

คุณสมบัติเชิงกลของโพลิเมอร์ผสมระหว่างโพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับโพลิโพรพิลีน

นางสาว อภินันทนา อุดมศักดิ์กุล



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-639-400-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH DENSITY POLYETHYLENE AND  
POLYPROPYLENE BLENDS**



**Miss Apinanthana Udomsakdigool**

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering**

**Department of Industrial Engineering**

**Graduate School**

**Chulalongkorn University**

**Academic Year 1998**

**ISBN 974-639-400-2**



พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

อภิธานศัพท์ อุดมศักดิ์กุล : คุณสมบัติเชิงกลของโพลิเมอร์ผสมระหว่างโพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงกับโพลิโพรพิลีน ( MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH DENSITY POLYETHYLENE AND POLYPROPYLENE BLENDS) อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร ; 224 หน้า. ISBN 974-639-400-2

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของโพลิเมอร์ผสมระหว่างโพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene : HDPE) กับโพลิโพรพิลีน (Polypropylene : PP) โดยมีเอทิลีนโพรพิลีน ไดอีน เทอร์โพลิเมอร์ (Ethylene Propylene Diene Terpolymer : EPDM) เป็นตัวที่ทำให้เข้ากัน คุณสมบัติทางกายภาพที่ศึกษาได้แก่ อัตราการไหล และความอ่วงจําเพาะ สำหรับคุณสมบัติเชิงกลได้ศึกษาถึง คุณสมบัติภายใต้แรงดึง ความแข็ง และความทนต่อแรงกระแทก การทดลองได้แบ่งออกเป็น 2 ชั้นคอน ดังนี้ (1.) ศึกษาอัตราการไหลของโพลิเมอร์ผสม และอุณหภูมิในการฉีดขึ้นรูป (2.) ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ เชิงกล และโครงสร้างจุลภาคของโพลิเมอร์ผสม

โพลิเมอร์ผสมประกอบด้วยสัดส่วนของ HDPE และ PP 0 - 100 % โดยน้ำหนัก สำหรับ EPDM ได้ถูกนำมาผสมในสัดส่วนระหว่าง 0 - 15% โดยน้ำหนัก จึงทดสอบได้จากการฉีดขึ้นรูปโดยเครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding Machine) และได้ควบคุมอุณหภูมิของการฉีดขึ้นรูปในโซนหัวฉีดเป็น  $190^{\circ}\text{C}$   $210^{\circ}\text{C}$  และ  $230^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ และกำหนดให้แรงดันในการฉีดเท่ากับ 35 บาร์

ผลการทดลองในชั้นคอนแรกพบว่าควรฉีดขึ้นรูปโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ที่อุณหภูมิ  $210^{\circ}\text{C}$  คุณสมบัติของโพลิเมอร์ผสมจะแปรไปตามโพลิเมอร์ที่มีปริมาณมากกว่า แต่เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP(75/25) จะมีค่ามากที่สุดคือ 428.37% เมื่อเติม EPDM เข้าไปจะทำให้อัตราการไหล ความอ่วงจําเพาะ ความทนต่อแรงดึง 100% โมดูลัสของความยืดหยุ่น และความแข็งลดลง แต่จะทำให้ความทนต่อแรงเพิ่มขึ้น ส่วนเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นที่ EPDM 5% โดยน้ำหนัก จะทำให้เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นลดลง ส่วนที่ EPDM 10 และ 15% โดยน้ำหนัก จะทำให้เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น โครงสร้างจุลภาคของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP จะมีลักษณะแยกออกเป็นสองเฟสอย่างเห็นได้ชัด โดยมีเฟสหนึ่งกระจายอยู่บนอีกเฟสหนึ่ง เมื่อเติม EPDM เข้าไปจะทำให้โพลิเมอร์ทั้งสองเข้ากันได้มากขึ้น

ภาควิชา ..... วิศวกรรมอุตสาหกรรม  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมอุตสาหกรรม  
ปีการศึกษา ..... 2541 .....

ลายมือชื่อผู้สมัคร .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... น.ส. พัวจินดาเนตร  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....



# 3972365621 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD:

MECHANICAL PROPERTIES / HIGH DENSITY POLYETHYLENE / POLYPROPYLENE / BLENDS  
APINANTHANA UDOMSAKDIGOOL : MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH DENSITY  
POLYETHYLENE AND POLYPROPYLENE BLENDS. THESIS ADVISOR : SOMCHAI PUAJINDANETR,  
Ph.D. 224 pp. ISBN 974-639-400-2.

The objective of this thesis was to study the physical and mechanical properties of high density polyethylene (HDPE) and polypropylene (PP) blends which used ethylene - propylene-diene terpolymer (EPDM) as a compatibilizer. The physical and mechanical properties studied were melt flow rate, specific gravity, tensile properties, hardness, and impact strength and microstructure. The experiment was divided into two steps (1.) Studying the melt flow rate and determining the temperature for injection molding (2.) Investigating the physical and mechanical properties and microstructure.

The composition of polymer blends which were HDPE and PP were varied ranging from 0-100% by weight and EPDM was varied between 0 to 15 % by weight. The specimens were performed by injection molding machine. Die temperature (at nozzle) of injection molding machine were controlled at 190°C, 210°C and 230 °C respectively. The injection pressure was 35 bar.

The experiment results showed that the appropriate injection temperature was 210 °C . The properties of HDPE/PP blends, which were melt flow rate, specific gravity, tensile strength, 100% modulus of elasticity, %elongation, hardness and impact, were dependent on the main portion of the polymer but the HDPE/PP(75/25) blends provided the highest % elongation being 428.37%. EPDM provided the decreasing of the properties of the material such as the melt flow rate, specific gravity, tensile strength, 100% modulus of elasticity and hardness while the impact strength increased. The elongation of polymer blends decreased when added the 5% of EPDM, but increased when added the 10% and 15% of EPDM. The results also proved that HDPE and PP blends were two phase systems that one was dispersed on the other. EPDM could make HDPE and PP more compatible.

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2541

ลายมือชื่อนิสิต 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

## กิตติกรรมประกาศ



วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จล่วงไปด้วยดี เนื่องมาจากความกรุณาของ อาจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ทั้งความรู้ คำปรึกษา ตลอดจนข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ตลอดระยะเวลาของการทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพ็กสีก และ รองศาสตราจารย์ ชุ่ม มลิตา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เครื่องคิดค้นรูปชิ้นงาน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลบางประการ ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ และอำนวยความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จล่วงไปด้วยดี และขอขอบคุณเพื่อนานาชาติ วิศวกรรวมอุตสาหกรรมทุกท่าน ที่ได้ให้กำลังใจมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้เป็นที่รักยิ่งมาแต่ใจ และให้กำลังใจตลอดเวลาจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลง

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1. บทนำ	
1.1 หลักการและเหตุผล.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.5 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	4
บทที่ 2. หลักการพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 หลักการพื้นฐานเกี่ยวกับ โพลีเมอร์.....	6
2.1.1 โพลีเอทิลีน.....	6
2.1.2 โพลีโพรพิลีน.....	7
2.1.3 เอทิลีน โพรพิลีน โคโพลิเมอร์.....	8
2.1.4 การผสมกลมกลืนกัน.....	9
2.1.5 โพลีเมอร์ผสมในอดีตจนถึงปัจจุบัน.....	10
2.1.6 ความสำคัญของการไหล.....	12
2.1.7 การเชื่อมของโพลีเมอร์.....	12
2.2 การวิเคราะห์การทดลอง.....	15
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
บทที่ 3. วิธีดำเนินงานวิจัย	
3.1 การเตรียมส่วนผสมและการขึ้นรูปชิ้นทดสอบ.....	24
3.1.1 วัสดุและอุปกรณ์.....	24
3.1.2 การเตรียมส่วนผสมระหว่าง HDPE PP และ EPDM.....	24
3.1.3 การขึ้นรูปชิ้นทดสอบเพื่อใช้ในการทดสอบคุณสมบัติ.....	24



3.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ.....	25
3.2.1 อัตราการไหลตัว.....	25
3.2.2 ความต้งจำเพาะ.....	26
3.3 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของโพลีเมอร์ผสม.....	27
3.4 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล.....	27
3.4.1 คุณสมบัติภายใต้แรงดึง.....	27
3.4.2 ความแข็ง.....	29
3.4.3 ความทนต่อแรงกระแทก.....	30
<b>บทที่ 4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์</b>	
4.1 ผลการทดสอบอัตราการไหลตัว.....	38
4.2 ผลการตรวจสอบโครงสร้างระดับจุลภาค.....	52
4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกล.....	59
4.3.1 ความต้งจำเพาะ.....	59
4.3.2 ความทนต่อแรงดึง.....	64
4.3.3 100% โมดูลัสของความยืดหยุ่น.....	69
4.3.4 เปอร์เซนต์ความยืดหยุ่น.....	74
4.3.5 ความแข็ง.....	80
4.3.6 ความทนต่อแรงกระแทก.....	85
4.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ.....	90
4.4.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล.....	90
4.4.2 การวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล.....	106
4.5 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของโพลีเมอร์ผสม.....	133
4.5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพ.....	133
4.5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพกับเชิงกล.....	133
4.5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติเชิงกล.....	135
4.5.4 สรุปผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติ.....	137
4.6 สรุปผลการทดลอง.....	159
<b>บทที่ 5. วิจารณ์ผลการทดลอง</b>	
5.1 โครงสร้างจุลภาคของโพลีเมอร์ผสม.....	170



	หน้า
5.2 คุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกล.....	171
5.2.1 อัตราการไหลตัว.....	171
5.2.2 ความต้งจำเพาะ.....	172
5.2.3 ความทนต่อแรงดึง.....	173
5.2.4 100% โมดูลัสของความยืดหยุ่น.....	174
5.2.5 เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น.....	175
5.2.6 ความแข็ง.....	176
5.2.7 ความทนต่อแรงกระแทก.....	177
5.3 ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกล.....	178
5.4 ส่วนตัวของโพลีเมอร์ผสมที่ให้ค่าคุณสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด.....	179
<b>บทที่ 6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	180
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	181
<b>รายการอ้างอิง.....</b>	<b>182</b>
<b>ภาคผนวก.....</b>	<b>186</b>
ภาคผนวก ก.....	187
ภาคผนวก ข.....	198
ภาคผนวก ค.....	216
ภาคผนวก ง.....	217
ภาคผนวก จ.....	219
<b>ประวัติผู้เขียน.....</b>	<b>224</b>

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ส่วนผสมสำหรับ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM.....	31
4.1 ผลของค่าอัตราการไหล ของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ที่อุณหภูมิ 170 °C.....	39
4.2 ผลของค่าอัตราการไหล ของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ที่อุณหภูมิ 190 °C.....	40
4.3 ผลของค่าอัตราการไหล ของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ที่อุณหภูมิ 210 °C.....	41
4.4 ผลของค่าอัตราการไหล ของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ที่อุณหภูมิ 230 °C.....	42
4.5 ผลของค่าอัตราการไหล ของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ที่อุณหภูมิ 250 °C.....	43
4.6 ผลของค่าอัตราการไหล ของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ที่อุณหภูมิ 270 °C.....	44
4.7 การเปลี่ยนของโพลีเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ที่อุณหภูมิ 250 และ 270 °C .....	51
4.8 ผลของค่าความด่างจำเพาะ ของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C.....	60
4.9 ผลของค่าความด่างจำเพาะ ของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP.....	61
4.10 ผลของค่าความทนต่อแรงดึง ของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C.....	65
4.11 ผลของค่าความทนต่อแรงดึง ของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP.....	66
4.12 ผลของค่า 100% โมดูลัสของความยืดหยุ่น ของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	70
4.13 ผลของค่า 100% โมดูลัสของความยืดหยุ่น ของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP.....	71
4.14 ผลของค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น ของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	76
4.15 ผลของค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น ของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP.....	77
4.16 ผลของค่าความแข็ง ของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	81
4.17 ผลของค่าความแข็ง ของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP.....	82
4.18 ผลของค่าความทนต่อแรงกระแทก ของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	86
4.19 ผลของค่าความทนต่อแรงกระแทก ของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP.....	87
4.20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าอัตราการไหลของโพลีเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM.....	91
4.21 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าความด่างจำเพาะของโพลีเมอร์ผสม	



ตารางที่	หน้า
HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	92
4.22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าความถ่วงจำเพาะของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP.....	93
4.23 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าความทนต่อแรงดึงของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	95
4.24 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าความทนต่อแรงดึงของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP.....	96
4.25 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่า 100% โมดูลัสของความยืดหยุ่นของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	97
4.26 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่า 100% โมดูลัสของความยืดหยุ่นของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP.....	98
4.27 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	99
4.28 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP.....	100
4.29 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าความแข็งยืดหยุ่นของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	102
4.30 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าความแข็งยืดหยุ่นของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP.....	103
4.31 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าความทนต่อแรงกระแทกของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	104
4.32 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าความทนต่อแรงกระแทกของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP.....	105
4.33 ผลการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูลค่าอัตราการไหลของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C.....	108
4.34 ผลการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูลค่าความถ่วงจำเพาะของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	110
4.35 ผลการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูลค่าความถ่วงจำเพาะของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP	112
4.36 ผลการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูลค่าความทนต่อแรงดึงของ โพลีเมอร์ผสม	



HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	114
4.37 ผลการวิเคราะห์การดัดของข้อมูลค่าความทนต่อแรงดึงของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP.....	116
4.38 ผลการวิเคราะห์การดัดของข้อมูลค่า %100 โมดูลัสของความยืดหยุ่นของ โพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C.....	118
4.39 ผลการวิเคราะห์การดัดของข้อมูลค่า %100 โมดูลัสของความยืดหยุ่นของ โพลิเมอร์ผสม HDPE/PP.....	120
4.40 ผลการวิเคราะห์การดัดของข้อมูลค่าของเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น โพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	122
4.41 ผลการวิเคราะห์การดัดของข้อมูลค่าของเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น โพลิเมอร์ผสม HDPE/PP.....	124
4.42 ผลการวิเคราะห์การดัดของข้อมูลค่าความแข็งของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C.....	126
4.43 ผลการวิเคราะห์การดัดของข้อมูลค่าความแข็งของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP.....	128
4.44 ผลการวิเคราะห์การดัดของข้อมูลค่าความทนต่อแรงกระแทกของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	130
4.45 ผลการวิเคราะห์การดัดของข้อมูลค่าความทนต่อแรงกระแทกของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP.....	132
4.46 สรุปผลค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM.....	160
4.47 สรุปผลค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	162
4.48 สรุปผลค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP.....	164
4.49 สรุปผลของสมการความสัมพันธ์ระหว่าง HDPE PP และ EPDM ที่มีผลต่อคุณสมบัติ ทางกายภาพและเชิงกลของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C.....	165
4.50 สรุปผลของสมการความสัมพันธ์ระหว่าง HDPE PP และ อลูมิเนียม ที่มีผลต่อคุณสมบัติ ทางกายภาพและเชิงกลของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP.....	166
4.51 สรุปผลของสมการความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติกับคุณสมบัติของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	167

4.52 สรุปผลของสมการความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติกับคุณสมบัติของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP.....	168
5.1 สรุปสัดส่วนของโพลีเมอร์ผสมที่ให้ค่าคุณสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด.....	179



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 ขนาดของแม่พิมพ์รูปคัมเบล ตามมาตรฐาน ASTM D-368M Type III.....	32
3.2 เครื่องทดสอบอัตราการไหลตัว.....	32
3.3 เครื่องตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค.....	33
3.4 เครื่องทดสอบแรงดึง.....	33
3.5 เครื่องทดสอบความแข็ง.....	34
3.6 ขนาดของชิ้นทดสอบที่ใช้ในการทดสอบแรงกระแทก.....	34
3.7 เครื่องทดสอบแรงกระแทก.....	35
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM กับ ปริมาณ PP และ EPDM อุณหภูมิ 170 °C.....	45
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM กับ ปริมาณ PP และ EPDM อุณหภูมิ 190 °C.....	46
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM กับ ปริมาณ PP และ EPDM อุณหภูมิ 210 °C.....	47
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM กับ ปริมาณ PP และ EPDM อุณหภูมิ 230 °C.....	48
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM กับ ปริมาณ PP และ EPDM อุณหภูมิ 250 °C.....	49
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM กับ ปริมาณ PP และ EPDM อุณหภูมิ 270 °C.....	50
4.7 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคผิวหน้ารอยหักของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP(0/100) ไม่มี EPDM ฉีดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 210 °C และมีกำลังขยาย 10,000 เท่า.....	53
4.8 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคผิวหน้ารอยหักของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP(25/75) ไม่มี EPDM ฉีดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 210 °C และมีกำลังขยาย 10,000 เท่า.....	54
4.9 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคผิวหน้ารอยหักของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP(50/50) ไม่มี EPDM ฉีดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 210 °C และมีกำลังขยาย 10,000 เท่า.....	54
4.10 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคผิวหน้ารอยหักของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP(75/25) ไม่มี	



EPDM ฉีดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 210 °C และมีกำลังขยาย 10,000 เท่า .....	55
4.11 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคผิวหน้ารอยหักของโพลีเมอร์ผสม HDPE/PP(100/0) ไม่มี EPDM ฉีดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 210 °C และมีกำลังขยาย 10,000 เท่า.....	55
4.12 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคผิวหน้ารอยหักของโพลีเมอร์ผสม HDPE/PP(25/75) ที่มี EPDM 5 % ฉีดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 210 °C และมีกำลังขยาย 10,000 เท่า.....	56
4.13 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคผิวหน้ารอยหักของโพลีเมอร์ผสม HDPE/PP(25/75) ที่มี EPDM 10 % ฉีดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 210 °C และมีกำลังขยาย 10,000 เท่า.....	56
4.14 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคผิวหน้ารอยหักของโพลีเมอร์ผสม HDPE/PP(25/75) ที่มี EPDM 15 % ฉีดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 210 °C และมีกำลังขยาย 10,000 เท่า.....	57
4.15 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคผิวหน้ารอยหักของโพลีเมอร์ผสม HDPE/PP(25/75) ไม่มี EPDM ฉีดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 190°C และมีกำลังขยาย 10,000 เท่า.....	57
4.16 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคผิวหน้ารอยหักของโพลีเมอร์ผสม HDPE/PP(25/75) ไม่มี EPDM ฉีดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 230°C และมีกำลังขยาย 10,000 เท่า.....	58
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความด่างจำเพาะของโพลีเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM กับ ปริมาณ PP และ EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	62
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความด่างจำเพาะของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP กับ ปริมาณ PP และ อุณหภูมิ.....	63
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงดึงของโพลีเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM กับ ปริมาณ PP และ EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	67
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงดึงของโพลีเมอร์ผสม HDPE/PP กับ ปริมาณ PP และ อุณหภูมิ.....	68
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า 100% โมดูลัสของความยืดหยุ่นของโพลีเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM กับ ปริมาณ PP และ EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	72
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า 100% โมดูลัสของความยืดหยุ่นของโพลีเมอร์ผสม HDPE/PP กับ ปริมาณ PP และ อุณหภูมิ.....	73
4.23 ลักษณะของชั้นทดสอบเมื่อขาดหลังจากการทดสอบคุณสมบัติทางแรงดึง.....	75
4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของ โพลีเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM กับ ปริมาณ PP และ EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	78

รูปที่	หน้า
4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP กับ ปริมาณ PP และ อุณหภูมิ.....	79
4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM กับ ปริมาณ PP และ EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	83
4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP กับ ปริมาณ PP และ อุณหภูมิ.....	84
4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงกระแทกของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM กับ ปริมาณ PP และ EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	88
4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงกระแทกของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP กับ ปริมาณ PP และ อุณหภูมิ.....	89
4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลกับค่าความด่างจำเพาะของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP .....	141
4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลกับค่าความทนต่อแรงดึงของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	141
4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลกับค่าความทนต่อแรงดึงของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP.....	142
4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลกับค่า 100% โมดูลัสของความยืดหยุ่นของ โพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	142
4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลกับค่า 100% โมดูลัสของความยืดหยุ่นของ โพลิเมอร์ผสม HDPE/PP.....	143
4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลกับค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของ โพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	143
4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลกับค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของ โพลิเมอร์ผสม HDPE/PP.....	144
4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลกับค่าความแข็งของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	144
4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลกับค่าความแข็งของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP.....	145
4.49 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลกับค่าความทนต่อแรงกระแทกของ โพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C.....	145



4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลกับค่าความทนต่อแรงกระแทกของ โพลิเมอร์ผสม HDPE/PP.....	146
4.41 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะกับค่าความทนต่อแรงดึงของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP.....	146
4.42 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะกับค่า 100% โมดูลัสของความยืดหยุ่นของ โพลิเมอร์ผสม HDPE/PP.....	147
4.43 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะกับค่าความแข็งของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP	147
4.44 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะกับค่าความทนต่อแรงกระแทกของ โพลิเมอร์ผสม HDPE/PP.....	148
4.45 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงดึงกับค่า 100% โมดูลัสของความยืดหยุ่นของ โพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	149
4.46 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงดึงกับค่า 100% โมดูลัสของความยืดหยุ่นของ โพลิเมอร์ผสม HDPE/PP.....	149
4.47 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงดึงกับค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของ โพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	150
4.48 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงดึงกับค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของ โพลิเมอร์ผสม HDPE/PP.....	150
4.49 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงดึงกับค่าความแข็งของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	151
4.50 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงดึงกับค่าความแข็งของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP.....	151
4.51 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงดึงกับค่าความทนต่อแรงกระแทกของ โพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	152
4.52 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงดึงกับค่าความทนต่อแรงกระแทกของ โพลิเมอร์ผสม HDPE/PP.....	152
4.53 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า 100% โมดูลัสของความยืดหยุ่นกับค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น ของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	153
4.54 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า 100% โมดูลัสของความยืดหยุ่นกับค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น ของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP.....	153



4.55 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า 100% โมดูลัสของความยืดหยุ่นกับค่าความแข็งของ โพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C.....	154
4.56 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า 100% โมดูลัสของความยืดหยุ่นกับค่าความแข็งของ โพลิเมอร์ผสม HDPE/PP.....	154
4.57 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า 100% โมดูลัสของความยืดหยุ่นกับค่าความทนต่อแรงกระทำ ของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	155
4.58 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า 100% โมดูลัสของความยืดหยุ่นกับค่าความทนต่อแรงกระทำ ของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP.....	155
4.59 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นกับค่าความแข็งของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	156
4.60 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นกับค่าความแข็งของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP.....	156
4.61 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นกับค่าความทนต่อแรงกระทำของ โพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C.....	157
4.62 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับค่าความทนต่อแรงกระทำของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP/EPDM ขึ้นรูปที่ 210 °C .....	158
4.63 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับค่าความทนต่อแรงกระทำของโพลิเมอร์ผสม HDPE/PP.....	158