



การศึกษาการเตรียมและสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว

STUDY ON PREPARATION AND MECHANICAL PROPERTIES OF
POLYMER BLENDS BETWEEN POLYPROPYLENE AND
RECYCLED HIGH DENSITY POLYETHYLENE

นายนิติกร	ยอดเปลี่ยน	รหัส	52363325
นายพีรพัฒน์	แก้วมูล	รหัส	52363431
นางสาวสิรินาถ	แซ่เตี้ย	รหัส	52363554

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... - 1, ส.ค. 2556 /
เลขทะเบียน..... 16322604
เลขเรียกหนังสือ..... ๗๕.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๗ ๕๕

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2555



ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ การศึกษาการเตรียมและสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว

ผู้ดำเนินโครงการ นายนิติกร ยอดเปลี่ยน รหัส 52363325
นายพีรพัฒน์ แก้วมูล รหัส 52363431
นางสาวสิรินาถ แซ่เตี้ย รหัส 52363554

ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์ศิริกาญจน์ ชั้นสัมฤทธิ์
สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุ
ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา 2555

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ การศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

.....ที่ปรึกษาโครงการ
(อาจารย์ศิริกาญจน์ ชั้นสัมฤทธิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ทศพล ตริรุจิราภาพงศ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย)

.....กรรมการ
(อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์)

ชื่อหัวข้อโครงการ	การศึกษาการเตรียมและสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายนิติกร	ยอดเปลี่ยน	รหัส 52363325
	นายพีรพัฒน์	แก้วมูล	รหัส 52363431
	นางสาวสิรินาก	แซ่เตี้ย	รหัส 52363554
ที่ปรึกษาโครงการ	อาจารย์ศิริกาญจน์	ชั้นสัมฤทธิ์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม		
ปีการศึกษา	2555		

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาการเตรียม และสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว ที่มีการใช้เทคนิคในการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง เปรียบเทียบกับเทคนิคการผสมที่ไม่มีการใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง และทำการศึกษาผลของอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วนผสมเป็น 100:0, 100:10, 100:20, 100:30 และ 100:40 โดยทำการศึกษาพื้นฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM) และสมบัติเชิงกล ได้แก่ การทดสอบแรงดึง (Tensile Test) การทดสอบความโค้งงอ (Flexural Test) การทดสอบความแข็งกด (Hardness Test) จากผลการศึกษาพบว่า ลักษณะทางสัณฐานวิทยา แสดงให้เห็นว่าพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการผสมโดยการใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง มีความสามารถในการเข้ากันได้ที่สูงกว่า โดยดูจากความเรียบของพื้นผิว และจากการศึกษาสมบัติเชิงกล พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่มีการใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งช่วยในการผสม ให้สมบัติเชิงกลที่สูงกว่า ส่วนการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของการผสม พบว่าที่พอลิเมอร์ผสมจะมีแนวโน้มของสมบัติเชิงกลที่ต่ำลง เมื่ออัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้วเพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์ศิริภาณุจันต์ ชันสัมฤทธิ์ เป็นอย่างสูงที่ให้โอกาสแก่ผู้ทำโครงการในการดำเนินงานครั้งนี้ อีกทั้งให้คำแนะนำ และให้คำปรึกษาในเรื่องต่างๆ เกี่ยวกับการค้นคว้าข้อมูล แนวทางปฏิบัติการดำเนินโครงการ การวิเคราะห์ ตลอดจนสละเวลาให้คำแนะนำทั้งภาคทฤษฎี และภาคปฏิบัติ รวมถึงแง่คิดในการอย่างมีประสิทธิภาพจนโครงการสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ อาจารย์มานะ วีรวิกรม อาจารย์ธณิกานต์ ธงชัย อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์ อาจารย์ทศพล ตรีจิราภาพงศ์ และคณาจารย์ทุกท่านที่ถ่ายทอดวิชาความรู้ทางวิชาการ อันสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินโครงการได้จนสำเร็จ อีกทั้งให้คำแนะนำ และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขโครงการนี้ รวมทั้งขอขอบพระคุณ อาจารย์ประเทือง โมรราราย อาจารย์ธวัชชัย ชลบุตร อาจารย์รณกฤต แสงม่วง นักวิทยาศาสตร์อิสระ วัฒนภาพ ที่ให้ความช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาด้านเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติการ

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ประสิทธิ์ประสานวิชาความรู้ และอบรมสั่งสอนให้ผู้จัดทำโครงการเป็นคนดีของสังคม

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และทุกๆ คนในครอบครัวที่สนับสนุน เป็นกำลังใจ และคอยให้ความช่วยเหลือแก่ผู้จัดทำมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ และเจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความรัก คำปรึกษา และความช่วยเหลือขณะที่ศึกษาและทำงานวิจัยเป็นอย่างดี

คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นายนิติกร ยอดเปลี่ยน

นายพีรพัฒน์ แก้วมูล

นางสาวสิรินาถ แซ่เตี้ย

มีนาคม 2556

สารบัญ

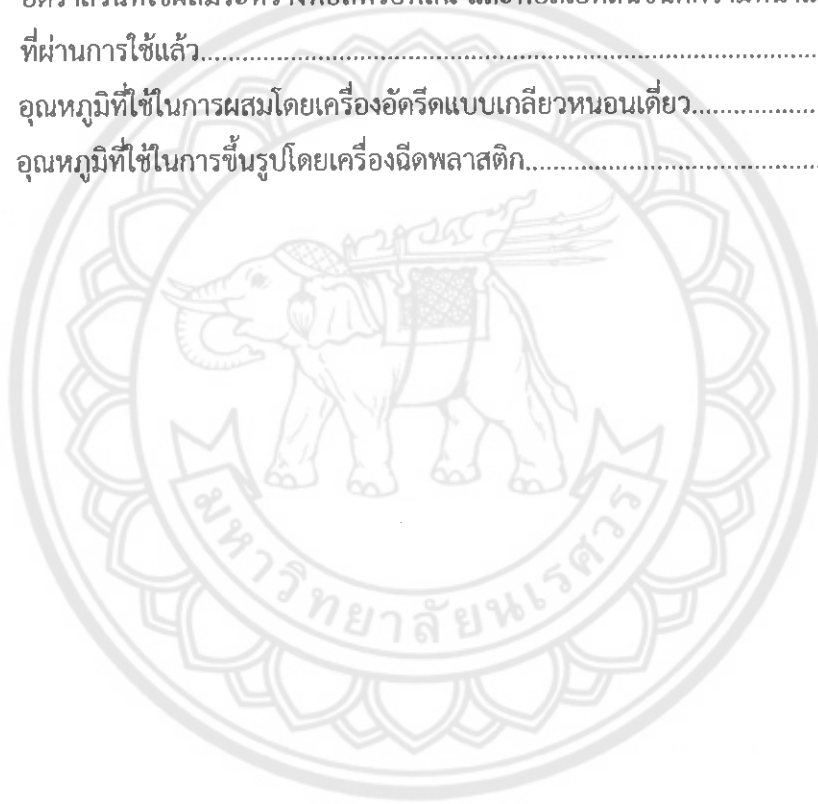
	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
สารบัญสัญลักษณ์ และอักษรย่อ.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output).....	2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome).....	2
1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ.....	3
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงการ.....	3
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ.....	3
1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงการ.....	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น.....	5
2.1 พอลิเมอร์ผสม (Polymer blend).....	5
2.2 พลาสติกรีไซเคิล (Plastic Recycle).....	9
2.3 พอลิเมอร์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	14
2.4 กระบวนการผลิต.....	17
2.5 การทดสอบสมบัติของวัสดุ.....	21
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	29
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	30
3.1 สารเคมี และวัสดุที่ใช้ในโครงการ.....	30
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในโครงการ.....	30
3.3 วิธีการทดลอง.....	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 วิธีการทดสอบ.....	34
3.5 วิเคราะห์ และเปรียบเทียบผลการทดลอง.....	35
3.6 สรุปผลการทดลอง และจัดทำรูปเล่ม.....	35
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล.....	36
4.1 การศึกษาสัณฐานวิทยา.....	36
4.2 การศึกษาสมบัติเชิงกล.....	38
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอ.....	48
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	48
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	48
5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ปัญหา.....	49
เอกสารอ้างอิง	50
ภาคผนวก ก.....	53
ภาคผนวก ข.....	57
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	60

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอน และแผนการดำเนินงาน.....	4
2.1 ตารางแสดงชนิดการรีไซเคิลของพลาสติก.....	10
2.2 สมบัติทั่วไปของพอลิพรอพิลีน.....	16
2.3 สมบัติทั่วไปของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง.....	17
2.4 แสดงลักษณะห้วงกวดชนิดต่างๆ.....	28
3.1 สมบัติของพอลิพรอพิลีนเกรด PP 700 J.....	30
3.2 อัตราส่วนที่ใช้ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่ผ่านการใช้แล้ว.....	32
3.3 อุณหภูมิที่ใช้ในการผสมโดยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว.....	33
3.4 อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปโดยเครื่องฉีดพลาสติก.....	33



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แผนภาพปริมาณขยะพลาสติกในแต่ละชนิด.....	2
2.1 ประเภทของพอลิเมอร์ผสม.....	6
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทั่วไปกับอัตราส่วนผสมของพอลิเมอร์ผสมรวมเป็นเนื้อเดียว.....	7
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทั่วไปกับอัตราส่วนผสมของพอลิเมอร์ผสมไม่รวมเป็นเนื้อเดียว.....	8
2.4 ความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม.....	9
2.5 ภาพการจัดเรียงโครงสร้างของพอลิพรอพิลีน (Polypropylene : PP).....	14
2.6 สูตรโครงสร้างทางเคมีของพอลิพรอพิลีน (Polypropylene : PP).....	15
2.7 สูตรโครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene : HDPE).....	16
2.8 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder Machine).....	19
2.9 เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill Machine).....	20
2.10 เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding Machine).....	21
2.11 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	21
2.12 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด.....	22
2.13 เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Testing Machine).....	23
2.14 กราฟความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain Curve) แบบมีจุดคราก (Yield Point).....	25
2.15 การทดสอบความโค้งงอแบบ 3 จุด.....	26
2.16 เครื่องทดสอบความแข็งกดชอร์ดูโรมิเตอร์ (Shore Durometer).....	28
3.1 แผนการดำเนินงาน.....	31
3.2 ชิ้นงานทดสอบแรงดึง.....	34
3.3 ชิ้นงานทดสอบความแรงโค้งงอ.....	35
4.1 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่ผ่านการใช้แล้ว ที่กำลังขยาย 250 เท่า.....	36
4.2 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่ผ่านการใช้แล้ว ที่อัตราส่วน 100:20.....	37
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านเทคนิค การผสมต่างกัน และอัตราส่วนต่างๆ.....	39
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านเทคนิค การผสมต่างกัน และอัตราส่วนต่างๆ.....	41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดูลัสของยังส์ของพอลิเมอร์ผสมที่เทคนิคการผสมต่างกัน และอัตราส่วนต่างๆ.....	42
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอของพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านเทคนิคการผสม ต่างกันและอัตราส่วนต่างๆ.....	44
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดูลัสความโค้งงอของพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านเทคนิค การผสมต่างกันและอัตราส่วนต่างๆ.....	45
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งกดของพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านเทคนิคการผสมต่างกัน และอัตราส่วนต่างๆ.....	46



สารบัญสัญลักษณ์ และอักษรย่อ

PP	=	พอลิพรอพิลีน (Polypropylene)
HDPE	=	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene)
°C	=	องศาเซลเซียส
K	=	เคลวิน
Pa	=	ปาสคาล
MPa	=	เมกกะปาสคาล
GPa	=	จิกะปาสคาล
mm	=	มิลลิเมตร
mm ²	=	ตารางมิลลิเมตร
J	=	จูล
J/m ²	=	จูลต่อตารางเมตร
J/cm ²	=	จูลต่อตารางเซนติเมตร
J/mol	=	จูลต่อโมล
J/K.mol	=	จูลต่อเคลวินโมล
N	=	นิวตัน
phr	=	ส่วนในร้อยส่วนของยาง (Parts per Hundred of Rubber)

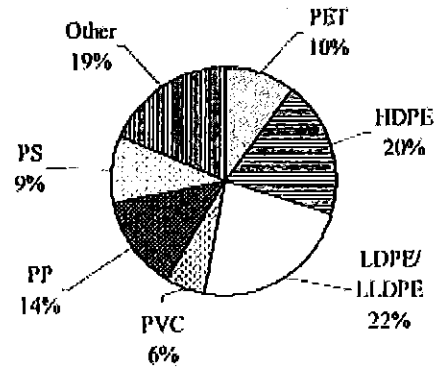
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันพอลิเมอร์ได้กลายเป็นผลิตภัณฑ์สำคัญ ที่เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ได้มีการใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายในเกือบจะทุกกิจกรรม เนื่องจากพอลิเมอร์สามารถนำมาใช้ทดแทนทรัพยากรธรรมชาติได้หลายอย่าง เช่น เหล็ก ไม้ เพราะมีสมบัติที่กว้าง สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้อย่างหลากหลาย รวมถึงมีน้ำหนักเบา มีความต้านทานการแตกหัก ราคาถูก สามารถขึ้นรูปเป็นชิ้นงานที่มีความซับซ้อนได้ดี ชิ้นส่วนสำเร็จรูปมีราคาถูกเมื่อเทียบกับวัสดุชนิดอื่น และมีแนวโน้มที่จะมีปริมาณการใช้งานเพิ่มมากขึ้น ซึ่งพอลิเมอร์เพียงชนิดเดียวไม่สามารถให้สมบัติได้ครบถ้วนตามความต้องการ จึงได้มีการพัฒนาโดย การคิดค้นพอลิเมอร์ชนิดใหม่ๆ ขึ้นมาเพื่อให้ได้สมบัติที่ดีกว่าที่มีอยู่ แต่การคิดค้นพอลิเมอร์ ชนิดใหม่โดยวิธีการสังเคราะห์ นั้น มีความยุ่งยาก ซับซ้อน ต้องอาศัยการทดลองที่หลายขั้นตอน ทำให้ต้องใช้เวลา และต้นทุนในการพัฒนาสูง จึงเริ่มมีการนำพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ มาผสมเข้าด้วยกันแทนการสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดใหม่ ซึ่งเป็นที่รู้จักกันในชื่อของ พอลิเมอร์ผสม (Polymer Blend) โดยการนำพอลิเมอร์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป มาผสมเข้าด้วยกัน เพื่อให้เกิดพอลิเมอร์ผสม ที่มีสมบัติตามความต้องการ โดยการรวมเอาสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์แต่ละชนิดมาใช้ ทำให้มีขอบเขตการใช้งานที่กว้างยิ่งขึ้น (ปพน และวริศรา, 2554)

จากแนวโน้มของการใช้ผลิตภัณฑ์ประเภทพลาสติกที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ทำให้ปริมาณขยะที่เกิดจากพลาสติกมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ซึ่งปริมาณขยะที่เกิดจากพลาสติกแสดงได้ดังรูปที่ 1.1 พบว่ามีขยะที่เกิดจากผลิตภัณฑ์พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene : HDPE) สูงถึง 20% และขยะพลาสติกส่วนใหญ่มาจากบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ทางเลือกหนึ่งในการกำจัดขยะพลาสติก คือ การนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ซึ่งเป็นทางเลือกที่ใช้ประโยชน์ได้มากที่สุดทางหนึ่ง อย่างไรก็ตาม การนำพลาสติกกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่นั้นสิ่งสำคัญอยู่ที่การแยกประเภทของพอลิเมอร์ก่อนที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ และการกำจัดสิ่งที่ไม่ต้องการออกไป ซึ่งกระบวนการและเทคโนโลยีในการแยกวัสดุค่อนข้างยุ่งยากจึงได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการนำไปใช้ในรูปของพอลิเมอร์ผสม



รูปที่ 1.1 แผนภาพปริมาณขยะพลาสติกในแต่ละชนิด

ที่มา : S.E. Selke and I.Wichman (2004)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงได้ทำการศึกษาพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้จากพอลิพรอพิลีน (Polypropylene : PP) กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว ในอัตราส่วนต่างๆ โดยมีการใช้เทคนิคการผสมที่ต่างกัน เพื่อศึกษาการกระจายตัวของพอลิเมอร์ผสมทั้ง 2 ชนิด โดยจะทำการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา และสมบัติเชิงกล ทั้งนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากในการช่วยลดมลภาวะ ซึ่งเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการลดปริมาณขยะจากขวดพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 ศึกษาเทคนิคในการผสมของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้จากพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้งานแล้ว ที่มีผลต่อสัณฐานวิทยา และสมบัติเชิงกล

1.2.2 ศึกษาปริมาณพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้งานแล้ว ที่เติมลงในพอลิเมอร์ผสม ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

1.3.1 สัณฐานวิทยาและสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม ที่เตรียมได้จากพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้งานแล้ว ที่ผ่านเทคนิคการผสมที่ต่างกัน

1.3.2 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม ที่เตรียมได้จากพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้งานแล้ว ที่อัตราส่วนต่างๆ

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

1.4.1 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสัณฐานวิทยา และสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม ที่ผ่านเทคนิคการผสมโดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill)

1.4.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม ที่เตรียมได้จากพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้งานแล้ว ที่อัตราส่วน 100:0, 100:10, 100:20, 100:30 และ 100:40

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงการงาน

1.5.1 ตัวแปรควบคุม

1.5.1.1 วัตถุประสงค์

ก. พอลิเมอร์ชนิดพอลิพรอพิลีน เกรด PP 700J

ข. ขวดพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่นำมาจาก การรีไซเคิลขวดนมพลาสติกที่ใช้แล้ว

1.5.1.2 กระบวนการขึ้นรูป

ก. ผสมโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder Machine)

ข. ขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding Machine)

1.5.2 ตัวแปรที่ศึกษา

1.5.2.1 ผลของเทคนิคการผสมโดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) ต่อลักษณะสัณฐานวิทยา และสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้

1.5.2.2 ผลของปริมาณพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้วต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม ที่อัตราส่วน 100:0, 100:10, 100:20, 100:30 และ 100:40

1.5.2.3 ศึกษาสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM)

1.5.2.4 ศึกษาสมบัติเชิงกลดังนี้

ก. การทดสอบแรงดึง (Tensile Test) ตามมาตรฐาน ASTM D638

ข. การทดสอบความโค้งงอ (Flexural Test) ตามมาตรฐาน ASTM D790

ค. การทดสอบความแข็งกด (Hardness Test) ตามมาตรฐาน ASTM D2240

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงการงาน

อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการงาน

กรกฎาคม 2555 – กุมภาพันธ์ 2556

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 พอลิเมอร์ผสม (Polymer Blend)

การทำพอลิเมอร์ผสมเป็นวิธีการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ที่นิยมใช้กันมาก โดยการนำพอลิเมอร์ 2 ชนิด ซึ่งอยู่ในสถานะที่เป็นของไหล ได้แก่ เป็นสารละลาย (Solution) หรือสารหลอมเหลว (Molten) มาผสมให้อยู่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (Blending) ได้เป็นพอลิเมอร์ผสม ซึ่งมีสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์แต่ละชนิดมารวมกัน แต่การผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันของพอลิเมอร์ต่างชนิดกันนั้น โดยธรรมชาติแล้วจะเป็นไปได้ยาก ดังนั้น พอลิเมอร์ผสมที่ได้จึงไม่เป็นสารละลายของแข็งที่แท้จริง และพบว่าเมื่ออยู่ในสถานะที่เป็นของแข็ง พอลิเมอร์ชนิดหนึ่งจะกระจายอยู่ในเนื้อหรือเมทริกซ์ที่ต่อเนื่อง (Continuous Matrix) ของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง ทั้งนี้การกระจายตัวดังกล่าวต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ มิฉะนั้น จะทำให้เกิดเป็นข้อบกพร่อง (Defects) ของผลิตภัณฑ์ และส่งผลให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมต่ำกว่าของพอลิเมอร์บริสุทธิ์ได้ ดังนั้นจึงต้องพิจารณาถึงสภาพเข้ากันได้ (Compatibility) ของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันซึ่งบางชนิดสามารถเข้ากันได้ดี บางชนิดไม่สามารถเข้ากันได้ เนื่องจากโครงสร้างสายโซ่ต่างกันจึงไม่สามารถกระจายตัวอย่างอิสระจึงเกิดการแยกชั้น นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยทางพลังงาน (Energy Factor) ที่ทำให้พอลิเมอร์ 2 ชนิดเข้ากันไม่ได้ นั่นคือ พลังงานที่ใช้ในการผสมผสานโมเลกุลหรือสายโซ่ของพอลิเมอร์ เช่น การดูดกลืนพลังงาน ความร้อนของพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่ต่างกัน (สมจิตต์, 2548)

2.1.1 วัตถุประสงค์ของการทำพอลิเมอร์ผสม

ในช่วงอดีตที่ผ่านมาได้มีการค้นพบวัสดุพอลิเมอร์ชนิดใหม่ๆ ที่นำมาใช้ทางการค้าเป็นจำนวนมาก และยังคงมีการพัฒนาเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ซึ่งพอลิเมอร์ผสมจัดเป็นกลุ่มที่มีการศึกษาและพัฒนาเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้อาจจะมีสาเหตุเนื่องมาจาก การทำพอลิเมอร์ผสมมีกรรมวิธีที่ไม่ยุ่งยาก เมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ เช่น การสังเคราะห์พอลิเมอร์ตัวใหม่ขึ้นมาจากมอนอเมอร์ ซึ่งในกรณีหลังจะมีขั้นตอนที่ยุ่งยากมากกว่า เช่น ขั้นตอนการทำสารตั้งต้นให้บริสุทธิ์ และขั้นตอนการศึกษาสถานะที่เหมาะสม ในการสังเคราะห์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้าง น้ำหนักโมเลกุล และปริมาณที่ต้องการ นอกจากนี้วิธีการนี้ยังต้องการผู้ที่มีความรู้เฉพาะด้านอีกด้วย จึงทำให้พบว่าต้องมีการลงทุนสูง และอาจเกิดปัญหาในด้านสิ่งแวดล้อม แต่ในขณะที่การผสมพอลิเมอร์นั้นสามารถทำง่ายกว่า มีการปรับปรุงสมบัติบางประการของพอลิเมอร์ที่มีอยู่ให้ดีขึ้น เพื่อตอบสนองตามความต้องการ และเหมาะแก่การใช้งานของมนุษย์ ในการเลือกพอลิเมอร์ที่จะนำมาผสมต้องคำนึงถึงข้อดี และข้อเสียของพอลิเมอร์เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงสมบัติให้ได้ตามความต้องการ เนื่องจากพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งต้องชดเชยข้อเสียของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง (เอกชัย, 2543)

2.1.2 การแบ่งชนิดของพอลิเมอร์ผสม

พอลิเมอร์ผสมสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท โดยอาศัยความสามารถในการเข้ากันได้ทางเทอร์โมไดนามิกส์ โดยหลักการดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับสมดุลระหว่างเอนทาลปี (Enthalpy) และเอนโทรปี (Entropy) ของการผสมที่มีต่อพลังงานอิสระของการผสม (Free Energy of Mixing) การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของการผสมสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.1

$$\Delta G_m = \Delta H_m - T\Delta S_m \quad (2.1)$$

เมื่อ

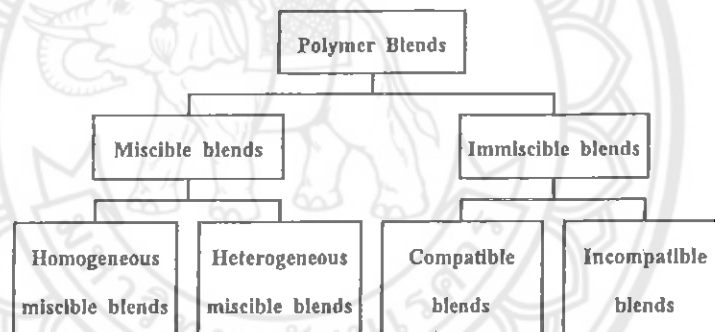
ΔG_m = การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของการผสม (J/mol)

ΔH_m = การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีของการผสม (J/mol)

ΔS_m = การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีของการผสม (J/K.mol)

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

โดยชนิดของพอลิเมอร์ผสมแสดงได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ประเภทของพอลิเมอร์ผสม

ที่มา : เอกชัย (2543)

2.1.2.1 พอลิเมอร์ผสมเป็นเนื้อเดียว (Miscible Polymer Blend)

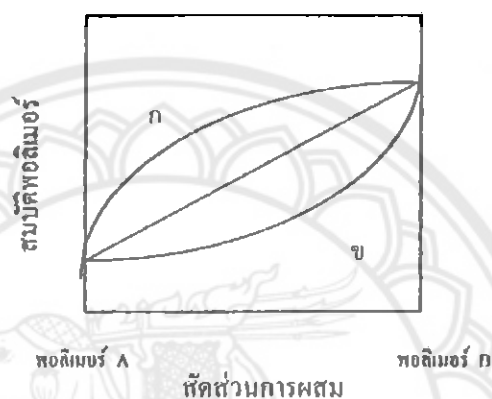
พอลิเมอร์ผสมเป็นเนื้อเดียว หมายถึง พอลิเมอร์ที่นำมาผสมมีค่าบ่งชี้ความสามารถในการละลาย (Solubility Parameter) ใกล้เคียงกัน เป็นผลให้พอลิเมอร์ผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันไปจนถึงระดับโมเลกุล ซึ่งมีพลังงานอิสระของการผสม (Free Energy of Mixing, ΔG_m) $\Delta G_m < 0$ พอลิเมอร์ผสมจะอยู่รวมกันมองเห็นเป็นวัฏภาคเดียว ในโมเลกุลของพอลิเมอร์ A จะมีหมู่ฟังก์ชันแตกต่างจากโมเลกุลพอลิเมอร์ B ทำให้มีแรงดึงดูดกัน

พอลิเมอร์ที่ผสมเข้ากันได้เป็นเนื้อเดียว สามารถแบ่งได้อีก 2 ประเภท คือ

ก. พอลิเมอร์ผสม ที่มีลักษณะเป็นโฮโมจีเนียส (Homogeneous Polymer Blend) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชนิดเดียวกันแต่เกรดต่างกัน

ข. พอลิเมอร์ผสม ที่มีลักษณะเป็นเฮเทอโรจีเนียส (Heterogeneous Polymer Blend) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์เนื้อเดียวที่มาจากสารตั้งต้นที่ต่างชนิดกัน

โดยสมบัติของพอลิเมอร์ที่ผสมเข้าด้วยกันเป็นเนื้อเดียว มักจะอยู่กึ่งกลางๆ ระหว่างสมบัติของสารตั้งต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เช่น ค่าอุณหภูมิทรานสิชันแก้ว (T_g) ของพอลิเมอร์ที่เข้าด้วยกันเป็นเนื้อเดียว จะอยู่ตรงกลางระหว่างค่าอุณหภูมิทรานสิชันแก้วเดิมของพอลิเมอร์ที่นำมาผสม



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทั่วไปกับอัตราส่วนผสมของพอลิเมอร์ผสมรวมเป็นเนื้อเดียว

ก) บริเวณเฟสของพอลิเมอร์ A

ข) บริเวณเฟสของพอลิเมอร์ B

ที่มา : เอกชัย (2543)

2.1.2.2 พอลิเมอร์ผสมไม่รวมเป็นเนื้อเดียว (Immiscible Polymer Blend)

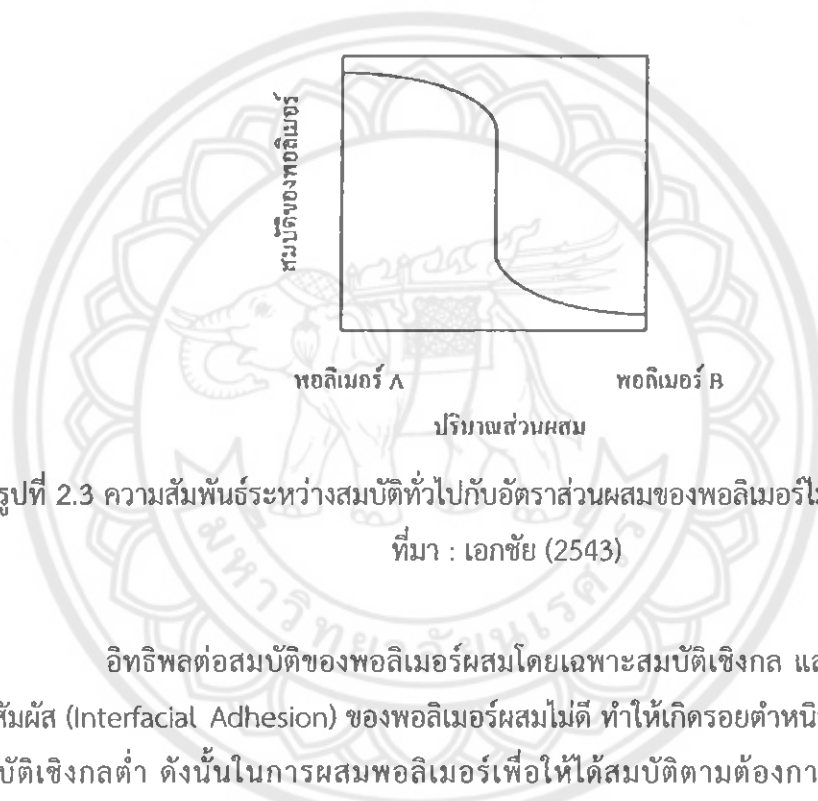
พอลิเมอร์ผสมไม่รวมเป็นเนื้อเดียว หมายถึง พอลิเมอร์ผสมที่แยกออกจากกัน เป็น 2 วัฏภาคอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งมีพลังงานอิสระของการผสม (Free Energy of Mixing, ΔG_m) $\Delta G_m > 0$ โดยที่พอลิเมอร์ที่มีปริมาณน้อยจะเป็นวัฏภาคกระจาย พอลิเมอร์ที่มีปริมาณมากจะเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง พอลิเมอร์ส่วนใหญ่จัดอยู่ในประเภทนี้

พอลิเมอร์ผสมไม่รวมเป็นเนื้อเดียว สามารถแบ่งได้อีก 2 ประเภท คือ

ก. พอลิเมอร์ผสมที่สามารถผสมเข้ากันได้ (Compatible Polymer Blend) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ผสมที่มีการยึดเกาะที่เหนียวแน่นระหว่างเฟส

ข. พอลิเมอร์ผสมที่ไม่สามารถผสมเข้ากันได้ (Incompatible Polymer Blend) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ผสมที่มีการยึดเกาะระหว่างเฟสที่ไม่ดี

เนื่องจากพอลิเมอร์ส่วนมากเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ (Macromolecule) มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเป็นสาเหตุทำให้มีค่าการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีในการผสมต่ำ ส่วนค่าการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีในการผสมมักมีค่าเป็นบวก ทำให้ค่าพลังงานอิสระกิบส์ของพอลิเมอร์ผสมมีค่ามากกว่าศูนย์ เป็นผลให้พอลิเมอร์ผสมไม่รวมเป็นเนื้อเดียว หรือกล่าวได้ว่า พอลิเมอร์ที่นำมาผสมนั้นมีค่าบ่งชี้ความสามารถในการละลาย (Solubility Parameter, δ) ต่างกันมาก เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียว สามารถแบ่งได้เป็น 2 วัฏภาค คือ พอลิเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบหลักของพอลิเมอร์ผสม เรียกว่า วัฏภาคหลัก (Matrix Phase) ส่วนพอลิเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบส่วนน้อย เรียกว่า วัฏภาคกระจาย (Dispersed Phase) โดยความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทั่วไปกับอัตราส่วนผสมของพอลิเมอร์ที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (เอกชัย, 2543) ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทั่วไปกับอัตราส่วนผสมของพอลิเมอร์ไม่รวมเป็นเนื้อเดียว
ที่มา : เอกชัย (2543)

อิทธิพลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสมโดยเฉพาะสมบัติเชิงกล และการยึดติดระหว่างผิวสัมผัส (Interfacial Adhesion) ของพอลิเมอร์ผสมไม่ดี ทำให้เกิดรอยตำหนิระหว่างเฟส ซึ่งทำให้สมบัติเชิงกลต่ำ ดังนั้นในการผสมพอลิเมอร์เพื่อให้ได้สมบัติตามต้องการ จำเป็นต้องทราบความสามารถในการเข้ากันของพอลิเมอร์แต่ละชนิด ดังตัวอย่างรูปที่ 2.4

จากรูปที่ 2.4 จะเห็นได้ว่าพอลิเมอร์ผสมส่วนใหญ่เข้ากันไม่ได้ จึงเป็นผลให้พอลิเมอร์ผสมเกิดข้อบกพร่องต่างๆ เช่น มีสมบัติการยึดติดที่ผิวระหว่างวัฏภาคที่ไม่ดี มีสัณฐานวิทยา (Morphology) ที่ไม่เสถียรในขณะผ่านกระบวนการแปรรูป ดังนั้นจำเป็นต้องมีวิธีการปรับปรุงเทคนิคการผสมเพื่อให้พอลิเมอร์ผสมที่ไม่เข้ากันให้มีการยึดติดระหว่างผิวสัมผัสดีขึ้น (Paul D.R. and Bucknall C.B, 2002)

	LDPE	HDPE	Ethylene Copolymers		PP	EPDM	PS	SAN	ABS	PVC	PA	PC	PMMA	PBT	PET	SEBS
HDPE	1															
Ethylene Copolymers	1	1														
PP	4	4	2													
EPDM	4	4	3	1												
PS	4	4	4	4	4											
SAN	4	4	4	4	4	4										
ABS	4	4	4	4	4	4	1									
PVC	4	4	2	4	4	4	2	3								
PA	4	4	1	4	1	4	4	4	4							
PC	4	4	4	4	4	4	2	1	4	4						
PMMA	4	4	3	4	4	4	2	2	2	4	2					
PBT	4	4	2	4	4	4	4	2	4	4	1	4				
PET	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	1	4	2			
SEBS	4	4	4	4	4	1	3	2	3	3	4	4	4	4		

รูปที่ 2.4 ความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม 1=ดีมาก 2=ดี 3=เข้ากันได้แต่ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบ และ 4=ไม่ดี

ที่มา : Paul D.R. and Bucknall C.B (2002)

2.2 พลาสติกรีไซเคิล (Plastic Recycle)

การดำเนินชีวิตในปัจจุบันไม่อาจหลีกเลี่ยงผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติก ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ ล้วนมีพลาสติกเป็นส่วนประกอบด้วยทั้งสิ้น พลาสติกเหล่านี้เป็นพลาสติกที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ (Non-biodegradable) หมายถึงการย่อยสลายของพลาสติกจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาอันยาวนานถึง 1,000 ปีก็เป็นได้ จากผลการสำรวจด้านงานวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวกับอันตรายที่เกิดจากพลาสติก และการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้นมีความรุนแรงอย่างมาก ส่วนใหญ่เป็นพลาสติกที่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพ การกำจัดขยะพลาสติกสามารถทำได้หลายวิธี การนำไปฝัง (Burial) หรือนำไปถมดิน (Landfill) การนำไปเผาเป็นเชื้อเพลิง (Incineration) และวิธีการที่นิยมมากที่สุด คือ นำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) อย่างไรก็ตาม การนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ก็เป็นทางออกที่ดีที่สุดสำหรับสิ่งแวดล้อม (อรรวรรณ, 2553)

2.2.1 การรีไซเคิล (Recycle)

การรีไซเคิลพอลิเมอร์ เป็นการนำพอลิเมอร์กลับมาใช้ใหม่ และเป็นการนำพอลิเมอร์มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ก่อนจะนำไปเป็นขยะ สิ่งสำคัญของการรีไซเคิล คือ ต้องทำการคัดแยกพลาสติกก่อน เนื่องจากพลาสติกส่วนใหญ่จะไม่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ และการหลอมขึ้นรูปใหม่จะต้องเป็นพอลิเมอร์ชนิดเดียวกันเท่านั้น โดยการนำพลาสติกมาหลอมแล้วขึ้นรูปใหม่ อาจ

ส่งผลต่อประสิทธิภาพของพลาสติกที่ลดลง เนื่องจากการสลายตัวของสายโซ่ที่เกิดจากความร้อนในกระบวนการขึ้นรูป หรือได้ชิ้นงานที่มีสีไม่สดใส เนื่องจากไม่สามารถแยกสีที่ผสมกับพลาสติกในการขึ้นรูปครั้งแรกออกได้หมดการรีไซเคิลสามารถทำได้เฉพาะพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) เท่านั้น ก่อนนำมาหลอมใช้ใหม่ ดังนั้นกระบวนการรีไซเคิลจึงต้องมีวิธีการคัดแยกพอลิเมอร์ และเพื่อให้การคัดแยกก่อนนำไปรีไซเคิลจึงมีการกำหนดสัญลักษณ์เพื่อบอกถึงชนิดของพอลิเมอร์สามารถแบ่งออกเป็น 7 ประเภทหลัก แสดงได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงชนิดการรีไซเคิลของพลาสติก

สัญลักษณ์	พอลิเมอร์	การนำไปใช้	ผลิตภัณฑ์รีไซเคิล
 PET	พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Poly (Ethylene Terephthalate))	ขวดใส่เครื่องดื่ม ถุงใส่อาหารร้อน	เส้นใยพอลิเมอร์ เช่น เสื้อกันหนาว พรม
 HDPE	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene)	ขวดใส่นม ขวด แชมพู น้ำยาใน ครัวเรือน	เฟอร์นิเจอร์ เช่น เก้าอี้ ม้านั่ง
 PVC	พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride)	ฉนวนหุ้มสายไฟ สายยางใส ท่อ น้ำประปา	กรวยจราจร
 LDPE	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene)	ฟิล์มห่ออาหาร ถุงพลาสติก	ถุงดำ ตู้จดหมาย
 PP	พอลิพรอพิลีน (Polypropylene)	ถุงร้อน จาน ชาม อุปกรณ์ไฟฟ้าบาง ชนิด	กล่องแบตเตอรี่ กันชนรถยนต์
 PS	พอลิสไตรีน (Polystyrene)	โฟมกันกระแทก ถ้วยไอศกรีม	ไม้แขวนเสื้อ ไม้บรรทัด
 OTHER	พลาสติกชนิดอื่นๆ (Other Types of Plastic)	ขวดน้ำส้ม ขวดน้ำ- มะนาว	พลาสติกไม้ ผลิตภัณฑ์พลาสติก ชนิดอื่นๆ

ที่มา : กิตติมา (2547)

พลาสติกกลุ่มที่ 1 คือ พอลิเอทิลีนเทเรพธาลेट (Poly (Ethylene Terephthalate) : PET) สัญลักษณ์คือ 1 เป็นพลาสติกที่ใสเป็นส่วนใหญ่ มองทะลุได้ แข็งแรงทนทาน และเหนียว ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดี มีจุดหลอมเหลว 250-260 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น 1.38-1.39 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร นิยมใช้ทำบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ เช่น ขวดใส่เครื่องดื่ม ถุงใส่อาหารร้อน เป็นต้น

พลาสติกกลุ่มที่ 2 คือ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene : HDPE) สัญลักษณ์คือ 2 เป็นพลาสติกที่มีความหนาแน่นสูง ค่อนข้างเหนียว มีจุดหลอมเหลว 137 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น 0.95-0.96 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร นิยมใช้ทำบรรจุภัณฑ์ทำความสะอาดร่างกาย เช่น ขวดใส่สบู่ ขวดแชมพู น้ำยาในครัวเรือน เป็นต้น

พลาสติกกลุ่มที่ 3 คือ พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride : PVC) สัญลักษณ์คือ 3 เป็นพลาสติกที่มีลักษณะทั้งนิ่ม และแข็ง สามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายรูปแบบ มีสีสันทสวยงาม มีจุดหลอมเหลว 75-90 องศาเซลเซียส เป็นพลาสติกที่นิยมใช้ทำ ฉนวนหุ้มสายไฟ สายยางใส่ท่อน้ำประปา เป็นต้น

พลาสติกกลุ่มที่ 4 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene : LDPE) สัญลักษณ์คือ 4 เป็นพลาสติกที่มีความหนาแน่นต่ำ มีความนิ่มกว่าพอลิไวนิลคลอไรด์มีความเหนียว และสามารถยืดตัวได้ในระดับหนึ่ง ส่วนใหญ่ใสมองเห็นได้ มีจุดหลอมเหลว 110 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น 0.92-0.94 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร นิยมใช้ทำบรรจุภัณฑ์ห่ออาหาร เช่น ฟิล์มห่ออาหาร ถุงพลาสติก เป็นต้น

พลาสติกกลุ่มที่ 5 พอลิพรอพิลีน (Polypropylene : PP) สัญลักษณ์คือ 5 เป็นพลาสติกที่ส่วนใหญ่มีความหนาแน่นต่ำ แข็ง และเหนียว คงรูปได้ดี ทนต่อความร้อนและสารเคมี มีจุดหลอมเหลว 160-170 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น 0.90-0.91 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร นิยมใช้ทำบรรจุภัณฑ์สำหรับใส่อาหารในครัวเรือน เช่น ถุงร้อน จาน ชาม อุปกรณ์ไฟฟ้าบางชนิด เป็นต้น

พลาสติกกลุ่มที่ 6 พอลิสไตรีน (Polystyrene : PS) สัญลักษณ์คือ 6 เป็นพลาสติกที่มีความใส แข็งแต่เปราะ แตกหักง่าย สามารถทำเป็นโฟมได้ มีจุดหลอมเหลว 70-115 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น 0.90-0.91 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร นิยมใช้ทำบรรจุภัณฑ์ เช่น โฟมกันกระแทก ถ้วยไอศกรีม เป็นต้น

พลาสติกกลุ่มที่ 7 พลาสติกชนิดอื่นๆ ไม่ใช่พลาสติกทั้ง 6 กลุ่มพบมาก และหลายรูปแบบ เช่น ขวดน้ำส้ม ขวดน้ำมะนาว (ปรกรณ์ และมัตนา, 2554)

โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้พอลิเมอร์กลุ่มที่ 2 คือพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้วมาทำการรีไซเคิลโดยทำการเตรียมเป็นพอลิเมอร์ผสมกับพอลิเมอร์ชนิดพอลิพรอพิลีน

2.2.1.1 ประเภทของการรีไซเคิล

ปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตมีความก้าวหน้า และทันสมัยทำให้เรามีผลิตภัณฑ์พลาสติกหลากหลายรูปแบบ มีสมบัติที่โดดเด่นหลายด้านทำให้พลาสติกได้รับการยอมรับอย่างรวดเร็ว และมีปริมาณการใช้งานเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลให้เกิดขยะพลาสติกในปริมาณสูงมากขึ้นตามด้วย ดังนั้นการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่หรือการรีไซเคิล จึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมากเพราะนอกจากจะช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกแล้วยังเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าอีกด้วย การพัฒนาทางเทคโนโลยีในช่วงหลายปีที่ผ่านมาทำให้การรีไซเคิลพลาสติกมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี โดยแบ่งเป็น 4 ประเภทหลัก ดังต่อไปนี้

ก. การรีไซเคิลแบบปฐมภูมิ (Primary Recycling)

เป็นการนำขวดหรือเศษพลาสติกชนิดเดียวกัน และไม่มีสิ่งปนเปื้อน ที่เกิดในกระบวนการผลิตหรือขึ้นรูปกลับมาใช้ซ้ำ โดยสามารถนำมาใช้ซ้ำทั้งหมดหรือเติมผสมกับเม็ดใหม่ที่มีอัตราส่วนต่างๆ

ข. การรีไซเคิลแบบทุติยภูมิ (Secondary Recycling)

การรีไซเคิลแบบทุติยภูมิหรือกระบวนการหลอมขึ้นรูปใหม่ เป็นการนำพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้วมาทำความสะอาด บด หลอม และขึ้นรูปกลับไปเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกอีกครั้ง การรีไซเคิลแบบทุติยภูมินี้ยังสามารถแบ่งย่อยได้เป็นหลายเทคนิค คือ การรีไซเคิลเชิงกล (Mechanical Recycling) เป็นเทคนิคที่ง่าย และนิยมใช้มากที่สุดในปัจจุบัน โดยการเก็บพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้วมาคัดแยกตามประเภท และสีมาล้างทำความสะอาดก่อนนำมาบดเป็นชิ้นเล็กๆ และหลอมเป็นเม็ดพลาสติกเกรดสองหรือเม็ดพลาสติกรีไซเคิลเพื่อนำกลับไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่หรือนำมาผสมกับเม็ดใหม่เพื่อให้ได้สมบัติที่ต้องการ ก่อนนำไปผ่านกระบวนการขึ้นรูป โดยคุณภาพของเม็ดพลาสติกรีไซเคิลนี้จะเป็นตัวกำหนดการนำไปใช้งาน และปริมาณการผสมที่ต้องการ ปัญหาในกระบวนการรีไซเคิลพลาสติก คือ หลังจากผ่านกระบวนการรีไซเคิลในแต่ละครั้งพลาสติกจะมีคุณภาพต่ำลงปฏิกิริยาการขาดของสายโซ่โมเลกุล ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และมีราคาถูกลงเรื่อยๆ จนบางครั้งไม่คุ้มต่อการลงทุน สาเหตุที่สำคัญเนื่องมาจากมีการปนเปื้อนของสิ่งสกปรก ฉลากเล็กๆ หรือเศษแก้วทำให้เม็ดพลาสติกรีไซเคิลมีสีเข้มขึ้นหรือ มีความใสลดลง นอกจากนี้ความชื้นในพลาสติก และความร้อนที่ใช้ในการหลอมพลาสติกยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการสลายตัว หรือเกิดการขาดของสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ที่ใช้ทำพลาสติก ทำให้เม็ดพลาสติกรีไซเคิลมีสีเหลือง และมีสมบัติเชิงกลลดลงด้วย เนื่องจากเม็ดพลาสติกรีไซเคิลมีข้อจำกัดในด้านสมบัติ การขึ้นรูป และการใช้งาน ดังนั้นการปรับปรุงโดยวิธีการทางเคมีจะช่วยลดข้อจำกัดดังกล่าวหรือทำให้เม็ดรีไซเคิลมีลักษณะใกล้เคียงกับเม็ดใหม่ได้ การปรับปรุงนี้สามารถใช้ได้กับทั้งพลาสติกชนิดเดียวหรือพลาสติกผสม ถ้าเป็นพลาสติกชนิดเดียวก็จะเป็นการเติมสารเคมีหรือใช้วิธีการผ่านด้วยรังสี แต่ถ้าเป็นพลาสติกผสมมักใช้สารช่วยในการผสมให้เข้ากันที่รู้จักกันโดยทั่วไปว่า สารเพิ่มความเข้ากันได้ (Compatibilizer) การหลอมอัดรีดร่วม และการฉีดร่วม (Co-extrusion and

Co-injection Molding) เป็นอีกเทคนิคหนึ่งของการรีไซเคิลแบบทุติยภูมิ ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับอาหาร ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ผลิตได้จากกระบวนการนี้จะมีลักษณะโครงสร้างเป็นชั้นๆ เหมือนแซนด์วิช โดยที่ผิวหน้าเป็นชั้นที่ผลิตจากพลาสติกใหม่ซึ่งมีความต้านทานต่อแรงดึงสูง ป้องกันการขีดข่วนได้ดี และมีสีสันทนทาน ส่วนชั้นกลางเป็นชั้นของพลาสติกรีไซเคิล

ค. การรีไซเคิลแบบตติยภูมิ (Tertiary Recycling)

การรีไซเคิลแบบตติยภูมิแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การรีไซเคิลทางเคมี (Chemical Recycle) และทางความร้อน (Thermolysis) การรีไซเคิลทางเคมี เป็นกระบวนการที่ทำให้โครงสร้างสายโซ่ของพอลิเมอร์เกิดการขาดหรือแตกออก (Depolymerisation) ได้มอนอเมอร์ (Monomer) หรือโอลิโกเมอร์ (Oligomer) เป็นผลิตภัณฑ์เมื่อนำมาทำให้บริสุทธิ์โดยการกลั่น และตกผลึกได้เป็นสารตั้งต้นที่มีคุณภาพสูงซึ่งสามารถนำไปใช้ผลิตได้ใหม่ การรีไซเคิลทางความร้อน โครงสร้างสามารถเกิดการแตกหรือขาดได้ โดยใช้ความร้อน แบ่งออกได้เป็น 3 วิธี คือ แบบไม่ใช้ออกซิเจน (Pyrolysis) แบบใช้ออกซิเจน (Gasification) และการเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation)

ค.1 แบบไม่ใช้ออกซิเจน เป็นกระบวนการที่ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแตกออกโดยใช้ความร้อนแบบไม่ใช้ออกซิเจน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการควบแน่นเป็นของเหลวที่เรียกว่า น้ำมันดิบสังเคราะห์ (Synthetic Crude Oil) สามารถนำกลับไปใช้ในโรงกลั่น และส่วนที่ไม่เกิดการควบแน่นจะถูกนำกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนภายในกระบวนการ

ค.2 แบบใช้ออกซิเจน เป็นกระบวนการที่ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์ของพेटเกิดการแตกออกโดยใช้ความร้อนแบบใช้ออกซิเจน กระบวนการนี้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่า แบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และไฮโดรเจน สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้โดยตรง แต่ถ้าทำการแยกก่อนนำมาใช้ในรูปของสารเคมีจะมีมูลค่าสูงขึ้น 2-3 เท่า

ค.3 การเติมไฮโดรเจน เป็นเทคนิคที่ปรับปรุงมาจากกระบวนการกลั่นน้ำมันแบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยสายโซ่พอลิเมอร์จะถูกทำให้แตกหรือขาดออกจากกันด้วยความร้อนและสัมผัสกับไฮโดรเจนที่มากเกินไปที่ความดันสูงกว่า 100 บรรยากาศ จนเกิดปฏิกิริยาแตกตัว (Cracking) และเกิดการเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation) อย่างสมบูรณ์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่เป็นเชื้อเพลิงเหลว เช่น น้ำมันแก๊สโซลีนหรือดีเซล กระบวนการรีไซเคิลทางความร้อนถือได้ว่าเป็นเทคโนโลยีที่มีประโยชน์ และคุ้มค่ากว่าการรีไซเคิลทางเคมี เพราะสามารถจัดการขยะที่เป็นพลาสติกผสมที่มีสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ ที่ไม่ใช่พลาสติกได้ ในขณะที่การรีไซเคิลทางเคมีต้องใช้พลาสติกที่มีความสะอาดค่อนข้างสูง และมีการผสมหรือปนเปื้อนได้เพียงเล็กน้อย ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการเตรียมวัตถุดิบสูง อย่างไรก็ตามพลาสติกที่จะนำมารีไซเคิลทางความร้อนก็ควรมีการคัดขนาดหรือกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกบ้าง

ง. การรีไซเคิลแบบจตุภูมิ (Quaternary Recycling)

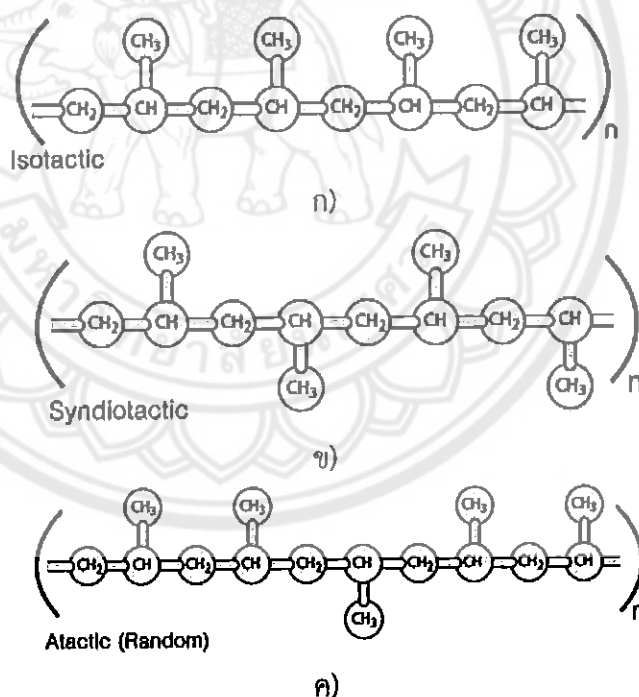
พลาสติกสามารถนำมาเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนโดยการเผาไหม้ของพลาสติกให้ค่าความร้อนใกล้เคียงกับถ่านหิน ช่วยในการเผาไหม้ส่วนที่เป็นขยะเปียก ทำให้ลดปริมาณ

เชื้อเพลิงที่ต้องใช้ในการเผาขยะ ถึงแม้ว่าการรีไซเคิลพลาสติกยังไม่ได้รับความนิยมมากนัก แต่ขณะนี้กำลังได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาที่เราให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อม และทรัพยากรธรรมชาติ การนำพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้วกลับมารีไซเคิลใช้ซ้ำ จึงเป็นอีกหนทางหนึ่งที่จะช่วยให้เรารักษาความสวยงาม และความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรธรรมชาติไว้ได้ (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2550)

2.3 พอลิเมอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

2.3.1 พอลิพรอพิลีน (Polypropylene : PP)

พอลิพรอพิลีน เป็นพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงประกอบด้วยมอนอเมอร์พรอพิลีน (Propylene) หลายๆ ตัวเกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของก๊าซพรอพิลีน โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นสารประกอบพวกโลหะ เช่น ไทเทเนียมคลอไรด์ การใช้ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา และสภาวะของการเกิดปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน ทำให้ได้พอลิพรอพิลีนที่มีการจัดเรียงโครงสร้างต่างกัน 3 ชนิดคือ ไอโซแทคติก (Isotactic), ซินดีโอแทคติก (Syndiotactic) และอะแทคติก (Atactic) ขึ้นอยู่กับทิศทางการจับของหมู่เมธิลกับอะตอมคาร์บอน ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ภาพการจัดเรียงโครงสร้างของพอลิพรอพิลีน (Polypropylene : PP)

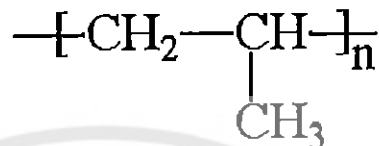
ก) ไอโซแทคติก (Isotactic)

ข) ซินดีโอแทคติก (Syndiotactic)

ค) อะแทคติก (Atactic)

ที่มา : วิริยะ (2554)

พอลิพรอพิลีนชนิดไอโซแทคติก (Isotactic) นำมาผลิตเป็นพลาสติกใช้อยู่โดยทั่วไป เนื่องจากโครงสร้างมีการจัดเรียงของหมู่เมธิลอยู่ด้านเดียวกันอย่างเป็นระเบียบจึงมีความเป็นผลึกสูง ทำให้พอลิเมอร์มีความแข็ง ทนทาน ตรงข้ามกับชนิดอะแทคติก (Atactic) ที่จะมีความเหนียวมากกว่า เนื่องจากหมู่เมธิลมีการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ (Amorphous) ส่วนชนิดซินดิโอแทคติก (Syndiotactic) หมู่เมธิลจัดเรียงตรงข้ามกันมีความแข็งน้อยกว่า แต่จะทนทานมากกว่าชนิดไอโซแทคติก (Isotactic) โดยสูตรโครงสร้างทางเคมีของพอลิพรอพิลีนแสดงได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 สูตรโครงสร้างทางเคมีของพอลิพรอพิลีน (Polypropylene : PP)

ที่มา : วิริยะ (2554)

2.3.1.1 การใช้งาน

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพอลิพรอพิลีนที่พบเสมอคือ กล่องเครื่องมือ กระเป๋า ปกแฟ้มเอกสาร กล่อง และตลับเครื่องสำอาง เครื่องใช้ในครัวเรือน กล่องบรรจุอาหาร อุปกรณ์ของรถยนต์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ วัสดุบรรจุภัณฑ์ในอุตสาหกรรม อุปกรณ์ทางการแพทย์ ขวดใส่สารเคมี กระจองน้ำมันเครื่อง กระจองข้าว และถุงบรรจุปุ๋ย (ชัยวัฒน์, 2527)

2.3.1.2 สมบัติของพอลิพรอพิลีน

สมบัติของพอลิพรอพิลีน มีความแข็ง ความเปราะ และแตกง่ายน้อยกว่า พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และมีความยืดหยุ่นน้อยกว่า พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ มีผิวแข็ง ทนทานต่อการขีดข่วน คงตัวไม่เสียรูปร่าง มีความทนทานมากสามารถทำเป็นบานพับในตัว เมื่อไม่ได้ผสมสีมีลักษณะขาวขุ่น ทึบแสงกว่าพอลิเอทิลีน แต่ไม่ใสเท่ากับพอลิสไตรีน มีน้ำหนักเบา เนื่องจากมีความหนาแน่นน้อย ในช่วง 0.90-0.91 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จึงสามารถลอยน้ำได้ เช่นเดียวกับพอลิเอทิลีน มีจุดหลอมเหลวสูง 160-180 องศาเซลเซียส สามารถทนอุณหภูมิสูงที่ใช้ในการฆ่าเชื้อได้ เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก แม้ที่อุณหภูมิสูง มีความต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำ และก๊าซได้ดี ทนทานต่อสารเคมีได้ สมบัติทั่วไปของพอลิพรอพิลีน (ชัยวัฒน์, 2527) แสดงได้ดังตารางที่

2.2

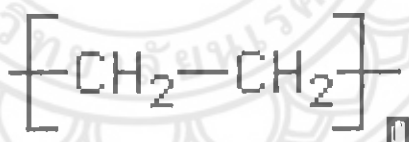
ตารางที่ 2.2 สมบัติทั่วไปของพอลิพรอพิลีน

สมบัติเชิงกล	ค่า	หน่วย
ความถ่วงจำเพาะ	0.90-0.91	-
มอดูลัสแรงดึง	1.14-1.55	GPa
ความแข็งแรงดึง	31.0-41.4	MPa
ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก	31.0-37.2	MPa
ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด	100-600	%
อุณหภูมิหลอมเหลว	160-180	°C
อุณหภูมิตransition แก้ว	-18	°C
อุณหภูมิการขึ้นรูป	190-288	°C

ที่มา : วิริยะ (2554)

2.3.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene : HDPE)

พอลิเอทิลีนผลิตจากแก๊สเอทิลีนที่ผ่านกระบวนการเติมสาร ที่ทำให้สามารถจับตัวกันเป็นพอลิเมอร์ได้ภายใต้แรงดันขนาดต่างๆ ทำให้ได้พอลิเมอร์ที่มีขนาดตั้งแต่น้ำหนักโมเลกุลต่ำ (ลักษณะเป็นน้ำมัน หรือไขข้น) ไปจนถึงขนาดโมเลกุลสูง (ลักษณะเป็นของแข็งที่ยืดหยุ่นได้) โดยสูตรโครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (ชัยวัฒน์, 2527) แสดงได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 สูตรโครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
(High Density Polyethylene : HDPE)

ที่มา : วิริยะ (2554)

2.3.2.1 การใช้งาน

ผลิตภัณฑ์ที่มาจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง สามารถทนทานต่อสารเคมี และตัวทำละลายหลายชนิด มีความยืดหยุ่นต่อแรงกระแทก ไม่แตกร้าวง่าย สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในงานต่างๆ โดยเฉพาะการผลิตภาชนะบรรจุที่เตรียมจากการเป่าจากแม่พิมพ์ (Blow Molding) เนื่องจากหดตัวในแม่พิมพ์ได้ดีมาก ไม่ติดแม่พิมพ์ ทำให้ถอดออกจากแม่พิมพ์ได้ง่าย ภาชนะที่ผลิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เช่น ขวดบรรจุนมสด ขวดบรรจุน้ำยาซักผ้า

ภาชนะที่ผลิตจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เช่น ขวดบรรจุนมสด ขวดบรรจุน้ำยาซักผ้า ถังบรรจุน้ำมันในยานยนต์ ท่อประปา โตะ แก้วที่พับได้ ถุงพลาสติก นอกจากนี้ยังใช้ในการบุพื้น บ่อฝังกลบขยะเพื่อป้องกันการรั่วซึมของสารเคมีลงสู่พื้นดิน และแหล่งน้ำธรรมชาติ (ชัยวัฒน์, 2527)

2.3.2.2 สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

เนื่องจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมีโครงสร้างทางเคมีที่เป็นกิ่งสาขา (Branching) น้อย จึงมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ค่อนข้างสูง มีความแข็งแรง เมื่อความหนาแน่นสูงขึ้นจะทำให้มีความแข็ง และความเหนียวเพิ่มขึ้น แต่เมื่อความหนาแน่นลดลง จะทำให้ผิวแตกรานได้ง่ายทนความร้อนได้ไม่มากนัก แต่ทนสารเคมีได้ดี โดยทนความร้อนที่อุณหภูมิสูงถึง 120 องศาเซลเซียส ได้ในช่วงสั้นๆ แต่ไม่สามารถทนอุณหภูมิสูงในหม้ออัดไอน้ำ (Autoclave) เท้าพลาสติกชนิดพอลิพรอพิลีน และทนต่อสารเคมีมากกว่า พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ทนต่อสภาพอากาศได้ดีพอสมควร แต่อากาศสามารถ ซึมผ่านได้ มีสีขาวขุ่น โปร่งแสง มีความลื่นมันในตัว มีความเหนียว และยืดหยุ่น ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส มีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำจึงลอยน้ำได้ สามารถผสมให้มีสีต่างๆ ได้ โดยสมบัติทั่วไปของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (ชัยวัฒน์, 2527) แสดงได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สมบัติทั่วไปของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

สมบัติเชิงกล	ค่า	หน่วย
ความถ่วงจำเพาะ	0.95-0.96	-
มอดูลัสแรงดึง	1.06-1.09	GPa
ความแข็งแรงดึง	22.1-31.0	MPa
ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก	26.1-33.1	MPa
ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด	10-1200	%
อุณหภูมิหลอมเหลว	130-137	°C
อุณหภูมิทรานสิชันแก้ว	-90	°C
อุณหภูมิการขึ้นรูป	176-273	°C

ที่มา : วิริยะ (2554)

2.4 กระบวนการผลิต

กระบวนการขึ้นรูปพอลิเมอร์นั้นถือว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่ออุตสาหกรรมพอลิเมอร์ เพราะเกี่ยวข้องกับการนำเอาพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้ที่มีสมบัติเหมาะสม มาผลิตเป็นรูปทรงต่างๆ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ โดยกระบวนการนี้จะเกี่ยวข้องกับความรู้อันหลายๆ ด้าน ทั้งการออกแบบ

ออกแบบแม่พิมพ์เป็นต้น โดยทั่วไปการขึ้นรูปพอลิเมอร์ทำโดยการหลอมให้อยู่ในสถานะของเหลว แล้วทำการเคลื่อนของเหลวนี้ผ่าน หรือเข้าไปเติมในแม่พิมพ์ แล้วทำให้เย็นตัวลง เพื่อให้ได้ชิ้นงานในรูปทรงที่ต้องการ การขึ้นรูปทำได้หลายวิธี เช่น เครื่องอัดรีดแบบเกลียวท่อนเดียว (Single Screw Extruder Machine), เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding Machine), เครื่องเป่าพลาสติก (Blow Molding Machine) เป็นต้น

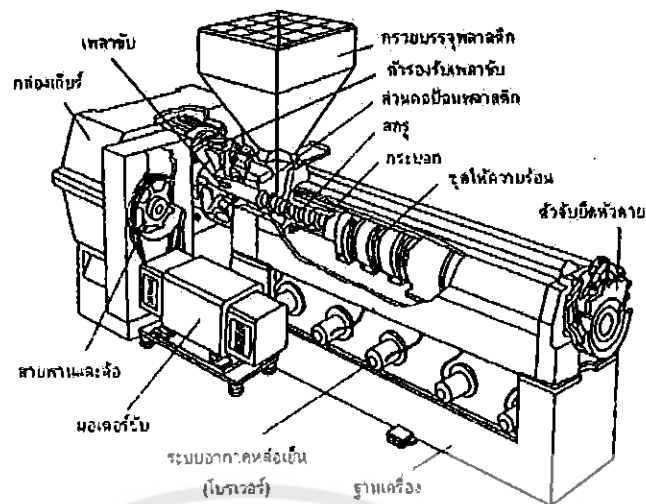
2.4.1 กระบวนการผสม

2.4.1.1 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวท่อนเดียว (Single Screw Extruder Machine)

หลักของการรีดพลาสติก คือ เม็ดพลาสติกที่ถูกป้อนเข้ามาในเครื่องรีด (Extruder) ถูกอัดหลอม และผสมในระหว่างเกลียวท่อน (Screw) และกระบอกของเครื่องรีด (Barrel) ทั้งนี้โดยอาศัยความแตกต่างของความเสียดทานที่เกิดขึ้นในพอลิเมอร์หลอมเหลวที่อยู่ระหว่างผิวของเกลียวท่อน และกระบอก ทำให้เกิดพลังงานที่ได้จากแรงเฉือนช่วยในการหลอม และการผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วจึงถูกอัดผ่านหัวตาย (Die) ซึ่งเป็นส่วนที่ถูกยึดติดกับส่วนปลายของกระบอกต่อจากแผ่นเบรกเกอร์ และตะแกรงกรอง (Perforated breaker plate) ที่จำเป็นต้องใช้ เนื่องจากเป็นตัวกรองเศษโลหะที่อาจปนเปื้อนหรือพลาสติกที่ยังหลอมเหลวไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้ยังเป็นการก่อให้เกิดความดันพอเพียงในการรีดพอลิเมอร์หลอมเหลวผ่านหัวตายด้วย

ทั้งนี้กระบวนการรีดไม่เพียงแต่จะประกอบด้วยเครื่องรีดพลาสติกเท่านั้น แต่ยังประกอบด้วยอุปกรณ์อื่นๆ คือ ระบบหัวตายเพื่อสร้างรูปทรงให้กับพอลิเมอร์หลอมเหลวตามที่ต้องการ เครื่องปรับขนาด (Calibrator) เพื่อใช้ในการปรับขนาดของพลาสติกที่ถูกรีดออกมา (Extrudate) ซึ่งมักเกิดการบวมตัว (Die Swell) นอกจากนี้ยังประกอบด้วย ชุดหล่อเย็น (Cooling Bath) ซึ่งจะเป็นระบบลูกกลิ้งในรางน้ำเพื่อทำให้พอลิเมอร์หลอมเหลวที่ผ่านเข้าสู่อ่างน้ำเกิดการแข็งตัว จากนั้นจะผ่านเข้าสู่เครื่องม้วนเก็บเป็นชิ้นงาน เช่น ฟิล์ม หรือเข้าสู่เครื่องตัดเป็นเม็ดเล็ก เพื่อนำเข้าสู่กระบวนการขึ้นรูปอื่นๆ ต่อไป

กระบวนการรีดนี้ไม่เพียงแต่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานสำเร็จเช่น ท่อ แต่อาจจะใช้ในการผสมพอลิเมอร์มากกว่า 2 ชนิดขึ้นไปหรือใช้ในการผสมกับสารเติมแต่งพลาสติกเพื่อทำให้มีสมบัติด้านต่างๆ ดีขึ้น (ปาเจรา, 2554) ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.8

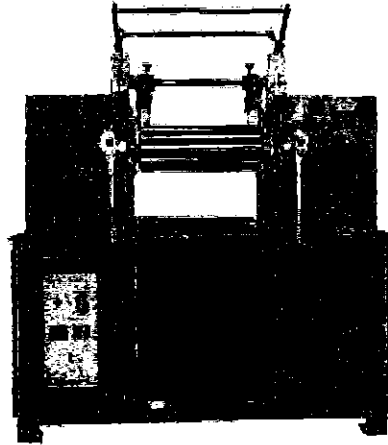


รูปที่ 2.8 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder Machine)

ที่มา : เจริญ (2542)

2.4.1.2 เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill Machine)

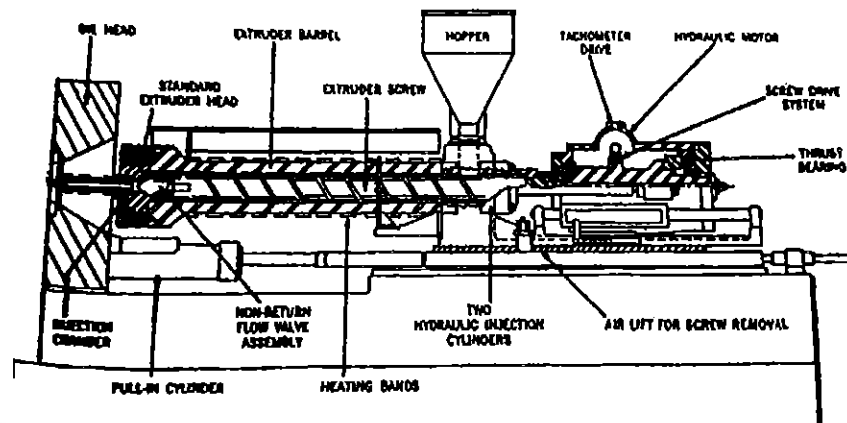
เครื่องผสมแบบนี้ประกอบด้วยลูกกลิ้งสองลูก แสดงได้ดังรูปที่ 2.9 ซึ่งทำจากเหล็กหล่อที่มีการเคลือบผิวให้มีความแข็ง และลื่น ลูกกลิ้งทั้งสองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 300-500 มิลลิเมตร และความยาวระหว่าง 800-1,500 มิลลิเมตร โดยวางขนานกัน และหมุนสวนทางกันด้วยความเร็วแตกต่างกันเล็กน้อย ในขณะที่ทำการผสมจะมีการให้ความร้อนแก่พลาสติกผ่านผิวลูกกลิ้งทั้งสอง โดยความร้อนของลูกกลิ้งมาจากชุดให้ความร้อนไฟฟ้าหรือการไหลเวียนของน้ำร้อนหรือน้ำมันร้อนผ่านภายในลูกกลิ้ง ข้อดีของเครื่องผสมแบบนี้คือ สามารถมองเห็นลักษณะ และระดับการผสมเข้ากันของสารเติมแต่ง และพลาสติกได้ สามารถทำการผสมในปริมาณที่แตกต่างกันได้สะดวกในการทำความสะอาด รวมทั้งการผสมแบบนี้จะได้ผลิตภัณฑ์ในลักษณะแผ่น ซึ่งเหมาะสำหรับการแปรรูปต่อเช่น การอัด (Compression Molding) สำหรับข้อเสียของเครื่องผสมแบบนี้คือ ผู้ปฏิบัติต้องมีทักษะในการใช้เครื่อง และมีความรู้เกี่ยวกับการคอมปาวด์สูง ต้องมีการช่วยผสมโดยการปาดพลาสติกให้เข้าไปอยู่ตรงกลางระหว่างลูกกลิ้งเสมอ ความสม่ำเสมอในการผสมในแต่ละครั้งค่อนข้างต่ำ และเกิดการสูญเสียสารเคมีหรือการปนเปื้อนได้ง่ายเนื่องจากการผสมในระบบเปิด (ปพน และวริศรา, 2554)



รูปที่ 2.9 เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill Machine)
ที่มา : ชาญศักดิ์ (2553)

2.4.2 กระบวนการขึ้นรูป

กระบวนการขึ้นรูป โดยเครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding Machine) แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนประกอบแม่พิมพ์ และส่วนการฉีด ส่วนประกอบแม่พิมพ์ทำหน้าที่ในการเปิดปิดแม่พิมพ์ และกระทุ้งชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ส่วนประกอบแม่พิมพ์มี 2 ประเภท คือ ประเภทแบบสลัก (Toggle Type) และแบบไฮดรอลิคตรง (Straight Hydraulic Type) ซึ่งแม่พิมพ์จะถูกเปิด และปิดโดยตรงกับกระบอกไฮดรอลิคหน่วยการฉีดทำหน้าที่ในการหลอมละลายพลาสติกด้วยความร้อน แล้วฉีดพลาสติกเหลวเข้าไปในแม่พิมพ์ สกรูจะถูกหมุนเพื่อหลอมละลายพลาสติกให้เหลว จากนั้นพลาสติกเหลวจะเคลื่อนที่จากฮอปเปอร์ไปสะสมยังด้านหน้าของสกรู (Metering) จนกระทั่งได้พลาสติกเหลวจำนวนหนึ่งแล้ว กระบวนการฉีดจึงเริ่มขึ้น ขณะที่พลาสติกเหลวไหลเข้าไปในแม่พิมพ์เครื่องฉีดจะควบคุมความเร็วการเคลื่อนที่ของสกรูหรือความเร็วในการฉีด ในขณะเดียวกันเครื่องฉีดยังควบคุมความดันในการย้ายหลังจากที่พลาสติกเหลวไหลเข้าไปในเบ้าแล้ว ตำแหน่งของการเปลี่ยนจากการควบคุมความเร็วเป็นการควบคุมความดันจะถูกตั้งด้วยตำแหน่งของสกรูหรือความดันฉีดที่กำหนดไว้ (ปพน และวริศรา, 2554) ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding Machine)

ที่มา : สมศักดิ์ (2543)

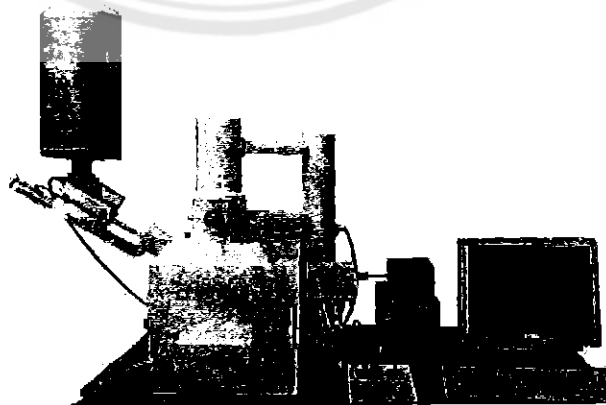
2.5 การทดสอบสมบัติของวัสดุ

โดยในการทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ผสม จะทำการศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยา และสมบัติเชิงกลซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.5.1 การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา

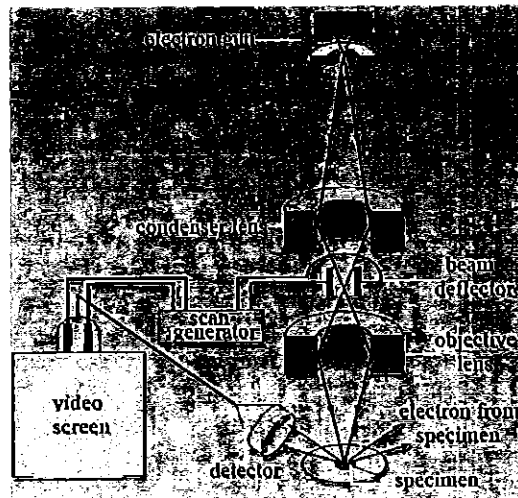
การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy ; SEM) อาศัยลำแสงอิเล็กตรอนที่เกิดจากการให้ความร้อนที่ขั้วแคโทด ยิ่งไปยังพื้นที่ผิววัตถุ เมื่อลำแสงอิเล็กตรอนไปกระตุ้นให้วัตถุเกิดพลังงานมากขึ้น วัตถุจะคายพลังงานออกมาในลักษณะของลำแสงอิเล็กตรอน แสดงได้ดังรูปภาพที่

2.11



รูปที่ 2.11 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ที่มา : ไมโครสโคปเซ็นเตอร์ (2551)



รูปที่ 2.12 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด

ที่มา : สถาบันนวัตกรรมและพัฒนาระบบการเรียนรู้อหวิทยาลัยมหิดล (2549)

หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงได้ดังรูปที่ 2.12 จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (Condenser Lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำแสงอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำแสงอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำแสงอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำแสงอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective Lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำแสงอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron) ขึ้น ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์ และถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไป และสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ได้เลย (สถาบันนวัตกรรมและพัฒนาระบบการเรียนรู้อหวิทยาลัยมหิดล, 2549)

2.5.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล

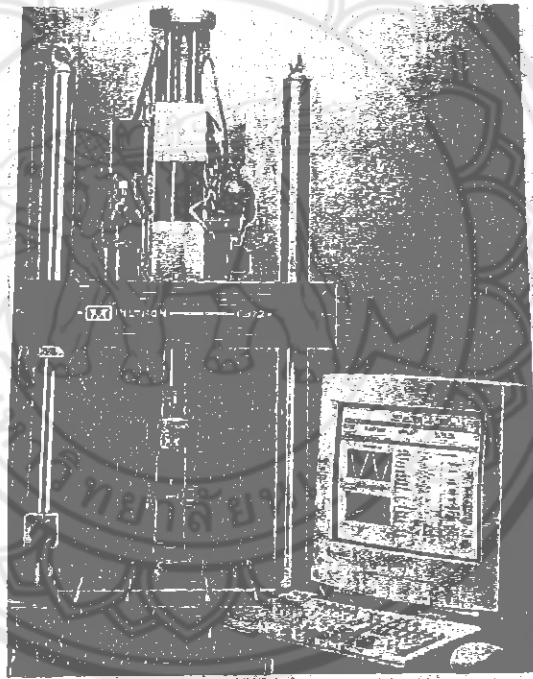
สมบัติทางกลของพอลิเมอร์จะเป็นตัวกำหนดการใช้งานของพอลิเมอร์แต่ละชนิด สมบัติที่สำคัญประกอบด้วย ความสามารถในการต้านทานความแข็งแรงดึง ความทนต่อแรงกระแทก และความแข็งแรงของวัสดุ โดยเราสามารถหาค่าเหล่านี้ได้จากค่าการทดสอบ ความเค้น (Stress) ความเครียด (Strain) และมอดูลัส (Modulus)

2.5.2.1 การทดสอบแรงดึง (Tensile Test)

การทดสอบแรงดึงเป็นการทดสอบสมบัติของวัสดุ ปกติการทดสอบแรงดึงจะใช้ชิ้นงานทดสอบตามแบบมาตรฐาน และชิ้นงานที่ทราบค่าพื้นที่หน้าตัดและความยาวเริ่มต้น ในการทดสอบแรงดึง ใช้ตรวจวัดพฤติกรรมเชิงกลของวัสดุภายใต้แรงดึงหรือการยืดในแนวแกน ค่าที่วัดได้

จะอยู่ในรูปของ ขีดจำกัดการยืดหยุ่น (Elastic Limit) ร้อยละการยืด (Percent Elongation) มอดูลัสของยังส์ (Young's Modulus) ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) จุดจำนน (Yield Point) และความแข็งแรงจำนน (Yield Strength) กระบวนการทดสอบแรงดึงตาม มาตรฐาน ASTM D638 ใช้สำหรับวัสดุพลาสติก

การทดสอบแรงดึงเป็นการดึงชิ้นงานทดสอบ ซึ่งทำให้ชิ้นงานทดสอบตกอยู่ได้ สภาวะการยืด และเป็นวิธีที่ทำให้ชิ้นงานทดสอบเกิดการเสียรูป จะทำให้รูปทรงเปลี่ยนแปลงจากแรง ที่กระทำ การตรวจวัดการเสียรูปจะวัดจากการเปลี่ยนแปลง ขนาดชิ้นทดสอบเทียบกับขนาดเริ่มต้น คือการเสียรูปจะวัดจากความยาวของระยะทดสอบ (Gauge Length) ที่เปลี่ยนแปลงไปในการ ทดสอบเทียบกับระยะทดสอบเริ่มต้น ระยะทดสอบเป็นช่วงความยาวมาตรฐานที่ใช้ในการวัดระดับ การยืดหรือการเสียรูปที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดสอบ การทดสอบนี้จะสามารถทำได้โดยใช้เครื่อง ทดสอบแรงดึง (Tensile Testing Machine) แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Testing Machine)

ที่มา : จินตมัย (2547)

โดยจากการทดสอบแรงดึงของชิ้นงาน พบว่าชิ้นงานเกิดความเค้น ความเครียด และมอดูลัสของยังส์ขึ้น ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ความเค้น (Stress) คือ แรงต้านทานภายในวัสดุ ที่มีต่อแรงภายนอกกระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ แต่เนื่องจากความไม่เหมาะสมทางปฏิบัติ และความยากในการวัดค่า จึงมักรู้จักในรูปของแรงภายนอกที่มากกระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ โดยที่แรงกระทำภายนอกมีความสมดุลกับแรงต้านทานภายใน การหาค่าความเค้นสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังต่อไปนี้

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.2)$$

เมื่อ

σ = ความเค้น (MPa)

F = แรงที่ใช้ในการดึงยึดชิ้นงาน ณ จุดสูงสุด (N)

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน (mm^2)

ร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาด (% Elongation at break)

$$\% \text{ Elongation} = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100 \quad (2.3)$$

เมื่อ

% Elongation = ร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาด

L = ความยาวชิ้นงานหลังการทดสอบ (mm)

L_0 = ความยาวเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ (mm)

ความเครียด (Strain) คือ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ (Deformation) เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ (เกิดความเค้น) การเปลี่ยนรูปของวัสดุนี้เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ภายในเนื้อวัสดุ

มอดูลัสของยังส์ (Young's Modulus) คือ ค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่นเมื่อวัสดุมีการเปลี่ยนแปลงตามความยาว (ทั้งอัดเข้า หรือยืดออก) โดยมอดูลัสของยังส์ แสดงได้ดังสมการที่

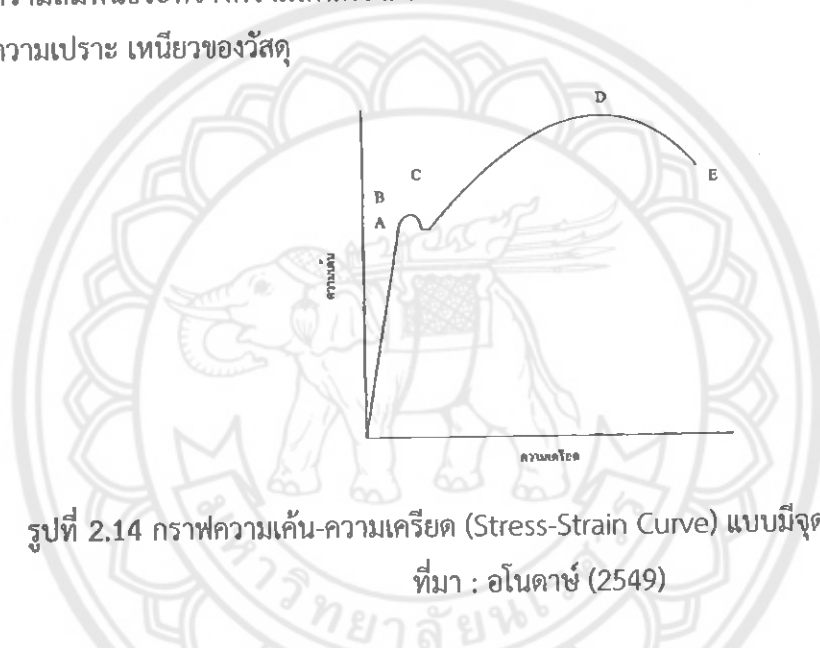
2.4

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2.4)$$

เมื่อ	
E	= มอดูลัสของยังส์ (MPa)
σ	= ความเค้น (MPa)
ϵ	= ความเครียด

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด (Stress-Strain Relationship)

ในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด เราจะใช้เส้นโค้งความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain Curve) ได้จากการทดสอบแรงดึงเป็นหลัก โดยจะเขียนค่าของความเค้นในแกนตั้ง และความเครียดในแกนนอน ดังรูปที่ 2.14 การทดสอบแรงดึงนอกจากจะให้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นความเครียดแล้ว ยังแสดงความสามารถในการรับแรงดึงของวัสดุ ความเปราะ เทนียวของวัสดุ



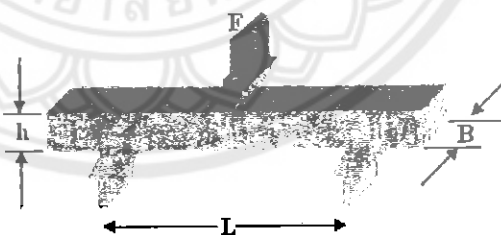
รูปที่ 2.14 กราฟความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain Curve) แบบมีจุดคราก (Yield Point)
ที่มา : อโนดาช (2549)

จุด A คือ จุดที่ เมื่อให้แรง วัสดุเกิดการยืดตัว และเมื่อเอาแรงออกวัสดุสามารถคืนรูปได้ เรียกจุด A ว่าพิภักดิ์สัดส่วน (Proportional Limit) จุด B คือ จุดที่กำหนดว่าความเค้นสูงสุดที่จะไม่ทำให้เกิดการแปรรูปถาวร (Permanent Deformation) ของวัสดุ เมื่อเส้นกราฟผ่านจุดนี้ วัสดุจะมีการแปรรูปอย่างถาวร (Plastic Deformation) เรียกจุด B ว่าพิภักดิ์ยืดหยุ่น (Elastic limit) จุด C คือ จุดที่บอกค่าความแข็งแรงสูงสุดของวัสดุ เรียกจุด C ว่าจุดคราก (Yield Point) และค่าของความเค้นที่จุดนี้ เรียกว่า ความเค้นจุดคราก (Yield Stress) จุด D คือ จุดที่ค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุจะทนได้ก่อนที่จะพื้นที่หน้าตัดจะลดลง ค่าความเค้นที่จุดนี้เรียกว่า ความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) หรือความเค้นแรงดึง (Tensile Strength) จุด E คือ จุดที่วัสดุเกิดการแตกหรือขาดออกจากกัน (Fracture) (เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์, 2550)

2.5.2.2 การทดสอบความโค้งงอ (Flexural Test)

การทดสอบความโค้งงอเป็นอีกวิธีการทดสอบแบบอัตราเร็วคงที่ ซึ่งนิยมใช้ในการทดสอบพลาสติก และมักใช้เป็นวิธีประมาณค่าความต้านทานแรงดึงของวัสดุ นอกจากนี้การกระจายตัวของแนวแรงยังถูกจำกัดอยู่ในบริเวณที่จะเสียหาย สภาพของแรงที่เกิดขึ้นในการทดสอบความโค้งงอ ชิ้นทดสอบจะได้รับแรงที่ไม่สม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัด เนื่องจากในสภาวะที่ชิ้นงานถูกดัดงอนั้น ชิ้นงานทดสอบจะได้รับแรงสูงสุดบนผิว และได้รับแรงอัดบนผิวตรงกันข้าม โดยทั่วไปแล้วการทดสอบนี้เหมาะสำหรับการทดสอบพลาสติกที่มีลักษณะแข็งเปราะ แต่การทดสอบไม่เหมาะสำหรับพลาสติกอ่อนที่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายใต้แรงดัดได้มาก เนื่องจากสมการที่ใช้ในการคำนวณของสภาพการโค้งงอนี้จะถูกต้องในกรณีที่การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุในระดับต่ำ วัสดุแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น และความเครียดแบบเชิงเส้น และอยู่ภายใต้แรงดัดงอเท่านั้น ดังนั้นโดยทั่วไปมักจะไม่ใช่ทดสอบที่ระดับความเครียดเกิน 5%

การทดสอบความโค้งงอแบบ 3 จุด (Three Point Bending) เป็นการทดสอบที่ให้แรงกระทำที่จุดกึ่งกลางของชิ้นงานทดสอบ และจุดรับรองในทิศทางตรงกันข้ามของปลายทั้งสองข้าง มีระยะห่างจากจุดกึ่งกลางเท่ากัน แสดงได้ดังรูปที่ 2.15 เหมาะสำหรับการทดสอบพลาสติกที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ดี ทั่วทุกใช้แรงกระทำ และชุดรองรับมีลักษณะเป็นใบมีดมน (Round Knife Edges) หรือเพลาลโลหะแข็ง การที่ชุดกด และชุดรองรับต้องมีลักษณะเป็นผิวโค้งที่จุดสัมผัส เพื่อเป็นการลดความเข้มข้นของความเค้น (Stress Concentration) ที่อาจเกิดขึ้นบริเวณจุดสัมผัส และอาจทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกหักบริเวณจุดสัมผัสนั้น นอกจากนี้ระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสองสามารถกำหนดได้จากอัตราส่วนของระยะห่างระหว่างจุดรองรับทั้งสองกับความหนาของชิ้นทดสอบโดยมีค่าได้ระหว่าง 16:1 ถึง 60:1 (จินตมัย, 2547)



รูปที่ 2.15 การทดสอบความโค้งงอแบบ 3 จุด
ที่มา : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (2550)

การทดสอบความแข็งแรงโค้งงอนั้น สามารถหาค่าได้จากสมการที่ 2.5 และ

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

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

เมื่อ

σ_f = ความแข็งแรงโค้งงอ (MPa)

ϵ_b = มอดูลัสความโค้งงอ (MPa)

L = ระยะห่างของฐานรองรับชิ้นงาน (mm)

F = แรงกดสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการโค้งงอ (N)

h = ความหนาของชิ้นงาน (mm)

b = ความกว้างของชิ้นงาน (mm)

ΔF = ค่าความแตกต่างของความเค้นระหว่างสองตำแหน่งบน
เส้นตรง (N)

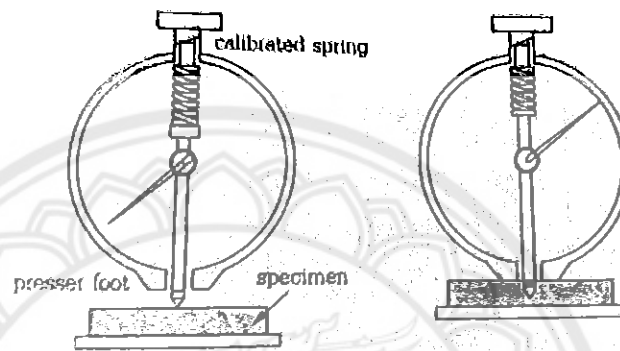
ΔD = ค่าความแตกต่างของความเครียดระหว่างสองตำแหน่ง
บนเส้นตรง (mm)

2.5.2.3 การทดสอบความแข็งกด (Hardness Test)

การทดสอบความแข็งกดพลาสติก วัดค่าได้จากการใช้เครื่องทดสอบชอร์ดูโรมิเตอร์ (Shore Durometer) มีหลายชนิด การเลือกใช้งานขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่จะทดสอบ โดยหลักการทำงานของเครื่องแต่ละแบบจะเหมือนกัน ต่างกันเฉพาะความคมของปลายแหลมของหัวกด และขนาดของน้ำหนักกดที่ได้จากแรงส่งของสปริงขนาดต่างๆ การวัดค่าความแข็งกดจะได้จากค่าความลึกของรอยกด โดยค่าความแข็งจะเริ่มจาก 100 ที่ความลึกรอยกดเท่ากับ ศูนย์ จนถึงค่าความแข็งเท่ากับศูนย์ที่ความลึกรอยกด 0.1 นิ้ว โดยน้ำหนักกดที่กระทำกับหัวกดจะแปรผกผันกับความลึกของรอยกด กล่าวคือวัสดุแข็งที่ให้ความลึกรอยกดน้อยให้เลือกใช้ชอร์ดูโรมิเตอร์ที่มีน้ำหนักกดสูงๆ ส่วนวัสดุอ่อนที่ให้ความลึกรอยกดมากให้ใช้ชนิดที่มีน้ำหนักกดต่ำๆ ชิ้นทดสอบควรมีความหนาอย่างน้อย 1/4 นิ้ว และในการทดสอบให้เว้นระยะจากขอบชิ้นทดสอบอย่างน้อย 1/2 นิ้ว ผลการทดสอบที่ได้จากการทดสอบด้วยชอร์ดูโรมิเตอร์ชนิดหนึ่งไม่สามารถใช้เปรียบเทียบหรือแปลงค่าไปเป็นค่าความแข็งกดของชอร์ดูโรมิเตอร์อีกชนิดหนึ่งได้

ชอร์ดูโรมิเตอร์ (Shore Durometer) เป็นเครื่องทดสอบด้วยมือซึ่งออกแบบให้ใช้ในการทดสอบความแข็งกดกับวัสดุอ่อน เช่น ยาง พลาสติก และวัสดุเชิงประกอบต่างๆ (Composites) แสดงได้ดังรูปที่ 2.16 แสดงเครื่องทดสอบชอร์ดูโรมิเตอร์ ซึ่งมีสองชนิดพื้นฐานได้แก่ ชนิด A กับ D ทั้ง สองชนิดนี้มีขั้นตอนการทดสอบเหมือนกัน คือสปริงจะส่งน้ำหนักไปยังหัวกดซึ่งจะ


กดลงบนพื้นผิวของชิ้นทดสอบ ความต้านทานต่อการเกิดรอยกดของพื้นผิวชิ้นทดสอบสามารถอ่านค่าได้โดยตรงจากหน้าปัดชอร์ดูโรมิเตอร์ โดยชนิด A จะมีสปริงที่ให้น้ำหนักกดระหว่าง 56-822 กรัม ส่วนชนิด D น้ำหนักกดอยู่ในช่วง 0-10 ปอนด์ ทั้งสองแบบนี้อ่านค่าความแข็งได้จาก 0-100 กล่าวคือวัสดุที่อ่านค่าได้สูงแสดงว่ามีความแข็งกมมากหรือมีความต้านทานต่อการเกิดรอยกดได้สูง ส่วนการแสดงผลหน่วยจะขึ้นอยู่กับชนิดที่ใช้เช่น 50A หรือ A50 เป็นต้น รายละเอียดเกี่ยวกับลักษณะของหัวกด น้ำหนักกดที่ได้จากสปริง ลักษณะการใช้งานของสเกลต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.4 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D2240 (ชญาภา, 2547)



รูปที่ 2.16 เครื่องทดสอบความแข็งกดชอร์ดูโรมิเตอร์ (Shore Durometer)

ที่มา : จินตมัย (2547)

ตารางที่ 2.4 แสดงลักษณะหัวกดชนิดต่าง ๆ

สเกล	น้ำหนักจากสปริง	รายละเอียดหัวกด	รูปหัวกด	ประเภทชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ
A	821 gf 1.81 lbs	กรวยมุม 35° ปลายตัด		ยางหรือวัสดุกลุ่ม Elastomer อ่อนนิ่ม
B	821 gf 1.81 lbs	กรวยมุม 30° ปลายแหลม		ยางหรือ Elastomer ที่มีความแข็งไม่มาก
C	4.5 kgf 10 lbs	กรวยมุม 35° ปลายตัด		ยางหรือพลาสติกที่มีความแข็งปานกลาง
D	4.5 kgf 10 lbs	กรวยมุม 30° ปลายแหลม		ยางหรือวัสดุที่มีความแข็งมาก

ที่มา : จินตมัย (2547)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปพน และวริศรา (2554) โครงการนี้เป็นการศึกษาสัณฐานวิทยา และสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้จากพอลิพรอพิลีน และขดเคดที่ใช้แล้วที่อัตราส่วน 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 มีการปรับปรุงความเข้ากันได้โดยใช้สารช่วยผสมชนิดพอลิพรอพิลีนกราฟมาลิกแอนไฮไดรด์ ที่ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ผสม ที่อัตราส่วน 80:20, 70:30 และ 60:40 จากการศึกษาสัณฐานวิทยา และสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมดังกล่าว พบว่า พอลิเมอร์ผสมที่มีการปรับปรุงความเข้ากันได้โดยใช้สารช่วยผสมชนิดพอลิพรอพิลีน กราฟมาลิกแอนไฮไดรด์ มีความเข้ากันได้มากกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีการปรับปรุงความเข้ากันได้ เนื่องจาก สารช่วยผสมนั้นทำหน้าที่เชื่อมประสานพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดให้มีความสามารถในการเข้ากันได้ และยังส่งผลให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น

สินีนาก และคณะ (2549) ได้ศึกษาการนำกลับมาใช้ใหม่ของขดน้ำดื่มทำจากพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง โดยมาดเป็นชิ้นเล็ก แล้วผสมกับพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูงบริสุทธิ์ โดยมีพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้ว 0, 20, 25, 40, และ 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่าเมื่อปริมาณพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้วเพิ่มขึ้น ทำให้สมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้วถึง 50 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสมบัติเชิงกลลดลง และการขึ้นรูปยากขึ้น

อภินันทนา (2541) โครงการนี้ได้ศึกษาถึงคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกลของ พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับพอลิพรอพิลีน โดยมีเอทิลีนพอพิลีน ไดอิน เทอร์พอลิเมอร์ เป็นตัวที่ทำให้เข้ากันได้ โครงการนี้ได้ศึกษาอัตราการไหลของพอลิเมอร์ผสม อุณหภูมิในการฉีดขึ้นรูป สมบัติภายใต้แรงดึง ความแข็ง และความทนต่อแรงกระแทก โดยทดลองผสมพอลิเมอร์ผสมด้วยสัดส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และพอลิพรอพิลีน 0-100 เปอร์เซ็นต์ นำเอทิลีนพอพิลีน ไดอิน เทอร์พอลิเมอร์มาผสมในสัดส่วน 0-15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำการขึ้นรูปโดย เครื่องฉีดขึ้นรูป โดยทดลองควบคุมอุณหภูมิการฉีดขึ้นรูปในโซนหัวฉีดเป็น 190, 210 และ 230 องศาเซลเซียส ผลจากการทดลองพบว่าอุณหภูมิที่ 210 องศาเซลเซียส ในการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสม ทำให้พอลิเมอร์ผสมไม่เกิดการเสียสภาพ

บทที่ 3

วิธีดำเนินโครงการ

การดำเนินงานโครงการกำหนดไว้ 6 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษา และค้นคว้า ข้อมูลพื้นฐานที่เกี่ยวข้องจากแหล่งต่างๆ

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษา และค้นคว้าวิธีการทดลอง กระบวนการต่างๆ ที่ใช้ในโครงการ

ขั้นตอนที่ 3 วางแผนการดำเนินโครงการ และกำหนดขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนที่ 4 จัดเตรียมวัสดุดิบ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินโครงการ

ขั้นตอนที่ 5 ดำเนินโครงการ โดยการเตรียมอัตราส่วนของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว ขึ้นรูปชิ้นงาน ทดสอบสัณฐานวิทยา และสมบัติเชิงกล

ขั้นตอนที่ 6 นำผลที่ได้จากโครงการมาวิเคราะห์ สรุปผล และเขียนปริญญานิพนธ์

3.1 สารเคมี และวัสดุที่ใช้ในโครงการ

3.1.1 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว

3.1.2 พอลิพรอพิลีน (Polypropylene : PP) เกรด PP 700 J จากบริษัท SCG จำกัด มหาชน ซึ่งมีสมบัติดังตารางที่ 3.1 ดังนี้

ตารางที่ 3.1 สมบัติของพอลิพรอพิลีน เกรด PP 700 J

สมบัติ	มาตรฐาน	ปริมาณ	หน่วย
อัตราการไหล (Melt Flow Rate (190°C/ 2.16 kg))	ASTM D1238	11.0	g/10 min
ความแข็งแรงถึง ณ จุดคราก (Tensile Strength at Yield)	ASTM D638	36.3	MPa
ร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at Break)	ASTM D638	500	%
มอดุลัสความโค้งงอ (Flexural Modulus)	ASTM D790	1.57	GPa
ความต้านทานแรงกระแทก (Impact Strength)	ASTM D256	0.294	J/cm ²
อุณหภูมิการขึ้นรูป (Processing Temperatures)	-	230-270	°C

ที่มา : บริษัท SCG Plastic จำกัด (2555)

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในโครงการ

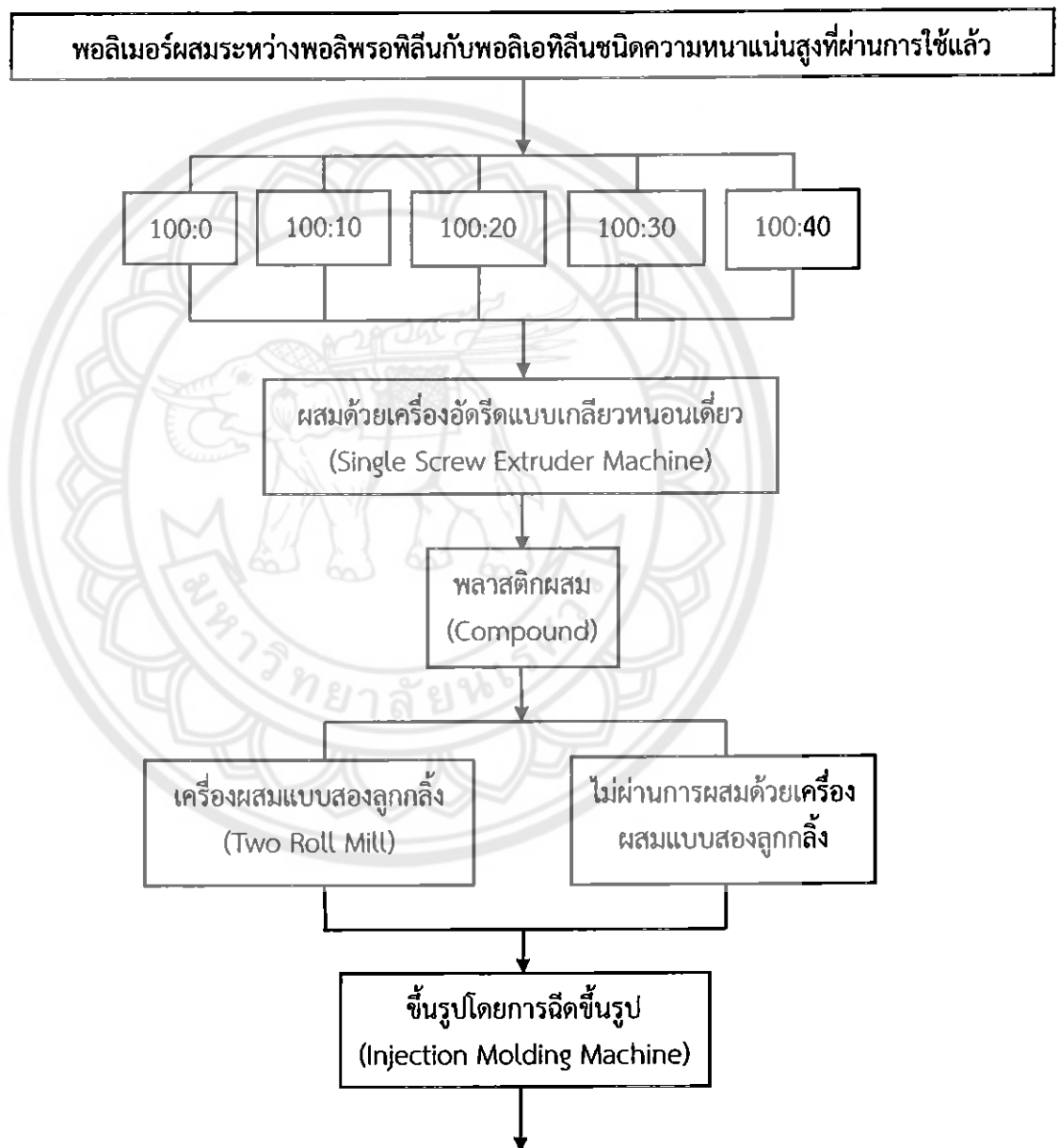
3.2.1 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single Screw Extruder Machine)

3.2.2 เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill Machine)

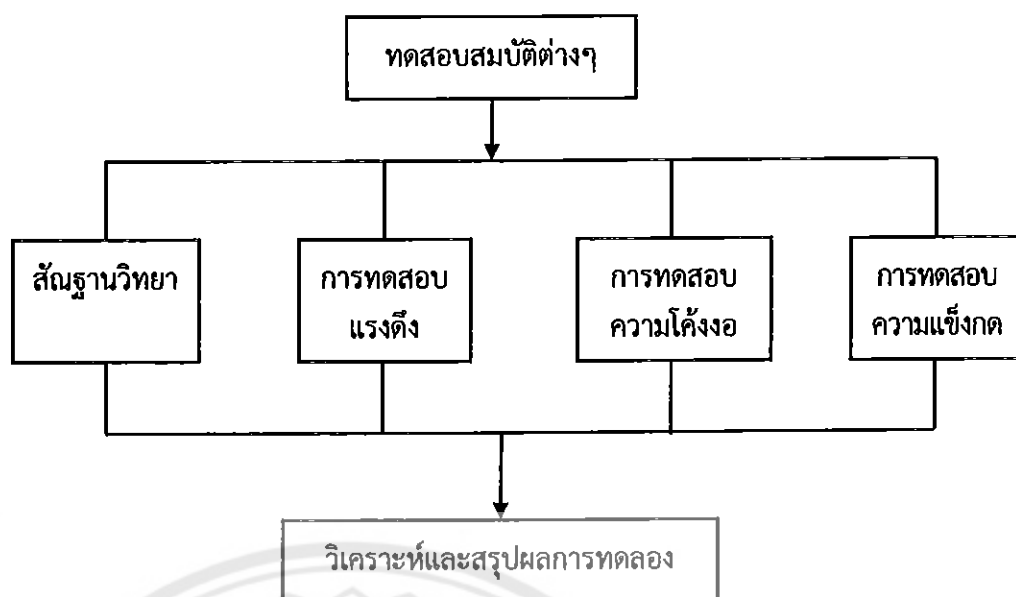
3.2.3 เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding Machine)

- 3.2.4 เครื่องทดสอบความแข็งกดชอร์ดูโรมิเตอร์ (Shore Durometer)
- 3.2.5 เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Testing Machine)
- 3.2.6 ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven)
- 3.2.7 เครื่องชั่งดิจิตอล (Digital scales)
- 3.2.8 เครื่องบดพลาสติก (Plastic Crushing Machine)

แผนการดำเนินงานแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 (ต่อ) แผนการดำเนินงาน

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว

3.3.1.1 นำขวดพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว มาล้างน้ำสะอาด แล้วนำไปบดด้วยเครื่องบดพลาสติกให้มีขนาดเล็กกลง

