

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์

การดำเนินงานวิจัยได้กำหนดไว้ดังบทที่ 3 และงานวิจัยนี้ได้กำหนดการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาคุณสมบัติที่ใช้ในการผสม PP PA-6 และ EPDM ส่วนขั้นตอนที่ 2 จะศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนผสมของโพลีเมอร์และตัวแปรการฉีดขึ้นรูปที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลและอัตราการฉีดขึ้นรูป ดังนั้นจึงสามารถลำดับผลการทดลองและการวิเคราะห์ดังนี้

1. ผลการทดสอบอัตราการไหลตัว
2. ผลการพิจารณาตัวแปรการฉีดขึ้นรูป
3. ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค
4. ผลการทดสอบลักษณะทางกายภาพ คุณสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกล
5. การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ
6. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลตัว ความหนาแน่น และคุณสมบัติเชิงกลกับสัดส่วนผสม และคุณสมบัติเชิงกลกับคุณสมบัติเชิงกล
7. สรุปตารางผลการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.1 ผลการทดสอบอัตราการไหลตัว

จากการทดสอบอัตราการไหลตัวของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EDPM โดย PP และ PA-6 ในสัดส่วนผสม PP/PA-6 มีค่าระหว่าง 0-100 %wt ส่วน EPDM มีค่าระหว่าง 0-15 %wt ตามแผนการทดลองและสูตรทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง อุณหภูมิหลอมละลายที่ใช้ในการทดสอบอยู่ที่ 225°C 235 °C และ 245°C สาเหตุที่ใช้อุณหภูมิในช่วงนี้เนื่องจาก PA-6 สามารถเริ่มหลอมตัวที่อุณหภูมิ 225°C และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิหลอมละลายไปที่ 250°C ปรากฏว่าทำให้เกิดการเสื่อมของโพลิเมอร์ คือสีของโพลิเมอร์เปลี่ยนเป็นสีเหลือง ดังนั้นในการทดสอบจึงใช้อุณหภูมิหลอมละลายดังกล่าว ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4.1-4.3 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.1-4.3 โดยแสดงเป็นค่าเฉลี่ยอัตราการไหลตัว

จากรูปที่ 4.1 ถึง 4.3 แสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลตัวเพิ่มขึ้นเมื่อ % PA-6 และอุณหภูมิหลอมละลายเพิ่มขึ้น แต่ค่าอัตราการไหลตัวจะลดลงเมื่อปริมาณ EPDM เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.1 ผลของค่าเฉลี่ยอัตราการไหลตัวของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM  
ที่อุณหภูมิหลอมละลาย 225 °C

หน่วย : กรัม/10 นาที

PP/PA-6 %W/W	EPDM			
	0 %w	5 %w	10 %w	15 %w
100/0	1.457 ± 0.042	1.348 ± 0.037	1.149 ± 0.069	0.723 ± 0.021
90/10	1.565 ± 0.023	1.476 ± 0.020	1.333 ± 0.045	0.716 ± 0.026
70/30	2.259 ± 0.037	1.782 ± 0.009	1.545 ± 0.074	1.053 ± 0.049
50/50	2.809 ± 0.048	1.953 ± 0.024	1.680 ± 0.021	1.368 ± 0.033
30/70	4.223 ± 0.155	2.357 ± 0.028	2.047 ± 0.103	1.664 ± 0.071
10/90	4.721 ± 0.018	3.519 ± 0.106	3.110 ± 0.070	2.319 ± 0.062
0/100	5.700 ± 0.089	5.037 ± 0.093	4.423 ± 0.035	3.970 ± 0.056

ตารางที่ 4.2 ผลของค่าเฉลี่ยอัตราการไหลตัวของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM  
ที่อุณหภูมิหลอมละลาย 235 °C

หน่วย : กรัม/10 นาที

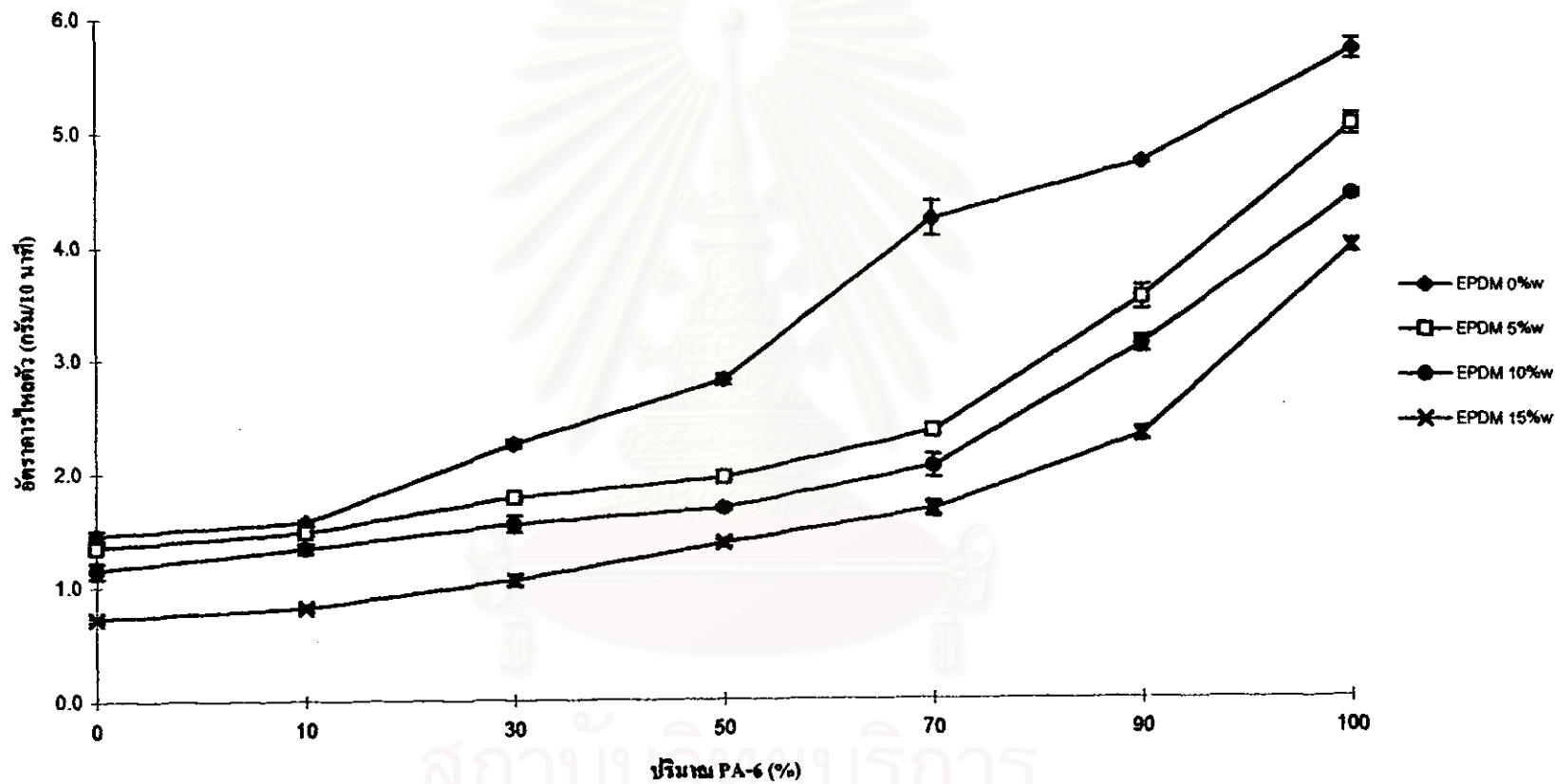
PP/PA-6 %W/W	EPDM			
	0 %w	5 %w	10 %w	15 %w
100/0	1.880 ± 0.050	1.561 ± 0.015	1.260 ± 0.022	0.933 ± 0.012
90/10	1.967 ± 0.013	1.668 ± 0.038	1.373 ± 0.023	1.094 ± 0.025
70/30	2.947 ± 0.028	2.376 ± 0.016	2.135 ± 0.040	1.452 ± 0.045
50/50	3.761 ± 0.129	3.101 ± 0.070	2.351 ± 0.010	1.909 ± 0.095
30/70	5.359 ± 0.121	4.817 ± 0.152	3.641 ± 0.066	3.227 ± 0.013
10/90	6.511 ± 0.029	5.671 ± 0.064	4.531 ± 0.010	4.110 ± 0.070
0/100	6.972 ± 0.048	6.064 ± 0.052	5.233 ± 0.045	4.631 ± 0.058

ตารางที่ 4.3 ผลของค่าเฉลี่ยอัตราการใช้ของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM  
ที่อุณหภูมิหลอมละลาย 245 °C

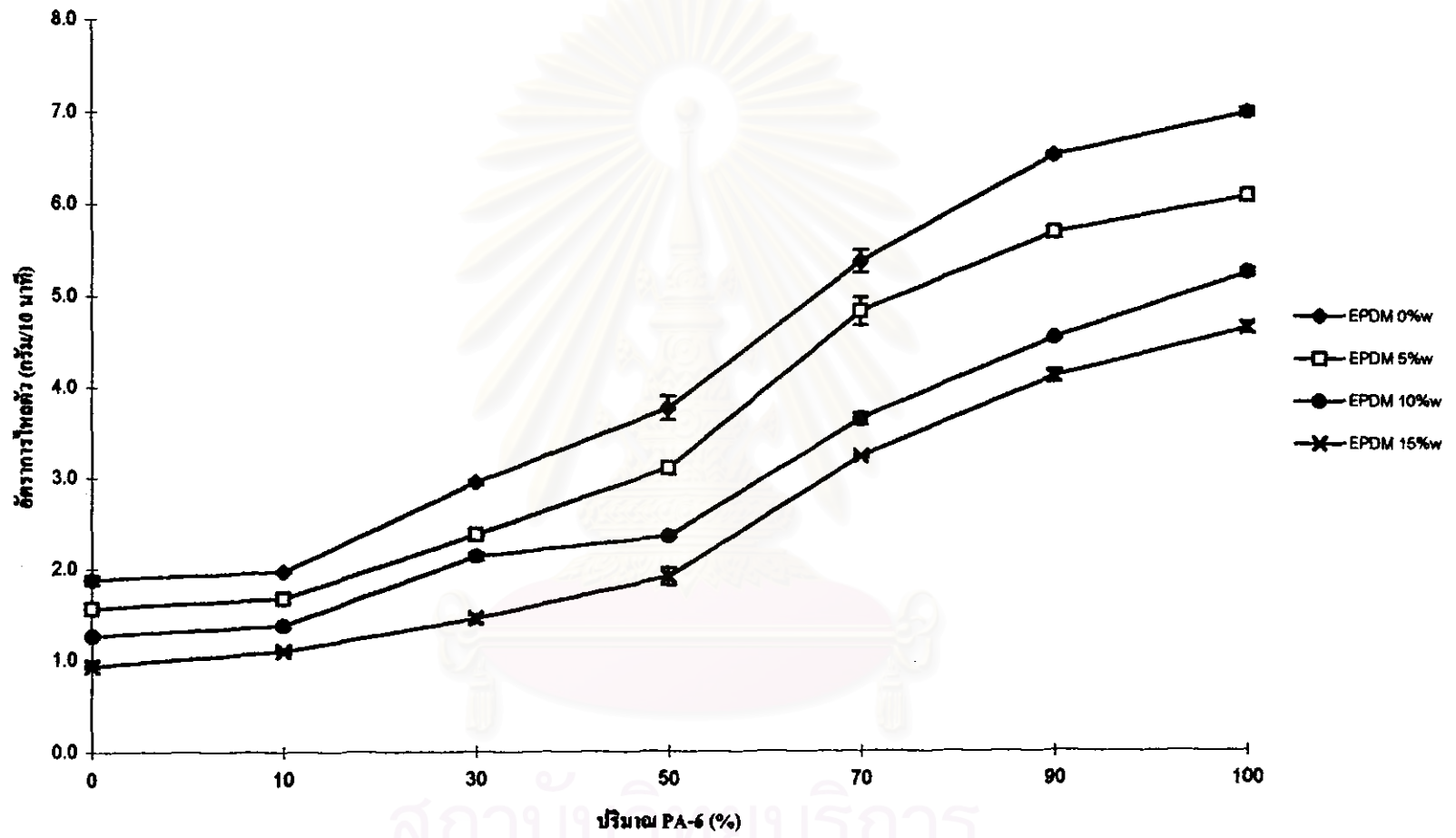
หน่วย : กรัม/10 นาที

PP/PA-6 %W/W	EPDM			
	0 %w	5 %w	10 %w	15 %w
100/0	2.269 ± 0.107	1.761 ± 0.044	1.317 ± 0.069	1.125 ± 0.022
90/10	2.635 ± 0.006	2.076 ± 0.028	1.469 ± 0.019	1.323 ± 0.015
70/30	3.764 ± 0.022	3.121 ± 0.030	2.610 ± 0.043	2.328 ± 0.081
50/50	5.308 ± 0.060	4.615 ± 0.086	4.100 ± 0.017	3.690 ± 0.056
30/70	7.211 ± 0.086	6.079 ± 0.055	5.348 ± 0.026	4.906 ± 0.014
10/90	7.807 ± 0.095	6.689 ± 0.024	6.137 ± 0.048	5.294 ± 0.038
0/100	8.659 ± 0.275	7.380 ± 0.092	6.427 ± 0.042	5.972 ± 0.047

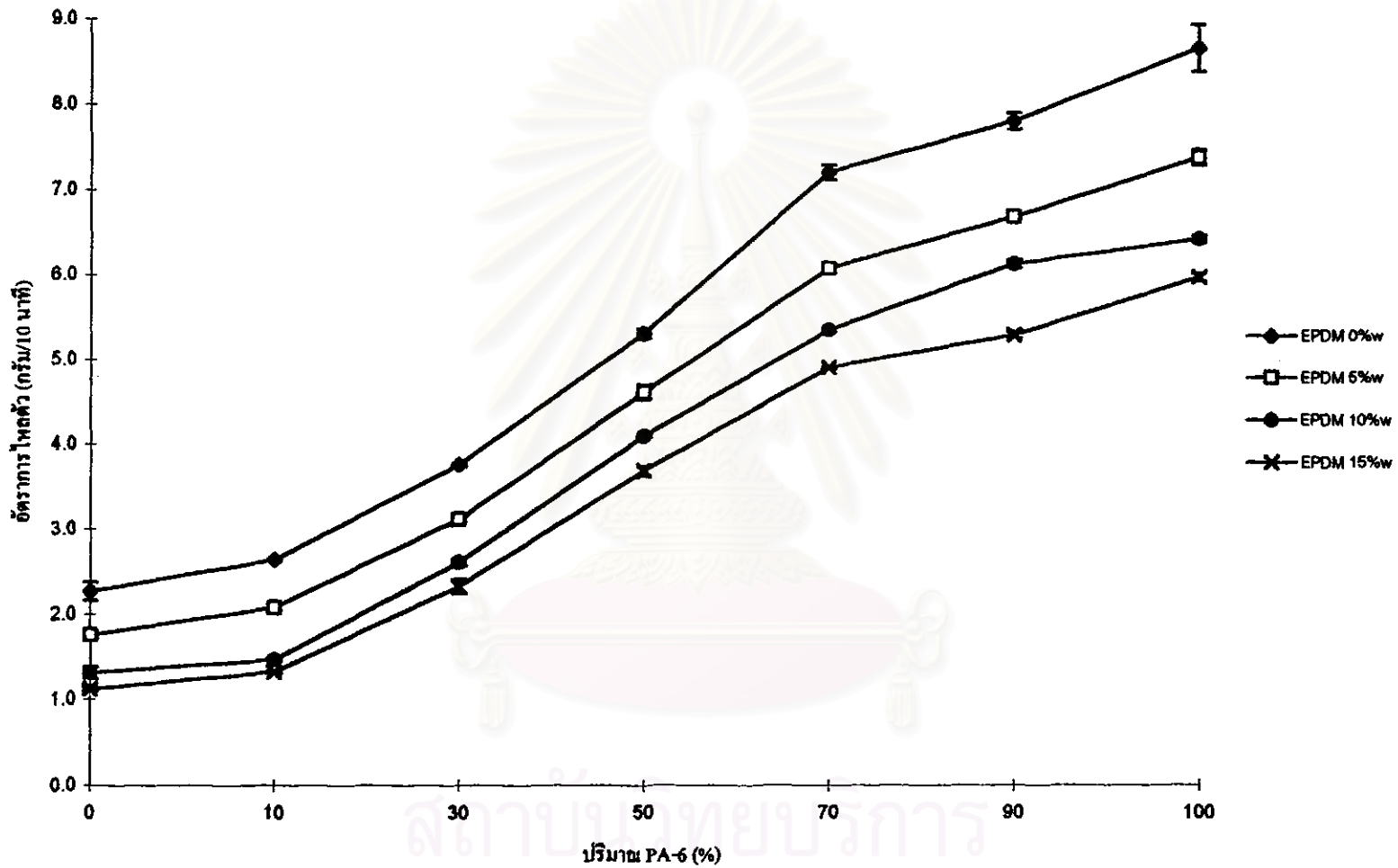
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



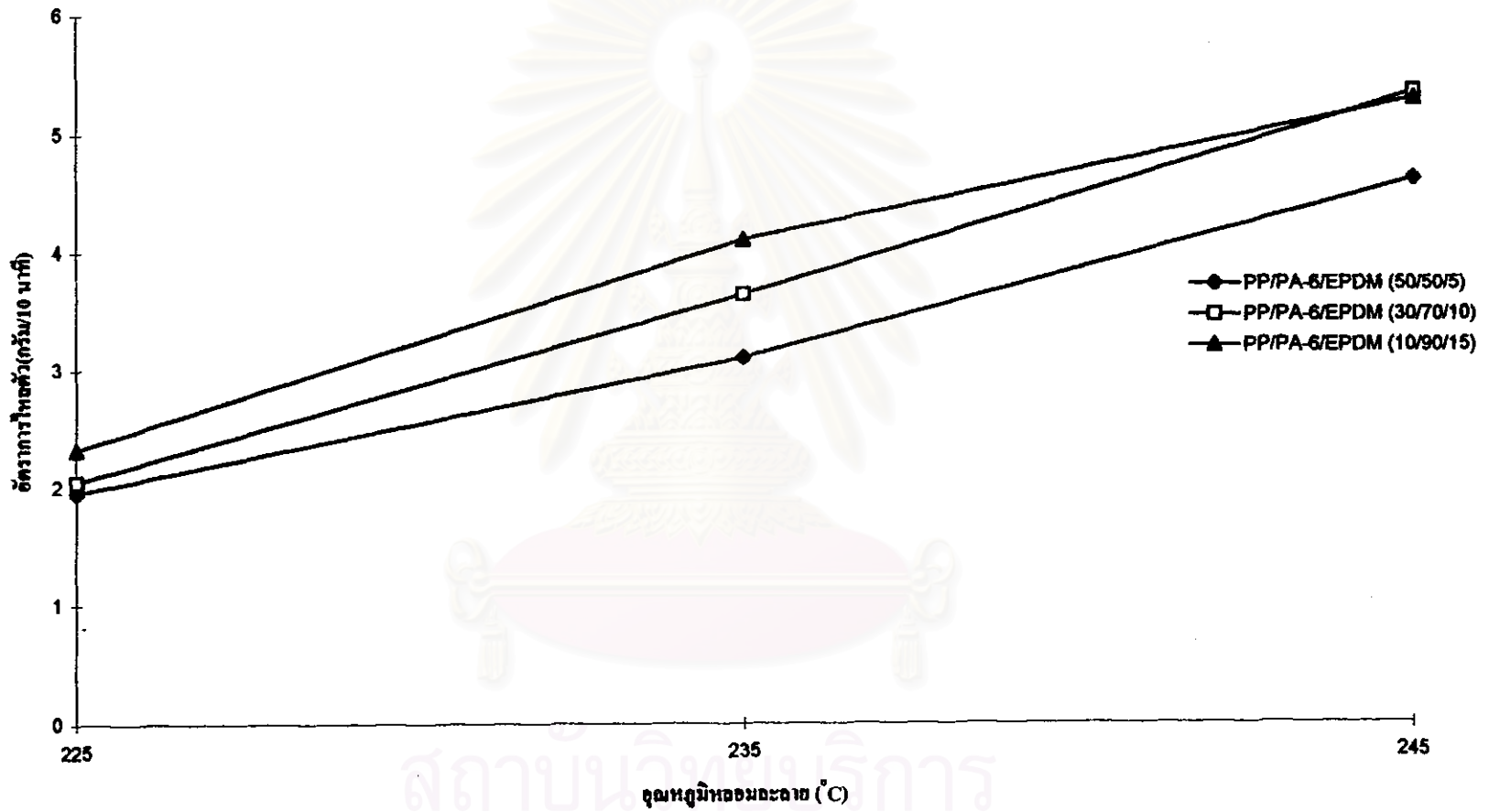
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลตัวของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM กับปริมาณ PA-6 และ EPDM ที่อุณหภูมิหลอมละลาย 225 °C



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลตัวของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM กับปริมาณ PA-6 และ EPDM ที่อุณหภูมิหลอมละลาย 235 °C



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลตัวของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM กับปริมาณ PA-6 และ EPDM ที่อุณหภูมิหลอมละลาย 245 °C



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการใช้ตัวเติมของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM กับอุณหภูมิหลอมละลาย



## 4.2 ผลการพิจารณาตัวแปรการฉีดขึ้นรูป

ในการพิจารณาเลือกตัวแปรการฉีดขึ้นรูปเพื่อนำไปใช้ในการศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนผสมของโพลีเมอร์ และตัวแปรการฉีดขึ้นรูปที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลและอัตราการฉีดขึ้นรูปต่อไป ได้ทำการพิจารณาถึงอิทธิพลของตัวแปรฉีดขึ้นรูปที่มีต่อทั้ง 9 คุณสมบัติ ดังนี้

4.2.1 ลักษณะทางกายภาพ

4.2.2 น้ำหนักชิ้นงาน

4.2.3 เปอร์เซ็นต์การหดตัว

4.2.4 ความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength)

4.2.5 โมดูลัสของความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)

4.2.6 เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น (% Elongation)

4.2.7 ความทนต่อแรงกระแทก (Impact Strength)

4.2.8 ความแข็ง (Hardness)

4.2.9 รอบการฉีดขึ้นรูป (Cycle time)

ค่าตัวแปรฉีดขึ้นรูปดังตารางที่ 3.2 และโพลีเมอร์ที่ใช้คือ PP และ PA-6 โดยจะทำการพิจารณาว่าตัวแปรฉีดขึ้นรูปตัวใดมีผลต่อคุณสมบัติในหัวข้อที่ 4.2.2 ถึง 4.2.9 อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่อย่างไร เมื่อได้ผลการทดลองของคุณสมบัติทั้ง 9 คุณสมบัติแล้ว จะนำผลการทดลองดังกล่าวไปหาค่า P-value โดยใช้โปรแกรม SPSS 7.5.1 จากค่า P-value ที่คำนวณได้นำไปเปรียบเทียบกับค่า P-value ที่กำหนดไว้คือ 0.05 ถ้าค่า P-value ที่คำนวณได้น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรฉีดขึ้นรูปตัวนั้นมีผลอย่างมีนัยสำคัญ แต่ถ้าค่า P-value ที่คำนวณได้มากกว่า 0.05 แสดงว่าตัวแปรฉีดขึ้นรูปตัวนั้นไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 4.2.1 ลักษณะทางกายภาพ

### 4.2.1.1 โพลีโพรพิลีน

จากการทดลองขึ้นรูปชิ้นงาน โพลีเมอร์ชนิด PP โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรการฉีดขึ้นรูปทั้ง 8 ตัวแปร และนำชิ้นงานมาตรวจสอบลักษณะทางกายภาพคือ ติ รอยขุ่นขาว และ ลักษณะผิวชิ้นงาน ตัวแปรฉีดขึ้นรูปที่มีผลต่อชิ้นงานคือ

1. Holding time เมื่อค่า holding time เพิ่มขึ้นจะทำให้ชิ้นงานมีรอยขุ่นขาวน้อยลงจนไม่มีเลย และผิวเรียบมากขึ้น
2. Cooling time เมื่อ cooling time เพิ่มขึ้นจะทำให้ชิ้นงานมีรอยขุ่นขาวน้อยลงจนไม่มีเลย
3. Nozzle temperature เมื่อ Nozzle temperature เพิ่มขึ้นจะทำให้รอยขุ่นขาวน้อยลง

และเมื่อนำตัวแปรทั้งสามนี้ไปทำการทดลองอีกครั้งเพื่อศึกษา Interaction ระหว่างตัวแปร ซึ่งสรุปได้ว่า เมื่อพิจารณาเฉพาะด้านลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานที่ดีที่สุดควรฉีดขึ้นรูปที่ Injection speed 30% Injection pressure 25 บาร์ Back pressure 3 บาร์ Holding pressure 12 บาร์ Screw speed 25 รอบ/นาที Cooling time 25 วินาที Holding time 10 วินาที Nozzle temperature จะตั้งค่าที่ 200 °C หรือ 260°C ก็ได้เนื่องจากไม่ทำให้ชิ้นงานเกิดความแตกต่าง แต่ควรเลือกใช้ Nozzle temperature ที่ 200 °C เพราะทำให้ลดการใช้พลังงานในการฉีดขึ้นรูป

### 4.2.1.2 โพลีเอมีด-6

จากการทดลองขึ้นรูปชิ้นงาน โพลีเมอร์ชนิด PA-6 โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรฉีดขึ้นรูปทั้ง 8 ตัวแปร และนำชิ้นงานมาตรวจสอบลักษณะทางกายภาพคือ ติ รอยขุ่นขาว และ ลักษณะผิวชิ้นงาน จะได้ว่าตัวแปรฉีดไม่มีผลต่อชิ้นงาน ดังนั้น PA-6 ควรฉีดขึ้นรูปที่ Injection speed 30% Injection pressure 25 บาร์ Back pressure 3 บาร์ Holding pressure 12 บาร์ Screw speed 25 รอบ/นาที Cooling time 12 วินาที Holding time 1 วินาที Nozzle temperature 225 °C

## 4.2.2 น้ำหนักชิ้นงาน

### 4.2.2.1 โพลีโพรพิลีน

จากการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานโพลีเมอร์ชนิด PP โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรการฉีดขึ้นรูปทั้ง 8 ตัวแปร และสุ่มทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ได้ผลค่าเฉลี่ยน้ำหนักดังตารางที่ 4.4 และเมื่อนำผลการทดลองไปทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS 7.5.1 ทำให้ได้ค่า P-value ดังตารางที่ 4.4 ซึ่งตัวแปรฉีดที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 เป็น ตัวแปรฉีดที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อน้ำหนักชิ้นงานที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 คือ เวลา রাখาให้ชิ้นงานอยู่ในแม่พิมพ์ (Holding time) และ อุณหภูมิที่หัวฉีด (Nozzle temperature)

