

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาสมบัติของท่อน้ำซึมจากผงยางรถยนต์กับพอลิพรอพิลีน



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เลขที่.....
เลขทะเบียน.....55581.....
วัน,เดือน,ปี 19 พ.ศ. 2548



Study of Porous Water Pipe from Ground rubber Tire (GRT) and
Polypropylene (PP)



A Special Project 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

Academic Year 2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การศึกษาที่อำนวยการจากผวยางรถยนต์และพอลิพรอพิลีน
นักศึกษา นาย ศุภ โขก อู่ทรัพย์เจริญ
 นาย สมบูรณ์ แซ่ตั้ง
ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. อธิพิล แจ้งชัด

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

| คณะกรรมการตรวจสอบ | ลายมือชื่อ |
|--|---|
| ประธานกรรมการ ดร. สุภารัตน์ รัชชสิทธิ์ |  |
| กรรมการ ดร. ปุณณมา สิริพันธ์โนน |  |
| กรรมการ ผศ.ดร. จุฬารัตน์ ปรัชญาวารการ |  |



 (ผศ.ดร. ประสงค์ ดวงดี)
 หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|--------------------|---|
| โครงการพิเศษเรื่อง | การศึกษาท่อน้ำซึมจากผงยางรถยนต์และพอลิพรอพิลีน |
| นักศึกษา | นายศุภ โโชค อุ่นทรัพย์เจริญ นายสมบูรณ์ แซ่ตั้ง |
| ภาควิชา | เคมี คณะวิทยาศาสตร์ |
| สาขา | เคมีอุตสาหกรรม |
| ปีการศึกษา | 2546 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผศ.ดร. อธิธิพล แจ่มชัด |

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติการซึมน้ำของท่อน้ำซึม (Porous pipe) ที่ผลิตจากผงยางรถยนต์ (GRT) และพอลิพรอพิลีน (GRT/PP) โดยใช้เอโซไดคาร์โบนาไมด์ (Azodicarbonamide, AZ) เป็นสารให้ฟอง และพอลิพรอพิลีนตอกกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (PP-g-MA) เป็นสารช่วยผสม โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของท่อน้ำซึม ได้แก่ อัตราส่วนระหว่าง GRT/PP (60:40 และ 70:30) ปริมาณสารให้ฟอง (3-8 phr) ปริมาณสารช่วยผสม (3-5 phr) ชนิดของเมทริกซ์ ได้แก่ PP เกรด P 401S (MFI 2.4 g/10min) และ PP เกรด P 840J (MFI 40 g/10min) ทำการผสมและนำไปอัดรีดรูปท่อ โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวท่อนอนเดี่ยว จากนั้นทำการทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สัมประสิทธิ์การขยายตัว และสมบัติการซึมน้ำ จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณผงยาง (GRT) ในวัสดุพบว่า สมบัติเชิงกลของ GRT/PP เช่นความแข็งแรงดึง โมดูลัส สมบัติการรับแรงกด มีแนวโน้มที่ลดลง แต่เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด มีค่าเพิ่มขึ้น อัตราส่วนของ GRT/PP ที่เหมาะสมคือ 60/40 เมื่อเพิ่มปริมาณของสารให้ฟอง ในวัสดุพบว่า สมบัติเชิงกล เช่น ค่าความแข็งแรงดึง โมดูลัส สมบัติการรับแรงกด มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก แต่เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด องศาความเป็นผลึก และอัตราการซึมน้ำมีค่าสูงขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณ PP-g-MA ในวัสดุพบว่า สมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรงดึง โมดูลัส สมบัติการรับแรงกด มีค่าสูงขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดมีค่าลดลง และเมื่อดัชนีการไหลของเมทริกซ์เพิ่มขึ้นพบว่าความแข็งแรงดึง โมดูลัส สมบัติการรับแรงกด มีค่าสูงขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และอัตราการซึมน้ำมีค่าลดลง จากการศึกษาด้วย SEM พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสารให้ฟอง ทำให้มีปริมาณรูพรุนมากขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณสารช่วยผสมทำให้มีปริมาณของรูพรุนลดลงและผิวของท่อน้ำซึมจะมีความสม่ำเสมอ และเมื่อเปลี่ยนชนิดของพอลิเมอร์เมทริกซ์ที่มีดัชนีการไหลต่ำลงทำให้มีปริมาณรูพรุนเกิดขึ้นน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|--------------------------------|---|
| Special Project Title | Study of Porous Pipe from Ground Rubber Tire (GRT) and Polypropylene (PP) |
| Student | Mr.Suphachok Unchapjaroen Mr.Somboon Sae-tang |
| Department | Chemistry |
| Program | Industrial Chemistry |
| Academic Year | 2003 |
| Special Project Advisor | Asst. Prof. Dr. Ittipol Jangchud |

ABSTRACT

This research work focused on making porous pipe made from ground rubber tire (GRT) and polypropylene (PP). Azodicarbonamide (AZ) used as a blowing agent was added to make cellular structure. Factors affecting properties of the materials were investigated such as GRT/PP ratios (60/40 and 70/30), AZ loading (3-8 phr), Polypropylene grafted Maleic anhydride (PP-g-MA) compatibilizer loading (3-5 phr) and MFI of PP matrices (2.4 and 40 g/10min). The mixtures were compounded by a single-screw extruder. The porous pipe was produced by extrusion process through pipe die. Properties of the samples were then characterized, e.g., mechanical, thermal, morphological and water permeability properties. It was found that when %GRT loading was increased, mechanical properties of the materials (such as tensile strength and modulus) were decreased, but %elongation at break was increased. An appropriate ratio for GRT/PP mixture was 60/40. By increasing AZ loading, it was revealed that mechanical properties (e.g., tensile strength, modulus and compressive strength) were decreased. However, %elongation at break, %Crystallinity and rate of water permeability were decreased. By increasing PP-g-MA loading, it was revealed that mechanical properties (e.g., tensile strength, modulus and compressive strength) were increased, but elongation at break was decreased. When MFI was decreased, it was found that mechanical properties (e.g., tensile strength and modulus) were increased whereas %elongation at break, compressive strength, and water permeability rate were decreased. SEM micrographs revealed that when amount of AZ loading was increased, amount of pores was increased. By adding PP-g-MA, amount of porous voids was decreased and surface of

porous pipe was smooth. When lower MFI PP was used, it was found that amount of voids was decreased.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการพิเศษนี้ จะสำเร็จได้เนื่องด้วยความช่วยเหลือ ความร่วมมือ ตลอดจนคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์แก่คณะผู้จัดทำจากบุคคลและองค์กรต่าง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. อธิพิพล แจ่มชัด ที่ช่วยให้คำปรึกษาและเป็นธุระในอีกหลายเรื่อง ในการทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ ดร. สุภารัตน์ รักษลธิ, ดร. ปุณณมา ศิริพันธ์ โนน และ ผศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวรรการ ที่ช่วยกรุณาตรวจทานแก้ไขโครงการฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ บริษัท TPE Co.,Ltd. ที่ให้ความอนุเคราะห์ เม็ดพลาสติก PP ที่ใช้ใน งานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ บริษัท แสงไทยผลิตยาง จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ผิวยางรถยนต์

ขอขอบพระคุณ บริษัท ยูซาโก้ (ไทยแลนด์) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สารให้ฟอง AZ

ขอขอบพระคุณ บริษัท Crompton Specialties จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สารช่วยผสม PP-g-MA

ขอขอบพระคุณ บริษัท Ciba Specialty Chemicals (Thailand) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ สารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน Irganox

ขอขอบคุณ คุณ วัฒนา ศัลย์รัตติ ที่ช่วยสอนการใช้เครื่อง DSC และเป็นทีปรึกษาเวลาที่มี ปัญหา

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ โดยเฉพาะกลุ่ม Project ถิ่นหินทั้งชายและหญิงที่เวลาว่างๆ จะมาช่วย ให้คำปรึกษา

ขอขอบคุณ พ่อ แม่ ที่ให้กำลังใจในการทำโครงการพิเศษนี้

นอกจากนี้ยังมีบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลืออีกมากมายที่มีได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ ทางผู้จัดทำ

ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ด้วย

นาย สุภโชค อุ่ทรัพย์เจริญ

นาย สมบูรณ์ แซ่ตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ข |
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| สารบัญ | ง |
| สารบัญรูป | ช |
| สารบัญตาราง | ฉ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ | 7 |
| 1.3 ขอบเขตงานวิจัย | 7 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 8 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ | 9 |
| 2.1 พอลิพรอพิลีน | 9 |
| 2.2 บ้างรถยนต์ | 12 |
| 2.3 ผงข่างรถยนต์ | 13 |
| 2.3.1 การบดข่างที่อุณหภูมิห้อง | 13 |
| 2.3.2 การบดข่างที่อุณหภูมิต่ำ | 13 |
| 2.4 สารให้ฟอง | 15 |
| 2.5 พอลิพรอพิลีนต่อกึ่งมาเลอิกแอนไฮไดรด์ด้วย | 16 |
| 2.6 การวิเคราะห์ทางความร้อน โดยการชั่งน้ำหนัก | 17 |
| 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 18 |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย | 21 |
| 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง | 21 |
| 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง | 22 |
| 3.3 ขั้นตอนการทดลอง | 23 |
| 3.4 การขึ้นรูป | 24 |
| 3.5 การทดสอบ | 24 |

| | |
|---|----|
| 3.5.1 การทดสอบสมบัติเชิงกลของท่อน้ำซึม | 24 |
| 3.5.1.1 การทดสอบสมบัติการดึงยึด | 24 |
| 3.5.1.2 สมบัติการรับแรงกด | 24 |
| 3.5.2 การทดสอบสมบัติการซึมน้ำ | 26 |
| 3.5.2.1 การศึกษาสมบัติการซึมน้ำต่อความยาวท่อ | 26 |
| 3.5.2.2 การศึกษาความดันลดยของท่อน้ำซึม | 27 |
| 3.5.3 การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง DSC | 27 |
| 3.5.4 การศึกษาพื้นฐานวิทยา | 28 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง | 29 |
| 4.1 ศึกษาอัตราส่วนของ GRT/PP ที่เหมาะต่อการผลิตท่อน้ำซึม | 29 |
| 4.1.1 สมบัติเชิงกล | 29 |
| 4.1.2 ศึกษาปริมาณสารให้ฟองที่มีผลต่อการสลายตัวของวัสดุผสม GRT/PP/AZ ก่อนและหลังการขึ้นรูป | 32 |
| 4.2 ศึกษาผลของสารให้ฟอง | 33 |
| 4.2.1 สมบัติเชิงกล | 33 |
| 4.2.2 สมบัติทางความร้อน | 35 |
| 4.2.3 อัตราการซึมน้ำ | 36 |
| 4.3 ศึกษาผลของสารช่วยผสมที่มีผลต่อสมบัติของท่อน้ำซึม | 38 |
| 4.3.1 สมบัติเชิงกล | 40 |
| 4.3.2 สมบัติการซึมน้ำ | 40 |
| 4.3.3 ความดันลดย | 41 |
| 4.4 ศึกษาเปรียบเทียบผลของดัชนีการไหลของเมทริกซ์ที่ต่างกันที่มีผลต่อท่อน้ำซึม | 43 |
| 4.4.1 สมบัติเชิงกล | 43 |
| 4.4.2 สมบัติทางความร้อน | 45 |
| 4.4.3 สมบัติการซึมน้ำ | 46 |
| 4.4.4 ความดันลดย | 47 |
| 4.5 สมบัติทางพื้นฐานวิทยา | 48 |
| บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ | 51 |

5.1 สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|----------------|----|
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 52 |
| เอกสารอ้างอิง | 53 |
| ภาคผนวก | 55 |
| ภาคผนวก ก | 56 |
| ภาคผนวก ข | 58 |
| ภาคผนวก ค | 61 |
| ภาคผนวก ง | 71 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

| | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 1.1 เศษยางรถยนต์ที่ใช้แล้วกลายเป็นขยะ | 2 |
| รูปที่ 1.2 การนำเศษยางรถยนต์มาผสมยางมะตอยราดพื้นถนน | 2 |
| รูปที่ 1.3 การนำมาทำพื้นสนามเด็กเล่นรองใต้เครื่องเล่นที่มีความสูง | 3 |
| รูปที่ 1.4 การนำเศษยางรถยนต์ทำพื้นทางเดิน(ก)-(ค) และท่อน้ำซึม (ง) | 4 |
| รูปที่ 1.5 (ก) รูปวาดของท่อน้ำซึม | 5 |
| (ข) การใช้ในงานเกษตรกรรม | 5 |
| รูปที่ 1.6 ระบบการให้น้ำแบบน้ำหยด | 6 |
| รูปที่ 2.1 กลไกของปฏิกิริยาที่ไม่สามารถเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันแบบ LDPP ได้ | 9 |
| รูปที่ 2.2 โครงสร้างของพอลิพรอพิลีนแบบ ไอโซแทคติก | 9 |
| รูปที่ 2.3 โครงสร้างของพอลิพรอพิลีนแบบซินไดโอแทคติก | 10 |
| รูปที่ 2.4 โครงสร้างของพอลิพรอพิลีนแบบอะแทคติก | 10 |
| รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของยางรถยนต์ | 12 |
| รูปที่ 2.6 การบดขางที่อุณหภูมิห้อง | 13 |
| รูปที่ 2.7 การบดขางที่อุณหภูมิต่ำ | 14 |
| รูปที่ 2.8 โครงสร้างของเอโซไดคาร์โบนาไมด์ (AZI) | 16 |
| รูปที่ 2.9 ขั้นตอนการสลายตัวของ $\text{CaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ | 17 |
| รูปที่ 3.1 ลักษณะการวัดความสามารถในการรับแรงกด | 24 |
| รูปที่ 3.2 อุปกรณ์วัดอัตราการซึมน้ำ | 26 |
| รูปที่ 3.3 อุปกรณ์วัดความดันลด | 27 |
| รูปที่ 4.1 ความแข็งแรงดึงของ GRT/PP ที่อัตราส่วน 60/40 และ 70/30 ทั้งที่ผสมและไม่ผสม สารให้ฟอง AZ 8 phr | 29 |
| รูปที่ 4.2 มอดูลัสของ GRT/PP ที่อัตราส่วน 60/40 และ 70/30 ทั้งที่ผสมและไม่ผสม สารให้ฟอง AZ 8 phr | 30 |
| รูปที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของ GRT/PP ที่อัตราส่วน 60/40 และ 70/30 ทั้งที่ผสมและไม่ผสมสารให้ฟอง AZ 8 phr | 30 |
| รูปที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกภายใต้แรงกดและ หลังคลายแรง กด GRT/PP ที่อัตราส่วน 60/40 และ 70/30 | 31 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|-------------|---|----|
| รูปที่ 4.5 | เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักที่หายไปของ GRT/PP/AZ ที่ปริมาณ AZ ต่าง ๆ ทั้งก่อนและหลังกระบวนการขึ้นรูปอัดรีด | 32 |
| รูปที่ 4.6 | ค่าความแข็งแรงดึงของ GRT/PP (60/40) ที่เติม AZ ในอัตราส่วนต่างๆ | 33 |
| รูปที่ 4.7 | ค่ามอดูลัสของ GRT/PP ที่เติม AZ ในอัตราส่วนต่าง ๆ | 33 |
| รูปที่ 4.9 | เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกภายใต้แรงกดและหลังคลายแรงกดของ GRT/PP (60/40) ที่เติม AZ ในอัตราส่วนต่างๆ | 33 |
| รูปที่ 4.10 | อัตราการซึมน้ำของ GRT/PP ที่เติม AZ ในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่ 0.2 bar | 33 |
| รูปที่ 4.11 | อัตราการซึมน้ำของ GRT/PP ที่เติม AZ ในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่ 0.4 bar | 36 |
| รูปที่ 4.12 | อัตราการซึมน้ำของ GRT/PP ที่เติม AZ ในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่ 0.6 bar | 38 |
| รูปที่ 4.13 | ค่าความแข็งแรงดึงของ GRT/PP/AZ ที่เติม PP-g-MA ในอัตราส่วนต่าง ๆ | 38 |
| รูปที่ 4.14 | ค่ามอดูลัสของ GRT/PP/AZ ที่เติม PP-g-MA ในอัตราส่วนต่าง ๆ | 39 |
| รูปที่ 4.15 | ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดหดขนาดของ GRT/PP/AZ (60/40/3) ที่เติม PP-g-MA ในอัตราส่วนต่าง ๆ | 39 |
| รูปที่ 4.16 | เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกภายใต้แรงกดและหลังคลายแรงกดของ GRT/PP/AZ (60/40/3) ที่เติม PP-g-MA ในอัตราส่วนต่าง ๆ | 39 |
| รูปที่ 4.17 | อัตราการซึมน้ำที่ 0.2 bar ที่ปริมาณ PP-g-MA ต่างๆ เมื่ออัตราส่วนของ GRT/PP/AZ (60/40/3) | 40 |
| รูปที่ 4.18 | อัตราการซึมน้ำที่ 0.4 bar ที่ปริมาณ PP-g-MA ต่างๆ เมื่ออัตราส่วนของ GRT/PP/AZ (60/40/3) | 40 |
| รูปที่ 4.19 | อัตราการซึมน้ำที่ 0.6 bar ที่ปริมาณ PP-g-MA ต่าง ๆ เมื่ออัตราส่วนของ GRT/PP/AZ (60/40/3) | 41 |
| รูปที่ 4.20 | ค่าความแข็งแรงดึงของ GRT/PP/AZ/PP-g-MA ที่อัตราส่วน (60/40/3/5) แต่ดัชนีการไหล PP ต่างกัน | 43 |
| รูปที่ 4.21 | ค่ามอดูลัสของ GRT/PP/AZ/PP-g-MA ที่อัตราส่วน (60/40/3/5) แต่ดัชนีการไหล PP ต่างกัน | 43 |
| รูปที่ 4.22 | ค่าเปอร์เซ็นต์การยึดหดของ GRT/PP/AZ/PP-g-MA ที่อัตราส่วน (60/40/3/5) แต่ดัชนีการไหล PP ต่างกัน | 44 |
| รูปที่ 4.23 | เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อก่อนและหลังการคลายแรงกดของ GRT/PP/AZ ที่อัตราส่วน (60/40/3/5) แต่ดัชนีการไหล PP ต่างกัน | 44 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|-------------|---|----|
| รูปที่ 4.24 | อัตราการซึมผ่านของ GRT/PP/ AZ /PP-g-MA (60/40/3/5) ที่เติมเมทริกซ์ที่มี ดัชนีการไหล ต่างกันที่ความดัน 0.2 bar | 46 |
| รูปที่ 4.25 | อัตราการซึมผ่านของ GRT/PP/ AZ /PP-g-MA (60/40/3/5) ที่เติมเมทริกซ์ที่มี ดัชนีการไหล ต่างกันที่ความดัน 0.4 bar | 46 |
| รูปที่ 4.26 | อัตราการซึมผ่านของ GRT/PP/ AZ /PP-g-MA (60/40/3/5) ที่เติมเมทริกซ์ที่มี ดัชนีการไหล ต่างกันที่ความดัน 0.6 bar | 47 |
| รูปที่ 4.27 | สัณฐานวิทยาของท่อน้ำซึมแตกหักที่อุณหภูมิค่าที่ใช้ PP เมทริกซ์และเติมสาร ผสมอื่นลงไป ในอัตราส่วนต่างๆ กำลังขยาย 50 เท่า | 49 |



สารบัญตาราง

| | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 1.1 ปริมาณความต้องการน้ำฝนแต่ละชนิด | 7 |
| ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างของสารให้ฟอง | 15 |
| ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของพอลิพรอพิลีน | 21 |
| ตารางที่ 3.2 สมบัติบางประการของสารให้ฟอง AZ-D 800 | 22 |
| ตารางที่ 3.3 สมบัติบางประการของสารช่วยผสม PP-g-MA เกรด Polybond®3200 | 23 |
| ตารางที่ 3.4 สูตรที่ใช้ในการผสม | 23 |
| ตารางที่ 3.5 แรงกดที่ใช้ในการทดสอบมาตรฐาน มอก. 746-2530 | 25 |
| ตารางที่ 4.1 สมบัติทางความร้อนของ GRT/ PP/ AZ ที่อัตราส่วนต่างๆ | 35 |
| ตารางที่ 4.2 ค่าความดันน้ำที่ความยาวต่างๆของท่อน้ำซึม เมื่อความดันก๊าซเป็น 0.2 bar | 41 |
| ตารางที่ 4.3 ค่าความดันน้ำที่ความยาวต่างๆของท่อน้ำซึม เมื่อความดันก๊าซเป็น 0.4 bar | 42 |
| ตารางที่ 4.4 ค่าความดันน้ำที่ความยาวต่างๆของท่อน้ำซึม เมื่อความดันก๊าซเป็น 0.6 bar | 42 |
| ตารางที่ 4.5 ค่าอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) อุณหภูมิตกผลึก (T_c) และองค์ความเป็นผลึก เมื่อความหนืดของเมทริกซ์ต่างกัน | 45 |
| ตารางที่ 4.6 ผลของดัชนีการไหลของเมทริกซ์ที่มีผลต่อความดันลดแต่ละช่วงความยาวท่อ ที่ความดัน 0.2 bar | 47 |
| ตารางที่ 4.7 ผลของดัชนีการไหลของเมทริกซ์ ที่มีผลต่อความดันลดแต่ละช่วงความยาวท่อ ที่ความดัน 0.4 bar | 48 |
| ตารางที่ 4.8 ผลของดัชนีการไหลของเมทริกซ์ ที่มีผลต่อความดันลดแต่ละช่วงความยาวท่อ ที่ความดัน 0.6 bar | 48 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

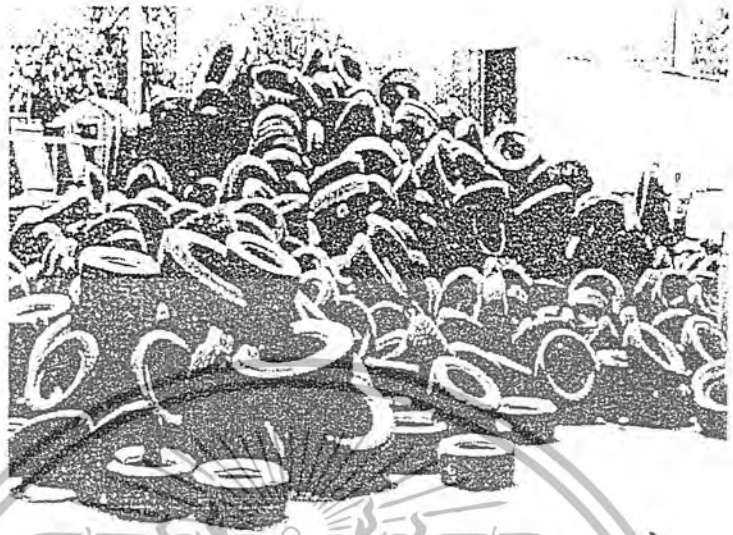
ในชีวิตประจำวันมนุษย์ในสังคมปัจจุบันมีการบริโภคทรัพยากรเพิ่มสูงมากขึ้นทุกวัน มีสิ่งอำนวยความสะดวกอื่น ๆ ที่เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวัน เช่น โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์ รถยนต์ ฯลฯ สิ่งเหล่านี้เมื่อใช้งานไปนานๆ ก็จะมีการเสื่อมประสิทธิภาพ ไม่สามารถที่จะใช้งานได้ ต้องทำลายหรือทิ้งเป็นขยะและสร้างมลภาวะให้แก่สิ่งแวดล้อม เป็น ปัญหาขยะล้นเมือง

ปัญหาขยะล้นเมืองเป็นปัญหาที่มักในเมืองใหญ่ ซึ่งเป็นแหล่งที่ประชากรอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น มีการใช้ทรัพยากรสูงแต่มีการกำจัดหรือการย่อยสลายที่ค่อนข้างต่ำ ทำให้ปริมาณขยะมากตามไปด้วย

ยางรถยนต์ (Tires) เป็นวัสดุที่นำมาใช้อย่างมากในปัจจุบัน โดยสามารถดูได้จากจำนวนของยานพาหนะที่มีใช้มากขึ้นทุกวันนี้ โดยเฉพาะเมตกรุงเทพมหานครที่มีจำนวนยานพาหนะนับล้านคัน เป็นผลให้ปริมาณความต้องการยางรถยนต์มากขึ้นตามไปด้วย เมื่อยางรถยนต์มีอายุการใช้งานประมาณ 1 ปี หรือ 20,000 กิโลเมตรเมื่อยางรถยนต์พวกนี้เสื่อมสภาพ ไม่สามารถใช้งานได้จะกลายเป็นเศษขยะที่ไร้ค่า (รูปที่ 1.1) เกิดเป็นปัญหาขยะล้นเมืองตามวิธีการกำจัดขยะในปัจจุบัน ได้แก่การฝังกลบแต่ต้องมีการใช้พื้นที่ซึ่งขนาดใหญ่อีกทั้งยางรถยนต์นั้น ไม่สามารถย่อยสลายได้รวดเร็วการเผาจะสิ้นเปลืองพลังงานทั้งยังเป็นปัญหามลภาวะทางอากาศอีกวิธีหนึ่งคือการนำทรัพยากรที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ ที่เรียกว่า การรีไซเคิล (Recycle)

การรีไซเคิล คือ การนำทรัพยากรที่ใช้แล้วมาผ่านกระบวนการแล้วนำกลับมาใช้ในรูปแบบของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น การนำฝากระป๋องที่ใช้แล้วมาทำเป็น ขาเทียม เป็นต้น ในส่วนของเศษยางรถยนต์นั้นเราสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบเชื้อเพลิงการนำมาหล่อดอกยางใหม่(Retreadable casing) การนำมาทำยางรีไซเคิล (Reclaimed rubber) การนำมาผ่านกระบวนการกำจัดกำมะถันเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตยางรถยนต์ใหม่ การนำมาใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อ (Filler) ในพอลิเมอร์ นอกจากนี้ที่กล่าวมาแล้วนี้เรายังสามารถใช้ประโยชน์อย่างอื่นจากเศษยางรถยนต์ เช่นการนำมาใช้ในทางด้านวิศวกรรมโยธา ใช้มาทำเป็นหินเทียม โดยนำมาผสมกับกับพอลิสไตรีน (Polystyrene, PS) เพื่อทำแพททำเทียบเรือป้องกันแรงกระแทก ใช้ผสมกับยางมะตอยแล้วใช้ราดถนน (รูปที่ 1.2) พื้นสนามเด็กเล่น (รูปที่ 1.3) นำมาผสมกับคอนกรีต ทำพื้นปูทางเดิน (รูปที่ 1.4) ซึ่งจะเป็นการลดปริมาณขยะลงได้แล้วยังเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้คุ้มค่าและเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

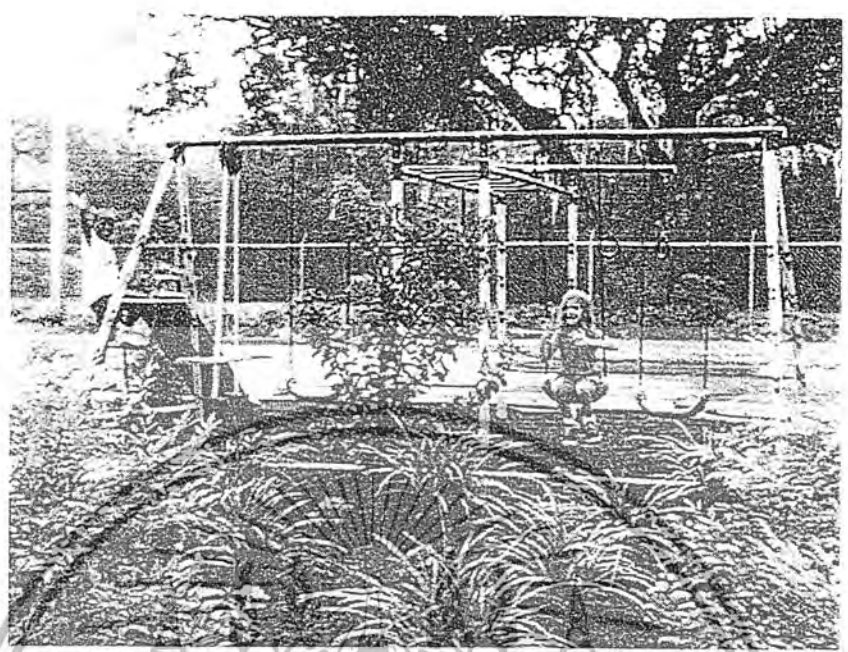


รูปที่ 1.1 เศษยางรถยนต์ที่ใช้แล้วกลายเป็นขยะ [1]



รูปที่ 1.2 การนำเศษยางรถยนต์มาผสมยางมะตอยราดพื้นถนน [2]

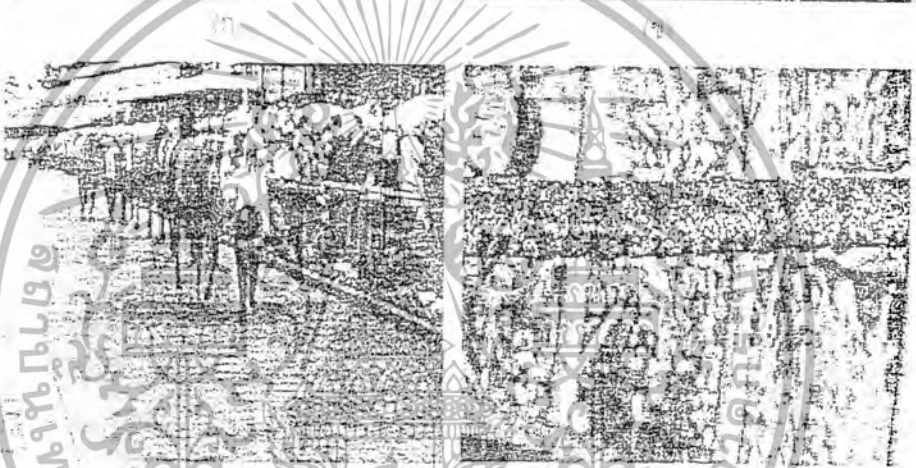
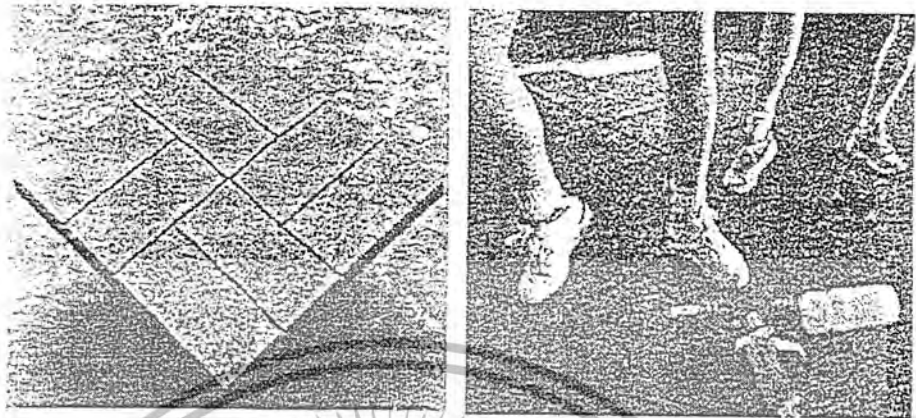
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.3 การนำยางรถยนต์มาจัดทำพื้นสนามเด็กเล่น รองใต้เครื่องเล่นที่มีความสูง [2]

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม นับว่าเป็นเรื่องที่สำคัญอย่างมาก ปัญหาการขาดแคลนน้ำในพื้นที่การเกษตรมักจะเกิดขึ้นอยู่บ่อยๆพืชแต่ละชนิดนั้นมีความต้องการน้ำในปริมาณที่ต่างกัน บางชนิดต้องการน้ำมาก บางชนิดต้องการน้ำน้อย จึงระบบการให้น้ำของเกษตรกรในปัจจุบันจะมีการให้น้ำแบบแรงดันน้ำหรือที่เรียกกันว่าSprinkler ซึ่งเป็นระบบที่ต้องใช้น้ำในปริมาณที่มากแต่พืชที่ได้ อาจได้รับน้ำอย่างไม่ทั่วถึง น้ำกระจายตัวไปตกในบริเวณที่พืชไม่สามารถใช้ประโยชน์จากน้ำได้เต็มที่ ทำให้เกิดการเค็มน้ำไปอย่างไร้ประโยชน์

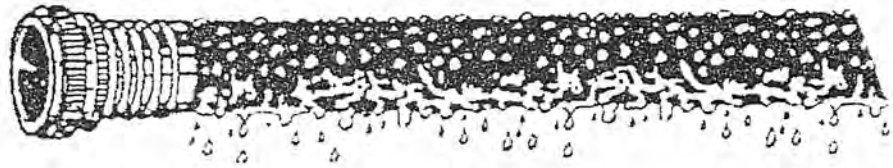
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



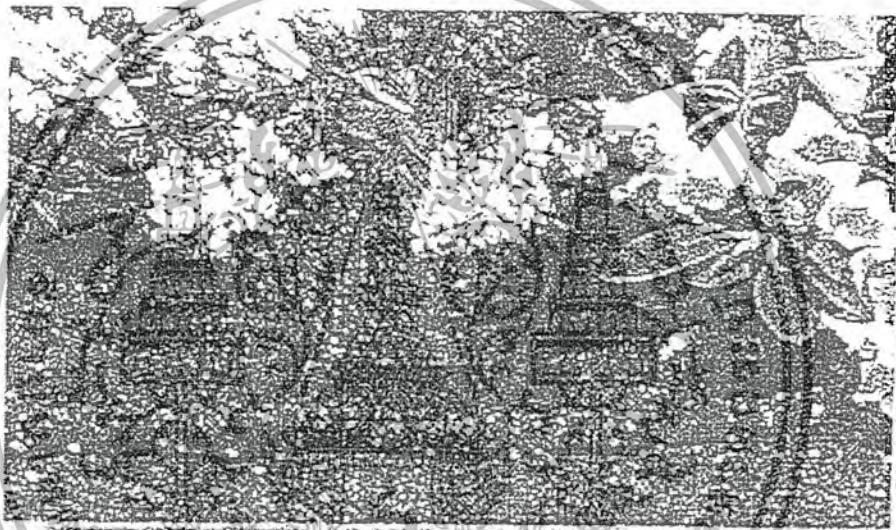
รูปที่ 1.4 การนำเศษยางรถยนต์ทำพื้นทางเดิน (ก)-(ค) และท่อน้ำซึม (ง) [3]

ระบบการให้น้ำแบบระบบน้ำหยดโดยใช้ ท่อที่มีรูพรุน (Porous pipe) (รูปที่ 1.5) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นำน้ำมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถควบคุมจุดที่เราจะให้น้ำได้เป็นการให้น้ำที่ประหยัดมากที่สุดและ ใช้ได้กับพืชเกือบทุกชนิดนับตั้งแต่ พืชผักสวนครัว สวนผลไม้ตลอดจนถึงไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ได้กับทุกสภาพภูมิประเทศ ทุกพื้นที่โดยจะเป็นการให้น้ำทีละน้อย แต่บ่อยครั้งด้วยอัตราการให้น้ำที่ต่ำ และอาศัยสมบัติของดินช่วยกระจายน้ำออกไปบริเวณรอบๆ ท่อน้ำซึมเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการให้น้ำในระบบนี้โดยการปล่อยน้ำออกมาตามรูเล็กๆ ของท่อรูพรุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

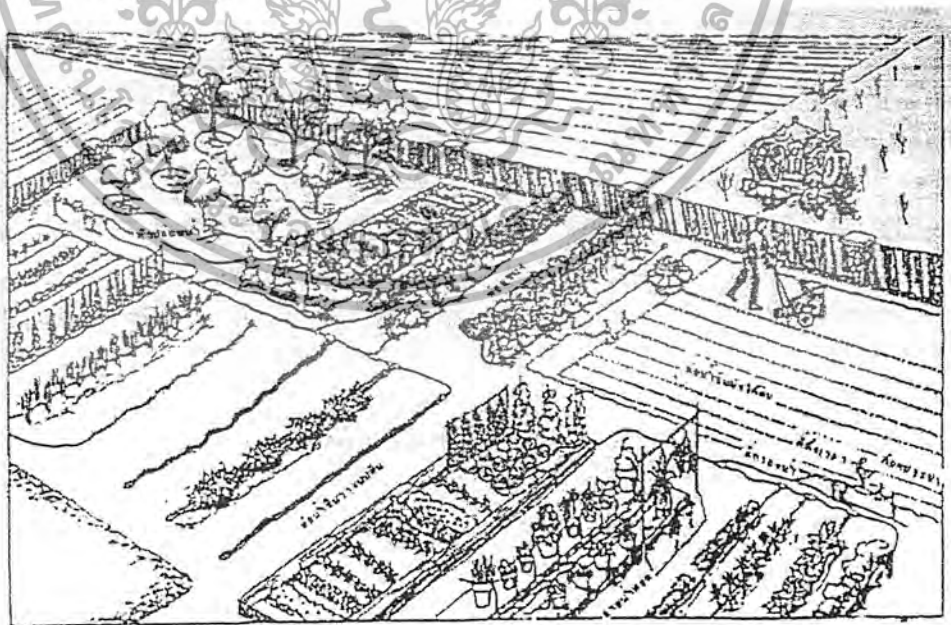
รูปที่ 1.5 (ก) รูปวาดของท่อน้ำซึม (ข) การใช้ในด้านงานเกษตรกรรม [3]

ท่อน้ำซึมที่วางบนผิวดินควรมียุติค่าเพื่อป้องกันแสงจากดวงอาทิตย์ที่จะทำให้การเจริญเติบโตของตะไคร้ น้ำ [3] และอุดตันรูพรุนของท่อ รวมทั้งแสงเหนือม่วง (UV) ที่ทำลายท่อในการเสียดสีวัสดุมาใช้ทำท่อน้ำซึม จะนำเอาวัสดุเหลือใช้ เช่น พยางรถยนต์ (Ground rubber tire, GRT) จะเป็นการนำทรัพยากรที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ โดยทำการผสมกับสารยึด (Binder) ทำให้อ่อนภาคพยางค์รูปเป็นท่อ โดยทำให้โครงสร้างของท่อมีรูพรุนได้โดยการใช้สารให้ฟอง (Blowing agent) เช่นสารประกอบเอโซไดคาร์โบนาไมด์ (Azodicarbonamide, AZ) ที่สามารถสลายตัวด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูง (อุณหภูมิขึ้นรูปท่อ) เกิดเป็นฟองก๊าซทำให้ได้โครงสร้างที่เป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของระบบการให้น้ำแบบน้ำหยด คือ [5]

1. เพิ่มผลผลิตทางการเกษตร
2. ประหยัดน้ำได้มาก
3. ใช้แรงงานน้อย
4. ไม่เป็นอุปสรรคกีดขวางการดำเนินงาน
5. ควบคุมปริมาณการให้น้ำได้ดี
6. บิวและยาปราบศัตรูพืชบางชนิดสามารถให้แก่พืชได้
7. ควบคุมป้องกันวัชพืชโรคพืชบางชนิดได้
8. ทำให้พืชเจริญเติบโตได้อย่างสม่ำเสมอ
9. สามารถใช้ได้กับดินคุณภาพต่ำ
10. ลดปัญหาเรื่องการระบายน้ำ
11. ลดอันตรายที่พืชจะได้รับจากความเค็ม
12. ไม่ทำให้ดินอัดแน่นเป็นแผ่น
13. สามารถติดตั้งเครื่องควบคุมน้ำชนิดอัตโนมัติ
14. ไม่มีปัญหาเรื่องลม



รูปที่ 1.6 ระบบการให้น้ำแบบน้ำหยด [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 แสดงปริมาณความต้องการน้ำฝนของพืชแต่ละชนิด [5]

| พืช | ปริมาณน้ำ (มม. /ปี) |
|---------|---------------------|
| ยาง | 1,500-2,500 |
| กล้วย | 2,000-2,500 |
| ส้ม | 800-1,500 |
| อ้อย | 1,150 |
| ไผ่ตง | 1,000 |
| ฝ้าย | 500 |
| ข้าวโพด | >250 |
| ยาสูบ | >100 |

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาผลของอัตราส่วนระหว่าง GRT/PP ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล เช่น ความทนทานแรงกด ความแข็งแรงดึง โมดูลัส และ เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด
2. ทำการปรับปรุงสมบัติของท่อน้ำซึม โดยใช้สารช่วยผสม (Compatibilizer) ได้แก่ พอลิพรอพิลีนคอกิ่งด้วยกรดอะซิติก ไอโซไตรค (PP-g-MA)
3. ศึกษาถึงผลกระทบของ PP-g-MA และ เมทริกซ์ที่มีดัชนีการไหลที่ต่างกัน ต่อสมบัติต่าง ๆ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติด้านการซึม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้จะศึกษาปัจจัยดังต่อไปนี้ที่มีผลต่อสมบัติของท่อน้ำซึม

1. อัตราส่วนระหว่าง PP/ GRT/ AZ และผลของปริมาณสารให้ฟองที่เติมลงไป
2. ผลของสารช่วยผสม (Compatibilizer) PP-g-MA (3-5 phr)
3. ศึกษาท่อน้ำซึมที่ผลิตได้จาก PP ที่มีความหนืดต่างกัน (MFI 40g/10 min และ MFI 2.4g/10 min)

4. ศึกษาสมบัติของท่อน้ำซึมดังนี้
 - สมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรงดึง (Tensile strength), โมดูลัส (Modulus), สมบัติการรับแรงกด และ เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ (Prlongation at break) เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อัตราการซึมผ่านของน้ำ (Water permeability)
- สมบัติทางความร้อน (Thermal properties)
- สัณฐานวิทยา (Morphology)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถผลิตท่อน้ำซึมจากผงขาง (GRT) ที่ใช้แล้วกับ (PP) และสารให้ฟอง (AZ) ในอัตราส่วนที่เหมาะสมมีประสิทธิภาพและสามารถนำไปใช้งานในทางกรเกษตรกรรม
2. ช่วยกำจัดขางรถยนต์ที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและช่วยทำให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้น้ำให้คุ้มค่าและเกิดผลผลิตที่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พอลิพรอพิลีน [5]

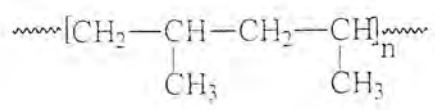
พอลิพรอพิลีนจัดเป็นพอลิโอเลฟินชนิดหนึ่ง ผลิตขึ้นเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1954 ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา ซีเกลอร์-เนททา โดยปรับปรุงรูปแบบของตัวเร่งและได้พอลิพรอพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกัน ซึ่งจะมีผลทำให้สมบัติแตกต่างกันออกไปด้วย เช่น ไอโซแทคติกพอลิพรอพิลีนที่มีความหนาแน่นสูงเหมือนพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง แต่มีจุดอ่อนตัวสูงกว่า และแข็งแรงกว่า โครงสร้างทางเคมีส่วนใหญ่ของพอลิพรอพิลีนจะมีหมู่เมทิล (Methyl group) เกาะอยู่บนสายโซ่หลักของโมเลกุล (Main chain) แต่ไม่สามารถเตรียมพอลิพรอพิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polypropylene:LDPP) ได้ [5] เพราะโครงสร้างของพอลิพรอพิลีน มี Allylic Hydrogen จึงไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเป็นโครงสร้างที่มีความเป็นกึ่งต่ำได้ดังกลไกปฏิกิริยา ดังนี้



รูปที่ 2.1 กลไกของปฏิกิริยาที่ไม่สามารถเกิดพอลิเมอไรเซชันแบบ LDPP [6]

พอลิพรอพิลีนสามารถแบ่งตามลักษณะการเกาะของหมู่เมทิลบนสายโซ่หลักได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้ [5]

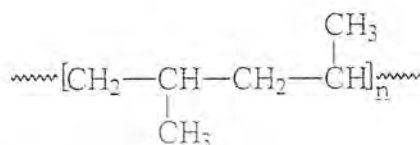
- 1.) ไอโซแทคติกพอลิพรอพิลีน (Isotactic Polypropylene) โครงสร้างมีลักษณะเป็นการเกาะของหมู่เมทิล (-CH₃) เรียงกันอยู่ทางด้านใดด้านหนึ่งบนสายโซ่หลัก ดังรูปที่ 2.2 ทำให้เกิดการตกผลึกได้ดีที่สุด



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของไอโซแทคติกพอลิพรอพิลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2.) ซินดิโอแทคติกพอลิพรอพิลีน (Syndiotactic Polypropylene) โครงสร้างมีลักษณะเป็นการเกาะของหมู่เมทิลสลับกันบนสายโซ่หลักอย่างเป็นระเบียบ ดังรูปที่ 2.3 ทำให้เกิดการตกผลึกลดลงด้วย



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของซินดิโอแทคติกพอลิพรอพิลีน

- 3.) อะแทคติกพอลิพรอพิลีน (Atactic Polypropylene) โครงสร้างมีลักษณะเป็นการเกาะของหมู่เมทิลบนสายโซ่หลักอย่างไม่เป็นระเบียบทำให้เกิดการตกผลึกน้อยที่สุด ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของอะแทคติกพอลิพรอพิลีน

พอลิพรอพิลีนแบ่งออกเป็น 4 เกรด คือ

1. โฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymer) คือ การนำพอลิพรอพิลีนมาต่อกันโดยมีหมู่เมทิลที่อยู่บนโครงสร้างหลักอยู่ข้างเดียวกันของระนาบ มักขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูปซึ่งพอลิพรอพิลีนเสื่อมสภาพได้เมื่อสัมผัสกับแสงอาทิตย์เป็นเวลานาน ดังนั้นจึงต้องเติมสารเติมแต่งเพื่อป้องกัน การแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ พอลิพรอพิลีนมีลักษณะขุ่นแต่สามารถปรับปรุงให้มีลักษณะใส และมีสมบัติดีขึ้นโดยการเติมตัวหนืดวนำทำให้เกิดการตกผลึกเพิ่มขึ้น ประโยชน์ของ PP ชนิดนี้ ได้แก่ ฟิล์ม เส้นใย ตาข่าย ฝาขวด เข็มฉีดยา ของเด็กเล่น ชิ้นส่วนรถยนต์ อุปกรณ์การแพทย์ ฯลฯ
2. พอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่ม (Random copolymer) พอลิเมอร์ชนิดนี้มีเอทิลีนประมาณร้อยละ 6 โดยน้ำหนัก โดยเติมลงในสายโซ่ของพอลิเมอร์ของพอลิพรอพิลีน ใช้ผลิตเป็นฟิล์มบรรจุอาหารและห่ออาหารได้ตามมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์กันชนของรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ทางวิชาการเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. พอลิเมอร์ร่วมชนิดรับแรงกระแทก (High impact copolymer) มีการเติมมอนอเมอร์อื่นประมาณ 20 % มักจะเป็นเอทิลีนหรือยาง ต้องใช้ความละเอียดรอบคอบในการตั้งเคราะห์ต้องควบคุมสภาวะให้เหมาะสม เพื่อให้ได้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลและองค์ประกอบตามต้องการ จะมีความทนทานต่อแรงกระแทกได้ดีแม้ที่อุณหภูมิต่ำ พอลิเมอร์ชนิดนี้ใช้ผลิต เบาะนั่งในรถ กระจาปเดินทาง อุปกรณ์หล่อเย็น ฯลฯ
4. อะแทคติกพอลิพรอพิลีน (Atactic polypropylene) มักมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าชนิดอื่น มีความเป็นผลึกต่ำ มีความสามารถในการขีดเกาะดี และไม่นำไฟฟ้า ใช้ประโยชน์เป็นฉนวนหุ้มสายเคเบิ้ล

สมบัติทั่วไปของพอลิพรอพิลีน [5]

- ความหนาแน่น 0.895-0.912 g/cm³
- มีน้ำหนักเบา
- จุดหลอมเหลวปานกลาง 134-165 °C
- ไม่ละลายในตัวทำละลายที่อุณหภูมิห้อง
- มีความทนกรดและด่าง
- เชื้อต่อปฏิกิริยาเคมี
- มีความเป็นผลึกสูงจึงทำให้มีสมบัติเชิงกลที่ดี
- ละลายในตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนที่อุณหภูมิสูงกว่า 80 °C
- ดัชนีการหลอมไหล (Melt flow index) อยู่ในช่วง 0.47-350 g/10 min
- องศาความเป็นผลึก (% Crystallinity) สูง

สมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนบางประการของพอลิพรอพิลีน [5]

| | | |
|-----------------------------|---------------|------|
| • Ultimate tensile strength | 20.7 – 460 | MPa |
| • Elongation at break | 8 – 540 | % |
| • Tensile Modulus | 1.515 - 1.725 | GPa |
| • Flexural Modulus | 0.930 - 2.068 | GPa |
| • Izod impact (Notched) | 0.210 – 1.600 | J/cm |
| • Izod impact (Unnotched) | 9 - 15.9 | J/cm |
| • Tm | 174 | °C |

• Tg -17 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ยางรถยนต์ [7]

ส่วนประกอบของยางรถยนต์แต่ละส่วนจะผลิตจากยางหลายชนิด ขึ้นกับสมบัติของยาง เช่น

- หน้ายาง (Tread) ต้องการยางที่มีความทนทานต่อการขัดสี (Wear resistance) มีความร้อนที่เกิดจากการได้รับแรงอย่างต่อเนื่อง (Heat buildup) คำ นิยมใช้ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR) ยางอะครีโลไนไทรล์บิวทาไดอิน (Acrylonitrile Butadiene- Rubber, NBR)
- ยางใน (Liner) ต้องการยางที่มีการซึมผ่านของก๊าซ (Gas permeability) คำ จึงเลือกใช้ยางบิวทิล (Butyl Rubber)
- ผนังด้านข้างของยาง (Sidewall) ต้องการยางที่สามารถทนทานต่อการพับงอ มีฮิสเตอรีซิส (Hysteresis) คำ นิยมใช้ยางธรรมชาติ ยางสไตรีน-บิวทาไดอิน (Styrene Butadiene- Rubber, SBR) เป็นต้น



รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบต่างๆของยางรถยนต์ [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ผงยางรถยนต์ [8]

มีวิธีการทำได้ 2 กระบวนการดังนี้

2.3.1 การบดยางที่อุณหภูมิห้อง [8]

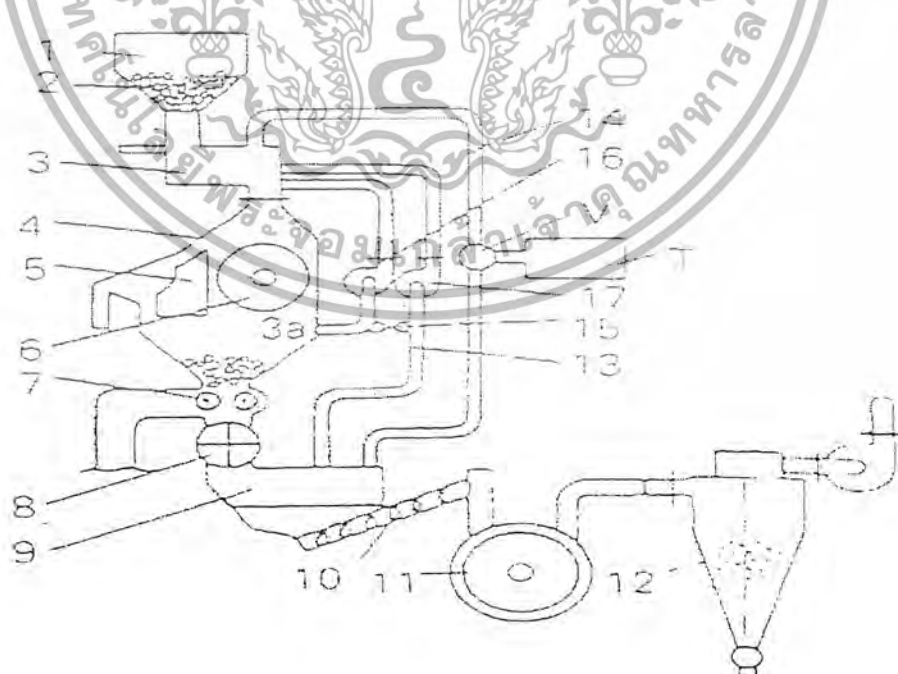
ขั้นแรกนำยางรถยนต์มาตัดด้วยเครื่องตัดเชิงกล (Mechanical scissor) อย่างต่อเนื่อง โดยจะได้เป็นยางชิ้นใหญ่ก่อนขนาดประมาณ 20-40 mm แล้วส่งต่อไปยังลูกกลิ้ง (Crushing roll mill) เพื่อให้ได้ขนาด 20 mm ขั้นต่อไปทำการแยกขนาดอนุภาคด้วยตะแกรงร่อนแบบเดี่ยว (Single state sifter screen) จากนั้นอนุภาคที่ผ่านรูของตะแกรงร่อนถูกส่งไปยังลูกกลิ้งของตัวที่ 2 เมื่อจบเครื่องแล้ว นำไปร่อนแบบ 2 ชั้น (Second sifter screen) อีกทีหนึ่ง อนุภาคที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนนั้นมีขนาดประมาณ 5-7 mm แล้วนำไปแยกยางกับเศษโลหะที่ไม่ต้องการ โดยใช้แม่เหล็กและแรงโน้มถ่วง อนุภาคยางที่ได้นำเข้าเครื่องบดแบบลูกกลิ้งตัวที่ 3 เมื่อจบเครื่องแล้วนำไปร่อนแบบ 2 ชั้น อนุภาคยางที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อนจะถูกนำกลับไปบดบนลูกกลิ้งอีกครั้ง ส่วนอนุภาคที่ผ่านตะแกรงร่อนชั้นตอนนี้ นำไปแยกเศษโลหะอีกครั้งเพื่อให้ได้ยางที่ไม่มีสิ่งเจือปน เมื่อเสร็จกระบวนการแล้วอนุภาคยางที่ได้มีขนาดประมาณ 0.8 mm ตัวอย่างกระบวนการผลิตผงยางชนิดบดที่อุณหภูมิห้องแสดงได้ดังรูปที่ 2-6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ที่อุณหภูมิห้อง [8] เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การบดขยงที่อุณหภูมิต่ำ [8]

เทคนิคนี้ เริ่มด้วยการแยกยาง โลหะ สิ่งทอ ออกจากยางรถยนต์ โดยตัดชิ้นยางให้มีขนาด 50-150 mm แล้วทำให้แตกเป็นชิ้นเล็กๆ โดยใช้ Hammer mill ขนาดของเศษยางที่ได้จะมีขนาดเล็กกว่า 19 mm แล้วนำมาให้ความเย็นใน Cryogenic chamber ที่อุณหภูมิ -60 ถึง -100 °C และทำให้แตกเป็นชิ้นเล็กๆ โดยใช้ Hammer mill ขนาดเล็กกว่า 19 mm หลังจากนั้นทำการแยกโลหะออก โดยใช้สนามแม่เหล็ก ในส่วนที่แยกออกมาได้จะมีโลหะ 99% และมีส่วนที่เป็นยางกับสวด 1% ส่วนที่ไม่ถูกแยกด้วยสนามแม่เหล็กจะผ่านเข้าไปสู่ Sifter table ของ Cyclone- separator ปฐมภูมิ ซึ่งมีแผ่นแยกขนาดบอยู่ 3 แผ่น โดยมีขนาด 1.41- 2.38 mm และ 0.7-0.9 mm วัสดุที่อยู่ในแผ่นแรก จะถูกนำเข้าสู่เครื่องบด (Grinder) และนำกลับเข้าสู่การแยกโดยใช้ Cyclone และวัสดุที่อยู่ในแผ่นที่สองจะนำไปแยก โดยใช้เครื่องสั่นปฐมภูมิ (Primary vibration table) ซึ่งจะถูกแยกออกเป็นสองส่วน คือส่วนที่เบาและหนัก โดยส่วนที่เบาจะเข้าสู่เครื่องผสมแบบปิดชนิดลูกกลิ้ง เพื่อทำการแยกให้สวดออกจากยางและนำกลับเข้าไปแยกโดย Cyclone อีกครั้ง ส่วนที่หนักจะเข้าไปสู่การแยกโดยใช้สนามแม่เหล็ก ทำการแยกโลหะออกจากยางบริสุทธิ์ นำยางบริสุทธิ์ที่ได้เข้าสู่ Secondary cryogenic chamber ยางที่ได้จะมีขนาดเล็กกว่า 0.127 mm ส่วนวัสดุในชั้นที่ 3 จะถูกนำ เข้าเครื่องสั่นทุติยภูมิ (Secondary vibration table) ตัวอย่างเครื่องบดที่อุณหภูมิต่ำสามารถแสดง ได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การบดขยงที่อุณหภูมิต่ำ [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 สารให้ฟอง [9]

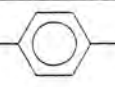
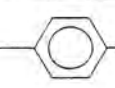
สารให้ฟองนั้นเป็นสารเคมีที่ช่วยให้พอลิเมอร์มีโครงสร้างเป็นรูพรุนหรือโพรงเล็กๆ (Cellular Polymer) ภายในช่องว่างมีก๊าซอยู่ สารที่ทำให้เกิดฟอง แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ

- 1) สารที่ทำให้เกิดฟองทางกายภาพ (Physical blowing agent) เกิดฟองก๊าซได้ โดยผ่านกระบวนการเปลี่ยนสถานะ เช่น ของเหลวที่ทำให้ระเหยกลายเป็น ก๊าซแทรกตัวเข้าไปในพอลิเมอร์ภายใต้ความดันสูงๆ เช่น ไนโตรเจนเหลว คลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFC)
- 2) สารทำให้เกิดฟองทางเคมี (Chemical blowing agent) เกิดฟองก๊าซโดย ปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยความร้อน (Thermal decomposition) หรือปฏิกิริยาเคมี (Chemical reaction) เช่น เอโซไดคาร์โบนาไมด์

สมบัติของสารให้ฟองที่ดีมีดังนี้

1. เกิดฟองก๊าซในเวลาและอุณหภูมิที่ต้องการ
2. ไม่มีผลกระทบต่อความเสถียรของกระบวนการผลิตและสมบัติของพอลิเมอร์
3. สามารถผลิตฟองก๊าซที่มีขนาดเท่ากัน
4. มีความเสถียรในสถานะการใช้งานปกติ
5. มีความเป็นพิษน้อย

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างของสารให้ฟอง [9]

| ชื่อ | สูตรทางเคมี | ช่วงอุณหภูมิ สลายตัว(°C) | ก๊าซที่ระเหย ออกมา |
|---|--|--------------------------|---------------------------|
| Azocarbonamide | $H_2N-CO-N=N-CO-NH_2$ | 190-230 | N_2, CO, CO_2 |
| Dinitrosopentamethylene tetramine | $ \begin{array}{c} CH_2-N-CH_2 \\ \quad \\ ON-N \quad N-NO \\ \quad \\ CH_2-N-CH_2 \\ \quad \\ CH_2-N-CH_2 \end{array} $ | 160-200 | N_2, NO, H_2O, CH_3NH_2 |
| 4,4 Oxybis(benzene-Sulphonohydrazine) | NH_2NHSO_2  NH_2NHSO_2 | 150 | N_2, H_2O |
| N,N'-Dimethyl-N,N'-dinitrosoterephthalamide | CH_3  CH_3 | 180 | CO_2, N_2, H_2O |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

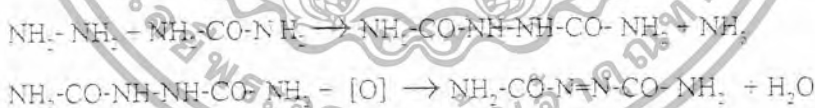
ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้เอโซไคคาร์โบนาไมด์ (Azocarbonamide, AZ) เป็นสารให้ฟอง ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดฟองทางเคมีที่นิยมใช้มากที่สุดชนิดหนึ่ง เนื่องจากสลายตัวให้ก๊าซไนโตรเจนไม่มีสารพิษเกิดขึ้นหลังจากการสลายตัว ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีไม่ทำให้เกิดการเผาไหม้ สามารถทำให้เกิดการสลายตัวได้ง่าย ซึ่งเอโซไคคาร์โบนาไมด์จะเกิดการสลายตัวได้ในช่วง อุณหภูมิ 205-215 °C ให้ก๊าซประมาณ 220 cm³/g โดยอนุภาคขนาดเล็กจะสลายตัวได้เร็วกว่าอนุภาคขนาดใหญ่

เอโซไคคาร์โบนาไมด์มีโครงสร้าง แสดงดังรูปที่ 2.8 ผลิตโดยปฏิกิริยา Dihydrazine sulfate และ Urea ภายใต้อุณหภูมิและความดันสูงที่สุด ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยานี้จะถูกออกซิไดซ์ต่อโดยใช้ Sodium chlorate และปฏิกิริยาจะเกิดเป็นลักษณะของแข็งที่ละลายในของเหลว จากนั้นจะล้างเพื่อกำจัดสิ่งเจือปนออกไปและอบให้แห้งจะได้ผงของเอโซไคคาร์โบนาไมด์

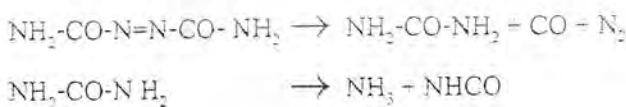


รูปที่ 2.8 โครงสร้างของเอโซไคคาร์โบนาไมด์ (AZ)

ปฏิกิริยาในกระบวนการผลิต AZ [10]



ปฏิกิริยาสลายตัวของเอโซไคคาร์โบนาไมด์แสดงดังนี้



2.5 พอลิพรอพิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์

พอลิพรอพิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์นั้นเป็นสารช่วยผสม (Compatibilizer) ทำหน้าที่ปรับปรุงการยึดเกาะกันของพอลิพรอพิลีนกับสารอื่นที่มีความมียาวสูง เช่น เส้นใยไม้ ฟิลิก้า แคลเซียมคาร์บอเนต เขม่าดำ หรือผงยางที่มีขี้ผึ้งทำให้สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางความร้อนดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ต่อถึงระหว่างพอลิพรอพิลีนกับมาเลอิกแอนไฮไดรด์ซึ่งหมู่กรดมีการจัดเรียงไปทางสารเติมเต็ม การที่ต่อถึงกันได้นั้นขึ้นอยู่กับอัตราส่วนที่เติม และขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการดำเนินการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่งประเภทอินทรีย์ และเชื่อมความพันธะด้วยความมีขั้วคือพันธะไฮโดรเจน หรือแม้ว่าแต่พันธะไอออนิก ในขณะที่โครงสร้างของพอลิพรอพิลีน ถูกดึงดูด้วยเมทริกซ์ของพอลิพรอพิลีน

สมบัติทั่วไปของ PP-g-MA มีดังนี้

-มีลักษณะเป็นเม็ดใส

-มีอัตราการหลอมเหลว (Melt flow index = 50.0 กรัม/นาที ASTM D-1238)

-ความหนาแน่น (Density) (ที่ 23 °C 0.91 g/cm³ ASTM D-792)

-จุดหลอมเหลว (Melting point) 152 °C

2.6 การวิเคราะห์ทางความร้อนโดยการชั่งน้ำหนัก

TGA เป็นเทคนิคหนึ่งของการวิเคราะห์ โดยอาศัยหลักความร้อน (Thermal analysis:TA) นำมาใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะการหาความทนทานต่อความร้อน สารบางชนิดอาจมีการสลายตัวหลายขั้นตอน เนื่องจากมีสารอื่นเกาะบนอยู่ หรือเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของสารนั้น เช่น ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ขั้นตอนการสลายตัวของ $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

ถ้ารู้ช่วงอุณหภูมิการสลายตัวของสารจะสามารถคำนวณ %weight loss (น้ำหนักของสารที่สูญเสียบไป) ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Pramanik และ Baker [13] ได้นำผงยางรถยนต์ขนาด 40 และ 80 mesh มาผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแบบเชิงเส้น (LLDPE) เพื่อปรับปรุงสมบัติความทนต่อแรงกระแทก โดยใช้เททิลีนอะคริลิกแอซิด (Ethylene-acrylic acid) และยางธรรมชาติแบบอีพอกซีไดซ์ (Epoxydized natural rubber) เป็นสารช่วยผสม พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของยางธรรมชาติแบบอีพอกซีไดซ์หรือใช้ผงยางรถยนต์ขนาดเล็ก จะทำให้สมบัติความทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การเติมไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl peroxide, DCP) และการเคลือบผงยางรถยนต์ด้วยไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์กับไตรแอซิดไซยาเนต (Triallyl cyanurate) จะทำให้สมบัติความทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

Kowalska และ Wielgosz [14] ได้ศึกษาการผลิตท่อน้ำซึมจากผงยางรถยนต์ที่ใช้แล้วกับพอลิเอทิลีน (ไม่ระบุชนิด) โดยเติมสารให้ฟองและสารช่วยผสม พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของสารให้ฟองจะทำให้ความแข็งแรง ณ จุดขาด (Breaking strength) และความหนาแน่นของท่อน้ำซึมมีค่าลดลง แต่ถ้าเพิ่มปริมาณของผงยางรถยนต์ ทำให้ความแข็งแรง ณ จุดขาดลดลง และความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ถ้าใช้ผงยางรถยนต์ขนาดเล็ก พบว่าความลื่นไหลของรูพรุนและความหนาแน่นของท่อน้ำซึมจะลดลง ท่อที่เตรียมจากผงยางรถยนต์ต่อพอลิเอทิลีน ในอัตราส่วน 60-40 / 65-35 มีอัตราการซึมผ่านน้ำมากที่สุด แต่ยังไม่พบว่ามีอัตราการซึมผ่านของน้ำจะแปรผกผันกับความยาวของท่อ

กนั่มพร ลวัศศิษฐ์พล และคณะ [15] ได้ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของท่อน้ำซึมจาก GRT ขนาด 40 mesh กับ LLDPE ได้แก่ ปริมาณของสารให้ฟอง (AZ) อัตราส่วนระหว่าง GRT/LLDPE ผลของคิกเกอร์ (Kicker) ปริมาณของสารช่วยผสม (PE-g-MA) และปริมาณของสารเชื่อมโยง (DCP) จากการทดลองพบว่า อัตราส่วน GRT/LLDPE/AZ เท่ากับ 70/30/7 จะมีสมบัติเชิงกลสูงชัน และมีอัตราการซึมผ่านของน้ำอยู่ในช่วงที่ต้องการ เมื่อเติมสารเชื่อมโยงและสารช่วยผสมจะทำให้สมบัติเชิงกลสูงชันแต่อัตราการซึมผ่านของน้ำลดลง อัตรา ส่วนที่เหมาะสมที่สุดของ GRT/LLDPE/AZ/PE-g-MA/DCP ในการขึ้นรูปเป็นท่อน้ำซึม คือ 70/30/7/4/0.5 นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อเติมคิกเกอร์ จะทำให้สมบัติเชิงกล และ อัตราการซึมผ่านของน้ำลดลง

บริษัท FARU [16] ได้คิดค้นเทคโนโลยีที่เกี่ยวกับการใช้ล้อยางรถยนต์เก่ามาใช้ให้เป็นประโยชน์ โดยนำผงยางรถยนต์ (GRT) มาผสมกับ PP เรียกวัสดุใหม่นี้ว่า Elastomeric Alloy (EA) มีสมบัติเหมือนยางแต่สามารถถูกแปรรูปได้เหมือนเทอร์โมพลาสติก สามารถนำไปทำผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายเพราะสามารถเติมสารเติมแต่งได้หลายชนิด เป็นที่นิยมใช้มากในอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการคัดค้าน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Revulcon® หรือขยะของยางที่ถูกแปรรูปกลับมาใช้ใหม่ โดยผ่านกรรมวิธีการปรับสภาพทาง เครื่องกลที่ไม่มีสารเคมีใด ๆ เพิ่มเติมและยางที่บดจะทำการเชื่อมโยงใหม่ได้ (Revulcanized) และ หลอม-เหลวในแม่แบบได้ ไม่ว่าขยะยางนั้นจะอยู่ในช่วงขนาดอนุภาคเท่าใด และสามารถผสมกับ พลาสติก ต่าง ๆ ขยะพลาสติกและผสมกับยางพอลิเมอร์ผสมที่เกิดจากยางใหม่ในสัดส่วนที่มากกว่า เม็ดยางที่ไม่ได้ปรับสภาพโดยยังคงคุณภาพไว้

สัจจะชัย สัจจะธนะสกุล [17] ได้ผลิตและศึกษาสมบัติของท่อน้ำซึม GRT กับ HDPE โดยเติม AZ เป็นสารให้ฟอง แล้วศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติของท่อน้ำซึม ได้แก่ สภาวะ ในการขึ้นรูป ปริมาณของสารให้ฟอง อัตราส่วนระหว่าง GRT/HDPE ขนาดของผงยางรถยนต์ และ ปริมาณของไดคลอริสเปอร์ออกไซด์ (DCP) ซึ่งเป็นสารเชื่อมโยง จากการทดลองสภาวะในการ ขึ้นรูปที่เหมาะสมคือ ใช้เวลาในการอัดแบบ 5 นาทีที่อุณหภูมิ 230°C เมื่อเพิ่มปริมาณผงยาง รถยนต์ จะทำให้สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มลดลง เช่น ความแข็งแรงดึง มอดูลัส ความแข็งกด และ ความหนาแน่น แต่สมบัติบางประการ เช่น เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และ อัตราการซึมผ่านของ น้ำเพิ่มขึ้น

บุษกร พงษ์ บัณฑิต และ อุดมการณ์ ศิริปะชานานู [11] ได้ศึกษาการปรับปรุงสมบัติของ ท่อน้ำซึมจาก GRT กับ LDPE โดยใช้ AZ เป็นสารให้ฟอง แล้วศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของ ท่อน้ำซึม ได้แก่ ขนาดของผงยางรถยนต์ ปริมาณของ (DCP) เป็นสารเชื่อมโยง และปริมาณสารช่วย ผสม (PE-g-MA) จากการทดลอง จะใช้ผงยางรถยนต์ขนาด 30 mesh ในอัตราส่วน โดยน้ำหนักของ GRT/PE/AZ เท่ากับ 60/40/3 พบว่าทำให้สมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น เมื่อเติมสารเชื่อมโยงและ สารช่วย ผสมจะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้นแต่ความแข็งแรงดึงไม่เปลี่ยนแปลง จาก การศึกษาฐานวิทยาลัยจะพบว่า อนุภาคระหว่าง GRT กับ LDPE จะผสมเข้ากันได้ดีซึ่งรูพรุนของ วัสดุที่เกิดจากการสลายตัวของเอโซ ไดคาร์ไบน์ไม่ได้ พบว่าเมื่อเติมสารเชื่อมโยง และ สารช่วย ผสม จะทำให้อัตราการซึมผ่านของน้ำลดลง

ฟ้าคุณุณี พงษ์พิมาน และ ภัทธพร อินทเกษ [18] ได้ศึกษาสมบัติเชิงกลและ อัตรา การซึมผ่านน้ำของท่อน้ำซึมจาก GRT ขนาด 20 mesh ผสมกับ HDPE กับ พอลิเอทิลีนชนิดความ หนาแน่นสูงที่เติมเขม่าดำ (Carbon black) 2-3% โดยใช้ AZ เป็นสารให้ฟอง DCP เป็นสารเชื่อมโยง และ PE-g-MA เป็นสารช่วยผสม จากการทดลอง เมื่อเติมสารให้ฟองพบว่าความแข็งแรงดึง และ มอดูลัสมีค่าลดลง แต่ร้อยละการยืดมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อเติมสารช่วยผสมจะทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น ส่วนอัตราการซึมผ่านน้ำในสูตรที่ใช้ HDPE เป็นเมทริกซ์จะเพิ่มขึ้น แต่ในสูตรที่ใช้ (c-HDPE) เป็น เมทริกซ์นั้นจะมีค่าลดลง และเมื่อเติม DCP จะทำให้สมบัติเชิงกลเชิงกลดีขึ้น แต่อัตราการซึมผ่าน ของน้ำลดลง และเมื่อใช้สารช่วยผสม PP-g-MA กับ DCP ในสูตรที่ใช้ HDPE เป็นเมทริกซ์ จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การดำเนินงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ขออภัยผู้ใดเห็นประโยชน์จะเผยแพร่เป็นการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าค่าความแข็งแรงดึง มอดุลัส และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด มีค่าสูงเมื่อเทียบกับสูตรอื่น ส่วนสูตรที่ใช้ c-HDPE เป็นเมทริกซ์จะมีสมบัติเชิงกลลดลง และทุกสูตรจะมีอัตราการซึมผ่านของน้ำลดลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. ผงยางรถยนต์ (Ground Rubber Tire, GRT) ชนิดบดที่อุณหภูมิห้อง (Ambient grinding) ขนาด 30 mesh จากบริษัท แสงไทยผลิตยางจำกัด
2. พอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP) เกรด P840J และ เกรด P401S บริษัท TPE Co.,Ltd.

ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของพอลิพรอพิลีน

| สมบัติ | เกรด | | หน่วย |
|-------------------------------|-------|-------|--------------------|
| | P840J | P401S | |
| ดัชนีการไหลที่ 2.16 kg/230 °C | 40 | 2.4 | g/10min |
| ความหนาแน่น | 0.91 | 0.91 | g/cm ³ |
| ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด | 290 | 350 | kg/cm ² |
| การยืด ณ จุดขาด | 50 | 500 | % |
| จุดอ่อนตัว | 160 | 160 | °C |
| จุดหลอมเหลว | 150 | 155 | °C |

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

3. สารให้ฟอง (Blowing agent) เอโซไคคาร์บาไมด์ (Azocarbonamide, AZ) จาก บริษัท ไซโก้ (ไทยแลนด์) จำกัด เกรด D 800
4. พอลิพรอพิลีนต่อกิ่งด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Polypropylene graft maleic anhydride, PP-g-MA) เกรด Polybond® เกรด 3200 จาก บริษัท Crompton Specialties Ltd.
5. สารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน (Heat stabilizer) เฮอร์กาน็อก (Irganox® 1010) จาก บริษัท Ciba Specialty Chemicals (Thailand) Ltd.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 สมบัติบางประการของสารให้ฟอง AZ-D 800

| สมบัติ | ค่า |
|--|-------------------------------------|
| สูตรโครงสร้าง | $\text{NH}_2\text{-CO-N=N-CO-NH}_2$ |
| ลักษณะทางกายภาพ | มีสีเหลือง |
| อุณหภูมิการสลายตัว ($^{\circ}\text{C}$) | 190-230 |
| ปริมาตรก๊าซที่ให้ (cm^3/g) | 225-250 |
| ความร้อนจำเพาะ | 0.26 |
| ความถ่วงจำเพาะ | 1.65 |
| พีเอช (pH) | 6-8 |
| น้ำหนักโมเลกุล | 116.08 |
| ความร้อนจากการสลายตัว (kcal/mol) | 10 |

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single screw extruder) รุ่น PolyDrive with Rheometer R 252 บริษัท HAARE CO.,Ltd
2. หัวตายรูปท่อและหัวตายรูปแผ่น
3. เครื่องบดพลาสติก (Plastic grinder) บริษัท Bosco Engineering Co.,Ltd
4. เครื่องทดสอบดัชนีการไหล (MFI)
5. เครื่องทดสอบการซึมผ่านของน้ำและก๊าซ
6. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น LEO 1450 VP
7. เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal testing machine) รุ่น LR 30K บริษัท LLOYD Instruments

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 สมบัติบางประการของ PP-g-MA (Polybond®) เกรด 3200

| สมบัติ | ค่า |
|-------------------------------|------------------|
| ลักษณะทางกายภาพ | เม็ดสีขาว |
| Base Resin | PP (Homopolymer) |
| ดัชนีการไหลที่ 2.16 kg/230 °C | 110 g/10min |
| จุดหลอมตัว (°C) | 160 |
| ความถ่วงจำเพาะ | 0.9 |

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. ชั่งสารให้ ได้ตามสูตรดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สูตรที่ใช้ในการผสม

| สาร | สูตร (โดยน้ำหนัก) | | | | | | | | |
|-------------|-------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| GRT | 60 | 70 | 70 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| PP (P-840J) | 40 | 30 | 30 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | - |
| PP (P401S) | - | - | - | - | - | - | - | - | 40 |
| AZ | - | - | 8 | 8 | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| PP-g-MA | - | - | - | - | - | - | 3 | 5 | 5 |

2. นำส่วนผสมแต่ละสูตรผ่านกระบวนการผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคนเดียว อุณหภูมิที่หัวดายเป็น 180°C ความเร็วรอบ 20 รอบ/นาที เพื่อให้ของผสมเกิดการผสมเข้ากันได้
3. นำของผสมที่ได้มาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดเม็ด
4. นำของผสมที่ได้ไปผ่านเครื่องอัดรีดเป็นแผ่นและรูปท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การขึ้นรูป

นำของผสมที่บดละเอียดแล้วมาขึ้นรูปเป็นแผ่นและเป็นท่อด้วยเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนเดี่ยว โดยผ่านดาบรูปแผ่นและดาบรูปท่อ (Tube die) ขนาด 1 cm โดยใช้อุณหภูมิที่หัวดาบเท่ากับ 210°C ความเร็วรอบ 30 รอบ/นาที

3.5 การทดสอบ

3.5.1 การทดสอบสมบัติเชิงกลของท่อน้ำซึม

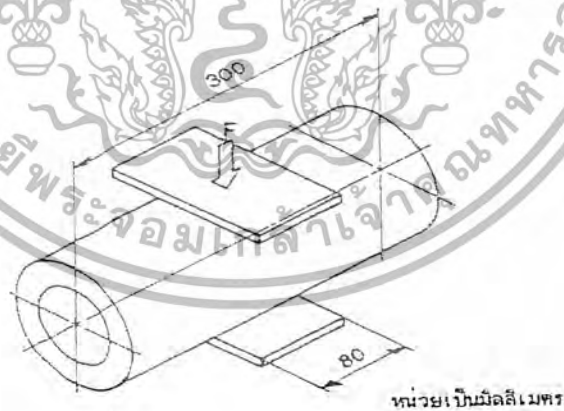
3.5.1.1 การทดสอบสมบัติการดัดงอ

ตามมาตรฐานแรงดึงตาม ASTM D638

1. นำพอลิเมอร์ผสมไปผ่านกระบวนการขึ้นรูปเป็นแผ่น
2. นำไปตัดเป็นรูปคัมเบลล์ให้ได้ตัวอย่างชิ้นงาน 8 ชิ้น
3. นำไปทดสอบดึงที่ความเร็วในการดึง 50 mm/min อุณหภูมิการทดสอบ 25°C ความยาว Gauge length 25 mm

3.5.1.2 สมบัติการรับแรงกด

เทียบเคียงตามมาตรฐานทดสอบ มอก. 796-2530 [18]



รูปที่ 3.1 ลักษณะการวัดความทนทานแรงกด

1. เครื่องมือ

1.1 เครื่องทดสอบเนกประสงค์

1.2 แผ่นโลหะเรียบกว้าง 80 mm สามารถรับแรงกดในระหว่างการทดสอบโดยไม่เสียรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 เครื่องวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่ออย่างทีวัดได้ละเอียดถึง 0.1 mm

2. การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

ตัดตัวอย่างเป็นท่อยาว 300 mm

1. วิธีทดสอบ

1.1 วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเริ่มต้นตรงที่จุดกึ่งกลางชิ้นทดสอบ (D_0)

เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเดิม

1.2 ประกอบแผ่นโลหะทั้ง 2 ให้อยู่กึ่งกลางชิ้นทดสอบตรงจุดที่วัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเริ่มต้น

1.3 กดแผ่นโลหะด้วยความเร็ว 50 mm/min จนกระทั่งอ่านค่าแรงได้ตามตารางที่

3.4 แล้วรักษาแรงกดไว้นาน 1 นาที

ตารางที่ 3.5 แรงกดที่ใช้ในการทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 746-2530

| ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (mm) | แรงกด (kN) |
|----------------------------|------------|
| 20 31.5 | 0.9 |
| 39 44 | 1.0 |
| 51 57 | 1.1 |
| 63 76 89 102 | 1.45 |
| 127 152 178 203 | 1.75 |
| มากกว่า 203 ขึ้นไป | 2.05 |

1.4 วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่ออย่างทีเพ่งโดยการวัดระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะทั้ง 2 (D_1)

4. วิธีคำนวณ

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกภายใต้แรงกดร้อยละ = $(D_1/D_0) \times 100$

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกภายหลังคลายแรงกดร้อยละ = $(D_2/D_0) \times 100$

เมื่อ D_0 คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเริ่มต้น (mm)

เมื่อ D_1 คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกภายใต้แรงกด (mm)

เมื่อ D_2 คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกหลังคลายแรงกด (mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทดสอบแล้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อภายใต้แรงกดและเมื่อคลายแรงกดออกต้องมีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 และร้อยละ 90 ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอกเดิมตามลำดับ

หมายเหตุ 1. แผ่นโลหะที่ใช้ในการทดสอบจริงเป็นแผ่นโลหะวงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง

50 mm เนื่องจากไม่สามารถหาแผ่นโลหะแบบดังกล่าวได้จึงใช้แผ่นโลหะแบบสี่เหลี่ยมแทน

2. จากตารางที่ 3.4 พบว่าขนาดของท่อน้ำซึมมีขนาดเล็กกว่าตามมาตรฐานตามที่ มอก. กำหนดไว้แต่อาศัยความคล้ายกันของรูปร่างท่อจึงทดสอบ โดยการเลียนแบบวิธีการดังกล่าว

3.5.2 การทดสอบสมบัติการซึมน้ำ

3.5.2.1 การศึกษาสมบัติการซึมน้ำต่อความยาวท่อ

1. นำพอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการขึ้นรูปเป็นท่อมัดต่อให้ยาว 4 ฟุต
2. นำท่อที่ได้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์วัดอัตราการซึมน้ำ (ดังรูปที่ 3.1)
3. เปิดจาลูกให้ก๊าซที่ออกมามีความดัน 0.2, 0.4 และ 0.6 บาร์ (bar)
4. นั่งภาชนะที่ซึ่งน้ำหนักแก้วรองรับน้ำที่ซึมออกมาจากท่อพร้อมจับเวลา
5. นำภาชนะ ไปชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อหาปริมาตรน้ำ จากนั้นนำไปหาอัตราการซึมน้ำโดยเปรียบเทียบปริมาตร เวลา/ความยาวท่อ



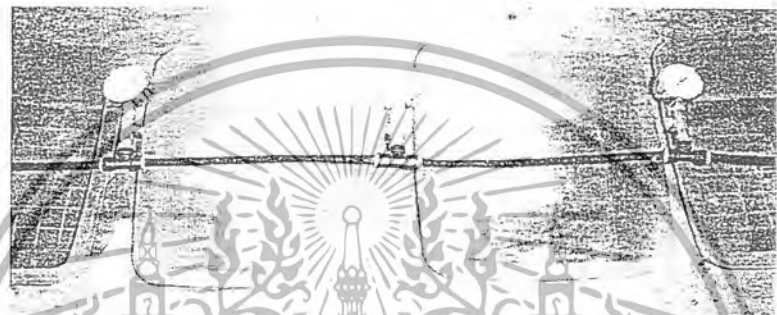
รูปที่ 3.2 อุปกรณ์วัดการซึมผ่านของน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2.2 การศึกษาความดันลดของท่อน้ำซึม

ทำการศึกษาค้นหาความดันลด (Pressure drop) ที่เกิดขึ้น ทำได้โดย

1. นำเกจวัดความดันไปต่อ ณ ข้อต่อระหว่างท่อ ดังรูปที่ 3.2
2. วัดค่าความดันในแต่ละช่วงมาสร้างตารางความดันกับความยาวท่อที่ความดันต่าง ๆ



รูปที่ 3.3 รูปอุปกรณ์การศึกษาหาความดันลด

3.5.3 การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง DSC

ตามมาตรฐาน ASTM D 2117

1. ตัดชิ้นงานทดสอบแล้วนำไปชั่งในภาชนะสูญญากาศมีน้ำหนักไม่เกิน 10 mg
2. ตั้งอัตราการให้ความร้อนที่ 20 °C/นาที ในช่วงอุณหภูมิ 50-230 °C
3. ทำการวิเคราะห์หาค่า T_m , T_c และคำนวณหา % Crystallinity

การคำนวณเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของพอลิพรอพิลีน ในสัดส่วน PP:GRT เท่ากับ 40:60

จากสมการดังต่อไปนี้

$$\%Crystallinity = \left(\frac{\Delta H_f}{\Delta H_f^0} \right) \times 2.5 \times 100$$

เมื่อ ΔH_f = เอนทาลปีของการหลอมเหลวพอลิพรอพิลีนตัวอย่าง (J/g)

ΔH_f^0 = เอนทาลปีของการหลอมเหลวพอลิพรอพิลีนที่มีความเป็นผลึก 100%

ซึ่งมีค่าเท่ากับ 165 (J/g)

3.5.4 การศึกษาสัณฐานวิทยา

นำท่อน้ำซึมนที่ได้ไปแช่ในไนโตรเจนเหลวนาน 20 นาที แล้วทำการหักชิ้นงานที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic fracture) เพื่อให้ผิวของชิ้นงานเรียบไม่เกิดการยืดตัวของพอลิเมอร์ นำชิ้นงานไปเคลือบทอง แล้วศึกษาสัณฐานวิทยาด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อศึกษาขนาดและการกระจายตัวของรูพรุนที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

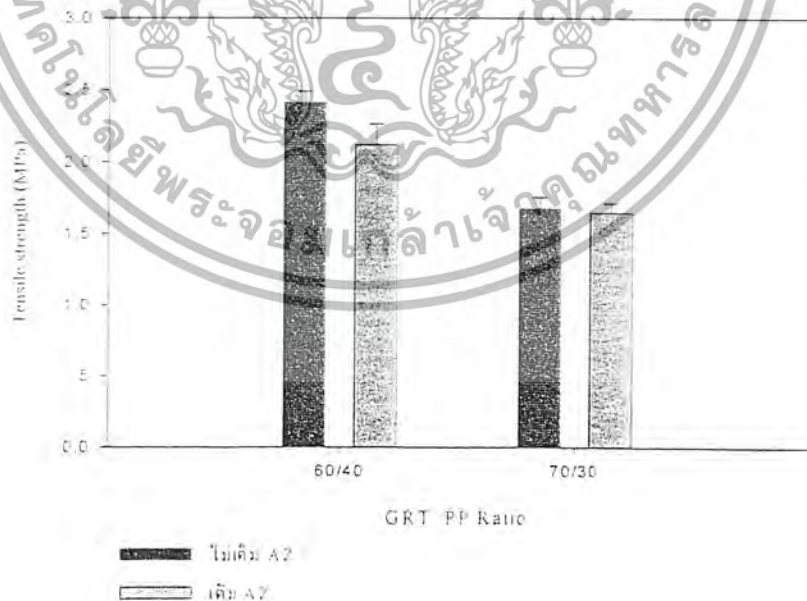
บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ศึกษาอัตราส่วนของ GRT/PP ที่เหมาะสมในการผลิตท่อน้ำซึม

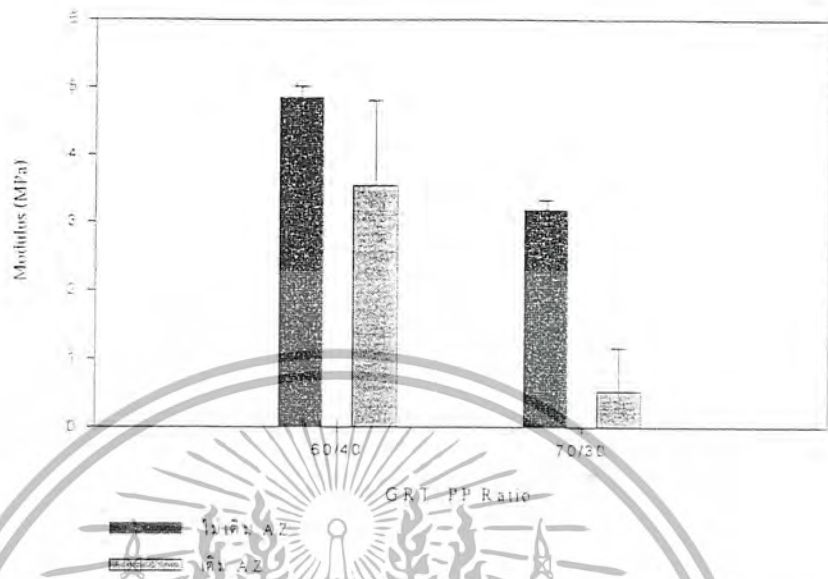
4.1.1 สมบัติเชิงกล

จากการทดลองสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็งแรงดึง มอดุลัส เบอร์เซนด์การยืด ณ จุดขาด สมบัติการรับแรงกดและการคืนตัวของท่อน้ำซึม ซึ่งพิจารณาจากอัตราส่วนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ หากว่าท่อน้ำซึมมีค่าเบอร์เซนด์การเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อภายใต้แรงกดและหลังคลายแรงกดสูง แสดงว่ามีสมบัติการรับแรงกดและคืนตัวได้ตามมาตรฐาน โดยอัตราส่วนระหว่าง พงยางรถยนต์ (GRT) ต่อ พอลิพรอพิลีน (PP) เป็น 60/40 และ 70/30 ตามลำดับ ทั้งที่ใส่สารให้ฟอง (Azodicarbonamide, AZ) จำนวน 8 phr และไม่ใส่สารให้ฟอง ทั้งสองอัตราส่วนของ GRT ต่อ PP เพื่อเลือกอัตราส่วนระหว่าง GRT ต่อ PP ที่เหมาะสมโดยอาศัยสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดมาทำการวิจัยต่อไป ผลแสดงดังรูปที่ 4.1-4.4

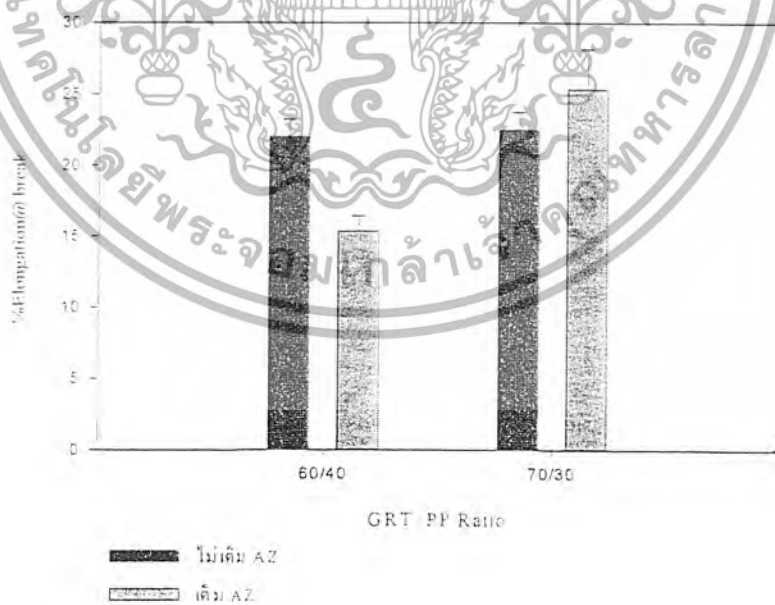


รูปที่ 4.1 ความแข็งแรงดึงของ GRT/PP ที่อัตราส่วน 60/40 และ 70/30 ทั้งที่ผสมและไม่ผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

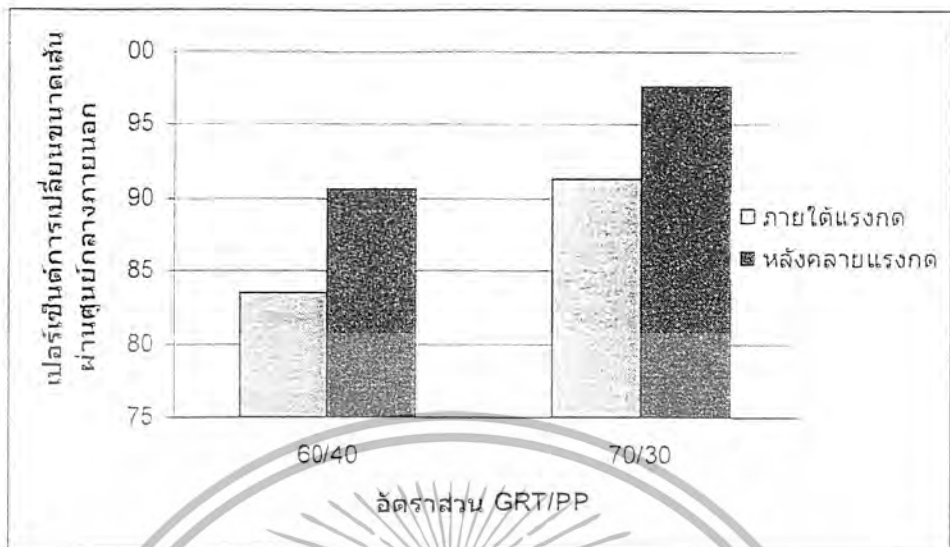


รูปที่ 4.2 มอดูลัสของ GRT/PP ที่อัตราส่วน 60/40 และ 70/30 ทั้งที่ผสมและไม่ผสมสารให้ฟอง AZ 8 phr



รูปที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของ GRT/PP ที่อัตราส่วน 60/40 และ 70/30 ทั้งที่ผสมและไม่ผสมสารให้ฟอง AZ 8 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกภายใต้แรงกดและหลังคลายแรงกด GRT/PP ที่อัตราส่วน 60/40 และ 70/30

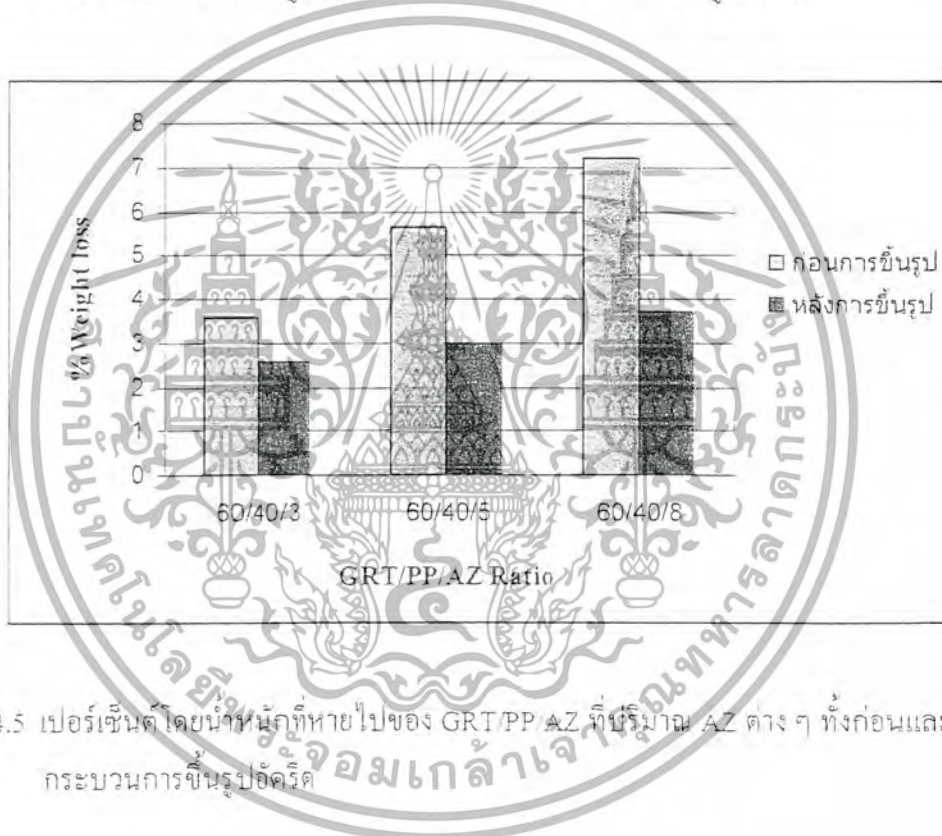
จากรูปที่ 4.1-4.3 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของผงยางรถยนต์ (GRT) มากขึ้น ทำให้ความแข็งแรงดึง และมอดุลัส มีค่าลดลง แต่ เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด มีค่าสูงขึ้น เนื่องจากผงยางรถยนต์ (GRT) มีโครงสร้างร่างแห 3 มิติที่มีความยืดหยุ่น เมื่อเพิ่มปริมาณของผงยางรถยนต์ (GRT) มากขึ้น เป็นการเพิ่มส่วนที่มีความสามารถในการยืดหยุ่นเข้าไปทำให้ความแข็งแรงดึง และมอดุลัส มีค่าลดลง แต่ เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด มีค่าสูงขึ้น

จาก รูปที่ 4.4 เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อหน้าซึ่งพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณผงยางในวัสดุผสม ทำให้การเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกมีค่ามากขึ้น เนื่องจากผงยางเป็นส่วนที่มีความยืดหยุ่น เมื่อได้รับแรงกดจะเกิดการยุบตัวลงได้มากกว่า ท่อที่มีอัตราส่วนระหว่าง GRT/PP ต่ำกว่า ดังนั้นเมื่อเติมผงยางในปริมาณที่มากขึ้นจึงทำให้ท่อหน้าซึ่งมีสมบัติการรับแรงกดได้น้อยลง

จากการศึกษาอัตราส่วนของ GRT/PP ที่ 60/40 กับ 70/30 พบว่าเมื่อใช้ปริมาณ GRT เพิ่มขึ้นเป็น 70 ส่วน ทำให้สมบัติเชิงกลของท่อหน้าซึ่งลดลงเป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงใช้ GRT/PP อัตราส่วน 60/40 ในการทำวิจัยต่อไป

4.1.2 ศึกษาพฤติกรรมของสารให้ฟองเมื่อเติมสารให้ฟองในปริมาณต่าง ๆ กันในวัสดุผสม GRT/PP/AZ ก่อนและหลังการขึ้นรูปท่อ

การวิเคราะห์ทางความร้อนโดยเทคนิค TGA เพื่อศึกษาการสลายตัวของ AZ ว่าปริมาณที่ AZ เติมลงไปเป็นปริมาณต่าง ๆ นั้นเป็นอัตราส่วนที่มากเกินไปหรือไม่ โดยดูที่ปริมาณของ AZ ที่สลายตัวก่อนและ ที่หลังการขึ้นรูปท่อน้ำซึมว่ายังคงมีการสลายตัวอยู่หรือไม่ (ในช่วงอุณหภูมิ 150-230 °C ทั้งก่อนและหลังการขึ้นรูปท่อน้ำซึม) จากการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 เปรอเซ็นต์โดยน้ำหนักที่หายไปของ GRT/PP/AZ ที่ปริมาณ AZ ต่าง ๆ ทั้งก่อนและหลังกระบวนการขึ้นรูปอัดรีด

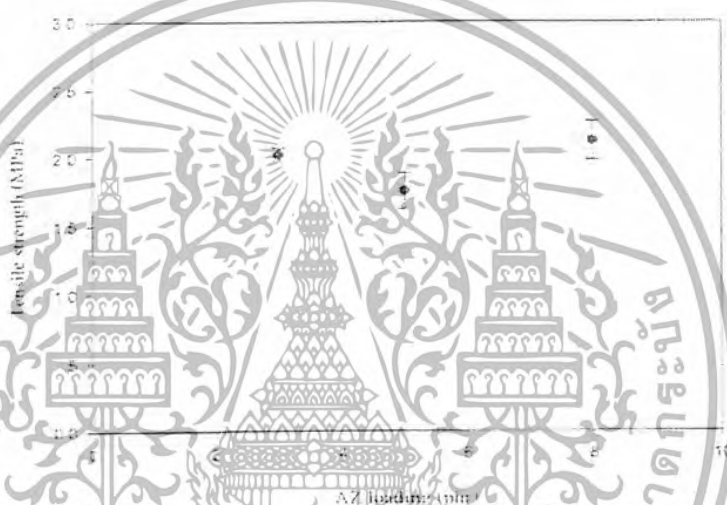
พบว่า ทั้งก่อนและหลังกระบวนการขึ้นรูปนั้นเมื่อเติม AZ ในปริมาณที่มากขึ้น %Weight loss จะมากขึ้นตามไปด้วยและที่หลังกระบวนการขึ้นรูปนั้นยังคงมีการสลายตัวเกิดขึ้นอยู่แสดงว่า ปริมาณ AZ ที่เติมลงไปมีปริมาณที่มากเกินไปที่จะสลายตัวให้ฟองก๊าซออกมา โดย %Weight loss ของวัสดุผสมที่เกิดการสลายตัวก่อนการขึ้นรูปนั้นมากกว่าอัตราส่วนของ AZ ที่เติมลงไป อาจเนื่องมาจาก มีการสลายตัวของ AZ กับสาร โมเลกุลเล็กอื่น เช่น โมเลกุลของน้ำ สารอินทรีย์โมเลกุลขนาดเล็ก เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ศึกษาผลของสารให้ฟอง

4.2.1 สมบัติเชิงกล

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของพ่อน้ำซึม ที่อัตราส่วนระหว่าง GRT/PP เป็น 60/40 และมีการเติมสารให้ฟอง AZ ลงไปในอัตราส่วน 3, 5 และ 8 phr ตามลำดับ เพื่อศึกษาคุณสมบัติต่างๆ คือ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) มอดุลัสที่ 3 เปอร์เซนต์ สมบัติการรับแรงกด และเปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาด แสดงผลดังรูปที่ 4.6 – 4.9

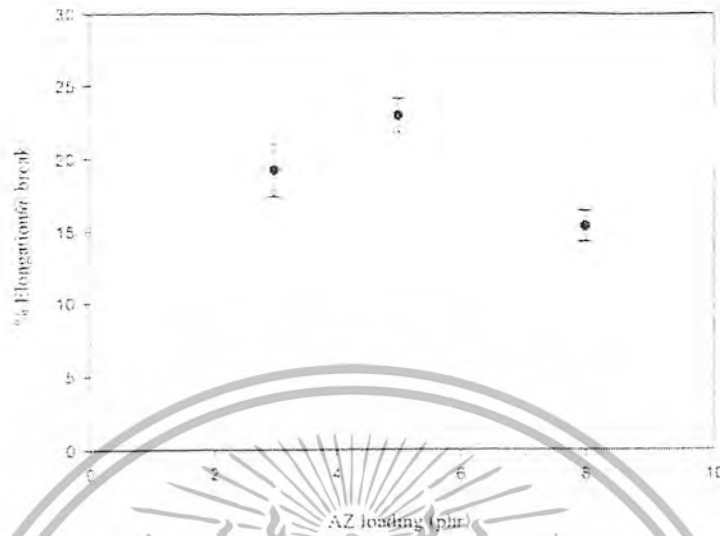


รูปที่ 4.6 ค่าความแข็งแรงดึงของ GRT/PP (60/40) ที่เติม AZ ในอัตราส่วนต่างๆ

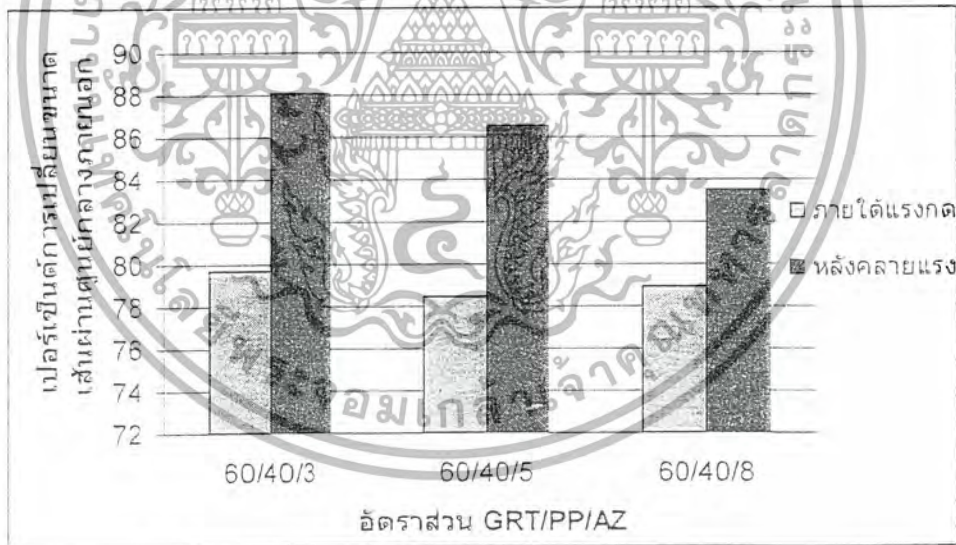


รูปที่ 4.7 ค่ามอดุลัสของ GRT/PP (60/40) ที่เติม AZ ในอัตราส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของ GRT/PP (60/40) ที่เติม AZ ในอัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 4.9 เปอร์เซนต์การเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกภายใต้แรงกดและหลังคลายแรงกดของ GRT/PP (60/40) ที่เติม AZ ในอัตราส่วนต่างๆ

เมื่อสารให้ฟอง ได้รับความร้อนจะเกิดการสลายตัว ให้ฟองก๊าซทำให้โครงสร้างภายในของชิ้นงานเกิดเป็นรูพรุน ที่มีลักษณะเป็นวงกลม กลายเป็นจุดบกพร่องของชิ้นงาน เมื่อได้รับแรงกระทำจากภายนอกจึงทำให้ ความแข็งแรงดึง มอดุลัส สมบัติการรับแรงกดมีค่าลดลง และตอนที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้รับแรงกระทำจากภายนอกนั้นรูพรุนที่มีลักษณะเป็นวงกลมมันจะเกิดการยืดตัวตามแนวแรง เปลี่ยนแปลง รูปร่างเป็นลักษณะของวงรีทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดมีค่ามากขึ้น แต่เมื่อเติมสารให้ฟองจนถึง 8 phr สารให้ฟองก็จะสลายตัวให้ฟองมากขึ้นตามไปด้วยทำให้เกิดโครงสร้างที่เป็นรูพรุนขนาดใหญ่จำนวนมากทำให้รูพรุนที่เกิดขึ้นนี้กลายเป็นจุดอ่อนแอของชิ้นงานไป ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดึง ณ จุดขาดมีค่าลดลง

4.2.2 สมบัติทางความร้อน

การวิเคราะห์ทางความร้อน โดยเทคนิค DSC เพื่อศึกษาว่า สารให้ฟองมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก (%Crystallinity) อย่างไร และ หาค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลวผลึก (T_m) อุณหภูมิก่อผลึก (T_c) จะแตกต่างกันอย่างไร แสดงดังตารางที่ 4.1

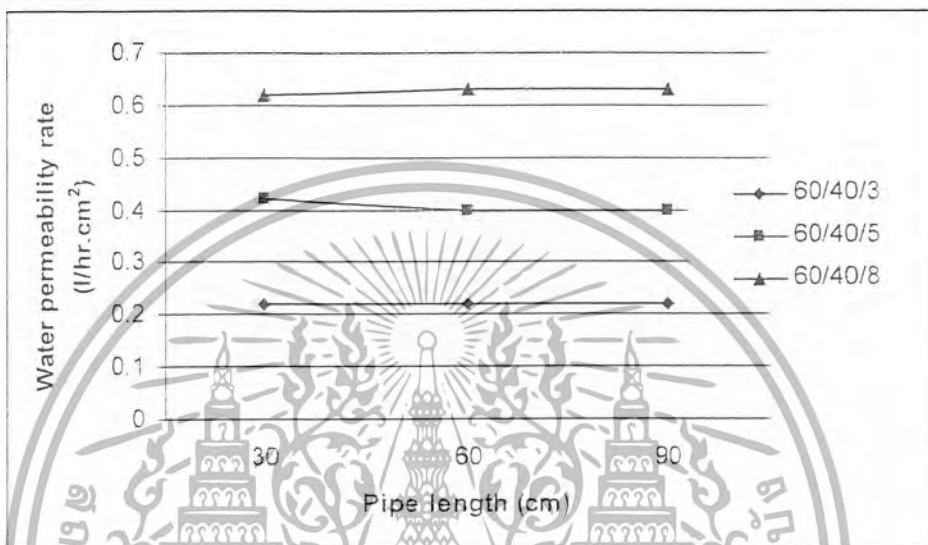
ตารางที่ 4.1 สมบัติทางความร้อนของ GRT/PP/AZ ที่อัตราส่วนต่างๆ

| สูตร | T_m (°c) | T_c (°c) | % Crystallinity |
|---------|------------|------------|-----------------|
| 60/40/3 | 164.9 | 114.6 | 22.31 |
| 60/40/5 | 165.0 | 115.0 | 23.21 |
| 60/40/8 | 163.6 | 115.5 | 29.24 |

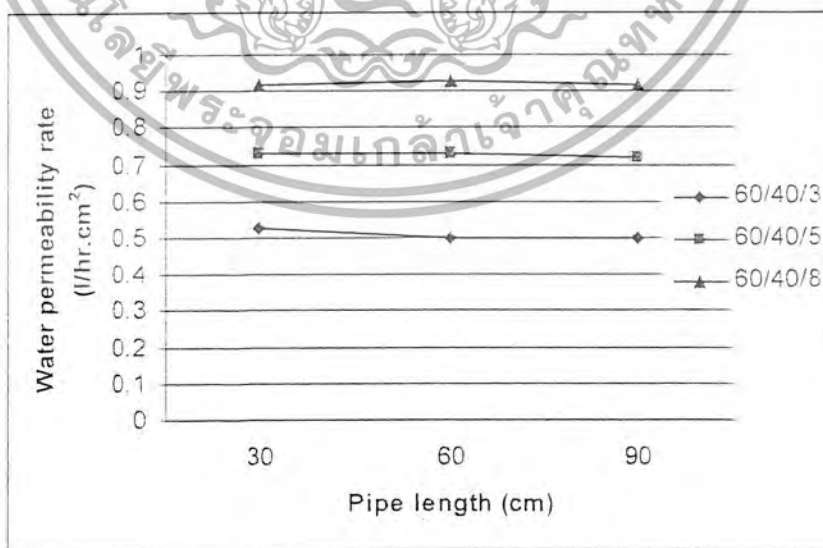
จากการทดลองพบว่าเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก (%Crystallinity) มีค่ามากขึ้นเมื่อปริมาณสารให้ฟองเพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากว่าสารให้ฟองบางส่วนอาจไม่สลายตัวให้ฟองก๊าซที่ทำให้เกิดรูพรุน สารให้ฟองที่ไม่เกิดการสลายตัวนี้จะประพฤติตัวคล้ายกับเป็นสารก่อผลึก (Nucleating agent) ดังนั้นเมื่อเราเติมสารให้ฟองมากขึ้นสารให้ฟองที่สลายตัวไม่หมด ก็จะมีปริมาณที่มากขึ้น จึงทำให้ %Crystallinity มีค่าสูงขึ้น และค่าอุณหภูมิของการหลอมเหลวผลึก (T_m) อุณหภูมิก่อผลึก (T_c) จะไม่แตกต่างกัน

4.2.3 อัตราการซึมผ่าน

จากการศึกษาถึงผลของปริมาณ สารให้ฟองที่มีผลต่ออัตราการซึมผ่าน (Water permeability) ที่ ความดันต่างๆ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.10-4.12

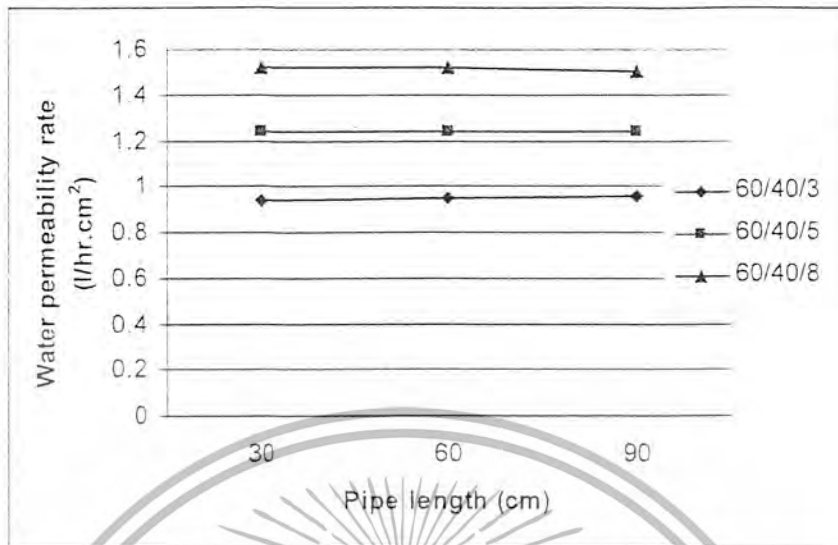


รูปที่ 4.10 อัตราการซึมผ่านของ GRT/PP ที่เติม AZ ในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่ความดัน 0.2 bar



รูปที่ 4.11 อัตราการซึมผ่านของ GRT/PP ที่เติม AZ ในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่ความดัน 0.4 bar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 อัตราการซึมผ่านของ GRT/PP ที่เติม AZ ในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่ความดันน้ำ 0.6 bar

สมบัติการซึมผ่านพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารให้ฟองมากขึ้น ทำให้ค่าการซึมผ่านมากขึ้น เนื่องจากทำให้เกิดรูพรุนจำนวนมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นจึงมีค่าการซึมผ่านสูงขึ้นตามไปด้วย ปริมาณสารให้ฟองที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับว่าจะนำท่อน้ำซึมไปให้น้ำกับพืชชนิดใด เช่น ถ้าพืชที่จะให้น้ำเป็นพืชที่มีความต้องการน้ำสูง ก็จำเป็นต้องเพิ่มปริมาณสารให้ฟองให้มากขึ้น แต่ปริมาณสารให้ฟองที่เปลี่ยนไปก็จะส่งผลต่อสมบัติอื่น ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว

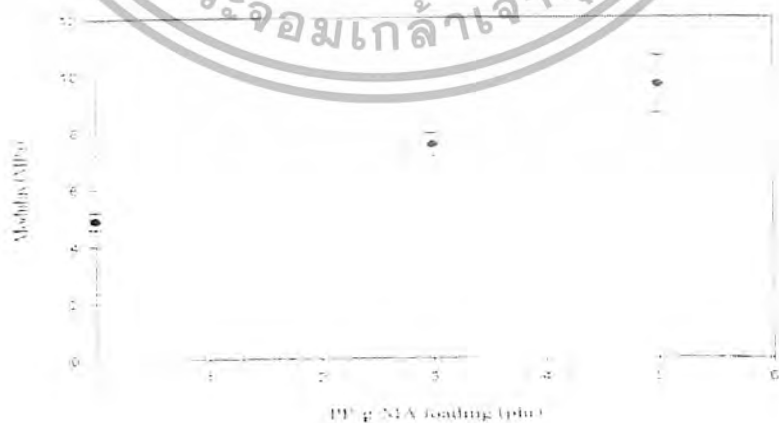
4.3 ศึกษาผลของสารช่วยผสมที่มีผลต่อสมบัติของเทอร์นาซิม

สารช่วยผสม (PP-g-MA) จะช่วยทำให้การผสมเข้ากันระหว่างส่วนที่เป็น GRT กับ PP นั้นดีขึ้น เนื่องจาก PP-g-MA มีทั้งส่วนที่เป็นทั้ง PP ซึ่งจะเข้ากันได้ดีกับตัวเมทริกซ์คือ PP และส่วนของ MA ที่มีขี้้วสามารถเข้ากันได้กับส่วนของ GRT ซึ่งมี พงขเมมาค้ำอยู่ ซึ่งในที่นี่จะคง อัตราส่วนของ GRT/PP/AZ ที่ 60/40/3 แล้วศึกษาถึงผลกระทบเมื่อเพิ่มปริมาณ PP-g-MA ผลการ ทดลองแสดงดังรูปที่ 4.13-4.16

4.3.1 สมบัติเชิงกล

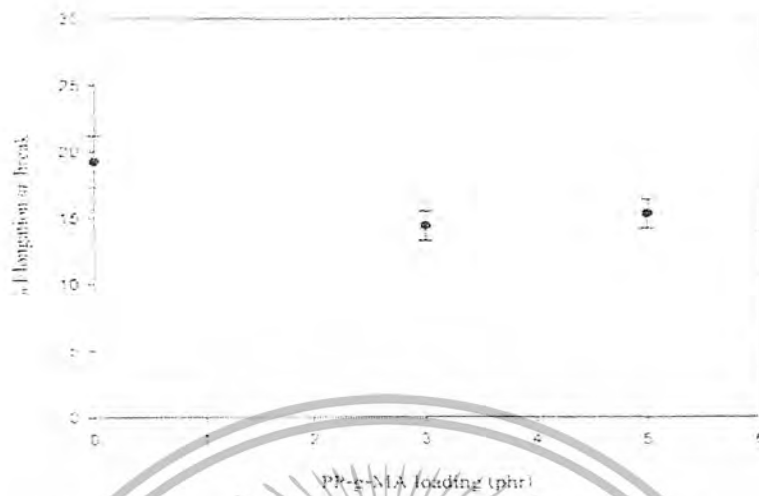


รูปที่ 4.13 ค่าความแข็งแรงดึงของ GRT/PP/AZ (60/40/3) ที่เติม PP-g-MA ในอัตราส่วนต่าง ๆ

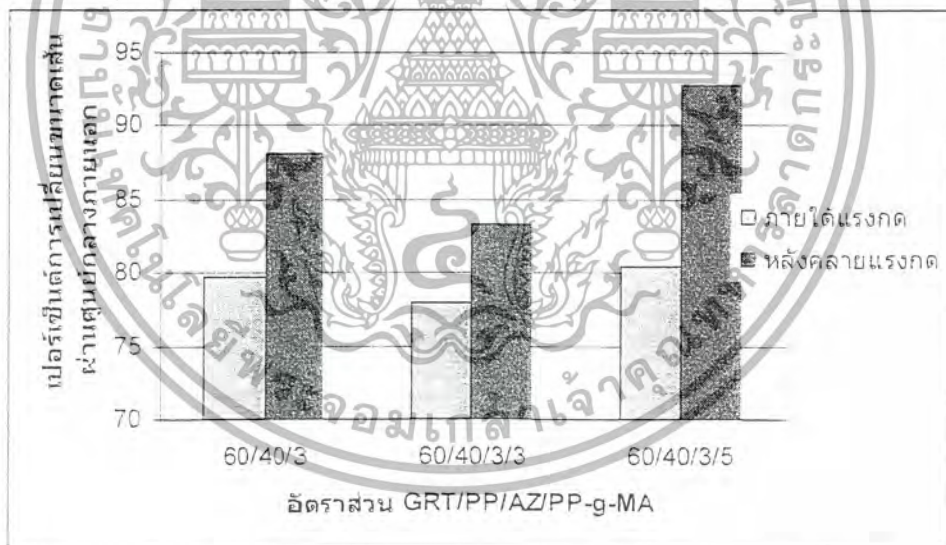


รูปที่ 4.14 ค่ามอดูลัสของ GRT/PP/AZ (60/40/3) ที่เติม PP-g-MA ในอัตราส่วนต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาดของ GRT/PP/AZ (60/40/3) ที่เติม PP-g-MA ในอัตราส่วนต่าง ๆ



รูปที่ 4.16 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกภายใต้แรงกดและหลังคลายแรงกดของ GRT/PP/AZ (60/40/3) ที่เติม PP-g-MA ในอัตราส่วนต่าง ๆ

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลพบว่า เมื่อปริมาณของ PP-g-MA เพิ่มขึ้นทำให้ความแข็งแรงดึง และมอดูลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจาก PP-g-MA เป็นสารที่ช่วยผสมระหว่าง PP กับ

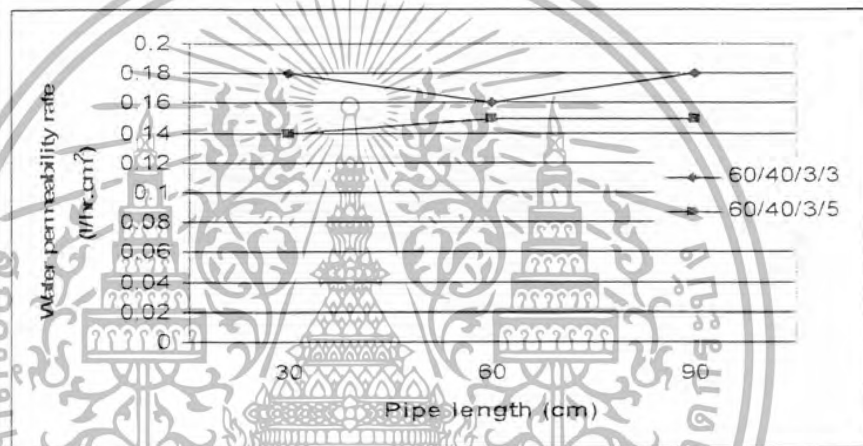
GRT ใ้ที่เข้ากันเพราะ PP-g-MA ประกอบด้วย ส่วนที่เป็น PP จะยึดกับสายโซ่ PP ส่วนที่เป็น MA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

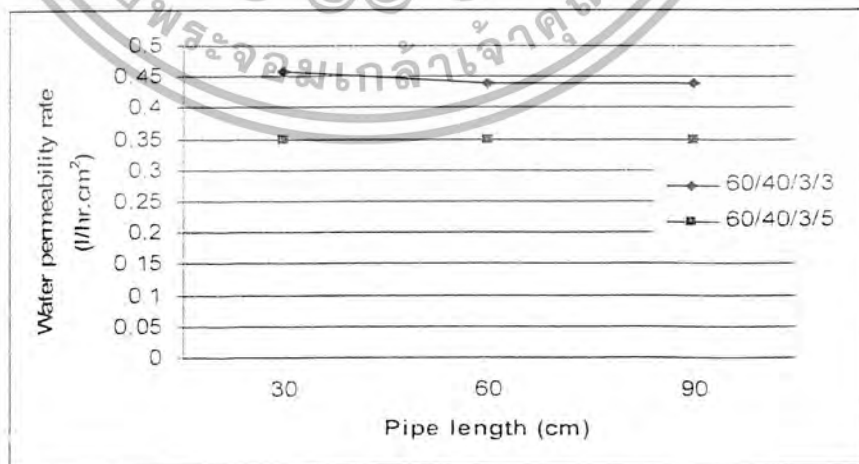
จะบิดเกาะกับหมุ่ที่มีขั้วหรือผงเขม่าดำที่อยู่ใน GRT ทำให้อนุภาคต่าง ๆ อยู่ใกล้กันมากขึ้นมีแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคสูงขึ้น มีความหนาแน่นมากขึ้น ทำให้ความแข็งแรงดึง มอดูลัส สมบัติการรับแรงกดมีค่าสูงขึ้น

4.3.2 สมบัติการซึมน้ำ

เป็นการศึกษาถึงผลของปริมาณสารช่วยผสม (PP-g-MA) ที่มีผลต่อสมบัติการซึมของน้ำที่ความดันน้ำต่าง ๆ แสดงผลดัง รูปที่ 4.17 – 4.19

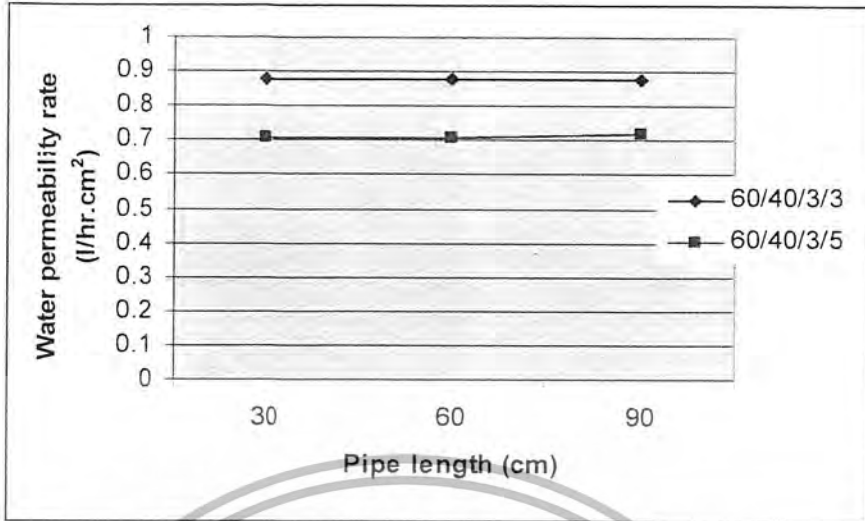


รูปที่ 4.17 อัตราการซึมน้ำที่ 0.2 bar ที่ปริมาณ PP-g-MA ต่างๆ เมื่ออัตราส่วนของ GRT/PP/AZ (60/40/3)



รูปที่ 4.18 อัตราการซึมน้ำที่ 0.4 bar ที่ปริมาณ PP-g-MA ต่างๆ เมื่ออัตราส่วนของ GRT/PP/AZ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 อัตราการซึมผ่านที่ 0.6 bar ที่ปริมาณ PP-g-MA ต่าง ๆ เมื่ออัตราส่วนของ GRT/PP/AZ (60/40/3)

พบว่าเมื่อปริมาณ PP-g-MA เพิ่มมากขึ้น ทำให้อัตราการซึมผ่านลดลงเนื่องจากส่วนผสมต่าง ๆ เข้ากัน ได้ดีขึ้นความหนืดมีค่าเพิ่มมากขึ้นทำให้ฟองก๊าซที่เกิดขึ้นดันตัวออกมาเป็น โครงสร้างที่เป็นรูพรุน ได้ยาก ทำให้เกิดปริมาณรูพรุนขึ้นน้อยลงจึงทำให้ค่าการซึมผ่านลดลง

4.3.3 ความดันลด (Pressure drop)

ตารางที่ 4.2 ค่าความดันน้ำที่ความยาวต่างๆของท่อน้ำซึม เมื่อความดันก๊าซเป็น 0.2 bar

| อัตราส่วนของ GRT/PP/AZ/ PP-g-MA | ความดันน้ำ (bar) | | |
|---------------------------------------|------------------|-----------|-----------|
| | ที่ 30 cm | ที่ 60 cm | ที่ 90 cm |
| 60/40/3/0 | 0.20 | 0.18 | 0.20 |
| 60/40/5/0 | 0.19 | 0.20 | 0.20 |
| 60/40/8/0 | 0.22 | 0.17 | 0.20 |
| 60/40/3/3 | 0.20 | 0.20 | 0.21 |
| 60/40/3/5 | 0.20 | 0.17 | 0.20 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่าความดันน้ำที่ความยาวต่างๆของท่อน้ำซึม เมื่อความดันก๊าซเป็น 0.4 bar

| อัตราส่วนของ GRT/PP/AZ/ PP-g-MA | ความดันน้ำ (bar) | | |
|---------------------------------------|------------------|-----------|-----------|
| | ที่ 30 cm | ที่ 60 cm | ที่ 90 cm |
| 60/40/3/0 | 0.40 | 0.38 | 0.40 |
| 60/40/5/0 | 0.41 | 0.40 | 0.40 |
| 60/40/8/0 | 0.40 | 0.40 | 0.39 |
| 60/40/3/3 | 0.40 | 0.39 | 0.39 |
| 60/40/3/5 | 0.38 | 0.40 | 0.39 |

ตารางที่ 4.4 ค่าความดันน้ำที่ความยาวต่างๆของท่อน้ำซึม เมื่อความดันก๊าซเป็น 0.6 bar

| อัตราส่วนของ GRT/PP/AZ/ PP-g-MA | ความดันน้ำ (bar) | | |
|---------------------------------------|------------------|-----------|-----------|
| | ที่ 30 cm | ที่ 60 cm | ที่ 90 cm |
| 60/40/3/0 | 0.58 | 0.60 | 0.60 |
| 60/40/5/0 | 0.56 | 0.57 | 0.56 |
| 60/40/8/0 | 0.61 | 0.61 | 0.60 |
| 60/40/3/3 | 0.57 | 0.58 | 0.57 |
| 60/40/3/5 | 0.60 | 0.59 | 0.59 |

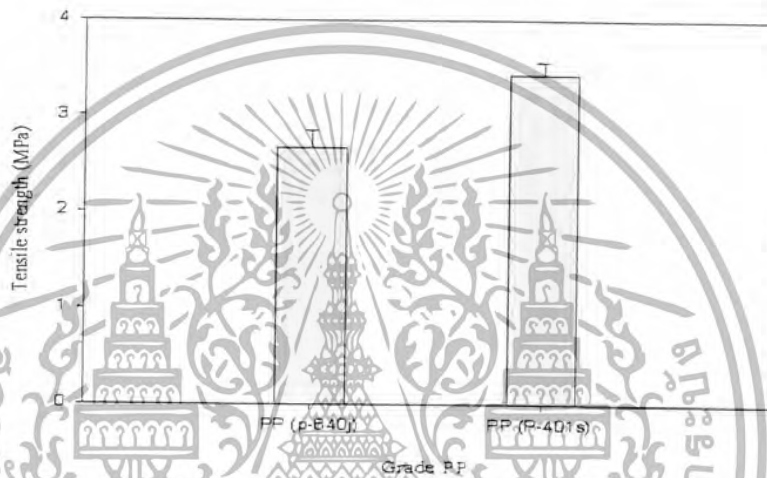
เมื่อเพิ่มปริมาณสาร ให้ฟองหรือสารช่วยผสมพบว่าความดันลดแทบจะไม่เกิดขึ้นเลย เนื่องจากท่อน้ำซึมที่นำมาทดสอบหาความดันลดนั้นมีค่าความยาวเพียง 90 cm ทำให้เห็นผลความดันลดไม่ชัดเจนเหมือนกับถ้าใช้ความยาวท่อที่ยาวมาก ๆ อาจทำให้เห็นความดันลดที่เกิดขึ้นชัดเจนมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

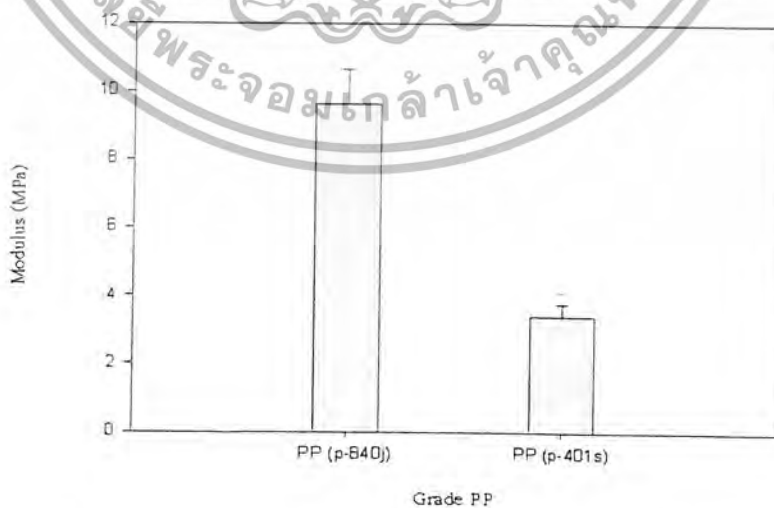
4.4 ศึกษาเปรียบเทียบผลของดัชนีการไหลของเมทริกซ์ที่ต่างกันที่มีผลต่อท่อน้ำซึม

4.4.1 สมบัติเชิงกล

จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของท่อน้ำซึมที่ผลิตจากเมทริกซ์ โพลีพรอพิลีน (PP) ที่มีดัชนีการไหลต่างกันคือ เกรด P 840J มี MFI 40 g/10min ส่วนเกรด P 401S มี MFI 2.4 g/10min ผลแสดงดังรูปที่ 4.20- 4.21 ซึ่งในที่นี่จะคงอัตราส่วนของ GRT/PP/AZ/ PP-g-MA ที่ 60/40/3/5

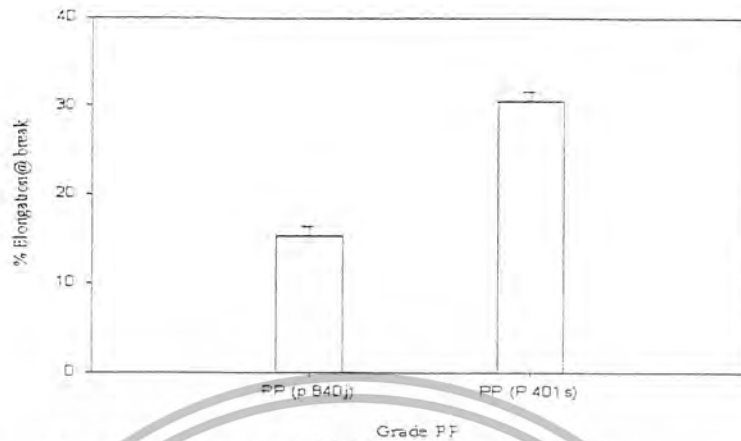


รูปที่ 4.20 ค่าความแข็งแรงดึงของ GRT/PP/AZ/PP-g-MA ที่อัตราส่วน (60/40/3/5) แต่ดัชนีการไหล PP ต่างกัน



รูปที่ 4.21 ค่ามอดุลัสของ GRT/PP/AZ/PP-g-MA ที่อัตราส่วน (60/40/3/5) แต่ดัชนีการไหล PP ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดของ GRT/PP/AZ/PP-g-MA ที่อัตราส่วน (60/40/3/5) แต่ดัชนีการไหล PP ต่างกัน



รูปที่ 4.23 เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อก่อนและหลังการคลายแรงกดของ GRT/PP/AZ ที่อัตราส่วน (60/40/3/5) แต่ดัชนีการไหล PP ต่างกัน

จาก รูปที่ 4.20 และ 4.22 พบว่าท่อน้ำซึมที่ผลิตโดยใช้อัตราส่วนระหว่าง GRT/PP/AZ/PP-g-MA เป็น 60/40/3/5 แต่เมทริกซ์ PP ที่ใช้ต่างกัน ปรากฏว่า PP เกรด P 840J (MFI 40 g/10 min) จะมีความแข็งแรงดึง และ เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด มีค่าต่ำกว่า PP เกรด P 401S (MFI 2.1 g/10 min) แต่ ค่ามอดูลัส มีค่าที่สูงกว่า เมื่อดูจากตารางที่ 4.5 แสดง เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก

("Crystallinity") ซึ่งให้เห็นว่า PP เกรด P 401S มีความเป็นผลึกที่สูงกว่า PP เกรด P 840J ดังนั้นเมื่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการยินยอมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำ PP เกรด P 401S มาทำเป็นท่อน้ำซึมแล้ว ท่อน้ำซึมที่ได้จะมีความแข็งแรงดิ่งสูงกว่า PP เกรด P 840J เนื่องมีการจัดเรียงตัวกันอย่างหนาแน่นมากกว่า ดังนั้น มีความแข็งแรงดิ่งสูงกว่า PP เกรด P 840J และ ที่มีเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดมีค่าเพิ่มมากขึ้น เพราะดัชนีการไหลต่ำกว่าจึงมีสายโซ่ที่ยาวกว่า เมื่อได้รับแรงสายโซ่จะเกิดการยืดตัวตามแนวแรงทำให้มีค่า เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดที่สูงกว่า

4.4.2 สมบัติทางความร้อน

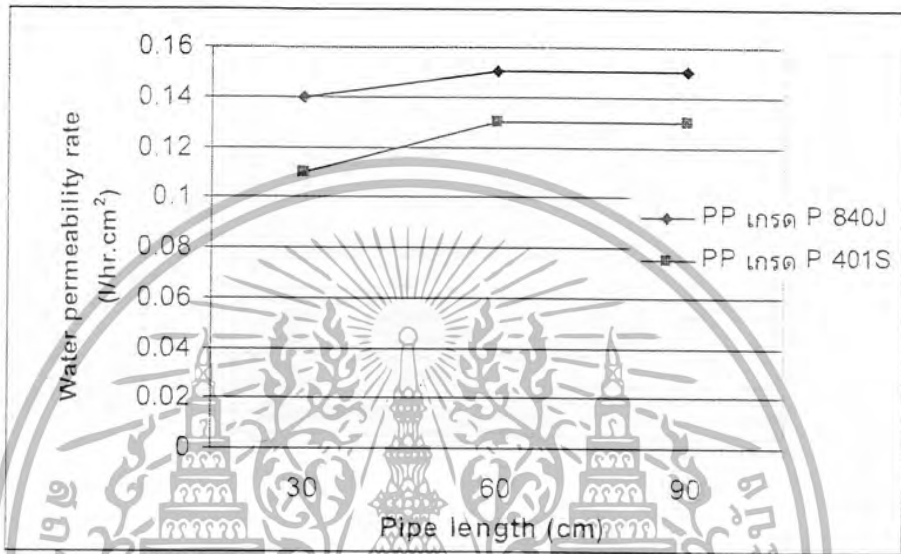
ตารางที่ 4.5 ค่าอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) อุณหภูมิตกผลึก (T_c) และองศาความเป็นผลึกเมื่อความหนืดของเมทริกซ์ต่างกัน

| สูตร | T_m ($^{\circ}\text{C}$) | T_c ($^{\circ}\text{C}$) | % Crystallinity |
|----------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------|
| PP เกรด P 840J(pure) | 154.5 | 110.3 | 21.5 |
| PP เกรด P 401S(pure) | 160.1 | 95.8 | 34.5 |
| 60/40/3/3 (P 840J) | 153.4 | 106.7 | 22.4 |
| 60/40/3/3 (P 401S) | 154.9 | 116.8 | 24.3 |

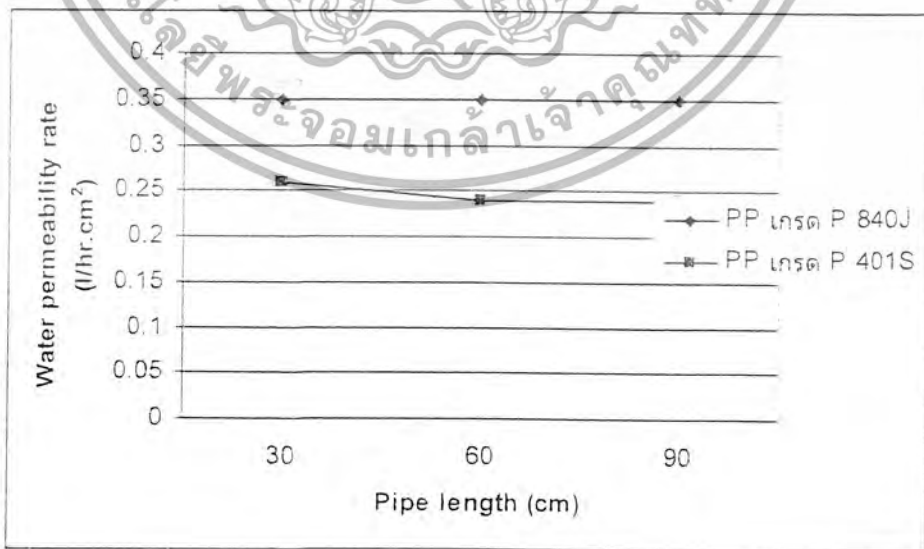
การวิเคราะห์ทางความร้อน โดยใช้เทคนิค DSC เพื่อศึกษาถึงผลของดัชนีการไหลที่แตกต่างกันที่มีผลต่อความเป็นผลึกของท่อน้ำซึมพบว่าเมื่อดัชนีการไหลของเมทริกซ์ลดลง เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึก (%Crystallinity) มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก

4.4.3 สมบัติการซึมน้ำ

จากการศึกษาถึงผลของดัชนีการไหลของเมทริกซ์ที่มีผลต่อสมบัติการซึมน้ำที่ความดันน้ำต่างๆ โดยอัตราส่วนของ GRT/PP/AZ/PP-g-MA ที่ใช้เป็น 60/40/3/5

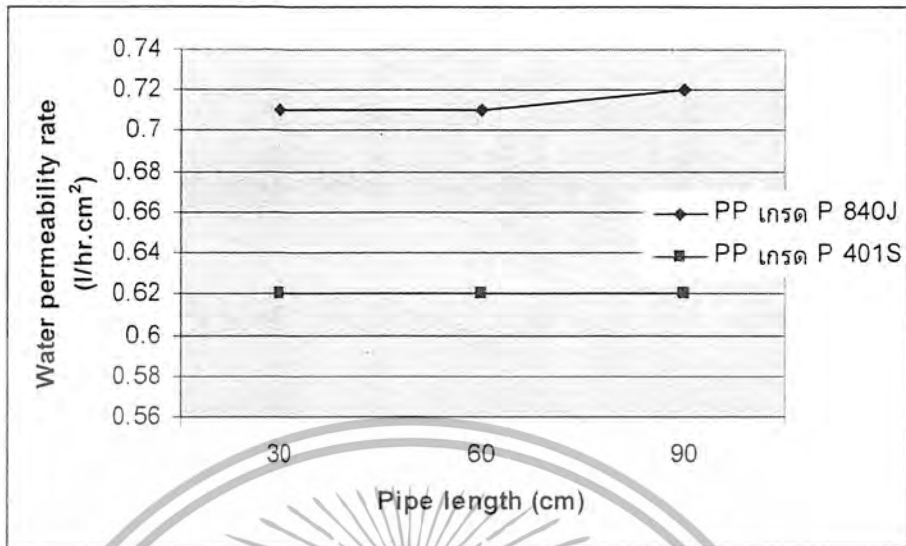


รูปที่ 4.24 อัตราการซึมน้ำของ GRT/PP/AZ/PP-g-MA (60/40/3/5) ที่เติมเมทริกซ์ที่มีดัชนีการไหล ต่างกันที่ความดัน 0.2 bar



รูปที่ 4.25 อัตราการซึมน้ำของ GRT/PP/AZ/PP-g-MA (60/40/3/5) ที่เติมเมทริกซ์ที่มีดัชนีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 อัตราการซึมผ่านของ GRT/PP/AZ/PP-g-MA (60/40/3/5) ที่เติมเมทริกซ์ที่มีดัชนีการไหล ต่างกันที่ความดัน 0.6 bar

จากการทดลองพบว่าเมื่อเมทริกซ์ที่มีดัชนีการไหลลดลงอัตราการซึมผ่านจะมีปริมาณที่ลดลงเนื่องจากถ้าเมทริกซ์มีความหนืดมากขึ้นสารให้พองเมื่อเกิดการสลายตัวเป็นก๊าซแล้วจะดันตัวออกมาเป็นโครงสร้างที่เป็นรูพรุนได้ยากทำให้ปริมาณรูพรุนที่เกิดขึ้นมีน้อยจึงส่งผลให้อัตราการซึมผ่านมีปริมาณลดลง

4.4.4 ความดันตก (Pressure drop)

ตารางที่ 4.6 ผลของดัชนีการไหลของเมทริกซ์ที่มีผลต่อความดันตกแต่ละช่วงความยาวท่อที่ความดัน 0.2 bar

| สูตร | ความดันน้ำ (bar) | | |
|--------------------|------------------|-----------|-----------|
| | ที่ 30 cm | ที่ 60 cm | ที่ 90 cm |
| 60/40/3/5 (P 840J) | 0.20 | 0.20 | 0.21 |
| 60/40/3/5 (P 401S) | 0.20 | 0.17 | 0.20 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ผลของดัชนีการไหลของเมทริกซ์ ที่มีผลต่อความดันลดแต่ละช่วงความยาวท่อ ที่ความดัน 0.4 bar

| สูตร | ความดันน้ำ (bar) | | |
|--------------------|------------------|-----------|-----------|
| | ที่ 30 cm | ที่ 60 cm | ที่ 90 cm |
| GRT/PP/AZ/PP-g-MA | | | |
| 60/40/3/5 (P 840J) | 0.40 | 0.38 | 0.39 |
| 60/40/3/5 (P 401S) | 0.40 | 0.39 | 0.38 |

ตารางที่ 4.8 ผลของดัชนีการไหลของเมทริกซ์ ที่มีผลต่อความดันลดแต่ละช่วงความยาวท่อที่ ความดัน 0.6 bar

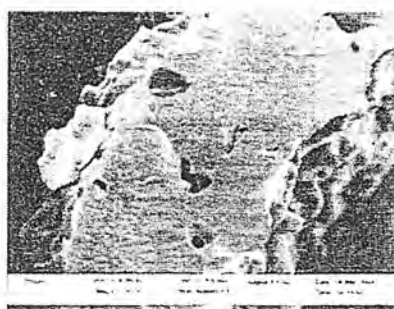
| สูตร | ความดันน้ำ (bar) | | |
|--------------------|------------------|-----------|-----------|
| | ที่ 30 cm | ที่ 60 cm | ที่ 90 cm |
| GRT/PP/AZ/PP-g-MA | | | |
| 60/40/3/5 (P 840J) | 0.58 | 0.58 | 0.58 |
| 60/40/3/5 (P 401S) | 0.60 | 0.58 | 0.59 |

เมื่อเปลี่ยนชนิดของเมทริกซ์พบว่าความดันลดแทบจะไม่เกิดขึ้นเลยเหมือนกัน เนื่องจากท่อน้ำซึมที่นำมาทดสอบความดันลดนั้นมีความยาวเพียง 90 cm ทำให้เห็นผลความดันลดไม่ชัดเจน

4.5 สมบัติทางสัณฐานวิทยา

การศึกษาสัณฐานวิทยา (Morphology) ของท่อน้ำซึมที่ผลิตได้เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวของรูพรุนที่เกิดขึ้น เมื่อเติม AZ และ PP-g-MA ลงไปในปริมาณต่างๆ รวมทั้งผลของการเปลี่ยนมาใช้พอลิเมอร์เมทริกซ์ที่มีดัชนีการไหลที่ต่ำลง แสดงผล ดังรูปที่ 4.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



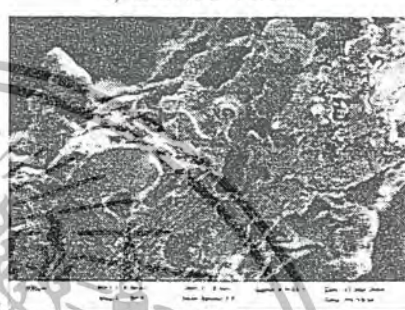
ก) GRT/PP 60/40



ข) GRT/PP 70/30



ค) GRT/PP/AZ 60/40/3



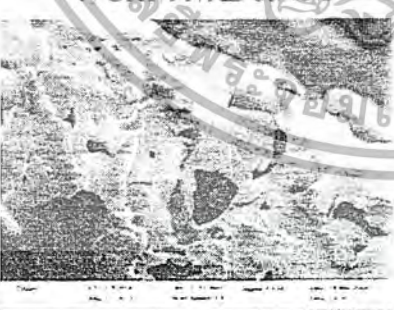
ง) GRT/PP/AZ 60/40/5



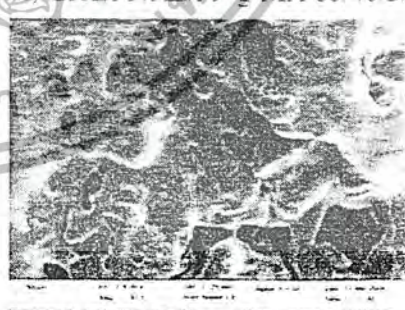
ฉ) GRT/PP/AZ 60/40/8



ช) GRT/PP/AZ/PP-g-MA 60/40/3/3



ซ) GRT/PP/AZ/PP-g-MA 60/40/3/5



ฑ) GRT/PP (P401S)/AZ/PP-g-MA 60/40/3/5

รูปที่ 4.27 ตัณฐานวิทยาของท่อน้ำซึมแตกหักที่อุณหภูมิค่าที่ใช้ PP เมทริกซ์และเติมสารผสมอื่นลงไป
ไปในอัตราส่วนต่างๆ ถ้าสังเขย 50 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.27 (ก) - (ข) พบว่าอัตราส่วนระหว่าง GRT/PP ที่เป็น 60/40 และ 70/30 ตามลำดับ และ ยังไม่มีการเติมสารเติมแต่งอื่นๆ ลงไปนั้น ทั้ง GRT และ PP สามารถผสมเข้ากันได้เป็นอย่างดี ซึ่งสังเกตได้จากพื้นผิวของท่อมีลักษณะเรียบเป็นเนื้อเดียวกัน แต่ก็มีช่องว่างเกิดขึ้นมาบ้างใน ปริมาณเล็กน้อย

จากรูป 4.27 (ค) - (จ) เมื่อมีการเติม AZ ลงไปใน GRT/PP พบว่าท่อที่ได้มีลักษณะความเป็นรูพรุนเกิดขึ้นกระจายอยู่ในชิ้นงาน ซึ่งรูพรุนเกิดจากการสลายตัวของสารให้ฟองที่เติมลงไป และเมื่อเติมสารให้ฟองลงไป ปริมาณที่มากขึ้น รูพรุนที่เกิดขึ้นมาจะมีมากขึ้นตามไปด้วย ลักษณะ รูพรุนที่เกิดขึ้นค่อนข้างที่จะกลม และมีลักษณะเป็นช่องเปิด (Open cell) ทำให้น้ำซึมออกมาได้

จากรูปที่ 4.27 (ฉ)-(ช) เมื่อมีการเติมสารช่วยผสม PP-g-MA ลงไป พบว่าเมื่อเติมปริมาณ สารให้ฟองเท่ากัน ความสม่ำเสมอของพื้นผิวนอกของท่อน้ำซึมที่ไม่เติมสารช่วยผสมจะน้อยกว่าท่อน้ำซึมที่เติมสารช่วยผสม และเมื่อเติมสารช่วยผสมมากขึ้นก็ทำให้พื้นผิวของท่อน้ำซึมมีความเรียบ สม่ำเสมอมากขึ้น เพราะวาสารช่วยผสมเมื่อเติมลงไปทำให้ GRT กับ PP เข้ากันได้ดี พื้นผิวของท่อน้ำซึมจึงมีความสม่ำเสมอ และ ในส่วนของรูพรุนที่เกิดขึ้นนั้นเมื่อเติมปริมาณสารให้ฟองเท่ากัน ท่อน้ำซึมที่เติมสารช่วยผสมจะมีความสม่ำเสมอของรูพรุนมากกว่าเมื่อไม่เติมสารช่วยผสม และเมื่อเติม สารช่วยผสมมากขึ้นก็ทำให้ปริมาณรูพรุนลดลง เพราะสารช่วยผสมเมื่อผสมลงไปแล้วทำให้ความ หนืดของของผสมมากขึ้นเป็นสาเหตุให้ฟองก๊าซที่เกิดจากการสลายตัวของสารให้ฟองดันตัว ออกมาเป็นรูพรุนได้ยาก ปริมาณรูพรุนจึงลดลง การซึมน้ำจึงลดลงตามไปด้วย

จากการเปรียบเทียบ รูปที่ 4.27 (ข) - (ช) เมื่อมีการเปลี่ยนตัวพอลิเมอร์เมทริกซ์เป็น PP เกรด P401S ที่มีดัชนีการไหลต่ำลงหรือมีความหนืดมากขึ้นพบว่ารูพรุนที่เกิดขึ้นนั้นมีปริมาณลดลง เนื่องจากว่าเมื่อความหนืดของเมทริกซ์มากขึ้นจะทำให้ฟองก๊าซที่เกิดจากการสลายตัวของสารให้ ฟองจะดันตัวออกมาทำให้เกิดรูพรุนได้ยากขึ้นจึงทำให้รูพรุนมีปริมาณลดลงการซึมน้ำจึงลดลงซึ่ง ผลการทดลองนี้ สอดคล้องกับผลการทดลองหัวข้อ 4.4.4 ในเรื่องสมบัติการซึมน้ำเมื่อดัชนีการไหล ของเมทริกซ์มีค่าต่างกัน รูปที่ 4.24 - 4.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้การผลิตท่อน้ำซึมจาก ผงยางรถยนต์ (GRT) กับ พอลิพรอพิลีน (PP) ที่ทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder) เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติการซึมน้ำ ความดันลดและลักษณะทางวิทยา สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. อัตราส่วนระหว่างผงยางรถยนต์ (GRT) ต่อ PP นั้นพบว่าเมื่ออัตราส่วนของ GRT ต่อ พอลิพรอพิลีน (PP) เพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัส และสมบัติการรับแรงกด มีค่าลดลง แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด มีค่าเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้น จึงเลือกอัตราส่วนระหว่าง GRT ต่อ PP ที่ 60/40 โดยอาศัยความแข็งแรงเชิงกลที่สูงกว่าสูตร 70/30 ที่มีปริมาณ GRT มากกว่า
2. ผลของสารให้ฟอง (AZ) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ AZ มากขึ้น ทำให้ความแข็งแรงดึง และค่ามอดุลัส สมบัติการรับแรงกด มีค่าลดลง แต่ค่าการซึมน้ำ เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด มีค่าเพิ่มสูง จนกระทั่งเมื่อเพิ่มปริมาณสารให้ฟอง (AZ) จนถึง 8 phr ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดมีค่าลดลง
3. ผลของสารช่วยผสม PP-g-MA เมื่อเพิ่มปริมาณมากขึ้น ทำให้ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัส มีค่าเพิ่มสูงขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด อัตราการซึมน้ำ มีค่าลดลง
4. เมื่อสารให้ฟองเพิ่ม AZ ปริมาณมากขึ้นพบว่าความเป็นผลึก (%Crystallinity) จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น
5. เกรดของเมทริกซ์ (PP) ที่ค่าดัชนีการไหลต่างกัน เมื่อดัชนีการไหลลดลงจะทำให้ค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด สมบัติการรับแรงกดมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ค่ามอดุลัส อัตราการซึมน้ำ มีค่าลดลง
6. การทดสอบการซึมน้ำ พบว่าการเพิ่มความดันของน้ำทำให้อัตราการซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อความยาวของท่อน้ำซึมเพิ่มมากขึ้นความดันไม่มีการเปลี่ยนแปลง แสดงว่าความดันลดไม่เกิดขึ้น อาจเนื่องมาจากความยาวของท่อที่ใช้ในการทดสอบนั้นสั้นเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. สารให้ฟองเป็นปัจจัยหลักในการกำหนดอัตราการซึมผ่านของท่อน้ำซึม ดังนั้น หากต้องการปริมาณน้ำซึมมากขึ้น ก็ทำได้โดยการเพิ่มปริมาณสารให้ฟองแต่จะทำให้สมบัติเชิงกลมีค่าลดลง
2. ควรทำการผลิตท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่ขนาดต่างกัน แล้วศึกษาว่ามีผลกระทบอย่างไรต่อสมบัติเชิงกลของท่อ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ยุทธพงษ์ แซ่ตั้ง และ อลงกรณ์ ศิลป์ชำนาญ. การศึกษาปรับปรุงสมบัติของท่อน้ำซีเมนต์จากผงยางรถยนต์และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ, โครงการพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543
2. H.S. Liu, C.P. Richard, J.L. Mead, R.G. Stacer. 1999. Study Examines Use of Recycled Rubber in Thermoplastic Blends. [Online]. Available: <http://www.scaptirenews.com>
3. กัลยาณี แสงเกียรติยุทธ. การศึกษาเพื่อหาแนวทางการผลิตท่อน้ำซีเมนต์จากผงยางรถยนต์กับพอลิไวนิลคลอไรด์, วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมปิโตรเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2544
4. สนั่น คำเลิศ และคณะ. การทำสวนมะม่วง. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2536
5. ปรีชา พหลเทพ. พอลิเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 3, 2530. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง
6. ตะวัน สุขน้อย. เอกสารประกอบการสอนวิชาอุตสาหกรรมปิโตรเคมี. คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2546
7. อธิพิศ แจ่มชัด. เอกสารประกอบการสอนวิชาเทคโนโลยีการยาง. คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2546
8. Makarov V.M., Drozdovski V.F., **Reprocessing of Tyres and Rubber Wastes Recycling from the Rubber Products Industry**. Ellis Horwood, 1991
9. มาลินี ชัยศุกข์สินธุ์. เคมีพอลิเมอร์. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2540
10. R.Carry, S. Dobson, E. Ball. 1999. Azodicarbonamide. [Online]. Available: <http://www.inchem.org/documents/cicads/cicads/cicad16.html>
11. ทวีศักดิ์ ยศยิ่งธรรมกุล และ ธเรศ เสนาตลอด. การศึกษาพอลิเมอร์ผสมของผงจากยางรถยนต์และพอลิพรอพิลีน, โครงการพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2542
12. R.Gachter and H.Muller. **Plastics Additives Handbook**, 2nd Edition. Hanser, 1987.
13. P.K Pramanik, W.E.Baker, **Plastic, Rubber and Composites Processing and Application**, vol.24, no.4. 1995. pp 229-237
14. E. Kowalska, Z. Wielgosz, **Polymer Recycling**, vol. 2, no.3, 1996. pp. 213-219.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. คณัมพร สวัสดิ์ชุมพล, จงจิตร ลาภนิกรชัย และ ฉัตรมณี ชันทอง. การปรับปรุงสมบัติที่อ่อน้ำซีมจากผงยารรยนต์และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น, โครงการพิเศษ วิทยาศาสตร์-บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2544
16. W.Robert. **The Rubber International Magazine**, vol.14 , 2001. pp. 59-99
17. สัจจะชัย สัจจะธนะกุล. การศึกษาที่อ่อน้ำซีมจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและผงยารรยนต์ที่ใช้แล้ว, วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2544
18. ฟ้าคุณฎี พงษ์พิมายและ ภัทพร อินทเกษ. ที่อ่อน้ำซีมจาก GRT/HDPE, โครงการพิเศษ วิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545
19. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่อย่างดูและสง่น้ำ มอก. 746-2530. กระทรวงอุตสาหกรรม, 2541



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

ตาราง ก-1 ค่าสมบัติเชิงกลเพื่อหาอัตราส่วนของ GRT/PP ที่เหมาะสมในการผลิตท่อน้ำซึม

| สูตร GRT/PP/AZ | Tensile strength (MPa) | Modulus (MPa) | Elongation@ break % | Ø ภายได้ แรงกด % | Ø หลัง คลายแรงกด % |
|-------------------|------------------------------|------------------|---------------------------|------------------------|--------------------------|
| 60/40 | 2.414 | 4.851 | 22.03 | 83.5 | 90.68 |
| 70/30 | 2.120 | 3.563 | 22.52 | 91.33 | 97.67 |
| 60/40/8 | 1.679 | 3.181 | 15.36 | 78.98 | 83.54 |
| 70/30/8 | 1.649 | 0.532 | 25.36 | 77.09 | 95.37 |

ตาราง ก-2 ค่าสมบัติเชิงกลของท่อน้ำซึมเมื่อเติมสารให้ฟอง (AZ) ในปริมาณต่างๆ

| สูตร GRT/PP/AZ | Tensile strength (MPa) | Modulus (MPa) | Elongation@ break % | Ø ภายได้ แรงกด % | Ø หลัง คลายแรงกด % |
|-------------------|------------------------------|------------------|---------------------------|------------------------|--------------------------|
| 60/40/3 | 2.024 | 4.898 | 19.25 | 79.70 | 88.10 |
| 60/40/5 | 1.754 | 3.962 | 22.97 | 78.45 | 86.55 |
| 60/40/8 | 2.120 | 3.563 | 15.36 | 78.98 | 83.54 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-3 ค่าสมบัติเชิงกลของท่อน้ำซีเมนต์เติมสารช่วยผสม (PP-g-MA) ในปริมาณต่าง ๆ

| สูตร | Tensile strength (MPa) | Modulus (MPa) | Elongation@ break (%) | Ø ภายใต้อ แรงกคด (%) | Ø หลัง คลายแรงกคด (%) |
|--------------------|------------------------|---------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| GRT/PP/AZ /PP-g-MA | | | | | |
| 60/40/3/0 | 2.024 | 4.898 | 19.25 | 79.70 | 88.10 |
| 60/40/3/3 | 2.564 | 7.532 | 14.36 | 77.96 | 83.33 |
| 60/40/3/5 | 2.667 | 9.631 | 15.30 | 80.41 | 92.84 |

ตาราง ก-4 ค่าสมบัติเชิงกลของท่อน้ำซีเมนต์ใช้เมทริกซ์พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ในสูตร 60/40/3/5

| เกรดของ เมทริกซ์ (PP) | Tensile strength (MPa) | Modulus (MPa) | Elongation@ break (%) | Ø ภายใต้อ แรงกคด (%) | Ø หลัง คลายแรงกคด (%) |
|-----------------------|------------------------|---------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| P 840J | 2.667 | 9.631 | 15.30 | 80.41 | 92.84 |
| P401S | 3.421 | 3.402 | 30.50 | 80.62 | 89.33 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
ผลการทดสอบสมบัติการซึมผ่าน

ตาราง ข-1 ค่าอัตราการซึมผ่าน ($l/hr.cm^2$) ของท่อน้ำซึมในสูตร GRT/PP/AZ เป็น 60/40/3

| ความยาว (ซม) | ความดัน (bar) | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------------|------|------|--------|------|------|------|--------|------|------|------|--------|
| | 0.2 | | | | 0.4 | | | | 0.6 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | เฉลี่ย | 1 | 2 | 3 | เฉลี่ย | 1 | 2 | 3 | เฉลี่ย |
| 30 | 0.22 | 0.2 | 0.25 | 0.22 | 0.51 | 0.54 | 0.54 | 0.53 | 0.95 | 0.92 | 0.94 | 0.94 |
| 60 | 0.21 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.5 | 0.49 | 0.5 | 0.5 | 0.94 | 0.94 | 0.97 | 0.95 |
| 90 | 0.21 | 0.23 | 0.23 | 0.22 | 0.49 | 0.48 | 0.52 | 0.5 | 0.95 | 0.95 | 0.96 | 0.96 |

ตาราง ข-2 ค่าอัตราการซึมผ่าน ($l/hr.cm^2$) ของท่อน้ำซึมในสูตร GRT/PP/AZ 60/40/5

| ความยาว (ซม) | ความดัน (bar) | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------------|------|------|--------|------|------|------|--------|------|------|------|--------|
| | 0.2 | | | | 0.4 | | | | 0.6 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | เฉลี่ย | 1 | 2 | 3 | เฉลี่ย | 1 | 2 | 3 | เฉลี่ย |
| 30 | 0.41 | 0.42 | 0.43 | 0.42 | 0.71 | 0.72 | 0.75 | 0.73 | 1.21 | 1.25 | 1.26 | 1.24 |
| 60 | 0.4 | 0.39 | 0.42 | 0.4 | 0.72 | 0.73 | 0.74 | 0.73 | 1.22 | 1.24 | 1.25 | 1.24 |
| 90 | 0.39 | 0.4 | 0.42 | 0.4 | 0.72 | 0.72 | 0.72 | 0.72 | 1.24 | 1.25 | 1.26 | 1.25 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-3 ค่าอัตราการซึมผ่าน (l/hr.cm²) ของท่อน้ำซึมในสูตร GRT/PP/AZ 60/40/8

| ความยาว (ซม) | ความดัน (bar) | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------------|------|------|--------|------|------|------|--------|------|------|------|--------|
| | 0.2 | | | | 0.4 | | | | 0.6 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | เฉลี่ย | 1 | 2 | 3 | เฉลี่ย | 1 | 2 | 3 | เฉลี่ย |
| 30 | 0.6 | 0.62 | 0.64 | 0.62 | 0.94 | 0.91 | 0.92 | 0.92 | 1.51 | 1.52 | 1.52 | 1.52 |
| 60 | 0.59 | 0.63 | 0.63 | 0.62 | 0.94 | 0.94 | 0.92 | 0.93 | 1.52 | 1.53 | 1.51 | 1.52 |
| 90 | 0.62 | 0.65 | 0.62 | 0.63 | 0.92 | 0.92 | 0.93 | 0.92 | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.50 |

ตาราง ข-4 ค่าอัตราการซึมผ่าน (l/hr.cm²) ของท่อน้ำซึมในสูตร GRT/PP/AZ/PP-g-MA 60/40/3/3

| ความยาว (ซม) | ความดัน (bar) | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------------|------|------|--------|------|------|------|--------|------|------|------|--------|
| | 0.2 | | | | 0.4 | | | | 0.6 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | เฉลี่ย | 1 | 2 | 3 | เฉลี่ย | 1 | 2 | 3 | เฉลี่ย |
| 30 | 0.19 | 0.18 | 0.17 | 0.18 | 0.47 | 0.45 | 0.45 | 0.46 | 0.87 | 0.88 | 0.88 | 0.88 |
| 60 | 0.16 | 0.16 | 0.15 | 0.16 | 0.44 | 0.43 | 0.44 | 0.44 | 0.88 | 0.87 | 0.88 | 0.88 |
| 90 | 0.17 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.46 | 0.45 | 0.44 | 0.44 | 0.86 | 0.86 | 0.87 | 0.86 |

ตาราง ข-5 ค่าอัตราการซึมผ่าน (l/hr.cm²) ของท่อน้ำซึมในสูตร GRT/PP/AZ/PP-g-MA 60/40/3/5 (PP เกรด P840J)

| ความยาว (ซม) | ความดัน (bar) | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------------|------|------|--------|------|------|------|--------|------|------|------|--------|
| | 0.2 | | | | 0.4 | | | | 0.6 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | เฉลี่ย | 1 | 2 | 3 | เฉลี่ย | 1 | 2 | 3 | เฉลี่ย |
| 30 | 0.15 | 0.14 | 0.14 | 0.14 | 0.35 | 0.36 | 0.35 | 0.35 | 0.7 | 0.73 | 0.72 | 0.71 |
| 60 | 0.15 | 0.14 | 0.16 | 0.15 | 0.35 | 0.36 | 0.34 | 0.35 | 0.71 | 0.72 | 0.71 | 0.71 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้และไม่อนุญาตให้เผยแพร่สู่สาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-6 ค่าอัตราการซึมผ่าน (l/hr.cm²) ของท่อน้ำซึมในสูตร 60/40/3/5 GRT/PP/AZ/PP-g-MA (PP เกรด P401S)

| ความยาว (ซม) | ความดัน (bar) | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---------------|------|------|--------|------|------|------|--------|------|------|------|--------|
| | 0.2 | | | | 0.4 | | | | 0.6 | | | |
| | 1 | 2 | 3 | เฉลี่ย | 1 | 2 | 3 | เฉลี่ย | 1 | 2 | 3 | เฉลี่ย |
| 30 | 0.1 | 0.1 | 0.12 | 0.11 | 0.27 | 0.26 | 0.25 | 0.26 | 0.63 | 0.62 | 0.62 | 0.62 |
| 60 | 0.11 | 0.14 | 0.15 | 0.13 | 0.23 | 0.24 | 0.25 | 0.24 | 0.62 | 0.61 | 0.63 | 0.62 |
| 90 | 0.12 | 0.12 | 0.16 | 0.13 | 0.24 | 0.24 | 0.23 | 0.24 | 0.63 | 0.61 | 0.61 | 0.62 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน

รูปที่ ค-1 เทอร์โมกราฟแสดงค่าการสลายตัวของสารให้ฟอง (AZ) ก่อนการขึ้นรูปในสูตร

GRT/PP/AZ เป็น 60/40/3



รูปที่ ค-2 เทอร์โมกราฟแสดงค่าการสลายตัวของสารให้ฟอง (AZ) หลังการขึ้นรูปในสูตร

GRT/PP/AZ เป็น 60/40/3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค-3 เทอร์โมกราฟแสดงค่าการสลายตัวของสารให้ฟอง (AZ) ก่อนการขึ้นรูปในสูตร GRT/PP/AZ เป็น 60/40/5



รูปที่ ค-4 เทอร์โมกราฟแสดงค่าการสลายตัวของสารให้ฟอง (AZ) หลังการขึ้นรูปในสูตร GRT/PP/AZ เป็น 60/40/5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค-5 เทอร์โมกราฟแสดงค่าการสลายตัวของสารให้ฟอง (AZ) ก่อนการขึ้นรูปในสูตร
GRT/PP/AZ เป็น 60/40/8



รูปที่ ค-6 เทอร์โมกราฟแสดงค่าการสลายตัวของสารให้ฟอง (AZ) หลังการขึ้นรูปในสูตร
GRT/PP/AZ เป็น 60/40/8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค-8 กราฟ DSC ของ PP (P401S)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค-9 กราฟ DSC ของ GRT/PP/AZ (60/40/3)



รูปที่ ค-10 กราฟ DSC ของ GRT/PP/AZ (60/40/5)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค-11 กราฟ DSC ของ GRT/PP/AZ (60/40/8)



รูปที่ ค-12 กราฟ DSC ของ GRT/PP (P8401)/AZ/PP-g-MA (60/40/3/3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค-13 กราฟ DSC ของ GRT/PP (P401S)/AZ/PP-g-MA (60/40/3/3)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

มาตรฐานทดสอบ มอก. 796-2530

มาตรฐานทดสอบ มอก. 796-2530

1. เครื่องมือ

1.1 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์

1.2 แผ่นโลหะเรียบกว้าง 80 mm สามารถรับแรงกดในระหว่างการทดสอบ โดยไม่เสียรูป

จำนวน 2 แผ่น

1.3 เครื่องวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่ออย่างทั่วได้ละเอียดถึง 0.1 mm

2. การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

ตัดตัวอย่างเป็นท่อยาว 300 mm

3. วิธีทดสอบ

3.1 วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเริ่มต้นตรงที่จุดกึ่งกลางชิ้นทดสอบ (D_0) เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเดิม

3.2 ประกอบแผ่นโลหะทั้ง 2 ให้อยู่ที่กึ่งกลางชิ้นทดสอบตรงจุดที่วัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเริ่มต้น

3.3 กดแผ่นโลหะด้วยความเร็ว 50 mm/min จนกระทั่งอ่านค่าแรงได้ตามตารางที่ 1 แล้วรักษาแรงกดไว้นาน 1 นาที

ตารางที่ 1 แรงกดที่ใช้ในการทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 796-2530

| ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (mm) | แรงกด (kN) |
|----------------------------|------------|
| 20 31.5 | 0.9 |
| 38 44 | 1.0 |
| 51 57 | 1.1 |
| 63 76 89 102 | 1.45 |
| 127 152 178 203 | 1.75 |
| มากกว่า 203 ขึ้นไป | 2.05 |

3.4 วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่ออย่างทั่วที่เพ่งลงโดยการวัดระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะทั้ง 2 (D_1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. วิธีคำนวณ

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกภายใต้แรงกดร้อยละ = $(D_1/D_0) \times 100$

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกภายหลังคลายแรงกดร้อยละ = $(D_2/D_0) \times 100$

เมื่อ D_0 คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเริ่มต้น (mm)

เมื่อ D_1 คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกภายใต้แรงกด (mm)

เมื่อ D_2 คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกภายหลังคลายแรงกด (mm)

เมื่อทดสอบแล้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อภายใต้แรงกดและเมื่อคลายแรงกดออกต้องมีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 และร้อยละ 90 ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอกเดิมตามลำดับ

หมายเหตุ 1. แผ่นโลหะที่ใช้ในการทดลองจริงเป็นแผ่นโลหะวงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง

50 mm เนื่องจากไม่สามารถหาแผ่นโลหะแบบดังกล่าวได้จึงใช้แผ่นโลหะแบบสี่เหลี่ยมแทน

2. จากตารางที่ 3.4 พบว่าขนาดของท่อน้ำขึ้นมีขนาดเล็กกว่าตามมาตรฐานตามที่ มอก. กำหนดไว้ แต่อาศัยความคล้ายกันของรูปร่างท่อจึงทดสอบ โดยการเลียนแบบวิธีการดังกล่าว