อิทธิพลของทัลค์และไมกาที่มีต่อสมบัติของโพลิโพรพิลีน

นางสาว นงเยาว์ ชุติวณิชยกุล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์โพลิเมอร์
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2533

ISBN 974-577-802-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

016286

I10308192

Effects of Talc and Mica on the Properties of Polypropylene

Miss Nongyaw Chutivanitchayakul

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Program of Polymer Science

Chulalongkorn University

1990

ISBN 974-577-802-8

พระสมุทรกาล สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของทัลค์และไมกาที่มีต่อสมบัติของโพลิโพรพิลีน
โดย	นางสาว นงเยาว์ ชุติวณิชยกุล
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์โพลิเมอร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.กัญจนา ตระกูลคู

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุดา เกียรติกำจรวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.กัญจนา ตระกูลคู)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ บรรเลง ศรนิล)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ลดาวัลย์ โชติมงคล)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

นงเยาว์ ชุติวณิชยกุล : อิทธิพลของทัลค์และไมกาที่มีต่อสมบัติของโพลิโพรพิลีน (EFFECTS OF TALC AND MICA ON THE PROPERTIES OF POLYPROPYLENE) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ดร.กัญจนา ตระกูลคู, 199 หน้า. ISBN 974-577-802-8

การศึกษาอิทธิพลของทัลค์และไมกาที่มีต่อสมบัติของโพลิโพรพิลีน ได้ทำการขึ้นรูปตัวอย่างสองวิธี คือ การขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว และการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก ตัวอย่างที่ขึ้นรูปคือโพลิโพรพิลีนผสมทัลค์จากประเทศจีน ญี่ปุ่น ไทย และโพลิโพรพิลีนผสมไมกา ผลการทดลองปรากฏว่าโพลิโพรพิลีนผสมทัลค์จากประเทศจีน และญี่ปุ่น มีความต้านทานแรงดึงและความแข็งใกล้เคียงกันมาก โดยโพลิโพรพิลีนผสมไมกามีความต้านทานแรงดึงและความแข็งรองลงมา สำหรับโพลิโพรพิลีนผสมทัลค์ของไทย มีความต้านทานแรงดึงและความแข็งต่ำที่สุด เนื่องจากทัลค์เกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มและเกิดฟองอากาศจำนวนมากในตัวอย่าง จากการศึกษาผิวสัมผัสระหว่างเฟสด้วยกล้องสแกนนิงอิเล็กตรอนไมโครสโคป ปรากฏว่าเฟสทั้งสองเชื่อมติดกันน้อยมาก แสดงว่าไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นระหว่างเฟส สมบัติที่เปลี่ยนแปลงนั้นอาจเกิดเนื่องจากโพลิโพรพิลีนไปเคลือบอยู่โดยรอบตัวเติม ทำหน้าที่ช่วยรับและส่งผ่านแรงไปยังตัวเติม และเฟสยึดเกาะกันด้วยแรงชนิดอื่น เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ เป็นต้น

การทดลองนี้ปรากฏว่าสิ่งที่สำคัญที่สุดในการศึกษาพลาสติกผสมตัวเติม และวัสดุเสริมแรง คือ การผสมให้เฟสที่แตกต่างกันผสมเป็นเนื้อเดียวกันให้มากที่สุด และให้ตัวเติมกระจายตัวไม่รวมตัวกันเป็นกลุ่ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา สหสาขาวิชาปิโตรเคมี-โพลิเมอร์ ลายมือชื่อนิสิต นงเยาว์ ชุติวณิชยกุล.

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์โพลิเมอร์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2532 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

NONGYAW CHUTIVANITCHAYAKUL : EFFECTS OF TALC AND MICA ON THE PROPERTIES OF POLYPROPYLENE, THESIS ADVISOR : ASSO.PROF.PATTARAPHAN PRASASSARAKICH,Ph.D., ASSO.PROF.KANCHANA TRAKULCOO, Ph.D., 199 pp. ISBN 974-577-802-8

In the study of the effects of talc and mica on the properties of polypropylene, the specimens were processed by two methods, single screw extrusion and hydraulic compression molding. These samples were polypropylene filled with talc from China, Japan or Thai and polypropylene filled with mica. The results showed the high tensile strength and hardness for polypropylene filled with talc from China and Japan, the lower strength and hardness for polypropylene filled with mica. And the tensile strength and hardness were lowest for polypropylene filled with talc from Thai because of the non-uniform composite system, agglomeration of talc and formation of bubbles in the composite system. The feature of the interface of matrix and filler from the SEM showed that filler had a very little linkage within matrix and there was no chemical reaction occured at the interface. The better properties of composite system were due to other adhesion force such as van der waals force.

The most important factors for processing of plastic composite with filler and reinforcing materials were the uniformity system and the adhesion between different phases.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา สหสาขาวิชาปิโตรเคมี-โพลิเมอร์ ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์โพลิเมอร์ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2532 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.กัญจนา ตระกูลคู อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งได้ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือการวิจัยเป็นอย่างดีมาตลอด ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ให้ข้อเสนอแนะและตรวจวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านของสาขาวิจัยอุตสาหกรรมโลหะและเซรามิกส์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่ให้ความช่วยเหลือในการปฏิบัติการของอุปกรณ์ทดลอง อุปกรณ์วิเคราะห์และทดสอบ ตลอดจนการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

นอกจากนี้ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณหน่วยงานต่าง ๆ และผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านอุปกรณ์การวิจัย ตลอดจนให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการวิจัย ดังรายนามต่อไปนี้

1. ภาควิชาเครื่องกลโรงงาน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว (single screw extruder) และช่วยเหลือในการปรับปรุงอุปกรณ์จนสามารถใช้ในการวิจัยได้

2. ภาควิชาเคมี คณะครุศาสตร์วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องผสมพลาสติกแบบลูกกลิ้งคู่ (Two Roll Mill) และเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก (hyraulic compression mold) ตลอดจนอำนวยความสะดวกระหว่างการวิจัย

3. สาขาวิจัยอุตสาหกรรมโลหะและเซรามิกส์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ให้ความอนุเคราะห์เม็ดพลาสติกโพลิโพรพิลีน การใช้

เครื่องวิเคราะห์เอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชั่น (X-ray diffractometer) เครื่องสแกนนิง อิเลกตรอนไมโครสโคป (Scanning Electron Microscope : SEM) การทดสอบหาการกระจายขนาดอนุภาค (particle size distribution) และการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี (chemical composite) ของทัลค์ (talc) และไมกา (mica)

4. บริษัท เลียกเซ้งเทรดดิ้ง จำกัด ให้ความอนุเคราะห์เม็ดพลาสติกโพลิโพรพิลีนชนิดโฮโมโพลิเมอร์ (polypropylene homopolymer) ตลอดจนให้คำแนะนำ

5. บริษัท พงศธรผลิตภัณฑ์วัสดุ จำกัด ให้ความอนุเคราะห์ให้ทัลค์ภายในประเทศ และเม็ดแก้ว

6. บริษัท เคมมิน จำกัด ให้ความอนุเคราะห์ให้ทัลค์จากประเทศจีน

7. ศูนย์การบรรจุหีบห่อไทย สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง (tensile strength tester)

8. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องทดสอบความแข็งดูโรมิเตอร์ (durometer) และอุปกรณ์สำหรับหาความหนาแน่นของทัลค์และไมกา

9. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ให้ความอนุเคราะห์ในการหาพื้นที่ผิวของทัลค์และไมกา โดยวิธีบลูนัวร์-เอ็มเม็ท-เทลเลอร์ (Brunauer-Emmett-Teller :BET)

10. ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ให้ความอนุเคราะห์ในการทดสอบ ด้วยเครื่องวิเคราะห์เทอร์มัลดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Thermal Analysis : DTA) และเครื่องวิเคราะห์เทอร์มัลกราวิเมตริก (Thermal Gravimetric Analysis : TGA)

11. กรมวิทยาศาสตร์บริการ ให้ความอนุเคราะห์ในการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง และเครื่องทดสอบแรงกระแทก (impact strength tester)

12. บริษัท เพิร์ลสตาร์ จำกัด ให้ความอนุเคราะห์ในการเยี่ยมชมโรงงานและให้คำแนะนำ

13. บริษัท ไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์ จำกัด ให้ความอนุเคราะห์ในการเยี่ยมชมโรงงาน และให้คำแนะนำ

14. ห้างหุ้นส่วนจำกัด ปีเตอร์พอลแอนด์แมรี (ประเทศไทย) ให้ความอนุเคราะห์ในการเยี่ยมชมโรงงาน

15. บริษัท สีลมเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด ให้ความอนุเคราะห์ทดลองบดเม็ดพลาสติกโพลิโพรพิลีน

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านกำลังทรัพย์และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

นงเยาว์ ชุติวณิชยกุล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูป ..... ธ

สัญญลักษณ์ ..... ฬ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 วัตถุประสงค์ 4

1.2 ความสำคัญหรือประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

2 วารสารปริทัศน์ 5

2.1 โพลิโพรพิลีน 6

2.1.1 การสังเคราะห์โพลิโพรพิลีน 6

2.1.2 โครงสร้างและสมบัติของโพลิโพรลิน 9

2.1.3 สมบัติของไอโซแทคติกโพลิโพรพิลีน 11

2.1.4 เอแทคติกโพลิโพรพิลีน 14

2.1.5 สารเติมแต่ง (additives) สำหรับไอโซแทคติกโพลิโพรพิลีน 14

2.1.6 การขึ้นรูป 16

2.1.7 การใช้ประโยชน์ 16

2.2 วัสดุประกอบ (composite material) 17

2.2.1 ประเภทวัสดุประกอบ 17

2.2.2 ปฏิกิริยาระหว่างโพลิเมอร์และตัวเติม (polymer - filler interaction) 18

สารบัญ (ต่อ)

บทที่			หน้า
2	2.3	วัสดุประกอบที่ผสมระหว่างโพลิเมอร์ กับตัวเติมชนิดเป็นอนุภาค (particulate-filled composite)	19
		2.3.1 อิทธิพลของตัวเติมที่มีลักษณะเป็นอนุภาค ต่อสมบัติด้านความแข็งแรง และพฤติกรรมความเค้น-ความเครียด (stress-strain behavior) ของโพลิเมอร์	19
		2.3.2 อิทธิพลของตัวเติมที่มีลักษณะเป็นอนุภาค ที่มีต่อสมบัติด้านความต้านทานแรงกระแทก ของโพลิเมอร์	27
		2.3.3 อิทธิพลของตัวเติมที่มีลักษณะเป็นอนุภาค ที่มีต่อสมบัติด้านความแข็ง และการขัดสี (wear) ของโพลิเมอร์	27
	2.4	ตัวเติม	28
		2.4.1 ชนิดตัวเติม	28
		2.4.2 สมบัติของตัวเติม	30
	2.5	ทัลค์	32
		2.5.1 สมบัติของทัลค์	32
		2.5.2 การใช้งานทัลค์ในเทอร์โมพลาสติก	33
		2.5.3 ทัลค์ สำหรับใช้ผสมในโพลิโพรพิลีน	33
	2.6	ไมกา	38
		2.6.1 สมบัติของไมกา	38
		2.6.2 การใช้งานไมกาในเทอร์โมพลาสติก	41
	2.7	งานวิจัยที่ผ่านมา	43
3	อุปกรณ์และวิธีการทดลอง		53
	3.1	วัตถุดิบ	53
		3.1.1 โพลิโพรพิลีนชนิด โฮโมโพลิเมอร์	53
		3.1.2 โพลิโพรพิลีนผสมทัลค์สำเร็จรูป	55
		3.1.3 ทัลค์	56
		3.1.4 ไมกา	58

สารบัญ (ต่อ)

บทที่			หน้า
3	3.2	อุปกรณ์การทดลอง	58
		3.2.1 อุปกรณ์การขึ้นรูปตัวอย่างทดลอง	58
		3.2.2 อุปกรณ์การวิเคราะห์และทดสอบ	65
	3.3	วิธีดำเนินการทดลอง	67
		3.3.1 การศึกษาและวิเคราะห์สมบัติเบื้องต้นของวัตถุดิบ	67
		3.3.2 การขึ้นรูปตัวอย่างทดลอง	67
		3.3.3 การศึกษาและทดสอบสมบัติของตัวอย่างโพลิโพรพิลีน และโพลิโพรพิลีนผสมตัวเติม	72
4	ผลการทดลอง		73
	4.1	สมบัติเบื้องต้นของทัลค์	73
	4.2	สมบัติเบื้องต้นของไมกา	82
	4.3	อิทธิพลของตัวเติมที่มีต่อสมบัติของโพลิโพรพิลีน ที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว	86
		4.3.1 อิทธิพลของทัลค์จาก 3 แหล่งและอิทธิพลของปริมาณทัลค์ ที่มีต่อความต้านทานแรงดึง และร้อยละการยืดตัวเมื่อขาดของโพลิโพรพิลีน	86
		4.3.2 อิทธิพลของปริมาณทัลค์ในโพลิโพรพิลีน ซึ่งผสมทัลค์สำเร็จรูปที่มีต่อความต้านทานแรงดึง และร้อยละการยืดตัวเมื่อขาดของโพลิโพรพิลีน	91
		4.3.3 อิทธิพลของปริมาณทัลค์จากประเทศจีน ที่มีต่อความต้านทานแรงดึงและร้อยละการยืดตัวเมื่อขาดของโพลิโพรพิลีน โดยใส่ตะแกรงระหว่างสกรูกับดายน์ ในเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว	94
		4.3.4 อิทธิพลของทัลค์จากประเทศจีน และไทย ที่มีต่อลักษณะปรากฏของโพลิโพรพิลีน โดยขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว ที่มีความเร็วรอบของสกรูต่างกัน	97

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
4	4.3.5 อิทธิพลของทัลค์จากประเทศจีนผสมพาราฟินเหลว ที่มีต่อความต้านทานแรงดึง และร้อยละการยืดตัวเมื่อขาดของโพลิโพรพิลีน ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว .	97
	4.3.6 อิทธิพลของทัลค์จาก 3 แหล่ง ภายหลังจากผ่านการอบที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส ที่มีต่อความต้านทานแรงดึงและร้อยละการยืดตัวเมื่อขาด ของโพลิโพรพิลีน	100
	4.3.7 อิทธิพลของปริมาณทัลค์และแหล่งที่มาของทัลค์ ที่มีต่อความแข็ง ของโพลิโพรพิลีนผสมทัลค์ ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว	103
	4.4 อิทธิพลของชนิดและปริมาณของตัวเติม ที่มีต่อสมบัติของโพลิโพรพิลีนขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก	106
	4.4.1 อิทธิพลของตัวเติม ทัลค์และไมกา	106
	4.4.2 อิทธิพลของชนิดและปริมาณตัวเติม ที่มีต่อความแข็งของโพลิโพรพิลีน ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก	115
	4.4.3 อิทธิพลของชนิดและปริมาณตัวเติมทัลค์และไมกา ที่มีต่อลักษณะทางจุลภาคของโพลิโพรพิลีนผสมตัวเติม ที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก	117
	4.5 อิทธิพลของสภาวะการผลิตที่มีต่อสมบัติของโพลิโพรพิลีน	122
	4.6 เปรียบเทียบอิทธิพลของทัลค์ที่มีต่อสมบัติของโพลิโพรพิลีน เมื่อขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว และเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก	124
	4.6.1 เปรียบเทียบอิทธิพลของทัลค์ ในโพลิโพรพิลีนซึ่งผสมทัลค์สำเร็จรูป ที่มีต่อความต้านทานแรงดึงของโพลิโพรพิลีน เมื่อขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว และเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก	124

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
4	4.6.2 เปรียบเทียบอิทธิพลของทัลค์จากประเทศจีน ญี่ปุ่น ไทย และทัลค์ในโพลิโพรพิลีนซึ่งผสมทัลค์สำเร็จรูป ที่มีต่อความแข็งของโพลิโพรพิลีน เมื่อขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว และเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก	124
5	วิเคราะห์การทดลอง	128
	5.1 การเลือกสภาวะการขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว ...	128
	5.2 เปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของโพลิโพรพิลีน ที่ผ่านกระบวนการผลิตต่าง ๆ	128
	5.3 เปรียบเทียบความต้านทานแรงดึง และร้อยละการยืดตัวเมื่อขาดของโพลิโพรพิลีนผสมทัลค์จาก 3 แหล่ง ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว	129
	5.4 เปรียบเทียบความต้านทานแรงดึง และร้อยละการยืดตัวเมื่อขาดของโพลิโพรพิลีนผสมทัลค์และไมกา ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก	131
	5.5 เปรียบเทียบความต้านทานแรงดึงของโพลิโพรพิลีน ผสมทัลค์ในเม็ดโพลิโพรพิลีนซึ่งผสมทัลค์สำเร็จรูป ที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว และเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก	132
	5.6 เปรียบเทียบความแข็งของโพลิโพรพิลีนผสมตัวเติม ที่ทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว และการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก	132
6	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	134
	6.1 สรุปผลการทดลอง	134
	6.1.1 ความต้านทานแรงดึงและร้อยละการยืดตัวเมื่อขาด ของโพลิโพรพิลีนผสมทัลค์ ที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว	134

สารบัญ (ต่อ)

บทที่			หน้า
6	6.1.2	ความต้านทานแรงดึงและร้อยละการยืดตัวเมื่อขาด ของโพลิโพรพิลีนผสมทัลค์และไมกา ที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก	134
	6.1.3	สมบัติทางความร้อนของโพลิโพรพิลีน ที่ผ่านขั้นตอนการขึ้นรูปแตกต่างกัน	135
	6.1.4	เปรียบเทียบความต้านทานแรงดึง ของโพลิโพรพิลีนผสมทัลค์ที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว และเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก	135
	6.1.5	ความแข็งของโพลิโพรพิลีนผสมทัลค์ ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว และเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก	136
	6.1.6	สรุป	136
	6.2	ข้อเสนอแนะ และอุปสรรคในการวิจัย	137
	6.2.1	วัสดุที่ใช้ในการวิจัย	137
	6.2.2	ประสิทธิภาพของเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว	138
		6.2.2.1 สกรู	138
		6.2.2.2 กระบอกสกรู	139
		6.2.2.3 ระบบการผสมภายนอกเครื่องรีดพลาสติก ...	139
	6.2.3	ความพร้อมด้านอุปกรณ์การวิจัย	139
เอกสารอ้างอิง			140
ภาคผนวก			143
ภาคผนวก ก		ค่าคงที่และสมบัติของโพลิโพรพิลีน	144
ภาคผนวก ข		แสดงลักษณะปรากฏของโพลิโพรพิลีนชนิดโฮโมโพลิเมอร์ และโพลิโพรพิลีนผสมทัลค์ ที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว	152
ภาคผนวก ค		โปรแกรมโพลิโนเมียล นิวตัน	177
ภาคผนวก ง		สมบัติของทัลค์ที่ใช้ในการวิจัย	185

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
ภาคผนวก จ	การคำนวณความต้านทานแรงดึง ณ จุดคราก และการยืดตัวเมื่อขาด	188
ประวัติผู้เขียน		199

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แสดงปริมาณการใช้ตัวเติมในอุตสาหกรรมพลาสติก ประจำปี พ.ศ. 2530 ของอุตสาหกรรมพลาสติกแถบยุโรป	2
1.2	แสดงปริมาณการผลิตเทอร์โมพลาติกผสมตัวเติม ในยุโรปตะวันตก ประจำปี พ.ศ. 2531	3
1.3	แสดงปริมาณการใช้ตัวเติมในโพลิโอลิฟิน ประจำปี พ.ศ. 2531 ในยุโรปตะวันตก	3
2.1	แสดงสมบัติทางกลและสมบัติทางความร้อนของโพลิโพรพิลีน	12
2.2	แสดงอิทธิพลของปริมาณตัวเติม ที่มีต่อสมบัติด้านความเค้น-ความเครียด ของพลาสติไซต์โพลิไวนิลคลอไรด์ ผสมแคลเซียม คาร์บอเนต	23
2.3	แสดงอิทธิพลของสารไซเลน ที่มีต่อสมบัติด้านความเค้น-ความเครียดของ ยางโพลิคลอโรพลีน ผสมดิน 80 ส่วนโดยปริมาตร	24
2.4	แสดงอิทธิพลของขนาดอนุภาคเกลือหิน ที่มีต่อสมบัติด้านความเค้น-ความเครียดของยางยูเรเทน	25
2.5	ประเภทของตัวเติมชนิดสารอนินทรีย์	29
2.6	ประเภทตัวเติมชนิดสารอินทรีย์	29
2.7	ส่วนประกอบทางเคมีและสมบัติทางฟิสิกส์ของทัลค์	32
2.8	แสดงสมบัติทางกลของโพลิโพรพิลีนผสมทัลค์ ปริมาณร้อยละ 20 และ 40 โดยน้ำหนัก (ทดสอบที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส)	35
2.9	แสดงสมบัติทางเคมีของมัสโคไวท์ และพัทโลโกไฟท์	39
2.10	แสดงสมบัติทางฟิสิกส์ และสมบัติทางกลของมัสโคไวท์ และ พัทโลโกไฟท์	40
2.11	แสดงอิทธิพลของวิธีการขึ้นรูป ที่มีต่อสมบัติของพลาสติกผสมไมกา ..	42
2.12	อิทธิพลของการขึ้นรูปใหม่ของโพลิโพรพิลีนผสมไมกา	45
2.13	เปรียบเทียบสมบัติของโพลิโพรพิลีนผสมเส้นใยแก้ว ที่ผ่านการขึ้นรูปด้วย วิธีการต่างกัน	50

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
3.1	แสดงสมบัติทางกล ของโพลิโพรพิลีน คอสโมพลีน เอฟ วาย 4012 ..	54
3.2	แสดงสมบัติทางกลของเทป ที่ขึ้นรูปจากโพลิโพรพิลีน คอสโมพลีน เอฟ วาย 4012	55
3.3	แสดงสมบัติทางกลของโพลิโพรพิลีนผสมทัลค์สำเร็จรูป ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก โทนเอน อาร์พีพี เกรด C-500X	56
3.4	แสดงรายละเอียดของเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว	59
3.5	แสดงรายละเอียดของเครื่องผสมแบบลูกกลิ้งคู่	61
3.6	แสดงรายละเอียดของเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก	63
4.1	เปรียบเทียบสมบัติของทัลค์ ตามแหล่งที่มา 3 แหล่ง	74
4.2	แสดงสมบัติของไมกา	83
4.3	แสดงค่าความต้านทานแรงดึง และค่าร้อยละการยืดตัวเมื่อขาดของโพลิโพรพิลีน เมื่อผสมทัลค์จากประเทศจีน ญี่ปุ่น และไทย ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว โดยไม่ใส่ตะแกรงระหว่างสกรูกับดายน์	88
4.4	แสดงค่าความต้านทานแรงดึง และค่าร้อยละการยืดตัวเมื่อขาดของโพลิโพรพิลีนที่ผสมโพลิโพรพิลีนซึ่งผสมทัลค์สำเร็จรูป ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว โดยไม่ใส่ตะแกรงระหว่างสกรูกับดายน์ ...	92
4.5	แสดงค่าความต้านทานแรงดึง และค่าร้อยละการยืดตัวเมื่อขาดของโพลิโพรพิลีน เมื่อผสมทัลค์จากประเทศจีน ในปริมาณร้อยละ 1, 2, 3, 4 และ 5 โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว มีตะแกรงใส่อยู่ระหว่างสกรูกับดายน์	95
4.6	แสดงค่าความต้านทานแรงดึง และค่าร้อยละการยืดตัวเมื่อขาดของโพลิโพรพิลีนผสมทัลค์จากประเทศจีน เมื่อผสมพาราฟินเหลวในปริมาณต่าง ๆ	98
4.7	แสดงค่าความต้านทานแรงดึง และค่าร้อยละการยืดตัวเมื่อขาดของโพลิโพรพิลีนผสมทัลค์ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส	101

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.8	แสดงค่าความแข็ง ของโพลิโพรพิลีนที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว	104
4.9	แสดงค่าความต้านทานแรงดึง และค่าร้อยละการยืดตัวเมื่อขาดของโพลิโพรพิลีน เมื่อผสมทัลค์จากประเทศจีน ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก ๐๐๐๐.....	107
4.10	แสดงค่าความต้านทานแรงดึง และค่าร้อยละการยืดตัวเมื่อขาด ของโพลิโพรพิลีน เมื่อผสมทัลค์จากประเทศญี่ปุ่น ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก	108
4.11	แสดงค่าความต้านทานแรงดึง และค่าร้อยละการยืดตัวเมื่อขาด ของโพลิโพรพิลีน เมื่อผสมทัลค์จากประเทศไทย ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก	109
4.12	แสดงค่าความต้านทานแรงดึง และค่าร้อยละการยืดตัวเมื่อขาดของโพลิโพรพิลีน ผสมกับโพลิโพรพิลีนซึ่งผสมทัลค์สำเร็จรูป และทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก	110
4.13	แสดงค่าความต้านทานแรงดึง และค่าร้อยละการยืดตัวเมื่อขาดของโพลิโพรพิลีนผสมไมกา ทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก	111
4.14	แสดงค่าความแข็ง ของโพลิโพรพิลีนผสมตัวเติมทัลค์และไมกา ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก	115
ก.1	แสดงค่าคงที่ทางฟิสิกส์ของโพลิโพรพิลีน	145
ก.2	แสดงสมบัติของโพลิโพรพิลีนประเภทต่าง ๆ	151
ข.1	แสดงลักษณะปรากฏของโพลิโพรพิลีนที่ขึ้นรูป ด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว ที่สภาวะการผลิตต่าง ๆ	153
ข.2	แสดงลักษณะปรากฏของโพลิโพรพิลีน ผสมทัลค์ 3 แหล่ง ให้มีปริมาณทัลค์ร้อยละ 1, 2, 3, 4, 5, 7 และ 10 โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว โดยไม่ใส่ตะแกรงระหว่างสกรูกับดายน์ ..	156

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

ข.3 แสดงลักษณะปรากฏของโพลิโพรพิลีน ผสมเม็ดโพลิโพรพิลีนซึ่งผสมทัลค์สำเร็จรูป ให้มีปริมาณทัลค์ร้อยละ 5, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว โดยไม่ใส่ตะแกรงระหว่างสกรูกับดายน์ 163

ข.4 แสดงลักษณะปรากฏของโพลิโพรพิลีน ผสมทัลค์จากประเทศจีน ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว และมีตะแกรงใส่อยู่ระหว่างสกรูกับดายน์ 166

ข.5 แสดงลักษณะปรากฏของโพลิโพรพิลีน ผสมทัลค์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว ที่ความเร็วรอบของสกรูต่าง ๆ 169

ข.6 แสดงลักษณะปรากฏของโพลิโพรพิลีน เมื่อผสมทัลค์จากประเทศจีน และพาราฟินเหลวในปริมาณต่าง ๆ ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว โดยไม่ใส่ตะแกรงระหว่างสกรูกับดายน์ 172

ข.7 แสดงลักษณะปรากฏของโพลิโพรพิลีน ที่ผสมทัลค์ปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ที่ได้ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว ที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของสกรู 800 รอบ/นาที 173

ข.8 แสดงลักษณะปรากฏของโพลิโพรพิลีนผสมตัวเติม ทัลค์และไมกา โดยผสมให้มีปริมาณตัวเติมร้อยละ 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก 176

จ.1 การคำนวณค่าสัดส่วนการรวมตัวสูงสุด ของทัลค์และไมกาที่ใช้ในการทดลอง 188

จ.2 ความต้านทานแรงดึง ณ จุดคราก ของโพลิโพรพิลีนผสมทัลค์ ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว 189

จ.3 ความต้านทานแรงดึง ณ จุดคราก ของโพลิโพรพิลีนผสมทัลค์และไมกา ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก 191

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

จ.4 การยืดตัวเมื่อขาดของโพลิโพรพิลีนผสมทัลค์ ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว 194

จ.5 การยืดตัวเมื่อขาดของโพลิโพรพิลีนผสมทัลค์และไมกา ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก 196

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แผนภูมิแสดงกระบวนการผลิตโพลิโพรพิลีนทางอุตสาหกรรม	8
2.2	แสดงโครงสร้างแทคติกซิตีของโพลิโพรพิลีน	10
2.3	อิทธิพลของโครงสร้างแบบไอโซแทคติกต่อความต้านทานแรงดึง ของโพลิโพรพิลีน	10
2.4	อิทธิพลของดัชนีไอโซแทคติก และดัชนีการไหลที่มีต่อสมบัติของโพลิโพรพิลีน	13
2.5	กราฟแสดงอิทธิพลของปริมาณตัวเติมเกลือหิน (rock salt) ที่มีต่อค่าร้อยละการยืดตัว และความเค้นของยางโพลิยูเรเทน	21
2.6	กราฟแสดงอิทธิพลของปริมาณตัวเติม ที่มีต่อค่าร้อยละการยืดตัวเมื่อขาด ของโพลิเมอร์ผสมตัวเติมตามทฤษฎี เมื่อแรงยึดเกาะระหว่างโพลิเมอร์และตัวเติมดี	21
2.7	แสดงลักษณะปรากฏในวัสดุประกอบเมื่อให้แรงดึง	26
2.8	แสดงลักษณะทางเรขาคณิตของอนุภาคตัวเติม 5 แบบ	31
2.9	กราฟแสดงการกระจายขนาดอนุภาคของดินขาว	31
2.10	แสดงอิทธิพลของตัวเติม ทัลค์และแคลเซียมคาร์บอเนต ที่มีต่อมอดุลัสการบิดโค้งของโพลิโพรพิลีน ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส	36
2.11	แสดงอิทธิพลของตัวเติมทัลค์และแคลเซียมคาร์บอเนต ที่มีต่อความต้านทานแรงดึง ณ จุดคราก ของโพลิโพรพิลีน ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส	36
2.12	แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิ ที่มีต่อมอดุลัสการบิดโค้งของโพลิโพรพิลีน ผสมทัลค์และแคลเซียมคาร์บอเนต ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก	37
2.13	แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อความต้านทานแรงดึง ณ จุดครากของโพลิโพรพิลีน ผสมทัลค์และแคลเซียมคาร์บอเนต ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก	37
2.14	แสดงอิทธิพลของขนาด ความกว้าง/ความหนา ของอนุภาคไมกาที่มีต่อสมบัติของโพลิโพรพิลีน	44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.15	แสดงอิทธิพลของขนาดอนุภาคของไมกา ที่มีต่อความต้านทานแรงดึงของโพลิโพรพิลีน	44
2.16	แสดงอิทธิพลของปริมาณเยื่อกระดาษ ที่มีต่อสมบัติของโพลิเอทิลีน ชนิดความหนาแน่นสูง	47
2.17	แสดงอิทธิพลของปริมาณเยื่อกระดาษที่มีต่อสมบัติของโพลิโพรพิลีน	48
2.18	แสดงรูปแบบกระบวนการผลิตพลาสติกผสมวัสดุเสริมแรง	49
2.19	แสดงอิทธิพลของปริมาณโพลิโพรพิลีน ที่ปรับปรุงด้วยกรดอะคริลิกที่มีต่อสมบัติของโพลิโพรพิลีนผสมทัลค์	52
3.1	กราฟเปรียบเทียบ สมบัติของโพลิโพรพิลีน (PP) และอะคริโลไนตริล บิวตาไดอีน สไตรีน(ABS) เมื่อผสมทัลค์เกรดต่าง ๆ	57
3.2	เครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว	60
3.3	แสดงลักษณะรางน้ำ และชุดลูกกลิ้งคู่	60
3.4	เครื่องผสมพลาสติกแบบลูกกลิ้งคู่	62
3.5	เครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก	64
3.6	แม่แบบอัด	64
3.7	เครื่องวิเคราะห์สแกนนิงอิเล็กตรอนไมโครสโคป	65
3.8	เครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชั่น	66
3.9	เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง	66
3.10	แผนภูมิแสดงขั้นตอนการขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว ...	69
3.11	แผนภูมิแสดงขั้นตอนการขึ้นรูป ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก	71
4.1	แสดงลักษณะของอนุภาคทัลค์ ถ่ายด้วยกล้องสแกนนิงอิเล็กตรอนไมโครสโคป	75
4.2	กราฟแสดงการกระจายขนาดอนุภาคของทัลค์	76
4.3	กราฟการวิเคราะห์ทัลค์จากประเทศจีน ด้วยเครื่องวิเคราะห์เทอร์มัลดิฟเฟอเรนเชียล	77
4.4	กราฟการวิเคราะห์ทัลค์จากประเทศจีน ด้วยเครื่องวิเคราะห์เทอร์มัลกราวิเมตริก	77

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.5 กราฟการวิเคราะห์ทัลค์จากประเทศญี่ปุ่น ด้วยเครื่องวิเคราะห์เทอร์มัลดิฟเฟอเรนเชียล 78

4.6 กราฟการวิเคราะห์ทัลค์จากประเทศญี่ปุ่น ด้วยเครื่องวิเคราะห์เทอร์มัลกราวิเมตริก 78

4.7 กราฟการวิเคราะห์ทัลค์จากประเทศไทย ด้วยเครื่องวิเคราะห์เทอร์มัลดิฟเฟอเรนเชียล 79

4.8 กราฟการวิเคราะห์ทัลค์จากประเทศไทย ด้วยเครื่องวิเคราะห์เทอร์มัลกราวิเมตริก 79

4.9 รูปแบบกราฟการวิเคราะห์ทัลค์จากประเทศจีน ด้วยเครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชั่น 80

4.10 รูปแบบบกราฟการวิเคราะห์ทัลค์จากประเทศญี่ปุ่น ด้วยเครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชั่น 80

4.11 รูปแบบกราฟการวิเคราะห์ทัลค์จากประเทศไทย ด้วยเครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชั่น 81

4.12 แสดงลักษณะอนุภาคของไมกา ถ่ายด้วยกล้องสแกนนิงอิเล็กตรอนไมโครสโคป กำลังขยาย 500 เท่า 82

4.13 กราฟแสดงการกระจายขนาดอนุภาคของไมกา 84

4.14 กราฟวิเคราะห์ไมกา ด้วยเครื่องวิเคราะห์เทอร์มัลดิฟเฟอเรนเชียล . 85

4.15 กราฟวิเคราะห์ไมกา ด้วยเครื่องวิเคราะห์เทอร์มัลกราวิเมตริก 85

4.16 กราฟแสดงอิทธิพลของปริมาณทัลค์จาก 3 แหล่ง คือ ทัลค์จากประเทศจีน ญี่ปุ่นและไทย ที่มีต่อความต้านทานแรงดึง ณ จุดคราก ของโพลิโพรพิลีน ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว 89

4.17 กราฟแสดงอิทธิพลของปริมาณทัลค์จาก 3 แหล่ง คือ ทัลค์จากประเทศจีน ญี่ปุ่นและไทย ที่มีต่อความต้านทานแรงดึงเมื่อขาดของโพลิโพรพิลีน ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว 89

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.18 กราฟแสดงอิทธิพลของปริมาณทัลค์จาก 3 แหล่ง คือ ทัลค์จากประเทศจีน ญี่ปุ่น และไทย ที่มีต่อร้อยละการยืดตัวเมื่อขาดของโพลิโพรพิลีนขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว 90

4.19 กราฟแสดงอิทธิพลของปริมาณทัลค์ ในโพลิโพรพิลีนซึ่งผสมทัลค์สำเร็จรูปที่มีต่อความต้านทานแรงดึงของโพลิโพรพิลีน ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว 93

4.20 กราฟแสดงอิทธิพลของปริมาณทัลค์ ในโพลิโพรพิลีนซึ่งผสมทัลค์สำเร็จรูปที่มีต่อร้อยละการยืดตัวเมื่อขาด ของโพลิโพรพิลีน ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว 93

4.21 กราฟแสดงอิทธิพลของปริมาณทัลค์จากประเทศจีน ที่มีต่อความต้านทานแรงดึง ของโพลิโพรพิลีน ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว มีตะแกรงใส่อยู่ระหว่างสกรูกับดายน์ 96

4.22 กราฟแสดงอิทธิพลของปริมาณทัลค์จากประเทศจีน ที่มีต่อร้อยละการยืดตัวเมื่อขาดของโพลิโพรพิลีน ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว มีตะแกรงใส่อยู่ระหว่างสกรูกับดายน์ 96

4.23 กราฟแสดงอิทธิพลของทัลค์จากประเทศจีนผสมพาราฟินเหลว ที่มีต่อความต้านทานแรงดึงของโพลิโพรพิลีน 99

4.24 กราฟแสดงอิทธิพลของทัลค์จากประเทศจีน ผสมพาราฟินเหลวที่มีต่อร้อยละการยืดตัวเมื่อขาดของโพลิโพรพิลีน 99

4.25 กราฟแสดงอิทธิพลของทัลค์ 3 แหล่ง ที่มีต่อความต้านทานแรงดึงของโพลิโพรพิลีน เปรียบเทียบระหว่างโพลิโพรพิลีนผสมทัลค์ที่ไม่ผ่านการอบกับทัลค์ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส 102

4.26 กราฟแสดงอิทธิพลของทัลค์ 3 แหล่ง ที่มีต่อร้อยละการยืดตัวเมื่อขาดของโพลิโพรพิลีน เปรียบเทียบระหว่างโพลิโพรพิลีนผสมทัลค์ผ่านการอบกับที่ไม่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส 102

4.27 กราฟแสดงอิทธิพลของปริมาณทัลค์ และอิทธิพลของแหล่งที่มาของทัลค์ที่มีต่อความแข็งของโพลิโพรพิลีน 105

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.28 กราฟแสดงอิทธิพลของชนิดและปริมาณตัวเติม ที่มีต่อความต้านทานแรงดึง ณ จุดคราก ของโพลิโพรพิลีนผสมทัลค์จากประเทศจีน ญี่ปุ่น ไทย ทัลค์ในโพลิโพรพิลีนซึ่งผสมทัลค์สำเร็จรูป และไมกา ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก 112

4.29 กราฟแสดงอิทธิพลของชนิดและปริมาณตัวเติม ที่มีต่อความต้านทานแรงดึงเมื่อขาด ของโพลิโพรพิลีนผสมทัลค์จากประเทศจีน ญี่ปุ่น ไทย ทัลค์ในโพลิโพรพิลีนซึ่งผสมทัลค์สำเร็จรูป และไมกา ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก 113

4.30 กราฟแสดงอิทธิพลของชนิดและปริมาณตัวเติม ที่มีต่อร้อยละการยืดตัวเมื่อขาด ของโพลิโพรพิลีนผสมทัลค์จากประเทศจีน ญี่ปุ่น ไทย ทัลค์ในโพลิโพรพิลีนซึ่งผสมทัลค์สำเร็จรูป และไมกา ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก 114

4.31 กราฟแสดงอิทธิพลของชนิดและปริมาณตัวเติม ทัลค์ และไมกาที่มีต่อความแข็งของโพลิโพรพิลีน ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก 116

4.32 แสดงลักษณะผิวรอยแตกของตัวอย่างโพลิโพรพิลีน ผสมตัวเติมทัลค์และไมกา ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก ถ่ายด้วยกล้องสแกนนิงอิเล็กตรอนไมโครสโคป กำลังขยาย 500 เท่า 118

4.33 แสดงลักษณะผิวรอยแตก ของตัวอย่างโพลิโพรพิลีนผสมตัวเติมทัลค์และไมกา ปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก ถ่ายด้วยกล้องสแกนนิงอิเล็กตรอนไมโครสโคป กำลังขยาย 500 เท่า 119

4.34 แสดงลักษณะผิวสัมผัส ระหว่างตัวเติมและโพลิโพรพิลีน ถ่ายด้วยกล้องสแกนนิงอิเล็กตรอนไมโครสโคป 120

4.35 แสดงลักษณะการรวมตัวเป็นกลุ่มของทัลค์ในโพลิโพรพิลีน ถ่ายภาพด้วยกล้องสแกนนิงอิเล็กตรอนไมโครสโคป กำลังขยาย 3,000 เท่า ... 121

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.36 กราฟเปรียบการวิเคราะห์จุดหลอมเหลวของโพลิโพรพิลีน ด้วยเครื่องวิเคราะห์เทอร์มัลดิฟเฟอเรนเชียล 123

4.37 กราฟเปรียบเทียบอิทธิพลของทัลค์ ในโพลิโพรพิลีนซึ่งผสมทัลค์สำเร็จรูปที่มีต่อความต้านทานแรงดึง ณ จุดคราก ของโพลิโพรพิลีน ซึ่งขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว และเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก 125

4.38 กราฟเปรียบเทียบอิทธิพลของทัลค์ ในโพลิโพรพิลีนซึ่งผสมทัลค์สำเร็จรูปที่มีต่อความต้านทานแรงดึงเมื่อขาด ของโพลิโพรพิลีน ซึ่งขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว และเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก 126

4.39 กราฟเปรียบเทียบอิทธิพลของทัลค์ ที่มีต่อความแข็งของโพลิโพรพิลีนผสมทัลค์ชนิดต่าง ๆ ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว และเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก 127

ข.1 แสดงลักษณะปรากฏของโพลิโพรพิลีน ผสมทัลค์จากประเทศจีน ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว โดยไม่ใส่ตะแกรงระหว่างสกรูกับดายน์ โดยผสมทัลค์ในอัตราส่วนต่าง ๆ เป็นร้อยละ โดยน้ำหนัก 159

ข.2 แสดงลักษณะปรากฏของโพลิโพรพิลีน ผสมทัลค์จากประเทศญี่ปุ่น ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว โดยไม่ใส่ตะแกรงระหว่างสกรูกับดายน์ โดยผสมทัลค์ในอัตราส่วนต่าง ๆ เป็นร้อยละ โดยน้ำหนัก ... 160

ข.3 แสดงลักษณะปรากฏของตัวอย่างโพลิโพรพิลีน ผสมทัลค์จากประเทศไทย ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว โดยไม่ใส่ตะแกรงระหว่างสกรูกับดายน์ โดยผสมทัลค์ในอัตราส่วนต่าง ๆ เป็นร้อยละ โดยน้ำหนัก 161

ข.4 แสดงลักษณะปรากฏของโพลิโพรพิลีน ที่ทำการขึ้นรูปโดยผสมโพลิโพรพิลีนชนิดโฮโมโพลิเมอร์ กับ โพลิโพรพิลีนซึ่งผสมทัลค์สำเร็จรูป ผสมให้ได้ตัวอย่างที่มีปริมาณทัลค์ต่าง ๆ กัน เป็นร้อยละ โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว โดยไม่ใส่ตะแกรงระหว่างสกรูกับดายน์ 164

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

ข.5 แสดงลักษณะปรากฏของโพลิโพรพิลีนผสมทัลค์จากประเทศจีน ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว และมีตะแกรงใส่อยู่ระหว่างสกรูกับดายน์ โดยผสมทัลค์ในอัตราส่วนต่าง ๆ เป็นร้อยละ โดยน้ำหนัก ... 167

ข.6 แสดงลักษณะปรากฏของโพลิโพรพิลีน ผสมทัลค์ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ทัลค์ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว โดยไม่มีตะแกรงระหว่างสกรูกับดายน์ 174

จ.1 กราฟเปรียบเทียบความต้านทานแรงดึง ณ จุดคราก ของโพลิโพรพิลีนผสมทัลค์จากประเทศจีน ญี่ปุ่น และไทย ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว กับค่าจากการคำนวณ 190

จ.2 กราฟเปรียบเทียบความต้านทานแรงดึง ณ จุดคราก ของโพลิโพรพิลีนผสมทัลค์จากประเทศจีน ญี่ปุ่น ไทย และโพลิโพรพิลีนผสมไมกา ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก กับค่าจากการคำนวณ ... 193

จ.3 กราฟเปรียบเทียบร้อยละการยืดตัวเมื่อขาดของโพลิโพรพิลีน ผสมทัลค์จากประเทศจีน ญี่ปุ่น และไทย ขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดพลาสติกแบบสกรูเดี่ยว กับค่าจากการคำนวณ 195

จ.4 กราฟเปรียบเทียบร้อยละการยืดตัวเมื่อขาดของโพลิโพรพิลีน ผสมทัลค์จากประเทศจีน ญี่ปุ่น และไทย และโพลิโพรพิลีนผสมไมกา ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก กับค่าจากการคำนวณ 198

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญญลักษณ์

ε_B° = ค่าการยืดตัวเมื่อขาดของโพลิเมอร์

ε_B = ค่าการยืดตัวเมื่อขาดของโพลิเมอร์ผสมตัวเติมชนิดแข็ง

σ_{y0} = ความเค้น ณ จุดคราก ของโพลิเมอร์

σ_y = ความเค้น ณ จุดคราก ของโพลิเมอร์ผสมตัวเติมชนิดแข็ง

ϕ_2 = สัดส่วนของตัวเติมโดยปริมาตร (volume fraction of filler)

ϕ_m = สัดส่วนการรวมตัวสูงสุด (maximum volume fraction) ของอนุภาคตัวเติม โดยเปรียบเทียบระหว่างปริมาตรที่แท้จริงของตัวเติม กับ ปริมาตรปรากฏของตัวเติมที่อัดแน่น เมื่อน้ำหนักเท่ากัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย