

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาที่อนำชิมจากพวงจากยางรถยนต์
และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ



นางสาวเบญจวรรณ ชนะจรัญวิทย์
นางสาวพรวิ สุมิตร
นางสาวอมรวิศ ยูวโกศล

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 37644
วัน, เดือน, ปี 19 ก.ย. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Study of Porous Pipes from Ground Rubber Tire (GRT)
and Low Density Polyethylene (LDPE)**



Miss Benjawan Chanajaranwit

Miss Pornrawee Sumitra

Miss Amornwadee Yuwakosol

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

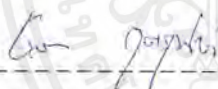
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาที่นำชิมจากผงยางจากยางรถยนต์และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ		
นักศึกษา	นางสาวเบญจวรรณ	ชนะจรัญวิทย์	รหัส 39054230
	นางสาวพรรวี	สุมิตร	รหัส 39054231
	นางสาวอมรวดี	ยูวโกศล	รหัส 39054259
ภาควิชา	เคมี		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. อธิธิพล	แจ้งชัด	
	นาย บุญหาญ	อู่อุดมยิ่ง	

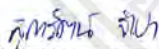
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

หัวหน้าภาควิชาเคมี
(ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย)

คณะกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ


(ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์)


ประธานกรรมการ


(ดร.สุภารัตน์ จำปา)

กรรมการ


(ดร.อธิธิพล แจ้งชัด)

กรรมการ


(นายบุญหาญ อู่อุดมยิ่ง)

กรรมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาท่อน้ำซึมจากผงยางจากยางรถยนต์และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ		
นักศึกษา	นางสาวเบญจวรรณ	ชนะจรัญวิทย์	รหัส 39054230
	นางสาวพรรวี	สุมิตร	รหัส 39054231
	นางสาวอมรวิดี	ยุวโกศล	รหัส 39054259
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. อธิพิล	แจ้งชัด	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	นายบุญหาญ	อุตุดมยิ่ง	
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง		
ปีการศึกษา	2542		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติของท่อน้ำซึมหรือวัสดุที่มีรูพรุนเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ให้น้ำทางการเกษตร ซึ่งทำจากผงยางจากยางรถยนต์ (Ground rubber tire, GRT) กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างอนุภาค GRT และใช้เอโซไดคาร์โบนาไมด์ (Azodicarbonamide, AZ) เป็นสารให้ฟอง โดยทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของท่อน้ำซึม ได้แก่ อัตราส่วนของ GRT:LDPE (50:50 60:40 และ 70:30) และผลของปริมาณ AZ (0-3 %) วัสดุถูกผสมด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว แล้วขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแบบชนิดอัด จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกลสมบัติทางความร้อน ลึกลับฐานวิทยา และการซึมผ่านของน้ำ จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ GRT และ AZ ในวัสดุจะให้ผลคล้ายกันคือ มีแนวโน้มทำให้ความหนาแน่นของชิ้นงานลดลงและอัตราการซึมผ่านของน้ำเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้สมบัติเชิงกลของวัสดุมีค่าลดลงจากการศึกษาสมบัติทางความร้อนของวัสดุพบว่า การเพิ่มปริมาณ GRT ไม่มีผลทำให้อุณหภูมิหลอมเหลวและอุณหภูมิการตกผลึกเปลี่ยนแปลง แต่มีผลทำให้ปริมาณองศาความเป็นผลึกมีแนวโน้มลดลง จากการศึกษาลึกลับฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด (SEM) พบว่า GRT และ LDPE สามารถยึดติดกันได้ดี รูพรุนของวัสดุเกิดจากช่องว่างระหว่างกลุ่มก้อนของผงยาง GRT และฟองก๊าซที่ได้จากการสลายตัวของ AZ

Special Project Title Study of Porous Pipes from Ground Rubber Tire (GRT) and Low Density Polyethylene (LDPE)

Name Miss Benjawan Chanajaranwit
Miss Pomrawee Sumitra
Miss Amornwadee Yuwakosol

Special Project Advisor Dr. Ittipol Jangchud
Mr. Boonham Ou-udomying

Department Chemistry

Academic Year 1999

ABSTRACT

This research work involved a study of properties of porous pipes or porous material as an agricultural irrigation equipment. The material was made by mixing ground rubber tire (GRT) with low density polyethylene (LDPE) which acts as a binder between GRT particles. Azodicarbonamide (AZ), a blowing agent, was added to make the cellular structure of the GRT/LDPE. Factors affected properties of the material were investigated, such as GRT/LDPE composition (50:50, 60:40, and 70:30) and AZ loading (0-3 %). The GRT/LDPE mixtures were compounded by a single-screw extruder and shaped by a compression molding machine. Then the samples were characterized for mechanical, thermal, and morphological properties as well as water permeability. It was found that the effects of GRT/LDPE composition and the AZ loading on the properties of the material exhibited the same trend. The density of the material is seen to diminish as the blowing agent and GRT content in the composition was increased. The water permission rate of the material had a reversed effect compared to the density. Mechanical properties of the GRT/LDPE seemed to decrease as the GRT and AZ contents were increased. From thermal properties study by DSC, it was seen that melting temperature (T_m) and crystallization temperature (T_c) of the LDPE were unchanged by the presence of the GRT particles. Only degree crystallinity of the polymer was slightly decreased by loading the GRT. From SEM study, it was revealed that the GRT particles had good interfacial adhesion with the LDPE. It was found that pores in the porous material were generated from voids between GRT agglomerates and also AZ decomposed gas.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการพิเศษนี้สำเร็จได้เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ ความร่วมมือ ตลอดจนคำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์แก่คณะผู้จัดทำจากบุคคลและองค์กรต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณ คุณบุญหาญ อุ่อุดมยิ่ง ที่ให้คำปรึกษาและความอนุเคราะห์ GRT ที่ใช้ใน งานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.อิทธิพล แจ่มชัด ที่กรุณาให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในการ ดำเนินโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ดร.สุภารัตน์ จำปา และดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ อาจารย์คณะกรรมการ ตรวจสอบโครงการพิเศษที่ช่วยกรุณาตรวจทานและแก้ไขโครงการฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย และอาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่ช่วยประสิทธิ ประสาทวิชาความรู้ และความช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ที่ให้ความอนุเคราะห์ตรวจ วิเคราะห์ลัทธิฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด (SEM)

ขอขอบคุณบริษัท Thai Petrochemical Industry (TPI) Co.Ltd. ที่ให้ความอนุเคราะห์พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และขอบคุณเพื่อน ๆ รุ่นพี่ รุ่นน้อง เจ้าหน้าที่ ภาควิชาเคมีทุกท่านที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจมาโดยตลอด

นอกจากนี้ยังมีบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลืออีกมากซึ่งมิได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ ทางผู้จัดทำขอ ขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นางสาวเบญจวรรณ ชนะจรัญวิทย์

นางสาวพรวิ สุมิตร

นางสาวอมรวิดี ยวโกศล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงร่างพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	7
1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ	7
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการพิเศษ	8
1.5 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน	8
1.6 สถานที่ทำการวิจัย	9
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	10
2.1 ยางรถยนต์	10
2.1.1 ผงยางจากเศษยางรถยนต์	11
2.1.2 ยางรีเคลม	14
2.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	16
2.3 เอโซไดคาร์โบนาไมด์	20
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	21
3.1 สารเคมีและเครื่องมือ	
3.1.1 สารเคมี	21
3.1.2 เครื่องมือ	22
3.2 ขั้นตอนการวิจัย	
3.2.1 การหาพื้นที่ผิวและลักษณะฐานวิทยาของผงยางจากเศษยางรถยนต์	22
3.2.2 การหาเวลาที่เหมาะสมในการผสมเศษยางจากยางรถยนต์กับ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและเอโซไดคาร์โบนาไมด์	23
3.2.2 เปรียบเทียบเครื่องมือผสมระหว่างเครื่องมือผสมแบบสองลูกกลิ้ง กับเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.3 หาเวลาที่พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและผงยางจาก เศษยางรถยนต์ผสมเข้ากันได้ดี	25
3.2.4 หาอัตราส่วนของเศษยางกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และปริมาณเอโซไดคาร์โบนาไมด์ที่เหมาะสม	25
บทที่ 4 ผลการทดลอง	28
4.1 ผลการศึกษาสมบัติของผงยางจากเศษยางรถยนต์	28
4.1.1 พื้นที่ผิวของผงยางจากเศษยางรถยนต์	28
4.1.2 สัณฐานวิทยาของผงยางจากเศษยางรถยนต์	28
4.2 ผลการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการผสมผงยางจากเศษยางรถยนต์ และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	30
4.3 ผลการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดแบบ	31
4.4 ผลการเปรียบเทียบวิธีการผสมสูตรระหว่างเครื่องผสมแบบสองลูกกิ้ง และเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว	33
4.5 ผลการศึกษาผลของปริมาณสารให้ฟองที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ ผสมผงยางจากเศษยางรถยนต์และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	34
4.6 ผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมผงยางจากเศษยางรถยนต์และ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำด้วยเครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริมิเตอร์	38
4.7 ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด	39
4.8 ผลการศึกษาความหนาแน่นของพอลิเมอร์ผสมผงยางจากเศษยางรถยนต์ และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	44
4.9 ผลการศึกษาอัตราการซึมผ่านของน้ำของพอลิเมอร์ผสมของผงยางจากเศษยาง- รถยนต์และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	45
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	46
5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	46
5.2 ข้อเสนอแนะ	47
บรรณานุกรม	48
ภาคผนวก	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงสมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ใช้ในการทดลอง	21
ตารางที่ 3.2 แสดงสมบัติของเอโซไดคาร์โบนาไมด์ที่ใช้ในการทดลอง	22
ตารางที่ 3.3 แสดงส่วนผสมในการทดสอบหาเวลาที่เหมาะสมในการผสม	24
ตารางที่ 3.4 แสดงส่วนผสมในการทดสอบหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำท่อน้ำซึม	25
ตารางที่ 3.5 แสดงสูตรผสมที่นำไปทดสอบโดยใช้เครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด	26
ตารางที่ 4.1 แสดงสมบัติเชิงกลที่แตกต่างกันระหว่างใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกิ้งกับเครื่อง อัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว	33
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าอุณหภูมิหลอมเหลว อุณหภูมิตกผลึกและพลังงานความร้อนที่ใช้ในการ หลอมเหลว	38
ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณความเป็นผลึกของส่วนผสมของผงยางจากเศษยางรถยนต์กับ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในอัตราส่วนต่างๆ	38
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความหนาแน่นของผงยางจากเศษยางรถยนต์กับพอลิเอทิลีนชนิด ความหนาแน่นต่ำ	44
ตารางที่ 4.5 แสดงอัตราการซึมผ่านของน้ำของอัตราส่วนต่างๆซึ่งมีปริมาณเอโซไดคาร์โบนาไมด์	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 ภาพถ่ายกองขยะจากยางรถยนต์	1
รูปที่ 1.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของเชื้อเพลิงกับค่าพลังงานที่ได้	3
รูปที่ 1.3 แสดงการนำผงจากเศษยางรถยนต์มาผสมกับยางมะตอย	3
รูปที่ 1.4 แสดงการนำผงจากเศษยางรถยนต์มาทำแผ่นยางปูพื้น	4
รูปที่ 2.1 รูปแสดงส่วนประกอบต่างๆของยางรถยนต์	10
รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตยางรถยนต์	11
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างเครื่องบดยางที่อุณหภูมิต่ำ	12
รูปที่ 2.4 แผนผังแสดงตัวอย่างเครื่องบดที่อุณหภูมิต่ำของบริษัท Linde company	13
รูปที่ 2.5 ผงยางจากเศษยางรถยนต์	14
รูปที่ 3.1 แสดงเครื่องทดสอบอัตราการซึมผ่านของน้ำ	27
รูปที่ 4.1 SEM Micrograph แสดงลักษณะอนุภาคของผงยางจากเศษยางรถยนต์ขนาด 20 เมล ที่กำลังขยาย 230 เท่า	28
รูปที่ 4.2 SEM Micrograph แสดงลักษณะอนุภาคของผงยางจากเศษยางรถยนต์ขนาด 20 เมล ที่กำลังขยาย 1500 เท่า	29
รูปที่ 4.3 SEM Micrograph แสดงลักษณะอนุภาคของผงยางจากเศษยางรถยนต์ขนาด 20 เมล ที่กำลังขยาย 7000 เท่า	29
รูปที่ 4.4 SEM Micrograph แสดงลักษณะอนุภาคของผงยางจากเศษยางรถยนต์ขนาด 20 เมล ที่กำลังขยาย 230 เท่า	30
รูปที่ 4.5 แสดงค่าความแข็งแรงดึงของ GRT/LDPE (60:40) เมื่อใช้เวลาในการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแบบเปลี่ยนไป	31
รูปที่ 4.6 แสดงค่ามอดุลัสของ GRT/LDPE (60:40) เมื่อใช้เวลาในการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแบบเปลี่ยนไป	31
รูปที่ 4.7 แสดงค่าค่าพลังงานที่ใช้ในการทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกหักของ GRT/LDPE (60:40) เมื่อใช้เวลาในการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแบบเปลี่ยนไป	32
รูปที่ 4.8 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของ GRT/LDPE (60:40) เมื่อใช้เวลาในการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแบบเปลี่ยนไป	32
รูปที่ 4.9 แสดงค่าความแข็งแรงดึงของ GRT/LDPE สัดส่วนต่างๆเมื่อปริมาณเอโซ-ไคคาร์บอนาไมด์เปลี่ยนแปลงไป	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.10 แสดงค่ามอดุลัสของ GRT/LDPE สัดส่วนต่างๆเมื่อปริมาณเอโซไคคาร์บอนาไมด์เปลี่ยนแปลงไป	35
รูปที่ 4.11 แสดงค่าพลังงานที่ใช้ในการทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกหักของ GRT/LDPE สัดส่วนต่างๆเมื่อปริมาณเอโซไคคาร์บอนาไมด์เปลี่ยนแปลงไป	35
รูปที่ 4.12 แสดงเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของ GRT/LDPE สัดส่วนต่างๆเมื่อปริมาณเอโซไคคาร์บอนาไมด์เปลี่ยนแปลงไป	36
รูปที่ 4.13 แสดงค่าความแข็งของ GRT/LDPE สัดส่วนต่างๆเมื่อปริมาณเอโซไคคาร์บอนาไมด์เปลี่ยนแปลงไป	36
รูปที่ 4.14 SEM Micrograph แสดงลักษณะวิทยาของ GRT/LDPE ที่อัตราส่วน 50:50 (AZ 0%) ที่กำลังขยาย 9000 เท่า	39
รูปที่ 4.15 SEM Micrograph แสดงลักษณะวิทยาของ GRT/LDPE ที่อัตราส่วน 60:40 (AZ 0%) ที่กำลังขยาย 9000 เท่า	40
รูปที่ 4.16 SEM Micrograph แสดงลักษณะวิทยาของ GRT/LDPE ที่อัตราส่วน 70:30 (AZ 0%) ที่กำลังขยาย 9000 เท่า	40
รูปที่ 4.17 SEM Micrograph แสดงลักษณะวิทยาของ GRT/LDPE ที่อัตราส่วน 60:40 (AZ 0%) ที่กำลังขยาย 55000 เท่า	41
รูปที่ 4.18 SEM Micrograph แสดงลักษณะวิทยาของ GRT/LDPE ที่อัตราส่วน 60:40 (AZ 0%) ที่กำลังขยาย 9000 เท่า	42
รูปที่ 4.19 SEM Micrograph แสดงลักษณะวิทยาของ GRT/LDPE ที่อัตราส่วน 60:40 (AZ 1%) ที่กำลังขยาย 9000 เท่า	42
รูปที่ 4.19 SEM Micrograph แสดงลักษณะวิทยาของ GRT/LDPE ที่อัตราส่วน 60:40 (AZ 3%) ที่กำลังขยาย 9000 เท่า	43
รูปที่ 4.20 SEM Micrograph แสดงลักษณะวิทยาของ GRT/LDPE ที่อัตราส่วน 60:40 (AZ 3%) ที่กำลังขยาย 55000 เท่า	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

พลาสติกมีข้อดีมากมาย เช่น ราคาถูก น้ำหนักเบา มีสมบัติเชิงกลที่ดี สามารถขึ้นรูปได้ง่าย เป็นต้น การที่ประชากรโลกมีจำนวนมากกว่า 6,000 ล้านคน ในปัจจุบัน และมีอัตราการเพิ่มขึ้นของประชากรอย่างรวดเร็ว จึงเป็นสาเหตุให้มีการใช้ผลิตภัณฑ์พลาสติกเป็นจำนวนมาก เช่น บรรจุภัณฑ์พลาสติก ยางรถยนต์ เป็นต้น พอลิเมอร์มีข้อจำกัดคือ เมื่อพอลิเมอร์ถูกทิ้งอยู่ในสิ่งแวดล้อมจะเกิดการเสื่อมสลายตัวเองหรือตัวจุลินทรีย์ตามธรรมชาติเข้า ทำให้เกิดขยะพอลิเมอร์จำนวนมาก เป็นปัญหาในการกำจัด และปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ต้องการการแก้ไขอย่างเร่งด่วนในปัจจุบัน



รูปที่ 1.1 ภาพถ่ายกองขยะจากยางรถยนต์

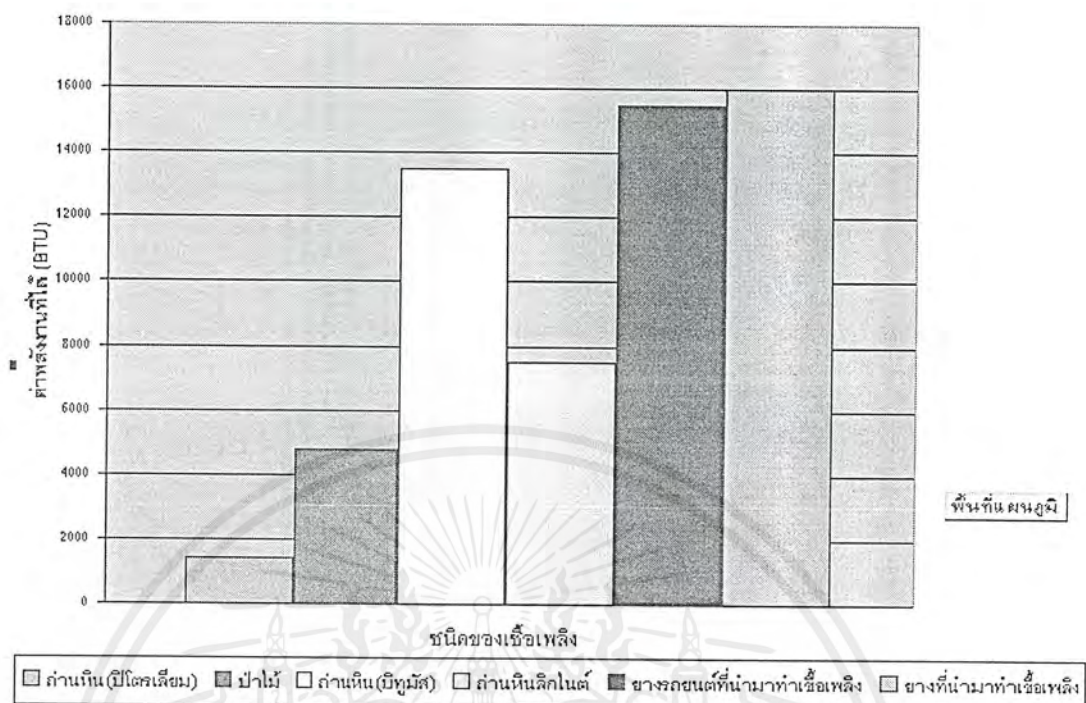
ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตยางธรรมชาติ (Natural rubbers, NR) อันดับหนึ่งของโลก การส่งออกยางดิบเช่นยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง น้ำยางข้น และยางแปรรูป ทำรายได้เข้าประเทศจำนวนมากประมาณปีละ 80,000 ล้านบาท ยางจึงจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญที่สุดชนิดหนึ่งของประเทศไทย ปัญหาการผลิตยางธรรมชาติในปัจจุบัน นับเป็นปัญหาสำคัญยิ่งที่ต้องการการแก้ไขอย่างเร่งด่วน ได้แก่ ปัญหาปริมาณการผลิตที่มากเกินไปเกินความต้องการของตลาด ปัญหาการผลิตยางด้อยคุณภาพ ปัญหาการตลาด การแข่งขันการส่งออกกับประเทศคู่แข่ง ปัญหาราคายางตกต่ำ เป็นต้น วิธีการแก้ไขปัญหานี้ก็คือ เร่งพัฒนาวิจัยเพื่อแปรรูปยางให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้น และสอดคล้องเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับความต้องการของตลาดโลก รวมถึงการพัฒนาผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่องเพื่อเพิ่มปริมาณการใช้ภายในประเทศ

ปัญหาการขาดแคลนน้ำก็เป็นปัญหาวิกฤตระดับชาติ ที่ต้องการการแก้ไขอย่างเร่งด่วน โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ประชาชนส่วนใหญ่เป็นเกษตรกร มีความจำเป็นต้องใช้น้ำในการประกอบอาชีพและดำรงชีพ ปัญหาการตัดไม้ทำลายต้นน้ำ และปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้น เช่น เอลนีโญ เป็นต้น ยิ่งทำให้ปัญหาการขาดแคลนน้ำรุนแรงยิ่งขึ้น "น้ำ" จึงเป็นทรัพยากรและพลังงานที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งของชาติที่ต้องให้ความสำคัญในการศึกษาวิจัยเพื่อรักษาอนุรักษ์ให้มีเพียงพอกับปริมาณการใช้ของประเทศ ปัจจุบันการใช้ทรัพยากรน้ำทางการเกษตรกรรมเป็นไปอย่างไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ เนื่องจากการรดน้ำต้นไม้ด้วยระบบน้ำต้น (Sprinkler) จะใช้น้ำในปริมาณมาก ซึ่งจะมีน้ำบางส่วนสูญเสียไปเนื่องจากการระเหยและการซึมผ่านผิวดินลงไปโดยไม่ถูกดูดซับ และระบบน้ำหยดจะเป็นการใช้น้ำเฉพาะบริเวณซึ่งไม่ทั่วถึงเพียงพอ ดังนั้นจึงมีแนวความคิดที่จะทำท่อน้ำซึมที่มีโครงสร้างเป็นท่อที่มีช่องเล็กๆ จำนวนมากที่น้ำสามารถซึมผ่านได้ในอัตราเร็วคงที่ โดยการฝังท่อในดินตามแนวรากต้นไม้ จะทำให้รากต้นไม้ดูดซับน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในการเลือกวัสดุที่จะนำมาใช้ทำท่อน้ำซึมนั้น เป็นการสมควรที่จะนำวัสดุที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycled materials) เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต และช่วยแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมผองจากเศษยางรถยนต์ (Ground rubber tires, GRT) คือผองยางขนาดเล็กที่ได้จากการบดยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว โดยการบดที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic Grinding) หรือการบดที่อุณหภูมิห้อง (Ambient grinding) ในกระบวนการผลิตยางรีเคลม (Reclaimed rubbers) ปัจจุบันผองยางจากเศษยางรถยนต์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ดังนี้¹

1. นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด ในประเทศสหรัฐอเมริกาได้นำผองยางจากเศษยางรถยนต์กลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงถึง 67% ของปริมาณผองยางทั้งหมด แต่วิธีนี้มีข้อเสีย คือ ทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศ จากรูปที่ 1.1 จะเห็นได้ว่าผองยางจากเศษยางรถยนต์สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงที่ให้ค่าพลังงานจากการเผาไหม้สูง เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่น



รูปที่ 1.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของซีเมนต์กับค่าพลังงานที่ได้

2. นำมาผสมกับยางมะตอย (Asphalt) เพื่อใช้ราดถนน โดยจะเพิ่มความสามารถในการรับแรงของพื้นถนน เพิ่มสมบัติเชิงกล สมบัติที่อุณหภูมิต่ำและเพิ่มอายุการใช้งาน

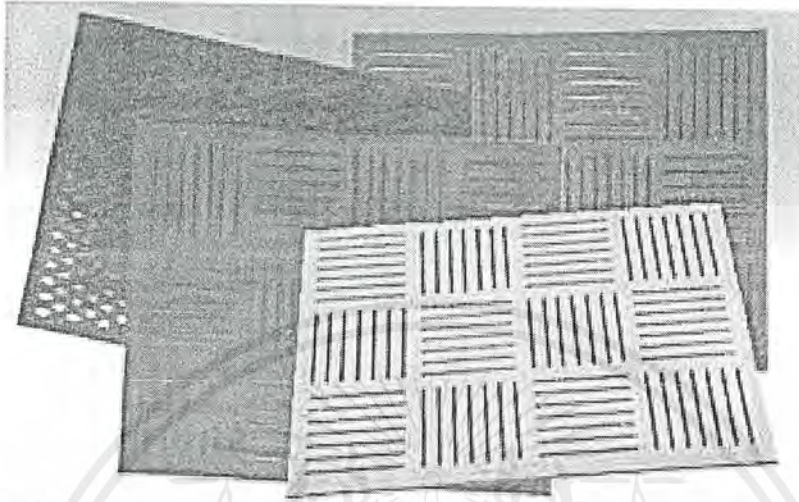
CRUMB RUBBER MODIFIER



รูปที่ 1.3 แสดงการนำยางจากเศษยางรถยนต์มาผสมกับยางมะตอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ใช้เป็นสารตัวเติม (Fillers) โดยจะสามารถลดต้นทุนการผลิต และสามารถปรับปรุงสมบัติบางประการได้ เช่น สมบัติความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact properties)



รูปที่ 1.4 แสดงการนำผงยางจากเศษยางรถยนต์มาทำแผ่นยางปูพื้น

ได้มีผู้ทำการวิจัยที่เกี่ยวกับการนำผงยางจากเศษยางรถยนต์นำกลับมาใช้เป็นสารตัวเติม ดังนี้

M. Pittolo และ R.P. Burford² นำผงยางจากเศษยางรถยนต์มาผสมกับพอลิสไตรีน (PS) พบว่าการต่อกิ่ง (Graft) ผงยางจากเศษยางรถยนต์ด้วยพอลิสไตรีนก่อนจะทำให้ Breaking strain (e_b) และ Energy at break มีค่าสูงกว่าผงยางจากเศษยางรถยนต์ที่ไม่ได้ graft นอกจากนี้ยังพบว่า Breaking strain (e_b) และ Energy at break จะมีค่าลดลงเมื่อขนาดของผงยางจากเศษยางรถยนต์มีขนาดใหญ่ขึ้น

M. Tipanna และ D.D. Kale³ ได้นำผงยางจากเศษยางรถยนต์ (ส่วนที่เป็นยางไนไตรด์) มาผสมกับพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน โดยพบว่าปริมาณของผงยางมากขึ้นจะทำให้ค่าความทนทานต่อแรงกระแทกและค่าความต้านทานการหักพังงอ (Flex crack resistance) มีค่ามากขึ้น การที่สมบัติต่างๆ มีค่าสูงขึ้นเนื่องมาจากเกิดแรงยึดเหนี่ยวขึ้นระหว่างพอลิไวนิลคลอไรด์กับส่วนที่เป็นอะคริโลไนไตรด์ของยางไนไตรด์

Jin Kuk Kim และ R.P. Burford⁴ ได้นำผงยางจากเศษยางรถยนต์ที่มีพื้นที่ผิวมากและมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 200 ถึง 400 นาโนเมตร ผสมกับยางธรรมชาติที่ยังไม่ได้ทำการบ่มตัว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือใส่กับยางอะครีโลไนไตรด์บิวทาไดอีน ซึ่งมีส่วนผสมของซิลิกาอยู่ โดยสารเสริมแรงคือซิลิกา จะช่วยให้ค่ามอดูลัสมีค่าเพิ่มมากขึ้นเพราะเกิดการผสมระหว่างผวยางจากเศษยางรถยนต์กับยาง ได้ดีขึ้น โดยดูผลการทำปฏิกิริยาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด (SEM) อีกเทคนิคในการผสมคือ ต้องทำการคลอรีนชันยางก่อน ซึ่งจะให้ได้ผลดีกับยางอะครีโลไนไตรด์บิวทาไดอีน แต่ถ้าเป็นยางธรรมชาติซึ่งมีความเปราะต้องมีการใส่สารช่วยผสม (Compatibilizer) ช่วยให้เป็นเนื้อเดียวกัน

P. Rajalingam และ W.E. Baker⁵ นำผวยางจากเศษยางรถยนต์มาผสมกับพอลิเอทิลีน พบว่าการเติมพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันลงไปเล็กน้อยจะทำให้สมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น โดยจะมีผลในระบบที่ใช้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแบบเชิงเส้น (LLDPE) มากกว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และพบว่าการเคลือบผวยางจากเศษยางรถยนต์ (Precoat) ด้วยเอทิลีนอะคริลิกแอซิด (Ethylene-acrylic acid) จะให้สมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกดีขึ้น

K. Oliphant และ W.E. Baker⁶ ได้นำเอาผวยางจากเศษยางรถยนต์มาผสมกับ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแบบเชิงเส้น (LLDPE) โดยพบว่าเมื่อทำการเคลือบผวยางจากเศษยางรถยนต์ด้วยเอทิลีนอะคริลิกแอซิด (Ethylene-acrylic acid) จะทำให้สมบัติเชิงกลต่างๆ ของคอมพอลิตีมีค่าเพิ่มขึ้น และผวยางจากเศษยางรถยนต์ที่มีขนาดเล็กจะทำให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าเศษยางที่มีขนาดใหญ่

P. Rajalingam และคณะ⁷ นำเอาผวยางจากเศษยางรถยนต์มาผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแบบเชิงเส้น (LLDPE) โดยผวยางจากเศษยางรถยนต์ที่ใช้เตรียมได้จากวิธีการบดที่อุณหภูมิห้อง (Ambient) การบดที่อุณหภูมิห้องแบบเปียก (Wet ambient) และการบดที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic) พบว่าผวยางจากเศษยางรถยนต์ที่ได้จากวิธีการบดที่อุณหภูมิห้องทั้งสองจะมีลักษณะขรุขระ พื้นผิวมาก ส่วนผวยางจากเศษยางรถยนต์ที่ได้จากวิธีการบดที่อุณหภูมิต่ำจะมีลักษณะเรียบ พื้นผิวเรียบ และการกระจายตัวของขนาดผวยางจากเศษยางรถยนต์น้อยกว่าวิธีการบดที่อุณหภูมิห้อง เมื่อทำการปรับปรุงผวยางจากเศษยางรถยนต์ด้วยลำอิเล็กตรอน (Electron beam) จะให้สมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกดีกว่าวิธีอื่นๆ และลำอิเล็กตรอนจะให้ผลที่ดีกับผวยางจากเศษยางรถยนต์ที่ได้จากวิธีการบดที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากจะทำให้ผวยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเศษยางรถยนต์ยึดติดกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแบบเชิงเส้น (LLDPE) ได้ดีขึ้น ในการผสมเมื่อใช้ผงยางจากเศษยางรถยนต์ขนาดเล็กลงจะทำให้ค่าความหนืดเพิ่มมากขึ้น และเมื่อใส่ไกลซิติก (Glycidic) เป็นสารช่วยผสม (Compatibilizer) จะทำให้สมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

P.K. Pramanik และ W.E. Baker⁸ นำผงยางจากเศษยางรถยนต์ขนาด 40 และ 80 เมต (Mesh) มาผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแบบเชิงเส้น (LLDPE) เพื่อปรับปรุงสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกจึงใส่เอทิลีนอะคริลิกแอซิด (Ethylene-acrylic acid) และยางธรรมชาติแบบอีพอกซีไดส์ (Epoxydized natural rubber) เป็นสารช่วยผสม พบว่าเมื่อปริมาณของยางธรรมชาติแบบอีพอกซีไดส์เพิ่มขึ้น หรือผงยางจากเศษยางรถยนต์มีขนาดเล็กลงจะทำให้สมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเติมไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl peroxide) ลงไปจะทำให้คุณสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกเพิ่มสูงขึ้น และถ้าเคลือบผงยางจากเศษยางรถยนต์ด้วยไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ และไตรอัลไซยานูเรท (Triallyl cyanurate) จะทำให้สมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้นเช่นกัน

N.R. Choudhury และ S.N. Bhattacharya⁹ ได้ทำการทดสอบการเข้ากันได้ของผงยางจากเศษยางรถยนต์และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ พบว่าเมื่อใช้คลอรีนเททพอลิเอทิลีน (Chlorinated polyethylene) เป็นสารช่วยผสมจะทำให้สมบัติเชิงกลต่างๆ ดีขึ้น เช่น ค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด และสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกเป็นต้น เนื่องจากคลอรีนเททพอลิเอทิลีน จะช่วยทำให้ผงยางจากเศษยางรถยนต์ยึดติดกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ได้ดียิ่งขึ้น ทั้งนี้เลือกใช้คลอรีนเททพอลิเอทิลีน เพราะมีโครงสร้างคล้ายคลึงกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ โดยอัตราส่วนที่ใช้ประมาณ 5-30%

James W. Mason และคณะ¹⁰ ได้ทำการผสมโดยใช้ผงยางจากเศษยางรถยนต์ผสมกับพอลิเอทิลีนโดยมี Slip contact agent จำพวกดินขาว (Talc) และสารหล่อลื่น (Lubricant) เป็นสารช่วยผสม และทำเป็นเม็ด (Pellet) แล้วนำไปผ่านกระบวนการอัดรีดเพื่อทำเป็นท่อน้ำซึม โดยอุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 160-205 องศาเซลเซียสซึ่งอัตราการซึมผ่านของน้ำจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมของ Pellet และอุณหภูมิที่หัวตายน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E. Kowalska และ Z. Wielgosz¹¹ ได้ศึกษาการทำท่อโดยใช้ผงยางจากเศษยางรถยนต์ซึ่งมีขนาด 40 และ 80 mesh มาผสมกับพอลิเอทิลีน (ไม่ระบุชนิด) โดยใช้สารให้ฟอง และสารช่วยผสม พบว่าขนาดของผงยางจากเศษยางรถยนต์ที่ลดลง จะทำให้ Uniform structure ของท่อลดลง และความหนาแน่นลดลงด้วย นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณพอลิเอทิลีนทำให้ความหนาแน่นมีค่าลดลง ส่วนการเพิ่มปริมาณสารให้ฟองจะทำให้สมบัติเชิงกลลดลง เมื่อทำการศึกษาอัตราการซึมผ่านจะพบว่ามีค่าสูงสุดที่ปริมาณพอลิเอทิลีนเท่ากับ 35-40 % โดยน้ำหนัก และยังพบว่าอัตราการซึมผ่านของน้ำจะแปรผกผันกับความยาวของท่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตท่อน้ำซึม โดยใช้ผงยางจากเศษยางรถยนต์เป็นองค์ประกอบหลัก และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene, LDPE) ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อม (Binder) โดยมีเอโซไดคาร์โบนาไมด์ (Azodicarbonamide, AZ) ทำหน้าที่เป็นสารให้ฟอง (Blowing agent) งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาดัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติของท่อน้ำซึม เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และลักษณะวิทยา เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

โครงการวิจัยนี้จะทำการศึกษามูลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติของท่อน้ำซึม ได้แก่

1. อัตราส่วนโดยน้ำหนักของผงยางจากเศษยางรถยนต์กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ คือ 50:50, 60:40 และ 70:30
2. ปริมาณของสารให้ฟองที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ เอโซไดคาร์โบนาไมด์ (AZ) คือ 0, 0.5, 1, 2 และ 3%
3. เวลาในการขึ้นรูปด้วยวิธีอัดแบบ (Compression molding) เพื่อหาเวลาที่ผงยางจากเศษยางรถยนต์กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำผสมเข้ากันได้ดี

1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

สมบัติของท่อน้ำซึมที่ทำการศึกษามีดังนี้

1. อัตราการซึมผ่านของน้ำ
2. ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)
3. เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break)
4. ค่ามอดุลัส (Modulus)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ค่าความแข็ง (Hardness)
6. ฐานฐานวิทยา (Morphology)
7. ความหนาแน่น (Density)
8. ความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact strength)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการพิเศษ

1. ทราบถึงอัตราส่วนของผงยางจากยางรถยนต์กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และปริมาณของเอโซไดคาร์โบนาไมด์ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการทำท่อน้ำดื่ม
2. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านเกษตรกรรมได้
3. สามารถใช้ทรัพยากรน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ
4. สามารถลดปริมาณขยะยางที่ใช้แล้ว

1.5 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน

- ขั้นตอนที่ 1 ทบทวนเอกสารการวิจัย
- ขั้นตอนที่ 2 วางแผนการดำเนินการวิจัย จัดซื้อสารเคมีและอุปกรณ์ในงานวิจัย
- ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมที่ใช้ในการผสมผงยางจากเศษยางรถยนต์ที่ใช้แล้วกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ
- ขั้นตอนที่ 4 เปรียบเทียบวิธีการผสมด้วยเครื่องผสมแบบเปิดชนิดสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) กับเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder) และศึกษาเวลาที่เอโซไดคาร์โบนาไมด์ให้ฟองในปริมาณที่สูงที่สุด
- ขั้นตอนที่ 5 ศึกษาอัตราส่วนของผงยางจากเศษยางรถยนต์กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และปริมาณของเอโซไดคาร์โบนาไมด์ที่ให้สมบัติของท่อน้ำดื่มที่เหมาะสม
- ขั้นตอนที่ 6 รวบรวมผลงานวิจัย วิเคราะห์ผลงานวิจัย สรุปผลงานวิจัย พร้อมข้อเสนอแนะ
- ขั้นตอนที่ 7 จัดพิมพ์รูปเล่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดือน ขั้นตอน	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1	██████████											
2		██████████										
3				██████████								
4					██████████							
5						██						
6										██████████		
7											██████████	

1.6 สถานที่ทำการวิจัย

อาคารปฏิบัติการพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ห้องปฏิบัติการเคมี ชั้น 5 คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

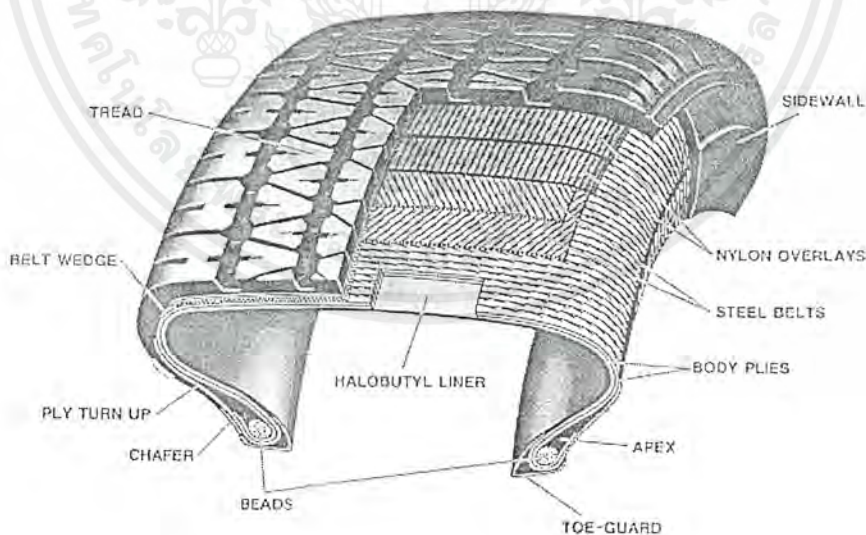
2.1 ยางรถยนต์ (Tires)

ส่วนประกอบของยางรถยนต์แต่ละส่วนจะผลิตจากยางหลายชนิด ขึ้นกับสมบัติของยาง¹² เช่น

- ส่วนของหน้ายาง (Tread) ต้องการยางที่มีความทนทานต่อการขัดสี (Wear resistance) มีความร้อนที่เกิดจากการได้รับแรงอย่างต่อเนื่อง (Heat buildup) ต่ำ จึงเลือกใช้ยางธรรมชาติ (Natural Rubber; NR) ยางอะคริไนด์ไนไตรด์บิวทาไดอีน (Acrylonitrile Butadiene Rubber; NBR)

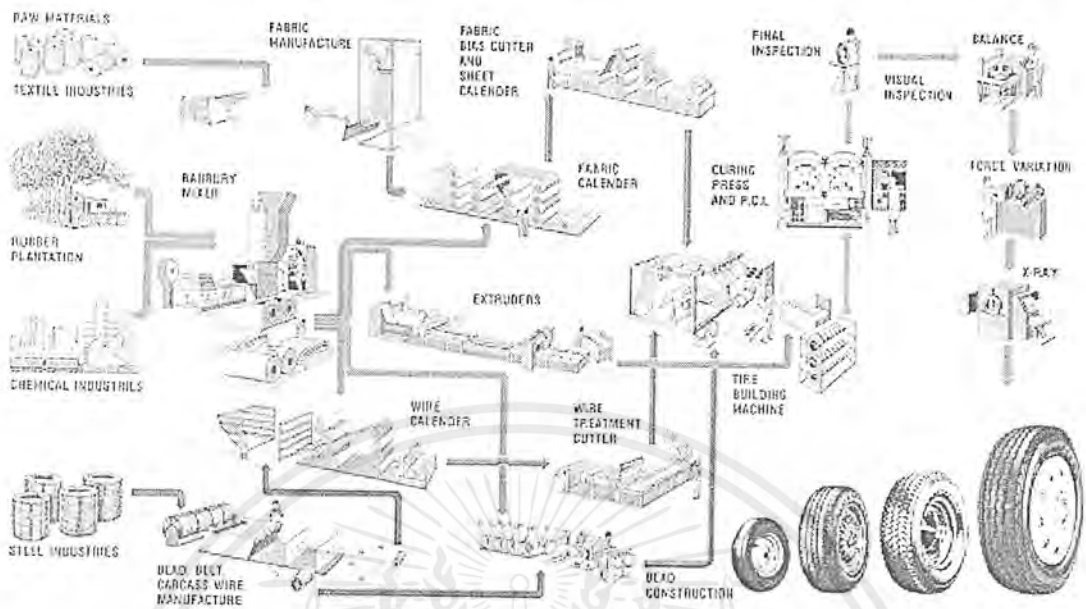
- ส่วนของยางใน (Liner) ต้องการยางที่มีการซึมผ่านของก๊าซ (Gas permeability) ต่ำ จึงเลือกใช้ยางบิวทิล (Butyl Rubber; IIR)

- ส่วนของผนังด้านข้างของยาง (Sidewall) ต้องการยางที่สามารถรับแรงกระแทกได้ดี (Flex resistance) มีฮีสเทอรีซิส (Hysteresis) ต่ำ จึงเลือกใช้ยางธรรมชาติ ยางสไตรีนบิวทาไดอีน (Styrene Butadiene Rubber; SBR) เป็นต้น



รูปที่ 2.1 รูปแสดงส่วนประกอบต่างๆ ของยางรถยนต์¹²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตยางรถยนต์¹²

2.1.1 ผงยางจากเศษยางรถยนต์ (Ground rubber tires, GRT)

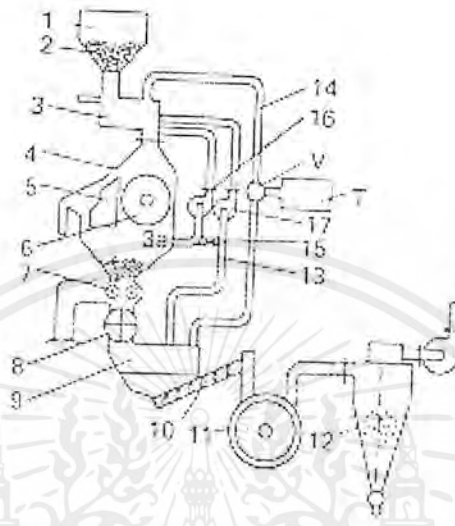
การทำผงยางจากเศษยางรถยนต์นั้นสามารถทำได้ 2 วิธี¹³ คือ

1. การบดที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic Grinding)

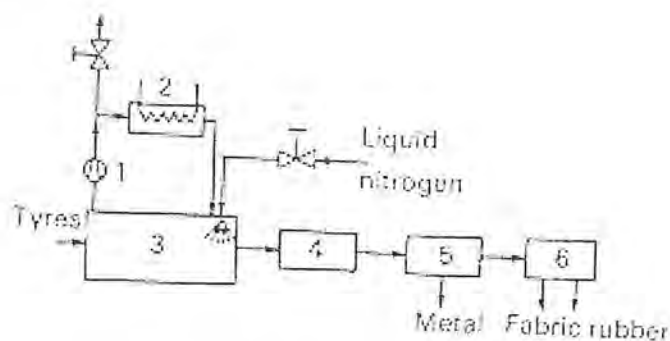
เทคนิคนี้เป็นการแยกยาง โลหะ และสิ่งทอ ออกจากเศษยางรถยนต์ โดยทำการตัดชิ้นยางให้มีขนาด 50-150 มิลลิเมตร แล้วนำมาให้ความเย็นใน Cryogenic chamber ที่อุณหภูมิ -60 ถึง -100 องศาเซลเซียส และทำให้แตกเป็นชิ้นเล็กๆ โดยใช้ Hammer mill ขนาดของเศษยางที่ได้จะมีขนาดเล็กกว่า 19 มิลลิเมตร หลังจากนั้นทำการแยกโลหะออก โดยใช้สนามแม่เหล็ก ในส่วนที่แยกออกมาได้จะมีโลหะ 99 % และมีส่วนที่เป็นยางกับลวด 1 % ส่วนที่ไม่ถูกแยกด้วยสนามแม่เหล็ก จะผ่านเข้าไปสู่ Sifter table ของ Cyclone separator ปฐมภูมิ ซึ่งมีแผ่นแยกขนาดอยู่ 3 แผ่น โดยมีขนาด 1.41-2.38 มิลลิเมตร และ 0.7-0.9 มิลลิเมตร วัสดุที่อยู่ในแผ่นแรกจะถูกนำเข้าสู่เครื่องบด (Grinding mill) และนำกลับเข้าสู่การแยกโดยใช้ Cyclone และวัสดุที่อยู่ในแผ่นที่สอง จะนำไปแยกโดยใช้เครื่องสั่นปฐมภูมิ (First vibration table) ซึ่งจะถูกแยกออกเป็นสองส่วน คือส่วนที่เบาและส่วนที่หนัก โดยส่วนที่เบาจะเข้าสู่เครื่องผสมแบบปิดชนิดลูกกลิ้ง เพื่อทำการแยกให้ลวดออกจากยาง และนำกลับเข้าไปแยกโดย Cyclone อีกครั้ง ส่วนที่หนักจะเข้าสู่การแยกโดยใช้สนามแม่เหล็ก ทำการแยกโลหะออกจากยางบริสุทธิ์ นำยางบริสุทธิ์ที่ได้เข้าสู่ Secondary cryogenic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

chamber ยางที่ได้จะมีขนาดเล็กกว่า 0.127 มิลลิเมตร ส่วนวัสดุในชั้นที่สามจะถูกนำเข้าสู่เครื่องสั่นทุติยภูมิ (Secondary vibration table) และนำกลับเข้ามาแยกขนาด



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างเครื่องบดยางที่อุณหภูมิต่ำ 1. Feed hopper 2. วิตฤติบ - ยางบด
 หยาบ 3. ห้องให้ความเย็นปฐมภูมิ 4. ห้องบดแบบหยาบ 5. ตัวแยก
 (Separator) 6. เครื่องบดแบบหยาบ 7. เครื่องแยกด้วยแม่เหล็ก 8. วาล์ว
 สำหรับป้อนวิตฤติบ 9. ห้องพักหลังให้ความเย็น 10. สกรูน้ำพา 11. ห้องหลัง
 บด 12. ตัวแยกด้วยลมหมุน (Cyclon separator) 13. ท่อนำพาสารให้ความ
 เย็น (N_2) 14. ท่อนำก๊าซเย็นเคลื่อนที่ด้วยพัดลม (16) จากห้องบดไปยังห้องให้
 ความเย็น 15. จุดเชื่อมให้อุณหภูมิของห้องบดและห้องให้ความเย็นมีอุณหภูมิ
 เท่ากัน 16,17. พัดลม¹³

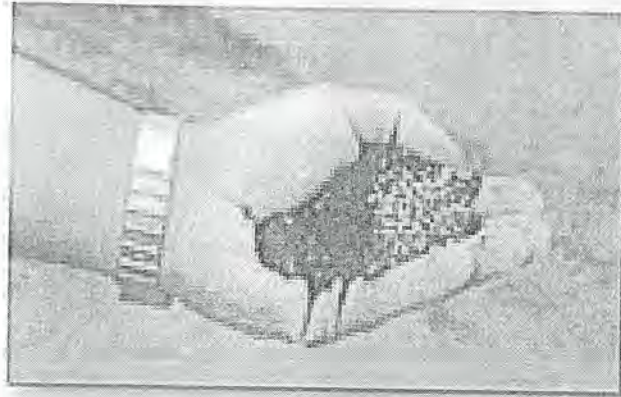


รูปที่ 2.4 แผนผังแสดงตัวอย่างเครื่องบดที่อุณหภูมิต่ำของบริษัท Linde Company 1. คอมเพรสเซอร์ 2. Evaporator 3. อุโมงค์ให้ความเย็น 4. ตัวบด 5. ตัวแยกด้วยสนามแม่เหล็ก 6. เครื่องแยกขนาดและตัวแยกโดยใช้อากาศ¹³

2. การบดที่อุณหภูมิห้อง (Ambient grinding)

เป็นเทคนิคการผลิตผลยางจากยางรถยนต์ใช้แล้วโดยใช้การบดเชิงกลและการแยกขนาดที่อุณหภูมิห้องขบวนการนี้จะทำการตัดยางเป็นชิ้นๆ โดยใช้ Tire splitter จากนั้นทำการบดโดยเครื่องบดที่มีร่องแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll grooved rubber mill) หรือเครื่องบดแบบค้อน (Hammer mill) ส่วนที่เป็นลวดโลหะ (Bead wire) จะถูกแยกออกด้วยมือหรือแม่เหล็ก ส่วนที่เป็นเส้นใยจะถูกแยกออกในระหว่างกระบวนการบด และการแยกขนาดโดยใช้ Air table

เทคนิคนี้จะคล้ายกับเทคนิคการบดที่อุณหภูมิต่ำ ต่างกันที่ไม่ต้องใช้ไนโตรเจนเหลว เพื่อให้ยางมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้ว (T_g) เทคนิคนี้จะให้ยางที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า พื้นที่ผิวน้อยกว่า และมีการกระจายของขนาดมากกว่า ในเทคนิคการบดที่อุณหภูมิห้องนี้ ถ้าต้องการให้ได้อนุภาคยางที่มีขนาดเล็กสามารถทำได้โดยเพิ่มขั้นตอนกระบวนการบดหลายๆ ครั้ง เพื่อลดขนาดอนุภาค



รูปที่ 2.5 ผงยางจากเศษยางรถยนต์

2.1.2 ยางรีเคลม

ยางรีเคลมเป็นยางที่ผลิตจากผลิตภัณฑ์ยางที่เสียแล้ว เช่น ยางล้อรถหรือผลิตจากผลิตภัณฑ์ยางที่เสียระหว่างกระบวนการผลิต ยางเหล่านี้เป็นยางที่คงรูปแล้ว (Valcanised) ซึ่งการนำไปผลิตเป็นยางรีเคลม จะมีขั้นตอนการกำจัดวัสดุอื่นๆ ที่ไม่ใช่ยาง เช่น โลหะ เส้นใยต่างๆ ออกก่อน ทำโดยการให้ความร้อนกับยางคงรูปที่อุณหภูมิประมาณ 200-250 องศาเซลเซียส เป็นเวลาหลายชั่วโมง สามารถทำใหยางเปลี่ยนสภาพทางเคมี (Depolymerise) เป็นวัตถุดิบยางที่เรียกว่า "ยางรี-เคลม" ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้ เช่นเดียวกับยางสภาพใหม่ที่ไม่ได้ผ่านการใช้งานมาก่อน

การทำยางรีเคลมสามารถทำได้จากทั้งผลิตภัณฑ์ที่ใช้ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ สารเคมีที่ใช้ในการช่วยระหว่างบดยางรีเคลม ได้แก่ สารเคมีกลุ่ม Peptising agents เช่น Pentachlorothiophenol (PCTP), Zinc salts (ZnPCTP), Dibenzamidediphenyl disulphide โดยเฉพาะ PCTP ใช้ได้ดีกับยางคงรูปจาก SBR และ NBR และ ZnPCTP ใช้เหมาะสมกับยางคงรูปจากยางธรรมชาติ และยาง IR นอกจากนี้ยังอาจใช้ Reclaim oil เช่น Mineral oil ร่วมกับ Resins และสาร Peptising agents ข้างต้น

ตัวอย่าง สัดส่วนปริมาณการใช้สาร Reclaiming agent

NR waste : 2 wt% ZnPCTP + 2 wt% resin oil

SBR, NBR waste : 2 - 2.5 wt% o,o' dibenzamidediphenylsulphide or
disulphide + 3 - 5 wt% colophonyl + 5 - 10 wt%
plasticizer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำยางรีเคลมไปใช้ประโยชน์สามารถใช้ได้อย่างกว้างขวางในด้านการผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่มีคุณภาพไม่สูงนัก ซึ่งอาจใช้ร่วมกับยางใหม่หรือใช้ยางรีเคลมล้วนๆ และยังสามารทำให้ข้อได้เปรียบด้านราคา ต้นทุนการผลิต

ผลของขนาดอนุภาคผงยางจากเศษยางรถยนต์ที่มีต่อสมบัติต่างๆ

โดยทั่วไปแล้วพบว่าค่าความแข็งแรงดึงจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณการใส่ผงยางจากเศษยางรถยนต์และเพิ่มขนาดของอนุภาคผงยางจากเศษยางรถยนต์ ส่วนค่า Fatigue strength ของยางที่ใส่ผงยางจากเศษยางรถยนต์จะมากกว่าที่ไม่ได้ใส่ ผงยางจากเศษยางรถยนต์ 25 ส่วนในยาง 100 ส่วนจะให้ Fatigue strength สูงสุด โดยเฉพาะกับยางสไตรีนบิวทาไดอีน ถ้ากรณีของยางไนไตรด์ที่ตกผลึก Fatigue strength จะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณผงยางจากเศษยางรถยนต์

ได้มีผู้ทำการวิจัย¹³พบว่าขนาดของอนุภาคผงยางจากเศษยางรถยนต์ยิ่งเล็กยิ่งทำให้ยางมีสมบัติที่ดีขึ้น จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของยางสไตรีนบิวทาไดอีนผสมกับผงยางจากเศษยางรถยนต์พบว่าการเสียดสีของยางที่เกิดที่ระหว่างอนุภาคผงยางจากเศษยางรถยนต์กับเมทริกซ์ (Matrix) โดยผงยางแทบไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง เมื่อขนาดของผงยางจากเศษยางรถยนต์ลดลงจะทำให้พื้นผิวของพอลิเมอร์ผสมเรียบขึ้นเนื่องจากการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนมีน้อยลง สมบัติเชิงกลของยางที่เติมผงยางจากเศษยางรถยนต์ที่มีพื้นที่ผิวมากจะมีสมบัติที่ดีกว่าและมีเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดสูงกว่า มีข้อเสนอแนะคือการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติดีขนาดของผงยางจากเศษยางรถยนต์ไม่ควรเกิน 500 ไมครอน

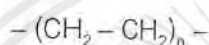
นักวิจัยชาวโปแลนด์ศึกษาผงยางจากเศษยางรถยนต์แบบแช่แข็งขนาด 0.3, 0.49, 0.75 และ 1.02 ไมครอน ปริมาณ 0-30 ส่วนโดยน้ำหนักกับหน้ายางไนไตรด์, SKD and SKS พบว่าผงยางจากเศษยางรถยนต์มีผลต่อ Dynamic properties และความทนทานต่อการขัดถู ความแข็งแรงและเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ถ้าขนาดของผงยางจากเศษยางรถยนต์ต่ำกว่า 0.49 มิลลิเมตร พบว่าปริมาณการเติมที่ให้ผลดีที่สุดอยู่ในช่วง 5-10 ส่วนในยาง 100 ส่วน

การผสมมีผลต่อการลดลงของขนาดอนุภาคผงยางจากเศษยางรถยนต์ โดยเมื่อเพิ่มความเร็วรอบสูงขึ้นขนาดอนุภาคจะเล็กลง เมื่อเมทริกซ์ (Matrix) แข็งกว่าส่วนกระจายตัว (Disperse phase)

2.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene, LDPE)

พอลิเมอร์ที่นำมาทำท่อจำเป็นต้องมีความหนืดที่เหมาะสมขณะขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหมุน (Extruder) มีความแข็งแรงพอที่จะทนแรงต่างๆ ในขณะใช้งาน เช่น แรงดันของน้ำในท่อ เป็นต้น พอลิเมอร์ที่นิยมใช้ ได้แก่ พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride, PVC) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High Density Polyethylene, HDPE) พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene, LDPE) และพอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP)

พอลิเอทิลีนจัดเป็นพอลิโอเลฟินชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่เตรียมได้จากเอทิลีนอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนแบบไม่อิ่มตัว (Unsaturated aliphatic hydrocarbon) สูตรโครงสร้างของพอลิเอทิลีน เป็นดังนี้



พอลิเอทิลีนที่ผลิตขึ้นในทางการค้าครั้งแรกในปี ค.ศ. 1939 เป็นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ เรียกว่า พอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene, LDPE) พอลิเอทิลีนถูกค้นพบขึ้นเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1933 โดย ฟาเซตต์และยิบสัน (Fawcett and Gibson) ที่บริษัทไอซีไอ (Imperial Chemical Industries Ltd; ICI) ประเทศอังกฤษ โดยการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับปฏิกิริยาเคมีที่ความดันสูงๆ และได้ค้นพบพอลิเอทิลีนโดยบังเอิญจากปฏิกิริยาของเอทิลีนกับเบนซิลดีไฮด์ ภายใต้ความดันบรรยากาศหลายพันบรรยากาศ ปัจจุบันมีการผลิตพอลิเอทิลีนให้เหมาะสมกับการใช้งานมีทั้ง High Density Polyethylene (HDPE) และ Linear Low Density Polyethylene (LLDPE) และ Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UMWPE)

ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน เพื่อเตรียมพอลิเอทิลีนโดยปฏิกิริยารวมตัว ดังสมการ



พอลิเอทิลีนจัดเป็นพลาสติกจำพวกเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) และมีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) ประมาณ -130 ถึง 60 องศาเซลเซียส พอลิเอทิลีนจึงมีลักษณะทั้งยืดหยุ่นและแข็งที่สภาวะปกติ สำหรับอุณหภูมิหลอมเหลว (Melting temperature, T_m) ของพอลิเอทิลีนมีค่าประมาณ 108-133 องศาเซลเซียส

ตามมาตรฐาน ASTM D1248 ที่กล่าวถึงพอลิเอทิลีนมาตรฐาน และแบ่งประเภทโดยมีตัวแปร 4 ประการ คือ ประเภท (Types) ชั้น (Classes) ลำดับชั้นย่อย (Categories) และชนิด (Grades)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การแยกตามประเภท (Types)

การแบ่งประเภทเป็นตัวอย่างที่ตัวแรก ซึ่งแบ่งโดยใช้ความหนาแน่นเป็นเกณฑ์ เนื่องจากความหนาแน่นมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพอย่างมาก ทำให้เกิดคุณสมบัติที่แตกต่างกัน เช่น ความแข็งแรง ความใส ความทนทานต่อแรงกระแทก ทำให้การใช้งานแตกต่างกันไปด้วย

ตามมาตรฐาน ASTM สามารถแบ่งประเภทพอลิเอทิลีนออกตามความหนาแน่นได้ 4 ประเภท ดังนี้

ประเภท	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	
1	0.910 – 0.925	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ
2	0.926 – 0.940	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นปานกลาง
3	0.941 – 0.959	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง
4	0.960	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมาก

นอกจากนี้อาจมีการเพิ่มประเภท 0 ซึ่งเป็นพอลิเอทิลีนที่มีความหนาแน่นต่ำกว่า 0.91 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

2. การแยกตามชั้น (Classes)

การแบ่งชั้นเป็นการย่อยจากประเภท จะอาศัยส่วนประกอบของเม็ดและการใช้งาน การจัดชั้นมี 3 ชั้น ดังนี้

ชั้น A จะเป็นสีธรรมชาติของเม็ด ไม่มีสีใดๆ การใช้งานจะเป็นงานทั่วๆไป และงานที่ต้องการความเป็นฉนวนไฟฟ้า ส่วนการหน่วงการเกิดออกซิเดชัน และสารเติมแต่งอื่นๆ จะมีหรือไม่ขึ้นอยู่กับข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย

ชั้น B พลาสติกมีการเติมสีขาวและสีดำ การใช้งานจะใช้งานทั่วไป และงานที่ต้องการความเป็นฉนวนไฟฟ้า ส่วนการหน่วงการเกิดออกซิเดชัน และสารเติมแต่ง ขึ้นอยู่กับข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย

ชั้น C เป็นพลาสติกที่เติมสีดำ (เขม่าดำ) ไม่น้อยกว่า 2% การใช้งานจะใช้กับงานที่ต้องการความคงทนจากสภาวะแวดล้อมในอากาศ ส่วนสารเติมแต่งและสารหน่วงการเกิดออกซิเดชัน ขึ้นอยู่กับข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย

จากชั้นทั้งสามชั้น เราสามารถแบ่งย่อยเป็นลำดับชั้นย่อยตามดรชนีการไหลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การแยกตามลำดับชั้นย่อย (Catagories)

ลำดับชั้นย่อย	ดรรชนีการไหล (กรัมต่อ 10 นาที) ที่ 190 องศาเซลเซียส 2160 กรัมต่อน้ำหนัก
1	> 25
2	> 10 – 25
3	> 1.0 – 10
4	> 0.4 – 1.0
5	0.4 สูงสุด

ในประเภท 2 และ 3 ซึ่งน้ำหนักโมเลกุลสูงและสูงมาก ไม่สามารถแบ่งลำดับย่อยได้ด้วยดรรชนีการไหล ควรใช้การวัดความหนืดของการละลายแทน

4. การแยกตามชนิด (Grades)

การแบ่งเกรด เป็นการระบุรายละเอียดของสมบัติทางกายภาพต่างๆ ซึ่งอาจมีการระบุใช้ในอนาคต

พอลิเอทิลีน มีสมบัติที่สำคัญๆ ดังนี้

1. เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีเหมาะสำหรับหุ้มสายไฟฟ้า
2. การละลาย โดยปกติจะไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส จะเริ่มละลายได้
3. พวกที่มีความหนาแน่นต่ำจะใสมาก แต่จะขุ่นเมื่อมีความหนาแน่นสูง
4. ทนทานต่อกรดและเบส
5. ทนความชื้น
6. ความเหนียวและทนทานต่อแรงดึงปานกลาง
7. ราคาถูก
8. ขึ้นรูปใช้งานได้โดยกระบวนการทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene) มีสมบัติทั่วไปดังนี้

1. ลักษณะ เป็นเม็ดขาวขุ่น หรือ อาจใสตั้งแต่อ่อนไปจนถึงเข้ม ผิวอ่อน
2. สมบัติ ความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำ มีความเหนียวแต่ทนแรงดึงปานกลาง ความเป็นฉนวนดี มีความทนทานต่อสารเคมีหรือเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมี ไม่ละลายในตัวทำละลายจำพวกไฮโดรคาร์บอนและคลอริเนตเตดไฮโดรคาร์บอน เช่น โทลูอีน (Toluene) ไซลีน (Xylene) เป็นต้น ที่อุณหภูมิปกติ ทนทานต่อการกัดและเบส และยังป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดี แต่ไม่สามารถทนทานต่อสภาวะอากาศต่างๆ ไปได้ แต่สามารถแก้ไขด้วยการเติม UV – Stabilizer ลงไป เพื่อให้สามารถใช้งานกลางแจ้งได้และทนทานความร้อนได้ อุณหภูมิใช้งาน 60 – 80 องศาเซลเซียส
3. การผลิต โดยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบอนุมูลอิสระ โดยใช้ออกซิเจน (Oxygen) หรือเบนโซเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide) หรือเอโซบิสไอโซบิวทิลโรไนไตรล์ (Azobisisobutyronitrile, AIBN) เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา ความร้อนที่คายออกทำให้ได้ผลผลิตต่ำ กระบวนการนี้จะต้องทำในเตาปฏิกรณ์ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันอย่างรวดเร็ว และเกิดปฏิกิริยาคายความร้อนสูงมาก LDPE มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 6000-40000

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงสมบัติบางประการของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

สมบัติ	LDPE
Specific Gravity	0.91 – 0.93
Crystallinity %	50 – 70
Melt Temperature (° C)	98 – 120
Tensile Strength (MPa)	4.1 – 16
Tensile Modulus (GPa)	0.10 – 0.26
Elongation to break %	90 – 800
Impact Strength	no break
Heat Deflection Temperature (° C)	38 - 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 เอโซไดคาร์โบนาไมด์ (Azodicarbonamide)

เอโซไดคาร์โบนาไมด์ทำหน้าที่เป็นสารทำให้เกิดฟอง (Blowing agent) คือสารที่ให้ก๊าซและสร้างช่องว่างที่เป็นก๊าซ (Gas pocket) ในวัสดุพอลิเมอร์ สารที่ทำให้เกิดฟองสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ "

1. สารที่ทำให้เกิดฟองทางกายภาพ (Physical blowing agent) จะสามารถเกิดฟองก๊าซได้โดยผ่านกระบวนการเปลี่ยนสถานะ เช่น ของเหลวที่ถูกทำให้ระเหยจะกลายเป็นก๊าซแทรกตัวเข้าไปในพอลิเมอร์ ภายใต้ความดันสูง

2. สารที่ทำให้เกิดฟองทางเคมี (Chemical blowing agent) จะสามารถทำให้เกิดฟองก๊าซจากปฏิกิริยาการสลายตัวทางความร้อน (Thermal decomposition)

สารที่ทำให้เกิดฟองควรมีสมบัติ ดังนี้

1. มีความเสถียรในสภาวะการใช้งานปกติ
2. เกิดฟองก๊าซในเวลาและอุณหภูมิที่ต้องการ
3. มีความเป็นพิษน้อย
4. ไม่มีผลกระทบต่อความเสถียรของกระบวนการผลิตและสมบัติของพอลิเมอร์
5. สามารถผลิตฟองก๊าซได้ในขนาดที่เท่าๆ กัน

ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้เอโซไดคาร์โบนาไมด์ ซึ่งจัดเป็นสารที่ทำให้เกิดฟองทางเคมีที่นิยมใช้กันมากที่สุด โดยอุณหภูมิที่เอโซไดคาร์โบนาไมด์จะเกิดการสลายตัวให้ฟองก๊าซ อยู่ในช่วง 195-216 องศาเซลเซียส จะสามารถให้ก๊าซประมาณ 220 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ซึ่งเอโซไดคาร์โบนาไมด์จะไม่เป็นพิษ ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนสี ไม่ทำให้เกิดการเผาไหม้ สามารถทำให้เกิดการสลายตัวได้ง่าย โดยอนุภาคขนาดเล็กจะสลายตัวได้เร็วกว่าอนุภาคขนาดใหญ่

ปฏิกิริยาการสลายตัวของเอโซไดคาร์โบนาไมด์



ที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เอโซไดคาร์โบนาไมด์จะผลิตก๊าซออกมาประมาณ 32% โดยประกอบด้วย ก๊าซไนโตรเจน 65% ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ 31.5% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 3.5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและเครื่องมือ (Chemicals and Instruments)

3.1.1 สารเคมี

1. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene, LDPE) บริษัท Thai Petrochemical Industry Co.,Ltd.(TPI)

ตารางที่ 3.1 แสดงสมบัติของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ใช้ในการทดลอง

สมบัติ	หน่วย	ค่า
ดัชนีการไหลที่ 2.16 กิโลกรัม 190 องศาเซลเซียส	g/10min	0.5
ความหนาแน่น	g/cm ³	0.922
ความแข็งแรงดึงที่จุดขาด	MPa	>11
ความแข็งแรงดึงที่จุดคราก	MPa	>11
เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด	%	>600
อุณหภูมิอ่อนตัว	°C	95
อุณหภูมิขึ้นรูป	°C	170-210

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

2. ผงยางจากเศษยางรถยนต์ขนาด 20 เมส (Ground rubber tire, GRT) ชนิดบดที่อุณหภูมิห้อง (Ambient Grinding) บริษัท Saeng Thai Rubber Factory Co.,Ltd.
3. เอโซไดคาร์โบนาไมด์ (Azodicarbonamide, AZ) บริษัท Dongjin Chemical Co.,Ltd.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงสมบัติของเอโซไดคาร์บอนาไมด์ที่ใช้ในการทดลอง

สมบัติ	ค่า
ชื่อเคมี	Azodicarbonamide (Azobisformamide)
สูตรโครงสร้าง	$H_2N-CO-N=CO-NH_2$
ลักษณะ	ผงสีเหลือง
อุณหภูมิการสลายตัว	202-206 °C
ปริมาตรก๊าซที่ให้	225-250 cm ³
ความถ่วงจำเพาะ	1.65
ความร้อนจำเพาะ	0.26
พี เอช (pH)	6-8
น้ำหนักโมเลกุล	116.08
ความร้อนจากการสลายตัว	10 KCal/mol
ปริมาณความชื้น	max 0.3%

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

3.1.2 เครื่องมือ

1. เครื่องบราเบนเดอร์พลาสติกคอร์ดเดอร์ (Brabender Plasticorder) ซึ่งมี โรเตอร์ในห้องผสมแบบหมุนสวนทางกัน บริษัท Brabender
2. เครื่องผสมแบบเปิดชนิดสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) บริษัท NEMA 600
3. เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว (Single - screw extruder) บริษัท Axon ab
4. เครื่องอัดแบบชนิดอัด (Compression molding)
5. เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Tensile testing machine) บริษัท LLOYD LR30K
6. เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงกระแทก (Impact tester) บริษัท Yazuda
7. เครื่องวัดค่าความแข็ง (Shore A Hardness Tester)
8. เครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential scanning calorimeter, DSC) บริษัท Shimadzu
9. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด (Scanning Electron Microscope, SEM) บริษัท JEOL JSM 6200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. กล้องถ่ายภาพ
11. เครื่องหาความหนาแน่น

3.2 ขั้นตอนการวิจัย (Experimental)

- 3.2.1 ศึกษาหาพื้นที่ผิวของอนุภาคผงยางจากเศษยางรถยนต์
ขั้นตอนการทดลอง
 - 1) นำผงยางขนาดไม่เกิน 0.05 mg มาทำการขจัดความชื้นที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง
 - 2) จากนั้นนำหลอดทดลองที่บรรจุ GRT ไปทำการทดสอบการ Absorb Nitrogen (N_2) ที่ความดันต่างๆ
 - 2.1 นำหลอดทดลองไปเข้าเครื่องทดสอบ โดยจุ่มหลอดทดลองลงในไนโตรเจนเหลว (Liquid Nitrogen)
 - 2.2 ทำการบันทึกการ Adsorb ของก๊าซไนโตรเจนที่ความดันต่างๆ
- 3.2.2 การหาเวลาที่เหมาะสมในการผสมผงยางจากเศษยางรถยนต์กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและเอโซไดคาร์โบนาไมด์
 1. ตั้งสภาวะของเครื่องบราเวนเดอร์ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ความเร็วในการหมุน 50 รอบต่อนาที เติมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ 50 กรัม หาเวลาที่ทำให้ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำหลอมเหลวหมด โดยสังเกตค่าทอร์ก (Torque) ที่ลดลงมาอยู่ในระดับคงที่
 2. ตั้งสภาวะของเครื่องบราเวนเดอร์ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ความเร็วในการหมุน 50 รอบต่อนาที เติมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ 25 กรัม โดยใช้เวลาในการในหลอมเท่ากับเวลาที่ได้จากการหลอมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในข้อที่ 1 จากนั้น เติมผงยางจากเศษยางรถยนต์ 25 กรัมและเอโซไดคาร์โบนาไมด์ 0.5 กรัมลงไป หาเวลาที่ทำให้พอลิเมอร์กับผงยางจากเศษยางรถยนต์ผสมเข้ากันได้ดี โดยสังเกตจากค่าทอร์กที่คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการทดลองในข้อ 2 ซ้ำ โดยเปลี่ยนสูตรผสมเป็นดังนี้

ตารางที่ 3.3 แสดงส่วนผสมในการทดสอบหาเวลาที่เหมาะสมในการผสม

สูตร	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) (กรัม)	ผงยางจากเศษยางรถยนต์ (GRT) (กรัม)	เอโซไดคาร์โบนาไมด์ (AZ) (กรัม)
50:50	25	25	0.5
	25	25	1.0
	25	25	1.5
60:40	20	30	0.5
	20	30	1.0
	20	30	1.5
70:30	15	35	0.5
	15	35	1.0
	15	35	1.5

3.2.3 เปรียบเทียบเครื่องมือผสมระหว่างเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งกับเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว

1. ทำการผสมผงยางจากเศษยางรถยนต์กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในอัตราส่วน 60 : 40 และเอโซไดคาร์โบนาไมด์ 3 % ด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง
2. ทำเหมือนข้อ 1 แต่ผสมโดยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว
3. นำไปขึ้นรูปในเครื่องอัดแบบชนิดอัด
4. นำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกล

3.2.4 หาเวลาที่ผงยางจากเศษยางรถยนต์กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำผสมเข้ากันได้ดี

1. ทำการผสมผงยางจากเศษยางรถยนต์กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำในอัตราส่วน 60 : 40 และ เอโซไดคาร์โบนาไมด์ 3 % ด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที และใช้เวลาในการขึ้นรูปต่างกันคือ 2, 3, 4 และ 5 นาที

2. นำชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปไปทดสอบสมบัติเชิงกล

3.2.5 หาอัตราส่วนของผงยางจากเศษยางรถยนต์กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และปริมาณเอโซไดคาร์โบนาไมด์ที่เหมาะสม

1. ทำการผสมผงยางจากเศษยางรถยนต์ (ขนาด 20 เมส) กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และเอโซไดคาร์โบนาไมด์ ในอัตราส่วนต่างๆ ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 แสดงส่วนผสมในการทดสอบหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำท่อน้ำดื่ม

สูตร	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (กรัม)	ผงยางจากเศษยางรถยนต์ (กรัม)	เอโซไดคาร์โบนาไมด์ (กรัม)
50:50	250	250	0
	250	250	2.5
	250	250	5
	250	250	10
	250	250	15
40:60	200	300	0
	200	300	2.5
	200	300	5
	200	300	10
	200	300	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตร	พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (กรัม)	ผงยางจากเศษยางรถยนต์ (กรัม)	เอโซโดคาร์บอนาไมด์ (กรัม)
30:70	150	350	0
	150	350	2.5
	150	350	5
	150	350	10
	150	350	15

ทำการผสมโดยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยวที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที

- นำสูตรผสมที่ได้ไปทำการขึ้นรูป โดยใช้เครื่องอัดแบบชนิดอัด ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสโดยใช้เวลาที่หาได้จากหัวข้อ 3.2.2
- เลือกสูตรผสมไปทำการทดสอบโดยใช้เครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential scanning calorimeter, DSC) สูตรที่ทำทดสอบดังตารางที่ 3.5
- เลือกสูตรผสมไปทำการทดสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด (Scanning Electron Microscope, SEM) สูตรที่ทำทดสอบดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 สูตรผสมที่นำไปทดสอบโดยใช้เครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด

สูตรผสมที่ทำการทดสอบโดยเครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (ยาง:LDPE)	สูตรผสมที่ทำการทดสอบโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด (ยาง:LDPE)
0:100 (AZ 0%)	60:40 (AZ 0%)
50:50 (AZ 0%)	60:40 (AZ 1%)
50:50 (AZ 3%)	60:40 (AZ 3%)
60:40 (AZ 0%)	50:50 (AZ 0%)
70:30 (AZ 0%)	70:30 (AZ 0%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกล ความหนาแน่น
6. นำชิ้นงานไปทดสอบการซึมผ่านของน้ำโดยเครื่องดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 แสดงเครื่องวัดอัตราการซึมผ่านของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาผงยางจากยางรถยนต์ (GRT)

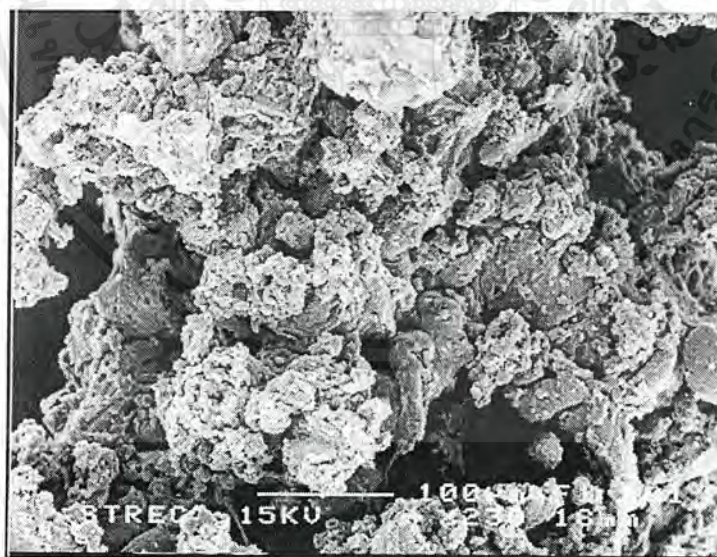
4.1.1 พื้นที่ผิว (Surface Area)

จากการศึกษาผงยางจากยางรถยนต์ (GRT) ที่ได้จากการบดยางรถยนต์ที่ใช้แล้วที่อุณหภูมิห้อง และแยกขนาดด้วยการร่อน ได้ขนาดผงยางเท่ากับ 20 เมส

เมื่อทำการหาพื้นที่ผิวของผงยาง โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนดูดซึมบริเวณพื้นที่ผิวผงยาง (Nitrogen Absorption) ด้วยเครื่อง Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption พบว่าผงยางมีพื้นที่ผิว $96.03 \text{ m}^2/\text{g}$

4.1.2 ลักษณะวิทยา (Morphology)

จากการศึกษาลักษณะวิทยาของผงยางด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.1 – 4.4

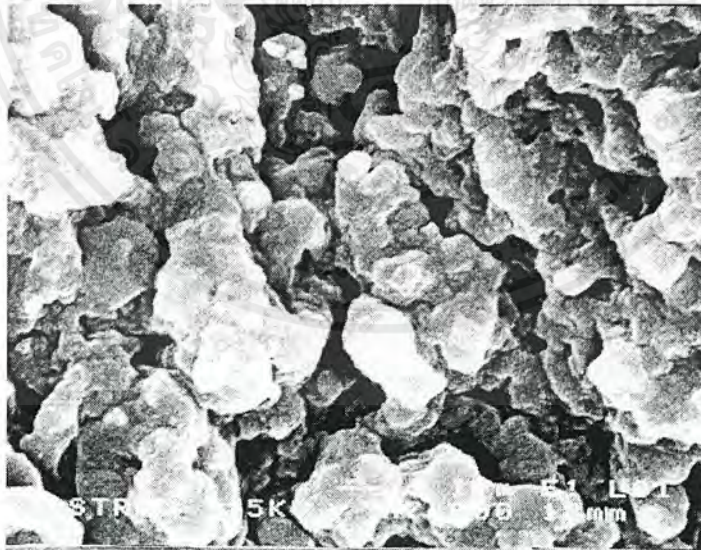


รูปที่ 4.1 SEM Micrograph แสดงลักษณะวิทยาของผงยางจากเศษยางรถยนต์ขนาด 20 เมส ที่กำลังขยาย 230 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

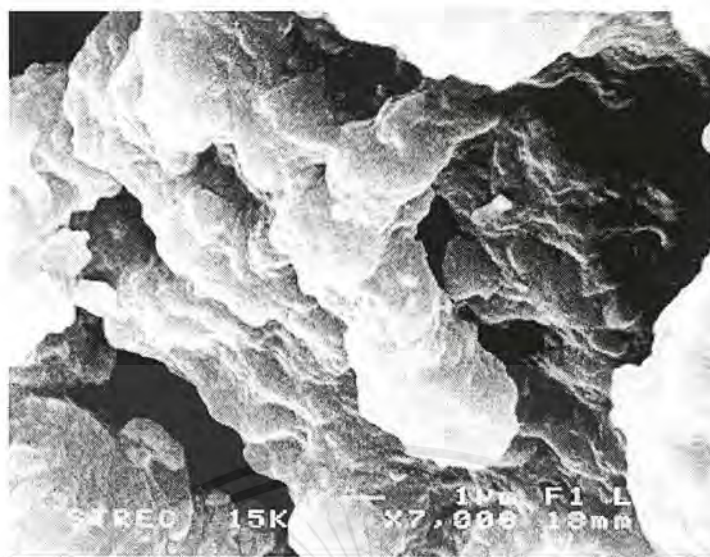


รูปที่ 4.2 SEM Micrograph แสดงลักษณะพื้นฐานวิทยาของผงยางจากเศษยางรถยนต์ขนาด 20 เมส ที่กำลังขยาย 1500 เท่า



รูปที่ 4.3 SEM Micrograph แสดงลักษณะพื้นฐานวิทยาของผงยางจากเศษยางรถยนต์ขนาด 20 เมส ที่กำลังขยาย 7000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 SEM Micrograph แสดงลักษณะรูปร่างของผงยางจากเศษยางรถยนต์ขนาด 20 เมช ที่กำลังขยาย 7000 เท่า

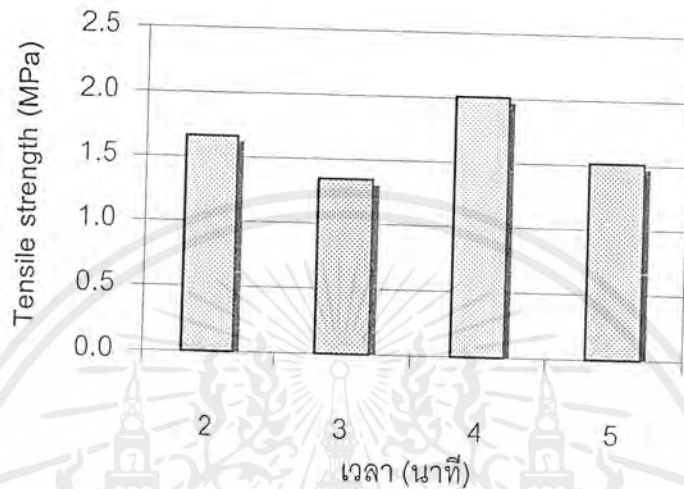
จากรูปที่ 4.1 - 4.4 พบว่าผงยางจากเศษยางรถยนต์มีลักษณะเป็นก้อนกลม มีรูปร่างไม่แน่นอน ติดกันเป็นกลุ่มก้อนใหญ่ (Agglomerate) ขนาด 5-100 μm และมีช่องว่างระหว่างกลุ่มก้อนขนาดต่างๆกัน

4.2 การศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการผสมผงยางจากเศษยางรถยนต์ลงในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (GRT/LDPE)

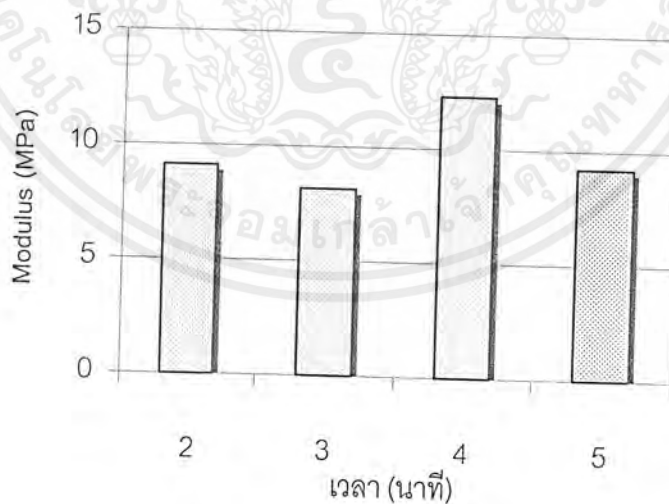
ในการหาเวลาที่เหมาะสมของการผสมผงยางจากเศษยางรถยนต์ลงพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ด้วยเครื่องบราเวนเดอร์พลาสติกคอคเคอร์ พบว่าที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ จะหลอมเหลวหมดที่เวลาประมาณ 4 นาที หลังจากนั้นจึงทำการใส่ผงยางจากเศษยางรถยนต์และผงยางจากเศษยางรถยนต์จะผสมเข้ากันได้ดีกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และมีค่าทอร์คคงที่ที่เวลาประมาณ 8 นาที จากการทดลองพบว่าในสูตรที่มีปริมาณผงยางจากเศษยางรถยนต์มากจะมีค่าทอร์คในบริเวณที่คงที่ต่ำกว่าสูตรที่มีปริมาณผงยางจากเศษยางรถยนต์น้อยทั้งนี้เนื่องจาก GRT มีลักษณะเป็นอนุภาคที่เคลื่อนที่ได้ง่าย ใช้แรงบิดในการผสมน้อย เมื่อใช้ GRT ในปริมาณที่มากขึ้น แรงบิดที่ใช้ในการผสมจะน้อยลง ทอร์คจึงน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดแบบ

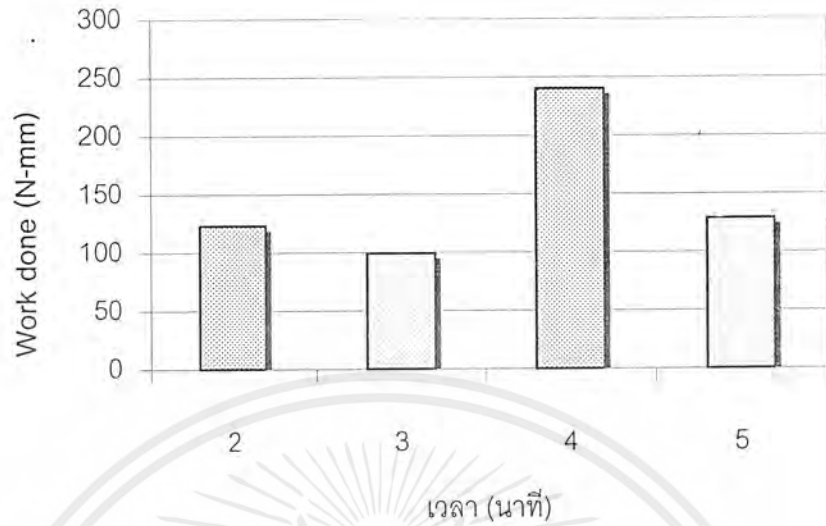


รูปที่ 4.5 แสดงค่าความแข็งแรงดึงของ GRT/LDPE (60:40) โดยมีอัตราส่วน AZ เท่ากับ 3 % เมื่อใช้เวลาในการขึ้นรูป ด้วยเครื่องอัดแบบเปลี่ยนไป

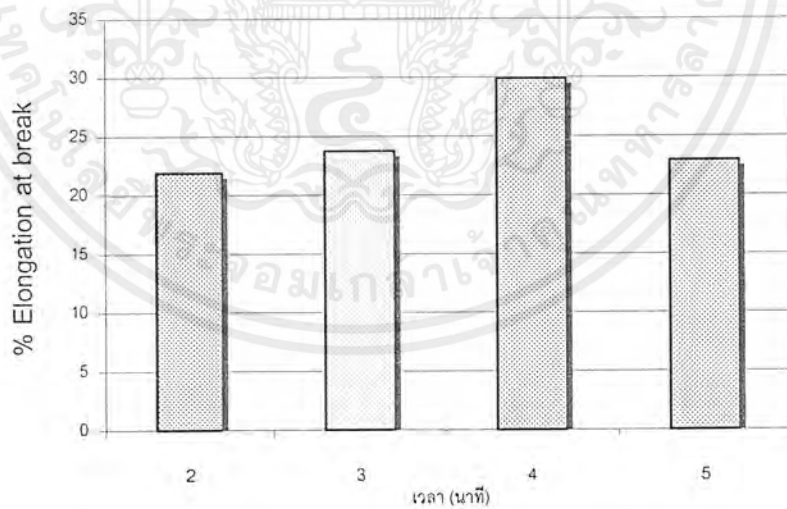


รูปที่ 4.6 แสดงค่ามอดุลัสของ GRT/LDPE (60:40) โดยมีอัตราส่วน AZ เท่ากับ 3 % เมื่อใช้เวลาในการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแบบเปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงค่าพลังงานที่ใช้ในการทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกหักของ GRT/LDPE (60:40) โดยมีอัตราส่วน AZ เท่ากับ 3 % เมื่อใช้เวลาในการขึ้น ด้วยเครื่องอัดแบบเปลี่ยนไป



รูปที่ 4.8 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของ GRT/LDPE (60:40) โดยมีอัตราส่วน AZ เท่ากับ 3 % เมื่อใช้เวลาในการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแบบเปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.5-4.8 พบว่าเวลาที่เหมาะสมในการขึ้นรูปด้วยการอัดแบบไม่มีความแตกต่างกันมากนัก อย่างไรก็ตามการอัดแบบ 4 นาที่จะให้สมบัติเชิงกลมีค่าที่ดีที่สุด ซึ่งแสดงว่าผงยางจากเศษยางรถยนต์ที่ผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ มีความสามารถในการรับแรงและสามารถเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันได้มากที่สุด ที่เวลาน้อยกว่า 4 นาทีนั้น เมื่อเพิ่มเวลาในการอัดแบบจะมีสมบัติเชิงกลสูงขึ้น เนื่องมาจากที่เวลาน้อย พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ยังไม่เกิดการหลอมเหลวอย่างสมบูรณ์ จึงอาจมีบางส่วนที่ยังเป็นของแข็งไม่เกิดการหลอมเหลวเป็นเนื้อเดียวกัน และจากการสังเกตชิ้นงานด้วยตาเปล่า เห็นได้ชัดเจนว่าพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำยังไม่เกิดการหลอมเหลวเป็นเนื้อเดียวกับผงยางจากเศษยางรถยนต์

ที่เวลามากกว่า 4 นาที ชิ้นงานจะมีสมบัติเชิงกลลดลงเช่นกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณฟองก๊าซที่เกิดจากเอโซไดคาร์ไบนาไมด์มีมากขึ้น ทำให้เกิดรูพรุนในของผสมมากเกินไปเป็นผลทำให้ชิ้นงานมีสมบัติเชิงกลลดลง

4.4 เปรียบเทียบวิธีการผสมสูตรระหว่างเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง และเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว

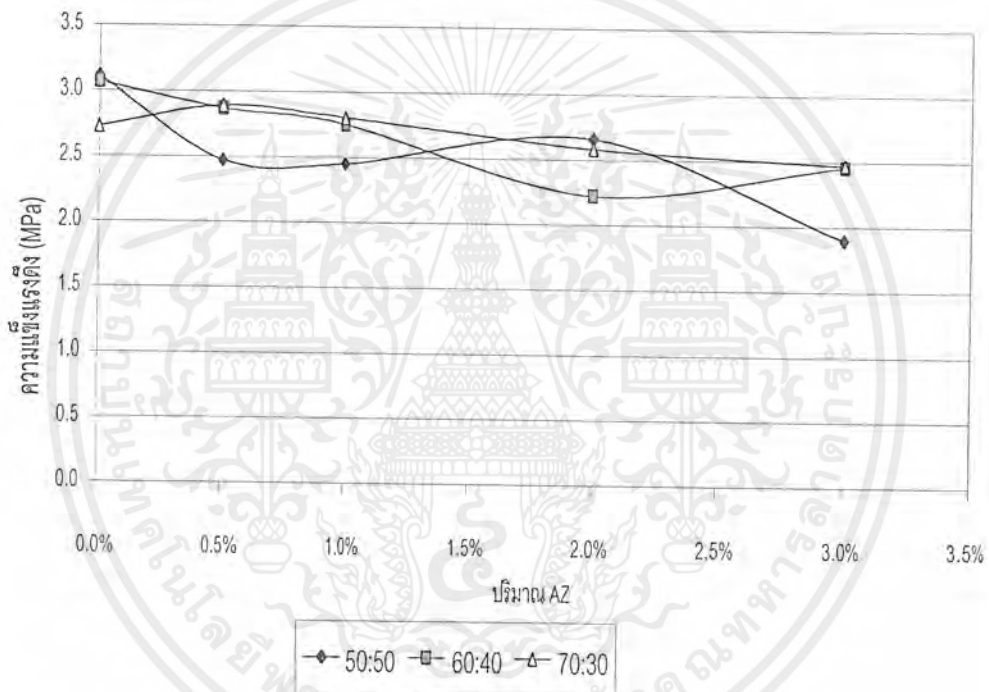
ตารางที่ 4.1 แสดงสมบัติเชิงกลที่แตกต่างกันระหว่างใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งกับเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว

สมบัติเชิงกล	เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง	เครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว
ค่าความแข็งแรงดึง (MPa)	2.01	2.46
ค่ามอดุลัส (MPa)	12.29	8.36
ค่าพลังงานที่ใช้ในการทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกหัก (N-mm)	240.4	424.58
เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%)	29.89	43.12

จากตารางที่ 4.1 พบว่าชิ้นงานที่ทำการผสมด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder) จะมีสมบัติเชิงกลที่สูงกว่าชิ้นงานที่ทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) เนื่องจากเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยวเป็นเครื่องผสมที่มีแรงเฉือน (Shear stress) สูงกว่า ทำให้เกิดการกระจายตัวของผงยางจากเศษยางรถยนต์ในพอลิเอทิลีนชนิดเอกซารีนเป็นเอกสารที่สว่นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

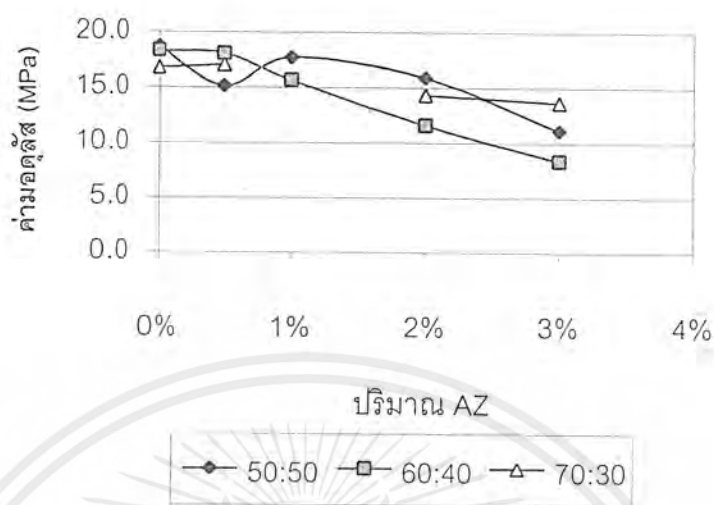
ความหนาแน่นต่ำอย่างสม่ำเสมอ สามารถผสมเข้ากันเป็นเนื้อเดียวกันได้ดี ผงยางจากเศษยางรถยนต์เกาะกันเป็นกลุ่มก้อนน้อยกว่าเมื่อทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง ทำให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่มีสมบัติเชิงกลดีกว่า ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงเลือกใช้เครื่องอัดรีดชนิดเดี่ยวในการผสมพอลิเมอร์ในงานวิจัยส่วนต่อไป

4.5 ศึกษาผลของปริมาณสารให้ฟองที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม GRT/LDPE

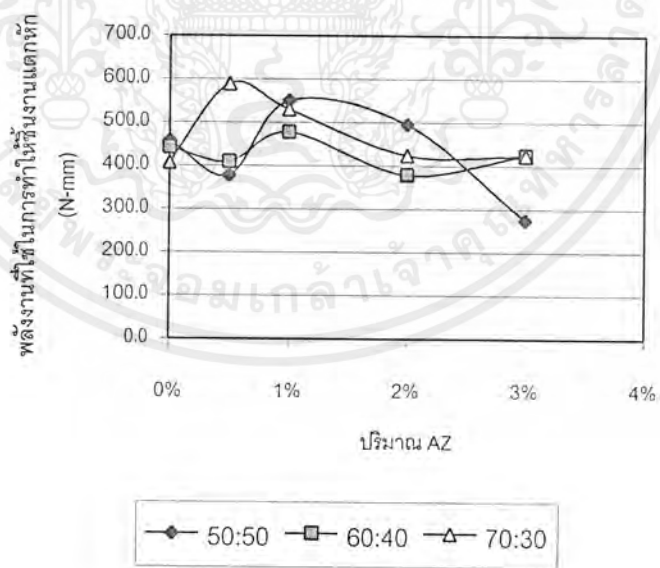


รูปที่ 4.9 แสดงค่าความแข็งแรงดึงของ GRT/LDPE สัดส่วนต่างๆ เมื่อปริมาณเอโซไดคาร์โบนาไมด์เปลี่ยนแปลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

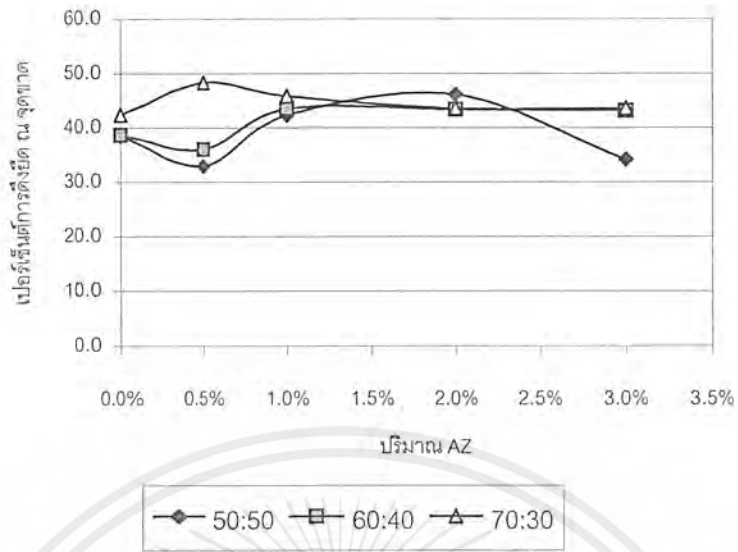


รูปที่ 4.10 แสดงค่ามอดุลัสของ GRT/LDPE สัดส่วนต่างๆ เมื่อปริมาณเอซีไดคาร์บอนาไมด์เปลี่ยนแปลงไป

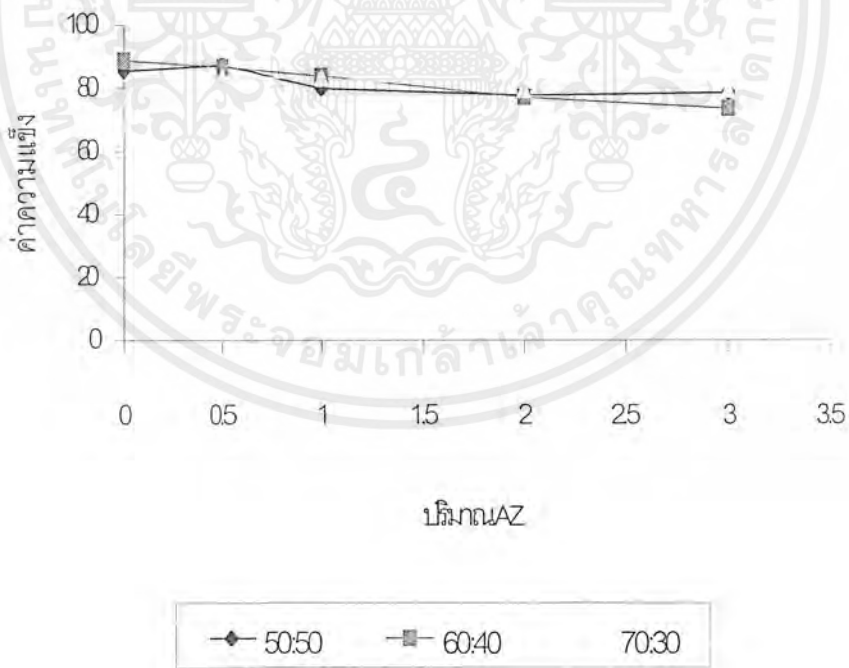


รูปที่ 4.11 แสดงค่าพลังงานที่ใช้ในการทำให้ชั้นงานเกิดการแตกหักของ GRT/LDPE สัดส่วนต่างๆ เมื่อปริมาณเอซีไดคาร์บอนาไมด์เปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดของ GRT/LDPE สัดส่วนต่างๆ เมื่อปริมาณเอซีไดคาร์บอนาไมด์เปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 4.13 แสดงค่าความแข็งแรงของ GRT/LDPE เมื่อปริมาณเอซีไดคาร์บอนาไมด์เปลี่ยนแปลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสม GRT/LDPE พบว่า ค่าสมบัติเชิงกลของ GRT/LDPE สัดส่วนต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก และไม่เป็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดเจน เนื่องจากชิ้นงานมีลักษณะเป็นวัสดุที่มีรูพรุน ทำให้ได้ค่าความแข็งแรงของวัสดุ ได้แก่ ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัส ค่าพลังงานที่ใช้ในการทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกหัก เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด และค่าความแข็งที่ได้มีค่าต่ำ เนื่องมาจากฟองก๊าซที่เกิดจากสารให้ฟองเอโซไดคาร์โบนาไมด์ ซึ่งจะเป็นตำหนิ (Defect) ของชิ้นงาน เมื่อให้แรงดึงชิ้นงานจึงเกิดการแตกหักเสียหายได้ง่าย นอกจากนี้ยังมาจากเศษยางรถยนต์เป็นยางที่ผ่านการเชื่อมโยง (Crosslink) เกิดโครงสร้างร่างแหสามมิติ จึงทำหน้าที่เป็นเสมือนสารเพิ่มเนื้อที่ ไม่มีสมบัติเสริมแรง (Non-reinforcing filler) ดังนั้นการใช้ GRT เต็มใน LDPE จึงทำให้วัสดุที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น และมีสมบัติเชิงกลคงที่หรือลดลง

การที่สมบัติเชิงกลมีค่าน้อยเนื่องมาจากการกระจายตัวที่ไม่ดีของผงยางจากเศษยางรถยนต์ในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำผสมไม่เข้ากันเป็นเนื้อเดียว ผงยางอาจไม่กระจายตัวและจับเป็นกลุ่มก้อน (Agglomerate) ซึ่งทำให้เกิดเป็นตำหนิของชิ้นงานด้วยเช่นกัน

ถึงแม้ว่าสมบัติเชิงกลที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกัน อาจพิจารณาเป็นแนวโน้มได้ว่าอัตราส่วนที่มีพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมาก (ในงานวิจัยนี้ได้แก่อัตราส่วน 50:50 GRT/LDPE) มีแนวโน้มที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า เนื่องมาจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ จะทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์ (Matrix) หรือตัวเชื่อมประสาน (Binder) ระหว่างพอลิเมอร์กับผงยางจากเศษยางรถยนต์ และทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลัก สามารถรับแรงและส่งผ่านแรงไปยังส่วนอื่นๆ เมื่อมีปริมาณพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมาก จะทำให้ชิ้นงานสามารถรับแรงได้มากกว่า

เมื่อศึกษาถึงผลของปริมาณของเอโซไดคาร์โบนาไมด์ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล พบว่าเมื่อปริมาณเอโซไดคาร์โบนาไมด์เพิ่มขึ้น เมื่อทำการขึ้นรูปชิ้นงาน จะมีปริมาณฟองก๊าซเพิ่มขึ้น ดังนั้นชิ้นงานมีรูพรุนมากขึ้น และมีความหนาแน่นลดลง แสดงว่าชิ้นงานมีรอยตำหนิที่ทำให้เกิดการแตกหักและเสียหายเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้มีสมบัติเชิงกลลดลง

4.6 การศึกษาสมบัติทางความร้อนของ GRT/LDPE ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (DSC)

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าอุณหภูมิหลอมเหลว อุณหภูมิตกผลึก และพลังงานความร้อนที่ใช้ในการหลอมผลึก

ส่วนผสม GRT:LDPE	ปริมาณ AZ (%)	อุณหภูมิ		Heat
		อุณหภูมิหลอม เหลว, T_m ($^{\circ}\text{C}$)	อุณหภูมิตกผลึก , T_c ($^{\circ}\text{C}$)	Heat (MJ)
0:100	0	112.4	98.3	-823.334
50:50	0	109.9	96.4	-445.027
50:50	3	108.9	96.3	-419.505
60:40	0	109.5	96.1	-228.845
70:30	0	109	96.1	-219.434

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณความเป็นผลึกของส่วนผสมของยางกับ LDPE ในอัตราส่วนต่างๆ

GRT:LDPE	ปริมาณ AZ (%)	% Crystallinity
50:50	0	54.1
50:50	3	51.0
60:40	0	27.8
70:30	0	26.7

จากตาราง 4.2 และ 4.3 พบว่าปริมาณองศาความเป็นผลึก (% Crystallinity) มีแนวโน้มลดลงเมื่อมีปริมาณยางจากเศษยางรถยนต์ในส่วนผสมมากขึ้น เนื่องจากยางจากเศษยางรถยนต์มีส่วนในการขัดขวางการตกผลึกทำให้พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำไม่สามารถจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบได้เป็นผลให้ปริมาณความเป็นผลึกในชิ้นงานมีค่าลดลง ส่วนอุณหภูมิการหลอมเหลว (T_m) และอุณหภูมิการตกผลึก (T_c) จะมีค่าเท่าเดิม แสดงว่าผลึกที่เกิดเป็นผลึกชนิดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

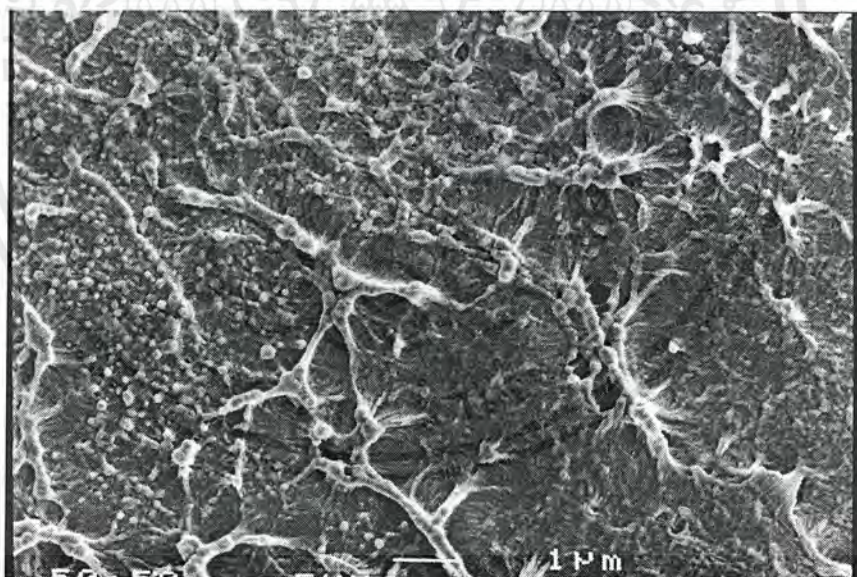
เดียวกันและเกิดจากนิวคลีไอ (nuclei) ประเภทเดียวกันนั้นแสดงว่า GRT ไม่ทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึก (Nucleating agent) และไม่มีส่วนช่วยในการเกิดนิวคลีไอของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ และผลึกที่เกิดขึ้นในชิ้นงานเป็นนิวคลีไอชนิดที่เกิดจากตัวเอง (homogeneous nuclei)

4.7 การศึกษาสัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด (Scanning Electron Microscope, SEM)

จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของ GRT/LDPE อัตราส่วนต่างๆ ที่ใช้ปริมาณ AZ ต่างกัน สามารถให้ข้อมูลต่างๆดังต่อไปนี้

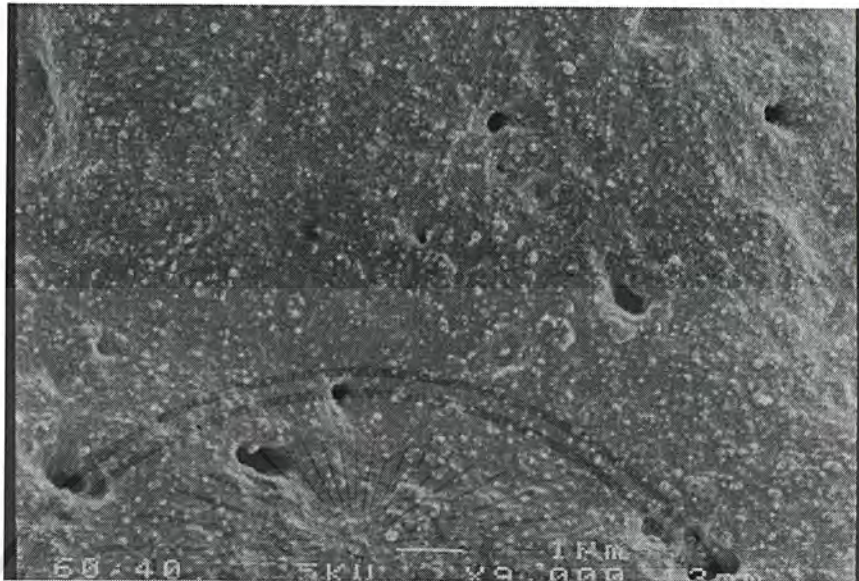
- ขนาดและการกระจายตัวของ GRT ใน LDPE
- ขนาดและการกระจายตัวของรูพรุน
- การยึดติดระหว่าง GRT/LDPE

4.8.1 การศึกษาสัณฐานวิทยาของ GRT/LDPE ที่อัตราส่วนต่างๆ

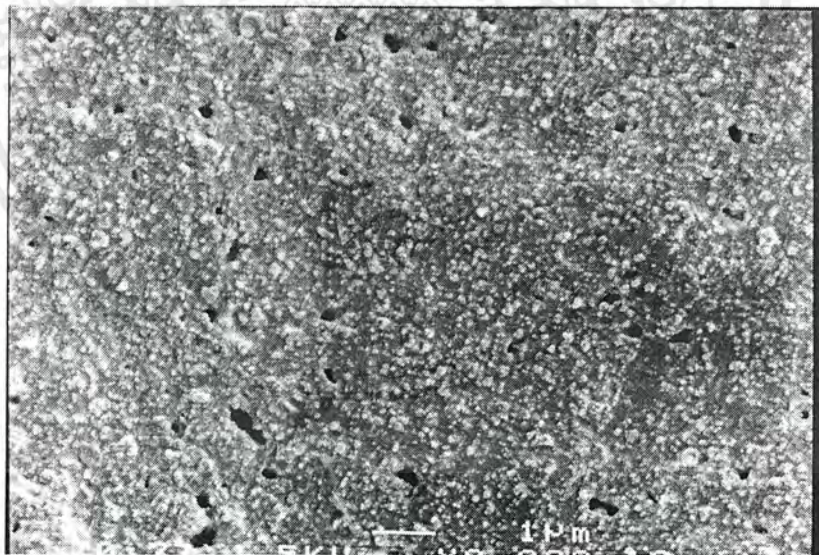


รูปที่ 4.14 SEM Micrograph แสดงสัณฐานวิทยาของ GRT/LDPE ที่อัตราส่วน 50 : 50 (AZ 0%) ที่กำลังขยาย 9000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 SEM Micrograph แสดงลักษณะพื้นผิวของ GRT/LDPE ที่อัตราส่วน 60 : 40 (AZ 0%) ที่กำลังขยาย 9000 เท่า

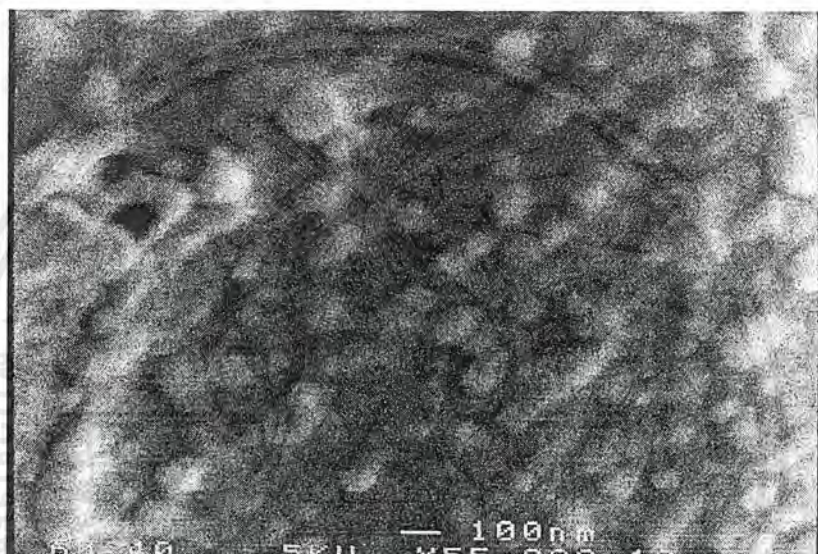


รูปที่ 4.16 SEM Micrograph แสดงลักษณะพื้นผิวของ GRT/LDPE ที่อัตราส่วน 70 : 30 (AZ 0%) ที่กำลังขยาย 9000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.14 - 4.16 พบว่าลักษณะพื้นฐานวิทยาของอัตราส่วนต่างๆ พบว่ามีรูพรุนที่มีขนาดเล็ก ซึ่งเป็นรูที่เกิดจากช่องว่างระหว่าง GRT/LDPE ซึ่งรูพรุนมีรูปร่างค่อนข้างกลม มีขนาดประมาณ $0.2 - 0.4 \mu\text{m}$ และมีระยะห่างระหว่างรูพรุนมาก

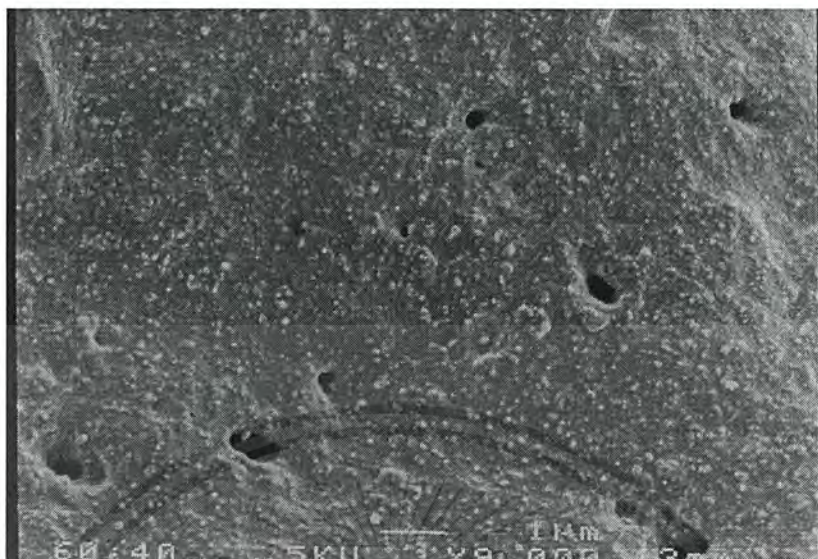
เมื่อทำการเปรียบเทียบผลของอัตราส่วน GRT/LDPE พบว่า เมื่อมีปริมาณ GRT มากขึ้น รูพรุนที่เกิดจากช่องว่างระหว่าง GRT/LDPE ก็จะเพิ่มขึ้น



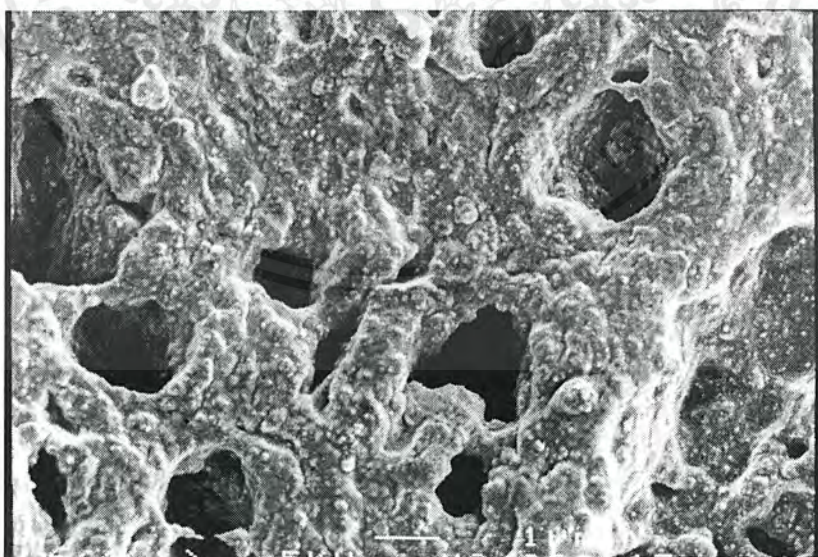
รูปที่ 4.17 SEM Micrograph แสดงลักษณะพื้นฐานวิทยาของ GRT/LDPE ที่อัตราส่วน 60 : 40 (AZ 0%) ที่กำลังขยาย 55000 เท่า

โดยจากการศึกษาอัตราส่วนผสม GRT : LDPE ที่กำลังขยายสูง (50000 เท่า) พบว่า GRT สามารถยึดติดกับ LDPE ได้ดี ไม่พบช่องว่างระหว่าง GRT/LDPE matrix ดังนั้นอาจพิจารณาได้ว่ารูพรุนขนาดเล็กที่เกิดขึ้น เกิดเนื่องมาจากช่องว่างระหว่างอนุภาค GRT agglomerates เนื่องจากใช้ LDPE ในปริมาณน้อย ทำให้ LDPE ที่ทำหน้าที่เป็น (Binder) ไม่สามารถห่อหุ้ม GRT ทั้งหมด จึงเหลือช่องว่างระหว่างอนุภาค GRT

4.8.2 การศึกษาผลของปริมาณ AZ ที่มีต่อสัณฐานวิทยาของ GRT/LDPE

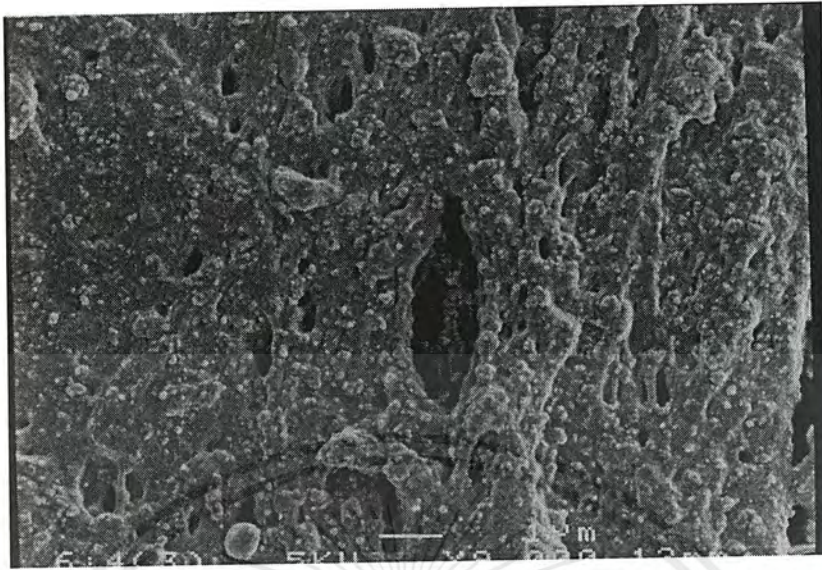


รูปที่ 4.18 SEM Micrograph แสดงสัณฐานวิทยาของ GRT/LDPE ที่อัตราส่วน 60 : 40 โดยมีอัตราส่วน AZ เท่ากับ 0 % ที่กำลังขยาย 9000 เท่า

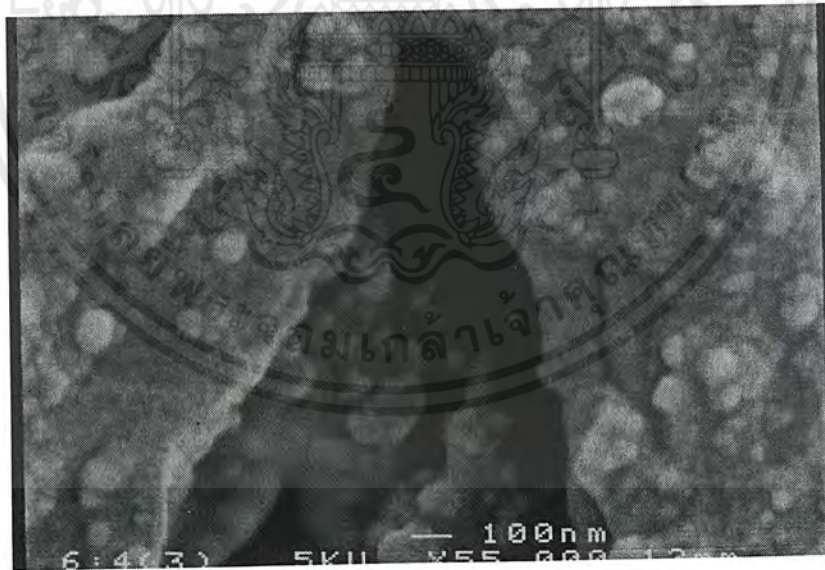


รูปที่ 4.19 SEM Micrograph แสดงสัณฐานวิทยาของ GRT/LDPE ที่อัตราส่วน 60 : 40 โดยมีอัตราส่วน AZ เท่ากับ 1 % ที่กำลังขยาย 9000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 SEM Micrograph แสดงสัณฐานวิทยาของ GRT/LDPE ที่อัตราส่วน 60 : 40 โดยมีอัตราส่วน AZ เท่ากับ 3 % ที่กำลังขยาย 9000 เท่า



รูปที่ 4.21 SEM Micrograph แสดงสัณฐานวิทยาของ GRT/LDPE ที่อัตราส่วน 60 : 40 โดยมีอัตราส่วน AZ เท่ากับ 3 % ที่กำลังขยาย 55000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากหลักฐานวิทยาของ GRT/LDPE ที่มีส่วนผสมของ AZ ในอัตราส่วน 0, 1, 3 % จะพบว่า มีรูพรุนขนาดใหญ่เกิดขึ้น ซึ่งรูพรุนนี้เกิดจากการรวมตัวของฟองก๊าซ มีการกระจายตัวของขนาดมาก มีขนาดตั้งแต่ 1-100 μm และมีรูปร่างที่ไม่แน่นอน ซึ่งคาดว่ารูพรุนนี้เป็นรูพรุนที่น้ำสามารถซึมผ่านได้

4.8 ผลการศึกษาความหนาแน่น

ความหนาแน่นของ LDPE บริสุทธิ์เท่ากับ 0.922 g/cm^3

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความหนาแน่นของ GRT/LDPE ในอัตราส่วนผสมต่างๆ

อัตราส่วนผสม (GRT:LDPE)	ค่าความหนาแน่น (g/cm^3) ที่ปริมาณ AZ ต่างๆกัน				
	AZ 0%	AZ 0.5%	AZ 1%	AZ 2%	AZ 3%
50:50	1.033	0.989	0.922	0.973	0.970
60:40	0.975	0.878	0.874	0.825	0.68
70:30	0.982	0.945	0.927	0.860	0.782

จากผลการทดลองหาค่าความหนาแน่นของ GRT / LDPE ในอัตราส่วนต่างๆกันพบว่าเมื่ออัตราส่วนของ GRT มากขึ้นจะทำให้ค่าความหนาแน่นน้อยลง เนื่องจาก GRT มีลักษณะเป็นอนุภาคและมีช่องว่างระหว่างอนุภาคทำให้เกิดช่องว่างระหว่าง GRT/LDPE ทำให้การจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบทำได้น้อยลงดังนั้นความหนาแน่นของชิ้นงานจึงลดลงและเมื่อทำการเปรียบเทียบชิ้นงานที่อัตราส่วนผสม GRT/LDPE เดียวกัน แต่ปริมาณ AZ ต่างกัน พบว่าเมื่อใส่ปริมาณสารให้ฟอง (AZ) มากขึ้นค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเมื่อใส่ AZ มากจะทำให้เกิดฟองก๊าซที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและมีปริมาณมากขึ้นในชิ้นงานจึงเป็นเหตุให้ค่าความหนาแน่นมีค่าลดลง

4.9 ผลการศึกษาอัตราการซึมผ่านของน้ำ

ตารางที่ 4.5 แสดงอัตราการซึมผ่านของน้ำของอัตราส่วนต่างๆซึ่งมีปริมาณเอโซโดคาร์บอนาไมด์ต่างกัน

อัตราส่วน ยาง:LDPE	ความดัน (bar)	อัตราการซึมผ่านของน้ำเมื่อปริมาณ AZ เปลี่ยนไป (l/hr/m ²)				
		AZ 0%	AZ 0.5%	AZ 1%	AZ 2%	AZ 3%
50:50	1	น้ำไม่ซึม	น้ำไม่ซึม	ขึ้นงานไม่ สมบูรณ์	ขึ้นงานไม่ สมบูรณ์	1.40
	1.25	น้ำไม่ซึม	น้ำไม่ซึม	ขึ้นงานไม่ สมบูรณ์	ขึ้นงานไม่ สมบูรณ์	6.22
60:40	1	0.01	1.15	1.44	น้ำไม่ซึม	น้ำไม่ซึม
	1.25	0.32	10.00	30.40	88.40	109.19
70:30	1	0.38	น้ำไม่ซึม	น้ำไม่ซึม	0.53	5.15
	1.25	2.10	น้ำไม่ซึม	น้ำไม่ซึม	5.70	74.02

จากการศึกษาอัตราการซึมผ่านของน้ำพบว่ามีความแปรปรวนสูงเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของรูพรุนและอาจเนื่องมาจากการขึ้นรูปขึ้นงานแบบอัด (Compression) ทำให้การกระจายตัวของ AZ และ GRT ใน LDPE ไม่ดี เป็นผลให้ขนาดและปริมาณของรูพรุนในวัสดุไม่สม่ำเสมอจึงทำให้ผลการศึกษาอัตราการซึมผ่านของน้ำมีค่าเบี่ยงเบนมาก ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการศึกษาสัณฐานวิทยาของ GRT/LDPE รวมทั้งจากการสังเกตด้วยตาเปล่า อย่างไรก็ตามจากการสังเกตแนวโน้มของผลการทดลองพบว่าในอัตราส่วน GRT/LDPE เดียวกันเมื่อปริมาณ AZ มีมากขึ้นจะทำให้อัตราการซึมผ่านของน้ำมีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก AZ ซึ่งมีหน้าที่เป็นสารให้ฟองจะทำให้เกิดฟองก๊าซขึ้นในขึ้นงานทำให้รูพรุนที่เกิดขึ้นมีมากขึ้นดังนั้นน้ำจึงสามารถซึมผ่านได้มากขึ้น

ผลการศึกษาอัตราการซึมผ่านของน้ำเมื่ออัตราส่วน GRT/LDPE เปลี่ยนแปลงไปพบว่ามีแนวโน้มของการซึมผ่านของน้ำมากขึ้นเมื่อปริมาณ GRT มากขึ้น เนื่องจาก GRT เกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนและ LDPE ซึ่งทำหน้าที่เป็น binder มีปริมาณน้อยทำให้ไม่สามารถห่อหุ้ม GRT ได้ทั้งหมดจึงทำให้เกิดช่องว่างระหว่าง GRT กับ LDPE มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

1. ผงยางจากเศษยางรถยนต์ที่นำมาใช้มีลักษณะเป็นก้อนกลมติดกันเป็นกลุ่มก้อนรูปร่างไม่แน่นอน มีขนาดประมาณ 5-100 μm และมีพื้นที่ผิว 96.03 m^2/g
2. เวลาที่พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำสามารถหลอมได้อย่างสมบูรณ์คือ 4 นาที และเป็นเวลาที่เหมาะสมในการผสมผงยางจากเศษยางรถยนต์ลงในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ส่วนเวลาที่พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำสามารถผสมเข้ากับผงยางจากเศษยางรถยนต์ได้เป็นเนื้อเดียวคือ 4 นาทีหลังจากใส่ผงยางจากเศษยางรถยนต์ลงในพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ อัตราส่วนที่มีปริมาณผงยางจากเศษยางรถยนต์มากจะมีค่าทอร์คที่น้อยกว่าอัตราส่วนที่มีปริมาณผงยางจากเศษยางรถยนต์น้อย
3. สภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดแบบคืออัดแบบที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 นาที
4. การผสมด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวทวนอนเดี่ยวจะให้ชิ้นงานที่มีสมบัติเชิงกลดีกว่าชิ้นงานที่ทำกรผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง
5. อัตราส่วนที่มีปริมาณผงยางจากเศษยางรถยนต์มากจะมีคุณสมบัติเชิงกลลดลงและเมื่อเพิ่มปริมาณสารให้ฟอง (AZ) จะทำให้คุณสมบัติเชิงกลลดลง
6. การเพิ่มปริมาณผงยางจากเศษยางรถยนต์ไม่มีผลทำให้อุณหภูมิหลอมเหลวและอุณหภูมิการตกผลึกเปลี่ยนแปลงแต่มีผลทำให้ปริมาณองศาความเป็นผลึกมีแนวโน้มลดลง
7. ผงยางจากเศษยางรถยนต์กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำสามารถยึดติดกันได้ดีและมีรูพรุนระหว่างผงยางจากเศษยางรถยนต์กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำน้อย โดยรูพรุนที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กประมาณ 0.2-0.4 μm และมีระยะระหว่างรูพรุนมาก ส่วนรูพรุนที่เกิดจากสารให้ฟอง (AZ) จะมีขนาดใหญ่รูปร่างไม่แน่นอนและมีขนาดตั้งแต่ 1-100 μm
8. การเพิ่มปริมาณผงยางจากเศษยางรถยนต์และสารให้ฟองมีแนวโน้มทำให้ความหนาแน่นของชิ้นงานลดลงและแนวโน้มอัตราการซึมผ่านของน้ำเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาขนาดของอนุภาคผงยางจากเศษยางรถยนต์ที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของท่อน้ำซึม
2. ทำการขึ้นรูปท่อน้ำซึมโดยใช้เครื่องอัดรีดที่มีหัวดายน์เป็นรูปท่อ แล้วทดลองใช้จริง
3. ทำการศึกษาสมบัติอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องเช่น ความแข็งแรงกด (Compressive strength) ความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) อายุการใช้งาน (Aging) เป็นต้น
4. ทดลองศึกษาผลของสารช่วยผสมที่อาจช่วยปรับปรุงสมบัติของวัสดุ
5. ใช้ความรู้ที่ได้ทดลองผลิตท่อน้ำซึมจากวัสดุอื่น เช่น GRT/NR, GRT/PVC, GRT/HDPE เป็นต้น
6. ศึกษาผลของความหนาของท่อน้ำซึมที่มีต่อสมบัติเชิงกลและการซึมผ่านของน้ำ



บรรณานุกรม

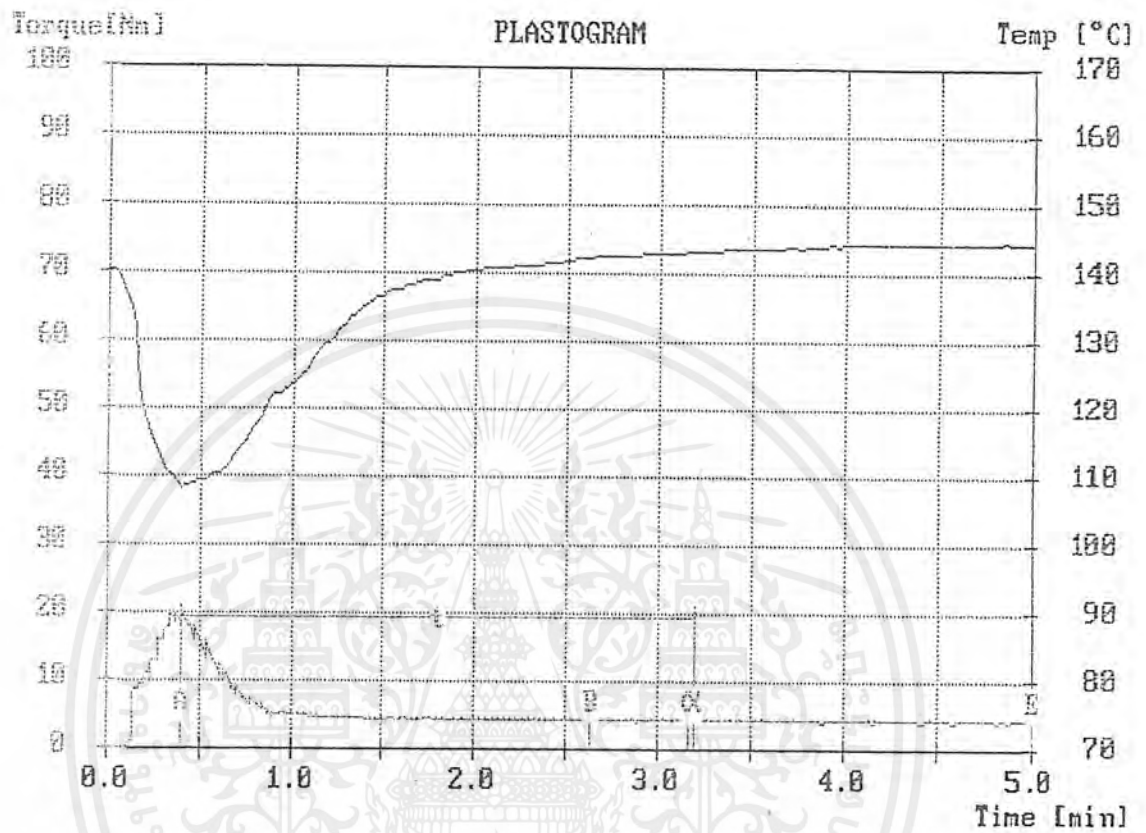
1. W.Klingensmith and K.Baranwal, *Rubber World*, June (1998) 41.
2. P.Rajalingam and W.E.Baker, *Chemistry and Technology*, 65 (1992) 908.
3. K.Oliphant and W.E.Baker, *Polymer Engineering and Science*, 33 (1993) 166.
4. P.Rajalingam, J.Sharpe and W.E.Baker, *Chemistry and Technology*, 66 (1993) 664.
5. P.K.Pramanik and W.E.Baker, *Plastics, Rubber and Composites Processing and Applications* , 24 (1995) 229.
6. N.R.Choudhury and S.N.Bhattacharya, *Plastics, Rubber and Composites Processing and Applications* , 25 (1996) 448.
7. J.W.Mason, U.S. Pat. 4,517,316
8. E.Kowalska and Z.Wielgosz, *Polymer Recycling*, 2 (1996) 213.
9. J.E.Mark , B.Erman and F.R.Eirich, *Science and Technology of Rubber* , 2nd ed. Academic Press, INC , 1994 , pp.678
10. V.M.Makarov and V.F.Prozdovski, *Reprocessing of Tires and Rubber wastes* , 1st ed. ELL IS HORWOOD LIMITED , 1991 , pp.148
11. J.M. Methven, *Foams and Blowing Agents* , PAPRA REVIEW REPORTS , 3 (1998) No.1
12. M.Pittolo and R.P.Burford, *Rubber chemistry and Technology*, 58 (1984) 97.
13. M.tipanna and D.D.Kale, *Rubber chemistry and Technology*, 70 (1997) 815.
14. J.K.Kim and R.P.Burford, *Rubber chemistry and Technology* , 71 (1997) 1028

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



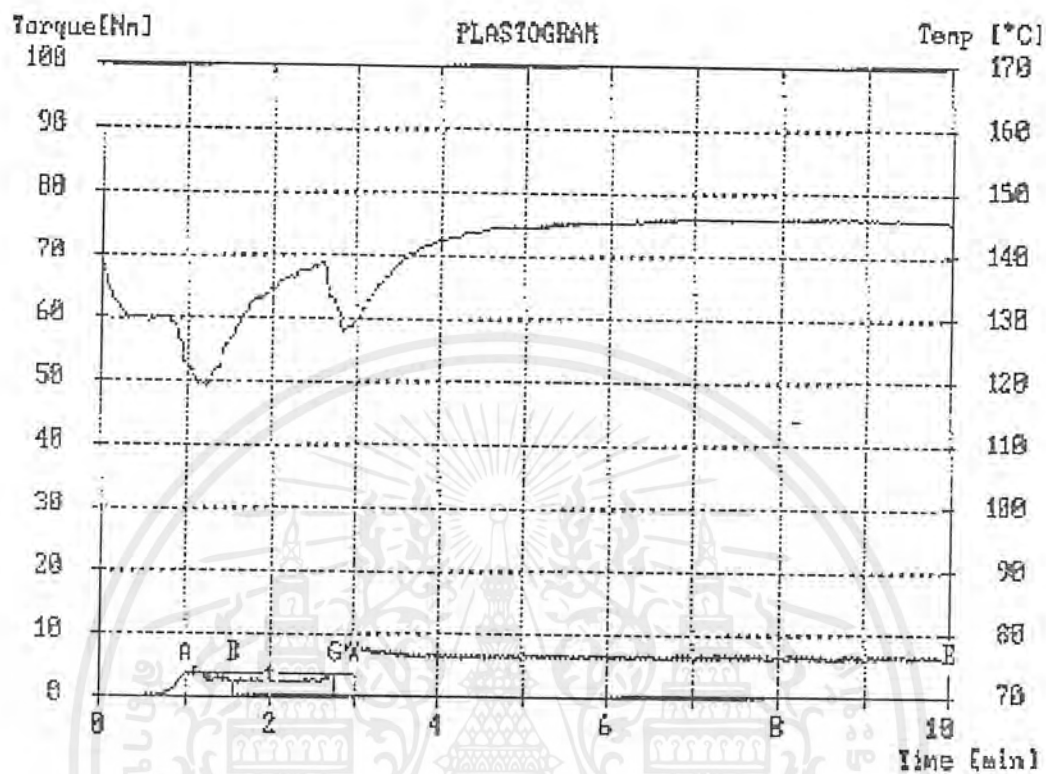
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. การศึกษาทอร์คของการผสมด้วยเครื่อง Brabender Plasticorder

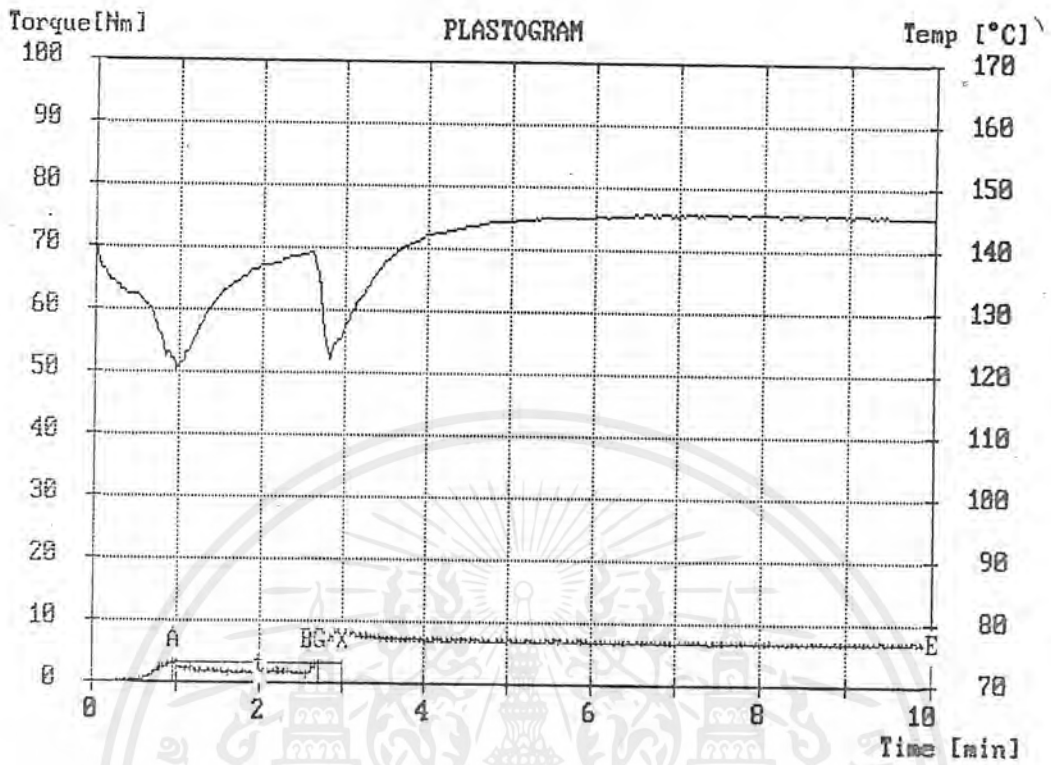


รูปที่ ก-1 BRABENDER PLASTOGRAM ของ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

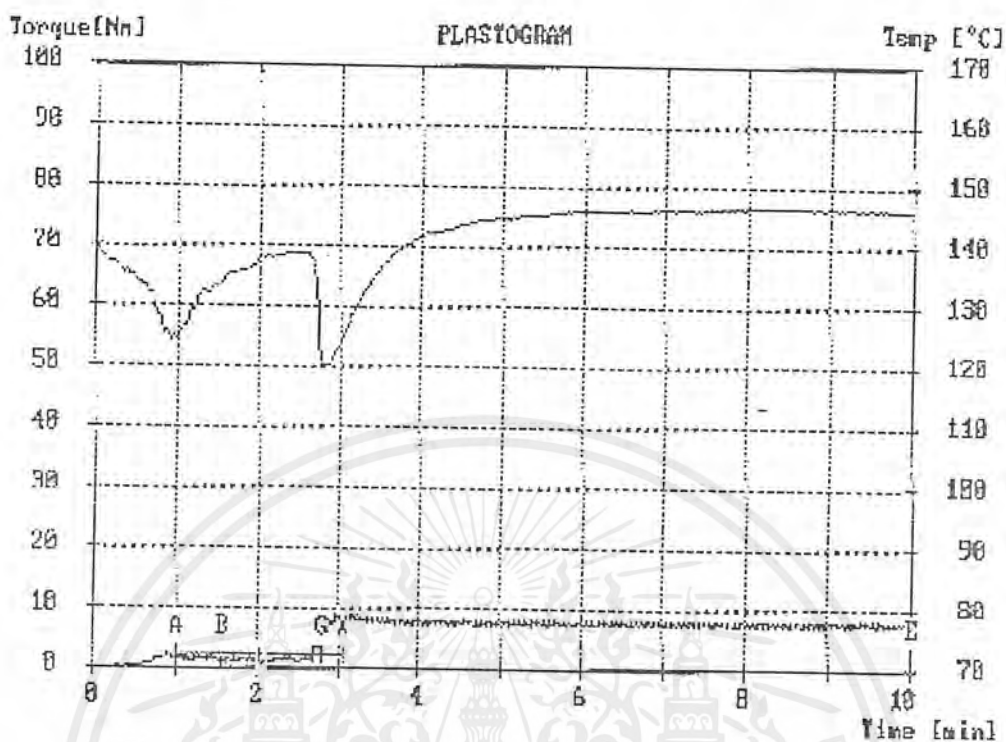


รูปที่ ก-2 BRABENDER PLASTOGRAPH ของ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและผงยาง จากยางรถยนต์ ที่อัตราส่วน 50 : 50 โดยมี สารให้ฟอง AZ เท่ากับ 3 %



รูปที่ ก-3 BRABENDER PLASTOGRAM ของ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและผงยาง จากยางรถยนต์ ที่อัตราส่วน 60 : 40 โดยมี สารให้ฟอง AZ เท่ากับ 3 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-4 BRABENDER PLASTOGRAM ของ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและผงยาง จากยางรถยนต์ ที่อัตราส่วน 70 : 30 โดยมี สารให้ฟอง AZ เท่ากับ 3 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของ GRT/LDPE

ตารางที่ ข-1 แสดงค่าความแข็งแรงดึงของ GRT/LDPE (60:40) โดยมีอัตราส่วน AZ เท่ากับ 3 % เมื่อใช้เวลาในการขึ้นรูป ด้วยเครื่องอัดแบบเปลี่ยนไป

สูตรการผสม ผยงจากยางรถยนต์:พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	ปริมาณเอโซไดคาร์บอนาไมด์				
	0%	0.5%	1%	2%	3%
50:50	3.113	2.473	2.450	2.662	1.899
60:40	3.067	2.871	2.751	2.222	2.456
70:30	2.730	2.894	2.806	2.584	2.472

ตารางที่ ข-2 แสดงค่ามอดุลัสของ GRT/LDPE (60:40) โดยมีอัตราส่วน AZ เท่ากับ 3 % เมื่อใช้เวลาในการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแบบเปลี่ยนไป

สูตรการผสม ผยงจากยางรถยนต์:พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	ปริมาณเอโซไดคาร์บอนาไมด์				
	0%	0.5%	1%	2%	3%
50:50	18.75	15.17	17.74	15.90	11.12
60:40	18.36	18.08	15.67	11.60	8.36
70:30	16.80	17.07	N/A	14.36	13.67

ตารางที่ ข-3 แสดงค่าพลังงานที่ใช้ในการทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกหักของ GRT/LDPE (60:40) โดยมีอัตราส่วน AZ เท่ากับ 3 % เมื่อใช้เวลาในการขึ้น ด้วยเครื่องอัดแบบเปลี่ยนไป

สูตรการผสม ผยงจากยางรถยนต์:พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	ปริมาณเอโซไดคาร์บอนาไมด์				
	0%	0.5%	1%	2%	3%
50:50	458.2	378.9	551.1	495.6	275.5
60:40	442.2	409.4	477.8	379.4	414.6
70:30	407.7	589.6	531.1	424.6	423.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดของ GRT/LDPE (60:40) โดยมีอัตราส่วน AZ เท่ากับ 3 % เมื่อใช้เวลาในการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแบบเปลี่ยนไป

สูตรการผสม ผงยางจากยางรถยนต์:พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	ปริมาณเอโซไดคาร์บอนาไมด์				
	0%	0.5%	1%	2%	3%
50:50	38.51	32.96	42.34	46.15	34.17
60:40	38.69	36.03	43.47	43.39	43.12
70:30	42.38	48.31	45.83	43.56	43.61

ตารางที่ ข-5 แสดงค่าความแข็งแรงดึงของ GRT/LDPE สัดส่วนต่างๆ เมื่อปริมาณ AZ เปลี่ยนแปลงไป

ปริมาณเอโซไดคาร์บอนาไมด์	สูตรการผสม ผงยางจากยางรถยนต์:พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ		
	50:50	60:40	70:30
0%	3.113	3.067	2.730
0.5%	2.473	2.871	2.894
1%	2.450	2.751	2.806
2%	2.662	2.222	2.584
3%	1.899	2.456	2.472

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-6 แสดงค่ามอดุลัสของ GRT/LDPE สัดส่วนต่างๆ เมื่อปริมาณ AZ เปลี่ยนแปลงไป

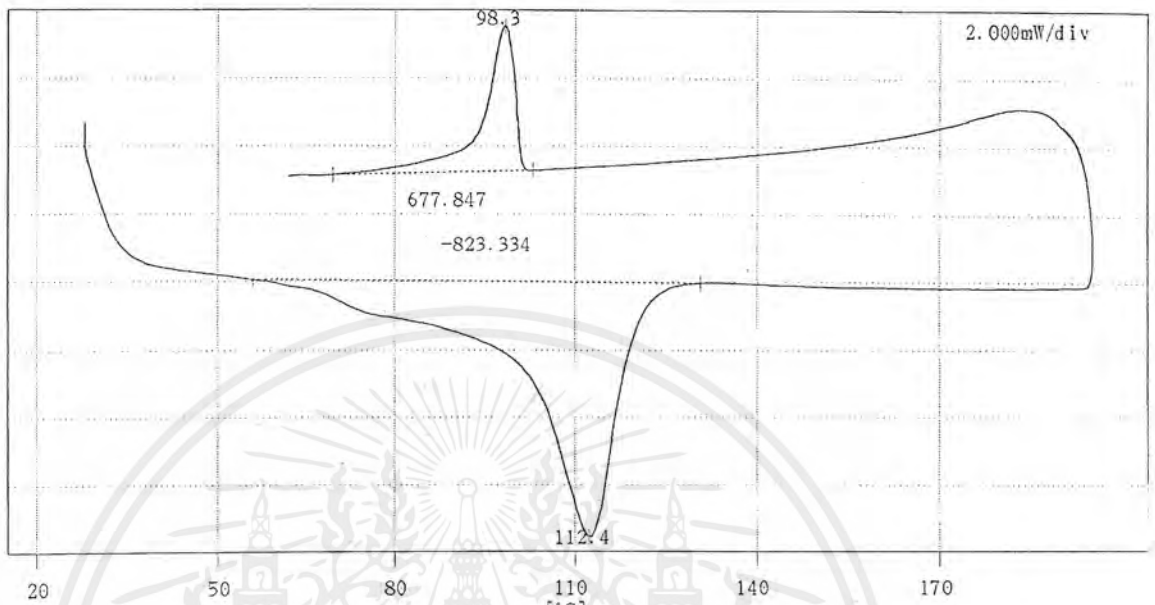
ปริมาณเอโซไดคาร์บอนาไมด์	สูตรการผสม		
	ผงบยงจากยางรถยนต์:พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ		
	50:50	60:40	70:30
0%	18.75	18.36	16.80
0.5%	15.17	18.08	17.07
1%	17.74	15.67	N/A
2%	15.90	11.60	14.36
3%	11.12	8.36	13.67

ตารางที่ ข-7 แสดงค่าพลังงานที่ใช้ในการทำให้ชิ้นงานเกิดการแตกหักของ GRT/LDPE สัดส่วนต่างๆ เมื่อ AZ เปลี่ยนแปลง

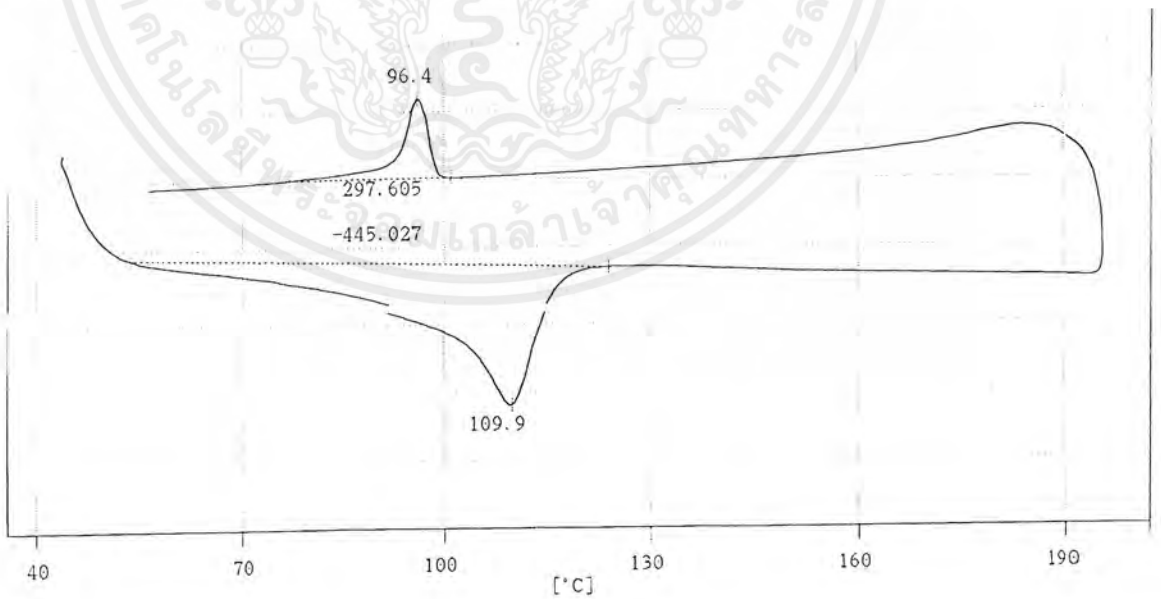
ปริมาณเอโซไดคาร์บอนาไมด์	สูตรการผสม		
	ผงบยงจากยางรถยนต์:พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ		
	50:50	60:40	70:30
0%	459.2	442.2	407.7
0.5%	378.9	409.4	589.6
1%	551.1	477.8	531.1
2%	495.6	379.4	424.6
3%	275.5	424.6	423.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. การศึกษาสมบัติทางความร้อนของ GRT/LDPE โดยใช้เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่ง แคลลอรีมิเตอร์

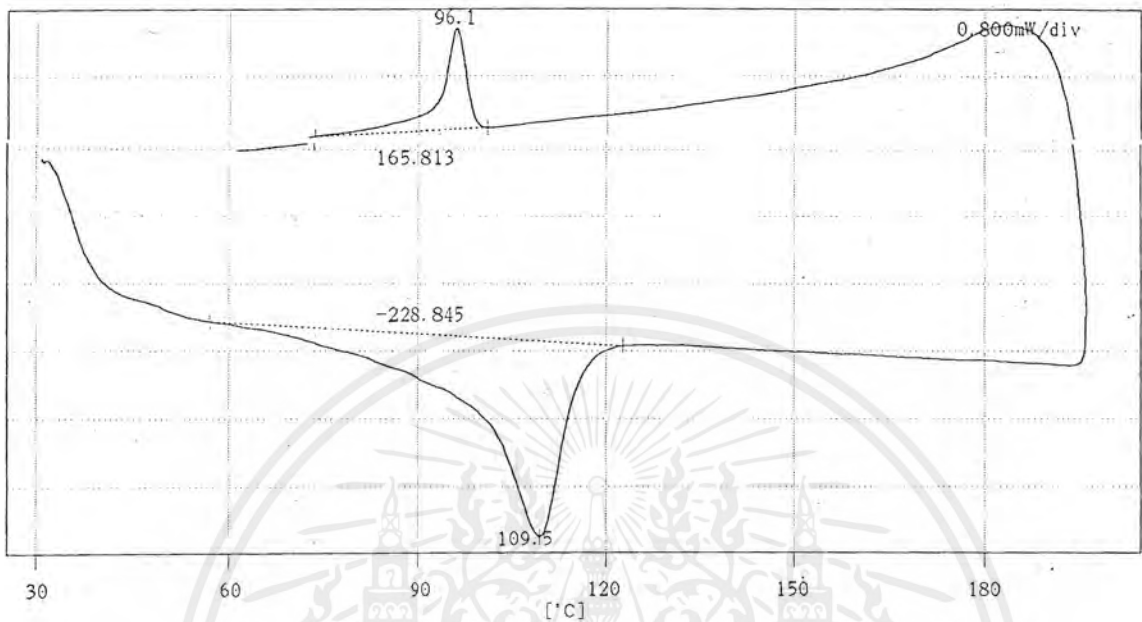


รูปที่ ค-1 Thermogram ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

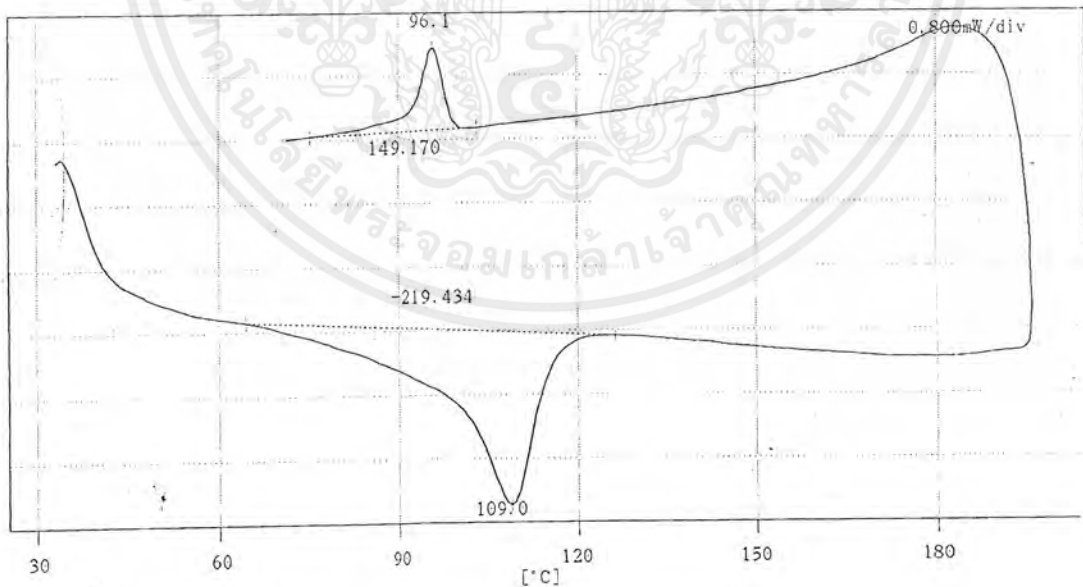


รูปที่ ค-2 Thermogram ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับผงยางจากเศษยางรถยนต์ ใน อัตราส่วน 50:50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

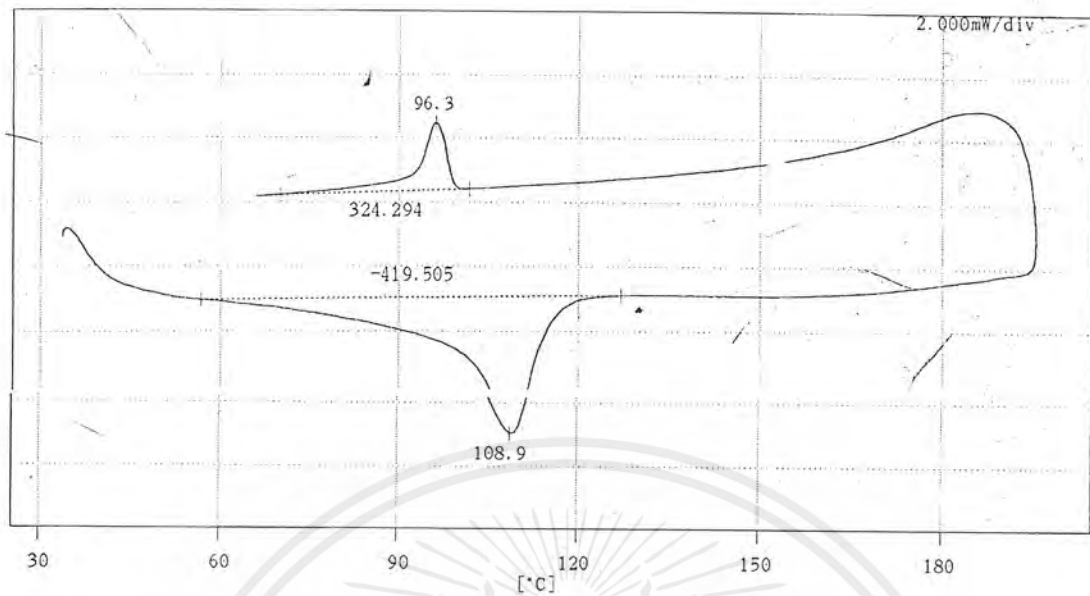


รูปที่ ค-3 Thermogram ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับผงยางจากเศษยางรถยนต์ ในอัตราส่วน 60:40



รูปที่ ค-4 Thermogram ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับผงยางจากเศษยางรถยนต์ ในอัตราส่วน 70:30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค-5 Thermogram ของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกับผงยางจากเศษยางรถยนต์ ในอัตราส่วน 60:40 และมีโซโดคาร์โบนาไมด์ 3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้