



การศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีน และ
พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

**STUDY OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF POLYMER BLENDS
BETWEEN POLYPROPYLENE AND LOW - DENSITY POLYETHYLENE**

นายสุวรรณพงษ์ เชื้อนคำป้อ รหัสสนិត 48365347
นายอนุวัฒน์ ราญพล รหัสสนិត 48365354

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 13, ก.ค. 2553
เลขทะเบียน..... 19069835
เลขเรียกหนังสือ..... ฟ.ร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ต. 869 11 2552

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2552



ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ การศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิฟอสฟีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

ผู้ดำเนินโครงการ นายสุวรรณพงษ์ เชื้อนคำป้อ รหัส 48365347
นายอนุวัฒน์ ราษฎร์พล รหัส 48365354

ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์ศิริกาญจน์ ชันส์มฤตย์

สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2552

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

.....ที่ปรึกษาโครงการ
(อาจารย์ศิริกาญจน์ ชันส์มฤตย์)

.....ประธานกรรมการ
(ดร.นพวรรณ ไม้ทอง)

.....กรรมการ
(อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ปิยนันท์ บุญพยัคฆ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ชวลีพรชัย ป่าไร่)

ชื่อหัวข้อโครงการงาน	การศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	
ผู้ดำเนินโครงการงาน	นายสุวรรณพงษ์ เขื่อนคำป้อ	รหัส 48365347
	นายอนุวัฒน์ ราษฎร์พล	รหัส 48365354
ที่ปรึกษาโครงการงาน	อาจารย์ศิริกาญจน์ ชั้นสัมฤทธิ์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ	
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2552	

บทคัดย่อ

โครงการงานนี้ เป็นการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีน (Polypropylene : PP) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low - Density Polyethylene : LDPE) ผลการวิจัยพบว่า การศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE โดยการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE พบว่าที่สภาวะขึ้นรูปที่ 4 ที่อุณหภูมิหัวฉีด 240 °C เป็นสภาวะที่ดีที่สุดในการขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE โดยค่าสมบัติความเค้น-ความเครียดโดยรวมดีที่สุด อัตราส่วน PP:LDPE ที่ 100:0 พอลิเมอร์แสดงสมบัติเป็นแบบแข็งแรง (Hard and strong) เมื่อเติม LDPE เพิ่มขึ้นส่งผลให้สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มต่ำลง อัตราส่วน PP:LDPE ที่ 90:10 และ 70:30 พอลิเมอร์แสดงสมบัติเป็นแบบแข็งและเหนียว (Hard and tough) จนถึงอัตราส่วน PP:LDPE ที่ 50:50 และ 30:70 พอลิเมอร์แสดงสมบัติเป็นแบบแข็งเปราะ (Hard and brittle) อัตราส่วน PP:LDPE ที่ 10:90 และ 0:100 พอลิเมอร์แสดงสมบัติเป็นแบบนิ่มและเหนียว (Soft and tough) และจากการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE โดยการศึกษาค่าสมบัติเชิงกลพบว่าอัตราส่วน PP:LDPE ที่ 100:0 ให้ค่าสมบัติเชิงกลดีที่สุด และเนื่องจากโครงการงานต้องการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมพบว่าอัตราส่วน PP:LDPE ที่ 70:30 เป็นอัตราส่วนที่สามารถยอมรับได้ที่ไม่ทำให้สมบัติเชิงกลเสียไปนอกจากนี้ การศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน 70:30 นำไปศึกษาสัณฐานวิทยาโดยเทคนิค SEM พบว่า PP เป็นวัฏภาคหลัก (Matrix phase) และ LDPE เป็น วัฏภาคกระจาย (Dispersed phase) โดยอนุภาค LDPE มีขนาดใหญ่และกระจายไม่สม่ำเสมออยู่ในวัฏภาค PP โดยพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดแยกวัฏภาคกันชัดเจน และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น อนุภาคของ LDPE มีขนาดเล็กลงและมีการแยกวัฏภาคกันชัดเจน

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของ อาจารย์ศิริกาญจน์ ชันสัมฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ในการให้ความรู้ คำปรึกษาและข้อแนะนำเกี่ยวกับการค้นหาข้อมูล และแนวทางการวิเคราะห์ต่างๆ ตลอดจนสละเวลาให้คำแนะนำทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ที่ดียิ่ง และขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงยิ่ง

ดร.นพวรรณ โฉมทอง อาจารย์กฤษฎา พูลสวัสดิ์ อาจารย์หุสิทธิ์ ป่าไร่ และอาจารย์ปิยนันท์ บุญพยัคฆ์ ที่กรุณาสละเวลา เป็นอาจารย์สอน โครงการนี้ พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขโครงการนี้

ครูช่างประเทือง โมรราย ครูช่างวิชัย ชุลบุตร และครูช่างไพรัช แสงพ่อง ที่คอยเอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำโครงการ อีกทั้งยังคอยแนะนำการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวัดอย่างถูกต้องอีกด้วย

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และอบรมสั่งสอนให้ผู้จัดทำเป็นคนที่ดีของสังคม

คุณค่า และประโยชน์อันพึงมีจากโครงการนี้ ทางผู้จัดทำขอบอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้

คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

สุวรรณพงษ์ เชื้อนคำป้อ

อนุวัฒน์ ราษฎร์พล

มีนาคม 2553

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ.....	ณ

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output).....	2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome).....	2
1.5 ขอบเขตการทำโครงการ.....	2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงการ.....	2
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ.....	2
1.8 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น.....	4
2.1 หลักการพื้นฐานเกี่ยวกับพอลิเมอร์.....	4
2.2 พอลิเมอร์ผสม (Polymer blend).....	8
2.3 การขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ (Injection molding machine).....	15
2.4 สมบัติเชิงกลที่ใช้ในงานวิจัย.....	16
2.5 ชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้ในการทำการศึกษ.....	19
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ.....	25
3.1 วัสดุและสารเคมี.....	25
3.2 เครื่องมือ.....	25
3.3 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน.....	25
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์.....	30
4.1 การศึกษาสภาวะในการถีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE.....	30
4.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติความเค้น ความเครียด ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	30
4.3 การศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE.....	37
4.4 การศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : LDPE.....	41
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	42
5.1 สรุปผล.....	42
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	43
เอกสารอ้างอิง.....	44
ภาคผนวก ก.....	45
ภาคผนวก ข.....	47
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	55

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนดำเนินงาน.....	3
2.1 สมบัติทางด้านความเค้น-ความเครียดของพอลิเมอร์ประเภทต่างๆ.....	18
2.2 สมบัติของพอลิโพรพิลีน เกรด P700J.....	20
2.3 สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ เกรด LD1630J.....	22
3.1 อัตราส่วนระหว่าง PP:LDPE.....	25
3.2 สภาพะในการฉีดขึ้นรูป.....	26
ก.1 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	46



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 พอลิเมอร์แบบเชิงเส้น (Linear polymer).....	5
2.2 พอลิเมอร์แบบกิ่ง (Branched polymer).....	6
2.3 พอลิเมอร์แบบร่างแห (Cross-linking polymer).....	6
2.4 แสดงการจัดตำแหน่งของหมู่แทนที่ (ก) แบบ ไอโซแทคติก (ข) แบบซินดิโอแทคติก (ค) แบบอะแทคติก.....	7
2.5 สันฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง พอลิเมอร์ A (___) และ พอลิเมอร์ B (___) โดย (ก) Miscible (ข) Immiscible (ค) Partially miscible.....	13
2.6 ความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม.....	14
2.7 เครื่องฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ (Injection molding machine).....	15
2.8 สมบัติทางด้านความเค้น-ความเครียดของพอลิเมอร์ประเภทต่างๆ.....	18
2.9 แสดงโครงสร้างของพอลิฟอสฟีนแบบเส้นตรง.....	19
2.10 โครงสร้างของพอลิฟอสฟีน.....	20
2.11 แสดงโครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแบบกิ่ง.....	21
2.12 โครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ.....	22
2.13 ลักษณะสันฐานวิทยาที่อัตราส่วน 70:30 (ก) ก่อนใช้ระบบรีแอกทีฟเบลนด์ (ข) หลังใช้ระบบรีแอกทีฟเบลนด์.....	24
3.1 ชิ้นงานพลาสติกหลังการขึ้นรูป.....	26
3.2 การปรับอุณหภูมิของชุดหัวฉีด.....	27
3.3 การทดสอบแรงดึง (Tension test).....	28
3.4 ขนาดของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ.....	28
4.1 ลักษณะชิ้นงานหลังการฉีดขึ้นรูป.....	30
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของพอลิเมอร์ผสม ระหว่าง PP:LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สภาวะขึ้นรูปที่ 1 ที่อุณหภูมิหัวฉีด 180 °C	31
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของพอลิเมอร์ผสม ระหว่าง PP:LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สภาวะขึ้นรูปที่ 2 ที่อุณหภูมิหัวฉีด 200 °C.....	33
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของพอลิเมอร์ผสม ระหว่าง PP:LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สภาวะขึ้นรูปที่ 3 ที่อุณหภูมิหัวฉีด 220 °C.....	34
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของพอลิเมอร์ผสม ระหว่าง PP:LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สภาวะขึ้นรูปที่ 4 ที่อุณหภูมิหัวฉีด 240 °C.....	35

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสมบัติด้านความแข็งแรงดึงและอุณหภูมิที่ใช้ใน การฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ	37
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสมบัติร้อยละความดึงยึด ณ จุดขาดและอุณหภูมิที่ใช้ใน การฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	38
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสมบัติโมดูลัสของยังและอุณหภูมิที่ใช้ใน การฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ.....	39
4.9 รูปแสดงสัณฐานวิทยาที่กำลั้งขยาย 3,000 เท่าของ PP:LDPE ที่ 70:30 (ก) ที่อุณหภูมิ หัวฉีด 180 °C (ข) ที่อุณหภูมิหัวฉีด 200 °C, (ค) ที่อุณหภูมิหัวฉีด 220 °C (ง) ที่อุณหภูมิหัวฉีด 240 °C	41
ข.1 แสดงชิ้นงานที่ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแบบอเนกประสงค์ของ PP:LDPE ที่อัตราส่วน 100:0 ที่อุณหภูมิหัวฉีด (ก) 180 °C (ข) 200 °C (ค) 220 °C (ง) 240 °C	48
ข.2 แสดงชิ้นงานที่ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแบบอเนกประสงค์ของ PP:LDPE ที่อัตราส่วน 90:10 ที่อุณหภูมิหัวฉีด (ก) 180 °C (ข) 200 °C (ค) 220 °C (ง) 240 °C	49
ข.3 แสดงชิ้นงานที่ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแบบอเนกประสงค์ของ PP:LDPE ที่อัตราส่วน 70:30 ที่อุณหภูมิหัวฉีด (ก) 180 °C (ข) 200 °C (ค) 220 °C (ง) 240 °C	50
ข.4 แสดงชิ้นงานที่ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแบบอเนกประสงค์ของ PP:LDPE ที่อัตราส่วน 50:50 ที่อุณหภูมิหัวฉีด (ก) 180 °C (ข) 200 °C (ค) 220 °C (ง) 240 °C	51
ข.5 แสดงชิ้นงานที่ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแบบอเนกประสงค์ของ PP:LDPE ที่อัตราส่วน 30:70 ที่อุณหภูมิหัวฉีด (ก) 180 °C (ข) 200 °C (ค) 220 °C (ง) 240 °C	52
ข.6 แสดงชิ้นงานที่ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแบบอเนกประสงค์ของ PP:LDPE ที่อัตราส่วน 10:90 ที่อุณหภูมิหัวฉีด (ก) 180 °C (ข) 200 °C (ค) 220 °C (ง) 240 °C	53
ข.7 แสดงชิ้นงานที่ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแบบอเนกประสงค์ของ PP:LDPE ที่อัตราส่วน 0:100 ที่อุณหภูมิหัวฉีด (ก) 180 °C (ข) 200 °C (ค) 220 °C (ง) 240 °C	54

สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

PP = Polypropylene

LDPE = Low - Density Polyethylene

SEM = Scanning Electron Microscope



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันสิ่งต่าง ๆ รอบตัวเราล้วนแล้วแต่ทำมาจากพอลิเมอร์เป็นจำนวนมากเนื่องจากพอลิเมอร์จัดเป็นวัสดุที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อใช้ในการทดแทนวัสดุจำพวก โลหะ แก้ว เซรามิก ไม้ และ กระดาษ ซึ่งจะใช้ในงานประเภทต่าง ๆ เช่น พลาสติกบรรจุภัณฑ์ สีน้าอุปโภคบริโภค สิ่งก่อสร้าง อุตสาหกรรมยานยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์ในอุตสาหกรรมหนัก เป็นต้น อาจกล่าวได้ว่า พอลิเมอร์เป็นวัสดุสังเคราะห์ที่ได้รับความนิยมมาก เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่หลากหลายและสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้มาก รวมถึงการที่เป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา ทนต่อการแตกหัก ไม้แพง และขึ้นรูปได้ง่าย เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุ อื่นๆ แล้วจะสามารถขึ้นรูปเป็นชิ้นส่วนที่มีความซับซ้อนได้ดีกว่าในปัจจุบันจึงมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย

พอลิเมอร์ที่ได้มีการผลิตและนำมาใช้ในปัจจุบันมีหลายชนิดด้วยกันในการศึกษาวิจัยได้เลือกใช้พอลิพอฟิลีน (Polypropylene : PP) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low - Density Polyethylene : LDPE) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถหาได้ง่ายและมีการใช้กันอย่างกว้างขวางในผลิตภัณฑ์ต่างๆ แต่เนื่องจากพอลิเมอร์แต่ละชนิดมีสมบัติที่จำกัด ทำให้ปัจจุบันมีการคิดค้นพอลิเมอร์ใหม่ๆขึ้นมาเพื่อให้สมบัติดีกว่าเดิมและสามารถนำมาใช้งานตามความต้องการดั่งนั้น การทำพอลิเมอร์ผสม (Polymer blends) เป็นวิธีหนึ่งที่ทำให้เกิดพอลิเมอร์ชนิดใหม่ขึ้นมาซึ่งจะทำให้ได้พอลิเมอร์ชนิดใหม่ที่รวมเอาคุณสมบัติที่เด่นของพอลิเมอร์แต่ละชนิดขึ้นมา เนื่องจากการคิดค้นด้วยวิธีการสังเคราะห์นั้นเป็นการเสียเวลา มีความยุ่งยากซับซ้อนและมีต้นทุนในการพัฒนาสูง

ดังนั้น งานวิจัยครั้งนี้ จึงได้นำพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด คือ พอลิพอฟิลีน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ มาผสมให้เป็นพอลิเมอร์ผสม ซึ่งสมบัติเด่นของพอลิพอฟิลีนมีข้อดีในเรื่องทนต่อแรงกระแทก (Impact Strength) และความสามารถในกระบวนการขึ้นรูปดี (Processability) สำหรับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมีข้อดีในเรื่องการต้านทานความร้อน (Heat resistance) และอ่อนนุ่ม (Soft) โดยจะศึกษาอัตราส่วนการผสมและสภาวะที่ใช้ในการผลิตขึ้นรูปที่ทำให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่มีสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมแก่การนำไปใช้งาน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE ที่อัตราส่วนดังนี้ 100:0, 90:10, 70:30, 50:50, 30:70, 10:90 และ 0:100 โดยน้ำหนัก

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE ที่อัตราส่วนดังนี้ 100:0, 90:10, 70:30, 50:50, 30:70, 10:90 และ 0:100 โดยน้ำหนัก

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

อุณหภูมิหัวฉีดที่ใช้ในการขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียด และสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่อัตราส่วน PP:LDPE ที่ใช้อุณหภูมิในการฉีดขึ้นรูปต่างๆ

1.5 ขอบเขตการทำโครงการ

1.5.1 ศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE โดยใช้เทคนิคการฉีดขึ้นรูป (Injection molding) ที่อุณหภูมิหัวฉีด 180, 200, 220 และ 240 °C

1.5.2 ศึกษาสมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงการ

1.6.1 สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.6.2 ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.6.3 อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.6.4 อาคารปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

กรกฎาคม 2551– พฤษภาคม 2552

1.8 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ลำดับการดำเนินงาน	คำอธิบายการดำเนินงาน	พ.ศ. 2551					พ.ศ. 2552					
		ก.ค	ธ.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค
1	ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับเทคโนโลยีสารสนเทศ	←										
2	ศึกษาคำแนะนำการใช้งานของเครื่องคิดเลขอิเล็กทรอนิกส์		←	→								
3	ศึกษาคำแนะนำการใช้งานของเครื่องทดสอบสมมติเชิงกลที่ห้องใช้ทดสอบ			←	→							
4	กำหนดส่วนผสมที่จะใช้ในการทดลองแต่ละ Condition			←	→							
5	จัดหาวัสดุดิบและ Design LAB ที่จะใช้ในการวิจัย				←	→						
6	ดำเนินการวิจัยและเก็บข้อมูล				←						→	
7	ทดสอบสมมติเชิงกลของของไฮดรอลิก				←						→	
8	วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย								←			→
9	จัดทำรายงานและนำเสนอผลงาน									←		→



บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 หลักการพื้นฐานเกี่ยวกับพอลิเมอร์

คำว่าพอลิเมอร์มาจากคำในภาษากรีกสองคำคือ Poly หมายถึง หลายๆ หรือมาก และ Mer หมายถึง หน่วยหรือส่วน หรืออาจจะหมายความว่าพอลิเมอร์เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ (Macro molecule) ที่ประกอบซ้ำๆ กันของของหน่วยย่อยเป็นจำนวนมาก ซึ่งเรียกว่า มอนอเมอร์ (Monomer) บางทีก็เรียกว่าโมเลกุลมหภาค ตัวอย่างพอลิเมอร์ ได้แก่ พอลิเอทิลีน

มอนอเมอร์ (Monomer) คือโมเลกุลขนาดเล็กที่อยู่ซ้ำๆ กันในพอลิเมอร์ ซึ่งมีโครงสร้างไม่ซับซ้อน มีหมู่ฟังก์ชันอยู่ที่ปลายทั้งสองข้างของโมเลกุล สามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลที่เหมือนกันหรือต่างกันได้ [1]

2.1.1 การจำแนกพอลิเมอร์

2.1.1.1 จำแนกจากชนิดของหน่วยที่ซ้ำๆ กันในโซ่พอลิเมอร์

ก. โฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymer) ได้แก่พอลิเมอร์ที่อยู่ในโซ่พอลิเมอร์มีหน่วยที่ซ้ำๆ กันเพียงชนิดเดียวเท่านั้น เช่น พอลิเอทิลีนมีหน่วยที่ซ้ำกันคือ เอทิลีน โฮโมพอลิเมอร์มีทั้งที่เป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติเช่น แป้ง เซลลูโลส และพอลิเมอร์สังเคราะห์เช่น พอลิเอทิลีนเกิดจากเอทิลีน ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$) และพอลิพอฟีนเกิดจากพอฟีน ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$)

ข. โคพอลิเมอร์ (Co-polymer) ได้แก่พอลิเมอร์ซึ่งในโซ่พอลิเมอร์มีหน่วยที่ซ้ำๆ กันสองชนิด หรือมากกว่าสองชนิด เช่น พอลิเมอร์ของสไตรีนและไวนิลคลอไรด์ มีทั้งสไตรีนและไวนิลคลอไรด์ในสายโซ่ของพอลิเมอร์ โคพอลิเมอร์มีทั้งที่เป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติ เช่น โปรตีน ซึ่งเกิดจากกรดอะมิโน ไบโอม และพอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น พอลิเอสเทอร์และพอลิเอไมด์

2.1.1.2 จำแนกโดยยึดเอาการเปรียบเทียบของพอลิเมอร์เมื่อได้รับความร้อน ซึ่งจำแนกพอลิเมอร์เป็น 2 ประเภทดังนี้

ก. เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic polymer) เทอร์โมพลาสติก เป็นพอลิเมอร์สายโซ่ตรงหรือกึ่ง มีโครงสร้างไม่เป็นตาข่าย ยึดติดกันที่อุณหภูมิห้อง จะมีความยืดหยุ่นก็ต่อเมื่อค่อยๆ ให้ความร้อนขึ้นเรื่อยๆ จะหลอมและอ่อนตัว เมื่อความร้อนมากจะหลอมละลายจนสามารถเชื่อมประสานกันได้เมื่อปล่อยให้เย็นตัวจะมีความแข็งและความเค้นเหมือนเดิม การหลอมและการเย็นตัวลงกระทำได้หลายๆ ครั้ง ดังนั้นจึงสามารถนำเทอร์โมพลาสติกนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยไม่มีผลกระทบต่อสมบัติทั้งกายภาพและทางเคมีของพอลิเมอร์นั้น กล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า โครงสร้างของพอลิเมอร์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง พอลิเมอร์นี้ส่วนมากสามารถละลายในสารละลายบางชนิดได้ ตัวอย่างของเทอร์โมพลาสติก ได้แก่ พอลิสไตรีน และ พอลิไวนิลคลอไรด์

ข. เทอร์โมเซต (Thermosets polymer) เป็นพอลิเมอร์ที่มีการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุลอย่างหนาแน่น มีสมบัติพิเศษ คือทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและทนปฏิกิริยาเคมีได้ดี เกิดคราบและรอยเปื้อนได้ยาก พลาสติกแบบนี้เมื่อหลอมตัวเป็นรูปแบบใด จะเป็นรูปแบบนั้นอย่างถาวรหมายความว่า จะเอามาหลอมใช้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ไม่ได้ กล่าวคือ เกิดการเชื่อมต่อกันไปมาระหว่างสายโซ่ของโมเลกุลของพอลิเมอร์ (Cross linking among polymer chains) ดังนั้นเมื่อพลาสติกเย็นจนแข็งตัวแล้ว จะไม่สามารถทำให้อ่อนได้อีกโดยใช้ความร้อน หากแต่จะสลายตัวทันทีที่อุณหภูมิสูงถึงระดับ การทำพลาสติกชนิดนี้ให้เป็นรูปลักษณะต่าง ๆ ต้องใช้ความร้อนสูง และโดยมากต้องการแรงอัดด้วย ตัวอย่างพลาสติกเทอร์โมเซตได้แก่ เมลาไมน์เรซิน หรือ เมลาไมน์ฟอร์มัลดีไฮด์ ซึ่งเป็นพลาสติกสามัญใช้ทำถ้วยชามและเบเกอรี่ ซึ่ง เป็นพอลิเมอร์เตรียมมาจากปฏิกิริยาการควมแน่นระหว่างฟีนอลและฟอร์มัลดีไฮด์

2.1.2 โครงสร้างของพอลิเมอร์

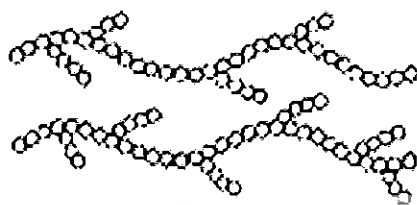
โครงสร้างของพอลิเมอร์ หรือลักษณะการจัดรูปร่างโมเลกุลของพอลิเมอร์มีหลายแบบ ขึ้นอยู่กับประเภทของพอลิเมอร์และกรรมวิธีสังเคราะห์ ซึ่งความแตกต่างของโครงสร้างมีผลต่อคุณสมบัติเฉพาะตัวของมัน เช่นความหนาแน่น ความเหนียว ความเปราะ ความยืดหยุ่น ความแข็ง ความใส ฯลฯ โดยที่โครงสร้างของพอลิเมอร์มีแบบต่างๆ ดังนี้

2.1.2.1 พอลิเมอร์แบบเชิงเส้น (Linear polymer) เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์สร้างพันธะต่อกันเป็นสายยาว สายโซ่พอลิเมอร์เรียงชิดกันมากกว่าโครงสร้างแบบอื่นๆ จึงมีความหนาแน่น และจุดหลอมเหลวสูง มีแข็ง ขุ่นเหนียวลักษณะกว่าโครงสร้างอื่นๆ ตัวอย่าง พอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิสไตรีน พอลิเอทิลีน และพอลิพอฟิลีน



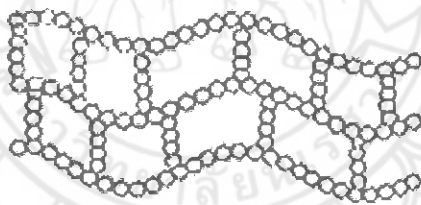
รูปที่ 2.1 พอลิเมอร์แบบเชิงเส้น (Linear polymer) [2]

2.1.2.2 พอลิเมอร์แบบกิ่ง (Branched polymer) เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์ยึดกันแตกกิ่งก้านสาขา มีทั้งสายโซ่สั้นและสายโซ่ยาว กิ่งที่แตกจากพอลิเมอร์ของสายโซ่หลัก ทำให้ไม่สามารถจัดเรียงสายโซ่พอลิเมอร์ให้ชิดกันได้มาก จึงมีความหนาแน่นและจุดหลอมเหลวต่ำยืดหยุ่นได้ ความเหนียวต่ำ โครงสร้างเปลี่ยนรูปได้ง่ายเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ตัวอย่าง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ



รูปที่ 2.2 พอลิเมอร์แบบกิ่ง (Branched polymer) [2]

2.1.2.3 พอลิเมอร์แบบร่างแห (Cross-linking polymer) เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์ต่อเชื่อมกันเป็นร่างแห พอลิเมอร์ชนิดนี้มีความแข็งแรง และเปราะหักง่ายตัวอย่าง เบกาไลต์ เมลามีนใช้ทำถ้วยชาม



รูปที่ 2.3 พอลิเมอร์แบบร่างแห (Cross-linking polymer) [2]

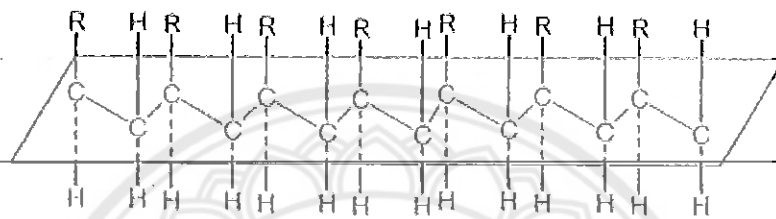
2.1.3 การจัดตำแหน่งของหมู่แทนที่ (Tacticity)

เมื่อพอลิเมอร์ประกอบด้วยหน่วยซ้ำๆ กันที่มีโครงสร้างแบบไม่สมมาตร (Non-symmetrical repeat unit) โครงสร้างและสมบัติของพอลิเมอร์ จะถูกกำหนดโดยตำแหน่งของอะตอมหรือกลุ่มของอะตอมที่ทำให้เกิดความไม่สมมาตร ลักษณะเช่นนี้เรียกว่าแทคติซิตี (Tacticity) หรือสเตอริโอไอโซเมอร์ซิม (Stereoisomerism) ซึ่งสามารถเรียงตัวในโมเลกุลได้ 3 ลักษณะคือ

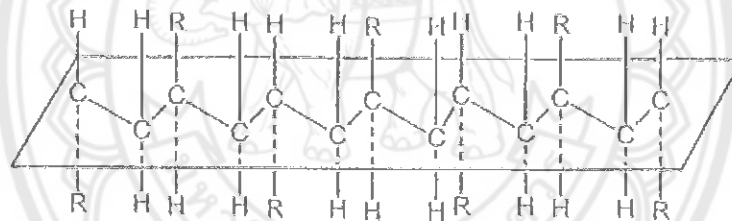
2.1.3.1 แบบไอโซแทคติก (Isotactic) อะตอมหรือหมู่แทนที่ R ทั้งหมดจะอยู่ระนาบเดียวกันของสายโซ่ การจัดเรียงตัวลักษณะนี้มีความแข็งแรงมากเมื่อเทียบกับ 2 แบบ

2.1.3.2 แบบซินดิโอแทคติก (Syndiotactic) อะตอมหรือหมู่แทนที่ R จะอยู่สลับกันไปคนละด้านของสายโซ่

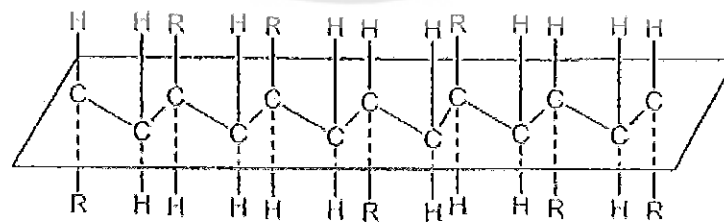
2.1.3.3 แบบอะแทคติก (Atactic) อะตอมหรือหมู่แทนที่ R จะเรียงตัวอยู่ด้านบนใดด้านหนึ่งของแกนระนาบหลัก อย่างไม่เป็นระเบียบตลอด โมเลกุล ซึ่งการจัดเรียงตัวลักษณะนี้จะทำให้ไม่มีความความยืดหยุ่นและแข็งแรง



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2.4 แสดงการจัดตำแหน่งของหมู่แทนที่ (ก) แบบไอโซแทคติก (ข) แบบซินดิโอแทคติก

(ค) แบบอะแทคติก [2]

2.1.4 สมบัติของพอลิเมอร์

พอลิเมอร์เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติพิเศษดี เหนือกว่าวัสดุอื่นที่ได้จากธรรมชาติหรือจากการสังเคราะห์ขึ้นมาเอง เช่น ไม้ โลหะ แก้ว กระดาษ ฯลฯ ที่นิยมใช้กันมากน้อยอย่างมากมาย ทั้งนี้เพราะพอลิเมอร์มีคุณสมบัติหลาย ๆ อย่างรวมกันในตัวของมันเอง และมีคุณสมบัติสามารถใช้แทนวัสดุอื่นได้ดีกว่าวัสดุเดิม เช่น

- | | |
|---------------|----------------------|
| - แข็ง | - ทนความร้อน |
| - อ่อนนุ่ม | - ทนสารเคมี |
| - ยืดตัว | - เป็นฉนวนไฟฟ้า |
| - เหนียวทนทาน | - ทนการสึกกร่อน |
| - ใส | - กันน้ำ |
| - ทึบ | - เบา |
| - ลอยน้ำได้ | - ทำเป็นสีต่าง ๆ ได้ |

คุณสมบัติทางกายภาพ (Mechanical properties) คือ มีความแข็ง เหนียว ยืดหยุ่น

คุณสมบัติทางไฟฟ้า (Electrical properties) คือ เป็นฉนวนไฟฟ้า

คุณสมบัติทางเคมี (Chemical properties) คือ สามารถทนต่อกรด ด่าง และสารเคมีอื่นๆ ได้

2.2 พอลิเมอร์ผสม (Polymer blend)

พอลิเมอร์ผสม (Polymer blend) เป็นการนำพอลิเมอร์ 2 ชนิดหรือมากกว่ามาผสมกันเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่หรือเพื่อแก้ไขสมบัติไม่ดีของพอลิเมอร์เดิมซึ่งไม่สามารถใช้สารเติมแต่ง (Additives) ในการปรับปรุงสมบัติ โดยในปัจจุบันมีผู้ให้ความสนใจพอลิเมอร์ผสมมากขึ้นแล้วมีการผลิตเป็นการค้าอย่างกว้างขวาง

การทำพอลิเมอร์ผสมเป็นวิธีการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ที่นิยมใช้กันอย่างมาก โดยการนำพอลิเมอร์ 2 ชนิดซึ่งอยู่ในสถานะที่เป็นของไหล ได้แก่ สารละลาย (Solution) หรือสารหลอมเหลว (Molten) มาผสมให้อยู่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (Blending) ได้เป็นพอลิเมอร์ผสม (Polymer blend) ซึ่งเป็นการรวมสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์แต่ละชนิดมารวมกัน แต่การผสมเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันของพอลิเมอร์ต่างชนิดกันนั้น โดยธรรมชาติแล้วจะเป็นไปได้ยาก ดังนั้น พอลิเมอร์ผสมที่ได้จึงไม่เป็นสารละลายของแข็งที่แท้จริง และพบว่าเมื่อพอลิเมอร์อยู่ในสถานะที่เป็นของแข็ง พอลิเมอร์ชนิดหนึ่งจะกระจายอยู่ในเนื้อหรือเมทริกซ์ที่ต่อเนื่อง (Continuous matrix) ของพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง ทั้งนี้การกระจายตัวดังกล่าวต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ มิฉะนั้น จะทำให้เกิดเป็นข้อบกพร่อง (Defects) ของผลิตภัณฑ์และส่งผลให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมต่ำกว่าของพอลิเมอร์บริสุทธิ์ได้ ดังนั้นจึงต้องพิจารณาถึงสภาพเข้ากันได้ (Compatibility) ของพอลิเมอร์ที่

นำมาผสมกันซึ่งบางชนิดสามารถเข้ากันได้ดี บางชนิดไม่สามารถเข้ากันได้เนื่องจากโครงสร้างสายโซ่ต่างกันจึงไม่สามารถกระจายตัวอย่างอิสระเกิดการแยกชั้น นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยทางพลังงาน (Energy factor) ที่ทำให้พอลิเมอร์ 2 ชนิดเข้ากันได้ นั่นคือ พลังงานที่ใช้ในการผสมโมเลกุล หรือสายโซ่ของพอลิเมอร์ เช่น การดูดกลืนพลังงานความร้อนของพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่แตกต่างกัน [3]

2.2.1 วัตถุประสงค์ของการทำพอลิเมอร์ผสม

- เพื่อให้สมบัติดีขึ้นแต่มีราคาถูก
- เพื่อพัฒนาสมบัติให้ได้ตามที่ต้องการ
- เพื่อให้สมบัติเด่นของพอลิเมอร์มีค่าสูงขึ้น
- เพื่อปรับปรุงส่วนประกอบของการผสมตามที่ถูกค้าต้องการ
- เพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการอุตสาหกรรม เช่น การนำเศษพลาสติก

หลายๆ ชนิด กลับมาจึ้นรูปใหม่ [4]

2.2.2 การแบ่งชนิดของพอลิเมอร์ผสม

พอลิเมอร์ผสมสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.2.2.1 พอลิเมอร์ผสมเป็นเนื้อเดียว (Miscible polymer blend) หมายถึง พอลิเมอร์นำมาผสมมีค่าพารามิเตอร์ความสามารถในการละลาย (Solubility parameter : δ) ใกล้เคียงกันเป็นผลให้พอลิเมอร์ผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันไปจนถึงระดับโมเลกุลซึ่งมีพลังงานอิสระของการผสม (Free energy of mixing : ΔG_m) $\Delta G_m < 0$

2.2.2.2 พอลิเมอร์ผสมไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน (Imiscible polymer blend) หมายถึง พอลิเมอร์ผสมที่มี $\Delta G_m > 0$ ซึ่งสามารถอธิบายได้จากสมการเทอร์โมไดนามิกส์ (2.1)

$$\Delta G_{mix} = \Delta H_{mix} - T\Delta S_{mix} \quad (2.1)$$

เมื่อ	Δ_G	คือ	พลังงานอิสระกิบส์
	Δ_H	คือ	การเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีในการผสม
	Δ_S	คือ	การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีในการผสม
	T	คือ	อุณหภูมิสัมบูรณ์

เนื่องจากพอลิเมอร์ส่วนมากเป็น โมเลกุลขนาดใหญ่ (Macromolecule) มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเป็นสาเหตุทำให้มีค่าการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีในการผสมต่ำ ส่วนค่าการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีในการผสมมักมีค่าเป็นบวก ทำให้ค่าพลังงานอิสระกิบส์ของพอลิเมอร์ผสมมีค่ามากกว่าศูนย์ เป็นผลให้พอลิเมอร์ผสมไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน หรือกล่าวได้ว่าพอลิเมอร์ที่นำมาผสมนั้นมีค่า

บ่งชี้ความสามารถในการละลาย (Solubility parameter, δ) ต่างกันมาก เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียว สามารถแบ่งได้เป็น 2 ภูมิภาค คือพอลิเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบหลักของพอลิเมอร์ผสม เรียกว่า ภูมิภาคหลัก (Matrix phase) ส่วนพอลิเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบ ส่วนน้อย เรียกว่า ภูมิภาคกระจาย (Dispersed phase) ซึ่งสามารถตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy : SEM) [5]

2.2.3 ความสามารถในการเข้ากันได้

จากการศึกษาพบว่าพอลิเมอร์ส่วนใหญ่เป็นแบบพอลิเมอร์ผสมที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวจึงเป็นผลให้พอลิเมอร์ผสมมีข้อบกพร่อง ดังนี้

- มีสมบัติการยึดติดที่ผิวระหว่างภูมิภาคที่ไม่ดี
- มีค่าความตึงผิวที่พื้นผิวระหว่างสองภูมิภาค (Interfacial tension) สูง
- มีสัณฐานวิทยา (Morphology) ที่ไม่เสถียรขณะผ่านกระบวนการแปรรูป

จากข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นนั้น ทำให้นักวิทยาศาสตร์มีความสนใจในการแก้ไขข้อบกพร่องดังกล่าวด้วยการนำสารช่วยผสม (Compatibiliser) มาใช้เพื่อความสามารถในการเข้ากันได้ (Compatibility) และให้ผลในการช่วยลดความตึงผิวที่พื้นผิวระหว่างสองภูมิภาคทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสัณฐานวิทยาที่เสถียรขณะผ่านกระบวนการแปรรูปมีภูมิภาคกระจายที่มีขนาดเล็ก และทำให้สมบัติการยึดติดที่พื้นผิวระหว่างภูมิภาคดีขึ้น ซึ่งมีวิธีการที่ให้พอลิเมอร์ผสมมีความเข้ากันได้ดี แบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ

2.2.3.1 Non-reactive blending คือ การเติมสารช่วยผสมลงในพอลิเมอร์ผสมแบบไม่เกิดปฏิกิริยา ทั้งนี้สารช่วยผสมที่ใช้ควรมีสูตร โครงสร้างที่เหมือนกับพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกัน เพื่อให้เกิดการเกี่ยวพัน (Entanglement) กับภูมิภาคสองชนิดของพอลิเมอร์ผสม ดังนั้นสารช่วยผสมนิยมใช้ คือ พอลิเมอร์ร่วม ซึ่งมีหลายชนิด คือ พอลิเมอร์ร่วม แบบโคปอลิเมอร์ แบบไดโคปอลิเมอร์ แบบกราฟต์หรือแบบส้อม

2.2.3.2 Reactive blending เป็นวิธีการที่เติมสารช่วยผสมลงในพอลิเมอร์ผสมแบบเกิดปฏิกิริยาเคมี เนื่องจากพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันนั้นมีหมู่ฟังก์ชันในการทำปฏิกิริยาเคมีขณะทำการผสม หรือทำให้เกิดการกราฟต์พอลิเมอร์ชนิดหนึ่งให้มีหมู่ฟังก์ชันในการทำปฏิกิริยาเคมีกับพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่ง ตัวอย่างเช่น การกราฟต์พอลิเมอร์เอทิลีนด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride) หรืออะคริลิกแอซิด (Acrylic acid) ซึ่งทำให้มีหมู่คาร์บอกซิลที่ฟังก์ชันในการทำปฏิกิริยาเคมีกับพอลิเอไมด์

ดังนั้นความสามารถในการเข้ากันได้ หมายถึงความสามารถในการเกี่ยวพัน หรือการทำปฏิกิริยาเคมีขณะทำการผสมกันของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกัน แต่ไม่ใช่ความสามารถในการละลายเป็นเนื้อเดียวกัน [5]

2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพ (Morphology) ของพอลิเมอร์ผสม

ความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของส่วนประกอบที่นำมาผสมกัน และใช้เทคนิคในการผสม

$$\text{Viscosity} = \frac{\text{Dispersed phase}}{\text{Matrix phase}} \quad (2.2)$$

2.2.4.1 ปัจจัยทางธรรมชาติของส่วนประกอบ

ก. อัตราส่วนความหนืด (Viscosity ratio) คือ อัตราส่วนของความหนืดของ วัสดุที่กระจายอยู่ในพอลิเมอร์ผสม ซึ่งมักจะเป็นส่วนประกอบที่มีน้อย (Dispersed phase) ต่อความหนืดของวัสดุหลักของพอลิเมอร์ผสม ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่มีมาก (Matrix phase) ดังสมการที่ 2.2 โดยพอลิเมอร์ผสมที่มีความหนืดของ Dispersed phase ต่ำกว่า Matrix phase จะมีลักษณะทางกายภาพของ Dispersed phase จะมีความสม่ำเสมอ (Uniform) ในทางตรงข้าม Dispersed phase มีความหนืดสูงกว่า Matrix phase การกระจายของ Dispersed phase ในพอลิเมอร์ผสมจะค่อนข้างหยาบหรือหากพิจารณาจากค่า Viscosity ratio ของพอลิเมอร์ผสมจะพบว่าถ้าค่า Viscosity ratio ของพอลิเมอร์ผสมต่ำ Dispersed particle จะมีขนาดเล็กและค่า Viscosity ratio ของพอลิเมอร์ผสมสูง Dispersed particle จะมีขนาดใหญ่

ข. องค์ประกอบ (Composition) การเพิ่มอัตราส่วนของ Dispersed phase จะทำให้ขนาดอนุภาค (Particle) เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเข้าร่วมตัวกันของ Dispersed particle อย่างไรก็ดี ตามความตึงผิว (Interfacial tension) ของพอลิเมอร์ที่นำมาผสมกัน จะมีผลต่อการเข้าร่วมตัวกันของ วัสดุดังกล่าว คือหากค่าความตึงผิวต่ำจะสามารถเข้าร่วมตัวกันของ Dispersed phase ได้

ค. ความยืดหยุ่น (Elasticity) เนื่องจากความเป็น Viscoelastic ของส่วนประกอบ ในพอลิเมอร์ผสม สามารถส่งผลกระทบต่อลักษณะการไหลของพอลิเมอร์ ในระหว่างกระบวนการผสมได้ พอลิเมอร์ที่มีความยืดหยุ่นสูงจึงมักกลับคืนสู่รูปเดิมได้ง่าย จึงทำให้ความยืดหยุ่นสามารถส่งผลกระทบต่อ ขนาด และรูปร่างของ Dispersed phase ได้

2.2.4.2 ปัจจัยจากเทคนิคที่ใช้ในการผสม

เทคนิคที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์มีหลายแบบดังนี้

ก. การผสมภายใต้แรงเชิงกล (Mechanical blending) เป็นวิธีการผสมพอลิเมอร์ ผ่านเครื่องมือ เช่น เครื่องรีดสองลูกกลิ้ง (Two roll mill), เครื่องผสมภายใน (Internal mixer) และ เครื่องอัดรีด (Extruder) ซึ่งการแตกตัวของ Dispersed phase จะค่อนข้างหยาบ อย่างไรก็ตาม สมบัติ ของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จะขึ้นอยู่กับ ความเร็ว เวลา และอุณหภูมิที่ใช้ในการผสม

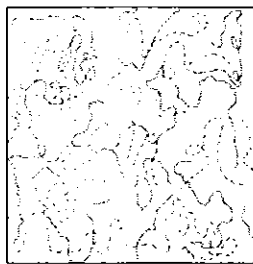
ข. การผสมในสภาวะสารละลาย (Solution blending) เป็นการผสมที่ต้องอาศัยการละลายของพอลิเมอร์ในตัวทำละลาย ซึ่งมี 2 วิธีหลักๆ คือ Casting ทำได้โดยการละลายพอลิเมอร์ในตัวทำละลาย (Solvent) แล้วนำสารละลายที่ได้ของพอลิเมอร์แต่ละชนิดมาผสมกัน จากนั้นทำการระเหยตัวทำละลายออกไป และ Freeze drying ทำเหมือนการ Casting แต่เอาตัวทำละลายออกด้วยการระเหิด ความเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายของพอลิเมอร์ และการแยกตัวทำละลายออกจากพอลิเมอร์ผสมที่ได้

ค. การผสมผ่านปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerisation) พอลิเมอร์จะถูกผสมภายใต้ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบ อิมัลชัน (Emulsion) ในระบบที่มีองค์ประกอบของมอนอเมอร์ (Monomer), อิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) และตัวเริ่มปฏิกิริยา (Initiator) ที่ละลายได้ในตัวกลาง วิธีนี้การกระจายตัวของ Dispersed phase จะค่อนข้างดี

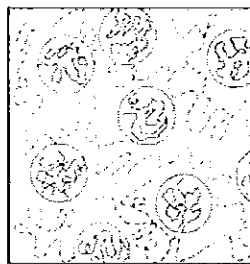
ง. การผสมผ่านปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลต่างชนิด ในสภาวะหลอม (Reactive blending) เป็นการผสมที่มักเติมสารพวก โคพอลิเมอร์ (Copolymer) หรือตัวเร่งปฏิกิริยาแลกเปลี่ยน (Trans reactive catalyst) ลงไปเพื่อปรับปรุงความเข้ากันได้ของคู่พอลิเมอร์ที่ไม่เข้ากัน (Incompatible) โดยสารดังกล่าวจะลดแรงตึงผิวที่นำมาผสมกัน หรือทำหน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ ในระหว่างการผสมแบบหลอม (Melt blending) พอลิเมอร์ผสมที่ได้จะมีความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) สูง อย่างไรก็ตามแต่ละเทคนิคที่ใช้ในการผสมนั้น การเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมจะขึ้นอยู่กับที่ได้รับแรงเค้นเฉือน (Shear stress) ที่ได้รับในระหว่างการผสมด้วย โดยเมื่อผสมพอลิเมอร์ที่ได้รับแรงเค้นเฉือนในระหว่างการผสมสูง อนุภาคของ Dispersed phase จะเล็กลง

2.2.5 สันฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม

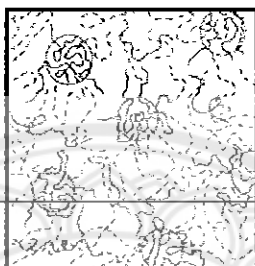
โดยทั่วไปสันฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมมี 3 แบบ ซึ่งใช้ความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสมเป็นหลักเกณฑ์ในการจำแนก แสดงดังรูปที่ 2.5 ในรูปที่ 2.5 (ก) แสดงสันฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่เข้ากันได้ดีมีวิญญากาศเดียวไปจนถึงระดับ โมเลกุล (Miscible) ลักษณะของสันฐานวิทยาคลายพอลิเมอร์ผสมร่วมแบบอิสระ (Random copolymer) การที่พอลิเมอร์ผสมสามารถเข้ากันได้ดีนี้เนื่องมาจากการเกิดอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างหมู่ฟังก์ชันของพอลิเมอร์ A และพอลิเมอร์ B รูปที่ 2.5 (ข) แสดงสันฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่เข้ากันมีหลายวิญญากาศ (Immiscible) ซึ่งพบมากในพอลิเมอร์ผสมทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยพื้นฐานต่างๆ เช่น ความหนาแน่นของพอลิเมอร์แต่ละชนิด สมบัติความมีขั้ว สมบัติการละลาย นอกจากนี้ยังมีสันฐานวิทยาแบบที่เข้ากันได้ดีบางส่วนและแยกวิญญากาศอย่างชัดเจน (Partially miscible) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ค)



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2.5 สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง พอลิเมอร์ A (___) และ พอลิเมอร์ B (___)
โดย (ก) Miscible (ข) Immiscible (ค) Partially miscible [6]

สัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมมีอิทธิพลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม โดยเฉพาะสมบัติเชิงกล จากสัณฐานวิทยาในรูปที่ 2.5 (ข) และ (ค) การกระจายตัวและการยึดติดระหว่างผิวสัมผัส (Interfacial adhesion) ของพอลิเมอร์ผสมไม่ดี ทำให้เกิดรอยตำหนิระหว่างวัฏภาค ซึ่งทำให้สมบัติเชิงกลต่ำ ดังนั้นในการผสมพอลิเมอร์ผสมเพื่อให้ได้สมบัติตามที่ต้องการจำเป็นต้องทราบความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์แต่ละชนิด ดังตัวอย่างพอลิเมอร์ผสมในรูปที่ 2.6 [6]

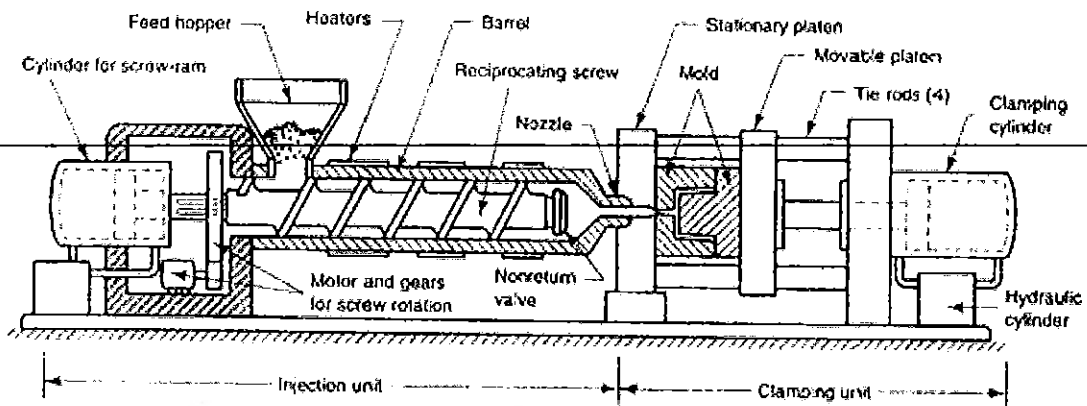
	LDPE	HDPE	Ethylene Copolymers		PP	EPDM	PS	SAN	ABS	PVC	PA	PC	PMMA	PBT	PET	SEBS
HDPE	1															
Ethylene Copolymers	1	1														
PP	4	4	2													
EPDM	4	4	3	1												
PS	4	4	4	4	4											
SAN	4	4	4	4	4	4										
ABS	4	4	4	4	4	4	1									
PVC	4	4	2	4	4	4	2	3								
PA	4	4	1	4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

* 1= ดีมาก 2=ดี 3=อาจเข้ากันได้แต่ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบ และ 4=ไม่ดี

รูปที่ 2.6 ความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ผสม [6]

จากรูปที่ 2.6 จะเห็นได้ว่าพอลิเมอร์ผสมส่วนใหญ่เข้ากันได้ไม่ดี ดังนั้นจำเป็นต้องมีวิธีการในการปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ไม่เข้ากันมีหลายวิธีกาทำให้มีการยึดติดระหว่างผิวสัมผัสดีขึ้น

2.3 การขึ้นรูปด้วยเครื่องฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ (Injection molding machine)



รูปที่ 2.7 เครื่องฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ (Injection molding machine) [7]

การฉีดขึ้นรูปเป็นเทคโนโลยีการแปรรูปที่สำคัญ และใช้อย่างกว้างขวางเนื่องจากการฉีดขึ้นรูปมีข้อได้เปรียบกว่าวิธีอื่นๆ คือ สามารถผลิตผลิตภัณฑ์มีรูปร่างซับซ้อนได้ดี และมีขนาดต่างๆกัน กรรมวิธีการทำงานไม่ยุ่งยากเนื่องจากสามารถทำงานแบบอัตโนมัติได้ นอกจากนี้สามารถทำงานได้กับพลาสติกที่มีลักษณะเป็นเม็ดหรือผง และกับพลาสติกทุกประเภทคือ เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics), เทอร์โมเซต (Thermosets) และอีลาสโตเมอร์ (Elastomers) การทำงานของเครื่องฉีดขึ้นรูปเริ่มจากระบบขับเคลื่อน (ระบบไฮดรอลิก) ของส่วนการยึดแม่แบบจะดันให้แท่นยึดแม่แบบเคลื่อนที่ (Moving platen) วิ่งมาประกบปิดกับแท่นยึดแม่แบบที่อยู่กับที่ (Stationary platen) ขณะที่แม่แบบปิดอยู่ ส่วนของการฉีดจะเริ่มทำงานโดยเกลียวหนอนจะหมุนเพื่อดึงเม็ดพลาสติกลงมาหลอม โดยใช้ความร้อนจากการเสียดสีและจากแถบความร้อน ในขณะที่เม็ดพลาสติกหลอมจะเคลื่อนตัวไปด้านหน้าตามร่องของเกลียวหนอน และทำให้เกิดความดันขึ้นเนื่องจากเกลียวหนอนมีการหมุนขับให้เม็ดพลาสติกหลอมเคลื่อนตัวมาข้างหน้าตลอดเวลา จึงเกิดการสะสมของพอลิเมอร์ที่ด้านหน้าของเกลียวหนอนจนมากพอที่จะดันให้เกลียวหนอนถอยกลับไปสู่ระยะที่กำหนดไว้ เกลียวหนอนจึงหยุดหมุนแล้วจึงเริ่มฉีด โดยแบ่งเป็น 2 จังหวะคือ การฉีดในจังหวะแรกเกลียวหนอนจะทำหน้าที่คล้ายลูกสูบดันให้พอลิเมอร์หลอมไหลเข้าสู่แม่แบบมากขึ้น เพื่อชดเชยกับส่วนที่หดตัวของผลิตภัณฑ์ แล้วเข้าสู่การทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัว (Cooling) ซึ่งเกิดจากการถ่ายเทความร้อนจากผลิตภัณฑ์ผ่านผนังของแม่แบบที่เย็น ทำให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวและแข็งตัวจนสามารถนำออกจากแม่แบบได้ ในงานวิจัยครั้งนี้จะใช้กระบวนการฉีดขึ้นรูปในการขึ้นรูปชิ้นงานเพื่อทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ผสม [8]

2.4 สมบัติเชิงกลที่ใช้ในงานวิจัย

สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์จะมีพารามิเตอร์หลายอย่างเหมือนกับโลหะได้แก่ มอดูลัสของยัง ความแข็งแรงดึง และความแข็งแรง โดยค่าพารามิเตอร์ทางกลต่างๆ เหล่านี้จะหาค่าด้วยการทดสอบความเค้นความเครียด คุณลักษณะเชิงกลของพอลิเมอร์ส่วนใหญ่จะอ่อนไหวมากต่ออัตราการเสียรูป อุณหภูมิและธรรมชาติทางเคมีของสิ่งแวดล้อม เช่นในสภาวะที่มีน้ำ ออกซิเจน ตัวทำละลายอินทรีย์ เป็นต้นสมบัติเชิงกลที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ

ความแข็งแรงดึง (Tensile Stress : σ)

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.3)$$

เมื่อ σ = ความเค้น (Stress) มีหน่วยเป็น MPa
 P = แรงที่ใช้ในการดึงยึดชิ้นงานตัวอย่าง ณ จุดสูงสุด มีหน่วยเป็น N
 A = พื้นที่ภาคตัดขวางที่แรงกระทำ มีหน่วยเป็น mm^2

ร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาด (%Elongation at Break : %El)

$$\%El = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (2.4)$$

เมื่อ %El = ร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาด
 L_f = ความยาวของเกจหลังจากดึงจนขาด มีหน่วยเป็น mm
 L_0 = ความยาวของเกจเริ่มต้น มีหน่วยเป็น mm

มอดูลัสของยัง (Young's modulus : E)

$$E = \frac{\sigma}{e} = \frac{PL}{A\Delta L} \quad (2.5)$$

เมื่อ E = มอดูลัสของยัง มีหน่วยเป็น MPa
 σ = ความเค้น (Stress) มีหน่วยเป็น MPa
 e = ความเครียด (Strain)

2.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด

พอลิเมอร์แต่ละประเภทจะมีสมบัติทางกลหรือการตอบสนองต่อแรงกระทำที่แตกต่างกันไป เนื่องจากปัจจัยต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นโครงสร้างทางเคมี โครงสร้างทางจุลภาค กระบวนการผลิต เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วพอลิเมอร์สามารถแบ่งประเภทจากความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดหรือลักษณะของกราฟความสัมพันธ์ได้ออกเป็นกลุ่มดังนี้

2.4.1.1 พอลิเมอร์ที่มีสมบัตินิ่มและไม่แข็งแรง (Soft and weak) แสดงได้ดังรูปที่ 2.8 (a)

พอลิเมอร์ประเภทนี้จะมีค่ามอดุลัสของยังและค่าความเค้น ณ จุดครากที่ต่ำ ค่าความเครียด ณ จุดขาดมีค่าปานกลาง ตัวอย่างพลาสติกในกลุ่มนี้ได้แก่ เทฟลอนหรือพอลิเตตระฟลูออโรเอทิลีน

2.4.1.2 พอลิเมอร์ที่มีสมบัตินิ่มและเหนียว (Soft and tough) แสดงได้ดังรูปที่ 2.8(b)

พอลิเมอร์ประเภทนี้จะมีค่ามอดุลัสของยังสูงและค่าความเค้น ณ จุดครากที่ต่ำ ค่าความเค้นและค่าความเครียด ณ จุดขาดมีค่าที่สูง ตัวอย่างของพลาสติกในกลุ่มนี้ได้แก่ พอลิเอทิลีน

2.4.1.3 พอลิเมอร์ที่มีสมบัติแข็งเปราะ (Hard and brittle) แสดงได้ดังรูปที่ 2.8(c)

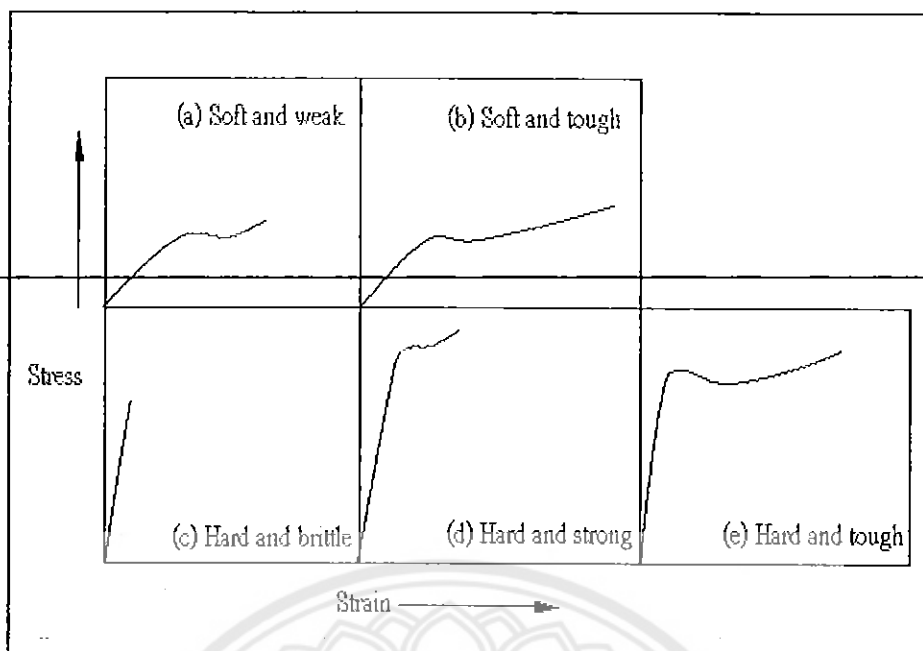
พอลิเมอร์ประเภทนี้จะมีค่ามอดุลัสของยังสูงและค่าความเครียด ณ จุดขาดต่ำ วัสดุอาจจะเกิดการครากหรือไม่ก็ได้ ตัวอย่างพลาสติกในกลุ่มนี้ได้แก่ ฟีนอลิกเรซิน

2.4.1.4 พอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติแข็งแรง (Hard and strong) แสดงได้ดังรูปที่ 2.8(d)

พอลิเมอร์ประเภทนี้จะมีค่ามอดุลัสของยังค่าความเค้น ณ จุดครากและค่าความเค้น ณ จุดขาดสูง แต่จะมีค่าความเครียด ณ จุดขาดปานกลาง ตัวอย่างของพลาสติกในกลุ่มนี้ได้แก่ พอลิเอทิลีนหรือพอลิโพรพิลีน

2.4.1.5 พอลิเมอร์ที่มีสมบัติแข็งและเหนียว (Hard and tough) แสดงได้ดังรูปที่ 2.8(e)

พอลิเมอร์ประเภทนี้จะมีค่ามอดุลัสของยัง ค่าความเค้น ณ จุดคราก ค่าความเค้น ณ จุดขาดและค่าความเครียด ณ จุดขาดสูง [9]



รูปที่ 2.8 สมบัติทางด้านความเค้น-ความเครียดของพอลิเมอร์ประเภทต่างๆ[9]

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางด้านความเค้น-ความเครียดของพอลิเมอร์ประเภทต่างๆ[9]

ประเภทของพอลิเมอร์	มอดูลัสของยัง	ความเค้น ณ จุดคราก	ความเค้นสูงสุด	ระยะยืดตัว ณ จุดขาด
นิ่มและไม่แข็งแรง (Soft and weak)	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	ปานกลาง
นิ่มและเหนียว (Soft and tough)	ต่ำ	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
แข็งเปราะ (Hard and brittle)	สูง	ไม่ชัดเจน	ปานกลาง	ต่ำ
แข็งแรง (Hard and strong)	สูง	สูง	สูง	ปานกลาง
แข็งเหนียว (Hard and tough)	สูง	สูง	สูง	สูง

2.5 ชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้ในการทำการศึกษา

2.5.1 พอลิพอฟิลีน (Polypropylene : PP)

สมบัติทั่วไปของพอลิพอฟิลีน

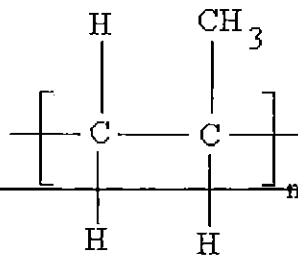
- มีผิวแข็ง ทนทานต่อการขีดข่วนคงตัวไม่เสียรูปง่าย
- สามารถทำเป็นบานพับในตัว มีความทนทานมาก
- เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก แม้ที่อุณหภูมิสูง
- ทนทานต่อสารเคมีส่วนมากแต่สารเคมีบางชนิดอาจทำให้พองตัวหรืออ่อนนุ่มได้
- มีความเหนียวที่อุณหภูมิตั้งแต่ 40 °C ถึง -10 °C แต่ที่ 40 °C จะเปราะ
- มีความต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซได้ดี
- สามารถทนอุณหภูมิสูงที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ (Sterilization : 100 °C) ได้
- ผสมสีได้ง่ายทั้งลักษณะโปร่งแสงและทึบแสง

พอลิพอฟิลีน มีลักษณะขาวขุ่น ทึบแสงกว่าพอลิเอทิลีน มีโครงสร้างพอลิเมอร์แบบเส้นตรงโดยตลอด มีจุดหลอมเหลว 163 °C พอลิเมอร์ชนิดนี้ถือว่าเป็นพลาสติกที่เบาที่สุด มีความหนาแน่นในช่วง 0.890 - 0.905 g/cm³ ด้วยเหตุนี้จึงสามารถลอยน้ำได้ เช่นเดียวกับพอลิเอทิลีน และเนื่องจากลักษณะการจัดเรียงตัวแบบ Tacticity เป็นแบบไอโซแทคติก เป็นเหตุให้พอลิเมอร์ชนิดนี้มีสมบัติเชิงกลที่ดีมาก เช่น ความเหนียว ความแข็งแรง และมีแรงทนไชล์สูง จุดหลอมเหลวสูงกว่าพอลิเอทิลีน ทำให้พอลิพอฟิลีนเหมาะสำหรับการใช้งานที่มีอุณหภูมิสูงกว่า วัสดุที่ทำมาจากพอลิพอฟิลีนยังคงรักษารูปร่างไว้ได้ที่อุณหภูมิ 140 °C ทนต่อกรด-เบสเป็นอย่างดีและเฉื่อยต่อปฏิกิริยาทั่วไป



รูปที่ 2.9 แสดง โครงสร้างของพอลิพอฟิลีนแบบเส้นตรง[2]

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพอลิพอฟิลีน ผลิตภัณฑ์ที่พบเสมอคือ ก่อเครื่องมือ เครื่องสำอาง ปกแฟ้มเอกสาร ก่อและดัลป์ กระเป๋าคาร์บอนใช้ในครัวเรือนก่อบรรจุอาหาร อุปกรณ์ของรถยนต์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ วัสดุบรรจุภัณฑ์ในอุตสาหกรรม อุปกรณ์ทางการแพทย์ขวดใส่สารเคมี กระป๋องน้ำมันเครื่องกระสอบข้าว และถุงบรรจุปุ๋ย [10]



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของพอลิโพรพิลีน [10]

ตารางที่ 2.2 สมบัติของพอลิโพรพิลีน เกรด P700J*

Property	Test Method	Value
Melt Flow Rate	ASTM D 1238 (230 °C, 2.16 kg)	12 g/10 min
Density	ASTM D 1505	0.910 g/cm ³
Tensile Strength at Break	ASTM D 638 (Crosshead speed 50 mm/min)	200 kg/cm ²
Elongation at Break	ASTM D 638 (Crosshead speed 50 mm/min)	650 %
Flexural Modulus	ASTM D 790	14500 kg/cm ²
Melting Point	ASTM D 2117	163 °C

*ข้อมูลจากบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน)

จากตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติของ PP เกรด P700J โดยมีการทดสอบ ดัชนีการไหล (Melt Flow Rate) ทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 1238 อุณหภูมิโดยกำหนดสภาวะที่ใช้ในการทดสอบดังนี้ อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอม 230 °C ค้อนน้ำหนักที่ใช้กดคือ 2.16 kg และเวลาที่ใช้ทดสอบ 10 นาที ความหนาแน่น (Density) เป็นการหาความหนาแน่นทดสอบโดยการทิ้งเม็ดพลาสติกลงในสารละลายที่มีความเข้มข้นที่แน่นอน ทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D 1505 ช่วงของการวัด 0.90-1.00 g/cm³ ความเค้นแรงดึง ณ จุดขาด (Tensile Strength at Break) และร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break : %EI) ทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D 638 กำหนดรูปร่างและขนาดของชิ้นงานเป็นดัมเบลล์ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ใช้อัตราเร็วในการดึง 50 mm/min, โมดูลัสโค้งงอ (Flexural Modulus) ทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D 790 เป็นการทดสอบการโค้งงอ โดยเป็นการศึกษาการโค้งงอสามจุด (3-Point-bending test) ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์โดยเตรียมชิ้นงานเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีความกว้าง 10 mm

หนา 4 mm ความยาวประมาณ 15-17 เท่าของความหนีดจุดหลอมเหลว (Melting Point) ทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D 2117

2.5.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low - Density Polyethylene : LDPE)

สมบัติทั่วไปของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

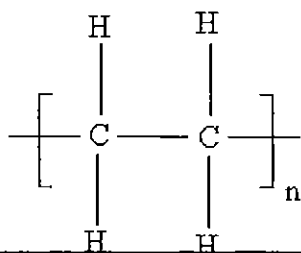
~~ผิวหนังไม่แข็ง~~

- ทนกรด ค่าง ได้ดี
- เกื้อต่อปฏิกิริยาเคมี
- ละลายได้ในตัวทำละลายชนิดที่อุณหภูมิ 100°C
- มีความเหนียวดี

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ มีลักษณะขาวใส มีโครงสร้างพอลิเมอร์แบบกิ่งมีจุดหลอมเหลวที่ 105°C มีความหนาแน่นในช่วง $0.910 - 0.925 \text{ g/cm}^3$ เนื่องจากโครงสร้างพอลิเมอร์เป็นแบบกิ่งจึงทำให้ไม่สามารถจัดเรียงโซ่พอลิเมอร์ให้ชิดกันได้มาก จึงทำให้มีความหนาแน่นและจุดหลอมเหลวต่ำยืดหยุ่นได้ ความเหนียวต่ำ โครงสร้างเปลี่ยนรูปได้ง่ายเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแบบกิ่ง [2]

ผลิตภัณฑ์ที่ทำด้วยพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ผลิตภัณฑ์ที่สำคัญ ได้แก่ ใช้ผลิตเป็นเครื่องบรรจุหีบห่อ เช่น ถุงเย็น ซองใส่อาหาร ทางด้านการเกษตรใช้ทำเป็นโรงอบพลังแสงอาทิตย์ โรงเพาะชำ ท่อน้ำหยด ฟิล์มปกกันซึม ทางด้านงานฉลิตจะเป็นพวกของเล่น ของใช้ในบ้านและทำเป็นฉนวนหุ้มสายไฟและสายเคเบิลนอกจากนี้ยังใช้ทำวัสดุเคลือบผิวและใช้กับงานขึ้นรูปโดยการเป่าทำพวกขวดพลาสติกชนิดบีบได้ [10]



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ [10]

ตารางที่ 2.3 สมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเกรด LD1630J*

Property	Test Method	Value
Melt Flow Rate	ASTM D 1238 (230 °C, 2.16 kg)	30 g/10 min
Density	ASTM D 1505	0.916 g/cm ³
Tensile Strength at Break	ASTM D 638 (Crosshead speed 50 mm/min)	90 kg/cm ²
Elongation at Break	ASTM D 638 (Crosshead speed 50 mm/min)	450 %
Flexural Modulus	ASTM D 790	1700 kg/cm ²
Melting Point	ASTM D 2117	105 °C

* ข้อมูลจากบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน)

จากตารางที่ 2.3 แสดงสมบัติของ LDPE เกรด LD1630J โดยมีการทดสอบดัชนีการไหล (Melt Flow Rate) ทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 1238 อุณหภูมิโดยกำหนดสถานะที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ อุณหภูมิที่ใช้ในการหลอม 230 °C ต้มน้ำหนักที่ใช้กดคือ 2.16 kg และเวลาที่ใช้ทดสอบ 10 นาที ความหนาแน่น (Density) เป็นการหาความหนาแน่นทดสอบโดยการทิ้งเม็ดพลาสติกลงในสารละลายที่ความเข้มข้นที่แน่นอน ทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D 1505 ช่วงของการวัด 0.90-1.00 g/cm³ ความเค้นแรงดึง ณ จุดขาด (Tensile Strength at Break) และ ร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break : %EI) ทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D 638 กำหนดรูปร่างและขนาดของชิ้นงานเป็นดัมเบลล์ทดสอบ โดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ใช้อัตราเร็วในการดึง 50 mm/min, โมดูลัสโค้งงอ (Flexural Modulus) ทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D 790 เป็นการทดสอบการโค้งงอ โดยเป็นการศึกษาการโค้งงอสามจุด (3-Point-bending test) ทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์โดยเตรียมชิ้นงานเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีความกว้าง 10 mm

หนา 4 mm ความยาวประมาณ 15-17 เท่าของความหนา จุดหลอมเหลว (Melting Point) ทดสอบด้วยมาตรฐาน ASTM D 2117

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จรรุญ พรรณนาม และธานีรินทร์ ภูเพียร [1] ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP และ HDPE

ผลของการวิจัยพบว่า PP 100% ให้ค่าความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) มากที่สุด HDPE 100% ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น (% Elongation at Break) มากที่สุด PP:HDPE ที่ 70:30 ให้ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) มากที่สุด ที่สภาวะการขึ้นรูป Feed-zone 170, Compression-zone 180, Metering-zone 190 และ Nozzle-zone 200 °C และความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที ให้สมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุด

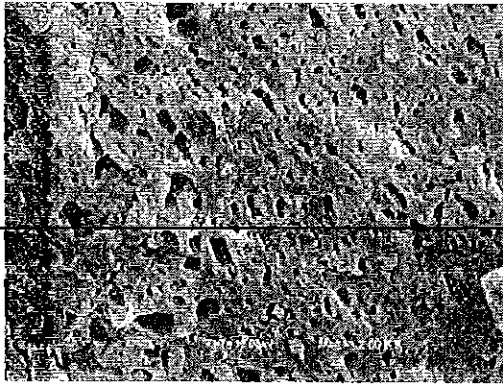
R.Strapasson, S.C. Amico , M.F.R Pereira and T.H.D. Sydenstricker [11] ศึกษาสมบัติเชิงกลและการรับแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP และ LDPE

ผลของการวิจัยพบว่า PP 100% ให้ค่าความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) มากที่สุดอัตราส่วน PP:LDPE ที่ 75:25 มีผลทำให้คุณสมบัติเชิงกลเสียไป แต่ในการผสม LDPE เข้าไป 10% สามารถยอมรับได้ซึ่งไม่ทำให้สมบัติทางมอดูลัสความยืดหยุ่นและความแข็งแรงดึงไม่เสียไป

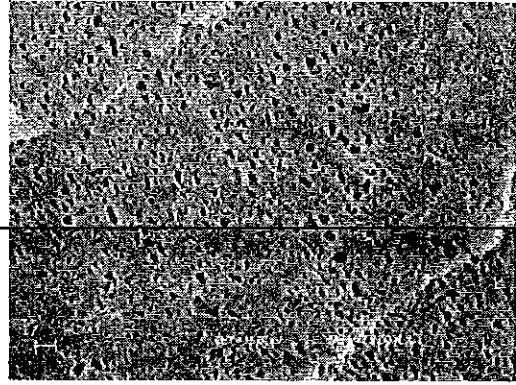
วัชรินทร์ หยูดั่ง, ธรณิศ นาวารัตน์, สมบัติ พุทธจักร และมนัส แซ่ด่าน [12] ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP และ LDPE

ผลของการวิจัยพบว่า การนำ PP และ LDPE มาผสมกันจะให้สมบัติเชิงกลที่ไม่ดีเนื่องจากโดยปกติแล้วพอลิเมอร์ทั้งสองไม่สามารถผสมให้เข้ากันได้ วิธีหนึ่งที่สามารถทำให้พอลิเมอร์ทั้งสองผสมเข้ากันได้คือการผสมด้วยกระบวนการรีเอ็กทีฟเอ็กซทรูชัน (Reactive Extrusion) โดยทำให้เกิด ปฏิกิริยาเคมีระหว่างผิวของพอลิเมอร์ในสภาวะหลอม และเกิดเป็นโคพอลิเมอร์คู่ผสมในเครื่องอัดรีด

ลักษณะพื้นฐานวิทยาในกรณี PP:LDPE ที่ 70:30 พบว่าอนุภาค LDPE มีขนาดใหญ่และกระจายไม่สม่ำเสมออยู่ในเฟส PP โดยพอลิเมอร์ ทั้งสองชนิดแยกเฟสกันชัดเจน ลักษณะแบบนี้สันนิษฐานได้ว่าพอลิเมอร์ทั้งสองไม่เข้ากัน และเมื่อใช้ระบบรีเอ็กทีฟเอ็กซทรูชันสำหรับการผสม PP กับ LDPE โดยผ่านปฏิกิริยาฟรีเรดิคัลในระบบเปอร์ออกไซด์ ร่วมกับโอลิโกเมอร์ มอนอเมอร์ และ EPDM จากการวิเคราะห์สมบัติเชิงกลและลักษณะทางสัณฐานวิทยา พบว่าการผสมด้วยระบบ รีเอ็กทีฟเอ็กซทรูชันทำให้พอลิเมอร์เข้ากันได้ดีขึ้น มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ละเอียดและมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ทั้งยังได้สมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นอีกด้วย



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.13 ลักษณะสัณฐานวิทยาที่อัตราส่วน 70:30 [12]

(ก) ก่อนใช้ระบบรีแอคทีฟเบลนด์

(ข) หลังใช้ระบบรีแอคทีฟเบลนด์



บทที่ 3

วิธีดำเนินโครงการ

3.1 วัสดุและสารเคมี

1. พอลิพอฟิลีน (Polypropylene : PP) เกรด P700J จากบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน)
2. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low - Density Polyethylene : LDPE) เกรด LD1630J จากบริษัทปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน)

3.2 เครื่องมือ

1. เครื่องฉีดพลาสติก (Injection molding machine) รุ่น BOY 50M
2. เครื่องทดสอบแบบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine : UTM) รุ่น LR 5K
3. เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) LEO รุ่น 1455 VP

3.3 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

3.3.1 การเตรียมส่วนผสมระหว่าง PP และ LDPE

- 3.3.1.1 ทำการผสมเม็ดพลาสติกระหว่าง PP และ LDPE โดยแบ่งเป็น 7 ส่วนผสมแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนระหว่าง PP:LDPE

PP (%wt)	LDPE (%wt)
100	0
90	10
70	30
50	50
30	70
10	90
0	100

15059835

ป.ร.

ศ ๘๖๗๗

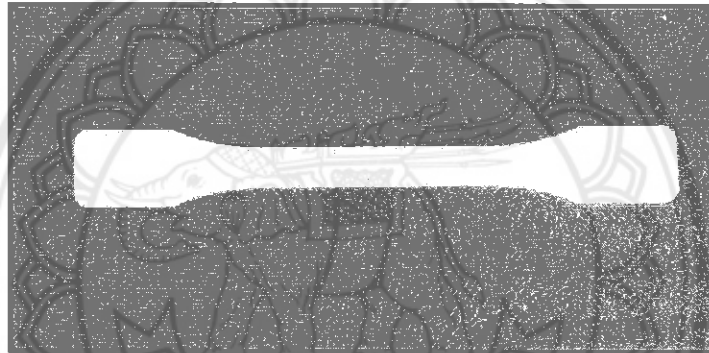
2552

3.3.1.2 ทำการผสมในเครื่องฉีดพลาสติกโดยกำหนดสถานะในการฉีดขึ้นรูปดังตาราง

ที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สถานะในการฉีดขึ้นรูป

สถานะฉีดขึ้นรูป	Feed-zone (°C)	Compression-zone (°C)	Metering-zone (°C)	Nozzle-zone (°C)
1	160	170	180	180
2	180	190	200	200
3	200	210	220	220
4	220	230	240	240



รูปที่ 3.1 ชิ้นงานพลาสติกหลังการฉีดขึ้นรูป

3.3.2 กระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก

3.3.2.1 วัสดุและอุปกรณ์

- ก. การ์ดเบอร์ 1
- ข. เม็ดพลาสติกในส่วนผสมต่าง ๆ
- ค. เครื่องฉีดพลาสติก

3.3.2.2 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

- ก. เปิดเครื่องฉีดพลาสติก
- ข. เสียบการ์ดเบอร์ 1
- ค. ทำการฉีดเม็ดพลาสติกที่อุณหภูมิต่างๆ ตามตารางที่ 3.2
- ง. ทำการเปลี่ยนส่วนผสมในการฉีดตามที่กำหนด
- จ. ในส่วนเมนูอื่น ๆ ในการใช้งานจะกำหนดให้ตามการปรับอุณหภูมิของชุด

หัวฉีด

3.3.2.3 การปรับอุณหภูมิของชุดหัวฉีด

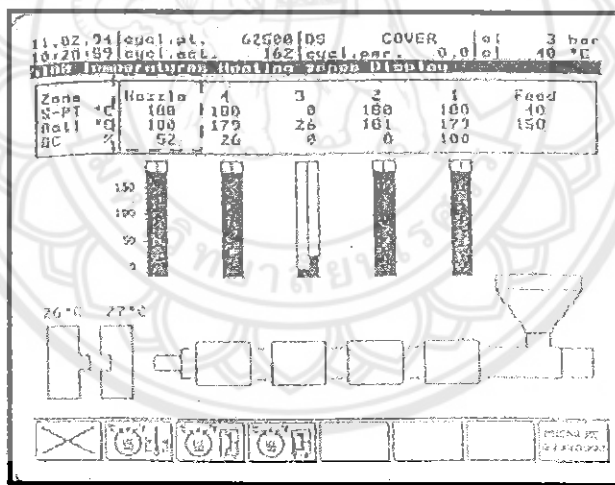
อุณหภูมิหัวฉีด โดยกำหนดอุณหภูมิที่ชุดหัวฉีดไว้ดังนี้

ก. สภาวะในการฉีดขึ้นรูปที่อุณหภูมิหัวฉีด 180 °C กำหนดอุณหภูมิที่ชุดหัวฉีด คือ Feed-zone 160 °C, Compression-zone 170 °C, Metering-zone 180 °C และ Nozzle-zone 180 °C และความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที

ข. สภาวะในการฉีดขึ้นรูปที่อุณหภูมิหัวฉีด 200 °C กำหนดอุณหภูมิที่ชุดหัวฉีด คือ Feed-zone 180 °C, Compression-zone 190 °C, Metering-zone 200 °C และ Nozzle-zone 200 °C และความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที

ค. สภาวะในการฉีดขึ้นรูปที่อุณหภูมิหัวฉีด 220 °C กำหนดอุณหภูมิที่ชุดหัวฉีด คือ Feed-zone 200 °C, Compression-zone 210 °C, Metering-zone 220 °C และ Nozzle-zone 220 °C และความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที

ง. สภาวะในการฉีดขึ้นรูปที่อุณหภูมิหัวฉีด 240 °C กำหนดอุณหภูมิที่ชุดหัวฉีด คือ Feed-zone 220 °C, Compression-zone 230 °C, Metering-zone 240 °C และ Nozzle-zone 240 °C และความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที

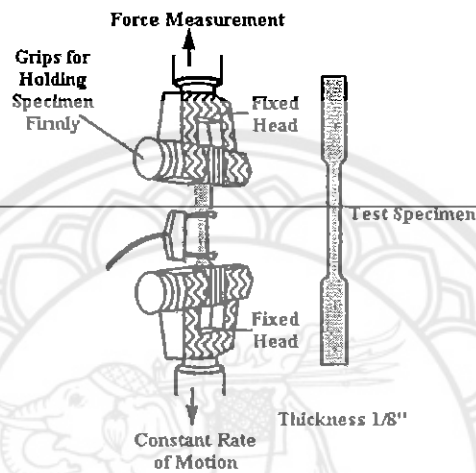


รูปที่ 3.2 การปรับอุณหภูมิของชุดหัวฉีด [1]

3.3.3 การทดสอบแรงดึง (Tension test)

เมื่อได้ชิ้นงานตามที่ต้องการแล้ว นำมาทดสอบแรงดึง โดยปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM D 638 Type III ใช้สภาวะในการทดสอบดังนี้

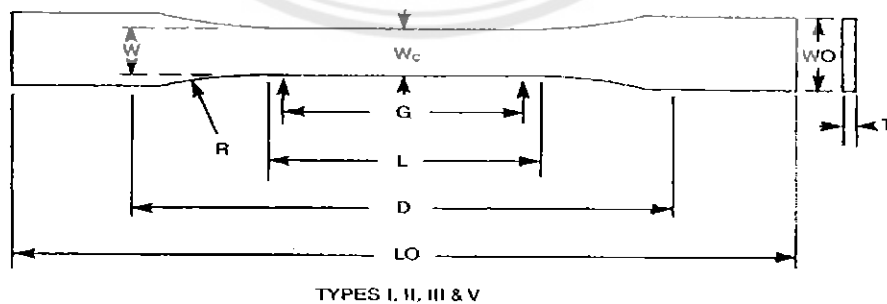
- โหลดเซลล์ (Load cell)	5	kN
- ความเร็วในการดึง (Test speed)	50	mm/min
- ความยาวของเกจ (Gauge length)	70.5	mm



รูปที่ 3.3 การทดสอบแรงดึง (Tension test) [13]

3.3.3.1 วัตถุประสงค์ในการทดสอบแรงดึง

ก. เพื่อให้ทราบพฤติกรรมของพอลิเมอร์ตามขอบเขตที่กำหนดขณะรับแรงดึง



TYPES I, II, III & V

รูปที่ 3.4 ขนาดของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ [1]

3.3.3.2 วิธีการทดสอบ

ก. เตรียมชิ้นงานชุดละ 10 ชิ้น บันทึกค่าความกว้างและความหนาของชิ้นงาน ชีดเส้นทำเครื่องหมายชิ้นงาน ณ ตำแหน่ง Grip ทั้งสองด้าน

ข. ติดตั้ง Load cell ขนาด 5 kN พร้อมหัวจับชิ้นงานเข้ากับ Crosshead และฐานเครื่อง แล้วต่อสายสัญญาณ Load cell เข้าที่ Crosshead

ค. เปิดสวิทซ์เครื่องทดสอบ

ง. จับชิ้นงานเข้ากับหัวจับตัวบน ยึดให้แน่นส่วนตัวล่างเปิดปากกว้างเอาไว้

จ. ตั้งค่าศูนย์ (Zero Force) ที่เครื่องเพื่อปรับระยะยึดให้เป็นศูนย์

ฉ. ขึ้นหัวจับล่างให้แน่น

ช. ทำการทดสอบชิ้นงาน โดยการดึงจนขาด

ซ. ทำการทดลองจนครบทั้ง 10 ชิ้น ในแต่ละชุดการทดลอง

3.3.4 การศึกษาสัณฐานวิทยาโดยเทคนิคของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)

การศึกษาลักษณะพื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE โดยใช้เทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า การเตรียมตัวอย่างทำได้โดยนำชิ้นงานตัวอย่างที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยการฉีดขึ้นรูปมาแช่ในไนโตรเจนเหลว และทำการหักทันที หลังจากนั้นนำมาเคลือบด้วยทองและนำเข้าเครื่อง SEM โดยทำการศึกษาการกระจายตัวของพอลิเมอร์ผสม

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์

โครงการนี้ศึกษาเรื่องสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP และ LDPE โดยจะศึกษาสถานะที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปและอัตราส่วนซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

4.1 การศึกษาสถานะในการฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE

จากการศึกษาสถานะในการฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE ในอัตราส่วนดังตารางที่ 3.1 และกำหนดสถานะการฉีดขึ้นรูปดังตารางที่ 3.2 พบว่าพอลิเมอร์สามารถทำการขึ้นรูปได้เต็มแม่พิมพ์ในทุกอัตราส่วนและสถานะฉีดขึ้นรูป ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.1

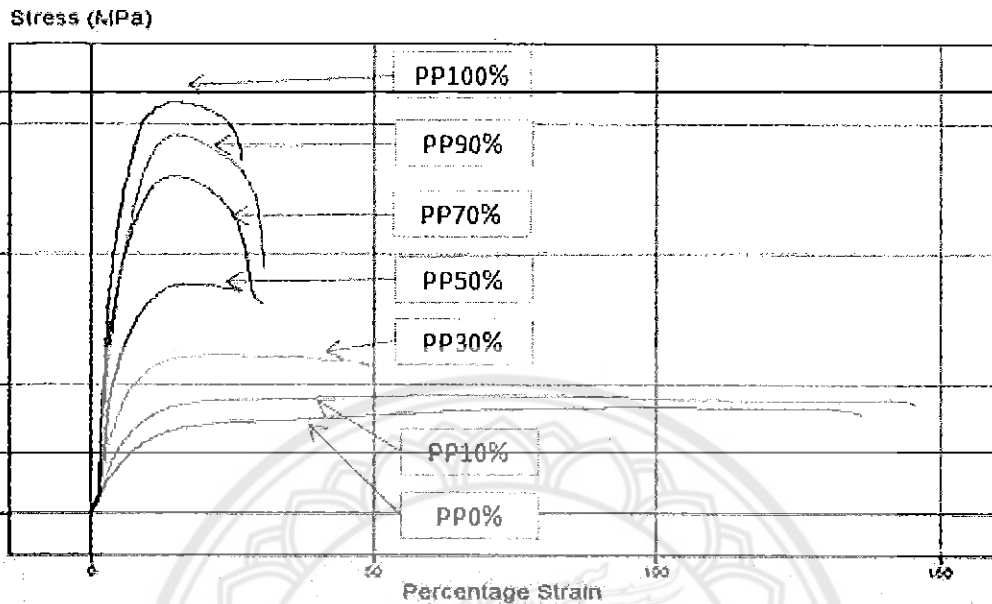


รูปที่ 4.1 ลักษณะชิ้นงานหลังจากการฉีดขึ้นรูป

4.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติความเค้น-ความเครียดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากการศึกษาสถานะในการฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ ซึ่งสามารถขึ้นรูปได้ทุกอัตราส่วนและสถานะฉีดขึ้นรูป นำมาทดสอบแรงดึงเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยกำหนดสถานะในการฉีดขึ้นรูปดังตารางที่ 3.2 พบว่า

4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สภาวะขึ้นรูปที่ 1



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สภาวะขึ้นรูปที่ 1 ที่อุณหภูมิหัวฉีด 180 °C

จากรูป 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สภาวะขึ้นรูปที่ 1 ที่อุณหภูมิหัวฉีด 180 °C พบว่า

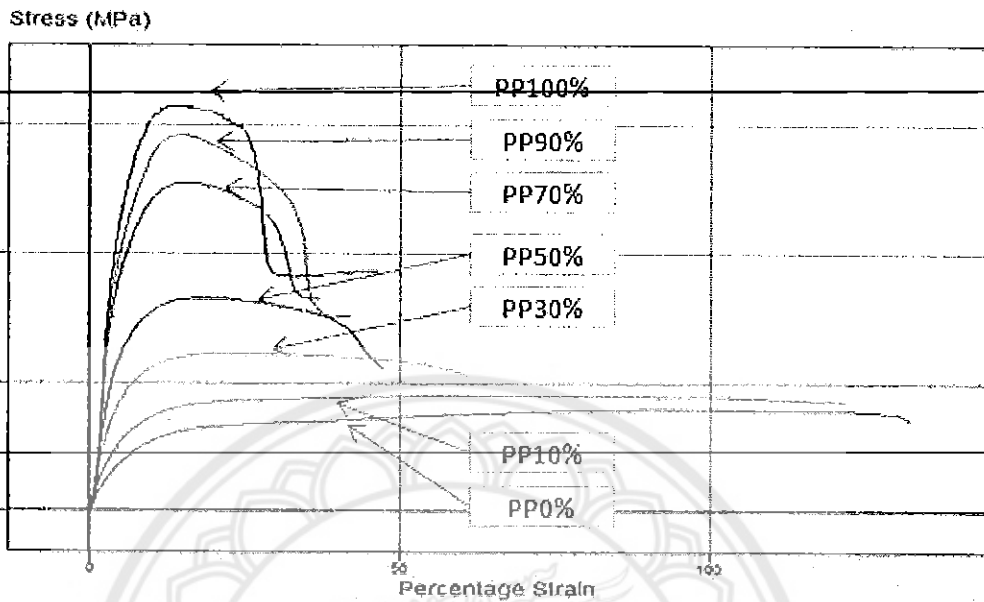
อัตราส่วน PP:LDPE ที่ 100:0 พบว่าให้สมบัติความเค้นสูงสุดเนื่องจาก PP เป็นพอลิเมอร์มีโครงสร้างแบบเชิงเส้น (Linear polymer) มีการจัดเรียงตัวของโครงสร้างเป็นไอโซแทคติกสเตอริโอไอโซเมอร์ (Isotactic Stereoisomer) ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบและชิดกันมากจึงเกิดผลึกได้ดี เมื่อให้แรงดึงแก่พอลิเมอร์ส่งผลให้พอลิเมอร์สามารถรับแรงดึงได้ดี [12] เนื่องจากโครงสร้างที่เรียงตัวชิดกันมากทำให้แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีความแข็งแรงจึงต้องใช้แรงที่มากในการทำลายพันธะ ทำให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดแสดงสมบัติเป็นแบบแข็งแรง (Hard and strong) คือมีค่าความเค้น ณ จุดครากและความเค้น ณ จุดขาดสูง [9]

เมื่อปริมาณ LDPE เพิ่มขึ้นพบว่าสมบัติความเค้นมีแนวโน้มต่ำลง เนื่องจาก PP และ LDPE มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นไฮโดรคาร์บอนทั้งคู่และมีโอกาสผสมเข้ากันได้ต่ำ โครงสร้างที่เป็นไฮโดรคาร์บอนจะไม่เกิดปฏิกิริยาระหว่างกัน พอลิเมอร์ 2 ชนิดนี้จะมีแค่การเกี่ยวพันทาง

กายภาพ (Physical entanglement) ของสายโซ่ระหว่างกัน ดังนั้นเมื่อเติม LDPE เข้าไปทำให้การยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่โมเลกุลลดลง ส่งผลทำให้เป็นการเพิ่มรอยตำหนิในชิ้นงาน เมื่อให้แรงดึงสายโซ่ พอลิเมอร์จึงเลื่อนหลุดออกจากกันได้ง่ายทำให้สมบัติด้านแรงดึงต่ำลง เมื่อปริมาณ LDPE เพิ่มขึ้นสมบัติเปอร์เซ็นต์ความเครียดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจาก LDPE มีลักษณะอ่อนนุ่มและมีโครงสร้างแบบกิ่ง (Branched polymer) เมื่อให้แรงดึงจึงทำให้ดึงยึดได้ง่าย จึงทำให้มีความยืดหยุ่น ทำให้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดอัตราส่วน PP:LDPE ที่ 90:10 กราฟมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะความสัมพันธ์เป็นแบบแข็งและเหนียว (Hard and tough) คือค่าความเค้น ณ จุดคราก ค่าความเค้น ณ จุดขาดและค่าความเครียด ณ จุดขาดสูง [9] จนถึงอัตราส่วน PP:LDPE ที่ 50:50 เนื่องจากปริมาณ LDPE เพิ่มขึ้น และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดอัตราส่วน PP:LDPE ที่ 30:70 และ 10:90 กราฟมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะความสัมพันธ์เป็นแบบนิ่มและเหนียว (Soft and tough) [9] เนื่องจากองค์ประกอบส่วนมากเป็น LDPE จึงทำให้มีลักษณะใกล้เคียงกับอัตราส่วน PP:LDPE ที่ 0:100 คือ มีค่าความเค้น ณ จุดครากที่ต่ำ ค่าความเค้นและค่าความเครียด ณ จุดขาดมีค่าที่สูง [9]

อัตราส่วน PP:LDPE ที่ 0:100 พบว่าให้สมบัติความเค้นต่ำแต่ให้สมบัติด้านเปอร์เซ็นต์ความเครียดสูงเนื่องจาก พอลิเมอร์มีโครงสร้างแบบกิ่ง (Branched polymer) ส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลไม่สามารถจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบได้ทำให้แรงดึงคู่ระหว่าง โมเลกุลต่ำลง ทำให้ความเค้นต่ำและการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบทำให้ปริมาตรอิสระภายในโมเลกุล (Free volume) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การเคลื่อนที่ของโมเลกุลเพิ่มขึ้น เมื่อให้แรงดึงจึงทำให้การดึงยึดมากขึ้น และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแสดงสมบัติเป็นแบบนิ่มและเหนียว (Soft and tough) [9]

4.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สภาวะขึ้นรูปที่ 2



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สภาวะขึ้นรูปที่ 2 ที่อุณหภูมิหัวฉีด 200 °C

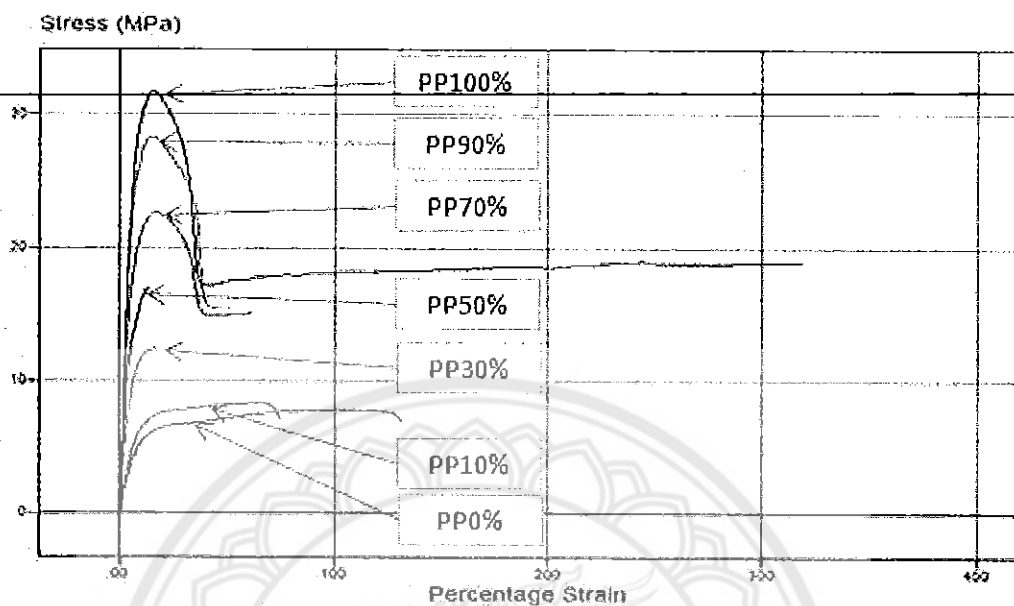
จากรูป 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สภาวะขึ้นรูปที่ 2 ที่อุณหภูมิหัวฉีด 200 °C

อัตราส่วน PP:LDPE ที่ 100:0 พบว่าให้สมบัติความเค้นสูงสุด ให้ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกันกับสภาวะการขึ้นรูปที่ 1 ซึ่งผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความเค้นเพิ่มขึ้นเนื่องจากพอลิเมอร์มีการหลอมละลายดีขึ้น

เมื่อปริมาณ LDPE เพิ่มขึ้นพบว่าสมบัติความเค้นมีแนวโน้มต่ำลง และให้ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกันกับสภาวะการขึ้นรูปที่ 1 แต่สมบัติความเค้นและเปอร์เซ็นต์ความเครียดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมมีการหลอมละลายดีขึ้น

อัตราส่วน PP:LDPE ที่ 0:100 พบว่าให้ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกันกับสภาวะการขึ้นรูปที่ 1 สำหรับผลอุณหภูมิเพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อค่าความเค้นและค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียด คือค่าความเค้นและค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียด มีค่าใกล้เคียงกับสภาวะการขึ้นรูปที่ 1

4.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สภาวะขึ้นรูปที่ 3



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สภาวะขึ้นรูปที่ 3 ที่อุณหภูมิหัวฉีด 220 °C

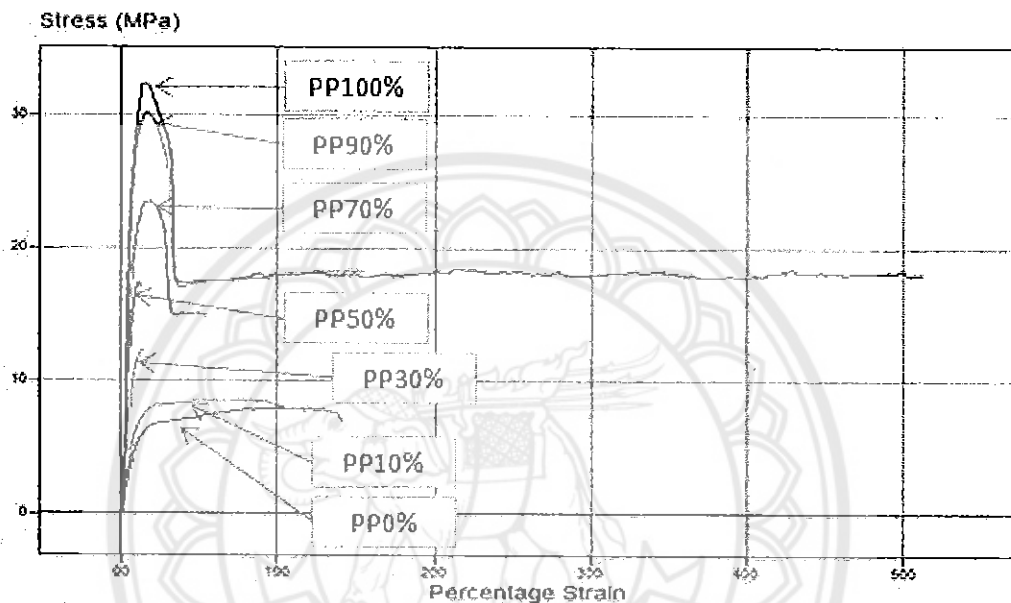
จากรูป 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สภาวะขึ้นรูปที่ 3 ที่อุณหภูมิหัวฉีด 220 °C

อัตราส่วน PP:LDPE ที่ 100:0 พบว่าให้สมบัติความเค้นสูงสุด ให้ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกันกับสภาวะการขึ้นรูปที่ 1 และ 2

เมื่อปริมาณ LDPE เพิ่มขึ้นพบว่าสมบัติความเค้นมีแนวโน้มต่ำลง และให้ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกันกับสภาวะการขึ้นรูปที่ 1 และ 2 แต่สมบัติความเค้นและเปอร์เซ็นต์ความเครียดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปเพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดการหลอมรวมกันได้มากขึ้นจึงเป็นผลให้รอยตำหนิน้อยกว่าสภาวะการขึ้นรูปที่ 1 และ 2 ทำให้เมื่อให้แรงดึงสายโซ่โมเลกุลสามารถส่งผ่านแรงและกระจายแรงได้อย่างต่อเนื่อง สำหรับอัตราส่วน PP:LDPE ที่ 50:50 และ 30:70 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแสดงสมบัติเป็นแบบแข็งเปราะ (Hard and brittle) คือค่าความเครียด ณ จุดขาดต่ำ [9]

อัตราส่วน PP:LDPE ที่ 0:100 พบว่าให้ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกันกับสภาวะการขึ้นรูปที่ 1 และ 2 สำหรับผลอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ไม่มีผลต่อค่าความเค้นและค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียด คือค่าความเค้นและค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียด มีค่าใกล้เคียงกับสภาวะการขึ้นรูปที่ 1 และ 2

4.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สภาวะขึ้นรูปที่ 4



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สภาวะขึ้นรูปที่ 4 ที่อุณหภูมิหัวฉีด 240 °C

จากรูป 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยใช้สภาวะขึ้นรูปที่ 4 ที่อุณหภูมิหัวฉีด 240 °C

อัตราส่วน ที่ 100:0 พบว่าให้สมบัติความเค้นสูงสุด ให้ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกันกับสภาวะการขึ้นรูปที่ 1, 2 และ 3

เมื่อปริมาณ LDPE เพิ่มขึ้นพบว่าสมบัติความเค้นมีแนวโน้มต่ำลง และให้ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกันกับสภาวะการขึ้นรูปที่ 1 และ 2 แต่สมบัติความเค้นและเปอร์เซ็นต์ความเครียดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปเพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดการหลอมรวมกันได้มากขึ้นจึงเป็นผลให้รอยตำหนิน้อยกว่าสภาวะการขึ้นรูปที่ 1, 2 และ 3 ทำให้เมื่อให้แรงดึงสายโซ่โมเลกุลสามารถส่งผ่านแรงและกระจายแรงได้อย่างต่อเนื่อง สำหรับที่อัตราส่วน PP:LDPE ที่ 50:50

และ 30:70 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดแสดงสมบัติเป็นแบบแข็งเปราะ (Hard and brittle) [9]

อัตราส่วน PP:LDPE ที่ 0:100 พบว่าให้ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกันกับสภาวะการขึ้นรูปที่ 1, 2 และ 3 สำหรับผลอุณหภูมิเพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อค่าความเค้นและค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียด คือค่าความเค้นและค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียด มีค่าใกล้เคียงกับสภาวะการขึ้นที่ 1, 2 และ 3

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE ทั้ง 4 สภาวะขึ้นรูป พบว่าที่สภาวะขึ้นรูปที่ 4 ที่อุณหภูมิหัวฉีด 240 °C เป็นสภาวะที่ดีที่สุดในการขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE โดยค่าสมบัติความเค้น-ความเครียดโดยรวมดีที่สุด เพราะว่าพอลิเมอร์ผสมมีการหลอมรวมกันได้ดี โดยสภาวะขึ้นรูปทั้ง 4 ให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกันคือ

อัตราส่วน PP:LDPE ที่ 100:0 พอลิเมอร์สามารถรับแรงดึงได้มากที่สุดและมีค่าความเค้นสูงสุดพอลิเมอร์แสดงสมบัติเป็นแบบแข็งแรง (Hard and strong) [9]

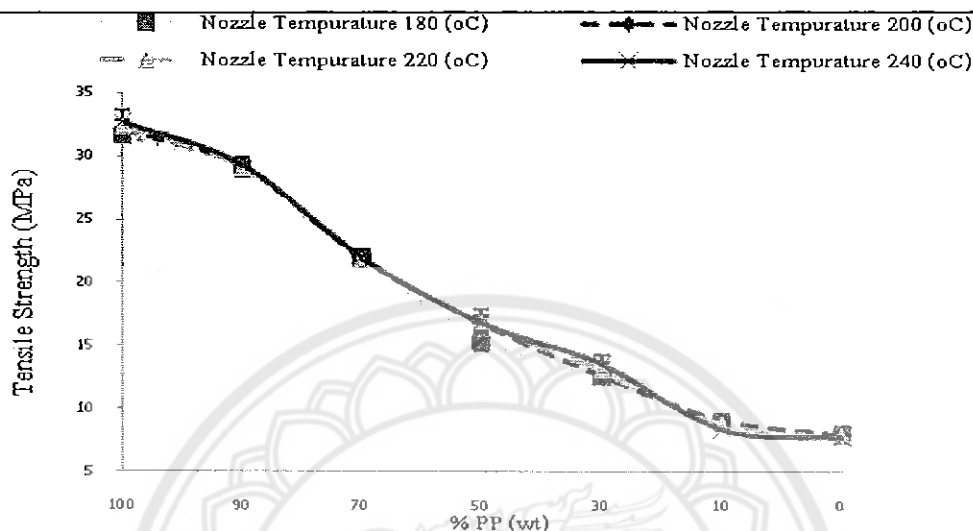
เมื่อเติม LDPE เพิ่มขึ้นทำให้ความเค้นมีแนวโน้มลดลง โดยอัตราส่วน PP:LDPE ที่ 90:10 พอลิเมอร์แสดงสมบัติเป็นแบบแข็งและเหนียว (Hard and tough) อัตราส่วน PP:LDPE ที่ 50:50 และ 30:70 พอลิเมอร์แสดงสมบัติเป็นแบบแข็งเปราะ (Hard and brittle) และอัตราส่วน PP:LDPE ที่ 10:90 พอลิเมอร์แสดงสมบัติเป็นแบบนิ่มและเหนียว (Soft and tough) [9]

อัตราส่วน PP:LDPE ที่ 0:100 พบว่าให้สมบัติความเค้นต่ำแต่ให้สมบัติด้านเปอร์เซ็นต์ความเครียดสูง พอลิเมอร์แสดงสมบัติแบบนิ่มและเหนียว (Soft and tough) [9]

4.3 การศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE

4.3.1 สมบัติเชิงกล

4.3.1.1 สมบัติด้านความแข็งแรงดึง



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสมบัติด้านความแข็งแรงดึง และอุณหภูมิที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสม PP:LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ของสมบัติด้านความแข็งแรงดึง และอุณหภูมิที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสม PP:LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าในทุกอุณหภูมิการขึ้นรูปมีค่าสมบัติด้านความแข็งแรงดึงที่ใกล้เคียงกัน โดยสมบัติด้านแรงดึงเป็นการศึกษาพฤติกรรมของพอลิเมอร์เมื่อมีการให้ความเค้น (Stress) ทำให้พอลิเมอร์มีการยืดตัวออกจนถึงจุดที่พอลิเมอร์เกิดการเสียหายและขาดออกจากกัน เมื่อพอลิเมอร์ผสมได้รับแรงดึงสายโซ่โมเลกุล พอลิเมอร์จะเลื่อนตามแนวแรงที่ถูกดึงสายโซ่จะเกิดการเลื่อนหลุดออกจากการยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่ทำให้เกิดการเสียหาย

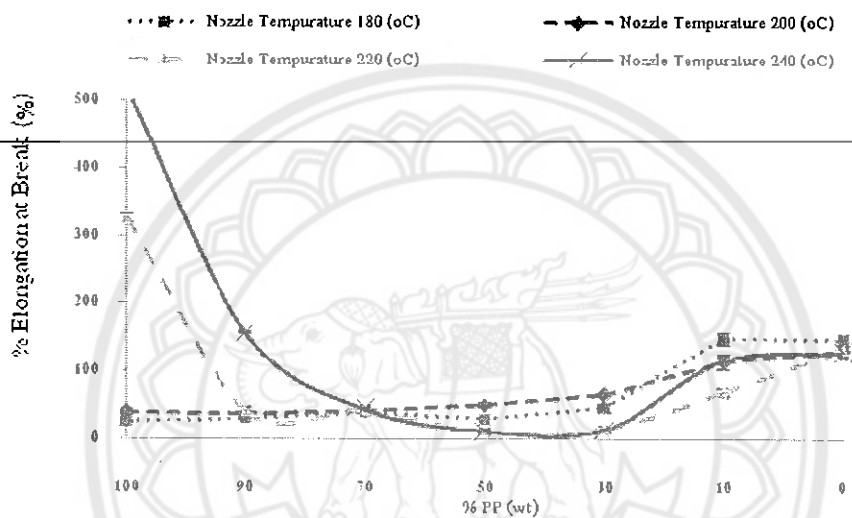
อัตราส่วน PP:LDPE ที่ 100:0 ให้สมบัติด้านแรงดึงสูงสุด เนื่องจาก PP เป็นพอลิเมอร์มีโครงสร้างแบบเชิงเส้น (Linear polymer) มีการจัดเรียงตัวของโครงสร้างเป็น ไอโซแทคติกสเตอริโอไอโซเมอร์ (Isotactic stereoisomer) ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบและชิดกันมากจึงเกิดผลึกได้ดี เมื่อให้แรงดึงแก่พอลิเมอร์ส่งผลให้พอลิเมอร์สามารถรับแรงดึงได้ดี [12]

อัตราส่วน PP:LDPE ที่ 90:10 ถึง 10:90 สมบัติด้านแรงดึงมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP และ LDPE ไม่สามารถเข้ากันได้เนื่องจากพอลิเมอร์ทั้งสองมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นไฮโดรคาร์บอนทำให้ไม่มีการยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่ ทำให้มีลักษณะ

เหมือนรอยตำหนิในชิ้นงาน ดังนั้นเมื่อให้แรงดึงแก่ชิ้นงานสายโซ่โมเลกุลจึงเลื่อนหลุดออกจากกันได้ง่าย สมบัติทางค้ำแรงดึงจึงมีค่าต่ำลงเมื่อ LDPE เพิ่มมากขึ้น

อัตราส่วน PP:LDPE ที่ 0:100 ให้สมบัติค้ำแรงดึงต่ำสุด เนื่องจาก LDPE พอลิเมอร์มีโครงสร้างแบบกิ่ง (Branched polymer) ส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลไม่สามารถจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบได้ทำให้แรงดึงคู่ระหว่างโมเลกุลต่ำลง เมื่อให้แรงดึงแก่พอลิเมอร์จึงทำให้รับแรงดึงได้ต่ำ

4.3.1.2 สมบัติร้อยละดิ่งยืด ณ จุดขาด



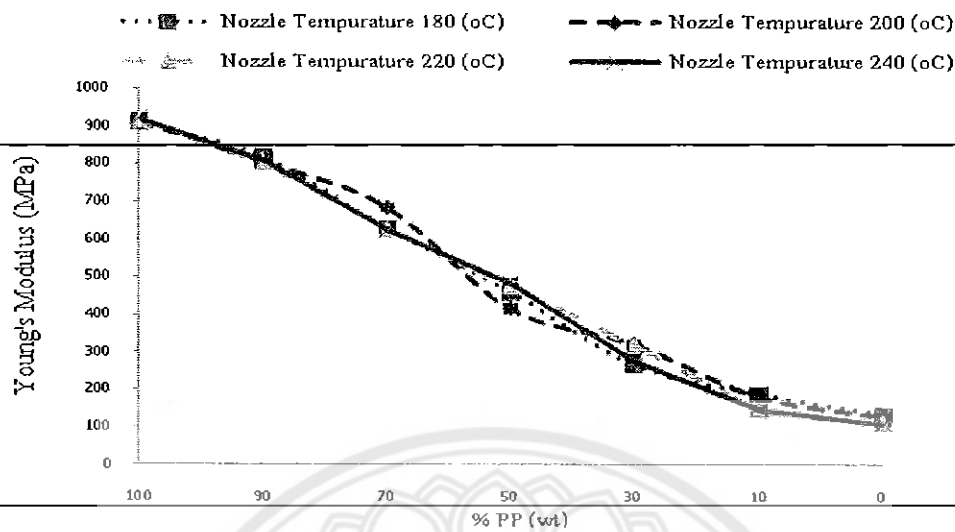
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสมบัติร้อยละความดิ่งยืด ณ จุดขาด และอุณหภูมิที่ใช้ในการถักขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสม PP:LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์สมบัติร้อยละความดิ่งยืด ณ จุดขาด โดยร้อยละความดิ่งยืด ณ จุดขาดเป็นการศึกษาพฤติกรรมของพอลิเมอร์ เมื่อให้ความเค้น (Stress) กับชิ้นงานพอลิเมอร์มีการยืดตัวออกจนถึงจุดที่พอลิเมอร์เกิดการเสียหายและขาดออกจากกัน โดยจะศึกษาความสามารถในการยืดตัวที่เกิดขึ้นของพอลิเมอร์

พบว่าอัตราส่วน PP:LDPE ที่ 100:0 อุณหภูมิในการถักขึ้นรูป 240 °C ให้ค่าสมบัติร้อยละดิ่งยืด ณ จุดขาดสูงสุด เนื่องจากพอลิเมอร์มีการหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกันมาก ทำให้มีรอยตำหนิในชิ้นงานน้อย จึงทำให้พอลิเมอร์มีการยืดตัวได้สูง

และพบว่าอัตราส่วน PP:LDPE ที่ 70:30 มีลักษณะของการยืดตัวของชิ้นงานจากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงแบบอเนกประสงค์เหมือนกัน โดยไม่มีการแตกหักซึ่งสามารถยอมรับได้ที่ไม่ทำให้สมบัติเชิงกลเสียไปซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ R.Strapasson et al. [11]

4.3.1.3 สมบัติโมดูลัสของยัง



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสมบัติโมดูลัสของยัง และอุณหภูมิที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสม PP:LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ

จากรูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ของสมบัติโมดูลัสของยัง และอุณหภูมิที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสม PP:LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆพบว่าในทุกอุณหภูมิการฉีดขึ้นรูป ค่าโมดูลัสของยังมีค่าใกล้เคียงกัน โดยการศึกษาเรื่องโมดูลัสของยังเป็นการศึกษาพฤติกรรมของพอลิเมอร์เมื่อมีการให้ความเค้น (Stress) ทำให้พอลิเมอร์มีการยืดตัวออกโดยจะทำการศึกษาช่วงต้นของการดึงซึ่งจะเกิดการเสียสภาพแบบยืดหยุ่น (Elastic Deformation) คือสามารถหดตัวกลับมาในตำแหน่งเดิมได้เมื่อมีการปล่อยแรง

อัตราส่วน PP:LDPE ที่ 100:0 ค่าโมดูลัสของยังสูงสุด เนื่องจาก PP มีค่าโมดูลัสของยังมากกว่า LDPE

อัตราส่วน PP:LDPE ที่ 90:10 ถึง 10:90 มีแนวโน้มลดลง การผสม LDPE ซึ่งมีลักษณะอ่อนนุ่ม (Soft) มากกว่า PP ส่งผลให้ค่าโมดูลัสของยังมีค่าต่ำลงเมื่อปริมาณ LDPE เพิ่มมากขึ้นทำให้ความสามารถในการต้านทานการเสียรูปได้น้อยลง

อัตราส่วน PP:LDPE ที่ 0:100 ค่าโมดูลัสของยังต่ำสุด

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE พบว่าที่อุณหภูมิในการฉีดขึ้นรูป 240 °C ให้ค่าสมบัติเชิงกลโดยรวมดีที่สุด โดยอัตราส่วน PP:LDPE ที่ 100:0 ให้ค่าสมบัติเชิงกลดีที่สุด

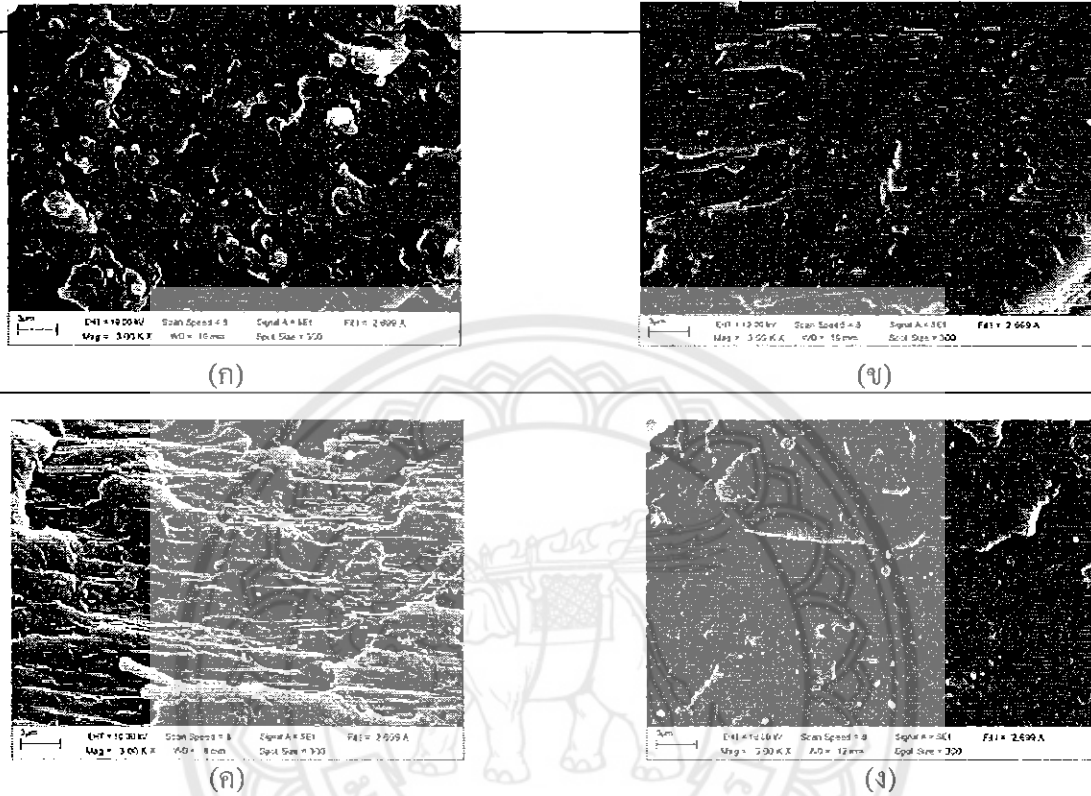
เนื่องจากโครงการนี้ต้องการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม พบว่าอัตราส่วน PP:LDPE ที่ 70:30 เป็นอัตราส่วนที่สามารถยอมรับได้ที่ไม่ทำให้สมบัติเชิงกลเสียไปซึ่งสอดคล้อง

กับงานวิจัยของ R.Strapasson et al. [11] และเนื่องจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียด ที่สภาวะการฉีดขึ้นรูปที่ 4 อุณหภูมิหัวฉีด 240 °C พบว่าอัตราส่วน PP:LDPE ที่ 70:30 ลักษณะของพอลิเมอร์แสดงสมบัติเป็นแบบแข็งและเหนียว (Hard and tough) และจากลักษณะของการดึงยืดของชิ้นงานจากเครื่องทดสอบแบบอเนกประสงค์ที่แสดงดังรูปที่ ข.3 (ภาคผนวก ข) ของพอลิเมอร์ PP:LDPE ที่ 70:30 พบว่ามีลักษณะการยืดตัวเหนียวกลับโดยไม่มีรอยแตกหัก ดังนั้นอัตราส่วน PP:LDPE ที่ 70:30 สามารถยอมรับได้เมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนอื่น และนำไปศึกษาสัณฐานวิทยาโดยใช้เทคนิค SEM



4.4 การศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE

การศึกษาสัณฐานวิทยาโดยใช้เทคนิค SEM ของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE ที่อัตราส่วน 70:30 ได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 รูปแสดงสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 3,000 เท่าของ PP:LDPE ที่ 70:30

(ก) ที่อุณหภูมิหัวฉีด 180 °C (ข) ที่อุณหภูมิหัวฉีด 200 °C

(ค) ที่อุณหภูมิหัวฉีด 220 °C (ง) ที่อุณหภูมิหัวฉีด 240 °C

จากรูปที่ 4.9 แสดงสัณฐานวิทยาของ PP:LDPE จากการทำการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วย SEM พบว่า PP เป็นวัฏภาคหลัก (Matrix phase) และ LDPE เป็นวัฏภาคกระจาย (Dispersed phase) โดยอนุภาค LDPE มีขนาดใหญ่และกระจายไม่สม่ำเสมออยู่ในวัฏภาค PP โดยพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดแยกวัฏภาคกันชัดเจน แสดงดังรูปที่ 4.8(ก) ลักษณะแบบนี้สันนิษฐานได้ว่าพอลิเมอร์ทั้งสองไม่เข้ากันซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวัชรินทร์ หยูตั้ง และคณะ [12] เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น อนุภาคของ LDPE มีขนาดเล็กลงแต่ก็มีการแยกวัฏภาคกัน แสดงดังรูปที่ 4.8 (ข-ง) ซึ่งส่งผลให้เมื่อมีการให้แรงดึงแก่ชิ้นงานทำให้ความสามารถในการรับแรงและการถ่ายเทแรงเป็นไปได้น้อยลง

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาเรื่องสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง พอลิพอฟิซีนและพอลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นต่ำ ได้ข้อสรุปดังนี้

5.1.1 การศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE

จากการศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE โดยการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP : LDPE พบว่าที่สถานะขึ้นรูปที่ 4 ที่อุณหภูมิหัวฉีด 240 °C เป็นสถานะที่ดีที่สุดในการขึ้นรูปพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE โดยค่าสมบัติความเค้น-ความเครียดโดยรวมดีที่สุด เพราะว่าพอลิเมอร์ผสมมีการหลอมรวมกันได้ดี โดยสถานะขึ้นรูปทั้ง 4 ให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกันคือ

อัตราส่วน PP:LDPE ที่ 100:0 พอลิเมอร์สามารถรับแรงดึงได้มากที่สุดและมีค่าความเค้นสูงสุดพอลิเมอร์แสดงสมบัติเป็นแบบแข็งแรง (Hard and strong)

เมื่อเติม LDPE เพิ่มขึ้นทำให้ความเค้นมีแนวโน้มลดลง โดยอัตราส่วน PP:LDPE ที่ 90:10 พอลิเมอร์แสดงสมบัติเป็นแบบแข็งและเหนียว (Hard and tough) อัตราส่วน PP:LDPE ที่ 50:50 และ 30:70 พอลิเมอร์แสดงสมบัติเป็นแบบแข็งเปราะ (Hard and brittle) และอัตราส่วน PP:LDPE ที่ 10:90 พอลิเมอร์แสดงสมบัติเป็นแบบนิ่มและเหนียว (Soft and tough)

อัตราส่วน PP:LDPE ที่ 0:100 พบว่าให้สมบัติความเค้นต่ำแต่ให้สมบัติด้านเปอร์เซ็นต์ความเครียดสูง พอลิเมอร์แสดงสมบัติเป็นแบบนิ่มและเหนียว (Soft and tough)

5.1.2 การศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE

สมบัติด้านความแข็งแรงดึง อัตราส่วน PP:LDPE ที่ 100:0 ให้สมบัติด้านแรงดึงสูงสุด โดยทุกอัตราส่วนมีค่าความแข็งแรงดึงใกล้เคียงกัน เมื่อเติม LDPE ลงไป อัตราส่วน PP:LDPE ที่ 90:10 ถึง 10:90 สมบัติด้านความแข็งแรงดึงมีค่าลดลง และที่อัตราส่วน PP:LDPE ที่ 0:100 ให้สมบัติด้านแรงดึงต่ำสุด

สมบัติร้อยละดัด ณ จุดขาด อัตราส่วน PP:LDPE ที่ 100:0 ที่อุณหภูมิหัวฉีด 240 °C ให้สมบัติร้อยละดัด ณ จุดขาด สูงสุด และอัตราส่วน PP:LDPE ที่ 70:30 สามารถยอมรับได้ที่ไม่ทำให้สมบัติเชิงกลเสียไป และลักษณะของการยืดตัวของชิ้นงานเหมือนกัน โดยไม่มีการแตกหัก

สมบัติมอดุลัสของยัง อัตราส่วน PP:LDPE ที่ 100:0 ให้สมบัติมอดุลัสของยังสูงสุด โดยทุกอัตราส่วนมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเติม LDPE ลงไป อัตราส่วน PP:LDPE ที่ 90:10 ถึง 10:90 สมบัติมอดุลัสของยังมีค่าต่ำลง และอัตราส่วน PP:LDPE ที่ 0:100 ให้สมบัติด้านมอดุลัสของยังต่ำสุด

เนื่องจากโครงการต้องการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม พบว่าอัตราส่วน PP:LDPE ที่ 70:30 เป็นอัตราส่วนที่ยอมรับได้ที่ไม่ทำให้สมบัติเชิงกลเสียไป

5.1.3 การศึกษาสัณฐานวิทยา

จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE ที่อัตราส่วน 70:30 นำไปศึกษาสัณฐานวิทยาโดยเทคนิค SEM พบว่า PP เป็นวัฏภาคหลัก (Matrix phase) และ LDPE เป็นวัฏภาคกระจาย (Dispersed phase) โดยวัฏภาคของ PP และ LDPE แยกวัฏภาคกันอยู่ และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น อนุภาคของ LDPE มีขนาดเล็กลงและมีการแยกวัฏภาคกันชัดเจน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการเพิ่มวิธีการผสม เพื่อทำให้เกิดการกระจายตัวให้ทั่วถึง
2. ควรมีการเติมสารช่วยผสมเพื่อช่วยในเรื่องสมบัติการเข้ากันได้ของ PP และ LDPE



เอกสารอ้างอิง

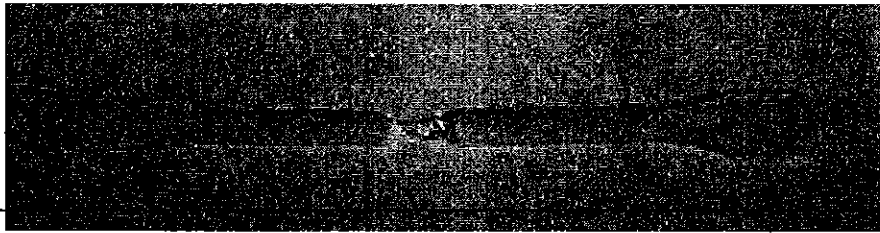
- [1] จรูญ พรรณนา,ธานีรินทร์ ภู่เพียร. 2546. “คุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง”. *ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร*
- [2] อ.สมยศ เอกอัครบัณฑิต.“ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม”. สืบค้นวันที่ 3 ตุลาคม 2551, www.bss.ac.th/.../ppt.files/image020.gif
- [3] สมจิตต์ ตั้งชัยวัฒนา.“พอลิเมอร์ผสม”. สืบค้นวันที่ 20 ตุลาคม 2551, www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/cp_5_2548_polymer_blend.pdf/
- [4] สมศักดิ์ วรมงคลชัย. 2547. “สารปรับแต่งพอลิเมอร์”. พิมพ์ครั้งที่ 1.กรุงเทพมหานคร.2547
- [5] W.J.WORK. 2007. “Defination of Terms Related to Polymer Blends.Composites,and Multiphase Polymeric Material”. *Pure Appl.Chem.*,76,2004,1985-2007
- [6] Jacqueline I.Kroschwitz.“High performance Polymers and Composite”.65-80
- [7] “Injection Molding machine & tooling”. สืบค้นวันที่ 3 ตุลาคม 2551, <http://plastics.turkavkaz.ru/equipment/injection-molding-machine/>
- [8] สมศักดิ์ วรมงคลชัย. 2544. “เทคโนโลยีพอลิเมอร์ 2”. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [9] “เคมีพอลิเมอร์”. สืบค้น วันที่ 1 พฤศจิกายน 2552, http://www.sci.buu.ac.th/~chemistry/staff/thanida/Polymer_Chemistry/index.html
- [10] พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. 2538. “พลาสติก”. พิมพ์ครั้งที่ 12.กรุงเทพมหานคร
- [11] R.Strapasson, S.C. Amico, M.F.R Pereira, T.H.D. Sydenstricker. 2005. “Tensile and impact behavior of polypropylene/low density polyethylene blend”. *MechanicalEngineering Department, Federal University of Parand (UFPR). Polymer Testing 24 (2005) 468–473*
- [12]วัชรินทร์ หยูดู่, ธรณิศ นาวารัตน์, สมบัติ พุทธจักร และมนัส แซ่ด่าน. 2551. “สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีน”. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ปีที่ 31 ฉบับที่ 2 เมษายน-มิถุนายน 2551*
- [13] “เครื่องมือ Laboratory Instruments”. สืบค้นวันที่ 3 ตุลาคม 2551, www.mt.kmutt.ac.th/MT-image/tensile2.jpg



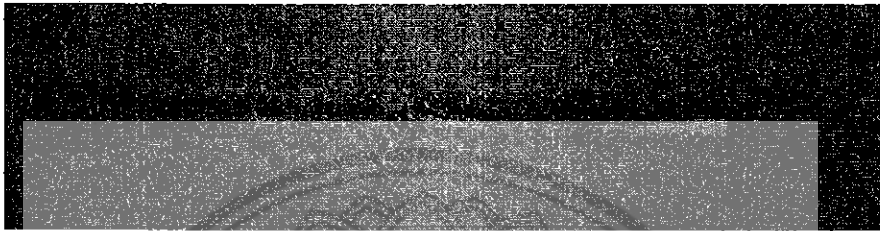
ตารางที่ ก.1 สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่าง PP:LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ

Temperature (°C)	Composition (%)		Tensile Strength (MPa)		Young's Modulus (MPa)		% Elongation at Break (%)	
	PP	LDPE	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
	100	0	31.59	0.39	906.04	13.21	27.09	0.76
	90	10	29.12	0.70	816.24	9.80	32.04	2.88
	70	30	21.93	0.20	626.57	10.36	31.16	1.93
180	50	50	15.33	0.67	457.84	9.81	30.86	1.18
	30	70	12.53	0.44	263.81	9.78	47.16	6.34
	10	90	9.15	0.22	185.57	11.97	149.24	8.65
	0	100	8.24	0.03	132.80	4.49	148.57	7.24
200	100	0	32.14	0.13	910.14	8.13	40.66	3.30
	90	10	29.18	0.19	803.25	3.92	41.83	0.83
	70	30	23.94	0.38	612.97	7.75	34.81	3.45
	50	50	16.80	0.66	413.83	11.04	50.96	3.69
	30	70	12.64	0.35	320.01	8.80	66.90	2.78
220	10	90	9.13	0.09	180.97	6.38	114.29	10.68
	0	100	7.99	0.07	127.17	3.68	131.76	1.59
	100	0	32.39	0.14	915.34	8.81	324.84	6.69
	90	10	29.08	0.38	802.98	8.75	42.42	6.23
	70	30	21.82	0.32	625.31	7.38	42.46	7.74
	50	50	16.96	0.34	475.88	6.43	11.85	1.43
	30	70	13.12	0.57	318.64	5.80	16.11	4.51
240	10	90	8.77	0.16	145.35	7.78	69.35	5.40
	0	100	7.83	0.05	108.59	6.49	132.59	3.12
	100	0	32.73	0.84	918.34	10.18	514.68	7.03
	90	10	29.36	0.52	807.85	5.22	157.72	1.42
	70	30	22.04	0.64	625.06	3.70	44.57	4.26
	50	50	16.85	1.02	482.12	10.14	11.77	3.24
	30	70	13.57	0.77	276.91	11.72	14.43	5.81
	10	90	8.57	0.13	146.66	8.98	116.60	5.24
	0	100	7.73	0.27	108.39	1.38	127.90	1.65

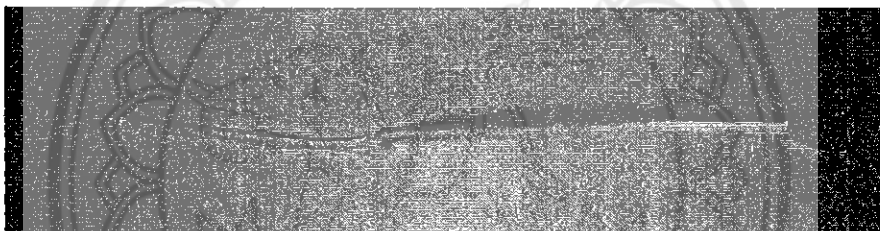




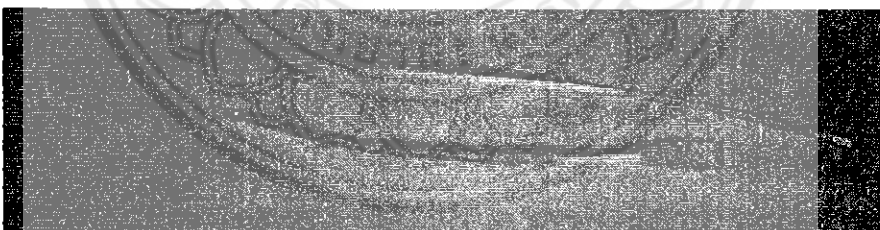
(ก)



(ข)

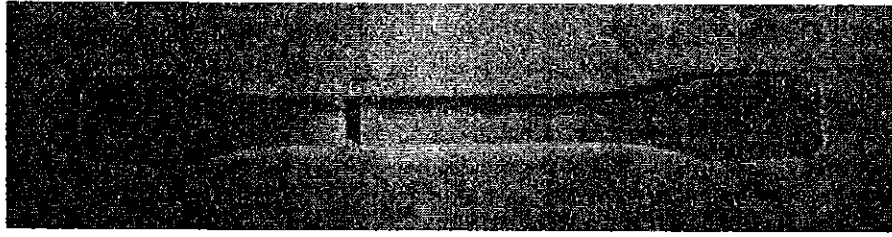


(ค)

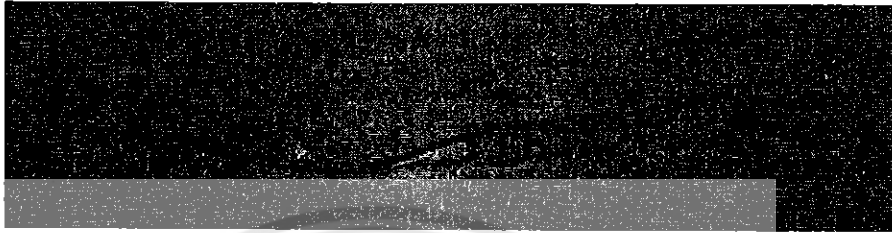


(ง)

รูปที่ ข.1 แสดงชิ้นงานที่ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแบบอเนกประสงค์
ของ PP:LDPE ที่อัตราส่วน 100:0 ที่อุณหภูมิหัวฉีด
(ก) 180 °C (ข) 200 °C (ค) 220 °C (ง) 240 °C



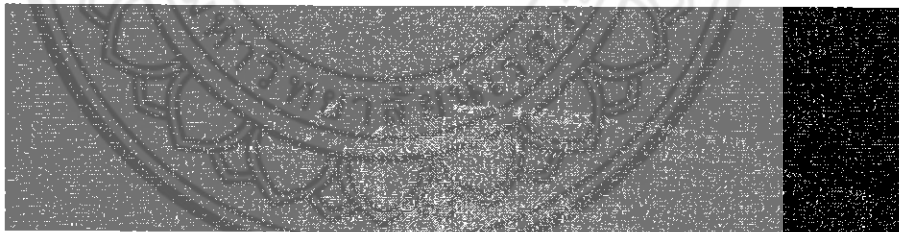
(ก)



(ข)

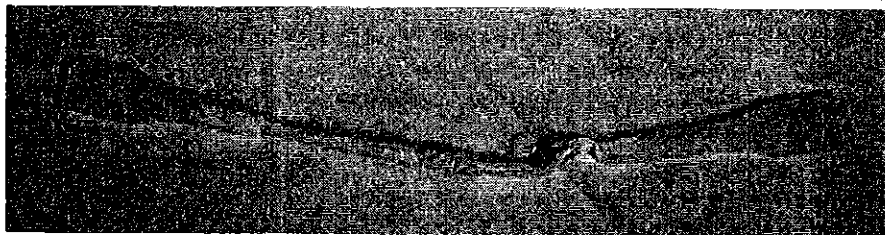


(ค)



(ง)

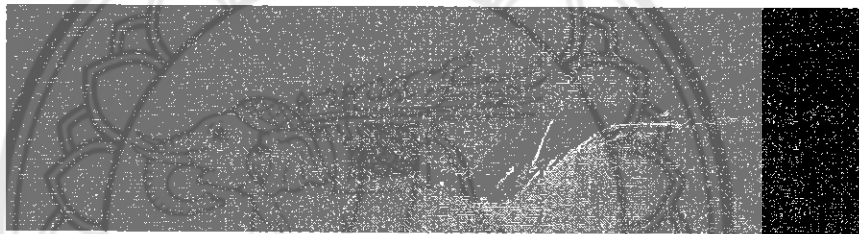
รูปที่ ข.2 แสดงชิ้นงานที่ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแบบอเนกประสงค์
 ของ PP:LDPE ที่อัตราส่วน 90:10 ที่อุณหภูมิหัวฉีด
 (ก) 180 °C (ข) 200 °C (ค) 220 °C (ง) 240 °C



(ก)



(ข)



(ค)

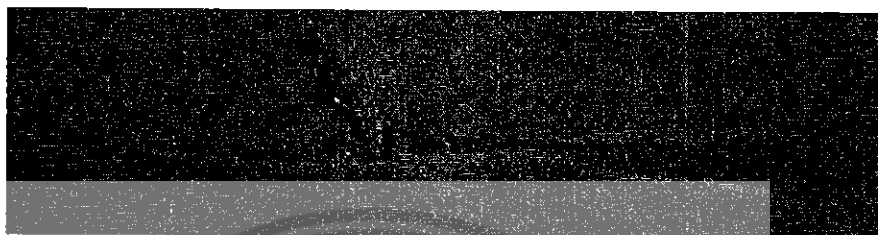


(ง)

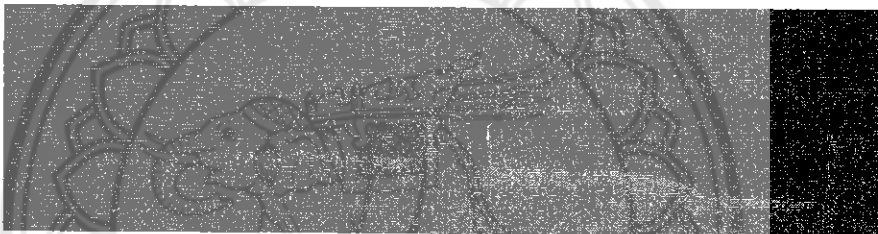
รูปที่ ข.3 แสดงชิ้นงานที่ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแบบอเนกประสงค์
ของ PP:LDPE ที่อัตราส่วน 70:30 ที่อุณหภูมิหัวฉีด
(ก) 180 °C (ข) 200 °C (ค) 220 °C (ง) 240 °C



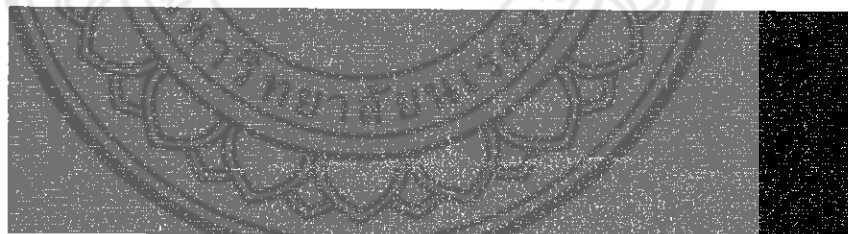
(ก)



(ข)

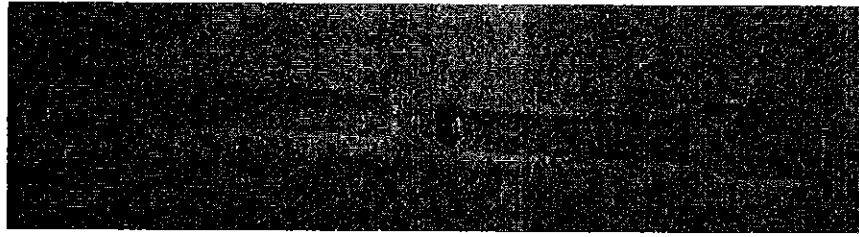


(ค)

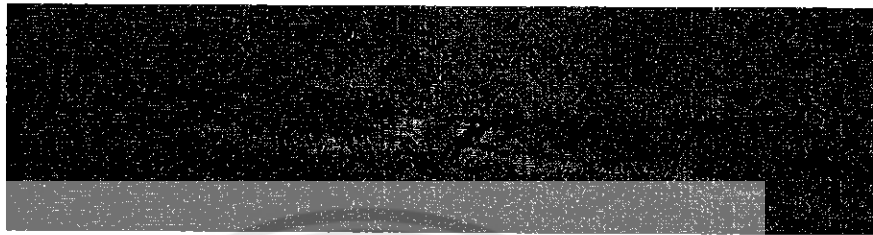


(ง)

รูปที่ ข.4 แสดงชิ้นงานที่ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแบบอเนกประสงค์
ของ PP:LDPE ที่อัตราส่วน 50:50 ที่อุณหภูมิหัวฉีด
(ก) 180 °C (ข) 200 °C (ค) 220 °C (ง) 240 °C



(ก)



(ข)

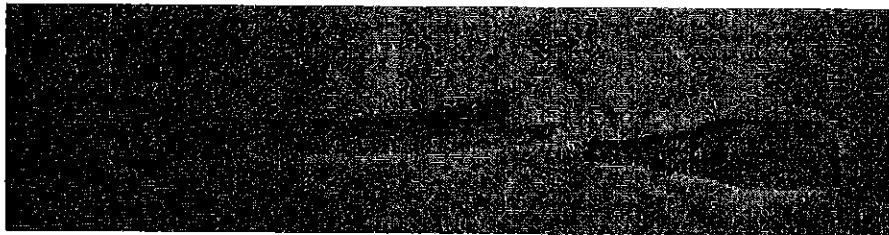


(ค)

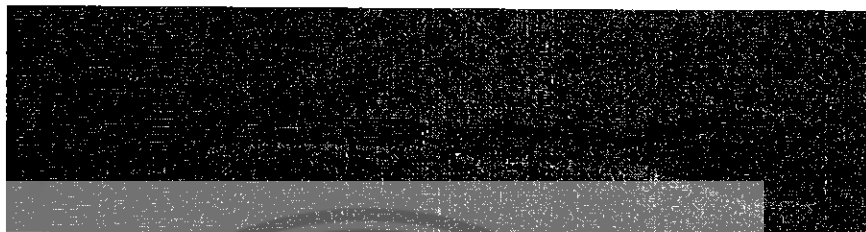


(ง)

รูปที่ ข.5 แสดงชิ้นงานที่ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแบบอเนกประสงค์
ของ PP:LDPE ที่อัตราส่วน 30:70 ที่อุณหภูมิหัวฉีด
(ก) 180 °C (ข) 200 °C (ค) 220 °C (ง) 240 °C



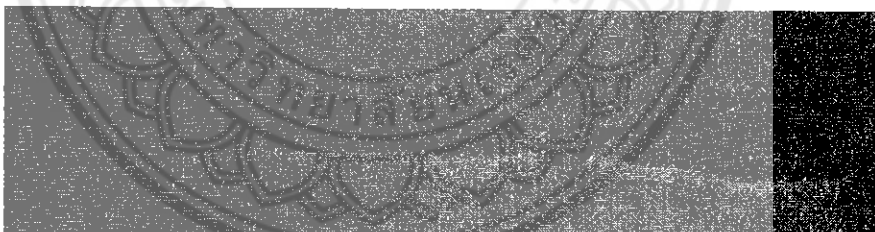
(ก)



(ข)

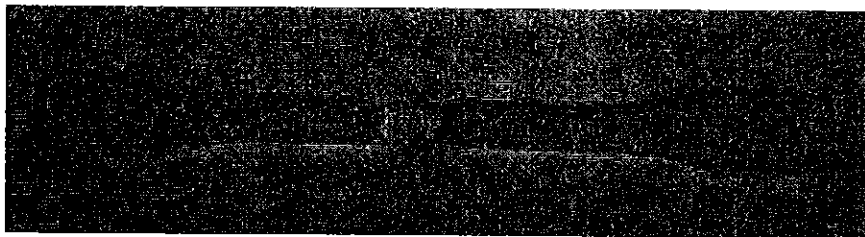


(ค)

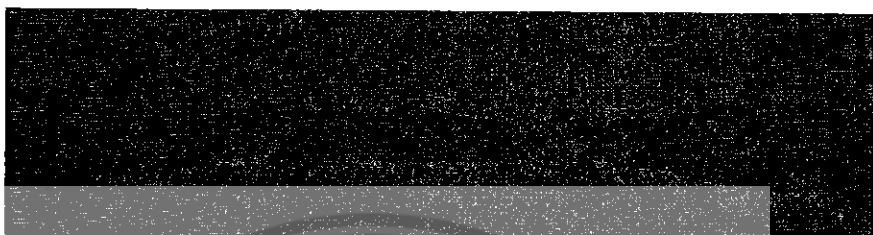


(ง)

รูปที่ ข.6 แสดงชิ้นงานที่ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแบบอเนกประสงค์
ของ PP:LDPE ที่อัตราส่วน 10:90 ที่อุณหภูมิหัวฉีด
(ก) 180 °C (ข) 200 °C (ค) 220 °C (ง) 240 °C



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ ข.7 แสดงชิ้นงานที่ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแบบอเนกประสงค์
ของ PP:LDPE ที่อัตราส่วน 0:100 ที่อุณหภูมิหัวฉีด
(ก) 180 °C (ข) 200 °C (ค) 220 °C (ง) 240 °C

ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ-ชื่อสกุล สุวรรณพงษ์ เจื่อนคำป้อ
วัน เดือน ปีเกิด 29 กันยายน 2529
ที่อยู่ปัจจุบัน พะเยา

ประวัติการศึกษา

- จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนดอกคำใต้วิทยาคม จังหวัดพะเยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ชั้นปีที่ 4 มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

Email: tae_material@hotmail.com



ชื่อ-ชื่อสกุล อนุวัฒน์ ราญพล
วัน เดือน ปีเกิด 30 พฤษภาคม 2528
ที่อยู่ปัจจุบัน พิจิตร

ประวัติการศึกษา

- จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสามง่ามชนูปถัมภ์ จังหวัดพิจิตร
- ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ชั้นปีที่ 4 มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

Email: exnaja_30@hotmail.com