

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงสมบัติท่อน้ำซึมจากผงยางรถยนต์
และยางธรรมชาติผสมยางอีพิตีเอ็ม

6 102



รพ.
พ ๑๖๓๗
2548

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 107723
วัน,เดือน,ปี..... 10 พ.ค. 2553

b. 12210912
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Property Modification of Porous Pipe Made from Ground
Rubber Tire (GRT) and Natural Rubber (NR) mixed
Ethylene Propylene Rubber (EPDM)




A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirement for the Degree of Bachelor of Chemistry
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การปรับปรุงสมบัติของน้ำซีเมนต์จากผงยางรถยนต์และยางธรรมชาติผสม ยางอีพ็อกซีเรซิน	
นักศึกษา	นางสาวไพจิตร	ตรีภาณุจนวนันท์
	นางสาวสุจิตรา	ชัยสุนทรานนท์
	นางสาวสุพรรณษา	เหลื่องจรัสหล้า
ภาควิชา	เคมี	
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	นางสาวสุนณา แจ่มเหมือน	

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ผศ.ดร.ปณณมา ศิริพันธ์โนน	
กรรมการ ผศ.ดร.ชลลดา ฤทธิวิทย์	
กรรมการ รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด	


.....
(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การปรับปรุงสมบัติท่อน้ำซึมจากผงยางรถยนต์และยางธรรมชาติผสมยางอีพดีเอ็ม	
นักศึกษา	นางสาวไพจิตร	ตรีภาณุजनันท์
	นางสาวสุจิตรา	ชัยสุนทรานนท์
	นางสาวสุพรรณษา	เหลืองจรัสหล้า
ภาควิชา	เคมี	
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2548	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	นางสาวสุมนา แจ่มเหมือน	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาท่อน้ำซึม (Porous pipes) ที่เตรียมจากยางธรรมชาติ (Natural Rubber) ผสมยางอีพดีเอ็ม (Ethylene Propylene Rubber, EPDM) และผงยางรถยนต์ (Ground Rubber Tire, GRT) โดยใช้เอโซไดคาร์โบนาไมด์ (Azodicarbonamide, AZ) เป็นสารให้ฟอง และสารประกอบยูเรียเป็นสารกระตุ้นสารให้ฟอง ทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) ขึ้นรูปเป็นท่อด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder) และทำการเชื่อมโยงด้วยเครื่องอบความร้อน (Hot air oven) โดยศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อสมบัติของท่อน้ำซึม ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติผสมยางอีพดีเอ็ม และผงยางรถยนต์ ปริมาณกำมะถัน ปริมาณเขม่าดำ ที่เวลาการเชื่อมโยงต่างๆกัน รวมถึงการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต สมบัติของท่อน้ำซึมที่ศึกษา ได้แก่ สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สันฐานวิทยา และอัตราการซึมผ่านของน้ำ จากการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณ GRT เพิ่มขึ้น สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มลดลง พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกำมะถันมากขึ้นสมบัติเชิงกลมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน และอัตราการซึมผ่านของน้ำเพิ่มขึ้นจนถึงจุดๆหนึ่งที่ปริมาณกำมะถัน 2.5 phr พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเขม่าดำสมบัติบางประการ เช่นความแข็งแรงดึง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงจุดๆหนึ่ง คือที่ปริมาณเขม่าดำ 40 phr จากการศึกษาการผลิตท่อน้ำซึมพบว่าท่อน้ำซึมที่ประกอบด้วย NR:EPDM:GRT:S:CB เท่ากับ 25:25:50:2.5:40 ที่เวลาการเชื่อมโยง เท่ากับ 30 นาที มีสมบัติเชิงกลโดยรวมที่ดี และมีต้นทุนการผลิตประมาณ 151 บาท/กิโลกรัม หรือ 33.4 บาท/เมตร (สามารถผลิตท่อเส้นผ่านศูนย์กลาง 21 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร ได้ยาวประมาณ 4.5 เมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Property Modification of Porous Pipe Made from Ground Rubber Tire (GRT) and Natural Rubber (NR) mixed Ethylene Propylene Rubber (EPDM)	
Student	Miss Phajit	Treekanjananan
	Miss Sujitra	Chaisuntharanon
	Miss Supannasa	Luangjarasla
Department	Chemistry	
Program	Industrial Chemistry	
Academic Year	2005	
Special Project Advisor	Assoc.Prof.Dr.Ittipol Jangchud	
Special Project Co-advisor	Miss Sumana Jammuan	

ABSTRACT

This special project involved property modification of porous pipe made from natural rubber (NR) mixed with ethylene propylene rubber (EPDM) and ground rubber tire (GRT) using azodicarbonamide (AZ) as blowing agent and urea compound as a kicker. The mixtures were compounded by a two-roll mill, extruded into porous pipes by single screw extruder and vulcanized by a hot air oven. Factor affecting porous pipe properties were studied, such as NR/EPDM:GRT ratio, sulfur loading, carbon black loading and cost analysis. Porous pipe properties were then characterized, such as mechanical, physical, morphological and water permeation properties. As % GRT loading was increased, mechanical properties were decreased. When sulfur loading was increased, mechanical properties were similarly and water permeation rate properties were increased up to an optimum point at 2.5 phr. When carbon black loading was increased, it was found that tensile strength was increased up to an optimum point at 40 phr. Porous pipe made of NR:EPDM:GRT:S:CB ratio of 25:25:50:2.5:40 at cure time of 30 minutes had good overall mechanical properties. Estimate cost of porous pipes were about 151 baht/kg or 33.4 baht/meter.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงการพิเศษนี้ จะสำเร็จลุลวงไม่ได้ ถ้าหากขาดความช่วยเหลือ ความร่วมมือ ตลอดจนคำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์ อย่างยิ่งแก่คณะผู้จัดทำจากบุคคล และองค์กรต่างๆ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด และคุณสุนณา แจ่มเหมือน จากสำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษเป็นอย่างสูงที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษครั้งนี้ ให้สำเร็จลุลวงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ และ ผศ.ดร.ปณณมา ศิริพันธ์โนน ที่กรุณาเป็นกรรมการตรวจสอบ ตลอดจนให้คำแนะนำ และตรวจทานแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้อง สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ดร.นุชนาฏ ญ ระนอง จากสำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว และแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร ที่ให้คำแนะนำ และคำปรึกษาในการทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร และภาควิชาเคมี สจล. ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือสำหรับโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ บริษัท ยูซาโก้ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ สารให้ฟอง (AZ)

ขอขอบคุณ เพื่อนๆทุกคนที่ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และให้กำลังใจมา โดยตลอด

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา และมารดา ที่สนับสนุน และเป็นกำลังใจแก่ผู้จัดทำ จนประสบความสำเร็จในด้านการศึกษา

ไพจิตร ตรีกาญจนานันท์

สุจิตรา ชัยสุนทรานนท์

สุพรรณษา เหลืองจรัสหล้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย.....	1
1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ยางธรรมชาติ	
2.1.1 ยางแผ่นรมควัน.....	5
2.2 สารเติมแต่งสำหรับยาง.....	6
2.2.1 สารเชื่อมโยง.....	6
2.2.1.1 การเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน.....	6
2.2.1.2 เครื่องวัดการเชื่อมโยงยาง.....	7
2.2.2 สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง.....	9
2.2.3 สารกระตุ้นปฏิกิริยาเชื่อมโยง.....	10
2.2.3.1 ซิงค์ออกไซด์.....	10
2.2.3.2 กรดไขมัน.....	10
2.2.4 สารป้องกันการเสื่อมสภาพ.....	10
2.2.4.1 สารป้องกันออกซิเดชั่น.....	10
2.2.4.2 สารป้องกันโอโซน.....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.5 สารตัวเติม.....	11
2.2.5.1 เขม่าดำ.....	11
2.2.5.2 ผลของเขม่าดำต่อสมบัติของยาง.....	12
2.2.6 สารช่วยกระบวนการผลิต.....	12
2.2.6.1 เปฟไทเซอร์.....	13
2.2.6.2 พลาสติไซเซอร์.....	13
2.2.7 สารให้ฟอง.....	13
2.2.8 สารกระตุ้นปฏิกิริยา.....	16
2.3 ผลิตภัณฑ์ยางที่มีรูปพรุน.....	18
2.4 ผงยางรถยนต์.....	19
2.4.1 การบดที่อุณหภูมิต่ำ.....	20
2.4.2 การบดที่อุณหภูมิห้อง.....	21
2.5 ยางเอทีดีนพรอพิลีน.....	23
2.6 เครื่องอัดรีดสำหรับยาง.....	23
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
บทที่3 การดำเนินงานวิจัย.....	33
3.1 แผนการดำเนินงาน.....	33
3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	35
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	37
3.4 วิธีการทดลอง.....	37
3.4.1 การบดผสมยาง.....	37
3.4.2 การศึกษาหาอุณหภูมิเชื่อมโยงต่อยาง.....	38
3.4.3 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน.....	38
3.4.3.1 การขึ้นรูปเป็นท่อ.....	38
3.4.3.2 การเชื่อมโยงต่อยาง.....	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.3.3 การทดสอบการเชื่อมโยง.....	39
3.4.3.4 การทดสอบแรงดึง.....	40
3.4.3.5 การทดสอบความแข็งแรงกดแบบดูโรมิเตอร์.....	40
3.4.3.6 การทดสอบความหนาแน่น.....	41
3.4.3.8 การทดสอบความต้านทานต่อไอโซน.....	42
3.4.3.9 การทดสอบสัณฐานวิทยา.....	43
3.4.3.10 การทดสอบอัตราการซึมผ่านของน้ำ.....	43
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง.....	46
4.1 การศึกษาอุณหภูมิเชื่อมโยงท่อยาง.....	46
4.2 การศึกษาอัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติผสมยางอีพีดีเอ็ม และผงยางรถยนต์ 54	54
4.3 การศึกษาปริมาณกำมะถัน.....	60
4.4 การศึกษาปริมาณเขม่าดำ.....	64
4.5 การศึกษาความต้านทานต่อไอโซน.....	70
4.6 สรุปลูตรที่เหมาะสม และสมบัติของท่อน้ำซึม.....	71
4.7 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต.....	72
บทที่ 5 สรุปลูตรทดลองและข้อเสนอแนะ.....	75
5.1 สรุปลูตรทดลอง.....	75
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	76
เอกสารอ้างอิง.....	77
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน.....	81
ภาคผนวก ข นิยามศัพท์ที่ใช้ในโครงการพิเศษ.....	83
ภาคผนวก ค การหาความยาวท่อน้ำซึมที่มีน้ำหนัก 1 กิโลกรัม.....	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างชนิดของสารให้ฟองที่เหมาะสมกับการใช้งานต่างๆ.....	15
3.1 สมบัติบางประการของสารให้ฟอง AC-12 JX.....	36
3.2 สมบัติบางประการของยูเรียที่ใช้ในงานวิจัย.....	36
3.3 การรายงานผลของลักษณะรอยแตก.....	43
3.4 สูตรที่ใช้ในการศึกษาวิจัยต่างๆ.....	45
4.1 ความต้านทานต่อไอโซนของท่อน้ำซีเมนต์ NR:EPDM:GRT ในอัตราส่วนที่ต่างกัน กำมะถัน 2 phr และเขม่าดำ 30 phr.....	70
4.2 ความต้านทานต่อไอโซนของท่อน้ำซีเมนต์ NR:EPDM:GRT: กำมะถันในปริมาณที่ต่างกัน และเขม่าดำ 30 phr.....	71
4.3 ความต้านทานต่อไอโซนของท่อน้ำซีเมนต์ NR:EPDM:GRT:CB ในปริมาณที่ต่างกัน และกำมะถัน 2.5 phr.....	71
4.4 แสดงสมบัติบางประการของท่อน้ำซีเมนต์.....	72
4.5 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตท่อน้ำซีเมนต์ NR:EPDM:GRT:S:CB (25:25:50:2.5:40) ที่ เวลาเชื่อมโยง 30 นาที.....	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1.1	ยางล้อรถยนต์ที่ใช้แล้ว..... 1
2.1	โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน..... 4
2.2	กราฟการเชื่อมโยง (Cure curve)..... 8
2.3	โครงสร้างของเอโซไดคาร์บอนาไมด์(AZ)..... 16
2.4	ผลการกระตุ้นปฏิกิริยาของ Unipaste [®] (ยูเรีย) ต่อสารให้ฟอง AZ, DNPT และ OBSH.. 18
2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับระดับการขยายตัวของก๊าซ..... 19
2.6	ตัวอย่างการบดยางที่อุณหภูมิต่ำ..... 21
2.7	ตัวอย่างการบดยางที่อุณหภูมิห้องแบบแห้ง..... 22
2.8	ตัวอย่างการบดยางที่อุณหภูมิห้องแบบเปียก..... 22
2.9	แสดงโครงสร้างทางเคมีของ EPDM..... 23
2.10	เครื่องอัดรีดแบบป้อนยางร้อน (Hot feed extruder)..... 24
2.11	เครื่องอัดรีดแบบป้อนยางเย็น (Cold feed extruder)..... 25
3.1	แผนผังการดำเนินการ..... 34
3.2	เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว..... 38
3.3	ลักษณะของตาย..... 39
3.4	ขั้นตอนทดสอบรูปดัมเบลล์ตายซี (Die C) ตามมาตรฐาน ASTM D 412..... 40
3.5	ทดสอบความแข็งกดแบบคูโรมิเตอร์ชนิดซอร์ A..... 41
3.6	เครื่องทดสอบความหนาแน่น..... 41
3.7	เครื่องทดสอบความต้านทานโอโซน..... 42
3.8	การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับทดสอบอัตราการซึมผ่านน้ำของท่อน้ำซึม..... 44
4.1	กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของท่อน้ำซึมสูตร NR:EPDM:GRT:S:CB (25:25:50:2.5:40) เชื่อมโยงที่อุณหภูมิ 165°C เมื่อเวลาการเชื่อมโยงต่างกัน..... 47
4.2	กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของท่อน้ำซึมสูตร NR:EPDM:GRT:S:CB (25:25:50:2.5:40) เชื่อมโยงที่อุณหภูมิ 165°C เมื่อเวลาการเชื่อมโยงต่างกัน..... 47
4.3	กราฟแสดงค่ามอดุลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์ (M100) ของท่อน้ำซึมสูตร NR:EPDM:GRT:S:CB (25:25:50:2.5:40) เชื่อมโยงที่อุณหภูมิ 165°C เมื่อเวลาการเชื่อมโยงต่างกัน..... 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
4.4 กราฟแสดงค่าความแข็งกดของท่อน้ำซีเมนต์ที่ NR:EPDM:GRT:S:CB (25:25:50:2.5:40) เชื่อมโยงที่อุณหภูมิ 165°C เมื่อเวลาการเชื่อมโยงต่างกัน.....	48
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเชื่อมโยง (Crosslink density) ของยางกับสมบัติเชิงกลบางประการ.....	49
4.6 SEM Micrographs แสดงลักษณะของท่อน้ำซีเมนต์แตกหักที่อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย 100 เท่า ประกอบด้วย NR:EPDM:GRT:S (25:25:50:2.5) เชื่อมโยงที่อุณหภูมิ 165°C เป็นเวลา 30 เมื่อปริมาณเคมีต่างกัน (ภาพ ก-ค ปริมาณเคมีต่ำ 30 40 และ 50 phr ตามลำดับ).51	51
4.7 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นของท่อน้ำซีเมนต์ NR:EPDM:GRT:S:CB เท่ากับ (25:25:50:2.5:40) เชื่อมโยงที่อุณหภูมิ 165°C และใช้เวลาการเชื่อมโยงเท่ากัน.....	52
4.8 แสดงค่าอัตราการซึมผ่านของน้ำของท่อน้ำซีเมนต์ที่ NR:EPDM:GRT:S:CB (25:25:50:2.5:40) เมื่อเวลาการเชื่อมโยงต่างกัน และความดันน้ำต่างกัน	52
4.9 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของท่อน้ำซีเมนต์ที่ประกอบด้วย S:CB (2:30) เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่าง NR:EPDM:GRT ต่างกัน.....	54
4.10 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของท่อน้ำซีเมนต์ที่ประกอบด้วย S:CB (2:30) เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่าง NR:EPDM:GRT ต่างกัน.....	55
4.11 กราฟแสดงค่ามอดูลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์ (M100) ของท่อน้ำซีเมนต์ที่ประกอบด้วย S:CB (2:30) เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่าง NR:EPDM:GRT ต่างกัน.....	55
4.12 กราฟแสดงค่าความแข็งกดของท่อน้ำซีเมนต์ที่ประกอบด้วย S:CB (2:30) เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่าง NR:EPDM:GRT ต่างกัน.....	56
4.13 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นของท่อน้ำซีเมนต์ที่ประกอบด้วย S:CB (2:30) เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่าง NR:EPDM:GRT ต่างกัน.....	57
4.14 กราฟแสดงค่าอัตราการซึมผ่านของท่อน้ำซีเมนต์ที่ประกอบด้วย S:CB (2:30) เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่าง NR:EPDM:GRT เท่ากับ 25:25:50.....	58
4.15 กราฟแสดงค่าอัตราการซึมผ่านของท่อน้ำซีเมนต์ที่ประกอบด้วย S:CB (2:30) เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่าง NR:EPDM:GRT เท่ากับ 20:20:60.....	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

4.16 SEM Micrographs การศึกษาด้านสัณฐานวิทยาของท่อน้ำซึมแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ ประกอบด้วย S:CB (2:30) เมื่ออัตราส่วนระหว่าง NR:EPDM:GRT ต่างกัน (ภาพ ก-ค อัตราส่วนระหว่าง NR:EPDM:GRT 25:25:50, 20:20:60 และ 15:15:70 ตามลำดับ)....	59
4.17 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของท่อน้ำซึมสูตร NR:EPDM:GRT:CB (25:25:50:30) เมื่อใช้ปริมาณกำมะถันต่างกัน.....	61
4.18 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของท่อน้ำซึมสูตร NR:EPDM:GRT:CB (25:25:50:30) เมื่อใช้ปริมาณกำมะถันต่างกัน.....	61
4.19 กราฟแสดงค่ามอดุลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์ (M100) ของท่อน้ำซึมสูตร NR:EPDM:GRT:CB (25:25:50:30) เมื่อใช้ปริมาณกำมะถันต่างกัน.....	62
4.20 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงกดของท่อน้ำซึมสูตร NR:EPDM:GRT:CB (25:25:50:30) เมื่อใช้ปริมาณกำมะถันต่างกัน.....	62
4.21 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นของท่อน้ำซึมสูตร NR:EPDM:GRT:CB (25:25:50:30) เมื่อใช้ปริมาณกำมะถันต่างกัน.....	63
4.22 กราฟแสดงอัตราการซึมผ่านน้ำของท่อน้ำซึมสูตร NR:EPDM:GRT:CB (25:25:50:30) เมื่อใช้ปริมาณกำมะถันต่างกัน.....	63
4.23 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของท่อน้ำซึมสูตร NR:EPDM:GRT:S (25:25:50:2.5) เมื่อปริมาณเขม่าดำต่างกัน.....	65
4.24 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของท่อน้ำซึมสูตร NR:EPDM:GRT:S (25:25:50:2.5) เมื่อปริมาณเขม่าดำต่างกัน.....	65
4.25 กราฟแสดงค่ามอดุลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์ (M100) ของท่อน้ำซึมสูตร NR:EPDM:GRT:S (25:25:50:2.5) เมื่อปริมาณเขม่าดำต่างกัน.....	66
4.26 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงกดของท่อน้ำซึมสูตร NR:EPDM:GRT:S (25:25:50:2.5) เมื่อปริมาณเขม่าดำต่างกัน.....	66
4.27 ผลของปริมาณเขม่าดำที่มีต่อสมบัติของยาง	67
4.28 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นของท่อน้ำซึมสูตร NR:EPDM:GRT:S (25:25:50:2.5) เมื่อปริมาณเขม่าดำต่างกัน.....	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
4.29 กราฟแสดงอัตราการซึมผ่านน้ำของท่อน้ำซึมสูตร NR:EPDM:GRT:S (25:25:50:2.5) เมื่อปริมาณเขม่าดำต่างกัน.....	69
ก.1 เทอร์โมกราฟแสดงอุณหภูมิการสลายตัวของสารให้ฟอง AZ ที่มี Urea เป็นสารกระตุ้นสารให้ฟอง.....	82



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

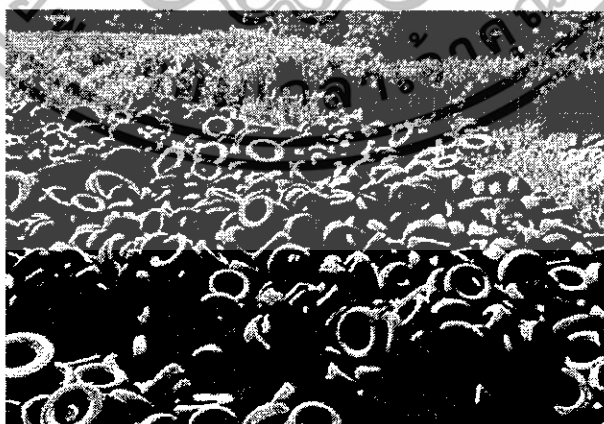
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

ประเทศไทยผลิตยางพาราเป็นอันดับหนึ่งของโลก มีปริมาณผลผลิตยางเฉลี่ยปีละ 3 ล้านตัน โดยผลผลิตที่ได้จะใช้ในประเทศสัดส่วนประมาณ 10% และส่งออก 90% (เป็นยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง น้ำยาง และยางเครพ) โดยมีตลาดสำคัญ 5 อันดับแรกได้แก่ จีน ญี่ปุ่น มาเลเซีย สหรัฐอเมริกา และเกาหลีใต้ ถ้าหากว่าเกษตรกรขายเฉพาะยางธรรมชาติดิบ เช่น ยางแผ่น ยางแท่ง และน้ำยางข้น โดยไม่แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่สร้างมูลค่าเพิ่ม ก็อาจส่งผลให้ราคายางธรรมชาติดิบตกต่ำได้ [1] จึงมีการเตรียมรับมือกับปริมาณการผลิตยางที่เพิ่มขึ้นคือ การเร่งผลักดันโครงการเมืองยางพารา โดยเน้นส่งเสริมอุตสาหกรรมต่อเนื่องที่ใช้ยางพาราเป็นวัตถุดิบ ทั้งนี้เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับอุตสาหกรรมยางพารา โดยส่งเสริมการส่งออกผลิตภัณฑ์ยางสำเร็จรูป แทนที่การส่งออกในลักษณะวัตถุดิบเช่นในปัจจุบัน [2]

ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตยางล้อยานยนต์ที่สำคัญของโลก เนื่องจากเป็นแหล่งผลิตวัตถุดิบยางพาราที่ใหญ่ที่สุดในโลก โดยมีบริษัทในเครือและบริษัทข้ามชาติที่มีส่วนแบ่งทางการตลาดสูงที่สุดในโลก 3 บริษัทมาตั้งฐานการผลิตในประเทศไทย ได้แก่ บริษัทสยามมิชลิน บริษัทบริดจสโตน และบริษัทกู้ดเยียร์ โดยมีปริมาณการใช้ในประเทศสูงถึงปีละประมาณ 134,194 ตัน หรือ 17 ล้านเส้น ในขณะที่มีปริมาณการทำลายเพียงร้อยละ 9 [3]



รูปที่ 1.1 ยางล้อรถยนต์ที่ใช้แล้ว [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น สถานการณ์ปริมาณยางยานยนต์ใช้แล้วในประเทศไทย มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทำให้เกิด การทิ้งยางเก่าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะถูกนำไปทิ้งเป็นขยะ ทำให้เปลืองพื้นที่จำนวนมากในการทิ้ง และเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ยุง ซึ่งไม่ได้ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มแต่อย่างใด [3]

งานวิจัยนี้จึงนำยางรถยนต์ที่ใช้แล้วมาใช้ประโยชน์ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ ตลอดจนยังเป็นการช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม โดยการพัฒนาท่อน้ำซึม (Porous pipe) ที่เตรียมจาก ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR) ผสมยางอีพียีเอ็ม (Ethylene Propylene Rubber, EPDM) และผวยางรถยนต์ (Ground rubber tire, GRT) เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ให้น้ำทางเกษตรกรรม ทดแทน ระบบน้ำหยดซึ่งให้น้ำเฉพาะบริเวณและระบบน้ำต้น (Sprinkler) ซึ่งต้องใช้ความดันสูงและน้ำ ปริมาณมาก เป็นผลให้เกิดการกัดเซาะของดิน ท่อน้ำซึมเป็นท่อสายยางที่ประกอบด้วยผวยาง รถยนต์และยางผสมในอัตราส่วนที่เท่ากัน โดยยางผสมทำหน้าที่เป็นสารเชื่อม (Binder) โดยใช้ สารเอโซไดคาร์โบนาไมด์ (Azodicarbonamide, AZ) ทำหน้าที่เป็นสารให้ฟอง (Blowing agent) ท่อมีความยืดหยุ่นและสามารถโค้งงอได้ มีโครงสร้างเป็นช่องเล็ก เชื่อมต่อกันจำนวนมาก ซึ่งน้ำ สามารถซึมผ่านออกมาได้ในอัตราคงที่ที่ความดันต่ำและปริมาณน้ำต่ำ ทำให้สามารถให้น้ำแก่ราก ได้โดยตรงโดยไม่รบกวนราก และไม่เกิดการกัดเซาะของดิน นอกจากนี้สามารถให้น้ำได้โดยไม่จำกัด ขนาดพื้นที่ และเป็นการประหยัดพลังงาน

1.2 จุดประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาปัจจัยบางประการที่มีผลต่อสมบัติของท่อน้ำซึมจากยางธรรมชาติ (NR) ผสม ยางอีพียีเอ็ม (EPDM) และผวยางรถยนต์ (GRT)
2. เพื่อศึกษาสมบัติต่างๆของท่อน้ำซึมที่เตรียมได้

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อสมบัติของท่อน้ำซึม ได้แก่ อัตราส่วนของยางผสม NR:EPDM ปริมาณกำมะถัน และปริมาณเขม่าดำ
2. ศึกษาสมบัติต่างๆของท่อน้ำซึมที่เตรียม เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สัณฐาน วิทยา และอัตราการซึมผ่านของน้ำ
3. ศึกษาต้นทุนในการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถผลิตท่อน้ำซีเมนต์ให้มีประสิทธิภาพดี ต้นทุนการผลิตต่ำ
2. สามารถใช้น้ำในทางการเกษตรอย่างมีประสิทธิภาพ โดยนำไปทดแทนระบบน้ำหยดและระบบน้ำต้น
3. สามารถลดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม โดยนำผลิตภัณฑ์ยางที่ใช้แล้วมาแปรรูปให้เกิดประโยชน์สูงสุด
4. สามารถนำความรู้ที่ได้มาพัฒนาอุตสาหกรรมยาง เพื่อเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ยางที่ใช้แล้ว
5. ส่งเสริมการใช้ยางธรรมชาติภายในประเทศ โดยการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยางที่เพิ่มขึ้น



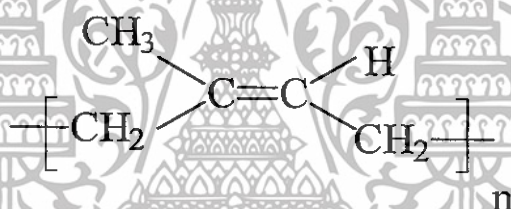
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR) [5]

ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR) มีชื่อทางเคมีคือ ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (Cis-1,4-Polyisoprene, PI) เป็นพอลิเมอร์สายโซ่ตรง ยาว มีหน่วยซ้ำๆ กันคือไอโซพรีน (C_5H_8) โครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1 เป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติคือ ต้นยางพารา ที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ "ฮีเวีย-บราซิลเลียนซิส" (*Hevea brasiliensis*) บางครั้งเรียกยางธรรมชาติว่า "ยางฮีเวีย" (*Hevea latex*) หรือยางพารา



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน [5]

ยางเป็นวัสดุที่สามารถยืดตัวออกหรือเปลี่ยนขนาดได้หลายเท่า (อย่างน้อยสองเท่า) เมื่อทำการให้แรง และสามารถหดกลับคืนใกล้เคียงขนาดและรูปร่างเดิมอย่างรวดเร็วเมื่อปล่อยแรง ในการใช้ประโยชน์จากยางต้องนำยางมาทำการเชื่อมโยงหรือวัลคาไนเซชัน (Crosslinking หรือ Vulcanization) หรืออาจเรียกว่า การทำให้ยางสุก (Curing) ซึ่งเป็นขบวนการทางเคมีที่เปลี่ยนโครงสร้างของยาง จากโซ่ตรง (Linear chains) เป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ (3-Dimensional network) หรือเทอร์โมเซต (Thermosets) ยางจะมีสมบัติที่ดีขึ้น กล่าวคือเปลี่ยนจากวัสดุที่อ่อนนิ่ม ยืดหยุ่นต่ำ ไม่แข็งแรง เหนียวติด ไม่มีเสถียรภาพของรูปร่าง และไหลได้เมื่อทิ้งไว้นาน กลายเป็นวัสดุที่แข็งแรง ยืดหยุ่นสูง มีเสถียรภาพของรูปร่าง และทนอุณหภูมิสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการใช้ประโยชน์จากยางธรรมชาติ จะต้องทำการแปรรูปน้ำยางดิบให้อยู่ในรูปแบบอื่น เพื่อความสะดวกในการใช้งาน การขนย้าย และการเก็บรักษา ซึ่งมี 2 รูปแบบคือ

1. ยางแห้ง (Dry rubber) ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน (Ribbed smoked sheets, RSS) ยางแผ่นผึ่งแห้ง (Air-dried sheets, ADS) ยางแท่ง (Block rubbers) ยางเครพ (Crepe rubbers) เป็นต้น

2. น้ำยางข้น (Concentrated latex)

2.1.1 ยางแผ่นรมควัน (Ribbed Smoked Sheets, RSS)

ยางแผ่นรมควันเป็นยางธรรมชาติที่แปรรูปเป็นยางแห้ง มีผลผลิตประมาณร้อยละ 80 ของยางทั้งประเทศ การผลิตยางแผ่นรมควันสามารถทำได้โดยการตากยางแผ่นในโรงรมควัน ที่มีการเผาพื้นไม้ให้ควันด้านล่าง โรงรมควันจะมีอุณหภูมิประมาณ 60 °C ทำให้ง่ายแห้งภายใน 4-7 วัน การรมแผ่นยางด้วยควันไฟ จะช่วยให้ง่ายแห้งและป้องกันการเกิดเชื้อรา ช่วยยืดอายุการเก็บรักษา เนื่องจากควันไฟมีสารจำพวกฟีนอล (Phenol) ซึ่งเป็นสารต่อต้านการเกิดเชื้อราตามธรรมชาติ

การจัดแยกชั้นยางแผ่นรมควันจะดูด้วยสายตา โดยพิจารณาจาก ขนาด รูปร่าง ความหนา สี ฟองอากาศ เชื้อราบนแผ่นยาง ความสม่ำเสมอ ตาหนักจากการรมควัน ความชื้น สิ่งแปลกปลอม เป็นต้น ซึ่งแบ่งได้เป็น 5 ชั้น คือ [6]

ยางแผ่นรมควันชั้น 1 พิเศษ

เป็นยางแผ่นรมควันที่มีการควบคุมการผลิตอย่างเข้มงวด ก้อนยางแต่ละก้อนต้องไม่ขึ้นรา ไม่ปรากฏจุดหรือริ้วรอยของยางถูกรมควันมากเกินไป แผ่นยางต้องแห้งดี สะอาด รมควันสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น ปราศจากฟองอากาศ สิ่งสกปรก ตลอดจนสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ

ยางแผ่นรมควันชั้น 1

ก้อนยางแต่ละก้อนต้องไม่ขึ้นรา ไม่ปรากฏจุดหรือริ้วรอยของยางถูกรมควันมากหรือน้อยเกินไป แผ่นยางต้องแห้งดี สะอาด รมควันสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น ปราศจากฟองอากาศ สิ่งสกปรก ตลอดจนสิ่งแปลกปลอมอื่นๆ

ยางแผ่นรมควันชั้น 2

ก้อนยางแต่ละก้อนมีเชื้อราขึ้นได้บ้าง แต่ต้องไม่เกิน 5% (ก้อนยางตัวอย่าง) แผ่นยางมีฟองอากาศบ้าง แต่ปราศจากร่องรอยของการถูกรมควันไม่สม่ำเสมอ ยางต้องแห้งดี สะอาด ไม่มีสิ่งแปลกปลอม

ยางแผ่นรมควันชั้น 3

ก้อนยางแต่ละก้อนมีเชื้อราขึ้นได้บ้าง แต่ต้องไม่เกิน 10% (ก้อนยางตัวอย่าง) แผ่นยางมีจุดต่าง และฟองอากาศบ้าง แต่ปราศจากร่องรอยของการถูกรมควันไม่สม่ำเสมอ ยางต้องแห้งดี สะอาด ไม่มีสิ่งแปลกปลอม

ยางแผ่นรมควันชั้น 4

ก้อนยางมีเชื้อราขึ้นได้บ้าง แต่ต้องไม่เกิน 20% (ก้อนยางตัวอย่าง) แผ่นยางมีจุดต่าง ฟองอากาศ และร่องรอยของการถูกรมควันไม่สม่ำเสมอปานกลาง ยางต้องแห้งดี ไม่มีสิ่งแปลกปลอม

ยางแผ่นรมควันชั้น 5

ก้อนยางมีเชื้อราขึ้นได้บ้าง แต่ต้องไม่เกิน 30% (ก้อนยางตัวอย่าง) แผ่นยางมีจุดต่าง ฟองอากาศ และร่องรอยของการถูกรมควันไม่สม่ำเสมอจำนวนมาก

2.2 สารเติมแต่งสำหรับยาง (Additives for Rubber) [5-7]

ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางจำเป็นต้องมีการ “ออกสูตรยาง” (Rubber formulation) ซึ่งเป็นการกำหนดชนิดและปริมาณสารเคมีต่างๆ ที่ผสมเข้ากับยางเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีสมบัติตามต้องการ ส่วนประกอบของสูตรผลิตภัณฑ์ยางต่างๆ สามารถแบ่งเป็นกลุ่มหลักได้ดังต่อไปนี้

2.2.1 สารเชื่อมโยง (Vulcanizing Agents)

ทำหน้าที่เปลี่ยนโครงสร้างของยางจากสายโซ่ตรงเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ โดยทำให้เกิดพันธะเคมีเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุลของยาง ทำให้ยางซึ่งเป็นวัสดุที่อ่อนนิ่ม ยืดหยุ่นต่ำ ไม่แข็งแรง เหนียวติด ไม่มีเสถียรภาพของรูปร่าง และไหลได้เมื่อทิ้งไว้นาน กลายเป็นวัสดุที่แข็งแรง ยืดหยุ่นสูง มีเสถียรภาพของรูปร่าง และทนอุณหภูมิสูง สารเชื่อมโยงแบ่งออกเป็น 5 ชนิด คือ

1. กำมะถัน (Sulfur)
2. สารที่ให้กำมะถัน (Sulfur donor)
3. สารเปอร์ออกไซด์ (Peroxide)
4. ซีลีเนียม (Selenium) และเทลลูเรียม (Tellurium)
5. สารอื่นๆ เช่น ออกไซด์ของโลหะ, ฟีนอลิกเรซิน (Phenolic resins) เป็นต้น

2.2.1.1 การเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน (Sulfur Vulcanization)

การเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน เป็นวิธีที่นิยมที่สุดเนื่องจากกำมะถันมีราคาถูก ละลายได้ดี ในยาง ที่สำคัญที่สุดคือยางส่วนมากที่นิยมใช้เป็นยางที่ไม่อิมิตัว มีพันธะคู่เป็นจำนวนมาก เช่น ยางธรรมชาติ (NR) ยางสไตรีนบิวตะไดอีน (SBR) และยางบิวตะไดอีน (BR) ฯลฯ จึงว่องไวต่อการ

เชื่อมโยงด้วยกำมะถัน โดยใช้ร่วมกับสารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Accelerators) และสารกระตุ้น (Activators) กำมะถันที่ใช้ในการเชื่อมโยงยางมี 2 ชนิดคือ

1. กำมะถันชนิดละลาย (Soluble sulfur) เป็นกำมะถันในรูปผลึกรวมบิก (Rhombic) โครงสร้างเป็นวงแหวน (Ring structure) ประกอบด้วยกำมะถัน 8 อะตอม (S_8) เกิดการแตกตัวของ วงแหวนที่อุณหภูมิสูงประมาณ 150°C เป็นชนิดที่นิยมใช้ทั่วไป เนื่องจากมีราคาถูก ใช้ในปริมาณน้อย ปกติใช้กำมะถันประมาณ 1-3 phr ถ้าใส่กำมะถันมากเกินไปจะทำให้เกิดการ "บลูม" (Bloom) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่กำมะถันเกิดการแพร่จากภายในออกมาสะสมเป็นผลึกที่ผิวของผลิตภัณฑ์ ทัศนเห็นเป็นรอยคราบสีเหลือง หรือสีขาว

2. กำมะถันชนิดไม่ละลาย (Insoluble sulfur) เป็นกำมะถันในรูปออสถูฐาน ไม่ละลายในตัวทำละลายและยาง ผสมเข้ากับยางได้ยากกว่ากำมะถันชนิดละลายแต่เมื่อผสมเข้ากันแล้วจะเกิดโครงสร้างที่ซับซ้อนกับยาง ทำให้ไม่เกิดการบลูม จึงนิยมใช้กำมะถันชนิดนี้เมื่อต้องการใส่กำมะถันในปริมาณมาก เช่น ยางชนิดแข็งมาก ข้อจำกัดของกำมะถันชนิดนี้คือ มีราคาแพง นอกจากนี้อาจเปลี่ยนโครงสร้างเป็นกำมะถันชนิดละลายได้ที่อุณหภูมิสูงเกิน 100°C จึงต้องควบคุมอุณหภูมิไม่ให้สูงเกิน ถ้าต้องการใช้ประโยชน์กำมะถันชนิดไม่ละลาย

2.2.1.2 เครื่องวัดการเชื่อมโยงยาง (Curemeters for rubber compounds)

สามารถแบ่งเครื่องวัดการเชื่อมโยงยางเป็น 2 ชนิดคือ

1. เครื่องวัดการไหลแบบจานสั่น (Oscillating Disc Rheometers, ODR) เป็นเครื่องที่สามารถวัดการเชื่อมโยงยางได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมยาง และห้องปฏิบัติการทดสอบยางทั่วไป เพื่อให้หาสภาวะการเชื่อมโยงที่เหมาะสม หาเวลาที่ใช้ในขบวนการผลิตยาง และใช้ในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ยาง หลักการทำงานคือการตรวจวัดความแข็งของยาง โดยการวัดการเปลี่ยนแรงหมุน (Torque) ของจานรูปโคนครึ่งวงกลม (Biconical disc) หมุนสั้นอยู่ในตัวอย่างยาง ที่มีการควบคุมอุณหภูมิ

2. เครื่องวัดการเชื่อมโยงแบบไร้จานหมุน (Rotorless curemeters) หรือ (Moving Die Rheometer, MDR) เป็นเครื่องวัดการเชื่อมโยงชนิดใหม่ที่มีการถ่ายเทอุณหภูมิรวดเร็ว เนื่องจากใช้ตัวอย่างเล็กและบางกว่า เป็นผลให้การเชื่อมโยงได้รวดเร็วกว่า ไม่มีข้อผิดพลาดของการทดสอบเนื่องจากแรงเสียดทานของจานหมุน ซึ่งให้ข้อมูลการทดสอบที่ถูกต้องแม่นยำกว่า ให้ข้อมูลมากกว่าชนิดเก่า เช่น ค่ามอดุลัสสูญเสีย (Loss modulus, E'') อัตราการเชื่อมโยง (cure rate) และ Phase angle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$T_{c(90)}$ = เวลาที่ใช้ในการเชื่อมโยงจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดที่มีการเชื่อมโยง 90% (M_{90})

นิยามเท่ากับเวลาที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการเชื่อมโยงยาง (Optimum curetime)

CRI = ดัชนีอัตราเร็วเชื่อมโยง (Cure rate index) คำนวณได้จากสมการ

$$\text{Cure rate index (CRI)} = 100 / (t_{c(90)} - t_{s2})$$

2.2.2 สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Accelerators)

สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง คือสารเคมีที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง ให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Crosslinking rate) เร็วขึ้น ทำให้เวลาการเชื่อมโยง (Cure time) เร็วขึ้นการเชื่อมโยงมีประสิทธิภาพมากขึ้น และก้ำมะกันปริมาณน้อยลง

สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยงสามารถแบ่งตามมาตรฐาน ASTM เป็น 6 กลุ่มดังนี้

1. ซัลเฟนาไมด์ (Sulfenamide)
2. ไทเอโซล (Thiazoles)
3. กัวนิดีน (Guanidines)
4. ไดไทโอคาร์บาเมต (Dithiocarbamates)
5. ไทยูเรมไดซัลไฟด์ (Thiuram disulfides)
6. ไทยูเรมชนิดอื่นที่ไม่ใช่ไดซัลไฟด์ (Thiuram other than disulfides)

ในการใช้งานสารเร่งในอุตสาหกรรมยาง อาจใช้สารเร่งมากกว่าหนึ่งชนิดรวมกัน สารเร่งที่ใช้ปริมาณมากกว่าจะเป็นสารเร่งหลักหรือสารเร่งปฐมภูมิ (Primary accelerators) ส่วนสารเร่งที่ใช้น้อยกว่าเรียกว่า สารเร่งทุติยภูมิ (Secondary accelerators) สารเร่งทั้งสองอาจเกิดปฏิกิริยาเสริมกันที่เรียกว่า “ปรากฏการณ์ซินเนยจิสติก” (Synergistic effects) ทำให้ได้อัตราการเชื่อมโยงที่มากกว่าสารเร่งแต่ละชนิดรวมกัน ในงานวิจัยนี้ใช้สารเร่ง 2 ชนิด คือ

1. CBS (N-cyclohexylbenzothiazole-2-sulfenamide)

เป็นสารเร่งที่อยู่ในกลุ่มซัลเฟนาไมด์ ซึ่งเป็นสารเร่งที่มีเวลาเริ่มเชื่อมโยง (Scorch time) ยาวกว่าไทเอโซล การใส่ซัลเฟนาไมด์เพิ่มขึ้น ทำให้ Scorch time สั้นลงบ้างแต่ทำให้เวลาเชื่อมโยง (Cure time) สั้นลงมากและมอดุลัสสูงขึ้นมา เนื่องจากซัลเฟนาไมด์มี Scorch time ยาว ทำให้เกิดการเชื่อมโยงในแม่แบบดี เพราะมีเวลาให้ยางไหลได้เต็มแม่แบบและไม่เหมาะแก่การเชื่อมโยงแบบร้อน แต่เมื่อนำซัลเฟนาไมด์ผสมกับเตตระเมทิลไทยูเรมโมโนซัลไฟด์ (tetramethyl thiuram monosulfide, TMTM) ทำให้เกิดการเชื่อมโยงได้เร็วขึ้น

2. TMTD (Tetramethyl thiuramdisulfide)

TMTD เป็นสารเร่งที่อยู่ในกลุ่มไทยูแรมไดซัลไฟด์ ซึ่งเกิดปฏิกิริยาเร็วที่สุดและนิยมใช้มากที่สุดในกลุ่มนี้ ยางใช้ไทยูแรมเป็นสารเร่งสามารถทำให้เกิดการเชื่อมโยงได้หลายวิธี เช่น ใช้เครื่องอบไอน้ำ และอากาศร้อน ซึ่งทำให้ยางเกิดการจับตัวก่อนที่จะเสียรูปในขณะที่เชื่อมโยง ในบางครั้งอาจใช้ไทยูแรมเป็นสารเร่งทุติยภูมิร่วมกับสารเร่งไทยเอโซลและซัลเฟนาไมด์ได้

2.2.3 สารกระตุ้นปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Activators)

สารกระตุ้นปฏิกิริยาเชื่อมโยง เป็นสารที่ทำหน้าที่กระตุ้นหรือเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยงอีกทีหนึ่ง สารกระตุ้นที่นิยมใช้มากที่สุดอุตสาหกรรมยางในปัจจุบันได้แก่ ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ร่วมกับกรดสเตียริก (Stearic acid) เนื่องจากมีราคาไม่แพงและมีประสิทธิภาพสูงในการทำงาน สามารถใช้ได้กับยางทั่วไป ซิงค์ออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับกรดสเตียริกเกิดเป็นซิงค์สเตียเรต (Zinc stearate) ซึ่งสามารถละลายในยางได้ และช่วยเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยงเนื่องจากเป็นซิงค์ไอออน (Zn^{2+}) ที่อยู่ในรูปที่ละลายได้ในยาง

2.2.3.1 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide, ZnO)

ซิงค์ออกไซด์เป็นสารกระตุ้นที่เป็นสารอนินทรีย์ที่สำคัญและนิยมใช้ เมื่อปริมาณซิงค์ออกไซด์เพิ่มขึ้น มอดุลัสจะเพิ่มขึ้น และปริมาณของซิงค์ออกไซด์ที่ให้มอดุลัสสูงสุดคือ มากกว่า 3 phr โดยทั่วไปจะใช้ปริมาณ 3-5 phr แต่ถ้าซิงค์ออกไซด์มีขนาดอนุภาคเล็ก สามารถใช้ในปริมาณ 1 phr ซึ่งจะทำให้ได้ยางที่มีมอดุลัสสูง และใส

2.2.3.2 กรดไขมัน (Fatty Acid)

กรดไขมันเป็นสารกระตุ้นอนินทรีย์ที่สำคัญ สำหรับสารเร่งการเชื่อมโยงบางตัว เช่น กรดสเตียริก กรดปาล์มมิติก กรดลอริค เป็นต้น กรดไขมันที่ใช้ส่วนมากเป็นของผลผสมของกรดอะลิฟาติก อิ่มตัว ที่มีคาร์บอน 12 ถึง 18 อะตอม ปริมาณการใช้กรดไขมันในยางขึ้นกับชนิดยาง ถ้ายางชนิดใดมีกรดไขมันอยู่แล้วไม่จำเป็นต้องใส่หรือใส่ปริมาณน้อย สำหรับยางธรรมชาติที่มีกรดไขมันอยู่ปริมาณเล็กน้อยซึ่งอยู่ในรูปกรดสเตียริก แต่กรดไขมันที่มีอยู่ในยางธรรมชาติมีปริมาณต่างกันมาก ซึ่งทำให้เวลาในการเชื่อมโยงต่างกัน ดังนั้นโดยทั่วไปปริมาณของกรดสเตียริกที่ใช้ในยางธรรมชาติ จะใช้ประมาณ 1-4 phr

2.2.4 สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antidegradant)

2.2.4.1 สารป้องกันออกซิเดชัน (Antioxidant)

เป็นสารที่ป้องกันการเสื่อมสภาพของยาง เนื่องจากยางเป็นสารอินทรีย์ที่เสื่อมสลายได้เมื่อตั้งทิ้งไว้หรือขณะใช้งาน ซึ่งออกซิเจนเป็นตัวการสำคัญในการเสื่อมสลายของยาง โดยที่โลหะหนัก ความร้อน แสง และความเครียดในยาง เป็นตัวเร่งให้เกิดการเสื่อมสลายเร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารป้องกันการออกซิเดชัน สามารถแบ่งตามสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็น 3 ชนิดคือ

1. สารประกอบเอมีนและอนุพันธ์
2. สารประกอบฟีนอลและอนุพันธ์
3. Imidazyl derivative

2.2.4.2 สารป้องกันไอโซน (Antiozonant)

เป็นสารที่ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไอโซนกับยาง ซึ่งจะทำให้เกิดรอยแตกที่เนื้อยางในแนวตั้งฉากกับทิศทางที่ดึงยาง เมื่อนำยางไปยืดไว้ในบรรยากาศแล้วทิ้งทิ้งไว้ระยะหนึ่งยางชนิดไม่อิ่มตัว เช่น ยางนิวไทล์ (NR) หรือยางอีพ็อกซี (EPR) สารป้องกันไอโซนที่ดีคือ P-Phenylene diamine (PPD) นอกจากนี้ยังพบว่าขี้ผึ้งปิโตรเลียม (Petroleum wax) ยังเป็นสารที่ใช้ป้องกันไอโซนได้ด้วย โดยปริมาณขี้ผึ้งที่ใช้ต้องมากพอที่จะซึมออกมาที่ผิว ซึ่งขี้ผึ้งที่ซึมออกมาที่ผิวจะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ไอโซนทำปฏิกิริยากับผิวยางมีความทนทานต่อไอโซน

2.2.5 สารตัวเติม (Fillers)

สารตัวเติมเป็นสารที่มีราคาถูก เทียบกับยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์ชนิดต่างๆ ซึ่งมีราคาแพง สามารถใช้ผสมในยางเพื่อปริมาณของยางผสมสูตรหรือผลิตภัณฑ์ยาง ซึ่งเป็นการลดต้นทุนการผลิต นอกจากนี้สารตัวเติมบางชนิดยังสามารถเสริมแรง (Reinforcement) ให้ยางโดยทำให้พอลิเมอร์ผสมสารตัวเติมมีความแข็งแรงสูงขึ้น

สารตัวเติมสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ

1. สารตัวเติมชนิดเสริมแรง (Reinforcing fillers) ทำหน้าที่เพิ่มปริมาณหรือลดต้นทุนการผลิต และช่วยเสริมแรงทำให้ความแข็งแรงของพอลิเมอร์สูงขึ้น สารตัวเติมชนิดเสริมแรงที่สำคัญ ได้แก่ เขม่าดำ (Carbon black) ซิลิกา (Silica) ฯลฯ
2. สารตัวเติมชนิดไม่เสริมแรง (Non-reinforcing fillers) ทำหน้าที่เพิ่มปริมาณหรือลดต้นทุนเพียงอย่างเดียว ไม่ช่วยเสริมแรงให้กับพอลิเมอร์ สารตัวเติมชนิดไม่เสริมแรง ได้แก่ แคลเซียม-คาร์บอเนต (CaCO_3) ดินขาว (Clay) ฯลฯ

2.2.5.1 เขม่าดำ (Carbon Black)

เขม่าดำเป็นสารตัวเติมที่นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากมีราคาถูก สามารถใส่เขม่าดำในยางได้ในปริมาณมาก (มากกว่า 50 phr) และที่สำคัญที่สุดคือสามารถช่วยเสริมแรงให้กับยางอย่างมาก นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความสามารถในการขึ้นรูป (Processibility) ของยางให้ง่ายขึ้นด้วย เช่น ลดความยืดหยุ่นของของไหล (Melt elasticity) ลดการหดตัว (Shrinkage) และการบิดเบี้ยว (Distortion) ของผลิตภัณฑ์ยางหลักการขึ้นรูป เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยของเขม่าดำที่มีผลต่อสมบัติการเสริมแรงได้แก่

1. ขนาด (Size) หรือพื้นที่ผิว (Surface area) ขนาดอนุภาคของเขม่าดำจะแปรผกผันกับพื้นที่ผิว สารตัวเติมยิ่งมีขนาดเล็ก ประสิทธิภาพการเสริมแรงยิ่งสูงขึ้น ทำให้ยางมีความแข็งแรงสูงขึ้น ความทนทานต่อการสึกหรอสูงขึ้น อย่างไรก็ตามเขม่าดำขนาดเล็ก การผสมเขม่าดำเข้ากับยางยิ่งทำได้ยากขึ้น

2. โครงสร้าง (Structure) ผลของโครงสร้างของเขม่าดำที่มีต่อยาง ส่วนใหญ่จะมีผลทางด้าน การแปรรูป เขม่าดำที่มีโครงสร้างสูง จะผสมกระจายในยางได้ดี ทำให้ยางที่ผ่านการอัดรีด (Extrusion) มีผิวเรียบ แต่ผสมในยางได้ปริมาณน้อยกว่าเขม่าดำที่มีโครงสร้างต่ำ

3. เคมีของพื้นผิว (Surface Chemistry) เขม่าดำประกอบด้วยคาร์บอนประมาณร้อยละ 90-99 ที่เหลือเป็นไฮโดรเจนและออกซิเจน นอกจากนี้ยังมีกำมะถันปริมาณน้อยปนอยู่ด้วย สารเหล่านี้จะให้ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของเขม่าดำต่างกัน ซึ่งมีผลต่ออัตราการเชื่อมโยง เขม่าดำที่มีความเป็นด่างจะเกิดการเชื่อมโยงเร็วกว่าเขม่าดำที่มีความเป็นกรด

4. ความเป็นรูพรุน ความเป็นรูพรุนในเขม่าดำจะมีผลต่ออัตราการอัตราการเชื่อมโยง เพราะรูพรุนนี้จะดูดสารเร่งเข้าไปทำให้การเชื่อมโยงช้าลง

2.2.5.2 ผลของเขม่าดำต่อสมบัติของยาง

1. ความแข็งแรงดึง เขม่าดำเกือบทุกตัวทำให้ความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น โดยที่เขม่าดำปริมาณ 40-50 phr จะให้ความแข็งแรงดึงสูงสุด

2. ความทนทานต่อการขีดถู ขนาดอนุภาคของเขม่าดำมีผลอย่างมากต่อความทนทานต่อการขีดถู ความทนทานต่อการขีดถูจะเพิ่มขึ้น เมื่อขนาดอนุภาคของเขม่าดำเล็กลง โดยที่ปริมาณเขม่าดำ 60 phr จะให้ความทนทานต่อการขีดถูสูงสุด

3. ความแข็งกด (Hardness) ความแข็งกดจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณเขม่าดำ และถ้าขนาดอนุภาคของเขม่าดำลดลง ความแข็งกดจะเพิ่มขึ้น เขม่าดำจะทำให้ความทนทานต่อการฉีกขาดจะลดลง

2.2.6 สารช่วยกระบวนการผลิต (Processing Aids)

สารช่วยกระบวนการผลิต (Processing aids) คือสารเคมีที่ผสมในยางเพื่อช่วยให้กระบวนการผลิตง่ายขึ้น มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้ใช้เวลา และพลังงานในการผลิตน้อยลง นอกจากนี้ยังช่วยในการกระจายตัวของสารเติมแต่งต่างๆในยาง เพิ่มความสม่ำเสมอหรือเป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้มีอัตราเร็วในการผลิตสูงขึ้น ปกติใช้ในปริมาณร้อยละไม่เกิน 5 phr .

2.2.6.1 เปปไทเซอร์ (Peptizers)

เปปไทเซอร์ หรือสารตัดสายโซ่ ทำหน้าที่ช่วยเร่งปฏิกิริยาการขาดของสายโซ่ของยางทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลง เป็นผลให้ความหนืดของยางลดลง เกิดการผสมได้ง่ายขึ้น นิยมใช้เพื่อลดเวลาการบด (Mastication) โดยเฉพาะยางดิบที่แข็งเนื่องจากมีน้ำหนักโมเลกุลมาก เช่น ยางธรรมชาติ (NR) ปริมาณเปปไทเซอร์ที่ใส่ประมาณ 1-3 phr เช่น กรดซัลฟอนิก (Sulfonic acid) เพนตะคอลลอโรไทโอฟินอล (Pentachlorothiophenol) เป็นต้น

2.2.6.2 พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers)

ใส่เพื่อเพิ่มความนิ่มให้กับยาง ช่วยลดความหนืด ทำให้ขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น พลาสติไซเซอร์เป็นสารโมเลกุลเล็กที่แทรกตัวอยู่ระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้สายโซ่โมเลกุลเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้นทำให้วัสดุมีสมบัติความยืดหยุ่นเป็นยางดีขึ้น นิ่มตัวขึ้น พลาสติไซเซอร์ที่ดีต้องเข้ากันได้ดีกับยางไม่แพร่ออกมาที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ เช่น กรดไขมัน (Fatty acid) น้ำมัน (Oils) สารจำพวกเอสเทอร์ (Esters) น้ำมันสน (Pine) ฯลฯ

2.2.7 สารให้ฟอง (Blowing Agent)

สารให้ฟองคือ สารที่ใส่เข้าไปในยาง เมื่อให้ความร้อนแกยางในขณะทำการเชื่อมโยงโมเลกุลของสารให้ฟองจะสลายตัวให้ก๊าซออกมาซึ่งทำใหยางเกิดรูพรุนในรูปของฟองน้ำ (Sponge) หรือยางรูพรุนขนาดเล็ก (Micro-cellular rubber)

สารให้ฟองที่ดีมีลักษณะดังนี้คือ

- ควรปล่อยก๊าซ ออกมาในช่วงอุณหภูมิแคบและแน่นอน เพื่อสามารถควบคุมได้ง่าย และรวดเร็วพอสมควร
- ก๊าซที่ให้ออกมาไม่ควรกัดกร่อนโลหะ เช่น ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ควรเป็นก๊าซไนโตรเจน หรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
- สามารถกระจายและละลายในยางได้ดี
- มีเสถียรภาพที่อุณหภูมิสูง
- ไม่มีผลต่ออัตราการเชื่อมโยงยาง
- ไม่ควรทำให้ยางหดตัวหรือยุบตัวภายหลังการเชื่อมโยง
- ราคาถูก

สารให้ฟองสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

1. สารให้ฟองชนิดอนินทรีย์ สารอนินทรีย์ส่วนใหญ่ที่ใช้คือ โซเดียมไบคาร์บอเนต แอมโมเนียมไบคาร์บอเนต และแอมโมเนียมคาร์บอเนต ซึ่งสารทั้งสามชนิดนี้จะให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ปัจจุบันนิยมใช้โซเดียมไบคาร์บอเนตมากที่สุด เนื่องจากแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอมโมเนียคาร์บอนเนตเมื่อสลายตัวจะให้ก๊าซแอมโมเนียและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นต่าง และกรดตามลำดับ ก๊าซเหล่านี้ถ้าหากเก็บอยู่ในยางจะรวมตัวกันได้ ดังนั้นโอกาสของยางที่ขยาย ตัวจะยุบตัวกลับเล็กน้อยก็ได้ นอกจากนี้ความเป็นต่างทำให้ยางเกิดการเชื่อมโยงเร็วขึ้น

2. สารให้ฟองชนิดอินทรีย์ ปัจจุบันจะใช้สารให้ฟองชนิดอินทรีย์เกือบทั้งหมด เนื่องจาก สารอินทรีย์สามารถละลายในยางได้ดี ทำให้การกระจายของสารให้ฟองเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ฟองอากาศที่อยู่ในยางก็จะกระจายทั่วถึงกันตลอด สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มตามโครงสร้างดังนี้

- สารประกอบเอโซ (Azo Compounds) เช่น Diazoamino-Compounds, Azonitrile และ Azodicarbonamide (AZ)
- อนุพันธ์ของไฮดราซีน (Hydrazine Derivatives) เช่น Benzenesulfohydrazide (BSH), Benzene-1,3-disulfohydrazide, Diphenyloxide-4,4'-disulfohydrazide และ p-Toluenesulfonic acid hydrazid
- สารประกอบไนโตรโซ (N-Nitroso Compounds) เช่น N,N'-Dinitrosopentamethyl ene tetramine (DNPT) และ N,N'-Dimethyl-N,N'-Dinitrosophthalamide

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างชนิดของสารให้ฟองที่เหมาะสมกับการใช้งานต่างๆ [8]

	Benzene-sulfo-hydrazide	Benzene1,3-disulfo-hydrazide	Dinitrosopen-tamethylene tetramine	Azodicarb-onamide
กระบวนการเกิดฟองก๊าซก่อนการเชื่อมโยง				
ยางฟองน้ำ	ดีมาก	ดี	ใช้ได้	ไม่แนะนำให้ใช้
พื้นรองเท้าแตะ	ดีมาก	ดีมาก	ใช้ได้	ไม่แนะนำให้ใช้
ยางฟองน้ำเซลล์ปิด ¹⁾	ดีมาก	ดี	ใช้ได้	ใช้ได้
ยางฟองน้ำเซลล์ปิด ²⁾	ใช้ได้	ดี	ดีมาก	ดีมาก
กระบวนการเกิดฟองก๊าซหลังการเชื่อมโยง				
ยางรูปพุนขนาดเล็กชนิดนิ่ม ³⁾	ดีมาก	ดี	ดีมาก	ดีมาก
พื้นรองเท้าที่มีรูปพุน	ดีมาก	ดี	ดีมาก	ดี
พื้นรองเท้าที่มีรูปพุนขนาดเล็กชนิดแข็ง ⁴⁾	ใช้ได้	ดีมาก	ดีมาก	ดี
ยางอีโบนีที่มีรูปพุน	ดีมาก	ดี	ดี	ใช้ได้
ชนิดของรูปพุน	ละเอียดมากจนมองไม่เห็นรูปพุน	มองเห็นรูปพุน	ละเอียดมากจนมองไม่เห็นรูปพุน	ละเอียดมาก

¹⁾ เชื่อมโยงโดยใช้อากาศร้อน

³⁾ ความหนาแน่นประมาณ 0.3 g/cm³

²⁾ เชื่อมโยงโดยใช้เกลือเหลวหรือความถี่สูง

⁴⁾ คล้ายหนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Azocarbonamide (AZ)

AZ เป็นสารให้ฟองซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดฟองทางเคมีที่นิยมใช้มากที่สุดชนิดหนึ่งเนื่องจากสลายตัวให้ก๊าซไนโตรเจนไม่มีสารพิษเกิดหลังจากการสลายตัว ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนสีไม่ทำให้เกิดการเผาไหม้ สามารถทำให้เกิดการสลายตัวได้ง่าย ซึ่งเอโซไดคาร์โบนาไมด์จะเกิดการสลายตัวในช่วง อุณหภูมิ 205-215°C ให้ก๊าซประมาณ 220 cm³/g โดยอนุภาคขนาดเล็กจะสลายตัวได้เร็วกว่าอนุภาคขนาดใหญ่

เอโซไดคาร์โบนาไมด์มีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.4 ผลิตโดยปฏิกิริยา Dihydrazinesulfate และ Urea ภายใต้อุณหภูมิและความดันสูงที่สุด ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยานี้จะถูกออกซิไดซ์ต่อไปโดยให้ Sodium chlorate และบั่นทอนจะเกิดเป็นลักษณะของแข็งที่ละลายในของเหลวจากนั้นจะล้างเพื่อกำจัดสิ่งเจือปนออกไปและอบให้แห้งจะได้ผงของเอโซไดคาร์โบนาไมด์



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของไดเอโซคาร์โบนาไมด์ (AZ)

ปฏิกิริยาในขบวนการผลิต AZ [7]



ปฏิกิริยาสลายตัวของเอโซไดคาร์โบนาไมด์แสดงดังนี้



2.2.8 สารกระตุ้นปฏิกิริยา (Activator)

สารกระตุ้นปฏิกิริยา (Activator) หรือ คิกเกอร์ (Kicker) เป็นสารที่ทำหน้าที่กระตุ้นปฏิกิริยาของสารให้ฟอง โดยช่วยลดช่วงอุณหภูมิการทำงานของสารให้ฟอง และทำให้ง่ายต่อการควบคุมอุณหภูมิการสลายตัวของสารให้ฟอง คิกเกอร์มีหลายชนิด การเลือกใช้คิกเกอร์ให้เหมาะสมกับการใช้งานนั้นมีความสำคัญมาก ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการเลือก ได้แก่ ชนิดของสารให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟอง สภาพะของการใช้งาน ความสามารถในการผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเมอร์หรือความเข้ากันได้ (Compatibility) ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับพอลิเมอร์และสารตัวเติมต่างๆ เป็นต้น คิกเกอร์เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาที่ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิการสลายตัวของสารให้ฟองได้ง่ายขึ้น เป็นผลให้สามารถใช้งานสารให้ฟองได้ในช่วงอุณหภูมิการสลายตัวที่กว้าง และสามารถใช้งานได้กับสารให้ฟองหลายชนิด

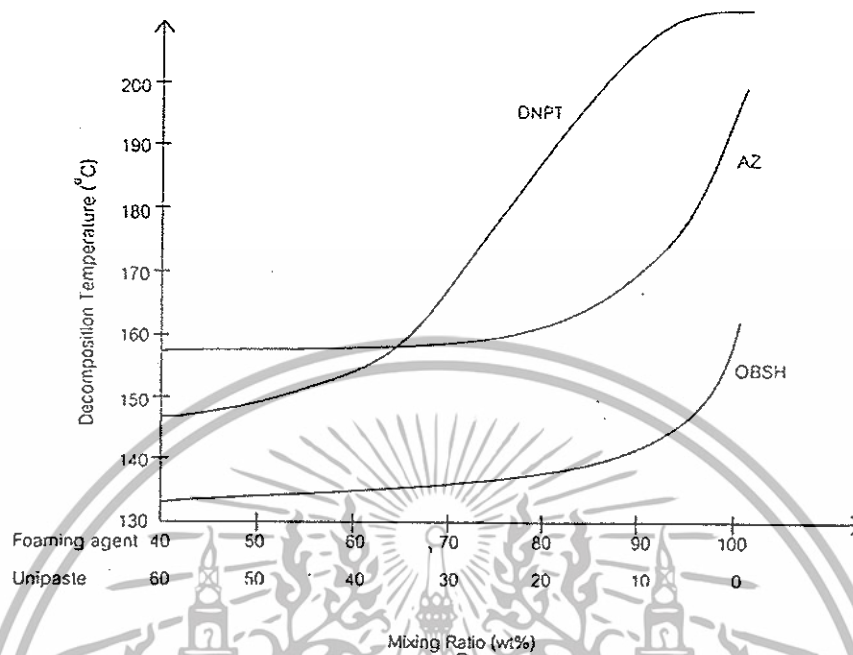
คิกเกอร์ที่ใช้งานกับสารให้ฟองชนิด DNPT มีหลายชนิด ได้แก่

- สารที่เป็นกรด เช่น กรดซาลิไซลิก และกรดพาทาลิก ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีกลิ่น และกรดทำให้ยางเกิดการเชื่อมโยงช้าลง

- สารที่เป็นด่าง เช่น ยูเรีย และสารผสมที่มียูเรีย ซึ่งทำให้ยางเกิดการเชื่อมโยงเร็วขึ้น

- สารที่เป็นกลาง เช่น ไดเอทิลีนไกลคอล และพอลิเอทิลีนไกลคอล การใช้สารที่เป็นกลาง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีกลิ่น และยางเกิดการเชื่อมโยงเร็วขึ้น

ยูเรียเป็นคิกเกอร์ที่นิยมใช้กับสารให้ฟอง DNPT เนื่องจากทำให้อุณหภูมิการสลายตัวของ DNPT เหมาะสมกับกระบวนการผลิต ช่วยกระตุ้นอัตราการเชื่อมโยง (มีสมบัติเป็นด่าง) ทำให้ลดปริมาณของสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยง (Accelerator) นอกจากนี้ยังทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีขาวกว่าการใช้สารให้ฟองเพียงอย่างเดียว ซึ่งเป็นการช่วยลดปริมาณพิษทาเนียมไดออกไซด์ (สารที่ให้สีขาว) ที่ใช้ในยาง นอกจากนี้ยังช่วยลดปัญหาเรื่องกลิ่นที่เกิดจากการใช้ DNPT ผลการกระตุ้นปฏิกิริยาของยูเรียต่อสารให้ฟอง AZ, DNPT และ p,p-Oxybis (benzenesulfonyl hydrazide) (OBSh) แสดงดังรูปที่ 2.4 [7]



รูปที่ 2.4 ผลการกระตุ้นปฏิกิริยาของ Unipaste[®] (ยูเรีย) ต่อสารให้ฟอง AZ, DNPT และ OBSH [7]

2.3 ผลิตภัณฑ์ยางที่มีรูพรุน (Cellular Rubber) [9]

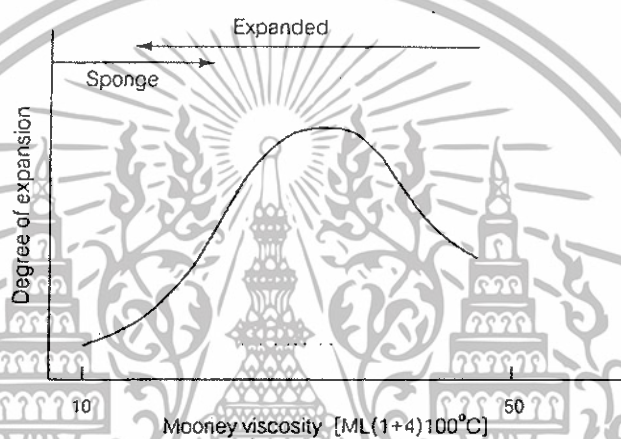
ผลิตภัณฑ์ยางที่มีโครงสร้างเซลล์เป็นรูพรุนแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1. Foam rubber
2. Sponge rubber
3. Expanded rubber (Micro cellular rubber)

Foam rubber เป็นผลิตภัณฑ์ยางที่ผลิตจากน้ำยาง มีโครงสร้างเซลล์ติดต่อกัน (Open cellular structure) เช่น ยางฟองน้ำ (Latex foam) ส่วน Sponge rubber และ Expanded rubber เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากยางแห้ง แต่ต่างกันที่โครงสร้างเซลล์ของ Sponge rubber จะติดต่อกัน ส่วน Expanded rubber มีโครงสร้างเซลล์ไม่ติดต่อกัน (Closed cellular structure) ในการทำให้เกิดรูพรุนภายใน Sponge rubber และ Expanded rubber จะทำโดยใส่สารให้ฟองซึ่งแตกตัวให้ก๊าซออกมาเมื่อได้รับความร้อน การขยายตัวของ Sponge rubber และ Expanded rubber จะขึ้นอยู่กับความหนืด (Viscosity) ของยาง สูตรยางที่ใช้ในการผลิต Sponge rubber และ Expanded rubber จะต้องมีความหนืดต่ำ ความหนืดที่เหมาะสมจะทำให้การขยายตัวของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก๊าซสมบูรณ์ และเมื่อเวลาผ่านไปความหนืดของยางจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงที่ความหนืดต่ำ ยางมีความแข็งแรงต่ำทำให้ฟองก๊าซเกิดการรวมตัวกันหลุดออกจากยางและเกิดการสลายตัวในที่สุด ทำให้ยางมีโครงสร้างแบบเปิดและความหนาแน่นสูงขึ้น ที่ความหนืดสูง ยางมีความแข็งแรงพอที่จะรักษาโครงสร้างของฟองก๊าซ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างแบบปิด แต่ถ้ายางมีความหนืดสูงมาก ฟองก๊าซจะถูกควบคุมให้อยู่ภายในยาง ซึ่งทำให้การขยายตัวของก๊าซลดลง ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับระดับการขยายตัวของก๊าซ แสดงดังรูปที่ 2.5 [9]



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับระดับการขยายตัวของก๊าซ [9]

สิ่งสำคัญในการผลิต Sponge rubber และ Expanded rubber คือ ชนิดของสารให้ฟอง โดย Sponge rubber จะใช้โซเดียมไบคาร์บอเนต นอกจากนี้ยังสามารถใช้สารที่ให้ไนโตรเจน ส่วน Expanded rubber จะใช้สารที่ให้ไนโตรเจนเท่านั้น อุณหภูมิการสลายตัวของสารให้ฟองและอุณหภูมิการเชื่อมโยงจะต้องสมดุลกัน นอกจากนี้สถานะการผสมก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ ซึ่งขึ้นกับชนิดของพอลิเมอร์ ความหนืดของพอลิเมอร์ ปริมาณสารทำให้มีม ปริมาณสารตัวเติม ระบบการเชื่อมโยง และชนิดสารให้ฟอง

2.4 ผงยางรถยนต์ (Ground Rubber Tire, GRT) [10]

ผงยางเป็นวัตถุดิบส่วนหนึ่งได้ระหว่างกระบวนการผลิตยางรีเคลม (Reclaimed rubber) โดยผงยางที่ทำการผลิตส่วนใหญ่จะได้จากยางรถยนต์ที่เสื่อมสภาพ และมีบางส่วนที่เป็นของเสียในกระบวนการผลิตนั้น สามารถผลิตได้ 2 วิธี คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 การบดที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic Grinding)

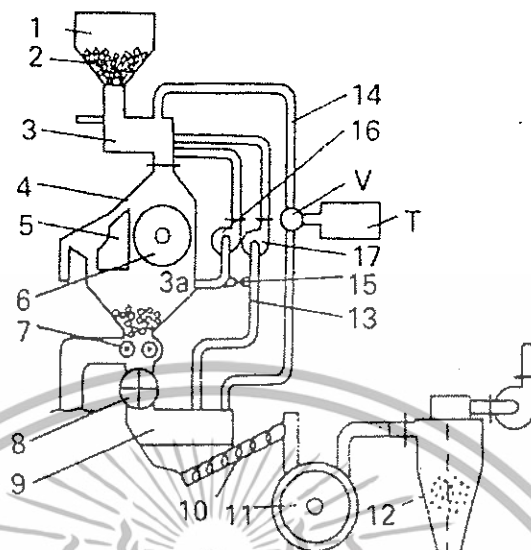
เทคนิคนี้สามารถทำได้โดยทำให้ยางมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) โดยแช่ยางที่เชื่อมโยงแล้วในไนโตรเจนเหลว จากนั้นบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด และลูกกลมโลหะ (Ball mill) จะได้ผงยางที่มีขนาดอนุภาคประมาณ 30 – 100 ไมครอน ขนาดอนุภาคผงยางที่ได้ขึ้นอยู่กับเวลาที่แช่ในไนโตรเจนเหลว และขนาดของตะแกรงร่อน (Screen) ที่อยู่ในเครื่องบด โดยทั่วไปราคาของผงยางจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคเล็กลง มีรายงานว่ามีการใช้ผงยางประมาณ 5 – 10 phr ในยางล้อรถโดยสาร และรถบรรทุก

การแปรรูปและการผสมผงยาง

ผงยางชนิดนี้เหมาะสมกับการใช้งานชนิดพิเศษ ซึ่งสามารถแปรรูปได้หลายลักษณะดังนี้

- การอัดรีด (Extrusion) การใช้ผงยางขนาด 80 – 100 ไมครอน สามารถแก้ปัญหาเรื่องรอยแตกและผิวขรุขระ ส่วนขนาดอนุภาค 50 – 60 ไมครอน ก็สามารถใช้ได้ขึ้นอยู่กับความต้องการความเรียบของผิวผลิตภัณฑ์ ปริมาณสูงสุดที่ใช้ประมาณ 5%
- การรีดแผ่น (Calendering) การใช้ผงยางขนาด 80 – 100 ไมครอน จะทำให้ผลิตภัณฑ์ขนาด 0.06 นิ้วหรือน้อยกว่า มีผิวเรียบสูงสุด ถ้าไม่ต้องการความเรียบของผิวสามารถใช้ขนาด 30 – 60 ไมครอน ปริมาณสูงสุดที่ใช้ประมาณ 10%
- การอัดขึ้นรูป (Molding) สามารถใช้ผงยางได้ทุกขนาด เนื่องจากช่วยในการไล่อากาศที่ขังในยางขณะขึ้นรูป
- การไหลขณะขึ้นรูป (Mold flow) โดยทั่วไปผงยางจะช่วยปรับปรุงการไหลขณะอัดขึ้นรูป เกิดการหดตัว (Shrinkage) น้อย การหดตัวลดลงเมื่อปริมาณผงยางเพิ่มขึ้น

เครื่องมือในการผลิตผงยางชนิดนี้มีราคาถูก ค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำ ผลผลิตเพิ่มขึ้น และมีพฤติกรรมการไหลดีกว่าผงยางที่บดที่อุณหภูมิห้อง (Ambient grinding) สถาบันวิทยาศาสตร์ยางของผงยาง ทำให้สามารถกำจัดอากาศที่ขังอยู่ในยางที่ยังไม่เกิดการเชื่อมโยงออกไปได้ง่าย โดยเฉพาะยางล้อรถ ซึ่งมีแนวโน้มลดลงของการพองหลังจากเกิดการเชื่อมโยง และผงยางจะถูกออกซิเดชันที่ผิวน้อยลง เนื่องจากมีพื้นที่ผิวน้อย ซึ่งแตกต่างจากผงยางที่บดที่อุณหภูมิห้องที่มีพื้นที่ผิวสูง (10 – 30 ไมครอน) [11-13]

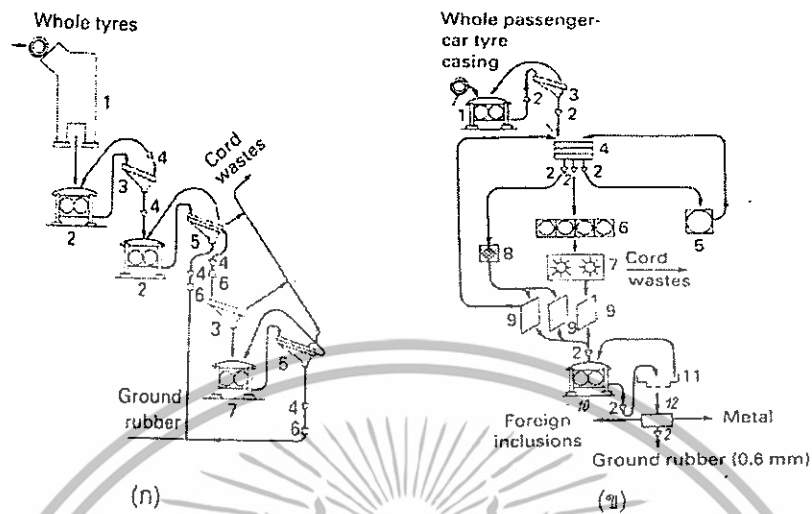


รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการบดขางที่อุณหภูมิต่ำ [11-13]

2.4.2 การบดที่อุณหภูมิห้อง (Ambient Grinding)

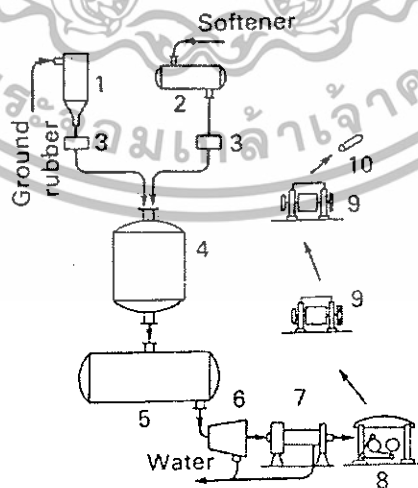
สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ

1. การบดที่อุณหภูมิห้องแบบแห้ง (Dry ambient grinding) การผลิตจะทำโดยนำขางที่เกิดการเชื่อมโยงแล้ว บดด้วยเครื่องบดฟันปลา (Serrated grinder) ได้ผงขางที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ประมาณ 10-30 ไมครอน และเกิดกิง (Pendant) ขึ้นที่ผิวจำนวนหนึ่งทำให้เกิดการเกี่ยวพันกับขางดิบได้ดี ส่วนใหญ่ใช้ในยางล้อและผลิตภัณฑ์ทางวิศวกรรม โดยทั่วไปจะให้ประมาณ 5-20 phr เมื่อขนาดอนุภาคผงขางเพิ่มขึ้น ความเรียบของผิวผลิตภัณฑ์จะลดลง ถึงแม้จะมีชื่อตามวิธีการผลิตว่า "การบดที่อุณหภูมิห้อง" แต่ในทางปฏิบัติจะให้ความร้อนในระหว่างการผลิต การให้ความร้อนสูงจะทำให้สายโซ่โมเลกุลขางเกิดการสลายตัว [14]



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างการบดยางที่อุณหภูมิห้องแบบแห้ง [14]

2. การบดที่อุณหภูมิห้องแบบเปียก (Wet ambient grinding) เป็นวิธีที่ปรับปรุงการบดที่อุณหภูมิห้องแบบแห้ง ซึ่งลดขนาดอนุภาคผงยางโดยการบดในน้ำ ขนาดอนุภาคขึ้นกับเวลาที่ใช้ในการบด อนุภาคผงยางที่ได้มีขนาด 400-500 ไมครอน ข้อดีของขนาดอนุภาคเล็กคือทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปโดยวิธีการอัดรีดและการรีดแผ่นมีผิวเรียบ [14]

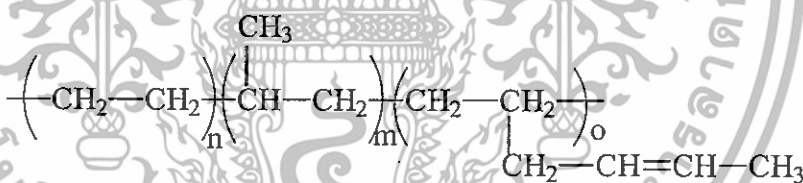


รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการบดยางที่อุณหภูมิห้องแบบเปียก [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ยางเอทิลีนพรอพิลีน (Ethylene-Propylene Rubber, EPM and EPDM)

ยางเอทิลีนพรอพิลีน มีสองชนิดคือ ยางอีพีเอ็ม (EPM) และยางอีพีดีเอ็ม (EPDM) "EPDM" อักษร "D" มาจาก "Diene" ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ร่วมชนิดที่สามในโครงสร้างทำให้เกิดความไม่อิ่มตัวในโครงสร้าง เป็นโครงสร้างที่ใส่ขึ้นเพื่อช่วยให้ง่ายในการเชื่อมโยงเนื่องจากยาง EPM อิ่มตัว ไม่มีพันธะคู่ ดังนั้นจึงไม่สามารถเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน (Sulfur, S) เหมือนยางทั่วๆไป จึงต้องเชื่อมโยงด้วยสารประเภทเปอร์ออกไซด์ (Peroxide) ซึ่งแพง ยุงยาก ช้ำ และไม่สะดวกในการผลิต ดังนั้นจึงมีการใส่มอนอเมอร์ชนิดที่สามประเภทไดอีนชนิดไม่คอนจูเกต (Nonconjugated diene) ที่มีพันธะคู่สองพันธะที่ไม่สลับกัน การที่มีพันธะคู่สองพันธะเมื่อใช้พันธะหนึ่งในการพอลิเมอร์ไรซ์เกิดพอลิเมอร์ร่วมกันยังเหลือพันธะคู่ที่ไม่อิ่มตัวอีกหนึ่งพันธะอยู่ "ภายนอก" สายโซ่หลัก ทำให้เกิดพอลิเมอร์ร่วมชนิดที่สาม (Terpolymer) ในปริมาณเล็กน้อยในโครงสร้างเป็นโครงสร้างที่ไม่อิ่มตัวดังรูปที่ 2.9 ใช้เป็นตำแหน่งเชื่อมโยง (Crosslinking sites) ของยาง EPDM สามารถเชื่อมโยงด้วยกำมะถันเหมือนกับยางชนิดอื่นๆ เนื่องจากโครงสร้างที่ไม่อิ่มตัวนี้ไม่ได้อยู่ภายในสายโซ่หลัก (Polymer backbone) แต่อยู่ที่หมู่ข้าง (Side groups) ดังนั้นยางชนิดนี้จึงยังคงมีความทนทานต่อโอโซน และดินฟ้าอากาศดีเช่นเดียวกับยาง EPM [5]



รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างทางเคมีของ EPDM [5]

2.6 เครื่องอัดรีดสำหรับยาง (Rubber Extruder) [11-13]

เครื่องอัดรีดสำหรับยางเป็นเครื่องมือที่ผลักยางหรือต้นยาง ให้ผ่านช่องแฉกแม่แบบ (Die) เพื่อให้ได้ยางที่มีรูปร่างตาม Die ซึ่งเครื่องอัดรีดสำหรับยางจะเป็นแบบเกลียวหนอนเดี่ยวเท่านั้น และมักจะออกแบบให้ยาวกว่าเครื่องอัดรีดประเภทอื่น

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องอัดรีด คือ

1. กระบอกใส่เกลียวหนอน (Barrel) ทำหน้าที่อุ่นยางให้มีอุณหภูมิตามต้องการโดยมีการหล่อ น้ำ ไขมัน หรือก๊าซของเหลวอื่น เพื่อให้สามารถควบคุมอุณหภูมิตามต้องการได้ การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

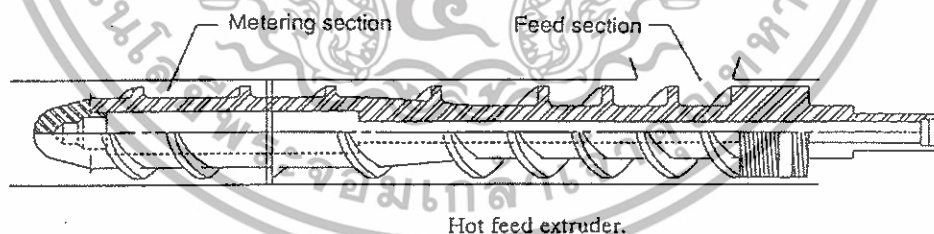
ป้อนยาง เข้าไปในกระบอกจะต้องสม่ำเสมอ เพื่อให้ยางถูกอัดรีดออกมาได้สม่ำเสมอ ขนาดของยางหรือความกว้างของแถบยางเป็นสิ่งสำคัญที่จะกำหนดการป้อนยาง การเพิ่มขนาดของยางเข้ามากเกินไปเมื่อถึงจุดๆหนึ่งเครื่องจะเกิดการอุดตัน (Choke) ตรงส่วนเข้าได้ ทำให้การส่งยางเข้าเกลียวหนอนขาดตอน ทำให้ได้ผลผลิตไม่สม่ำเสมอ

2. เกลียวหนอน (Screw) ทำหน้าที่ส่งผ่านยางเข้าไปในเครื่อง เกลียวหนอนมีอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (L:D) ตามชนิดของเครื่องคือ

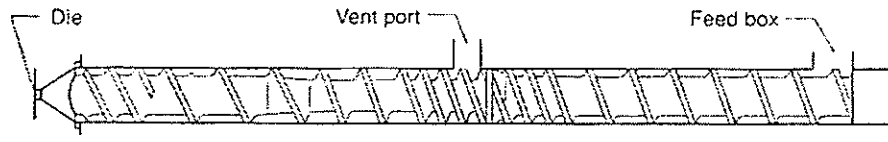
- Hot feed extruder เป็นเครื่องอัดรีดแบบป้อนยางในขณะร้อน (ใช้ยางที่ออกจากเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้งในขณะร้อน) มี L:D เท่ากับ 4:1-6:1 แสดงดังรูปที่ 2.10 [13]

- Cold feed extruder เป็นเครื่องอัดรีดแบบป้อนยางในขณะเย็น มี L:D เท่ากับ 10:1-15:1 ใช้สำหรับการป้อนยางเย็น ซึ่งต้นทุนค่าใช้จ่ายของเครื่องมือถูกกว่า การควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้นดีกว่า และค่าแรงงานลดลง เมื่อเทียบกับ Hot feed extruder แสดงดังรูป 2.11 [13]

เกลียวหนอนสำหรับยางจะมีร่องลึก (flight depth) ประมาณ 1:6D-1:10D ร่องยิ่งตื้นยิ่งทำให้ยางสามารถรับความร้อนจากกระบอกได้ง่ายและมีแรงเฉือนเกิดขึ้นสูง ถ้าตื้นเกินไปอาจทำให้ยางเกิดการเชื่อมโยงก่อนกำหนด (Scorch) ในกระบอกได้ง่าย ไม่เหมือนกับเกลียวหนอนของเครื่องอัดรีดพลาสติก ซึ่งมีร่องลึกประมาณ 1:10D-1:30D เพื่อให้ถ่ายเทความร้อนได้ดีและไม่เกิดการเชื่อมโยงก่อนกำหนด



รูปที่ 2.10 เครื่องอัดรีดแบบป้อนยางร้อน (Hot feed extruder) [13]



รูปที่ 2.11 เครื่องอัดรีดแบบป้อนยางเย็น (Cold feed extruder) [13]

3. ช่องแคบแม่แบบหรือตาย (Die) เป็นส่วนที่กำหนดรูปร่างของยางที่อัดรีดออกมา โดยยางที่ถูกอัดรีดออกมาอาจมีการขยายตัวมากกว่า Die เรียกว่าปรากฏการณ์นี้ว่า Die swell ซึ่งสามารถควบคุมให้ Die swell ลดลงได้โดย

- ลดอัตราความเร็วในการอัดรีด
- เพิ่มอุณหภูมิของยาง
- เพิ่มความยาวของ Die
- เพิ่มความเร็วในการดึงยางออกจากเครื่องอัดรีด

ในการผลิตผลิตภัณฑ์จากกระบวนการอัดรีด จะต้องมีการเผื่อขนาดของ Die ให้เล็กกว่าผลิตภัณฑ์รวมทั้งอาจต้องเปลี่ยนรูปทรงของ Die เพื่อชดเชยปรากฏการณ์ Die swell

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Pramanik P.K. และ Baker W.E. (1995) [15] ได้นำผงยางรถยนต์ขนาด 40 และ 80 เมช มาผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำแบบเชิงเส้น (LLDPE) เพื่อปรับปรุงสมบัติความทนแรงกระแทกโดยใช้เอทิลีนอะคริลิกแอซิด (Ethylene-acrylic acid) และยางธรรมชาติแบบอีพอกซีไดร์ (Epoxydized natural rubber) เป็นสารช่วยผสม พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของยางธรรมชาติแบบอีพอกซีไดร์หรือใช้ผงยางรถยนต์ขนาดเล็ก จะทำให้สมบัติความทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเติมไดควิมิลเปอร์ออกไซด์กับไทแรลลิลไซยานูเรต (Tirallyl cyanurate) จะทำให้สมบัติความทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

Balogh G. และ Samay G. (1996) [16] ศึกษาการนำยางล้อรถที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้เป็นส่วนผสมในการทำยางด้านข้าง (Sidewall) และ หน้ายาง (Tread) ของล้อรถบรรทุก ชนิดของยางที่ศึกษา คือ IR:SBR และ BR:SBR ส่วนยางล้อรถที่ใช้แล้วที่นำมาศึกษามี 3 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ ผงยางที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร ยางรีไซเคิลที่เตรียมโดยวิธีการตัดแยก (Classical method) และผงยางที่ผ่านกระบวนการตัดการเชื่อมโยง เมื่อเปรียบเทียบปริมาณที่ใช้พบว่าผงยางทุกชนิดทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลต่ำกว่าการไม่ใส่ผงยาง โดยที่การใช้ยางรีไซเคิลปริมาณน้อย จะทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการไม่ใส่ ส่วนการใช้ผงยางที่ผ่านกระบวนการตัดการเชื่อมโยงในปริมาณมากจะทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลดีกว่าการใช้ปริมาณน้อย

Kowalska E. และ Wielgosz Z. (1997) [17] ศึกษาการผลิตท่อน้ำซึมที่เตรียมจากพอลิเอทิลีนและผงยาง โดยใส่สารให้ฟองและสารช่วยผสม ผ่านกระบวนการอัดรีดที่มีหัวแม่แบบชนิดพิเศษ (Specially designed head) พบว่าเมื่อปริมาณพอลิเอทิลีนเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของท่อลดลง ส่วนสมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้น และเมื่อปริมาณสารให้ฟองเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นและสมบัติเชิงกลจะลดลง จากการศึกษาการซึมผ่านของน้ำ พบว่าความดันน้ำเป็นปัจจัยหลักในการควบคุมอัตราการซึมผ่านของน้ำ และอัตราการซึมผ่านของน้ำจะแปรผกผันกับความยาวท่อ เนื่องจากความดันน้ำจะลดลงตามความยาวท่อที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อปริมาณพอลิเอทิลีนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 35 เป็นร้อยละ 40 อัตราการซึมผ่านของน้ำเพิ่มขึ้น ส่วนที่ปริมาณพอลิเอทิลีนร้อยละ 45 อัตราการซึมผ่านของน้ำลดลง แต่สูงกว่าที่ปริมาณพอลิเอทิลีนร้อยละ 35

ชลดา เลวิช และ สาโรช ช่างชุม (1998) [18] ศึกษาชนิดและปริมาณสารให้ฟอง และสารกระตุ้นปฏิกิริยา (Kicker) ในยาง พบว่าสารให้ฟอง Azodicarbonamide (AZ) มีอุณหภูมิการสลายตัวสูง คือ ประมาณ 190-240 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถทำให้อุณหภูมิการสลายตัวลดลงได้ โดยการใช้ AZ ร่วมกับสารให้ฟองชนิดอื่นที่มีอุณหภูมิการสลายตัวต่ำกว่า และการใช้สารกระตุ้นปฏิกิริยา AZ ร่วมกับสารให้ฟอง Dinitrosopentamethylene tetramine (DNPT) และ p,p'-Oxybis(benzenesulfohydrazide) (OBSh) จะทำให้อุณหภูมิการสลายตัวลดลงมาอยู่ที่ 150-180 องศาเซลเซียส และ 120-135 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยที่ปริมาณก๊าซลดลงเล็กน้อย ส่วนการใช้คิกเกอร์จะทำให้อุณหภูมิจการสลายตัวลดลงเหลือประมาณ 130-145 องศาเซลเซียส แต่ปริมาณก๊าซลดลงอย่างชัดเจน เมื่อศึกษาการขยายตัวของยางโดยใช้เครื่อง Dynamic mechanical analyzer (DMA) พบว่าการขยายตัวของยาง นอกจากจะขึ้นกับปริมาณก๊าซที่ได้จากสารให้ฟอง ยังขึ้นกับความหนืด และการเชื่อมโยงของยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Han M.H. (1998) [19] ศึกษาสมบัติของผงยางรถยนต์กับยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR) และยางสไตรีนบิวตะไดอิน (Styrene butadiene rubber, SBR) โดยศึกษาอุณหภูมิของการผสม ลักษณะผิว ลักษณะการเชื่อมโยงและสมบัติทางกายภาพ ทำการผสมโดยใช้เครื่องผสมแบบปิด และขึ้นรูปเป็นแผ่นโดยการอัดแบบ พบว่าอุณหภูมิของการผสมยางกับผงยางรถยนต์เพิ่มขึ้นน้อยกว่าการผสมยางกับสารเสริมแรง (Reinforcing filler) เช่น เขม่าดำ การใส่ผงยางรถยนต์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการเชื่อมโยง เนื่องจากกำมะถัน (Sulfur) และสารเร่ง (Accelerator) การกระจายไม่สม่ำเสมอทั่วภูมิภาคของยางกับผงยางรถยนต์ เมื่อขนาดและปริมาณของผงยางรถยนต์เพิ่มขึ้น ความแข็ง แรงดึงลดลง ขณะที่ผิวของคอมพอสิตจะมีความหยาบเพิ่มขึ้นทั้งก่อนและหลังการเชื่อมโยง เมื่อพิจารณาลักษณะการขาดของชิ้นงานทดสอบโดยวิธีดึง พบว่าจะเริ่มต้นขาดที่ภูมิภาคของผงยางรถยนต์ ขณะที่การขยายรอยแตกของการทดสอบการหักงอจะถูกขัดขวางโดยผงยางรถยนต์

ดาริน นิลทรงกลด (1999) [20] ศึกษาการเตรียมยางไมโครเซลลูลาร์จากยางธรรมชาติ เพื่อให้ได้ยางฟองที่มีสมบัติตามมาตรฐาน ASTM D 1056, Type 2 ; Class A โดยใช้ยางธรรมชาติผสมกับยางสไตรีนบิวตะไดอิน สารให้ฟองที่ศึกษามี 4 ชนิด ได้แก่ Uniform © AZ-H40 (Azodicarbonamide) Open cell © -100 และ Supercell © -D 80 (Dinitrosopentamethylene tetramine) และ Porofor © TSH PLV (Benzenesulfohydrazide) สำหรับสภาวะการผลิตที่ศึกษา ได้แก่ สูตรยาง อุณหภูมิ เวลา ปริมาณยางที่ใส่ในแม่แบบ วิธีการเชื่อมโยงและ อัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติ และยางสไตรีนบิวตะไดอิน พบว่าสภาวะการเชื่อมโยงที่เหมาะสมกับการผลิตยางฟองคือ การเชื่อมโยงโดยใช้เครื่องอัดแบบขั้นตอนเดียวที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และใช้ปริมาณยาง 3:4 ของแม่แบบ ส่วนสูตรที่เหมาะสมในการผลิตคือ สูตรที่มีอัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติและยางสไตรีนบิวตะไดอิน 100:0 โดยใช้สารให้ฟอง Unifoam©AZ-H40 Open cell©-100 และ Supercell©-D80 และสูตรที่มีอัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติ และยางสไตรีนบิวตะไดอิน 90:10 โดยใช้สารให้ฟอง Supercell©-D80

เบญจวรรณ ชนะจรัญวิทย์ และคณะ (1999) [21] ศึกษาสมบัติของท่อน้ำซึมหรือวัสดุที่มีรูพรุนเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ให้น้ำทางเกษตร ซึ่งทำจากผงยางรถยนต์ (GRT) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างอนุภาค GRT และใช้โซโอดีคาร์โบนาไมด์ (AZ) เป็นสารให้ฟอง โดยทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมบัติต่างๆของท่อน้ำซึม ได้แก่ อัตรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของ GRT:LDPE และผลของปริมาณ AZ วัสดุถูกผสมด้วยเครื่องอัดรีดชนิดเกลียวหนอนเดี่ยว แล้วขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดแบบชนิดอัด พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ GRT และ AZ ในวัสดุจะให้ผลคล้ายกันคือ มีแนวโน้มทำให้ความหนาแน่นของชิ้นงานลดลง และอัตราการซึมผ่านของน้ำเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้สมบัติเชิงกลของวัสดุมีค่าลดลง จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนของวัสดุพบว่าการเพิ่มปริมาณ GRT ไม่มีผลทำให้อุณหภูมิหลอมเหลว และอุณหภูมิการตกผลึกเปลี่ยนแปลง แต่มีผลทำให้ปริมาณของสสารความเป็นผลึกมีแนวโน้มลดลง เมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า GRT และ LDPE สามารถยึดติดกันได้ดี รูพรุนของวัสดุเกิดจากช่องว่างระหว่างกลุ่มก้อนของผงยาง GRT และฟองก๊าซที่ได้จากการสลายตัวของ AZ

พลชิต บัวแก้ว และคณะ (2000) [22] ศึกษาการผลิตท่อจำหน่ายจากยางธรรมชาติ และยางรีไซเคิล จากยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ (ยางไนไตรล์/ยางคลอโรพรีน) ทำการผสมด้วยเครื่องบดผสมแบบปิด ขึ้นรูปเป็นท่อด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว และทำให้ยางคงรูปโดยใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยศึกษาผลของชนิด และปริมาณสารเพิ่มเนื้อ (Filler) ต่อสมบัติของยาง พบว่าการใช้ซิลิกา (Silica) เป็นสารเพิ่มเนื้อ ทำให้ท่อมีความทนทานต่อการสึกหรอ (Abrasion resistance) ดี ที่ปริมาณซิลิกา 50 ส่วนในร้อยส่วนของยาง (phr) ท่อจะทรงตัวดี จากการศึกษาผลของขนาดอนุภาคและปริมาณยางรีไซเคิล ต่ออัตราการซึมผ่านของน้ำ พบว่าปริมาณยางรีไซเคิลน้อยกว่า 60 phr น้ำไม่สามารถซึมผ่านท่อได้ เมื่อปริมาณยางรีไซเคิลเพิ่มขึ้น อัตราการซึมผ่านของน้ำจะสูงขึ้น และเมื่อใช้ขนาดอนุภาคยางรีไซเคิลเล็กลง ทำให้อัตราการซึมผ่านของน้ำสูงขึ้น

ยุทธพงษ์ แซ่ตั้ง และ อลงกรณ์ ศิลปชำนาญ (2000) [23] ศึกษาปรับปรุงสมบัติท่อน้ำดื่มทำจากผงยางรถยนต์ (GRT) และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ(LDPE) โดยใช้เอโซไดคาร์บอนาไมด์ (AZ) เป็นสารให้ฟอง อัตราส่วนที่ใช้คือ GRT:LDPE:AZ เท่ากับ 60:40:3 ขึ้นรูปเป็นแผ่นโดยการอัดแบบขึ้นรูป พบว่าการใช้ขนาดอนุภาคของผงยางรถยนต์ 30 เมช จะทำให้ สมบัติเชิงกลสูงขึ้น ได้แก่ ความแข็งแรงดึง มอดุลัส ร้อยละการยืด ณ จุดขาด และค่าพลังงานที่ทำให้แตกหักสูงขึ้น เมื่อเติมสารเชื่อมโยง DCP และสารช่วยผสม (PE-g-MA) จะทำให้ร้อยละการยืด ณ จุดขาดสูงขึ้น ความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง แต่อัตราการซึมผ่านของน้ำลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณัมพร สวัสดิ์ขุมพล และคณะ (2001) [24] ศึกษาการผลิตและสมบัติของท่อน้ำซึมที่เตรียมจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (LLDPE) โดยใช้สารให้ฟองเอโซไดคาร์โบนาไมด์ (AZ) ขึ้นรูปเป็นท่อด้วยเทคนิคการอัดรีด พบว่าอัตราส่วน GRT:LLDPE:AZ เท่ากับ 70:30:7 จะทำให้สมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็งแรงดึง มอดุลัส และร้อยละการยืด ณ จุดขาดสูงขึ้น และมีอัตราการซึมผ่านของน้ำอยู่ในช่วงที่ต้องการ เมื่อเติมสารเชื่อมโยง DCP และสารช่วยผสม PE-g-MA จะทำให้สมบัติเชิงกลสูงขึ้น แต่อัตราการซึมผ่านของน้ำลดลง ส่วนการเติมสารกระตุ้นปฏิกิริยาสารให้ฟอง จะทำให้สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพและอัตราการซึมผ่านของน้ำลดลง สำหรับอัตราส่วน GRT:LLDPE:PE-g-MA:DCP ที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นท่อน้ำซึมและใช้งานเป็นอุปกรณ์ให้น้ำทางการเกษตรคือ 70:30:7:4:0.5 โดยให้อัตราการซึมผ่านของน้ำอยู่ในช่วง 0.32-0.45 ลิตรต่อชั่วโมงต่อตารางเซนติเมตร ที่ความดัน 6-12 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

สัจจะชัย สัจจะชนะสกุล (2001) [25] ศึกษาการผลิตและสมบัติของท่อน้ำซึมที่เตรียมจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene, HDPE) และผงยางรถยนต์ (Ground rubber tire, GRT) โดยใช้สารเอโซไดคาร์โบนาไมด์ (Azodicarbonamide, AZ) เป็นสารให้ฟอง พบว่าสภาวะในการขึ้นรูปที่เหมาะสมคือ ใช้เวลาในการอัดแบบ 5 นาที ที่อุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส เมื่อเพิ่มปริมาณผงยาง GRT ในวัสดุพบว่า สมบัติเชิงกลของ GRT:HDPE มีแนวโน้มลดลง อัตราส่วน GRT:HDPE ที่เหมาะสมคือ 60:40 เมื่อเพิ่มปริมาณ AZ จะทำให้สมบัติเชิงกลและสมบัติทางกายภาพลดลง เช่น ความแข็งแรงดึง มอดุลัส ความแข็งกด และความหนาแน่น แต่จะทำให้สมบัติบางประการเพิ่มขึ้น เช่น ร้อยละการยืด ณ จุดขาด และอัตราการซึมผ่านของน้ำ เมื่อใช้ขนาดอนุภาคผงยาง GRT เล็กลง พบว่าวัสดุมีสมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้น แต่มีการซึมผ่านของน้ำลดลงจากการทดลองเมื่อเพิ่มปริมาณสารเชื่อมโยงไดคิวมีลเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl peroxide, DCP) เป็นผลให้สมบัติเชิงกลของวัสดุเพิ่มขึ้น แต่มีร้อยละการยืด ณ จุดขาดและปริมาณการซึมผ่านของน้ำลดลง จากการศึกษาสถาบันวิทยาศาสตร์พบว่า GRT และ HDPE สามารถผสมเข้ากันได้ดี มีลักษณะเป็นรูพรุนจากฟองก๊าซที่เกิดจากการสลายตัวของสารให้ฟอง AZ และช่องว่างระหว่างอนุภาค GRT การซึมผ่านของแผ่นน้ำซึม GRT:HDPE:AZ อัตราส่วน 60:40:80 จะให้อัตราการซึมผ่านของน้ำ 24-25 ลิตรต่อชั่วโมงต่อตารางเมตร ซึ่งเหมาะสมกับการเป็นท่อน้ำซึม

บริษัท FARU (2001) [26] ได้คิดค้นเทคโนโลยีที่เกี่ยวกับการใช้ล้อยางรถยนต์เก่ามาใช้ให้เป็นประโยชน์ โดยนำผงยางรถยนต์ (GRT) มาผสมกับพอลิพรอพิลีน (PP) เรียกว่าวัสดุใหม่นี้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Elastomeric alloy (EA) มีสมบัติเหมือนยางแต่สามารถถูกแปรรูปได้เหมือนเทอร์โมพลาสติก สามารถนำไปทำผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายเพราะสามารถเติมสารเติมแต่งได้หลายชนิด เป็นที่นิยมใช้มากในอุตสาหกรรมรถยนต์ ทำกันชน เป็นต้น ซึ่งสามารถใช้ผงยางรถยนต์ได้หลายขนาด นอกจากนี้ยังมีการทำ Revulcon® หรือขยะของยางที่ถูกแปรรูปกลับมาใช้ใหม่ โดยผ่านกรรมวิธีการปรับสภาพทางเครื่องกลที่ไม่มีสารเคมีใดๆเพิ่มเติม และยางที่บดจะทำการเชื่อมโยงใหม่ได้ (Revulcanized) และหลอมเหลวในแม่แบบได้ ไม่ว่าจะขยะยางนั้นจะอยู่ในช่วงขนาดอนุภาคเท่าใด และสามารถผสมกับพลาสติกต่างๆ ขยะพลาสติกและผสมกับยางพอลิเมอร์ผสมที่เกิดจากยางใหม่ในสัดส่วนที่มากกว่าเมื่อยางที่ไม่ได้ปรับสภาพโดยยังคงคุณภาพไว้

กัญญาณี แสงเกียรติยุทธ (2002) [27] ศึกษาหาแนวทางการผลิตฟองน้ำซึมจากผงยางรถยนต์ (GRT) กับพอลอไวนิลคลอไรด์ (PVC) โดยใช้ไฮโดคาร์โบนาไมด์ (AZ) เป็นสารให้ฟอง ไดออกทิลพทาเลต (DOP) เป็นพลาสติกไซเซออร์ และซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยา พบว่าการเติมซิงค์ออกไซด์ไม่มีผลต่อการสลายตัวของสารให้ฟอง อัตราส่วนวัตถุดิบและสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปฟองน้ำซึมคือ GRT:PVC:AZ:DOP เท่ากับ 60:40:14:40 ที่อุณหภูมิการอัดรีด 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 นาที โดยฟองน้ำซึมที่ได้มีความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืด ณ จุดขาด มอดุลัส ความแข็งกด ความหนาแน่น และอัตราการซึมผ่านของน้ำที่ความดันน้ำ 5×10^3 MPa เท่ากับ 1.13 MPa, 21.85%, 10.41 MPa, 76 (Shore A), 0.78 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ 8.95 ลิตรต่อชั่วโมงต่อเมตร ตามลำดับ

Sombatsompop N. และ Kumnuantip C. (2002) [28] การศึกษามลของการเติมยางรีไซเคิลจากบริเวณหน้ายางต่อสมบัติของยางธรรมชาติ 2 ชนิด โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ได้แก่ ปริมาณของยางรีไซเคิล และเวลาบดย่อย โดยสมบัติที่ทำการศึกษา ได้แก่ สมบัติการไหล ลักษณะเฉพาะของการเชื่อมโยงยาง (Cure characteristics) สมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงกล พบว่าความหนืดมูมนี้ และความหนืดเฉือนเพิ่มขึ้น ขึ้นอยู่กับปริมาณของยางรีไซเคิล แต่ลดลงขึ้นอยู่กับเวลาบดย่อย โดยยางธรรมชาติที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงกว่าจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสารประกอบเพื่อให้เหมาะสมกับการบดย่อยและปริมาณของยางรีไซเคิล จากการศึกษา Die swell พบว่าขึ้นอยู่กับปริมาณของยางรีไซเคิลมากกว่าน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติ จากการศึกษาอัตราการเชื่อมโยง และเวลาเริ่มเชื่อมโยง พบว่าเพิ่มขึ้นและลดลง ขึ้นกับปริมาณของยางรีไซเคิล สำหรับยางที่เชื่อมโยงแล้ว (Vulcanized rubbers) พบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอดุลัสของยางที่ 100 เปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้น ความแข็งแรง และความอ่อนนุ่ม ขึ้นอยู่กับปริมาณของ ยางรีเคิลม แต่ความแข็งแรงดึง และร้อยละการยืด ณ จุดขาด และความแข็งแรงต่อการฉีกขาด ไม่ ขึ้นอยู่กับปริมาณของยางรีเคิลม การศึกษาสมบัติการไหลและลักษณะเฉพาะของการเชื่อมโยง (Unvulcanized rubbers) พบว่าไม่ได้ขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติ ในทางตรงกันข้าม ยางที่ผ่านการเชื่อมโยง พบว่าสมบัติเชิงกลขึ้นอยู่กับความหนาแน่นเชื่อมโยง (Crosslink density)

ศุภโชค อุ่นทรัพย์เจริญ และ สมบูรณ์ แซ่ตั้ง (2003) [29] ศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติ การซึมผ่านของท่อน้ำซึม (Porous pipe) ที่ผลิตจากผงยางรถยนต์ (GRT) และพอลิพรอพิลีน (PP) โดยใช้เอโซโดคาร์บอนาไมด์ (AZ) เป็นสารให้ฟอง และพอลิพรอพิลีนตอกกิ่งด้วยมาลิกแอนไฮไดรด์ (PP-g-MA) เป็นสารช่วยผสม โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติต่างๆของท่อน้ำซึม ได้แก่ อัตราส่วนระหว่าง GRT:PP ปริมาณสารให้ฟอง ปริมาณสารช่วยผสม ชนิดของเมตริกซ์ ได้แก่ PP เกรด P 401S (MFI 2.4 กรัมต่อ 10 นาที) และ PP เกรด P 840J (MFI 40 กรัมต่อ 10 นาที) ทำการ ผสม และนำไปอัดรีดรูปท่อ โดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว พบว่าสมบัติเชิงกลของ GRT:PP ความแข็งแรงดึง มอดุลัส สมบัติการรับแรงกด มีแนวโน้มลดลง แต่ร้อยละการยืด ณ จุด ขาด มีค่าเพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วนของ GRT:PP ที่เหมาะสมเท่ากับ 60:40 เมื่อเพิ่มปริมาณของสาร ให้ฟองในวัสดุ พบว่าสมบัติเชิงกล ได้แก่ มีความแข็งแรงดึง มอดุลัส สมบัติการรับแรงกด มีค่าสูง ขึ้น แต่ร้อยละการยืด ณ จุดขาด องศาความเป็นผลึก และอัตราการซึมผ่านมีค่าสูงขึ้น เมื่อเพิ่ม ปริมาณ PP-g-MA ในวัสดุพบว่าสมบัติเชิงกล ได้แก่ มีความแข็งแรงดึง มอดุลัส สมบัติการรับแรง กด มีค่าสูงขึ้น แต่ร้อยละการยืด ณ จุดขาด มีค่าลดลง และเมื่อดัชนีการไหลของเมตริกซ์เพิ่มขึ้น พบว่าความแข็งแรงดึง มอดุลัส สมบัติการรับแรงกดมีค่าสูงขึ้น แต่ร้อยละการยืด ณ จุดขาด และ อัตราการซึมผ่านมีค่าลดลง จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง กราด (SEM) พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสารให้ฟอง ทำให้มีปริมาณรูพรุนมากขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณ สารช่วยผสมและเปลี่ยนชนิดของพอลิเมอร์เมตริกซ์ที่มีดัชนีการไหลต่ำลง ทำให้มีปริมาณของรู พรุนลดลง

สุมนา แจ่มเหมือน (2003) [30] ศึกษาการผลิตท่อน้ำซึมที่เตรียมจากยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR) และผงยางรถยนต์ (Ground rubber tire, GRT) โดยใช้สารไดไนโตรโซเพนตะเมทิลีนเตตระมีน (Dinitrosopentamethylene tetramine, DNPT) เป็นสารให้ฟอง และสารประก อบยูเรียเป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยา ทำการผสมด้วยเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) ขึ้นรูป เป็นท่อด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder) และทำให้เกิดการเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โยงโดยใช้อากาศร้อนด้วยเครื่องอบความร้อน (Hot air oven) โดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติของท่อน้ำซึม ได้แก่ อุณหภูมิและเวลาการเชื่อมโยง ปริมาณเขม่าดำ ปริมาณสารให้ฟอง อัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติ และผงยางรถยนต์ ขนาดอนุภาคของผงยางรถยนต์ และความยาวท่อพบว่าอุณหภูมิ และเวลาการเชื่อมโยงที่เหมาะสมคือ การเชื่อมโยงที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เมื่อเพิ่มปริมาณเขม่าดำพบว่า ความแข็งแรงดึง และความแข็งแรงฉีกขาดเพิ่มขึ้นจนถึงจุดๆหนึ่ง คือปริมาณเขม่าดำ 50 phr ส่วนความหนืดมูนนี้ มอดุลัส ความแข็งกด และความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณเขม่าดำ เมื่อปริมาณ GRT เพิ่มขึ้น สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มลดลง พบว่าเมื่อใช้ขนาดอนุภาค GRT เล็กลง สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และอัตราการซึมผ่านของน้ำลดลง เมื่อความยาวท่อเพิ่มขึ้น พบว่าอัตราการซึมผ่านน้ำแต่ละตำแหน่งของท่อ มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน จากการศึกษาพบว่าการผลิตท่อน้ำซึมที่ประกอบด้วย NR:GRT: DNPT:CB เท่ากับ 40:60:3:50 มีสมบัติเชิงกลโดยรวมที่ดี (ความแข็งแรงดึง 4.8 MPa) อัตราการซึมผ่านน้ำเหมาะสมกับการใช้งานในด้านเกษตรกรรม และมีต้นทุนการผลิตประมาณ 79 บาทต่อกิโลกรัม (สามารถผลิตท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร ได้ยาวประมาณ 7.3 เมตร)

วศิน จิรไพศาลกุล และคณะ (2004) [31] ศึกษาการผลิตท่อน้ำซึมที่เตรียมจากยางรีเคลม (Reclaimed rubber) และผงยางรถยนต์ (Ground rubber tire, GRT) โดยใช้สารไดไนโตรโซเพนตะเมทิลีนเตตระอะมีน (Dinitrosopentamethylene tetramine, DNPT) เป็นสารให้ฟองและสารประกอบยูเรียเป็นสารกระตุ้นสารให้ฟอง ทำการผสมด้วยเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) ขึ้นรูปเป็นท่อด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวท่อนเดี่ยว (Single-screw extruder) และทำให้เกิดการเชื่อมโยงด้วยเครื่องอบความร้อน ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส โดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติของท่อน้ำซึม ได้แก่ ปริมาณเขม่าดำ ปริมาณสารให้ฟอง รวมถึงการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเขม่าดำ ความแข็งแรงดึง มอดุลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์ และความแข็งแรงกด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และมีจุดสูงสุดที่ปริมาณเขม่าดำรวม 70 phr จากนั้นสมบัติเหล่านี้จะลดลง ความแข็งแรงฉีกขาด และร้อยละการยืด ณ จุดขาด มีแนวโน้มลดลง ส่วนความหนาแน่นมีค่าใกล้เคียงกัน และอัตราการซึมผ่านของน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จากการศึกษาพบว่าท่อน้ำซึมที่ประกอบด้วย ยางรีเคลม:ผงยางรถยนต์:เขม่าดำ เท่ากับ 50:50:20 เมื่อปริมาณสารให้ฟอง DNPT ร้อยละ 1 2 และ 3 ที่เวลาเชื่อมโยง 60 40 และ 20 นาที ตามลำดับ มีสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และอัตราการซึมผ่านของน้ำใกล้เคียงกัน มีต้นทุนการผลิตต่ำคือ 18.18 13.40 และ 9.51 บาทต่อหนึ่งเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 แผนการดำเนินงาน

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาพอลิเมอร์ที่นำซีเมนต์จากยางธรรมชาติ (NR) ยางอีพดีเอ็ม (EPDM) และ ผงยางรถยนต์ (GRT) ซึ่งทำการศึกษาถึงปัจจัยในด้านปริมาณเขม่าดำ และปริมาณสารให้ฟอง โดยมีการดำเนินงานดังนี้

ตอนที่ 1 ทำการบดผสมยางแผ่นรมควันชั้น 3 ยางอีพดีเอ็ม ผงยางรถยนต์ และ สารเติมแต่งต่างๆ ตามสูตรที่กำหนด ด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง ที่อุณหภูมิห้อง

ตอนที่ 2 ทำการทดสอบสมบัติการเชื่อมโยง

ตอนที่ 3 ทำการขึ้นรูปยางผสมสูตรให้มีลักษณะเป็นท่อด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียว หนอนเดี่ยว ที่อุณหภูมิประมาณ 80-90 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็ว 30 รอบต่อนาที

ตอนที่ 4 ทำการเชื่อมโยงท่ออย่างด้วยเครื่องอบความร้อน ด้วยอุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส และเวลาที่ต้องการศึกษา

ตอนที่ 5 ทำการทดสอบสมบัติต่างๆดังนี้

การศึกษาสมบัติเชิงกล

- ความแข็งแรงดึง มอดุลัส และร้อยละการยืด ณ จุดขาด
- ความแข็งกดแบบดิวโรมิเตอร์

การศึกษาสมบัติทางกายภาพ

- ความหนาแน่น
- ความต้านทานต่อโอโซน (Ozone resistance)

การศึกษาพื้นฐานวิทยา

- ขนาด รูปร่าง และความหนาแน่นของฟองอากาศ

การศึกษ้อัตราการซึมผ่านของน้ำ

- ทดสอบอัตราการซึมผ่านของน้ำ ที่ความดันต่างๆ คือ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 บาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนการดำเนินงานสามารถสรุปเป็นแผนผังแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. ยางแผ่นรมควันชั้น 3 (Ribbed Smoked Sheets, RSS) ศูนย์วิจัยยางฉะเชิงเทรา สถาบันวิจัยยาง
2. ยางอีพีดีเอ็ม (Ethylene Propylene Diene Monomer, EPDM) เกรดการค้า MITSU EPT®3045 บริษัท Onlx Limited Co., Ltd
สมบัติบางประการของ EPDM มีดังนี้
 - ความหนืดมูนนี่ [ML 1+4 (100°C)] = 40
 - ปริมาณ Ethylene = 56.5 %
 - ปริมาณ Diene (ENE) = 4.5 %
 - Total volatiles = 0.2 %
3. ผงยางรถยนต์ (Ground rubber tire, GRT) ขนาด 40 เมช ชนิดบดที่อุณหภูมิห้อง (Ambient grinding) บริษัท แสงไทยผลิตยาง จำกัด
4. สารตัวเติมเขม่าดำ (Carbon black) ชนิด FEF (N550) เกรดการค้า
5. สารเชื่อมโยง (Vulcanizing agent) กำมะถัน (Sulfur,S) เกรดการค้า
6. สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Accelerators) เกรดการค้า
 - N-Cyclohexylbenzothiazole-2-sulfenamide (CBS)
 - Tetramethylthiuram disulfide (TMTD)
7. สารกระตุ้นปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Activators) เกรดการค้า
 - Zinc oxide (Zno)
 - Stearic acid
8. สารช่วยกระบวนการผลิต (Processing aids) น้ำมันแนพทานิก (Naphthanic oil) เกรดการค้า
9. สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antidegradants หรือ Age-Resistors) เกรดการค้า
 - สารป้องกันออกซิเดชัน (Antioxidation) N-(1,3-Dimethylbutyl)-N-phenyl-p-phenylene diamine (6PPD) บริษัท โคซัน (ประเทศไทย) จำกัด
 - สารป้องกันโอโซน (Antiozonant) ซีผึ้งปิโตรเลียม (Petroleum wax)
10. สารให้ฟอง (Blowing agents) เอโซไดคาร์โบนาไมด์ (Azodicarbonamide, AZ) บริษัท ยูซาโก้ (ประเทศไทย) จำกัด เกรด AC-12 JX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของสารให้ฟอง AC-12 JX

ITEM	STANDARD
Appearance	Fine Yellow Powder
Chemical Formula	$\text{NH}_2\text{-CO-N=N-CO-NH}_2$
Gas Volume (ml/g) >	220-225
Decomposition Temperature °c	200-210
Average Particle Size (D50), μm	12-15
Decreasing Heating, % <	0.15
Ash Content, % <	0.10
Purity (AC) min. % >	99.00
Moisture Content max, % <	0.50
CAS No.	123-77-3

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

11. สารกระตุ้นสารให้ฟอง (Zicker) ชนิดยูเรีย (Urea) ชื่อการค้า Unipaste-N3[®] บริษัท Dongjin Chemical สมบัติบางประการของสารกระตุ้นสารให้ฟอง ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สมบัติบางประการของยูเรีย ที่ใช้ในงานวิจัย

สมบัติ	ค่าที่ได้
ชื่อทางการค้า	Unipaste-N3 [®]
สูตรเคมี	$\text{CO(NH}_2)_2$
ลักษณะ	ผงสีขาว
อุณหภูมิที่สลายตัว (°c)	132-138
ปริมาณก๊าซ (ml/g, ที่ 15°c)	120-130
ปริมาณความชื้น(%)	ไม่เกิน 0.3

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (two-roll mill) รุ่น LRM 200 บริษัท Lab Technology Engineering จำกัด
2. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder) บริษัท Exterder Farrel
3. เครื่องอบความร้อน (Hot air oven) รุ่น F 400 บริษัท Binder
4. เครื่องวัดการเชื่อมโยงแบบโรตารี (Moving die rheometer, MDR) หรือ เครื่อง Curelasterometer รุ่น IIF บริษัท Nichigo Shoji
5. เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal testing machine) รุ่น LS 5K บริษัท Lloyd Instruments (สำหรับทดสอบความแข็งแรงดึง)
6. เครื่องทดสอบความแข็งกดแบบคูโรมิเตอร์ (Durometer hardness tester) บริษัท Intro Enterprise จำกัด
7. เครื่องทดสอบความหนาแน่น รุ่น EW-120SG บริษัท Mirage Trading
8. เครื่องทดสอบความต้านทานต่อโอโซน (Ozone test chamber) รุ่น 703 บริษัท Hampden
9. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) รุ่น LEO 1450VP บริษัท LEO จำกัด
10. เครื่อง Thermogravimetric analyzer (TGA) รุ่น TGA7 บริษัท Perkin Elmer
11. เครื่องทดสอบการซึมผ่านของน้ำ
12. เครื่องตัดตัวอย่างแบบใช้ความดันลม รุ่น Torino บริษัท Ceast

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การบดผสมยาง

1. ชั่งยางและสารเคมีตามสูตรที่กำหนด
2. บดยางแผ่นรมควัน และยางอีพีดีเอ็ม เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งที่อุณหภูมิห้อง จนยางทั้งสองผสมกันและพันรอบลูกกลิ้ง (ใช้เวลาประมาณ 3 นาที)
3. เติม Stearic acid ZnO และ Petroleum wax (ใช้เวลาประมาณ 2 นาที) จากนั้นเติม 6PPD CBS และ TMTD (ใช้เวลาประมาณ 2 นาที)
4. เติมผงยางรถยนต์ครั้งละประมาณ 1 ใน 4 ของทั้งหมดสลับกับน้ำมันเนฟทอนิกและ เชม่าดำ (ใช้เวลาประมาณ 5 นาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เติม AZ และ ยูเรีย (ใช้เวลาประมาณ 2 นาที) จากนั้นเติมกำมะถัน (ใช้เวลาประมาณ 3 นาที) แล้วรูดยางให้เป็นแผ่น ทิ้งให้เย็นก่อนนำไปใช้งานในขั้นตอนต่อไป

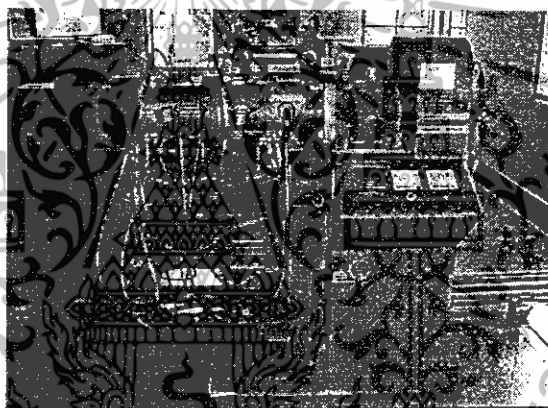
3.4.2 การศึกษาหาอุณหภูมิเชื่อมโยงตัวอย่าง

อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเชื่อมโยงตัวอย่างสามารถทดสอบได้จากการนำยางผสมสูตรที่ประกอบด้วยสารให้ฟอง AZ ที่มีการใส่และไม่ใส่สารกระตุ้นสารให้ฟอง ชนิดยูเรียด้วยเครื่อง Thermogravimetric analyzer (TGA) เพื่อหาอุณหภูมิการสลายตัวของสารให้ฟอง AZ ที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิการเชื่อมโยงยาง

3.4.3 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

3.4.3.1 การขึ้นรูปเป็นท่อ

ทำการขึ้นรูปเป็นท่อด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว แสดงดังรูปที่ 3.2[30]



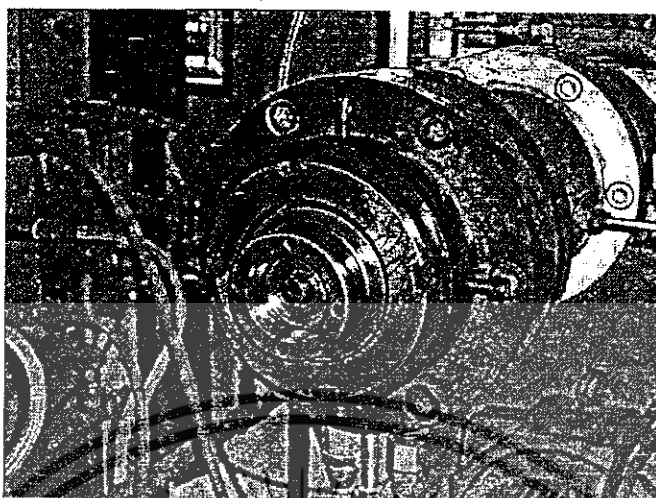
รูปที่ 3.2 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว [30]

รายละเอียดของเครื่องเกลียวหนอนเดี่ยวที่ใช้มีดังนี้

- ความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู (L:D) = 12:1
- เส้นผ่านศูนย์กลางของสกรู (Diameter of screw) = 3.81 มิลลิเมตร
- เส้นศูนย์กลางของร่องลึกสกรู (Diameter screw clearance) = 0.13-0.20 มิลลิเมตร
- ความเร็วของสกรู (Screw speed) = 18-78 รอบต่อนาที
- ดाय (Die) มีลักษณะเป็นวงกลม 2 อันซ้อนกัน โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14

และ 18 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ลักษณะของดาย (Die)

ปรับสภาวะต่างๆ เครื่องเกลียวหนอนเดี่ยวดังนี้

- อุณหภูมิของสกรู (screw) กระบอกใส่สกรู (Barrel) และอุณหภูมิของดาย (Die) ที่ 85 องศาเซลเซียส

- ความเร็วสกรู 30 รอบต่อนาที

การขึ้นรูปท่อจะทำโดยนำยางผสมสูตรที่ตัดเป็นแถบกว้างประมาณ 1 เซนติเมตร ป้อนเข้าในเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ยางที่ออกจากหัวดายจะมีลักษณะเป็นท่อ โดยจะต้องนำแกนเหล็กยาวมารองรับ เพื่อสวมท่อที่ได้ไม่ให้ยุบตัวเสียรูปทรง

3.4.3.2 การเชื่อมโยงท่ออย่าง

ทำการเชื่อมโยงท่ออย่างด้วยตู้อบความร้อนที่อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาต่าง ๆ กันตามช่วงเวลาที่ต้องการศึกษา

3.4.3.3 การทดสอบการเชื่อมโยง

มาตรฐานการทดสอบ ASTM D 5289 [32]

วิธีการทดสอบ ทำการทดสอบยางผสมสูตรด้วยเครื่องวัดการเชื่อมโยงแบบไร้จันทมน (MDR) โดยจันทมนล่าง (Lower die) จะหมุนแบบส่ายไปมาที่มุม 3 องศา ตามแนวระนาบที่ความถี่ 1.7 เฮิรตซ์ ใช้อุณหภูมิการทดสอบ 165 องศาเซลเซียส เพื่อหาเวลาการเชื่อมโยง (Cure time, $t_c(90)$)

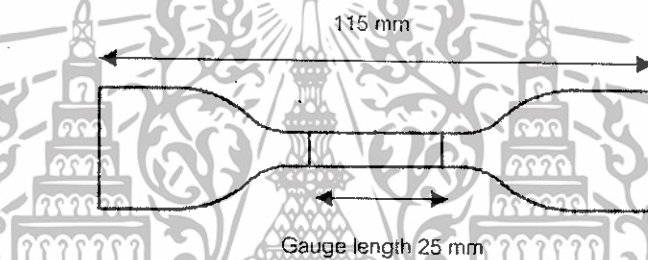
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3.4 การทดสอบแรงดึง

มาตรฐานการทดสอบ ASTM D 412 [33]

การเตรียมชิ้นงานทดสอบ โดยการตัดท่อที่เชื่อมโยงแล้วตามความยาวท่อนั้นตัดชิ้นงานที่จะนำไปทดสอบเป็นรูปตาย C (Die C) คือเป็นรูปดัมเบลล์ (Dumbbell) ที่มีความยาวเกจ (Gauge length) 25 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.4

วิธีการทดสอบ ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง โดยใช้ค่าแรงสูงสุดที่เครื่องรับได้ (Load cell) ขนาด 5000 นิวตัน และใช้อัตราเร็วในการดึงเท่ากับ 500 มิลลิเมตรต่อนาที เพื่อหาค่าความแข็งแรงดึง (tensile strength), โมดูลัส (Modulus) และร้อยละการยืด ณ จุดขาด นำค่าที่ได้ไปหาเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดสอบตัวอย่าง 8 ชิ้น

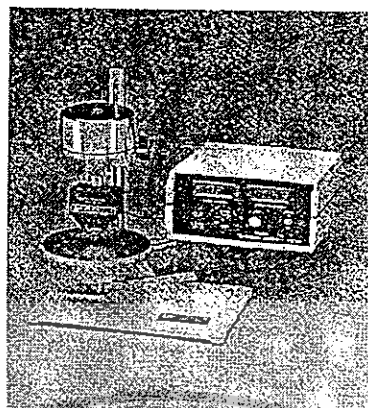


รูปที่ 3.4 ชิ้นทดสอบรูปดัมเบลล์ตายซี (Die C) ตามมาตรฐาน ASTM D 412 [34]

3.4.3.5 การทดสอบความแข็งแรงกดแบบดูโรมิเตอร์

มาตรฐานการทดสอบ ASTM D 2240 [36]

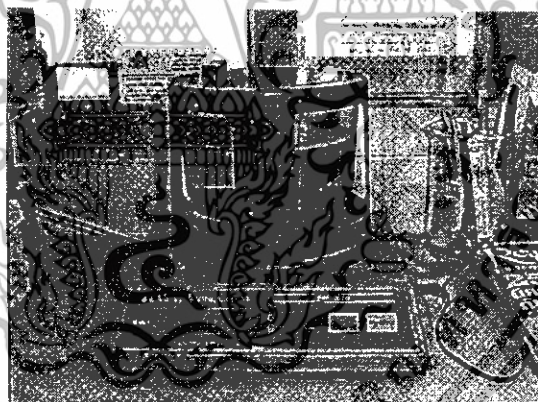
วิธีการทดสอบ ทดสอบด้วยเครื่องดูโรมิเตอร์ชนิด ชอร์ เอ (Shore A durometer) โดยนำชิ้นงานสำหรับทดสอบความแข็งแรงดึงจำนวน 3 ชิ้น (ความหนาไม่น้อยกว่า 6 มิลลิเมตร) วางซ้อนทับกันบนแท่นทดสอบ จากนั้นโยกคานข้างล่างให้ชิ้นงานทดสอบสัมผัสกับหัวกด (Indenter) เป็นเวลา 1 วินาที อ่านค่าที่ได้จากหน้าปัด ทำการทดสอบจำนวน 10 ครั้งต่อหนึ่งตัวอย่าง



รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบความแข็งกดแบบดูโรมิเตอร์ชนิด ซอร์ A [30]

3.4.3.6 การทดสอบความหนาแน่น

การเตรียมชิ้นงานทดสอบ โดยการตัดท่อที่เชื่อมโยงแล้วตามความยาวท่อให้ได้ ชิ้นงานทดสอบที่มีน้ำหนักไม่เกิน 5 กรัม ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความหนาแน่น (Electronic Densimeter) แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบความหนาแน่น

วิธีการทดสอบ โดยชั่งน้ำหนักชิ้นงานทดสอบทั้งในอากาศ และในน้ำ เครื่องจะคำนวณค่าความหนาแน่นให้อัตโนมัติ โดยใช้หลักของการแทนที่น้ำ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถ่วงจำเพาะ

$$(\text{Specific gravity}) = W / (W - W_1) \quad (3.2)$$

เมื่อ W คือ น้ำหนักของชิ้นงานที่ชั่งในอากาศ (กรัม)

W_1 คือ น้ำหนักของชิ้นงานที่ชั่งในน้ำ (กรัม)

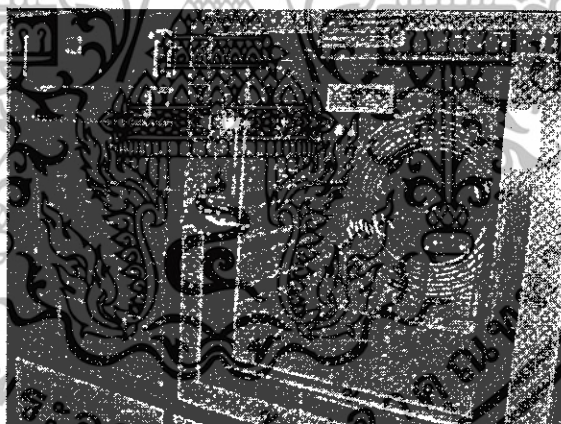
ถ้ากำหนดให้ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับการหาค่าโดยประมาณ จะได้ค่าความถ่วงจำเพาะมีค่าเท่ากับ ความหนาแน่น

3.4.3.7 การทดสอบความต้านทานต่อโอโซน (Ozone resistance)

มาตรฐานการทดสอบ ISO 1431/1-1980(E) [37]

การเตรียมชิ้นงานทดสอบ โดยตัดท่อที่เชื่อมโยงแล้วให้มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 10 มิลลิเมตร ยาว 40 มิลลิเมตร

วิธีการทดสอบ ยึดปลายทั้งสองข้างของชิ้นงานทดสอบด้วยที่จับ จากนั้นทำการยึดชิ้นงานทดสอบ 20% แล้วนำไปไว้ในที่มีดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดจึงนำเข้าตู้อบโอโซนที่มีความเข้มข้นของโอโซน 25 pphm อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบความต้านทานโอโซน [31]

จากนั้นทำการตรวจวัดรอยแตกของชิ้นงานทดสอบด้วยแว่นขยายที่มีกำลังขยาย 7 เท่า การรายงานผล แสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การรายงานผลของลักษณะรอยแตก

จำนวนรอยแตก	ขนาดและความลึกของรอยแตก
A. รอยแตกจำนวนน้อย	1. ไม่สามารถเห็นรอยแตกด้วยตาเปล่า แต่สามารถเห็นรอยแตกด้วยแว่นขยายที่มีกำลังขยาย 10 เท่า
B. รอยแตกจำนวนมาก	2. สามารถเห็นรอยแตกด้วยตาเปล่า
C. รอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วน	3. ความยาวและความลึกของรอยแตกต่ำกว่า 1-3 มิลลิเมตร
	4. ความยาว และความลึกของรอยแตก 1-3 มิลลิเมตร
	5. ความยาวและความลึกของรอยแตกมากกว่า 3 มิลลิเมตร หรือขึ้นทดสอบขาด

3.4.3.8 การศึกษาสัณฐานวิทยา

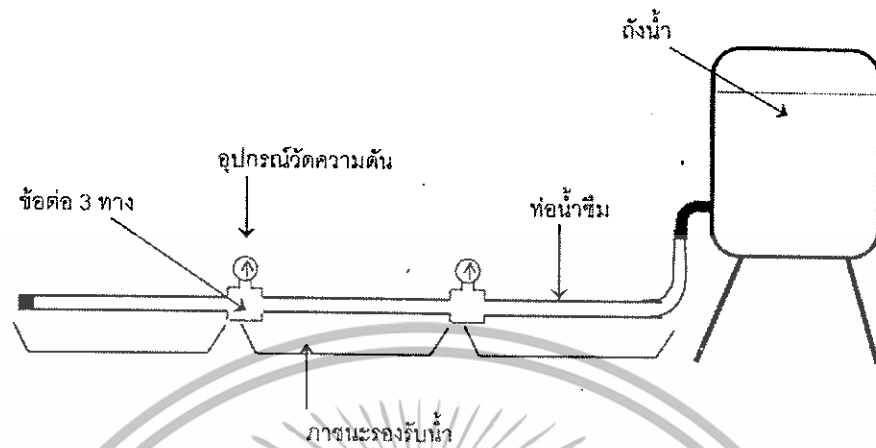
การเตรียมชิ้นงานทดสอบ โดยตัดท่อที่เชื่อมโยงแล้วให้มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมขนาดเล็ก นำชิ้นงานทดสอบแช่ไนโตรเจนเหลวประมาณ 10 นาที จากนั้นหักชิ้นงานทดสอบที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic crack) เพื่อให้พื้นผิวชิ้นงานเรียบ ทำให้เห็นลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานที่ทดสอบได้ชัดเจน

วิธีการทดสอบ ทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) เพื่อศึกษาขนาด, รูปร่าง และความหนาแน่นของฟองอากาศ

3.4.3.9 การทดสอบอัตราการซึมผ่านของน้ำ

วิธีการทดสอบ นำท่อที่มีความยาว 30 เซนติเมตร ทดสอบอัตราการซึมผ่านของน้ำ (Water permeation rate) ที่ความดันต่างๆ คือ 0.2 , 0.4 , 0.6 , 0.8 และ 1.0 บาร์ โดยใช้เวลาทำการทดสอบเป็นเวลา 5 นาที รายงานผลในรูปของปริมาตรการซึมผ่านของน้ำต่อเวลาต่อความยาวท่อ (l/h/m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับทดสอบอัตราการซึมผ่านน้ำของท่อน้ำดื่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 สูตรที่ใช้ในการศึกษาปัจจัยต่างๆ

องค์ประกอบ	ปริมาณ (ส่วนในร้อยละของยาง, phr)						
	ศึกษาผลของอัตราส่วนยาง และผงยางรถยนต์		ศึกษาผลของปริมาณกำมะถัน		ศึกษาผลของปริมาณเมมาต้า		
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5	สูตรที่ 6	สูตรที่ 7.
ยางธรรมชาติ	50	50	50	50	50	50	50
ยางอีพีดีเอ็ม	50	50	50	50	50	50	50
ผงยางรถยนต์ (ขนาด 40 เมช)	100	150	233	100	100	100	100
กำมะถัน	2	2	2	2.5	3.0	2.5	2.5
เมมาต้า (N550)	30	30	30	30	30	40	50
สารเติมแต่งอื่นๆ: AZ 6, ยูเรีย 6, กรดสเตียริก 2, ซิงค์ออกไซด์ 5, ซัลฟิปีโตรเลียม 1, น้ำมันเบนเพพานิก 10, 6PPD 1, CBS 1, TMTD 0.3							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

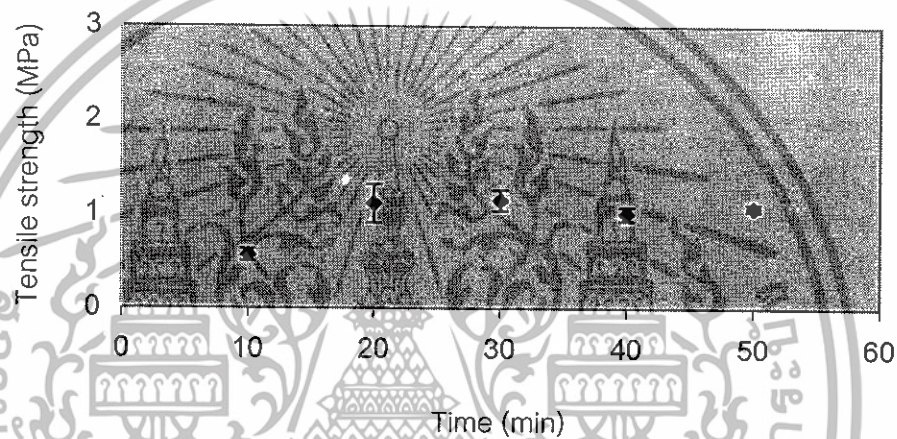
โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อท่อน้ำซึมจากยางธรรมชาติผสมยางอีพดีเอ็ม (NR/EPDM) และผงยางรถยนต์ (GRT) โดยในการศึกษาจะทำการหาอุณหภูมิเชื่อมโยงตัวอย่าง และขึ้นรูปเป็นท่อน้ำซึมด้วยเทคนิคการอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single-screw extruder) จากนั้นทดสอบสมบัติต่างๆของท่อน้ำซึม ได้แก่ สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สัณฐานวิทยา และอัตราการซึมผ่านของน้ำ ซึ่งปัจจัยต่างๆที่ทำการศึกษาประกอบด้วย อัตราส่วนระหว่าง NR:EPDM:GRT ปริมาณกำมะถัน ปริมาณเขม่าดำ รวมถึงการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

4.1 การศึกษาอุณหภูมิและเวลาการเชื่อมโยงที่เหมาะสม

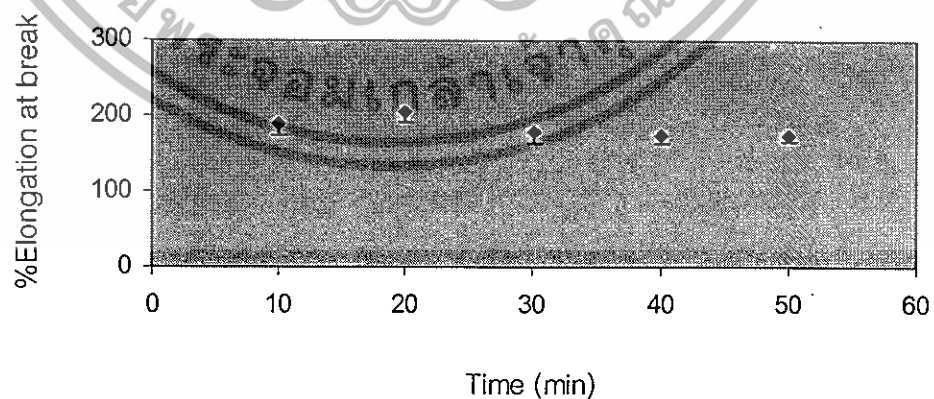
ในกระบวนการเชื่อมโยงยาง อุณหภูมิการเชื่อมโยงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญ ซึ่งผลิตภัณฑ์จะมีสมบัติเชิงกล และสมบัติทางกายภาพที่สม่ำเสมอได้ ต้องเลือกอุณหภูมิที่ใช้เวลาในการเชื่อมโยงน้อยที่สุด [38] แต่ในการเลือกอุณหภูมิการเชื่อมโยงสำหรับโครงการพิเศษนี้ ต้องเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมกับกระบวนการเชื่อมโยงยาง และการสลายตัวเป็นก๊าซของสารให้ฟองเอโซไดคาร์โบนาไมด์ (Azodicarbonamide, AZ) โดยทั่วไปอุณหภูมิการสลายตัว (Decomposition temperature, T_d) ของสารให้ฟอง AZ อยู่ในช่วง 200-210 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดอุณหภูมิสลายตัวของ AZ ให้มีอุณหภูมิการสลายตัวใกล้เคียงกับอุณหภูมิการเชื่อมโยงยาง ซึ่งสามารถทำได้โดยการใส่สารกระตุ้น หรือคิกเกอร์ (Kicker) ชนิดยูเรีย (Urea) ในอัตราส่วนระหว่าง AZ:Urea เท่ากับ 1:1 ซึ่งผลการสลายตัวของสารให้ฟอง AZ ที่มียูเรียเป็นคิกเกอร์ จากเครื่อง Thermogravimetric analyzer (TGA) (แสดงดังภาคผนวก ก รูปที่ ก.1) จะเห็นว่า AZ จะเริ่มสลายตัวให้ฟองก๊าซที่อุณหภูมิประมาณ 165 องศาเซลเซียส เนื่องจากการใช้อุณหภูมิเชื่อมโยงที่สูงเกินไปแม้ว่าจะทำให้ AZ สลายตัวได้ดีแต่อาจเสี่ยงต่อการเสียสภาพ (Degradation) เนื่องจากความร้อน โดยเฉพาะการเชื่อมโยงผลิตภัณฑ์ท่อน้ำซึมในตู้อบอากาศร้อน (Hot air oven) ที่มีบรรยากาศออกซิเจนที่ช่วยเร่งให้เกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนได้อุณหภูมิที่เหมาะสมกับกระบวนการเชื่อมโยงและการสลายตัวเป็นก๊าซของสารให้ฟอง AZ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาเมื่อนำยางผสมที่ประกอบด้วย ยางธรรมชาติผสมยางอีพดีเอ็ม:ผงยาง
รถยนต์:กำมะถัน:เขม่าดำ (NR:EPDM:GRT:S:CB) เท่ากับ (25:25:50:2.5:40) ขึ้นรูปเป็นท่อ
น้ำซึมด้วยเทคนิคการอัดรีดเป็นท่อที่มีรูปทรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก และภายในเท่ากับ
21 และ 18 มิลลิเมตร ตามลำดับ แล้วทำการเชื่อมโยงท่อน้ำซึมโดยการให้ความร้อนด้วยเครื่องอบ
ความร้อนที่อุณหภูมิการเชื่อมโยง 165 °C โดยทำการเชื่อมโยงที่ 10-50 นาที ผลของเวลาการ
เชื่อมโยงที่มีต่อสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และอัตราการซึมผ่านของน้ำ แสดงดังรูป 4.1-4.4

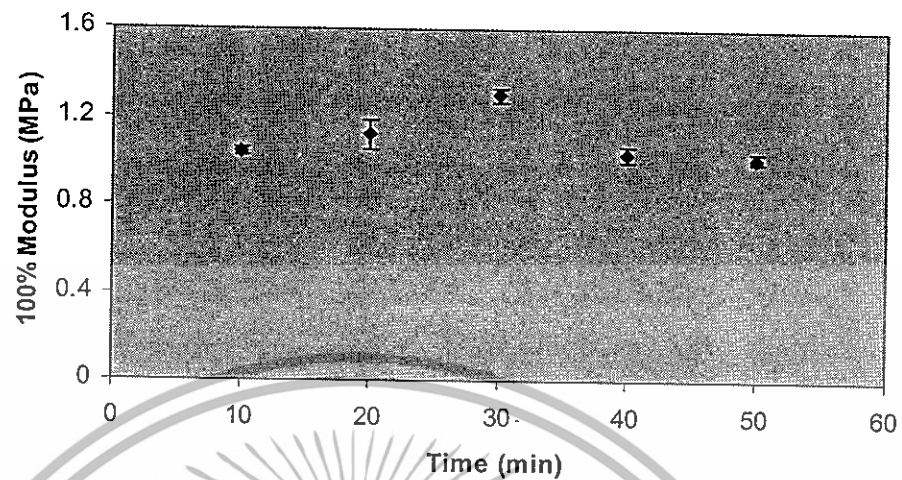


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของท่อน้ำซึมสูตร NR:EPDM:GRT:S:CB
(25:25:50:2.5:40) เชื่อมโยงที่อุณหภูมิ 165°C เมื่อเวลาการเชื่อมโยงต่างกัน

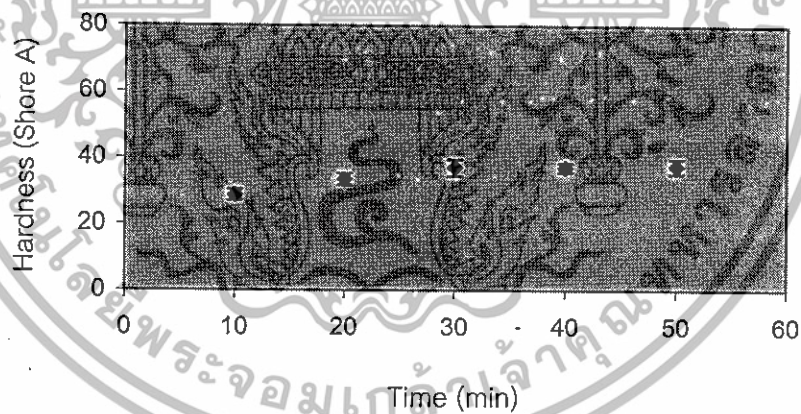


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของท่อน้ำซึมสูตร NR:EPDM:GRT:S:CB
(25:25:50:2.5:40) เชื่อมโยงที่อุณหภูมิ 165°C เมื่อเวลาการเชื่อมโยงต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



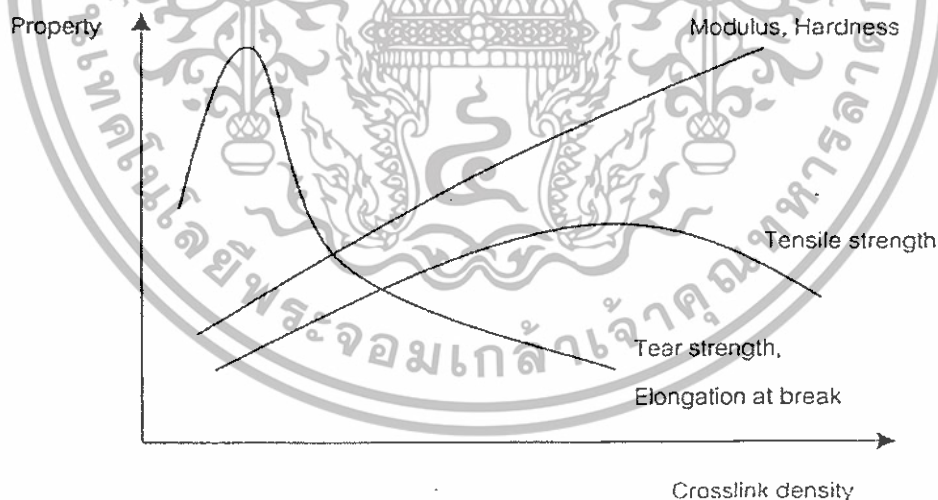
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่ามอดุลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์ (M100) ของท่อน้ำซึมสูตร NR:EPDM:GRT:S:CB (25:25:50:2.5:40) ที่อุณหภูมิ 165°C เมื่อเวลาการเชื่อมโยงต่างกัน



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าความแข็งกตของท่อน้ำซึมสูตรที่ NR:EPDM:GRT:S:CB (25:25:50:2.5:40) ที่อุณหภูมิ 165°C เมื่อเวลาการเชื่อมโยงต่างกัน

จากรูปที่ 4.1-4.4 แสดงการเปรียบเทียบการเชื่อมโยงท่อน้ำซึมที่อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10-50 นาที ที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกล เมื่อเวลานานขึ้นทำให้ความหนาแน่นเชื่อมโยง (Crosslink density, ρ) ของยางเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อสมบัติเชิงกล เป็นที่ทราบกันดีว่าเมื่อความหนาแน่นเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น จะทำให้สมบัติเชิงกลบางประการโดยเฉพาะสมบัติที่เกิดการเอกสทรานี้เป็นเอกสทรานี้ที่สว่นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกหัก (Fracture properties) เช่น ความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดจุดหนึ่ง (Optimum point) จากนั้นสมบัติเหล่านี้จะลดลง แสดงดังรูปที่ 4.1-4.4 เนื่องจากก่อนถึงจุดสูงสุดที่ยังเชื่อมโยงไม่สมบูรณ์ โครงสร้างโมเลกุลของยางเป็นสายโซ่ตรงยังไม่เป็นร่างแหสามมิติที่สมบูรณ์ เมื่อให้แรงกับชิ้นงาน สายโซ่โมเลกุลยังสามารถเคลื่อนที่ผ่านกันและหลุดออกจากกันได้ (Disentangle) โดยไม่เกิดการขาดของพันธะหรือสายโซ่โมเลกุล แต่เมื่อใช้เวลานานขึ้น ทำให้ความหนาแน่นเชื่อมโยง (Crosslink density) เพิ่มขึ้น เกิดจุดเชื่อมโยงกลายเป็นสายโซ่กิ่ง (Branches) มากขึ้น ทำให้สายโซ่เคลื่อนที่หลุดออกจากกันยากขึ้น เมื่อได้รับแรงเป็นผลทำให้ความแข็งแรงดึงสูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่เรียกว่า "จุดเกิดเจล" (Gel point) โครงสร้างโมเลกุลยางเกิดการเชื่อมโยงกลายเป็นโครงข่ายสามมิติ (3-Dimensional network) สมบูรณ์หลังจากจุดสูงสุดสายโซ่จะเคลื่อนที่ได้อย่างจำกัด เนื่องจากเกิดโครงข่ายร่างแหที่แน่น (Tight network) ทำให้ไม่สามารถเคลื่อนที่เพื่อกระจายแรงที่ได้รับได้ เป็นผลให้ความแข็งแรงดึงต่ำลง ซึ่งสอดคล้องกับความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเชื่อมโยงของยางกับสมบัติบางประการของยาง [5] แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเชื่อมโยง (Crosslink density) ของยางกับสมบัติเชิงกลบางประการ [5]

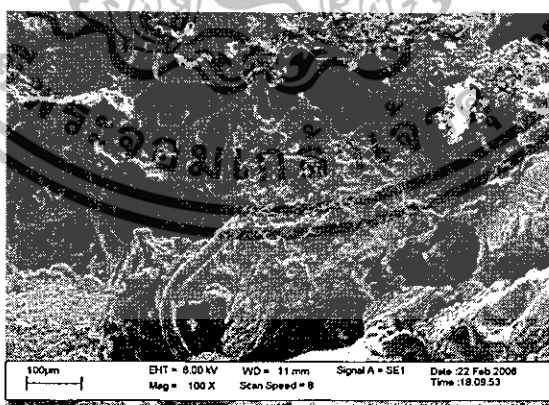
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงดึงของท่อน้ำซีเมนต์ที่เชื่อมโยงที่อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10-50 นาทีพบว่า การเชื่อมโยงที่ 30 นาทีให้ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดจากรูปที่ 4.2 พบว่าเปอร์เซ็นต์การยึด ณ จุดขาดมีแนวโน้มคล้ายกับผลความแข็งแรงดึงสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับผลของความแข็งแรงดึงข้างต้น

จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 พบว่ามอดุลัสที่ 100 เปอร์เซนต์ (M100) และความแข็งกด (Hardness) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อใช้เวลาเชื่อมโยงนานขึ้น ทำให้ความหนาแน่นเชื่อมโยงมากขึ้น น้ำหนักโมเลกุลระหว่างจุดเชื่อมโยง (M_c) น้อยลงทำให้สายโซ่ยางเคลื่อนที่ยากขึ้นถูกพันธะเชื่อมโยงยึดเหนี่ยวไว้ทำให้ยางแข็งขึ้น ต้องใช้แรงมากขึ้นเพื่อเปลี่ยนขนาด หรือเปลี่ยนรูป จากผลการทดลองสมบัติเชิงกล พบว่าค่าที่ได้มีแนวโน้มไม่เด่นชัดและผลการทดสอบทั้งนี้บางจุดมีค่าการกระจายของผลกว้างอาจเป็นผลเนื่องมาจากขั้นตอนการผสมที่อาจเกิดการกระจายตัวที่ไม่ทั่วของสารให้ฟอง AZ และอาจเนื่องมาจากท่อน้ำซีเมนต์เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูพรุน ซึ่งรูพรุนเป็นจุดบกพร่อง (Defect) ของชิ้นงานเป็นจุดเริ่มต้นของการเสียสภาพ การกระจายตัวไม่สม่ำเสมอของฟองสามารถยืนยันได้จากผลการศึกษาดังกล่าวอาจเป็นผลเนื่องมาจาก

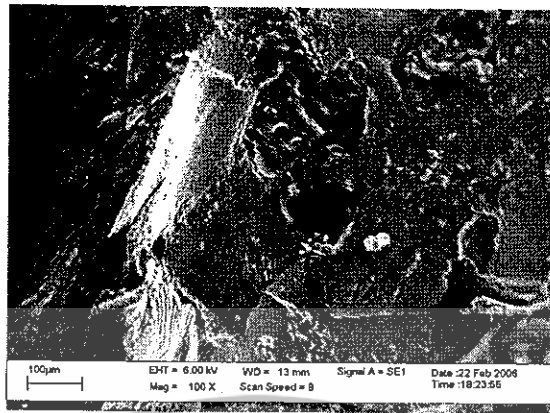
- เครื่องผสมที่ใช้เป็นเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) เป็นเครื่องผสมแบบเปิด ที่มีอัตราการให้แรงเฉือน (Shear rate) ต่ำ ซึ่งประสิทธิภาพการผสมขึ้นอย่างมากกับผู้ผสม และเวลาที่ใช้ผสม

- มีการเติมสารเติมแต่งในปริมาณมากอาจทำให้การกระจายตัวของสารให้ฟอง AZ ไม่สม่ำเสมอแสดงดังรูปที่ 4.6

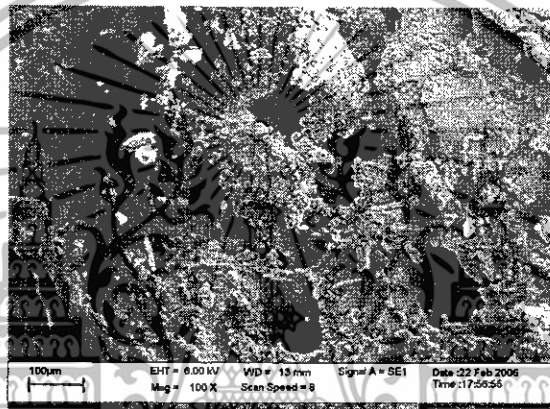


(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

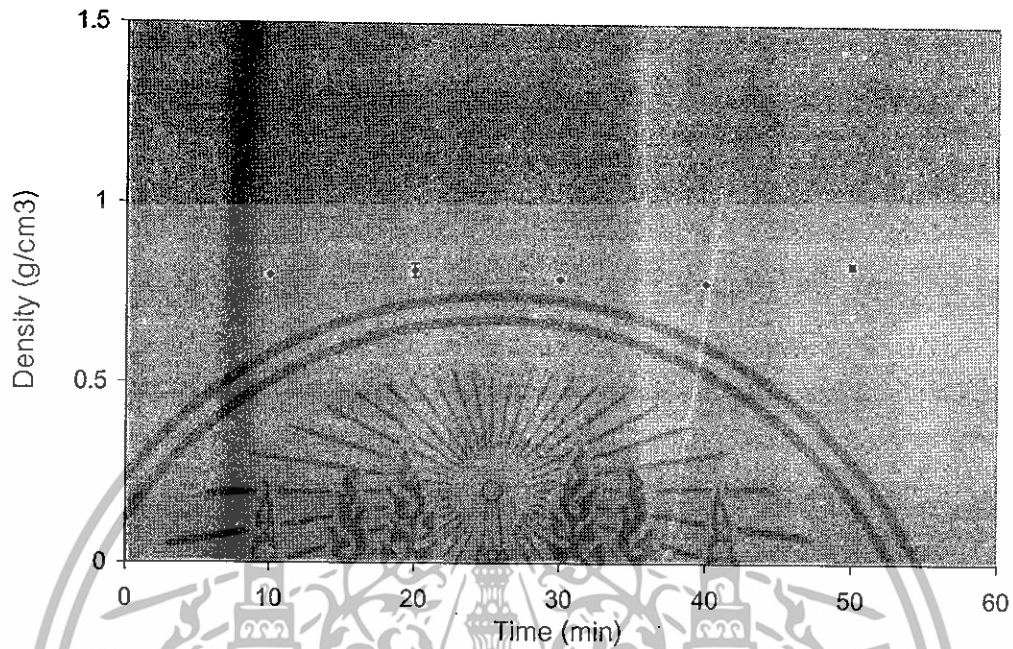


(ค)

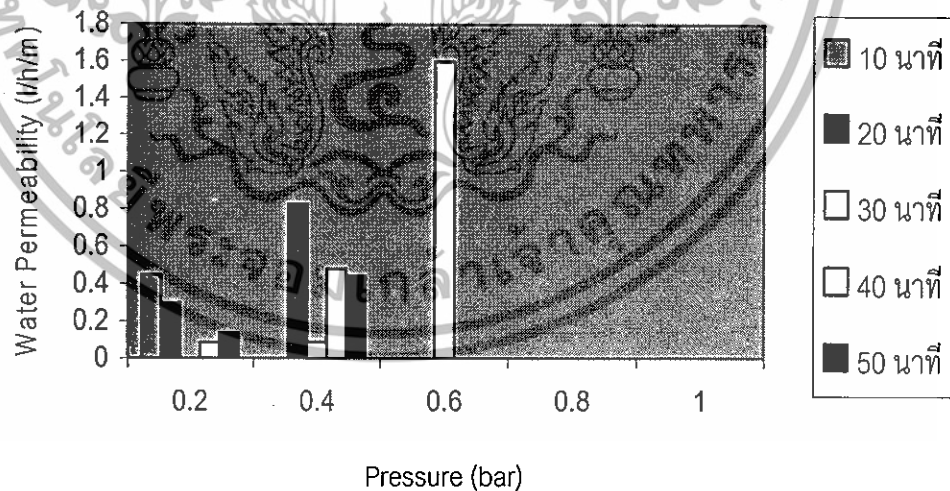
รูปที่ 4.6 SEM Micrographs แสดงลักษณะของท่อน้ำซึมแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ กำลังขยาย 100 เท่า ประกอบด้วย NR:EPDM:GRT:S (25:25:50:2.5) เชื่อมโยงที่อุณหภูมิ 165°C เป็นเวลา 30 เมื่อปริมาณเขม่าดำต่างกัน (ภาพ ก-ค ปริมาณเขม่าดำ 30 40 และ 50 phr ตามลำดับ)

จากรูปที่ 4.6 แสดงลักษณะวิทภาพของท่อน้ำซึมที่ประกอบด้วยยางธรรมชาติผสมยางอีพียดีเอ็ม:ผงยางรถยนต์:เขม่าดำในปริมาณที่ต่างกัน (25:25:50) เมื่อปริมาณกำมะถัน 2.5 phr ที่เวลาการเชื่อมโยง 30 นาที พบว่าช่องว่างมีขนาดประมาณ 100 ไมครอน การกระจายตัวของรูพรุนไม่สม่ำเสมอโดยบริเวณที่ไม่มีสารให้ฟอง AZ จะรวมตัวกันเป็นเนื้อเดียวกันระหว่างยางธรรมชาติผสมยางอีพียดีเอ็ม ผงยางรถยนต์ และเขม่าดำ ซึ่งเกิดขึ้นจากขั้นตอนการบดผสม หรืออาจจะเป็นเพราะบริเวณนั้นเป็นบริเวณที่มีสารให้ฟองกระจายตัวอยู่น้อย ซึ่งรูพรุนที่เกิดขึ้นมีน้อยมาก และยังเป็นรูพรุนที่ไม่ต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นของท่อน้ำซึมสูตร NR:EPDM:GRT:S:CB (25:25:50:2.5:40) เชื่อมโยงที่อุณหภูมิ 165 °C และใช้เวลาการเชื่อมโยงเท่ากัน



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าอัตราการซึมผ่านของน้ำของท่อน้ำซึมสูตร NR:EPDM:GRT:S:CB (25:25:50:2.5:40) เชื่อมโยงที่อุณหภูมิที่ 165 °C เมื่อเวลาการเชื่อมโยงต่างกัน และความดันน้ำต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.7 เมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นของท่อน้ำซึมสูตร NR:EPDM:GRT:S:CB (25:25:50:2.5:40) เมื่อเวลาเชื่อมโยงต่างกัน พบว่าความหนาแน่นของท่อน้ำซึมมีค่าใกล้เคียงกัน โดยความหนาแน่นมีค่าประมาณ 0.8 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีค่ามากเมื่อเทียบกับวัสดุที่มึฐพรุน ดังนั้นจึงคาดว่าสารให้ฟอง AZ เมื่อสลายตัวเป็นก๊าซทำให้ก๊าซที่เกิดขึ้นไม่สามารถเกิดเป็นฟองต่อเนื่องขึ้นภายในชิ้นงาน ทั้งนี้เนื่องจากสูตรยางที่ใช้มีปริมาณเนื้อยางที่มาก และรวมถึงมีปริมาณเขม่าดำมากด้วย ทำให้ท่อน้ำซึมมีความแข็งมากขึ้น ฟองก๊าซอาจไม่สามารถขยายตัวออกเกิดเป็นรู หรือช่องว่าง แต่จะดันออกจากชิ้นงานที่เกิดจากการสลายตัวของ AZ ในขณะที่ขึ้นรูปมาได้ อย่างอิสระ

จากรูปที่ 4.8 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบอัตราการซึมผ่านของน้ำที่เวลาการเชื่อมโยงต่างกัน สามารถแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 กรณี คือ

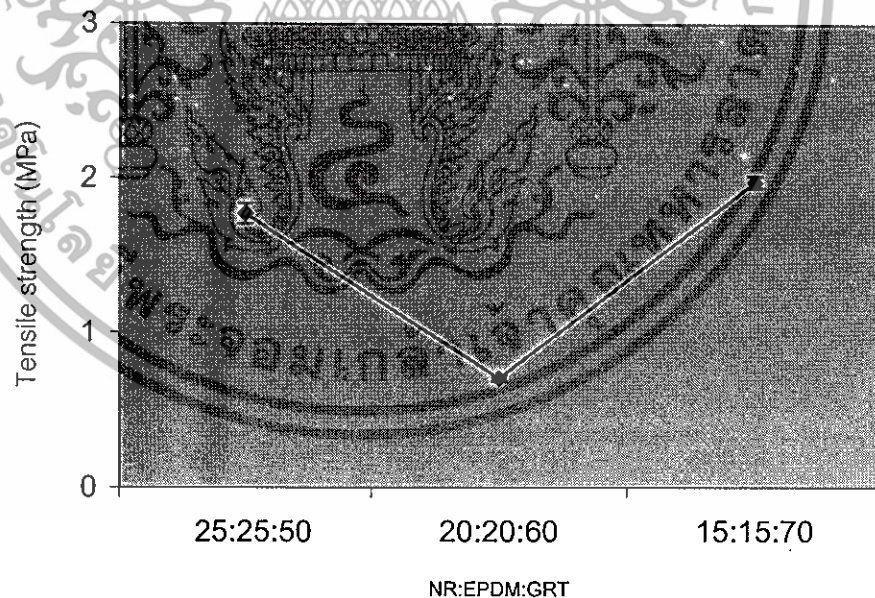
- กรณีที่ 1 เมื่อความดันเท่ากันแต่เวลาเชื่อมโยงต่างกัน พบว่ามีความแปรปรวนของอัตราการซึมผ่านของน้ำค่อนข้างมาก อาจเป็นผลเนื่องมาจากการกระจายตัวของสารให้ฟองไม่สม่ำเสมอ หรือสารให้ฟองอาจจะยังไม่เกิดเป็นฟองก๊าซได้หมด
- กรณีที่ 2 เมื่อเวลาเชื่อมโยงเท่ากันแต่ที่ความดันต่างกัน พบว่าอัตราการซึมผ่านของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อให้ความดันสูงขึ้น เนื่องจากผนังเซลล์จะเกิดการขยายตัวมากขึ้นทำให้อัตราการซึมผ่านของน้ำมากขึ้น

โดยทางทฤษฎี ความหนาแน่น และอัตราการซึมผ่านของน้ำ ขึ้นอยู่กับจำนวน และขนาดของรูพรุนภายในชิ้นงานโดยตรง กล่าวคือ ถ้าชิ้นงานมีจำนวนรูพรุนมาก และรูพรุนมีขนาดใหญ่จะทำให้อัตราการซึมผ่านของน้ำมากและค่าความหนาแน่นจะลดลง แต่ถ้าชิ้นงานมีจำนวนรูพรุนน้อย และรูพรุนมีขนาดเล็ก จะทำให้อัตราการซึมผ่านของน้ำมีค่าน้อยแต่ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจากการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และอัตราการซึมผ่านของน้ำที่อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส และเวลาการเชื่อมโยงต่างๆ พบว่า การเชื่อมโยงที่เวลา 30 นาที มีค่าความแข็งแรงดึงดีกว่าที่เวลาอื่นๆ ดังนั้นจึงเลือกใช้เวลาเชื่อมโยงนี้เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนของยางธรรมชาติผสมยางอีทีดีเอ็ม:ผงยางรถยนต์ ปริมาณกำมะถัน และปริมาณเขม่าดำที่เหมาะสมในการทดลองต่อไป

4.2 การศึกษาอัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติผสมยางอีพิตีเอ็ม และผงยางรถยนต์

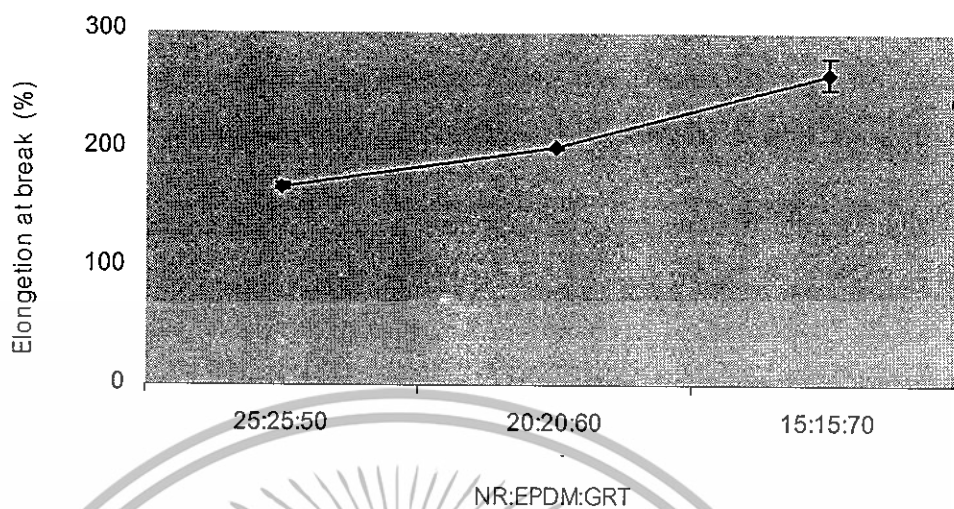
ในงานวิจัยนี้จะใช้ผงยางรถยนต์เป็นองค์ประกอบหลักและมียางธรรมชาติเป็นตัวเชื่อม (Binder) และใช้สารให้ฟอง AZ โดยอัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติผสมยางอีพิตีเอ็ม และผงยางรถยนต์ ก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อกระบวนการผลิต สมบัติเชิงกล และอัตราการซึมผ่านของน้ำ ปริมาณผงยางรถยนต์ที่มากเกินไป จะทำให้แปรรูปยาก และสมบัติเชิงกลลดลง แต่ถ้าปริมาณผงยางรถยนต์น้อยเกินไป จะทำให้น้ำไม่สามารถซึมผ่านท่อได้ ดังนั้นจึงทำการศึกษาอัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติผสมยางอีพิตีเอ็ม และผงยางรถยนต์เพื่อให้ได้ท่อน้ำซึมที่มีสมบัติที่ดี และมีอัตราการซึมผ่านของน้ำที่เหมาะสมกับการใช้งาน

จากการศึกษาเปรียบเทียบผลของอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างยางธรรมชาติ:ยางอีพิตี-เอ็ม:ผงยางรถยนต์ (NR:EPDM:GRT) ที่ปริมาณ 25:25:50, 20:20:60 และ 15:15:70 โดยมี NR:EPDM เป็น 1:1 มีปริมาณกำมะถัน 2 phr (ส่วนโดยน้ำหนักเทียบกับยางธรรมชาติผสมยางอีพิตีเอ็ม) และปริมาณเคมีค่า 30 phr เชื่อมโยงที่อุณหภูมิ 165°C เป็นเวลา 30 นาที ผลของอัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติผสมยางอีพิตีเอ็ม และผงยางรถยนต์ต่อสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ อัตราการซึมผ่านของน้ำ และสิ่งแวดล้อมวิทยา แสดงดังรูปที่ 4.9-4.12



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของท่อน้ำซึมที่ประกอบด้วย S:CB (2:30) เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่าง NR:EPDM:GRT ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

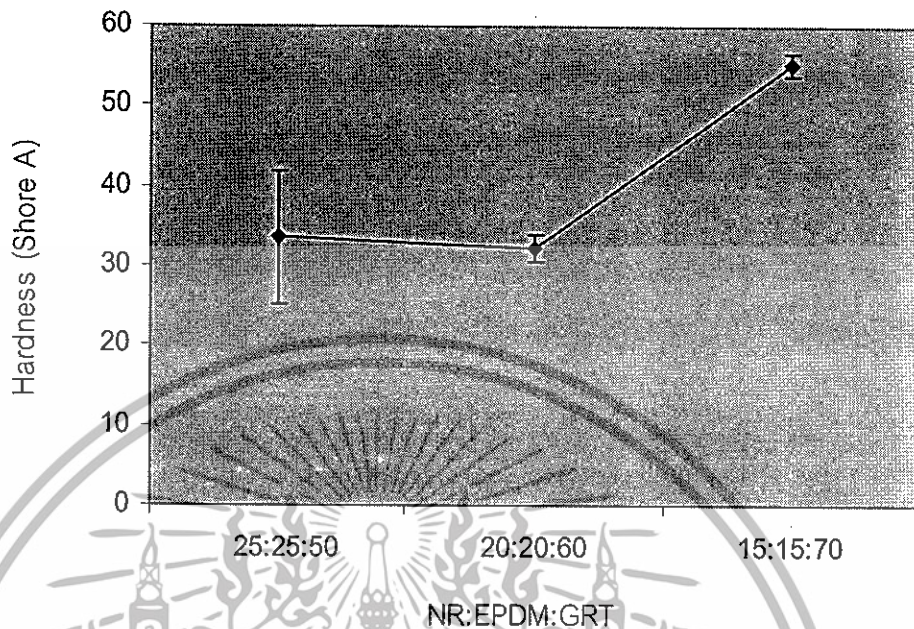


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของท่อน้ำซีเมนต์ที่ประกอบด้วย S:CB (2:30) เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่าง NR:EPDM:GRT ต่างกัน



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่ามอดุลัสที่ 50 เปอร์เซ็นต์ (M50) ของท่อน้ำซีเมนต์ที่ประกอบด้วย S:CB (2:30) เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่าง NR:EPDM:GRT ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่าความแข็งกดของท่อน้ำซีเมนต์ที่ประกอบด้วย S:CB (2:30) เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่าง NR:EPDM:GRT ต่างกัน

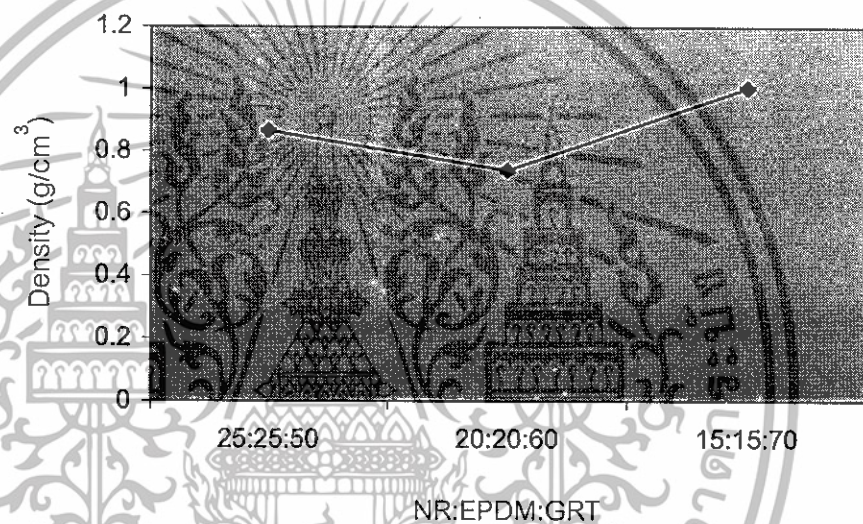
จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าเมื่ออัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติผสมยางอีพดีเอ็ม และผงยางรถยนต์ลดลง เท่ากับ 20:20:60 พบว่ามีค่าความแข็งแรงดิ่งลดลง เนื่องจากยางธรรมชาติ และยางอีพดีเอ็มเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง (Continuous phase) และทำหน้าที่เป็นตัวยึด (Binder) เมื่อมีปริมาณน้อยลงทำให้เกิดการยึดเกาะของยางบนพื้นผิว หรือภายในช่องว่างของโครงสร้างผงยางรถยนต์น้อยลง เป็นผลให้มีช่องว่างระหว่างอนุภาคผงยางรถยนต์มากขึ้น แต่ที่อัตราส่วน 15:15:70 มีค่าความแข็งแรงดิ่งเพิ่มขึ้น เนื่องจากมียาง (Binder) ลดลง ทำให้ไม่มียางมากพอที่จะห่อหุ้มสารให้ฟองเพื่อที่จะเกิดเป็นรูพรุน

จากรูปที่ 4.10 จะเห็นว่าเมื่ออัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติผสมยางอีพดีเอ็ม และผงยางรถยนต์ลดลง เปอร์เซ็นต์การยึด ณ จุดขาดมีแนวโน้มลดลง เนื่องจาก Binder ทั้งคู่เป็นยางส่วนผงยางรถยนต์ก็จัดเป็นยางที่ผ่านการเชื่อมโยงแล้ว

จากรูปที่ 4.11 จะเห็นว่าเมื่ออัตราส่วนระหว่าง NR:EPDM:GRT เท่ากับ 20:20:60 มีค่ามอดุลัสลดลง เนื่องจากยางนิ่ม เพราะมีรูพรุนมาก ส่วนที่อัตราส่วนเท่ากับ 15:15:70 มีค่าเพิ่มมาก

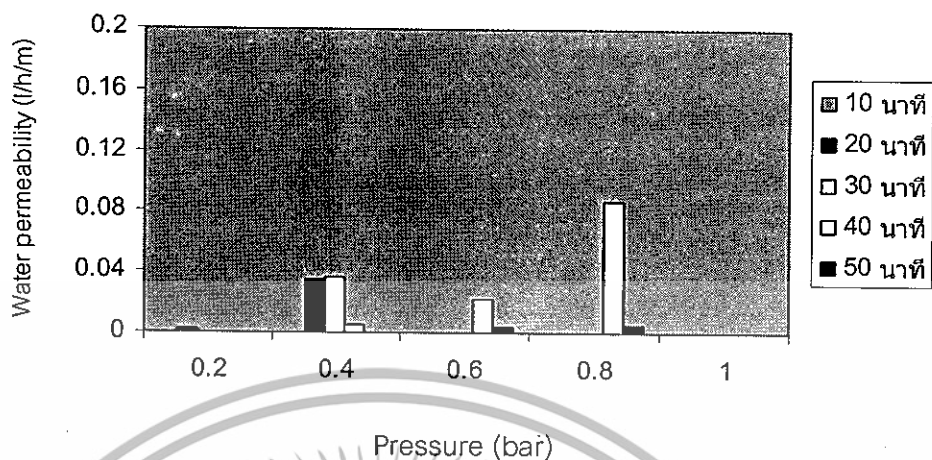
ขึ้น เนื่องจากมียาง (Binder) ลดลง ทำให้ไม่มียางมากพอที่จะห่อหุ้มสารให้ฟองเพื่อที่จะเกิดเป็นรูพรุน

จากรูปที่ 4.12 จะเห็นว่าเมื่ออัตราส่วนระหว่างยางธรรมชาติผสมยางอีพียดีเอ็ม และผงยางรถยนต์ลดลง พบว่าค่าความแข็งกดมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากมีปริมาณผงยางรถยนต์เพิ่มขึ้น และเป็นยางที่ผ่านการเชื่อมโยงแล้วมีการเติมเขม่าดำปริมาณมาก จึงอาจพิจารณาว่าเป็นสารตัวเติมที่มีความแข็ง เมื่อปริมาณผงยางรถยนต์มากขึ้น จึงทำให้ของผสมมีความแข็งโดยรวมมากขึ้น ตามกฎของของผสม

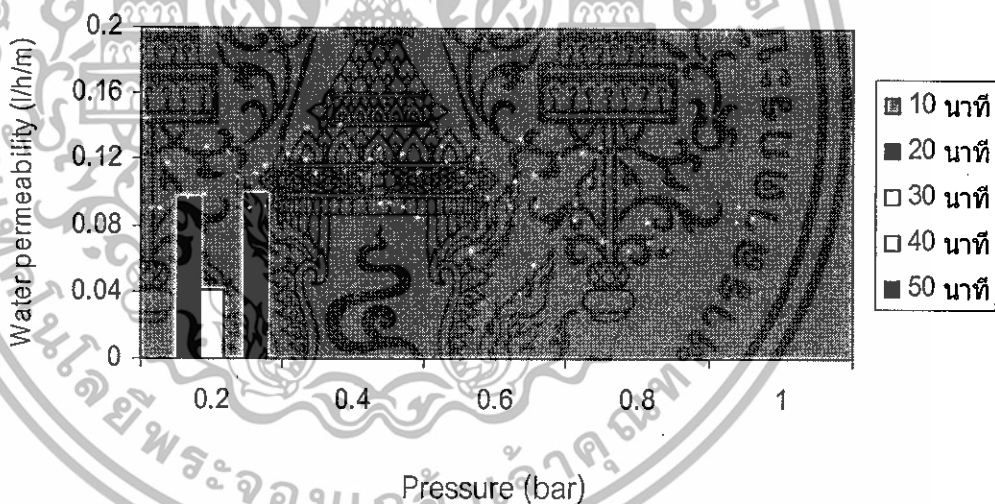


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นของก้อนน้ำขี้มที่ประกอบด้วย S:CB (2:30) เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่าง NR:EPDM:GRT ต่างกัน

จากรูปที่ 4.13 จะเห็นว่ามีความหนาแน่นใกล้เคียงกัน แต่ที่อัตราส่วน NR:EPDM:GRT เท่ากับ 15:15:70 จะมีความหนาแน่นสูงกว่า เนื่องจากมียาง (Binder) ลดลง ทำให้ไม่มียางมากพอที่จะห่อหุ้มสารให้ฟองเพื่อที่จะเกิดเป็นรูพรุน จึงเกิดเป็นรูพรุนขนาดเล็ก



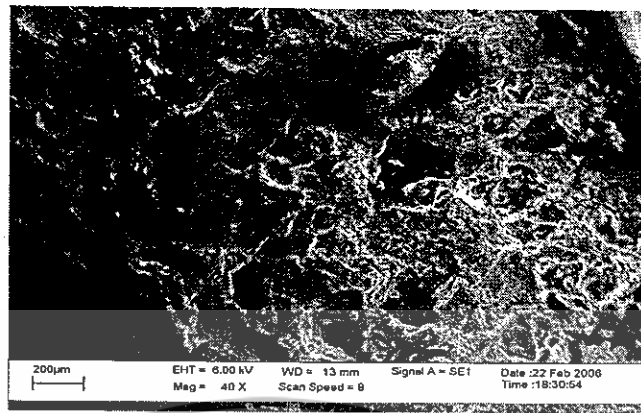
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่าอัตราการซึมผ่านของน้ำของท่อน้ำซึมที่ประกอบด้วย S:CB (2:30) เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่าง NR:EPDM:GRT เท่ากับ 25:25:50



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่าอัตราการซึมผ่านของน้ำของท่อน้ำซึมที่ประกอบด้วย S:CB (2:30) เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่าง NR:EPDM:GRT เท่ากับ 20:20:60

จากรูปที่ 4.14-4.15 จะเห็นว่าเมื่ออัตราส่วน NR:EPDM:GRT เท่ากับ 25:25:50 พบว่าค่าอัตราการซึมผ่านของน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความดันเพิ่มมากขึ้น แต่ที่ความดัน 1 บาร์ท่อกเกิดการเสียหาย และที่อัตราส่วนเท่ากับ 20:20:60 จะมีค่าอัตราการซึมผ่านของน้ำที่ความดันต่างๆไม่ได้นัก แต่ที่ความดัน 0.4 บาร์ เป็นต้นไปท่อกจะเกิดการเสียหาย

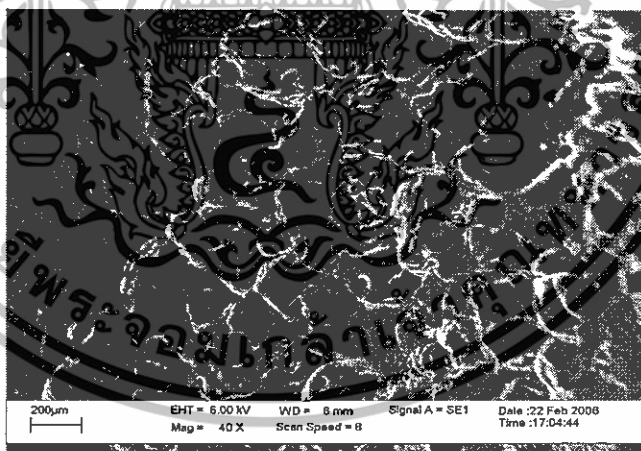
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.16 SEM Micrographs แสดงลักษณะพื้นฐานวิทยาของท่อน้ำซึมแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ ประกอบด้วย S:CB (2:30) เมื่ออัตราส่วนระหว่าง NR:EPDM:GRT ต่างกัน (ภาพ ก-ค อัตราส่วนระหว่าง NR:EPDM:GRT 25:25:50, 20:20:60 และ 15:15:70 ตามลำดับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

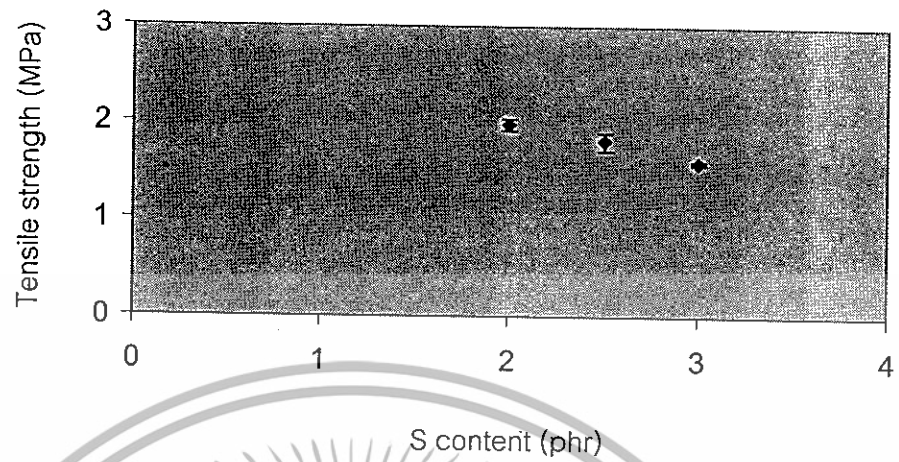
จากรูปที่ 4.16 (ก)-(ค) แสดงลักษณะฐานวิทยาของท่อน้ำซึมที่มีอัตราส่วน NR:EPDM:GRT 25:25:50, 20:20:60 และ 15:15:70 ตามลำดับ จะเห็นว่าที่อัตราส่วน 25:25:50 และ 20:20:60 มีการยึดเกาะของยางบนพื้นผิว หรือภายในช่องว่างโครงสร้างผงยางรถยนต์ลดลง เป็นผลให้มีพื้นผิว มีลักษณะขรุขระขึ้น ขนาดรูพรุนใหญ่ขึ้น และต่อเนื่องกันมากขึ้น เป็นผลให้อัตราการซึมผ่านของน้ำเพิ่มขึ้น แต่ที่อัตราส่วน NR:EPDM:GRT (15:15:70) น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้เลย ซึ่งคาดว่าเป็นผลจากความหนืดโดยเป็นไปตามทฤษฎีที่ว่าเมื่อความหนืดมากฟองก๊าซถูกควบคุมให้อยู่ภายในยางทำให้การขยายตัวของก๊าซลดลง แต่จากภาพสามารถอธิบายได้ว่าเป็นรูพรุนที่เกิดขึ้นจากอนุภาคของผงยางรถยนต์ที่หลุดออกไป

จากการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติเชิงกล และอัตราการซึมผ่านของน้ำที่อัตราส่วน NR:EPDM:GRT ต่างกัน พบว่าที่อัตราส่วน 25:25:50 มีสมบัติเชิงกลและอัตราการซึมผ่านของน้ำ สูงกว่าที่อัตราส่วน 20:20:60 ส่วนที่อัตราส่วน 15:15:70 จะมีสมบัติเชิงกลที่สูงกว่าอัตราส่วน 25:25:50 และ 20:20:60 แต่เมื่อพิจารณาอัตราการซึมผ่านพบว่าน้ำไม่สามารถซึมผ่านได้เลย ดังนั้น อัตราส่วน 25:25:50 จึงเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมกับการผลิตท่อน้ำซึม

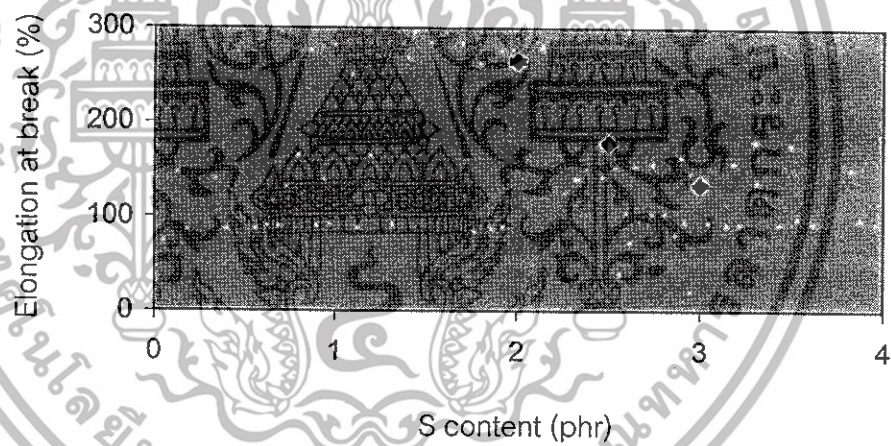
4.3 การศึกษาปริมาณกำมะถัน

จากการผลิตท่อน้ำซึมตามสูตร และสภาวะการเชื่อมโยงที่เหมาะสม พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกำมะถันในการเชื่อมโยงยาง จะส่งผลให้องค์การเชื่อมโยงของยางสูงขึ้น ซึ่งองค์การเชื่อมโยงจะมีผลอย่างมากต่อสมบัติเชิงกล และการบวมตัว (Swell) ในตัวทำละลาย กล่าวคือเมื่อเพิ่มปริมาณกำมะถันมากขึ้น จะส่งผลให้เวลาการเชื่อมโยงลดลง ความแข็ง หรือมอดุลัสของยางเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามปริมาณกำมะถันที่มากเกินไปจะมีผลกระทบต่อ

จากการศึกษาเปรียบเทียบผลของปริมาณกำมะถันซึ่งเป็นสารเชื่อมโยงยางปริมาณ 2, 2.5 และ 3 phr (ส่วนโดยน้ำหนักเทียบกับยาง) โดยมีองค์ประกอบของยางธรรมชาติ (NR) ผสมยางอีพีดีเอ็ม (EPDM) ปริมาณ 50 phr และใช้ปริมาณ AZ 6 phr เชื่อมโยงที่อุณหภูมิ 165°C เป็นเวลา 30 นาที ผลของปริมาณกำมะถันต่อสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และอัตราการซึมผ่านของน้ำ แสดงดังรูปที่ 4.17-4.22

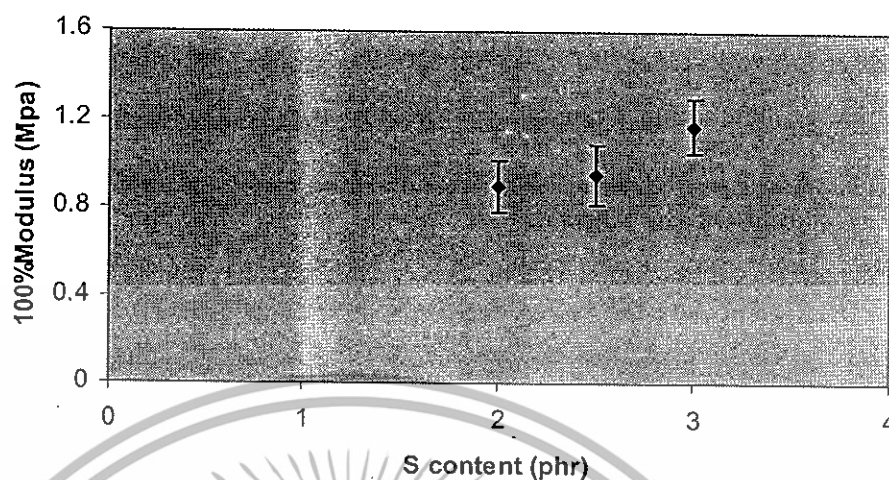


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความแข็งแรงดึงของท่อน้ำซีเมนต์ NR:EPDM:GRT:CB (25:25:50:30) เมื่อใช้ปริมาณกำมะถันต่างกัน



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของท่อน้ำซีเมนต์ NR:EPDM:GRT:CB (25:25:50:30) เมื่อใช้ปริมาณกำมะถันต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงมอดุลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์ (M100) ของท่อน้ำซีเมนต์ NR:EPDM:GRT:CB (25:25:50:30) เมื่อใช้ปริมาณกำมะถันต่างกัน



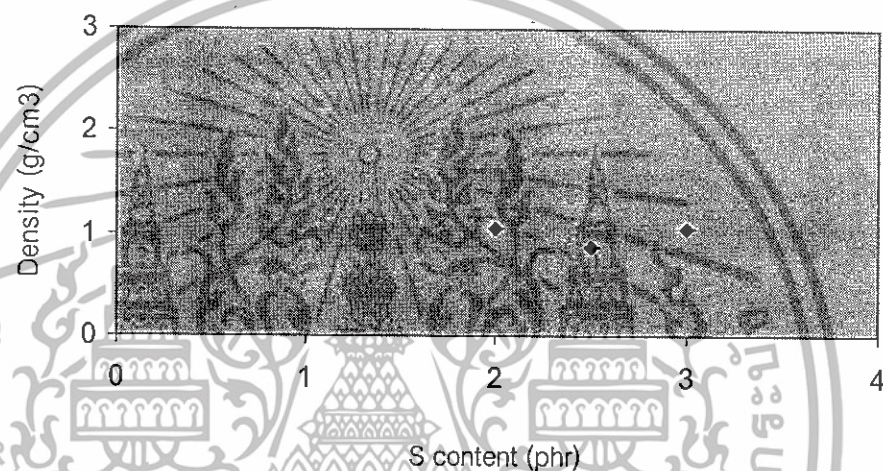
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความแข็งกดของท่อน้ำซีเมนต์ NR:EPDM:GRT:CB (25:25:50:30) เมื่อใช้ปริมาณกำมะถันต่างกัน

จากรูปที่ 4.17 และ 4.20 แสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณกำมะถัน 2, 2.5 และ 3 phr พบว่าเมื่อปริมาณกำมะถันเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงดึง และความแข็งกด มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน เนื่องจากเป็นการเพิ่มปริมาณกำมะถันเพียงเล็กน้อยจึงไม่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลบางประการ แต่จะมีผลอย่างมากต่ออัตราการซึมผ่านของน้ำดังรูปที่ 4.22

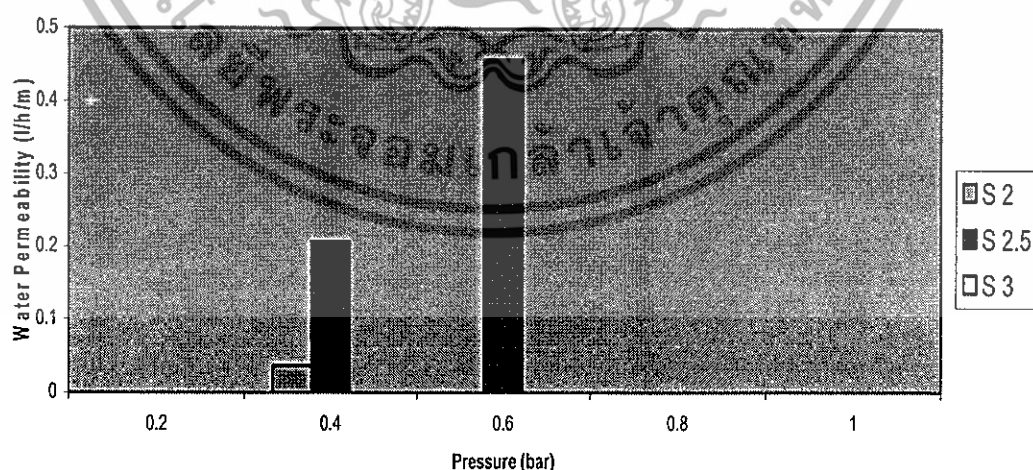
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.18 พบว่าเมื่อปริมาณกำมะถันเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของท่อ น้ำซึม มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการเพิ่มปริมาณกำมะถันมากขึ้น ทำให้สายโซ่เกิดการเชื่อมโยงมากขึ้น มีความหนาแน่นเชื่อมโยงมากขึ้นจนถึงจุดๆหนึ่งที่เรียกว่าจุดเกิดเจล (Gel point) จากนั้นจะมีค่าลดต่ำลงเนื่องจากเกิดโครงสร้างร่างแหสามมิติมากขึ้นทำให้สายโซ่ไม่สามารถเคลื่อนที่เพื่อกระจายแรงได้จึงมีค่าลดลง

จากรูปที่ 4.19 พบว่าเมื่อปริมาณกำมะถันเพิ่มขึ้น มอดุลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากสายโซ่เกิดพันธะเชื่อมโยงมากขึ้น มีความหนาแน่นเชื่อมโยงมากขึ้น



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความหนาแน่นของท่อน้ำซึมสูตร NR:EPDM:GRT:CB (25:25:50:30) เมื่อใช้ปริมาณกำมะถันต่างกัน



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงอัตราการซึมผ่านของน้ำสูตร NR:EPDM:GRT:CB (25:25:50:30) เมื่อใช้ปริมาณกำมะถันต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.21-4.22 แสดงผลการเปรียบเทียบที่ปริมาณกำมะถัน 2, 2.5 และ 3 phr พบว่าเมื่อปริมาณกำมะถันเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของท่อน้ำซีมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน ส่วนอัตราการซึมผ่านของน้ำที่ความดัน 0.2 บาร์ที่ปริมาณกำมะถันต่างๆกัน พบว่าน้ำไม่สามารถซึมผ่านออกมาได้เนื่องจากความดันต่ำทำให้พอร์ไม่สามารถขยายตัวได้ เมื่อความดันเพิ่มขึ้นที่ 0.4-0.6 บาร์ น้ำสามารถซึมผ่านออกมาได้มากขึ้นและท่อที่มีปริมาณกำมะถัน 2 phr จะเสียสภาพไปเนื่องจากท่อไม่สามารถทนต่อความดันที่มากขึ้นได้ และที่ปริมาณกำมะถัน 3 phr น้ำไม่สามารถซึมผ่านออกมาได้เลยเนื่องจาก เมื่อใช้กำมะถันปริมาณมาก ยางจะเกิดพันธะเชื่อมโยงมาก มีความหนาแน่นของการเชื่อมโยงสูง ทำให้สายโซ่โมเลกุลยางมีความแข็ง ท่อที่ได้จึงแข็ง เมื่อนำมาวัดอัตราการซึมผ่านของน้ำ โดยใช้ความดันเพิ่มขึ้นเป็น 0.8 บาร์ พบว่าท่อที่มีปริมาณกำมะถัน 2.5 phr เกิดการเสียสภาพ

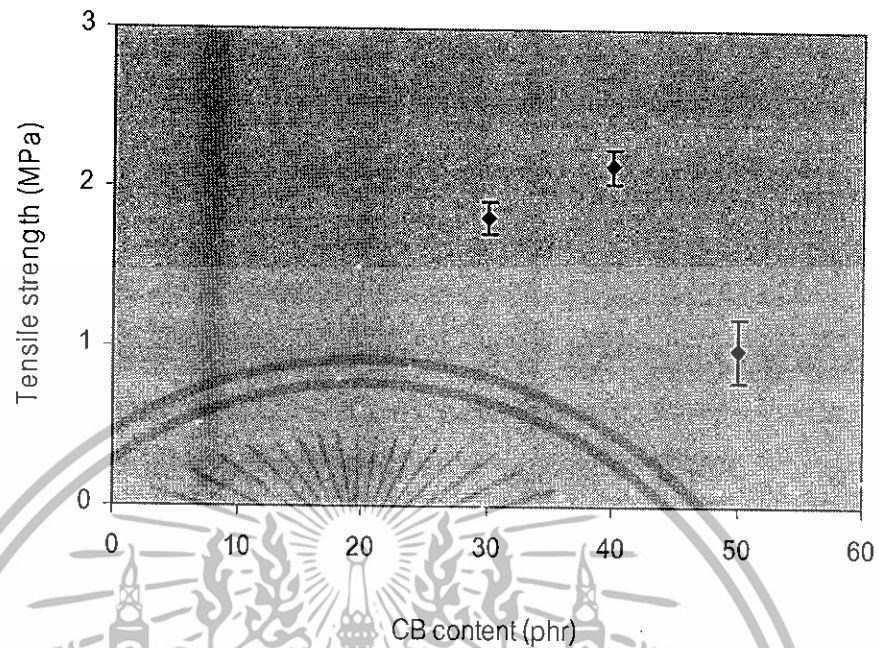
จากการศึกษาปริมาณกำมะถัน พบว่าเมื่อปริมาณกำมะถันเพิ่มขึ้น สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน จึงพิจารณาจากอัตราการซึมผ่านของน้ำพบว่าที่ปริมาณกำมะถัน เท่ากับ 2.5 phr มีอัตราการซึมผ่านน้ำมากที่สุด

4.4 การศึกษาปริมาณเขม่าดำ

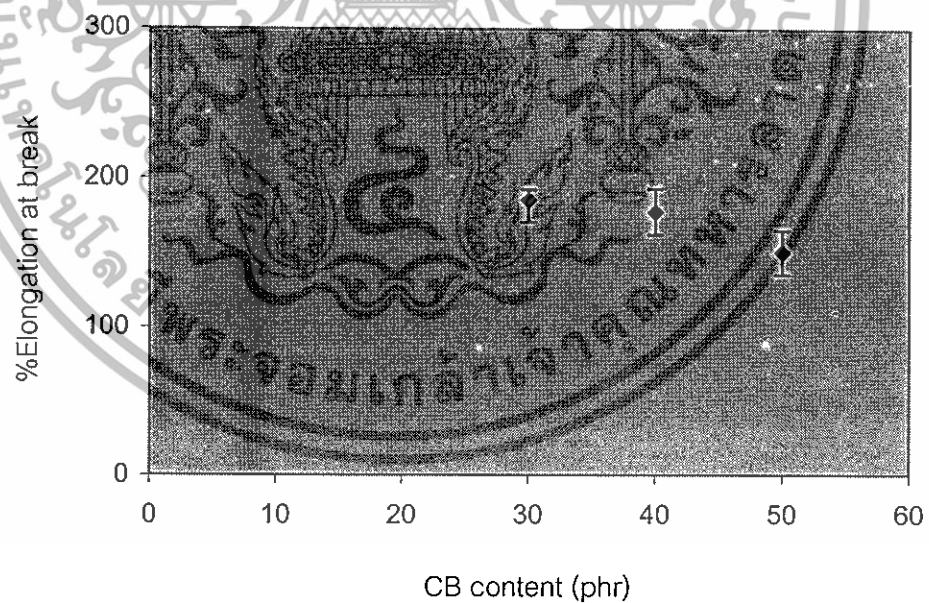
การหาปริมาณเขม่าดำที่เหมาะสมเพื่อต้องการปรับปรุงความแข็งแรงของท่อน้ำซีให้สูงขึ้น และอัตราการซึมผ่านของน้ำที่เหมาะสม เนื่องจากเขม่าดำเป็นสารตัวเติมชนิดเสริมแรงจึงทำให้ท่อน้ำซีมีความแข็งแรงมากขึ้น และช่วยเพิ่มความสามารถในการขึ้นรูป (Processability) ของยางให้ง่ายขึ้น เช่น ลดความยืดหยุ่นของการไหล (Melt elasticity) ลดการหดตัว (Shrinkage) ลดการเกิดการบวมตัวที่หัวตาย (Die swell) และลดการบิดเบี้ยว (Distortion) ของผลิตภัณฑ์ท่อน้ำซีหลังการขึ้นรูป นอกจากนี้เขม่าดำยังมีราคาถูกช่วยลดต้นทุนการผลิตได้อีกด้วย อย่างไรก็ตามปริมาณเขม่าดำที่มากเกินไปอาจมีผลต่อกระบวนการผลิต สมบัติต่างๆ และอัตราการซึมผ่านของน้ำได้

จากการศึกษาเมื่อนำยางผสมสูตรที่ประกอบด้วย ยางธรรมชาติ:ยางอีพีดีเอ็ม:ผงยางรถยนต์:กำมะถัน เท่ากับ 25:25:50:2.5 เมื่อปริมาณเขม่าดำต่างกัน 30 40 และ 50 phr ตามลำดับ จากนั้นขึ้นรูปเป็นท่อน้ำซีด้วยเทคนิคการอัดรีด และเชื่อมโยงที่อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ผลของปริมาณเขม่าดำที่มีต่อสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และอัตราการซึมผ่านของน้ำแสดงดังรูปที่ 4.23- 4.26 และ 4.28-4.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

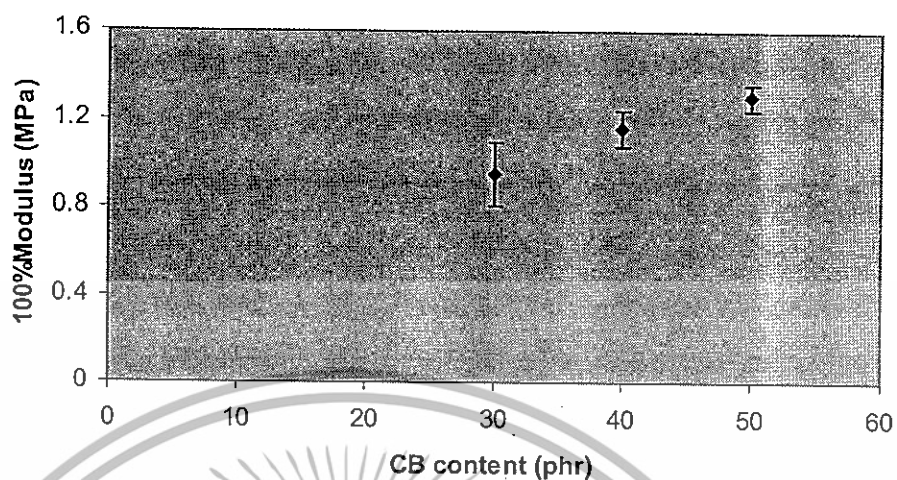


รูปที่ 4.23 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของท่อน้ำซีเมนต์ NR:EPDM:GRT:S (25:25:50:2.5) เมื่อปริมาณเขม่าดำต่างกัน

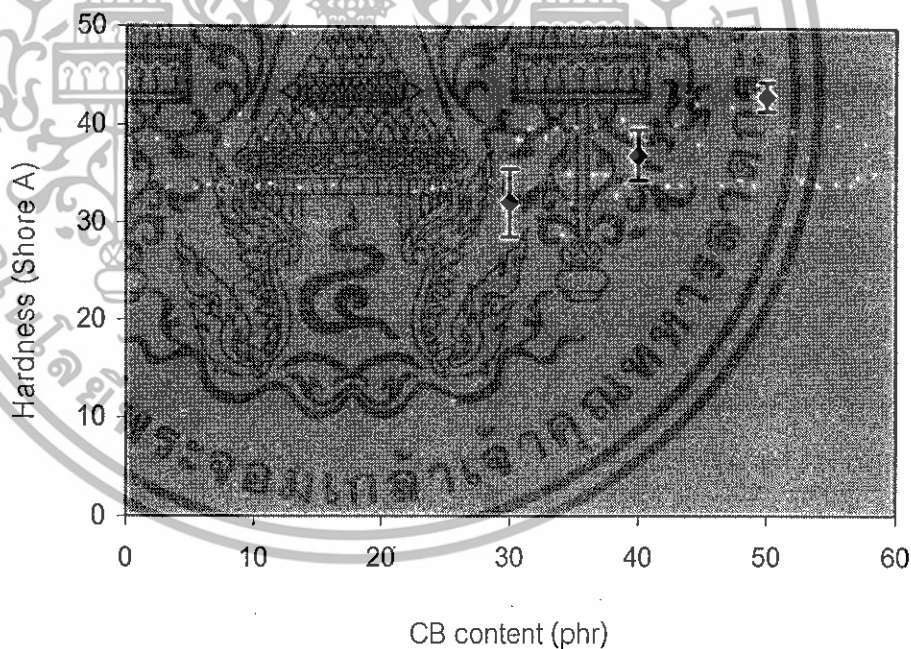


รูปที่ 4.24 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของท่อน้ำซีเมนต์ NR:EPDM:GRT:S (25:25:50:2.5) เมื่อปริมาณเขม่าดำต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



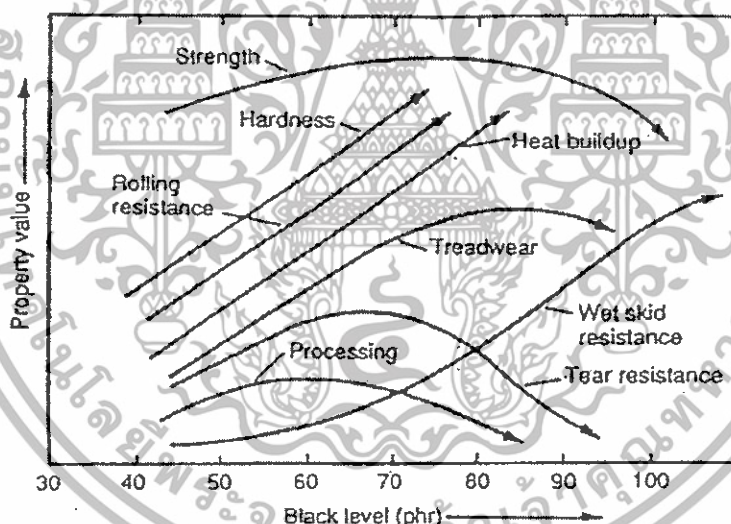
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงค่ามอดุลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์ (M100) ของพ่อน้ำซีมสูตร NR:EPDM:GRT:S (25:25:50:2.5) เมื่อปริมาณเขม่าดำต่างกัน



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงค่าความแข็งกดของพ่อน้ำซีมสูตร NR:EPDM:GRT:S (25:25:50:2.5) เมื่อปริมาณเขม่าดำต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.23-4.26 แสดงผลการเปรียบเทียบเมื่อใส่ปริมาณเขม่าดำ 30 40 และ 50 phr ในยางผสมสูตรยางธรรมชาติผสมยางอีพียูดีเอ็ม:พยางรถยนต์:กำมะถัน (25:25:50:2.5) ที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของท่อน้ำซึม ได้แก่ความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด มอดุลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์ (M100) และความแข็งกด จากรูปที่ 4.23 พบว่าเมื่อปริมาณเขม่าดำเพิ่มขึ้นในช่วง 30-40 phr จะเกิดอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างเขม่าดำ และยางมากขึ้น โดยเกิดการยึดเกาะของยางบนพื้นผิว หรือภายในช่องว่างของโครงสร้างเขม่าดำมากขึ้น (Bound rubber) ทำให้ความแข็งแรงดึงมากขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าปริมาณเขม่าดำมากเกินไปการผสมให้เกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอจะทำได้ยาก อาจเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่หรือที่เรียกกันว่าเกิดแอกไกลเมอเรต (Agglomerate) ทำให้เกิดช่องว่างภายในกลุ่มก้อนเขม่าดำ และภายในยาง เป็นผลให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลง ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลของปริมาณเขม่าดำที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของยาง[13] ดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 ผลของปริมาณเขม่าดำที่มีต่อสมบัติของยาง [13]

จากรูปที่ 4.24 พบว่าเมื่อปริมาณเขม่าดำมากขึ้น ร้อยละการยืด ณ จุดขาดมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากเขม่าดำเป็นสารตัวเติมที่มีความแข็งแรงมาก มีมอดุลัสมากเมื่อเทียบกับยาง (มากกว่าประมาณ 10,000 เท่า) เขม่าดำจึงไม่มีการเปลี่ยนขนาด หรือเปลี่ยนรูปไปเมื่อได้รับแรง ส่วนยางเป็นวัสดุที่สามารถเปลี่ยนขนาด หรือเปลี่ยนรูปได้มาก ดังนั้นปริมาณเขม่าดำที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงมากขึ้น และมีความสามารถในการเปลี่ยนขนาด หรือเปลี่ยนรูปได้น้อยลง ปรากฏ-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

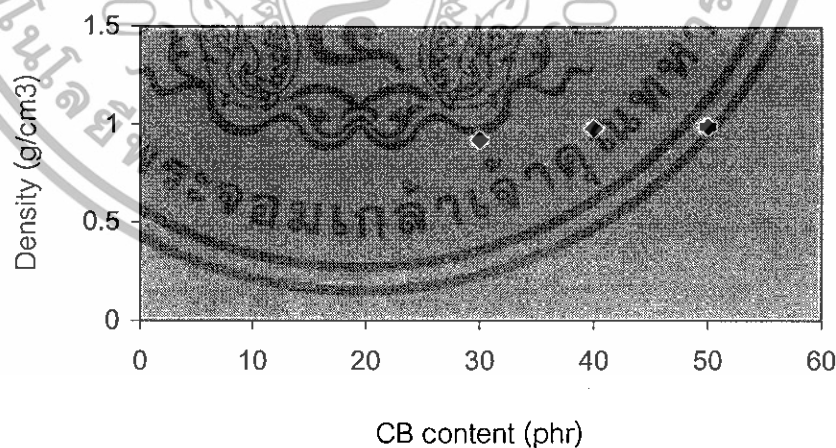
การณีนี้นี้เรียกว่า การขยายความเครียด (Strain amplification effect) [5] ซึ่งสามารถอธิบายได้จากสมการที่ 4.1

$$\Lambda = 1 + (1 + 2.5\Phi + 14.1\Phi^2)\epsilon \quad (4.1)$$

- เมื่อ Λ คือ อัตราส่วนการยืดที่แท้จริงของยาง (ไม่มีหน่วย)
 Φ คือ สัดส่วนโดยปริมาตร (Volume fraction) ของเขม่าดำในยาง (ไม่มีหน่วย)
 ϵ คือ ค่าความเครียด (Strain) (ไม่มีหน่วย)

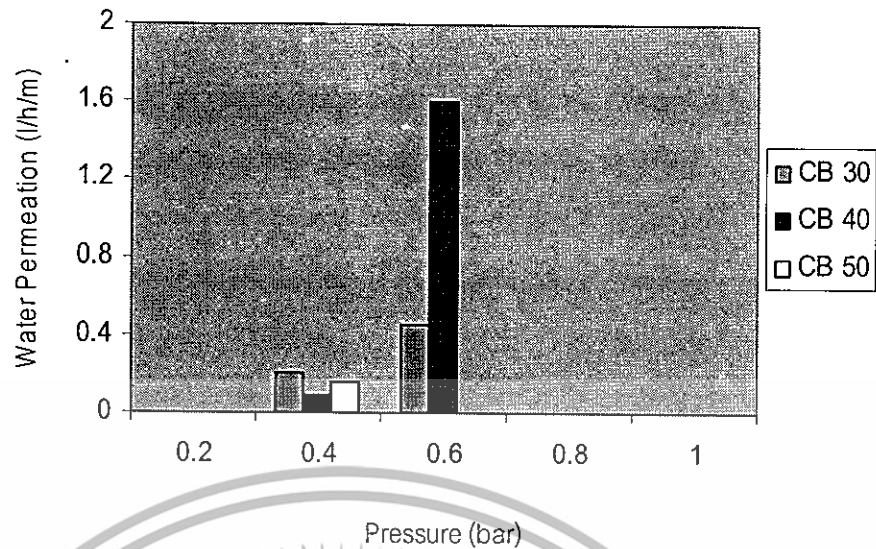
จากสมการที่ 4.1 เมื่อปริมาณเขม่าดำเพิ่มขึ้น อัตราส่วนการขยายความเครียด (Strain amplification ratio) หรืออัตราส่วนการยืดที่แท้จริง (Actual elongation ratio, Λ) ของยางมีค่ามากขึ้น ทำให้ชิ้นงานมีความสามารถในการยืดลดลง

จากรูป 4.25-4.26 พบว่าเมื่อปริมาณเขม่าดำที่เพิ่มขึ้นในปริมาณ 30 40 และ 50 phr ค่ามอดุลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์ และค่าความแข็งกด มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเขม่าดำเป็นสารตัวเติมที่มีความแข็งมาก มีค่ามอดุลัสมาก เมื่อเทียบกับยาง ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณเขม่าดำจึงเป็นผลให้ค่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ดีถ้าปริมาณเขม่าดำมากเกินไป อาจเกิดการรวมกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ หรือแอกโกลเมอเรต (Agglomerates)



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นของท่อน้ำซีมสูตร NR:EPDM:GRT:S (25:25:50:2.5) เมื่อปริมาณเขม่าดำต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 กราฟค่าอัตราการซึมผ่านของน้ำสูตร NR:EPDM:GRT:S (25:25:50:2.5) เมื่อปริมาณเขม่าดำต่างกัน

จากรูปที่ 4.28 พบว่าเมื่อปริมาณเขม่าดำเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของท่อน้ำซึมมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากสารให้ฟองสลายตัวไปหมดแล้วในช่วงแรกของการผลิตทำให้แม้จะเพิ่มเวลาการเชื่อมโยงนานขึ้นค่าความหนาแน่นก็ไม่เพิ่มสูงขึ้น และเนื่องจากเขม่าดำมีค่าความหนาแน่นสูง (1.8 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) เมื่อเทียบกับองค์ประกอบอื่นๆในยาง ดังนั้นเมื่อเทียบสัดส่วนของเขม่าดำ ความหนาแน่นของวัสดุโดยรวมจึงสูงขึ้นตามกฎของของผสม (Rule of mixture) นอกจากนี้ปริมาณเขม่าดำที่มากขึ้นทำให้ความหนืดของยางผสมสูตรสูงขึ้น ตามสมการของ กัท-โกลด์ (Guth-Gold equation) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของยางที่เพิ่มขึ้นกับสัดส่วนโดยปริมาตรของสารตัวเติมที่ใส่ในยางดังสมการที่ 4.2 อย่างไรก็ตามสมการของ กัท-โกลด์ จะประมาณค่าความหนืดได้ถูกต้องแม่นยำเมื่อใช้กับยางที่ผสมสารตัวเติมก้อนกลมที่มีโครงสร้าง (Structure) น้อย และผสมสารตัวเติมปริมาณไม่สูงมากนัก

$$\eta_f = \eta_u (1 + 2.5C + 14.1C^2) \quad (4.2)$$

- เมื่อ η_f คือ ความหนืดของยางผสมสารตัวเติม (Filled compound)
 η_u คือ ความหนืดของยางที่ไม่ผสมสารตัวเติม (Unfilled compound)
 C คือ สัดส่วนโดยปริมาตรของสารตัวเติมในยาง (Volume fraction of filler)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยความเหนียวของยางผสมสูตรที่สูงขึ้น อาจไปขัดขวางการขยายตัวเป็นฟองก๊าซเพื่อเกิดเป็นรูพรุน ทำให้จำนวนรูพรุนมีน้อยและขนาดเล็ก อย่างไรก็ตามปริมาณเคมีดำที่เพิ่มขึ้น อาจรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ทำให้เกิดช่องว่างภายในกลุ่มก้อนของเคมีดำ และภายในยาง ด้วยเหตุผลข้างต้นนี้ ส่งผลให้ความหนาแน่นมีค่าใกล้เคียงกัน และเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

จากรูปที่ 4.28 พบว่าเมื่อปริมาณเคมีดำมากขึ้น อัตราการซึมผ่านของน้ำมีแนวโน้มมากขึ้นเนื่องจากอาจทำให้เกิดช่องว่างภายในกลุ่มก้อนเคมีดำ และภายในยาง จากการทดลองพบว่าที่ความดัน 0.6 บาร์ เกิดการขาดของท่อน้ำซึม เนื่องจากชิ้นงานมีความแข็งแรงไม่พอเพียงพอที่จะทนต่อความดัน 0.6 บาร์ได้

จากการศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และอัตราการซึมผ่านของน้ำที่ปริมาณเคมีดำต่างๆ พบว่าปริมาณเคมีดำที่ 40 phr มีสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และอัตราการซึมผ่านของน้ำดีกว่าที่ปริมาณอื่นๆ ดังนั้นจึงเลือกปริมาณเคมีดำ 40 phr

4.5 การศึกษาความต้านทานต่อโอโซน

เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ปรับปรุงสมบัติของการนำไปใช้งานทางด้านความต้านทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ และโอโซนได้ดี โดยได้ปรับองค์ประกอบหลักจากเดิมระหว่างยางรีเคลม และผงยางรถยนต์ ซึ่งพบว่าท่อเกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วน จึงปรับมาเป็นยางธรรมชาติผสมยาง EPDM และผงยางรถยนต์ จึงทำให้ท่อที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้งานกลางแจ้งได้เป็นอย่างดี เพราะ EPDM ที่นำมาผสมซึ่งเป็นพอลิเมอร์รวมโดยโครงสร้างที่ไม่อิมตัวไม่ได้ อยู่ภายในสายโซ่หลัก แต่อยู่ที่หมู่ข้าง

ตารางที่ 4.1 ความต้านทานต่อโอโซนของท่อน้ำซึมสูตร NR:EPDM:GRT

ในอัตราส่วนที่ต่างกัน กำมะถัน 2 phr และเคมีดำ 30 phr

NR:EPDM:GRT (phr)	ความต้านทานต่อโอโซนที่ 25 pphm, 40°C ระยะยืด 20%, 72 h
25:25:50	ไม่พบรอยแตก
20:20:60	ไม่พบรอยแตก
15:15:70	ไม่พบรอยแตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ความต้านทานต่อไอโซนของท่อน้ำซีเมนต์ที่ NR:EPDM:GRT:
กำมะถันในปริมาณที่ต่างกัน และเขม่าดำ 30 phr

NR:EPDM:GRT:S (phr)	ความต้านทานต่อไอโซนที่ 25 ppm, 40°C ระยะยี่ด 20%, 72 h
25:25:50:2	ไม่พบรอยแตก
25:25:50:2.5	ไม่พบรอยแตก
25:25:50:3	ไม่พบรอยแตก

ตารางที่ 4.3 ความต้านทานต่อไอโซนของท่อน้ำซีเมนต์ที่ NR:EPDM:GRT:CB
ในปริมาณที่ต่างกัน และกำมะถัน 2.5 phr

NR:EPDM:GRT:CB (phr)	ความต้านทานต่อไอโซนที่ 25 ppm, 40°C ระยะยี่ด 20%, 72 h
25:25:50:30	ไม่พบรอยแตก
25:25:50:40	ไม่พบรอยแตก
25:25:50:50	ไม่พบรอยแตก

จากตารางที่ 4.1-4.3 แสดงผลการเปรียบเทียบความต้านทานต่อไอโซนของท่อน้ำซีเมนต์ที่มีปริมาณอัตราส่วน NR:EPDM, ปริมาณเขม่าดำ, ปริมาณกำมะถัน ที่ต่างกัน พบว่าชิ้นงานมีความต้านทานต่อไอโซนได้ดีในทุกสูตรที่ศึกษา เนื่องจากในทุกสูตรมี EPDM เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย

4.6 สูตรสูตรที่เหมาะสม และสมบัติของท่อน้ำซีเมนต์

จากการทดลองพบว่า องค์ประกอบของวัตถุดิบ และสภาวะการขึ้นรูปที่เหมาะสมกับการผลิตท่อน้ำซีเมนต์ เพื่อให้ได้ท่อน้ำซีเมนต์ที่มีสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และอัตราการซึมผ่านของน้ำที่เหมาะสมกับการใช้งานคือ ท่อน้ำซีเมนต์ที่ประกอบด้วย

- อัตราส่วนโดยน้ำหนักของยางธรรมชาติ (NR):ยางอีพดีเอ็ม (EPDM):ผงยางรถยนต์ (GRT) คือ 25:25:50
- ปริมาณกำมะถัน 2.5 phr (ส่วนโดยน้ำหนักเทียบกับยาง)
- ปริมาณเขม่าดำ 40 phr (ส่วนโดยน้ำหนักเทียบกับยาง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการบดผสมด้วยเครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง ที่อุณหภูมิห้อง และการขึ้นรูปเป็นท่อด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวที่อุณหภูมิ 85 °C ความเร็วรอบ 35-40 รอบต่อนาที จากนั้นทำการเชื่อมโยงท่อด้วยเครื่องอบความร้อนอุณหภูมิ 165 °C เป็นเวลา 30 นาที โดยท่อที่ผลิตได้จะเป็นท่อที่มีรูพรุน สีดำ ผิวเรียบ สามารถโค้งงอได้ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 21 มิลลิเมตร ความหนา 3 มิลลิเมตร สมบัติบางประการของท่อน้ำซึมที่ผลิตได้ แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงสมบัติบางประการของท่อน้ำซึม

สมบัติของท่อน้ำซึม	ผลที่ได้
ความแข็งแรงดึง (MPa)	2.14
เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%)	177.39
มอดุลัสที่ 50% (MPa)	1.87
ความแข็งกด (Shore A)	37
ความหนาแน่น (g/cm ³)	0.98
ความต้านทานต่อไฮดรอลิก	ไม่พบรอยแตก
อัตราการซึมผ่านของน้ำที่ความดันต่างๆ (l/h/m)	
- 0.2 bar	0
- 0.4 bar	0.088
- 0.6 bar	1.60

4.7 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

ในการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต จะทำการเปรียบเทียบท่อน้ำซึมที่ประกอบด้วย ยางธรรมชาติผสมยางอีพดีเอ็ม:ผงยางรถยนต์:กำมะถัน:เซม่าดำ เท่ากับ 25:25:50:2.5:40 ที่เวลาการเชื่อมโยง 30 นาที โดยวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตการผลิตท่อน้ำซึมที่มีน้ำหนัก 1 กิโลกรัม ซึ่งสามารถผลิตท่อน้ำซึมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก และภายใน เท่ากับ 21 และ 18 มิลลิเมตร ตามลำดับ ได้ความยาว 4.51 เมตร การหาความยาวท่อน้ำซึมที่มีน้ำหนัก 1 กิโลกรัม (แสดงดังภาคผนวก ค) แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตท่อน้ำซีเมนต์ที่ประกอบด้วย NR:EPDM:GRT:S:CB (25:25:50:2.5:40) ที่เวลาเชื่อมโยง 30 นาที

รายการ	ปริมาณที่ใช้	ราคาต่อหน่วย ¹⁾	เป็นเงิน(บาท)
1. ยางแผ่นรมควันชั้น 3	250.0 กรัม	74.58 บาท/กก.	18.65
2. ยางซีพีดีเอ็ม	250.0 กรัม	115 บาท/กก.	28.75
3. ผงยางรถยนต์ (ขนาด 40เมซ)	500.0 กรัม	13 บาท/กก.	6.50
4. ซิงค์ออกไซด์	50.0 กรัม	39 บาท/กก.	1.95
5. กรดสเตียริก	20.0 กรัม	25 บาท/กก.	0.50
6. CBS	10.0 กรัม	130 บาท/กก.	1.30
7. TMTD	3.0 กรัม	100 บาท/กก.	0.30
8. เชม่าดำ (N550)	400.0 กรัม	27 บาท/กก.	10.8
9. น้ำมันแอฟทานิก	100.0 กรัม	68 บาท/กก.	6.80
10. 6 PPD	10.0 กรัม	230 บาท/กก.	2.30
11. ซีเมนต์โพโรไลยม	10.0 กรัม	50 บาท/กก.	0.50
12. AZ	60.0 กรัม	184 บาท/กก.	11.04
13. ยูเรีย	60.0 กรัม	136 บาท/กก.	8.16
14. กำมะถัน	25.0 กรัม	19 บาท/กก.	0.475
15. ค่าแรง	1 ชั่วโมง	181 บาท/วัน ²⁾	22.63
16. ค่าไฟฟ้า	10 หน่วย	2.50 บาท/หน่วย	25.00
17. เบ็ดเตล็ด	-	-	5.00
รวมต้นทุนการผลิตท่อน้ำซีเมนต์ที่มีน้ำหนัก 1 กิโลกรัม (4.51 เมตร)			150.66
ราคาต้นทุนการผลิตท่อน้ำซีเมนต์ที่มีความยาว 1 เมตร			33.41

หมายเหตุ ¹⁾ เป็นราคาโดยประมาณ ณ เดือนกุมภาพันธ์ 2549

²⁾ คิดค่าแรงตามค่าแรงขั้นต่ำ 1 คน

³⁾ ราคานี้ไม่รวมต้นทุนการผลิต และค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิจารณ์การดำเนินงาน

เนื่องจากว่าโครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาเพื่อปรับปรุงสมบัติของการนำไปใช้งาน เพื่อให้มีความต้านทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ และความต้านทานต่อโอโซนได้ดีขึ้น จึงได้มีการปรับปรุงสูตรผสมโดยการเพิ่มยางอีพิตีเอ็มเข้ามาซึ่งยางอีพิตีเอ็มมีสมบัติทางด้านความต้านทานต่อการเสื่อมสลายโดยเฉพาะโอโซนได้ดี เพราะในโครงสร้างมีพันธะคู่ อยู่และป็นตำแหน่งโซ่กิ่ง ดังนั้นเมื่อเกิดปฏิกิริยาโอโซนขึ้นก็จะเกิดในตำแหน่งของพันธะคู่ในโซ่กิ่งเท่านั้น ดังนั้นสายโซ่หลักจึงยังคงอยู่ทำให้ท่อมีความแข็งแรงสามารถทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ และโอโซนได้ดี

อย่างไรก็ดีจากการดำเนินการวิจัยในโครงการพิเศษนี้ได้พบสมบัติบางประการของท่อน้ำดื่มที่เตรียมจากยางธรรมชาติผสมยางอีพิตีเอ็ม และผงยางรถยนต์ ที่ต้องการปรับปรุง กล่าวคือ ท่อน้ำดื่มที่ผลิตได้จากโครงการพิเศษนี้ ไม่สามารถทนต่อแรงดันน้ำที่ความดันสูงได้ เนื่องจากได้ปรับปรุงสูตรผสมโดยการเพิ่มอัตราส่วนยางอีพิตีเอ็ม ทำให้ส่วนของยางธรรมชาติที่ใช้จึงน้อยลง ปกติยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงกล เช่นความแข็งแรงสูงกว่ายางอีพิตีเอ็ม โดยเฉพาะเมื่อได้รับแรงดึง (Strain induced crystallization) ทำให้ยางธรรมชาติสามารถรับแรงได้มากกว่ายางอีพิตีเอ็ม ดังนั้นสำหรับการจะนำไปใช้งานจึงควรปรับปรุงทางด้านความแข็งแรง โดยอาจจะเป็นการเพิ่มและปรับเกรดของเขม่าดำ หรือใช้เทคนิคการผลิตท่อเสริมแรงแบบสองชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากโครงการพิเศษนี้สามารถผลิตท่อน้ำซีเมนต์ได้จากยางธรรมชาติผสมยางอีพิตีเอ็ม และผง ยางรถยนต์ ที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว สามารถผลิตผลการทดลองได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

- โครงการพิเศษนี้ทำการปรับปรุงสมบัติของท่อน้ำซีเมนต์โดยการเปลี่ยนชนิดของยางหลักจาก ยางธรรมชาติเป็นยางธรรมชาติผสมยางอีพิตีเอ็ม เป็นผลให้ท่อน้ำซีเมนต์ที่ผลิตได้มีความต้านทานต่อ สภาพดินฟ้าอากาศ และโอโซนได้ดี
- ท่อน้ำซีเมนต์ที่ประกอบด้วย NR:EPDM:GRT เท่ากับ 25:25:50, 20:20:60 และ 15:15:70 ตามลำดับ ที่เวลาเชื่อมโยง 10-50 นาที พบว่าที่อัตราส่วน 25:25:50 มีสมบัติเชิงกล สมบัติทาง กายภาพ และอัตราการซึมผ่านของน้ำ มีแนวโน้มดีที่สุด
- การเติมกำมะถันเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านความแข็งแรงของท่อน้ำซีเมนต์ พบว่าเมื่อปริมาณ กำมะถันเพิ่มขึ้น สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณกำมะถันเท่ากับ 2.5 phr ทำให้อัตราการซึมผ่านของน้ำดีกว่าที่กำมะถันปริมาณอื่นๆ
- การเติมเขม่าดำเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านความแข็งแรงของท่อน้ำซีเมนต์ พบว่าปริมาณ เขม่าดำ 40 phr มีสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และอัตราการซึมผ่านของน้ำดีกว่าที่เขม่าดำ ปริมาณอื่นๆ
- ท่อน้ำซีเมนต์ที่ประกอบด้วย NR:EPDM:GRT:S:CB เท่ากับ 25:25:50:2.5:40 ที่เวลาเชื่อมโยง 30 นาที มีต้นทุนการผลิตที่มีความยาว 1 เมตร คือ 33.4 บาท/เมตร
- ท่อน้ำซีเมนต์ที่ผลิตได้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานด้านเกษตรกรรมซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งในที่ ร่ม และกลางแจ้งเนื่องจากมีสมบัติที่ทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ และใช้งานแบบวางบนดิน สำหรับการให้น้ำแก่ ต้นกล้า สวนหย่อม สวนชา กาแฟ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาท่อน้ำซึมจากยางธรรมชาติผสมยางอีพีดีเอ็ม และผงยางรถยนต์สามารถสรุปข้อเสนอแนะต่างๆที่น่าสนใจที่อาจเป็นแนวทางในการทำการศึกษาวิจัยต่อไป ดังนี้

1. ศึกษาผลของความหนาของท่อน้ำซึมที่มีต่อ สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และอัตราการซึมผ่านของน้ำ
2. ปรับปรุงสมบัติบางประการของท่อน้ำซึม เช่น สมบัติเชิงกล อัตราการซึมผ่านของน้ำ และความสามารถในการทนต่อแรงดันน้ำ ฯลฯ โดยการเพิ่มและปรับเกรดของเคมีดำ หรือใช้เทคนิคการผลิตท่อแบบสองชั้น
3. ศึกษาปริมาณสารให้ฟองที่มีผลต่อ สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และอัตราการซึมผ่านของน้ำ
4. ศึกษาการนำไปใช้งานได้จริงด้านการเกษตรกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] [Online] Available : <http://www.nn.nstda.or.th/2005/index>.
- [2] [Online] Available : <http://www.scb.co.th/LIB/th/article.html>.
- [3] [Online] Available : http://www.nia.or.th/html/activities/activity_040907_hm_27k.
- [4] [Online] Available : <http://www.tyrerecyclingsuccess.com/info/products.html>.
- [5] อธิพิพล แจ่มชัด. เอกสารประกอบการสอนวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยียาง. ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.
- [6] International Rubber Quality and Packing Conferences. International Standards of Quality and Packing for Natural Rubber Grades (The Green Book). NewYork: The Rubber Manufactures Association, Inc. 1969.
- [7] Dongjin Semichem. Dongjin Chemical. Dongjin Semichem Co.Ltd. 2001.
- [8] Hofmann W. Rubber Technology Handbook. Munich : Hanser Publishers. 1989
- [9] Blow C.M. Rubber Technology and Manufacture. London : Butterworth & Co. Publication Ltd. 1971.
- [10] Adhikari B., De D. and Maiti S. "Reclamation and Recycling of Waste Rubber." Progress in Polymer., vol.25, no.7, 2000. pp. 909-948.
- [11] บุญธรรม นิลอุทัย, ปวีณา ป้องภัย. คู่มือปฏิบัติการเทคโนโลยียาง. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ และคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2530.
- [12] อธิพิพล แจ่มชัด. เอกสารประกอบการสอนวิชาฟิสิกส์พอลิเมอร์. ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.
- [13] Mark J.E., Erman B. and Eirich F.R. Science and Technology of Rubber. 2nd Ed. New York : Academic Press, Inc. 1994.
- [14] Makarov V.M. and Drozdovski V.F. Reprocessing of tyres and Rubber Wastes Recycling from the Rubber Products Industry. Ellis Horwood. 1991.
- [15] Pramanik P.K. and Baker W.E. Plastic, Rubber and Composites Processing and Application., vol. 24, no. 4, 1995. pp. 229-237.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [16] Balogh G. and Samay G. "Possibilities of Recycling Tyre Waste". International Polymer Science and Technology ., vol.23, no. 11, 1996. pp. 86-91.
- [17] Kowalska-E. and Wielgosz Z. "Scrap Rubber Reused-A New Process Produces Porous Pipes from Worn-out Tyres". Polymer Recycling., vol. 2, no. 3, 1996. pp. 213-219.
- [18] ชลดา เลวิช และสาโรช ช่างชุม. "การศึกษาชนิดและปริมาณของสารฟูลและสารกระตุ้นในยาง". ยางและพอลิเมอร์., ฉบับที่ 2, 2541.
- [19] Han M.H. "Ground Rubber Criteria-for the Use in Tire Stock Compounds". International Seminar on Elastomer, Bangkok, Thailand, December 1998.
- [20] ดาริน นิลทองกรด. "การเตรียมยางไมโครเซลลูโลสจากยางธรรมชาติ". วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2542.
- [21] เบญจวรรณ ชนะจรัญวิทย์ และคณะ. "การศึกษาพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่สังเคราะห์จากผงยางรถยนต์และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ". โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543.
- [22] พลชิต บัวแก้ว และคณะ. "การผลิตพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ". รายงานผลการวิจัยเรื่องเต็มประจำปี 2543. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.
- [23] ยุทธพงษ์ แซ่ตั้ง และอลงกรณ์ ศิลปชำนาญ. "การปรับปรุงสมบัติพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำที่สังเคราะห์จากผงยางรถยนต์และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ". โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543.
- [24] คณัมพร สวัสดิ์ชุมพร และคณะ. "การปรับปรุงสมบัติพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น". โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.
- [25] สัจจะชัย สัจจะธนะสกุล. "การศึกษาพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง". วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีประยุกต์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.
- [26] Robert W. The Rubber International Magazine., June. Vol. 14, 2001. pp. 59-99.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [27] กัญญาณี แสงเกียรติยุทธ. "การศึกษาเพื่อหาแนวทางการผลิตท่อน้ำซีเมนต์จากผงยางรถยนต์กับพอลิไวนิลคลอไรด์". วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมปิโตรเคมี บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545.
- [28] Sombatsompop N. and Kumnuantip C. "Rheology, Cure Characteristics, Physical and Mechanical Properties of Tire Tread Reclaimed Rubber/Natural Rubber Compound". Journal of Applied Polymer Science., vol. 87, 2003. pp. 1723-1731.
- [29] ศุภโชค อุ่นทรัพย์เจริญ และสมบุญณ์ แซ่ตั้ง. "การศึกษาท่อน้ำซีเมนต์จากผงยางรถยนต์และพอลิพรอพิลีน". โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2546.
- [30] สุธมา แจ่มเหมือน. "การผลิตท่อน้ำซีเมนต์จากยางธรรมชาติและผงยางรถยนต์". วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2547.
- [31] วศิณ จีระไพศาลกุล และคณะ. "การผลิตท่อน้ำซีเมนต์จากยางรีไซเคิลและผงยางรถยนต์". โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2547.
- [32] ASTM D 5289 Committee on standard "Standard Test Method for Rubber Property – Vulcanization Using Roterless Cure Meter"., Philadelphia: American Society for Testing and Materials., 2001.
- [33] ASTM D 412 Committee on standard "Standard Test Method for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Rubbers and Thermoplastic Elastomers-Tension"., Philadelphia: American Society for Testing and Materials., 1992.
- [34] อธิธิพล แจ่มชัด. เอกสารประกอบการสอนวิชาการวัดพอลิเมอร์. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2546.
- [35] ASTM D 624 Cmmittee on standard "Standard Test Method for Tear Strength of Conventional Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomer"., Philadelphia: American Society for Testing and Materials., 1991.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

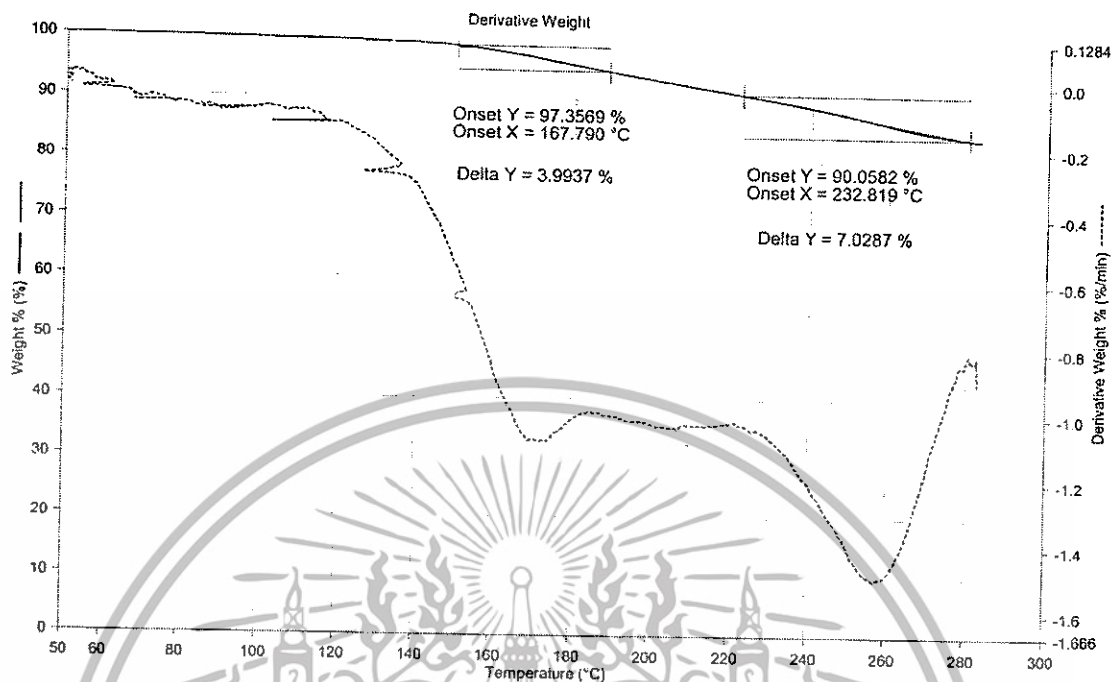
- [36] ASTM D 2240 Committee on standard "Standard Test Method for Rubber Property -Durometer Hardness"., Philadelphia : American Society for Testing and Materials., 1991.
- [37] ASTM D 1056 Committee on standard "Standard Specification for Flexible Cellular Materials-Sponge or Expanded Rubber"., Philadelphia : American Society for Testing and Materials., 1991.
- [38] Morton M. The Rubber Technology. 2nd Ed. New York : Van Nostrand Company. 1985.
- [39] สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. คู่มือเทคโนโลยียาง. กรุงเทพฯ. 2545.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 TGA เทอร์โมกราฟแสดงอุณหภูมิการสลายตัวของสารให้ฟอง AZ ที่มี Urea เป็นสารกระตุ้นสารให้ฟอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ยางผสมสูตรหรือยางคอมปาวด์ (Rubber compound) หมายถึง ยางดิบที่มีการผสมสารเติมแต่ง(Additive) ต่างๆ เช่น สารเชื่อมโยง สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง ฯลฯ
2. การเชื่อมโยงยาง (Rubber Vulcanization) หมายถึง กระบวนการทางเคมีที่เปลี่ยนโครงสร้างของยางจากสายโซ่ตรงเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ บางครั้งอาจเรียกว่าการทำให้ยางสุก (Curing) หรือทำให้ยางคงรูป
3. สารตัวเติม (Filler) หมายถึง สารที่ทำหน้าที่เสริมความแข็งแรงให้ผลิตภัณฑ์และลดต้นทุน เช่น เขม่าดำ (Carbon black,CB) ซิลิกา (Silica) ฯลฯ
4. สารให้ฟอง (Blowing agent) หมายถึง สารที่สลายตัวให้ก๊าซออกมาเมื่อได้รับความร้อนขณะทำการเชื่อมโยงยาง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูพรุน เช่น ฟองน้ำยาง โฟม
5. ยางแผ่นรมควัน (Ribbed Smoked Sheet,RSS) หมายถึง ยางแผ่นที่ทำจากน้ำยางที่ทำให้เกิดการจับตัวด้วยกรด จากนั้นนำไปรีดให้เป็นแผ่น ล้างน้ำ และทำให้แห้งโดยใช้ควันไฟรม
6. การบ่มเร่ง (Aging) หมายถึง การทดสอบความต้านทานต่อการเสื่อมสลายของยางในห้องปฏิบัติการ เพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาหรือคาดการณ์เกี่ยวกับอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์
7. phr (part per hundred of rubber) หมายถึง ส่วนในยางหนึ่งร้อยส่วน
8. pphm (part per hundred million) หมายถึง ส่วนในยางหนึ่งล้านส่วน
9. CBS หมายถึง N-Cyclohexyl-2-benzothiazole sulfonamide
10. TMTD หมายถึง Tetramethylthiuram disulfide
11. DNPT หมายถึง N,N'-Dinitroso pentamethylene tetramine
12. AZ หมายถึง Azodicarbonamide
13. 6PPD หมายถึง N-(1,3-Dimethylbutyl)-N'phenyl-p-phenylene

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{NR/EPDM:GRT:S:CB} &= 50:50:2.5:40 \\
 \text{ความถ่วงจำเพาะของท่อน้ำซีเมนต์} &= 0.79 \\
 \text{ปริมาตรของท่อน้ำซีเมนต์ 1 กิโลกรัม} &= 1000/0.79 \\
 &= 1265.82 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร}
 \end{aligned}$$

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกและภายในของท่อน้ำซีเมนต์ เท่ากับ 2.1 และ 1.8 เซนติเมตร

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาตรของท่อน้ำซีเมนต์ยาว 1 เมตร} &= \pi(r_1^2 - r_2^2)h \\
 &= \pi(1.05^2 - 0.9^2) \times 100 \\
 &= 280.41 \\
 \text{ท่อน้ำซีเมนต์น้ำหนัก 1 กิโลกรัม มีความยาว} &= 1265.82/280.41 \\
 &= 4.51 \text{ เมตร}
 \end{aligned}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้