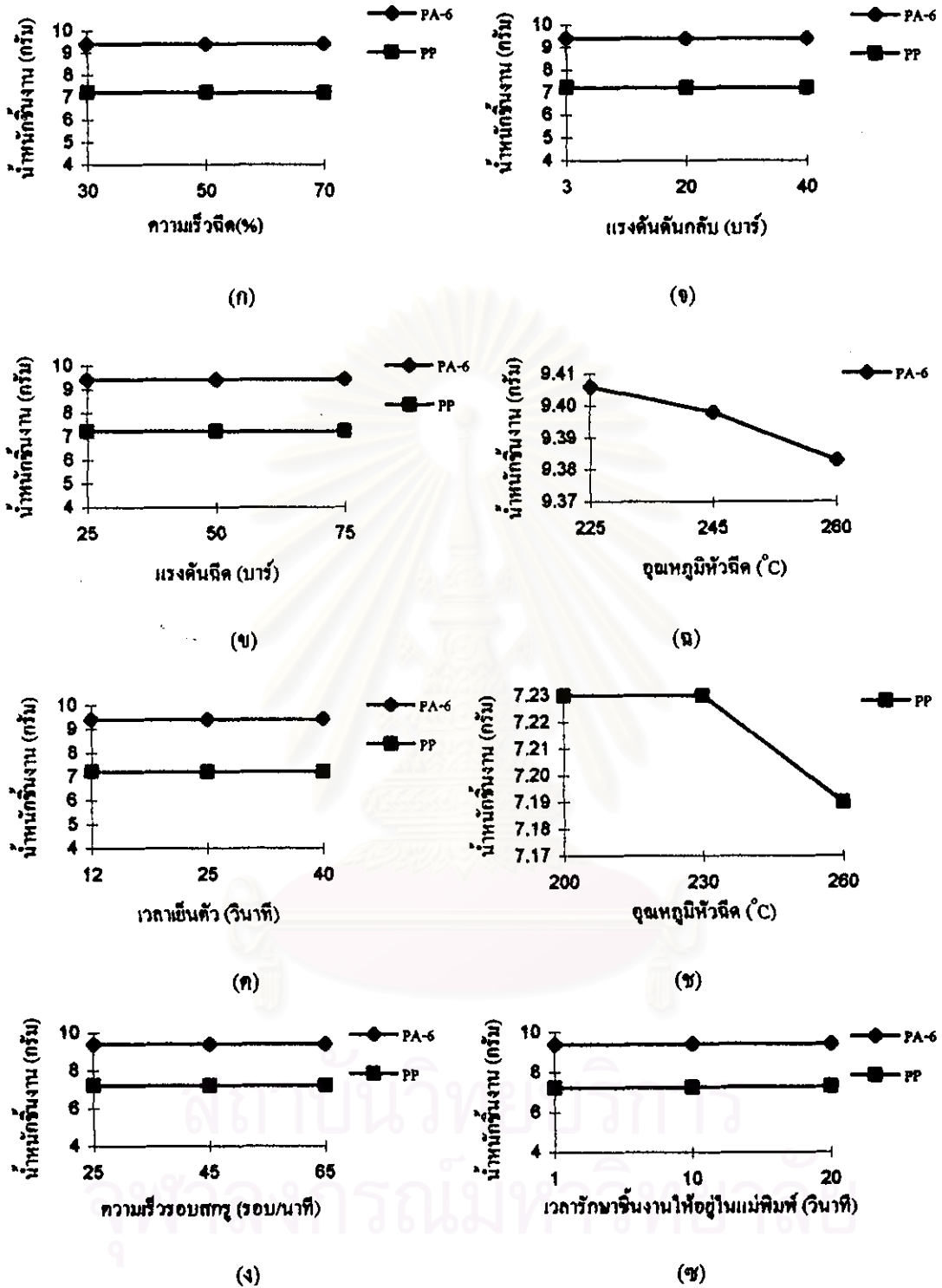
### 4.2.2.2 โพลีเอมีด-6

จากการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานโพลีเมอร์ชนิด PA-6 โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรการฉีดขึ้นรูปทั้ง 8 ตัวแปร และสุ่มทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ได้ผลค่าเฉลี่ยน้ำหนักดังตารางที่ 4.4 และเมื่อนำผลการทดลองไปทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS 7.5.1 ทำให้ได้ค่า P-value ดังตารางที่ 4.4 จะได้ว่าตัวแปรฉีดที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 เป็นตัวแปรฉีดที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อน้ำหนักชิ้นงานที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 คือ แรงดันดันกลับ (Back pressure) เวลาเย็นตัว (Cooling time) และอุณหภูมิที่หัวฉีด (Nozzle temperature)

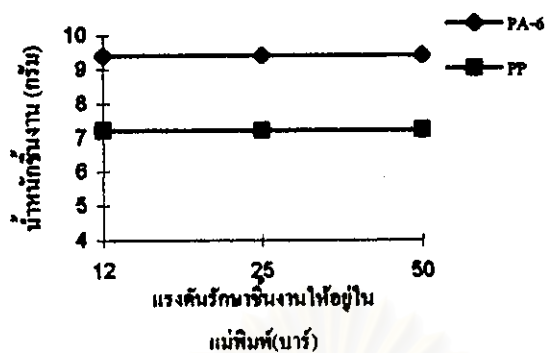
เมื่อทำการพิจารณาจากค่า P-value ของตัวแปรฉีดขึ้นรูป กราฟรูปที่ 4.5 และคำนึงถึงการใช้งานจริง จะเห็นได้ว่าค่าน้ำหนักของชิ้นงานของทั้ง PP และ PA-6 มีส่วนต่างกันไม่ถึง 1 กรัม จึงสรุปว่า ตัวแปรฉีดขึ้นรูปไม่มีผลต่อน้ำหนักของชิ้นงาน PP และ PA-6 อย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.4 ผลของค่าเฉลี่ยน้ำหนักชิ้นงาน (กรัม) ของ PP และ PA-6 เมื่อมีการเปลี่ยนค่าตัวแปรดิจิทัลรูป  
และค่า P-value ที่คำนวณได้จากการทดสอบ ANOVA

ตัวแปร	หน่วย	ค่าของตัวแปร	ค่าเฉลี่ยน้ำหนัก $\pm$ std.deviation		ค่า P-value	
			PP	PA-6	PP	PA-6
Injection speed	%	30	7.230 $\pm$ 0.023	9.406 $\pm$ 0.001	0.386	0.702
		50	7.236 $\pm$ 0.013	9.407 $\pm$ 0.001		
		70	7.215 $\pm$ 0.016	9.405 $\pm$ 0.004		
Injection pressure	bar	25	7.230 $\pm$ 0.023	9.406 $\pm$ 0.001	0.500	0.071
		50	7.211 $\pm$ 0.017	9.401 $\pm$ 0.004		
		75	7.214 $\pm$ 0.021	9.400 $\pm$ 0.003		
Holding time	sec	1	7.230 $\pm$ 0.023	9.406 $\pm$ 0.001	0.003	0.166
		10	7.259 $\pm$ 0.004	9.410 $\pm$ 0.005		
		20	7.303 $\pm$ 0.012	9.412 $\pm$ 0.004		
Holding pressure	bar	12	7.230 $\pm$ 0.023	9.406 $\pm$ 0.001	0.417	0.059
		25	7.214 $\pm$ 0.010	9.400 $\pm$ 0.004		
		50	7.227 $\pm$ 0.003	9.399 $\pm$ 0.004		
Screw speed	rpm	25	7.230 $\pm$ 0.023	9.406 $\pm$ 0.001	0.654	0.090
		45	7.220 $\pm$ 0.013	9.401 $\pm$ 0.006		
		65	7.216 $\pm$ 0.016	9.398 $\pm$ 0.002		
Back pressure	bar	3	7.230 $\pm$ 0.023	9.406 $\pm$ 0.001	0.194	0.000
		20	7.206 $\pm$ 0.005	9.392 $\pm$ 0.001		
		40	7.220 $\pm$ 0.005	9.392 $\pm$ 0.002		
Cooling time	sec	12	7.230 $\pm$ 0.023	9.406 $\pm$ 0.001	0.555	0.000
		25	7.220 $\pm$ 0.006	9.401 $\pm$ 0.001		
		40	7.218 $\pm$ 0.002	9.416 $\pm$ 0.002		
Nozzle temperature	°C	200	7.230 $\pm$ 0.023	-	0.036	0.003
		225	-	9.406 $\pm$ 0.001		
		230	7.230 $\pm$ 0.016	-		
		245	-	9.398 $\pm$ 0.009		
		260	7.190 $\pm$ 0.001	9.383 $\pm$ 0.003		



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักชิ้นงานของโพลีเมอร์ PP และ PA-6 กับตัวแปรฉีดขึ้นรูป



(ณ)

รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักชิ้นงานของโพลีเมอร์ PP และ PA-6 กับตัวแปรฉีดขึ้นรูป (ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 4.2.3 เปรอร์เซ็นต์การหดตัว

### 4.2.3.1 โพลีโพรพิลีน

จากการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานโพลีเมอร์ชนิด PP โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรการฉีดขึ้นรูปทั้ง 8 ตัวแปร และสุ่มทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ได้ผลค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การหดตัว ดังตารางที่ 4.5 และเมื่อนำผลการทดลองไปทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS 7.5.1 ทำให้ได้ค่า P-value ดังตารางที่ 4.5 จะได้ว่าตัวแปรฉีดที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 เป็นตัวแปรฉีดที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัวของชิ้นงานที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 คือ แรงดันรักษาให้ชิ้นงาน อยู่ในแม่พิมพ์ (Holding pressure) อุณหภูมิที่หัวฉีด (Nozzle temperature) และแรงดันคั่นกลับ (Back pressure)

### 4.2.3.2 โพลีเอมีค-6

จากการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานโพลีเมอร์ชนิด PA-6 โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรการฉีดขึ้นรูปทั้ง 8 ตัวแปร และสุ่มทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ได้ผลค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การหดตัวดังตารางที่ 4.5 และเมื่อนำผลการทดลองไปทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS 7.5.1 ทำให้ได้ค่า P-value ดังตารางที่ 4.5 จะได้ว่าตัวแปรฉีดที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 เป็นตัวแปรฉีดที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัวของชิ้นงานที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 คือ แรงดันคั่นกลับ (Back pressure) เวลาเย็นตัว (Cooling time) และอุณหภูมิที่หัวฉีด (Nozzle temperature)

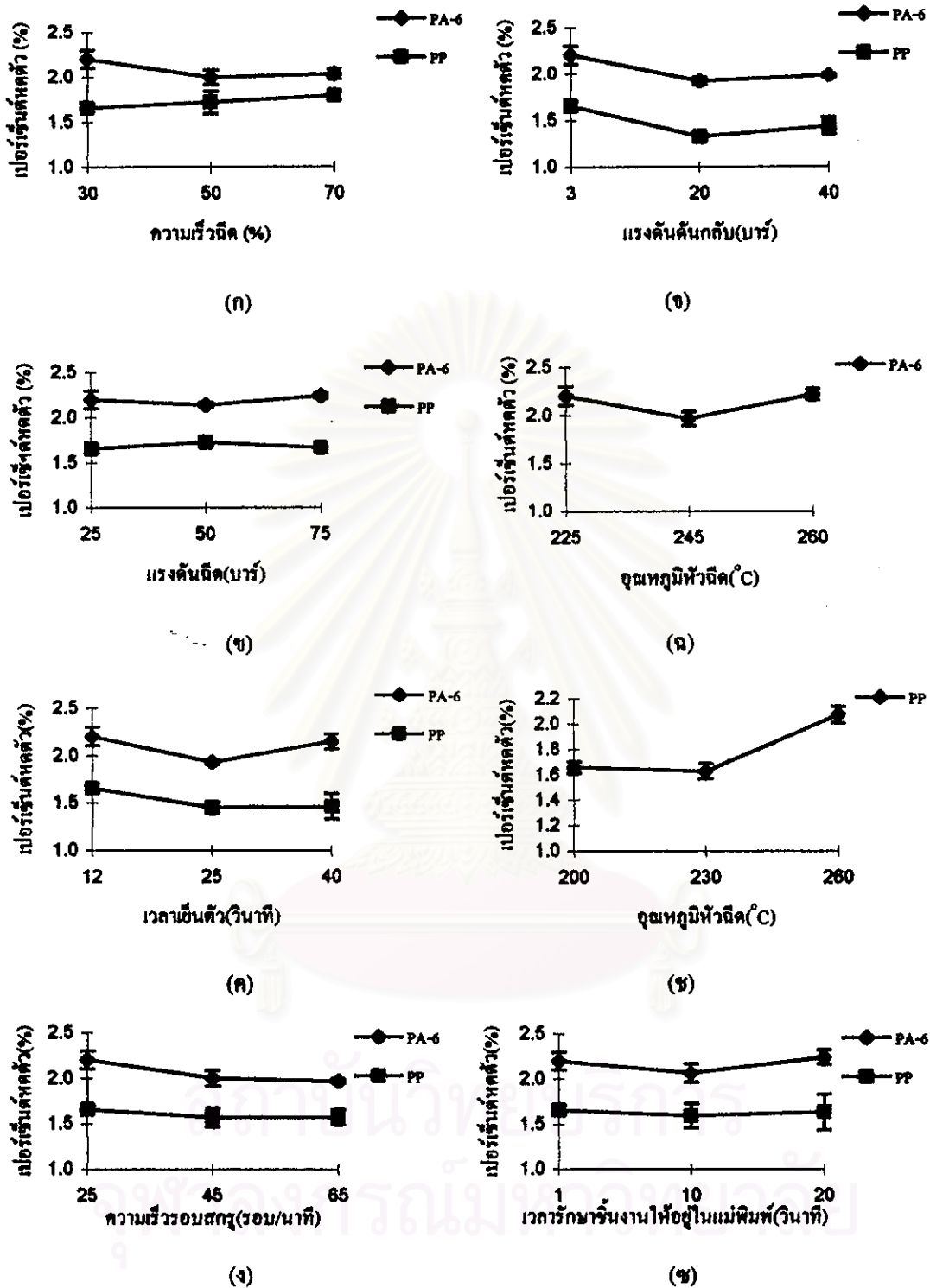
เมื่อทำการพิจารณาจากค่า P-value ของตัวแปรฉีดขึ้นรูป กราฟรูปที่ 4.6 และคำนึงถึงการใช้งานจริง จะเห็นได้ว่า ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของทั้ง PP และ PA-6 มีส่วนต่างกันไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ จึงสรุปว่า ตัวแปรฉีดขึ้นรูปไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัวของชิ้นงาน PP และ PA-6 อย่างมีนัยสำคัญ



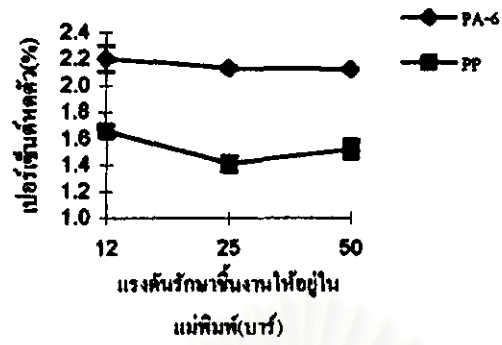
ตารางที่ 4.5 ผลของค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์หดตัว (%) ของ PP และ PA-6 เมื่อมีการเปลี่ยนค่าตัวแปรจัดขึ้นรูป และค่า P-value ที่คำนวณได้จากการทดสอบ ANOVA

ตัวแปร	หน่วย	ค่าของตัวแปร	ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์หดตัว $\pm$ std. deviation		ค่า P-value	
			PP	PA-6	PP	PA-6
Injection speed	%	30	1.659 $\pm$ 0.045	2.204 $\pm$ 0.098	0.231	0.113
		50	1.717 $\pm$ 0.126	1.996 $\pm$ 0.082		
		70	1.789 $\pm$ 0.050	2.033 $\pm$ 0.057		
Injection pressure	bar	25	1.659 $\pm$ 0.045	2.204 $\pm$ 0.098	0.103	0.361
		50	1.728 $\pm$ 0.038	2.142 $\pm$ 0.029		
		75	1.666 $\pm$ 0.019	2.245 $\pm$ 0.031		
Holding time	sec	1	1.659 $\pm$ 0.045	2.204 $\pm$ 0.098	0.862	0.261
		10	1.596 $\pm$ 0.132	2.068 $\pm$ 0.104		
		20	1.635 $\pm$ 0.199	2.245 $\pm$ 0.080		
Holding pressure	bar	12	1.659 $\pm$ 0.045	2.204 $\pm$ 0.098	0.007	0.420
		25	1.411 $\pm$ 0.059	2.133 $\pm$ 0.011		
		50	1.523 $\pm$ 0.072	2.126 $\pm$ 0.005		
Screw speed	rpm	25	1.659 $\pm$ 0.045	2.204 $\pm$ 0.098	0.394	0.057
		45	1.571 $\pm$ 0.105	2.005 $\pm$ 0.087		
		65	1.575 $\pm$ 0.084	1.970 $\pm$ 0.024		
Back pressure	bar	3	1.659 $\pm$ 0.045	2.204 $\pm$ 0.098	0.002	0.012
		20	1.326 $\pm$ 0.039	1.920 $\pm$ 0.040		
		40	1.436 $\pm$ 0.092	1.982 $\pm$ 0.023		
Cooling time	sec	12	1.659 $\pm$ 0.045	2.204 $\pm$ 0.098	0.061	0.032
		25	1.451 $\pm$ 0.062	1.930 $\pm$ 0.025		
		40	1.465 $\pm$ 0.132	2.148 $\pm$ 0.081		
Nozzle temperature	°C	200	1.659 $\pm$ 0.045	-	0.000	0.028
		225	-	2.204 $\pm$ 0.098		
		230	1.628 $\pm$ 0.060	-		
		245	-	1.969 $\pm$ 0.073		
		260	2.072 $\pm$ 0.066	2.219 $\pm$ 0.060		





รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์หาคตัวของชิ้นงานของโพลิเมอร์ PP และ PA-6 กับตัวแปรชนิดขึ้นรูป



(๓)

รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ผลึกตัวของชิ้นงานของโพลีเมอร์ PP และ PA-6 กับตัวแปรชนิดขึ้นรูป (ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 4.2.4 ความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength)

### 4.2.4.1 โพลีโพรพิลีน

จากการทดสอบค่าความทนต่อแรงดึงของชิ้นทดสอบ ได้ผลค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.6 และเมื่อนำไปทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS 7.5.1 ได้ค่า P-value ดังตารางที่ 4.6 ตัวแปรชนิดที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 เป็นตัวแปรชนิดที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความทนต่อแรงดึงที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 คือ แรงดันค้ำก้น (Back pressure) เวลาเย็นตัว (Cooling time) เวลารักษาให้ชิ้นงานอยู่ในแม่พิมพ์ (Holding time) และ อุณหภูมิที่หัวฉีด (Nozzle temperature)

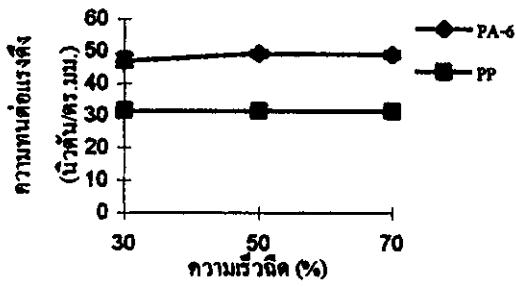
### 4.2.4.2 โพลีเอมีค-6

จากการทดสอบค่าความทนต่อแรงดึงของชิ้นทดสอบ ได้ผลเฉลี่ยดังตารางที่ 4.6 และเมื่อนำไปทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS 7.5.1 ได้ค่า P-value ดังตารางที่ 4.6 จะได้ว่าตัวแปรชนิดทุกตัวมีค่า P-value มากกว่า 0.05 ตัวแปรชนิดจึงไม่มีผลต่อความทนต่อแรงดึงของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ

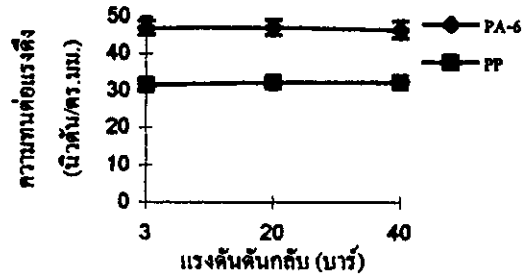
เมื่อทำการพิจารณาจากค่า P-value ของตัวแปรชนิดขึ้นรูป กราฟรูปที่ 4.7 และคำนึงถึงการใช้งานจริง จะเห็นได้ว่า ค่าความทนต่อแรงดึงของ PP มีส่วนต่างกันไม่เกิน 2 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร จึงสรุปว่า ตัวแปรชนิดขึ้นรูปไม่มีผลต่อความทนต่อแรงดึงของชิ้นงาน PP และ PA-6 อย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.6 ผลของค่าเฉลี่ยความทนต่อแรงดึง (นิวตัน/ตร.มม.) ของ PP และ PA-6 เมื่อมีการเปลี่ยน  
ค่าตัวแปรต้นขึ้นรูป และค่า P-value ที่คำนวณได้จากการทดสอบ ANOVA

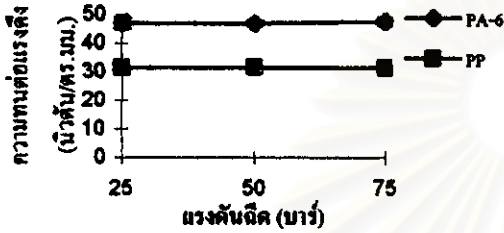
ตัวแปร	หน่วย	ค่าของตัวแปร	ค่าเฉลี่ยความทนต่อแรงดึง $\pm$ std. deviation		ค่า P-value	
			PP	PA-6	PP	PA-6
Injection speed	%	30	31.58 $\pm$ 0.12	46.99 $\pm$ 1.93	0.182	0.150
		50	31.45 $\pm$ 0.16	49.36 $\pm$ 0.81		
		70	31.35 $\pm$ 0.10	48.97 $\pm$ 1.07		
Injection pressure	bar	25	31.58 $\pm$ 0.12	46.99 $\pm$ 1.93	0.421	0.804
		50	31.65 $\pm$ 0.20	47.00 $\pm$ 0.68		
		75	31.49 $\pm$ 0.06	47.65 $\pm$ 1.20		
Holding time	sec	1	31.58 $\pm$ 0.12	46.99 $\pm$ 1.93	0.010	0.805
		10	31.33 $\pm$ 0.01	46.76 $\pm$ 0.17		
		20	32.07 $\pm$ 0.17	47.68 $\pm$ 2.32		
Holding pressure	bar	12	31.58 $\pm$ 0.12	46.99 $\pm$ 1.93	0.074	0.368
		25	31.33 $\pm$ 0.05	48.87 $\pm$ 1.50		
		50	31.63 $\pm$ 0.20	47.22 $\pm$ 1.44		
Screw speed	rpm	25	31.58 $\pm$ 0.12	46.99 $\pm$ 1.93	0.597	0.290
		45	31.65 $\pm$ 0.05	49.06 $\pm$ 0.14		
		65	31.69 $\pm$ 0.20	48.05 $\pm$ 1.61		
Back pressure	bar	3	31.58 $\pm$ 0.12	46.99 $\pm$ 1.93	0.008	0.935
		20	32.23 $\pm$ 0.24	47.18 $\pm$ 2.16		
		40	32.30 $\pm$ 0.22	46.54 $\pm$ 2.39		
Cooling time	sec	12	31.58 $\pm$ 0.12	46.99 $\pm$ 1.93	0.006	0.447
		25	31.08 $\pm$ 0.11	45.83 $\pm$ 1.40		
		40	31.04 $\pm$ 0.18	-		
Nozzle temperature	°C	200	31.58 $\pm$ 0.12	-	0.048	0.154
		225	-	46.99 $\pm$ 1.93		
		230	31.15 $\pm$ 0.16	-		
		245	-	46.01 $\pm$ 2.02		
		260	31.33 $\pm$ 0.20	49.53 $\pm$ 1.93		



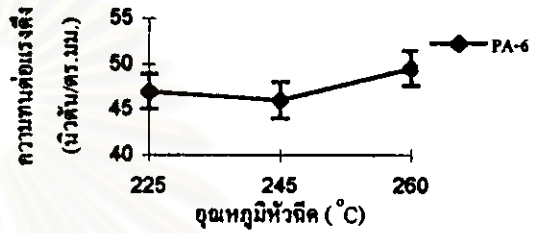
(ก)



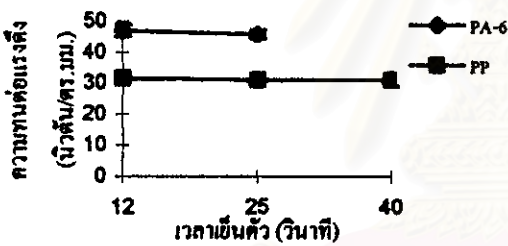
(ข)



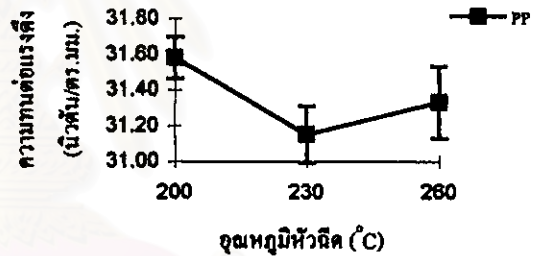
(ค)



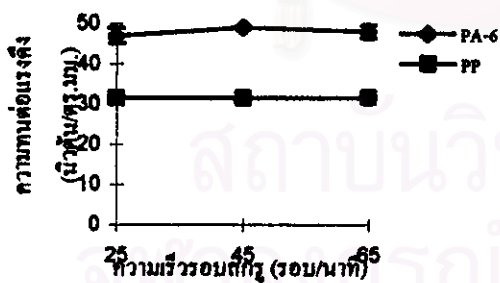
(ง)



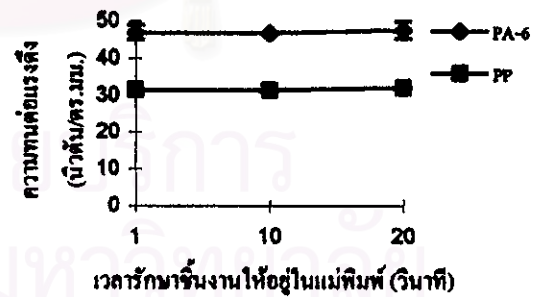
(จ)



(ฉ)

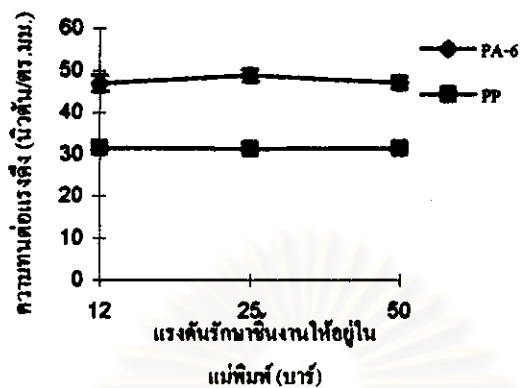


(ฉ)



(ช)

รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงดึงของ โพลีเมอร์ PP และ PA-6 กับตัวแปรชนิดชิ้นรูป



(ฉ)

รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงดึงของโพลีเมอร์ PP และ PA-6 กับตัวแปรชนิดขึ้นรูป (ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 4.2.5 โมดูลัสของความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)

### 4.2.5.1 โพลีโพรพิลีน

จากการทดสอบ ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น ได้ผลค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.7 และเมื่อนำไปทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS 7.5.1 ได้ค่า P-value ดังตารางที่ 4.7 ตัวแปรชนิดที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 เป็นตัวแปรชนิดที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 คือ อุณหภูมิที่หัวฉีด (Nozzle temperature)

### 4.2.5.2 โพลีเอมีด-6

จากการทดสอบ ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น ได้ผลค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.7 และเมื่อนำไปทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS 7.5.1 ได้ค่า P-value ดังตารางที่ 4.7 ตัวแปรชนิดที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 เป็นตัวแปรชนิดที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 คือ อุณหภูมิที่หัวฉีด (Nozzle temperature)

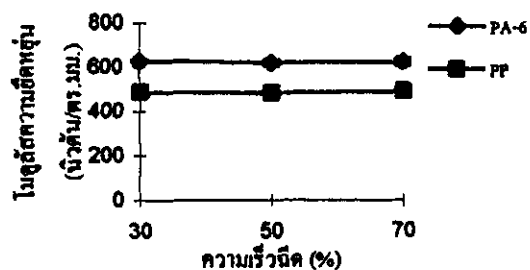
เมื่อทำการพิจารณาจากค่า P-value ของตัวแปรชนิดขึ้นรูป กราฟรูปที่ 4.8 และคำนึงถึงการใช้งานจริง จะเห็นได้ว่า ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของทั้ง PP และ PA-6 มีการเปลี่ยนแปลงค่าค่อนข้างมาก จึงสรุปว่า อุณหภูมิที่หัวฉีดมีผลต่อโมดูลัสความยืดหยุ่นของชิ้นงาน PP และ PA-6 อย่างมีนัยสำคัญ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

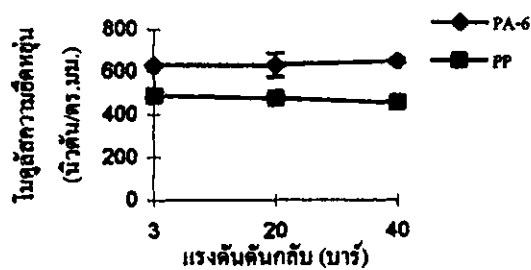
ตารางที่ 4.7 ผลของค่าเฉลี่ยโมดูลัสความยืดหยุ่น (นิวตัน/ตร.มม.) ของ PP และ PA-6 เมื่อมีการเปลี่ยน  
ค่าตัวแปรฉีดขึ้นรูป และค่า P-value ที่คำนวณได้จากการทดสอบ ANOVA

ตัวแปร	หน่วย	ค่าของตัวแปร	ค่าเฉลี่ยโมดูลัสความยืดหยุ่น $\pm$ std. deviation		ค่า P-value	
			PP	PA-6	PP	PA-6
Injection speed	%	30	487.09 $\pm$ 16.96	629.18 $\pm$ 4.16	0.815	0.672
		50	483.80 $\pm$ 3.45	619.52 $\pm$ 11.62		
		70	490.63 $\pm$ 14.04	623.53 $\pm$ 18.61		
Injection pressure	bar	25	487.09 $\pm$ 16.96	629.18 $\pm$ 4.16	0.388	0.056
		50	488.53 $\pm$ 4.71	637.28 $\pm$ 10.47		
		75	474.82 $\pm$ 12.22	647.46 $\pm$ 5.45		
Holding time	sec	1	487.09 $\pm$ 16.96	629.18 $\pm$ 4.16	0.061	0.117
		10	493.66 $\pm$ 13.43	661.43 $\pm$ 11.90		
		20	463.77 $\pm$ 3.97	659.53 $\pm$ 27.98		
Holding pressure	bar	12	487.09 $\pm$ 16.96	629.18 $\pm$ 4.16	0.444	0.050
		25	468.25 $\pm$ 28.73	661.83 $\pm$ 8.74		
		50	491.63 $\pm$ 19.16	640.16 $\pm$ 19.72		
Screw speed	rpm	25	487.09 $\pm$ 16.96	629.18 $\pm$ 4.16	0.059	0.054
		45	508.48 $\pm$ 4.74	651.81 $\pm$ 12.22		
		65	510.07 $\pm$ 2.05	663.96 $\pm$ 20.03		
Back pressure	bar	3	487.09 $\pm$ 16.96	629.18 $\pm$ 4.16	0.066	0.722
		20	474.70 $\pm$ 11.04	630.80 $\pm$ 55.65		
		40	455.24 $\pm$ 10.79	649.12 $\pm$ 9.57		
Cooling time	sec	12	487.09 $\pm$ 16.96	629.18 $\pm$ 4.16	0.738	0.091
		25	494.77 $\pm$ 13.97	635.59 $\pm$ 2.81		
		40	498.03 $\pm$ 20.19	-		
Nozzle temperature	°C	200	487.09 $\pm$ 16.96	-	0.012	0.000
		225	-	629.18 $\pm$ 4.16		
		230	500.29 $\pm$ 9.48	-		
		245	-	717.61 $\pm$ 21.47		
		260	429.75 $\pm$ 29.73	702.49 $\pm$ 8.89		

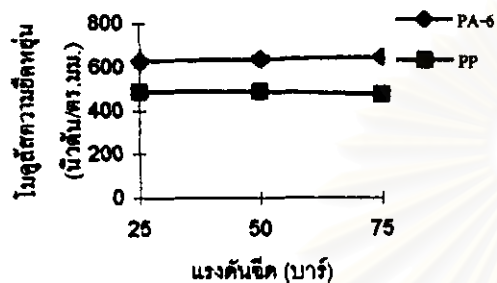




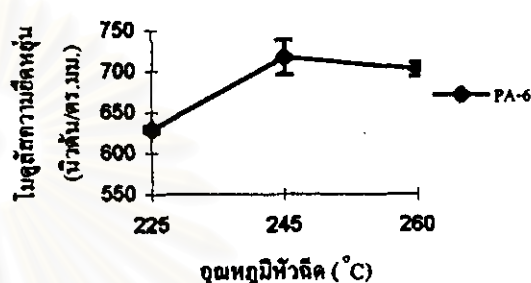
(ก)



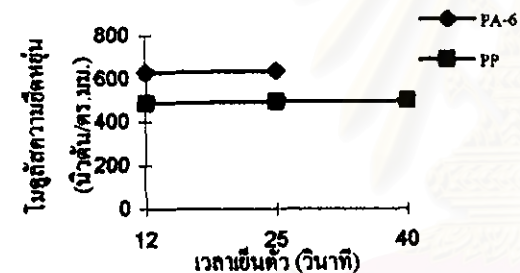
(ข)



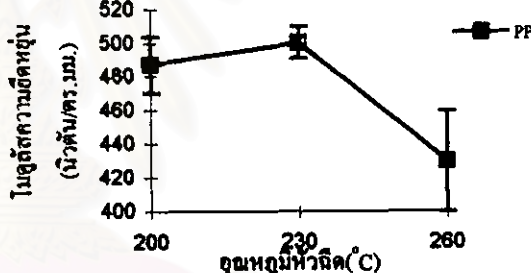
(ค)



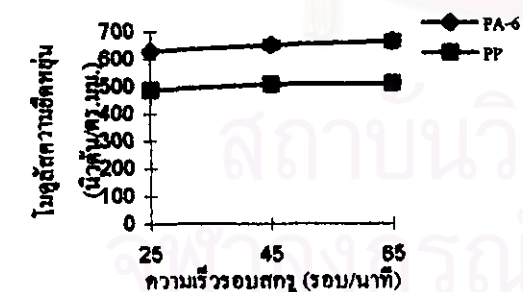
(ง)



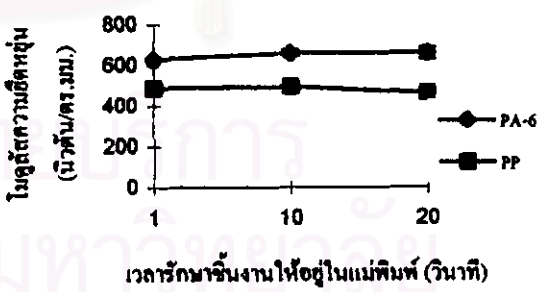
(ฉ)



(ช)

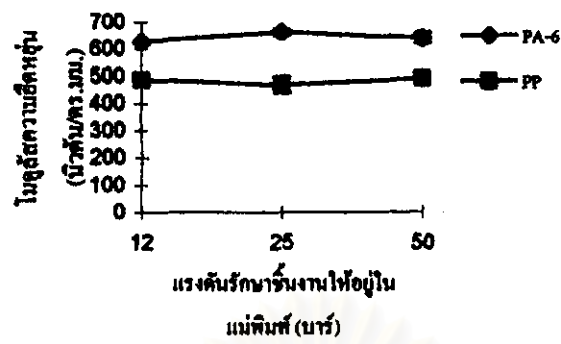


(จ)



(ฉ)

รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของโพลิเมอร์ PP และ PA-6 กับตัวแปรชนิดขึ้นรูป



(๘)

รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของโพลีเมอร์ PP และ PA-6 กับตัวแปรชนิดขึ้นรูป (ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 4.2.6 เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น (% Elongation)

### 4.2.6.1 โพลีโพรพิลีน

จากการทดสอบ ค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นได้ผลค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.8 และเมื่อนำไปทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS 7.5.1 ได้ค่า P-value ดังตารางที่ 4.8 ตัวแปรชนิดที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 เป็นตัวแปรชนิดที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 คือ อุณหภูมิที่หัวฉีด (Nozzle temperature)

### 4.2.6.2 โพลีเอมีด-6

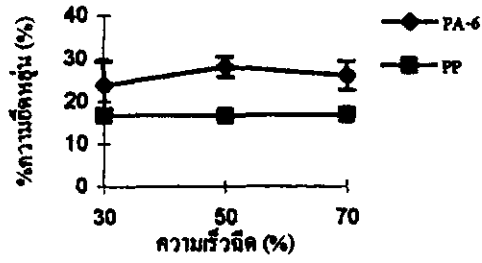
จากการทดสอบ ค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นได้ผลค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.8 และเมื่อนำไปทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS 7.5.1 ได้ค่า P-value ดังตารางที่ 4.8 ตัวแปรชนิดที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 เป็นตัวแปรชนิดที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 คือ เวลาย่นตัว (Cooling time)

เมื่อทำการพิจารณาจากค่า P-value ของตัวแปรชนิดขึ้นรูป กราฟรูปที่ 4.9 และคำนึงถึงการใช้งานจริง จะเห็นได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของ PP และ PA-6 มีค่าต่างกันไม่เกิน 1 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จึงสรุปว่า ตัวแปรชนิดขึ้นรูปไม่ที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของชิ้นงาน PP และ PA-6 อย่างมีนัยสำคัญ

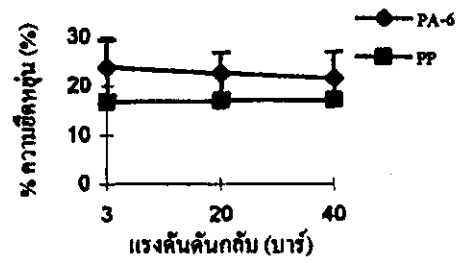
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 ผลของค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น (%) ของ PP และ PA-6 มีการเปลี่ยนค่าตัวแปรฉีดขึ้นรูป ค่าตัวแปรฉีดขึ้นรูป และค่า P-value ที่คำนวณได้จากการทดสอบ ANOVA

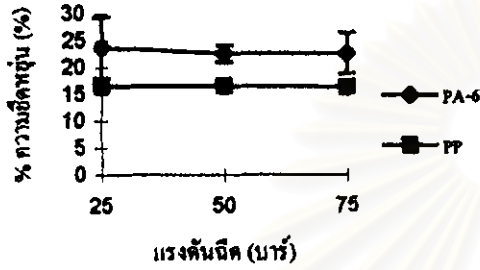
ตัวแปร	หน่วย	ค่าของตัวแปร	ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ยืดหยุ่น $\pm$ std. deviation		ค่า P-value	
			PP	PA-6	PP	PA-6
Injection speed	%	30	16.70 $\pm$ 0.12	23.75 $\pm$ 5.62	0.498	0.468
		50	16.60 $\pm$ 0.21	28.08 $\pm$ 2.43		
		70	16.83 $\pm$ 0.35	25.97 $\pm$ 3.39		
Injection pressure	bar	25	16.70 $\pm$ 0.12	23.75 $\pm$ 5.62	0.321	0.929
		50	16.61 $\pm$ 0.26	22.61 $\pm$ 1.58		
		75	16.34 $\pm$ 0.38	22.68 $\pm$ 3.83		
Holding time	sec	1	16.70 $\pm$ 0.12	23.75 $\pm$ 5.62	0.106	0.531
		10	16.98 $\pm$ 0.22	19.49 $\pm$ 1.09		
		20	17.11 $\pm$ 0.24	21.35 $\pm$ 2.05		
Holding pressure	bar	12	16.70 $\pm$ 0.12	23.75 $\pm$ 5.62	0.154	0.530
		25	16.85 $\pm$ 0.09	25.71 $\pm$ 4.85		
		50	16.81 $\pm$ 0.26	21.25 $\pm$ 2.97		
Screw speed	rpm	25	16.70 $\pm$ 0.12	23.75 $\pm$ 5.62	0.252	0.609
		45	16.41 $\pm$ 0.27	27.27 $\pm$ 0.52		
		65	16.56 $\pm$ 0.14	25.27 $\pm$ 4.49		
Back pressure	bar	3	16.70 $\pm$ 0.12	23.75 $\pm$ 5.62	0.187	0.871
		20	16.90 $\pm$ 0.33	22.57 $\pm$ 4.11		
		40	17.11 $\pm$ 0.22	21.55 $\pm$ 5.38		
Cooling time	sec	12	16.70 $\pm$ 0.12	23.75 $\pm$ 5.62	0.154	0.043
		25	16.96 $\pm$ 0.09	21.08 $\pm$ 2.65		
		40	16.95 $\pm$ 0.23	-		
Nozzle temperature	°C	200	16.70 $\pm$ 0.12	-	0.006	0.151
		225	-	23.75 $\pm$ 5.62		
		230	17.08 $\pm$ 0.02	-		
		245	-	17.92 $\pm$ 3.96		
		260	17.18 $\pm$ 0.17	26.24 $\pm$ 3.89		



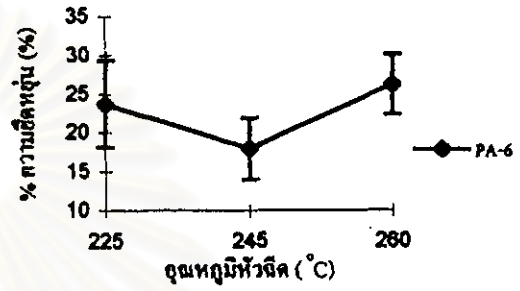
(ก)



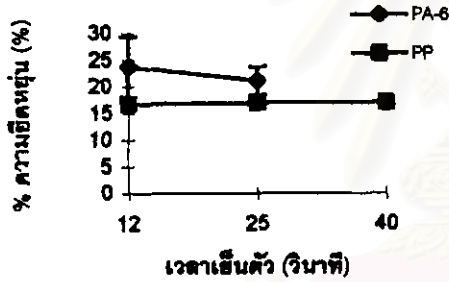
(ข)



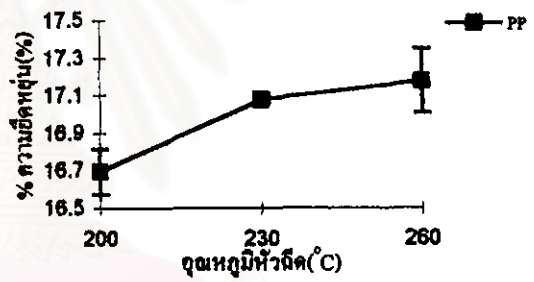
(ค)



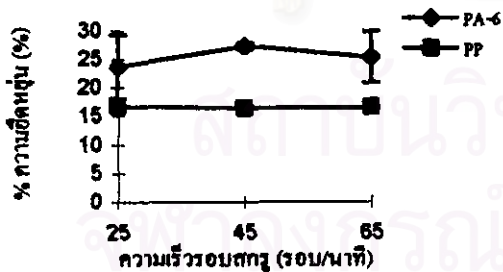
(ง)



(จ)



(ฉ)

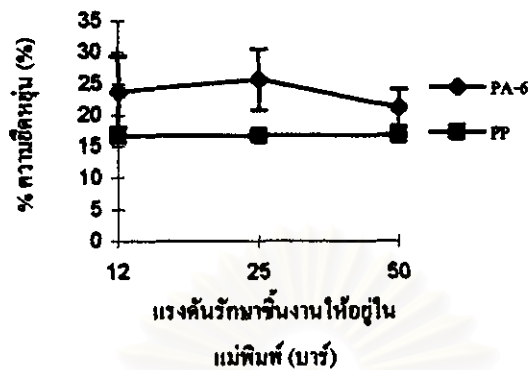


(ช)



(ซ)

รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของ โพลีเมอร์ PP และ PA-6 กับตัวแปรฉีดขึ้นรูป



(ณ)

รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของโพลิเมอร์ PP และ PA-6 กับตัวแปรชนิดขึ้นรูป (ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 4.2.7 ความทนต่อแรงกระแทก (Impact Strength)

### 4.2.7.1 โพลีโพรพิลีน

จากการทดสอบ ค่าความทนต่อแรงกระแทกได้ผลค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.9 และเมื่อนำไปทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS 7.5.1 ได้ค่า P-value ดังตารางที่ 4.9 จะได้ว่าตัวแปรชนิดทุกตัวมีค่า P-value มากกว่า 0.05 ตัวแปรชนิดจึงไม่มีผลต่อความทนต่อแรงกระแทกของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ

### 4.2.7.2 โพลีเอมีค-6

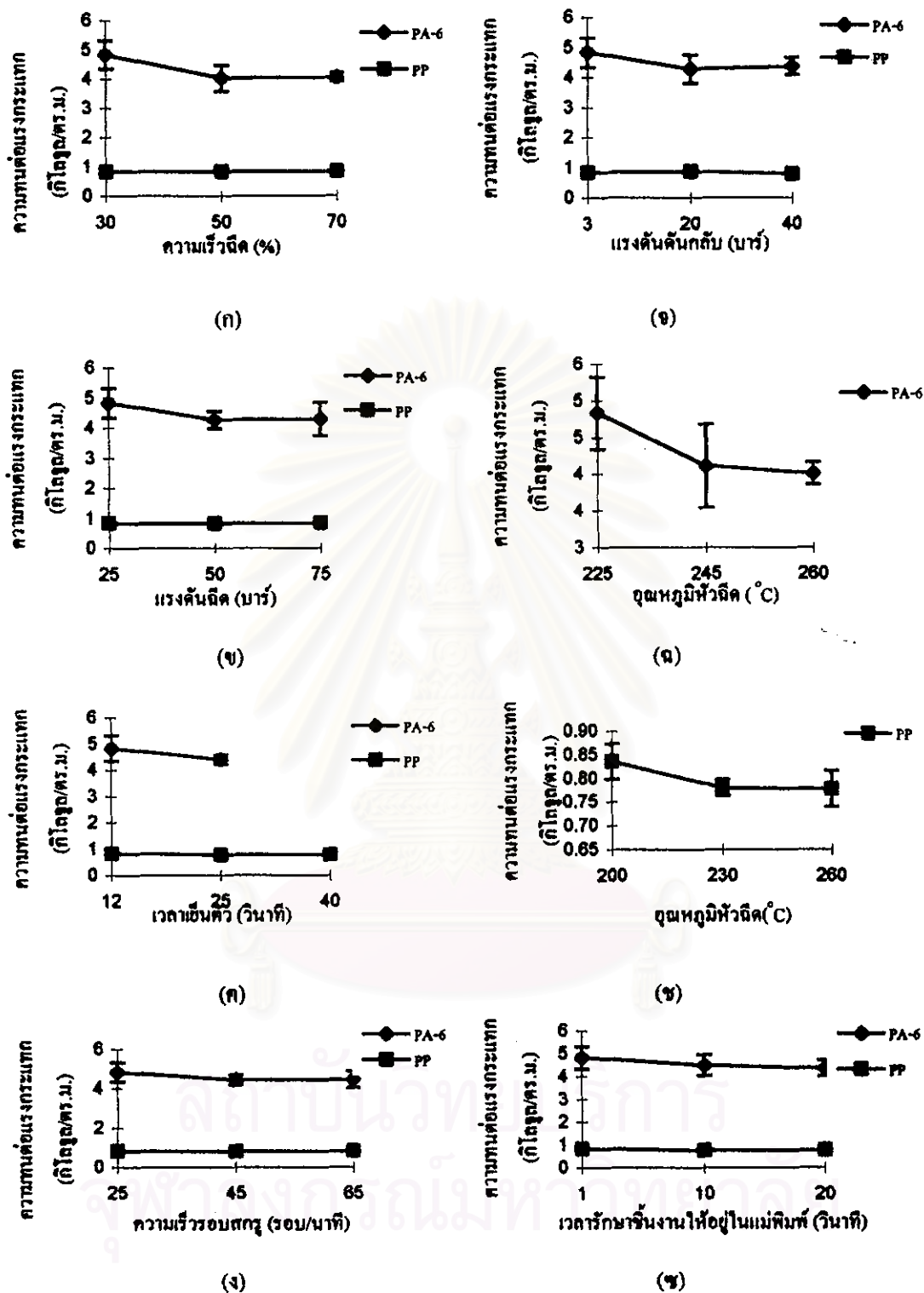
จากการทดสอบ ค่าความทนต่อแรงกระแทกได้ผลค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.9 และเมื่อนำไปทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS 7.5.1 ได้ค่า P-value ดังตารางที่ 4.9 จะได้ว่าตัวแปรชนิดทุกตัวมีค่า P-value มากกว่า 0.05 ตัวแปรชนิดจึงไม่มีผลต่อความทนต่อแรงกระแทกของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อทำการพิจารณาจากค่า P-value ของตัวแปรชนิดขึ้นรูป และกราฟรูปที่ 4.10 จึงสรุปว่า ตัวแปรชนิดขึ้นรูปไม่ที่มีผลต่อความทนต่อแรงกระแทกของชิ้นงาน PP และ PA-6 อย่างมีนัยสำคัญ

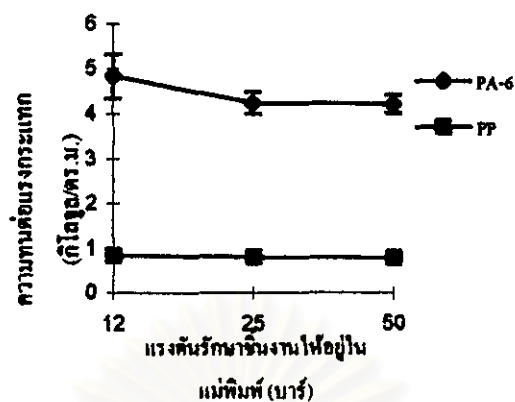
ตารางที่ 4.9 ผลของค่าเฉลี่ยความทนต่อแรงกระแทก (กิโลจูล/ตร.ม.) ของ PP และ PA-6 เมื่อมีการเปลี่ยน  
ค่าตัวแปรฉีดขึ้นรูป และค่า P-value ที่คำนวณได้จากการทดสอบ ANOVA

ตัวแปร	หน่วย	ค่าของตัวแปร	ค่าเฉลี่ยความทนแรงกระแทก $\pm$ std. deviation		ค่า P-value	
			PP	PA-6	PP	PA-6
Injection speed	%	30	0.84 $\pm$ 0.04	4.83 $\pm$ 0.49	0.650	0.082
		50	0.83 $\pm$ 0.03	4.03 $\pm$ 0.45		
		70	0.85 $\pm$ 0.02	4.07 $\pm$ 0.15		
Injection pressure	bar	25	0.84 $\pm$ 0.04	4.83 $\pm$ 0.49	0.866	0.435
		50	0.83 $\pm$ 0.03	4.26 $\pm$ 0.29		
		75	0.85 $\pm$ 0.04	4.28 $\pm$ 0.56		
Holding time	sec	1	0.84 $\pm$ 0.04	4.83 $\pm$ 0.49	0.332	0.442
		10	0.76 $\pm$ 0.07	4.49 $\pm$ 0.46		
		20	0.79 $\pm$ 0.07	4.36 $\pm$ 0.35		
Holding pressure	bar	12	0.84 $\pm$ 0.04	4.83 $\pm$ 0.49	0.077	0.115
		25	0.80 $\pm$ 0.03	4.24 $\pm$ 0.25		
		50	0.78 $\pm$ 0.02	4.21 $\pm$ 0.21		
Screw speed	rpm	25	0.84 $\pm$ 0.04	4.83 $\pm$ 0.49	0.301	0.449
		45	0.80 $\pm$ 0.03	4.44 $\pm$ 0.25		
		65	0.84 $\pm$ 0.02	4.46 $\pm$ 0.42		
Back pressure	bar	3	0.84 $\pm$ 0.04	4.83 $\pm$ 0.49	0.076	0.188
		20	0.87 $\pm$ 0.03	4.27 $\pm$ 0.48		
		40	0.79 $\pm$ 0.01	4.37 $\pm$ 0.29		
Cooling time	sec	12	0.84 $\pm$ 0.04	4.83 $\pm$ 0.49	0.377	0.230
		25	0.78 $\pm$ 0.02	4.41 $\pm$ 0.17		
		40	0.79 $\pm$ 0.07	-		
Nozzle temperature	°C	200	0.84 $\pm$ 0.04	-	0.140	0.121
		225	-	4.83 $\pm$ 0.49		
		230	0.78 $\pm$ 0.02	-		
		245	-	4.11 $\pm$ 0.57		
		260	0.78 $\pm$ 0.04	4.01 $\pm$ 0.15		





รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงกระแทกของโพลิเมอร์ PP และ PA-6 กับตัวแปรฉีดขึ้นรูป



(๓)

รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงกระแทกของโพลิเมอร์ PP และ PA-6 กับตัวแปรชนิดชิ้นรูป (ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 4.2.8 ความแข็ง (Hardness)

### 4.2.8.1 โพลีโพรพิลีน

จากการทดสอบ ค่าความแข็งได้ผลค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.10 และเมื่อนำไปทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS 7.5.1 ได้ค่า P-value ดังตารางที่ 4.10 จะได้ว่าตัวแปรชนิดทุกตัวมีค่า P-value มากกว่า 0.05 ตัวแปรชนิดจึงไม่มีผลต่อความแข็งของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ

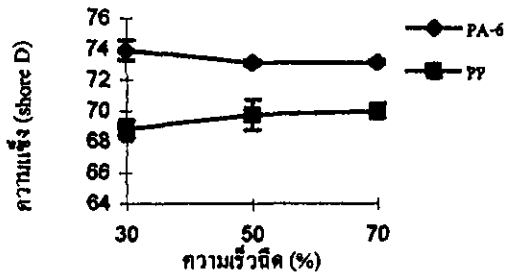
### 4.2.8.2 โพลีเอมีค-6

จากการทดสอบ ค่าความแข็งได้ผลค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.10 และเมื่อนำไปทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS 7.5.1 ได้ค่า P-value ดังตารางที่ 4.10 ตัวแปรชนิดที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 เป็นตัวแปรชนิดที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความแข็ง ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 คือ แรงดันดันกลับ (Back pressure) และเวลาที่รักษาให้ชิ้นงาน อยู่ในแม่พิมพ์ (Holding time)

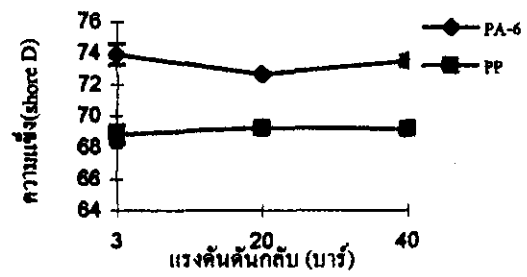
เมื่อทำการพิจารณาจากค่า P-value ของตัวแปรชนิดขึ้นรูป กราฟรูปที่ 4.11 และคำนึงถึงการใช้งานจริง จะเห็นได้ว่า ค่าความแข็งของ PA-6 มีค่าต่างกันไม่เกิน 2 จึงสรุปว่า ตัวแปรชนิดขึ้นรูปไม่มีผลต่อความแข็งของชิ้นงาน PP และ PA-6 อย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.10 ผลของค่าเฉลี่ยความแข็ง (Shore D) ของ PP และ PA-6 เมื่อมีการเปลี่ยนค่าตัวแปรชนิดขั้วรูป  
และค่า P-value ที่คำนวณได้จากการทดสอบ ANOVA

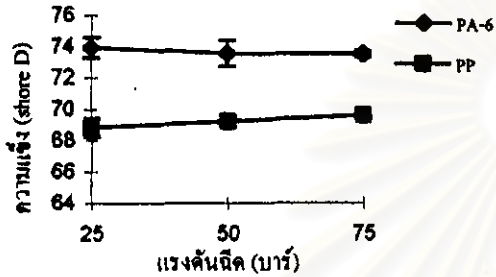
ตัวแปร	หน่วย	ค่าของตัวแปร	ค่าเฉลี่ยความแข็ง $\pm$ std. deviation		ค่า P-value	
			PP	PA-6	PP	PA-6
Injection speed	%	30	68.83 $\pm$ 0.59	73.93 $\pm$ 0.64	0.128	0.411
		50	69.73 $\pm$ 0.99	73.10 $\pm$ 0.17		
		70	70.00 $\pm$ 0.46	73.13 $\pm$ 0.15		
Injection pressure	bar	25	68.83 $\pm$ 0.59	73.93 $\pm$ 0.64	0.165	0.696
		50	69.23 $\pm$ 0.35	73.57 $\pm$ 0.83		
		75	69.60 $\pm$ 0.26	73.53 $\pm$ 0.21		
Holding time	sec	1	68.83 $\pm$ 0.59	73.93 $\pm$ 0.64	0.385	0.015
		10	68.83 $\pm$ 0.31	72.67 $\pm$ 0.61		
		20	69.37 $\pm$ 0.57	72.20 $\pm$ 0.61		
Holding pressure	bar	12	68.83 $\pm$ 0.59	73.93 $\pm$ 0.64	0.512	0.163
		25	69.20 $\pm$ 0.46	73.47 $\pm$ 0.15		
		50	68.70 $\pm$ 0.50	73.17 $\pm$ 0.32		
Screw speed	rpm	25	68.83 $\pm$ 0.59	73.93 $\pm$ 0.64	0.293	0.825
		45	69.50 $\pm$ 0.20	74.20 $\pm$ 0.53		
		65	69.30 $\pm$ 0.56	74.10 $\pm$ 0.36		
Back pressure	bar	3	68.83 $\pm$ 0.59	73.93 $\pm$ 0.64	0.413	0.027
		20	69.27 $\pm$ 0.31	72.67 $\pm$ 0.06		
		40	69.20 $\pm$ 0.20	73.53 $\pm$ 0.35		
Cooling time	sec	12	68.83 $\pm$ 0.59	73.93 $\pm$ 0.64	0.368	0.073
		25	69.47 $\pm$ 0.40	72.73 $\pm$ 0.57		
		40	69.00 $\pm$ 0.56	-		
Nozzle temperature	°C	200	68.83 $\pm$ 0.59	-	0.340	0.164
		225	-	73.93 $\pm$ 0.64		
		230	69.45 $\pm$ 0.34	-		
		245	-	73.30 $\pm$ 0.30		
		260	69.23 $\pm$ 0.47	73.20 $\pm$ 0.26		



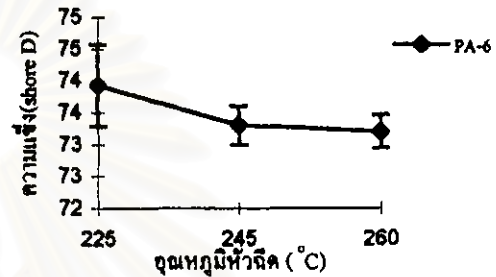
(ก)



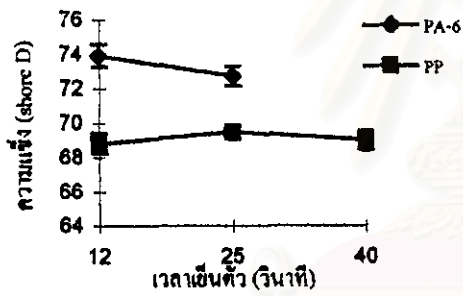
(ข)



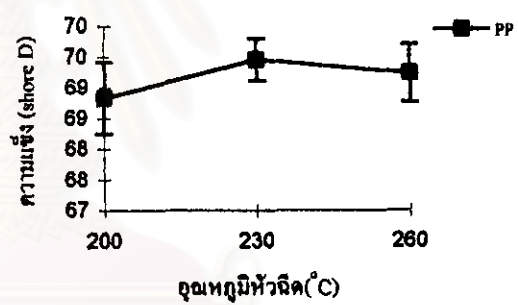
(ค)



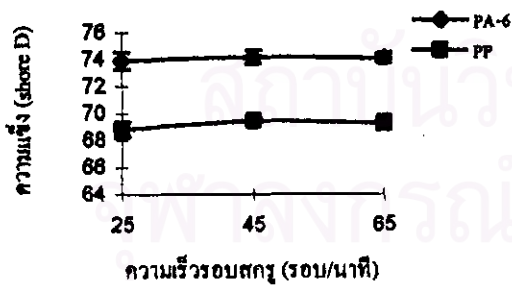
(ง)



(จ)



(ฉ)

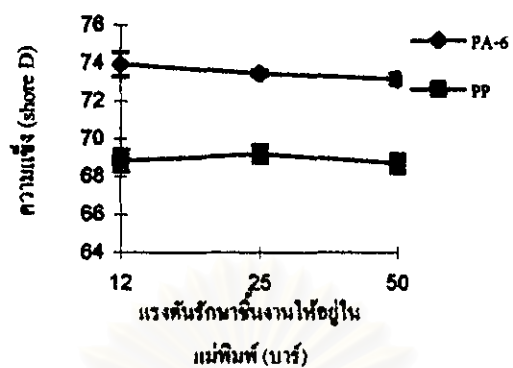


(ช)



(ซ)

รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งของโพลิเมอร์ PP และ PA-6 กับตัวแปรปัจจัยขึ้นรูป



(ณ)

รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งของ โพลีเมอร์ PP และ PA-6 กับตัวแปรชนิดขึ้นรูป

(ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.2.9 รอบเวลาการฉีดขึ้นรูป (Cycle time)

จากการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานโพลีเมอร์ชนิด PP และ PA-6 โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรการฉีดขึ้นรูปทั้ง 8 ตัวแปร และดำเนินการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ได้ผลค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.11 จะได้ว่า ตัวแปรฉีดขึ้นรูปที่มีผลต่อรอบเวลาการฉีดขึ้นรูปอย่างชัดเจน คือ เวลาเย็นตัว (Cooling time) และ เวลาที่รักษาให้ชิ้นงานอยู่ในแม่พิมพ์ (Holding time)

และเมื่อพิจารณาประกอบกับลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานในหัวข้อ 4.2.1 จึงสรุปได้ว่า ชนิดของโพลีเมอร์มีผลต่อรอบเวลาการฉีดขึ้นรูป คือ เมื่อใช้โพลีเมอร์ชนิด PP จะใช้รอบเวลาการฉีดขึ้นรูปประมาณ 52 วินาที แต่เมื่อใช้โพลีเมอร์ชนิด PA-6 จะใช้รอบเวลาการฉีดขึ้นรูปประมาณ 30 วินาที

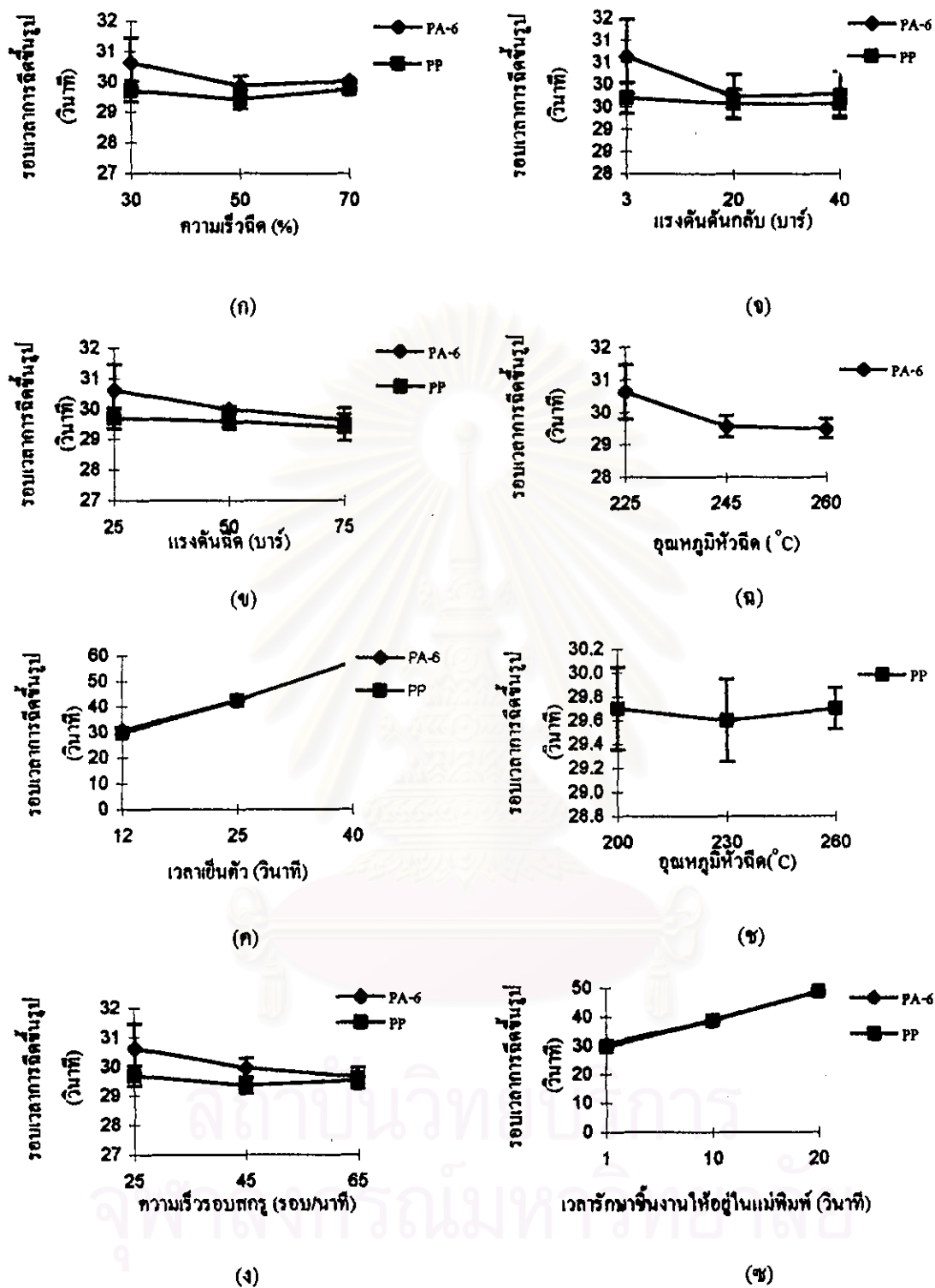


สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

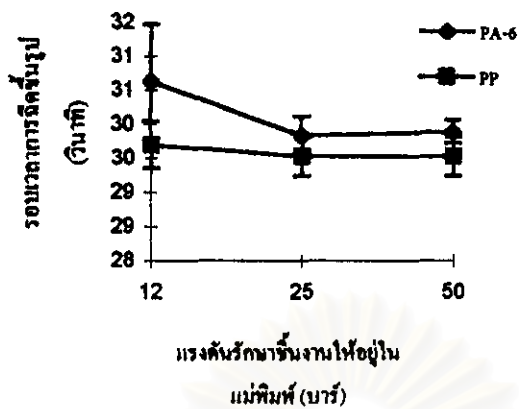
ตารางที่ 4.11 ผลของค่าเฉลี่ยรอบเวลาการฉีดขึ้นรูป (วินาที) ของ PP และ PA-6 เมื่อมีการเปลี่ยนค่าตัวแปรฉีดขึ้นรูป

ตัวแปร	หน่วย	ค่าของตัวแปร	PP	PA-6
Injection speed	%	30	29.70 ± 0.35	30.63 ± 0.84
		50	29.43 ± 0.32	29.87 ± 0.32
		70	29.77 ± 0.06	30.03 ± 0.06
Injection pressure	bar	25	29.70 ± 0.35	30.63 ± 0.84
		50	29.60 ± 0.26	30.00 ± 0.10
		75	29.40 ± 0.44	29.67 ± 0.38
Holding time	sec	1	29.70 ± 0.35	30.63 ± 0.84
		10	38.67 ± 0.32	38.87 ± 0.06
		20	48.80 ± 0.35	48.87 ± 0.32
Holding pressure	bar	12	29.70 ± 0.35	30.63 ± 0.84
		25	29.53 ± 0.29	29.83 ± 0.29
		50	29.53 ± 0.29	29.90 ± 0.17
Screw speed	rpm	25	29.70 ± 0.35	30.63 ± 0.84
		45	29.37 ± 0.29	29.97 ± 0.32
		65	29.53 ± 0.29	29.67 ± 0.31
Back pressure	bar	3	29.70 ± 0.35	30.63 ± 0.84
		20	29.57 ± 0.32	29.73 ± 0.50
		40	29.57 ± 0.32	29.80 ± 0.50
Cooling time	sec	12	31.58 ± 0.12	29.70 ± 0.35
		25	31.08 ± 0.11	42.33 ± 0.32
		40	31.04 ± 0.18	57.57 ± 0.32
Nozzle temperature	°C	200	29.70 ± 0.35	-
		225	-	30.63 ± 0.84
		230	29.60 ± 0.35	-
		245	-	29.57 ± 0.32
		260	29.70 ± 0.17	29.50 ± 0.30





รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลาการฉีดขึ้นรูปของโพลีเมอร์ PP และ PA-6 กับตัวแปรฉีดขึ้นรูป



(ณ)

รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างรอบเวลาการฉีดขึ้นรูปของโพลีเมอร์ PP และ PA-6 กับตัวแปรฉีดขึ้นรูป (ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.12 สรุปผลของตัวแปรอิสระรูปที่มีผลต่อคุณสมบัติเมื่อพิจารณาจากค่า P-value

คุณสมบัติ	PP	PA-6
1. ลักษณะทางกายภาพ	เวลารักษาชิ้นงานให้อยู่ในแม่พิมพ์ เวลาเย็นตัว อุณหภูมิที่หัวใจ	-
2. น้ำหนักชิ้นงาน	เวลารักษาชิ้นงานให้อยู่ในแม่พิมพ์ อุณหภูมิที่หัวใจ	แรงคั่นคั่นกลับ เวลาเย็นตัว อุณหภูมิที่หัวใจ
3. เปอร์เซ็นต์หดตัวของชิ้นงาน	แรงคั่นรักษาชิ้นงานให้อยู่ในแม่พิมพ์ แรงคั่นคั่นกลับ อุณหภูมิที่หัวใจ	แรงคั่นรักษาชิ้นงานให้อยู่ในแม่พิมพ์ แรงคั่นคั่นกลับ อุณหภูมิที่หัวใจ
4. ความทนต่อแรงดึง	เวลารักษาชิ้นงานให้อยู่ในแม่พิมพ์ เวลาเย็นตัว แรงคั่นคั่นกลับ อุณหภูมิที่หัวใจ	-
5. โมดูลัสความยืดหยุ่น	อุณหภูมิที่หัวใจ	อุณหภูมิที่หัวใจ
6. เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น	อุณหภูมิที่หัวใจ	เวลาเย็นตัว
7. ความทนต่อแรงกระแทก	-	-
8. ความแข็ง	-	เวลารักษาชิ้นงานให้อยู่ในแม่พิมพ์ แรงคั่นคั่นกลับ

จากตารางที่ 4.12 เมื่อทำการพิจารณาจากค่า P-value ที่คำนวณได้จากการทดสอบ ANOVA ดังตารางที่ 4.4-4.10 ของตัวแปรอิสระรูปทุกตัว กราฟรูปที่ 4.5 - 4.11 และคำนึงถึงการใช้งานจริง สามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิหัวใจมีผลต่อค่า โมดูลัส ความยืดหยุ่นอย่างมีนัยสำคัญ

#### 4.2.10 สรุปการพิจารณาตัวแปรฉีดขึ้นรูป

จากการพิจารณาทั้ง 9 คุณสมบัติดังกล่าว สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ตัวแปรฉีดขึ้นรูป และชนิดของ โพลีเมอร์มีผลต่อลักษณะทางกายภาพของชิ้นงาน
2. ตัวแปรฉีดขึ้นรูปทั้ง 8 ตัว ไม่มีผลต่อน้ำหนักชิ้นงาน เปอร์เซ็นต์การหดตัว

ความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น(%Elongation) ความทนต่อแรงกระแทก (Impact Strength) และความแข็ง(Hardness)

3. อุณหภูมิหัวฉีด (Nozzle temperature) มีผลต่อ โมดูลัสของความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) อย่างมีนัยสำคัญ

4. ชนิดของ โพลีเมอร์มีผลต่อน้ำหนักชิ้นงาน เปอร์เซ็นต์การหดตัว ความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) โมดูลัสของความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น (% Elongation) ความแข็ง (Hardness) และความทนต่อแรงกระแทก (Impact Strength)

5. เวลาเย็นตัว (Cooling time) และ เวลารักษาให้ชิ้นงานอยู่ในแม่พิมพ์ (Holding time) มีผลต่อรอบเวลาการฉีดขึ้นรูป (Cycle time)

6. ในแต่ละชนิดของโพลีเมอร์จะใช้รอบเวลาการฉีดขึ้นรูป (Cycle time) ที่แตกต่างกันเนื่องจากเวลาเย็นตัว (Cooling time) และ เวลาที่รักษาให้ชิ้นงานอยู่ในแม่พิมพ์ (Holding time) มีผลต่อลักษณะทางกายภาพ

จากข้อสรุปดังกล่าว ถึงที่ทำการทดลองต่อไปคือ

1. ศึกษาถึงการตั้งค่าตัวแปรฉีดขึ้นรูปที่ให้ลักษณะทางกายภาพที่ดีที่สุดของแต่ละสัดส่วนผสม และยังทำให้ทราบรอบเวลาการฉีดขึ้นรูป (Cycle time) ของแต่ละสัดส่วนผสม ซึ่งได้ผลการทดลองแสดงไว้ในหัวข้อที่ 4.4.1

2. ศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนผสมของ โพลีเมอร์ที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกล โดยใช้ค่าตัวแปรฉีดขึ้นรูปที่ได้จากข้อ 1 ซึ่งได้ผลการทดลองแสดงไว้ในหัวข้อที่ 4.3 และ 4.4

3. ศึกษาอิทธิพลของสัดส่วนผสมของโพลีเมอร์ และอุณหภูมิที่หัวฉีด (Nozzle temperature) ที่มีผลต่อโมดูลัสของความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) ซึ่งได้ผลการทดลองแสดงไว้ในหัวข้อที่ 4.4.3.2

#### 4.3 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

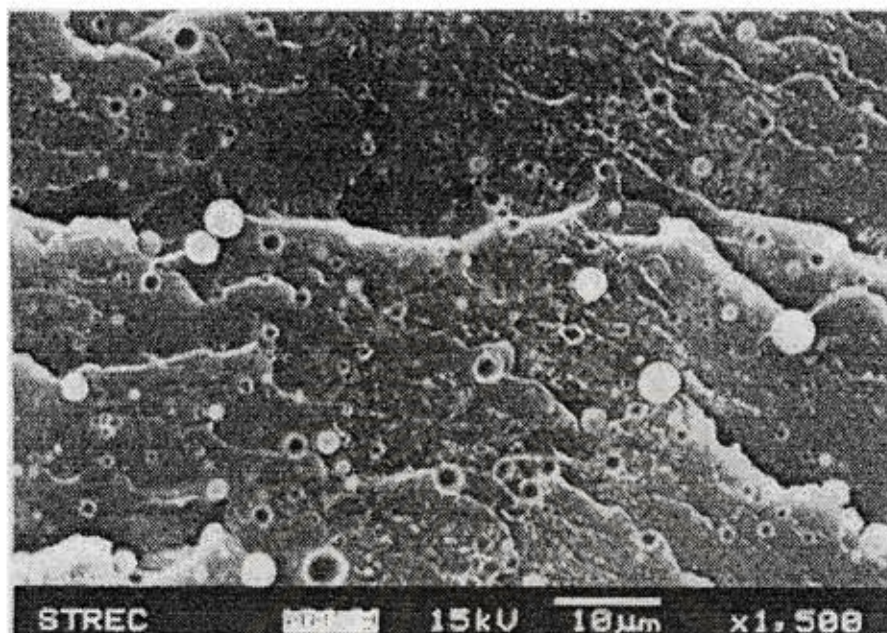
จากการนำชิ้นงานไปหักในไนโตรเจนเหลวจำนวน 28 ชิ้นงาน ตามสัดส่วนผสมในตารางที่ 3.1 และตัวแปรฉีดขึ้นรูปตามตารางที่ 4.20 นำไปตรวจสอบโครงสร้างระดับจุลภาคด้วยเครื่อง SEM ที่กำลังขยาย 1,500 เท่า จะได้ภาพแสดงลักษณะแตกต่างทางโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.12-4.21 และภาคผนวก ก

รูปที่ 4.13 แสดงภาพโครงสร้างจุลภาคของ PP กำลังขยาย 1,500 เท่า จะพบว่า โครงสร้างของ PP มีลักษณะเป็นพื้นผิวหยาบ มีขอบเกรนชัดเจน ส่วน PA-6 มีลักษณะโครงสร้างที่ไม่ปรากฏขอบเกรนชัดเจน และมีขนาดเล็ก ดังรูปที่ 4.14

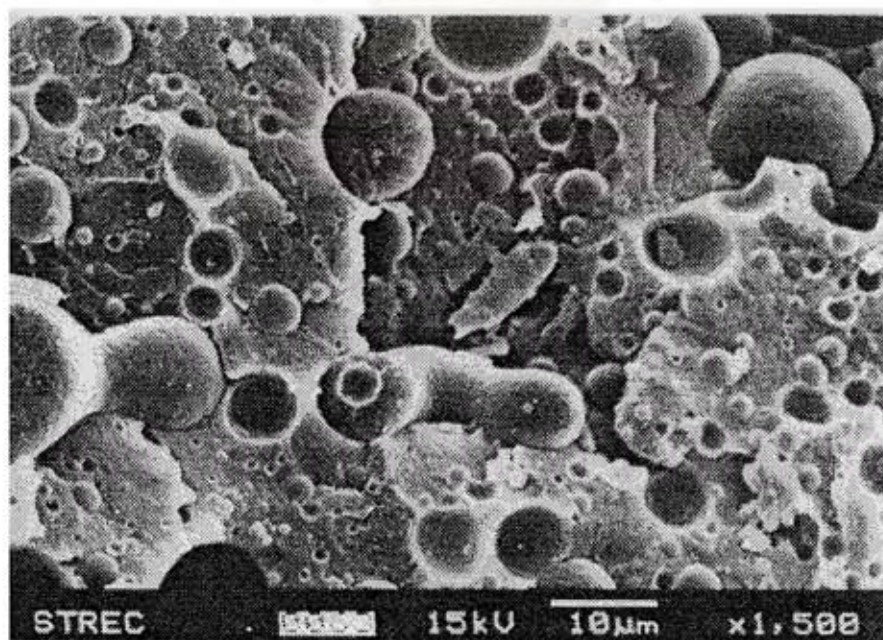
รูปที่ 4.15-4.19 แสดงโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน PP/PA-6(90/10) PP/PA-6(70/30) PP/PA-6(50/50) PP/PA-6(30/70) และ PP/PA-6(10/90) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าโครงสร้างมีการแบ่งเป็น 2 เฟส โดยเฟสของโพลีเมอร์ที่มีปริมาณมากกว่าจะเป็นเมกตริกซ์ ส่วนเฟสของโพลีเมอร์ที่มีปริมาณน้อยกว่าจะฟอร์มตัวเป็นเม็ดลักษณะกลม (spherical) กระจายอยู่ทั่วไปบนเมกตริกซ์ ไม่มีการรวมตัวเข้ากันระหว่างเฟสทั้งสอง ที่สัดส่วนผสม PP/PA-6(70/30) PP/PA-6(30/70) และ PP/PA-6(10/90) มีลักษณะของเม็ดกลมที่มีผิวค่อนข้างเรียบ และระหว่างขบวนการหักชิ้นงานก่อให้เกิดลักษณะเป็นวงๆจำนวนมาก ซึ่งเกิดจากการหักก่อนตำแหน่งอื่น ทำให้เกิดเป็นหลุมที่ว่างเปล่า ขนาดของเม็ดกลมที่กระจายอยู่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1-7  $\mu\text{m}$

รูปที่ 4.20-4.22 แสดงโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน PP/PA-6(30/70) ที่มี EPDM ผสมอยู่ 5 10 และ 15 % ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า PP ยังฟอร์มตัวเป็นเฟสที่มีลักษณะเป็นเม็ดกลมๆ กระจายอยู่บนเมกตริกซ์ของ PA-6 แต่เมื่อผสม EPDM เข้าไปจะทำให้ PP และ PA-6 รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น การแบ่งเฟสระหว่าง PP และ PA-6 มีความชัดเจนน้อยลง ขนาดและจำนวนของเม็ดกลมๆ น้อยลง และเมื่อเพิ่มปริมาณ EPDM จะทำให้ PP และ PA-6 สามารถรวมตัวกัน ได้มากขึ้น



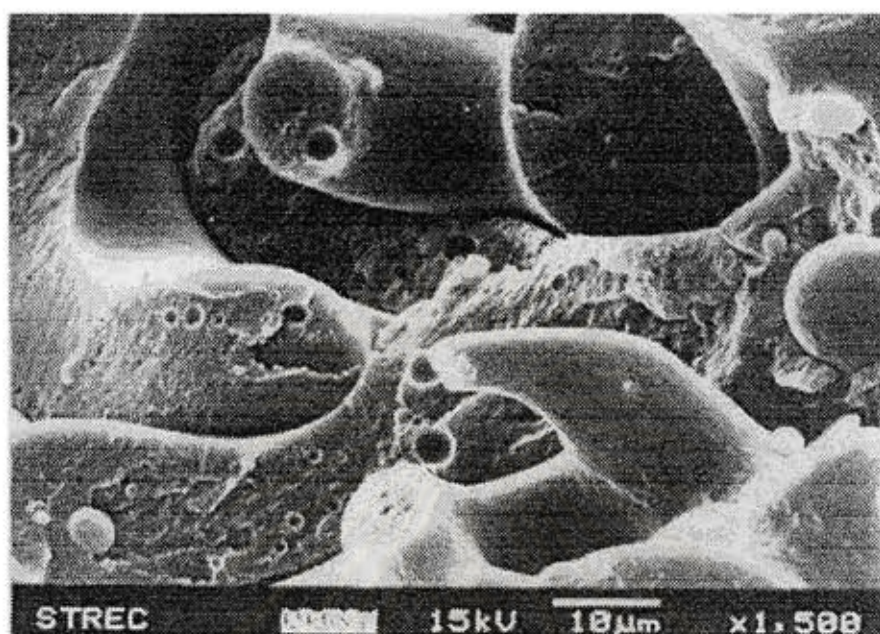


รูปที่ 4.15 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคบริเวณผิวหน้ารอยหักของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6 (90/10) ไม่มี EPDM ที่มีกำลังขยาย 1,500 เท่า ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225 °C

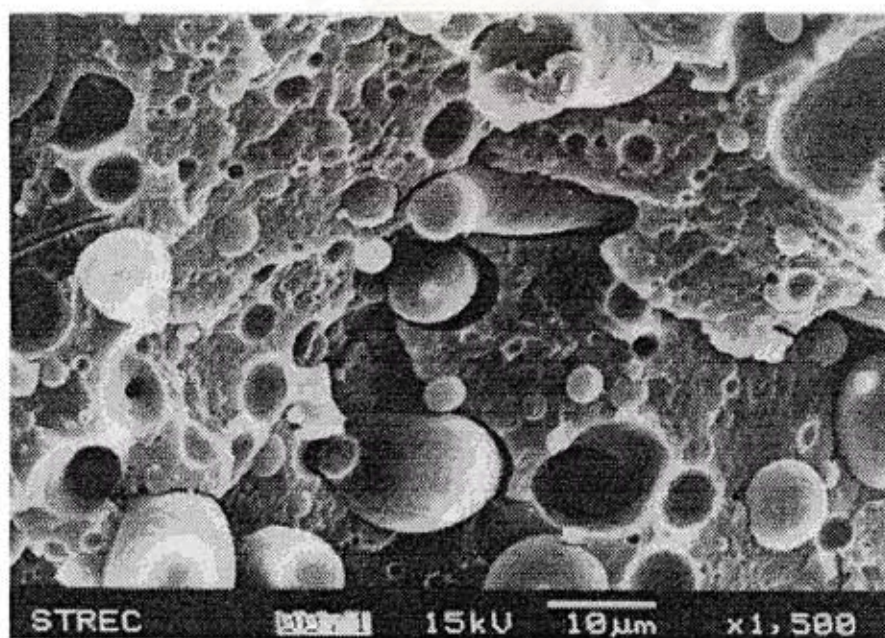


รูปที่ 4.16 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคบริเวณผิวหน้ารอยหักของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6 (70/30) ไม่มี EPDM ที่มีกำลังขยาย 1,500 เท่า ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225 °C



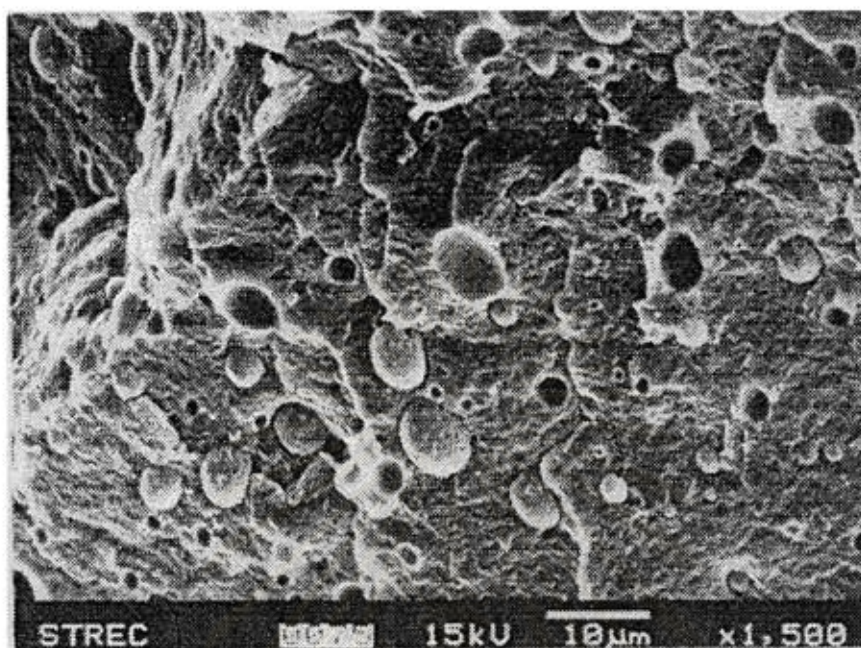


รูปที่ 4.17 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคบริเวณผิวหน้ารอยหักของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6 (50/50) ไม่มี EPDM ที่มีกำลังขยาย 1,500 เท่า ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225 °C

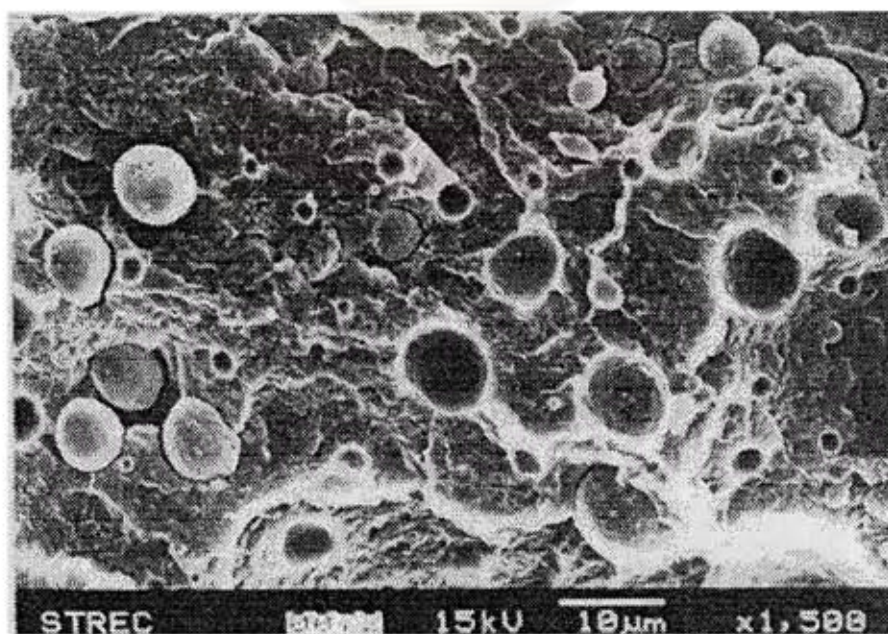


รูปที่ 4.18 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคบริเวณผิวหน้ารอยหักของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6 (30/70) ไม่มี EPDM ที่มีกำลังขยาย 1,500 เท่า ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225 °C



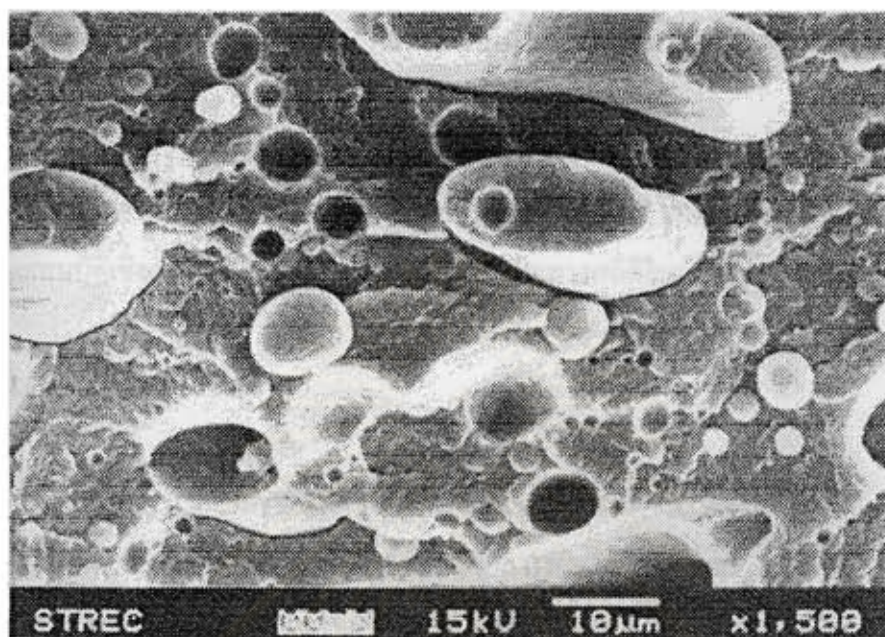


รูปที่ 4.19 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคบริเวณผิวหน้ารอยหักของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6 (10/90) ไม่มี EPDM ที่มีกำลังขยาย 1,500 เท่า ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225 °C

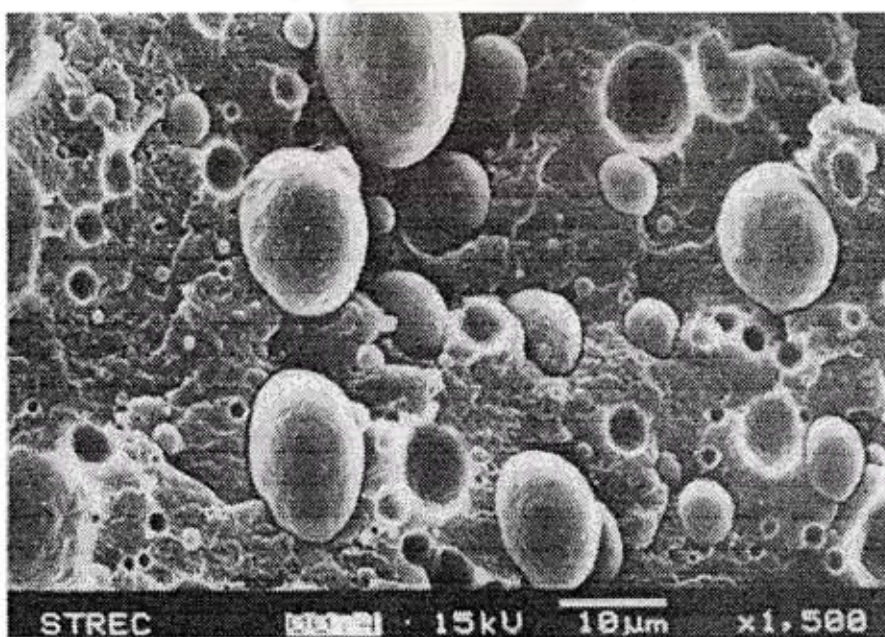


รูปที่ 4.20 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคบริเวณผิวหน้ารอยหักของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6 (30/70) มี EPDM 5% ที่มีกำลังขยาย 1,500 เท่า ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225 °C





รูปที่ 4.21 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคบริเวณผิวหน้ารอยหักของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6 (30/70) มี EPDM 10% ที่มีกำลังขยาย 1,500 เท่า ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225 °C



รูปที่ 4.22 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคบริเวณผิวหน้ารอยหักของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6 (30/70) มี EPDM 15% ที่มีกำลังขยาย 1,500 เท่า ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225 °C

#### 4.4 ผลการทดสอบลักษณะทางกายภาพ ความหนาแน่นและคุณสมบัติเชิงกล

จากการฉีดขึ้นรูปโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ประกอบกับการสังเกตลักษณะทางกายภาพของชิ้นงาน และนำไปทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ซึ่งได้ผลดังต่อไปนี้ และจะนำผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลที่ได้ไปทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติในหัวข้อที่ 4.5 ต่อไป

##### 4.4.1 ลักษณะทางกายภาพ

จากการฉีดขึ้นรูปโพลีเมอร์ผสมโดยใช้ตัวแปรฉีดขึ้นรูปตามตารางที่ 3.2 แต่ใช้อุณหภูมิหัวฉีด ที่ 225°C 245°C และ 260°C จากการสังเกตลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานด้านสี รอยขุนขาวในชิ้นงานและ ลักษณะผิวของชิ้นงาน สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.13 โดยโพลีเมอร์ผสม PP/EPDM จะมีเวลาการทำงานครบ 1 รอบ ประมาณ 50 วินาที ส่วนโพลีเมอร์สัดส่วนผสม PP/PA-6/EPDM อื่นๆ มีเวลาการทำงานครบ 1 รอบ คือ ประมาณ 30 วินาที

ตารางที่ 4.13 ค่าตัวแปรฉีดขึ้นรูปที่ให้ลักษณะทางกายภาพที่ดี

ปัจจัยควบคุม	หน่วย	ค่าควบคุมการฉีด PP/EPDM	ค่าควบคุมการฉีด PP/PA-6/EPDM
แรงดันต้นกลับ	บาร์	3	3
เวลาเย็นตัว	วินาที	25	12
แรงดันรักษาให้ชิ้นงานอยู่ในแม่พิมพ์	บาร์	12	12
เวลารักษาให้ชิ้นงานอยู่ในแม่พิมพ์	วินาที	10	1
แรงดันฉีด	บาร์	25	25
ความเร็วฉีด	เปอร์เซ็นต์	30	30
อุณหภูมิหัวฉีด	องศาเซลเซียส	225	225
ความเร็วรอบสกรู	รอบ/นาที	25	25

#### 4.4.2 ความหนาแน่น

จากการทดสอบค่าความหนาแน่นของชิ้นทดสอบ ได้ผลค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.14 และกราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.23 แสดงให้เห็นว่าค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ PA-6 เพิ่มขึ้น

#### 4.4.3 ความทนต่อแรงดึง

จากการทดสอบค่าความทนต่อแรงดึงของชิ้นทดสอบ ได้ผลค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.15 และกราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.24 แสดงให้เห็นว่าค่าความทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ PA-6 เพิ่มขึ้น แต่ค่าความทนต่อแรงดึงจะลดลงเมื่อปริมาณ EPDM เพิ่มขึ้น

#### 4.4.4 โมดูลัสความยืดหยุ่น

##### 4.4.4.1 โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM

จากการทดสอบค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของชิ้นทดสอบ ได้ผลค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.16 และกราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.25 แสดงให้เห็นว่าค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ PA-6 เพิ่มขึ้น แต่ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นจะลดลงเมื่อปริมาณ EPDM เพิ่มขึ้น

##### 4.4.4.2 โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM และอุณหภูมิ

จากการทดสอบค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของชิ้นทดสอบ โดยใช้อุณหภูมิ หัวฉีดที่ 225 245 และ 260 °C ได้ผลค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.16-4.18 และกราฟความสัมพันธ์ที่ 4.27 แสดงให้เห็นว่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 245°C และจะลดลงที่ อุณหภูมิ 260°C

ตารางที่ 4.14 ผลของค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM  
ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225°C

หน่วย : กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

PP/PA-6 (%w/w)	EPDM(%w)			
	0	5	10	15
100/0	854.85 ± 8.43	940.05 ± 16.37	933.14 ± 3.18	855.02 ± 10.95
90/10	914.96 ± 73.19	955.59 ± 0.92	880.58 ± 2.75	935.07 ± 79.05
70/30	981.15 ± 3.15	998.47 ± 1.40	930.96 ± 2.51	928.86 ± 7.77
50/50	1041.31 ± 14.09	1032.62 ± 18.99	975.77 ± 18.30	973.98 ± 4.36
30/70	1064.09 ± 25.02	1090.82 ± 11.39	1038.20 ± 16.38	1043.59 ± 27.20
10/90	1149.92 ± 13.25	1144.31 ± 10.69	1061.77 ± 10.74	1100.61 ± 42.86
0/100	1151.35 ± 8.16	1116.19 ± 6.21	1123.49 ± 1.65	1111.40 ± 19.01

ตารางที่ 4.15 ผลของค่าเฉลี่ยความทนต่อแรงดึงของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM  
ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225°C

หน่วย : นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร

PP/PA-6	EPDM (%w)			
	0	5	10	15
100/0	31.43 ± 0.23	26.18 ± 0.20	20.33 ± 0.83	18.16 ± 0.40
90/10	33.46 ± 0.75	28.90 ± 0.68	23.86 ± 0.45	21.59 ± 0.37
70/30	34.27 ± 0.50	30.79 ± 0.71	27.86 ± 0.14	24.88 ± 0.21
50/50	36.87 ± 0.68	32.65 ± 0.41	30.56 ± 0.75	25.89 ± 1.46
30/70	41.02 ± 0.78	39.99 ± 0.38	33.66 ± 0.88	28.83 ± 0.32
10/90	44.94 ± 1.01	43.26 ± 1.00	36.24 ± 0.37	31.42 ± 1.22
0/100	46.99 ± 1.92	44.97 ± 0.83	39.32 ± 0.72	36.44 ± 0.32



ตารางที่ 4.16 ผลของค่าเฉลี่ยโมดูลัสความยืดหยุ่นของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM  
ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225°C

หน่วย : นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร

PP/PA-6 %w/w	EPDM (%w)			
	0	5	10	15
100/0	482.86 ± 6.66	459.08 ± 8.37	412.86 ± 9.74	339.00 ± 7.87
90/10	499.74 ± 9.98	464.873 ± 17.25	437.28 ± 7.83	359.90 ± 13.82
70/30	510.12 ± 8.47	499.27 ± 18.23	467.80 ± 3.47	385.58 ± 3.04
50/50	545.42 ± 15.32	526.03 ± 1.81	485.04 ± 4.36	417.88 ± 21.75
30/70	584.03 ± 24.22	555.39 ± 27.97	506.80 ± 34.62	435.08 ± 4.64
10/90	608.78 ± 2.99	579.3 ± 10.49	530.66 ± 10.44	464.922 ± 21.73
0/100	629.18 ± 4.15	591.30 ± 3.38	540.42 ± 26.93	498.33 ± 7.62

ตารางที่ 4.17 ผลของค่าเฉลี่ยโมดูลัสความยืดหยุ่นของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM  
ที่อุณหภูมิหัวฉีด 245°C

หน่วย : นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร

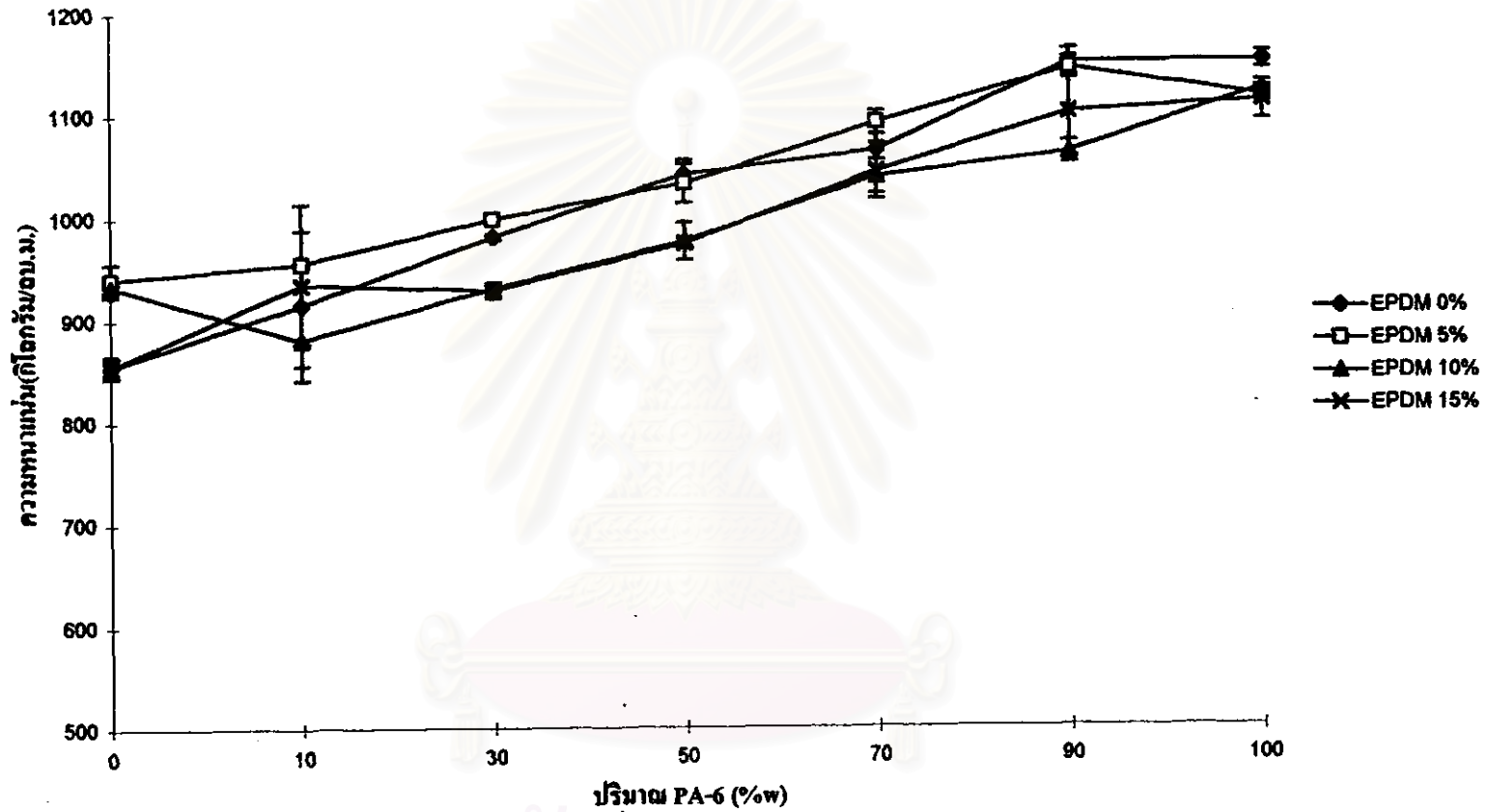
PP/PA-6 %w/w	EPDM (%w)			
	0	5	10	15
100/0	510.30 ± 9.67	460.359 ± 12.91	413.49 ± 6.61	354.74 ± 3.92
90/10	513.25 ± 6.14	478.74 ± 11.68	434.73 ± 3.74	377.00 ± 4.06
70/30	532.73 ± 18.91	489.19 ± 12.57	475.203 ± 8.68	395.53 ± 6.38
50/50	556.26 ± 19.64	535.89 ± 29.66	477.02 ± 9.98	425.08 ± 15.90
30/70	607.05 ± 26.79	579.22 ± 10.25	531.23 ± 23.83	466.63 ± 16.41
10/90	613.06 ± 13.40	600.59 ± 11.56	541.97 ± 13.83	472.76 ± 12.70
0/100	717.61 ± 21.46	659.59.30 ± 7.82	587.14 ± 2.16	543.17 ± 6.46

ตารางที่ 4.18 ผลของค่าเฉลี่ยโมดูลัสความยืดหยุ่นของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM  
ที่อุณหภูมิหัวฉีด 260°C

หน่วย : นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร

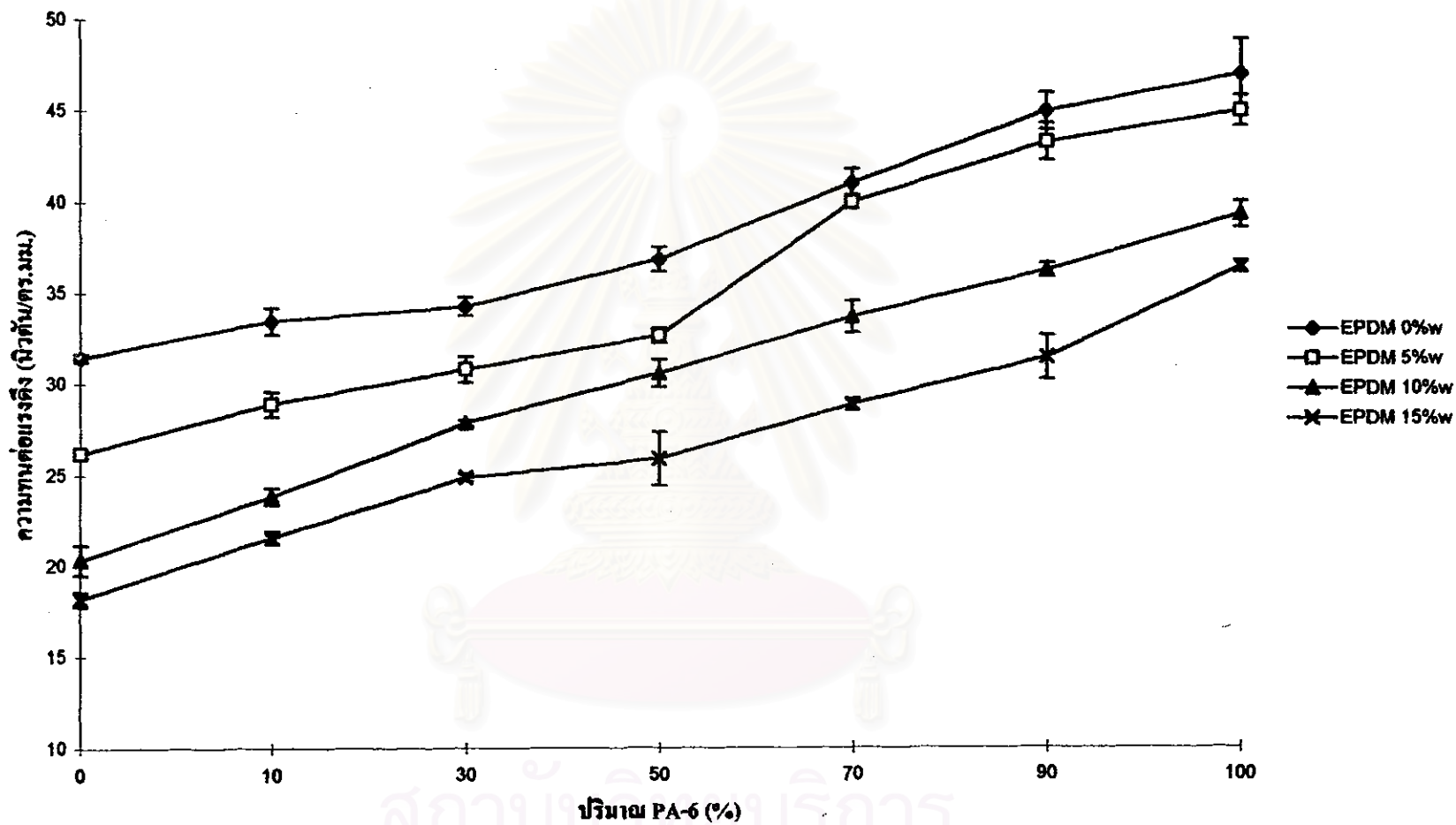
PP/PA-6 %w/w	EPDM (%w)			
	0	5	10	15
100/0	429.75 ± 29.73	370.70 ± 7.29	347.40 ± 8.18	301.60 ± 2.37
90/10	446.00 ± 10.87	425.60 ± 9.09	379.80 ± 3.19	318.70 ± 1.73
70/30	479.21 ± 12.01	474.87 ± 14.26	435.42 ± 14.72	353.74 ± 8.49
50/50	528.56 ± 9.09	491.57 ± 24.79	457.68 ± 10.29	373.64 ± 8.70
30/70	578.15 ± 9.58	558.09 ± 14.09	521.82 ± 14.59	400.06 ± 15.67
10/90	602.24 ± 10.57	586.32 ± 11.47	534.68 ± 12.31	468.16 ± 6.18
0/100	702.49 ± 8.89	641.42 ± 13.46	592.88 ± 26.16	519.85 ± 16.07

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



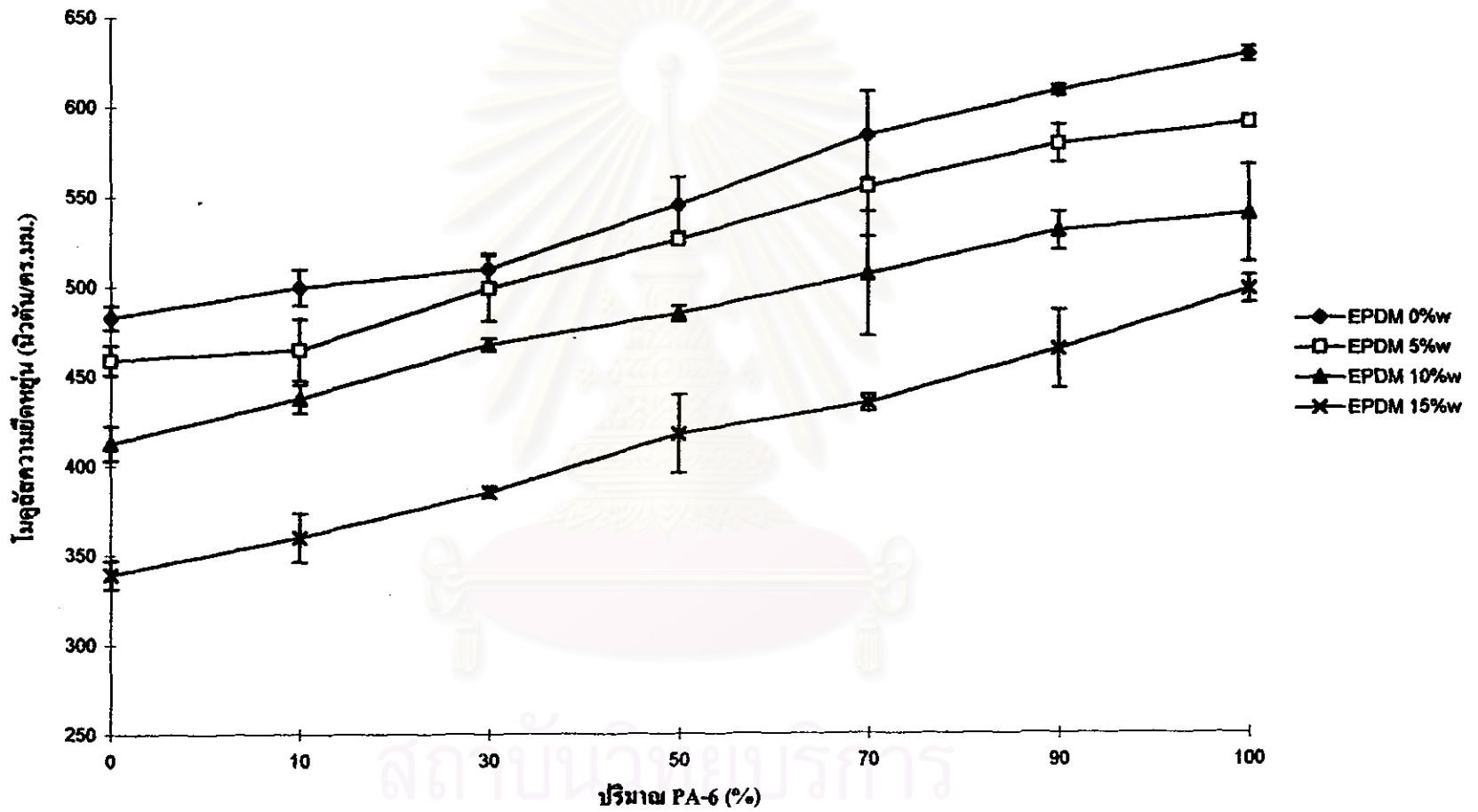
รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM กับปริมาณ PA-6 และ EPDM

ที่อุณหภูมิห้อง 225°C

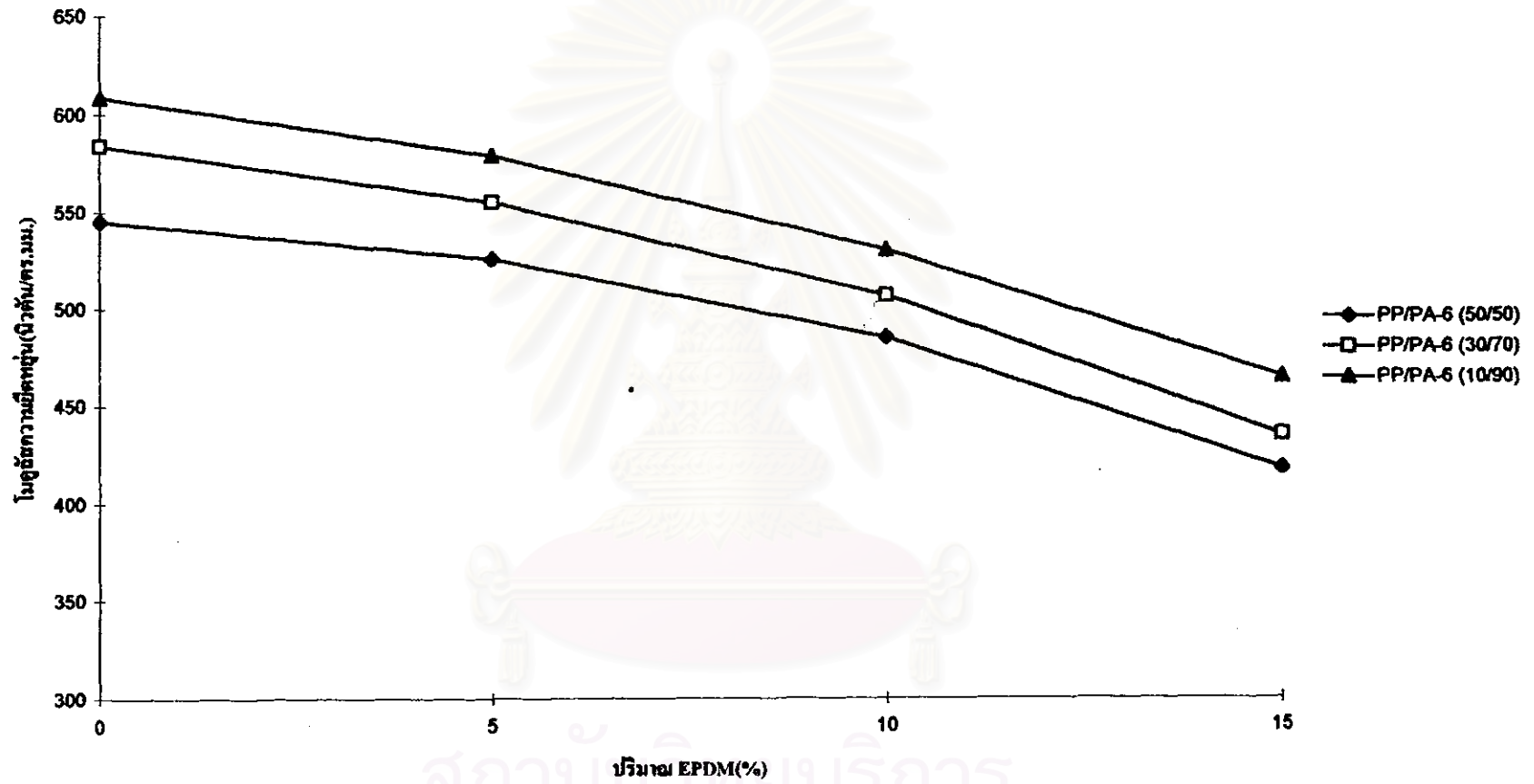


รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงดึงของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM กับปริมาณ PA-6 และ EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225°C

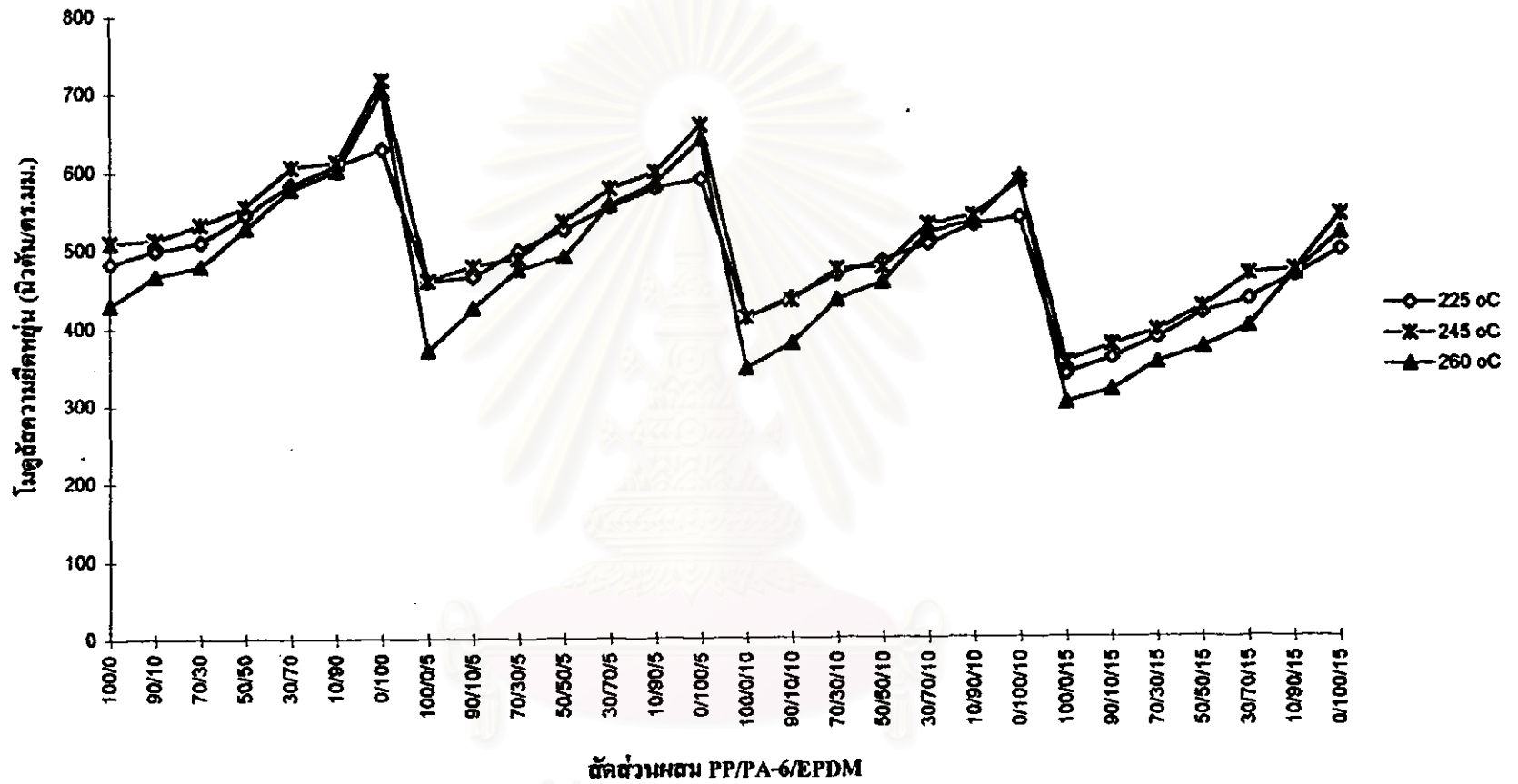




รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM กับปริมาณ PA-6 และ EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225 °C



รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น กับปริมาณ EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225 °C



รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมลูลัสความยึดหยุ่นของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM กับสัดส่วนผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด ตั้งแต่ 225-260 °C

#### 4.4.5 เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น

จากการทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของชิ้นทดสอบ ได้ผลค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.19 และกราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.28 แสดงให้เห็นว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ PA-6 และ EPDM เพิ่มขึ้น

#### 4.4.6 ความทนต่อแรงกระแทก

จากการทดสอบค่าความทนต่อแรงกระแทกของชิ้นทดสอบ ได้ผลค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.20 และกราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.29 แสดงให้เห็นว่าค่าความทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ EPDM และ PA-6 เพิ่มขึ้น การใส่ EPDM เข้าไปในโพลีเมอร์ PP(100%) และ PA-6(100%) จะทำให้ความทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้นอย่างมาก การใส่ EPDM ผสมลงในสัดส่วนอื่นก็จะทำให้ความทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้นเช่นกัน แต่จะไม่มากเท่ากับในโพลีเมอร์ PP(100%) และ PA-6 (100%) จากสัดส่วนผสม PP/PA-6 (90/10) จนถึง PP/PA-6 (10/90) ความทนต่อแรงกระแทกจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึง PP/PA-6 (30/70) จะเป็นสัดส่วนที่มีความทนต่อแรงกระแทกสูงสุด

#### 4.4.7 ความแข็ง

จากการทดสอบค่าความแข็งของชิ้นทดสอบ ได้ผลค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 4.21 และกราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.30 แสดงให้เห็นว่าค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ PA-6 เพิ่มขึ้น แต่ค่าความแข็งจะลดลงเมื่อปริมาณ EPDM เพิ่มขึ้น

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.19 ผลของค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM  
ที่อุณหภูมิหัวใจ 225 °C

หน่วย : เปอร์เซ็นต์

PP/PA-6 %/w/w	EPDM (%w)			
	0	5	10	15
100/0	16.94 ± 0.12	16.99 ± 0.99	18.911 ± 1.6	20.62 ± 0.34
90/10	17.15 ± 0.43	17.96 ± 1.08	20.89 ± 0.20	22.94 ± 0.96
70/30	18.47 ± 1.95	18.68 ± 2.47	21.56 ± 0.79	23.79 ± 0.35
50/50	18.86 ± 1.64	19.824 ± 3.39	22.58 ± 3.63	25.98 ± 1.78
30/70	19.21 ± 3.08	21.03 ± 1.88	23.73 ± 1.19	28.80 ± 2.19
10/90	21.04 ± 1.11	21.76 ± 1.85	25.87 ± 3.46	30.71 ± 3.12
0/100	23.75 ± 5.62	26.70 ± 2.73	28.19 ± 2.22	33.80 ± 5.89

ตารางที่ 4.20 ผลของค่าเฉลี่ยความทนต่อแรงกระแทกของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM  
ที่อุณหภูมิหัวใจ 225 °C

หน่วย : กิโลจูล/ตารางเมตร

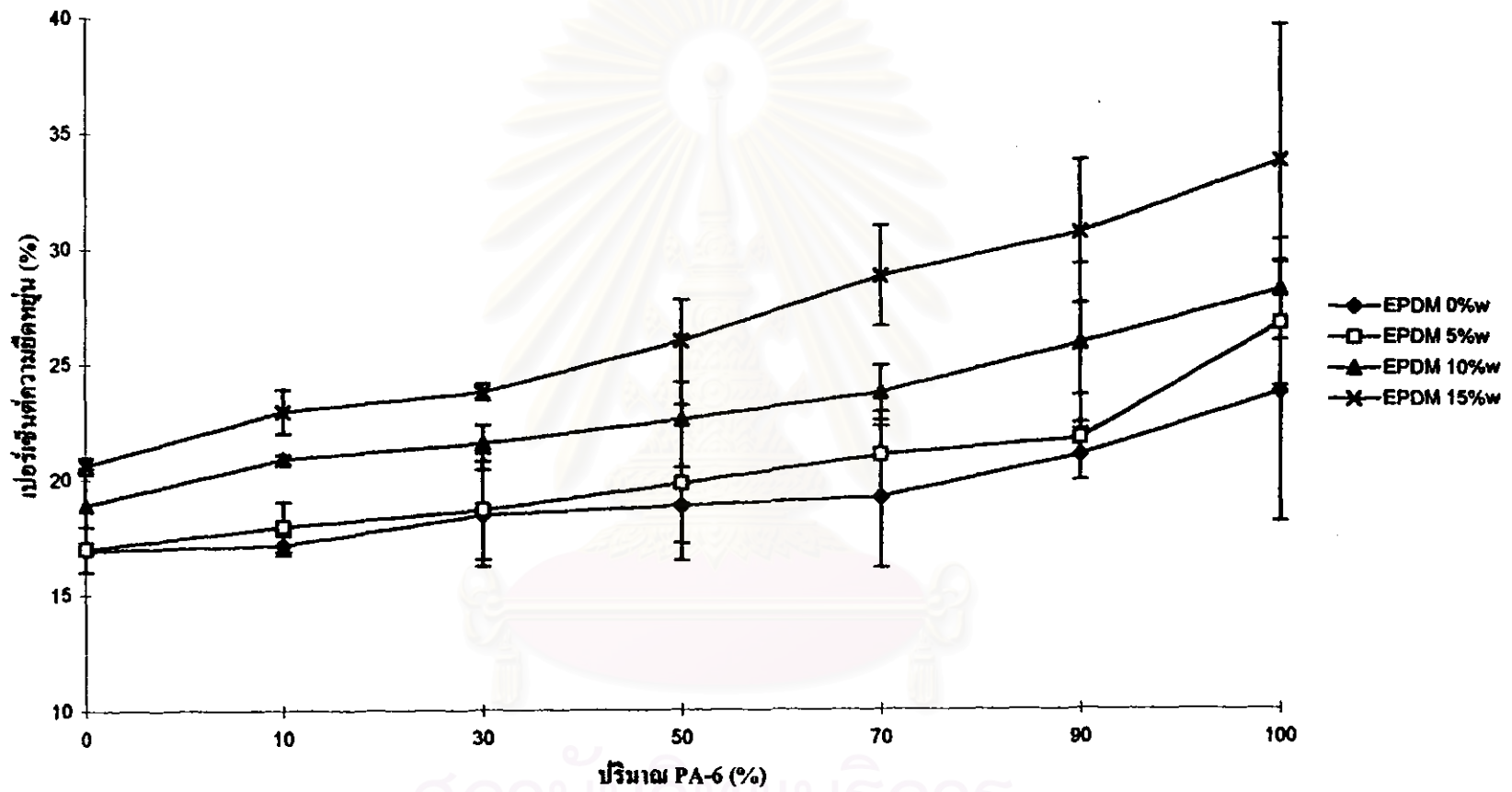
PP/PA-6 %/w/w	EPDM (%w)			
	0	5	10	15
100/0	0.77 ± 0.06	4.46 ± 0.39	9.28 ± 0.12	13.32 ± 0.70
90/10	1.03 ± 0.07	2.13 ± 0.27	2.81 ± 0.07	3.30 ± 0.08
70/30	2.03 ± 0.04	2.46 ± 0.19	3.69 ± 0.11	4.34 ± 0.15
50/50	3.76 ± 0.11	4.68 ± 0.04	5.17 ± 0.37	5.88 ± 0.19
30/70	5.50 ± 0.20	6.02 ± 0.25	6.45 ± 0.70	7.07 ± 0.39
10/90	4.40 ± 0.22	4.97 ± 0.05	5.48 ± 0.57	6.47 ± 1.23
0/100	4.31 ± 0.45	11.07 ± 0.48	15.44 ± 0.49	22.77 ± 0.57

ตารางที่ 4.21 ผลของค่าเฉลี่ยความแข็งของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM  
ที่อุณหภูมิห้อง 225°C

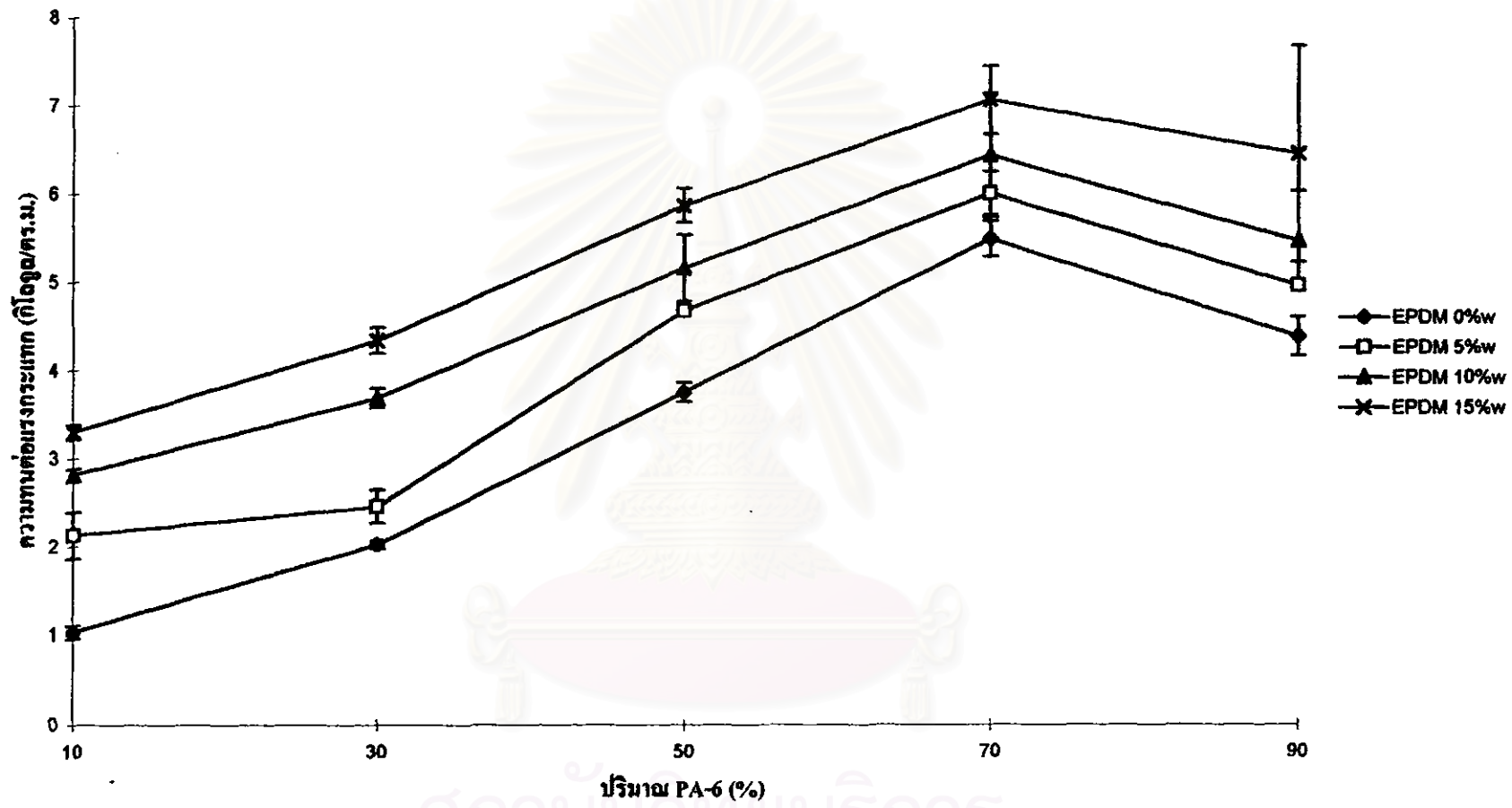
หน่วย : Shore D

PP/PA-6 %w/w	EPDM (%w)			
	0	5	10	15
100/0	68.87 ± 0.32	64.13 ± 0.42	63.67 ± 1.03	61.40 ± 0.53
90/10	69.40 ± 0.53	65.60 ± 0.20	65.23 ± 0.55	62.80 ± 1.11
70/30	70.20 ± 0.10	67.90 ± 0.61	64.43 ± 0.32	62.93 ± 0.83
50/50	71.37 ± 0.40	68.43 ± 0.45	66.97 ± 1.12	66.00 ± 0.69
30/70	72.00 ± 0.92	71.23 ± 0.49	70.03 ± 1.85	69.40 ± 1.22
10/90	72.60 ± 0.92	72.43 ± 0.38	71.93 ± 0.31	71.53 ± 1.42
0/100	73.93 ± 0.64	73.47 ± 0.15	73.13 ± 0.12	72.60 ± 0.40

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

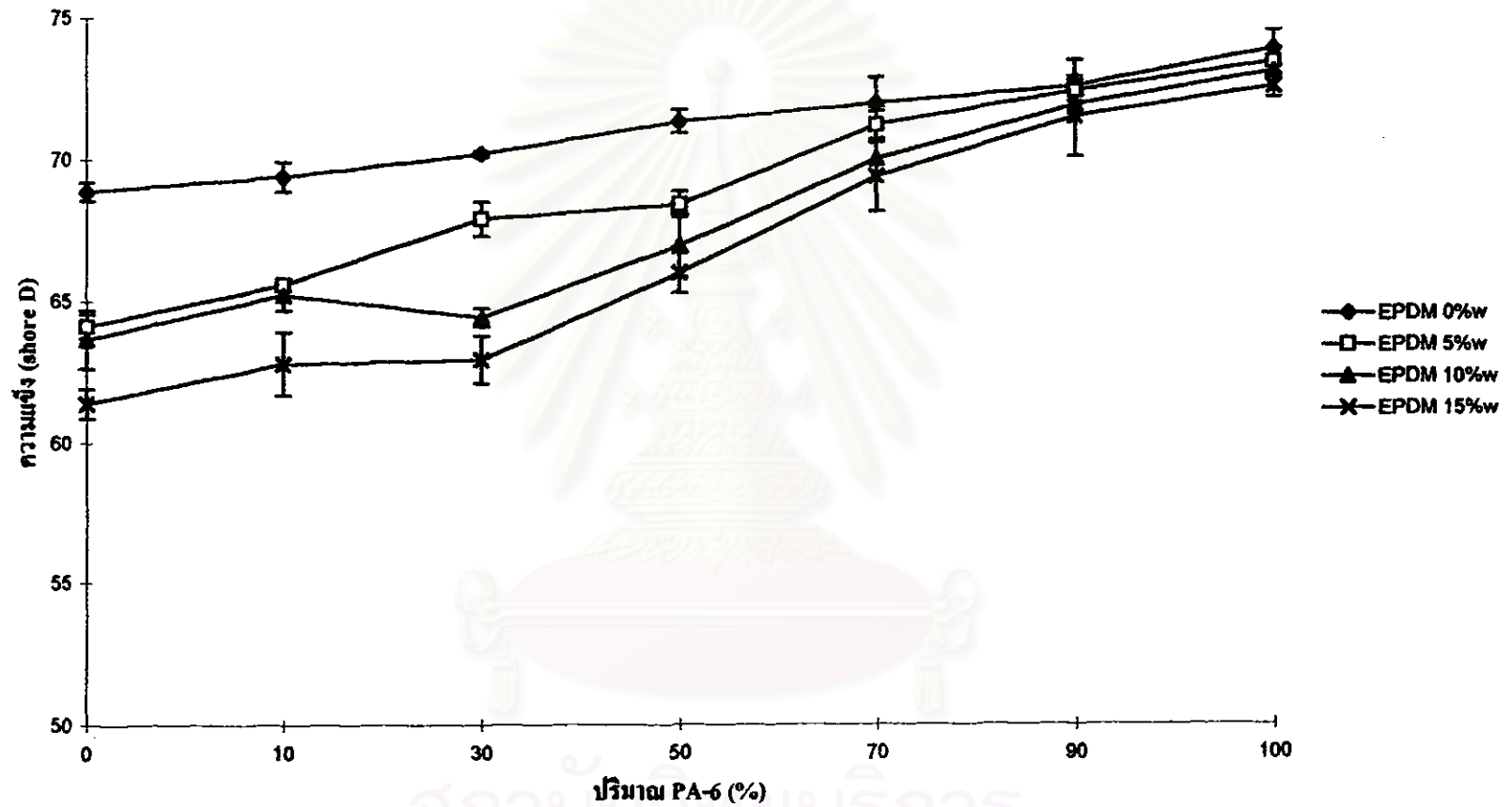


รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM กับปริมาณ PA-6 และ EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225 °C



รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงกระแทกของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM กับปริมาณ PA-6 และ EPDM ที่อุณหภูมิห้อง 225°C





รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM กับปริมาณ PA-6 และ EPDM ที่อุณหภูมิห้อง 225°C

ตารางที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าอัตราการไหลตัวของโพลิเมอร์ผสม  
PP/PA-6 /EPDM

			Sum of Square	Df	Mean Square	F
Melt Flow	Main	(Combine)	914.424	11	83.129	18998.151
	Ellects					
Rate of		PP/PA-6	655.637	6	109.273	24972.866
PP/PA-6 /		EPDM	102.248	3	34.083	7789.120
EPDM		Melt	156.540	2	78.270	17887.550
		Temperature				
Ternary	2-WAY	(Combine)	65.455	36	1.818	415.523
Blends						
	Interaction	PP/PA-6 *	13.302	18	0.739	168.895
		EPDM				
		PP/PA-6 *	50.574	12	4.215	963.172
		Melt				
		Temperature				
		EPDM * Melt	1.578	6	0.263	60.109
		Temperature				
	3-WAY	PP/PA-6 *	2.846	36	7.906E-	18.068
	Interaction	EPDM * Melt			02	
		Temperature				
	Model		982.725	83	11.840	2705.891
	Residual		0.735	168	4.376E-	
					03	
	Total		983.461	251	3.918	

#### 4.5.1.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าความหนาแน่น

เมื่อนำผลค่าความหนาแน่นมาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน จะได้ผลดังตารางที่ 4.23 จะเห็นได้ว่าสัดส่วนของ PP/PA-6 และ EPDM มีผลต่อค่าความหนาแน่นของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างสัดส่วนของ PP/PA-6 กับ EPDM มีผลต่อค่าความหนาแน่นของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เช่นกัน

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับปริมาณ PA-6 และ EPDM ในรูปที่ 4.23 และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 4.23 สามารถอธิบายถึงลักษณะของผลกระทบของสัดส่วน PP/PA-6 และ EPDM ที่มีผลต่อค่าความหนาแน่นของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ได้ดังนี้คือ เมื่อปริมาณ PA-6 เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อปริมาณ EPDM เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความหนาแน่นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าความหนาแน่นของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225°C

			Sum of Square	Df	Mean Square	F
Density	Main	(Combine)	638104.10	9	70800.46	113.94
	Ellects					
of PP/PA-6/		PP/PA-6	604371.90	6	100728.60	161.87
EPDM		EPDM	33732.21	3	11244.07	18.07
Binary	2-WAY	PP/PA-6*	40237.55	18	2237.09	3.59
Blends	Interaction	EPDM				
	Model		678371.60	27	25124.88	40.38
	Residual		34846.87	56	622.27	
	Total		713218.50	83	8592.99	

#### 4.5.1.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าความทนต่อแรงดึง

เมื่อนำผลค่าความทนต่อแรงดึงมาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน จะได้ผลดังตารางที่ 4.24 จะเห็นได้ว่าสัดส่วนของ PP/PA-6 และ EPDM มีผลต่อค่าความทนต่อแรงดึงของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ปฏิสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของ PP/PA-6 กับ EPDM มีผลต่อค่าความทนต่อแรงดึงของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เช่นกัน

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงดึงกับปริมาณ PA-6 และ EPDM ในรูปที่ 4.24 และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 4.24 สามารถอธิบายถึงลักษณะของผลกระทบของสัดส่วน PP/PA-6 และ EPDM ที่มีผลต่อค่าความทนต่อแรงดึงของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ได้ดังนี้คือ เมื่อปริมาณ PA-6 เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อปริมาณ EPDM เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความทนต่อแรงดึงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าความทนต่อแรงดึงของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวใจ 225°C

			Sum of Square	Df	Mean Square	F
Tensile Strength of PP/PA-6/ EPDM Binary Blends	Main Effects (Combine)		4752.271	9	528.030	883.465
		PP/PA-6	3058.056	6	509.676	852.756
		EPDM	1694.214	3	564.738	944.882
	2-WAY Interaction	PP/PA-6* EPDM	79.127	18	4.396	7.355
	Model		4831.398	27	178.941	299.792
	Residual		33.470	56	0.598	
	Total		4864.868	83	58.613	

#### 4.5.1.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น

##### 1) โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM

เมื่อนำผลค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นมาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน จะได้ผลดังตารางที่ 4.25 จะเห็นได้ว่าสัดส่วนของ PP/PA-6 และ EPDM มีผลต่อค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นกับปริมาณ PA-6 และ EPDM ในรูปที่ 4.25 และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 4.25 สามารถอธิบายลักษณะของผลกระทบของสัดส่วน PP/PA-6 และ EPDM ที่มีผลต่อค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ได้ดังนี้คือ เมื่อปริมาณ PA-6 เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อปริมาณ EPDM เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวใจ 225°C

			Sum of Square	Df	Mean Square	F
Young Modulus	Main Effects	(Combine)	429466.7	9	47718.519	216.308
of PP/PA-6/		PP/PA-6	204359.6	6	34059.763	154.138
EPDM		EPDM	225108.1	3	75036.031	340.138
Binary Blends	2-WAY	PP/PA-6 *	3381.753	18	187.875	0.852
	Interaction	EPDM				
	Model		432848.4	27	16031.423	72.670
	Residual		12353.87	56	220.605	
	Total		445202.3	83	5363.883	

## 2) โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM และฉนวนหุ้มหัวฉีด

เมื่อนำผลค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นทุกฉนวนหุ้มมาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน จะได้ผลดังตารางที่ 4.26 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสัดส่วนของ PP/PA-6 EPDM และ ฉนวนหุ้มหัวฉีดมีผลต่อค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างสัดส่วนของ PP/PA-6 กับ EPDM ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างสัดส่วนของ PP/PA-6 กับฉนวนหุ้มหัวฉีด และปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่าง EPDM กับฉนวนหุ้มหัวฉีดมีผลต่อค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นกับปริมาณ PA-6 และ EPDM ที่ฉนวนหุ้มหัวฉีดต่างๆ ในรูปที่ 4.27 และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 4.26 สามารถอธิบายถึงลักษณะของผลกระทบของสัดส่วน PP/PA-6 EPDM และ ฉนวนหุ้มหัวฉีดที่มีผลต่อค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ได้ดังนี้คือ เมื่อปริมาณ PA-6 เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อ ปริมาณ EPDM เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อฉนวนหุ้มหัวฉีดเพิ่มขึ้นเป็น 245 °C จะทำให้ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แต่จะลดลงเมื่อฉนวนหุ้มหัวฉีดลดลงเป็น 260 °C



ตารางที่ 4.26 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของโพลิเมอร์ผสม  
PP/PA-6/EPDM และอุณหภูมิหัวฉีด

			Sum of Square	Df	Mean Square	F
Young Modulus of PP/PA-6/ EPDM Ternary Blends	Main Effects	(Combine)	1833508	11	166682.5	825.183
		PP/PA-6	1044017	6	174002.8	861.423
		EPDM	734880.1	3	244960.0	1212.706
		Nozzle	54610.911	2	27305.456	135.179
		Temperature				
	2-WAY	(Combine)	68234.286	36	1895.397	9.383
	Interaction	PP/PA-6 *	13106.339	18	728.130	3.605
		EPDM				
		PP/PA-6 *	52770.804	12	4397.567	21.771
		Nozzle				
		Temperature				
		EPDM *	2357.143	6	392.857	1.945
		Nozzle				
		Temperature				
	3-WAY	PP/PA-6 *	10299.133	36	286.087	1.415
Interaction	EPDM *					
	Nozzle					
	Temperature					
Model		1912041	83	23036.641	114.046	
Residual		33935.101	168	201.995		
Total		1945976	251	7752.894		

#### 4.5.1.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น

เมื่อนำผลค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นมาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน จะได้ผลดังตารางที่ 4.27 จะเห็นได้ว่าสัดส่วนของ PP/PA-6 และ EPDM มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น กับ ปริมาณ PA-6 และ EPDM ในรูปที่ 4.28 และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 4.27 สามารถอธิบายถึงลักษณะของผลกระทบของสัดส่วน PP/PA-6 และ EPDM ที่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ได้ดังนี้คือ เมื่อปริมาณ PA-6 เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อปริมาณ EPDM เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.27 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225 °C

			Sum of Square	Df	Mean Square	F
% Elongation of PP/PA-6/ EPDM	Main Ellects	(Combine)	1614.576	9	179.397	24.391
		PP/PA-6	880.3	6	146.717	19.948
		EPDM	734.276	3	244.754	33.277
Binary Blends	2-WAY	PP/PA-6 *	56.202	18	3.122	0.425
	Interaction	EPDM				
	Model		1670.778	27	61.881	8.413
	Residual		411.886	56	7.355	
	Total		2082.665	83	25.902	

#### 4.5.1.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าความทนต่อแรงกระแทก

เมื่อนำผลค่าความทนต่อแรงกระแทกมาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน จะได้ผลดังตารางที่ 4.28 จะเห็นได้ว่าสัดส่วนของ PP/PA-6 และ EPDM มีผลต่อค่าความทนต่อแรงกระแทกของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างสัดส่วนของ PP/PA-6 กับ EPDM มีผลต่อค่าความทนต่อแรงกระแทกของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เช่นกัน

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงกระแทกกับ ปริมาณ PA-6 และ EPDM ในรูปที่ 4.29 และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 4.28 สามารถอธิบายถึงลักษณะของผลกระทบของสัดส่วน PP/PA-6 และ EPDM ที่มีผลต่อค่าความทนต่อแรงกระแทก ของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ได้ดังนี้คือ เมื่อปริมาณ PA-6 เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่า ความทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยจากสัดส่วนผสม PP/PA-6 (90/10) จนถึง PP/PA-6 (10/90) ความทนต่อแรงกระแทกจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึง PP/PA-6 (30/70) จะเป็น สัดส่วนที่มีความทนต่อแรงกระแทกสูงสุด และเมื่อปริมาณ EPDM เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.28 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าความทนต่อแรงกระแทกของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225°C

			Sum of Square	Df	Mean Square	F
Impact Strength of PP/PA-6/EPDM	Main Effects	(Combine)	1350.322	9	150.036	904.705
		PP/PA-6	950.110	6	158.352	954.849
		EPDM	400.212	3	133.404	804.416
Binary Blends	2-WAY	PP/PA-6 *	448.017	18	24.890	150.084
	Interaction	EPDM				
	Model		1798.339	27	66.605	401.624
	Residual		9.287	56	0.166	
Total			1807.626	83	21.779	

#### 4.5.1.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าความแข็ง

เมื่อนำผลค่าความแข็งมาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน จะได้ผลดังตารางที่ 4.29 จะเห็นได้ว่าสัดส่วนของ PP/PA-6 และ EPDM มีผลต่อค่าความแข็งของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างสัดส่วนของ PP/PA-6 กับ EPDM มีผลต่อค่าความแข็งของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % เช่นกัน

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับปริมาณ PA-6 และ EPDM ในรูปที่ 4.30 และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 4.29 สามารถอธิบายถึงลักษณะของผลกระทบของสัดส่วน PP/PA-6 และ EPDM ที่มีผลต่อค่าความแข็งของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ได้ดังนี้คือ เมื่อปริมาณ PA-6 เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อปริมาณ EPDM เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.29 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าความแข็งของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225°C

			Sum of Square	Df	Mean Square	F
Hardness of PP/PA-6/EPDM Binary Blends	Main Effects	(Combine)	1054.687	9	117.187	199.995
		PP/PA-6	822.380	6	137.063	233.915
		EPDM	232.307	3	77.436	132.153
	2-WAY	PP/PA-6 *	86.600	18	4.811	8.211
		EPDM				
	Model		1141.287	27	42.270	72.139
	Residual		32.813	56	0.586	
	Total		1174.10	83	14.152	

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.30 สรุปการวิเคราะห์ความแปรปรวน

คุณสมบัติ	ปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
1. อัตราการไหลตัว	กัดส่วนผสม PP/PA-6 ปริมาณ EPDM อุณหภูมิการหลอมละลาย ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างกัดส่วนผสม PP/PA-6 กับปริมาณ EPDM ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างกัดส่วนผสม PP/PA-6 กับ อุณหภูมิการหลอมละลาย ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างปริมาณ EPDM กับอุณหภูมิการหลอมละลาย ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างกัดส่วนผสม PP/PA-6 ปริมาณ EPDM และอุณหภูมิการหลอมละลาย
2. ความหนาแน่นและความทนต่อแรงดึง	กัดส่วนผสม PP/PA-6 ปริมาณ EPDM และ ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างกัดส่วนผสม PP/PA-6 กับปริมาณ EPDM
3. โมดูลัสความยืดหยุ่น เมื่อไม่พิจารณาอุณหภูมิหัวฉีด เมื่อพิจารณาอุณหภูมิหัวฉีด	กัดส่วนผสม PP/PA-6 ปริมาณ EPDM กัดส่วนผสม PP/PA-6 ปริมาณ EPDM อุณหภูมิหัวฉีด ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างกัดส่วนผสม PP/PA-6 กับปริมาณ EPDM ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างกัดส่วนผสม PP/PA-6 กับอุณหภูมิหัวฉีด ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างปริมาณ EPDM กับอุณหภูมิหัวฉีด



ตารางที่ 4.30 สรุปการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ต่อ)

คุณสมบัติ	ปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ
4. เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น	สัดส่วนผสม PP/PA-6 ปริมาณ EPDM
5. ความทนต่อแรงกระแทก และ ความแข็ง	สัดส่วนผสม PP/PA-6 ปริมาณ EPDM ปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างสัดส่วนผสม PP/PA-6 กับปริมาณ EPDM

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.5.2 การวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล

ในการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูลโดยใช้โปรแกรมทางสถิติ SPSS Version 7.5.1 มาช่วยในการวิเคราะห์ โดยใช้วิธีการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยแบบ Stepwise โดยความน่าจะเป็น F (Probability F) นำเข้า (Enter) เป็น 0.05 และนำออก (Removal) เป็น 0.10 สมการที่ได้สามารถนำไปใช้ทำนายคุณสมบัติได้ภายใต้เงื่อนไขต่อไปนี้

PP และ PA-6 ในโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6 มีค่าอยู่ในช่วง 0-100% โดยน้ำหนัก และตัดส่วนทั้งสองรวมกันเป็น 100%

EPDM มีค่าอยู่ในช่วง 0-15% โดยน้ำหนัก

##### 4.5.2.1 การวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูลค่าอัตราการไหลตัว

เมื่อนำผลค่าอัตราการไหลตัวมาทำการวิเคราะห์ จะได้ผลดังตารางที่ 4.31-4.33 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของตารางที่ 4.31 ได้ค่า  $F = 483.963$  ซึ่งมากกว่า  $F_{(0.95,3,80)} = 0.117$  ตารางที่ 4.32 ได้ค่า  $F = 1014.976$  ซึ่งมากกว่า  $F_{(0.95,3,80)} = 0.117$  และตารางที่ 4.33 ได้ค่า  $F = 2035.263$  ซึ่งมากกว่า  $F_{(0.95,4,79)} = 0.176$  สรุปได้ว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในสมการถดถอย

ส่วนต้นประสิทธิ์ของสมการถดถอยของตารางที่ 4.31 - 4.33 มีค่า  $t$  ที่คำนวณได้ไม่อยู่ในช่วง  $(-t_{0.025,81}, t_{0.025,81}) = (-1.99, 1.99)$  สรุปได้ว่าตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กัน จึงสามารถสรุปรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลตัว PP PA-6 และ EPDM ได้ดังนี้

ที่อุณหภูมิห้อง 225°C

$$Y = 1.435 - 1.22 \cdot 10^{-3} X_2 X_3 + 4.336 \cdot 10^{-4} X_2^2 - 5.43 \cdot 10^{-9} X_1 X_2^3 X_3 \quad (4.1)$$

ที่อุณหภูมิห้อง 235°C

$$Y = 2.322 - 0.117 X_3 + 4.285 \cdot 10^{-4} X_2^2 + 3.91 \cdot 10^{-6} X_1 X_2^2 \quad (4.2)$$

ที่อุณหภูมิห้องอมตะภายใน 245°C

$$Y = 8.348 - 6.24 \cdot 10^{-2} X_1 - 0.171 X_3 + 6.358 \cdot 10^{-3} X_1 X_3^2 + 9.721 \cdot 10^{-10} X_1^2 X_2^3 \quad (4.3)$$

Y = ค่าเฉลี่ยอัตราการไหลตัว (g / 10 min)

X<sub>1</sub> = PP ในโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6 (%wt)

X<sub>2</sub> = PA-6 ในโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6 (%wt)

X<sub>3</sub> = EPDM (%wt)

จากสมการถดถอยที่ (4.1) ถึง (4.3) สามารถนำไปใช้งานได้ เนื่องจากค่ารวมได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (Coefficient of Determination : R<sup>2</sup>) เท่ากับ 0.948 0.974 และ 0.990 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.31 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของข้อมูลค่าอัตราการไหลตัวของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิห้องอมตะภายใน 225°C

ANOVA				
Source	Sum of square	Df	Mean square	F
Model	147.995	3	49.332	483.963
Residual	8.155	80	0.102	
Total	156.150	83		
Coefficients				
Parameter	Coefficient	Std.error	t	Sig
(Constant)	1.435	0.052	27.418	0.000
PA-6*EPDM	-1.22E-03	0.000	-9.38	0.000
(PA-6) <sup>2</sup>	4.336E-04	0.000	34.334	0.000
PP*(PA-6) <sup>3</sup> *EPDM	-5.43E-09	0.000	-4.897	0.000

ตารางที่ 4.32 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของข้อมูล  
ค่าอัตราการไหลตัวของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหลอมละลาย 235°C

ANOVA				
Source	Sum of square	Df	Mean square	F
Model	257.668	3	85.889	1014.976
Residual	6.77	80	0.0846	
Total	264.437	83		
Coefficients				
Parameter	Coefficient	Std.error	t	Sig
(Constant)	2.322	0.07	33.315	0.000
EPDM	-0.117	0.006	-20.568	0.000
(PA-6) <sup>2</sup>	4.285E-04	0.000	49.864	0.000
PP*(PA-6) <sup>2</sup>	3.91E-06	0.000	6.878	0.000

ตารางที่ 4.33 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของข้อมูล  
ค่าอัตราการไหลตัวของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหลอมละลาย 245°C

ANOVA				
Source	Sum of square	Df	Mean square	F
Model	402.263	4	100.566	2035.263
Residual	3.904	79	0.04941	
Total	406.166	83		
Coefficients				
Parameter	Coefficient	Std.error	t	Sig
(Constant)	8.348	0.073	114.845	0.000
PP	-6.24E-02	0.001	-66.911	0.000
EPDM	-0.171	0.007	-24.796	0.000
PP*(EPDM) <sup>2</sup>	6.358E-05	0.000	8.853	0.000
(PP) <sup>2</sup> *(PA-6) <sup>3</sup>	9.721E-10	0.000	5.074	0.000

#### 4.5.2.2 การวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูลค่าความหนาแน่น

เมื่อนำผลค่าความหนาแน่นมาทำการวิเคราะห์จะได้ผลดังตารางที่ 4.34 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของตารางที่ 4.34 ได้ค่า  $F = 159.838$  ซึ่งมากกว่า  $F_{(0.95,4,79)} = 0.176$  สรุปได้ว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในสมการถดถอย

ตัวแปรอิสระของสมการถดถอยของตารางที่ 4.34 มีค่า  $t$  ที่คำนวณได้ไม่อยู่ในช่วง  $(-t_{0.025,81}, t_{0.025,81}) = (-1.99, 1.99)$  สรุปได้ว่าตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กัน จึงสามารถสรุปรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงดึง PP PA-6 และ EPDM ได้ ดังนี้

$$Y = 1154.104 - 2.579X_1 - 0.53X_2^2 + 7.337 \cdot 10^{-4}X_1^3X_3 + 2.715 \cdot 10^{-4}X_2X_3^3 \quad (4.4)$$

$Y$  = ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ( $\text{kg/m}^3$ )

$X_1$  = PP ใน โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6 (%wt)

$X_2$  = PA-6 ใน โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6 (%wt)

$X_3$  = EPDM (%wt)

จากสมการถดถอยที่ (4.4) สามารถนำไปใช้งานได้ เนื่องจากคำนวณได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (Coefficient of Determination :  $R^2$ ) เท่ากับ 0.890

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.34 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของข้อมูลค่าความหนาแน่นของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225°C

ANOVA				
Source	Sum of square	Df	Mean square	F
Model	634782.9	4	158695.7	159.838
Residual	78435.631	79	992.856	
Total	713218.5	83		
Coefficients				
Parameter	Coefficient	Std.error	t	Sig
(Constant)	1154.104	7.985	144.53	0.000
PP	-2.579	0.140	-18.384	0.000
EPDM <sup>3</sup>	-0.530	0.121	-4.38	0.000
(PP) <sup>3</sup> *EPDM	7.337E-06	0.000	3.394	0.001
PA-6*(EPDM) <sup>3</sup>	2.715E-04	0.000	2.608	0.011

#### 4.5.2.3 การวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูลค่าความหนาแน่นต่อแรงดึง

เมื่อนำผลค่าความหนาแน่นต่อแรงดึงมาทำการวิเคราะห์จะได้ผลดังตารางที่ 4.35 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของตารางที่ 4.35 ได้ค่า  $F = 890.882$  ซึ่งมากกว่า  $F_{(0.95,3,80)} = 0.117$  สรุปได้ว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในสมการถดถอย

ส่วนสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของตารางที่ 4.35 มีค่า  $t$  ที่คำนวณได้ไม่อยู่ในช่วง  $(-t_{0.025,81}, t_{0.025,81}) = (-1.99, 1.99)$  สรุปได้ว่าตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กัน จึงสามารถสรุปรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นต่อแรงดึง PP PA-6 และ EPDM ได้ ดังนี้

$$Y = 47.102 - 0.172X_1 - 0.738X_3 - 7.77 \cdot 10^{-11} X_1 X_2^3 X_3^3 \quad (4.5)$$



$Y$  = ค่าเฉลี่ยความทนต่อแรงดึง ( $N/mm^2$ )

$X_1$  = PP ในโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6 (%wt)

$X_2$  = PA-6 ในโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6 (%wt)

$X_3$  = EPDM (%wt)

จากสมการถดถอยที่ (4.5) สามารถนำไปใช้งานได้ เนื่องจากค่าความได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (Coefficient of Determination :  $R^2$ ) เท่ากับ 0.971

ตารางที่ 4.35 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของข้อมูลค่าความทนต่อแรงดึงของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด  $225^\circ C$

ANOVA				
Source	Sum of square	Df	Mean square	F
Model	4723.481	3	1574.494	890.882
Residual	141.387	80	1.767	
Total	4864.868	83		
Coefficients				
Parameter	Coefficient	Std.error	t	Sig
(Constant)	47.102	0.317	148.807	0.000
PP	-0.172	0.004	-40.659	0.000
EPDM	-0.738	0.031	-23.739	0.000
$PP*(PA-6)^3*(EPDM)^3$	-7.77E-11	0.000	-3.687	0.000

#### 4.5.2.4 การวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูลค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น

เมื่อนำผลค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นมาทำการวิเคราะห์ จะได้ผลดังตารางที่ 4.36-4.38 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของตารางที่ 4.36 ได้ค่า  $F = 166.669$  ซึ่งมากกว่า  $F_{(0.95,2,81)} = 0.051$  ตารางที่ 4.37 ได้ค่า  $F = 450.904$  ซึ่งมากกว่า  $F_{(0.95,3,80)} = 0.117$  และตารางที่ 4.38 ได้ค่า  $F = 710.462$  ซึ่งมากกว่า  $F_{(0.95,3,80)} = 0.117$  สรุปได้ว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในสมการถดถอย

ตารางที่ 4.38 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของข้อมูลค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 260 °C

ANOVA				
Source	Sum of square	Df	Mean square	F
Model	429096.5	3	143032.2	710.462
Residual	161105.811	80	210.323	
Total	445202.3	83		
Coefficients				
Parameter	Coefficient	Std.error	t	Sig
(Constant)	463.204	6.115	75.747	0.000
PP*EPDM	-0.106	0.008	-14.006	0.000
(PA-6) <sup>2</sup>	2.089E-02	0.001	19.783	0.000
(PA-6) <sup>2</sup> (EPDM) <sup>2</sup>	-7.89E-05	0.000	-13.779	0.000

#### 4.5.2.5 การวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น

เมื่อนำผลค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นมาทำการวิเคราะห์จะ ได้ผลดังตารางที่ 4.39 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของตารางที่ 4.39 ได้ค่า  $F = 99.447$  ซึ่งมากกว่า  $F_{(0.95,3,80)} = 0.117$  สรุปได้ว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในสมการถดถอย

ส่วนสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของตารางที่ 4.39 มีค่า  $t$  ที่คำนวณได้ไม่อยู่ในช่วง  $(-t_{0.025,81}, t_{0.025,81}) = (-1.99, 1.99)$  สรุปได้ว่าตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กัน จึงสามารถสรุปรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น PP PA-6 และ EPDM ได้ดังนี้

$$Y = 17.073 + 3.582 \cdot 10^{-3} X_2 X_3 + 5.573 \cdot 10^{-4} X_2^2 + 2.122 \cdot 10^{-2} X_3^2 \quad (4.9)$$

$Y$  = ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น (%)

$X_1$  = PP ในโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6 (%wt)

$X_2$  = PA-6 ในโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6 (%wt)

$X_3$  = EPDM (%wt)

จากสมการถดถอยที่ (4.9) สามารถนำไปใช้งานได้ เนื่องจากคำนวณได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (Coefficient of Determination :  $R^2$ ) เท่ากับ 0.789

ตารางที่ 4.39 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของข้อมูลค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่นของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวใจ 225°C

ANOVA				
Source	Sum of square	Df	Mean square	F
Model	1477.106	3	492.369	99.447
Residual	396.085	80	4.951	
Total	1873.191	83		
Coefficients				
Parameter	Coefficient	Std.error	t	Sig
(Constant)	17.073	0.456	37.443	0.000
PA-6*EPDM	3.582E-03	0.001	3.343	0.001
(PA-6) <sup>2</sup>	5.573E-04	0.000	5.597	0.000
(EPDM) <sup>2</sup>	2.122E-02	0.004	4.939	0.000

#### 4.5.2.6 การวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูลค่าความทนต่อแรงกระแทก

เมื่อนำผลค่าความทนต่อแรงกระแทกมาทำการวิเคราะห์ จะได้ผลดังตารางที่ 4.40 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของตารางที่ 4.40 ได้ค่า  $F = 48.933$  ซึ่งมากกว่า  $F_{(0.95,4,79)} = 0.176$  สรุปได้ว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในสมการถดถอย

ส่วนสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของตารางที่ 4.40 มีค่า  $t$  ที่คำนวณ

ได้ไม่อยู่ในช่วง  $(-t_{0.025,81}, t_{0.025,81}) = (-1.99, 1.99)$  สรุปได้ว่าตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กัน จึงสามารถสรุปรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงกระแทก PP PA-6 และ EPDM ได้ดังนี้

$$Y = 2.105 + 3.387 \cdot 10^{-4} X_2^2 + 3.852 \cdot 10^{-8} X_1^3 X_2^2 + 1.373 \cdot 10^{-7} X_2^3 X_3^2 - 5.36 \cdot 10^{-7} X_2^3 X_3^3 \quad (4.10)$$

Y = ค่าเฉลี่ยความทนต่อแรงกระแทก (kJ/m<sup>2</sup>)

X<sub>1</sub> = PP ใน โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6 (%wt)

X<sub>2</sub> = PA-6 ใน โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6 (%wt)

X<sub>3</sub> = EPDM (%wt)

จากผลการทดลองที่ (4.10) สามารถนำไปใช้งานได้ เนื่องจากคำนวณได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (Coefficient of Determination : R<sup>2</sup>) เท่ากับ 0.712

ตารางที่ 4.40 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและสัมประสิทธิ์ของผลการทดลองของข้อมูลค่าความทนต่อแรงกระแทกของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225°C

ANOVA				
Source	Sum of square	Df	Mean square	F
Model	1287.838	4	321.959	48.933
Residual	519.788	79	6.58	
Total	1807.626	83		
Coefficients				
Parameter	Coefficient	Std.error	t	Sig
(Constant)	2.150	0.538	3.9952	0.000
(PA-6) <sup>2</sup>	3.387E-04	0.000	2.936	0.004
(PP) <sup>3</sup> (PA-6) <sup>2</sup>	3.852E-08	0.000	6.448	0.000
(PA-6) <sup>3</sup> (EPDM) <sup>2</sup>	1.373E-07	0.000	4.895	0.000
(PA-6) <sup>2</sup> (EPDM) <sup>3</sup>	-5.36E-07	0.000	-3.201	0.002

#### 4.5.2.7 การวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูลค่าความแข็ง

เมื่อนำผลค่าความแข็งมาทำการวิเคราะห์จะได้ผลดังตารางที่ 4.41 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของตารางที่ 4.41 ได้ค่า  $F = 323.721$  ซึ่งมากกว่า  $F_{(0.95,4,79)} = 0.176$  สรุปได้ว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในสมการถดถอย

ส่วนสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของตารางที่ 4.41 มีค่า  $t$  ที่คำนวณได้ไม่อยู่ในช่วง  $(-t_{0.025,81}, t_{0.025,81}) = (-1.99, 1.99)$  สรุปได้ว่าตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กัน จึงสามารถสรุปรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็ง PP PA-6 และ EPDM ได้ดังนี้

$$Y = 69.475 - 9.11 \cdot 10^{-3} X_1 X_2 + 4.357 \cdot 10^{-4} X_2^2 + 3.039 \cdot 10^{-4} X_1 X_2^2 - 3 \cdot 10^{-4} X_3^3 \quad (4.11)$$

$Y$  = ค่าเฉลี่ยความแข็ง (Shore D)

$X_1$  = PP ใน โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6 (%wt)

$X_2$  = PA-6 ใน โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6 (%wt)

$X_3$  = EPDM (%wt)

จากสมการถดถอยที่ (4.11) สามารถนำไปใช้งานได้ เนื่องจากคำนวณได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (Coefficient of Determination :  $R^2$ ) เท่ากับ 0.942

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.41 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของข้อมูล  
ค่าความแข็งของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225°C

ANOVA				
Source	Sum of square	Df	Mean square	F
Model	1106.588	4	276.647	323.721
Residual	67.512	79	0.855	
Total	1174.10	83		
Coefficients				
Parameter	Coefficient	Std.error	t	Sig
(Constant)	69.475	0.269	258.278	0.000
PP*EPDM	-9.11E-03	0.001	-8.828	0.000
(PA-6) <sup>2</sup>	4.357E-04	0.000	10.866	0.000
PP*(EPDM) <sup>2</sup>	3.039E-04	0.000	4.019	0.000
(EPDM) <sup>3</sup>	-3.00E-04	0.000	-2.389	0.019

#### 4.6 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของโพลิเมอร์ผสม

##### 4.6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้โหลดตัวกับคุณสมบัติเชิงกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้โหลดตัวกับคุณสมบัติเชิงกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM โดยประมาณรูปแบบของความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นตรง หรือ โพลีโนเมียลดีกรี 2 ดังต่อไปนี้

1. กราฟระหว่างค่าอัตราการใช้โหลดตัวกับค่าความหนาแน่นของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM แสดงไว้ในรูปที่ 4.31 แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติทั้งสองมีแนวโน้มในเชิงบวก คือ เมื่ออัตราการใช้โหลดตัวเพิ่มขึ้นค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น



2. กราฟระหว่างค่าอัตราการไหลตัวกับค่าความทนต่อแรงดึงของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM แสดงไว้ในรูปที่ 4.32 แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติทั้งสองมีแนวโน้มในเชิงบวก คือ เมื่ออัตราการไหลตัวเพิ่มขึ้นค่าความทนต่อแรงดึงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น

3. กราฟระหว่างค่าอัตราการไหลตัวกับค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 225 °C และ 245 °C แสดงไว้ในรูปที่ 4.33 และ 4.34 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติทั้งสองมีแนวโน้มในเชิงบวก คือ เมื่ออัตราการไหลตัวเพิ่มขึ้นค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น

4. กราฟระหว่างค่าอัตราการไหลตัวกับค่าความแข็งของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM แสดงไว้ในรูปที่ 4.35 แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติทั้งสองมีแนวโน้มในเชิงบวก คือ เมื่ออัตราการไหลตัวเพิ่มขึ้นค่าความแข็งมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น

#### 4.6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติเชิงกายภาพกับคุณสมบัติเชิงกล

1. กราฟระหว่างค่าความหนาแน่นกับค่าความทนต่อแรงดึงของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM แสดงไว้ในรูปที่ 4.36 แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติทั้งสองมีแนวโน้มในเชิงบวก คือ เมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ค่าความทนต่อแรงดึงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น

#### 4.6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติเชิงกล

1. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงดึงกับค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM แสดงไว้ในรูปที่ 4.37 แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติทั้งสองมีแนวโน้มในเชิงบวก คือ เมื่อค่าความทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น

2. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงดึงกับค่าความแข็งของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM แสดงไว้ในรูปที่ 4.38 แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติทั้งสองมีแนวโน้มในเชิงบวก คือ เมื่อค่าความทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นค่าความแข็งมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น

3. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า โมดูลัสความยืดหยุ่นกับค่าความแข็งของโพลี เมอร์ ผสม PP/PA-6/EPDM แสดงไว้ในรูปที่ 4.39 แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติทั้งสองมีแนวโน้มในเชิงบวก คือ เมื่อค่า โมดูลัสความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นค่าความแข็งมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น

#### 4.6.4 สรุปผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติ

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติที่ได้สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ คุณสมบัติได้ดังนี้

##### 4.6.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้โพลีเอทิลีนและคุณสมบัติเชิงกล

จากการประมวลรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้โพลีเอทิลีนและคุณสมบัติเชิงกลในเชิงเส้นตรงและ โพลี โนเมียลคิกรี 2 พบว่ามีความสัมพันธ์กันเป็นรูปแบบ โพลี โนเมียล คังต่อไปนี้

1. ค่าอัตราการใช้โพลีเอทิลีนกับค่าความหนาแน่นของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM คังแสดงในรูป 4.31
2. ค่าอัตราการใช้โพลีเอทิลีนกับค่าความทนต่อแรงดึงของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM คังแสดงในรูป 4.32
3. ค่าอัตราการใช้โพลีเอทิลีนกับค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6 /EPDM ขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 225 °C และ 245 °C คังแสดงในรูป 4.33 และ 4.34 ตามลำดับ
4. ค่าอัตราการใช้โพลีเอทิลีนกับค่าความแข็งของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM คังแสดงในรูป 4.35

##### 4.6.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติเชิงกายภาพกับเชิงกล

จากการประมวลรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติเชิงกล ได้เป็นความสัมพันธ์ในรูปแบบโพลี โนเมียลคิกรี 2 คือ

1. ค่าความหนาแน่นกับค่าความทนต่อแรงดึงของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6 /EPDM คังแสดงในรูป 4.36

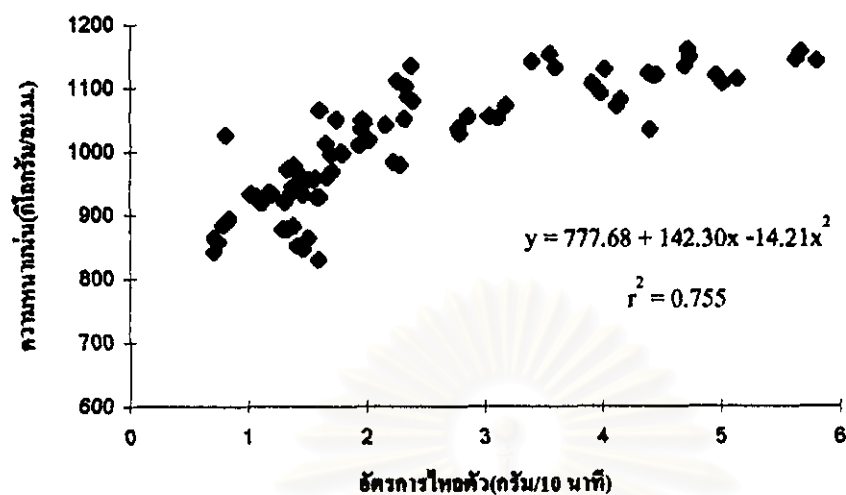
#### 4.6.4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติเชิงกล

จากการประมาณรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติเชิงกลในเชิงเส้นตรง และ โพลีโนเมียลดีกรี 2 พบว่ามีความสัมพันธ์กันเป็นแบบเส้นตรงคือ

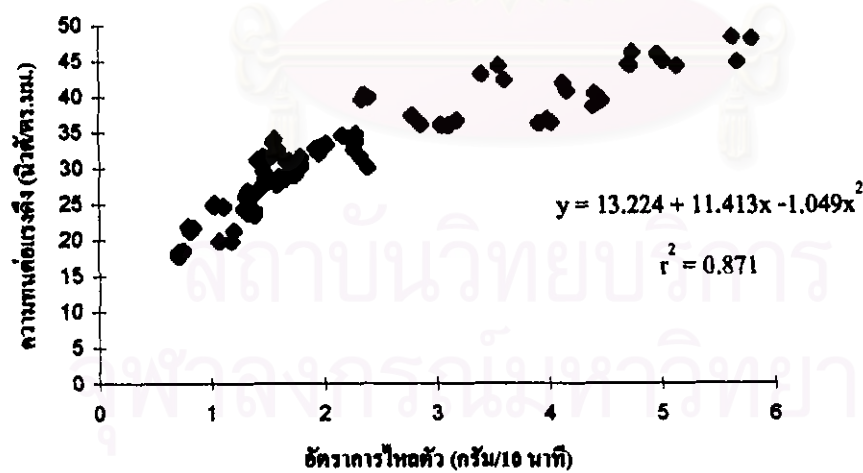
1. ค่าความทนต่อแรงดึงกับค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/ EPDM ดังแสดงในรูป 4.37
2. ค่าความทนต่อแรงดึงกับค่าความแข็งของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/ EPDM ดังแสดงในรูป 4.38
3. ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นกับค่าความแข็งของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/ EPDM ดังแสดงในรูป 4.39



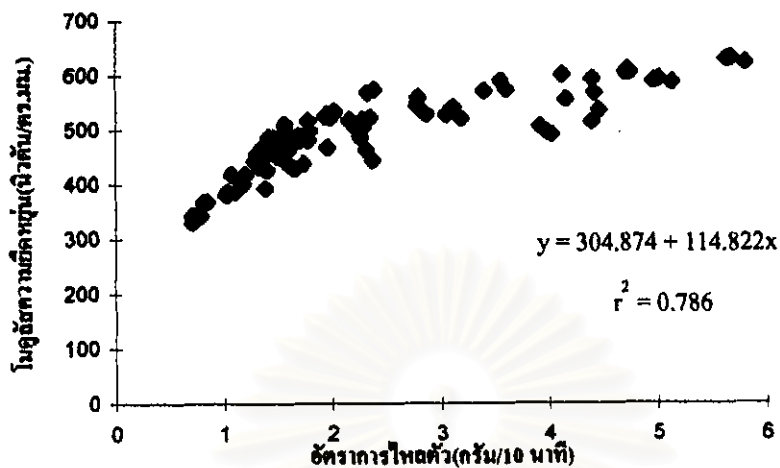
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



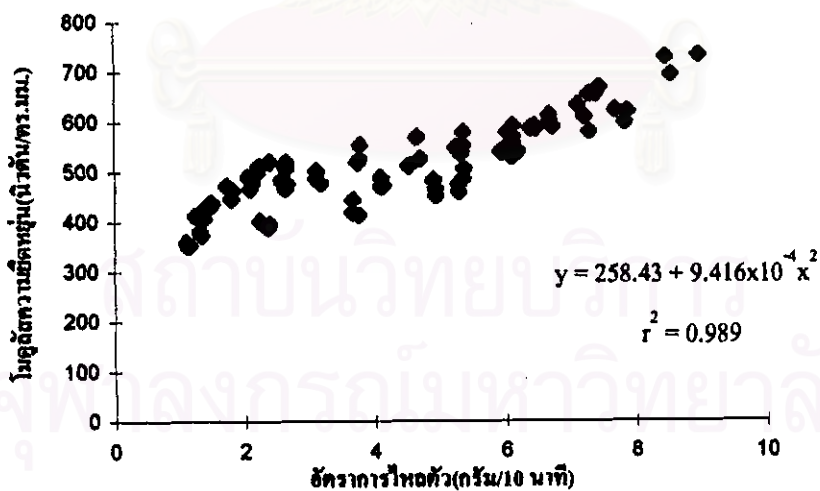
รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลตัวกับค่าความหนาแน่นของโพลิเมอร์ผสม  
PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิ 225°C



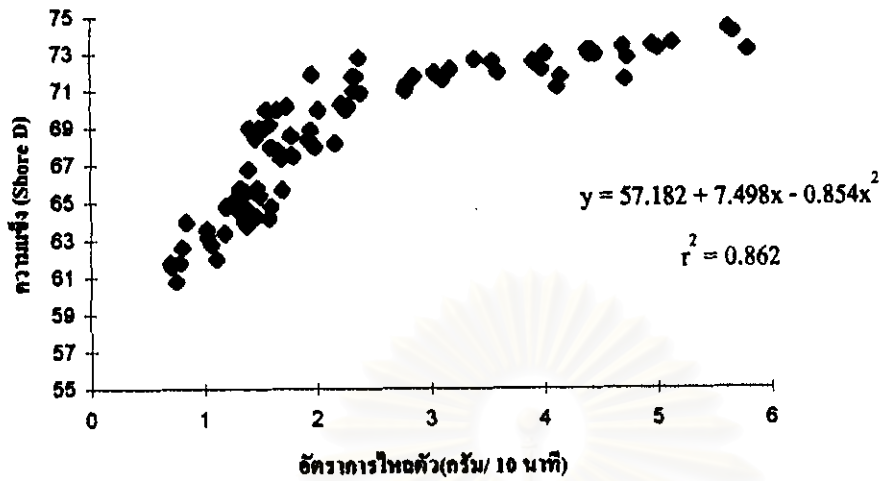
รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลตัวกับค่าความหนาแน่นของโพลิเมอร์ผสม  
PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิ 225°C



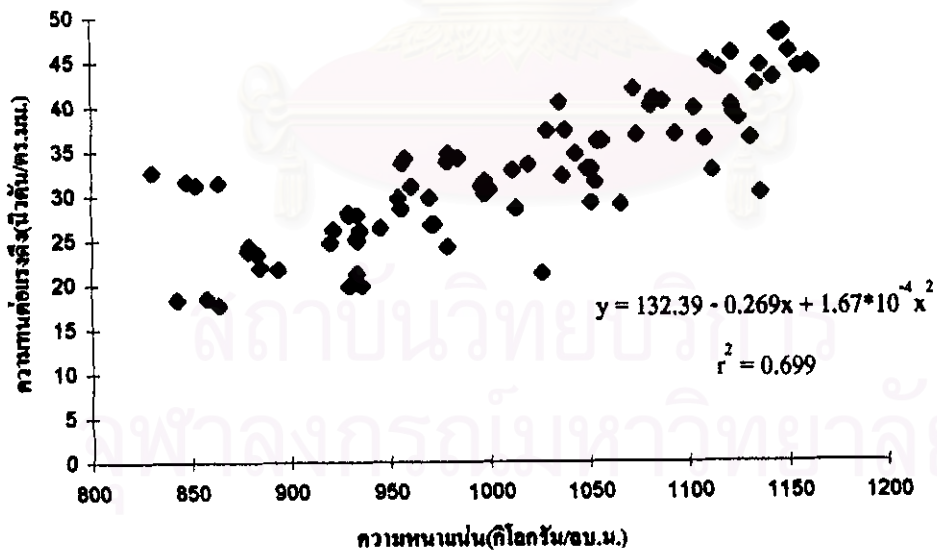
รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลตัวกับค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิ 225 °C



รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหลตัวกับค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของ โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิ 245 °C

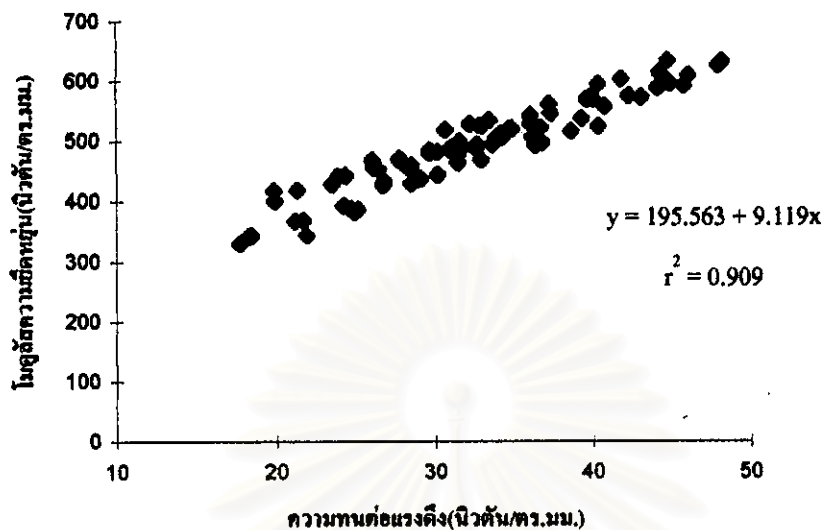


รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการใช้พลังงานกับค่าความแข็งของโพลีเมอร์ผสม  
PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิ 225°C

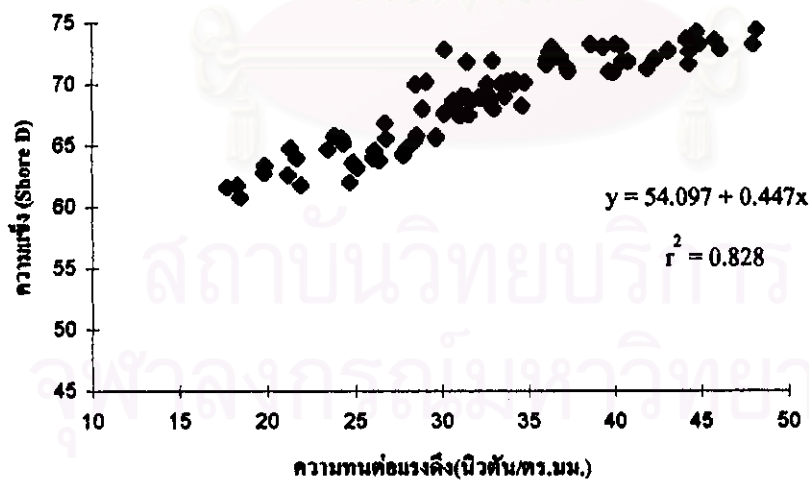


รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับค่าความทนต่อแรงดึงของโพลีเมอร์ผสม  
PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิห้อง 225°C

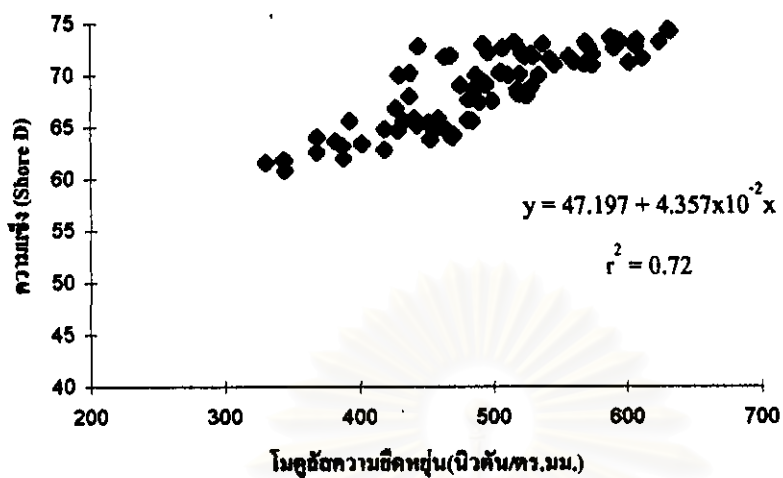




รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงดึงกับค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น  
ของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225°C



รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความทนต่อแรงดึงกับค่าความแข็งของโพลีเมอร์  
ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225°C



รูปที่ 4.39 ความสัมพันธ์ระหว่าง โมดูลัสความยืดหยุ่นกับความแข็งของ  
โพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM ที่อุณหภูมิหัวฉีด 225°C

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.7 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองทั้งหมดในงานวิจัยนี้ สามารถนำมาสรุปเป็นตารางผลการทดลองได้ดังนี้

##### 4.7.1 ผลสรุปการทดลองอัตราการไหลตัวในขั้นตอนการหาอุณหภูมิเบื้องต้นของการฉีดขึ้นรูป

หลังจากดำเนินการทดลอง โดยผ่านขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบและการทดสอบ สามารถสรุปเป็นตารางได้ดังตารางที่ 4.42

##### 4.7.2 ผลสรุปการทดลองคุณสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกล

หลังจากดำเนินการทดลอง โดยผ่านขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบและการทดสอบ สามารถสรุปเป็นตารางได้ดังตารางที่ 4.43

##### 4.7.3 ผลสรุปสมการความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของ PP, PA-6 และ EPDM

เมื่อนำผลการทดสอบอัตราการไหลตัว คุณสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกลมาทำการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของ PP PA-6 และ EPDM ที่มีคุณสมบัติเหล่านั้น จะได้ผลสรุปของสมการความสัมพันธ์ดังตารางที่ 4.44

##### 4.7.4 ผลสรุปความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติ

เมื่อนำผลการทดลองอัตราการไหลตัว คุณสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกล มาทำการวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติกับคุณสมบัติ โดยการประมาณรูปแบบความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงหรือโพลีโนเมียลดีกรี 2 จะได้ผลสรุปของสมการความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติกับคุณสมบัติ ดังตารางที่ 4.45

ตารางที่ 4.42 สรุปผลค่าเฉลี่ยอัตราการไหลตัวของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM

หน่วย : กรัม/10 นาที

PP/PA-6 %w/w	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	EPDM(%w)			
		0	5	10	15
100/0	225	1.457 ± 0.042	1.348 ± 0.037	1.149 ± 0.069	0.723 ± 0.021
90/10		1.565 ± 0.023	1.476 ± 0.020	1.333 ± 0.045	0.716 ± 0.026
70/30		2.259 ± 0.037	1.782 ± 0.009	1.545 ± 0.074	1.053 ± 0.049
50/50		2.809 ± 0.048	1.953 ± 0.024	1.680 ± 0.021	1.368 ± 0.033
30/70		4.223 ± 0.155	2.357 ± 0.028	2.047 ± 0.103	1.664 ± 0.071
10/90		4.721 ± 0.018	3.519 ± 0.106	3.110 ± 0.070	2.319 ± 0.062
0/100		5.700 ± 0.089	5.037 ± 0.093	4.423 ± 0.035	3.970 ± 0.056
100/0	235	1.880 ± 0.050	1.561 ± 0.015	1.260 ± 0.022	0.933 ± 0.012
90/10		1.967 ± 0.013	1.668 ± 0.038	1.373 ± 0.023	1.094 ± 0.025
70/30		2.947 ± 0.028	2.376 ± 0.016	2.135 ± 0.040	1.452 ± 0.045
50/50		3.761 ± 0.129	3.101 ± 0.070	2.351 ± 0.010	1.909 ± 0.095
30/70		5.359 ± 0.121	4.817 ± 0.152	3.641 ± 0.066	3.227 ± 0.013
10/90		6.511 ± 0.029	5.671 ± 0.064	4.531 ± 0.010	4.110 ± 0.070
0/100		6.972 ± 0.048	6.064 ± 0.052	5.233 ± 0.045	4.631 ± 0.058
100/0	245	2.269 ± 0.107	1.761 ± 0.044	1.317 ± 0.069	1.125 ± 0.022
90/10		2.635 ± 0.006	2.076 ± 0.028	1.469 ± 0.019	1.323 ± 0.015
70/30		3.764 ± 0.022	3.121 ± 0.030	2.610 ± 0.043	2.328 ± 0.081
50/50		5.308 ± 0.060	4.615 ± 0.086	4.100 ± 0.017	3.690 ± 0.056
30/70		7.211 ± 0.086	6.079 ± 0.055	5.348 ± 0.026	4.906 ± 0.014
10/90		7.807 ± 0.095	6.689 ± 0.024	6.137 ± 0.048	5.294 ± 0.038
0/100		8.659 ± 0.275	7.380 ± 0.092	6.427 ± 0.042	5.972 ± 0.047

ตารางที่ 4.43 สรุปผลค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกลของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM

PP/PA-6 (%w/w)	EPDM (%w)	คุณสมบัติ							
		ความหนาแน่น	ความทนต่อแรงดึง	โมดูลัสความยืดหยุ่น			เปอร์เซ็นต์ ความยืดหยุ่น	ความทนต่อ แรงกระแทก	ความแข็ง
				อุณหภูมิ 225°C	อุณหภูมิ 245°C	อุณหภูมิ 260°C			
100/0	0	854.85 ± 8.43	31.43 ± 0.23	482.86 ± 6.66	510.30 ± 9.67	429.75 ± 29.73	16.94 ± 0.12	0.77 ± 0.06	68.87 ± 0.32
90/10	0	914.96 ± 73.19	33.46 ± 0.75	499.74 ± 9.98	513.25 ± 6.14	446.00 ± 10.87	17.15 ± 0.43	1.03 ± 0.07	69.40 ± 0.53
70/30	0	981.15 ± 3.15	34.27 ± 0.50	510.12 ± 8.47	532.73 ± 18.91	479.21 ± 12.01	18.47 ± 1.95	2.03 ± 0.04	70.20 ± 0.10
50/50	0	1041.31 ± 14.09	36.87 ± 0.68	545.42 ± 15.32	556.26 ± 19.64	528.56 ± 9.09	18.86 ± 1.64	3.76 ± 0.11	71.37 ± 0.40
30/70	0	1064.09 ± 25.02	41.02 ± 0.78	584.03 ± 24.22	607.05 ± 26.79	578.15 ± 9.58	19.21 ± 3.08	5.50 ± 0.20	72.00 ± 0.92
10/90	0	1149.92 ± 13.25	44.94 ± 1.01	608.78 ± 2.99	613.06 ± 13.40	602.24 ± 10.57	21.04 ± 1.11	4.40 ± 0.22	72.60 ± 0.92
0/100	0	1151.35 ± 8.16	46.99 ± 1.92	629.18 ± 4.15	717.61 ± 21.46	702.49 ± 8.89	23.75 ± 5.62	4.31 ± 0.45	73.93 ± 0.64
100/0	5	940.05 ± 16.37	26.18 ± 0.20	459.08 ± 8.37	460.359 ± 12.91	370.70 ± 7.29	16.99 ± 0.99	4.46 ± 0.39	64.13 ± 0.42
90/10	5	955.59 ± 0.92	28.90 ± 0.68	464.873 ± 17.25	478.74 ± 11.68	425.60 ± 9.09	17.96 ± 1.08	2.13 ± 0.27	65.60 ± 0.20
70/30	5	998.47 ± 1.40	30.79 ± 0.71	499.27 ± 18.23	489.19 ± 12.57	474.87 ± 14.26	18.68 ± 2.47	2.46 ± 0.19	67.90 ± 0.61
50/50	5	1032.62 ± 18.99	32.65 ± 0.41	526.03 ± 1.81	535.89 ± 29.66	491.57 ± 24.79	19.824 ± 3.39	4.68 ± 0.04	68.43 ± 0.45
30/70	5	1090.82 ± 11.39	39.99 ± 0.38	555.39 ± 27.97	579.22 ± 10.25	558.09 ± 14.09	21.03 ± 1.88	6.02 ± 0.25	71.23 ± 0.49
10/90	5	1144.31 ± 10.69	43.26 ± 1.00	579.3 ± 10.49	600.59 ± 11.56	586.32 ± 11.47	21.76 ± 1.85	4.97 ± 0.05	72.43 ± 0.38
0/100	5	1116.19 ± 6.21	44.97 ± 0.83	591.30 ± 3.38	659.59.30 ± 7.82	641.42 ± 13.46	26.70 ± 2.73	11.07 ± 0.48	73.47 ± 0.15

ตารางที่ 4.43 สรุปผลค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกลของโพลีเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM (ต่อ)

PP/PA-6 (%w/w)	EPDM (%w)	คุณสมบัติ							
		ความหนาแน่น	ความทนต่อแรงดึง	โมดูลัสความยืดหยุ่น			เปอร์เซ็นต์ ความยืดหยุ่น	ความทนต่อ แรงกระแทก	ความแข็ง
				อุณหภูมิ 225°C	อุณหภูมิ 245°C	อุณหภูมิ 260°C			
100/0	10	933.14 ± 3.18	20.33 ± 0.83	412.86 ± 9.74	413.49 ± 6.61	347.40 ± 8.18	18.911 ± 1.6	9.28 ± 0.12	63.67 ± 1.03
90/10	10	880.58 ± 2.75	23.86 ± 0.45	437.28 ± 7.83	434.73 ± 3.74	379.80 ± 3.19	20.89 ± 0.20	2.81 ± 0.07	65.23 ± 0.55
70/30	10	930.96 ± 2.51	27.86 ± 0.14	467.80 ± 3.47	475.203 ± 8.68	435.42 ± 14.72	21.56 ± 0.79	3.69 ± 0.11	64.43 ± 0.32
50/50	10	975.77 ± 18.30	30.56 ± 0.75	485.04 ± 4.36	477.02 ± 9.98	457.68 ± 10.29	22.58 ± 3.63	5.17 ± 0.37	66.97 ± 1.12
30/70	10	1038.20 ± 16.38	33.66 ± 0.88	506.80 ± 34.62	531.23 ± 23.83	521.82 ± 14.59	23.73 ± 1.19	6.45 ± 0.70	70.03 ± 1.85
10/90	10	1061.77 ± 10.74	36.24 ± 0.37	530.66 ± 10.44	541.97 ± 13.83	534.68 ± 12.31	25.87 ± 3.46	5.48 ± 0.57	71.93 ± 0.31
0/100	10	1123.49 ± 1.65	39.32 ± 0.72	540.42 ± 26.93	587.14 ± 2.16	592.88 ± 26.16	28.19 ± 2.22	15.44 ± 0.49	73.13 ± 0.12
100/0	15	855.02 ± 10.95	18.16 ± 0.40	339.00 ± 7.87	354.74 ± 3.92	301.60 ± 2.37	20.62 ± 0.34	13.32 ± 0.70	61.40 ± 0.53
90/10	15	935.07 ± 79.05	21.59 ± 0.37	359.90 ± 13.82	377.00 ± 4.06	318.70 ± 1.73	22.94 ± 0.96	3.30 ± 0.08	62.80 ± 1.11
70/30	15	928.86 ± 7.77	24.88 ± 0.21	385.58 ± 3.04	395.53 ± 6.38	353.74 ± 8.49	23.79 ± 0.35	4.34 ± 0.15	62.93 ± 0.83
50/50	15	973.98 ± 4.36	25.89 ± 1.46	417.88 ± 21.75	425.08 ± 15.90	373.64 ± 8.70	25.98 ± 1.78	5.88 ± 0.19	66.00 ± 0.69
30/70	15	1043.59 ± 27.20	28.83 ± 0.32	435.08 ± 4.64	466.63 ± 16.41	400.06 ± 15.67	28.80 ± 2.19	7.07 ± 0.39	69.40 ± 1.22
10/90	15	1100.61 ± 42.86	31.42 ± 1.22	464.922 ± 21.73	472.76 ± 12.70	468.16 ± 6.18	30.71 ± 3.12	6.47 ± 1.23	71.53 ± 1.42
0/100	15	1111.40 ± 19.01	36.44 ± 0.32	498.33 ± 7.62	543.17 ± 6.46	519.85 ± 16.07	33.80 ± 5.89	22.77 ± 0.57	72.60 ± 0.40



ตารางที่ 4.44 สรุปผลของสมการความสัมพันธ์ระหว่าง PP PA-6 และ EPDM ที่มีต่อคุณสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกลของโพลิเมอร์ผสม PP/PA-6/EPDM

คุณสมบัติ	อุณหภูมิ (°C)	สมการความสัมพันธ์	R <sup>2</sup>
อัตราการไหล	225	$Y = 1.435 - 1.22 \cdot 10^{-3} X_2 X_3 + 4.336 \cdot 10^{-4} X_2^2 - 5.43 \cdot 10^{-9} X_1 X_2^3 X_3$	0.948
	235	$Y = 2.322 - 0.117 X_3 + 4.285 \cdot 10^{-4} X_2^2 + 3.91 \cdot 10^{-6} X_1 X_2^2$	0.974
	245	$Y = 8.348 - 6.24 \cdot 10^{-2} X_1 - 0.171 X_3 + 6.358 \cdot 10^{-3} X_1 X_3^2 + 9.721 \cdot 10^{-10} X_1^2 X_2^3$	0.990
ความหนาแน่น	225	$Y = 1154.104 - 2.579 X_1 - 0.53 X_3^2 + 7.337 \cdot 10^{-6} X_1^3 X_3 + 2.715 \cdot 10^{-4} X_2 X_3^3$	0.890
ความทนต่อแรงดึง	225	$Y = 47.102 - 0.172 X_1 - 0.738 X_3 - 7.77 \cdot 10^{-11} X_1 X_2^3 X_3^3$	0.971
โมดูลัสความยืดหยุ่น	225	$Y = 559.659 - 0.146 X_1 X_3 - 2.04 \cdot 10^{-4} X_2 X_3^3$	0.805
	245	$Y = 516.643 - 0.104 X_1 X_3 + 1.799 \cdot 10^{-2} X_2^2 - 1.17 \cdot 10^{-3} X_2^2 X_3$	0.944
	260	$Y = 463.204 - 0.106 X_1 X_3 + 2.089 \cdot 10^{-2} X_2^2 - 7.89 \cdot 10^{-5} X_2^2 X_3^2$	0.946
เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น	225	$Y = 17.073 + 3.582 \cdot 10^{-3} X_2 X_3 + 5.573 \cdot 10^{-4} X_2^2 + 2.122 \cdot 10^{-2} X_3^2$	0.789
ความทนต่อแรงกระแทก	225	$Y = 2.105 + 3.387 \cdot 10^{-4} X_2^2 + 3.852 \cdot 10^{-9} X_1^3 X_2^2 + 1.373 \cdot 10^{-7} X_2^3 X_3^2 - 5.36 \cdot 10^{-7} X_2^3 X_3^3$	0.712
ความแข็ง	225	$Y = 69.475 - 9.11 \cdot 10^{-3} X_1 X_2 + 4.357 \cdot 10^{-4} X_2^2 + 3.039 \cdot 10^{-4} X_1 X_3^2 - 3 \cdot 10^{-4} X_3^3$	0.942

หมายเหตุ  $X_1$  = PP ใน โพลิเมอร์ผสม PP/PA-6 (%wt)

$X_2$  = PA-6 ใน โพลิเมอร์ผสม PP/PA-6 (%wt)

$X_3$  = EPDM (%wt)



ตารางที่ 4.45 สรุปผลของสมการความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติกับคุณสมบัติของ โพลีเมอร์ผสม

PP/PA-6/EPDM

คุณสมบัติ (X)	คุณสมบัติ (Y)	อุณหภูมิ (°C)	สมการความสัมพันธ์	R <sup>2</sup>
อัตราการใช้	ความหนาแน่น	225	$Y = 777.677 + 142.299X - 14.211X^2$	0.76
	ความทนต่อแรงดึง	225	$Y = 13.244 + 11.413X - 1.049X^2$	0.871
	โมดูลัสความยืดหยุ่น	225	$Y = 304.874 + 114.822X - 11.477X^2$	0.786
		245	$Y = 258.43 + 9.416 \times 10^{-4} X^2$	0.989
	ความแข็ง	225	$Y = 57.182 + 7.498X - 0.854X^2$	0.862
ความหนาแน่น	ความทนต่อแรงดึง	225	$Y = 132.393 - 0.269X + 1.67 \times 10^{-4} X^2$	0.699
ความทนต่อแรงดึง	โมดูลัสความยืดหยุ่น	225	$Y = 195.563 + 9.119X$	0.909
	ความแข็ง	225	$Y = 54.097 + 0.447X$	0.828
โมดูลัสความยืดหยุ่น	ความแข็ง	225	$Y = 47.197 + 4.357 \times 10^{-2} X$	0.720

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย