

คุณสมบัติเชิงกลและปัจจัยการติดขึ้นรูปสำหรับ โพลีเมอร์ผสมระหว่าง
โพลีโพรพิลีน และ โพลีเอมีด-6 ที่มีเอทิลีน-โพรพิลีน-ไดอีน โคลิโพลีเมอร์ เป็นตัวช่วยผสม

นางสาว ศรีตัจจา วิทยศักดิ์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974 - 333 - 684 - 2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**MECHANICAL PROPERTIES AND INJECTION MOULDING FACTORS FOR POLYMER
BLENDS BETWEEN POLYPROPYLENE AND POLYAMIDES-6 WITH THE ETHYLENE-
PROPYLENE-DIENE COPOLYMER AS COMPATIBILIZER**



Miss Srisatja Vitayasak

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

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering


Chulalongkorn University

Academic Year 1999


ISBN 974 - 333 - 684 - 2


หัวข้อวิทยานิพนธ์ คุณสมบัติเชิงกตและปัจจัยการฉีดขึ้นรูปสำหรับ โพลีเมอร์ผสมระหว่าง
โพลีโพรพิลีน และ โพลีเอมีด-6 ที่มีเอทิลีน-โพรพิลีน-ไดอิน โคโพลีเมอร์
เป็นตัวช่วยผสม
โดย นางสาว ศรีสัจจา วิทยศักดิ์
ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่ง ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

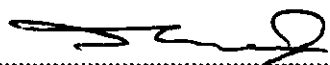

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.รัชชัย สุมิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธาน
(ศาสตราจารย์ ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ จันทนา จันทโร)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพ็ชร์)

ศรีธัจจา วิทศศักดิ์ : คุณสมบัติเชิงกลและปัจจัยการฉีดขึ้นรูปสำหรับโพลิเมอร์ผสมระหว่างโพลิโพรพิลีน และโพลิเอมีค-6 ที่มีเอทิลีน-โพรพิลีน-ไดเอน โคโพลิเมอร์ เป็นตัวช่วยผสม (MECHANICAL PROPERTIES AND INJECTION MOULDING FACTORS FOR POLYMER BLENDS BETWEEN POLYPROPYLENE AND POLYAMIDES-6 WITH THE ETHYLENE-PROPYLENE-DIENE COPOLYMER AS COMPATIBILIZER) อ.ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร ; 216 หน้า. ISBN 974 - 333 - 684 - 2

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของสัดส่วนผสมของโพลิเมอร์ และตัวแปรฉีดขึ้นรูปที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกล และอัตราการฉีดขึ้นรูป โดยวัสดุที่ศึกษา คือ โพลิเมอร์ผสมระหว่างโพลิโพรพิลีน (Polypropylene:PP) และโพลิเอมีค-6 (Polyamides-6:PA-6) ที่มี EPDM (Ethylene-Propylene-Diene Copolymer) เป็นตัวประสาน โดยศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ อัตราการไหล และความหนาแน่น คุณสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความทนต่อแรงดึง โมดูลัสความยืดหยุ่น เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น ความแข็ง และความทนต่อแรงกระแทก การทดลองแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้ (1) ศึกษาอัตราการไหลของโพลิเมอร์ผสมและอุณหภูมิในการฉีดขึ้นรูป นำโพลิเมอร์ผสมประกอบด้วยสัดส่วน ของ PP และ PA-6 ระหว่าง 0-100% โดยน้ำหนัก และ EPDM มาผสม ในสัดส่วนระหว่าง 0-15% โดยน้ำหนัก ซึ่งงานได้จากาการฉีดขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Moulding) (2) ศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนผสมของโพลิเมอร์และตัวแปรฉีดขึ้นรูปที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลกายภาพและเชิงกล และอัตราการฉีดขึ้นรูป โดยตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ แรงดันดันกลับ เวลาเย็นตัว แรงดันรักษาให้ชิ้นงานอยู่ในแม่พิมพ์ เวลารักษาให้ชิ้นงานอยู่ในแม่พิมพ์แรงดันฉีด ความเร็วฉีด อุณหภูมิหัวฉีด และความเร็วรอบสกรู

ผลการทดลองในขั้นตอนแรกพบว่าโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM สามารถฉีดขึ้นรูปที่อุณหภูมิระหว่าง 225-245°C อุณหภูมิที่หัวฉีดมีผลต่อค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของโพลิเมอร์ผสมคือ 245°C สำหรับเวลาเย็นตัว เวลารักษาให้ชิ้นงานอยู่ในแม่พิมพ์และชนิดของโพลิเมอร์มีผลต่ออัตราการฉีดขึ้นรูป โพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM (30/70/15) ซึ่งให้ค่าความทนต่อแรงกระแทกสูงสุดเท่ากับ 7.07 กิโลจูล/ตร.ม.จะใช้รอบเวลาการฉีดขึ้นรูปนาน 30 วินาที โดยต้องทำการฉีดขึ้นรูปที่แรงดันดันกลับ 3 บาร์ เวลาเย็นตัว 12 วินาที แรงดันรักษาให้ชิ้นงานอยู่ในแม่พิมพ์ 12 บาร์ เวลารักษาให้ชิ้นงานอยู่ในแม่พิมพ์ 1 วินาที แรงดันฉีด 25 บาร์ ความเร็วฉีด 30 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิหัวฉีด 225 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบสกรู 25 รอบ/นาที คุณสมบัติของโพลิเมอร์ผสมจะแปรไปตามโพลิเมอร์ที่มีปริมาณมากกว่า เมื่อเติม EPDM เข้าไปจะทำให้อัตราการไหล ความหนาแน่น ความทนต่อแรงดึง โมดูลัสความยืดหยุ่น และความแข็งลดลง แต่จะทำให้เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นและความทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น โครงสร้างจุลภาคของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6 จะมีลักษณะเป็นสองเฟสอย่างชัดเจนเมื่อ PP มีปริมาณน้อยกว่า 50% โดย PP จะกระจายเป็นเม็ดกลมอยู่บนเนื้อพื้นของ PA-6 เมื่อเติม EPDM เข้าไป จะทำให้โพลิเมอร์ทั้งสองเข้ากันได้ดีขึ้น และมีการรวมตัวกันมากขึ้น

ภาควิชา.....วิศวกรรมอุตสาหกรรม.....ลายมือชื่อนิสิต.....ศรีธัจจา วิทศศักดิ์.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมอุตสาหกรรม.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร.....
ปีการศึกษา.....2542.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาพร้อม.....

4070434321 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD: Polymer Blends / Polypropylene / Polyamides-6 / Ethylene-Propylene-Diene Copolymer

SRSATJA VITAYASAK : MECHANICAL PROPERTIES AND INJECTION MOULDING FACTORS FOR POLYMER BLENDS BETWEEN POLYPROPYLENE AND POLYAMIDES-6 WITH THE ETHYLENE-PROPYLENE-DIENE COPOLYMER AS COMPATIBILIZER. THESIS ADVISOR : SOMCHAI PUAJINDANETR, Assistant Professor Ph.D. 216 pp. ISBN 974-333-684-2

The objective of this thesis was to study the effect of composition and injection moulding factors on mechanical properties and cycle time. The materials studied were polypropylene(PP) and polyamides(PA-6) blends which used ethylene-propylene-diene copolymer (EPDM) as a compatibilizer. The physical and mechanical properties studied were melt flow rate, density, tensile properties, impact strength and hardness and microstructure. The experimental study was divided into two stages (1) studying the melt flow rate and determining the temperature for injection moulding. The composition of polymer blends which were PP and PA-6 were varied ranging from 0-100% by weight and EPDM was varied ranging from 0-15% by weight. The specimens were performed using injection moulding machine. (2) studying effect of composition and injection moulding factors on physical and mechanical properties and cycle time. The injection moulding factor investigated were back pressure, cooling time, holding pressure, holding time, injection pressure, injection speed, nozzle temperature and screw speed.

The experimental results showed that the applicable temperature of polymer blends with PP/PA-6/EPDM was between 225-245°C . The nozzle temperature that gave the highest modulus of elasticity was 245°C. Cooling time, holding time and type of polymer were effect on the cycle time. The cycle time of the PP/PA-6/EPDM (30/70/15) that provided the highest impact strength of 7.07 kJ/m² was 30 seconds. The injection moulding factors of the composition were back pressure of 3 bars, cooling time of 12 sec, holding pressure of 12 bars, holding time of 1 sec, injection pressure of 25 bars, injection speed of 30%, nozzle temperature of 225 °C and screw speed of 25 rpm. The The properties of PP/PA-6 blends, which were melt flow rate, density, tensile strength, modulus of elasticity, % elongation, impact strength and hardness were dependent on the main portion of polymer . Increasing with EPDM decreased with the properties of the material such as melt flow rate, density, tensile strength, modulus of elasticity and hardness whereas increased with %elongation and impact strength. Microstructure of PP/PA-6/EPDM blends showed two phases system that the less one was dispersed on the other. EPDM could make PP and PA-6 more compatible.

ภาควิชา.....วิศวกรรมอุตสาหกรรม.....

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา.....วิศวกรรมอุตสาหกรรม.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา: 2542.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงไปด้วยดี เนื่องจากความกรุณาของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ทั้งความรู้ คำปรึกษา ตลอดจนข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ตลอดระยะเวลาของการทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ จันทนา จันทโร และ รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพ็ชร์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เครื่องฉีดขึ้นรูป ชิ้นงาน เครื่องทดสอบแรงดึง และเครื่องทดสอบแรงกระแทก ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง ของทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ และอำนวยความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลง ด้วยดี และขอขอบคุณเพื่อนานาชาติภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมทุกท่านที่ได้ให้กำลังใจ มาโดยตลอด

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา ผู้เป็นที่รักยิ่งที่ห่วงใย 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.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.5 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	5
บทที่ 2 หลักการพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 หลักการพื้นฐานเกี่ยวกับ โพลีเมอร์.....	6
2.1.1 โพลีโพรพิลีน.....	6
2.1.2 โพลีเอมีด.....	7
2.1.3 เอทิลีน-โพรพิลีน-ไดอีน-โค โพลีเมอร์.....	9
2.1.4 โพลีเมอร์ผสม.....	10
2.1.5 การผสมกลมกลืนกัน.....	11
2.1.6 ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการควบคุมการฉีดขึ้นรูปพลาสติก.....	14
2.1.7 ความสำคัญของการ ไทเท.....	17
2.1.8 การเสื่อมของโพลีเมอร์.....	18
2.2 การวิเคราะห์การถดถอย.....	19
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	
3.1 การเตรียมส่วนผสมและการขึ้นรูปชิ้นทดสอบ.....	28

3.1.1	วัสดุและอุปกรณ์.....	28
3.1.2	การเตรียมส่วนผสมระหว่าง PP PA-6 และ EPDM.....	28
3.1.3	การขึ้นรูปขึ้นทดสอบ.....	28
3.2	การทดสอบอัตราการไหลตัว.....	30
3.3	การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของรีนทดสอบ.....	31
3.4	การทดสอบความหนาแน่นและคุณสมบัติเชิงกล.....	32
3.4.1	ความหนาแน่น.....	32
3.4.2	คุณสมบัติภายใต้แรงดึง.....	32
3.4.3	การทดสอบความแข็งแรงของวัสดุภายใต้แรงกระแทก.....	34
3.4.3	การทดสอบความแข็ง.....	34
3.5	การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ.....	35
3.5.1	การวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	35
3.5.2	การวิเคราะห์การถดถอย.....	35
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์		
4.1	ผลการทดสอบอัตราการไหลตัว.....	37
4.2	ผลการพิจารณาตัวแปรการฉีดขึ้นรูป.....	44
4.2.1	ลักษณะทางกายภาพ.....	45
4.2.2	น้ำหนักชิ้นงาน.....	46
4.2.3	เปอร์เซ็นต์หดตัว.....	50
4.2.4	ความทนต่อแรงดึง.....	54
4.2.5	โมดูลัสความยืดหยุ่น.....	58
4.2.6	เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น.....	62
4.2.7	ความทนต่อแรงกระแทก.....	66
4.2.8	ความแข็ง.....	70
4.2.9	รอบเวลาการฉีดขึ้นรูป.....	74
4.2.10	สรุปการพิจารณาตัวแปรการฉีดขึ้นรูป.....	79
4.3	ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค.....	80

4.4 ผลการทดสอบลักษณะทางกายภาพ ความหนาแน่นและคุณสมบัติเชิงกล.....	86
4.4.1 ลักษณะทางกายภาพ.....	86
4.4.2 ความหนาแน่น	87
4.4.3 ความทนต่อแรงดึง.....	87
4.4.4 โมดูลัสความยืดหยุ่น.....	87
4.4.5 เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น.....	96
4.4.6 ความทนต่อแรงกระแทก.....	96
4.4.7 ความแข็ง.....	96
4.5 การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ.....	102
4.5.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล.....	102
4.5.2 การวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล.....	115
4.6 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของ โพลีเมอร์ผสม.....	127
4.6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้โพลีเมอร์ผสมกับความหนาแน่น และคุณสมบัติเชิงกล.....	127
4.6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับคุณสมบัติเชิงกล.....	128
4.6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติเชิงกล.....	128
4.6.4 สรุปผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติ.....	129
4.7 สรุปผลการทดลอง.....	136
บทที่ 5 วิจัยผลการศึกษา	
5.1 โครงสร้างทางจุลภาคของ โพลีเมอร์ผสม.....	142
5.2 ตัวแปรการฉีดขึ้นรูป.....	143
5.3 คุณสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกล.....	143
5.3.1 อัตราการใช้โพลีเมอร์ผสม.....	143
5.3.2 ความหนาแน่น	145
5.3.3 ความทนต่อแรงดึง.....	145
5.3.4 โมดูลัสความยืดหยุ่น.....	146
5.3.5 เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น.....	147

5.3.6 ความทนต่อแรงกระแทก.....	147
5.3.7 ความแข็ง.....	148
5.4 ความสัมพันธ์ของอัตราการใช้ตัว คุณสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกล.....	148
5.5 สัดส่วนของโพลีเมอร์ผสมที่ให้ค่าคุณสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด.....	149
5.6 การเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่าง โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM กับ PP/HDPE/EPDM.....	149
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	155
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	156
รายการอ้างอิง.....	158
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ผลภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของโพลีเมอร์ผสม.....	162
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกล.....	173
ภาคผนวก ค ตัวอย่างผลการรันโปรแกรม SPSS Version 7.5.1.....	201
ประวัติผู้เขียน.....	216

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 คุณสมบัติของโพลีไตรฟีนและ โพลีไพโรฟีน.....	2
2.1 คุณสมบัติของโพลีไพโรฟีน.....	7
2.2 คุณสมบัติของโพลีเอมิด โดยแบ่งตามเกรด.....	9
2.3 คุณสมบัติเชิงกลของสัปดาห์ผสม โดยน้ำหนักที่แตกต่างกัน.....	24
3.1 ส่วนผสมสำหรับ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM.....	29
3.2 ค่าตัวแปรการฉีดขึ้นรูป.....	30
4.1 ผลของค่าเฉลี่ยอัตราการไหลตัวของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหลอมละลาย 225°C.....	38
4.2 ผลของค่าเฉลี่ยอัตราการไหลตัวของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหลอมละลาย 235°C.....	38
4.3 ผลของค่าเฉลี่ยอัตราการไหลตัวของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหลอมละลาย 245°C.....	39
4.4 ผลของค่าเฉลี่ยน้ำหนักของชิ้นงานของ PP และ PA-6 เมื่อมีการเปลี่ยน ค่าตัวแปรฉีดขึ้นรูปและค่า P-value ที่คำนวณได้จากการทดสอบ ANOVA	47
4.5 ผลของค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์หดตัวของชิ้นงานของ PP และ PA-6 เมื่อมีการเปลี่ยน ค่าตัวแปรฉีดขึ้นรูป และค่า P-value ที่คำนวณได้จากการทดสอบ ANOVA.....	51
4.6 ผลของค่าเฉลี่ยความทนต่อแรงดึงของ PP และ PA- 6 เมื่อมีการเปลี่ยน ค่าตัวแปรฉีดขึ้นรูปและค่า P-value ที่คำนวณได้จากการทดสอบ ANOVA	55
4.7 ผลของค่าเฉลี่ยโมดูลัสความยืดหยุ่นของ PP และ PA-6 เมื่อมีการเปลี่ยน ค่าตัวแปรฉีดขึ้นรูปและค่า P-value ที่คำนวณได้จากการทดสอบ ANOVA	59
4.8 ผลของค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของ PP และ PA-6 เมื่อมีการเปลี่ยน ค่าตัวแปรฉีดขึ้นรูปและค่า P-value ที่คำนวณได้จากการทดสอบ ANOVA.....	63
4.9 ผลของค่าเฉลี่ยความทนต่อแรงกระแทกของ PP และ PA-6 เมื่อมีการเปลี่ยน ค่าตัวแปรฉีดขึ้นรูปและค่า P-value ที่คำนวณได้จากการทดสอบ ANOVA	67

4.10 ผลของค่าเฉลี่ยความแข็งของ PP และ PA-6 เมื่อมีการเปลี่ยน ค่าตัวแปรชนิดขึ้นรูปและค่า P-value ที่คำนวณ ได้จากการทดสอบ ANOVA.....	71
4.11 ผลของค่าเฉลี่ยรอบเวลาการฉีดขึ้นรูปของ PP และ PA-6 เมื่อมีการเปลี่ยน ค่าตัวแปรชนิดขึ้นรูป.....	75
4.12 สรุปผลของตัวแปรชนิดขึ้นรูปที่มีผลต่อคุณสมบัติเมื่อพิจารณาจากค่า P-value.....	78
4.13 ค่าตัวแปรชนิดขึ้นรูปที่ให้ลักษณะทางกายภาพที่ดี.....	86
4.14 ผลของค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225 °C	88
4.15 ผลของค่าเฉลี่ยความทนต่อแรงดึงของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225 °C.....	88
4.16 ผลของค่าเฉลี่ยโมดูลัสความยืดหยุ่นของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225°C.....	89
4.17 ผลของค่าเฉลี่ยโมดูลัสความยืดหยุ่นของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 245°C.....	89
4.18 ผลของค่าเฉลี่ยโมดูลัสความยืดหยุ่นของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 260°C.....	90
4.19 ผลของค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225 °C	97
4.20 ผลของค่าเฉลี่ยความทนต่อแรงกระแทกของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225 °C.....	97
4.21 ผลของค่าเฉลี่ยความแข็งของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225 °C.....	98
4.22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าอัตราการไหลตัวของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM.....	103
4.23 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าความหนาแน่นของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225 °C	104

4.24 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าความทนต่อแรงดึงของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225 °C	105
4.25 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225 °C.....	106
4.26 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM และอุณหภูมิหัวฉีด.....	108
4.27 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225 °C.....	109
4.28 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าความทนต่อแรงกระแทกของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225 °C	111
4.29 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าความแข็งของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225 °C	112
4.30 ผลสรุปการวิเคราะห์ความแปรปรวนของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM.....	113
4.31 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของข้อมูล ค่าอัตราการไหลตัวของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหลอมละลาย 225 °C.....	116
4.32 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของข้อมูล ค่าอัตราการไหลตัวของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหลอมละลาย 235 °C.....	117
4.33 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของข้อมูล ค่าอัตราการไหลตัวของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหลอมละลาย 245 °C.....	117
4.34 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของข้อมูล ค่าความหนาแน่นของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225 °C.....	119
4.35 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยข้อมูล ค่าความทนต่อแรงดึงของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225 °C.....	120
4.36 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยข้อมูล ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225 °C.....	122

4.37 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยข้อมูล ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 245°C.....	122
4.38 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยข้อมูล ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 260°C.....	123
4.39 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของข้อมูล ค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225°C....	124
4.40 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของข้อมูล ค่าความทนต่อแรงกระแทกของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225°	125
4.41 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของข้อมูล ค่าความแข็งของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225°C	127
4.42 สรุปผลค่าเฉลี่ยอัตราการไหลตัวของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM.....	137
4.43 สรุปผลค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกลของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM.....	138
4.44 สรุปผลของสมการความสัมพันธ์ระหว่าง PP PA-6 และ EPDM ที่มีต่อ คุณสมบัติเชิงกายภาพ และเชิงกลของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM.....	140
4.45 สรุปผลของสมการความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติกับคุณสมบัติของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM.....	141
5.1 สรุปสัดส่วนผสมที่ให้ค่าคุณสมบัติเชิงกลดีที่สุด.....	150
5.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่าง โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM กับ HDPE/PP/EPDM.....	153

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โมโนเมอร์ที่ให้ความไม่อึดตัวในยาง EPDM.....	10
2.2 ผลของพารามิเตอร์ที่สามารถควบคุมได้.....	16
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลตัวของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM กับปริมาณ PA-6 และ EPDM ที่อุณหภูมิหลอมละลาย 225°C.....	40
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลตัวของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM กับปริมาณ PA-6 และ EPDM ที่อุณหภูมิหลอมละลาย 235°C.....	41
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลตัวของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM กับปริมาณ PA-6 และ EPDM ที่อุณหภูมิหลอมละลาย 245°C.....	42
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลตัวของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM กับอุณหภูมิหลอมละลาย.....	43
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักชิ้นงานของโพลิเมอร์ PP และ PA-6 กับตัวแปรฉีดขึ้นรูป.....	48
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์หดตัวของชิ้นงานของโพลิเมอร์ PP และ PA-6 กับตัวแปรฉีดขึ้นรูป.....	52
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงดึงของโพลิเมอร์ PP และ PA-6 กับตัวแปรฉีดขึ้นรูป.....	56
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของโพลิเมอร์ PP และ PA-6 กับตัวแปรฉีดขึ้นรูป.....	60
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของโพลิเมอร์ PP และ PA-6 กับตัวแปรฉีดขึ้นรูป.....	64
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงกระแทกของโพลิเมอร์ PP และ PA-6 กับตัวแปรฉีดขึ้นรูป.....	68

4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งของโพลิเมอร์ PP และ PA-6 กับตัวแปรฉีดขึ้นรูป.....	72
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ารอบเวลาการฉีดขึ้นรูปของโพลิเมอร์ PP และ PA-6 กับตัวแปรฉีดขึ้นรูป.....	76
4.13 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคบริเวณผิวหน้ารอยหักของ PP ที่มี กำลังขยาย 1,500 เท่า ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225°C.....	81
4.14 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคบริเวณผิวหน้ารอยหักของ PA-6 ที่มี กำลังขยาย 1,500 เท่า ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225°C.....	81
4.15 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคบริเวณผิวหน้ารอยหักของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6 (90/10) ไม่มี EPDM ที่มีกำลังขยาย 1,500 เท่า ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225°C.....	82
4.16 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคบริเวณผิวหน้ารอยหักของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6 (70/30) ไม่มี EPDM ที่มีกำลังขยาย 1,500 เท่า ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225°C	82
4.17 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคบริเวณผิวหน้ารอยหักของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6 (50/50) ไม่มี EPDM ที่มีกำลังขยาย 1,500 เท่า ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225°C.....	83
4.18 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคบริเวณผิวหน้ารอยหักของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6 (30/70) ไม่มี EPDM ที่มีกำลังขยาย 1,500 เท่า ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225°C	83
4.19 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคบริเวณผิวหน้ารอยหักของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6 (10/90) ไม่มี EPDM ที่มีกำลังขยาย 1,500 เท่า ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225°C	84
4.20 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคบริเวณผิวหน้ารอยหักของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6 (10/90) มี EPDM 5% ที่กำลังขยาย 1,500 เท่า ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225°C.....	84
4.21 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคบริเวณผิวหน้ารอยหักของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6 (10/90) มี EPDM 10% ที่กำลังขยาย 1,500 เท่า ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225°C.....	85
4.22 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคบริเวณผิวหน้ารอยหักของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6 (10/90) มี EPDM 15% ที่กำลังขยาย 1,500 เท่า ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225°C.....	85
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM กับปริมาณ PA-6 และ EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225°C	91

4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงดึงของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM กับปริมาณ PA-6 และ EPDM.....	92
4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM กับปริมาณ PA-6 และ EPDM ที่อุณหภูมิ 225°C.....	93
4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นกับปริมาณ EPDM ที่อุณหภูมิหัวใจ 225°C.....	94
4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM กับปริมาณ PA-6 และ EPDM ตั้งแต่อุณหภูมิ 225 - 260 °C.....	95
4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM กับปริมาณ PA-6 และ EPDM ที่อุณหภูมิหัวใจ 225°C.....	99
4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงกระทำของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM กับปริมาณ PA-6 และ EPDM ที่อุณหภูมิหัวใจ 225°C.....	100
4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM กับปริมาณ PA-6 และ EPDM ที่อุณหภูมิหัวใจ 225°C	101
4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลตัวกับค่าความหนาแน่นของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิ 225°C.....	131
4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลตัวกับค่าความทนต่อแรงดึงของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิ 225°C.....	131
4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลตัวกับค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิ 225°C.....	132
4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลตัวกับค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิ 245°C.....	132
4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลตัวกับค่าความแข็งของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิ 225°C.....	133
4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับค่าความทนต่อแรงดึงของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวใจ 225°C.....	133

4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงดึงกับค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิห้อง 225°C.....	134
4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงดึงกับค่าความแข็งของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิห้อง 225°C.....	134
4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นกับค่าความแข็งของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิห้อง 225°C.....	135
5.1 การเปรียบเทียบค่าความทนต่อแรงดึงระหว่างโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6(50/50) กับ PP/HDPE(50/50).....	151
5.2 การเปรียบเทียบค่าความทนต่อแรงกระทำระหว่างโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6(50/50) กับ PP/HDPE(50/50).....	151
5.3 การเปรียบเทียบค่าความแข็งระหว่างโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6(50/50) กับ PP/HDPE(50/50).....	152