

การปรับปรุงสมบัติที่โอนฯ ชิมจากผงยางจากยางรถยนต์  
และพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ



นายยุทธพงษ์ แซ่ตั้ง

นายอลงกรณ์ ศิลปชำนาญ



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 40061

วัน, เดือน, ปี..... 24 ก.ค. 2544

b.....

เอกสารนี้เป็นของคลังสงวนสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขได้  
โดยไม่ขออนุญาตจากห้องสมุด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



**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**

**2000**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การปรับปรุงสมบัติที่อ่อนนุ่มขึ้นจากผงยางจากยางรถยนต์และพอลิเอทิลีน  
ชนิดความหนาแน่นต่ำ

นักศึกษา นายยุทธพงษ์ แซ่ตั้ง รหัส 40052045  
นายอลงกรณ์ ศิลปชำนาญ รหัส 40052070

ภาควิชา เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. อธิพิล แจ่มชัด  
นายบุญหาญ อุ่อคุมยิ่ง

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

  
.....  
(ผศ.ดร. สมศักดิ์ วรมงคลชัย) หัวหน้าภาควิชาเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบ โครงการพิเศษ

  
.....  
(ดร.สุภารัตน์ จำปา) ประธานกรรมการ

  
.....  
(ดร.ภัทราวุธ มนต์วิเศษ) กรรมการ

  
.....  
(ผศ.ดร. อธิพิล แจ่มชัด) กรรมการ

  
.....  
(นายบุญหาญ อุ่อคุมยิ่ง) กรรมการ

ลิขสิทธิ์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การปรับปรุงสมบัติท่อน้ำซึมจากผงยางรถยนต์และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ		
นักศึกษา	นายยุทธพงษ์ แซ่ตั้ง	รหัสด	40052045
	นายอลงกรณ์ ศิลปชำนาญ	รหัสด	40052070
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. อธิพิพล แจ่มชัด		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	นายบุญหาญ อุ่อคุมยิ่ง บริษัท แสงไทยการยาง จำกัด		
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง		
ปีการศึกษา	2543		

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงสมบัติท่อน้ำซึมที่ทำจากผงยางรถยนต์ (Ground rubber tire, GRT) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE) โดยใช้เอโซไดคาร์โบนาไมด์ (Azodicarbonamide, AZ) เป็นสารให้ฟอง โดยศึกษาปัจจัยที่มีต่อสมบัติของท่อน้ำซึม ได้แก่ ขนาดของอนุภาคผงยางรถยนต์ (ขนาด 6 10 20 30 และ 40 เมส) ปริมาณสารเชื่อมโยง (Dicumyl peroxide, DCP) (0 - 1% โดยน้ำหนัก) และปริมาณสารช่วยผสม (Polyethylene graft maleic anhydride, PE-g-MA) (0 - 5% โดยน้ำหนัก) โดยใช้อัตราส่วนของ GRT:LDPE:AZ เป็น 60:40:3 โดยน้ำหนัก ทำการผสมวัสดุด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว แล้วขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแบบชนิดอัด จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สัณฐานวิทยา และการซึมผ่านของน้ำ จากการทดลองพบว่าเมื่อขนาดของอนุภาคของผงยางรถยนต์มีขนาด 30 mesh จะทำให้สมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรงดึง โมดูลัส เพอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และค่าพลังงานที่ใช้ทำให้แตกหัก เพิ่มสูงขึ้น เมื่อเติมสารเชื่อมโยงและสารช่วยผสม จะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดเพิ่มสูงขึ้น แต่ความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง จากการศึกษีสัณฐานวิทยา พบว่า อนุภาค GRT และ LDPE สามารถเข้ากันได้ดี และรูพรุนของวัสดุเกิดจากฟองก๊าซจากการสลายของเอโซไดคาร์โบนาไมด์ กับช่องว่างระหว่าง กลุ่มก้อนของอนุภาค GRT จากการศึกษาอัตราการซึมผ่านของน้ำพบว่าเมื่อใส่สารเชื่อมโยง และสารช่วยผสม ทำให้อัตราการซึมผ่านน้ำลดลง

<b>Special Project Title</b>	Property Modification of Porous Pipes from Ground Rubber Tire (GRT) and Low Density Polyethylene (LDPE)
<b>Student</b>	Mr. Yutthapong Saetang Mr. Alongkorn Silapachamnan
<b>Special Project Advisor</b>	Asst. Prof. Dr. Ittipol Jangchud
<b>Special Project Co-Advisor</b>	Mr. Boonharn Ou-udomying Saeng Thai Rubber Factory Co., Ltd.
<b>Department</b>	Chemistry
<b>Academic Year</b>	2000

### ABSTRACT

This research work involved modification of porous pipes made from ground rubber tire (GRT) and Low Density Polyethylene (LDPE). Azodicarbonamide (AZ) which acts as a blowing agent was added to make cellular structures of the GRT/LDPE pipe. Factors affected properties of the materials were investigated such as GRT particle size (6, 10, 20, 30 and 40 mesh), % DCP crosslinking agent loading (0-1 %) and % PE-g-MA compatibilizer loading (0-5 %). The mixtures were compounded by a single-screw extruder and shaped by a compression molding machine. Then the samples were characterized for mechanical, morphological, physical properties. It was found that GRT size of 30 mesh gave the optimum mechanical properties. The PE-g-MA and DCP yielded an increase in some properties such as %elongation at break ; however, the tensile strength was changed insignificantly. By studied morphology using SEM, it was found that the GRT particle had good interfacial adhesion with the LDPE. Pores in the porous materials were generated from AZ decomposed gas and voids between GRT agglomerates. It was revealed that density and water permeability of the material were decreased as the PE-g-MA and DCP loading were increased.

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการพิเศษนี้สำเร็จได้เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ ความร่วมมือ ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์แก่คณะผู้จัดทำจากบุคคลและองค์กรต่างๆ

ขอขอบพระคุณ คุณบุญหาญ อุ่อคมยิ่ง บริษัท แสงไทยการยาง จำกัด ที่ให้คำปรึกษาและความอนุเคราะห์ GRT ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด ที่กรุณาให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในการดำเนินโครงการพิเศษนี้มาตลอด

ขอขอบพระคุณ ดร.สุภารัตน์ จำปา และ ดร.ภัทราวุธ มนต์วิเศษ อาจารย์คณะกรรมกรตรวจสอบโครงการพิเศษ ที่ช่วยกรุณาตรวจทานและแก้ไขโครงการฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

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

ขอขอบคุณบริษัท เอ็น เอส อีเล็คทรอนิกส์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ใช้ในงานวิจัยนี้

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยถามไถ่ตลอดเวลา เพื่อนๆ เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่คอยช่วยเหลือให้การทำให้โครงการพิเศษนี้ดำเนินไปได้ด้วยดี

นอกจากนี้ยังมีบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลืออีกมากที่มีได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นายยุทธพงษ์ แซ่ตั้ง

นายอลงกรณ์ ศิลปชำนาญ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน	3
1.6 สถานที่ทำการวิจัย	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	4
2.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์	7
2.3 พงยางจากยางรถยนต์	8
2.4 สารให้ฟอง	9
2.5 การวิเคราะห์ทางความร้อน โดยการชั่งน้ำหนัก	10
2.6 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
<b>บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย</b>	
3.1 สารเคมี	15
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	16
3.3 วิธีการทดลอง	16
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>	
4.1 ศึกษาพยางจากยางรถยนต์	20
4.2 ศึกษาขนาดของพยางจากรยนต์ที่เหมาะสมในการผลิตท่อน้ำซึม	21
4.3 ศึกษาปริมาณของสารช่วยผสมที่เหมาะสมในการผลิตท่อน้ำซึม	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 ศึกษาปริมาณสารเชื่อมโยงที่เหมาะสมในการผลิตท่อน้ำซึม	28
4.5 ศึกษาผลของสารช่วยผสมและสารเชื่อมโยงที่มีต่อสมบัติของท่อน้ำซึม	32
4.6 ศึกษาสัณฐานวิทยาของสูตรผสมที่เหมาะสมในการผลิตท่อน้ำซึม	36
<b>บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	39
5.2 ข้อเสนอแนะ	39
เอกสารอ้างอิง	40
ภาคผนวก	41



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการบดขยงที่อุณหภูมิห้อง	8
รูปที่ 2.2 แสดงวิธีการบดขยงโดยแช่ไนโตรเจนเหลว	9
รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะต่างๆ ไปของ Thermogram	11
รูปที่ 2.4 แสดงขั้นตอนการสลายตัวของ $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	11
รูปที่ 4.1 SEM micrograph แสดงสัณฐานวิทยาของผงขยงจากยางรถยนต์ ขนาด 30 mesh ที่กำลังขยง 1500 เท่า	20
รูปที่ 4.2 แสดงค่าความแข็งแรงดึงของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) โดยใช้ ผงขยงจากยางรถยนต์ขนาดต่างๆ	21
รูปที่ 4.3 แสดงค่ามอดุลัสของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) โดยใช้ผงขยงจาก ยางรถยนต์ขนาดต่างๆ	21
รูปที่ 4.4 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) โดยใช้ผงขยงจากยางรถยนต์ขนาดต่างๆ	22
รูปที่ 4.5 แสดงค่าพลังงานที่ใช้ทำให้ชิ้นงานแตกหัก GRT:LDPE:AZ (60:40:3) โดยใช้ผงขยงจากยางรถยนต์ขนาดต่างๆ	22
รูปที่ 4.6 แสดงค่าความหนาแน่นของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) โดยใช้ผงขยง จากยางรถยนต์ขนาดต่างๆ	23
รูปที่ 4.7 แสดงค่าอัตราการซึมผ่านน้ำของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) โดยใช้ ผงขยงจากยางรถยนต์ขนาดต่างๆ	23
รูปที่ 4.8 แสดงค่าความแข็งแรงดึงของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) กับปริมาณ สารช่วยผสมโดยใช้ผงขยงจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh	25
รูปที่ 4.9 แสดงค่ามอดุลัสของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) กับปริมาณสารช่วย ผสมโดยใช้ผงขยงจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh	25
รูปที่ 4.10 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยึด ณ จุดขาดของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) กับปริมาณสารช่วยผสมโดยใช้ผงขยงจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh	26
รูปที่ 4.11 แสดงค่าพลังงานที่ใช้ทำให้ชิ้นงานแตกหักของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) กับปริมาณ สารช่วยผสม โดยใช้ผงขยงจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh	26
รูปที่ 4.12 แสดงค่าความความหนาแน่นของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) กับปริมาณ สารช่วยผสม โดยใช้ผงขยงจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.13 แสดงค่าอัตราการซึมผ่านน้ำของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) กับปริมาณสารช่วยผสมโดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh	27
รูปที่ 4.14 แสดงค่าความแข็งแรงดึงของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) กับปริมาณสารเชื่อมโยงโดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh	28
รูปที่ 4.15 แสดงค่ามอดุลัสของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) กับปริมาณสารเชื่อมโยงโดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh	29
รูปที่ 4.16 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) กับปริมาณสารเชื่อมโยง โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh	29
รูปที่ 4.17 แสดงค่าพลังงานที่ใช้ทำให้ชิ้นงานแตกหักของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) กับปริมาณสารเชื่อมโยง โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh	30
รูปที่ 4.18 แสดงค่าความหนาแน่นของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) กับปริมาณสารเชื่อมโยง โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh	30
รูปที่ 4.19 แสดงค่าอัตราการซึมผ่านน้ำของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) กับปริมาณสารเชื่อมโยงโดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh	31
รูปที่ 4.20 แสดงค่าความแข็งแรงดึงของ GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA:DCP (60:40:3:4:0.5) โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh	32
รูปที่ 4.21 แสดงค่ามอดุลัสของ GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA:DCP (60:40:3:4:0.5) โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh	33
รูปที่ 4.22 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดของ GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA:DCP (60:40:3:4:0.5) โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh	33
รูปที่ 4.23 แสดงค่าพลังงานที่ทำให้ชิ้นงานแตกหักของ GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA:DCP (60:40:3:4:0.5) โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh	34
รูปที่ 4.24 แสดงค่าความหนาแน่นของ GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA:DCP (60:40:3:4:0.5) โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh	34
รูปที่ 4.25 แสดงค่าอัตราการซึมผ่านน้ำของ GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA:DCP (60:40:3:4:0.5) โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh	35
รูปที่ 4.26 สัมฐานวิทยาของสูตรผสม GRT:LDPE:AZ (60:40:3) โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh ที่กำลังขยาย 40 เท่า	36
รูปที่ 4.27 สัมฐานวิทยาของสูตรผสม GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA (60:40:3:4) โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh ที่กำลังขยาย 40 เท่า	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.28 สัณฐานวิทยาของสูตรผสม GRT:LDPE:AZ:DCP (60:40:3:0.5) โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh ที่กำลังขยาย 40 เท่า	37
รูปที่ 4.29 สัณฐานวิทยาของสูตรผสม GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA:DCP (60:40:3:4:0.5) โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh ที่กำลังขยาย 40 เท่า	37



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติบางประการของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ	7
ตารางที่ 3.1 แสดงสมบัติบางประการของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ใช้ในการทดลอง	15
ตารางที่ 3.2 แสดงสมบัติของเอโซไดคาร์โบนาไมด์ที่ใช้ในการทดลอง	16
ตารางที่ 3.3 แสดงส่วนผสมในการทดสอบหาขนาดอนุภาค GRT ที่เหมาะสมในสูตร GRT:LDPE:AZ (60:40:3)	17
ตารางที่ 3.4 แสดงส่วนผสมในการทดสอบหาปริมาณ PE-g-MA ที่เหมาะสม ในสูตร GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA (60:40:3:PE-g-MA) เมื่อใช้ขนาดอนุภาค GRT เท่ากับ 30 mesh	17
ตารางที่ 3.5 แสดงส่วนผสมในการทดสอบหาปริมาณ DCP ที่เหมาะสม ในสูตร GRT:LDPE:AZ:DCP (60:40:3:DCP) เมื่อใช้ขนาดอนุภาค GRT เท่ากับ 30 mesh และใช้สารละลาย DCP เข้มข้น 10% w/v ใน DMF	18
ตารางที่ 3.6 แสดงส่วนผสมในการทดสอบสูตรผสม ที่เหมาะสม ในการผลิตท่อน้ำซึม ที่มีสมบัติที่ดี ในสูตร GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA:DCP(60:40:3:4:0.5) เมื่อใช้ขนาดอนุภาค GRT เท่ากับ 30 Mesh และ ใช้สารละลาย DCP เข้มข้น 10 % w/v ใน DMF	19

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันปัญหามลภาวะและสิ่งแวดล้อมเสื่อมโทรม เป็นปัญหาที่สำคัญอย่างยิ่งซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบโดยตรงและโดยอ้อมต่อมวลมนุษยชาติ รวมทั้งสิ่งมีชีวิตทั้งหลายที่อยู่บนโลกนี้ ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น เช่น ภัยแล้ง ไฟป่า อากาศเป็นพิษ ปัญหาขยะล้นเมือง ฯลฯ มีสาเหตุส่วนใหญ่มาจากการใช้ทรัพยากรอย่างสิ้นเปลืองและไม่ถูกวิธีของมนุษย์

ปัญหาขยะล้นเมืองเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากประชากรมนุษย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้มีการใช้ทรัพยากรเพิ่มมากขึ้น แต่มีระบบการกำจัดและระบบการนำขยะกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) น้อย ขางรถยนต์เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายทำให้ขยะที่เกิดจากยางรถยนต์มีเพิ่มมากขึ้นด้วย

ปัญหาการขาดแคลนน้ำ เป็นปัญหาที่สำคัญอย่างยิ่งสำหรับ เกษตรกรในการทำการเกษตรกรรม ซึ่งปริมาณการใช้น้ำในพืชแต่ละชนิดจะมีความต้องการปริมาณน้ำแตกต่างกัน บางชนิดต้องการใช้น้ำมาก บางชนิดต้องการใช้น้ำน้อย ซึ่งปัจจุบันระบบการให้น้ำแก่พืชผลทางการเกษตรส่วนใหญ่จะใช้ระบบแรงดันน้ำหรือที่เรียกว่า Sprinkler ซึ่งเป็นระบบที่ต้องใช้น้ำปริมาณมาก แต่ไม่สามารถรดน้ำพืชได้อย่างทั่วถึง ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำบางส่วนไปโดยเปล่าประโยชน์ และระบบการให้น้ำแบบแรงดันน้ำยังไม่สามารถให้น้ำแก่พืชแบบเฉพาะจุดได้

ระบบการให้น้ำโดยท่อน้ำซึม(Porous pipe)เป็นอีกทางเลือก เพื่อใช้ในการให้น้ำแบบประหยัดและสามารถให้น้ำแก่พืชได้เฉพาะจุดโดยสามารถกำหนดขอบเขตการให้น้ำได้ ทำให้พืชสามารถดูดซึมน้ำได้มากที่สุดแต่ใช้น้ำในปริมาณน้อย ซึ่งเป็นการประหยัดน้ำได้อีกวิธีหนึ่ง

ในการเลือกวัสดุที่นำมาใช้ในการทำท่อน้ำซึม ควรเป็นวัสดุเหลือใช้ ผงยางจากยางรถยนต์ (Ground Rubber Tire : GRT) เป็นวัสดุที่ใช้แล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งจะทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตและยังช่วยลดปริมาณขยะที่เกิดจากยางรถยนต์อีกด้วย

ท่อน้ำซึมเป็นท่อที่มีช่องเล็กๆจำนวนมาก เพื่อให้สามารถซึมผ่านได้และต้องมีความแข็งแรงพอที่จะรับแรงดันของน้ำได้ โครงการนี้เป็นโครงการต่อเนื่องจากงานวิจัยโครงการพิเศษ ปี 2542 จะทำการปรับปรุงสมบัติของท่อน้ำซึม โดยจะทำการศึกษาผลของขนาดอนุภาคของผงยางจากยางรถยนต์ ผลของสารช่วยผสม (Compatibilizers) จะช่วยในการกระจายตัวของผงยางรถยนต์ และสารเชื่อมโยง (Crosslinking agent) ช่วยทำให้การยึดเกาะระหว่างผงยางจากยางรถยนต์และพลาสติกดีขึ้น นอกจากนี้ จะทำการศึกษาอัตราการซึมผ่านของน้ำและความหนาแน่นด้วย

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของขนาดอนุภาคของผงยางจากยางรถยนต์ (GRT Particle size) ที่มีผลต่อสมบัติของท่อน้ำซึม
2. ทำการปรับปรุงสมบัติของท่อน้ำซึม โดยใช้สารช่วยผสม (Compatibilizer) ได้แก่ พอลิเอทิลีน กราฟท์ มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PE-g-MA)
3. ศึกษาผลของสารเชื่อมโยง (Crosslinking agent) ได้แก่ ไดคิควิมิตเปอร์ออกไซด์ (DCP) ที่มีต่อสมบัติต่างๆของท่อน้ำซึม

## 1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

งานวิจัยนี้เสนอที่จะศึกษาและปรับปรุงสมบัติของท่อน้ำซึม ซึ่งปัจจัยที่ทำการศึกษามีดังนี้

1. ผลของขนาดอนุภาคผงยางจากยางรถยนต์
2. ผลของสารช่วยผสม
3. ผลของสารเชื่อมโยง
4. สมบัติของท่อน้ำซึม ดังนี้
  - ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)
  - เปรี่งั้นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (Elongation at break)
  - ค่ามอดุลัส ที่การดึงยืด 3% (3% Modulus)
  - สัณฐานวิทยา (Morphology)
  - อัตราการซึมผ่านของน้ำ (Water permeability)
  - ความหนาแน่น (Density)

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถผลิตท่อน้ำซึมที่มีสมบัติต่างๆดีขึ้น
2. ทำให้ทราบถึงอัตราส่วนหรือสูตรผสมของท่อน้ำซึมที่เหมาะสมในการผลิตท่อน้ำซึม ที่มีประสิทธิภาพสูง
3. ทำให้ทราบถึงสมบัติเชิงกล และสมบัติอื่นๆของท่อน้ำซึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.5 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน

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.
รวบรวมและทบทวนเอกสารการวิจัย	██████████											
วางแผนการวิจัยและจัดซื้ออุปกรณ์และสารเคมี	██████████											
หาขนาดของอนุภาค GRT ที่เหมาะสม และหาอัตราส่วน PE-g-MA ที่เหมาะสม			██████████									
ทดสอบสมบัติเชิงกล และสรุป				██████████								
หาอัตราส่วนสารเชื่อมโยง (DCP) ที่เหมาะสม							██████████					
ทำการทดสอบสมบัติเชิงกล พร้อมทั้งทำการอัดรีดท่อน้ำซึม								██████████				
รวบรวม วิเคราะห์ สรุปผลงานวิจัย								██████████				
จัดพิมพ์รูปเล่ม								████████████████████				

### 1.6 สถานที่ทำการวิจัย

- อาคารปฏิบัติการพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ห้องปฏิบัติการเคมี ชั้น 5 คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- บริษัท เอ็น เอส อิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

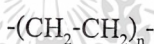
## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene :LDPE)

พอลิเมอร์ที่นำมาทำท่อน้ำควรมีความเหนียวที่เหมาะสมขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวทอน (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 ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่เตรียมได้จากเอทิลีนอะเลคิฟาคไฮโดรคาร์บอนแบบไม่อิ่มตัว (Unsaturated aliphatic hydrocarbon) สูตรโครงสร้างของพอลิเอทิลีน เป็นดังนี้



พอลิเอทิลีนที่ผลิตขึ้นในทางการค้าครั้งแรกในปี ค.ศ. 1939 เป็นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene :LDPE) ค้นพบครั้งแรกโดย ฟาเชตต์และยิบสัน (Fawcett and Gibson) ที่บริษัท ไอซีไอ (Imperial Chemical Industries Ltd; ICI) ประเทศอังกฤษ โดยการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับปฏิกิริยาเคมีที่มีความดันสูง และได้ค้นพบพอลิเอทิลีน โดยบังเอิญจากปฏิกิริยาของเอทิลีนกับเบนซัลดีไฮด์ ปัจจุบันมีการผลิตพอลิเอทิลีนให้เหมาะสมกับการใช้งานมีทั้ง High Density Polyethylene (HDPE) Linear Low Density Polyethylene (LLDPE) และ Ultra Molecular Weight Polyethylene (UMWPE)

ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน เพื่อเตรียมพอลิเอทิลีนโดยปฏิกิริยารวมตัว (Addition polymerization) แสดงได้ดังสมการ



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

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

### 1. การแยกตามประเภท (Types)

การแบ่งประเภทเป็นตัวบ่งชี้ตัวแรก ซึ่งแบ่งโดยใช้ความหนาแน่นเป็นเกณฑ์ เนื่องจากความหนาแน่นมีผลต่อสมบัติทางกายภาพอย่างมาก ทำให้เกิดสมบัติที่แตกต่างกัน 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 ซึ่งเป็นพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำกว่า 0.91 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

### 2. การแยกตามชั้น (Classes)

การแบ่งชั้นเป็นการย่อยจากประเภท จะอาศัยส่วนประกอบของเม็ดและการใช้งาน การจัดชั้นมี 3 ชั้น ดังนี้

ชั้น A จะเป็นสีธรรมชาติของเม็ด ไม่มีสีใดๆ การใช้งานจะเป็นงานทั่วไป และงานที่ต้องการความเป็นฉนวนไฟฟ้า ส่วนการหน่วงการเกิดออกซิเดชัน และสารเติมแต่งอื่นๆ จะมีหรือไม่ขึ้นอยู่กับข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย

ชั้น B พลาสติกมีการเติมสีขาวและสีดำ การใช้งานจะใช้งานทั่วไป และงานที่ต้องการความเป็นฉนวนไฟฟ้า ส่วนการหน่วงการเกิดออกซิเดชัน และสารเติมแต่ง ขึ้นอยู่กับข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย

ชั้น C เป็นพลาสติกที่เติมสีดำ(เขม่าดำ) ไม่น้อยกว่า 2 % การใช้งานจะใช้กับงานที่ต้องการความคงทนจากสภาวะแวดล้อมในอากาศ ส่วนสารเติมแต่งและสารหน่วงการเกิดออกซิเดชัน ขึ้นอยู่กับข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย จากชั้นทั้ง 3 ชั้น เราสามารถแบ่งย่อยเป็นลำดับชั้นย่อยตามดัชนีการไหลได้

### 3. การแยกตามลำดับชั้นย่อย (Categories)

ลำดับชั้นย่อย	ดัชนีการไหล (กรัมต่อ 10 นาที) ที่ 190°C 2,160 กรัมต่อน้ำหนัก
1	> 25
2	> 10 – 25
3	> 1.0 – 10
4	> 0.4 – 1.0
5	0.4 สูงสุด

ในประเภท 2 และ 3 ซึ่งน้ำหนักโมเลกุลสูงและสูงมากไม่สามารถแบ่งลำดับย่อยได้ด้วยดัชนีการไหล ควรใช้การวัดความหนืดของการละลายแทน

### 4. การแยกตามชนิด (Grades)

การแบ่งเกรดเป็นการระบุรายละเอียดของสมบัติทางกายภาพต่างๆ ซึ่งอาจมีการระบุใช้ในขนาด สมบัติที่สำคัญของ พอลิเอทิลีน มีดังนี้

1. เป็นจำนวนไฟฟ้าที่ตีพิมพ์สำหรับหุ้มสายไฟฟ้า
2. การละลายโดยปกติจะไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 70 °C จะเริ่มละลายได้
3. พวกที่มีความหนาแน่นต่ำจะใสมาก แต่จะขุ่นเมื่อมีความหนาแน่นสูง
4. ทนทานต่อกรดและเบส
5. ทนความชื้น
6. ความเหนียวและทนทานต่อแรงดึงปานกลาง
7. ราคาถูก
8. ขึ้นรูปใช้งานได้โดยกระบวนการทั่วไป

พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene :LDPE) มีสมบัติทั่วไปดังนี้

#### 1. ลักษณะ

เป็นเม็ดขาวขุ่น หรือ อาจใส่สีตั้งแต่อ่อนไปจนถึงเข้ม ผิวอ่อน

#### 2. สมบัติ

ความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำ มีความเหนียวแต่ทนแรงดึงปานกลาง ความเป็นฉนวนดี มีความทนทานต่อสารเคมีหรือเฉื่อยต่อปฏิกิริยาเคมีไม่ละลายในตัวทำละลายจำพวกไฮโดรคาร์บอน และคลอริเนทเตดไฮโดรคาร์บอน เช่น โทลูอีน (Toluene) ไซลีน (Xylene) เป็นต้น ทนทานต่อกรดและเบส และยังป้องกันการซึมผ่านของก๊าซได้ดี แต่ไม่สามารถทนทานต่อสภาวะอากาศทั่วไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่สามารถแก้ไขด้วยการเติม UV- Stabilizer ลงไป เพื่อให้สามารถใช้งานกลางแจ้งได้และทนทาน ความร้อนได้ อุณหภูมิใช้งาน  $60^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{C}$

### 3. การผลิต

ผลิตโดยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน แบบอนุมูลอิสระ โดยใช้ ออกซิเจนหรือเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoylperoxide) หรือเอโซบิสไอโซบิวโรไนไตรล์ (Azobisisobutyronitrile : AIBN) เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา ความร้อนที่คายออกทำให้ได้ผลผลิตต่ำกว่ากระบวนการนี้จะต้องทำในเตาปฏิกรณ์ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันอย่างรวดเร็ว และเกิดปฏิกิริยาคายความร้อนสูงมาก LDPE มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 6000 – 40000

ตารางที่ 2.1 แสดงสมบัติบางประการของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ

สมบัติ	LDPE
ความถ่วงจำเพาะ	0.91 – 0.93
เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก	50 – 70
อุณหภูมิหลอมเหลว ( $^{\circ}\text{C}$ )	98 – 120
ความแข็งแรงดึง (MPa)	4.1 – 16
ค่ามอดุลัส (MPa)	0.1 – 0.26
เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด	90 – 800
ความแข็งแรงกระแทก	no break
อุณหภูมิการเสียดสภาพ ( $^{\circ}\text{C}$ )	38 – 49

### 2.2 พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์

#### (High density polyethylene grafted maleic anhydride , HDPE-g-MA)

มาเลอิกแอนไฮไดรด์เป็นวัตถุดิบ (Raw material) ที่สำคัญสำหรับการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ การเคลือบผิวหน้า เป็นสารที่ใช้ในการยึดติด เป็นสารตัวเติมในสารหล่อลื่น เป็นต้น โดยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ผลิตจากกระบวนการดีไฮโดรจีเนชัน (Dehydrogenation) ของกรดมาเลอิก (Maleic acid)

มาเลอิกแอนไฮไดรด์พอลิเมอร์เตรียมโดยปฏิกิริยา 2 ชนิดคือ การพอลิเมอไรเซชันแบบควบแน่น (Condensation polymerization) และพอลิเมอไรเซชันแบบการเติม (Addition poly-

merization) ต่อมาพบว่าสามารถเกิดการพอลิเมอไรเซชันเมื่อฉายด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต (UV radiation) ทำให้เกิดตัวริเริ่มปฏิกิริยาโดยการฉายรังสีและตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่เป็นอนุมูลอิสระ

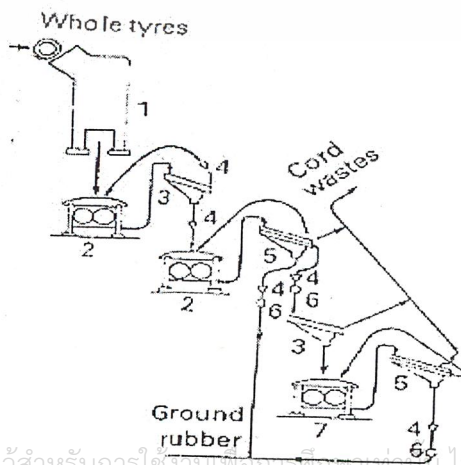
พอลิเอทิลีนกราฟมาเลอิกแอนไฮไดรด์เป็นการต่อกิ่งพอลิเอทิลีนซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่เสถียรแล้วซึ่งจะทำให้คุณสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ (Physicochemical properties) ดีขึ้น โดยการเพิ่มความชุ่มชื้นของพอลิเอทิลีน โดยทำให้ความเป็นบวก (Hydrophilicity) เพิ่มขึ้นและความสามารถในการยึดติดเพิ่มขึ้น พบว่าแอนไฮไดรด์เป็นส่วนที่เกิดการเชื่อมโยง เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เพิ่มความสามารถในการต้านทานความร้อน และเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้กับพอลิเมอร์อื่นรวมทั้งสารตัวเติม (Filler) ได้เป็นอย่างดี

### 2.3 ผงยางจากยางรถยนต์ (Ground Rubber Tires: GRT)

มีวิธีการทำได้ 2 กระบวนการดังนี้

#### 1. การบดที่อุณหภูมิห้อง (Ambient Process)

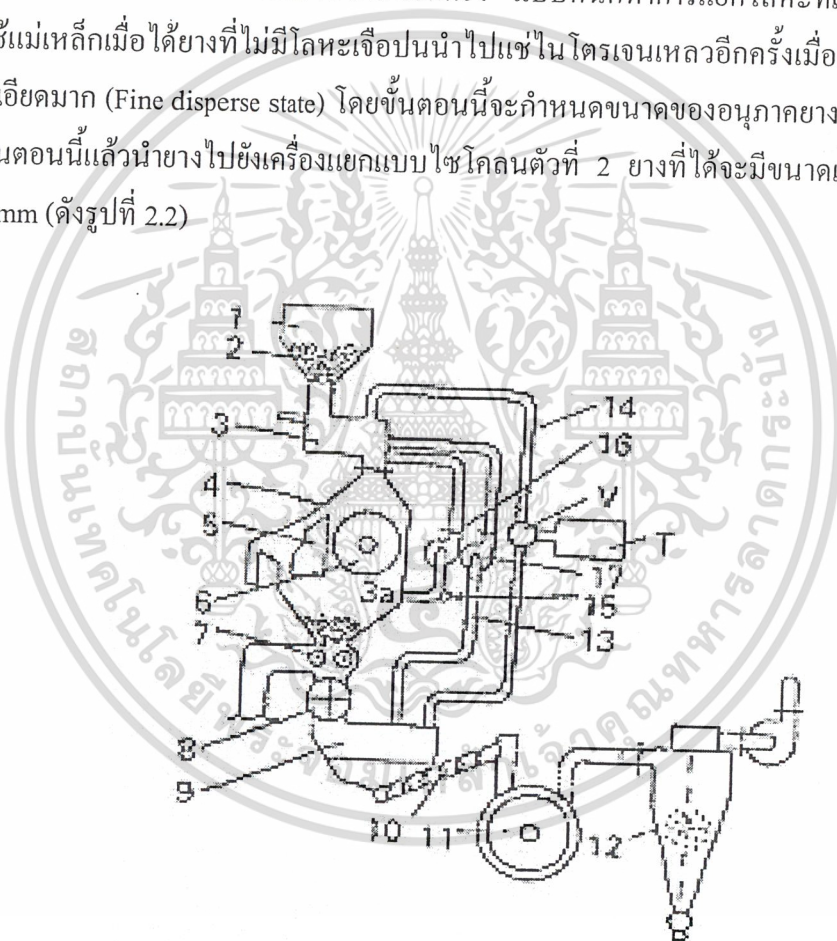
ขั้นแรกนำยางรถยนต์มาตัดด้วยเครื่องตัดเชิงกล (Mechanical scissors) อย่างต่อเนื่องโดยจะได้เป็นยางชิ้นใหญ่ก่อนขนาดประมาณ 20-40 mm แล้วส่งไปยังลูกกลิ้ง (Crushing roll mill) เพื่อบดให้ได้ขนาด 20 mm ขั้นต่อไปทำการแยกขนาดอนุภาคด้วยตะแกรงร่อนแบบเดี่ยว (Single state sifter screen) อนุภาคที่ผ่านรูของตะแกรงร่อนถูกส่งไปยังลูกกลิ้งบดตัวที่ 2 เมื่อบดเสร็จแล้วนำไปร่อนบนตะแกรงร่อนแบบ 2 ชั้น (Second state sifter screen) อีกทีหนึ่ง อนุภาคที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนนั้นมีขนาดประมาณ 5-7 mm แล้วนำไปแยกแยกกับเศษโลหะที่ไม่ต้องการโดยใช้แม่เหล็กและแรงโน้มถ่วง (Magnetic and Gravity) อนุภาคยางที่ได้้นำเข้าเครื่องบดแบบลูกกลิ้งตัวที่ 3 เมื่อบดเสร็จแล้วนำไปร่อนบนตะแกรงร่อนแบบ 2 ชั้น อนุภาคยางที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนก็จะถูกนำกลับไปบดบนลูกกลิ้งอีกครั้ง ส่วนอนุภาคที่ผ่านตะแกรงร่อนขั้นตอนนี้ นำไปแยกเศษโลหะอีกครั้งเพื่อให้ได้ยางที่ไม่มีสิ่งเจือปน เมื่อเสร็จกระบวนการแล้วอนุภาคยางที่ได้ มีขนาดประมาณ 0.8 mm (ดังรูป 2.1)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าในรูปแบบที่ 2.1 แสดงการบดยางที่อุณหภูมิห้อง [1] และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. การบดที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic Process)

ยางรถยนต์ถูกตัดเป็นชิ้นใหญ่ขนาด 50-150 mm นำไปแช่ไนโตรเจนเหลวเพื่อทำให้ยางแข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำ  $-60$  ถึง  $-100$  °C นำไปทำให้แตกเป็นขนาดเล็กด้วยเครื่องบดแบบทุบ (Hammer grinder) ได้อนุภาคประมาณ 19 mm ต่อก็นำเศษโลหะที่ไม่ต้องการออกโดยใช้แม่เหล็ก เมื่อแยกเสร็จแล้วอนุภาคยางถูกส่งไปยังเครื่องแยกแบบไซโคลน (Cyclone separator) ซึ่งมีตะแกรงร่อนแบบ 3 ชั้น อนุภาคที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนชั้นแรกถูกนำกลับไปบดแล้วนำกลับไปยังเครื่องแยกแบบไซโคลน อนุภาคยางที่ผ่านตะแกรงร่อนชั้นแรกมาแล้วถูกส่งไปยังโต๊ะต้นตัวที่ 1 ชั้นตอนนี้แบ่งเป็นแบบเบาและแบบหนัก แบบเบาทำการแยกเส้นเสริมแรง (Cord) ออกจากยางและเส้นเสริมแรงถูกส่งกลับไปเครื่องแยกแบบไซโคลนอีกครั้ง แบบหนักทำการแยกโลหะที่เหลือออกจากยางโดยใช้แม่เหล็กเมื่อได้ยางที่ไม่มีโลหะเจือปนนำไปแช่ไนโตรเจนเหลวอีกครั้งเมื่อยางแข็งตัวนำไปบดละเอียดมาก (Fine disperse state) โดยชั้นตอนนี้จะกำหนดขนาดของอนุภาคยางให้สม่ำเสมอเมื่อผ่านชั้นตอนนี้แล้วนำยางไปยังเครื่องแยกแบบไซโคลนตัวที่ 2 ยางที่ได้จะมีขนาดเล็กมากประมาณ 0.127 mm (ดังรูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 แสดงวิธีการบดยาง โดยแช่ไนโตรเจนเหลว [2]

### 2.4 สารให้ฟอง (Blowing agent)

สารให้ฟอง (Blowing agent) คือสารที่ให้ก๊าซและสร้างช่องว่างที่เป็นก๊าซ (Gas pocket) ในวัสดุพอลิเมอร์ สารที่ทำให้เกิดฟองสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สารที่ทำให้เกิดฟองทางกายภาพ (Physical blowing agent) จะสามารถเกิดฟองก๊าซได้ โดยผ่านกระบวนการเปลี่ยนสถานะ เช่น ของเหลวที่ถูกทำให้ระเหยจะกลายเป็นก๊าซแทรกตัวเข้าไปในพอลิเมอร์ ภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง

2. สารที่ทำให้เกิดฟองทางเคมี (Chemical blowing agent) จะสามารถทำให้เกิดฟองก๊าซ จากปฏิกิริยาการสลายตัวของความร้อน (Thermal decomposition)

### สารที่ทำให้เกิดฟองควรมีสมบัติดังนี้

1. มีความเสถียรในสภาวะการใช้งานปกติ
2. เกิดฟองก๊าซในเวลาและอุณหภูมิที่ต้องการ
3. มีความเป็นพิษน้อย
4. ไม่มีผลกระทบต่อความเสถียรของกระบวนการผลิตและสมบัติของพอลิเมอร์
5. สามารถผลิตฟองก๊าซได้ในขนาดที่เท่าๆกัน

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ เอโซไดคาร์โบนาไมด์ (Azodicarbonamide:AZ) ซึ่งจัดเป็นสารที่ทำให้เกิดฟองทางเคมีที่นิยมใช้กันมากที่สุดชนิดหนึ่ง โดยอุณหภูมิที่เอโซไดคาร์โบนาไมด์จะเกิดการสลายตัวให้ฟองก๊าซ อยู่ในช่วง 195 – 216 องศาเซลเซียส จะสามารถให้ก๊าซประมาณ 220 ลูกบาศก์ เซตติเมตรต่อกรัม ซึ่งเอโซไดคาร์โบนาไมด์จะไม่เป็นพิษ ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนสี ไม่ทำให้เกิดการเผาไหม้ สามารถทำให้เกิดการสลายตัวได้ง่าย โดยอนุภาคขนาดเล็กจะสลายตัวได้เร็วกว่าอนุภาคขนาดใหญ่

ปฏิกิริยาการสลายตัวของเอโซไดคาร์โบนาไมด์



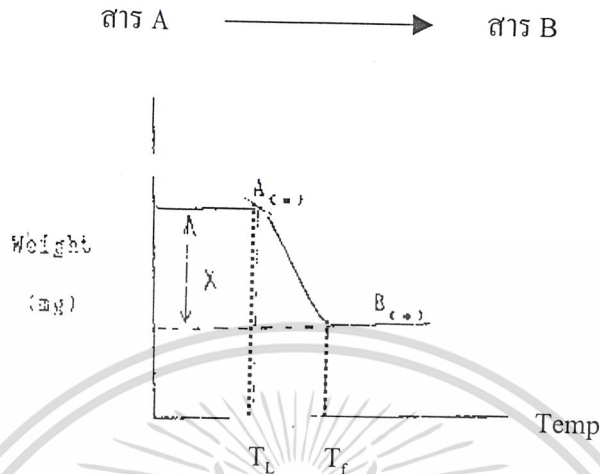
ที่อุณหภูมิ 190 °C เอโซไดคาร์โบนาไมด์จะผลิตก๊าซออกมาประมาณ 32 % โดยประกอบด้วย ก๊าซไนโตรเจน (N<sub>2</sub>) 65% ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) 31.5% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) 3.5%

## 2.5 การวิเคราะห์ทางความร้อนโดยการชั่งน้ำหนัก

TGA เป็นเทคนิคหนึ่งของการวิเคราะห์โดยอาศัยหลักความร้อน (Thermal Analysis :TA) นำมาใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะการหาความทนทานต่อความร้อน และหาองค์ประกอบทางเคมีของสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thermogravimetric Analyzer เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดน้ำหนักของสารที่เปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อนเทียบกับเวลาหรืออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เมื่อนำมาเขียนกราฟจะได้ TGA Thermogram ลักษณะต่างๆไปของ Thermogram ที่ได้เป็น(ดังรูป 2.3)



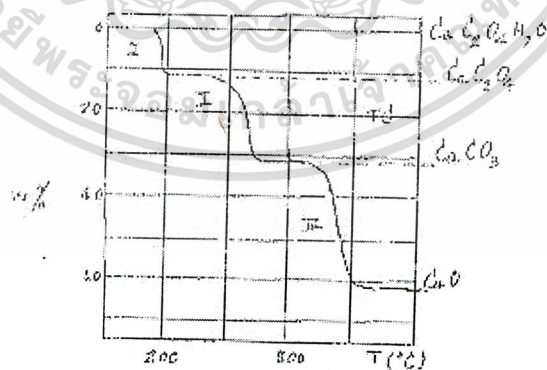
รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะต่างๆไปของ Thermogram

$T_L$  คือ อุณหภูมิเริ่มต้น (Initial temperature) ที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก

$T_f$  คือ อุณหภูมิสุดท้าย (Final temperature) ที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก

X คือ น้ำหนักของสารที่สูญหายไปหรือเปลี่ยนแปลงไป

สารบางชนิดอาจมีการสลายตัวได้หลายขั้นตอน เนื่องจากมีสารอื่นเจือปนอยู่ หรือเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของสารนั้น เช่น  $CaC_2O_4 \cdot H_2O$  (ดังรูป 2.4)



รูปที่ 2.4 แสดงขั้นตอนการสลายตัวของ  $CaC_2O_4 \cdot H_2O$

ถ้ารู้ปฏิกิริยาการสลายตัวของสารจะสามารถคำนวณ % weight loss (น้ำหนักของสารที่สูญเสียน้ำหนัก) จาก Thermogram สามารถคำนวณหามวลโมเลกุลของสารที่สูญหายไปได้จากสูตรต่อเอกสารนี้ไปนี้ เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{มวลโมเลกุลของสารที่สูญหายไป} = \frac{\% \text{ weight loss}}{100} * \text{มวลโมเลกุลของสารตัวอย่าง}$$

จาก Thermogram ทำให้เราทราบปฏิกิริยาการสลายตัวของสาร ความสามารถในการทนทานต่อความร้อน องค์ประกอบต่างๆที่มีอยู่ในสารหรือสิ่งเจือปนมีอยู่ในสารนั้นได้ และสามารถคำนวณหาปริมาณหรือร้อยละของสารที่เป็นองค์ประกอบหรือเจือปนอยู่ได้จากสูตรต่อไปนี้ โดยถ้า A เป็นองค์ประกอบชนิดหนึ่งในสารผสม

$$\% \text{ น้ำหนักขององค์ประกอบ A} = \frac{\% \text{ น้ำหนักของสารผสมที่เปลี่ยนแปลง} \times 100}{\% \text{ น้ำหนักของสาร A บริสุทธิ์ที่เปลี่ยนแปลง}}$$

นอกจากนี้สารแต่ละชนิดจะมี Thermogram ที่มีลักษณะที่แตกต่างกันไป จะเห็นว่าเทคนิค TGA สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ แต่จะให้ผลที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่อทำอนุพันธ์ของเทคนิค TGA คือ เทคนิค DTG (Derivative Thermogravimetry)

เครื่อง TGA มีประโยชน์อย่างมากในการวิเคราะห์ทดสอบตัวอย่างพอลิเมอร์ ถ่านหิน และผลิตภัณฑ์เซรามิก โดยใช้วิเคราะห์หาความชื้น ชนิดของพอลิเมอร์ สารที่สลายตัวเมื่อได้รับความร้อนและองค์ประกอบอื่นๆ นอกจากนี้ยังใช้ในการควบคุมคุณภาพและวิเคราะห์ทดสอบคุณลักษณะของวัสดุอีกด้วย การใช้เครื่อง TGA เพื่อการวิเคราะห์ทดสอบมีอยู่ 2 ประการ ดังนี้

1. ใช้เพื่อศึกษาเกี่ยวกับลักษณะของปฏิกิริยาทาง kinetics
2. ใช้ในการศึกษาหาปริมาณของส่วนประกอบต่างๆ ในของผสม ดังนี้
  - ก. วิเคราะห์หาปริมาณของ Plasticizers, antioxidant, accelerator โดยน้ำหนักที่หายไปในช่วงแรกเมื่อพอลิเมอร์ได้รับความร้อนคือน้ำหนักของ Plasticizer นั้นเอง จากนั้นพอลิเมอร์จะเกิด decomposition และ combustion ต่อไปตามลำดับ
  - ข. ใช้ในการวิเคราะห์ polymer blends เนื่องจากในปัจจุบันมีการนำพอลิเมอร์ตั้งแต่ 2 ชนิดมาผสมกัน เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติตามต้องการ เพื่อเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์หรือเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์ เช่นใช้ยางธรรมชาติผสมกับยางสังเคราะห์ เครื่อง TGA สามารถวิเคราะห์ได้ว่าผลิตภัณฑ์นั้นทำจากยางชนิดเดียวกันหรือ 2 ชนิดผสมกัน โดยดูจากคุณสมบัติในการสลายตัวของยางที่อุณหภูมิต่างๆ
  - ค. ใช้วิเคราะห์หาปริมาณของเขม่าดำ และตัวเติมอนินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Choudhury และ Bhattachaya [4] ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาการเข้ากันได้ระหว่างการผสมยาง GRT กับ LDPE และสมบัติการยึดเกาะเมื่อเติมสารช่วยผสม โดยใช้คลอรีนเตต ฟอลิเอทิลีน (Chlorinated polyethylene : CPE) เป็นสารช่วยผสมเพราะมีส่วนที่เข้ากันได้กับ LDPE และมีสมบัติยึดหยุ่น ใช้ CPE ความเข้มข้นจาก 5-30 % การผสมโดยใช้สารช่วยผสมจะทำการปรับปรุงสมบัติเชิงกลเช่น ความแข็งแรงดึง การดึงยืด ความต้านทานแรงกระแทก โดยใช้อัตราส่วน 70:30 GRT-LDPE สารช่วยผสมจะทำให้การยึดเกาะระหว่างพลาสติกกับยางดีขึ้น จากการทดลองพบว่าเมื่อเติมสารช่วยผสมลงไปจะทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น การยึดเกาะระหว่างยางกับพลาสติกดีขึ้น ดัชนีการหลอมไหล (Melt flow index) ลดลงเพราะสารช่วยผสมจะไปเพิ่มการยึดเกาะกัน เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารช่วยผสมทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นและมอดูลัสเพิ่มขึ้นด้วย

Rajalingam และคณะ [5] ได้ทำการทดลองโดยนำเทอร์โมพลาสติกผสมกับ GRT ต่างชนิดกัน ทดลองที่สถานะเดียวกัน ใช้สารคู่ควบชนิดเดียวกัน อัตราส่วนเดียวกัน การทดลองทำการศึกษาผลกระทบของขนาดอนุภาค การกระจายตัวของอนุภาค รูปร่าง วิธีการบด ความเข้มข้นของออกซิเจนที่ผิว จากผลการทดลองพบว่า Melt-ambient-ground GRT ของพอลิเมอร์ประกอบจะเกิดการออกซิเดชันที่สูงกว่า Cryo-ground และ Normal-air-ground GRT ทำให้มีพลังงานรับแรงกระแทกที่ต่ำกว่า และสำหรับขนาดของอนุภาค GRT ที่เล็กกว่าทำให้สมบัติต้านแรงกระแทกเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่ทำให้ความสามารถในการขึ้นรูปของพอลิเมอร์ประกอบดีขึ้นมาก เทคนิคการปรับปรุงพื้นผิว GRT เพื่อปรับปรุงการยึดเกาะระหว่างผิวพบว่าสมบัติต้านแรงกระแทกที่ได้จากวิธีการแผ่รังสีด้วยลำแสงอิเล็กตรอน (Electron beam radiation) จะสูงกว่าวิธีโคโรนา (Corona) และพลาสมา (Plasma)

Sawant และ Kale [6] ได้ทำการทดลองโดยการนำเอาพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ใช้แล้ว (Recycle HDPE) ผสมกับ GRT ทดลองที่อัตราส่วน 0-80 % GRT พบว่า เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด ลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเติม GRT และความแข็งแรงดึงจะยิ่งลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ GRT ซึ่งสมบัติเชิงกลที่กล่าวมาลดลงเนื่องจากไม่เข้ากัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีสารช่วยผสม (Compatibilizers) เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ EPDM เป็นสารช่วยผสม

Mason และคณะ [8] ได้ทำการผสมโดยใช้ผงยางจากเศษยางรถยนต์ผสมกับพอลิเอทิลีน โดยมี Slip contact agent จำพวกคินขาว (Talc) และสารหล่อลื่น (Lubricant) เป็นสารช่วยผสม และทำเป็นเม็ด (Pellet) แล้วนำไปผ่านกระบวนการอัดรีดเพื่อทำเป็นท่อน้ำซึม โดยอุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 160-205 °C ซึ่งอัตราการซึมผ่านของน้ำจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมของ Pellet และอุณหภูมิที่หัวคายน์

Kowalska และ Wielgosz [7] ได้ศึกษาการทำท่อโดยใช้ผงยางจากเศษยางรถยนต์ซึ่งมีขนาด 40 และ 80 mesh มาผสมกับพอลิเอทิลีน (ไม่ระบุชนิด) โดยใช้สารให้ฟอง และสารช่วยผสม พบว่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดของผงยางจากเศษยางรถยนต์ที่ลดลง จะทำให้ความสม่ำเสมอของโครงสร้าง ของท่อและความหนาแน่นลดลง นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณพอลิเอทิลีนทำให้ความหนาแน่นมีค่าลดลง ส่วนการเพิ่มปริมาณสารให้ฟองจะทำให้สมบัติเชิงกลลดลง เมื่อทำการศึกษาอัตราส่วนการซึมผ่านจะพบว่ามีความสูงที่สุดที่ปริมาณพอลิเอทิลีนเท่ากับ 35-40 % โดยน้ำหนัก และยังพบว่าอัตราการซึมผ่านของน้ำจะแปรผกผันกับความยาวของท่อ

Pramanik และ Baker [9] นำผงยางจากเศษยางรถยนต์ขนาด 40 และ 80 mesh มาผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแบบเชิงเส้น (LLDPE) เพื่อปรับปรุงสมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกจึงใส่เอทิลีนอะคริลิกแอซิด (Ethylene-acrylic acid) และยางธรรมชาติแบบอีพอกซีไดซ์ (Epoxydized natural rubber) เป็นสารช่วยผสม พบว่าเมื่อปริมาณของยางธรรมชาติแบบอีพอกซีไดซ์เพิ่มขึ้น หรือผงยางจากเศษยางรถยนต์มีขนาดเล็กลงจะทำให้สมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเติมไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl peroxide) ลงไปจะทำให้สมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกเพิ่มสูงขึ้น และถ้าเคลือบผงยางจากเศษยางรถยนต์ด้วยไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์และไตรเออริลไซยานูเรท (Triallyl cyanurate) จะทำให้สมบัติความทนทานต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้นเช่นกัน

เบญจวรรณ ชนะจรัญวิทย์ และคณะ [10] ได้ศึกษาท่อน้ำซึมจากผงยางจากยางรถยนต์ และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ โดยศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมบัติต่างๆของท่อน้ำซึม ได้แก่ อัตราส่วนของ GRT:LDPE ที่เหมาะสม และปริมาณสารให้ฟอง ซึ่งได้สูตรที่เหมาะสมคือ GRT:LDPE:AZ เท่ากับ 60:40:3

## บทที่ 3

### การดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 สารเคมี

1. พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low Density Polyethylene : LDPE) บริษัท Thai Petrochemical Industry Co.,Ltd (TPI) สมบัติบางประการของ LDPE แสดงได้ดังตารางที่ 3.1
2. พวงยางจากเศษยางรถยนต์ขนาด 6 10 20 30 และ 40 mesh ชนิดบดที่อุณหภูมิห้อง (Ambient Grinding) บริษัท Saeng Thai Rubber Factory Co.,Ltd.
3. เอโซไซด์คาร์บอนาไมด์ (Azodicarbonamide :AZ) บริษัท Dengjin Chemical Co.,Ltd. สมบัติบางประการของ AZ แสดงได้ดังตารางที่ 3.2
4. พอลิเอทิลีน กราฟ มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Polyethylene graft maleic anhydride : MFI = 5.0 g/ 10 min)
5. ไดคิวมีลเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl peroxide :DCP)
6. ไดมethylฟอร์มามิด (Dimethylformamide : DMF)

ตารางที่ 3.1 แสดงสมบัติบางประการของพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่ใช้ในการทดลอง

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

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

ตารางที่ 3.2 แสดงสมบัติของเอโซไดคาร์โบนาไมด์ที่ใช้ในการทดลอง

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

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

### 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single screw extruder) Axon ab. Plama skiner รุ่น BX-18 ; Intro Engineering
2. เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile tester) LLOYD รุ่น LR30K; LLOYD Instrument
3. เครื่องบดพลาสติก (Plastic grinder) Bosco รุ่น A600; Bosco Engineering
4. เครื่องอัดแบบชนิดอัด (Compression molding machine)

### 3.3 วิธีการทดลอง

#### 3.3.1 การเตรียมสารตัวอย่าง

1. ศึกษาผลของขนาดผงจากยางรถยนต์
  - เตรียม GRT:LDPE:AZ ในอัตราส่วน 60:40:3 โดยน้ำหนักในทุกการทดลอง
  - เปลี่ยนขนาดของ ผงจากยางรถยนต์เป็นขนาด 6,10,20,30 และ 40 mesh
  - นำส่วนผสมแต่ละสูตรไปเข้าเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว
  - นำไปบดโดยเครื่องบด
  -

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จากนั้นนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแบบชนิดอัด ที่อุณหภูมิ 230 °C จากนั้นนำมาตัดเป็นรูปคัมเบล
- ทดสอบความแข็งแรงดึงกับเครื่องทดสอบแรงดึง และการซึมผ่านของน้ำ

ตารางที่ 3.3 แสดงส่วนผสมในการทดสอบหาขนาดอนุภาค GRT ที่เหมาะสม ในสูตร GRT:LDPE :AZ (60:40:3)

ขนาดอนุภาค GRT (Mesh)	ปริมาณ GRT (g)	ปริมาณ LDPE (g)	ปริมาณ AZ (g)
6	300	200	15
10	300	200	15
20	300	200	15
30	300	200	15
40	300	200	15

2. ศึกษาผลของสารช่วยผสม

- ชั่งส่วนผสมของ GRT:LDPE:AZ เป็น 60:40:3 โดยน้ำหนัก โดยใช้ขนาดของผงขยงจากยารรถยนต์ ที่ได้จากข้อ 1
- ชั่ง PE-g-MA ในอัตราส่วน 1,2,3,4 และ 5 % โดยน้ำหนักทั้งหมด
- นำส่วนผสมแต่ละสูตรด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแบบชนิดอัด ที่อุณหภูมิ 230 °C ทดสอบสมบัติต่างๆ

ตารางที่ 3.4 แสดงส่วนผสมในการทดสอบหาปริมาณ PE-g-MA ที่เหมาะสม ในสูตร GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA (60:40:3:PE-g-MA) เมื่อใช้ขนาดอนุภาค GRT เท่ากับ 30 mesh

สูตร PE-g-MA %	ปริมาณ GRT (g)	ปริมาณ LDPE (g)	ปริมาณ AZ (g)	ปริมาณ PE-g-MA (g)
0	300	200	15	0
1	300	200	15	5
2	300	200	15	10
3	300	200	15	15
4	300	200	15	20
5	300	200	15	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. ศึกษาผลของสารเชื่อมโยง

- ชั่งส่วนผสมของ GRT:LDPE:AZ ที่เหมาะสม (จากข้อ 1)
- ชั่ง DCP ในอัตราส่วน 0.3 , 0.5, 0.7 และ 1.0 % โดยน้ำหนักของผงยางจากยางรถยนต์ แล้วทำเป็นสารละลายเข้มข้น 10 % w/v ในสารละลาย DMF
- นำมาผสมกับอัตราส่วนข้างต้นโดยใช้เครื่องปั่นผสมความเร็วสูง ที่ 3,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิห้อง
- นำส่วนผสมแต่ละสูตรไปเข้าเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว
- นำไปบดโดยเครื่องบด
- จากนั้นนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแบบชนิดอัด ที่อุณหภูมิ 230 °C จากนั้นนำมาตัดเป็นรูปคัมเบล
- ทดสอบความแข็งแรงดึงกับเครื่องทดสอบแรงดึง
- ทดสอบการซึมผ่านของน้ำ

ตารางที่ 3.5 แสดงส่วนผสมในการทดสอบหาปริมาณ DCP ที่เหมาะสม ในสูตรGRT:LDPE:AZ:DCP (60:40:3:DCP) เมื่อใช้ขนาดอนุภาค GRT เท่ากับ 30 mesh และใช้สารละลาย DCP เข้มข้น 10 % w/v ใน DMF

สูตร DCP	ปริมาณ GRT (g)	ปริมาณ LDPE (g)	ปริมาณ AZ (g)	ปริมาณ DCP (g)	ปริมาณ DMF (ml)
0	600	400	30	0	0
0.3	600	400	30	1.8	18
0.5	600	400	30	3.0	30
0.7	600	400	30	4.2	42
1.0	600	400	30	6.0	60

### 4. ศึกษาผลของสารช่วยผสมกับสารเชื่อมโยง

- ชั่งส่วนผสมของ GRT:PE:AZ:PE-g-MA:DCP ที่เหมาะสม (จากข้อ 1, 2 และ 3 )
- นำอัตราส่วนข้างต้นมาผสมโดยใช้เครื่องปั่นผสมความเร็วสูง ที่ 3,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิห้อง
- นำส่วนผสมเข้าเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว
- นำไปบดโดยเครื่องบด
- จากนั้นนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแบบชนิดอัด ที่อุณหภูมิ 230 °C จากนั้นนำมาตัดเป็นรูปคัมเบล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทดสอบความแข็งแรงดิ่งกับเครื่องทดสอบแรงดิ่ง
- ทดสอบการซึมผ่านของน้ำ

ตารางที่ 3.6 แสดงส่วนผสมในการทดสอบหาสูตรผสมที่เหมาะสม ในการผลิตท่อน้ำซึมที่มีสมบัติที่ดีในสูตร GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA:DCP(60:40:3:4:0.5) เมื่อใช้ขนาดอนุภาค GRT เท่ากับ 30 mesh และ ใช้สารละลาย DCP เข้มข้น 10 % w/v ใน DMF

สูตร	ปริมาณ GRT (g)	ปริมาณ LDPE (g)	ปริมาณ AZ (g)	ปริมาณ PE-g-MA (g)	ปริมาณ DCP (g)	ปริมาณ DMF (ml)
Final	300	200	15	4	0.5	30

### 3.3.2 การทดสอบ

#### 1. สมบัติเชิงกล

นำตัวอย่างรูปดรัมเบลที่ได้มาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดิ่งตามมาตรฐาน ASTM 638-87b ที่ความเร็วการดิ่ง 100 mm/min น้ำหนักการดิ่ง 30 kN ทำการทดสอบโดยใช้ชิ้นงานตัวอย่าง 10 ชิ้น

#### 2. ความหนาแน่น

นำชิ้นงานที่ได้มาตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยม นำไปชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด 4 ตำแหน่ง แล้วนำมาคำนวณหาความหนาแน่นโดยเทียบน้ำหนักต่อปริมาตร

#### 3. สันฐานวิทยา

นำชิ้นงานที่ได้ในแต่ละสูตรไปทำการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic fracture) โดยใช้ไนโตรเจนเหลวแล้วนำไปตรวจสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกวาด (SEM) เพื่อศึกษาการกระจายตัวของผงยาง GRT และฟองอากาศในท่อน้ำซึม

#### 4. ทดสอบการซึมผ่านของน้ำ

นำชิ้นงานที่ได้จากเครื่องอัดแบบชนิดอัด มาตัดเป็นวงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว แล้วนำไปใส่ในเครื่องทดสอบการซึมผ่านของน้ำ ทำการวัดปริมาณของน้ำที่ซึมผ่านออกมา ในเวลา 5 นาที แล้วคิดอัตราการไหล ( $l/hr \cdot cm^2$ )

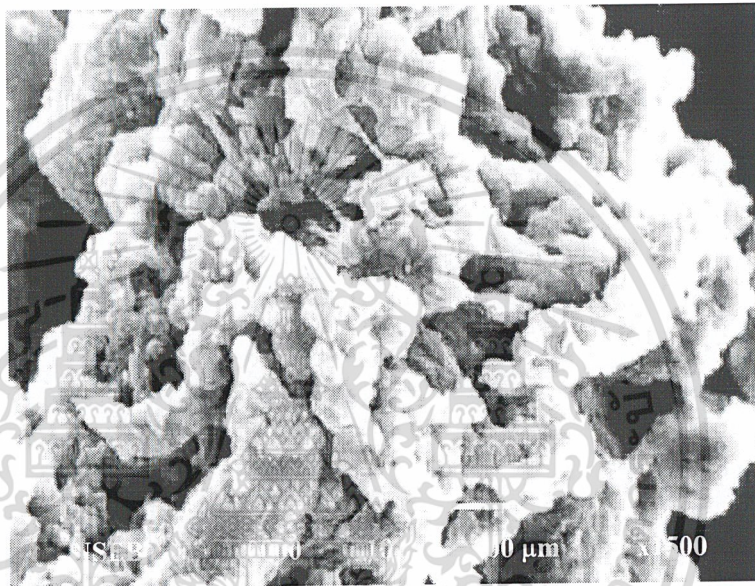
## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 ศึกษาผงจากยางรถยนต์ (GRT)

##### 4.1.1 สัณฐานวิทยา (Morphology)

การศึกษาสัณฐานวิทยาของผงจากยางรถยนต์ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ได้ผลการศึกษาดังรูป

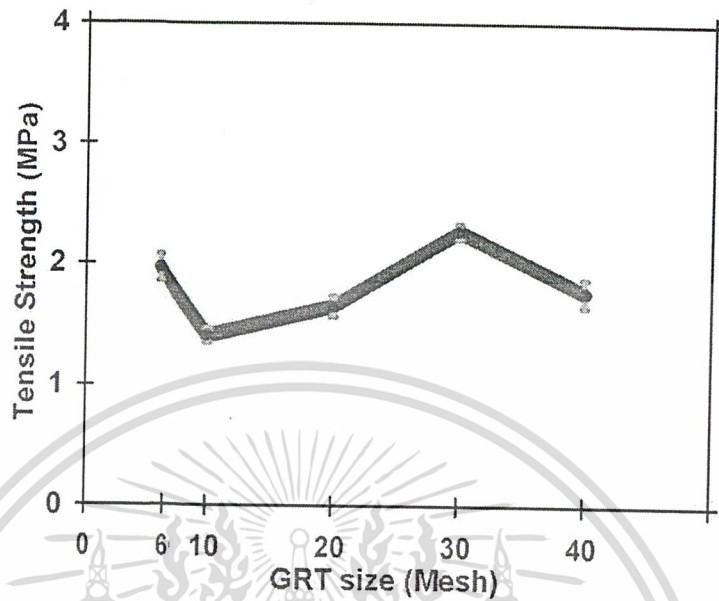


รูปที่ 4.1 SEM micrograph แสดงสัณฐานวิทยาของผงจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh ที่กำลังขยาย 1500 เท่า

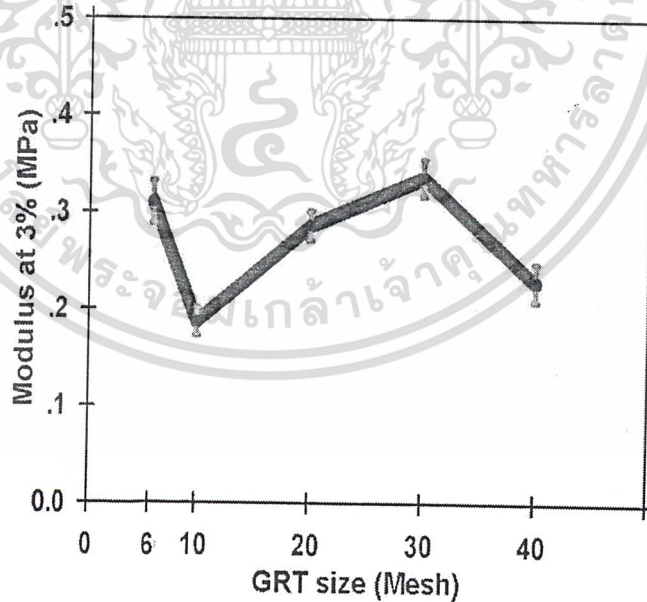
จากสัณฐานวิทยาของผงจากยางรถยนต์พบว่า ผงจากยางรถยนต์มีลักษณะเป็นก้อนกลมมีรูปร่างไม่แน่นอน และรวมกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ (Agglomerate) และมีช่องว่างระหว่างกลุ่มก้อนที่มีขนาดต่างๆกัน

### 4.2 ศึกษาขนาดผงยางจากยางรถยนต์ที่เหมาะสมในการผลิตท่อน้ำซึม

#### 4.2.1 ศึกษาสมบัติเชิงกล

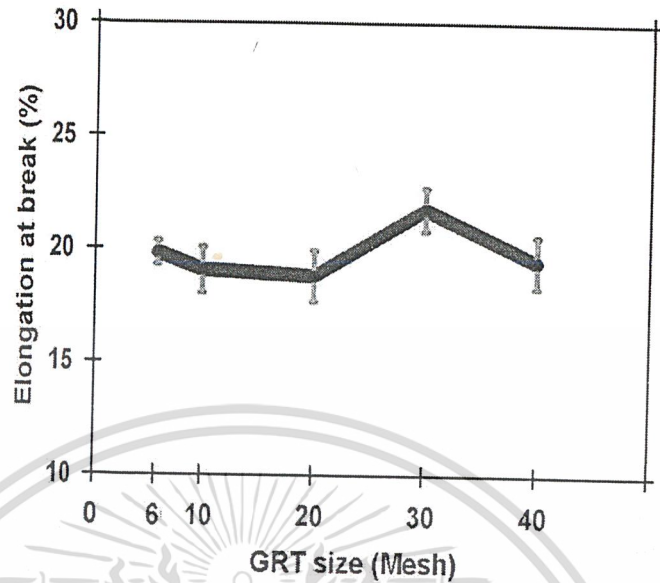


รูปที่ 4.2 แสดงค่าความแข็งแรงดึงของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ ขนาดต่างๆ

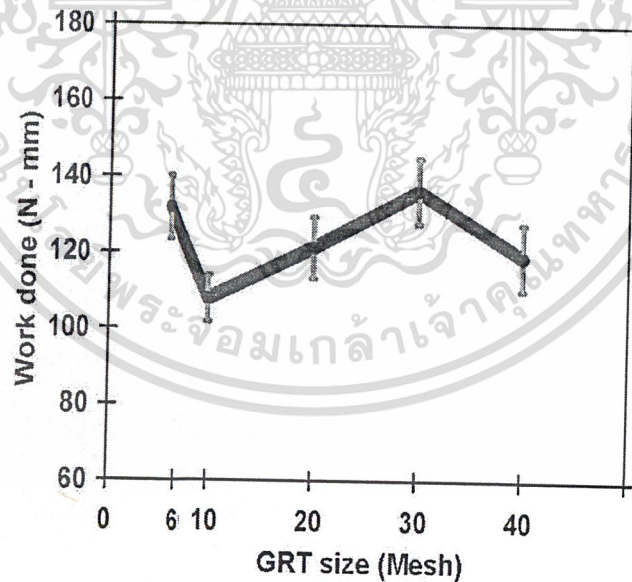


รูปที่ 4.3 แสดงค่ามอดุลัสของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ ขนาดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



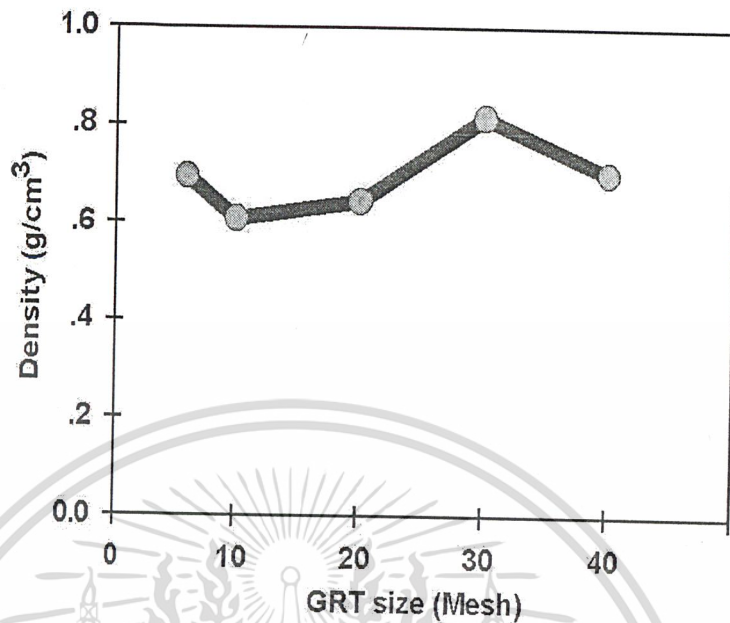
รูปที่ 4.4 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาดต่างๆ



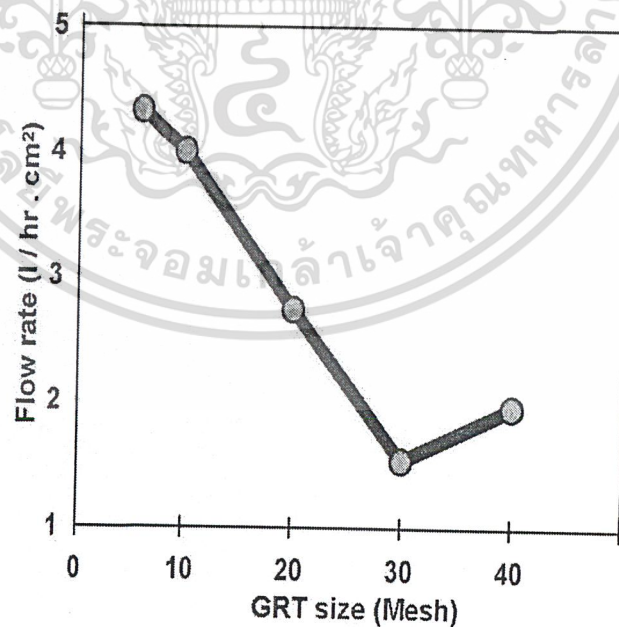
รูปที่ 4.5 แสดงค่าพลังงานที่ใช้ทำให้ชิ้นงานแตกหัก GRT:LDPE:AZ (60:40:3) โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2.2 สมบัติอื่นๆ



รูปที่ 4.6 แสดงค่าความหนาแน่นของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาดต่างๆ



รูปที่ 4.7 แสดงค่าอัตราการซึมผ่านน้ำของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

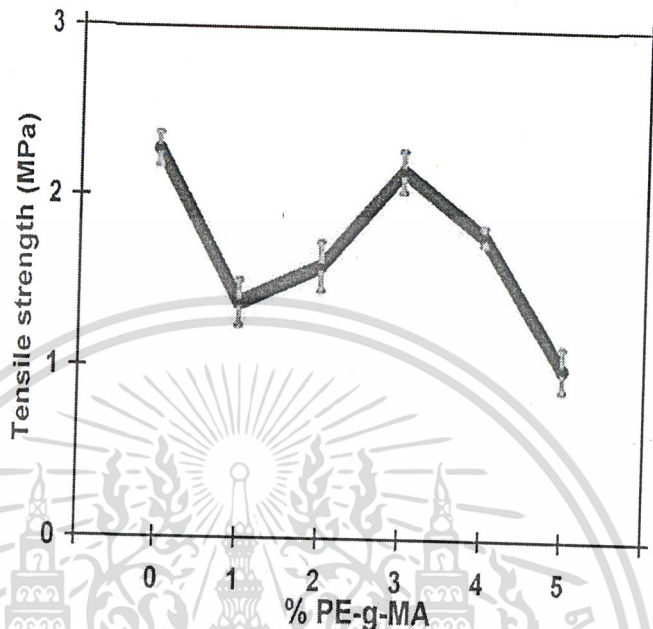
จากการศึกษาสมบัติเชิงกล เพื่อนำมาใช้ในการเลือกขนาดอนุภาค GRT ที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในการทำท่อน้ำซึม จากการทดสอบพบว่าแนวโน้มของสมบัติเชิงกลมีค่าลดลงและเพิ่มขึ้นแล้วลดลงอีก แนวโน้มเป็นเช่นนี้เนื่องมาจาก GRT ที่มีอนุภาคขนาดใหญ่จะมีการกระจายตัวไม่ดีทำให้ LDPE ซึ่งเป็นตัวเมทริกซ์ไม่สามารถครอบคลุม GRT ที่มีขนาดใหญ่ได้อย่างทั่วถึงและ LDPE ยังมีปริมาณที่น้อยกว่า และรูที่เกิดขึ้นจากช่องว่างระหว่าง GRT และรูที่เกิดจากฟองของ AZ เป็นผลทำให้สมบัติเชิงกลของยางมีแนวโน้มนลดลงในช่วงแรก ช่วงต่อมาสมบัติเชิงกลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากผวยางจากยางรถยนต์มีขนาดเล็กทำให้เกิดการกระจายตัวได้ดีขึ้น LDPE สามารถครอบคลุมได้ทั่วถึงมากขึ้นทำให้ช่องว่างที่เกิดจาก GRT ลดลงและมีช่องว่างที่เกิดจากฟองของ AZ ส่วนขนาดอนุภาคของ GRT ที่มีขนาดเล็กที่สุดทำให้สมบัติเชิงกลมีค่าลดลงเนื่องจาก อนุภาคที่มีขนาดเล็กจะมีการกระจายตัวได้ไม่ดี เกิดการรวมเป็นกลุ่มก้อนของผวยางจากยางรถยนต์ทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งจะเปรียบเสมือนผวยางจากยางรถยนต์ที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ จึงเป็นผลทำให้สมบัติเชิงกลมีค่าลดลง

อัตราการซึมน้ำจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดอนุภาคลดลง อนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะเกิดรูพรุนที่เกิดจากช่องว่างระหว่างอนุภาคของผวยางจากยางรถยนต์เองและรูพรุนที่เกิดจากฟองก๊าซ ทำให้ปริมาณการซึมของน้ำมีมาก แต่เมื่ออนุภาคขนาดเล็กอัตราการซึมน้ำจะมีแนวโน้มคงที่ แต่ถ้าอนุภาคผวยางจากยางรถยนต์เล็กมากจะทำให้เกิดการรวมกันเป็นกลุ่มก้อนของผวยางจากยางรถยนต์และจะทำให้การซึมน้ำมีลักษณะเช่นเดียวกับอนุภาคผวยางจากยางรถยนต์ขนาดใหญ่

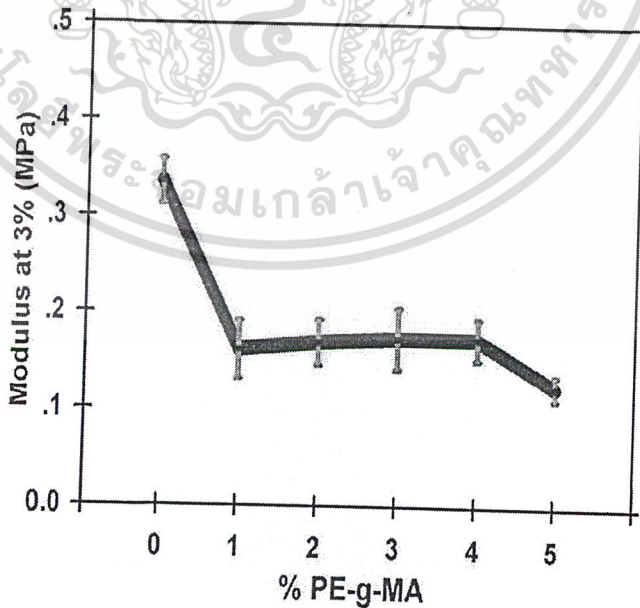
ในการทดสอบการซึมน้ำ GRT ที่มีขนาดอนุภาค 30 mesh จะมีอัตราการซึมน้ำอยู่ในช่วงที่เราสนใจ ประกอบกับสมบัติเชิงกลมีค่าดีที่สุด จึงตัดสินใจเลือกอนุภาค GRT 30 mesh นำไปใช้ในการทดลองต่อไป

### 4.3 ศึกษาปริมาณของสารช่วยผสมที่เหมาะสมในการผลิตท่อน้ำซึม

#### 4.3.1 สมบัติเชิงกล



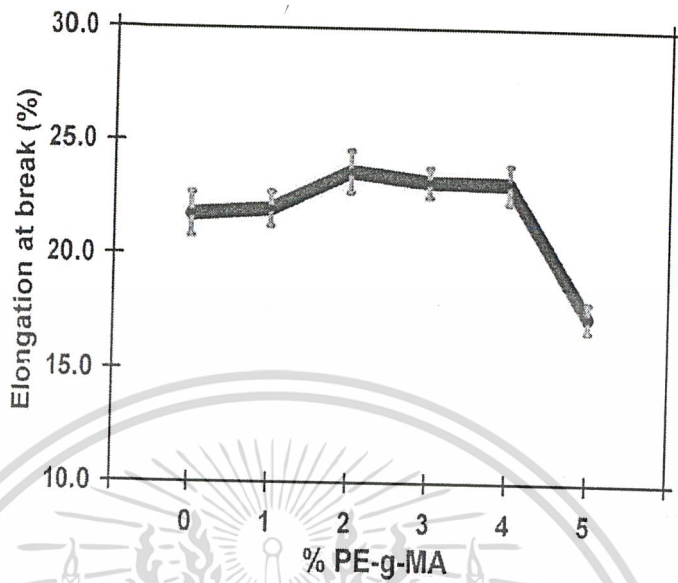
รูปที่ 4.8 แสดงค่าความแข็งแรงดึงของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) กับปริมาณสารช่วยผสม โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์จากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh



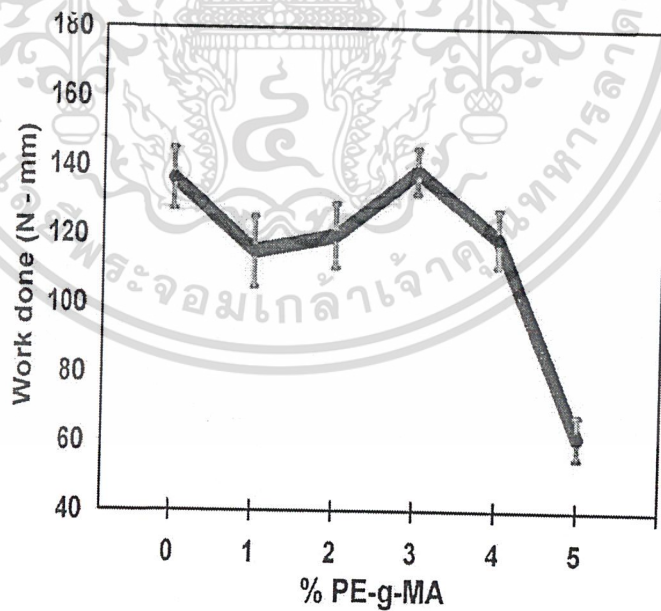
รูปที่ 4.9 แสดงค่ามอดุลัสของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) กับปริมาณสารช่วยผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh



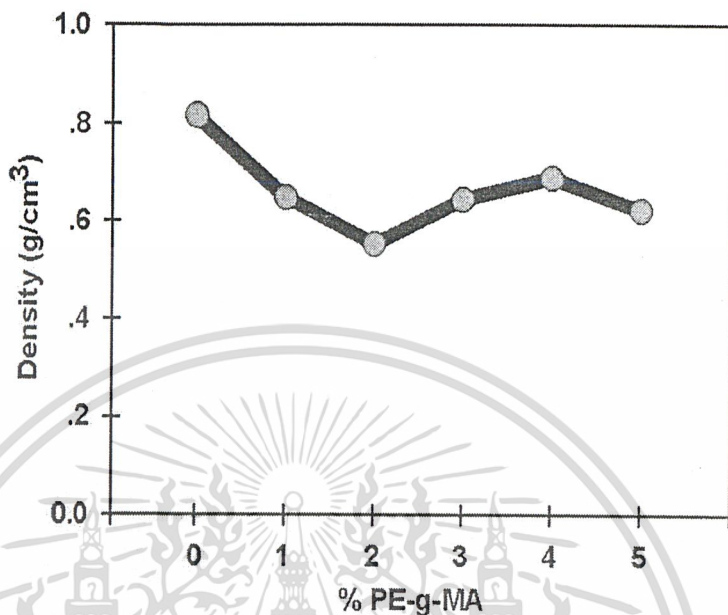
รูปที่ 4.10 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) กับปริมาณสารช่วยผสม โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh



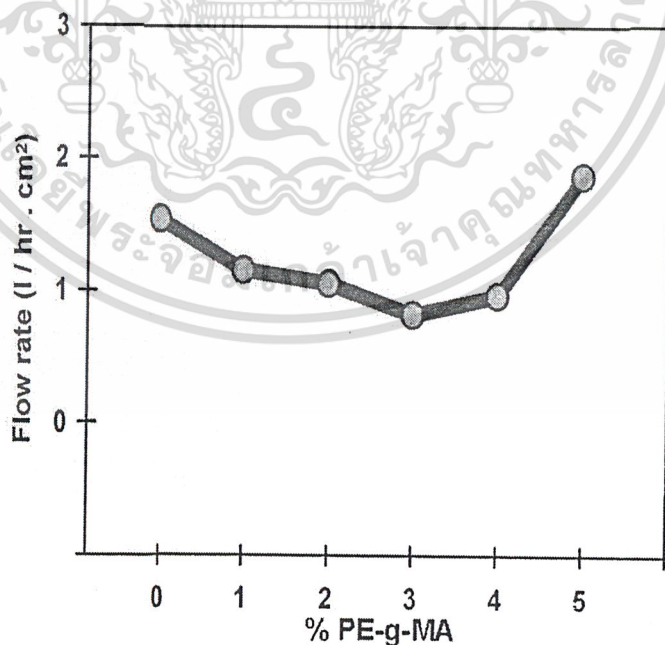
รูปที่ 4.11 แสดงค่าพลังงานที่ใช้ทำให้ชิ้นงานแตกหักของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) กับปริมาณสารช่วยผสม โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.3.2 สมบัติอื่นๆ



รูปที่ 4.12 แสดงค่าความหนาแน่นของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) กับปริมาณสารช่วยผสม โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh



รูปที่ 4.13 แสดงค่าอัตราการซึมผ่านน้ำของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) กับปริมาณสารช่วยผสม

โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PE-g-MA มีส่วนที่เข้ากันได้กับทั้ง LDPE และ GRT ทำให้วัสดุสามารถถ่ายเทแรงได้ทั่วถึงมากขึ้น เมื่อพิจารณาผลของปริมาณ PE-g-MA พบว่าเมื่อปริมาณ PE-g-MA เพิ่มขึ้นในช่วง 1-3 % สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ในช่วง 4-5 % จะมีค่าลดลง เนื่องจาก เมื่อใช้ปริมาณสารช่วยผสมที่มีปริมาณพอเหมาะ (1-3 %) จะทำให้พยางจากยางรถยนต์เกิดการกระจายตัวได้ดี ทำให้ส่วนของ LDPE สามารถห่อหุ้มอนุภาคพยางจากยางรถยนต์ได้รอบ เกิดเป็นโครงสร้างที่ต่อเนื่องค่า % Elongation at break จึงเพิ่มขึ้น

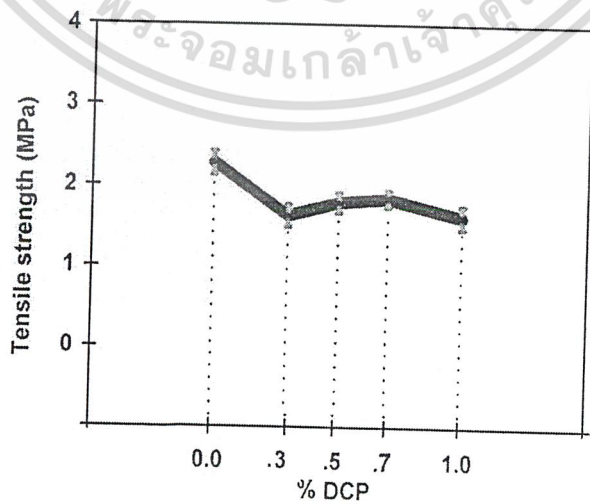
ส่วนที่สมบัติเชิงกลลดลงในช่วงที่ปริมาณ PE-g-MA มาก (4-5 %) คาดว่าเมื่อปริมาณสารช่วยผสมที่มากเกินไป สารช่วยผสมจะทำหน้าที่คล้ายกับสารหล่อลื่น ทำให้เมื่อได้รับแรงดึงสายโซ่ของพอลิเมอร์จึงเกิดการเคลื่อนที่และหลุดออกจากกันได้ง่าย สมบัติเชิงกลจึงมีแนวโน้มลดลง

เมื่อพิจารณาถึงความหนาแน่นจะพบว่าเมื่อปริมาณสารช่วยผสมมีปริมาณน้อย กลุ่มก้อนของพยางจากยางรถยนต์ซึ่งมีความหนาแน่นสูง ( $1.1-1.4 \text{ g/cm}^3$ ) จะมีการกระจายตัวที่ไม่ดี ทำให้ชิ้นงานมีน้ำหนักเมื่อเทียบกับปริมาตรหนึ่งๆมาก ความหนาแน่นจึงสูงกว่าเมื่อเทียบกับชิ้นงานที่มีการกระจายตัวของพยางจากยางรถยนต์ที่ดี

และเมื่อทดสอบอัตราการซึมผ่านน้ำจะมีค่าลดลง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ PE-g-MA มากขึ้น อัตราการซึมผ่านน้ำจะมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณ PE-g-MA ที่มากเกินไป สันนิษฐานว่าจะทำให้ความหนืดของระบบลดลง การเคลื่อนที่ของฟองก๊าซที่เกิดจากการสลายตัวของสารให้ฟองในขณะขึ้นรูปเคลื่อนที่ได้ง่าย ฟองก๊าซจึงเกิดการรวมตัวกันได้ดี ทำให้รูพรุนที่ได้เป็นลักษณะของรูเปิด (Open cell) อัตราการซึมผ่านน้ำจึงมาก

#### 4.4 ศึกษาปริมาณสารเชื่อมโยงที่เหมาะสมในการผลิตฟองน้ำซึม

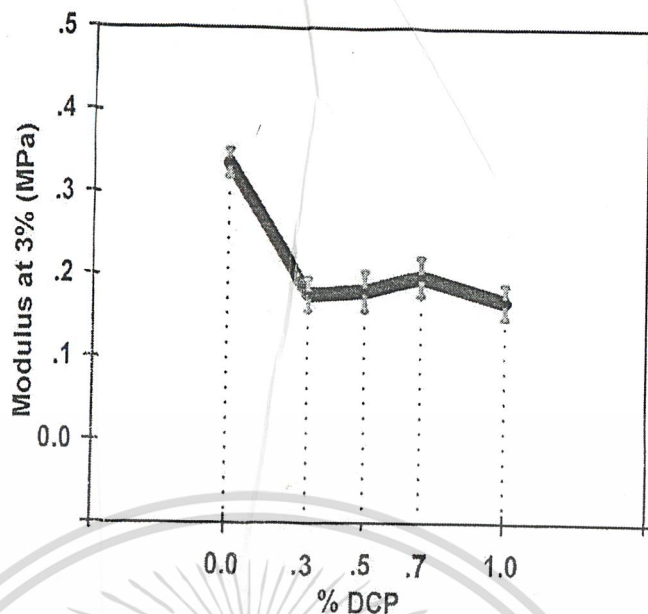
##### 4.4.1 ศึกษาสมบัติเชิงกล



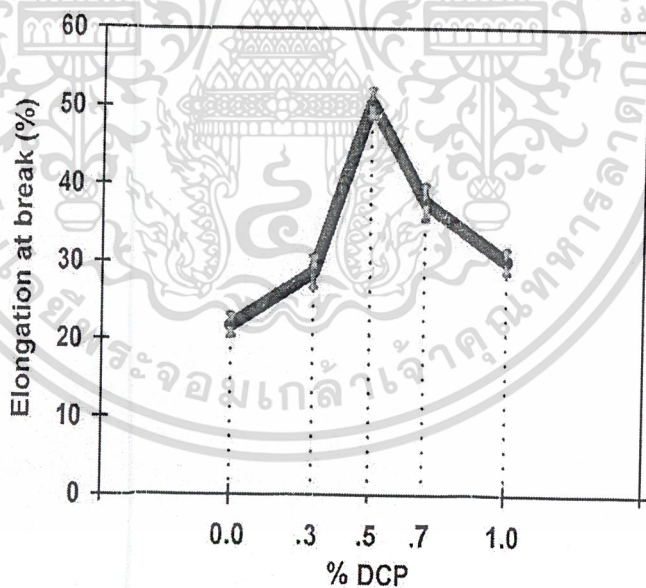
รูปที่ 4.14 แสดงค่าความแข็งแรงดึงของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) กับปริมาณสารเชื่อมโยงโดยใช้

พยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

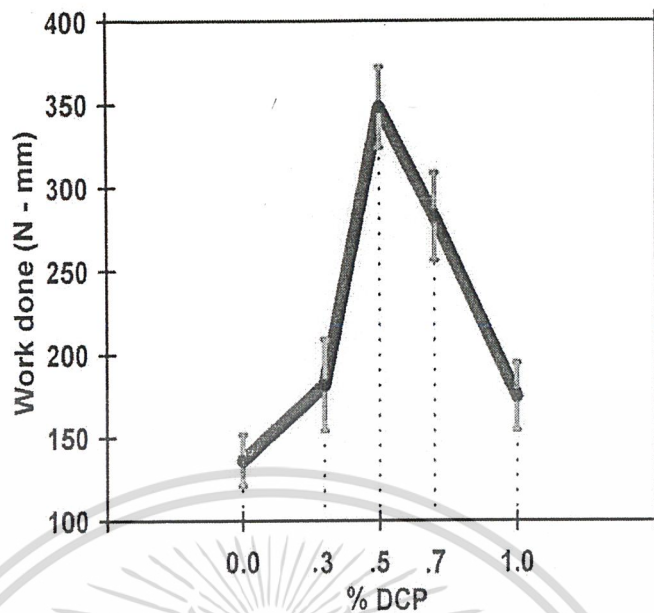


รูปที่ 4.15 แสดงค่ามอดูลัสของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) กับปริมาณสารเชื่อมโยง โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh



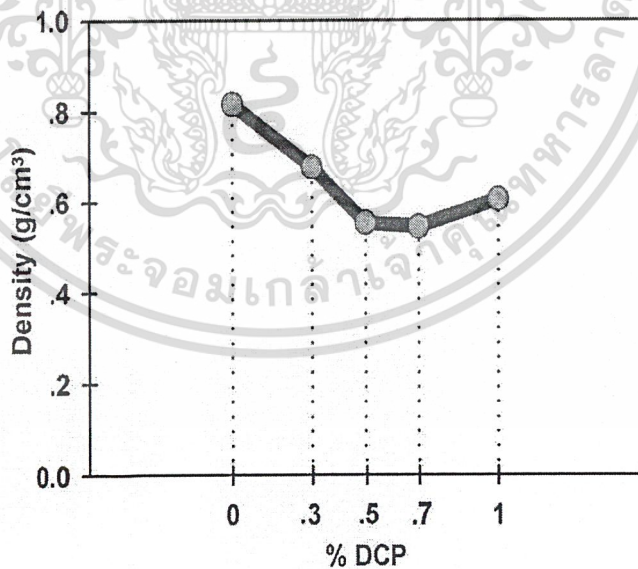
รูปที่ 4.16 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) กับปริมาณสารเชื่อมโยง โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



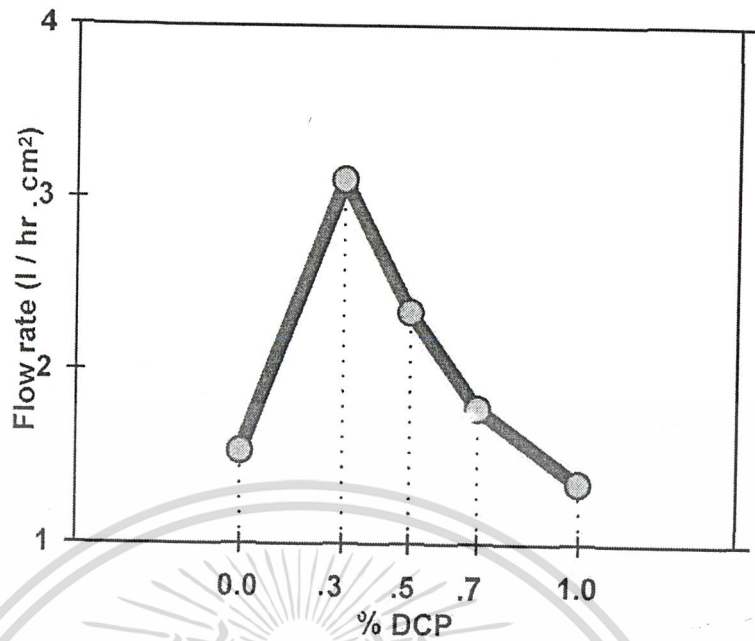
รูปที่ 4.17 แสดงค่าพลังงานที่ใช้ทำให้ชิ้นงานแตกหักของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) กับปริมาณสารเชื่อมโยง โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh

#### 4.4.2 สมบัติอื่นๆ



รูปที่ 4.18 แสดงค่าความหนาแน่นของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) กับปริมาณสารเชื่อมโยง โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



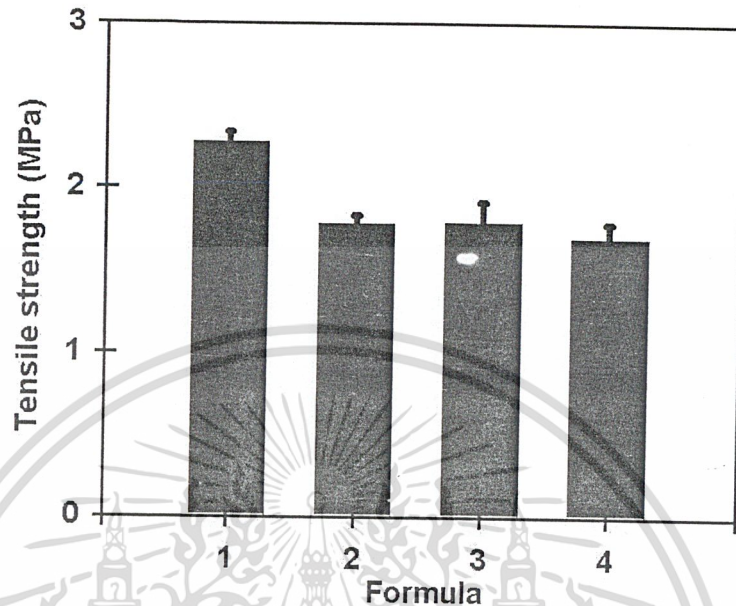
รูปที่ 4.19 แสดงค่าอัตราการซึมผ่านน้ำของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) กับปริมาณสารเชื่อมโยง โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh

การศึกษาสมบัติเชิงกลเมื่อใช้สารเชื่อมโยงคือ DCP จากการทดลองพบว่าสมบัติเชิงกล เช่น % Elongation , Work done มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารเชื่อมโยงจะทำหน้าที่ริเริ่มการเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่าง LDPE กับ GRT ทำให้ความสามารถในการยึดติดเพิ่มขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดจึงเพิ่มขึ้น และเมื่อปริมาณ DCP มากกว่า 0.5 % สมบัติเชิงกลจะมีแนวโน้มลดลง อันเป็นผลเนื่องมาจากส่วนของตัวทำละลาย DMF ที่ใช้ในปริมาณมากจะทำหน้าที่เป็นสารให้ฟองทางกายภาพในขณะขึ้นรูป (จุดเดือดของ DMF = 152 °C และอุณหภูมิขึ้นรูป 230 °C) ทำให้ชิ้นงานเกิดรูพรุนที่มากและกลายเป็นจุดอ่อนแอ (Weak point) สมบัติเชิงกลจึงมีแนวโน้มลดลง

ในการทดสอบอัตราการการซึมผ่านของน้ำ จะพบว่าเมื่อปริมาณ DCP มากขึ้นการซึมผ่านของน้ำจะลดลง เนื่องจากปริมาณ DCP ที่มากขึ้นจะทำให้ความหนืดของระบบเพิ่มสูงขึ้นในขณะที่เกิดการสลายตัวของสารให้ฟอง ฟองก๊าซที่ได้จะเกิดการเคลื่อนที่แล้วรวมตัวในลักษณะที่เป็นรูเปิด (Open cell) ทำให้ได้ยาก อัตราการซึมผ่านของน้ำจึงลดลง

#### 4.5 ศึกษาผลของสารช่วยผสมและสารเชื่อมโยงที่มีผลต่อสมบัติของท่อน้ำซึม

##### 4.5.1 สมบัติเชิงกล

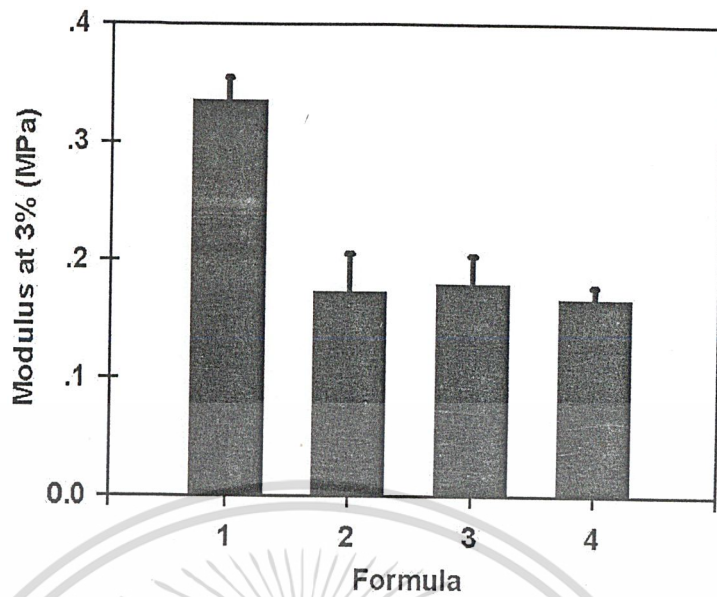


รูปที่ 4.20 แสดงค่าความแข็งแรงดึงของ GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA:DCP (60:40:3:4:0.5) โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh

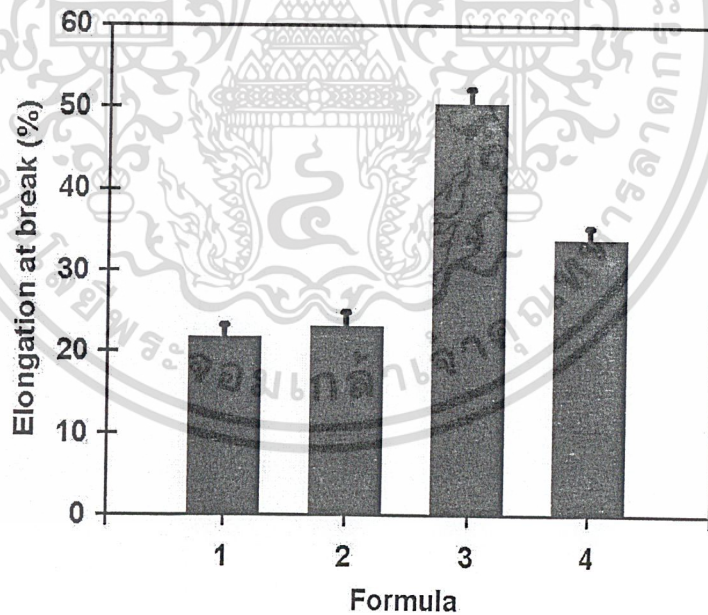
##### หมายเหตุ

- Formula 1 คือ สูตรผสมของ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh
- Formula 2 คือ สูตรผสมของ GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA (60:40:3:4) โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh
- Formula 3 คือ สูตรผสมของ GRT:LDPE:AZ:DCP (60:40:3:0.5) โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh
- Formula 4 คือ สูตรผสมของ GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA:DCP (60:40:3:4:0.5) โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

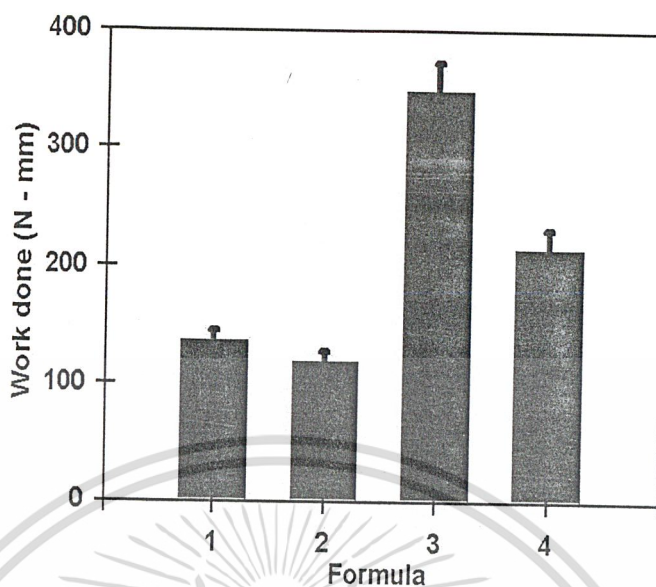


รูปที่ 4.21 แสดงค่ามอดูลัสของ GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA:DCP (60:40:3:4:0.5) โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh



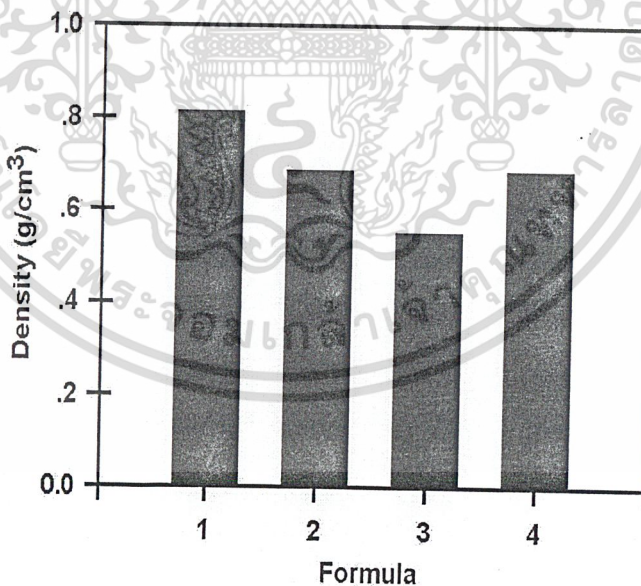
รูปที่ 4.22 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของ GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA:DCP (60:40:3:4:0.5) โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



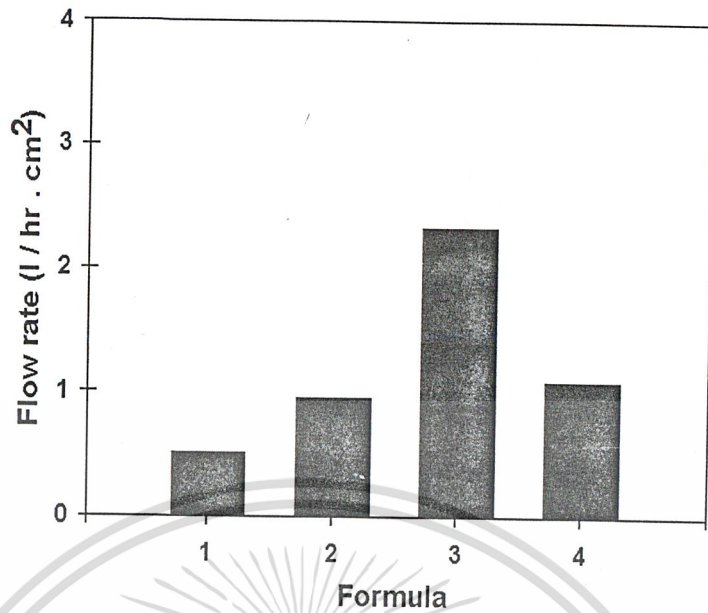
รูปที่ 4.23 แสดงค่าพลังงานที่ทำให้ชิ้นงานแตกหักของ GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA:DCP (60:40:3:4:0.5) โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh

4.5.2 สมบัติอื่นๆ



รูปที่ 4.24 แสดงค่าความหนาแน่นของ GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA:DCP (60:40:3:4:0.5) โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



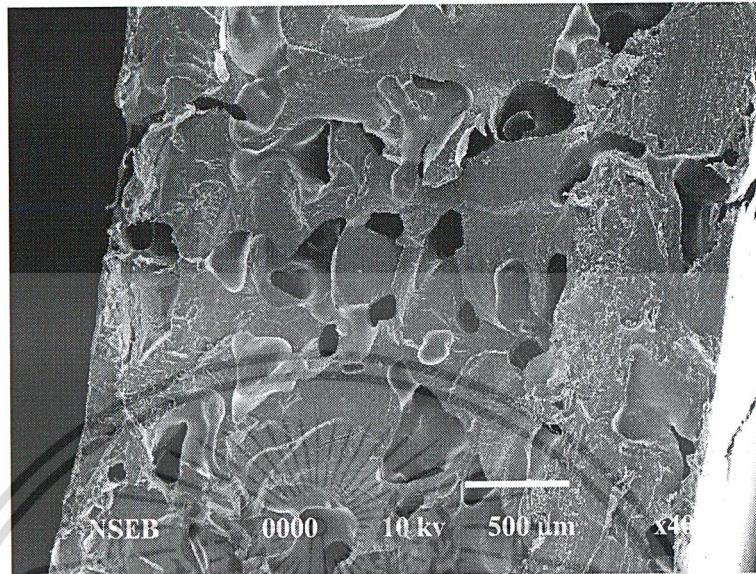
รูปที่ 4.25 แสดงค่าอัตราการซึมผ่านน้ำของ GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA:DCP (60:40:3:4:0.5) โดยใช้ พงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh

สูตรสุดท้ายจะให้แนวโน้มของค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาด ความหนาแน่น และอัตราการซึมผ่านน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับ สูตรที่เติมสารช่วยผสม (PE-g-MA) และสารเชื่อมโยง (DCP) พบว่าค่าสมบัติดังกล่าวมีค่าอยู่ระหว่างค่าที่ยังไม่ได้ทำการปรับปรุง แต่ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัส จะมีแนวโน้มที่ไม่เปลี่ยนแปลง แสดงว่าในการปรับปรุงสมบัติของท่อน้ำซึมด้วยสารช่วยผสม (PE-g-MA) หรือสารเชื่อมโยง (DCP) เพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่งจะให้สมบัติที่โดดเด่นในทางเดียว ดังเช่นการเติมสารช่วยผสม (PE-g-MA) เพียงอย่างเดียวซึ่งจะช่วยการกระจายตัวของอนุภาคของพยางจากยางรถยนต์ ซึ่งจะมีผลต่อค่าความหนาแน่น และอัตราการซึมผ่านน้ำ ในขณะที่การเติมสารเชื่อมโยง (DCP) จะช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกล เช่น ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาด ค่าความแข็งแรงดึง และค่ามอดูลัส มากกว่า

เมื่อทำการศึกษาพื้นฐานวิทยา จะพบว่าการกระจายตัวของรูพรุนในบางช่วง รูพรุนมีขนาดเล็ก ความเข้าเป็นเนื้อเดียวกันของชิ้นงานดี รูที่ได้เป็นรูเปิดเนื่องจากฟองอากาศ รูที่เกิดขึ้นมีทั้งรูเปิดและรูปิด รูที่มีลักษณะไม่เป็นวงกลมหรือรี อาจเนื่องมาจากการที่ฟองก๊าซถูกแรงกดอัดหรือเกิดการรวมกันของฟองก๊าซทำให้อุณหภูมิที่เกิดการบิดเบี้ยว

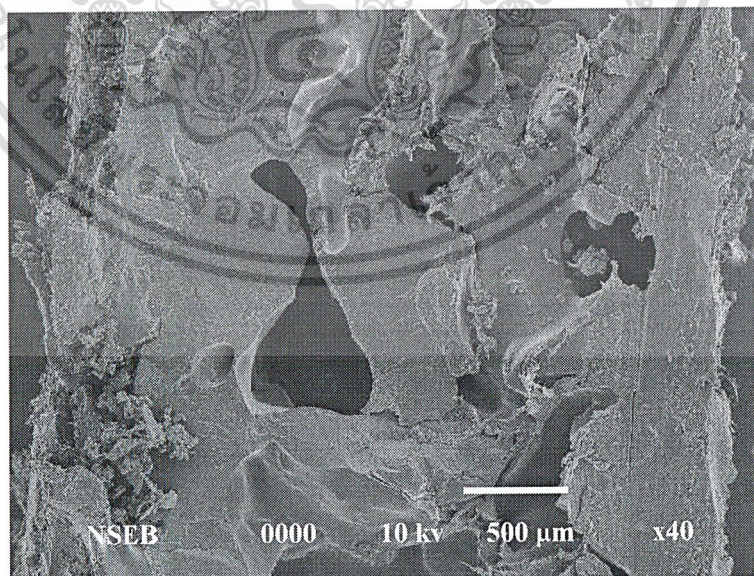
#### 4.6 ศึกษาสัณฐานวิทยาของสูตรผสมที่เหมาะสมในการผลิตท่อน้ำซึม

##### 4.6.1 สัณฐานวิทยาของสูตรผสม GRT:LDPE:AZ (60:40:3)



รูปที่ 4.26 สัณฐานวิทยาของสูตรผสม GRT:LDPE:AZ (60:40:3) โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ ขนาด 30 mesh ที่กำลังขยาย 40 เท่า

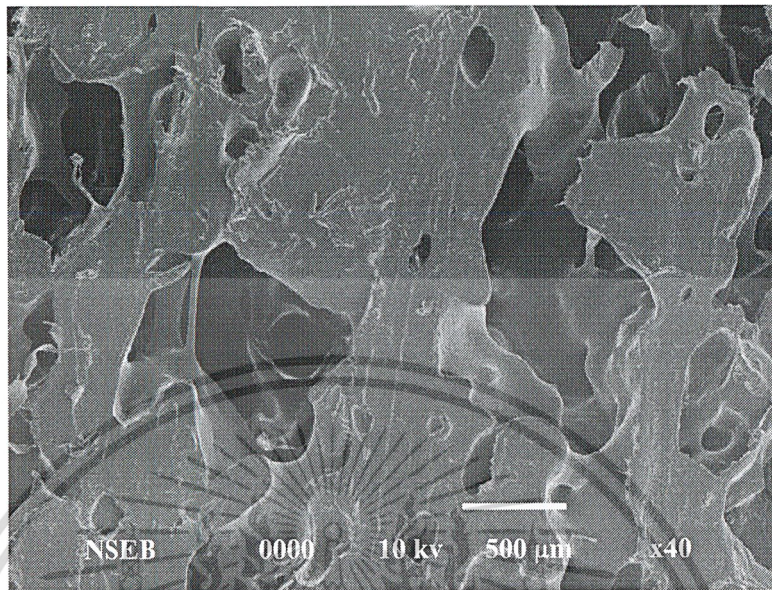
##### 4.6.2 สัณฐานวิทยาของสูตรผสม GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA (60:40:3:4)



รูปที่ 4.27 สัณฐานวิทยาของสูตรผสม GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA (60:40:3:4) โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh ที่กำลังขยาย 40 เท่า

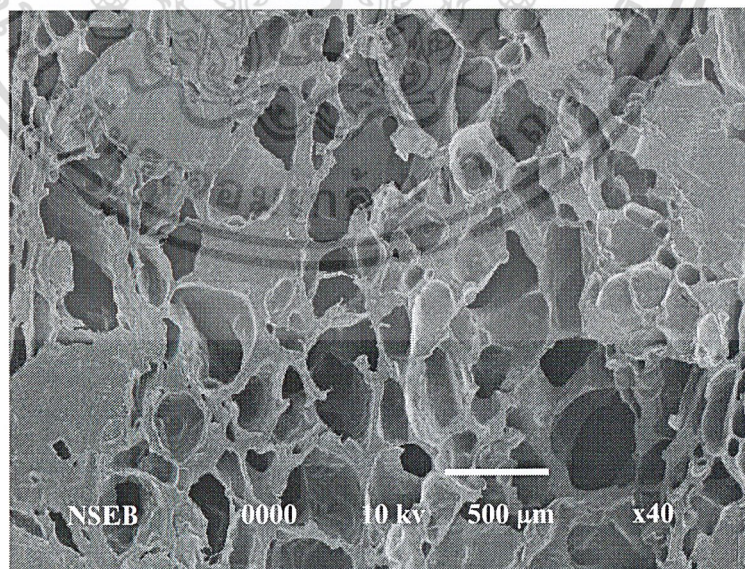
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6.3 สัณฐานวิทยาของสูตรผสม GRT:LDPE:AZ:DCP (60:40:3:0.5)



รูปที่ 4.28 สัณฐานวิทยาของสูตรผสม GRT:LDPE:AZ:DCP (60:40:3:0.5) โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh ที่กำลังขยาย 40 เท่า

#### 4.6.4 สัณฐานวิทยาของสูตรผสม GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA:DCP (60:40:3:4:0.5)



รูปที่ 4.29 สัณฐานวิทยาของสูตรผสม GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA:DCP (60:40:3:4:0.5) โดยใช้ผงยางจากยางรถยนต์ขนาด 30 mesh ที่กำลังขยาย 40 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาสัณฐานวิทยา จะทำการศึกษา การกระจายตัวของรูพรุนที่เกิดขึ้น ขนาดและลักษณะของรูพรุนที่เกิดขึ้น รวมถึงความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างพยางจากยางรถยนต์กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ซึ่งพบว่า รูพรุนที่เกิดขึ้นมีลักษณะที่เป็นทั้งรูเปิด (Open cell) และรูปิด (Close cell) รูพรุนที่เกิดขึ้นส่วนมากเกิดจากการสลายตัวของสารให้ฟอง มีขนาดเล็กและใหญ่ ซึ่งเกิดขึ้นการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอของสารให้ฟอง และรูที่เกิดขึ้นมีรูปร่างที่เป็นทรงกลมและทรงรีอื่นเนื่องมาจากแรงเฉือน จากรูปสัณฐานวิทยาพบว่าระหว่างพยางจากยางรถยนต์กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำมีความสามารถผสมเข้ากันได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

1. ลักษณะของผงยางจากยางรถยนต์มีลักษณะเป็นกลุ่มก้อน (Agglomerate) มีรูปร่างไม่แน่นอน
2. ผงยางที่มีขนาดเล็กจะให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่า ผงยางที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ จากการทดลองพบว่า GRT ขนาด 30 mesh ให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด
3. เมื่อปรับปรุงสมบัติด้วย สารช่วยผสม (PE-g-MA) และสารเชื่อมโยง (DCP) พบว่าค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าความแข็งแรงดึง มีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก
4. จากหลักฐานวิทยาพบว่าอนุภาคผงยางจากยางรถยนต์ สามารถผสมเข้ากับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำได้ดี ไม่เกิดการแยกวัฏภาค
5. รูพรุนระหว่างผงยางจากยางรถยนต์กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ มีปริมาณน้อย และมีขนาดเล็กเมื่อทำการปรับปรุงด้วย สารช่วยผสม (PE-g-MA) และสารเชื่อมโยง (DCP) และรูพรุนส่วนใหญ่เกิดจากการสลายตัวของสารให้ฟอง (AZ) ซึ่งจะให้ฟองขนาดใหญ่ มีรูปร่างไม่แน่นอน และมีลักษณะเป็นเซลล์
6. ความหนาแน่น และการซึมผ่านน้ำ มีแนวโน้มลดลง เมื่อปรับปรุงด้วย สารช่วยผสม (PE-g-MA) และสารเชื่อมโยง (DCP)

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ทำการขึ้นรูปท่อน้ำซึมแล้วทดสอบสมบัติต่างๆ ในรูปท่อและนำไปใช้งานจริง
2. ศึกษาผลของความหนา ความยาว และความดันที่มีต่ออัตราการซึมผ่านน้ำ
3. ศึกษาสมบัติความแข็งแรงโค้งงอ (Flexural strength) อายุการใช้งาน (Aging) ฯลฯ
4. ศึกษาสมบัติการไหล (Rheology)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. Makarov., “ Production of reclaim from scrap types”, REPROCESSING OF TYPES AND RUBBER WASTES., (1991), pp. 55.
2. Makarov., “ Production of reclaim from scrap types”, REPROCESSING OF TYPES AND RUBBER WASTES., (1991), pp. 153.
3. Ferguson and emblowki , Applied Fluid Rheology., 4 (1991), pp. 85-94.
4. Choudhury and Bhattacharya., ”Effect of Compatibilisation on Mechanical and Rheological Properties of Ground Rubber Tire-Polyethylene Blends”, Plastics Rubber and Composites Processing and Application., 25 (9) (1996), pp. 448-457.
5. Rajalingam Sharpe and Baker, “Ground Rubber Tire/Thermoplastic Composites: Effect of Different Ground Rubber Tires”, Rubber Chemistry and Technology., 66 (1993), pp. 664-677.
6. Sawant and Kale , “Recycled Rubber Filled Polyethylene”, Rubber Chemistry and Technology., 1996, pp. 78-80.
7. Kowalska and Wielgosz, Polymer Recycling., 2 (1996), pp. 213.
8. Mason, U.S. Pat. 4,517,316
9. Pramanik and Baker, Plastics Rubber and Composites Processing and Applications., 24 (1995), pp. 229.
10. เบญจวรรณ ชนະจรัญวิทย์ และคณะ “การศึกษาทำอน้ำซึมจากผงยางจากยางรถยนต์ และพอลิโอทีลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ” โครงการพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก

## ก. ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล และสมบัติทางกายภาพของท่อน้ำซึม

ตาราง ก-1 แสดงค่าสมบัติเชิงกลเพื่อหาขนาดอนุภาคผงยางจากยางรถยนต์ที่เหมาะสมในการผลิตท่อน้ำซึมในสูตร GRT: LDPE:AZ (60:40:3)

ขนาดอนุภาค GRT (Mesh)	สมบัติเชิงกล			
	Tensile strength (MPa)	Modulus (MPa)	Elongation at break (%)	Work done (N - mm)
6	1.97 ± 0.2	0.31 ± 0.1	19.84 ± 0.5	131.81 ± 8.0
10	1.41 ± 0.1	0.19 ± 0.1	19.09 ± 1.0	107.80 ± 6.0
20	1.65 ± 0.1	0.29 ± 0.1	18.83 ± 1.0	121.33 ± 8.0
30	2.27 ± 0.1	0.34 ± 0.1	21.76 ± 1.0	136.33 ± 9.0
40	1.77 ± 0.2	0.23 ± 0.2	19.48 ± 1.0	119.00 ± 9.0

ตาราง ก-2 แสดงค่าสมบัติทางกายภาพเพื่อหาขนาดอนุภาคผงยางจากยางรถยนต์ที่เหมาะสมในการผลิตท่อน้ำซึม ในสูตร GRT:LDPE:AZ (60:40:3)

ขนาดอนุภาค GRT (Mesh)	สมบัติของท่อน้ำซึม	
	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Flow rate (l / hr . cm <sup>2</sup> )
6	0.695	4.325
10	0.608	3.999
20	0.644	2.735
30	0.816	1.534
40	0.701	1.955

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-3 แสดงค่าสมบัติเชิงกลเพื่อหาปริมาณ PE-g-MA ที่เหมาะสมในสูตร GRT:LDPE:AZ: PE-g-MA (60:40:3:PE-g-MA) เมื่อใช้ขนาดอนุภาคผงจากยางรถยนต์เท่ากับ 30 mesh

ปริมาณ PE-g-MA (%)	สมบัติเชิงกล			
	Tensile strength (MPa)	Modulus (MPa)	Elongation at break (%)	Work done (N - mm)
0	2.28 ± 0.1	0.34 ± 0.1	21.76 ± 1.0	136.33 ± 9.0
1	1.37 ± 0.1	0.16 ± 0.3	21.76 ± 1.0	115.12 ± 10.0
2	1.59 ± 0.1	0.17 ± 0.1	22.00 ± 1.0	119.77 ± 9.0
3	2.15 ± 0.1	0.17 ± 0.1	23.66 ± 1.0	138.55 ± 7.0
4	1.78 ± 0.1	0.17 ± 0.2	23.21 ± 1.0	119.17 ± 8.0
5	1.00 ± 0.1	0.12 ± 0.1	17.35 ± 1.0	61.59 ± 6.0

ตาราง ก-4 แสดงค่าสมบัติทางกายภาพเพื่อหาปริมาณ PE-g-MA ที่เหมาะสมในสูตร GRT: LDPE: AZ: PE-g-MA (60:40:3:PE-g-MA) เมื่อใช้ขนาดอนุภาคผงจากยางรถยนต์เท่ากับ 30 mesh

ปริมาณ PE-g-MA (%)	สมบัติของท่อน้ำซึม	
	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Flow rate (l / hr . cm <sup>2</sup> )
0	0.816	1.534
1	0.649	1.151
2	0.552	1.050
3	0.643	0.813
4	0.687	0.957
5	0.621	1.860

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-5 แสดงค่าสมบัติเชิงกล เพื่อหาปริมาณ DCP ที่เหมาะสม ในสูตร GRT:LDPE:AZ:DCP (60:40:3:DCP) เมื่อใช้ขนาดอนุภาค GRT เท่ากับ 30 mesh และใช้สารละลาย DCP เข้มข้น 10 % w/v ใน DMF

ปริมาณ DCP (% of GRT)	สมบัติเชิงกล			
	Tensile strength (MPa)	Modulus (MPa)	Elongation at break (%)	Work done (N - mm)
0	2.27 ± 0.2	0.33 ± 0.1	21.76 ± 2.0	136.33 ± 15.0
0.3	1.62 ± 0.2	0.17 ± 0.1	28.65 ± 2.0	181.62 ± 27.0
0.5	1.78 ± 0.2	0.18 ± 0.1	50.38 ± 2.0	348.20 ± 25.0
0.7	1.84 ± 0.2	0.19 ± 0.1	37.66 ± 2.5	282.14 ± 26.0
1.0	1.61 ± 0.2	0.16 ± 0.1	30.12 ± 2.0	174.80 ± 20.0

ตาราง ก-6 แสดงค่าสมบัติทางกายภาพเพื่อหาปริมาณ DCP ที่เหมาะสมในสูตร GRT: LDPE: AZ: DCP(60:40:3:DCP) เมื่อใช้เมื่อใช้ขนาดอนุภาคผงยางจากยางรถยนต์เท่ากับ 30 mesh และใช้ สารละลาย DCP เข้มข้น 10 % w/v ใน DMF

ปริมาณ DCP (% of GRT)	สมบัติของท่อน้ำซึม	
	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Flow rate (l / hr . cm <sup>2</sup> )
0	0.816	1.534
0.3	0.678	3.104
0.5	0.553	2.340
0.7	0.545	1.779
1.0	0.605	1.350

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-7 แสดงค่าสมบัติเชิงกลของสูตรที่เหมาะสมในการผลิตท่อน้ำซึมที่มีประสิทธิภาพโดยใช้สูตร GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA:DCP (60:40:3:4:0.5) เมื่อใช้ขนาดอนุภาคผงขางจากขางรยนต์เท่ากับ 30 mesh และ ใช้สารละลาย DCP เข้มข้น 10 % w/v ใน DMF

สูตร	สมบัติเชิงกล			
	Tensile strength (MPa)	Modulus (MPa)	Elongation at break (%)	Work done (N - mm)
Final	1.6931 ± 0.1	0.1673 ± 0.1	33.8733 ± 2.0	215.12 ± 1.0

ตาราง ก-8 แสดงค่าสมบัติทางกายภาพของสูตรที่เหมาะสมในการผลิตท่อน้ำซึมที่มีประสิทธิภาพโดยใช้สูตร GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA:DCP (60:40:3:4:0.5) เมื่อใช้ขนาดอนุภาคผงขางจากขางรยนต์เท่ากับ 30 mesh และ ใช้สารละลาย DCP เข้มข้น 10 % w/v ใน DMF

สูตร	สมบัติของท่อน้ำซึม	
	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Flow rate (l/hr . cm <sup>2</sup> )
Final	0.689	1.088

ตาราง ก-9 แสดงการเปรียบเทียบค่าสมบัติเชิงกลของท่อน้ำซึมก่อนและหลังทำการปรับปรุงด้วย PE-g-MA และ DCP เทียบกับสูตรที่เหมาะสมในการผลิต

สูตร	สมบัติเชิงกล			
	Tensile strength (MPa)	Modulus (MPa)	Elongation at break (%)	Work done (N - mm)
GRT:LDPE:AZ (60:40:3)	2.27 ± 0.06	0.3360 ± 0.05	21.7644 ± 2.0	136.33 ± 10.0
GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA (60:40:3:4)	1.77 ± 0.05	0.17 ± 0.05	23.14 ± 2.0	119.17 ± 10.0
GRT:LDPE:AZ:DCP (60:40:3:0.5)	1.78 ± 0.10	0.18 ± 0.05	50.38 ± 2.0	348.20 ± 24.2
GRT:LDPE:AZ:PE-g- MA:DCP (60:40:3:4:0.5)	1.69 ± 0.10	0.16 ± 0.05	33.87 ± 2.0	215.12 ± 15.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

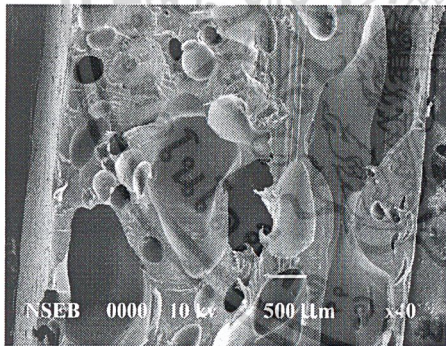
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-10 แสดงการเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของท่อน้ำซึมก่อนและหลังทำการปรับปรุงด้วย PE-g-MA และ DCP เทียบกับสูตรที่เหมาะสมในการผลิต

สูตร	สมบัติของท่อน้ำซึม	
	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Flow rate (l / hr . cm <sup>2</sup> )
GRT:LDPE:AZ (60:40:3)	0.816	0.514
GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA (60:40:3:4)	0.687	0.958
GRT:LDPE:AZ:DCP (60:40:3:0.5)	0.553	2.340
GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA:DCP (60:40:3:4:0.5)	0.689	1.088

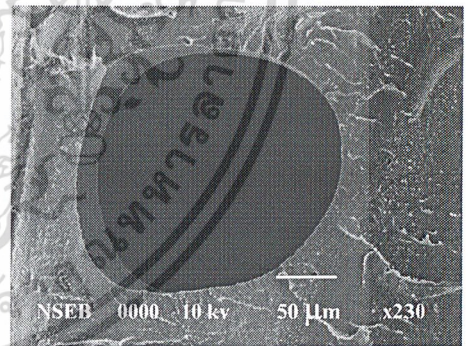
ข. รูปแสดงลักษณะพื้นฐานวิทยาของสูตรผสมต่างๆ

รูปที่ ข-1 แสดงลักษณะพื้นฐานวิทยาของสูตรผสมเพื่อหาใช้ขนาดอนุภาคผงขยงจากยางรถยนต์ที่เหมาะสม



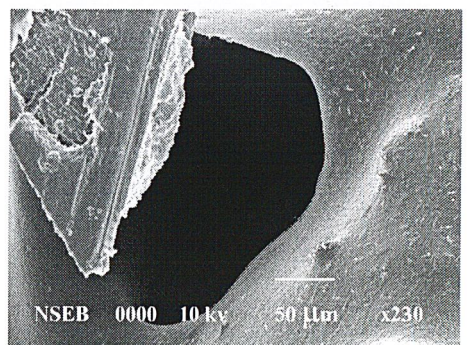
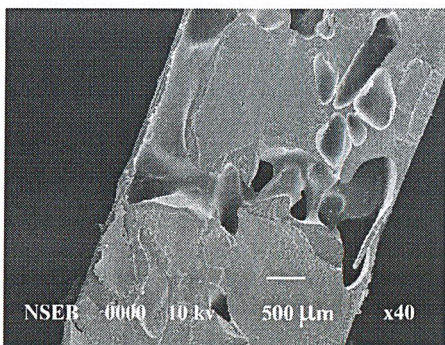
GRT:LDPE:AZ (60:40:3)

GRT ขนาด 6 mesh กำลั้งขยย 40 เท่า

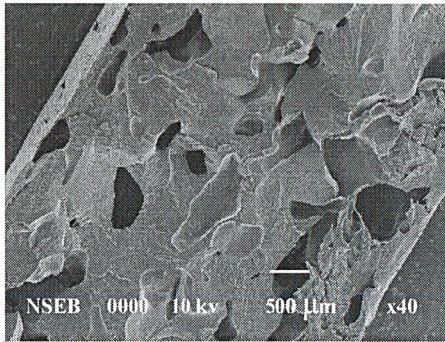


GRT:LDPE:AZ (60:40:3)

GRT ขนาด 6 mesh กำลั้งขยย 230 เท่า

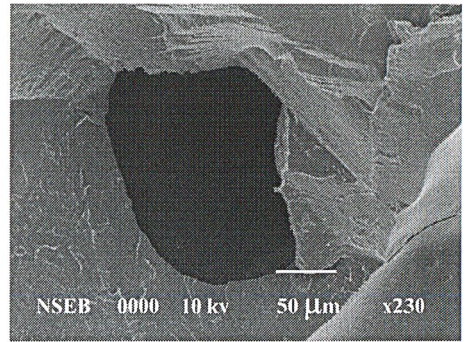


เอกสารนี้เป็นเอกสาร GRT:LDPE:AZ (60:40:3) งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุ GRT:LDPE:AZ (60:40:3) นด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด GRT ขนาด 10 mesh กำลั้งขยย 40 เท่า และต้องอ้างอิง GRT ขนาด 10 mesh กำลั้งขยย 230 เท่า ใช้



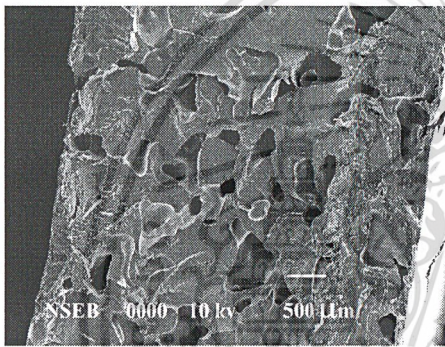
GRT:LDPE:AZ (60:40:3)

GRT ขนาด 20 mesh กำลึงขยาย 40 เท่า



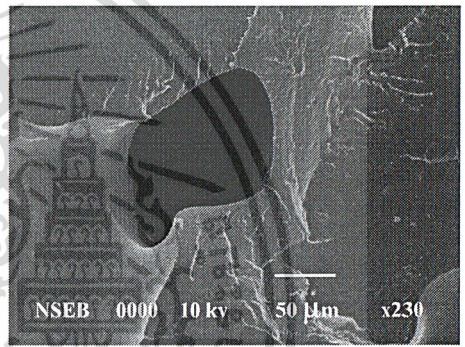
GRT:LDPE:AZ (60:40:3)

GRT ขนาด 20 mesh กำลึงขยาย 230 เท่า



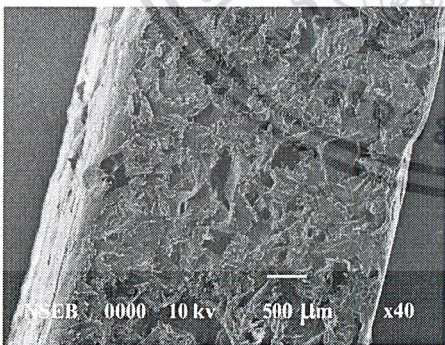
GRT:LDPE:AZ (60:40:3)

GRT ขนาด 30 mesh กำลึงขยาย 40 เท่า



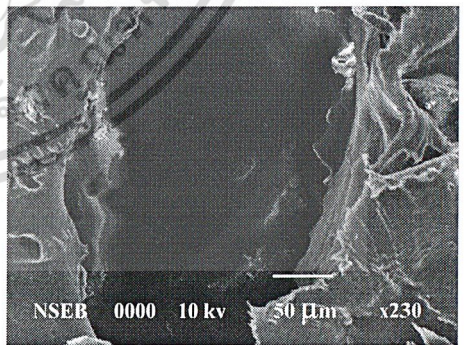
GRT:LDPE:AZ (60:40:3)

GRT ขนาด 30 mesh กำลึงขยาย 230 เท่า



GRT:LDPE:AZ (60:40:3)

GRT ขนาด 40 mesh กำลึงขยาย 40 เท่า

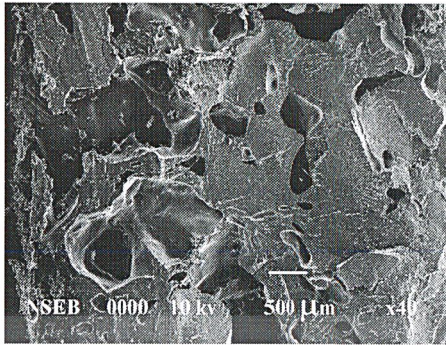


GRT:LDPE:AZ (60:40:3)

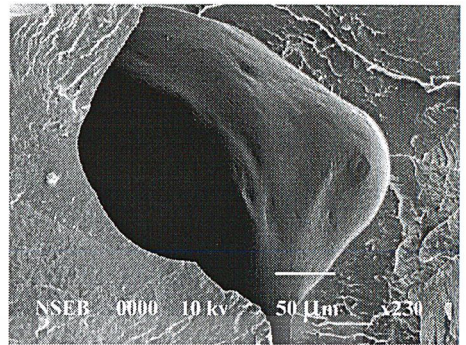
GRT ขนาด 40 mesh กำลึงขยาย 230 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

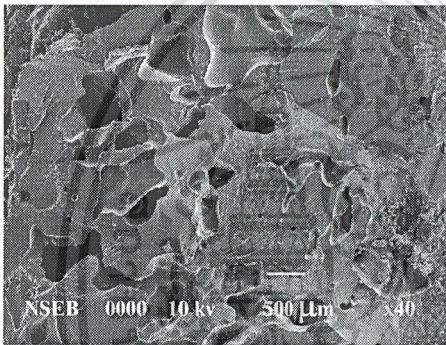
รูปที่ ข-2 แสดงสัณฐานวิทยาเพื่อหาปริมาณสารช่วยผสมที่เหมาะสม



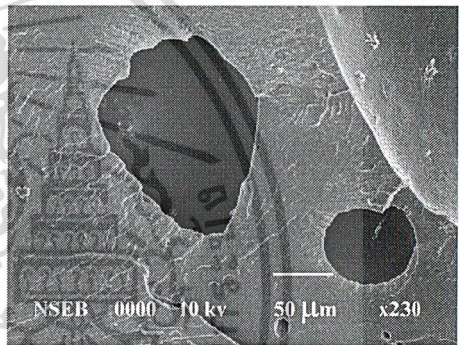
GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA (60:40:3:1)  
GRT ขนาด 30 mesh กำลึงขยาย 40 เท่า



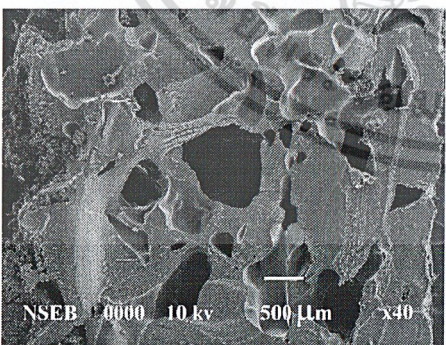
GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA (60:40:3:1)  
GRT ขนาด 30 mesh กำลึงขยาย 230 เท่า



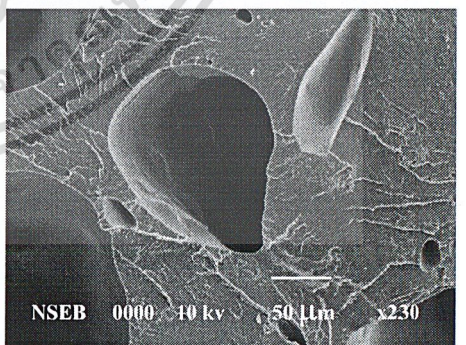
GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA (60:40:3:2)  
GRT ขนาด 30 mesh กำลึงขยาย 40 เท่า



GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA (60:40:3:2)  
GRT ขนาด 30 mesh กำลึงขยาย 230 เท่า

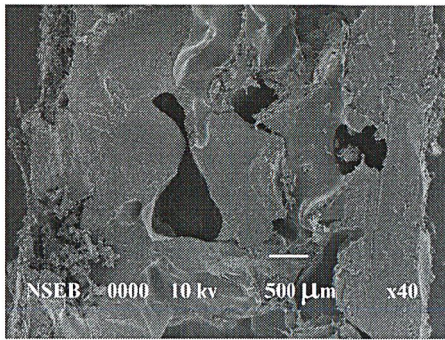


GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA (60:40:3:3)  
GRT ขนาด 30 mesh กำลึงขยาย 40 เท่า

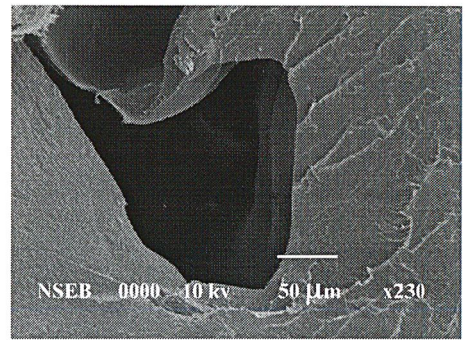


GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA (60:40:3:3)  
GRT ขนาด 30 mesh กำลึงขยาย 230 เท่า

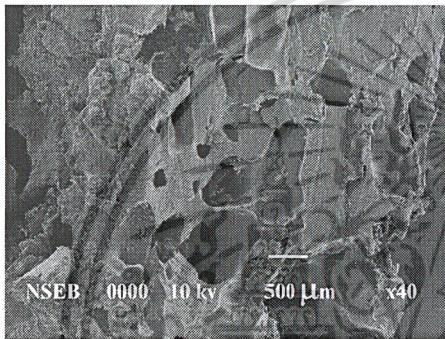
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



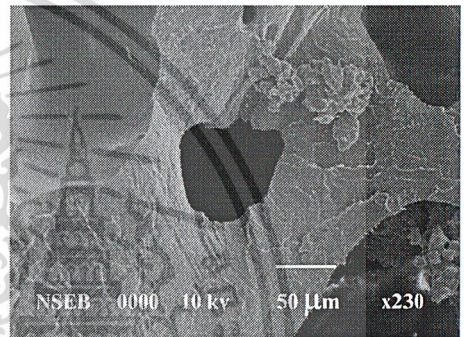
GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA (60:40:3:4)  
GRT ขนาด 30 mesh กำลังขยาย 40 เท่า



GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA (60:40:3:4)  
GRT ขนาด 30 mesh กำลังขยาย 230 เท่า

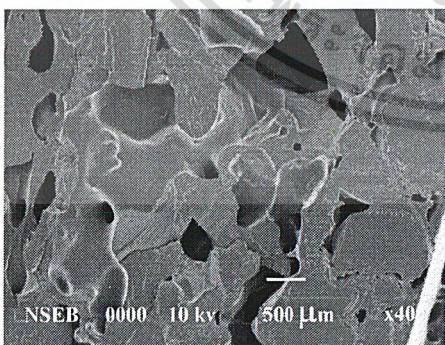


GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA (60:40:3:5)  
GRT ขนาด 30 mesh กำลังขยาย 40 เท่า

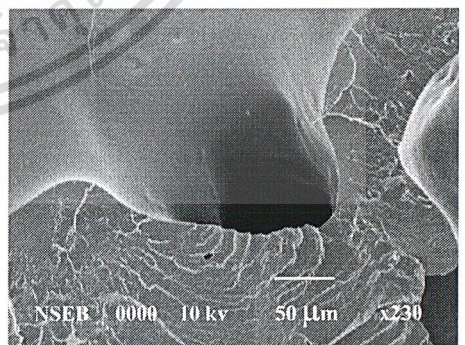


GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA (60:40:3:5)  
GRT ขนาด 30 mesh กำลังขยาย 230 เท่า

รูปที่ ข-3 รูปแสดงสัณฐานวิทยาเพื่อหาปริมาณสารเชื่อมโยงที่เหมาะสม

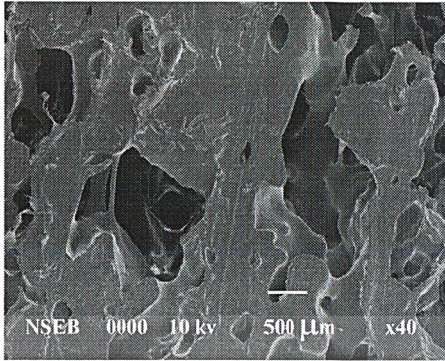


GRT:LDPE:AZ:DCP (60:40:3:0.3)  
GRT ขนาด 30 mesh กำลังขยาย 40 เท่า

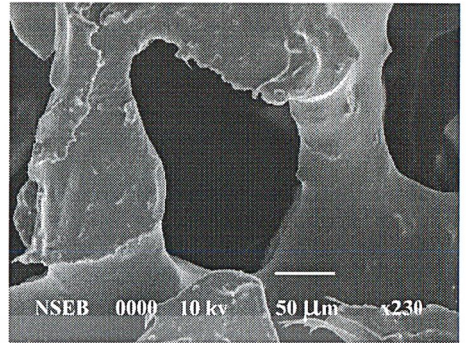


GRT:LDPE:AZ:DCP (60:40:3:0.3)  
GRT ขนาด 30 mesh กำลังขยาย 230 เท่า

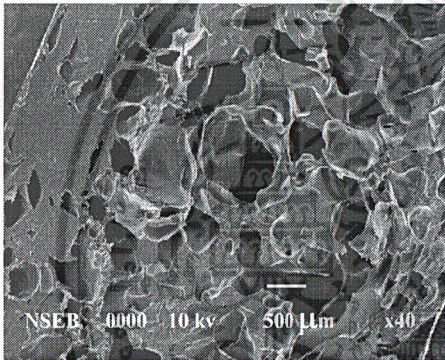
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



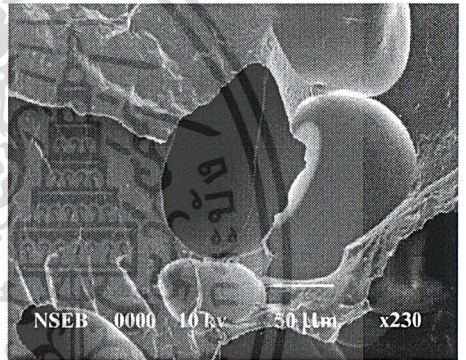
GRT:LDPE:AZ:DCP (60:40:3:0.5)  
GRT ขนาด 30 mesh กำลังขยาย 40 เท่า



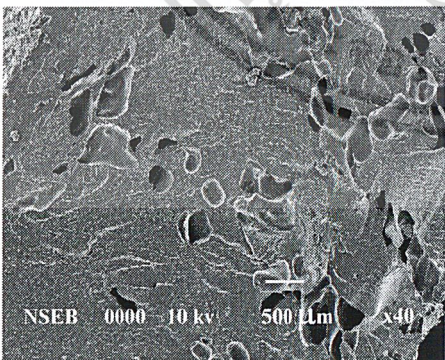
GRT:LDPE:AZ:DCP (60:40:3:0.5)  
GRT ขนาด 30 mesh กำลังขยาย 230 เท่า



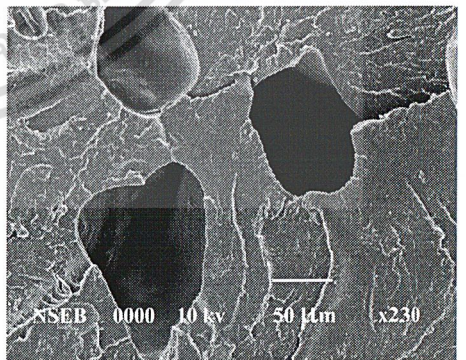
GRT:LDPE:AZ:DCP (60:40:3:0.7)  
GRT ขนาด 30 mesh กำลังขยาย 40 เท่า



GRT:LDPE:AZ:DCP (60:40:3:0.7)  
GRT ขนาด 30 mesh กำลังขยาย 230 เท่า



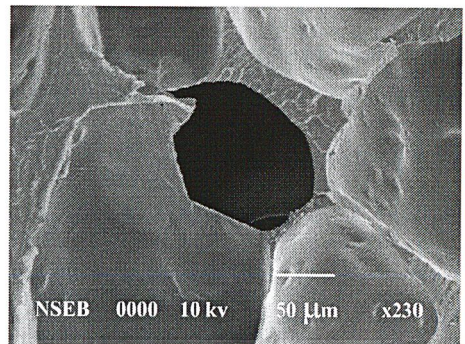
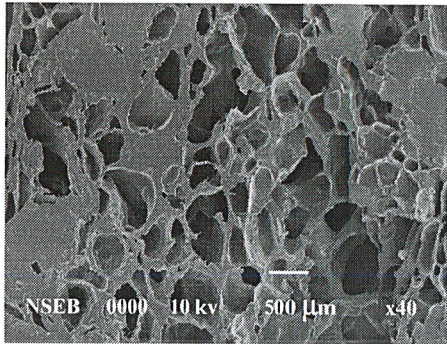
GRT:LDPE:AZ:DCP (60:40:3:1.0)  
GRT ขนาด 30 mesh กำลังขยาย 40 เท่า



GRT:LDPE:AZ:DCP (60:40:3:1.0)  
GRT ขนาด 30 mesh กำลังขยาย 230 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข-4 แสดงสัณฐานวิทยาของสูตรที่เหมาะสมในการผลิตท่อน้ำซึม



GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA:DCP  
(60:40:3:4:0.5)

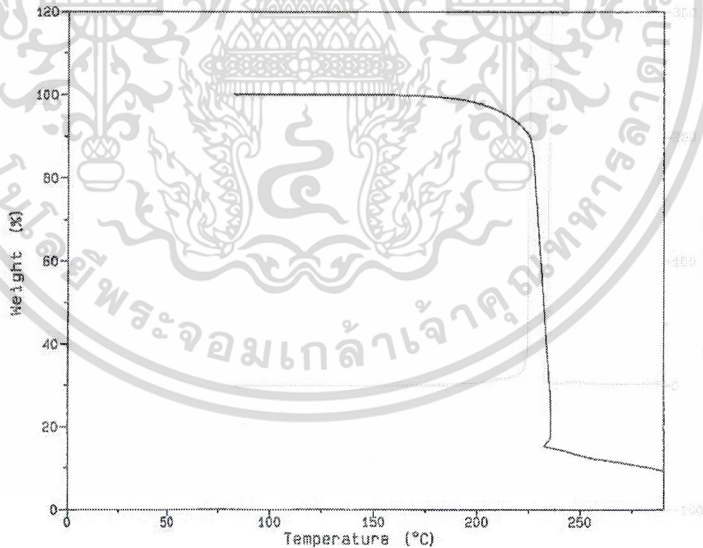
GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA:DCP  
(60:40:3:4:0.5)

GRT ขนาด 30 mesh กำลังขยาย 40 เท่า

GRT ขนาด 30 mesh กำลังขยาย 230 เท่า

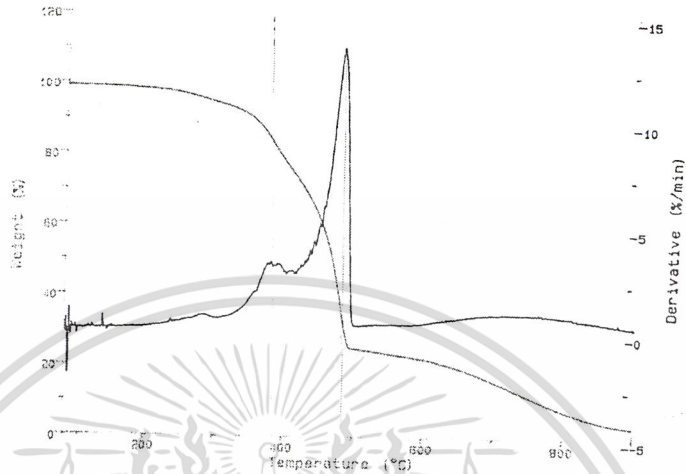
ค. เทอร์โมกราฟแสดงการสลายตัวของสูตรผสมต่างๆ

รูปที่ ค-1 เทอร์โมกราฟแสดงการสลายตัวของสารให้ฟอง (AZ) ที่อุณหภูมิต่างๆ

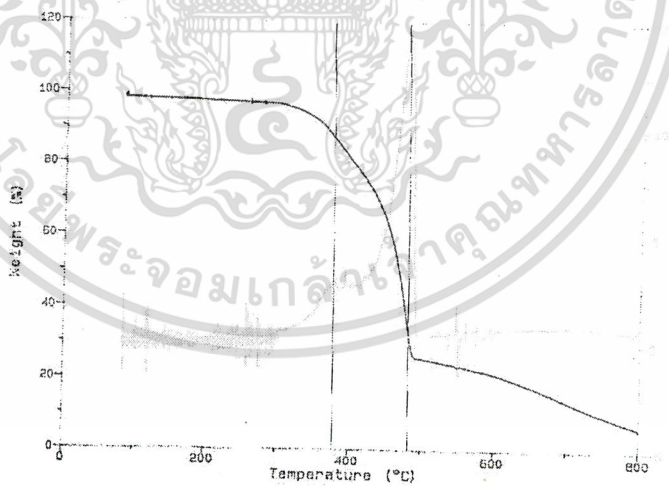


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค-2 เทอร์โมกราฟแสดงการสลายตัวของสูตร GRT:LDPE:AZ (60:40:3) โดยใช้ขนาดอนุภาค ผงขยงจากขยงรยนต์เท่กับ 30 mesh



รูปที่ ค-3 เทอร์โมกราฟแสดงการสลายตัวของสูตร GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA (60:40:3:4) โดยใช้ ขนาดอนุภาคผงขยงจากขยงรยนต์เท่กับ 30 mesh

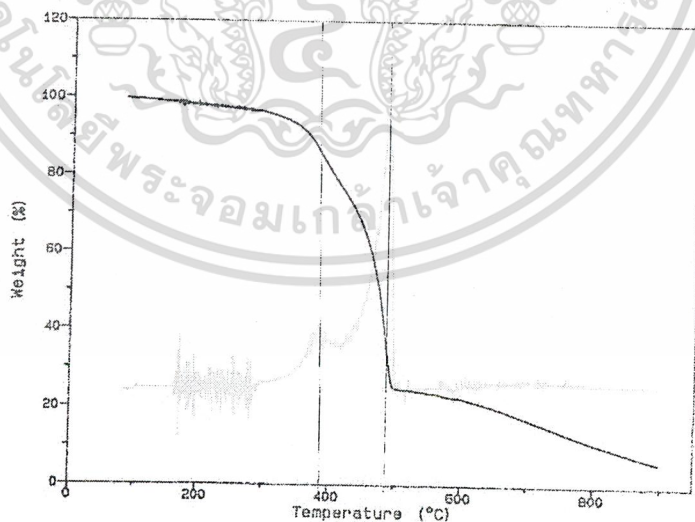


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค-4 เทอร์โมกราฟแสดงการสลายตัวของสูตร GRT:LDPE:AZ:DCP (60:40:3:0.5) ใช้ขนาดอนุภาคผงขางจากขยารถยนต์เท่ากับ 30 mesh



รูปที่ ค-5 เทอร์โมกราฟแสดงการสลายตัวของสูตร GRT:LDPE:AZ:PE-g-MA:DCP(60:40:3:4:0.5) โดยใช้ขนาดอนุภาคผงขางจากขยารถยนต์เท่ากับ 30 mesh



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้