3.3.1.2 อบด้วยตู้อบลมร้อน เพื่อไล่ความชื้นที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.3.2 การเตรียมพอลิเมอร์ผสม

3.3.2.1 ผสมพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนที่ใช้ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว

พอลิพรอพิลีน (phr)	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว (phr)
100	0
100	10
100	20
100	30
100	40

3.3.2.2 ผสม และทำการขึ้นรูปชิ้นงานโดยใช้เทคนิคต่างๆ แบ่งเป็น 2 แบบ คือ

ก. ผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว โดยใช้อุณหภูมิดังตารางที่ 3.3 และทำการขึ้นรูปชิ้นงานโดยใช้เครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding Machine) โดยใช้อุณหภูมิดังตารางที่ 3.4

ข. ผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว โดยใช้อุณหภูมิดังตารางที่ 3.3 และเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง โดยใช้อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 นาที และทำการขึ้นรูปชิ้นงานโดยใช้เครื่องฉีดพลาสติก (Injection Molding Machine) โดยใช้อุณหภูมิดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.3 อุณหภูมิที่ใช้ในการผสมโดยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

ตำแหน่งในแต่ละช่วงของเครื่อง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
Feed Zone	180
Compression Zone	190
Metering Zone	200
Die Zone	190

ตารางที่ 3.4 อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปโดยเครื่องฉีดพลาสติก

ตำแหน่งในแต่ละช่วงของเครื่อง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
Feed Zone	180
Compression Zone	190
Metering Zone	200
Nozzle Zone	190

3.3.2.3 นำชิ้นงานไปทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่

ก. สัณฐานวิทยา โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ข. สมบัติเชิงกล

ข.1 การทดสอบแรงดึง (Tensile Test)

ข.2 การทดสอบความโค้งงอ (Flexural Test)

ข.3 การทดสอบความแข็งกด (Hardness Test)

3.4 วิธีการทดสอบ

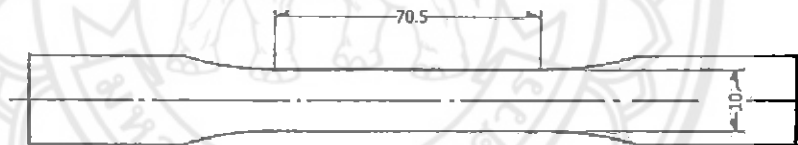
3.4.1 การศึกษาสัณฐานวิทยาโดยเทคนิคของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM)

การศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีน-ชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด การเตรียมตัวอย่างทำได้โดยนำชิ้นงานตัวอย่างที่ได้จากการขึ้นรูปมาแช่ในไนโตรเจนเหลวแล้วทำการหักทันที หลังจากนั้นนำมาเคลือบด้วยทอง และนำเข้ากล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3.4.2 สมบัติเชิงกล

3.4.2.1 การทดสอบแรงดึง (Tensile Test)

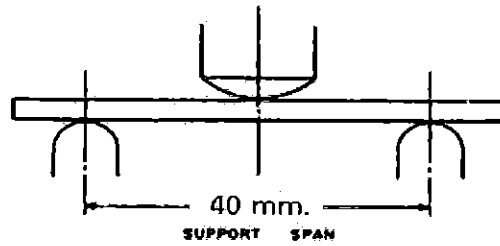
การทดสอบหาค่าแรงดึง (Tensile Test) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 638 Type I โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Testing Machine) ในการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างอยู่ในรูปดัมเบลล์ โดยมีขนาดชิ้นงานดังรูปที่ 3.2 ความหนาของชิ้นงาน = 3.8 มิลลิเมตร ความกว้างของเกจ = 10 มิลลิเมตร และความยาวของเกจ = 70.5 มิลลิเมตร ใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 8 ชิ้น ในแต่ละสภาวะการทดสอบ ซึ่งจะได้ค่าความแข็งแรงดึง ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และค่ามอดูลัสของยังส์ โดยคำนวณจากสมการ 2.2, 2.3 และ 2.4



รูปที่ 3.2 ชิ้นงานทดสอบแรงดึง
ที่มา : ASTM D 638 (1996)

3.4.2.2 การทดสอบความโค้งงอ (Flexural Test)

การทดสอบหาค่าความโค้งงอ (Flexural Test) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 790 โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึงของวัสดุ (Universal Testing Machine) ในการคำนวณชิ้นงานตัวอย่างอยู่ในรูปแท่งสี่เหลี่ยม โดยมีขนาดชิ้นงานดังรูปที่ 3.3 กำหนด $L/d = 16/1$ เมื่อ d คือเส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter) ระยะห่างของขารองรับชิ้นงาน (L) = 40 มิลลิเมตร ความยาวของชิ้นงาน = 70 มิลลิเมตร ความกว้างของชิ้นงาน = 10 มิลลิเมตร และความหนาของชิ้นงาน = 3.8 มิลลิเมตร ใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 8 ชิ้น ในแต่ละสภาวะการทดสอบ ซึ่งจะได้ค่าความแข็งแรงโค้งงอ และมอดูลัสความโค้งงอ โดยคำนวณจากสมการที่ 2.5 และ 2.6



รูปที่ 3.3 ชิ้นงานทดสอบความโค้งงอ
ที่มา : ASTM D 790 (1996)

3.4.2.3 การทดสอบความแข็งกด (Hardness Test)

การทดสอบหาค่าความแข็งกด (Hardness Test) เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 2240 โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งกดชอร์ดูโรมิเตอร์ (Shore Durometer) แบบชอร์ (Shore) D ในการทดสอบชิ้นงานตัวอย่างอยู่ในรูปแท่งสี่เหลี่ยม โดยใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 6 ชิ้น ในแต่ละสภาวะการทดสอบ กำหนดให้อ่านค่าทดสอบที่ประมาณ 15 วินาที หลังการกด ซึ่งจะได้ค่าความแข็งกดสัมพัทธ์

3.5 วิเคราะห์ และเปรียบเทียบผลการทดลอง

นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ และเปรียบเทียบสัณฐานวิทยา ของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้จากพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว ที่ผ่านเทคนิคการผสมที่ต่างกัน และวิเคราะห์ผลของการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม ที่ผ่านเทคนิคการผสมที่ต่างกัน และที่อัตราส่วนต่างๆ

3.6 สรุปผลการทดลอง และจัดทำรูปเล่ม

สรุปผลจากการทดลองของสัณฐานวิทยา และการทดสอบสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม จัดทำรูปเล่ม เพื่อรายงานผลการทดลอง

บทที่ 4

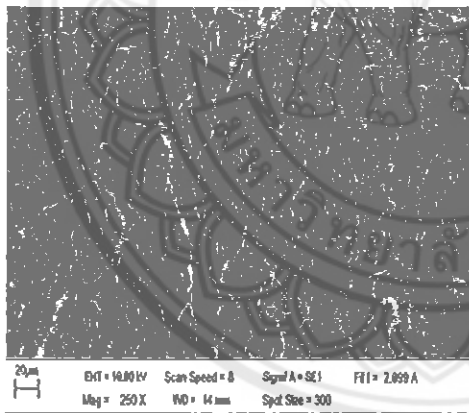
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

โครงการนี้เป็นการศึกษาสัณฐานวิทยา และสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้จากพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว ที่มีการใช้เทคนิคในการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง เปรียบเทียบกับการผสมที่ไม่มีการใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง และศึกษาผลของอัตราส่วนพอลิเมอร์ผสม ที่ 100:0, 100:10, 100:20, 100:30 และ 100:40 ต่อสัณฐานวิทยา และสมบัติเชิงกล ให้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

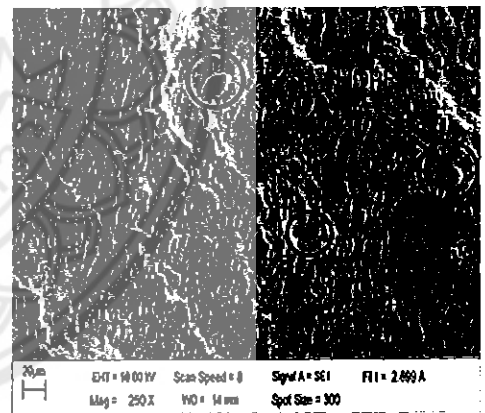
4.1 การศึกษาสัณฐานวิทยา

4.1.1 การศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้จากพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว

การศึกษาสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อศึกษาถึงลักษณะพื้นผิวระหว่างวัฏภาค (Interfacial Surface) โดยพิจารณาในอัตราส่วน 100:0 และ 100:20 ที่กำลังขยาย 250 เท่า แสดงผลได้ดังรูปที่ 4.1



ก)



ข)

รูปที่ 4.1 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว ที่กำลังขยาย 250 เท่า

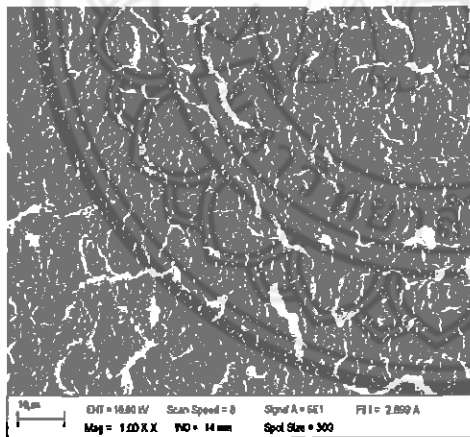
ก) ที่อัตราส่วน 100:0

ข) ที่อัตราส่วน 100:20

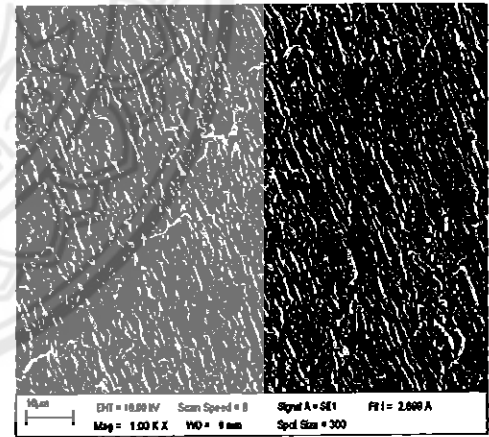
จากรูปที่ 4.1 ก) - ข) แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 250 เท่า ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว ที่อัตราส่วน 100:0 และ 100:20 พบว่า สัณฐานวิทยาของพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง มีลักษณะต่างกัน คือ ในส่วนของพอลิพรอพิลีน มีพื้นผิวที่เรียบแสดงได้ดังรูปที่ 4.1 ก) แต่ในพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน 100:20 ดังในรูปที่ 4.1 ข) มีความขรุขระ มีส่วนที่เป็นเม็ดกระจายตัวอยู่อย่างไม่สม่ำเสมอ จากลักษณะที่แตกต่างกันนี้แสดงว่าส่วนที่กระจายตัวอยู่ คือ อนุภาคของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ซึ่งแสดงว่าพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด มีความสามารถในการเข้ากันได้ต่ำ โดยดูจากลักษณะพื้นผิว นอกจากนี้พื้นผิวของพอลิพรอพิลีน ซึ่งเป็นเนื้อพื้นไม่เกิดการยึดเกาะกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ซึ่งเป็นส่วนที่กระจายตัวอยู่ โดยสังเกตจากบริเวณหลุม ซึ่งเป็นบริเวณที่อนุภาคของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงหลุดออกไปจากพื้นผิวที่มีลักษณะเรียบ

4.1.2 การศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่มีการใช้เทคนิคการผสมที่ต่างกัน

ทำการศึกษาพอลิเมอร์ผสม ที่อัตราส่วน 100:20 ที่มีการใช้เทคนิคในการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง เปรียบเทียบกับการผสมที่ไม่มีการใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง ที่กำลังขยาย 1000 เท่า และ 3000 เท่า แสดงได้ดังรูป 4.2



ก)

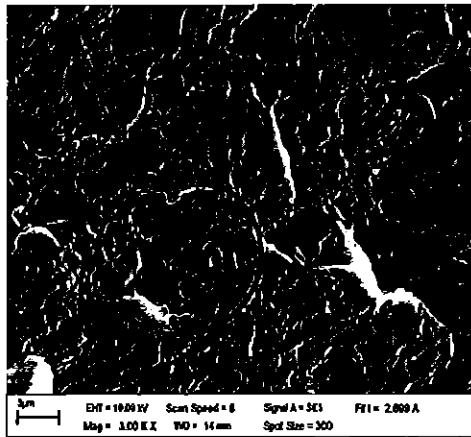


ข)

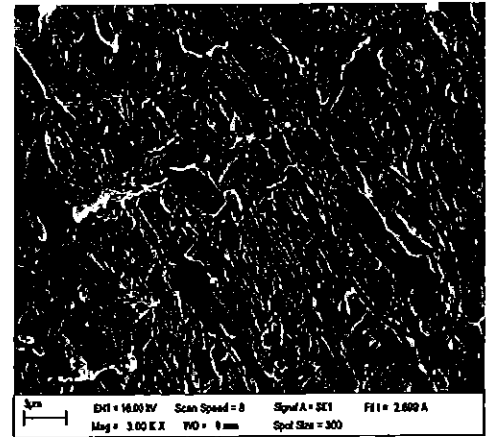
รูปที่ 4.2 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว ที่อัตราส่วน 100:20

ก) พอลิเมอร์ผสมที่ผ่านเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

ข) พอลิเมอร์ผสมที่ไม่ผ่านเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง ที่กำลังขยาย 1000 เท่า



ก)



ง)

รูปที่ 4.2 (ต่อ) สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่ผ่านการใช้แล้ว ที่อัตราส่วน 100:20

ค) พอลิเมอร์ผสมที่ผ่านเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง ที่กำลังขยาย 3000 เท่า

ง) พอลิเมอร์ผสมที่ไม่ผ่านเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง ที่กำลังขยาย 3000 เท่า

จากรูปที่ 4.2 ก) – ง) แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 1000 เท่า และ 3000 เท่า ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว ที่มีการใช้เทคนิคเทคนิคการผสมที่ต่างกัน ในอัตราส่วน 100:20 พบว่า สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่มีการใช้เทคนิคการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง มีการกระจายตัวของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงในพอลิพรอพิลีน ซึ่งเป็นเนื้อพื้นได้ดีขึ้น ขนาดอนุภาคของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง มีขนาดเล็กลง ส่งผลให้ความเรียบผิวของพื้นผิวที่ดีกว่า ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.2 ก) และ 4.2 ค) เนื่องจากการผ่านเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง เป็นเทคนิคที่มีการให้ความร้อนโดยตรงกับพอลิเมอร์ผสม และมีการให้แรงเฉือนในระหว่างการผสม ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความเข้ากันได้มากขึ้น เป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น ส่วนพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีการใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง พบว่าพื้นผิวมีความขรุขระที่มากกว่า เนื่องจากอนุภาคของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมีอนุภาคขนาดใหญ่ เมื่อนำมาผสมจึงทำให้ความเรียบผิวของพื้นผิวน้อยกว่า ซึ่งแสดงได้ดังรูป 4.2 ข) และ 4.2 ง)

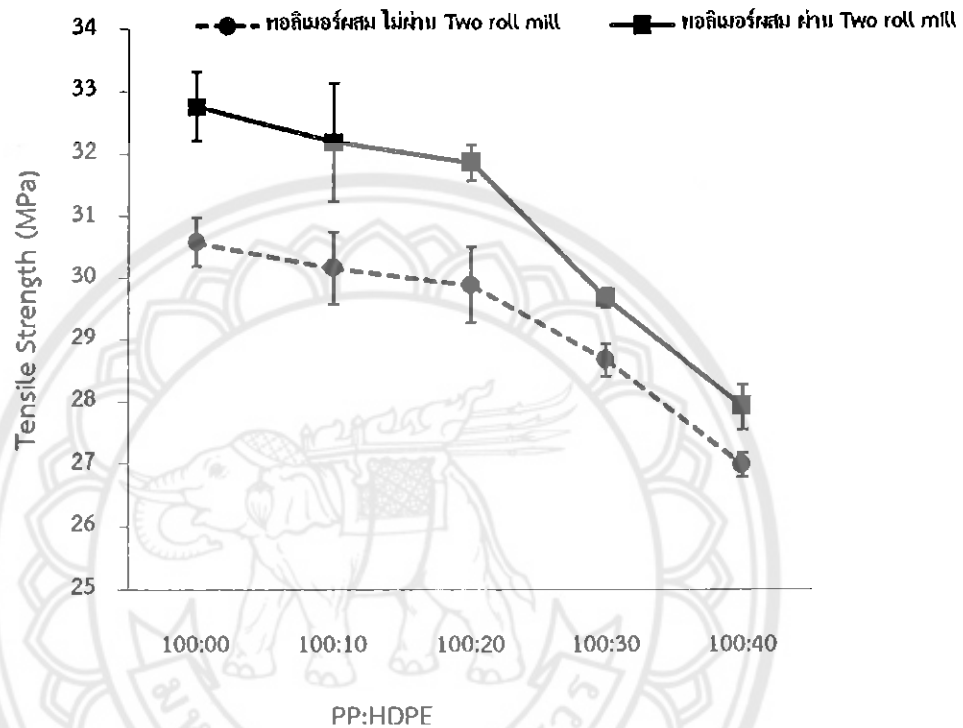
4.2 การศึกษาสมบัติเชิงกล

จากการขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่ผ่านการใช้แล้ว โดยเทคนิคการผสมต่างกัน ที่อัตราส่วน 100:0, 100:10, 100:20, 100:30 และ 100:40 ได้นำชิ้นงานของพอลิเมอร์ผสมดังกล่าวมาทำการทดสอบสมบัติเชิงกลต่างๆ ได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

4.2.1 การทดสอบแรงดึง (Tensile Test)

4.2.1.1 ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength)

ความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว โดยเทคนิคการผสมต่างกัน ที่อัตราส่วน 100:0, 100:10, 100:20, 100:30 และ 100:40 แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านเทคนิคการผสมต่างกัน และอัตราส่วนต่างๆ

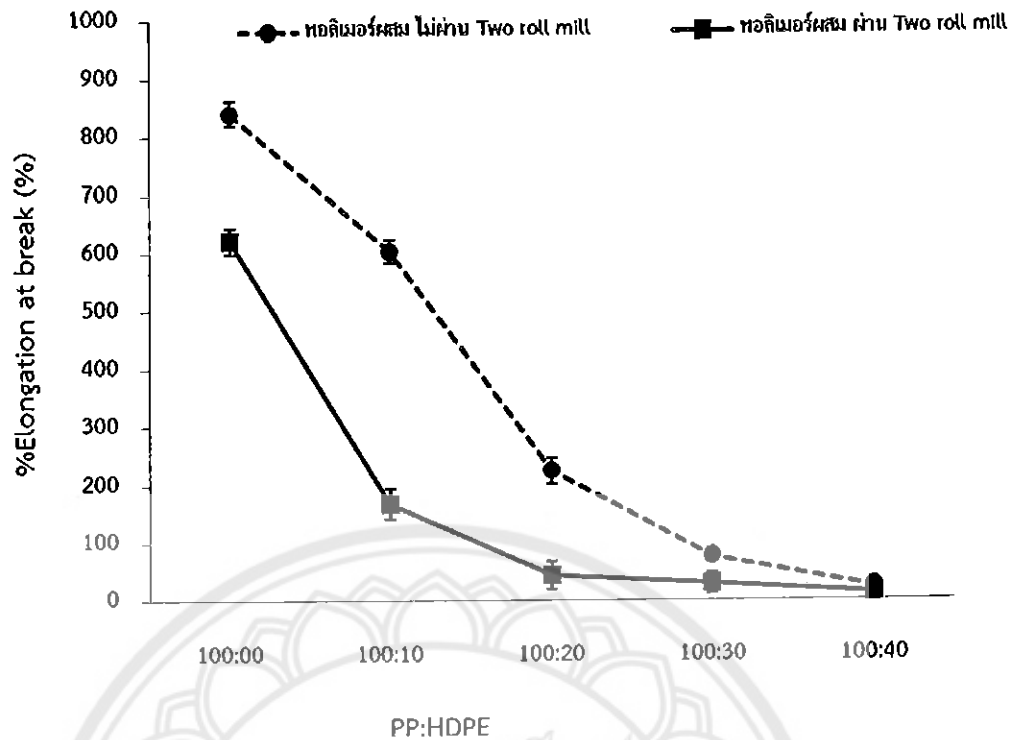
จากรูปที่ 4.3 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสม ที่เตรียมได้จากพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว พบว่าการใช้เทคนิคการผสมที่แตกต่างกัน ให้สมบัติด้านความแข็งแรงดึงต่างกัน โดยพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง มีแนวโน้มของสมบัติด้านความแข็งแรงดึงสูงกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ผ่านการผสมโดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง เนื่องจากเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง เป็นเทคนิคที่มีการให้ความร้อนส่งผ่านลูกกลิ้งไปยังพอลิเมอร์โดยตรง และมีการให้แรงเฉือนในระหว่างการผสม ช่วยให้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงสามารถกระจายตัว และแทรกตัวเข้าไปอยู่ภายในสายโซ่โมเลกุลของพอลิพรอพิลีนได้มากขึ้น ส่งผลให้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ไปขัดขวางการเคลื่อนผ่านกันของสายโซ่พอลิพรอพิลีน ทำให้ค่าความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น และพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ผ่านการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง จะเกิดแรงเฉือนในการผสมที่ต่ำกว่า ทำให้การกระจายตัว

ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ไม่ดี เกิดการจับกลุ่มก้อนกันภายในเนื้อของพอลิพรอพิลีน เมื่อมีการให้แรงดึงมากขึ้นจึงทำให้บริเวณที่เป็นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่จับกันเป็นกลุ่มก้อนนั้นเกิดเป็นจุดบกพร่อง (Defect) ส่งผลให้สมบัติด้านความแข็งแรงดึงต่ำลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยาในรูปที่ 4.2

ผลการศึกษาพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้จากพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว ในอัตราส่วน 100:0, 100:10, 100:20, 100:30 และ 100:40 พบว่า พอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้จากเทคนิคการผสมที่ต่างกัน ที่อัตราส่วน 100:0 มีค่าความแข็งแรงดึงสูงที่สุด และมีแนวโน้มลดลง เมื่ออัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้วเพิ่มขึ้น เนื่องจากพอลิพรอพิลีน มีโครงสร้างแบบเชิงเส้น ปราศจากกิ่งก้านสาขา แยกจากสายโซ่หลักของโมเลกุลและมีหมู่เมทิล (CH_3) ต่อกับอะตอมของคาร์บอน (C) จึงทำให้ความแข็งแรงดึงที่สูง เมื่ออัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้วเพิ่มขึ้นที่ 100:10, 100:20, 100:30 และ 100:40 มีแนวโน้มของสมบัติความแข็งแรงดึงที่ลดลง เนื่องจากพอลิเมอร์ระหว่างพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ไม่สามารถเข้ากันได้ ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.4 บ่งชี้ว่าพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิดมีความสามารถเข้ากันได้ต่ำ เนื่องจากความแตกต่างของโครงสร้าง จึงเกิดการแยกออกจากกันเป็น 2 ภูมิภาค ทำให้เกิดรอยตำหนิระหว่างภูมิภาค ไม่เกิดการยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่ ดังนั้นเมื่อมีการให้ความเค้นกับพอลิเมอร์ผสม สายโซ่จึงเลื่อนหลุดจากกันได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้สมบัติด้านความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มต่ำลง เมื่อปริมาณของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้การเลือกใช้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว ก็ส่งผลสมบัติด้านความแข็งแรงดึงที่มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงจะเกิดการเสื่อมสภาพ เนื่องจากความร้อนในการขึ้นรูปซ้ำ ส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงถูกตัดขาด โมเลกุลสั้นลง ความเป็นผลึกต่ำลง จึงทำให้พอลิเมอร์ผสมสามารถทนแรงดึงได้ลดลง เมื่อปริมาณของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้วเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยาในรูปที่ 4.1 นั่นคือ เมื่อมีปริมาณของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ทำให้พื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมมีความขรุขระมากขึ้น

4.2.1.2 ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break)

จากการทดสอบแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว โดยเทคนิคการผสมต่างกัน ที่อัตราส่วนต่างๆ สามารถแสดงค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านเทคนิคการผสมต่างกัน และอัตราส่วนต่างๆ

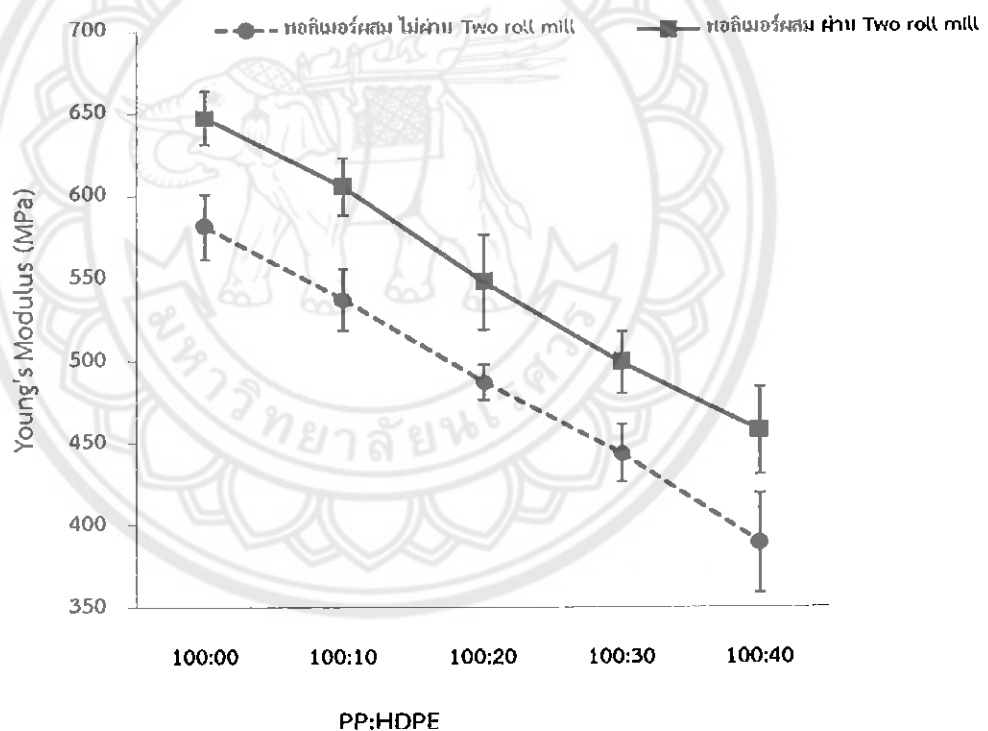
จากรูปที่ 4.4 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้จากพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว พบว่าการใช้เทคนิคการผสมที่แตกต่างกัน ให้สมบัติด้านร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดต่างกัน โดยพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งมีแนวโน้มของสมบัติด้านร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดต่ำกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ผ่านการผสมโดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง เนื่องจากเทคนิคเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งเป็นเทคนิคที่ให้ความร้อนส่งผ่านลูกกลิ้งไปยังพอลิเมอร์โดยตรง ทำให้สายโซ่ของพอลิเมอร์ผสมเกิดการเสื่อมสภาพจากความร้อน ถึงแม้ว่าเทคนิคเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง จะทำให้พอลิเมอร์ผสมเกิดการกระจายดีขึ้น แต่ทำให้สายโซ่โมเลกุลเกิดการขาด น้ำหนักโมเลกุลลดลง สมบัติความเป็นพลาสติกต่ำลง การถ่ายโอนแรง และการส่งผ่านแรงไม่ต่อเนื่องทั้งชิ้นงาน จึงทำให้ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดที่ต่ำกว่า ส่วนพอลิเมอร์ผสมเทคนิคที่ไม่ผ่านการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง พอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้นั้นไม่ได้มีการใช้ความร้อนซ้ำ ทำให้สายโซ่โมเลกุลยังคงสภาพเดิม ไม่เกิดการขาดของสายโซ่โมเลกุล ส่งผลให้สมบัติด้านร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดสูง มีแนวโน้มสูงขึ้น

ผลการศึกษาพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้จากพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว ในอัตราส่วนต่างๆ พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้จากเทคนิคการผสมที่ต่างกัน ที่อัตราส่วน 100:0 มีค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด สูงที่สุด และมีแนวโน้มลดลง เมื่ออัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้วเพิ่มขึ้น เนื่องจาก

พอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง การกระจายตัวในพอลิเมอร์ผสมต่ำ เป็นพอลิเมอร์ผสมที่มีความสามารถในการเข้ากันได้ต่ำ การยึดติดระหว่างผิวสัมผัสของพอลิเมอร์ผสมไม่ดี ทำให้เกิดรอยตำหนิระหว่างวัฏภาค และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้ในการผสมเป็นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปมาแล้ว จึงทำให้เกิดการเสื่อมสภาพ เนื่องจากความร้อนในการขึ้นรูปซ้ำ ส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงถูกตัดขาด ทำให้สายโซ่สั้นลง น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ลดลง ส่งผลให้การเชื่อมต่อของสายโซ่ไม่สม่ำเสมอ จึงทำให้การถ่ายโอนแรงไม่ทั่วทั้งชิ้นงาน เมื่อให้แรงกับชิ้นงาน ส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมสามารถต้านทานแรงดึงได้น้อยลง

4.2.1.3 มอดูลัสของยังส์ (Young's Modulus)

จากการทดสอบแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว โดยเทคนิคการผสมต่างกัน ที่อัตราส่วนต่างๆ นำไปสู่การคำนวณค่ามอดูลัสของยังส์ ของพอลิเมอร์ผสมซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดูลัสของยังส์ของพอลิเมอร์ผสมที่เทคนิคการผสมต่างกัน และอัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.5 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดูลัสของยังส์ของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้จากพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว พบว่าการใช้เทคนิคการผสมที่แตกต่างกัน ให้สมบัติด้านมอดูลัสของยังส์ต่างกัน โดยพอลิเมอร์ผสมที่

ผ่านเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งมีแนวโน้มของสมบัติด้านมอดูลัสของยังส์สูงกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ผ่านการผสมโดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง เนื่องจากเทคนิคที่ผ่านเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง มีการให้แรงเฉือนช่วยในการผสม ซึ่งเป็นการช่วยให้แรงดึงผิวของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลง ส่งผลให้เกิดการกระจายตัวของวัฏภาคพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงในเนื้อพื้นของพอลิพรอพิลีนได้มากขึ้น เป็นการเพิ่มแรงยึดติดระหว่างผิวสัมผัส และยังเป็นการช่วยเพิ่มการเกี่ยวพันเชิงกล ดังนั้นเมื่อให้แรงดึงกับพอลิเมอร์ผสม จะทำให้พอลิเมอร์ผสมสามารถต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้มากขึ้น

ผลการศึกษาพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้จากพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว ในอัตราส่วนต่างๆ พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้จากเทคนิคการผสมที่ต่างกัน ที่อัตราส่วน 100:0 มีค่ามอดูลัสของยังส์สูงที่สุด และมีแนวโน้มต่ำลง เมื่ออัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้วเพิ่มขึ้น เนื่องจากพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เป็นพอลิเมอร์ผสมที่มีความสามารถในการเข้ากันได้ต่ำ การยึดติดระหว่างผิวสัมผัสของพอลิเมอร์ผสมไม่ดี ทำให้เกิดรอยตำหนิระหว่างวัฏภาค และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์ผสมเป็นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปมาแล้ว จึงทำให้เกิดการเสื่อมสภาพ เนื่องจากความร้อนในการขึ้นรูปซ้ำ ส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงถูกตัดขาด ทำให้สายโซ่สั้นลง น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ลดลง ส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมมีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้น้อยลง

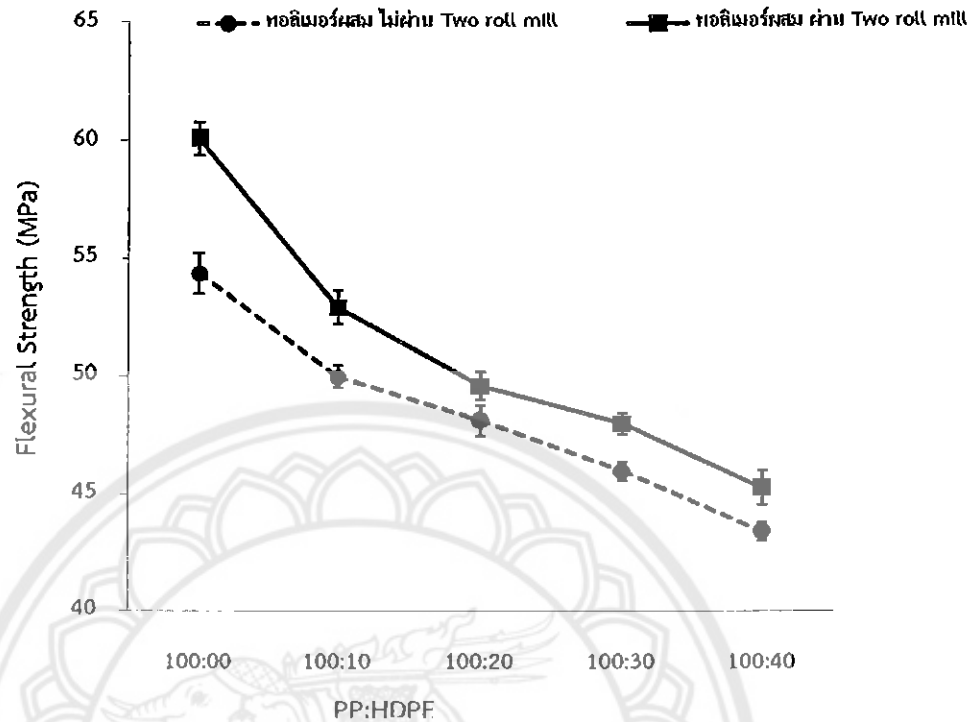
4.2.2 การทดสอบความโค้งงอ (Flexural Test)

4.2.2.1 ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength)

ความแข็งแรงโค้งงอของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว โดยเทคนิคการผสมต่างกัน ที่อัตราส่วน 100:0, 100:10, 100:20, 100:30 และ 100:40 แสดงดังรูปที่ 4.6

จากรูปที่ 4.6 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอของพอลิเมอร์ผสม ที่เตรียมได้จากพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว พบว่าการใช้เทคนิคการผสมที่แตกต่างกัน ให้สมบัติด้านค่าความแข็งแรงโค้งงอต่างกัน โดยพอลิเมอร์ผสมเทคนิคที่ผ่านเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง มีแนวโน้มของสมบัติด้านค่าความแข็งแรงโค้งงอสูงกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ผ่านการผสมโดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง สามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกันกับสมบัติด้านความแข็งแรงดึง กล่าวคือเทคนิคเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งเป็นเทคนิคที่ให้ความร้อนไปยังพอลิเมอร์ผสมโดยตรง มีการให้แรงเฉือนในระหว่างการผสม ทำให้พอลิเมอร์ผสมที่ได้มีการกระจายตัวที่ดี และมีความสามารถเข้ากันได้มากขึ้น ทำให้มีค่าความสามารถในการต้านความโค้งงอมากขึ้น และพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ผ่านการผสมโดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง

มีการกระจายตัวของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่น้อยลง ความเข้ากันได้ไม่ดี การถ่ายโอนแรง
ได้ไม่ดี จึงทำให้พอลิเมอร์ผสมมีค่าความสามารถในการโค้งงอได้น้อยลง

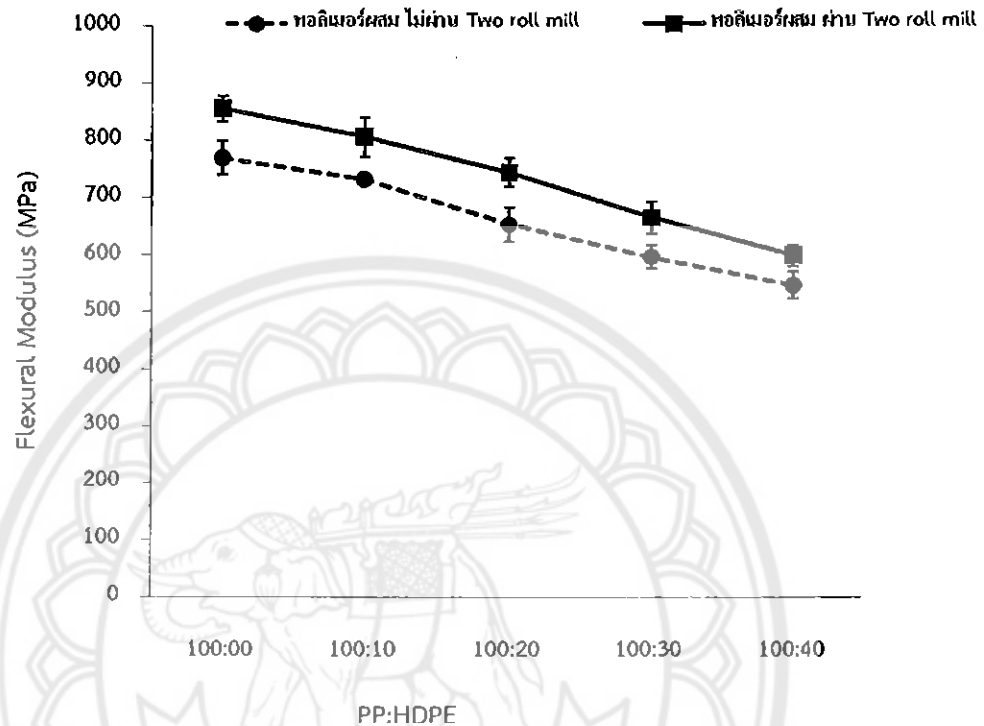


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งแรงโค้งงอของพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านเทคนิคการผสมต่างกัน และอัตราส่วนต่างๆ

ผลการศึกษาพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้จากพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว ในอัตราส่วนต่างๆ พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้จากเทคนิคการผสมที่ต่างกัน ที่อัตราส่วน 100:0 มีค่าความแข็งแรงโค้งงอสูงที่สุด และมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากพอลิพรอพิลีน มีโครงสร้างแบบเชิงเส้น ส่งผลให้พอลิพรอพิลีนมีสมบัติความยืดหยุ่นสูง จึงทำให้มีความสามารถต้านทานต่อการโค้งงอที่สูง เมื่ออัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้วเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มของสมบัติความแข็งแรงโค้งงอที่ลดลง เนื่องจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้ในการผสมมีความอ่อนนุ่ม ซึ่งความแข็งแรงโค้งงอ เป็นค่าความเค้นสูงสุดที่ใช้แก่ชิ้นงานก่อนเกิดการเสียรูปอย่างถาวร เมื่อชิ้นงานได้รับแรงกดจะเกิดการกระจายแรง แต่เมื่อชิ้นงานมีรอยตำหนิทำให้ไม่สามารถกระจายแรงได้อย่างต่อเนื่อง เพราะความไม่เข้ากันของพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง และเมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง จึงเหมือนเป็นการเพิ่มรอยตำหนิให้กับชิ้นงาน ทำให้มีความสามารถต้านทานต่อการโค้งงอลดต่ำลง

4.2.2.2 มอดูลัสความโค้งงอ (Flexural Modulus)

มอดูลัสความโค้งงอของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน และ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว โดยเทคนิคการผสมต่างกัน ที่อัตราส่วนต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.7



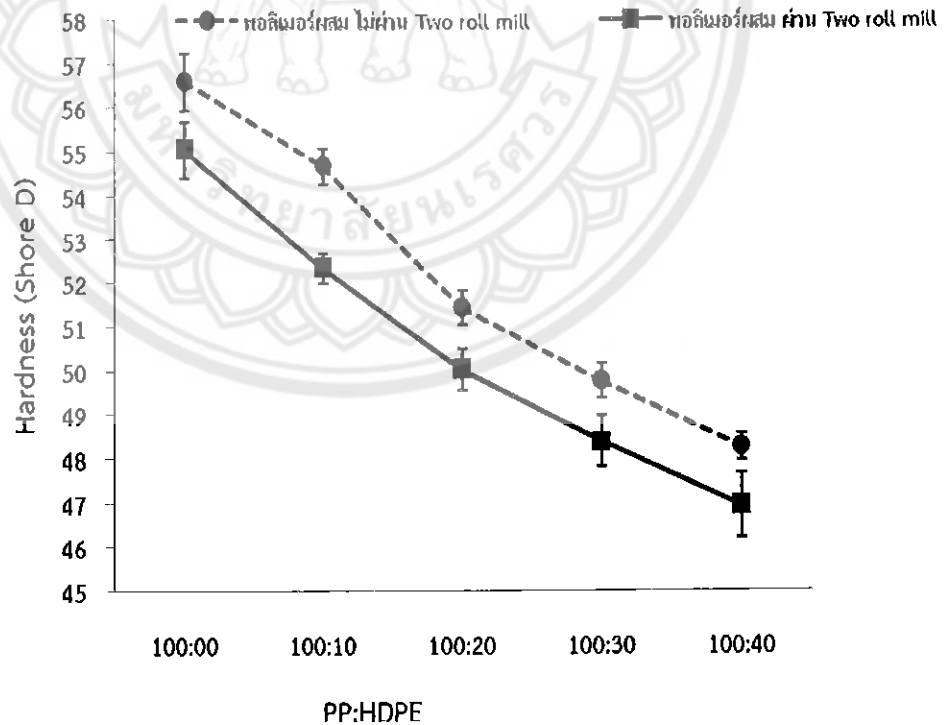
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดูลัสความโค้งงอของพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านเทคนิค การผสม ต่างกันและอัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.7 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านมอดูลัสความโค้งงอของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้จากพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว พบว่าการใช้เทคนิคการผสมที่แตกต่างกัน ให้สมบัติด้านมอดูลัสความโค้งงอต่างกัน โดยพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งมีแนวโน้มของสมบัติด้านมอดูลัสความโค้งงอต่ำกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ผ่านการผสมโดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง เนื่องจากเทคนิคเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งให้ความร้อนส่งผ่านลูกกลิ้งไปยังพอลิเมอร์โดยตรง และมีการให้แรงเฉือนในระหว่างการผสม ช่วยให้แรงตึงผิวของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลง ส่งผลให้เกิดการกระจายของวัฏภาคพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงในเนื้อพื้นพอลิพรอพิลีน และยังช่วยเพิ่มการเกี่ยวพันเชิงกลมากขึ้น เมื่อให้แรงกดกับพอลิเมอร์ผสมมากขึ้น จะทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความสามารถต้านทานการเปลี่ยนรูปได้ดีขึ้น

ผลการศึกษาพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้จากพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว ในอัตราส่วนต่างๆ พบว่าพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้จากเทคนิคการผสมที่ต่างกัน ที่อัตราส่วน 100:0 มีค่ามอดูลัสความโค้งงอสูงสุด และมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้วเพิ่มขึ้น เนื่องจากพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง เป็นพอลิเมอร์ผสมที่มีความสามารถในการเข้ากันได้ต่ำ การยึดติดระหว่างผิวสัมผัสของพอลิเมอร์ผสมไม่ดี ทำให้เกิดรอยตำหนิระหว่างวัฏภาค และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้ในการผสมเป็นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปมาแล้ว จึงทำให้เกิดการเสื่อมสภาพ เนื่องจากความร้อนในการขึ้นรูปซ้ำ ส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงถูกตัดขาด ทำให้สายโซ่สั้นลง น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ลดลง ความเป็นผลึกต่ำลง ส่งผลให้พอลิเมอร์ผสมมีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนรูปได้น้อยลง

4.2.3 การทดสอบความแข็งกด (Hardness Test)

ความแข็งกดของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว โดยเทคนิคการผสมต่างกัน ที่อัตราส่วน 100:0, 100:10, 100:20, 100:30 และ 100:40 โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งกดชอร์ดูโรมิเตอร์ แบบชอร์ (Shore D) แสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งกดของพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านเทคนิคการผสมต่างกัน และอัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.8 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติด้านความแข็งกดแบบชอร์ D ของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้จากพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว พบว่าการใช้เทคนิคการผสมที่ต่างกัน ให้สมบัติความแข็งกดที่ต่างกัน โดยพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง มีแนวโน้มของสมบัติด้านความแข็งกดต่ำกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ผ่านการผสมโดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง เนื่องจากเทคนิคที่ผ่านการผสมแบบสองลูกกลิ้งเป็นการให้ความร้อนกับพอลิเมอร์ผสม ทำให้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงสามารถกระจายตัว การเชื่อมต่อของสายโซ่โมเลกุลเข้ากันได้และแทรกตัวเข้าไปอยู่ภายในสายโซ่โมเลกุลของพอลิพรอพิลีนได้ดี ประกอบกับให้แรงเฉือนในการผสม ทำให้พอลิเมอร์ผสมมีความเข้ากันได้ดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการให้ความร้อนซ้ำนั้น ทำให้พอลิเมอร์ผสมเกิดการเสื่อมสภาพความเป็นพอลิเมอร์ สายโซ่เกิดการขาด น้ำหนักโมเลกุลต่ำลง ส่งผลให้ความหนืดของพอลิเมอร์ต่ำลง จึงทำให้มีความสามารถในการไหลเพิ่มขึ้น สมบัติด้านความแข็งกดจึงลดลง

ผลการศึกษาพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้จากพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว ในอัตราส่วนต่างๆ พบว่า พอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้จากเทคนิคการผสมที่ต่างกัน ที่อัตราส่วน 100:0 มีค่าความแข็งกดสูงที่สุด และมีแนวโน้มลดลง เมื่ออัตราส่วนของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้วเพิ่มขึ้น เนื่องจากพอลิพรอพิลีน มีโครงสร้างแบบเชิงเส้น ปราศจากกิ่งก้านสาขา แยกจากสายโซ่หลักของโมเลกุล และมีหมู่เมทิล (CH_3) ต่อกับอะตอมของคาร์บอน (C) จึงทำให้มีค่าความแข็งกดสูง และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง มีโครงสร้างแบบสายโซ่กิ่ง แต่กิ่งน้อย มีไฮโดรเจน (H) ต่อกับอะตอมของคาร์บอน (C) แต่เมื่อปริมาณพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้มีค่าความแข็งกดลดลง และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้ ในการผสมเป็นพอลิเมอร์ที่มีความอ่อนนุ่ม เนื่องจากการเสื่อมสภาพ เนื่องจากความร้อนในกระบวนการขึ้นรูปซ้ำ ส่งผลให้ความเป็นผลึกลดลง ค่าความแข็งกดจึงต่ำลง

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้จากพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว พบว่าเทคนิคในการผสมที่ต่างกัน และปริมาณของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว มีผลต่อสมบัติเชิงกลโดยรวมของพอลิเมอร์ผสม นั่นคือ เทคนิคการผสมโดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง มีผลต่อสมบัติในด้านความแข็งแรงดึง (Tensile Strength), มอดูลัสของยังส์ (Young's Modulus), ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength) และมอดูลัสความโค้งงอ (Flexural Modulus) ที่สูงกว่าเทคนิคที่ไม่มีการใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง ส่วนสมบัติในด้านร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break) และความแข็งกด (Hardness Test) ให้สมบัติเชิงกลที่ต่ำกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีการใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง นอกจากนี้การปรับเปลี่ยนปริมาณพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่เติมลงในพอลิเมอร์ผสม ส่งผลให้สมบัติเชิงกล มีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเพิ่มมากขึ้น

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาสัณฐานวิทยา และสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้จากพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว ที่เทคนิคการผสมที่ต่างกัน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว ที่อัตราส่วนต่างๆ

5.1.1 จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้จากพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้งานแล้ว พบว่า เกิดการแยกเป็น 2 ภูมิภาคอย่างชัดเจน เนื่องจากความสามารถในการเข้ากันได้ต่ำ ส่งผลให้พื้นผิวมีความขรุขระ มีส่วนที่เป็นเม็ดพอลิเมอร์กระจายตัวอยู่ในเนื้อพื้นพอลิพรอพิลีนอย่างไม่สม่ำเสมอ ส่วนผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการผสมด้วยเทคนิคที่ต่างกัน พบว่า พอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการผสมโดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง มีความสามารถในการเข้ากันได้บางส่วน ทำให้มีการกระจายตัวในภูมิภาคได้ดีกว่า พื้นผิวมีความเรียบมากกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่มีการใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง

5.1.2 จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม ที่เตรียมได้จากพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้งานแล้ว ที่มีการใช้เทคนิคในการผสมที่ต่างกัน พบว่า พอลิเมอร์ผสมที่มีการใช้เทคนิคการผสมโดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง ให้สมบัติเชิงกล โดยรวมสูงกว่าพอลิเมอร์ผสมเทคนิคที่ไม่มีการใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง

5.1.3 จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม ที่เตรียมได้จากพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้งานแล้ว ในอัตราส่วนต่างๆ พบว่า มีแนวโน้มของสมบัติเชิงกลโดยรวมลดลง เมื่อปริมาณพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้งานแล้ว เพิ่มขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาการนำสารช่วยผสมมาช่วยปรับปรุงความสามารถในการเข้ากันได้ เนื่องจากพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด มีความเข้ากันได้ต่ำ

5.2.2 ศึกษาพอลิเมอร์ชนิดอื่น ที่มีความสามารถในการเข้ากันได้กับพอลิพรอพิลีน เพื่อเตรียมเป็นพอลิเมอร์ผสม

5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ปัญหา

5.3.1 ลักษณะทางกายภาพในด้านสี ของขวดที่นำมาใช้ ไม่เท่ากัน จึงควรเลือกขวดที่มีการเก็บในช่วงเวลาเดียวกัน

5.3.2 จากการศึกษาสมบัติเชิงกลด้านแรงกระแทก ใช้เครื่องทดสอบแบบอ่านค่าที่หน้าปัด ทำให้อ่านค่าได้ไม่แน่นอน จึงควรมีการเปลี่ยนเครื่องทดสอบแรงกระแทกเป็นแบบดิจิตอล เพื่อให้มีการอ่านค่าที่แน่นอน



เอกสารอ้างอิง

- กิตติมา วัฒนากมลกุล. (2547). เอกสารประกอบการสอนวิชาพิษของพลาสติก. กรุงเทพฯ : คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- จินตมัย สุวรรณประทีป และคณะ. (2547). การทดสอบสมบัติเชิงกลของพลาสติก. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ.
- เจริญ นาคะสรรค์. (2542). กระบวนการแปรรูปพลาสติก. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวท่อนเดียว. ปัตตานี : ภาควิชาเทคโนโลยียาง และพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ชญาภา นิมสุวรรณ. (2547). การทดสอบความแข็ง. นครปฐม : ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย.
- ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. (2527). เคมีพอลิเมอร์พื้นฐาน. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ โอเดียนสโตร์.
- ชาญศักดิ์ พัทธโคภิชฐ์. (2553). เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง. สืบค้นเมื่อวันที่ 10 สิงหาคม 2555, จาก <http://www.sirikrai.com/mbdetail.php?id=0350>
- เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์. (2550). ความเค้นและความเครียด. กรุงเทพฯ : สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม.
- ปกรณ์ โอภาประกาศิต และมณฑนา โอภาประกาศิต. (2554). พลาสติกรีไซเคิล. สืบค้นเมื่อวันที่ 13 สิงหาคม 2555, จาก <http://xn--12cl6bpz6b9ayd.dw.com/polymer-environment/>
- ปพน ศรีนาราง และวริศรา แก้วเมือง. (2554). การศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้จากพอลิพรอพิลีนและขวดพลาสติกที่ใช้แล้ว. ปรียญานิพนธ์ วศ.บ., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.
- ปาเจรา พัฒนถาบุตร. (2554). เอกสารประกอบการสอนวิชา Industrial Plastics Technology. นครปฐม : คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- บริษัท SCG Plastic จำกัด. (2555). Hyosung Topilene J700 PP. สืบค้นเมื่อวันที่ 8 กันยายน 2554, จาก <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=4a0b0be0b9b44aad330212d7&ck ck=1>
- ไมโครสโคปเซ็นเตอร์. (2551). กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด. ชลบุรี : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- วิริยะ ทองเรือง. (2554). เอกสารประกอบการสอนวิชา วิศวกรรมพอลิเมอร์. สงขลา : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. (2550). พลาสติกรีไซเคิลและวิธีการรีไซเคิล. เทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 สิงหาคม 2555, จาก http://www2.mtec.or.th/th/special/biodegradable_plastic/plastic_recycle.html

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. (2550). การทดสอบความโค้งงอแบบ 3 จุด. การทดสอบความโค้งงอ. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 สิงหาคม 2555, จาก <http://www.mtec.or.th/laboratory/mech/index.php/knowledge/20-bending-test.html>
- สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้มหาวิทยาลัยมหิดล. (2549). กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electronmicroscope (SEM). สืบค้นเมื่อวันที่ 18 สิงหาคม 2555, จาก <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit4-5.html>
- สินีนาด จริยโชติเลิศ, นฤมล คูอุดมรัตน์ และวิภาดา ฤทธิสิทธิ์. (2549). คุณสมบัติของพลาสติกแปรใช้ใหม่จากขวดน้ำดื่มทำจากพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง. ปรินญาณิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สมจิตต์ ตั้งชัยวัฒนา. (2548). พอลิเมอร์ผสม (Polymer blend). สืบค้นเมื่อวันที่ 20 กรกฎาคม 2554, จาก http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/cp_5_2548_polymer_blend.pdf
- สมศักดิ์ วรมงคลชัย. (2543). เทคโนโลยีพอลิเมอร์ 2. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง.
- อโนดาชย์ รัชเวทย์. (2549). เอกสารประกอบการสอนวิชาพอลิเมอร์. เชียงใหม่ : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.
- อภิรักษ์ อุดมศักดิ์กุล. (2541). คุณสมบัติเชิงกลของโพลีเมอร์ผสมระหว่างโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับพอลิพรอพิลีน. ปรินญาณิพนธ์ วศ.ม., จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- เอกชัย วิมลมาลา. (2543). การเตรียมและการศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์และยางอะคริลิก. วิทยานิพนธ์ วท.บ., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- อรรรรณ สัมฤทธิ์เดชขจร. (2553). กายอันตรรายจากพลาสติก. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. สืบค้นเมื่อวันที่ 14 สิงหาคม 2555, จาก <http://www.mtec.or.th/index.php?option=co>
- ASTM D 2240. (1996). Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness. Philadelphia : American Society For Testing and material.
- ASTM D 638. (1996). Standard Test Methods For Tensile Property Of Plastic (Matric). Philadelphia : 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. Philadelphia : American Society For Testing and material.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Paul D.R. and Bucknall C.B. (2002). Polymer Blends. Vol1. New York : John Willy & Son.
- S.E. Selke and I.Wichman. (2004). Wood fiber/Polyolefin composites. Composites Part A, 35(3), 321-326.





ภาคผนวก ก

ตารางแสดงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน
และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว

ตารางที่ ก.1 ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength)

PP:HDPE	Tensile Strength (MPa)	
	ผ่านเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง	ไม่ผ่านผ่านเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง
100:0	30.59 ± 0.38	32.76 ± 0.54
100:10	30.16 ± 0.58	32.19 ± 0.93
100:20	29.88 ± 0.61	31.85 ± 0.29
100:30	28.67 ± 0.26	29.67 ± 0.16
100:40	26.98 ± 0.18	27.91 ± 0.35

ตารางที่ ก.2 ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break)

PP:HDPE	%Elongation at Break (%)	
	ผ่านเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง	ไม่ผ่านผ่านเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง
100:0	840.65 ± 21.10	620.16 ± 21.99
100:10	602.35 ± 20.09	167.22 ± 25.70
100:20	224.39 ± 23.18	44.03 ± 24.24
100:30	77.56 ± 11.15	29.37 ± 17.44
100:40	23.93 ± 2.39	12.89 ± 0.86

ตารางที่ ก.3 มอดูลัสของยังส์ (Young's Modulus)

PP:HDPE	Young's Modulus (MPa)	
	ผ่านเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง	ไม่ผ่านผ่านเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง
100:0	581.28 ± 19.52	647.28 ± 16.33
100:10	537.46 ± 18.67	605.45 ± 17.31
100:20	487.40 ± 10.59	548.13 ± 28.56
100:30	443.86 ± 17.58	499.42 ± 18.81
100:40	389.22 ± 29.92	457.91 ± 26.75

ตารางที่ ก.4 ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural Strength)

PP:HDPE	Flexural Strength (MPa)	
	ผ่านเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง	ไม่ผ่านเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง
100:0	54.36 ± 0.85	60.08 ± 0.68
100:10	49.98 ± 0.46	52.93 ± 0.70
100:20	48.14 ± 0.63	49.60 ± 0.58
100:30	45.99 ± 0.38	48.00 ± 0.45
100:40	43.41 ± 0.41	45.27 ± 0.72

ตารางที่ ก.5 มอดุลัสความโค้งงอ (Flexural Modulus)

PP:HDPE	Flexural Modulus (MPa)	
	ผ่านเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง	ไม่ผ่านเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง
100:0	770.05 ± 29.31	855.59 ± 22.29
100:10	733.34 ± 9.02	806.47 ± 34.50
100:20	654.02 ± 30.44	744.31 ± 25.36
100:30	597.13 ± 20.00	664.92 ± 28.55
100:40	547.43 ± 23.71	598.85 ± 18.93

ตารางที่ ก.6 ความแข็งกด (Hardness Test)

PP:HDPE	Hardness (Shore D)	
	ผ่านเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง	ไม่ผ่านเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง
100:0	56.58 ± 0.66	55.04 ± 0.62
100:10	54.66 ± 0.39	52.33 ± 0.35
100:20	51.41 ± 0.38	50.00 ± 0.47
100:30	49.75 ± 0.38	48.37 ± 0.57
100:40	48.25 ± 0.29	46.91 ± 0.72

ตารางที่ ก.7 แรงกระแทก (Impact Test)

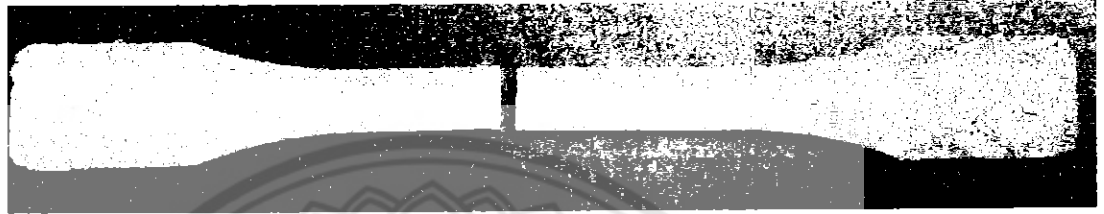
PP:HDPE	Impact Strength (J/mm ²)	
	ผ่านเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง	ไม่ผ่านเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง
100:0	4.10 ± 0.01	4.11 ± 0.02
100:10	4.10 ± 0.01	4.11 ± 0.02
100:20	4.11 ± 0.01	4.13 ± 0.01
100:30	4.12 ± 0.01	4.13 ± 0.01
100:40	4.13 ± 0.01	4.13 ± 0.00



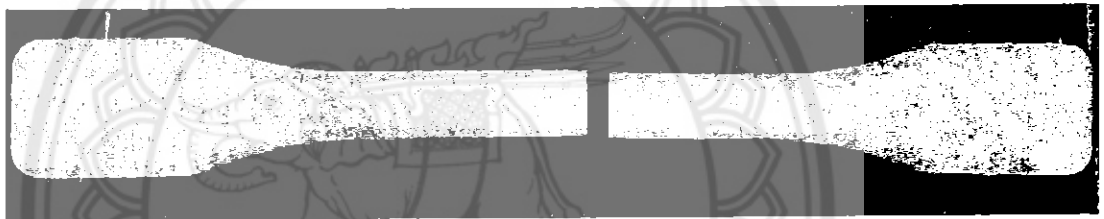




ก)



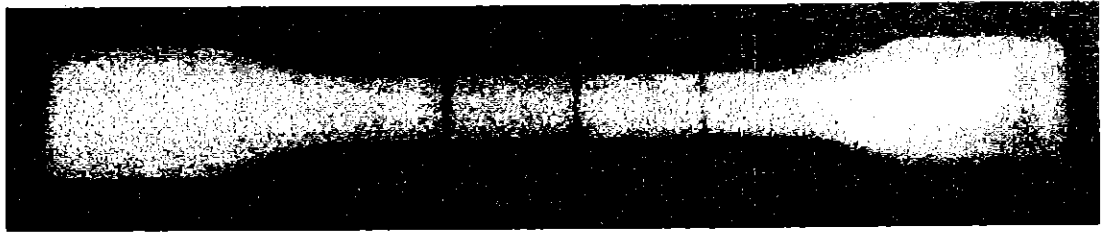
ข)



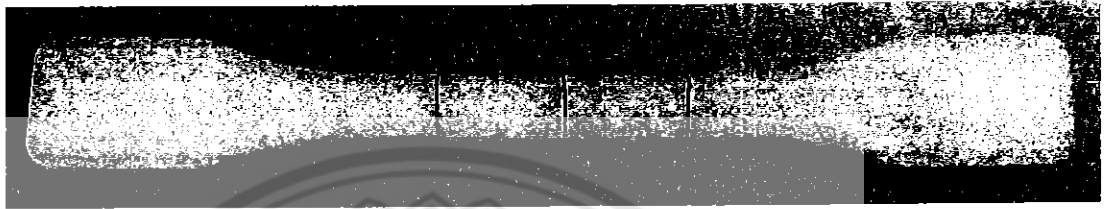
ค)

รูปที่ ข.1 ชิ้นงานที่ทดสอบความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน และพอลิเอทิลีน
ชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว

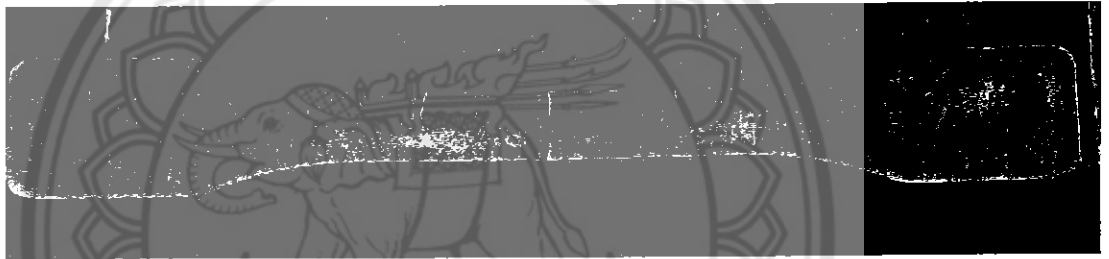
- ก) ชิ้นงานก่อนการทดสอบ
- ข) ชิ้นงานหลังการทดสอบที่ผ่านเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง
- ค) ชิ้นงานหลังการทดสอบที่ไม่ผ่านเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง



ก)



ข)



ค)

รูปที่ ข.2 ชิ้นงานที่ทดสอบความแข็งแรงโค้งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน และพอลิเอ-
ทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ผ่านการใช้แล้ว

- ก) ชิ้นงานก่อนการทดสอบ
- ข) ชิ้นงานหลังการทดสอบที่ผ่านเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง
- ค) ชิ้นงานหลังการทดสอบที่ไม่ผ่านเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง