัสดุเชิงประกอบที่ใช้แก้วแกลบดำจากเปลือกข้าวขนาด 50-100 เมช

ข) วัสดุเชิงประกอบที่ใช้แก้วแกลบดำจากเปลือกข้าวขนาด 100-150 เมช

จากรูปที่ 4.7 ก) และ ข) แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่
 กำลังขยาย 50 เท่า ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับแก้ว
 แกลบดำจากเปลือกข้าว ที่ปริมาณ 0.2 % โดยน้ำหนักของพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูง โดยใน
 รูปที่ 4.7 ก) แสดงสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้แก้วแกลบดำจากเปลือกข้าวขนาด 50-100
 เมช พบว่ามีความเรียบของพื้นผิวที่ต่ำ มีความสม่ำเสมอของชิ้นงานที่ต่ำ เนื่องจากแก้วแกลบดำจาก
 เปลือกข้าวที่ขนาด 50-100 เมช มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ จึงทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสที่ต่ำ มีการกระจายใน
 เนื้อพอลิเมอร์ที่ต่ำ ทำให้มีการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อน เกิดเป็นรอยต่อระหว่างวัฏภาค (สดสวย, 2544)
 ทำให้แก้วแกลบดำจากเปลือกข้าวที่กระจายในเนื้อพอลิเมอร์ไม่มีพอลิเมอร์เคลือบอยู่ภายนอก ส่งผล
 ให้สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบต่ำ และในรูปที่ 4.7 ข) แสดงสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่
 ใช้แก้วแกลบดำจากเปลือกข้าวขนาด 100-150 เมช พบว่ามีความเรียบของพื้นผิวที่ดีกว่า เนื่องจากแก้ว
 แกลบดำจากเปลือกข้าวขนาด 100-150 เมช มีขนาดอนุภาคที่เล็ก ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก จึงทำให้
 แก้วแกลบดำจากเปลือกข้าวสามารถกระจายตัวในเนื้อพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูงได้ดี
 (สดสวย, 2544) ทำให้มีความสม่ำเสมอของชิ้นงานที่ดี ส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบมีสมบัติเชิงกลที่สูง
 กว่า



รูปที่ 4.8 สัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเม็ดกลบคั่วจากเปลือกข้าว ที่ปริมาณ 0.2 % โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่กำลังขยาย 200 เท่า

ก) วัสดุเชิงประกอบที่ใช้เม็ดกลบคั่วจากเปลือกข้าวขนาด 50-100 เมช

ข) วัสดุเชิงประกอบที่ใช้เม็ดกลบคั่วจากเปลือกข้าวขนาด 100-150 เมช

จากรูปที่ 4.8 ก) และ ข) แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 200 เท่า ของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเม็ดกลบคั่วจากเปลือกข้าว ที่ปริมาณ 0.2 % โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่กำลังขยาย 200 เท่า โดยในรูปที่ 4.8 ก) แสดงสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เม็ดกลบคั่วจากเปลือกข้าวขนาด 50-100 เมช พบว่าวัสดุเชิงประกอบมีความเรียบของผิวที่ต่ำ เนื่องจากเม็ดกลบคั่วจากเปลือกข้าวที่ขนาด 50-100 เมช มีขนาดอนุภาคที่ใหญ่ ส่งผลให้เกิดช่องว่างระหว่างภูมิภาคขนาดใหญ่ ทำให้ไม่สามารถกระจายแรงจากเนื้อพื้นพอลิเมอร์ไปยังสารตัวเติมได้ เกิดการสะสมแรงบริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อพื้นพอลิเมอร์และเม็ดกลบคั่วจากเปลือกข้าว เมื่อพิจารณาการแตกหักของวัสดุเชิงประกอบ พบว่าวัสดุเชิงประกอบมีการแตกหักแบบยึดติด (Adhesive) ส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบมีสมบัติเชิงกลที่ต่ำ และในรูปที่ 4.8 ข) แสดงสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เม็ดกลบคั่วจากเปลือกข้าวขนาด 100-150 เมช พบว่ามีลักษณะความเรียบของพื้นผิวที่ดี เนื่องจากเป็นขนาดอนุภาคที่เล็ก ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก ส่งผลให้มีการกระจายตัวของเม็ดกลบคั่วจากเปลือกข้าวในเนื้อพื้นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ดี (สดสวย, 2544) เมื่อพิจารณาการแตกหักของวัสดุเชิงประกอบ พบว่าวัสดุเชิงประกอบมีการแตกหักแบบเชื่อมแน่น (Cohesive) เกิดช่องว่างระหว่างภูมิภาคแคบกว่า เนื่องจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเม็ดกลบคั่วจากเปลือกข้าวสามารถผสมเข้ากันได้ จึงเกิดแรงเชื่อมติดกันไว้ ทำให้มีประสิทธิภาพในการกระจายแรงจากพอลิเอทิลีน

ลักษณะความหนาแน่นสูงไปยังเก้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ดี ส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบมีสมบัติเชิงกลที่สูงกว่า

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเก้าแกลบดำจากเปลือกข้าว พบว่าขนาดของเก้าแกลบดำจากเปลือกข้าวมีผลต่อสมบัติเชิงกลโดยรวมของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเก้าแกลบดำจากเปลือกข้าว นั่นคือ ขนาดของเก้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาดอนุภาค 100-150 เมช ซึ่งเป็นขนาดอนุภาคขนาดเล็ก มีผลทำให้สมบัติด้านความแข็งแรงดึง, สมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอ, สมบัติด้านความแข็งแรงกดแบบชอร์ตมีค่าสูงกว่า และปริมาณของเก้าแกลบดำจากเปลือกข้าวมีผลต่อสมบัติเชิงกลโดยรวมของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเก้าแกลบดำจากเปลือกข้าว นั่นคือ ปริมาณของเก้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้สมบัติด้านมอดูลัสของยังส์, สมบัติด้านมอดูลัสความโค้งงอ, สมบัติด้านความแข็งแรงกดแบบชอร์ตมีค่าสูงขึ้น

เมื่อทำการศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเก้าแกลบดำจากเปลือกข้าว พบว่าขนาดของเก้าแกลบดำจากเปลือกข้าวมีผลต่อลักษณะพื้นผิวของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเก้าแกลบดำจากเปลือกข้าว นั่นคือ ขนาดของเก้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาดอนุภาค 100-150 เมช มีความเรียบของพื้นผิวที่ดีกว่า มีความสม่ำเสมอของชิ้นงานที่ดีกว่า และเมื่อพิจารณาการแตกหักของวัสดุเชิงประกอบ พบว่าวัสดุเชิงประกอบมีการแตกหักแบบเชื่อมแน่น (Cohesive)

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงบทสรุป ข้อเสนอแนะ และการพัฒนา ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ไข ปัญหาของโครงการวิจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1 บทสรุป

5.1.1 ผลการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาดต่างกัน พบว่าวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาด 100-150 เมช มีแนวโน้มของสมบัติเชิงกลโดยรวมของวัสดุเชิงประกอบที่ดีกว่า วัสดุเชิงประกอบที่ใช้เถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาด 50-100 เมช

5.1.2 ผลการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ปริมาณต่างกัน พบว่า ที่ปริมาณเถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าว 0 % โดยน้ำหนักของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ให้สมบัติด้านความแข็งแรงดึง, ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด, และความแข็งแรงโค้งงอที่สูงกว่า และเมื่อปริมาณเถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สมบัติด้านมอดูลัสของยังส์, มอดูลัสความโค้งงอ, ความแข็งกดแบบชอร์ดี้มีแนวโน้มที่สูงขึ้น

5.1.3 ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาดต่างกัน พบว่าวัสดุเชิงประกอบที่มีการใช้เถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ขนาด 100-150 เมช มีลักษณะความเรียบของพื้นผิวที่ดี เนื่องจากมีการกระจายตัวของเถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวที่ดีกว่า นอกจากนี้ยังพบว่ามีช่องว่างระหว่างภูมิภาคที่แคบ ส่งผลให้วัสดุเชิงประกอบมีการแตกหักแบบเชื่อมแน่น (Cohesive)

5.2 ข้อเสนอแนะ และการพัฒนา

5.2.1 ควรมีการศึกษาการใช้สารคู่ควบหรือสารตัวเติม เพื่อช่วยปรับปรุงความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างพอลิเมอร์กับเถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าว เพื่อช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลให้กับวัสดุเชิงประกอบ

5.2.2 ควรมีการศึกษาการเตรียมวัสดุเชิงประกอบที่ใช้เนื้อพื้นจากพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ

5.2.3 การกำหนดจำนวนชิ้นงานในการทดสอบเพื่อจะนำค่าที่ได้มาคำนวณ เพื่อเปรียบเทียบสมบัติในด้านต่างๆ อาจให้ชิ้นงานในจำนวนที่มากกว่า 8 ชิ้น เพื่อลดการเบี่ยงเบนของข้อมูลที่ได้เมื่อนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย

5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ปัญหา

5.3.1 สำหรับขนาดของเถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าวในวัสดุเชิงประกอบ ที่ใช้ในการทดลองเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็ก ทำให้มีการฟุ้งกระจายได้ง่าย ดังนั้นในระหว่างการปฏิบัติงานควรมีการสวมหน้ากาก เพื่อป้องกันฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากเถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าว

5.3.2 การขึ้นรูปชิ้นงานสำหรับทดสอบสมบัติควมมีการเมื่อจำนวนไว้ โดยขณะที่ทำการทดสอบบางครั้งชิ้นงานเกิดการหักจากการใส่ชิ้นงานผิดวิธี ทำการทดสอบผิดขั้นตอน จึงไม่สามารถนำชิ้นงานนั้นมาใช้ต่อได้ ดังนั้นการขึ้นรูปชิ้นงานสำหรับการทดสอบควมมีการเมื่อจำนวนไว้ ทำให้ประหยัดเวลาในการขึ้นรูปชิ้นงานใหม่ระหว่างทำการทดสอบ

5.3.3 ในการเตรียมส่วนผสมเพื่อผลิตวัสดุเชิงประกอบนั้น ถ้าแลกบลด้าจากเปลือกข้าวที่เรานำมาใช้เป็นส่วนผสมเป็นแลกบลด้าที่ได้จากโรงสี การเผาไหม้จึงไม่ค่อยสมบูรณ์ ดังนั้นจึงต้องมีการร่อนเอาแลกบลด้าที่ยังไม่เผาไหม้ออกก่อน ซึ่งขั้นตอนนี้ค่อนข้างจะเสียเวลา แต่ถ้าเป็นแลกบลด้าที่ได้จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าแลกบลด้าที่ได้จะมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มาก จึงควรใช้แลกบลด้าที่ได้จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อลดขั้นตอนในการเตรียมส่วนผสมและประหยัดเวลาในการเตรียม



เอกสารอ้างอิง

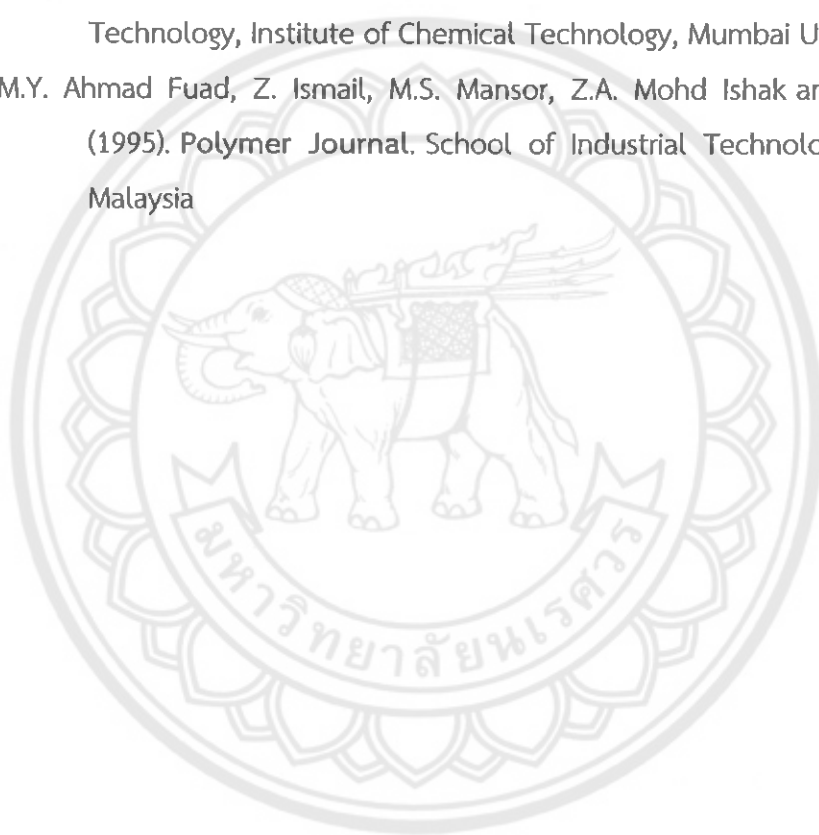
- กฤษวรรษ แสงการ. (2552). Two-Roll Mill (เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง). สืบค้นเมื่อ 15 กรกฎาคม 2555, จาก <http://rubber-mold.blogspot.com/2009/07/plasticity-retention-index-pri-30-140.html>
- เจริญ นาคะสรณ์. (2542). กระบวนการแปรรูปพลาสติก. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว. ปัตตานี: ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- จันทมัย สุวรรณประทีป และคณะ. (2547). การทดสอบสมบัติเชิงกลของพลาสติก. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ
- ชาญศักดิ์ พัทธโคภิชฐ์. (2553). เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง. สืบค้นเมื่อวันที่ 29 สิงหาคม 2555, จาก <http://www.sirikrai.com/mbdetail.php?id=0350>
- บุญรักษ์ กาญจนวรรณิชย์. (2552). ถ้ำแกลบของเหลือสารพัดประโยชน์. สืบค้นเมื่อวันที่ 14 กรกฎาคม 2555, จาก http://www.mtec.or.th/index.php?option=com_content&task=view&id=865&Itemid=36
- บรรเลง ศรีนิล. (2548). เทคโนโลยีพลาสติก. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder Machine). สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ
- บริษัท SCG Plastic จำกัด. (2555). H5818J HDPE Resin. สืบค้นเมื่อวันที่ 2 สิงหาคม 2555, จาก <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=0d72970027fd49c1a300b1e3dc62d677&ckck=1>
- ปรกรณ์ โอภาประกาสิต และมัทธนา โอภาประกาสิต. (2551). พอลิเมอร์ วัสดุเอนกประสงค์. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 กรกฎาคม 2555, จาก <http://www.vcharkarn.com/varticle/18774>
- ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์ และคณะ. (2546). รายงานการวิจัย การศึกษาการใช้ถ้ำดำจากแกลบเปลือกข้าวสารเป็นสารตัวเติมในวัสดุวิศวกรรมพอลิเมอร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา
- รัตนา สนั่นเมือง และวิภารัตน์ เชื้อชวด. (2552). รายงานการวิจัย การใช้ประโยชน์จากข้าวแบบยั่งยืน : การผลิตซิลิกาจากแกลบข้าว. มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.
- วารสารวิชาการ. (2555). พอลิเมอร์. สืบค้นเมื่อวันที่ 22 สิงหาคม 2555, จาก <http://www.Vcharkarn.com/lesson/view.php?id=1465>
- วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยขอนแก่น. (2552). ส่วนเสริมแรงในวัสดุเชิงประกอบ. สืบค้นเมื่อวันที่ 22 สิงหาคม 2555, จาก <http://www.physics.kku.ac.th/315205/sites/default/files/chapter10.pdf>

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยศิลปากร. (2555). สารเคมีในชีวิตประจำวัน พอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูง. สืบค้นเมื่อวันที่ 19 กรกฎาคม 2555, จาก <http://www.pharm.su.ac.th/cheminlife/cms/index.php/kitchen-room/21-plastic/107-hdpe.html>
- ศิริรัตน์ วัชรวิชานันท์. (2554). เอกสารประกอบการสอน. Polymer Processing. นครปฐม: ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. (2553). คอมโพสิต (composites). สืบค้นเมื่อวันที่ 15 กรกฎาคม 2555, จาก http://www.mtec.or.th/index.php?option=com_content&task=view&id=169&Itemid=178
- สดสวย สุจริตธรรมกุล. (2544). Reinforced Polymer. สืบค้น เมื่อ 26 สิงหาคม 2555, จาก <http://wuzzlive.com/blog/?p=478>
- สถาบันนวัตกรรมและพัฒนาระบบการเรียนรู้อ. (2552). Scanning Eletron Microscopy (SEM). สืบค้น เมื่อ 15 กรกฎาคม 2555 , จาก <http://www.il.mahidol.ac.th/th/>
- สถาบันพัฒนาวิชาชีพ. (2555). การออกแบบวัสดุผสม Designing hybrid materials. สืบค้น เมื่อ 26 สิงหาคม 2555, จาก <http://www.qlckbranding.com/learn/chap8/01.html>
- สมศักดิ์ วรมงคลชัย. (2544). สารปรับแต่งพอลิเมอร์. บุคเน็ต, กรุงเทพฯ
- สมศักดิ์ วรมงคลชัย. (2543). เทคโนโลยีพอลิเมอร์ 2. เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding Machine). กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง
- หนังสืออิเล็กทรอนิกส์มหาวิทยาลัยรามคำแหง. (2554). คุณสมบัติและการทดสอบวัสดุ. การทดสอบความแข็ง. สืบค้นเมื่อ 18 กรกฎาคม 2555, จาก [http://e-book.ram.edu/e-book/m/MY318\(51\)/MY318-7.pdf](http://e-book.ram.edu/e-book/m/MY318(51)/MY318-7.pdf)
- หนังสืออิเล็กทรอนิกส์มหาวิทยาลัยรามคำแหง. (2554). คุณสมบัติและการทดสอบวัสดุ. การทดสอบแรงเค้งงแบบ 3 จุด. สืบค้นเมื่อ 18 กรกฎาคม 2555, จาก [http://e-book.ram.edu/e-book/m/ MY318\(51\)/MY318-6.pdf](http://e-book.ram.edu/e-book/m/ MY318(51)/MY318-6.pdf)
- อิทธิพล แจ้งชัด. (2544). เอกสารประกอบการสอน พอลิเมอร์คอมโพสิต. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ASTM D 638. (1996). Standard Test Methods For Tensile Property Of Plastic (Matric). *Philadephia: American Society For Testing and material*
- ASTM D 790. (1996). Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. *Philadephia: American Society For Testing and material*

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- ASTM D 2240. (1996). Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness. *Philadelphia: American Society For Testing and material*
- E.P. Ayswarya, K.F. Vidya Francis, V.S. Renju and Eby Thomas Thachil. (2012) . **Material and Design**. Department of Polymer Science and Rubber Technology, Cochin University of Science and Technology, India
- Iftekhar Ahmad and Prakash A. Mahanwar. (2010). **Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering**. Department of Polymer Engineering and Technology, Institute of Chemical Technology, Mumbai University, India
- M.Y. Ahmad Fuad, Z. Ismail, M.S. Mansor, Z.A. Mohd Ishak and A.K. Mohd Omar. (1995). *Polymer Journal*. School of Industrial Technology, University Sains, Malaysia





ภาคผนวก ก

ตารางแสดงสมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จาก
พอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าว

ตารางที่ ก.1 สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าว ที่ขนาด 50-100 เมช

ชั้นงานทดสอบ	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)	% Elongation at break (%)	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (MPa)	Hardness (Shore D)
HDPE 100 : Ash 0%	23.54 ± 0.63	840.32 ± 19.62	318.504 ± 0.87	165.36 ± 0.96	554.59 ± 19.69	55.38 ± 0.65
HDPE 100 : Ash 0.1%	22.05 ± 0.93	854.18 ± 20.54	512.876 ± 0.24	150.28 ± 1.26	571.65 ± 21.34	55.96 ± 0.26
HDPE 100 : Ash 0.2%	21.67 ± 0.51	878.16 ± 16.59	487.42 ± 0.86	132.59 ± 0.88	581.21 ± 26.59	56.64 ± 0.95
HDPE 100 : Ash 0.3%	21.11 ± 0.65	882.36 ± 18.21	469.504 ± 1.31	121.44 ± 0.96	596.36 ± 21.20	56.73 ± 0.76

ตารางที่ ก.2 สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเถ้าแกลบดำจากเปลือกข้าว ที่ขนาด 100-150 ไมค์

ชิ้นงานทดสอบ	Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (MPa)	% Elongation at break (%)	Flexural Strength (MPa)	Flexural Modulus (MPa)	Hardness (Shore D)
HDPE 100 : Ash 0%	23.54 ± 0.63	840.32 ± 19.62	318.504 ± 0.87	165.36 ± 0.96	554.59 ± 19.69	55.38 ± 0.65
HDPE 100 : Ash 0.1%	22.81 ± 0.62	863.59 ± 21.36	488.78 ± 0.95	156.77 ± 0.51	585.73 ± 20.36	55.68 ± 0.89
HDPE 100 : Ash 0.2%	22.30 ± 0.78	886.96 ± 19.69	431.969 ± 0.45	149.1 ± 0.89	591.04 ± 18.59	55.81 ± 0.76
HDPE 100 : Ash 0.3%	21.35 ± 0.57	890.47 ± 24.63	365.442 ± 0.84	140.22 ± 0.75	601.59 ± 14.63	55.94 ± 0.62

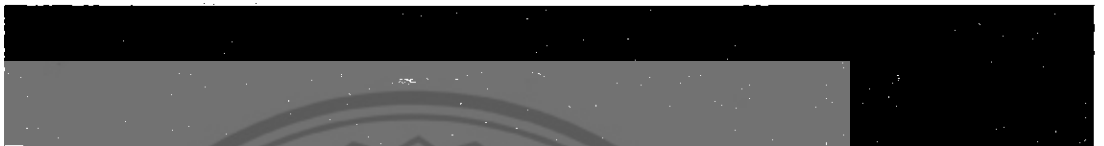


ภาคผนวก ข
ชิ้นงานทดสอบสมบัติเชิงกล

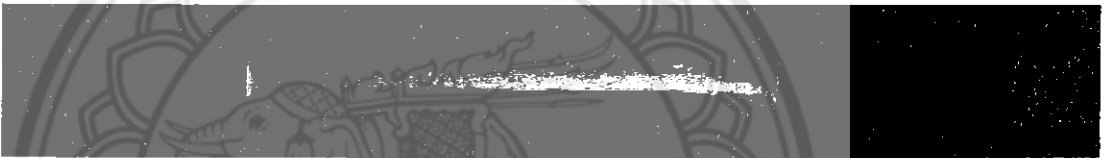
มหาวิทยาลัยนเรศวร



ก)



ข)



ค)

รูปที่ ข.1 ชิ้นงานที่ทดสอบความแข็งแรงดึงของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมจากพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับแก้วเคลือบดำจากเปลือกข้าว ที่ปริมาณ 0.3 % โดยน้ำหนักของพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูง

ก) ชิ้นงานก่อนการทดสอบ

ข) ชิ้นงานหลังการทดสอบที่ขนาด 50-100 เมช

ค) ชิ้นงานหลังการทดสอบที่ขนาด 100-150 เมช



ก)



ข)



ค)

รูปที่ ข.2 ชิ้นงานที่ทดสอบความแข็งแรงโค้งงอของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมจากพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับเถ้าเคลบดำจากเปลือกข้าว ปริมาณ 0.2 % โดยน้ำหนักของพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูง

- ก) ชิ้นงานก่อนการทดสอบ
- ข) ชิ้นงานหลังการทดสอบที่ขนาด 50-100 มม
- ค) ชิ้นงานหลังการทดสอบที่ขนาด 100-150 มม