

การศึกษาพอลิเมอร์ผสมของผงยางจากยางรถยนต์และพอลิพรอพิลีน



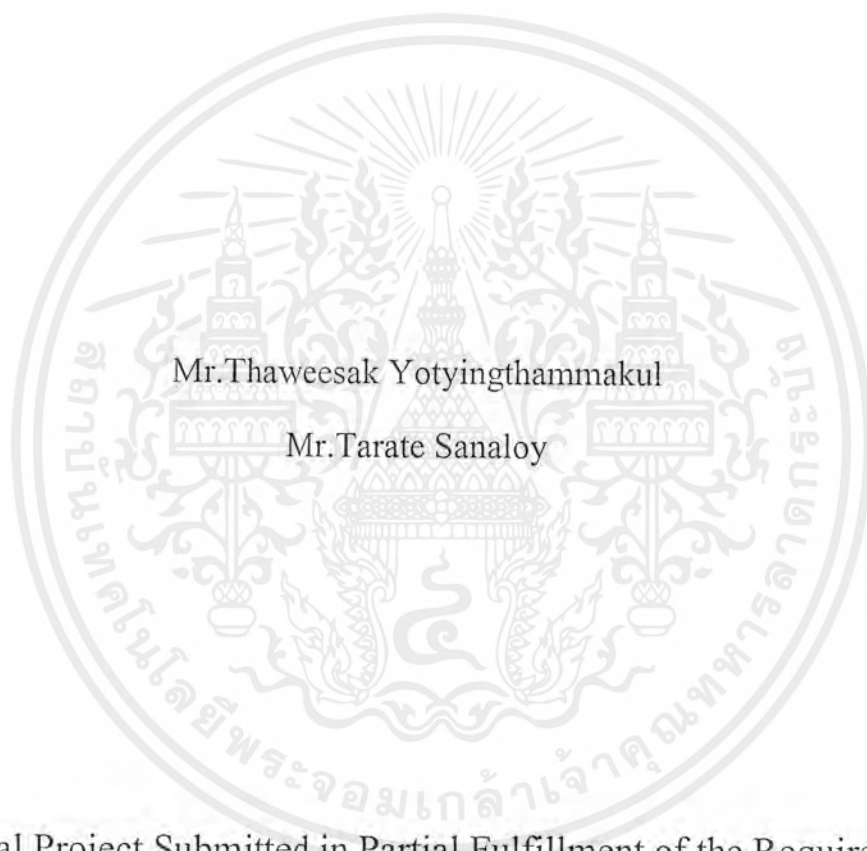
นายทวีศักดิ์ ยศยิ่งธรรมกุล
นายธเรศ เสนาลอย

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน... 37647
วัน, เดือน, ปี 19 ก.ย. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Study of Filled Polymers from Ground Rubber Tire (GRT)
and Polypropylene (PP)**



Mr.Thaweesak Yotyinthammakul

Mr.Tarate Sanaloy

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement

for the Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science


King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาพอลิเมอร์ผสมของผงยางจากยางรถยนต์และพอลิพรอพิลีน
นักศึกษา นายทวีศักดิ์ ยศยิ่งธรรมกุล
นายชเรศ เสนาลอย

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต



(ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

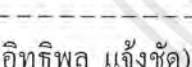
คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ


(ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

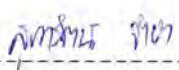
ประธานกรรมการ


(ดร.ชลลดา ฤทธิวิรุห์)

กรรมการ


(ดร.อิทธิพล แจ่มชัด)

กรรมการ


(ดร.สุภารัตน์ จำปา)

กรรมการ

คณบดีภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาพอลิเมอร์ผสมของผงยางจากยางรถยนต์และพอลิพรอพิลีน		
นักศึกษา	นายทวีศักดิ์	ยศยิ่งธรรมกุล	รหัส 39054220
	นายชเรศ	เสนาลอย	รหัส 39054221
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อิทธิพล	แจ้งชัด	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.สุภารัตน์	จำปา	
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง		
ปีการศึกษา	2542		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP) และผงยางจากยางรถยนต์ (Ground rubber tires, GRT) ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารตัวเติม และสารช่วยปรับปรุงสมบัติการรับแรงกระแทก โดยทำการศึกษาดังต่อไปนี้ ที่มีผลต่อสมบัติได้แก่ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสถานะวิทยา ในการทดลองนี้ พอลิพรอพิลีนและผงยางจากยางรถยนต์ (0, 10, 20 และ 30 % โดยน้ำหนัก) ถูกผสมเข้าด้วยกันที่อุณหภูมิ 200 °C โดยใช้เทคนิคการอัดรีด (Extrusion) จากนั้นทำการขึ้นรูปด้วยเทคนิคการฉีดขึ้นรูป (Injection molding) จากการทดลองพบว่าสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมได้แก่ความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด โมดูลัส และความแข็ง มีแนวโน้มลดลงเมื่อเติมผงยาง GRT พบว่า GRT สามารถทำหน้าที่เป็นสารปรับปรุงสมบัติการรับแรงกระแทก วัสดุมีความแข็งแรงกระแทกเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเพิ่มปริมาณ GRT นอกจากนี้ยังศึกษาผลของสารช่วยผสม (Compatibilizers) ได้แก่กรดสเตียริก (Stearic acid, SA) และมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟพอลิพรอพิลีน (Maleic anhydride grafted polypropylene, MAPP) จากการทดลองพบว่า SA ทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น ไม่ทำให้สมบัติของวัสดุเพิ่มขึ้น แต่ MAPP สามารถช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมได้ จากการศึกษาอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (T_m) และอุณหภูมิตกผลึก (T_c) ด้วยเทคนิค DSC พบว่าการเติม GRT ลงในพอลิพรอพิลีนไม่มีผลต่อ T_m และ T_c เมื่อปริมาณผงยางเพิ่มขึ้นมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกลดลง จากภาพภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาดพบว่า อนุภาคผงยางมีการกระจายตัวที่ดีในพอลิเมอร์เมทริกซ์พอลิพรอพิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Study of Filled Polymers from Ground Rubber Tire (GRT) and Polypropylene (PP)

Name Mr.Thaweesak Yotypingthammakul
Mr.Tarate Sanaloy

Special Project Advisor Dr.Ittipol Jangchud
Dr.Suparat Jumpa

Department Chemistry

Academic Year 1999

ABSTRACT

The research work was aimed to study a filled polymer, i.e., polypropylene (PP) mixed with ground rubber tire (GRT) which can act as a filler and impact modifier. Factors affected properties of the filled polymer, e.g., mechanical, thermal and morphological properties were studied. In this work, PP and GRT (0-30 % loading) were mixed by an extruder and shaped by an injection molding machine. It was found that mechanical properties of the filled polymer, i.e., tensile strength, % elongation at break, modulus and hardness had a trend to decrease as % GRT loading was increased. However, impact strength of the material was dramatically increased as % GRT in the polymer increased. The effects of two compatibilizers (stearic acid (SA) and maleic anhydride grafted polypropylene (MAPP)) were also investigated. It was found that SA acted as a lubricant as the PP/GRT/SA compound possessed lower mechanical properties compared to the unmodified one. On the other hand, the MAPP modified polymer showed improved mechanical properties. From thermal properties of the filled polymer studied by DSC, it was revealed that melting temperature (T_m) and crystallization temperature (T_c) of the PP were unchanged by the presence of the GRT particles. Only % crystallinity of the polymer was slightly decreased by loading the GRT. From SEM micrographs, it was revealed that the GRT was dispersed well in the PP matrix.

กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณ ดร.อิทธิพล แจ่มชัด ที่กรุณารับเป็นที่ปรึกษาโครงการ คอยให้คำปรึกษา แนะนำช่วยเหลือ รวมถึงเสียบางอาหารที่มีให้ไม่ขาด และให้ใช้คอมพิวเตอร์ได้ตลอดเวลาตลอดการทำโครงการ

ขอบคุณ ดร.สุภารัตน์ จำปา ที่กรุณาให้คำตักเตือน คอยเชิญเชิญให้ทำงาน ให้กำลังใจและยอมเป็นที่ปรึกษาร่วมโครงการนี้

ขอบคุณ ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย และ ดร. ชลลดา ฤตวิรุฬห์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำตลอดการดำเนินโครงการ

ขอบคุณ คุณบุญหาญ อุ่อคมยิ่ง ที่กรุณาอนุเคราะห์ฝังยางรถยนต์ตลอดการดำเนินโครงการ และกรุณาให้เข้าเยี่ยมชมการผลิตผงยางรถยนต์

ขอบคุณบริษัทเอชเอ็มซีพอลิเมอร์จำกัดที่ให้ความอนุเคราะห์เม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีน

ขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบสัณฐานวิทยา

ขอบคุณนักวิทยาศาสตร์ที่อาคารพอลิเมอร์ที่คอยอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือ

ขอบคุณป้าส้มที่คอยทำความสะอาดให้ทุกครั้งที่ทำสกปรก

ขอบคุณเพื่อนๆ ที่ น้องทุกคนที่อยู่เป็นเพื่อนทำโครงการจนดีด้น

นอกจากนี้ยังมีบุคคลท่านอื่นๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือซึ่งผู้จัดทำไม่ได้กล่าวถึงทางผู้จัดทำขอกราบ
ขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

นาย ทวีศักดิ์ ยศยิ่งธรรมกุล

นาย ธารศ เสนาลอย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1. บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2. ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 พอลิพรอพิลีน	4
2.2 สารตัวเติม	7
2.3 สารเติมแต่งชนิดอื่นๆ	12
2.4 การทำงานของเครื่องมือ	14
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3. การทดลอง	
3.1 สารเคมีและวัสดุที่เกี่ยวข้อง	20
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	21
3.3 วิธีการทดลอง	22
บทที่ 4. สรุปผลการทดลอง	
4.1 สมบัติเชิงกล	24
4.2 สมบัติทางความร้อน	34
4.3 สัณฐานวิทยา	35
บทที่ 5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	40
5.2 ข้อเสนอแนะ	41

สารบัญ (ต่อ)

เอกสารอ้างอิง	หน้า
ภาคผนวก	42
	44



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 กองขยะขยารถยนต์	1
รูปที่ 2.1 แสดงสูตรโครงสร้างของพอลิพรอพิลีน	4
รูปที่ 2.2 แสดงการแบ่งอนุภาคของสารตัวเติมออกเป็นชนิดต่างๆ	8
รูปที่ 2.3 แสดงวิธีการบดขยงที่อุณหภูมิห้อง	10
รูปที่ 2.4 แสดงวิธีการบดขยงโดยแช่ในโตรเจน	11
รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างทางเคมีของกรดสเดียริก	13
รูปที่ 2.6 เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว	16
รูปที่ 2.7 เครื่องอัดแบบชนิดฉีด	17
รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดิ่งกับปริมาณผงขยง	24
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การบีด ๓ จุดขยงกับปริมาณผงขยง	25
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานทำให้แตกหักกับปริมาณผงขยง	26
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดิ่งกับปริมาณผงขยง	27
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสดิ่งกับปริมาณผงขยง	28
รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดิ่งกับปริมาณผงขยง	29
รูปที่ 4.7 แสดงผลของกรดสเดียริกต่อความแข็งแรงดิ่ง	30
รูปที่ 4.8 แสดงผลของกรดสเดียริกต่อความแข็งแรงกระเทก	31
รูปที่ 4.9 แสดงผลของ MAPP ต่อความแข็งแรงดิ่ง	31
รูปที่ 4.10 แสดงผลของ MAPP ต่อความแข็งแรงกระเทก	32
รูปที่ 4.11 แสดงผลของกรดสเดียริกต่อความแข็งแรง	33
รูปที่ 4.12 แสดงผลของ MAPP ต่อความแข็งแรง	33
รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นผลึกกับปริมาณผงขยง	34
รูปที่ 4.14 แสดงพิกที่เกดจากอนุภาคขยงเป็นสารก่อผลึก	35
รูปที่ 4.15 SEM Microscope แสดงสณฐานวิทยาของผงขยงจากเศษผงขยงรถยนต์บด ขนาด 20 เมส ที่กำลังขยง 230 เท่า	35
รูปที่ 4.16 SEM Microscope แสดงสณฐานวิทยาของผงขยงจากเศษ ผงขยงรถยนต์บด ขนาด 20 เมส ที่กำลังขยง 1500 เท่า	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.17 SEM Microscope แสดงสัณฐานวิทยาของผงขางจากเศษผงขางรถยนต์บด ขนาด 20 เมส ที่กำลังขยาย 7000 เท่า	36
รูปที่ 4.18 SEM Microscope แสดงสัณฐานวิทยาของ PP/GRT อัตราส่วน 90/10 ที่กำลังขยาย 13000 เท่า	37
รูปที่ 4.19 SEM Microscope แสดงสัณฐานวิทยาของ PP/GRT อัตราส่วน 80/20 ที่กำลังขยาย 13000 เท่า	37
รูปที่ 4.20 SEM Microscope แสดงสัณฐานวิทยาของ PP/GRT อัตราส่วน 70/30 ที่กำลังขยาย 13000 เท่า	38
รูปที่ 4.21 SEM Microscope แสดงสัณฐานวิทยาของ PP/GRT/SA อัตราส่วน 70/30/2 ที่กำลังขยาย 13000 เท่า	38
รูปที่ 4.22 SEM Microscope แสดงสัณฐานวิทยาของ PP/GRT/SA อัตราส่วน 70/30/2 ที่กำลังขยาย 13000 เท่า	39

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติของไฮโมพอลิพรอพิลีน	5
ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติของพอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่มของพอลิพรอพิลีน	6
ตารางที่ 2.3 แสดงสมบัติของพอลิพรอพิลีนชนิดรับแรงกระแทก	7
ตารางที่ 2.4 แสดงพลาสติกที่ใช้ในงานอัดรีด	15



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ

ในปัจจุบันโลกมีการพัฒนาและเจริญก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว มีประชากรเพิ่มขึ้นมาจากสาเหตุนี้เองทำให้เกิดอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เกิดขึ้นมากมายเพื่อสนองความต้องการของมนุษย์ ในอุตสาหกรรมแต่ละประเภทมีทั้งการผลิต การผลิต และการขนส่งเกี่ยวเนื่องกันอยู่ การขนส่งเป็นกลไกหนึ่งที่สำคัญ การขนส่งมีทั้งทางบก ทางน้ำและทางอากาศ การขนส่งทางบกจำเป็นต้องใช้พาหนะเช่น รถบรรทุก รถโดยสาร รถยนต์ส่วนบุคคล เป็นต้น ซึ่งพาหนะเหล่านี้ใช้ยางรถยนต์เป็นส่วนประกอบสำคัญ เนื่องจากยางรถยนต์มีอายุการใช้งานจำกัด รถต้องเปลี่ยนยางใหม่เมื่อใช้ไประยะหนึ่ง (ประมาณ 3 ปี) ยางรถที่ถูกเปลี่ยนทิ้งจะกลายเป็นปัญหาดังแวดล้อมเกิดขึ้นคือปัญหาขยะยาง เป็นปัญหาที่สำคัญอย่างมากเพราะว่ายังเกิดอุตสาหกรรมมากขึ้น ขยะยางก็จะเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 1.1 กองขยะยางรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากยางเป็นพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมเซต (Thermoset) โครงสร้างโมเลกุลยางมีการเชื่อมโยงเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ จึงไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่โดยการให้ความร้อนหลอมเหลวขึ้นรูปใหม่เหมือนเทอร์โมพลาสติก ปัจจุบันยังมีวิธีกำจัดหลายวิธี เช่น

1. ถมทะเล
2. เผาเป็นเชื้อเพลิง
3. ผสมกับยางมะตอยในการทำถนน
4. ทำยางรีเคลม (Reclaim rubber)
5. ผลิตภัณฑ์ (Ground Rubber Tires, GRT) ใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์ผสม

พลาสติกพอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP) เป็นพอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมพลาสติกที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีราคาถูก ง่าย เทคโนโลยีในการผลิตไม่ซับซ้อน มีความแข็งแรง ค่ามอดูลัส (Modulus) สูง แต่มีข้อเสียคือความสามารถในการรับแรงกระแทก (Impact) ต่ำ จึงมีความพยายามที่จะปรับปรุงความสามารถในการรับแรงกระแทก แนวคิดหนึ่งคือเติมสารตัวเติม (Filler) ที่มีสมบัติเป็นสารปรับปรุงแรงกระแทก (Impact modifier) เช่น การเติมยางลงในพอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride, PVC) ขณะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ทำให้พอลิไวนิลคลอไรด์มีความสามารถในการรับแรงกระแทกเพิ่มขึ้น

วิธีการหนึ่งในการปรับปรุงความสามารถในการรับแรงกระแทกของพอลิพรอพิลีนคือการใส่สารตัวเติมที่สามารถรับแรงกระแทกได้ ซึ่งคุณสมบัตินี้มีอยู่ในผงยางรถยนต์ (Ground rubber tires, GRT) แต่เมื่อนำ GRT ผสมกับพอลิพรอพิลีนอาจเกิดปัญหาในการผสม (Compatibility) และสมบัติการไหล (Rheology) ในทางทฤษฎี GRT และพอลิพรอพิลีนน่าจะเข้ากันได้เพราะมีโครงสร้างโมเลกุลไม่มีขั้วเหมือนกัน แต่ GRT เป็นยางที่ผ่านการทำให้คงรูปและการเติมสารเคมีลงไป เมื่อนำไปผ่านกระบวนการผลิต GRT ไม่หลอมเหลวอีก อาจเกิดเป็นวัฏภาคของแข็งขวางเส้นทางการไหลของพอลิเมอร์ ทำให้ผสมเข้ากันไม่ดี ในการทดลองจึงมีการใช้สารช่วยผสม (Compatibilizer) เช่นกรดสเตียริก (Stearic acid) เพื่อช่วยเพิ่มการกระจายตัวของ GRT ในพอลิพรอพิลีน จากนั้นทำการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของพอลิพรอพิลีนผสมกับ GRT ที่มีสารช่วยผสมและไม่มีสารช่วยผสม

งานวิจัยนี้สนใจที่จะพัฒนาสมบัติเชิงกลของพอลิพรอพิลีนที่มี GRT เป็นสารตัวเติมและสารปรับปรุงแรงกระแทก โดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับ GRT อิทธิพลของการใช้สารช่วยผสม สภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการแปรรูปเช่น การอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single-screw extruder) การบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) และการอัดแบบชนิดฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Injection molding) ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติการไหล รวมถึงสัญญาณวิทยาของพอลิเมอร์ผสม (Filled polymers) ที่ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

1. เพื่อศึกษาสมบัติต่างๆ ของพอลิพรอพิลีนที่มี GRT เป็นสารตัวเติมเช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สมบัติการไหลและสัญญาณวิทยาเป็นต้น
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ เช่น อัตราส่วนของพอลิพรอพิลีนต่อ GRT และการใช้สารช่วยผสมที่มีผลต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาอัตราส่วนของพอลิพรอพิลีนต่อ GRT ที่อัตราส่วน
 - 90 ต่อ 10
 - 80 ต่อ 20
 - 70 ต่อ 30
2. ศึกษาเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของพอลิพรอพิลีนที่มี GRT เป็นสารตัวเติม เมื่อมีสารช่วยผสมและไม่มีสารช่วยผสม

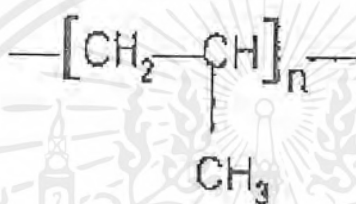
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงอัตราส่วนระหว่างพอลิพรอพิลีนต่อ GRT ที่ให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด โดยเฉพาะความสามารถในการรับแรงกระแทก
2. ทราบถึงผลของสารช่วยผสมที่มีต่อสมบัติของพอลิเมอร์ผสม
3. นำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดเศษขยะจากยางรถยนต์และพัฒนาให้เป็นอุตสาหกรรมของประเทศ

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP)



รูปที่ 2.1 แสดงสูตรโครงสร้างของพอลิพรอพิลีน

ลักษณะเม็ดพลาสติกสามารถแบ่งตามสเตอริโอเมอร์เคมีได้ 3 ประเภทคือ

2.1.1. ไอโซแทกติก (Isotactic)

เกิดจากมอนอเมอร์พรอพิลีนจัดเรียงตัวแบบหัวต่อหางหมู่เมทิลที่เกาะอยู่บน โครงสร้างหลักจะอยู่ด้านเดียวกัน ทำให้มีความเป็นผลึกสูง ไอโซแทกติกพอลิพรอพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (150,000 - 1,500,000) สังเคราะห์ได้ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเนื้อผสม

2.1.2 ซินดีโอแทกติก (Syndiotactic)

เกิดจากมอนอเมอร์พรอพิลีนจัดเรียงตัวแบบหัวต่อหางเช่นเดียวกัน แต่หมู่เมทิลที่เกาะอยู่บน โครงสร้างดังกล่าวสามารถเกิดผลึกได้บ้างแต่ไม่มากนัก ซินดีโอแทกติกพอลิพรอพิลีนสามารถสังเคราะห์ได้ ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเนื้อเดียวที่อุณหภูมิต่ำกว่าไอโซแทกติก

2.1.3 อะแทกติก (Atactic)

เกิดจากมอนอเมอร์พรอพิลีนจัดเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ โครงสร้างดังกล่าวไม่สามารถตกผลึกได้ อะแทกติกพอลิพรอพิลีนสามารถสังเคราะห์จากกรดลิวอิสและสารประกอบออร์กาโนเมทัลลิก แต่มีโซ่กิ่งมากจึงไม่ค่อยมีประโยชน์เชิงพาณิชย์

พอลิพรอพิลีน ที่มีจำหน่ายในปัจจุบันมี 4 เกรด คือ

1. โฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymer)

เป็นเกรดมาตรฐานทั่วไปมีองค์ประกอบง่ายๆ คือ มอนอเมอร์ของพรอพิลีนมาต่อกันโดย หมู่เมทิลที่อยู่บน โครงสร้างหลักอยู่ข้างเดียวกันของระนาบมีสมบัติต่างๆแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติของโฮโมพอลิพรอพิลีน [1]

ชนิด	อัตราการ หลอมไหล	ความแข็งแรง โค้งงอ	ความทนทาน ต่อแรงกระแทก	ความแข็ง
	ASTM D-1238 g/10 min	ASTM D-790 MPa	ASTM D-265 J/m	ASTM D-785 Rockwell R
ชนิดรูปแบบอัด	0.5	1585	160	95
ชนิดรูปแบบแผ่นบาง	1.5	1480	70	-
ชนิดรูปแบบฉีดทั่วไป	4	1720	43	99
ชนิดรูปแบบฉีดผนังบาง	20	1720	32	104
ชนิดรูปแบบอัดรีด	40	1895	32	100
ชนิดรูปเป็นเส้นใย	100	1585	-	-

โฮโมพอลิพรอพิลีนมักขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป ใช้ทำฝาขวด เข็มฉีดยา อุปกรณ์ทางการแพทย์ ของเด็กเล่น บรรจุก๊าซภายในบ้าน รถยนต์ขนาดเล็ก ฟิล์ม เส้นใยและตาข่าย ผลิตภัณฑ์จากพอลิพรอพิลีนเสื่อมสภาพได้เมื่อสัมผัสกับแสงอาทิตย์เป็นเวลานานจึงต้องเติมสารเติมแต่งเพื่อป้องกันการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ พอลิพรอพิลีนมีลักษณะขุ่น แต่สามารถปรับปรุงให้ใสและมีสมบัติดีขึ้น โดยเติมตัวเหนียวทำให้เกิดผลึก ทำให้ปริมาณการตกผลึกเพิ่มขึ้นแต่ขนาดของสเฟียรูไลต์ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. พอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่ม (Random copolymer)

พอลิเมอร์ชนิดนี้มีเอทิลีนร้อยละ 6 โดยน้ำหนักโดยเติมลงในสายโซ่ของพอลิพรอพิลีน สมบัติของพอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่มแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติของพอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่มของพอลิพรอพิลีน [1]

ชนิด	อัตราการใช้	ความแข็งแรง	ความทนทาน	ความแข็ง
	หลอมไหล	โค้งงอ	ต่อแรงกระแทก	
	ASTM	ASTM	ASTM	ASTM
	D-1238	D-790	D-256	D-785
	g/10 min	MPa	J/m	Rockwell R
อัดรีดเป็นแผ่น	1	965	80	80
อัดรีดเป็นแผ่น	3	1515	37	95
อัดรีดเป็นฟิล์ม	3	260	-	-
อัดขึ้นรูปเป็นฟิล์ม	7	585	65	65
อัดขึ้นรูปเป็นฟิล์ม	10	860	85	80
ฉีดขึ้นรูปเป็นฟิล์ม	25	1135	-	94

การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่มสามารถทำได้ง่ายคล้ายแบบโฮโมพอลิเมอร์ โดยนำมาผลิตเป็นฟิล์มบรรจุและห่ออาหารได้ตามมาตรฐาน เป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์ ตัวเชื่อมความร้อน และสามารถรับและดูดซับแรงได้ดี จึงใช้ผลิตภัณฑ์เป็นกันชนรถยนต์

3. พอลิเมอร์ร่วมชนิดรับแรงกระแทก (High impact copolymer)

จะเติมมอนอเมอร์อื่นประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมักจะเป็นเอทิลีนหรือยาง ต้องใช้ความละเอียดรอบคอบในการสังเคราะห์ ต้องดูแลควบคุมสภาวะการทดลองให้เหมาะสมและคงที่เพื่อให้ได้พอลิเมอร์ร่วมที่มีองค์ประกอบและน้ำหนักโมเลกุลตามต้องการ พบว่าพอลิเมอร์ร่วมที่ได้จะมีความทนทานต่อแรงกระแทกดีแม้จะทดลองที่อุณหภูมิต่ำ ใช้ทำเป็นกระเป๋าเดินทาง ที่นั่งในรถ อุปกรณ์ห่อเย็นและเครื่องใช้ภายในบ้าน สมบัติแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงสมบัติของพอลิพรอพิลีนชนิดรับแรงกระแทก [1]

ชนิด	อัตราการ หลอมไหล ASTM D-1238 g/10 min	ความแข็งแรง โค้งงอ ASTM D-790 MPa	ความทนทาน ต่อแรงกระแทก ASTM D-256 J/M	ความแข็ง ASTM D-785 Rockwell R
ชนิดรูปแบบอัด	0.5	1240	540	75
ชนิดรูปแบบอัดรีด	1	860	650	55
ชนิดรูปแบบฉีดทั่วไป	4	1035	540	65
ชนิดรูปแบบฉีดทั่วไป	6	930	650	70
ชนิดรูปแบบฉีดทั่วไป	11	1000	135	72

4. อะแทคติกพอลิพรอพิลีน (Atactic polypropylene)

บางครั้งเรียกว่าพอลิพรอพิลีนแบบอสัณฐาน มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีความสามารถในการยึดเกาะ ไม่นำไฟฟ้า นิยมนำมาใช้ทำเป็นจนวนหุ้มสายเคเบิล

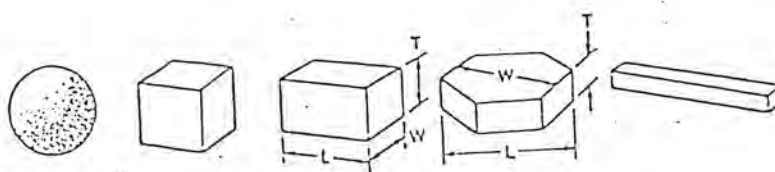
2.2 สารตัวเติม (Fillers)

สารตัวเติมได้แก่สารจำพวกอนุภาคละเอียด หรือจำพวกเส้นใย (Fibrous) ที่ใช้เติมในพอลิเมอร์เพื่อเพิ่มปริมาณ ลดต้นทุนการผลิตและอาจทำให้สมบัติทางกายภาพดีขึ้น เหมาะสำหรับการใช้งาน สารตัวเติมที่ใช้กันทั่วไปเป็นสารที่มีราคาถูกเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์จึงช่วยลดต้นทุนในการผลิตลง สารตัวเติมมีทั้งที่เป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์

2.2.1 สมบัติพื้นฐานที่ใช้พิจารณาสารตัวเติม

2.2.1.1 อนุภาค (Particle)

ข้อพิจารณาเริ่มต้นในการเลือกสารตัวเติมคือ การกระจายของอนุภาค รูปร่างของอนุภาค และพื้นที่ผิวของอนุภาค รูปที่ 2.2 แสดงการแบ่งอนุภาคของสารตัวเติมออกเป็นประเภทต่างๆ ตามสมบัติพื้นฐาน 2 ประการ คือขนาดของอนุภาคและพื้นที่ผิวของอนุภาค เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงการแบ่งอนุภาคของสารตัวเติมออกเป็นประเภทต่างๆ [15]

2.2.1.2 พื้นที่ผิว (Surface area)

พื้นที่ผิวเป็นสมบัติหนึ่งของสารตัวเติมซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะในกรณีที่มีการใช้สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) สารช่วยกระจายตัว (Dispersant) และสารปรับปรุงสภาพผิว (Surface modifier) สำหรับพอลิเมอร์ที่มีขี้ สารเหล่านี้สามารถดูดซึมหรือทำปฏิกิริยาที่พื้นผิวของสารตัวเติมได้

2.2.1.3 การกระจายของขนาดอนุภาค (Particle size distribution)

อนุภาคของสารตัวเติมทั้งหมดควรมีความหนาแน่นและเปอร์เซ็นต์ความละเอียดโดยน้ำหนักใกล้เคียงกัน เพื่อให้ความสามารถในการผสมเข้ากับพอลิเมอร์เท่ากันในทุกบริเวณของผลิตภัณฑ์ที่ได้

2.2.1.4 องค์ประกอบทางเคมี (Chemical composition)

องค์ประกอบทางเคมีเป็นสมบัติพื้นฐานของสารตัวเติม และเป็นข้อมูลที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกชนิดของสารตัวเติม โดยจะพิจารณาจากการทำปฏิกิริยาเคมีเป็นหลัก

2.2.2 พฤติกรรมของสารตัวเติมและสารเสริมแรง

พฤติกรรมของสารตัวเติมแบ่งได้ 2 แบบคือ

2.2.2.1 สารตัวเติมชนิดเสริมแรง (Reinforcing fillers) เมื่อผสมสารตัวเติมประเภทนี้จะทำให้พอลิเมอร์มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดพันธะทางเคมีหรือการยึดเกาะอื่นๆ กับวัสดุที่จะทำการเสริมแรง ตัวอย่างเช่น เขม่าดำ (Carbon black) เมื่อผสมกับยางจะเกิดการยึดเกาะกับโมเลกุลของยางเป็นต้น

สมบัติบางประการของพอลิเมอร์ที่ใส่สารตัวเติมชนิดเสริมแรงเทียบกับที่ไม่ใส่สารตัวเติม

- การหดตัวลดลง
- ลดต้นทุนการผลิต
- ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น
- ลดอุณหภูมิที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลและกายภาพ
- ปรับปรุงสมบัติการคืบ (Creep behavior) และ มอดูลัสปรากฏ
- ลด Viscoelastic yield เมื่อให้แรง
- มอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elastics) ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ความแข็งแรงเฉือน (Shear strength) ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) ความแข็งแรงกดอัด (Compressive strength) และความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) เพิ่มขึ้น

2.2.2.2 สารตัวเติมชนิดเฉื่อย (Inert or Non-reinforcing fillers) ทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้น การใช้สารตัวเติมชนิดเฉื่อยไม่สามารถทำการเสริมแรงได้เท่ากันทุกส่วน โดยเฉพาะบริเวณระหว่างอนุภาคสารตัวเติมกับผิวพอลิเมอร์จะมีโครงสร้างต่างจากพอลิเมอร์เมทริกซ์ เนื่องจากบางส่วนของโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์เกิดการยึดเกาะกับสารตัวเติม ทำให้โซ่โมเลกุลส่วนนั้นเคลื่อนไหวได้ยากและยังมีผลต่อการจัดเรียงตัวของพอลิเมอร์เมทริกซ์ พอลิเมอร์ที่มีสารตัวเติมชนิดเฉื่อยจะมีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) สูงขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากการจำกัดการเคลื่อนไหวบริเวณผิวสัมผัสนั่นเอง

สมบัติบางประการของพอลิเมอร์ที่ใส่สารตัวเติมชนิดเฉื่อยเทียบกับที่ไม่ใส่สารตัวเติม

- การหดตัวลดลง
- ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น
- ความแข็งเพิ่มขึ้น
- ลดอุณหภูมิที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลและกายภาพ
- ลดต้นทุนการผลิต
- เพิ่มอุณหภูมิ Heat deflection
- มอดูลัสของความยืดหยุ่น (Modulus of elastics) ความแข็งแรงกดอัด (Compressive strength) และความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) เพิ่มขึ้น

การใช้สารตัวเติมเป็นการลดต้นทุนในการผลิต แต่ในขณะเดียวกันต้องไม่ทำให้สมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการลดลงจนเสียคุณภาพ สารเคมีที่ใช้เป็นสารตัวเติมอาจมีความสามารถเป็นสารเสริมแรง (Reinforcement) หรือกึ่งเสริมแรง (Semi - reinforcement) ก็ได้ และสารตัวเติมชนิดเดียว

กันที่มีสมบัติทางกายภาพต่างกันสามารถปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ได้ต่างกัน จึงต้องเลือกใช้สารตัวเติมที่เหมาะสมในการปรับปรุงสมบัติที่ต้องการ

2.2.3 พยางรถยนต์ (GRT, Ground Rubber Tyres)

มีวิธีการทำได้ 2 กระบวนการดังนี้

1. การบดที่อุณหภูมิห้อง (Ambient Process)

2. การบดที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic Process)

ซึ่งมีกระบวนการทำดังนี้

2.2.3.1 การบดที่อุณหภูมิห้อง (Ambient Process)

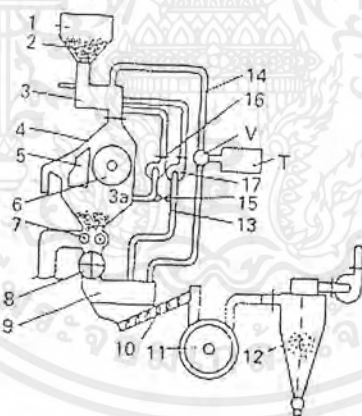


รูปที่ 2.3 แสดงการบดยางที่อุณหภูมิห้อง [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นแรกนำยางรถยนต์มาตัดด้วยเครื่องตัดเชิงกล (Mechanical scissors) อย่างต่อเนื่อง โดยจะได้เป็นยางชิ้นใหญ่ก่อนขนาดประมาณ 20-40 mm แล้วส่งไปยังลูกกลิ้ง (Crushing roll mill) เพื่อบดให้ได้ขนาด 20 mm ขั้นต่อไปทำการแยกขนาดอนุภาคด้วยตะแกรงร่อนแบบเดี่ยว (Single state sifter screen) อนุภาคที่ผ่านรูของตะแกรงร่อนถูกส่งไปยังลูกกลิ้งบดตัวที่ 2 เมื่อบดเสร็จแล้วนำไปร่อนบนตะแกรงร่อนแบบ 2 ชั้น (Second state sifter screen) อีกทีหนึ่งอนุภาคที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนจะถูกนำกลับมาบดในลูกกลิ้งบดอีกครั้ง ส่วนอนุภาคที่ผ่านตะแกรงร่อนนั้นมีขนาดประมาณ 5-7 mm แล้วนำไปแยกขางกับเศษโลหะที่ไม่ต้องการโดยใช้แม่เหล็กและแรงโน้มถ่วง (Magnetic and Gravity) อนุภาคยางที่ได้นำเข้าเครื่องบดแบบลูกกลิ้งตัวที่ 3 เมื่อบดเสร็จแล้วนำไปร่อนบนตะแกรงร่อนแบบ 2 ชั้นอนุภาคยางที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนก็ถูกนำกลับไปบดบนลูกกลิ้งอีกครั้ง ส่วนอนุภาคที่ผ่านตะแกรงร่อนขั้นตอนนี้ไปแยกเศษโลหะอีกครั้งเพื่อให้ได้ยางที่ไม่มีสิ่งเจือปน เมื่อเสร็จกระบวนการแล้วอนุภาคยางที่ได้มีขนาดประมาณ 0.8 mm (รูปที่ 2.3)

2.2.3.2 การบดที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic Process)



รูปที่ 2.4 แสดงวิธีการบดยางโดยแช่ไนโตรเจน [14]

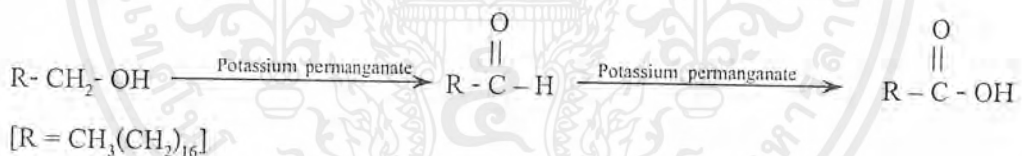
ยางรถยนต์ถูกตัดเป็นชิ้นใหญ่ขนาด 50-150 mm นำไปแช่ไนโตรเจนเหลวเพื่อทำให้ยางแข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำ $-(60-100) ^\circ\text{C}$ นำไปทำให้แตกเป็นขนาดเล็กด้วยเครื่องบดแบบทุบ (Hammer grinder) ได้อนุภาคประมาณ 19 mm ต่อก็นำเศษโลหะที่ไม่ต้องการออกโดยใช้แม่เหล็ก เมื่อแยกเสร็จแล้วอนุภาคยางถูกส่งไปยังเครื่องแยกแบบไซโคลน (Cyclone separator) ซึ่งมีตะแกรงร่อนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ 3 ชั้น อนุภาคที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนชั้นแรกถูกนำกลับไปบดแล้วนำกลับไปยังเครื่องแยกแบบไซโคลน อนุภาคขางที่ผ่านตะแกรงร่อนชั้นแรกมาแล้วถูกส่งไปยังโต๊ะสั่นตัวที่ 1 ชั้นตอนนีแบ่งเป็นแบบเบาและแบบหนัก แบบเบาทำการแยกเส้นเสริมแรง (Cord) ออกจากยางและเส้นเสริมแรง ถูกส่งกลับไปเครื่องแยกแบบไซโคลนอีกครั้ง แบบหนักทำการแยกโลหะที่เหลือออกจากยางโดยใช้แม่เหล็กเมื่อได้ยางที่ไม่มีโลหะเจือปนนำไปแช่ในโตรเจนเหลวอีกครั้งเมื่อยางแข็งตัวนำไปบดละเอียดมาก(Fine disperse state) โดยชั้นตอนนี้จะกำหนดขนาดของอนุภาคยางให้สม่ำเสมอเมื่อผ่านชั้นตอนนี้แล้วนำยางไปยังเครื่องแยกแบบไซโคลนตัวที่ 2 ยางที่ได้จะมีขนาดเล็กมากประมาณ 0.127 mm แสดงดังรูปที่ 2.4

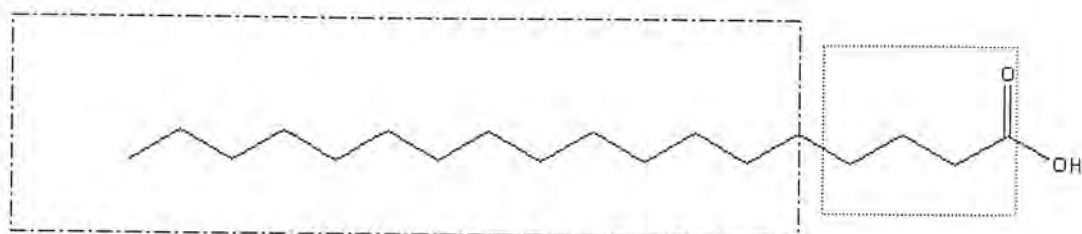
2.3 สารเติมแต่งชนิดอื่นๆ

2.3.1 กรดสเตียริก (Stearic acid)

กรดสเตียริกมีสูตรทางเคมีคือ $C_{18}H_{36}O_2$ น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 284.48 มีชื่อ IUPAC คือ Octadecanoic กรดสเตียริกสามารถสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของแอลกอฮอล์ปฐมภูมิ (Primary alcohol) และอัลดีไฮด์ ดังสมการ



กรดสเตียริกสามารถทำหน้าที่เป็นสารช่วยการกระจายตัว (Dispersion Agent) ช่วยทำให้สารตัวเติมที่ไม่มีขั้วกระจายตัวในวัฏภาคของพอลิเมอร์มีขั้วให้ดีขึ้น เนื่องจากกรดสเตียริกมีส่วนที่มีขั้วสามารถเกาะติดกับสารตัวเติมและมีส่วนที่ไม่มีขั้วเป็นสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน สามารถกระจายตัวอยู่ในส่วนของวัฏภาคพอลิเมอร์ได้ แสดงดังรูปที่ 2.5



..... ส่วนที่กระจายในวัฏภาคของสารตัวเดิม

----- ส่วนที่กระจายในวัฏภาคของพอลิเมอร์

รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างทางเคมีของกรดสเตียริก

สมบัติทั่วไปของกรดสเตียริก

- จุดหลอมเหลว 69.3 °C
- จุดเดือด 361 °C
- ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) 0.847
- ความสามารถในการละลายน้ำ 0.1-1 กรัม/100 มิลลิลิตร ที่ 23 °C

2.3.2 มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟท์พอลิพรอพิลีน (Maleic anhydride graft polypropylene, MAPP)

เป็นสารคู่ควบ (Coupling agent) ทำหน้าที่ปรับปรุงการยึดเกาะกันของพอลิพรอพิลีนกับสารอื่นทำให้สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางความร้อนดีขึ้น นอกจากนี้ MAPP ยังเป็นสารช่วยผสม (Compatibilizer) เพื่อปรับปรุงความสามารถในการขึ้นรูปและสมบัติเชิงกล

สมบัติทั่วไปของ MAPP (Polybond 3150)

- ส่วนประกอบ (Composition) : Maleic anhydride graft homopolymer polypropylene
- รูปร่าง (Physical form) : ตั๊กขณะเม็ดกลม
- อัตราการหลอมเหลว (Melt flow rate) : 50.0 กรัม/นาที (ASTM D-1238)
- ความหนาแน่น (Density) ที่ 23 °C : 0.91 กรัม/cc (ASTM D-792)
- จุดหลอมเหลว (Melting point) : 157 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การทำงานของเครื่องมือ

2.4.1 เครื่องจักรรีดเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder)

จัดว่าเป็นเครื่องจักรสารพัดประโยชน์สำหรับกระบวนการขึ้นรูปพอลิเมอร์ ซึ่งมีส่วนประกอบหลักดังนี้

1. ตัวเครื่องเป็นท่อทรงกระบอก ภายในมีสกรูมีส่วนป้อนสารซึ่งอาจป้อนได้ทั้งแนวตั้งหรือแนวนอน มีส่วนให้ความร้อนหุ้มอยู่ภายนอกอีกชั้นหนึ่ง มีช่องระบายอากาศและแจ็กเกตของกระบอกเพื่อใส่ตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน หรืออาจใช้คอลลอยด์แทนก็ได้

2. สกรูเป็นแท่งโลหะเกลียวที่อยู่ในกระบอก มีหน้าที่ผสมวัสดุให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยการหมุนของสกรู ซึ่งได้รับแรงขับเคลื่อนจากมอเตอร์ สกรูมีทั้งสกรูเดี่ยวและสกรูคู่ ขนาดของสกรูนิยามกำหนดจากเส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู ซึ่งอาจจะเป็น 1.5 นิ้ว จนถึง 8 นิ้ว หรืออาจกำหนดโดยอัตราส่วนความยาวของกระบอกหารด้วยเส้นผ่านศูนย์กลางของสกรูมักจะเป็น 20 : 1 หรือ 24 : 1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำให้พลาสติกผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้

3. แผ่นบีกเกอร์เป็นแผ่นโลหะที่ติดอยู่บริเวณปลายสกรูและคายมีลักษณะเป็นช่อง หรือรู ให้พอลิเมอร์หลอมเหลวไหลผ่านได้ บางครั้งจะมีตะแกรงลวดติดตั้งอยู่ด้วยเพื่อกรองเอาสิ่งสกปรกหรือเม็ดพลาสติกที่ไม่หลอมเหลวออกก่อนเข้าคาย

4. ส่วนป้อนสารเป็นบริเวณทำหน้าที่เก็บเม็ดพลาสติกเพื่อเตรียมป้อนเข้าเครื่องจักรรีด

5. ทางระบายอากาศอาจเป็นช่องแคบหรือรูขนาดเล็ก ทำหน้าที่ไล่อากาศที่อาจติดเข้าไประหว่างการผสมหรือขณะป้อนพลาสติกให้ออกไป ก่อนพอลิเมอร์หลอมเหลวจะถูกอัดเข้าแม่พิมพ์เพื่อป้องกันโพรงอากาศที่อาจเกิดขึ้นในชิ้นงาน

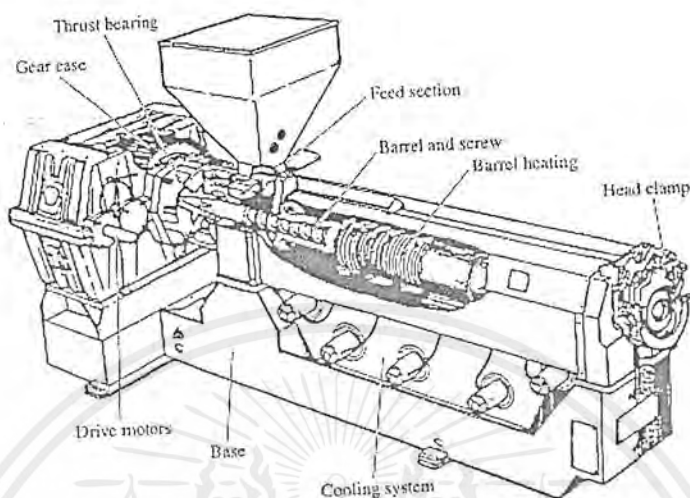
6. มอเตอร์ขับที่ทำหน้าที่ในการขับเคลื่อนสกรูให้หมุนไปตามความเร็วที่ต้องการ เป็นการควบคุมอัตราการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลว และควบคุมอัตราการผลิตได้ในตัว สามารถแสดงภาคตัดขวางของเครื่องจักรรีดเกลียวหนอนเดี่ยวดังรูปที่ 2.4

การทำงานของเครื่องจักรรีดเกลียวหนอนเดี่ยวเริ่มจาก การขับพอลิเมอร์จากส่วนป้อนเข้าสู่ตัวเครื่อง จากนั้นสกรูจะลำเลียงพอลิเมอร์ไปตามเกลียวหนอนด้วยแรงขับของมอเตอร์และเฟืองทด พอลิเมอร์เริ่มหลอมเหลวด้วยความร้อนจากส่วนให้ความร้อนและแรงเสียดทานที่เกิดขึ้น ซึ่งส่วนให้ความร้อนจะแบ่งเป็น 4 ส่วน สามารถปรับอุณหภูมิได้ตามความเหมาะสมกับชนิดพอลิเมอร์ เนื่องจากส่วนคายมีความดันสูง สกรูจะต้องมีประสิทธิภาพมากพอจึงจะส่งพอลิเมอร์หลอมเหลวผ่านคายได้

ตารางที่ 2.4 แสดงพลาสติกที่ใช้ในงานอัดรีด [2]

ชื่อทางเคมี	สัญลักษณ์	อุณหภูมิทำงาน (°C)	ตัวอย่างการใช้งาน
เซลลูลอสอะซิเตท	CA	160 ถึง 200	โปรไฟล์ต่างและแผ่นแบน
พอลิสไตรีน	PS	170 ถึง 210	แผ่นฟิล์มที่ดึงยืดทั้งสองแกนและแผ่นโฟม
พอลิเมอร์ร่วมของ สไตรีนและบิวทาไดอีน	SB	170 ถึง 200	แผ่นหนา แผ่นฟิล์ม และเส้นใย
พอลิเมอร์ร่วมของ อะคริโลไนไตรล์, บิว ทาไดอีนและสไตรีน	ABS	170 ถึง 200	แผ่นหนา และท่อ
พอลิเอทิลีนชนิดความ หนาแน่นต่ำ	LDPE	130 ถึง 220	ท่อ แผ่น ฟิล์ม ภาชนะหุ้มขวด
พอลิเอทิลีนชนิดความ หนาแน่นสูง	HDPE	140 ถึง 220	ท่อ แผ่น ฟิล์ม ภาชนะกึ่งวงหุ้มขวด และแถบเทป
พอลิพรอพิลีน	PP	180 ถึง 260	ท่อ แผ่น ฟิล์ม โปรไฟล์และแถบเทป
พอลิไวนิลคลอไรด์	PVC	180 ถึง 200	ท่อ ฟิล์ม และแผ่น
พอลิเมอร์ร่วมของพอลิ ไวนิลคลอไรด์	PVC	180 ถึง 210	ท่อ ฟิล์ม และแผ่น
พอลิไวนิลคลอไรด์ที่ เติมสารหล่อลื่น	PVC	150 ถึง 190	โปรไฟล์ สายยางหุ้มไฟและขวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว [11]

2.2.2 เครื่องอัดแบบชนิดฉีด (Injection molding machine)

การฉีดพลาสติกเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากเนื่องจากสามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่ยุ่งยากซับซ้อนได้ง่าย พอลิเมอร์ที่นำมาผลิตมีลักษณะเป็นเม็ดหรือผงก็ได้ นอกจากนี้ยังใช้ได้กับพอลิเมอร์ทุกประเภทเช่น เทอร์โมเซต เทอร์โมพลาสติกและอีลาสโตเมอร์

โครงสร้างของเครื่องฉีดประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ

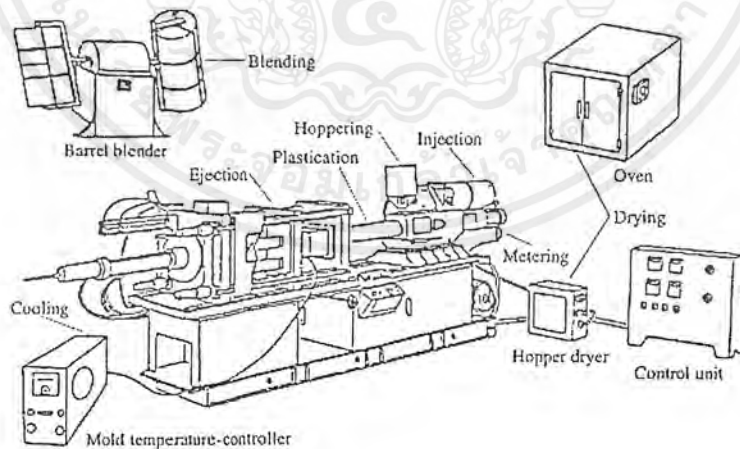
1. ชุดฉีดทำหน้าที่ในการดึงพอลิเมอร์เข้ากระบอฉีด โดยอาศัยการหมุนของเกลียวหนอน จากนั้นทำการหลอมเหลวและส่งพอลิเมอร์ที่ถูกหลอมเหลวไปด้านหน้าของเกลียวหนอน เมื่อได้พอลิเมอร์ตามต้องการแล้วเกลียวหนอนจะหยุดหมุน แล้วเคลื่อนที่ไปด้านหน้าตามแนวแกนเพื่อฉีดพอลิเมอร์เข้าสู่แม่พิมพ์และค้างอยู่เพื่อให้เนื้อพอลิเมอร์แน่นเต็มแม่พิมพ์

2. ชุดปิด - เปิดแม่พิมพ์ทำหน้าที่คือ ยึดแม่พิมพ์ทั้ง 2 ส่วน เลื่อนปิด - เปิดแม่พิมพ์ ให้แรงในการปิดล็อกแม่พิมพ์ หล่อชิ้นงานให้เย็นและทำการปลดชิ้นงาน

3. ฐานเครื่องทำหน้าที่รับน้ำหนักของชุดฉีดและชุดปิด - เปิดแม่พิมพ์ เป็นที่บรรจุน้ำมันจิ้งหะในการทำงานของเครื่องฉีดทุกเครื่องจะมีการทำงานเป็นวัฏจักรที่เหมือนกันจะแตกต่างกันที่รายละเอียดปลีกย่อยเท่านั้นคือเริ่มจาก

- จังหวะที่ 1 แม่พิมพ์เคลื่อนที่ปิด
- จังหวะที่ 2 หลอม ผสมส่งพอลิเมอร์ไปที่ปลายสกรู ชุดฉีดเคลื่อนที่เข้าหาแม่พิมพ์
- จังหวะที่ 3 ฉีดพอลิเมอร์เหลวเข้าแม่พิมพ์
- จังหวะที่ 4 ย้ำรักษาความดันพอลิเมอร์เหลวที่อยู่ในแม่พิมพ์
- จังหวะที่ 5 หล่อเย็นชิ้นงานที่อยู่ในแบบ
- จังหวะที่ 6 หลอม และป้อนพอลิเมอร์ไปด้านหน้าปลายสกรู
- จังหวะที่ 7 ชุดฉีดถอยหลังกลับ
- จังหวะที่ 8 แม่พิมพ์เปิดออก
- จังหวะที่ 9 ปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

ซึ่งในแต่ละจังหวะการทำงานจะใช้เวลาแตกต่างกันแล้วแต่ชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้ นอกจากนี้การเลือกใช้ความดันฉีด อุณหภูมิและความเร็วของการทำงานในแต่ละจังหวะก็มีผลต่อชิ้นงาน พอลิเมอร์ที่มีความหนืดสูงควรใช้ความดันในการฉีดสูงกว่าพอลิเมอร์ที่มีความหนืดต่ำ การเลือกใช้อุณหภูมิสูงหรือต่ำนั้นขึ้นกับความเหมาะสมในการทำงานแต่ไม่ควรสูงเกินไปจนทำให้พอลิเมอร์เกิดการเสียดสภาพ ส่วนความเร็วของการทำงานในแต่ละจังหวะจะส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการทำงาน



รูปที่ 2.7 เครื่องอัดแบบชนิดฉีด [12]

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Rajalingam และ Baker [3] ได้ทำการทดลองโดยการผสมพอลิเมอร์ประกอบ (Polymer composite) ระหว่างพอลิเอทิลีน (Polyethylene) กับยาง GRT พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าพลังงานรับแรงกระแทก (Impact energy) เพิ่มขึ้น และเมื่อเติม Functional polymer ลงไปเล็กน้อยจะทำให้พลังงานรับแรงกระแทกของพอลิเมอร์ประกอบที่ได้เพิ่มขึ้นถึง 60 % ซึ่งในการทดลองใช้ Ethylene-acrylic acid (EAA) copolymer และ Styrene block copolymer จากการทดลอง EAA ทำให้พลังงานรับแรงกระแทกเพิ่มขึ้น โดยทำหน้าที่เป็นสารคู่ควบ (Coupling agent) ที่ผิวระหว่างพอลิเอทิลีนและยาง GRT และ Styrene block copolymer ทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความเหนียว (Toughening agent) ของพอลิเมอร์เมทริกซ์ พบว่า Functional polymer มีผลต่อพอลิเอทิลีนเชิงเส้นชนิดความหนาแน่นต่ำ (Linear low density polyethylene, LLDPE) มากกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene, HDPE) ในการทดลองได้เคลือบอนุภาคของ GRT ด้วย EAA เพื่อปรับปรุงพลังงานรับแรงกระแทกของพอลิเมอร์ประกอบ

Oliphant และ Baker [7] ได้ทดลองศึกษาการใช้ GRT เป็นสารตัวเติมใน LLDPE และ HDPE อนุภาคของ GRT ถูกเคลือบด้วย EAA copolymer และเมื่อทำการผสม 40 % GRT ที่เคลือบแล้วกับ LLDPE ทำให้ความสามารถในการรับแรงกระแทก และความแข็งแรงดึง เพิ่มขึ้นถึง 90 % เมื่อเทียบกับ LLDPE บริสุทธิ์และเพิ่มขึ้น 60 % และ 20 % ตามลำดับเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ประกอบที่ผสมด้วยอนุภาค GRT ที่ยังไม่ได้เคลือบ

Tipanna และ Kale [4] ได้ทำการผสมพอลิเมอร์ประกอบของพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) กับ Ground nitrile rubber tire (GNRP) ทำการทดลองตั้งแต่ 0-90 % ของ GNRP ต่อ PVC พบว่าสมบัติเชิงกลด้านการต้านทานแรงกระแทกเพิ่มขึ้น สรุปได้ว่าอย่างไรจะทำให้ PVC นี้ลดลงเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่าง PVC และส่วนที่เป็นอะคริโลไนไตรล์ของยางไนไตรล์

Sawant และ Kale [5] ได้ทำการทดลองโดยการนำเอาพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้ว (Recycle HDPE) ผสมกับ GRT ทดลองที่อัตราส่วน 0-80% GRT พบว่า เปอร์เซ็นต์การดึง ยืด ณ จุดขาด ลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเติม GRT และความแข็งแรงดึงจะยิ่งลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ GRT ซึ่งสมบัติเชิงกลที่กล่าวมาลดลงเนื่องจากการไม่เข้ากัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีสารช่วยผสม (Compatibilizer) เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ EPDM เป็นสารช่วยผสม

Rajalingam และคณะ [6] ได้ทำการทดลองโดยนำเทอร์โมพลาสติกคอมโพสิตกับ GRT ต่างชนิดกัน ทดลองที่สภาวะเดียวกัน ใช้สารคู่ควบชนิดเดียวกัน อัตราส่วนเดียวกัน การทดลองทำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษาผลกระทบของขนาดอนุภาค การกระจายตัวของอนุภาค รูปร่าง วิธีการบด ความเข้มข้นของ ออกซิเจนที่ผิว จากผลการทดลองพบว่า Melt – ambient - ground GRT ของพอลิเมอร์ประกอบจะ เกิดการออกซิเดชันที่สูงกว่า Cryo - ground และ Normal – air - ground GRT ทำให้มีพลังงานรับ แรงกระแทกที่ต่ำกว่า และสำหรับขนาดของอนุภาค GRT ที่เล็กกว่าทำให้สมบัติต้านแรงกระแทก เพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่ทำให้ความสามารถในการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ประกอบดีขึ้นมาก เทคนิคการ ปรับปรุงพื้นผิว GRT เพื่อปรับปรุงการยึดเกาะระหว่างผิวพบว่าสมบัติต้านแรงกระแทกที่ได้จากวิธี การแผ่รังสีด้วยลำแสงอิเล็กตรอน (Electron beam radiation) จะสูงกว่าวิธีโคโรนา (Corona) และ พลาสมา (Plasma)

Choudhury และ Bhattachaya [8] ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาการเข้ากันได้ระหว่าง การผสมยาง GRT กับ LDPE และสมบัติการยึดเกาะเมื่อเติมสารช่วยผสม โดยใช้คลอรีเนตเต็ด พอลิเอทิลีน (Chlorinated polyethylene, CPE) เป็นสารช่วยผสมเพราะมีส่วนที่เข้ากันได้กับ LDPE และมี สมบัติยึดหยุ่น ใช้ CPE ความเข้มข้นจาก 5 - 30 % การผสมโดยใช้สารช่วยผสมจะทำการปรับปรุง สมบัติเชิงกลเช่น ความแข็งแรงดึง การดึงยืด ความต้านทานแรงกระแทก โดยใช้อัตราส่วน 70:30 GRT - LDPE สารช่วยผสมจะทำให้การยึดเกาะระหว่างพลาสติกกับยางดีขึ้นจากการทดลองพบว่า เมื่อเติมสารช่วยผสมลงไปจะทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น การยึดเกาะระหว่างยางกับพลาสติกดีขึ้น ดัชนีการหลอมไหล (Melt flow index) ลดลงเพราะสารช่วยผสมจะไปเพิ่มการยึดเกาะกัน เมื่อเพิ่ม ความเข้มข้นของสารช่วยผสมทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นและมอดูลัสเพิ่มขึ้นด้วย

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 พอลิพรอพิลีน (PRO-FAX 6311 General-Purpose Polypropylene With Improved Processability) จากบริษัท HMC POLYMER COMPANY LIMITED มีสมบัติ [9] ดังนี้

สมบัติ	PRO-FAX 6331
Melt flow rate , g/10 min	1.2
Density , g/cm ³	0.903
Notched Izod impact strength 23° C , ft-lbf/in. (J/m)	0.5 (25)
Tensile strength at yield , psi (MPa)	5,000 (34)
Elongation at yield , %	10

3.1.2 พงยางรถยนต์ (Ground rubber tire, GRT) ได้จากการนำยางรถยนต์เสื่อมสภาพไปแยกส่วนเส้นใยเสริมแรงออก แล้วทำการบดยางส่วนที่เหลือด้วยเทคนิคเชิงกล (Mechanical grinder) ทำการร่อนให้ได้ขนาดตามต้องการ

3.1.3 กรดสเตียริก (Stearic acid)

3.1.4 มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟพอลิพรอพิลีน (Maleicanhydride graft polypropylene, MAPP) Polybond 3150 จากบริษัท UNIROYAL CHEMICAL [10]

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือ	บริษัท
1. เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว (Single screw extruder)	:Axon ab
2. เครื่องอัดแบบชนิดฉีด (Injection molding machine)	:Cosmo
3. เครื่องทดสอบความทนทานต่อการกระแทก (Impact test 258 PC)	:Yazuda
4. เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Tensile tester)	:LLOYD LR30K
5. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด (Scanning electron microscope, SEM)	:JEOL JSM6200
6. เครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC -50)	:Shimadzu
7. เครื่องผสมความเร็วสูง (High speed mixer)	:Lab Tech
8. เครื่องตัดเม็ด (Grinder)	:Bosco
9. เครื่องทดสอบความแข็ง (Durometer Hardness)	:Yasuda 7689 Matsuzawa

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 เครื่องอัดรีดชนิดเกยียวหนอนเดี่ยว (Single screw extruder)

- ชั่ง PP ผสมกับ GRT อัตราส่วน 90 : 10, 80 : 20 และ 70 : 30 ตามลำดับ
- ตั้งอุณหภูมิเครื่อง 190 °C
- ตั้งความเร็วสกรู 50 rpm
- นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปปั่นในเครื่องตัดเม็ดเพื่อรอขึ้นรูปต่อไป

กรณีมีสารช่วยผสมให้ผสม GRT + กรดสเตียริก 2 phr ด้วยเครื่องผสมความเร็วสูงก่อน

3.3.2 เครื่องอัดแบบชนิดฉีด (Injection molding machine)

- ฉีดพลาสติกที่ได้จากข้อ 3.3.1 และ 3.3.2 ที่อุณหภูมิ 200 °C
- ตั้งความเร็วสกรู 50 rpm
- ได้ชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile test specimen) และชิ้นงานทดสอบความ

ทนทานต่อแรงกระแทก (Impact test specimen) เก็บไว้ทดสอบ

3.3.3 นำพลาสติกที่ฉีดขึ้นรูปแล้วมาทดสอบด้วย

3.3.3.1 เครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Tensile test)

- ทดสอบความแข็งแรงดึงของชิ้นงานจากข้อ 3.3.3 ตามมาตรฐาน ASTM D-638
- ตั้งความเร็วในการดึง 50 mm/min
- ในการทดสอบ 25 °C อุณหภูมิ

3.3.3.2 เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทกแบบไอซอด (Izod Impact test)

- ทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทกของชิ้นงานจากข้อ 3.3.3 ตามมาตรฐาน ASTM

D-256

- ใช้ตุ้มน้ำหนัก 5 kg
- อุณหภูมิในการทดสอบ 25 °C

3.3.3.3 เครื่องทดสอบความแข็ง (Durometer Hardness test)

- เลือก Durometer Hardness shore D .odkimflv[
- นำชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึง 2 ชิ้นมาทดสอบความแข็ง โดยทดสอบชิ้นละ 5 จุด

3.3.4 นำชิ้นงานไปตรวจสอบสัณฐานวิทยา และการกระจายตัวของสารเพิ่มเนื้อด้วย SEM

- นำชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงกระแทกจากข้อ 3.3.3 แช่ในไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) 10 นาที
- หักชิ้นงานแล้วทำการเคลือบด้วยทอง
- ส่องด้วย SEM

3.3.5 ศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง DSC

- ตัดชิ้นงานทดสอบความแข็งแรงดึงจากข้อ 3.3.3 น้ำหนักไม่เกิน 10 มิลลิกรัม
- บรรจุตัวอย่างใส่ภาชนะทดสอบและตั้งอัตราการเพิ่มและลดอุณหภูมิ 10°C ต่อนาที
- ทดสอบในช่วงอุณหภูมิห้องถึง 200°C
- ทำการวิเคราะห์ผล โดยเลือกค่า T_m , T_c และเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก



บทที่ 4

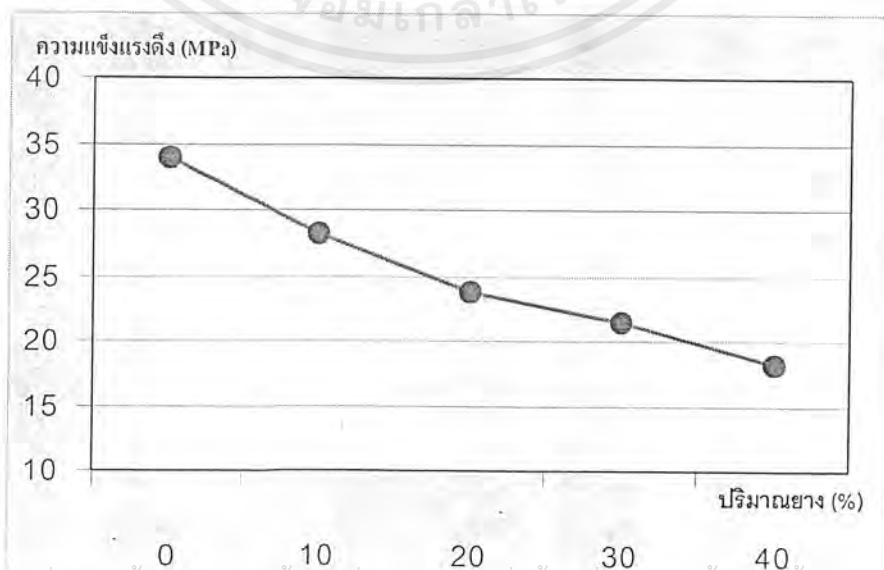
ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการดำเนินงาน โครงการวิจัยศึกษาพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและผงยางรถยนต์บด (GRT) โดยศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อนและ ลักษณะวิทยา ผลงานวิจัยแสดงดังต่อไปนี้

4.1 สมบัติเชิงกล

4.1.1 ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)

สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ที่สำคัญอย่างหนึ่งคือค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) สามารถหาได้จากการเขียนกราฟระหว่างค่าความเค้นดึง (Tensile stress) กับค่าความเครียด (Strain) ค่านี้แสดงถึงความทนทานของพอลิเมอร์ต่อแรงดึงยึด โดยดูได้จากจุดที่ให้ค่าความเค้นสูงสุด (Maximum stress) จากการทดลองพบว่าค่าความแข็งแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลงเมื่อปริมาณ GRT เพิ่มขึ้น อธิบายได้ว่า GRT มีแรงยึดเกาะที่ไม่แข็งแรงกับพอลิพรอพิลีน แสดงว่า GRT ในพอลิพรอพิลีนทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มเนื้อแบบไม่เสริมแรง (Non-reinforcing fillers) ทำให้ปริมาณของผสมเพิ่มขึ้นเป็นการลดต้นทุนการผลิตแต่ไม่ช่วยเสริมแรง หรือเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุแสดงดังรูปที่ 4.1

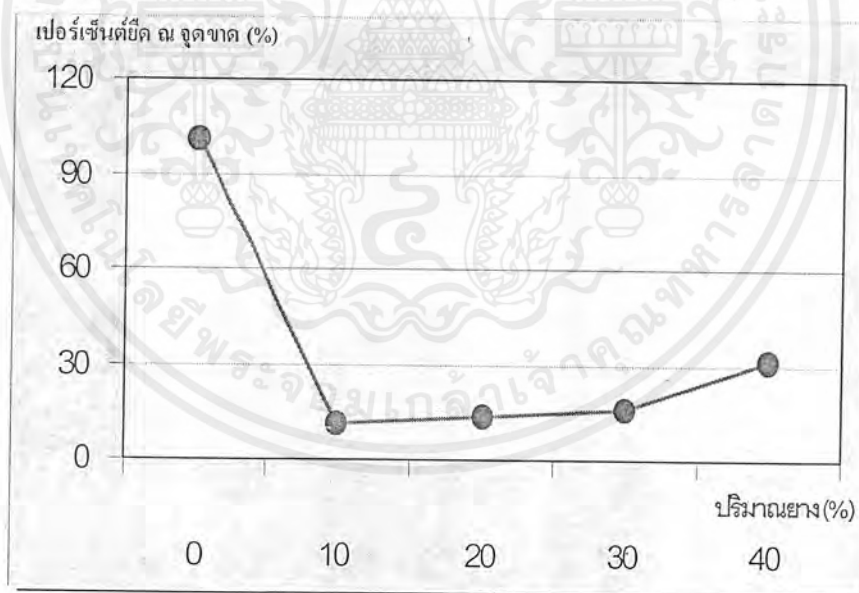


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงกับปริมาณผงยาง

4.1.2 เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break)

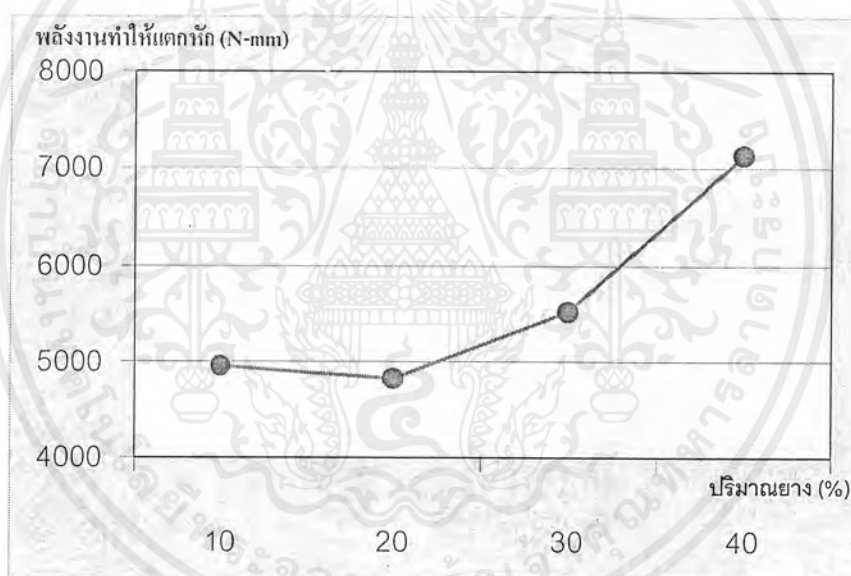
จากการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลงอย่างมากเมื่อเติม GRT ลงในพอลิพรอพิลีน เนื่องจากการเติมสารเพิ่มเนื้อ (Filler) ลงในพอลิเมอร์ทำให้เกิดการยึดเกาะระหว่างอนุภาคของสารตัวเติมกับสายโซ่พอลิเมอร์หลักเมื่อพอลิเมอร์ผสมถูกดึงยืดจุดเชื่อมต่อดังกล่าวจะเกิดการหลุดออกจากกันได้ง่ายทำให้วัสดุถูกดึงยืดได้น้อยลง และเมื่อพิจารณาถึงปริมาณ GRT พบว่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณปริมาณ GRT เพิ่มขึ้น เนื่องจาก GRT เป็นยางที่มีการเชื่อมโยงโครงร่างแหสามมิติจึงถูกดึงยืดได้มากกว่าพอลิพรอพิลีนเมื่อเติม GRT จึงเหมือนเพิ่มความสามารถในการยืดให้กับพอลิเมอร์ผสมทำให้เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดมีค่าเพิ่มขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดกับปริมาณผงยาง

4.1.3 พลังงานทำให้แตกหัก (Work done)

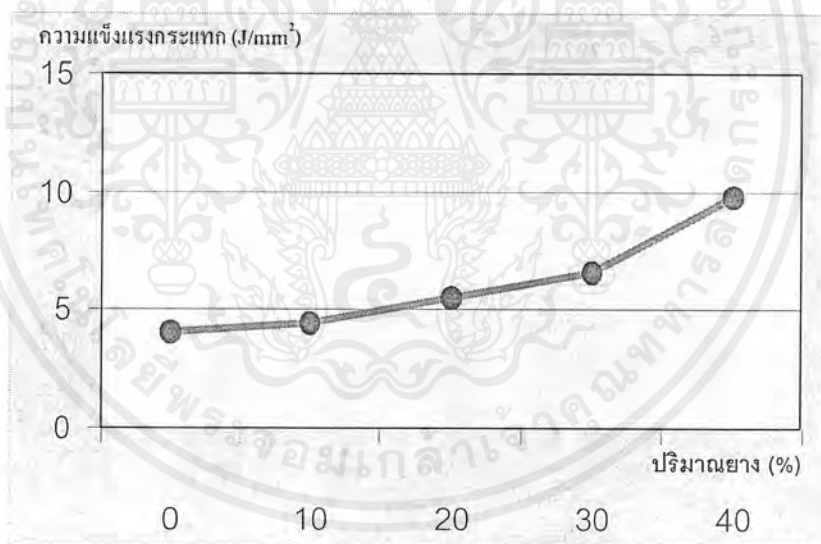
ในการทดสอบสมบัติการดึงยึด (Tensile strength) พื้นที่ใต้กราฟระหว่างความเค้น (Stress) กับความเครียด (Strain) มีค่าเท่ากับค่าพลังงานที่ใช้ในการดึงยึดจนกระทั่งวัสดุเกิดการแตกหัก (Work done) จากการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณยางเพิ่มขึ้นค่าพลังงานที่ทำให้เกิดการแตกหักมีค่าสูงขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งแสดงว่าต้องใช้พลังงานจำนวนมากในการดึงยึดวัสดุเพื่อทำให้เกิดการแตกหัก แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานทำให้แตกหักกับปริมาณยาง

4.1.4 ความแข็งแรงกระแทก (Impact strength)

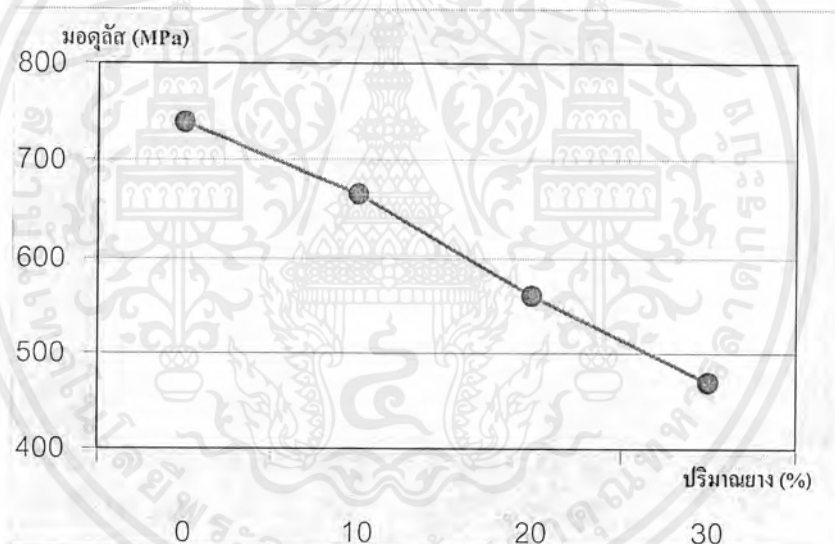
จากการทดลองสมบัติการรับแรงกระแทก พบว่าเมื่อเติม GRT ลงในพอลิพรอพิลีนทำให้สมบัติการรับแรงกระแทกของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้นอย่างมาก (การเติม GRT 40% โดยน้ำหนักทำให้ความแข็งแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่า 2 เท่าเมื่อเทียบกับพอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์) สามารถอธิบายได้ว่า GRT เป็นยางที่มีการเชื่อมโยงโครงร่างแหสามมิติจึงสามารถรับและกระจายพลังงานได้ดีค่าความแข็งแรงกระแทก (Impact strength) จึงมีค่าสูงเป็นผลให้ไม่เกิดการแตกหักของชิ้นงาน แสดงดังรูป 4.4 และจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า GRT สามารถใช้เป็นสารปรับปรุงคุณสมบัติการรับแรงกระแทก (Impact modifier) ได้ด้วย



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกระแทกกับปริมาณผงยาง

4.1.5 มอดุลัส (Modulus)

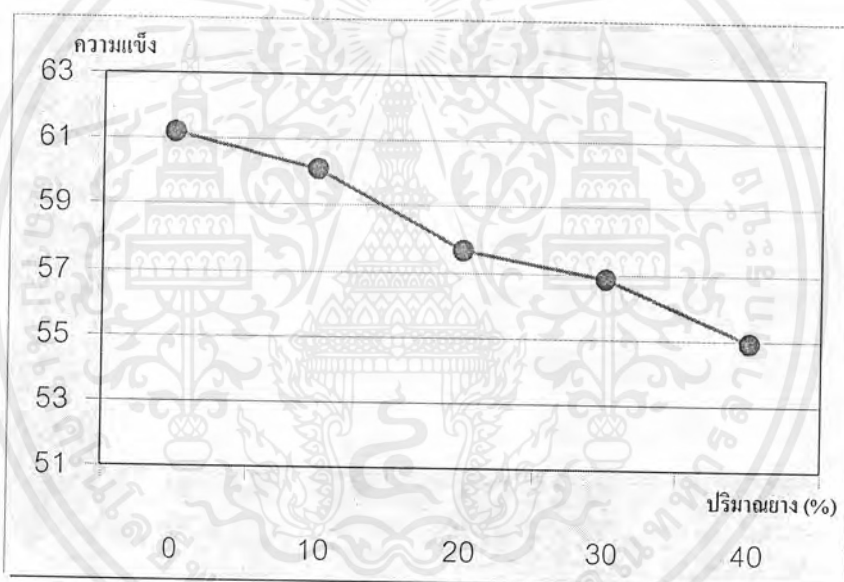
มอดุลัสเป็นค่าที่บอกความแข็งของพอลิเมอร์โดยหาจากความเค้นส่วนความเครียด ในการทดลองเลือกใช้มอดุลัสที่ 3% การดึงยืดเนื่องจากเกิดการผิดพลาดที่จุดเริ่มต้นของการทดสอบ จึงไม่สามารถหาความชันกราฟที่จุดเริ่มต้นหรือ Young's modulus ได้ จากการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณ GRT ในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้นมอดุลัสมีแนวโน้มลดลงเนื่องจาก GRT เป็นยางมีมอดุลัสน้อยกว่าพอลิพรอพิลีน ดังนั้นเมื่อวัสดุมีปริมาณพยางมากจึงทำให้วัสดุมีค่ามอดุลัสลดลงแสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสกับปริมาณพยาง

4.1.6 ความแข็ง (Hardness)

เมื่อทำการทดสอบความแข็ง (Hardness) ของพอลิเมอร์ผสมโดยใช้ Durometer Hardness shore D พบว่าค่าความแข็งของพอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มลดลงตามอัตราส่วนยางที่เพิ่มขึ้น เนื่องจาก GRT มีโมดูลัสน้อยกว่าหรือ มีความนิ่มมากกว่าพอลิพรอพิลีนการเพิ่มปริมาณยางจึงเป็นผลให้ความแข็งรวมของวัสดุมีค่าลดลงแสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกับปริมาณยาง

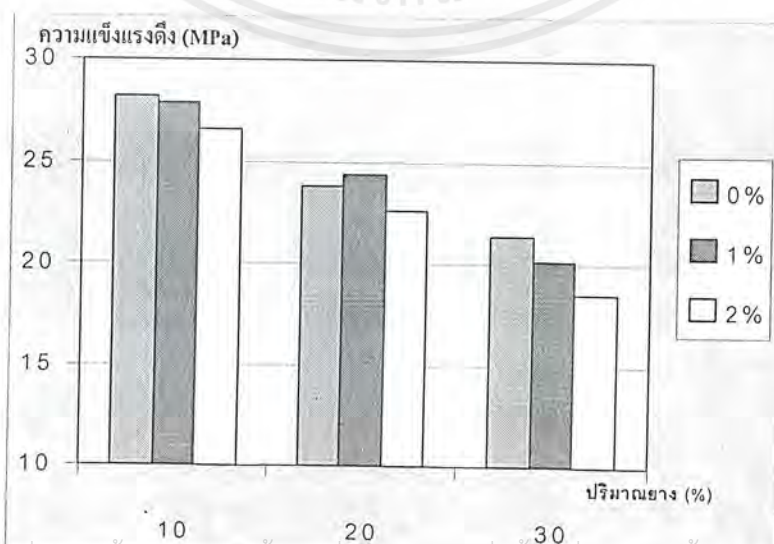
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลของสารช่วยผสม

ในการทำพอลิเมอร์ผสมจำเป็นต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิดเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ได้ เช่นการใช้สารช่วยผสม (Compatibilizer) เพื่อเพิ่มการกระจายตัวของสารเติมแต่งในพอลิเมอร์ หรือสารช่วยการขึ้นรูป (Processing aids) ที่ช่วยหล่อลื่นทำให้สายโซ่เคลื่อนผ่านกันได้ง่าย เป็นต้น สารเคมีเหล่านี้ต้องเข้ากันได้กับทั้งพอลิเมอร์เมทริกซ์ (Polymer matrix) และสารตัวเติม ในการทดลองคาดว่ากรดสเตียริกและ MAPP สามารถเข้าได้กับพอลิพรอพิลีนและ GRT จึงเลือกสารทั้ง 2 ชนิดมาใช้ในการทดลอง

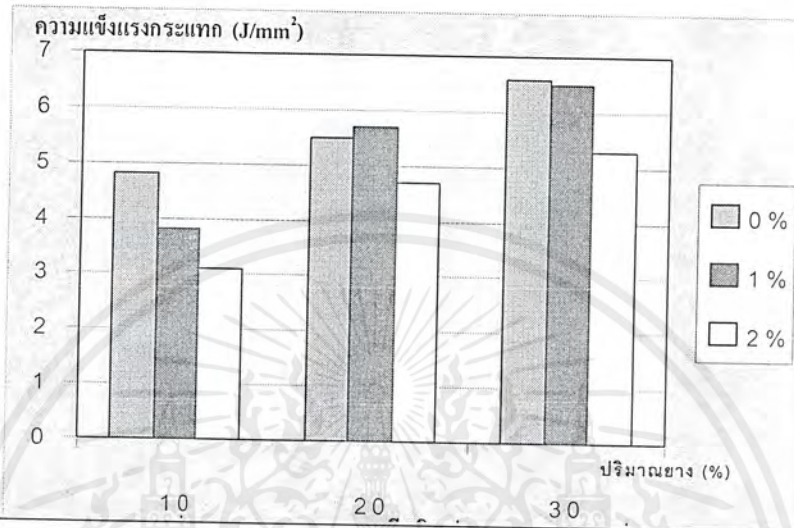
4.2.1 ผลของกรดสเตียริก

จากการศึกษาผลของกรดสเตียริกที่ใช้เป็นสารช่วยผสม พบว่าค่าความแข็งแรงดึงและความทนทานต่อแรงกระแทกมีแนวโน้มลดลง (แสดงดังรูปที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ) เมื่อเติมกรดสเตียริกลงในพอลิเมอร์ผสม ทั้งนี้อาจเนื่องจากกรดสเตียริกทำหน้าที่เป็นทั้งสารช่วยผสมและสารหล่อลื่น (Lubricant) ในเวลาเดียวกัน หลังจากผสมกรดสเตียริกกับ GRT แล้วกรดสเตียริกบางส่วนจะเคลือบอยู่ที่ผิวของ GRT ซึ่งมีผลทำให้แรงกระทำระหว่างพอลิพรอพิลีนกับ GRT มีค่าลดลง สายโซ่พอลิเมอร์จึงเคลื่อนผ่านกันได้ง่าย ดังนั้นเมื่อพอลิเมอร์ผสมถูกแรงดึงพอลิเมอร์จึงขาดออกจากกันได้ง่าย และเมื่อเพิ่มปริมาณกรดสเตียริกพบว่าค่าความแข็งแรงดึงและความทนทานต่อแรงกระแทกจึงมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากกรดสเตียริกจะเคลือบอยู่ที่ผิวของ GRT มากขึ้นส่วนค่าความแข็งแรงพบว่ามีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเติมกรดสเตียริกลงในวัสดุแสดงดังรูปที่ 4.9

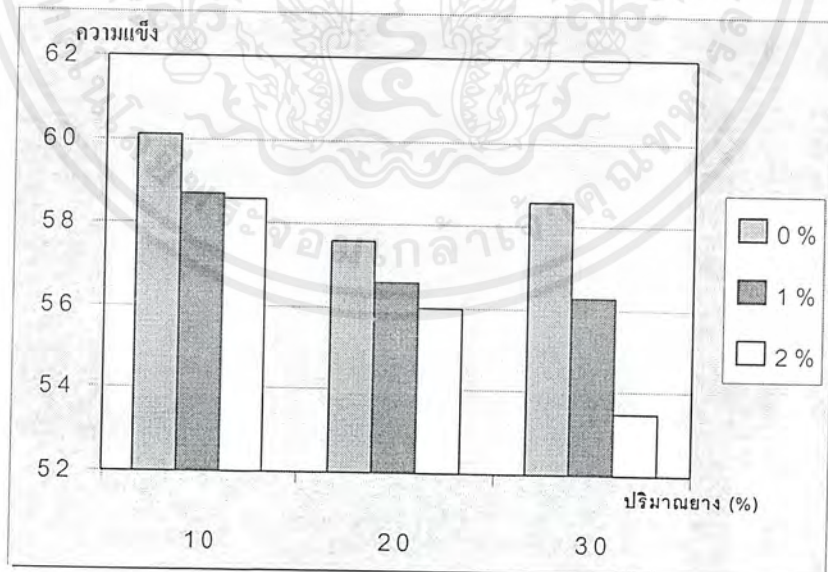


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาเอกสาร (สงวนลิขสิทธิ์) และแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 ผลของกรดสเตียริกต่อความแข็งแรงดึง



รูปที่ 4.8 แสดงผลของกรดสตีริกต่อความแข็งแรงกระแทก

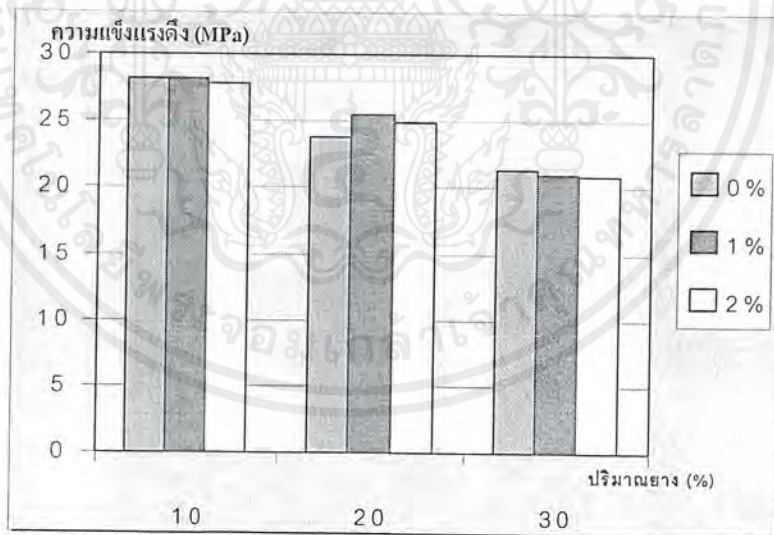


รูปที่ 4.9 แสดงผลของกรดสตีริกต่อค่าความแข็ง

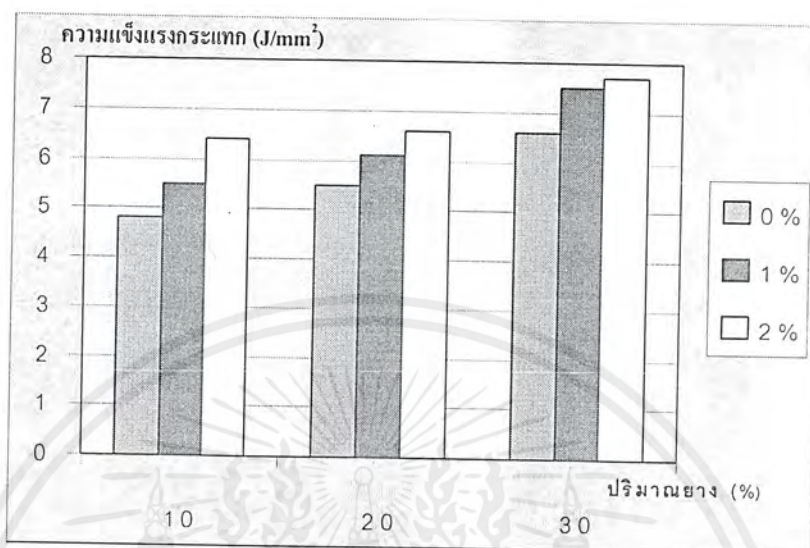
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลของมาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟพอลิพรอพิลีน

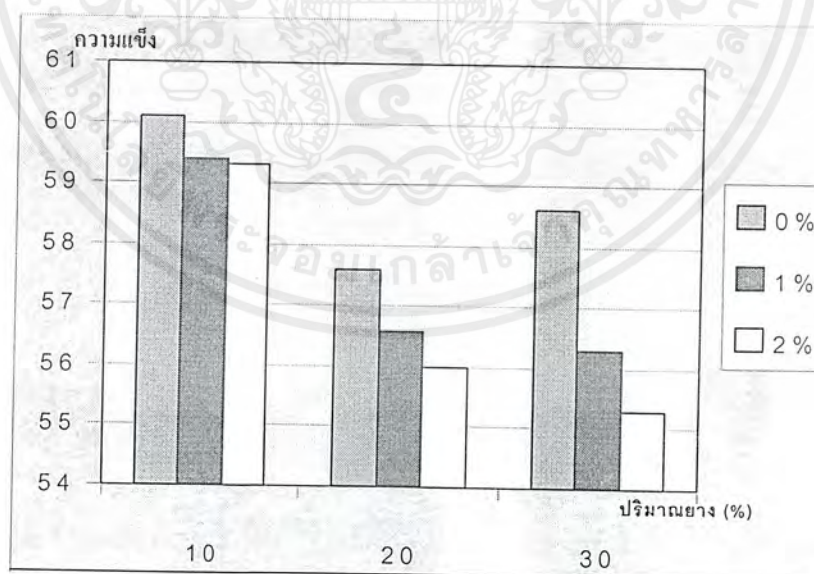
จากการศึกษาผลของ MAPP พบว่าเมื่อเติม MAPP ในพอลิเมอร์ผสม ค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยในทุกสูตรส่วนค่าความทนทานต่อแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้นในทุกสูตรเช่นกัน (แสดงดังรูปที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ) เนื่องจาก MAPP มีส่วนที่เข้ากันได้กับทั้งพอลิพรอพิลีนและ GRT ทำให้พอลิเมอร์ผสมถ่ายเทแรงได้ดีทั่วถึงมากขึ้น เมื่อพิจารณาผลของปริมาณ MAPP พบว่าเมื่อปริมาณ MAPP เพิ่มขึ้นค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มคงที่แต่ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอธิบายได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ MAPP เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสพอลิพรอพิลีนกับ GRT ทำให้วัสดุสามารถถ่ายเทแรงเมื่อได้รับแรงจากภายนอกเป็นผลให้สมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกของพอลิเมอร์ดีขึ้นส่วนค่าความแข็งแรงพบว่าไม่มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงเมื่อเติม MAPP ลงในวัสดุแสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.10 ผลของ MAPP ต่อความแข็งแรงดึง



รูปที่ 4.11 ผลของ MAPP ต่อความแข็งแรงกระแทก



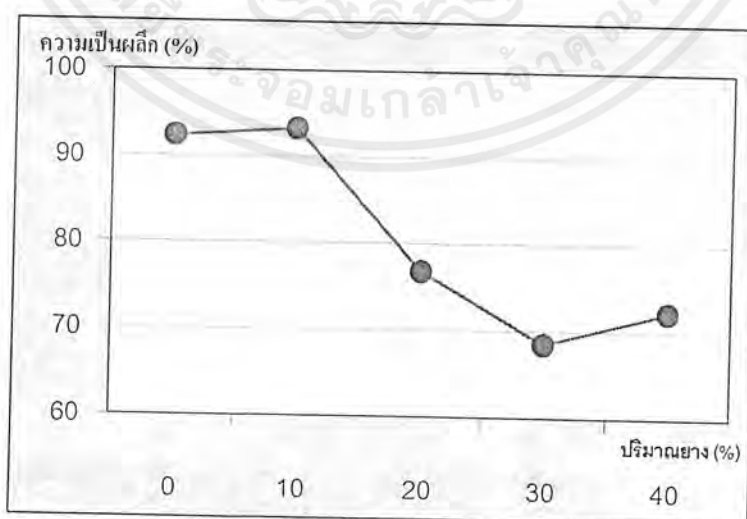
รูปที่ 4.12 แสดงผลของ MAPP ต่อค่าความแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 สมบัติทางความร้อน

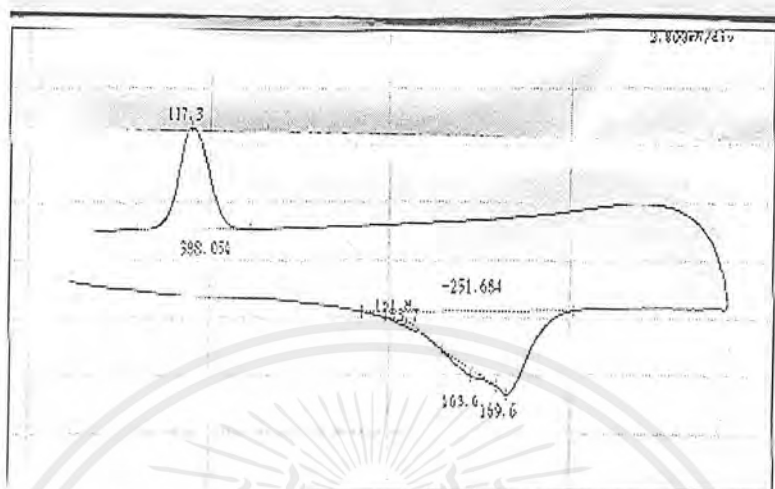
สมบัติทางความร้อนบางประการของพอลิเมอร์สามารถศึกษาได้จากเครื่อง DSC ทำให้เราทราบ อุณหภูมิการหลอมเหลวผลึก (T_m) อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) และเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก (% Crystallinity) เป็นต้น ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถใช้เปรียบเทียบและยืนยันสมบัติอื่นๆ ของพอลิเมอร์ได้

จากการทดลองหาความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ผสมจากเครื่อง DSC พบว่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์มีค่าลดลงเมื่อปริมาณยางเพิ่มขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.13 อธิบายได้ว่าอนุภาคยางไปขัดขวางการขยายของผลึกหรือบางส่วนของสายโซ่พอลิเมอร์อาจเกาะ หรือแทรกตัวอยู่ในอนุภาคยางทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลของการทดสอบค่าความแข็งแรงดึง กล่าวคือเมื่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกลดลงค่าความแข็งแรงดึงมีค่าลดลงด้วย จากผลการศึกษาความเป็นผลึกด้วยเครื่อง DSC พบว่าในบางสูตรผสมเกิดฟิสิกส์เล็กๆ ที่บริเวณใกล้กับอุณหภูมิหลอมเหลวของพอลิเมอร์ผสมแสดงดังรูปที่ 4.14 คาดว่าเนื่องจากอนุภาคยางบางส่วนทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึก (Nucleating agent) ช่วยทำให้เกิดผลึกพอลิเมอร์ขึ้นตั้งฉากกับผิวของยาง หรือเกิดผลึกแบบตั้งฉาก (Transcrystallization หรือ Epitaxial growth) ซึ่งจะมีอุณหภูมิหลอมเหลวผลึกต่างจากมีอุณหภูมิหลอมเหลวผลึกของพอลิเมอร์เล็กน้อย



รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นผลึกกับปริมาณยาง

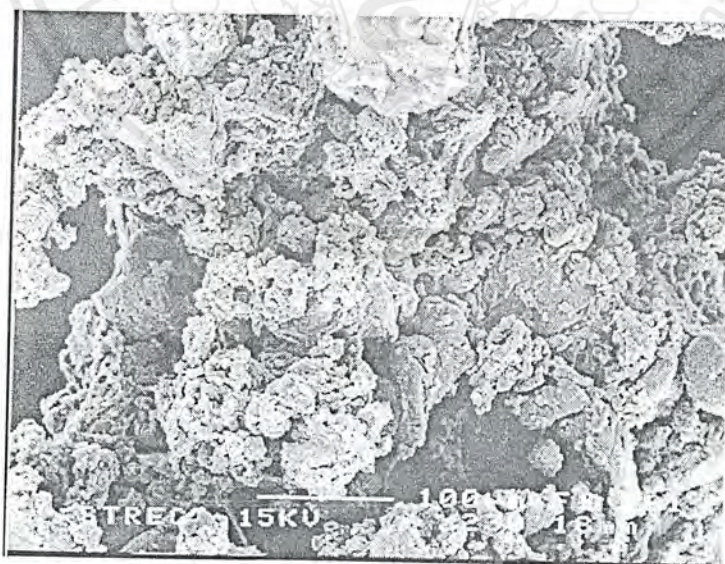
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงพีคที่เกิดจากอนุภาค GRT เป็นนิวเคลียส

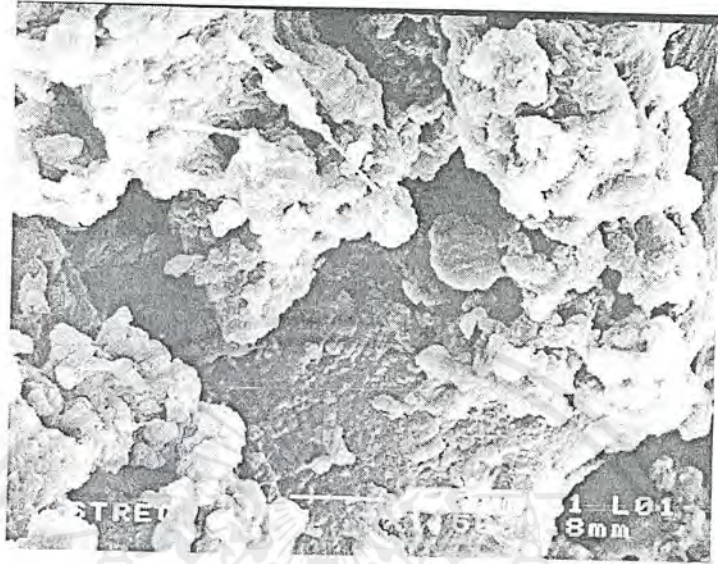
4.4 สัณฐานวิทยา

ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด (SEM) สามารถสังเกตเห็นการกระจายตัวของอนุภาคผงยางรถยนต์ในพอลิเมอร์เมทริกซ์ และเมื่อเพิ่มปริมาณผงยางรถยนต์สามารถสังเกตเห็นการกระจายตัวของอนุภาคผงยางรถยนต์ที่เพิ่มมากขึ้น

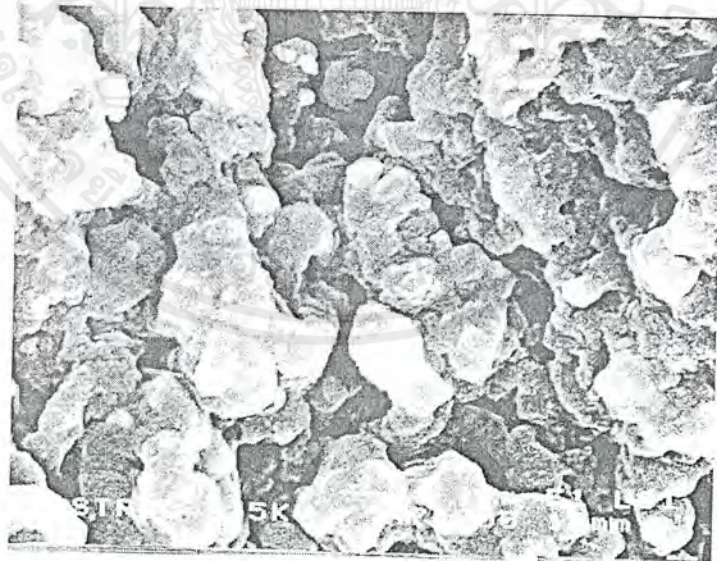


รูปที่ 4.15 SEM Microscope แสดงสัณฐานวิทยาของผงยางจากเศษผงยางรถยนต์ชนิดขนาด 20 เมส ที่กำลังขยาย 230 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

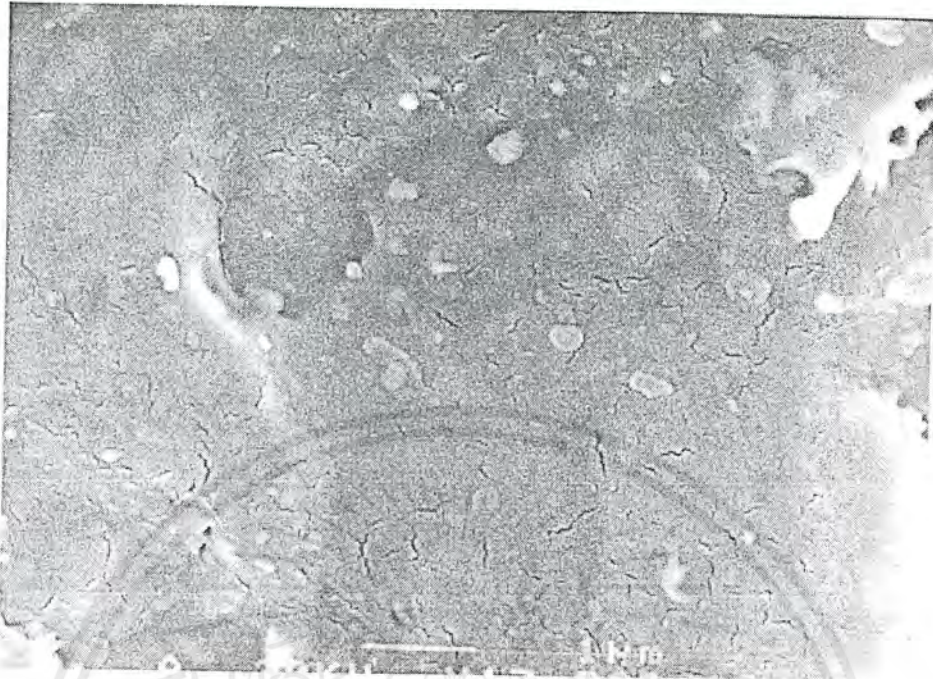


รูปที่ 4.16 SEM Microscope แสดงลักษณะฐานวิทยาของผงด่างจากเศษ ผง
ยางรถยนต์บดขนาด 20 เมล ที่กำลังขยาย 1,500 เท่า

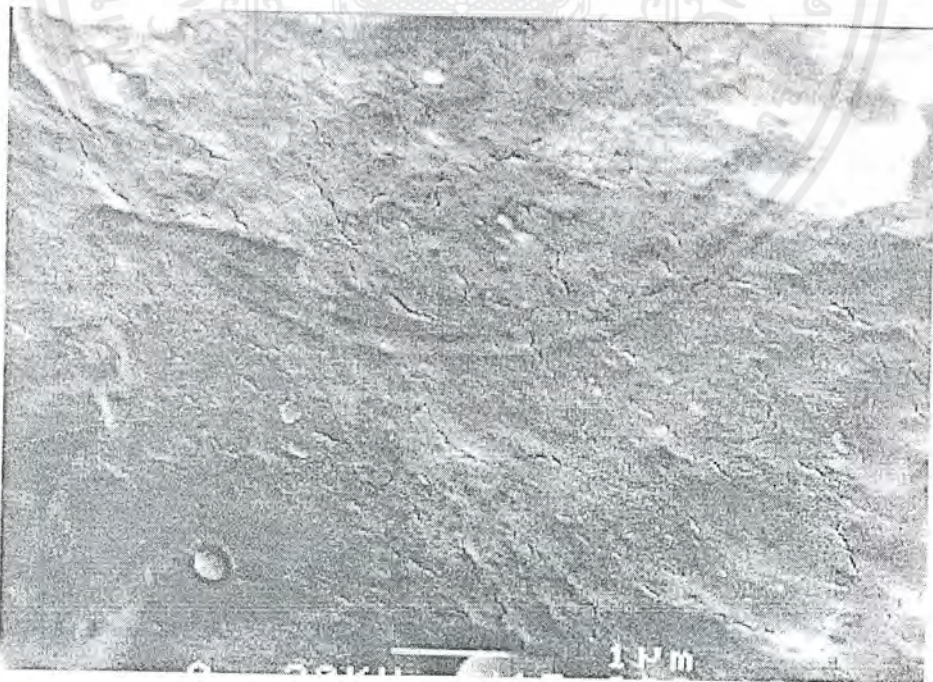


รูปที่ 4.17 SEM Microscope แสดงลักษณะฐานวิทยาของผงด่างจากเศษผงด่าง
ยางรถยนต์บดขนาด 20 เมล ที่กำลังขยาย 7,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 SEM Microscope แสดงสัณฐานวิทยาของ PP/GRT อัตราส่วน 90/10 ที่กำลังขยาย 13,000 เท่า



รูปที่ 4.19 SEM Microscope แสดงสัณฐานวิทยาของ PP/GRT อัตราส่วน 80/20 ที่กำลังขยาย 13,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

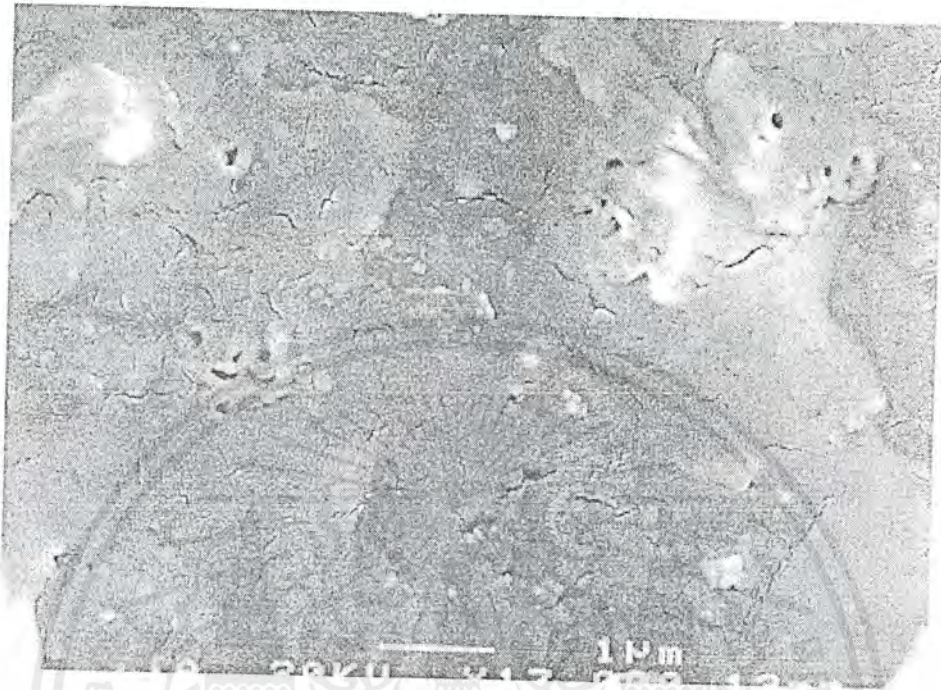


รูปที่ 4.20 SEM Microscope แสดงลักษณะพื้นผิวของ PP/GRT อัตราส่วน 70/30 ที่กำลังขยาย 13,000 เท่า



รูปที่ 4.21 SEM Microscope แสดงลักษณะพื้นผิวของ PP/GRT/SA อัตราส่วน 70/30/2 ที่กำลังขยาย 13,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 SEM Microscope แสดงลักษณะพื้นผิวของ PP/GRT/SA อัตราส่วน 70/30/2 ที่กำลังขยาย 13,000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการใช้ประโยชน์ของผงยางรถยนต์บด (GRT) เพื่อใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อ และสารปรับปรุงสมบัติการรับแรงกระแทกของพอลิพรอพิลีน

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 สมบัติเชิงกล

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับ GRT ได้แก่ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เปรอร์เซ็นต์การยืด (% Elongation) โมดูลัส (Modulus) และความแข็ง (Hardness) มีแนวโน้มลดลงเมื่อเติมผงยาง GRT ในวัสดุ ทั้งนี้เนื่องจาก GRT เป็นยางที่จับตัวเป็นก้อนก้อน (Agglomerates) จะมีช่องว่าง (Void) ระหว่างอนุภาคที่เป็นเสมือนรอยตำหนิ (Defects) ในวัสดุ ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณผงยางจึงเป็นผลให้สมบัติเชิงกลลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มปริมาณผงยางวัสดุมีเปอร์เซ็นต์การยืดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อาจเนื่องจากสมบัติความเป็นยางของ GRT

จากการศึกษาพบว่า GRT สามารถทำหน้าที่เป็นสารปรับปรุงสมบัติการรับแรงกระแทก (Impact modifier) พบว่าเมื่อเติม และเพิ่มปริมาณ GRT วัสดุมีความแข็งแรงกระแทกเพิ่มขึ้นอย่างมาก เนื่องจากผงยางมีโมดูลัสต่ำกว่าพอลิพรอพิลีนจึงสามารถช่วยรับและกระจายแรงจากภายนอกได้ดี

จากการศึกษาผลของสารช่วยผสม (Compatibilizer) คือกรดสเตียริก (Steric acid) มาเลอิก แอนไฮไดรด์กราฟท์พอลิพรอพิลีน (Maleic anhydride graft polypropylene, MAPP) ที่มีต่อสมบัติของพอลิพรอพิลีนผสม GRT พบว่า เมื่อเติมกรดสเตียริกทำให้ค่าความแข็งแรงดึง เปรอร์เซ็นต์การยืด โมดูลัส และความแข็งมีค่าลดลง อาจเนื่องจากกรดสเตียริกสามารถทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น (Lubricant) ทำให้การยึดเกาะระหว่างพอลิพรอพิลีนกับ GRT ลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อใช้ MAPP เป็นสารช่วยผสมพบว่าค่าความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ความแข็งมีแนวโน้มลงที่ และความแข็งแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้น คาดว่า MAPP ช่วยเพิ่มการยึดเกาะ และการกระจายตัวระหว่างพอลิพรอพิลีนกับ GRT ทำให้วัสดุสามารถรับและกระจายแรงจากภายนอกได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 สมบัติทางความร้อนจากเครื่อง DSC

จากการศึกษาอุณหภูมิหลอมเหลวผลึก (Melting temperature, T_m) และอุณหภูมิตกผลึก (Crystallization temperature, T_c) พบว่าการเติม GRT ลงในพอลิพรอพิลีนไม่มีผลต่อ T_m และ T_c แต่จะมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก (% Crystallinity) คือเมื่อเพิ่มปริมาณยางเพิ่มขึ้นมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกลดลง เนื่องจาก GRT ไปขัดขวางการขยายขนาดผลึก และพบว่าเกิดฟิสิกส์เล็กๆ บริเวณก่อนอุณหภูมิหลอมเหลวผลึกคาดว่าเกิดจากการที่ GRT ทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึก (Nucleating agent) ทำให้เกิดผลึกในแนวตั้งจากกับผิว GRT

5.1.3 สัณฐานวิทยา (Morphology)

ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด (SEM) สามารถสังเกตเห็นการกระจายตัวของอนุภาคผงยางรถยนต์ในพอลิเมอร์เมทริกซ์ และเมื่อเพิ่มปริมาณผงยางรถยนต์สามารถสังเกตเห็นการกระจายตัวของอนุภาคผงยางรถยนต์ที่เพิ่มมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาการเพิ่มปริมาณยางให้มากขึ้น อาจทำให้พอลิเมอร์ผสมมีสมบัติคล้ายเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์
2. ศึกษาสมบัติการไหล เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม
3. ศึกษาผลของขนาดอนุภาคผงยางรถยนต์ เพื่อให้ได้สมบัติของพอลิเมอร์ผสมที่ดีที่สุด
4. ศึกษาผลของการเติมผงยางรถยนต์ที่มีต่อพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ เพื่อประยุกต์ใช้ผงยางรถยนต์เป็นสารตัวเติมได้มากขึ้น และลดปริมาณพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ
5. ศึกษาการผสมและการขึ้นรูปด้วยเครื่องมืออื่นๆ เพื่อเปรียบเทียบสมบัติของพอลิเมอร์ผสม และสามารถเลือกวิธีที่เหมาะสมในการผสมและขึ้นรูป

เอกสารอ้างอิง

1. Mary H.G., Encyclopedia of Chemical Technology, 4ed, Wiley-Interscience Publication, 1996
2. บรรณเลข ศรีนิล, “เทคโนโลยีพลาสติก”, ดวงกมลสมัย, กรุงเทพฯ 2538
3. Rajalingam P. and Baker W. E., “The Role of Functional Polymer in Ground Rubber Tire-Polyethylene Composite”, Rubber Chemistry and Technology., 65, 1992 : pp 908 – 915
4. Tipanna M. and Kale D.D., “Composites of Waste Ground Rubber Particles and Poly (vinyl chloride)”, Rubber Chemistry and Technology., 70, 1997 : pp 815 – 819
5. Sawant A.B. and Kale D.D., “Recycled Rubber Filled Polyethylene”, Rubber Chemistry and Technology., 1996 : pp 78 – 80
6. Rajalingam P. Sharpe J. and Baker W. E., “Ground Rubber Tire/Thermoplastic Composites: Effect of Different Ground Rubber Tires”, Rubber Chemistry and Technology., 66, 1993 : pp 664 – 677
7. Oliphant K. and Baker W.E., “The Use of Cryogenically Ground Rubber Tires as a Filler in Polyolefin Blends”, Rubber Chemistry and Technology., 33(3), 1993 : pp 166 – 174
8. Choudhury N.R. and Bhattacharya., “Effect of Compatibilisation on Mechanical and Rheological Properties of Ground Rubber Tire-Polyethylene Blends”, Plastics, Rubber and Composites Processing and Applications., 25(9), 1996 : 448 - 457
9. PRODUCT DATA, PRO-FAX 6331 General-Purpose Polypropylene With Improved Processability, HMC POLYMER CO.,LTD.
10. PRODUCT INFORMATION, POLYBOND 3150 CHEMICALLY MODIFIED POLYOLEFIN, UNIROYAL CHEMICAL
11. Richard G. Griskey Ph.D.,P.E. “Single-screw extruder”, POLYMER PROCESS ENGINEERING., 281
12. Richard G. Griskey Ph.D.,P.E. “Injection-molding unit”, POLYMER PROCESS ENGINEERING., 312

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. V. M. Makarov., “Production of reclaim from scrap tyres”, REPROCESSING OF TYRES AND RUBBER WASTES., pp 55
14. V. M. Makarov., “Preparation of finely-dispersed rubbers ”, REPROCESSING OF TYRES AND RUBBER WASTES., pp 153
15. Ferrigno, T.H. Guide to the selection and Usage of Fillers and Reinforcement. in Handbook of filler and reinforcement for plastics (Ketz, H.S. and Milewski, J.V.) pp 11-57, Van Nostrend Reinhold Co., New York, 1978



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-1 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact Strength)

ชั้นที่	1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
สูตรการผสม พอลิเมอร์ : ผงยางรถยนต์	(kJ/m ²)	(kJ/m ²)	(kJ/m ²)	(kJ/m ²)	(kJ/m ²)	(kJ/m ²)
1. 90 : 10	4.5	4.9	4.1	4.9	5.7	4.8
2. 90 : 10 1 % SA	3.3	3.9	3.9	3.5	4.5	3.8
3. 90 : 10 2 % SA	2.5	3.1	2.7	3.5	3.9	3.1
4. 90 : 10 1 % MAPP	5.4	5.5	5.9	5.2	5.5	5.5
5. 90 : 10 2 % MAPP	6.5	6.7	6.5	6.0	6.3	6.4
6. 80 : 20	4.3	5.3	7.0	6.1	5.1	5.5
7. 80 : 20 1 % SA	6.5	5.7	5.5	5.3	5.3	5.7
8. 80 : 20 2 % SA	4.1	6.5	3.9	3.9	5.3	4.7
9. 80 : 20 1 % MAPP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	6.1
10. 80 : 20 2 % MAPP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	6.6
11. 70 : 30	5.7	7.0	7.0	7.4	6.1	6.6
12. 70 : 30 1 % SA	7.0	6.3	6.5	6.3	6.3	6.5
13. 70 : 30 2 % SA	4.9	5.3	4.9	6.1	6.1	5.3
14. 70 : 30 1 % MAPP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	7.5
15. 70 : 30 2 % MAPP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	7.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-2 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile strength)

ชั้นที่	1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
สูตรการผสม พอลิเมอร์ : ผงยางรถยนต์	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
1. 90 : 10	28.54	27.63	28.52	28.62	27.96	28.25
2. 90 : 10 1 % SA	28.04	27.36	28.11	28.38	27.64	27.91
3. 90 : 10 2 % SA	26.93	26.50	26.34	26.81	26.69	26.63
4. 90 : 10 1 % MAPP	27.36	28.09	27.76	28.78	29.02	28.20
5. 90 : 10 2 % MAPP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
6. 80 : 20	23.82	24.07	23.73	23.10	24.69	23.82
7. 80 : 20 1 % SA	23.35	24.09	25.06	24.73	24.87	24.42
8. 80 : 20 2 % SA	22.12	22.42	22.36	22.59	22.85	22.67
9. 80 : 20 1 % MAPP	25.39	25.44	25.94	24.57	25.32	25.33
10. 80 : 20 2 % MAPP	24.39	24.53	24.77	25.32	25.69	24.94
11. 70 : 30	21.81	21.11	21.49	22.05	20.66	21.42
12. 70 : 30 1 % SA	21.18	19.76	20.01	20.37	20.03	20.27
13. 70 : 30 2 % SA	18.16	20.51	17.98	18.01	17.77	18.48
14. 70 : 30 1 % MAPP	21.53	21.76	21.13	20.66	20.49	21.11
15. 70 : 30 2 % MAPP	22.77	22.75	22.48	22.86	21.72	22.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-3 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break)

ชั้นที่	1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
สูตรการผสม พอลิเมอร์ : ผงยางรถยนต์	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1. 90 : 10	13.44	9.52	12.72	11.40	10.97	11.52
2. 90 : 10 1 % SA	10.01	8.491	9.980	10.34	11.30	10.02
3. 90 : 10 2 % SA	15.09	10.27	10.93	15.29	12.24	12.76
4. 90 : 10 1 % MAPP	13.31	13.31	10.14	13.58	13.46	13.46
5. 90 : 10 2 % MAPP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
6. 80 : 20	10.85	18.14	11.90	9.169	12.61	12.53
7. 80 : 20 1 % SA	13.90	13.86	13.26	16.45	13.55	14.20
8. 80 : 20 2 % SA	12.11	12.88	9.837	15.12	16.01	13.19
9. 80 : 20 1 % MAPP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
10. 80 : 20 2 % MAPP	11.72	12.89	13.74	12.07	12.70	12.62
11. 70 : 30	19.85	18.47	15.70	15.23	11.27	16.10
12. 70 : 30 1 % SA	19.37	12.04	15.86	16.79	13.98	15.61
13. 70 : 30 2 % SA	13.53	11.27	11.31	14.58	13.42	12.82
14. 70 : 30 1 % MAPP	15.08	14.04	13.10	11.89	12.93	13.41
15. 70 : 30 2 % MAPP	16.95	10.89	11.18	14.78	13.47	13.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-4 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบพลังงานทำให้แตกหัก (Work-done)

ชั้นที่	1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
สูตรการผสม พอลิเมอร์ : พงยางรถยนต์	(N-mm)	(N-mm)	(N-mm)	(N-mm)	(N-mm)	(N-mm)
1. 90 : 10	6052	3615	5644	4978	4509	4690
2. 90 : 10 1 % SA	4264	3388	4231	4413	4852	4229
3. 90 : 10 2 % SA	6436	4071	4330	6600	5043	5296
4. 90 : 10 1 % MAPP	5716	5828	4183	6179	5833	5548
5. 90 : 10 2 % MAPP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
6. 80 : 20	3851	7223	4400	3065	4803	4803
7. 80 : 20 1 % SA	5124	5291	5221	6630	5086	5471
8. 80 : 20 2 % SA	4147	4496	3230	5702	5890	4693
9. 80 : 20 1 % MAPP	4415	4245	4074	5017	4100	4370
10. 80 : 20 2 % MAPP	4397	4922	5090	4693	4511	4722
11. 70 : 30	7212	6030	5433	5392	3484	5510
12. 70 : 30 1 % SA	6829	3678	5153	5557	4412	5126
13. 70 : 30 2 % SA	3805	3501	3043	4170	3689	3641
14. 70 : 30 1 % MAPP	5272	4872	4324	3771	4136	4475
15. 70 : 30 2 % MAPP	6401	3690	3861	5518	4682	4831

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-5 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบมอดุลัส (Modulus)

ชั้นที่	1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
สูตรการผสม พอลิเมอร์ : ผงยางรถยนต์	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
1. 90 :10	681.8	656.4	663.6	672.7	654.5	665.8
2. 90 :10 1 % SA	681.3	700.0	690.9	700.0	672.7	688.9
3. 90 :10 2 % SA	627.3	634.5	618.2	676.4	618.3	634.9
4. 90 :10 1 % MAPP	657.3	663.6	700.0	618.2	N/A	681.8
5. 90 :10 2 % MAPP	645.5	645.5	662.6	700.0	690.9	663.7
6. 80 :20	518.8	572.7	577.3	545.5	581.8	559.1
7. 80 :20 1 % SA	581.8	540.0	563.6	581.8	570.9	567.6
8. 80 :20 2 % SA	536.0	527.0	558.0	522.7	527.0	534.1
9. 80 :20 1 % MAPP	463.6	463.6	459.1	481.8	N/A	467.2
10. 80 :20 2 % MAPP	563.6	578.2	581.8	572.7	590.9	577.4
11. 70 :30	517.2	353.6	490.9	513.6	474.5	469.9
12. 70 :30 1 % SA	486.4	481.8	472.7	470.9	445.5	467.0
13. 70 :30 2 % SA	415.5	481.8	418.2	413.6	400.0	425.8
14. 70 :30 1 % MAPP	520.9	454.5	490.9	415.2	472.3	471.7
15. 70 :30 2 % MAPP	536.4	527.3	548.5	574.5	536.4	544.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-6 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบความแข็ง (Hardness) โดยใช้ Durometer hardness Shore D

ชั้นที่	1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย
สูตรการผสม พอลิเมอร์ : ผงยางรถยนต์						
1. 90 : 10	59.00	60.00	62.50	61.50	61.00	61.21
2. 90 : 10 1 % SA	57.50	57.5	60.00	59.50	57.00	58.71
3. 90 : 10 2 % SA	55.50	60.00	57.50	59.00	58.00	58.91
4. 90 : 10 1 % MAPP	58.50	59.00	57.00	59.50	60.50	59.44
5. 90 : 10 2 % MAPP	60.00	60.50	59.00	58.50	61.50	59.25
6. 80 : 20	58.50	59.00	61.50	62.00	61.00	59.56
7. 80 : 20 1 % SA	57.00	57.50	56.00	56.00	56.00	56.58
8. 80 : 20 2 % SA	55.00	56.00	57.00	56.50	57.00	56.00
9. 80 : 20 1 % MAPP	55.00	56.00	55.00	57.00	57.00	56.16
10. 80 : 20 2 % MAPP	57.00	59.00	60.50	58.50	57.50	58.50
11. 70 : 30	57.50	57.00	57.50	57.00	56.00	57.12
12. 70 : 30 1 % SA	56.50	57.00	56.00	57.00	52.50	56.33
13. 70 : 30 2 % SA	53.50	53.50	53.50	53.50	53.50	53.50
14. 70 : 30 1 % MAPP	51.50	57.00	57.5	56.00	57.00	55.62
15. 70 : 30 2 % MAPP	57.50	56.50	53.00	54.00	53.00	53.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้