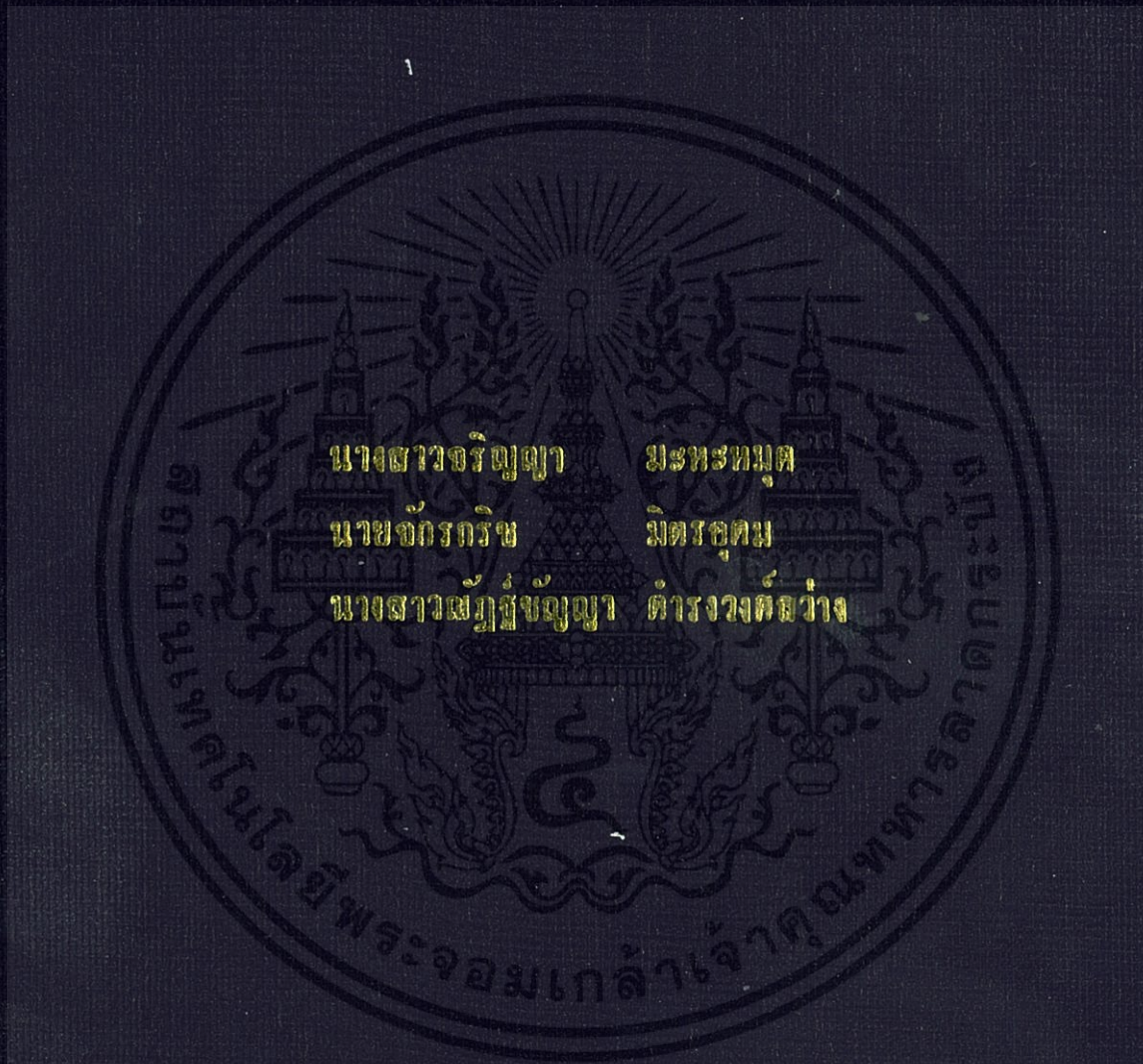


การศึกษาสารกระจายตัวในมาสเตอร์แบตช์สารเชื่อมโยง

STUDY OF DISPERSING AGENTS IN CURATIVE MASTERBATCH



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การศึกษาสารกระจายตัวในมาสเตอร์แบตช์สารเชื่อมโยง

STUDY OF DISPERSING AGENTS IN CURATIVE MASTERBATCH



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2556

STUDY OF DISPERSING AGENTS IN CURATIVE MASTERBATCH

MS. JARINYA MAHAMUT

MR. CHARKKRIT MITUDOM

MS. NATTCHUNYA DAMRONGWONGSAWANG



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

IN INDUSTRIAL CHEMISTRY

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาสารกระจายตัวในมาสเตอร์แบตช์สารเชื่อมโยง
Study of Dispersing Agents in Curative Masterbatch

ชื่อนักศึกษา นางสาวจริญญา มะหะหมุด รหัสนักศึกษา 53050183
นายจักรกริช มิตรอุดม รหัสนักศึกษา 53050184
นางสาวณัฐรัชัญญา คำรงวงศ์สว่าง รหัสนักศึกษา 53050218

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มจัด

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี
อุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ภัทราวุธ มนต์วิเศษ	
ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักษลธิ	
รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มจัด	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ของอาจารย์ผู้สอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกไปเผยแพร่ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาสารกระจายตัวในมาสเตอร์แบตช์สารเชื่อมโยง	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวจริญญา	มะหะหมุด
	นายจักรกริช	มิตรอุดม
	นางสาวณัฐรัชัญญา	คำรงวงศ์สว่าง
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2556	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อิทธิพล	แจ้จ๊ด

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาสารกระจายตัว (Dispersing agent) ในมาสเตอร์แบตช์สารเชื่อมโยง (Curative masterbatch) คือ กำมะถัน โดยควบคุมอัตราส่วนสารเชื่อมโยงต่อเนื้อยางที่ 75:25 โดยน้ำหนัก ทำการศึกษาแนวเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งานระหว่างยางมาสเตอร์แบตช์ที่เตรียมได้เทียบกับสารเชื่อมโยงกำมะถันชนิดผงกับยางคอมพาวด์ A โดยเน้นศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการใช้งาน ได้แก่ ผลของชนิดสารกระจายตัว (EnHance[®] FG, Dehydol[®]LS 3 TH, Dehydol[®]LS 7 TH และ Dehydol[®]LS 12 TH) ปริมาณสารกระจายตัว (1.5, 3.0 และ 4.5% โดยน้ำหนักสารเชื่อมโยง) และอัตราส่วนยางหลัก EPDM/EVA blends (80/20, 70/30 และ 60/40 โดยน้ำหนัก) นอกจากนี้ยังศึกษาชนิดของสารเชื่อมโยงได้แก่ กำมะถันชนิดละลาย (Soluble sulfur) และกำมะถันชนิดไม่ละลาย (Insoluble sulfur) การเตรียมมาสเตอร์แบตช์และเตรียมยางผสมสูตรทำในเครื่องผสมชนิดสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) แล้วทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ ลักษณะการเชื่อมโยง (Cure characteristics) สมบัติเชิงกล (Mechanical properties) และสัณฐานวิทยา (Morphology) ด้วย SEM จากการทดลองพบว่ากำมะถันมาสเตอร์แบตช์สามารถใช้งานในการเชื่อมโยงได้เหมือนกับการใช้งานกำมะถันผง ให้สมบัติเชิงกลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จากการศึกษาชนิดของสารกระจายตัว พบว่า สารกระจายตัวชนิด EnHance[®] FG ช่วยกระจายตัวได้ดีกว่าสารกระจายตัวชนิดอื่น จากการศึกษาปริมาณของสารกระจายตัวพบว่า EnHance[®] FG 4.5% มีการกระจายตัวดีกว่า ในการศึกษาอัตราส่วนยางหลัก EPDM/EVA blends พบว่าสมบัติเชิงกลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่อัตราส่วนยางหลักที่ 70/30 มีลักษณะการกระจายตัวดีทั่วทุกบริเวณ จากการศึกษาชนิดของกำมะถันพบว่า กำมะถันชนิดละลายมีเวลาเริ่มเชื่อมโยง (Scorch

time) สันกว่ากำมะถันชนิดไม่ละลาย แต่สมบัติเชิงกลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จากรูป SEM พบว่าการกระจายตัวของกำมะถันชนิดไม่ละลายไม่ดีเท่ากับการกระจายตัวของกำมะถันชนิดละลาย จากการพบกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ของกำมะถัน

คำสำคัญ : มาสเตอร์แบตซ์กำมะถัน, กำมะถันชนิดละลาย, กำมะถันชนิดไม่ละลาย, สารลดแรงตึงผิว, สารกระจายตัว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Study of Dispersing Agents in Curative Masterbatch	
Students	Ms. Jarinya	Mahamut
	Mr. Charkkrit	Mitudom
	Ms. Nattchunya	Damrongwongsawang
Degree	Bachelor of Science	
Major Program	Industrial Chemistry	
Academic Year	2013	
Advisor	Assoc.Prof.Dr. Ittipol Jangchud	

ABSTRACT

This special project focused on dispersing agents in sulfur curative masterbatch. Ratio of the curative agent to based rubber was controlled at 75:25 (weight ratio). In order to study the efficiency of sulfur vulcanization, comparative study of the sulfur masterbatch and powder sulfur was carried out with controlled rubber compound A. Factors affecting the curative properties were studied, i.e., effects of dispersing agent types (EnHance[®] FG, Dehydol[®]LS 3 TH, Dehydol[®]LS 7 TH and Dehydol[®]LS 12 TH), effects of dispersing agent contents (1.5, 3.0 and 4.5 wt% of curative), and ratios of EPDM/EVA blends (80/20, 70/30 and 60/40). Sulfur types (soluble and insoluble sulfurs) were also studied. The masterbatches and compounds were prepared by two-roll mill. Cure characteristics, mechanical properties, and morphology by SEM were investigated. The results indicated that the soluble sulfur masterbatch could be used to crosslink the rubber as good as using the conventional powder curative. Mechanical properties of both samples (masterbatch and powder) were insignificant changed. By varying types of dispersing agents, the results showed that EnHance[®] FG revealed better dispersion of sulfur compared to the others dispersing agents. By varying % loading of dispersing agents, it was found that 4.5 wt% of EnHance[®] FG seemed to show better sulfur dispersion. It was found that ratios of EPDM/EVA based rubbers in the masterbatch did not significantly change in mechanical properties. EPDM/EVA blends at 70/30 by weight showed better sulfur dispersion compared to

other ratios. By using different types of sulfurs, soluble sulfur showed shorter scorch time compared to that of insoluble sulfur. However, mechanical properties of both vulcanizates were insignificantly different. SEM micrographs revealed that dispersion of insoluble sulfur was not as good as that of soluble sulfur as shown by sulfur agglomeration.

Keywords : Sulfur masterbatch, Soluble sulfur, Insoluble sulfur, Surfactants, Dispersing agents



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่ให้คำปรึกษา และคำแนะนำ ตลอดจนดูแลการทำงานวิจัยจนโครงการพิเศษสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ปุณณมา ศิริพันธ์โนน, ผศ.ดร. ชลลดา ฤตวิรุฬห์, ผศ.ดร. สุภา รัตน์ รักชลธี และ ผศ.ดร. ภัทราวุธ มนต์วิเศษ ที่กรุณาอ่านและให้คำแนะนำในการแก้ไขจนโครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บริษัท เอส.เค. โพลีเมอร์ จำกัด ที่รับเป็นที่ปรึกษาร่วมและสนับสนุน ความรู้ วัสดุชนิดต่างๆ ในการทำโครงการพิเศษนี้ ตลอดจนพี่ๆ ทีมงานทุกท่าน

ขอขอบพระคุณ บริษัท ไทยอิตอกซีเลท จำกัด, บริษัท เคมีมิน จำกัด และบริษัท เบ็นไม เฮอร์ จำกัด สำหรับสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สาขาวิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบังทุกท่านที่ให้คำปรึกษาในด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณพี่ๆ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาเคมี ที่คอยให้คำแนะนำวิธีการใช้ เครื่องมือในอาคารปฏิบัติการพอลิเมอร์ วิธีการคำนวณ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ตลอดจนญาติพี่น้องที่เลี้ยงดูข้าพเจ้ามาเป็นอย่างดี และคอยสนับสนุนในด้านต่างๆ

จริญญา มะหะหมุด

จักรกริช มิตรอุดม

ณัฐรัชัญญา คำรวงศ์สว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ	VI
สารบัญตาราง	IX
สารบัญรูป	X

บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 มาสเตอร์แบตช์ (Masterbatch)	6
2.2 วัสดุที่ใช้	7
2.2.1 ยางเอทิลีนพรอพิลีน (Ethylene-Propylene Rubber; EPM and EPDM)	7
2.2.2 ยางเอทิลีนไวนิลอะซิเตต (Ethylene vinyl acetate rubber; EVA)	10
2.2.3 สารเติมแต่ง (Additives)	11
- สารเชื่อมโยง (Vulcanizing agents หรือ Curing agents)	11
- สารกระจายตัว (Dispersing agents)	14
2.3 การผสมยาง (Rubber compound)	21
2.4 การทดสอบสมบัติของยาง	22
2.4.1 การทดสอบลักษณะการเชื่อมโยง (Cure characteristic)	22
2.4.2 การทดสอบแรงดึง (Tensile test)	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ผู้ที่นำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.3 การทดสอบความแข็งกด (Hardness test)	30
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	32
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	39
3.1 ขั้นตอนการศึกษา	39
3.2 สารเคมี	40
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์	40
3.4 วิธีการทดลอง	41
ตอนที่ 1 ศึกษาชนิดของสารกระจายตัวในยางมาสเตอร์แบตช์กัมมะถันชนิดละลาย	41
ตอนที่ 2 ศึกษาปริมาณของสารกระจายตัวที่เหมาะสมในยางมาสเตอร์แบตช์กัมมะถันชนิดละลาย	44
ตอนที่ 3 ศึกษาอัตราส่วนของยางหลัก EPDM:EVA ที่เหมาะสมในยางมาสเตอร์แบตช์กัมมะถันชนิดละลาย	45
ตอนที่ 4 ศึกษาชนิดของกัมมะถันที่เหมาะสมในมาสเตอร์แบตช์	46
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	47
4.1 การศึกษาชนิดของสารกระจายตัว	48
4.2 การศึกษาปริมาณของสารกระจายตัว	53
4.3 การศึกษาอัตราส่วนของยางหลัก (EPDM/EVA blends)	60
4.4 การศึกษาชนิดของกัมมะถัน	66
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	71
5.1 สรุปผลงานวิจัย	71
5.2 ข้อเสนอแนะ	72
เอกสารอ้างอิง	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

78



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ปริมาณการแปรรูปและส่งออกยางธรรมชาติ	1
1.2 ปริมาณผลิตภัณฑ์ยาง	2
1.3 ข้อดีและข้อเสียของการใช้สารเติมแต่งแบบผงกับแบบมาสเตอร์แบตช์	3
2.1 ตัวอย่าง Nonconjugated diene ที่ใช้ในการผลิตยาง EPDM	9
2.2 สมบัติของสารลดแรงตึงผิวประเภทต่างๆ	17
2.3 สมบัติเฉพาะของสารกระจายตัว Dehydol®	20
2.4 การนำสารกระจายตัว Dehydol® ไปใช้งานในด้านต่างๆ	20
3.1 สูตรมาสเตอร์แบตช์กำมะถันชนิดละลายเมื่อใช้สารกระจายตัวต่างชนิดกัน	41
3.2 อัตราส่วนการผสมสูตร (Compound A) กับยางมาสเตอร์แบตช์กำมะถันชนิดละลาย	42
3.3 สูตรยางมาสเตอร์แบตช์กำมะถันชนิดละลายที่มีปริมาณของสารกระจายตัวที่ต่างกัน	44
3.4 สูตรยางมาสเตอร์แบตช์กำมะถันชนิดละลายชนิดละลายที่มีอัตราส่วนของยางหลัก EPDM/EVA แยกต่างหาก	45
3.5 สูตรยางมาสเตอร์แบตช์กำมะถันชนิดไม่ละลาย	46
4.1 ผลของลักษณะการเชื่อมโยง เมื่อชนิดของสารกระจายตัวแจกจ่ายกันในมาสเตอร์แบตช์กำมะถัน และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง	49
4.2 ผลของลักษณะการเชื่อมโยง เมื่อปริมาณของสารกระจายตัวแตกต่างกันในมาสเตอร์แบตช์กำมะถัน และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง	55
4.3 ผลของลักษณะการเชื่อมโยง เมื่อปริมาณของยางหลัก (EPDM/EVA blends) แยกต่างหาก ในมาสเตอร์แบตช์กำมะถัน และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง	61
4.4 ผลของลักษณะการเชื่อมโยง เมื่อชนิดของกำมะถันแตกต่างกันในมาสเตอร์แบตช์กำมะถัน และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า	
2.1	ยางมาสเตอร์แบตซ์กำมะถันชนิดไม่ละลาย	7
2.2	โครงสร้างโมเลกุลของยาง EPM	8
2.3	ตัวอย่างโครงสร้างโมเลกุลของยาง EPDM (Terpolymer)	8
2.4	โครงสร้างโมเลกุลของยาง EVA	10
2.5	โครงสร้างของกำมะถัน (Sulfur)	11
2.6	โครงสร้างโมเลกุลของยางเปรียบเทียบกับจำนวน Allylic hydrogen; (a) ยางธรรมชาติ และ (b) ยางบิวตะไดอิน	12
2.7	กลไกการเชื่อมโยงของกำมะถันในยาง	13
2.8	โครงสร้างของยางเมื่อทำการเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน	13
2.9	โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว	14
2.10	โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวนิคมประจุลบ	15
2.11	โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวนิคมประจุบวก	15
2.12	โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวนิคมไม่มีประจุ	16
2.13	โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวนิคมสองประจุ	16
2.14	เครื่องผสมแบบเปิดชนิดสองลูกกลิ้ง	21
2.15	แผนภาพแสดงการทำงานของเครื่อง ODR	22
2.16	ตัวอย่างกราฟเชื่อมโยงโยง	23
2.17	ตัวอย่างกราฟการเชื่อมโยงโยงจากเครื่อง Rotorless curemeter	25
2.18	แผนภาพแสดงการทำงานของเครื่อง Rotorless Curemeter	26
2.19	Monsanto moving die rheometer (MDR) เป็น Pressurized rotorless curemeter	26
2.20	ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบแรงดึงมาตรฐาน ASTM D-412; (a) คัมเบลล์ค้าย A B C D E F และ (b) แบบวงแหวน	27
2.21	ตัวอย่างกราฟความเค้น-ความเครียด (Stress-strain curve) ของการดึงชิ้นงานตัวอย่าง	28
2.22	ภาพวาดแสดงเครื่องทดสอบแรงดึงและส่วนประกอบต่างๆ	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ก็ตาม หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.23 เครื่องคูโรมิเตอร์	31
2.24 สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ	32
2.25 Synthetic route of SA10 series surfactants	33
2.26 ความสัมพันธ์ของความหนืด HEUR ในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายกับ Shear rate; HEUR-C ₁₆ (○), HEUR-C ₁₈ (●) และ HEUR-C ₂₂ (▲) ที่ความเข้มข้นของ HEUR 2% w/v ในน้ำ	34
2.27 ความสัมพันธ์ Stress relaxation (G(t)) ที่ขึ้นกับเวลาของ HEUR ในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย; HEUR-C ₁₆ (○), HEUR-C ₁₈ (●) และ HEUR-C ₂₂ (▲) ที่ความเข้มข้นของ HEUR 2% w/v ในน้ำ ลักษณะกราฟจะลดลงแบบเอ็กโพเนนเชียล	35
2.28 ความสัมพันธ์ความหนืดของ HEUR ในสารละลายที่มีตัวทำละลายเป็นน้ำ กับความเข้มข้นที่ต่างกันของ Polyoxyethylene stearyl ether (C ₁₈ (EO) ₂₀); HEUR-C ₁₆ (○), HEUR-C ₁₈ (●) และ HEUR-C ₂₂ (▲)	36
4.1 ลักษณะการเชื่อม โยง (Cure characteristic) เทียบกับชนิดของสารกระจายตัว และการใช้สารเชื่อม โยงแบบผง	49
4.2 ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เทียบกับชนิดของสารกระจายตัวในปริมาณ 1.5% โดยน้ำหนักสารเชื่อม โยง และการใช้สารเชื่อม โยงแบบผง	50
4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) เทียบกับชนิดของสารกระจายตัวในปริมาณ 1.5% โดยน้ำหนักสารเชื่อม โยง และการใช้สารเชื่อม โยงแบบผง	50
4.4 ค่ามอดุลัสยางที่ 100% (M100) เทียบกับชนิดของสารกระจายตัวในปริมาณ 1.5% โดยน้ำหนักสารเชื่อม โยง และการใช้สารเชื่อม โยงแบบผง	51
4.5 ค่าความแข็งกด (Hardness) ชนิด Shore A เทียบกับชนิดของสารกระจายตัวในปริมาณ 1.5% โดยน้ำหนักสารเชื่อม โยง และการใช้สารเชื่อม โยงแบบผง	51
4.6 รูปเปรียบเทียบสมบัติทางสัณฐานวิทยา โดยชนิดของสารกระจายตัวที่แตกต่างกันใน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นโดยใช้ SEM ที่กำลังขยาย 500X ก่อนอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ได้ 52 การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.7	รูปเปรียบเทียบสมบัติทางสัณฐานวิทยา โดยชนิดของสารกระจายตัวที่แตกต่างกันระหว่าง EnHance [®] FG และ Dehydol [®] LS 7 TH ในมาสเตอร์แบตช์ก้ำมะถัน โดยใช้ SEM ที่กำลังขยาย 1000X	53
4.8	ลักษณะการเชื่อมโยง (Cure characteristic) เทียบกับปริมาณสารกระจายตัว EnHance [®] FG และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง	54
4.9	ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เทียบกับปริมาณของสารกระจายตัว EnHance [®] FG และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง	55
4.10	ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) เทียบกับปริมาณของสารกระจายตัว EnHance [®] FG และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง	56
4.11	ค่ามอดูลัสยางที่ 100% (M100) เทียบกับปริมาณของสารกระจายตัว EnHance [®] FG และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง	56
4.12	ค่าความแข็งกด (Hardness) ชนิด Shore A เทียบกับปริมาณของสารกระจายตัว EnHance [®] FG และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง	57
4.13	รูปเปรียบเทียบสมบัติทางสัณฐานวิทยา ที่ปริมาณของสารกระจายตัว EnHance [®] FG แตกต่างกันในมาสเตอร์แบตช์ก้ำมะถัน โดยใช้ SEM ที่กำลังขยาย 500X	58
4.14	รูปเปรียบเทียบสมบัติทางสัณฐานวิทยา ที่ปริมาณของสารกระจายตัว EnHance [®] FG แตกต่างกันในมาสเตอร์แบตช์ก้ำมะถัน โดยใช้ SEM ที่กำลังขยาย 1000X	59
4.15	ลักษณะการเชื่อมโยง (Cure characteristic) เทียบกับอัตราส่วนของยางหลัก (EPDM/EVA blends) และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง	61
4.16	ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เทียบกับอัตราส่วนของยางหลัก (EPDM/EVA blends) และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง	62
4.17	ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) เทียบกับอัตราส่วนของยางหลัก (EPDM/EVA blends) และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง	62
4.18	ค่ามอดูลัสยางที่ 100% (M100) เทียบกับเทียบกับอัตราส่วนของยางหลัก (EPDM/EVA blends) และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีวัสดุของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆก็ตาม กรุณาแจ้งให้ทราบก่อนนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19 ค่าความแข็งกด (Hardness) ชนิด Shore A เทียบกับอัตราส่วนของยางหลัก (EPDM/EVA blends) และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง	63
4.20 รูปเปรียบเทียบสมบัติทางสัณฐานวิทยา ที่อัตราส่วนของยางหลัก (EPDM/EVA blends) แตกต่างกันในมาสเตอร์แบตช์กัมมะถัน โดยใช้ SEM ที่กำลังขยาย 500X	64
4.21 รูปเปรียบเทียบสมบัติทางสัณฐานวิทยา ที่อัตราส่วนของยางหลัก (EPDM/EVA blends) แตกต่างกันในมาสเตอร์แบตช์กัมมะถัน โดยใช้ SEM ที่กำลังขยาย 1000X	65
4.22 ลักษณะการเชื่อมโยง (Cure characteristic) เทียบกับชนิดของกัมมะถัน และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง	67
4.23 ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เทียบกับชนิดของกัมมะถัน และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง	68
4.24 ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) เทียบกับชนิดของกัมมะถัน และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง	68
4.25 ค่ามอดุลัสยางที่ 100% (M100) เทียบกับชนิดของกัมมะถัน และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง	69
4.26 ค่าความแข็งกด (Hardness) ชนิด Shore A เทียบกับชนิดของกัมมะถัน และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง	69
4.27 รูปเปรียบเทียบสมบัติทางสัณฐานวิทยา ของกัมมะถันชนิดละลายและกัมมะถันชนิดไม่ละลายในมาสเตอร์แบตช์กัมมะถันโดยใช้ SEM ที่กำลังขยาย 500X	70
4.28 รูปเปรียบเทียบสมบัติทางสัณฐานวิทยา ของกัมมะถันชนิดละลายและกัมมะถันชนิดไม่ละลายในมาสเตอร์แบตช์กัมมะถันโดยใช้ SEM ที่กำลังขยาย 1000X	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบันนี้อุตสาหกรรมยางและผลิตภัณฑ์ยางเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศทั้งในแง่ของการสร้างมูลค่าเพิ่มและการจ้างงานจากการที่ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางธรรมชาติมากที่สุดในโลก ส่งผลให้เกิดความได้เปรียบในด้านวัตถุดิบและมูลค่าในการส่งออกให้กับประเทศเป็นอย่างมาก การผลิตยางพาราของประเทศมีจำนวนประมาณ 3 ล้านตัน/ปี ในจำนวนนี้ร้อยละ 90 จะถูกส่งออกไปยังต่างประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา จีน ญี่ปุ่น เป็นต้น ส่วนที่เหลือจะใช้บริโภคภายในประเทศ ยางที่ส่งออก นำเข้า หรือใช้ภายในประเทศจะประกอบไปด้วย ยางแปรรูปเป็นยางขั้นต้น ได้แก่ ยางแผ่น ยางแท่ง ยางเครพ และน้ำยางข้น เป็นต้น [1]

ตารางที่ 1.1 ปริมาณการแปรรูปและส่งออกยางธรรมชาติ [2]

ยางแปรรูป	ปริมาณการส่งออกยางธรรมชาติ (กิโลกรัม) ในปี พ.ศ.				
	2551	2552	2553	2554	2555
น้ำยางข้น	836,404,372	1,007,537,232	898,453,578	876,382,199	949,102,990
ยางคอมพาวด์ (compound)	198,102,928	459,765,550	465,491,606	417,961,761	649,209,905
ยางเครพ (Crepe)	6,461,165	4,470,416	1,870,893	1,123,363	1,581,076
ยางแท่ง (STR)	986,613,749	825,072,527	930,494,646	1,224,125,337	1,286,913,715
ยางแผ่นผึ่งแห้ง (USS)	68,325,705	35,326,671	51,941,017	24,683,075	2,972,574
ยางแผ่นรมควัน (RSS)	766,461,502	686,359,171	691,203,745	753,599,850	660,479,971
ยางธรรมชาติ อื่นๆ	156,962,427	173,431,450	156,593,138	112,752,922	83,311,166
รวม	3,019,331,848	3,191,963,017	3,196,048,623	3,410,628,507	3,633,571,397

นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ยังเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ ทั้งในแง่ของการสร้างมูลค่าเพิ่มและการจ้างงาน เริ่มต้นจากทำยางชิ้นส่วนที่เป็นอะไหล่ของอุปกรณ์และเครื่องจักรต่างๆ ต่อมาจึงมีการขยายตัวการผลิตยางมือยาง ถุงยางอนามัย รวมทั้งอุตสาหกรรมยางรถยนต์ของไทยมีการเติบโตอย่างรวดเร็วตามสภาวะการณ์ขยายตัวของตลาด โดยการเข้ามาลงทุนของบริษัทต่างชาติในการผลิตยาง ล้อรถยนต์ และอุปกรณ์ภายในรถยนต์ในประเทศไทย โดยประเทศไทยเป็นฐานการผลิตรถยนต์ที่สำคัญของบริษัทผลิตรถยนต์ชั้นนำของโลก

ตารางที่ 1.2 ปริมาณผลิตภัณฑ์ยาง [3]

ประเภท	2548	2549	2550	2551	2552
ยางยานพาหนะ	139,790	137,153	170,893	208,886	233,257
ยางซีด	43,752	68,179	72,193	54,108	50,107
ถุงมือยาง	57,658	52,312	54,808	52,436	42,635
ยางรัดของ	25,412	16,382	17,232	21,657	23,806
ยางรถจักรยานยนต์	24,526	21,577	29,589	29,614	22,787
รองเท้า	10,627	4,860	4,759	5,055	5,419
สายพาน	3,386	1,318	1,370	1,862	2,457
ยางหล่อคอก	7,632	6,143	6,212	5,943	2,153
เครื่องมือทางการแพทย์/ วิทยาศาสตร์	1,424	907	840	831	1,706
กาว	1,522	1,553	2,430	2,591	1,659
อะไหล่รถยนต์	4,210	1,227	1,435	2,091	1,556
พื้นรองเท้า	2,966	3,632	4,162	1,249	1,422
ถุงยางอนามัย	-	210	291	281	1,396
ท่อยาง	763	950	964	940	529
ผลิตภัณฑ์ฟองน้ำ	489	364	419	395	371
ลูกโป่ง	510	28	140	139	152
อื่นๆ	9,982	4,090	5,922	9,517	8,003
รวม	334,649	320,885	373,659	397,595	399,415

ทั้งนี้ โรงงานที่ผลิตผลิตภัณฑ์จากยางต่างๆ เหล่านี้ ส่วนใหญ่ต้องมีการรีด บด ผสมยาง เพื่อให้ได้ยางที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการผลิตในรูปแบบต่างๆ โดยการที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ยาง จะต้องมีการผสมยางให้เป็นยางคอมพาวด์ (Rubber compound) เพื่อนำยางคอมพาวด์นั้นมาทำการ ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ การผสมยางนั้นจะประกอบไปด้วยสารเคมีหลายชนิดที่เป็นของแข็งและของเหลว โดยสารที่เป็นของแข็งนั้นถ้าเป็นลักษณะผงจะทำให้เกิดปัญหาหลายอย่างในการผสม เช่น เกิดการฟุ้งกระจายทำให้ได้เนื้อสารไม่ครบตามสัดส่วนที่ต้องการ พื้นที่การผสมเต็มไปด้วยฝุ่นผงของสารเคมี เป็นต้น นำไปสู่การทำมาสเตอร์แบตช์ขึ้นมา ซึ่งก็คือ การทำให้สารที่เป็นผงนั้น อยู่ในรูปของแข็งที่ผสมอยู่ในเนื้อยาง จากการที่ทำให้อยู่ในรูปของมาสเตอร์แบตช์ จะทำให้ง่ายต่อการผสมมากขึ้น

การทำมาสเตอร์แบตช์จะทำเป็นมาสเตอร์แบตช์เข้มข้น เพื่อให้กระบวนการของผลิตมาสเตอร์แบตช์คุ้มค่ามากที่สุด เช่น ประหยัดพลังงานในการผลิต สารเติมแต่งมีหลายชนิดที่นิยมนำมาทำมาสเตอร์แบตช์ (Masterbatch) เช่น ผงสี (Pigment) สารเชื่อมโยง (Curative agent) เป็นต้น แต่ในอุตสาหกรรมยางสารเติมแต่งที่นิยมมาทำมาสเตอร์แบตช์ คือ สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Accelerator) และสารเชื่อมโยง (Vulcanizing agent) เนื่องจากทุกสูตรจะต้องมีการใส่สารเคมีจำพวกนี้ลงไป

ตารางที่ 1.3 ข้อดีและข้อเสียของการใช้สารเติมแต่งแบบผงกับแบบมาสเตอร์แบตช์ [4]

สารเติมแต่ง	ข้อดี	ข้อเสีย
แบบผง	<ol style="list-style-type: none"> 1. ไม่สิ้นเปลืองพลังงาน 2. ประหยัดต้นทุนกว่า 	<ol style="list-style-type: none"> 1. การฟุ้งกระจาย 2. ได้เนื้อสารไม่ครบตามสัดส่วน 3. กระจายตัวไม่สม่ำเสมอ 4. เสียเวลาในการชั่งเตรียมสารเคมีมากกว่า 5. พื้นที่ทำการผสมเลอะฝุ่นผงของสารเคมี
แบบมาสเตอร์แบตช์	<ol style="list-style-type: none"> 1. ไม่ฟุ้งกระจาย 2. ได้เนื้อสารครบตามสัดส่วน 3. การกระจายตัวสม่ำเสมอ 4. สะดวกในการใช้งาน 	<ol style="list-style-type: none"> 1. สิ้นเปลืองพลังงาน 2. อาจมีราคาแพงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ข้อมูลนี้ไปยังผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำมาสเตอร์แบตช์สารเชื่อมโยงในงานวิจัยนี้ขางหลักที่เลือกใช้คือ ขางอีพีดีเอ็มผสมกับขางอีวีเอ (EPDM/EVA blends) สารเติมแต่งที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ กำมะถัน และศึกษาชนิดของสารกระจายตัว (Dispersing agent) ในชนิดที่แตกต่างกันดังนี้ EnHance[®] FG, Dehydol[®] LS 3 TH, Dehydol[®] LS 7 TH, Dehydol[®] LS 12 TH เพื่อให้ได้มาสเตอร์แบตช์ที่มีสมบัติการกระจายตัวที่ดีขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาการเตรียมขางมาสเตอร์แบตช์ของสารเชื่อมโยง ซึ่งได้แก่ กำมะถันชนิดละลายและชนิดไม่ละลาย โดยเน้นศึกษาปัจจัยบางประการที่มีผลต่อสมบัติของขางมาสเตอร์แบตช์ เช่น อัตราส่วนของขางหลัก (EPDM/EVA blends) ชนิดและอัตราส่วนของสารกระจายตัว เป็นต้น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษามาสเตอร์แบตช์กำมะถัน โดยควบคุมอัตราส่วนกำมะถันต่อขางที่ 75/25 (อัตราส่วนโดยน้ำหนัก) เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณของสารกระจายตัวที่เหมาะสมต่อมาสเตอร์แบตช์ ได้แก่ 1.5%, 3%, 4.5% โดยน้ำหนักสารเชื่อมโยง (หรือปริมาณ 1.125-3.375% โดยน้ำหนัก) และชนิดของสารกระจายตัวที่สนใจคือ EnHance[®] FG, Dehydol[®] LS 3 TH, Dehydol[®] LS 7 TH และ Dehydol[®] LS 15 TH
3. ศึกษาอัตราส่วนของขางอีพีดีเอ็มผสมกับขางอีวีเอ ในอัตราส่วน 15/10, 17.5/7.5 และ 20/5 โดยน้ำหนัก (หรือ 60/40, 70/30 และ 80/20 โดยน้ำหนักของขาง) ในขางมาสเตอร์แบตช์กำมะถัน
4. ศึกษาชนิดของกำมะถันชนิดละลาย และชนิดไม่ละลาย
5. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้งานของสารเชื่อมโยงแบบมาสเตอร์แบตช์กับสารเชื่อมโยงแบบผง เมื่อทำการผสมเป็นขางคอมพาวด์แล้ว เช่น

- สมบัติการเชื่อมโยง เช่น เวลาการเชื่อมโยง (Cure time, t_{90}), อัตราการเชื่อมโยง

(Cure rate index, CRI) และเวลาที่เริ่มเชื่อมโยง (Scorch time, t_{s2})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรงดึง (Tensile strength), เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด (%Elongation at break), โมดูลัสของยาง (Rubber modulus) และความแข็งกด (Hardness)

- ทดสอบทางสัณฐานวิทยาเพื่อสังเกตการกระจายตัวโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ชนิดและปริมาณของสารกระจายตัวที่เหมาะสมสำหรับมาสเตอร์แบดซ์
2. ใช้ความรู้ที่ได้ในการพัฒนาสูตรยางมาสเตอร์แบดซ์ชนิดต่างๆ
3. ส่งเสริมอุตสาหกรรมยางในประเทศไทย ลดการนำเข้ายางมาสเตอร์แบดซ์จากต่างประเทศ
4. ส่งเสริมผลิตภัณฑ์ภายในประเทศ ทำให้ยางที่ผลิตมีคุณภาพคงที่และผลิตได้เร็ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มาสเตอร์แบตช์ (Masterbatch)

มาสเตอร์แบตช์ คือ ของผสมระหว่างพอลิเมอร์และสารเคมีต่างๆ ที่รู้ปริมาณที่แน่นอนผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการเตรียมการผสมขั้นตอนสุดท้ายในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ มาสเตอร์แบตช์อาจจะใช้เพื่อความสะดวกในการผลิตหรือเพื่อเพิ่มสมบัติของผลิตภัณฑ์หรือทั้งสองอย่าง เช่น ใช้ในกรณีที่สารเคมีกระจายในพอลิเมอร์ได้ไม่ดี หรือในกรณีที่มีการใช้สารเคมีนั้นน้อยมาก อาจจะทำให้เกิดการผิดพลาดได้ง่าย ถ้าสารเคมีฟุ้งกระจายหายไป [5]

มาสเตอร์แบตช์ที่ดีควรมีสมบัติดังนี้

- มีการกระจายตัวที่ดีทำให้สมบัติของยางมีความสม่ำเสมอ
- มีความเข้มข้นของสารเติมแต่งในปริมาณ เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิต
- มีอัตราส่วนของสารเติมแต่งและเนื้อยางที่แน่นอนตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้
- มีประสิทธิภาพในการใช้งานเทียบเท่าสารเติมแต่งชนิดผง

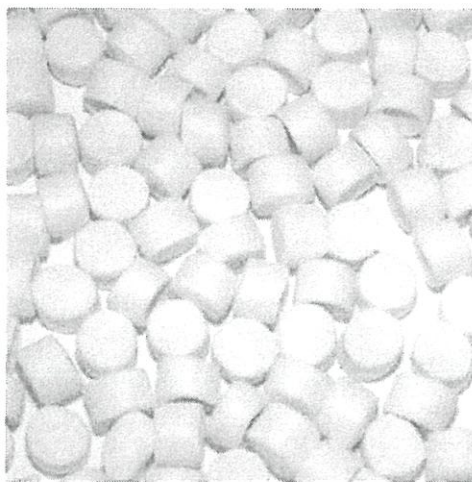
ข้อดีของมาสเตอร์แบตช์

- ไม่ฟุ้งกระจาย
- ได้เนื้อสารครบตามอัตราส่วน
- การกระจายตัวสม่ำเสมอ
- สะดวกในการใช้งาน

ข้อเสียของมาสเตอร์แบตช์

- ลิ่นเปลืองพลังงาน
- อาจมีราคาแพงกว่าการใช้สารเติมแต่งแบบผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ยางมาสเตอร์แบดจ์กำมะถันชนิดไม่ละลาย [6]

2.2 วัตถุดิบที่ใช้

2.2.1 ยางเอทิลีนพรอพิลีน (Ethylene-Propylene Rubber; EPM and EPDM)

ยางเอทิลีนพรอพิลีน มี 2 ชนิด คือ

1. ยางอีพีเอ็ม (EPM)
2. ยางอีพีดีเอ็ม (EPDM)

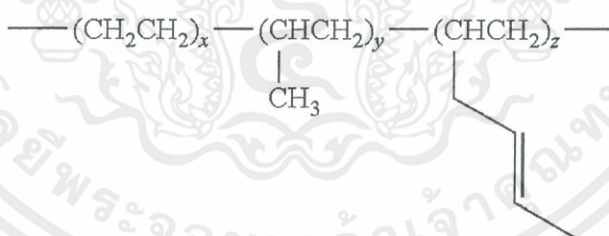
ชื่อทั้งสองกำหนดตามมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) และ ISO (International Standards Organization) อักษร “E” มาจาก (Ethylene) อักษร “P” มาจากพรอพิลีน (Propylene) ส่วนอักษร “M” ทำยี่ห้อใช้เรียกกลุ่มยางที่มีโครงสร้างหลักเหมือนกับพอลิเมทิลีน (Polymethylene, $-(CH_2)_n-$ “EPM” คือพอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่ม (Random copolymer) ของเอทิลีนและพรอพิลีน ดังรูปที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าโครงสร้างของยาง EPM เป็นโครงสร้างที่อิมิตัวทั้งหมด ทำให้ยางชนิดนี้มีสมบัติเด่นคือ ความทนทานต่อโอโซน ออกซิเจน และสิ่งแวดล้อมอื่นๆ นอกจากนี้ยังมีความเป็นฉนวนสูง สมบัติเด่นอีกอย่างของยางเอทิลีน พรอพิลีน คือ เป็นยางที่มีความหนาแน่นต่ำที่สุด (ความหนาแน่น = 0.854 g/cm^3) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีน้ำหนักเบา สามารถผลิตยางได้ในปริมาณมาก ยางเอทิลีนพรอพิลีนมีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ประมาณ $-60 \text{ }^\circ\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลของยาง EPM [7]

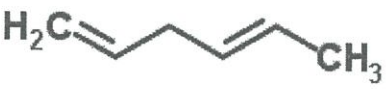
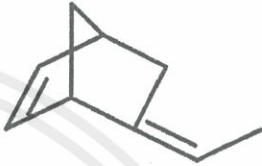

ในกรณีของ “EPDM” อักษร “D” มาจาก “Diene” ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ร่วมชนิดที่สามในโครงสร้างทำให้เกิดความไม่อึดตัวในโครงสร้าง เป็นโครงสร้างที่ใส่ขึ้นเพื่อช่วยให้ง่ายในการเชื่อมโยง เนื่องจากยาง EPM อึดตัว ไม่มีพันธะคู่ ดังนั้นจึงไม่สามารถเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน (Sulfur, S) เหมือนยางทั่วๆ ไป จึงต้องเชื่อมโยงด้วยสารประเภทเปอร์ออกไซด์ (Peroxide) ซึ่งแพง ยุ่งยาก ซ้ำ และไม่สะดวกในการผลิต ดังนั้นจึงมีการใส่มอนอเมอร์ชนิดที่สามประเภทไดอีนชนิดไม่คอนจูเกต (Nonconjugated diene) ที่มีพันธะคู่สองพันธะที่ไม่สลับกัน ดังตารางที่ 2.1 การที่มีพันธะคู่สองพันธะเมื่อใช้พันธะหนึ่งในการพอลิเมอไรซ์เกิดพอลิเมอร์ร่วมยังเหลือพันธะคู่ที่ไม่อึดตัวอีกหนึ่งพันธะอยู่ “ภายนอก” สายโซ่หลัก ทำให้เกิดพอลิเมอร์ร่วมชนิดที่สาม (Terpolymer) ในปริมาณเล็กน้อยในโครงสร้างเป็นโครงสร้างที่ไม่อึดตัวดังรูปที่ 2.3 ใช้เป็นตำแหน่งเชื่อมโยง (Crosslink sites) ของยาง EPDM สามารถเชื่อมโยงด้วยกำมะถันเหมือนกับยางชนิดอื่นๆ เนื่องจากโครงสร้างที่ไม่อึดตัวของมันไม่ได้อยู่ในสายโซ่หลัก (Polymer backbone) แต่อยู่ที่หมู่ข้าง (Side groups) ดังนั้นยางชนิดนี้จึงยังคงมีความทนทานต่อโอโซนและดินฟ้าอากาศเช่นเดียวกับยาง EPM



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างโครงสร้างโมเลกุลของยาง EPDM [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่าง Nonconjugated diene ที่ใช้ในการผลิตยาง EPDM [8]

ชื่อ	สมบัติ	โครงสร้าง
1,4 -Hexadiene (HD)	เชื่อมโยงช้า แต่ได้ยางที่มีสมบัติใกล้เคียง EPM	
Ethylidene norbornene (ENB)	นิยมใช้มากที่สุด แต่แพง เชื่อมโยงง่าย และเข้าได้ดีกับยางไม่อิมตัวอื่นๆ	
Dicyclopentadiene (DCPD)	ราคาถูก เข้าได้ดีกับยางชนิดอื่น แต่เชื่อมโยงช้าที่สุด	

ยางเอทิลีนพรอพิลีนสามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบสารละลาย (Solution polymerization) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบโคออดิเนชัน (Coordination) หรือซีเกลอร์แนตทา (Ziegler-Natta) ซึ่งเป็นสารประกอบโลหะทรานซิชันเฮไลด์ (Transition metal halide) และสารออกาโนเมทัลลิก (Organometallic) สมบัติของยางที่สังเคราะห์ได้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของมอนอเมอร์เอทิลีนต่อพรอพิลีนที่ใช้ โดยทั่วไปยางเอทิลีนพรอพิลีนมีอัตราส่วนโดยน้ำหนักของเอทิลีนในโครงสร้างประมาณ 45-75% โดยจะมีการจัดตัวของพอลิเมอร์แบบสุ่ม (Random copolymer) ทำให้ได้พอลิเมอร์ร่วมชนิดอสัณฐาน (Amorphous copolymers) ถ้ามีเอทิลีนในโครงสร้างมากจะทำให้ความเป็นผลึก (Crystallinity) เพิ่มสูงขึ้น เป็นผลให้ยางที่ได้มีความแข็งแรงก่อนเชื่อมโยง (Green strength) และเสถียรภาพของรูปร่างสูง ทำเม็ดยาง ขึ้นรูปด้วยเทคนิคอัดรีด (Extrusion) ได้ อย่างไรก็ตามข้อเสียของการมีเอทิลีนในองค์ประกอบสูงคือ ยางจะมีสมบัติที่อุณหภูมิต่ำ (Low-temperature properties) ต่ำลงและผสมยากขึ้น

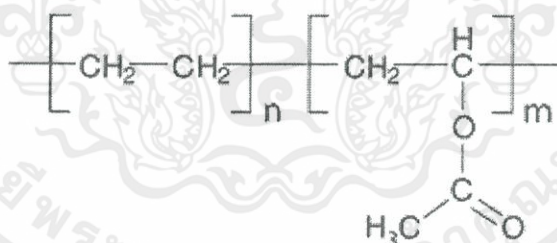
สำหรับยาง EPDM สมบัติการเชื่อมโยงยางจะขึ้นกับชนิดและปริมาณไดอีนที่ใช้ ถ้ามีปริมาณพอลิเมอร์ร่วมชนิดที่สามหรือไดอีนมาก จะสามารถเชื่อมโยงยาง EPDM ได้รวดเร็ว อย่างไรก็ตามข้อดีทุกสิ่งนั้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผสมยางเอทิลีนพรอพิลีน (EPM/EPDM) นิยมใช้เครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer) ถ้าใช้เครื่องผสมแบบเปิดสองลูกกลิ้ง จะใช้ยาง EPM/EPDM ที่มีปริมาณเอทิลีนน้อยหรือพรอพิลีนมาก เพราะชนิดที่เอทิลีนมากจะมีความหนืดสูงมาก (เนื่องจากความเป็นผลึก) ทำให้ผสมด้วยลูกกลิ้งยาก

ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้งานยางเอทิลีนพรอพิลีน เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ส่วนประกอบของรถยนต์ ที่ปิดกระจก ท่อยางหม้อน้ำ ส่วนประกอบของเบรค ใช้เคลือบสายไฟ ท่อยาง วัสดุฉนวนไฟฟ้าเพดาน ฯลฯ นอกจากนี้ยังใช้ผสมกับพลาสติกในการผลิตเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic elastomers, TPEs) บางชนิดอีกด้วย [8]

2.2.2 ยางเอทิลีนไวนิลอะซิเตต (Ethylene vinyl acetate rubber; EVA)

ยางเอทิลีนไวนิลอะซิเตตเป็น โคพอลิเมอร์ของเอทิลีนและไวนิลอะซิเตต มีสมบัติเด่นคือทนต่อการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากความร้อน โอโซน และสภาพอากาศได้ดี มีความทนทานต่อน้ำมันและตัวทำละลายที่ไม่มีขี้ผึ้งได้ดี แต่มีสมบัติการหักงอที่อุณหภูมิต่ำไม่ดี มีความเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ไม่ดี ส่วนใหญ่ยางชนิดนี้จะใช้ในการผลิตปลอกหุ้มสายเคเบิลเฉพาะในกรณีที่ต้องการ สมบัติพิเศษด้านความทนทานต่อการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากโอโซน สภาพอากาศ ความร้อน และน้ำมันเท่านั้น [10]



รูปที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลของยาง EVA [11]

นอกจากนี้ยังนำ EVA ไปใช้งานในด้านชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ เช่น พื้นรองเท้า วัสดุดูดซับเสียง หลัาเทียม พรหมปูพื้น ของเด็กเล่น และงานฟิล์มที่ต้องการความเหนียว ยืดหยุ่นสูง เช่น ถุงอาหารแช่แข็ง รวมทั้งงานฉีดเข้าแบบ ได้แก่ แหวนรองเลนส์ ทั้งนี้ EVA ยังสามารถนำไปใช้ในงานกาว Hot melt เช่น กาวสำหรับงานบรรจุภัณฑ์ งานไม้อัด เป็นต้น [12]

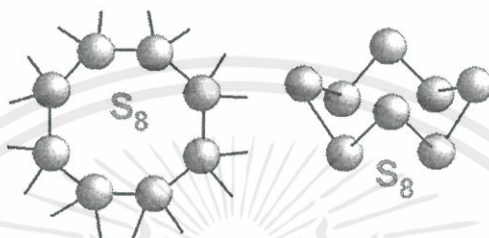
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 สารเติมแต่ง (Additives)

สารเติมแต่ง คือ สารเคมีที่ใช้ในการเพิ่มและปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์ โดยจะมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด แต่ละชนิดก็จะมีหน้าที่หรือสมบัติแตกต่างกันไป ที่ใช้ในการศึกษางานวิจัยนี้มีดังต่อไปนี้

1. สารเชื่อมโยง (Vulcanizing agents หรือ Curing agents)

- กำมะถัน (Sulfur)



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของกำมะถัน [13]

กำมะถันที่นิยมใช้ในการเชื่อมโยงยังมี 2 ชนิดคือ

1. กำมะถันชนิดละลาย (Soluble sulfur) หรือกำมะถันผลึก เป็นผงสีเหลือง ความหนาแน่น 2.07 g/cm^3 เป็นกำมะถันในรูปผลึก rombik (Rhombic) โครงสร้างเป็นวงแหวน (Cyclic or ring structure) ประกอบด้วยกำมะถัน 8 อะตอม (S_8) เกิดการแตกตัวของวงแหวนที่อุณหภูมิสูงประมาณ $150 \text{ }^\circ\text{C}$ ($300 \text{ }^\circ\text{F}$) เป็นชนิดที่นิยมใช้ทั่วไป เนื่องจากมีราคาถูก จะใช้ในปริมาณน้อย ปกติใช้กำมะถันประมาณ 1-3 phr
2. กำมะถันชนิดไม่ละลาย (Insoluble sulfur) กำมะถันอสัณฐาน เป็นผงสีเหลือง ความหนาแน่น 1.92 g/cm^3 เป็นกำมะถันในรูปอสัณฐาน (Amorphous) ไม่เป็นผลึก โครงสร้างใหญ่กิ่งเสถียร (Meta-stable polymer) น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 100,000-300,000 ไม่ละลายในตัวทำละลายและยาง จึงได้ชื่อว่าเป็นกำมะถันชนิดไม่ละลาย จะผสมเข้ากับยางได้ยากกว่ากำมะถันชนิดละลาย แต่เมื่อผสมเข้ากันแล้วจะเกิดโครงสร้างที่ซับซ้อน (Complex structure) กับยาง ทำให้ไม่เกิดการบลูม (Bloom) หรือแพร์ออกมาที่ผิวหน้า จึงนิยมใช้กำมะถันชนิดนี้เมื่อต้องการใส่กำมะถันในปริมาณมาก เช่น ยางชนิดแข็งมาก หรือ

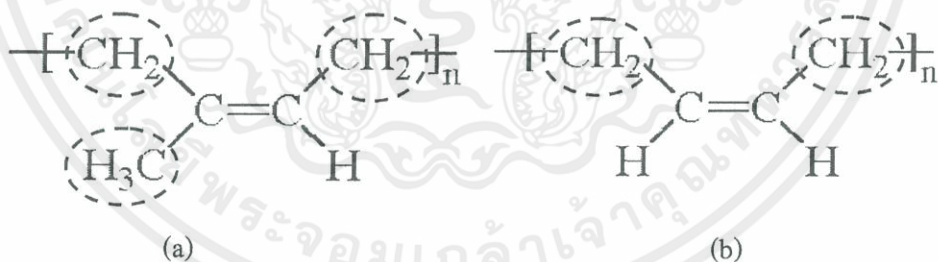
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ประมาณ 5 เท่า) นอกจากนี้กำมะถันชนิดไม่ละลายอาจเปลี่ยนโครงสร้างเป็นกำมะถัน

ชนิดละลายได้ที่อุณหภูมิสูงเกิน 100 °C (210°F) จึงต้องควบคุมอุณหภูมิผสมไม่ให้สูงเกิน ถ้าต้องการใช้ประโยชน์ก้ำมะถันชนิดไม่ละลาย [8]

การเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน (Sulfur Vulcanization)

การเชื่อมโยงยางสามารถทำได้หลายวิธี ที่นิยมที่สุดสำหรับยางที่ไม่อิ่มตัว คือ การเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน (Sulfur; S) เนื่องจากกำมะถันมีราคาถูก ละลายได้ดีในยาง ส่วนมากที่นิยมใช้เป็นยางที่ไม่อิ่มตัว เนื่องจาก มีพันธะคู่จำนวนมาก (High-diene) เช่น ยางธรรมชาติ (NR) ยางไอโซพรีน (IR) ยางสไตรีนบิวตะไดอิน (SBR) และยางบิวตะไดอิน (BR) ฯลฯ จึงว่องไวต่อการเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน โดยใช้ร่วมกับสารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง และสารกระตุ้น (Activators) ได้แก่ กรดสเตียริกและซิงค์ออกไซด์ (Stearic acid /ZnO)

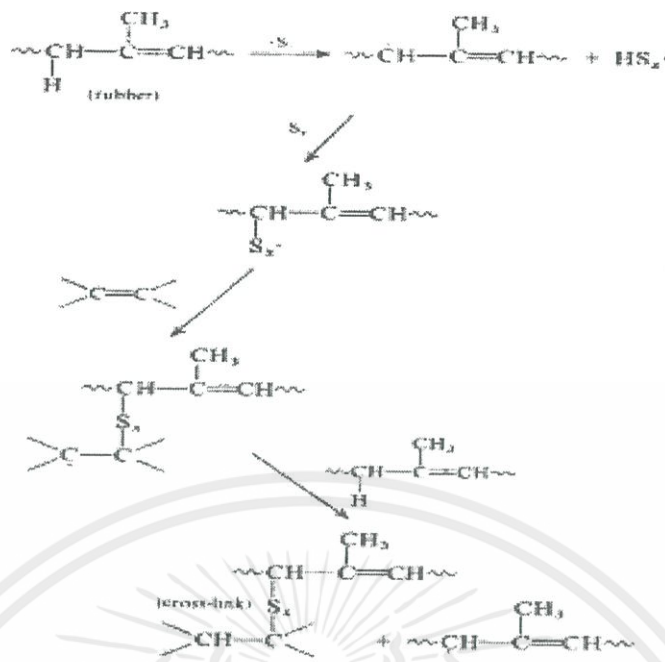
กำมะถันสามารถเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงได้ดีกับยางที่ไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่และมีอะตอมของไฮโดรเจนที่ตำแหน่งอะไลลิก (Allylic hydrogen) หรือตำแหน่งคาร์บอนที่ติดจากพันธะคู่ เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา ยางที่มี Allylic hydrogen มากจะเชื่อมโยงด้วยกำมะถันได้ว่องไวกว่ายางที่มี Allylic hydrogen น้อย ตัวอย่างเช่น ยางธรรมชาติ (NR) หรือพอลิไอโซพรีนมี Allylic hydrogen 7 อะตอมในโครงสร้าง (ดูรูปที่ 2.6) จะเชื่อมโยงด้วยกำมะถันได้ว่องไวกว่ายางบิวตะ ไดอิน (BR) ซึ่งมี Allylic hydrogen 4 อะตอม [8]



รูปที่ 2.6 โครงสร้างโมเลกุลยางเปรียบเทียบกับจำนวน Allylic hydrogen; (a) ยางธรรมชาติ และ (b) ยางบิวตะไดอิน [8]

กลไกปฏิกิริยาเชื่อมโยงยางด้วยกำมะถัน

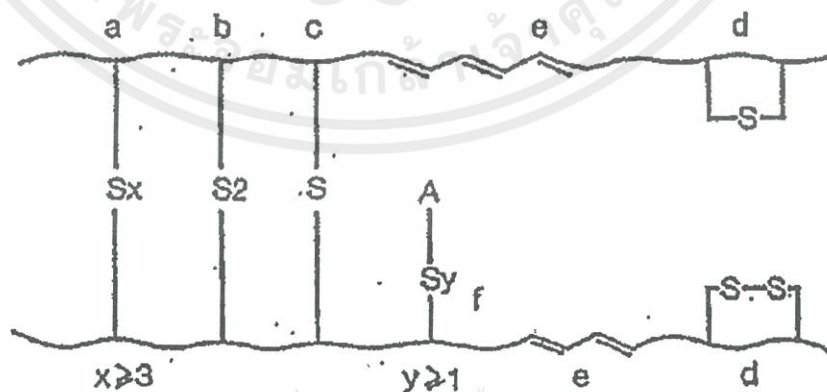
กลไกปฏิกิริยาเชื่อมโยงยางด้วยกำมะถัน เมื่อไม่ใช้สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง สามารถแสดง
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการเผยแพร่เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ เช่น การค้า
 ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตาม หากมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 กลไกการเชื่อมโยงของกำมะถันในยาง [14]

เมื่อกำมะถันเกิดการแตกตัวเข้าทำปฏิกิริยาเชื่อมโยงกับสายโซ่โมเลกุลหลัก สามารถเกิดพันธะเชื่อมโยงได้ในหลายลักษณะ ดังรูปที่ 2.8

- เกิดพันธะเชื่อมโยงกำมะถันอะตอมเดี่ยวหรือโมโนซัลไฟดิก (Monosulfidic linkage)
- เกิดพันธะเชื่อมโยงกำมะถันหลายอะตอมหรือพอลิซัลไฟดิก (Polysulfidic linkage)
- เกิดการเชื่อมโยงบนสายโซ่เดียวกันทำให้เกิดโครงสร้างเป็นวง (Ring) หรือไซคลิก (Cyclic)
- เกิดการเชื่อมโยงด้านเดียวกัน ทำให้เกิดโครงสร้างห้อย (Dangling)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.8 โครงสร้างของยางเมื่อทำการเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน [15]

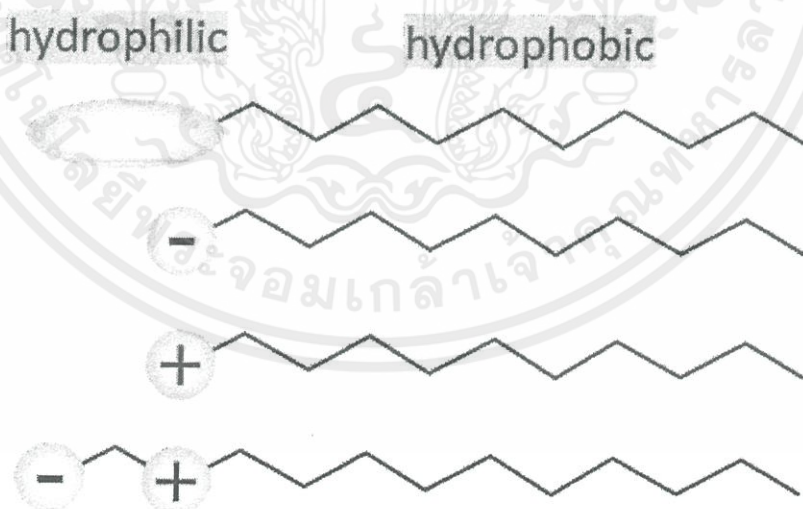
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ข้อมูลนี้ให้ผู้อื่นทราบโดยไม่แจ้งชื่อผู้จัดทำเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

การที่กำมะถันเกิดปฏิกิริยาแล้วได้โครงสร้างเป็นวงหรือไซคลิก และโครงสร้างห้อย เกิดการเชื่อมโยงด้านเดียว นับว่าเป็นการเชื่อมโยงที่ไม่มีประสิทธิภาพ เพราะโครงสร้างที่เกิดไม่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุลของยาง โครงสร้างเหล่านี้เป็นกำมะถันที่มากเกินไป (Excessive sulfur) ส่งผลให้ยางที่มีโครงสร้างเหล่านี้มากจะมีสมบัติบางประการต่ำ เช่นเดียวกับยางที่มีพันธะเชื่อมโยง Polysulfidic เช่น สมบัติเปลี่ยนแปลงอย่างมากเมื่อใช้งานเป็นเวลานาน (Poor aging properties) เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างถาวร (Set) มาก ฯลฯ [8]

2. สารกระจายตัว (Dispersing agents)

สารกระจายตัว คือ สารเคมีที่เติมเข้าไปเพื่อช่วยให้สารเติมแต่งต่างๆ กระจายตัวในยางอย่างทั่วถึง ทำให้ยางคอมพาวด์ มีสมบัติในแต่ละส่วนที่เท่ากัน โดยสารกระจายตัวจะมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นสารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) เป็นสารประกอบที่ทำให้แรงตึงผิวของของเหลวลดลง ช่วยให้การกระจายตัวของของเหลวดีขึ้น และช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างของเหลวสองชนิดหรือระหว่างของเหลวกับของแข็ง สารลดแรงตึงผิวสามารถใช้เป็น น้ำยาซักล้าง อิมัลชัน โฟมมิ่ง เอเจนต์ หรือ ดิสเพอร์สชันต์ สารชนิดนี้จะมีทั้งส่วนที่มีและไม่มีส่วนที่มีขั้ว เมื่ออยู่ในน้ำจึงมักจัดตัวเป็นไมเซลล์

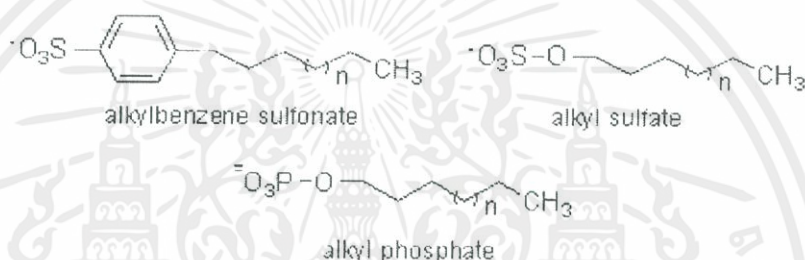


รูปที่ 2.9 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

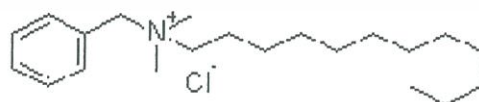
สารลดแรงตึงผิว แบ่งออกเป็นหลายกลุ่มขึ้นอยู่กับประจุไฟฟ้าบนส่วนประกอบที่ละลายน้ำ (Hydrophilic) โดยสามารถแยกได้ 4 ประเภท ได้แก่

1. สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (Anionic Surfactant) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบนส่วนที่ชอบน้ำให้ประจุลบ ส่วนมากแสดงอยู่ในรูป Carboxylate, Sulfate, Sulfonate หรือ Phosphate สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้ใช้มากในอุตสาหกรรมประเภทผงซักฟอก, ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด, น้ำยาล้างจาน เป็นต้น ใช้มากถึง 49% ของสารลดแรงตึงผิวทั้งหมด เนื่องจากสามารถใช้ขจัดคราบสกปรกได้ดี ตัวอย่างเช่น สารกลุ่มอัลคิลเบนซีนซัลโฟเนต (Alkylbenzene sulfonate), อัลคิลซัลเฟต (Alkyl sulfate) และอัลคิลฟอสเฟต (Alkyl phosphate) ในรูปเกลือโซเดียม เป็นต้น



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ [17]

2. สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (Cationic Surfactant) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบนส่วนที่ชอบน้ำให้ประจุบวก ส่วนมากมักจะเป็นพวก Quaternary ammonium สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้จะไม่สามารถทำงานได้ในสภาวะแวดล้อมที่เป็นด่างสูง (pH 10-11) เนื่องจาก Ammonium salt จะมีการสูญเสียประจุบวกทำให้เกิดการตกตะกอนได้ สารลดแรงตึงผิวประเภท Cationic จะทำให้ระคายเคืองมากกว่าสารลดแรงตึงผิวประเภท Anionic นิยมใช้ในพวกน้ำยาปรับผ้านุ่ม ครีมนวดผม และผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับการจัดแต่งทรงผม ตัวอย่างเช่น เบนซิลโคเนียมคลอไรด์ (Benzalkonium chloride) เป็นต้น

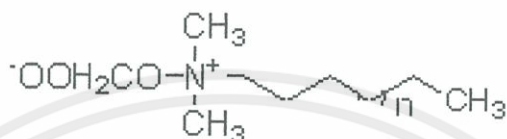


benzalkonium chloride

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

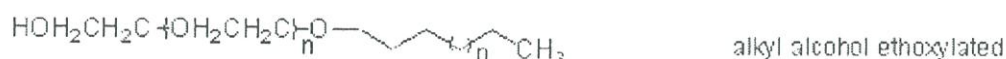
รูปที่ 2.11 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก [17]

3. สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Nonionic Surfactant) สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้จะแตกต่างจากสารลดแรงตึงผิวประเภท Anionic และ Cationic ตรงที่เป็นโมเลกุลที่ไม่มีประจุ โดยมีพวก Polyether หรือ Polyhydroxyl เป็นกลุ่มที่แสดงคุณสมบัติคล้ายพวกที่มีประจุ ใช้มากในผงซักฟอก น้ำยาล้างจาน ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดผิว ตัวอย่างเช่น สารในกลุ่มอัลคิลฟีนอล (Alkyl phenol), อัลคิลฟีนอลเอทอกซีเลต (Alkyl phenol ethoxylates) และอัลคิลแอลกอฮอล์เอทอกซีเลต (Alkyl alcohol ethoxylates) เป็นต้น



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ [17]

4. สารลดแรงตึงผิวชนิดสองประจุ (Amphoteric Surfactant หรือ Zwitterionics) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ประจุไฟฟ้าบนส่วนที่ชอบน้ำสามารถให้ได้ทั้งประจุบวกและประจุลบ โดยจะแสดงคุณสมบัติประเภทใดขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นกรด-ด่างของสภาพแวดล้อม ถ้าสภาวะแวดล้อมเป็นด่าง (pH > 7) ประจุไฟฟ้าบนส่วนที่ชอบน้ำจะให้ประจุลบ ถ้าสภาวะแวดล้อมเป็นกรด (pH < 7) ประจุไฟฟ้าบนส่วนที่ชอบน้ำจะให้ประจุบวก และในสภาวะที่เป็นกลางจะไม่เกิดการให้ประจุไฟฟ้าบนส่วนที่ชอบน้ำ สารลดแรงตึงผิวประเภทนี้นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับผิวหรือผม ในปัจจุบันยังใช้น้อยกว่าสารลดแรงตึงผิวประเภทอื่น ตัวอย่างเช่น สารประกอบในกลุ่มของอัลคิลบีเทน (Alkyl betane) เป็นต้น [17]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ 2.13 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวชนิดสองประจุ [17] ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 สมบัติของสารลดแรงตึงผิวประเภทต่างๆ [18]

ประเภทคุณสมบัติ	Anionic Surfactant	Cationic Surfactant	Nonionic Surfactant	Amphoteric surfactant
ให้ประจุ	ลบ	บวก	ไม่มีประจุ	ทั้งประจุบวกและลบ
กลุ่มสารเคมี	Carboxylate, Alkylbenzene Sulfate, Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS)	Quaternary Ammonium Compound (QACs)	Polyether, Polyhydroxyl	Betane เช่น Mirataine BET C30, Dehyton K และ Amphoacetate เช่น Miranol LC 32
อุตสาหกรรมที่ใช้	ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดทั่วไป โดยใช้น้ำมากถึง 49 % ของสารลดแรงตึงผิวทั้งหมด	ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ ** มีคุณสมบัติฆ่าเชื้อ	ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ **เกิดฟองน้อย	ผลิตภัณฑ์ชำระล้างของเด็ก, สบู่, แชมพู, ครีมอาบน้ำ
pH ที่เหมาะสม		หาก pH เป็นเบส (pH10-11) ส่งผลให้ Ammonium salt สูญเสียประจุบวก เกิดการตกตะกอน ทำให้ประสิทธิภาพลดลง		การแสดงคุณสมบัติขึ้นอยู่กับสภาพ pH ของสภาพแวดล้อม ถ้าสภาพแวดล้อมเป็นเบส (pH>7) จะให้ประจุลบ, ถ้าสภาพแวดล้อมเป็นด่าง (pH<7) จะให้ประจุบวก, ถ้าสภาพแวดล้อมเป็นกลาง (pH = 7) จะไม่ให้ประจุ
ประสิทธิภาพเมื่ออยู่ในน้ำกระด้าง ¹	ไม่ละลาย	ละลายน้อยกว่า nonionic	ละลายดีที่สุด	n.a.
การเกิดฟอง	ดีที่สุด	น้อยที่สุด	ดี	ค่อนข้างดี
ความระคายเคืองต่อตาและผิวหนัง	มาก	มากที่สุด	น้อย	น้อยที่สุด

¹ ค่าความกระด้างของน้ำ: คำนวณเป็นระดับของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) น้ำกระด้างมีค่าตั้งแต่

ระดับ 150 ขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารกระจายตัวที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ มีดังนี้

1. EnHance[®] FG [19]

- **ลักษณะทั่วไป (General characterization)**
 - ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (Saturated hydrocarbons) ที่เป็นของแข็ง
 - สูตรโมเลกุล : C_nH_{2n+2}
- **สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี (Physical and chemical properties)**
 - สี : สีขาว – สีน้ำตาลอ่อน
 - รูปร่างทางกายภาพ : เป็นเม็ด ผง หรือเกล็ด
 - กลิ่น : ไม่มีกลิ่น
 - ความหนาแน่น : 0.9 g/cm³
 - มวลโมเลกุล : ประมาณ 1,000 g/mole
 - ค่า pH : เป็นกลาง
 - ความเป็นผลึก : >90 %
 - การละลายน้ำ (20°C) : ไม่ละลายน้ำ
 - สถานะ : เป็นของแข็งที่ 25°C

Polyethylene Wax (PE-Wax) [20] โพลีเอททิลีนแวกซ์เป็นแวกซ์ประเภทมวลโมเลกุลต่ำที่ได้จากโพลีเอททิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ลักษณะเฉพาะของมันคือการมีจุดหลอมเหลวสูงและใช้งานได้ดีที่อุณหภูมิต้านออกจากรุ่นการมีค่าความหนืดที่กว้างทำให้มันถูกนำไปใช้ได้อย่างหลากหลาย โพลีเอททิลีนแวกซ์ถูกใช้เป็นตัวช่วยในกระบวนการการผลิตท่อพีวีซี, วัสดุหรือวัตถุดิบที่มีรูปร่างพิเศษเฉพาะ, ฟิล์ม, สายเคเบิ้ล, ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากยางและพลาสติก นอกจากนี้ยังถูกนำมาใช้เป็นสารหล่อลื่น เป็นตัวช่วยในการปลดชิ้นงานของโพลีโอเลฟิน, พีวีซี, โพลีเมทิลเมทาคริเลตและโพลีคาร์บอนเนต พัฒนาการไหลของโพลีเอททิลีน, โพลีโพรพิลีน, ABS และ โพลีเอททิลีนแวกซ์ยังถูกนำมาใช้เป็นสารหล่อลื่นและสารกระจายตัวในการทำเม็ดสีพลาสติก อีกทั้งยังใช้เป็นสารดัดแปรสำหรับกระบวนการผลิตเทียน, พลาสติกและอีลาสโตเมอร์, และการเคลือบผิวกระดาษด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Dehydol[®] LS 3 TH [21]

- **ลักษณะทั่วไป**

- Fatty alcohol (C12-14) ทำปฏิกิริยากับ Ethylene oxide จำนวน 3 moles
- Polyoxyethylene (3) Lauryl ether

- **สมบัติของผลิตภัณฑ์ (Product properties)**

- ลักษณะ : ของเหลวใส ไม่มีสี
- การใช้งาน : ใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด (Thickener) ในการเตรียมสารลดแรงตึงผิวสำหรับเครื่องสำอาง เช่น แชมพู, ครีมอาบน้ำ และโฟมสำหรับอาบน้ำ

- **Characteristic values**

- pH (1% Aq.) : 6.0-7.5
- Hydroxyl value (mgKOH/g) : 171-177
- Glycol (%) : ≤ 1.0
- Water content : ≤ 0.1
- Color : ≤ 50

3. Dehydol[®] LS 7 TH [22]

- **ลักษณะทั่วไป**

- Fatty alcohol (C12-14) ทำปฏิกิริยากับ Ethylene oxide จำนวน 7 moles
- Polyoxyethylene (7) Lauryl ether

- **สมบัติของผลิตภัณฑ์**

- ลักษณะ : ของเหลวใส - ขุ่น
- การใช้งาน : สามารถใช้งานได้หลากหลาย เหมาะกับการใช้ผลิตผงซักฟอก สามารถขจัดคราบสกปรกได้เหมือนกับสารทำความสะอาดพื้นผิวในครัวเรือน

- **Characteristic values**

- pH (1% Aq.) : 6.0-7.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ Hydroxyl value (mgKOH/g) : 110-117 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น © Cloud point (°C) (1% Aq.) : 52-58 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การผสมยาง (Rubber compound)

การผสมยางหรือคอมพาวด์ คือ ขั้นตอนการผสมยางดิบ (ยางธรรมชาติหรือยางสังเคราะห์) ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการเชื่อมโยง (Vulcanization) กับสารเติมแต่งต่างๆ ของยาง โดยเครื่องที่ใช้ผสมยางมีหลายชนิด ในงานวิจัยนี้เลือกใช้เครื่องผสมแบบเปิดชนิดสองลูกกลิ้ง

เครื่องผสมแบบเปิดชนิดสองลูกกลิ้ง

เครื่องผสมยางแบบ 2 ลูกกลิ้งเป็นเครื่องผสมระบบเปิด ประกอบด้วยลูกกลิ้ง 2 ลูก เรียงตัวในแนวขนานกัน หมุนเข้าหากันด้วยความเร็วต่างกัน ทำให้เกิดแรงเฉือนที่จำเป็นต่อการบดผสมยางกับสารเคมียาง ในการผสมยางกับสารเคมียางจะใส่ยางลงช่องระหว่างลูกกลิ้ง ยางจะถูกรีดออกมาเป็นแผ่นรอบลูกกลิ้งด้านหน้า จากนั้นจึงเติมสารเคมียาง โดยผู้ผสมต้องทำการกรีดยางแผ่นและพับไปมาในขณะที่เติมสารเคมีลงไปยาง ซึ่งยางที่ถูกตัดพับจะถูกใส่กลับไปยังช่องระหว่างลูกกลิ้ง แรงเฉือนที่เกิดขึ้นจะช่วยให้สารเคมีต่างๆ กระจายตัวเข้ากับเนื้อยางได้ดี เครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้งใช้ผสมยางในปริมาณไม่มาก เนื่องจากต้องใช้ความชำนาญและกำลังคนในการผสม [26]



รูปที่ 2.14 เครื่องผสมแบบเปิดชนิดสองลูกกลิ้ง [27]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การทดสอบสมบัติของยาง ในงานวิจัยนี้ ได้แก่

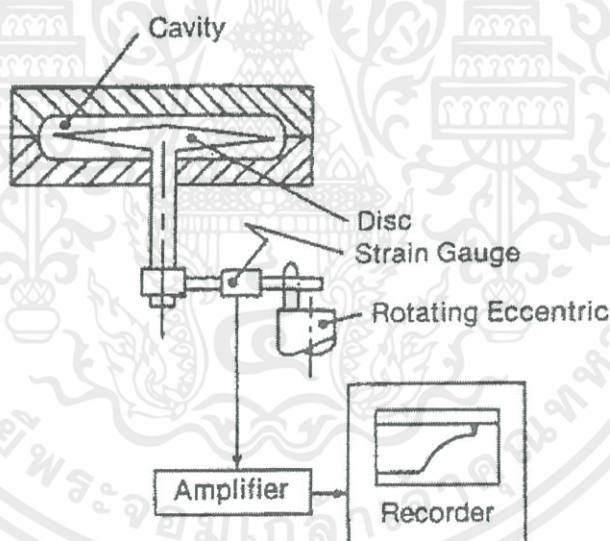
1. การทดสอบลักษณะการเชื่อมโยง (Cure characterization)

1.1 เครื่องวัดการเชื่อมโยงของยาง (Curemeters for Rubber Compounds)

1.1.1 เครื่องวัดการไหลแบบจานสั่น (Oscillating Disc Rheometers, ODR)

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D-2084 และ BS1763 เครื่องวัดการไหลแบบจานสั่นหรือเครื่องโอดีอาร์เป็นเครื่องที่สามารถใช้วัดการเชื่อมโยงของยางได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ จึงเป็นเครื่องมือทดสอบการเชื่อมโยงที่เป็นที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมยางและในห้องปฏิบัติการทดสอบยางทั่วไป เพื่อใช้ในการหาสถานะในการเชื่อมโยงที่เหมาะสม หาเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตยางและใช้ในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ยาง

หลักการทำงานของเครื่อง ODR คือการตรวจวัดความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของยาง โดยการวัดการเปลี่ยนแปลงแรงบิดหรือทอร์ก (Torque) ของจานวงกลมรูปโคน (Biconical disc) หมุนอยู่ในตัวอย่างยาง ที่มีการควบคุมอุณหภูมิ ดังรูปที่ 2.15



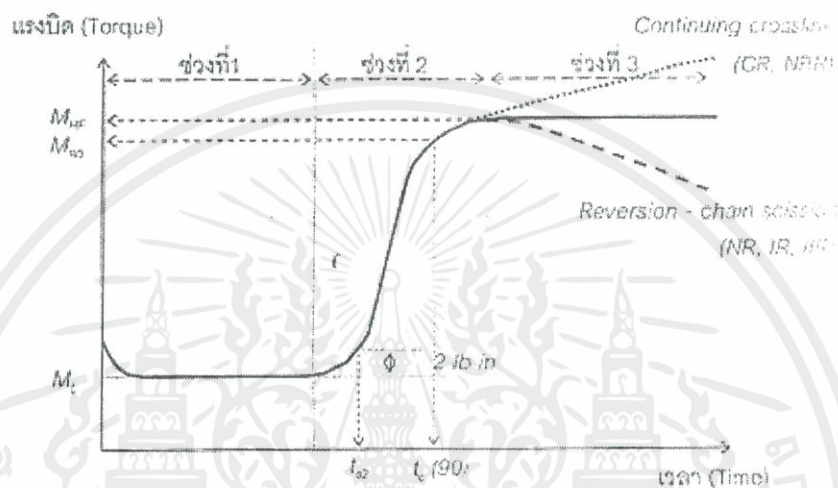
รูปที่ 2.15 แผนภาพแสดงการทำงานของเครื่อง ODR [8]

ในการทดสอบยางตัวอย่างจะถูกใส่ไว้ในช่องว่างปิด (Cavity) โดยการตัดเป็นแผ่นประกบ

หุ้มจานโลหะ (Disc) และทำการให้อุณหภูมิที่ทดสอบการเชื่อมโยงยางจานโลหะจะหมุนแบบสั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไปมาที่มุม $\pm 1, 3$ หรือ 5 องศาตามแนวระนาบ การเชื่อมโยงของสายโซ่โมเลกุลยางจะสามารถวัด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ได้จากการเพิ่มขึ้นของแรงบิดที่ใช้เพื่อทำให้เกิดการหมุนของจานที่มุมคงที่ที่ความถี่คือ 1.67 Hz

เนื่องจากการทดสอบนี้ทำที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นจึงไม่มีผลของการเปลี่ยนแรงบิดอันเนื่องมาจากความหนืด ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า การเพิ่มขึ้นของแรงบิดตัวอย่างที่เกิดการเชื่อมโยงจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนจุดเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของยาง ผลการทดสอบอยู่ในรูปกราฟระหว่างแรงบิดกับเวลา ซึ่งอาจเรียกว่า กราฟรีโอมิเตอร์ (Rheometer chart), รีโอกราฟ (Rheograph) หรือ กราฟเชื่อมโยง (Cure curve) ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ตัวอย่างกราฟเชื่อมโยง [8]

ตามมาตรฐาน ASTM ได้นิยามค่าต่างๆ ในกราฟเชื่อมโยงดังนี้

- M_L = ค่าแรงบิดต่ำสุด (Minimum torque)
- M_{HF} = ค่าแรงบิดสูงสุดเมื่อเส้นกราฟคงที่สูงสุด (Plateau torque)
- M_{HR} = ค่าแรงบิดสูงสุดของเส้นกราฟที่สูงสุดแล้วลดลง (Reversion)
- M_H = ค่าแรงบิดสูงสุดของเส้นกราฟในเวลาทดสอบ เมื่อกราฟเพิ่มขึ้น (Marching)
- t_{s2} = “เวลาเริ่มเชื่อมโยง” หรือ เวลาสกอร์ช (Scorch time) เป็นเวลาที่ใช้ในการเชื่อมโยง จนกระทั่งแรงบิดเพิ่มขึ้นเป็น 2 หน่วยทอร์ค เช่น 2 ปอนด์-นิ้ว (lb.in) หรือ 2 เดซินิวตัน-เมตร (dN.m) เทียบกับแรงบิดต่ำสุด (M_L)
- M_{90} = ค่าแรงบิดที่ 90% ของการเชื่อมโยง คำนวณได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ $M_{90} = M_L + 0.9(M_{HF} - M_L)$ ศึกษานี้ ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตาม การใช้งานใดๆ ที่ไม่ใช่การศึกษานี้ อาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดที่นำไปใช้
 $t_{c(90)}$ = “เวลาเชื่อมโยง” คือเวลาจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดที่มีการเชื่อมโยง 90% (M_{90}) นิยาม

เท่ากับเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการเชื่อมโยงยาง (Optimum cure time)

CRI = “ดัชนีอัตราเร็วการเชื่อมโยง” (Cure rate index) คำนวณได้จากสมการ

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

จากรูปที่ 2.16 ช่วงเวลา t_{s2} คือช่วงเวลาปลอดภัยที่ผู้ผลิตสามารถขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางได้ก่อนที่ ยางจะเกิดการเชื่อมโยงกลายเป็น โครงสร้างร่างแหสามมิติจนไม่สามารถขึ้นรูปได้ กล่าวคือ กระบวนการขึ้นรูปยางใดๆ ที่เกี่ยวข้องกับการไหลของยางจะต้องกระทำภายในเวลานี้ ส่วนเวลา $t_{c(90)}$ คือ เวลาที่เหมาะสมที่ใช้ในการเชื่อมโยงยางให้มีสมบัติที่ดีที่สุด อย่างไรก็ตามในอุตสาหกรรมอาจ รายงานค่า $t_{c(95)}$ หรือ $t_{c(98)}$ ขึ้นกับความเหมาะสม สมบัติของยางและความต้องการของผู้ผลิต

จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟเชื่อมโยงมีลักษณะคล้ายตัวอักษร “เอส” (S) โดยอาจแบ่งได้เป็นสาม ช่วงคือ

ช่วงที่ 1 (Delay phase) เมื่อเริ่มให้แรงบิด ยางจะนิ่มตัวเล็กน้อยเนื่องจากการจัดเรียงตัวของ สายโซ่โมเลกุลของยางตามแนวแรง หรือเกิดปรากฏการณ์การนิ่มตัวเนื่องจากแรงเฉือน (Shear thinning effect) เป็นผลให้ค่าแรงบิดมีค่าต่ำลงเล็กน้อยและคงที่ ค่าแรงบิดที่ต่ำสุดนี้นิยามเท่ากับ M_L (Minimum torque) ช่วงนี้คือช่วงเวลาที่สามารถขึ้นรูป (Processing time) ผลิตภัณฑ์ยางได้

ช่วงที่ 2 (Curing phase) เมื่อเวลานานเพียงพอ สารเชื่อมโยงได้แก่ กำมะถัน สารเร่ง ปฏิกิริยาเชื่อมโยง และสารกระตุ้น เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงกับโมเลกุลของยาง โครงสร้างโมเลกุล ของยางเปลี่ยนจากสายโซ่ตรงเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติทำให้ค่าแรงบิดมีค่าสูงขึ้น จนกระทั่งถึง จุดสูงสุดและคงที่ ช่วงนี้จะให้ข้อมูลอัตราเร็วของการเชื่อมโยง

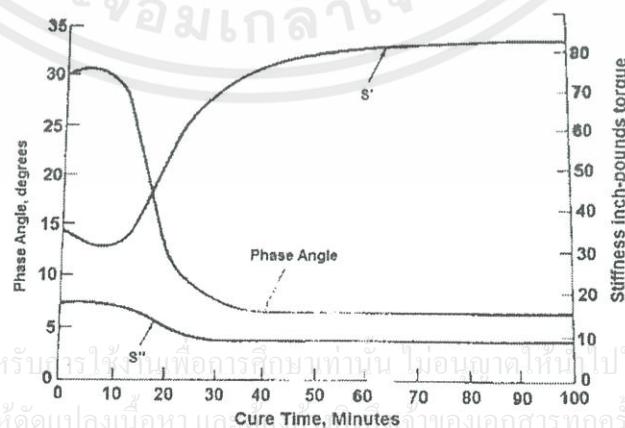
ช่วงที่ 3 (Overcure phase) สามารถให้ข้อมูลการเสื่อมสลายเสียดสภาพ (Degradation) ของ ยางได้ ถ้ายังคงให้ความร้อนยางหลังเชื่อมโยงสมบูรณ์เส้นกราฟจะเป็นไปได้ใน 3 ลักษณะ คือ

1. เส้นกราฟคงที่ แสดงว่าเมื่อเวลาผ่านไป ยางมีองศาการเชื่อมโยง (Degree of crosslink) คงที่ เรียกว่าเกิด “Plateau” ไม่เกิดการเสื่อมสลายของยาง อาจแสดงให้เห็นว่า สูตรยางที่ วัดมีเสถียรภาพสูง ไม่เกิดการเสื่อมสภาพ แม้ว่าจะใช้เวลาเชื่อมโยงมากเกินไป (Overcure)
2. เส้นกราฟสูงขึ้น ค่ามอดูลัสของยางมีค่าเพิ่มขึ้น (Marching modulus) แสดงว่ายางมีองศา การเชื่อมโยงของยาง เพิ่มขึ้นเนื่องจากยางบางชนิดเกิดการเสื่อมสลายแบบเกิดการเชื่อมโยง (Crosslink) ยางที่เกิดปรากฏการณ์นี้ได้แก่ ยางคลอโรพรีน (CR) ยางไนไตรล์ (NBR) ไปใช้

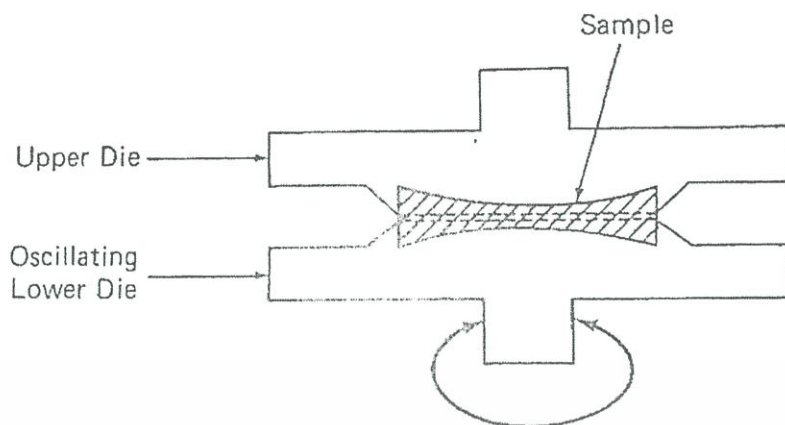
3. เส้นกราฟลดลง เนื่องจากยางบางชนิดสามารถเกิดการเสื่อมสลายแบบเกิดการขาดของสายโซ่ (Chain scission) หรือเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ ยางที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแบบนี้ได้แก่ ยางธรรมชาติ ยางไอโซพรีน และยางบิวทิล (IIR) [8]

1.1.2 เครื่องวัดการเชื่อมโยงแบบไร้จานหมุน (Rotorless curemeters)

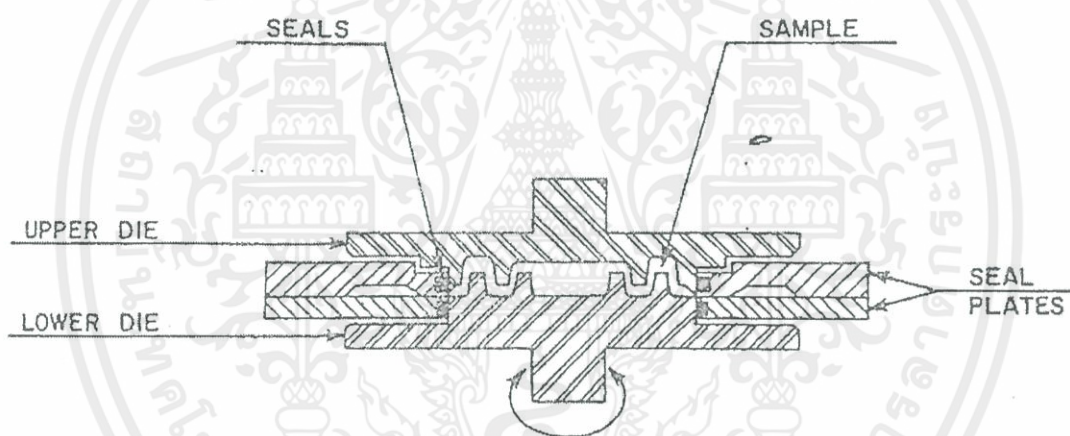
บางครั้งอาจเรียกว่าเครื่องเอ็มดีอาร์ (Moving Die Rheometer, MDR) เป็นเครื่องวัดการเชื่อมโยงชนิดใหม่ที่มีการถ่ายเทอุณหภูมิรวดเร็ว เนื่องจากใช้ตัวอย่างเล็กและบางกว่า เป็นผลให้สามารถทดสอบการเชื่อมโยงได้รวดเร็วกว่า ไม่มีข้อผิดพลาดของการทดสอบเนื่องจากแรงเสียดทานของจานหมุน จะให้ข้อมูลการทดสอบที่ถูกต้องและแม่นยำกว่า เนื่องจากใช้ตัวอย่างขนาดเล็กกว่า นอกจากนี้เครื่อง MDR รุ่นใหม่สามารถให้ข้อมูลมากขึ้นกว่า เช่น สามารถแยกค่าแรงบิดออกเป็น 2 องค์ประกอบ คือ องค์ประกอบที่ยืดหยุ่น (Elastic component, S') และองค์ประกอบที่สูญเสียหรือเหลวนืด (Loss modulus, S'') ในการทดสอบสมบัติวัสดุด้วยแรงสั่นหรือสมบัติไดนามิกส์ รวมทั้งค่า Phase angle หรือ $\tan \delta$ ($= S''/S'$) ดังรูปที่ 2.17 จะเห็นได้ว่าเมื่อยางเชื่อมโยง ค่า S' จะเพิ่มขึ้นคล้ายตัวเอส "S" ในกราฟเชื่อมโยงด้วยเครื่อง ODR ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ส่วนค่า Phase angle หรือ $\tan \delta$ มีค่าลดลง รูปที่ 2.18 และ 2.19 แสดงเครื่อง MDR จานด้านล่าง (Lower die) จะหมุนสั้นไปมาทำมุม $\pm 1, 3$ หรือ 5 องศาที่ความถี่ 1.67 Hz จานด้านบนจะอยู่กับที่และวัดแรงบิด จะได้กราฟการเชื่อมโยงเช่นเดียวกับ ODR ปัจจุบันเครื่องวัดการเชื่อมโยงประเภทนี้ ได้แก่ Wallace precision cure analyzer (PCA) และ Monsanto moving die rheometer (MDR) รายละเอียดการทดสอบการเชื่อมโยงด้วยเครื่อง MDR เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM-D5289 และ ISO-6502



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างกราฟการเชื่อมโยงจากเครื่อง Rotorless curemeter [8]



รูปที่ 2.18 แผนภาพแสดงการทำงานของเครื่อง Rotorless curemeter [8]

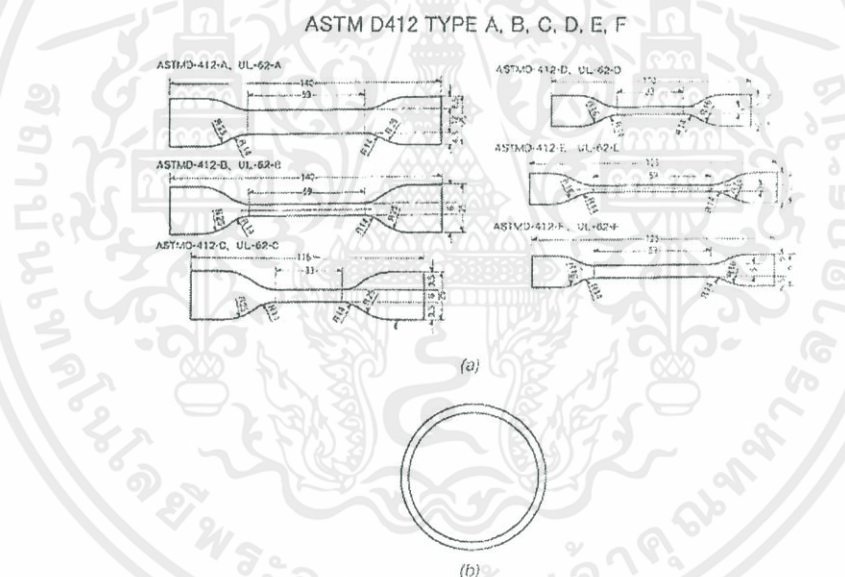


รูปที่ 2.19 Monsanto moving die rheometer (MDR) เป็น Pressurized rotorless curemeter [8]

2. การทดสอบแรงดึง (Tensile Test)

ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) มอดุลัสแรงดึง (Tensile modulus) และเปอร์เซ็นต์การดึงยืด (% Elongation) นับเป็นส่วนหนึ่งในสมบัติที่สำคัญที่สุดของวัสดุต่างๆ และมีความจำเป็นที่จะต้องทดสอบสำหรับยาง มาตรฐานที่ใช้ทดสอบแรงดึงยังมีหลายมาตรฐาน เช่น ASTM-D412, ISO-37, BS-903, JIS-K6251, DIN-53504 เป็นต้น การทดสอบแรงดึง คือการวัดความสามารถของวัสดุหนึ่งที่จะทนต่อแรงดึงยืดออกจากกัน ก่อนที่จะเกิดการฉีกขาด แตกหัก การคำนวณค่ามอดุลัสแรงดึงจะเป็นค่าที่บอกถึงความแข็ง (Stiffness) ของวัสดุ สามารถหาได้

จากความชันของกราฟความเค้น-ความเครียด (Stress-strain curve) การทดสอบแรงดึงทำได้โดยการยึดชิ้นงานตัวอย่างที่ขนาดและรูปร่างตามมาตรฐาน โดยใช้ที่จับ (Grips) สองชุด ที่จับข้างหนึ่งจะถูกยึดให้อยู่กับที่ และอีกข้างหนึ่งจะเคลื่อนที่โดยมีเซลล์แรงวัด (Load cells) เป็นตัววัดและควบคุมแรงที่กระทำกับชิ้นงานตัวอย่าง โดยมากแล้วชิ้นงานตัวอย่างมีรูปร่างคล้าย “ดัมเบลล์” (Dumb-bell) หรือรูปวงแหวน (Ring) ดังรูปที่ 2.20 การยึดออกของชิ้นงานพอลิเมอร์สามารถวัดได้จากการวัดระยะห่างระหว่างสองเส้น (Gauge marks) บนชิ้นงานตัวอย่างที่ห่างกันเป็นระยะเท่ากับ “ความยาวเกจ” หรือ Gauge length ตามมาตรฐานใช้ความยาวเกจ 20 หรือ 25 มิลลิเมตร โดยการใช้เครื่อง “เอกซ์เทนโซมิเตอร์” (Extensometer) แบบสัมผัส (Contacting extensometer) หนีบกับตัวอย่างชิ้นงาน หรือแบบไม่สัมผัส (Non-contacting extensometer) อัตราเร็วการดึงที่ใช้จะขึ้นกับชนิดตัวอย่างพอลิเมอร์ เช่น วัสดุยืดหยุ่นคล้ายยาง (Elastomers) จะทำการดึงด้วยอัตราเร็ว 500 ± 50 มิลลิเมตรต่อนาที (ตามมาตรฐาน ASTM D-412) [8]



รูปที่ 2.20 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบแรงดึงมาตรฐาน ASTM D-412 (a) ดัมเบลล์ตาย A B C D E F และ (b) แบบวงแหวน [8]

จากแรงดึงที่ใช้และการยึดออกของตัวอย่างสามารถคำนวณค่าสมบัติเชิงกลต่างๆ ได้ดังนี้

- ความเค้นดึง (Tensile stress), $\sigma = F/A$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกสิ่งเนื้อหาและสิ่งอ้างอิงใดๆ ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เปอร์เซ็นต์ความเครียดหรือ % การยืด (% Strain or Elongation) = $(\Delta l/l_0) \times 100$

- โมดูลัส (Modulus), E = ความเค้นดึง/ความเครียดดึง

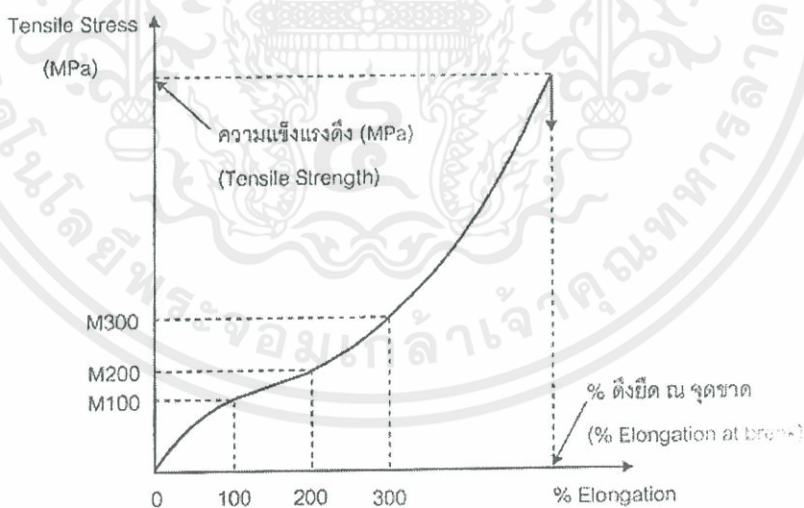
เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ในการดึงยึดตัวอย่าง (หน่วยเป็นนิวตัน)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (หน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร)

l คือ ระยะห่างระหว่างขีดสองเส้นบนตัวอย่าง (Guage marks) ขณะดึง (หน่วยเป็นมิลลิเมตร)

l_0 คือ ระยะห่างระหว่างขีดสองเส้นบนตัวอย่างก่อนดึง (หน่วยเป็นมิลลิเมตร)

ความเค้น และโมดูลัส มีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางมิลลิเมตร หรือเมกะปาสคาล ส่วนความเครียดจะไม่มีหน่วย (Dimensionless) โมดูลัสยืดหยุ่น (Elastic modulus หรือ Modulus of elasticity), ค่าโมดูลัสของยัง (Young's modulus) คือค่าอัตราส่วนความเค้นต่อความเครียดของส่วนเส้นกราฟที่ยังคงเป็นเส้นตรง นั่นคือช่วงแรกของการดึงนั่นเอง วัสดุของยางมีความยืดหยุ่นสูงสามารถดึงได้หลายเท่าของขนาดเดิม โดยมากแล้วจะมีความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดช่วงแรกเป็นเส้นตรงในช่วงสั้น ดังนั้นจึงมีการกำหนดค่าความแข็งแรงแบบ “โมดูลัสของยาง” (Rubber modulus) เป็นค่าความเค้นที่เปอร์เซ็นต์ความเครียดหนึ่งๆ เช่น M100 คือความเค้นที่ 100% การยืด, M300 คือความเค้นที่ 300% การยืด แสดงได้ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 ตัวอย่างกราฟความเค้น-ความเครียด (Stress-strain curve) ของการดึงชิ้นงานตัวอย่าง

ประเภทยาง [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างมีความสำคัญมากต่อการทดสอบแรงดึง ตัวอย่างที่ดีจะต้องมีรูปร่างและขนาดตามมาตรฐาน เช่น ASTM D412 (ดังรูปที่ 2.20) ปกติตัวอย่างที่นำมาทดสอบควรได้รับการเชื่อมโยงแล้วไม่น้อยกว่า 16 ชั่วโมง เพื่อให้มั่นใจว่าชิ้นงานตัวอย่างได้รับการเชื่อมโยงสมบูรณ์และสมบัติคงที่ อย่างไรก็ตามก็ดีกว่าไม่ควรเก็บตัวอย่างนานเกินไป (เช่นนานกว่า 28 วันหลังเชื่อมโยง) โดยมากแล้วนิยมเตรียมชิ้นงานตัวอย่างโดยการอัดแบบ (Compression molding) เป็นแผ่นสี่เหลี่ยม ความหนา 2 ± 0.2 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM Practice – D3182 แล้วใช้แม่แบบมีด (Cutter) กัดตัดเป็นรูปดัมเบลล์ตามมาตรฐานโดยใช้เครื่องกดความดัน (Press) มีดตัดจะต้องมีความคมและเกิดจากการตัดเพียงครั้งเดียว มิฉะนั้นจะเกิดรอยตำหนิซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการเสียหายได้ง่าย ทำให้ค่าความแข็งแรงที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าค่าที่แท้จริง เกิดข้อผิดพลาดในการทดสอบ นอกจากการหล่อแบบตัวอย่างแล้ว สามารถเตรียมตัวอย่างได้จากการฉีดขึ้นรูป (Injection molding) เป็นตัวอย่างรูปดัมเบลล์ ซึ่งสะดวก รวดเร็ว และไม่มีข้อผิดพลาดจากการตัดตัวอย่าง [8]

เครื่องวัดแรงดึง

เครื่องวัดแรงดึงที่นิยมใช้แสดงดังรูปที่ 2.22 เรียกว่า เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile testing machine) หรือเครื่องอินสตรอน (Instron) ซึ่งเป็นชื่อบริษัทแรกที่ทำการผลิตเครื่องทดสอบ นี้ในเชิงพาณิชย์ บางครั้งอาจรู้จักในนาม “เครื่องทดสอบอเนกประสงค์” หรือ “Universal testing machine” เนื่องจากมีความหลายหลายของประโยชน์การใช้งาน ตัวเครื่องประกอบด้วยส่วนจับตัวอย่างสองข้าง ข้างหนึ่งยึดกับที่ อีกข้างหนึ่งติดกับส่วนให้แรงที่สามารถเคลื่อนที่ขึ้น ให้แรงดึง (Tension) หรือเคลื่อนที่ลงให้แรงอัด (Compression) ในอัตราเร็ว (Crosshead speed) ที่สามารถควบคุมได้ โดยจะมีเครื่องวัดแรงต่ออยู่ ทำหน้าที่วัดแรงที่ใช้ดึงหรือกดอัดตัวอย่าง ส่วนจับตัวอย่างมีหลายชนิด จะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับตัวอย่าง สามารถจับตัวอย่างได้ดี ไม่เกิดการลื่นหลุด (Slippage) หรือทำให้ตัวอย่างบิดเบี้ยว การลื่นของตัวอย่างสามารถแก้ไขได้โดยการทำให้ชิ้นงานตัวอย่างบริเวณถูกจับมีความขรุขระเพิ่มขึ้น โดยการขัดถูด้วยกระดาษทราย หรือใช้วัสดุอื่นที่มีความขรุขระรองระหว่างชิ้นงานตัวอย่างกับส่วนจับ ตัวอย่างของส่วนจับตัวอย่างได้แก่

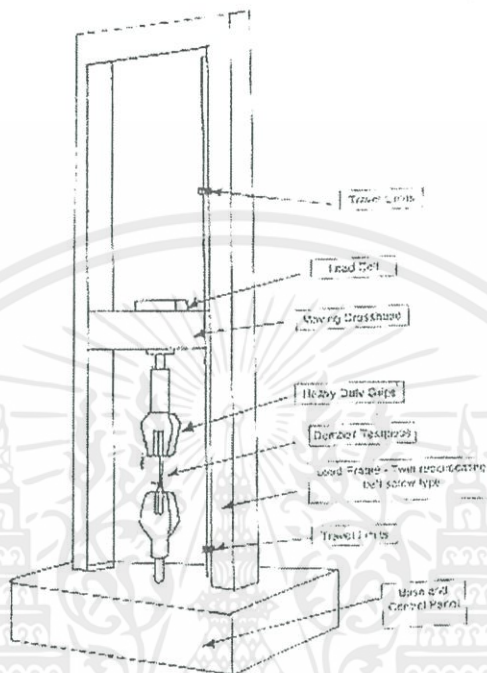
- แบบเวดจ์ (Wedge) เป็นคีมจับด้วยแรงเชิงกล นิยมใช้ทั่วไป โดยเฉพาะตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

พลาสติก และคอมโพสิตเสริมแรงเส้นใย (Fiber-reinforce composites) ซึ่งมีการนำไปใช้

- แบบลูกกลิ้งกกลม (Eccentric roller) นิยมใช้กับตัวอย่างที่เป็นยาง

- แบบแกวีน (Gavin) นิยมใช้กับตัวอย่างที่เป็นยาง
- แบบลมจับ (Pneumatic grips) ใช้แรงค้ำลมจับตัวอย่างด้วยแรงค้ำคงที่ แม้ว่าตัวอย่างจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดในขณะดึง



รูปที่ 2.22 ภาพวาดแสดงเครื่องทดสอบแรงดึงและส่วนประกอบต่างๆ [8]

ปัจจุบันเครื่องทดสอบแรงดึงมีให้เลือกหลายขนาด สามารถให้แรงสูงสุด 1 kN จนถึง 300 kN บางเครื่องมีห้องควบคุมบรรยากาศ (Environmental chambers) รอบตัวอย่าง สามารถใช้ทดสอบสมบัติเชิงกลของตัวอย่างที่อุณหภูมิต่ำหรืออุณหภูมิสูงได้ (-70-250°C) [8]

3. การทดสอบความแข็งกด (Hardness Test)

ความแข็งกดแบบดูโรมิเตอร์ (Durometer Hardness)

เครื่องมือที่นิยมใช้วัดความแข็งกดอีกชนิด คือ “ดูโรมิเตอร์” (Durometer) ตามมาตรฐาน ASTM D2240 มักมีขนาดเล็ก กะทัดรัด สะดวกในการใช้งาน นิยมใช้และเป็นที่รู้จักกันแพร่หลายทั่วโลก มักใช้แรงสปริงในการกด (Spring-loaded durometer) สเกลสำหรับเครื่องวัดความแข็งกดแบบดูโรมิเตอร์ คือ 0 ถึง 100 คือความแข็งของวัสดุแข็งมากไม่ยุบตัว เช่น กระดาษ ดูโรมิเตอร์

ชนิด A หรือชอร์ A (Type A or Shore A durometer) ใช้วัดพอลิเมอร์อ่อนนุ่ม เช่น ยางใช้วัสดุที่มีความแข็งไม่เกิน 90 ถ้าวัสดุมีความแข็งเกิน 90 จะใช้ดูโรมิเตอร์ชนิด D หรือชอร์ D (Type D or Shore D durometer) ซึ่งมีรูปร่างของหัวกดและความแข็งของสปริงแตกต่างกันไป

ข้อเสียของเทคนิคการวัดความแข็งกดด้วยหัวดูโรมิเตอร์ คือ ความไม่แน่นอนของค่าที่วัดได้ซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ทำการทดสอบ ค่าที่อ่านได้ยังขึ้นอยู่กับอัตราเร็วในการกด และระยะเวลาในการกด ทั้งนี้เนื่องจากการคืนตัวเนื่องจากความยืดหยุ่น (Elastic recovery) และปรากฏการณ์ “คืบ” (Creep) ของพอลิเมอร์นั่นเอง บางมาตรฐานใช้ค่าที่อ่านได้สูงสุด บางครั้งอาจใช้ค่าที่อ่านได้หลังจากการกดระยะเวลาหนึ่ง เช่น 5 วินาที หรือ 30 วินาที เป็นต้น

ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบต้องมีความหนาอย่างน้อย $\frac{1}{4}$ นิ้ว อาจทำการขึ้นรูปตัวอย่างโดยวิธีการหล่อแบบหรือตัดจากแผ่น อาจใช้การซ้อนตัวอย่างหลายแผ่นเพื่อให้ได้ความหนาตามต้องการ ตัวอย่างของเครื่องดูโรมิเตอร์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 เครื่องดูโรมิเตอร์ [28]

การใช้เครื่องวัดความแข็งกดแบบน้ำหนัก (Dead-weight loading durometer) ตามมาตรฐาน ASTM D531 ให้ค่าความแข็งที่แน่นอนกว่าดูโรมิเตอร์แบบสปริง แต่เป็นที่นิยมน้อยกว่า [8]

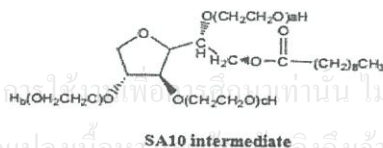
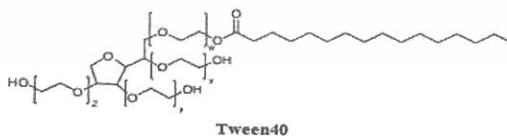
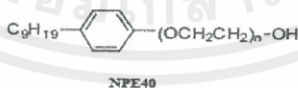
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Lima J.C. และคณะ [29] ได้ทำการศึกษางานวิจัย เรื่องการสังเคราะห์สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ ศึกษาสมบัติของผิวสัมผัส และสมบัติการยึดติดสำหรับกาวน้ำชนิดไวต่อความดัน (Synthesis of sorbital based nonionic surfactants and characterization of interfacial and adhesive properties for waterborn pressure sensitive adhesive)

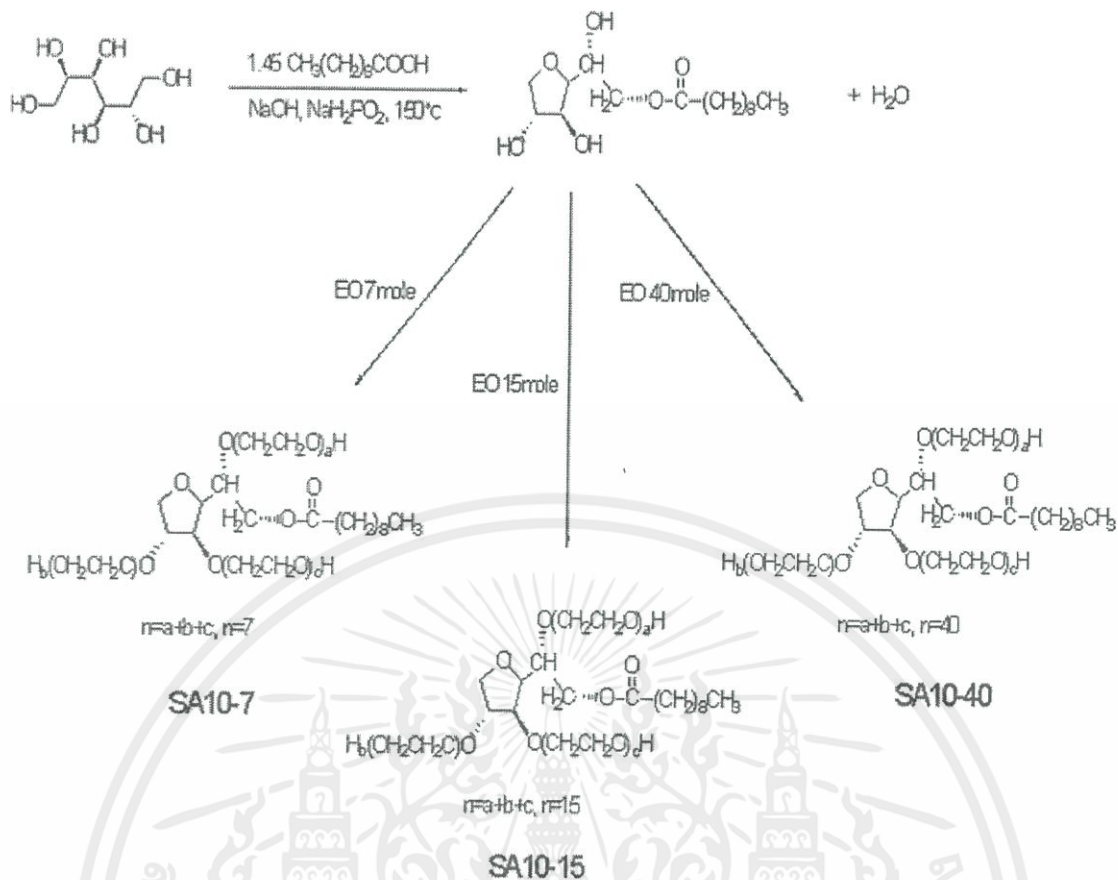
ในงานวิจัยนี้จะศึกษาสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสังเคราะห์ได้จากการทำปฏิกิริยาของ Sorbitol กับกรดคาพริก (Decanoic acid) และเติม Ethylene oxide ซึ่งโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวที่ได้อธิบายได้จาก $^1\text{H NMR}$, $^{13}\text{C NMR}$ และ FT-IR และศึกษาสมบัติที่ผิวสัมผัส เช่น ค่าความเข้มข้นวิกฤติของการเกิดไมเซลล์ (Critical micelle concentration; CMC), แรงตึงผิว (Surface tension), ค่ามุมสัมผัส (Contact angle) และค่าเสถียรภาพของการเกิดโฟม (Foam stability) สารที่สังเคราะห์ได้นั้นจะถูกนำไปใช้ในการเตรียมสารอิมัลชันกาวที่ไวต่อความดัน (Pressure sensitive adhesive; PSA) จากปฏิกิริยา Emulsion polymerization และทำการศึกษามบัตติของการยึดติด เพื่อดูถึงความเป็นไปได้ในการใช้งานแทนสารลดแรงตึงผิวประเภท Nonylphenol ethoxylate; NPE40

จากนั้นทำการเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ คือ NPE40, Tween40 (แสดงในรูปที่ 2.24) กับสารที่ทำการสังเคราะห์ใหม่ SA10 - 7, SA10 - 15 และ SA10 - 40 โดยเริ่มจากการสังเคราะห์ Sorbital และ กรดคาพริก ให้เป็น SA10 intermediate [2-(3,4-dihydroxytetrahydro furan-2-yl)-2-hydroxyethyl decanoate] จากนั้นเติม Ethylene Oxide ในปริมาณที่ต้องการศึกษา โดยใช้กระบวนการ Emulsion polymerization (แสดงในรูปที่ 2.25) โดยจะทำการศึกษามบัตติการยึดติด และสมบัติที่ผิวสัมผัส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับความรู้ในวงจำกัดเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาสาระของเอกสารนี้ส่งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.24 สารลดแรงตึงผิวไม่มีประจุ [29]



รูปที่ 2.25 Synthetic route of SA10 series surfactants [29]

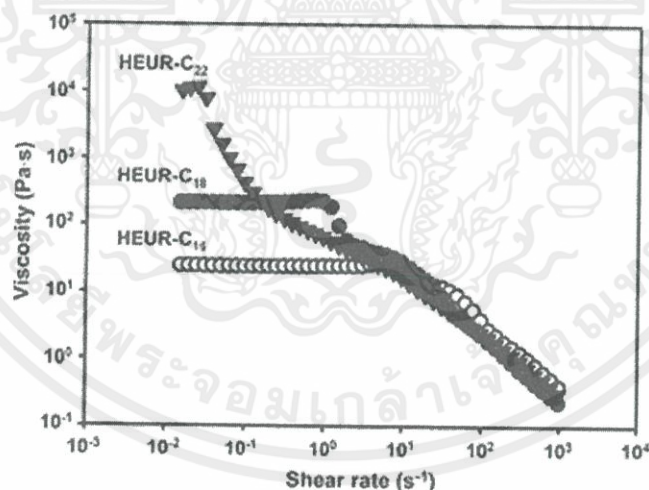
จากการทดลองพบว่าค่าแรงตึงผิว และค่าความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ (CMC) ของสารลดแรงตึงผิว SA10 มีค่าน้อยกว่าสารลดแรงตึงผิวชนิด NPE40 และ Tween40 นอกจากนี้ยังพบว่าสารลดแรงตึงผิว SA10 ที่สังเคราะห์ขึ้นใหม่มีประสิทธิภาพในการทำให้พลังงานที่ผิวสัมผัสมีค่าลดลง เมื่อวัดค่าที่มุม 11.5° , 10.5° และ 9.4° และสารลดแรงตึงผิวชนิด SA10-40 เป็นสารเคลือบผิว (Wetting agent) ที่ดีที่สุด

สารอิมัลชันชนิดกาวที่ไวต่อความดันเตรียมได้จากสารลดแรงตึงผิว SA10-40 แสดงสมบัติการยึดติดที่ดีกว่า NPE40 และ Tween40 จากอธิบายได้จากเทคนิค Peel strength สมบัติการยึดติดที่ดีของสารลดแรงตึงผิว SA10 นี้ อธิบายได้ถึงสมบัติของผิวสัมผัสที่ดีด้วย และยังพบว่า SA10-40 เป็นสารที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable) และสามารถใช้แทนสาร NPE40 ในการเตรียมกาวน้ำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kim D-H. และคณะ [30] ศึกษาผลของสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุที่มีผลต่อสมบัติการไหลในโครงสร้างที่ซับซ้อนของพอลิเมอร์ (Effects of nonionic surfactant on the rheological property of associative polymers in complex formulations)

สมบัติการไหลของ Hydrophobically modified ethoxylated urethane (HEUR) ศึกษาโดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ Polyoxyethylene steary ether ($C_{18}(EO)_{20}$) พบว่าสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุมีบทบาทสำคัญในการปรับปรุงสมบัติการไหลของ HEUR ในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย โดยสังเกตทั้ง Plateau modulus และ Viscoelastic relaxation time ของสารละลาย HEUR โดยพิจารณาที่ความเข้มข้นของ ($C_{18}(EO)_{20}$) ซึ่ง ($C_{18}(EO)_{20}$) จะทำปฏิกิริยากับส่วนที่เป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำของพอลิเมอร์ HEUR เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาจะเป็นเกิดโครงสร้างไมเซลล์ที่แข็งแรง โดยไมเซลล์จะรวมตัวกันที่ความเข้มข้น ณ จุดวิกฤต ของ ($C_{18}(EO)_{20}$) 0.6% w/v เช่น สารแขวนลอย และ Oil-in-water emulsion จึงทำให้เกิดการนำไปใช้มากขึ้น โดยใช้เป็นสารเพิ่มเนื้อสำหรับโครงสร้างที่ซับซ้อน พฤติกรรมการไหลของ HEUR ในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย โดยปลายสุดของหางที่เป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำของพอลิเมอร์ HEUR จะรวมกันเป็นกลุ่มก้อนของไมเซลล์ จะวิเคราะห์จาก Relaxation time ดังรูปที่ 2.26

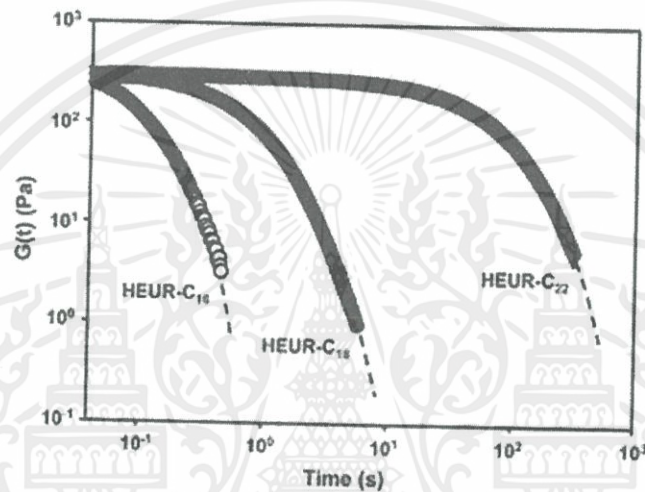


รูปที่ 2.26 ความสัมพันธ์ของความหนืด HEUR ในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายกับ

Shear rate; HEUR- C_{16} (○), HEUR- C_{18} (●) และ HEUR- C_{22} (▲) ที่ความเข้มข้นของ HEUR 2% w/v ในน้ำ [30]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Shear rate จะแปรผกผันกับลักษณะของ Relaxation time ซึ่งไม่เซลล์เกิดขึ้น โดยส่วนที่ไม่ชอบน้ำทำปฏิกิริยา ทำให้ค่าความหนืดลดลง เป็นผลให้เกิดเป็น Shear thinning นอกจากนี้ Shear thinning จะมีค่า Shear rate ต่ำ เมื่อความยาวของสายโซ่อัลคิลเพิ่มขึ้น จะหมายความว่า Relaxation time มีความสัมพันธ์กับส่วนที่ไม่ชอบน้ำของ HEUR และกำหนดให้ stress relaxation คือ $G(t)$ จะสังเกตเห็นว่า ในการสังเคราะห์ความยาวของสายโซ่อัลคิลที่แตกต่างกันของ HEUR ที่ $G(t)$ คงที่ จะมีช่วงเวลาที่สั้น มีลักษณะแนวโน้มเดียวกันทั้ง สามสายโซ่จะอยู่ในช่วง HEUR- C_{16} w0.1 s, HEUR- C_{18} w0.5s และ HEUR- C_{22} w1.0 s ดังรูปที่ 2.27

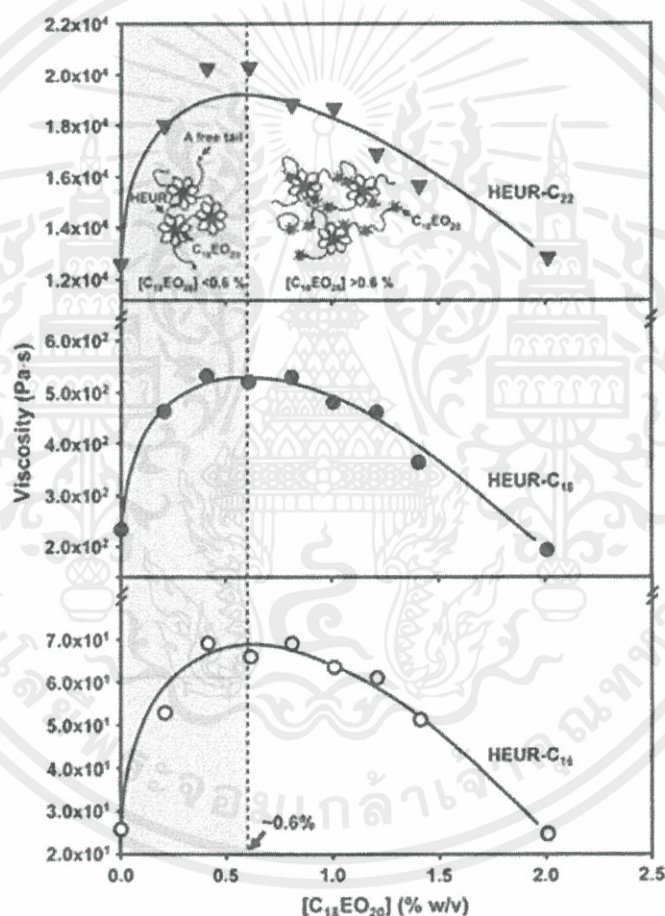


รูปที่ 2.27 ความสัมพันธ์ Stress relaxation ($G(t)$) ที่ขึ้นกับเวลาของ HEUR ในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย; HEUR- C_{16} (○), HEUR- C_{18} (●) และ HEUR- C_{22} (▲) ที่ความเข้มข้นของ HEUR 2% w/v ในน้ำ ลักษณะกราฟจะลดลงแบบเอ็กโพเนนเชียล [30]

จากการศึกษาสมบัติของสารละลายของ HEUR ที่ส่วนที่ไม่ชอบน้ำแตกต่างกัน พบว่าผลของสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ $C_{18}(EO)_{20}$ มีผลให้ Shear viscosity ต่ำลง ดังรูปที่ 3 และการใช้สารลดแรงตึงผิวใน HEUR ช่วยให้ส่วนที่ไม่ชอบน้ำเกิดการรวมตัวเป็นไมเซลล์ที่ดีในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย ดังนั้นจะทำให้ค่าความหนืดที่ความเข้มข้น ณ จุดวิกฤต เพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับการใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ $C_{18}(EO)_{20}$ จะมีค่าความเข้มข้น ณ จุดวิกฤตที่ 0.6% w/v จะมีแนวโน้มเดียว ซึ่งหมายความว่า $C_{18}(EO)_{20}$ บางส่วนจะไปแทนที่ที่ปลายสายโซ่ของ HEUR และเป็นตัวกลางที่ทำให้เกิดไมเซลล์ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มี

ประจุ $C_{18}(EO)_{20}$ จนถึงจุดที่ไม่เชลล์อิมตัว โครงสร้างไมเชลล์จะหยุดลง ที่ความเข้มข้น ณ จุดวิกฤต แต่เมื่อความเข้มข้นของ $C_{18}(EO)_{20}$ หลังจากนั้นความหนืดจะลดลงเรื่อยๆ ดังรูปที่ 2.28

จากผลของ Elastic plateau modulus และ relaxation time ของสารละลาย HEUR โดยมี ความเข้มข้นของ $C_{18}(EO)_{20}$ ที่ความเข้มข้น ณ จุดวิกฤต 0.6% w/v จะให้ค่า Elastic plateau modulus และ Relaxation time สูงกว่า สารละลาย HEUR บริสุทธิ์ ประมาณ 1.5 เท่า เป็นการยืนยันว่า $C_{18}(EO)_{20}$ ทำปฏิกิริยากับส่วนที่ไม่ชอบน้ำของ HEUR จะสร้างลักษณะทางกายภาพของไมเชลล์ที่ แข็งแรงที่ความเข้มข้น ณ จุดวิกฤต นอกจากนี้ในการเปลี่ยนความยาวของสายโซ่อัลคิลของ HEUR จาก C_{16} to C_{22} สามารถที่จะควบคุมความหนืดของสารละลายได้จากความแตกต่างของขนาด



รูปที่ 2.28 ความสัมพันธ์ความหนืดของ HEUR ในสารละลายที่มีตัวทำละลายเป็นน้ำ กับ ความเข้มข้นที่ต่างกันของ Polyoxyethylene stearyl ether ($C_{18}(EO)_{20}$); HEUR- C_{16} (○), HEUR- C_{18} (●) และ HEUR- C_{22} (▲) [30]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการศึกษานี้จะแสดงให้เห็นสมบัติการไหลของ HEUR ในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ $C_{18}(EO)_{20}$ จะเห็นว่า $C_{18}(EO)_{20}$ มีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นส่วนที่ไม่ชอบน้ำให้ทำปฏิกิริยากับพอลิเมอร์ HEUR และควบคุมความหนืดของสารละลายได้ ที่ความเข้มข้น ณ จุดวิกฤตของ $C_{18}(EO)_{20}$ ประมาณ 0.6% w/v ซึ่งเป็นช่วงที่ HEUR มีความหนืดสูงสุด และมีลักษณะทางกายภาพของโครงสร้างไมเซลล์ที่แข็งแรงที่สุด ในการเกิดลักษณะไมเซลล์เช่นนี้มีแนวโน้มที่เหมาะสมไปในงานของเป็นสารเพิ่มเนื้อ

STRUKTOL W 34 FLAKES [31] เป็นสารช่วยกระจายตัวประเภท Fatty acid ester และ Metal soaps ในสารอนินทรีย์สารเติมแต่งจะรวมกันและกระจายตัว การเติมสารช่วยกระจายตัวในปริมาณมากจะช่วยหลีกเลี่ยงรวมกันเป็นกลุ่มก้อน (Agglomerate) ของสารเติมแต่ง และช่วยปรับปรุงให้เกิดการกระจายตัวทั่วบริเวณอย่างสม่ำเสมอแบบชั่งต่อแบตช์ (Batch-to-batch) ในส่วนที่แสดงสมบัติหล่อลื่น (Lubricant) จะช่วยลดเวลาในการผลิต, กำลังในการผลิตต่ำ, อุณหภูมิในการผสมต่ำ นิยมใช้กับ NR, SBR, CR, CSM และ ACM

STRUKTOL D5 เป็นสารช่วยกระจายตัวประเภทเอสเทอร์ในกรดไขมัน (Fatty acid) ธรรมชาติ และ Metal soaps หากสารช่วยกระจายตัวทำงานได้ดี จะทำให้ STRUKTOL D5 มีสมบัติคล้ายกับ STRUKTOL W 34 FLAKES เป็นประโยชน์ในการใช้งาน สารช่วยกระจายตัวชนิดนี้จะสามารถเข้าได้กับยางทั่วไปทั้งหมด

ประการ สายประสิทธิ์ และคณะ [4] การศึกษาสารเพิ่มการกระจายตัวในมาสเตอร์แบตช์สารเชื่อมโยง (Curative masterbatch) คือ กำมะถันและสารเร่งปฏิกิริยาซีบีเอส (N-cyclohexylbenzo-thiazole-2-sulfenamide; CBS) โดยใช้ยางหลักของมาสเตอร์แบตช์ ก็อย่างอีพีดีเอ็มผสมกับยางอีวีเอ (EPDM/EVA blends) ในอัตราส่วน 70/30 โดยน้ำหนัก ทำการศึกษาและเปรียบเทียบระหว่างประสิทธิภาพการใช้อย่างมาสเตอร์แบตช์ที่เตรียมในงานวิจัยนี้กับการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง ศึกษาชนิดและสารกระจายตัว (WB222[®], Ultra-lube[®] 220 และ Zinc stearate ปริมาณ 0–2.0% สารเชื่อมโยง) และในอัตราส่วนของสารเชื่อมโยงต่ออย่างหลัก (70/30, 75/25 และ 80/20 โดยน้ำหนัก) การเตรียมมาสเตอร์แบตช์จะทำการผสมในเครื่องผสมชนิดสองลูกกลิ้ง แล้วนำมาสเตอร์แบตช์ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานโดยผสมกับยางคอมพาวด์ แล้วทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ ลักษณะการเชื่อมโยง สมบัติเชิงกล และสัมฉนวนวิทยา จากการทดลองพบว่ายางมาสเตอร์แบตช์สามารถใช้งานในการเชื่อมโยงได้เหมือนกับการใช้งานชนิดผง ได้ลักษณะการเชื่อมโยงและสมบัติเชิงกลไม่แตกต่างกัน จากการศึกษานิตของสารกระจายตัว พบว่า สามารถ

เลือกใช้ได้ทั้ง WB222[®] และ Ultralube[®] ลักษณะการเชื่อมโยงและสมบัติเชิงกลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจาก เป็นสารกระจายตัวชนิดเอสเทอร์ของกรดไขมันเช่นเดียวกัน และจากการศึกษาการเพิ่มปริมาณสารกระจายตัว ที่ปริมาณ 1.5 phc (Part per hundred of curatives) เนื่องจากมีค่าความแข็งแรงดึงสูงกว่าสูตรอื่นๆ เล็กน้อย แต่ที่ปริมาณ 2.0 phc พบว่ายางที่เชื่อมโยงมีสมบัติเชิงกลลดลงจึงเลือกใช้ที่ปริมาณสารกระจายตัว 1.5 phc จึงเลือกใช้ที่ปริมาณสารกระจายตัว 1.5 phc และจากการศึกษาเมื่อเพิ่มอัตราส่วนสารเชื่อมโยงในมาสเตอร์แบดจ์จากสามารเลือกใช้ได้ 70/30, 75/25 และ 80/20 ซึ่งไม่เกิดความแตกต่างของยางที่เชื่อมโยงและสมบัติเชิงกล แต่ที่ 80/20 มีความยากในการผสม

Hayes D.G. และคณะ [32] การศึกษาเคมีทางกายภาพของระบบลดแรงดึงผิวแบบไบนารี ซึ่งประกอบด้วย Anionic surfactant sodium bis (2-ethylhexyl) sulfosuccinate หรือ Aerosol-OT (AOT), และ The two-tailed cyclic ketal alkyl ethoxylate (2-tridecyl, 2-ethyl-1,3-dioxolan-4-yl) methoxy]-O-methoxy poly(ethylene glycol)] หรือ CK-2,13, in water/isooctane water-in-oil (w/o) เกิดในระบบไมโครอิมัลชันที่มี AOT ในปริมาณที่มาก โดยมีการทำงานของสารลดแรงดึงผิวทั้ง 2 ชนิด ระหว่างเฟสเดียวกัน เป็นระบบ ไมโครอิมัลชันที่เกิดจาก AOT/C12E4 หรือ C12E5 การเติม linear alkyl ethoxylates ทั้งสองโดยเปรียบเทียบความยาวสายโซ่ และ ขนาดเฉลี่ยของ Ethoxylates อีกทั้งการลดลงของการละลายน้ำและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Ethoxylate โดยสารลดแรงดึงผิวหลังถูกกำหนดขนาด โดยการผ่านการกระเจิงมุมนิวตรอน (SANS) SANS ยังแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของ CK-2, 13 ซึ่งขนาดของสารลดแรงดึงจะมีขนาด 0.1 , 0.2 , 0.3 โดยจะเปลี่ยนแปลงรูปร่างจากทรงกลม เป็นทรงรี และเป็นทรงกระบอก และที่บริเวณพื้นผิวต่อโมเลกุล CK-2, 13 ประมาณ 35°A^2 มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่รายงาน C12E5 สภาวะของการนำไฟฟ้าเมื่อเทียบกับ Water-surfactant mole ratio (W_0) จะเตรียมจากไมโครอิมัลชันที่ค่าความเข้มข้นต่ำ มีรูปร่างให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของไอออน และ W_0 จะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ Alkyl ethoxylate ซึ่ง CK-2, 13 ดังนั้น CK-2, 13 จึงมีผลอย่างมากต่อสมบัติไมโครอิมัลชัน จากการวิเคราะห์ -OH Stretching region ($3100 - 3700 \text{ cm}^{-1}$) สำหรับ w/o-ไมโครอิมัลชัน แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของ CK-2, 13 ของสารลดแรงดึงผิวทำให้มีการเพิ่มขึ้นของโมเลกุลน้ำกับไอออนของ Na^+ ที่ 0.7 โมลของน้ำต่อโมลของสารลดแรงดึงผิว ซึ่งชี้ให้เห็นว่าโมเลกุลของส่วนที่ชอบน้ำของ Ethoxylate ใน AOT's ส่งผลให้เกิดการมีการแยกตัวของไอออนมากเป็นผลให้มีการกระจายตัวดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ขั้นตอนการศึกษา

เตรียมมาสเตอร์แบดซ์สารเชื่อมโยง (Curative agent) โดยใช้สารเชื่อมโยง คือ กำมะถัน ชนิดละลาย และกำมะถันชนิดไม่ละลาย โดยใช้อัตราส่วนของสารเชื่อมโยงต่อเนื้อยางปริมาณ 75/25 โดยน้ำหนัก ทำการศึกษาปัจจัยของการใช้สารกระจายตัว ชนิดต่างๆ กัน ได้แก่ EnHance® FG, Dehydol® LS 3 TH, Dehydol® LS 7 TH และ Dehydol® LS 12 TH ปริมาณ 1.125-3.375 % โดยน้ำหนัก (หรือ 1.5-4.5 % โดยน้ำหนักสารเชื่อมโยง) และศึกษาอัตราส่วนของยางหลักที่ใช้ คือ ยางอีพดีเอ็มผสมกับยางอีวีเอ (EPDM/EVA blends) ในอัตราส่วน 15/10, 17.5/7.5 และ 20/5 โดยน้ำหนัก (หรือ 60/40, 70/30 และ 80/20 โดยน้ำหนักของยาง) ระหว่างการใช้มาสเตอร์แบดซ์สารเชื่อมโยงที่เตรียมในงานวิจัยนี้เทียบกับการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง (Sulfur powder curatives) ซึ่งเป็นการใช้แบบปกติ (Conventional method) ที่มีผลต่อยางเชื่อมโยงว่าต่างกันอย่างไร สมบัติที่สนใจศึกษา ได้แก่ ลักษณะการเชื่อมโยง สมบัติเชิงกล และสัณฐานวิทยา ซึ่งจากที่กล่าวข้างต้นมีประเด็นในการศึกษาดังนี้

1. ศึกษาชนิดและปริมาณของสารกระจายตัวที่เหมาะสมต่อมาสเตอร์แบดซ์

ทำการผสมยางโดยปรับเปลี่ยนชนิดของสารกระจายตัว ได้แก่ EnHance® FG, Dehydol® LS 3 TH, Dehydol® LS 7 TH และ Dehydol® LS 12 TH และเปลี่ยนปริมาณของสารกระจายตัว คือ 1.125, 2.25, 3.375% โดยน้ำหนัก (หรือ 1.5, 3.0 และ 4.5% โดยน้ำหนักสารเชื่อมโยง)

2. ศึกษาอัตราส่วนของยางหลักที่ใช้ในมาสเตอร์แบดซ์

ทำการผสมยางหลัก คือ ยางอีพดีเอ็มผสมกับยางอีวีเอ (EPDM/EVA blends) ในอัตราส่วนต่างๆ กัน ได้แก่ 15/10, 17.5/7.5 และ 20/5 โดยน้ำหนัก (หรือ 60/40, 70/30 และ 80/20 โดยน้ำหนักของยาง)

3. ศึกษาชนิดของกำมะถันที่ใช้ในมาสเตอร์แบดซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ทำการเปลี่ยนชนิดของกำมะถันที่ใช้ คือกำมะถันชนิดละลาย และกำมะถันชนิดไม่ละลาย

3.2 สารเคมี

1. ยางเอทิลีนพรอพิลีนไดอีน (EPDM) เกรด 4045 บริษัท มิตรชัย เคมีคอล จำกัด
2. ยางเอทิลีนไวนิลอะซิเตต (EVA) เกรด UL05540EH2 บริษัท เอ็กซอล โมบิล เคมีคอล จำกัด
3. ZDBC เกรดการค้า บริษัท เบ็นไมเยอร์ จำกัด
4. TMTD เกรดการค้า บริษัท เบ็นไมเยอร์ จำกัด
5. DPG เกรดการค้า บริษัท เบ็นไมเยอร์ จำกัด
6. CBS เกรดการค้า บริษัท เบ็นไมเยอร์ จำกัด
7. กำมะถันชนิดละลาย (Soluble sulfur) เกรดการค้า บริษัท เบ็นไมเยอร์ จำกัด
8. กำมะถันชนิดไม่ละลาย (Insoluble sulfur) เกรดการค้า บริษัท เคมีมิน จำกัด
9. สารกระจายตัว เกรด EnHance FG บริษัท เบ็นไมเยอร์ จำกัด
10. สารกระจายตัว เกรด Dehydol[®] LS 3 TH บริษัท ไทยอีทอกซีเลท จำกัด
11. สารกระจายตัว เกรด Dehydol[®] LS 7 TH บริษัท ไทยอีทอกซีเลท จำกัด
12. สารกระจายตัว เกรด Dehydol[®] LS 12 TH บริษัท ไทยอีทอกซีเลท จำกัด

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) รุ่น LRM 200 บริษัท Lab Tech Engineering จำกัด
2. เครื่องทดสอบความแข็งกด (Hardness tester) ชนิด Shore A รุ่น GS-719N Type A บริษัท Teclock จำกัด
3. เครื่องวัดสมบัติการคงรูปของยาง (Rotorless Moving Die; MDR) Curelastimeter[®] รุ่น IIF บริษัท Nichigo Shigi จำกัด
4. เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Tester machine; UTM) รุ่น LR5K บริษัท LLOYD instruments จำกัด
5. เครื่องอัดขึ้นรูป (Hydraulic press) รุ่น CEAST Type 6032 บริษัท Torino-Italy จำกัด
6. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) รุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 ศึกษาชนิดของสารกระจายตัวในยางมาสเตอร์แบตซ์กัมมะถันชนิดละลาย

ทำการผสมยางมาสเตอร์แบตซ์กัมมะถันชนิดละลาย แล้วนำมาสเตอร์แบตซ์ผสมกับยางผสมสูตร (Compound A) ยางที่ได้จะเป็นยางที่ผสมกับสารเชื่อมโยงและพร้อมที่จะนำไปขึ้นรูป (Compound B)

การเตรียมยางมาสเตอร์แบตซ์กัมมะถันชนิดละลาย

1. ชั่งยางและสารเคมีต่างๆ ดังตารางที่ 3.1
2. ทำการผสมโดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง ใส่ยาง EPDM ลำดับแรก ทำการกรีดและพับยางจนยางติดลูกกลิ้ง จึงใส่สารกระจายตัว ผสมให้เข้ากันประมาณ 2-3 นาที
3. จากนั้นจึงค่อยๆ ใส่กัมมะถันจนได้สารที่เป็นเนื้อเดียวกัน

ตารางที่ 3.1 สูตรมาสเตอร์แบตซ์กัมมะถันชนิดละลายเมื่อใช้สารกระจายตัวต่างชนิดกัน

สาร	%W
กัมมะถันชนิดละลาย	75
ยางอีพีดีเอ็ม (EPDM)	17.5
ยางอีวีเอ (EVA)	7.5
สารกระจายตัว	1.125
1.EnHance® FG	(1.5% โดยน้ำหนักของสารเชื่อมโยง)
2.Dehydol® LS 3 TH	
3.Dehydol® LS 7 TH	
4.Dehydol® LS 12 TH	

หมายเหตุ

- ความคุมอัตราส่วนของยางหลัก EPDM/EVA คือ 70/30 โดยน้ำหนักของยาง
- ศึกษาปัจจัยชนิดของสารกระจายตัว ได้แก่ EnHance® FG, Dehydol® LS 3 TH,

Dehydol® LS 7 TH และ Dehydol® LS 12 TH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามนำผลผลิตไปผลิตและจำหน่ายโดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้เกี่ยวข้อง

4. สุดท้ายทำการผสมยาง EVA กรีดและพับยางไปเรื่อยๆ จนกว่าสารทั้งหมดจะผสมเข้ากัน

จนเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งจะใช้เวลาในการผสมทั้งหมดประมาณ 30 นาที

5. ทำการทดลองซ้ำ ข้อ 1-4 โดยเปลี่ยนชนิดของสารกระจายตัวตามสูตรในตารางที่ 3.2
6. ทดสอบประสิทธิภาพของมาสเตอร์แบตช์กัมมะถันทั้ง 4 สูตร ดังนี้

การทดสอบทางสัณฐานวิทยา (Morphology)

สังเกตการกระจายตัวโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) โดยการเตรียมชิ้นงานทำได้ดังนี้

- โดยเตรียมชิ้นงานตัวอย่างขนาด 5×1 เซนติเมตร ทำรอยบากที่ชิ้นงาน แล้วนำชิ้นงานมาแช่ในโครเจนเหลวเป็นเวลา 30 นาที เมื่อย่างเริ่มแข็งตัวจึงหักชิ้นงานจากนั้นตัดไม้บรรทัดใสให้มีขนาดต่ำกว่าชิ้นงานที่หักได้ นำชิ้นงานและไม้บรรทัดวางประกบกัน 3-4 ชั้น แล้วนำชิ้นงานไปเคลือบทอง และนำไปทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

การทดสอบประสิทธิภาพยางมาสเตอร์แบตช์กัมมะถันชนิดละลาย

1. ทำการผสมยาง Compound A และมาสเตอร์แบตช์ที่เตรียมได้ โดยชั่งสารตามอัตราส่วนดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนการผสมสูตร (Compound A) กับยางมาสเตอร์แบตช์กัมมะถันชนิดละลาย

No.	Materials	phr
1.	Compound A	344.30
2.	ZDBC	0.7
3.	TMTD	1.2
4.	DPG	0.5
5.	CBS	1.5
6.	Soluble sulfur masterbatch	เทียบกับกัมมะถันแบบผง 2 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

- การทดสอบแรงดึงด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (UTM) ตามมาตรฐาน ASTM D 412 เตรียมชิ้นงานตัวอย่างรูปคัมเบลล์ กำหนดสภาวะเครื่องมือทดสอบ ดังนี้

ความเร็วในการดึง	500	มิลลิเมตรต่อนาที
ความยาวเกจ (Gauge length)	6	เซนติเมตร
ค่าแรงสูงสุดที่เครื่องรับได้	5	กิโลนิวตัน
จำนวนชิ้นงานตัวอย่างที่ทดสอบ	5	ชิ้นงาน

ผลการทดสอบที่ได้นำมาหาค่าต่างๆดังต่อไปนี้

1. ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ทำกับความเค้นสูงสุด (Maximum stress) ของวัสดุที่รับได้เมื่อให้แรงดึง (หน่วยเป็นแรงต่อพื้นที่) หาได้จากสมการ

$$\text{ความแข็งแรงดึง} = F/A$$

เมื่อ $F =$ แรงที่ใช้ในการดึง ณ สูงสุด (N)

$A =$ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน (m^2)

2. เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) หาได้จากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด} = (l - l_0)/l_0 \times 100$$

เมื่อ $l =$ ความยาวเกจสุดท้าย (mm)

$l_0 =$ ความยาวเกจเริ่มต้น (mm)

3. มอดุลัสของยาง (Rubber modulus) เป็นค่าความเค้นที่เปอร์เซ็นต์การยืด 100 % รายงานค่าเป็น M100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการเชื่อมโยง (Cure Characteristic)

- ตัดแผ่นยาง Compound B ประมาณ $2 \times 2 \times \frac{1}{2}$ นิ้ว แล้วนำเข้าเครื่องสมบัติการคงรูปของยาง (MDR) จากนั้นนำกราฟออกมาหาเวลาการเชื่อมโยง (t_{c90}), เวลาที่เริ่มเชื่อมโยง (t_{s2}) และอัตราการเชื่อมโยง (CRI)

$$\text{อัตราการเชื่อมโยง} = 100 / (t_{c90} - t_{s2})$$

ตอนที่ 2 ศึกษาปริมาณของสารกระจายตัวที่เหมาะสมในยางมาสเตอร์แบตช์กัมมะถันชนิดละลาย

1. จากตอนที่ 1 จะได้ชนิดของสารกระจายตัวที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด จึงนำมาทดสอบหาปริมาณที่เหมาะสมในการทำมาสเตอร์แบตช์กัมมะถันชนิดละลาย

กำหนดให้ X คือ ชนิดของสารกระจายตัวที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด (จากตอนที่ 1)

2. ชั่งยางและสารเคมีต่างๆ ตามตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สูตรยางมาสเตอร์แบตช์กัมมะถันชนิดละลายที่มีปริมาณของสารกระจายตัวที่ต่างกัน

No.	Materials	%w
1.	กัมมะถันชนิดละลาย	75.0
2.	ยาง EPDM 4050	17.5
3.	ยาง EVA	7.5
4.	สารกระจายตัว X	1.125 (1.5% โดยน้ำหนักของสารเชื่อมโยง) 2.25 (3.0% โดยน้ำหนักของสารเชื่อมโยง) 3.375 (4.5% โดยน้ำหนักของสารเชื่อมโยง)

หมายเหตุ

- ควบคุมอัตราส่วนของยางหลัก EPDM/EVA คือ 70/30 โดยน้ำหนักของยาง
- ศึกษาปัจจัยของปริมาณสารกระจายตัวที่เหมาะสมกับมาสเตอร์แบตช์ ได้แก่ 1.125, 2.25 และ 3.375 % โดยน้ำหนัก (หรือ 1.5, 3.0, 4.5 % ของน้ำหนักสารเชื่อมโยง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่แนะนำให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ดังตารางที่ 3.3

ตอนที่ 3 ศึกษาอัตราส่วนของยางหลัก EPDM/EVA ที่เหมาะสมในยางมาสเตอร์แบตช์ก้ำมะถันชนิดละลาย

- จากตอนที่ 1 และตอนที่ 2 จะได้ชนิดและปริมาณของสารกระจายตัวที่เหมาะสมกับมาสเตอร์แบตช์ก้ำมะถันชนิดละลาย

กำหนดให้ X คือ ชนิดของสารกระจายตัวที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด จากตอนที่ 1

Y คือ ปริมาณของสารกระจายตัวที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด จากตอนที่ 2

- ชั่งยางและสารเคมีต่างๆ ตามตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สูตรยางมาสเตอร์แบตช์ก้ำมะถันชนิดละลายที่มีอัตราส่วนของยางหลัก EPDM/EVA ที่ต่างกัน

No.	Materials	%w
1.	ก้ำมะถันชนิดละลาย	75.0
2.	สารกระจายตัว X	Y
3.	ยาง EPDM/EVA	15/10 (60/40 โดยน้ำหนัก) 17.5/7.5 (70/30 โดยน้ำหนัก) 20/5 (80/20 โดยน้ำหนัก)

หมายเหตุ

- ศึกษาปัจจัยของอัตราส่วนของยางหลัก EPDM/EVA ที่ต่างกัน คือ 15/10, 17.5/7.5 และ 20/5 โดยน้ำหนัก (หรือ 60/40, 70/30 และ 80/20 โดยน้ำหนักของยาง)

- ทำการผสมและทดสอบเช่นเดียวกับตอนที่ 1 โดยเปลี่ยนอัตราส่วนของยางหลัก EPDM/EVA ดังตารางที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 4 ศึกษาชนิดของกำมะถันที่เหมาะสมในมาตรฐานแบตเตอรี่

- จากตอนที่ 1 ตอนที่ 2 และตอนที่ 3 จะได้ชนิด, ปริมาณของสารกระจายตัว และอัตราส่วนของยางหลัก EPDM/EVA ที่เหมาะกับมาตรฐานแบตเตอรี่

กำหนดให้ X คือ ชนิดของสารกระจายตัวที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด จากตอนที่ 1

Y คือ ปริมาณของสารกระจายตัวที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด จากตอนที่ 2

Z คือ อัตราส่วนของยางหลัก EPDM/EVA ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

จากตอนที่ 3

- ซึ่งยางและสารเคมีต่างๆตามตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 สูตรยางมาตรฐานแบตเตอรี่กำมะถันชนิดไม่ละลาย

No.	Materials	%w
1.	กำมะถันชนิดไม่ละลาย	75.0
2.	สารกระจายตัว X	Y
3.	ยาง EPDM/EVA	Z

หมายเหตุ

- ศึกษาชนิดของกำมะถันที่ใช้ในมาตรฐานแบตเตอรี่ คือ กำมะถันชนิดไม่ละลาย
- ทำการผสมและทดสอบเช่นเดียวกับตอนที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในอุตสาหกรรมยางกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ต้องมีการรีด บด ผสมยาง เพื่อให้ได้ยางที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการผลิตในรูปแบบต่างๆ โดยการที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ยางจะต้องมีการผสมยางให้เป็นยางคอมพาวด์ เพื่อนำยางคอมพาวด์นั้นมาทำการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ การผสมยางนั้นจะประกอบไปด้วยสารเคมีหลายชนิดที่เป็นของแข็งและของเหลว โดยสารที่เป็นของแข็งนั้นถ้าเป็นลักษณะผงจะทำให้เกิดปัญหาหลายอย่างในการผสม เช่น เกิดการฟุ้งกระจายทำให้ได้เนื้อสารไม่ครบตามสัดส่วนที่ต้องการ พื้นที่การผสมเต็มไปด้วยฝุ่นผงของสารเคมี จากสาเหตุดังกล่าวนี้จึงทำให้เกิดงานวิจัยนี้ขึ้น ซึ่งเป็นการผลิตมาสเตอร์แบดซ์สารเชื่อม โยงเพื่อให้สะดวกต่อการใช้งานมากขึ้น

งานวิจัยนี้จะศึกษาสูตรยางมาสเตอร์แบดซ์สารเชื่อม โยงกัมมะถัน โดยควบคุมอัตราส่วนสารเชื่อม โยง (กัมมะถัน) ตัวอย่างหลัก (EPDM/EVA blends) 75/25 ซึ่งจะแบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ตอน ตอนแรกจะศึกษาชนิดของสารกระจายตัวในยางมาสเตอร์แบดซ์กัมมะถัน ชนิดสารกระจายตัวที่ใช้ในการศึกษา คือ EnHance[®] FG, Dehydol[®] LS 3 TH, Dehydol[®] LS 7 TH และ Dehydol[®] LS 12 TH ในปริมาณ 1.5% โดยน้ำหนักสารเชื่อม โยง เมื่อทราบชนิดของสารกระจายตัวที่เหมาะสม จะทำการศึกษาปริมาณของสารกระจายตัวในยางมาสเตอร์แบดซ์กัมมะถันที่ 1.5, 3.0 และ 4.5% โดยน้ำหนักของสารเชื่อม โยง เมื่อทราบปริมาณของสารกระจายตัวที่เหมาะสม จะทำการศึกษาอัตราส่วนของยางหลัก EPDM ต่อ EVA ในยางมาสเตอร์แบดซ์กัมมะถัน ในอัตราส่วน 60/40, 70/30 และ 80/20 โดยน้ำหนัก และศึกษาชนิดของกัมมะถันในยางมาสเตอร์แบดซ์กัมมะถัน คือ กัมมะถันชนิดละลายและกัมมะถันชนิดไม่ละลาย โดยในการทดลองข้างต้นจะใช้กัมมะถันชนิดละลายมาเทียบกับกัมมะถันชนิดไม่ละลายในตอนี้โดยใช้ชนิด ปริมาณ ของสารกระจายตัวและอัตราส่วนของยางหลักเดียวกันและจะเตรียมสูตรที่ใช้กัมมะถันในรูปแบบผง เพื่อนำผลมาเปรียบเทียบกัน โดยทำการทดสอบเพื่อคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ สมบัติการเชื่อม โยง สมบัติเชิงกล และทางสัณฐานวิทยา โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การศึกษาชนิดของสารกระจายตัว

ในการทดลองจะทำการศึกษาชนิดของสารกระจายตัวที่แตกต่างกัน คือ EnHance[®] FG, Dehydol[®] LS 3 TH, Dehydol[®] LS 7 TH, Dehydol[®] LS 12 TH ในปริมาณ 1.5% โดยน้ำหนักสารเชื่อมโยง และควบคุมอัตราส่วนของกำมะถันต่ออย่างหลัก (EPDM/EVA blends) 75/25 โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.1 ลักษณะการเชื่อมโยง พบว่า EnHance[®] FG มีค่า Scorch time (t_{s2}) และ Cure time (t_{c90}) สั้นกว่าสารกระจายตัวชนิดอื่น เนื่องจากโครงสร้างของสารกระจายตัว EnHance[®] FG มีลักษณะเป็นไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวสายโซ่ยาว มีส่วนที่มีขั้วเล็กน้อย และโครงสร้างโมเลกุลมีขนาดใหญ่กว่าสารกระจายตัวประเภท Dehydol[®] ทำให้ขณะผสมอาจเกิดแรงเฉือนที่มากกว่า Dehydol[®] ที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นไฮโดรคาร์บอนสายสั้น (C12-14) และมีลักษณะเป็นของเหลว ซึ่งทำหน้าที่คล้ายน้ำมันหล่อลื่น เป็นผลทำให้ลักษณะการเชื่อมโยงของ EnHance[®] FG ดีกว่าสารกระจายตัว Dehydol[®]

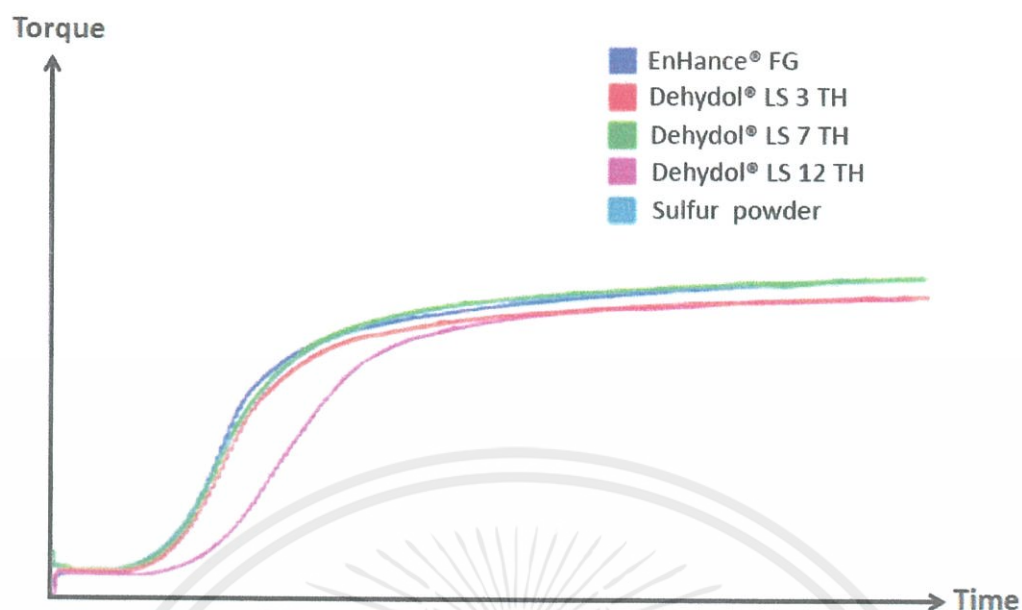
จากรูปที่ 4.2-4.5 สมบัติเชิงกล พบว่าสารกระจายตัวทั้ง 4 ชนิด และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง มีสมบัติไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากใช้ส่วนประกอบในยางคอมพาวด์ที่เท่ากัน ดังนั้นจึงไม่เห็นความแตกต่างของสมบัติเชิงกล

จากรูปที่ 4.6 เมื่อทดสอบทางสัณฐานวิทยาโดยใช้ SEM ที่กำลังขยาย 500X พบว่า สารกระจายตัว Dehydol[®] LS 3 TH และ Dehydol[®] LS 12 TH มีการกระจายตัวไม่ดี พบกำมะถันเกาะเป็นกลุ่มก้อนบางบริเวณ และพบว่าสารกระจายตัว EnHance[®] FG และ Dehydol[®] LS 7 TH มีการกระจายตัวที่ดี ขนาดอนุภาคของกำมะถันมีความสม่ำเสมอ

จากรูปที่ 4.7 เมื่อทดสอบทางสัณฐานวิทยาโดยใช้ SEM ที่กำลังขยาย 1000X พบว่าสารกระจายตัว EnHance[®] FG มีการกระจายตัวดีทั่วทั้งบริเวณดีกว่าสารกระจายตัว Dehydol[®] LS 7 TH ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้สารกระจายตัว EnHance[®] FG กับมาสเตอร์เตอร์แบดซ์กำมะถัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

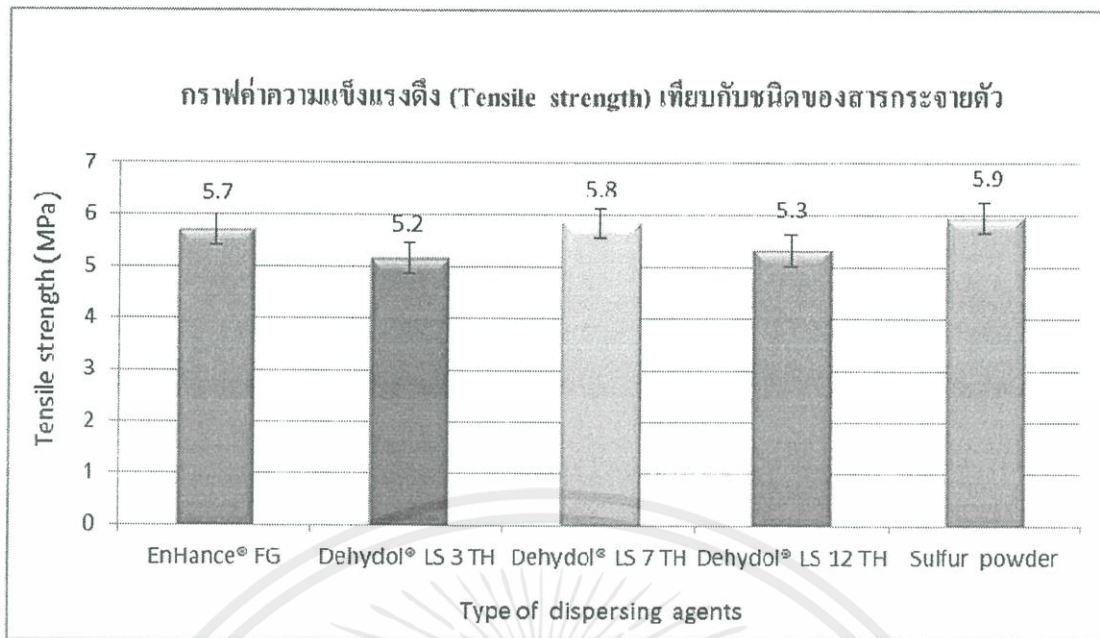


รูปที่ 4.1 ลักษณะการเชื่อมโยง (Cure characteristic) เทียบกับชนิดของสารกระจายตัว และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง

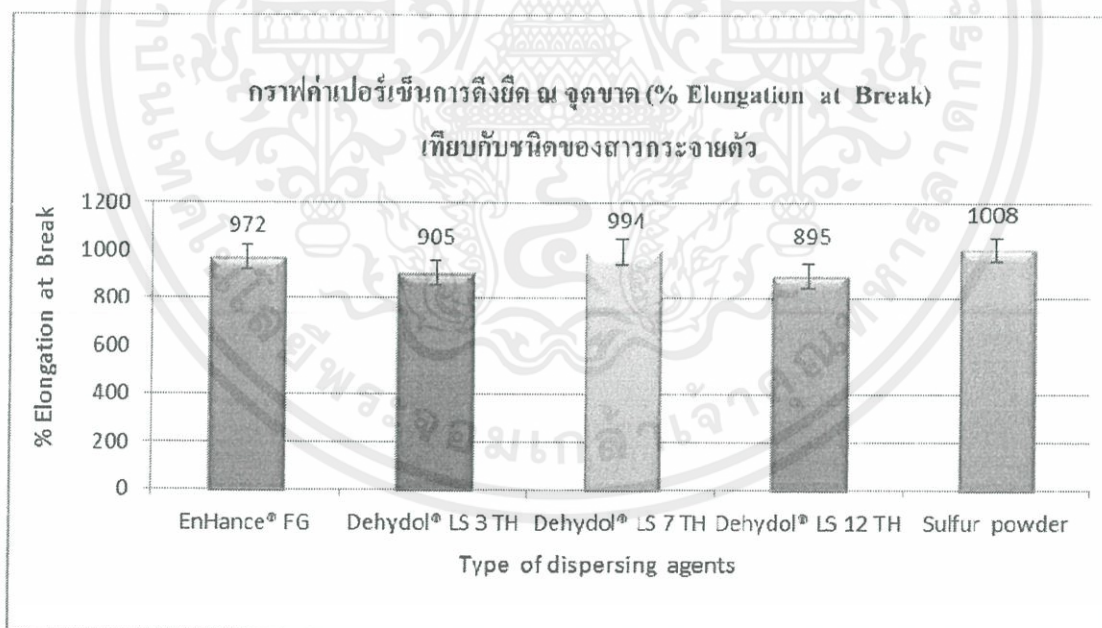
ตารางที่ 4.1 ผลของลักษณะการเชื่อมโยง เมื่อชนิดของสารกระจายตัวแตกต่างกันในมาสเตอร์แบตช์ก้ำมะถัน และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง

Cure chaharacteristic	Sulfur powder curative	Masterbatch with dispersing agent			
		EnHance® FG	Dehydol® LS 3 TH	Dehydol® LS 7 TH	Dehydol® LS 12 TH
Cure time, t_{90} (s)	450	435	480	450	465
Scorch time, t_{s2} (s)	127	127	135	135	165
Cure rate index, CRI (s^{-1})	0.31	0.32	0.30	0.32	0.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

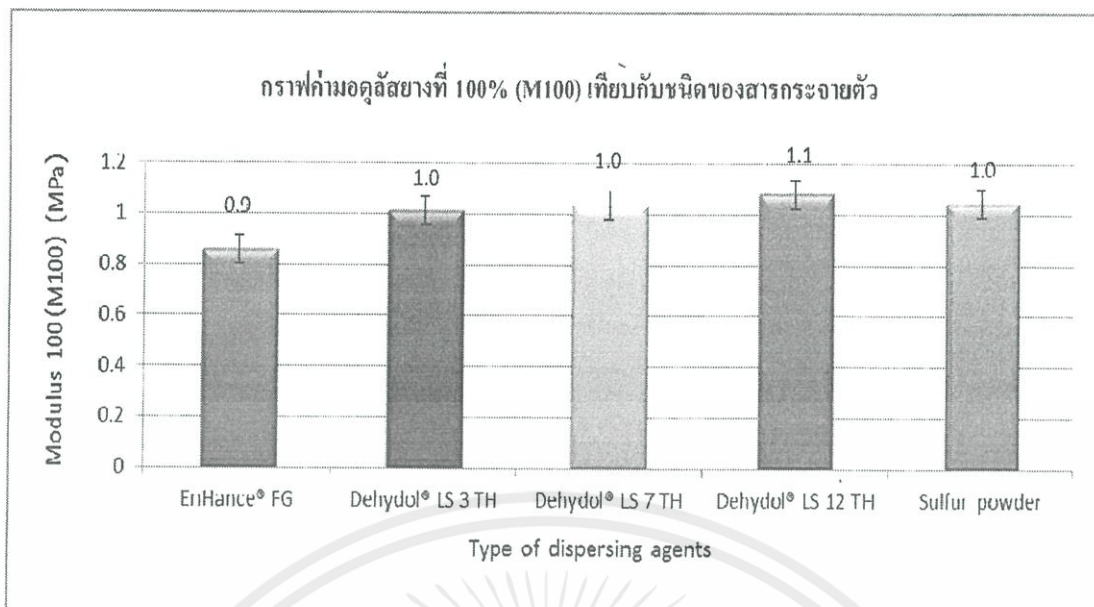


รูปที่ 4.2 ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เทียบกับชนิดของสารกระจายตัวในปริมาณ 1.5% โดยน้ำหนักสารเชื่อมโยง และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง

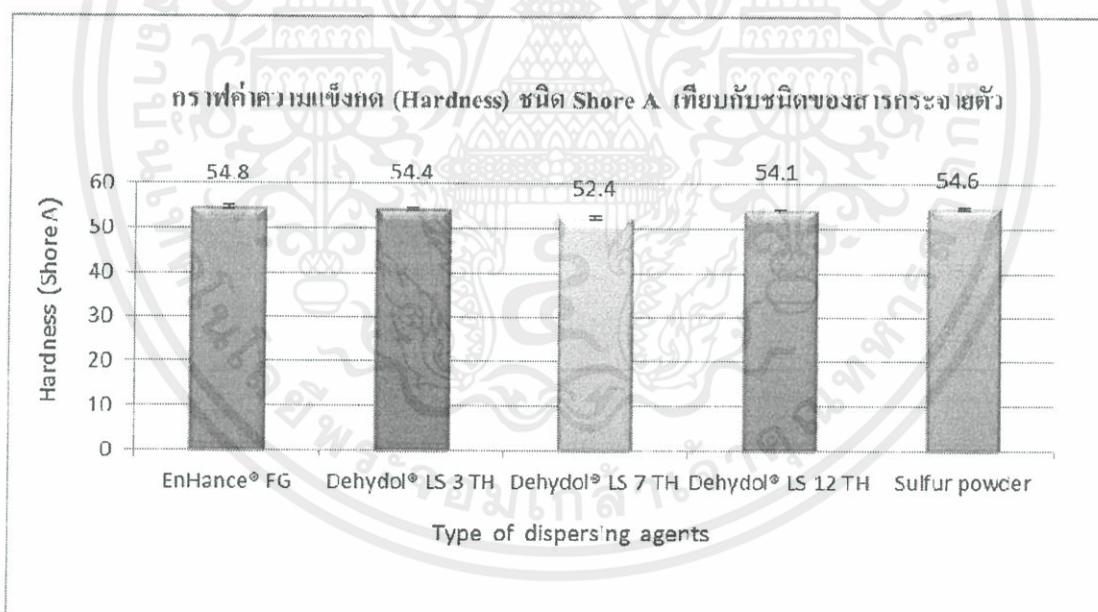


รูปที่ 4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) เทียบกับชนิดของสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะคือการใช้งานในไม้นอนจุดนี้ไม่ได้ประโยชน์ด้านการค้า
กระจายตัวในปริมาณ 1.5% โดยน้ำหนักสารเชื่อมโยง และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



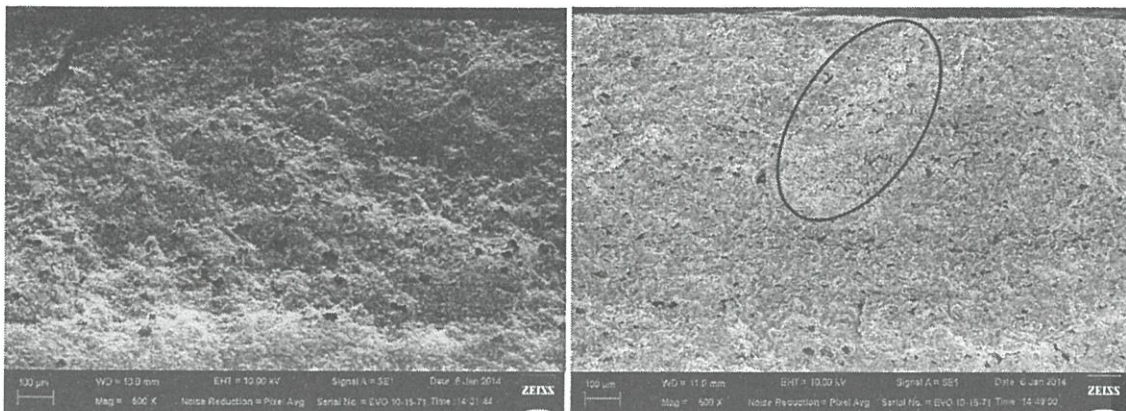
รูปที่ 4.4 ค่ามอดูลัสยางที่ 100% (M100) เทียบกับชนิดของสารกระจายตัวในปริมาณ 1.5% โดยน้ำหนักสารเชื่อมโยง และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง



รูปที่ 4.5 ค่าความแข็งกด (Hardness) ชนิด Shore A เทียบกับชนิดสารกระจายตัว ในปริมาณ 1.5% โดยน้ำหนักสารเชื่อมโยง และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง

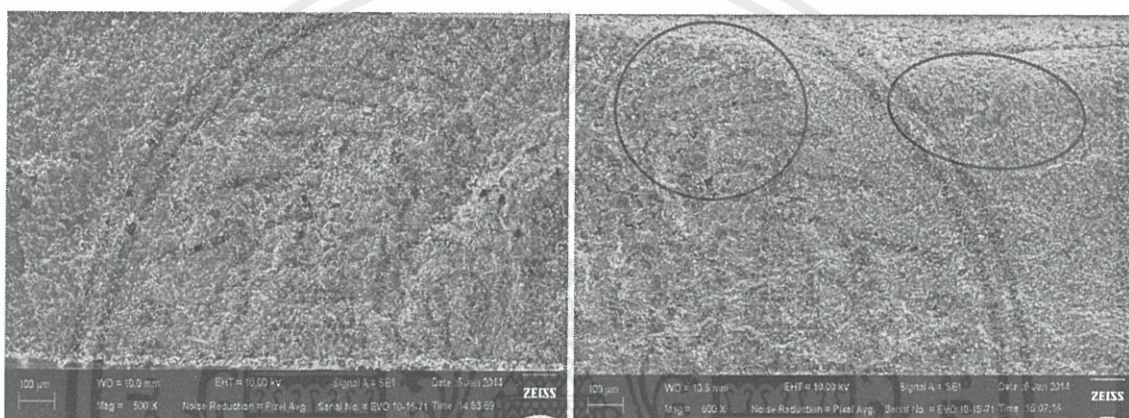
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติทางสัณฐานวิทยา (Morphology)



EnHance® FG

Dehydol® LS 3 TH

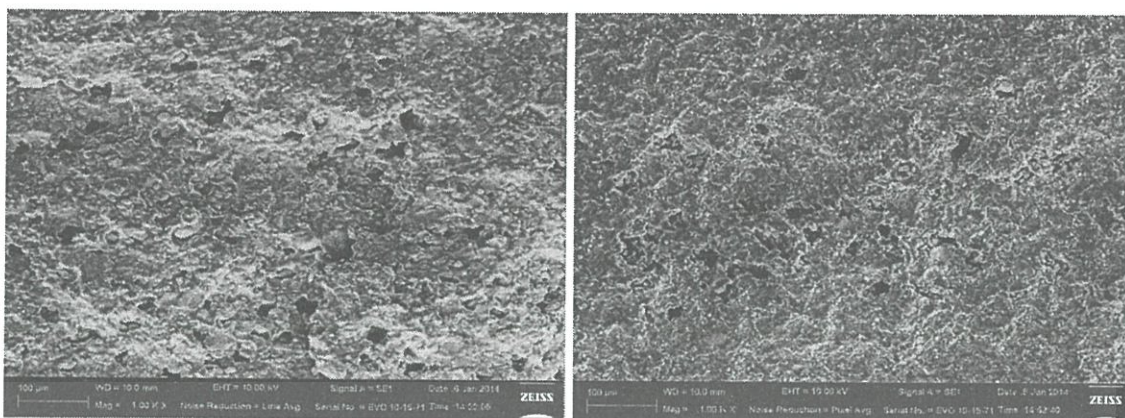


Dehydol® LS 7 TH

Dehydol® LS 12 TH

รูปที่ 4.6 รูปเปรียบเทียบสมบัติทางสัณฐานวิทยา โดยชนิดของสารกระจายตัวที่แตกต่างกันใน
 มาตรฐานเบตซ์กัมมะถัน โดยใช้ SEM ที่กำลังขยาย 500X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



EnHance® FG

Dehydol® LS 7 TH

รูปที่ 4.7 รูปเปรียบเทียบสมบัติทางสัณฐานวิทยา โดยชนิดของสารกระจายตัวที่แตกต่างกัน ระหว่าง EnHance® FG และ Dehydol® LS 7 TH ในมาสเตอร์แบตช์กัมมะถันโดยใช้ SEM ที่กำลังขยาย 1000X

4.2 การศึกษาปริมาณของสารกระจายตัว

เมื่อได้ชนิดของสารกระจายตัวในตอนต้นที่ 4.1 คือ EnHance® FG แล้วทำการศึกษาปริมาณของสารกระจายตัวที่ 1.5, 3.0 และ 4.5% โดยน้ำหนักสารเชื่อมโยง โดยควบคุมอัตราส่วนของกัมมะถันต่อยางหลัก (EPDM/EVA blends) 75/25 โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.8 และตารางที่ 4.2 ลักษณะการเชื่อมโยง ในปริมาณสารกระจายตัว EnHance® FG ที่แตกต่างกัน และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง พบว่า ปริมาณสารกระจายตัว EnHance FG 4.5% โดยน้ำหนักสารเชื่อมโยง มีค่า Cure time (t_{90}) และ Scorch time (t_{s2}) ที่สั้นกว่าการใช้สารกระจายตัว EnHance® FG ในปริมาณอื่นๆ แต่จะให้ค่า Scorch time (t_{s2}) ใกล้เคียงกับการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง เนื่องจาก การใช้สารกระจายตัว EnHance® FG ในปริมาณมาก จะทำให้กัมมะถันมีการกระจายตัวดี ทั่วทุกบริเวณ จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการเชื่อมโยงดีกว่า เป็นผลให้ค่า Scorch time (t_{s2}) และ Cure time (t_{90}) สั้น

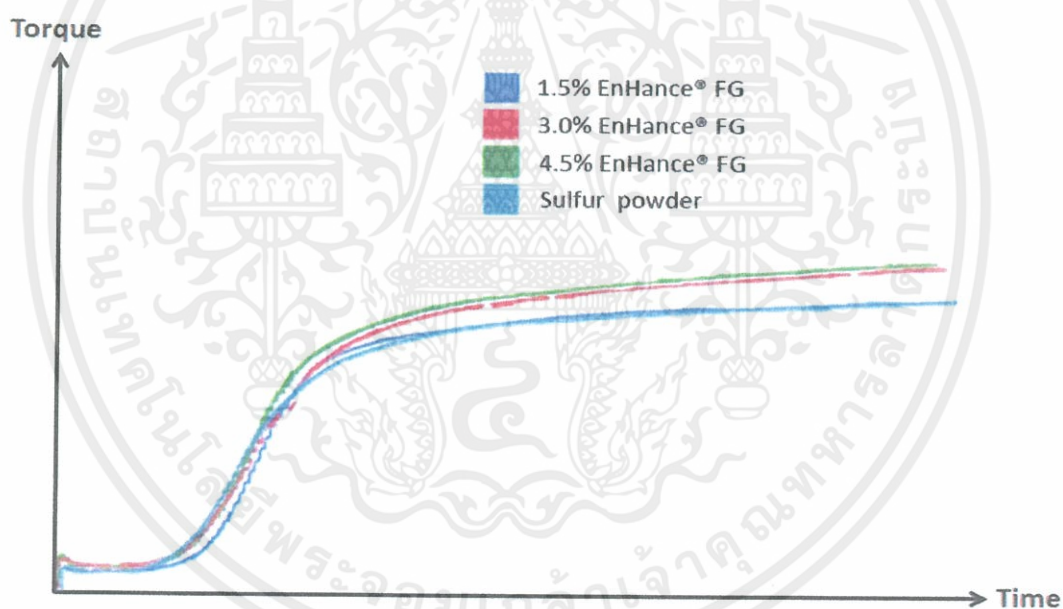
จากรูปที่ 4.9 -4.12 สมบัติเชิงกล พบว่า สารกระจายตัว EnHance® FG ที่ปริมาณ 1.5, 3.0 และ 4.5 % โดยน้ำหนักสารเชื่อมโยง และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผงมีสมบัติไม่แตกต่างกันอย่างมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 นัยสำคัญ แต่สำหรับค่าความแข็งกดของมาสเตอร์แบตช์ที่มีสารกระจายตัว EnHance® FG ที่
 ไม่ว่าจะคิดค่าทั้งคืน อีกหนึ่งห้าไม้ให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 ปริมาณต่างๆ จะมีค่าต่ำกว่าการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง เนื่องจาก การใช้มาสเตอร์แบตช์จะมี

การเชื่อมโยงหนาแน่นน้อยกว่า และการใช้มาสเตอร์แบดจ์กระจายตัวได้ไม่ดีเท่าการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง

จากรูปที่ 4.13 และ 4.14 เมื่อทดสอบทางสัณฐานวิทยาโดยใช้ SEM ที่กำลังขยาย 500X และ 1000X พบว่าที่ปริมาณ EnHance® FG 4.5 % โดยน้ำหนักสารเชื่อมโยง จะให้การกระจายตัวดีทั่วทุกบริเวณ มีลักษณะรวมเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) มากกว่าที่ปริมาณสารกระจายตัว EnHance® FG 1.5 และ 3.0% โดยน้ำหนักสารเชื่อมโยง เนื่องจาก ปริมาณสารกระจายตัวมากขึ้น ทำให้การกระจายตัวดีขึ้น ส่งผลให้ลักษณะการเชื่อมโยงมีค่า Scorch time (t_{s2}) และ Cure time (t_{c90}) สั้นลง

ดังนั้นจึงเลือกใช้สารกระจายตัว EnHance® FG ในปริมาณ 4.5% โดยน้ำหนักสารเชื่อมโยง มาใช้กับมาสเตอร์แบดจ์กัมมะถัน

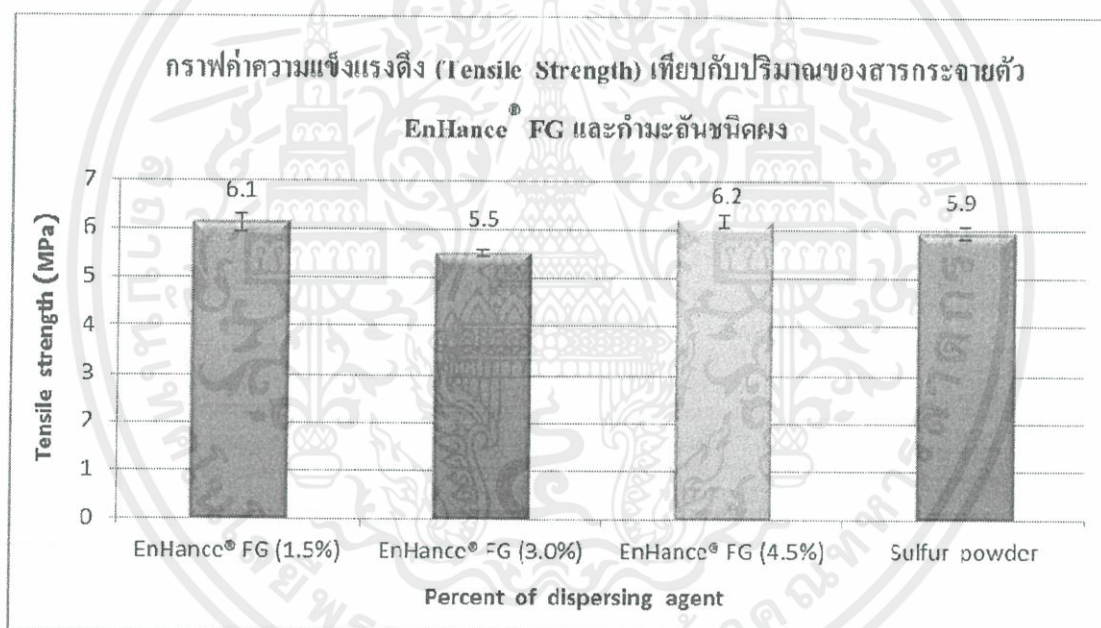


รูปที่ 4.8 ลักษณะการเชื่อมโยง (Cure characteristic) เทียบกับปริมาณสารกระจายตัวชนิด EnHance® FG และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

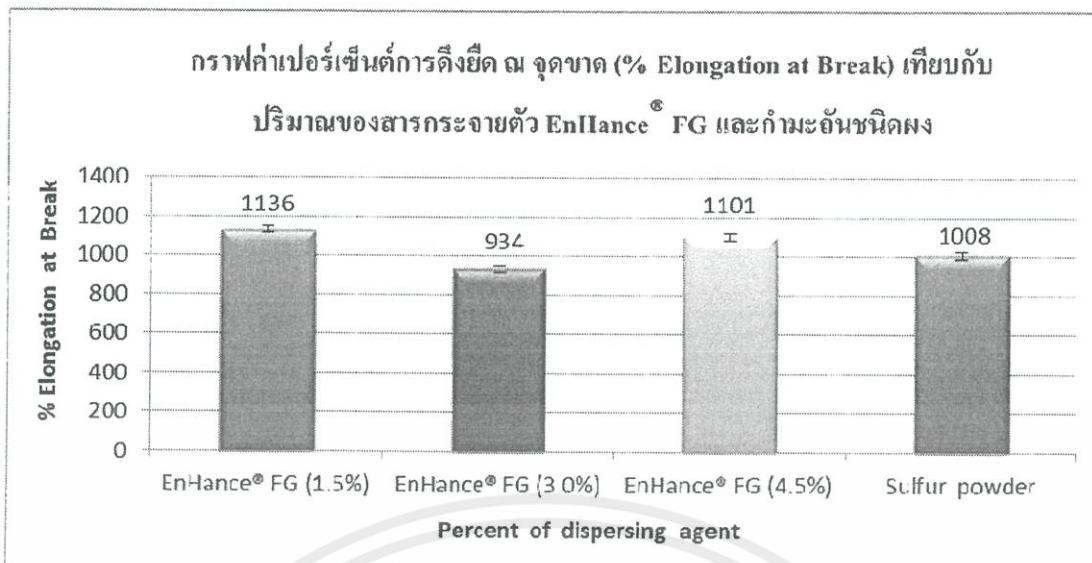
ตารางที่ 4.2 ผลของลักษณะการเชื่อมโยง เมื่อปริมาณของสารกระจายตัวแตกต่างกันในมาสเตอร์แบตช์ก้ำมะถัน และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง

Cure characteristic	Sulfur powder curative	ปริมาณ EnHance® FG % of curative		
		1.5	3.0	4.5
Cure time, t_{c90} (s)	450	540	450	420
Scorch time, t_{s2} (s)	127	150	142	135
Cure rate index, CRI (s^{-1})	0.31	0.26	0.32	0.35

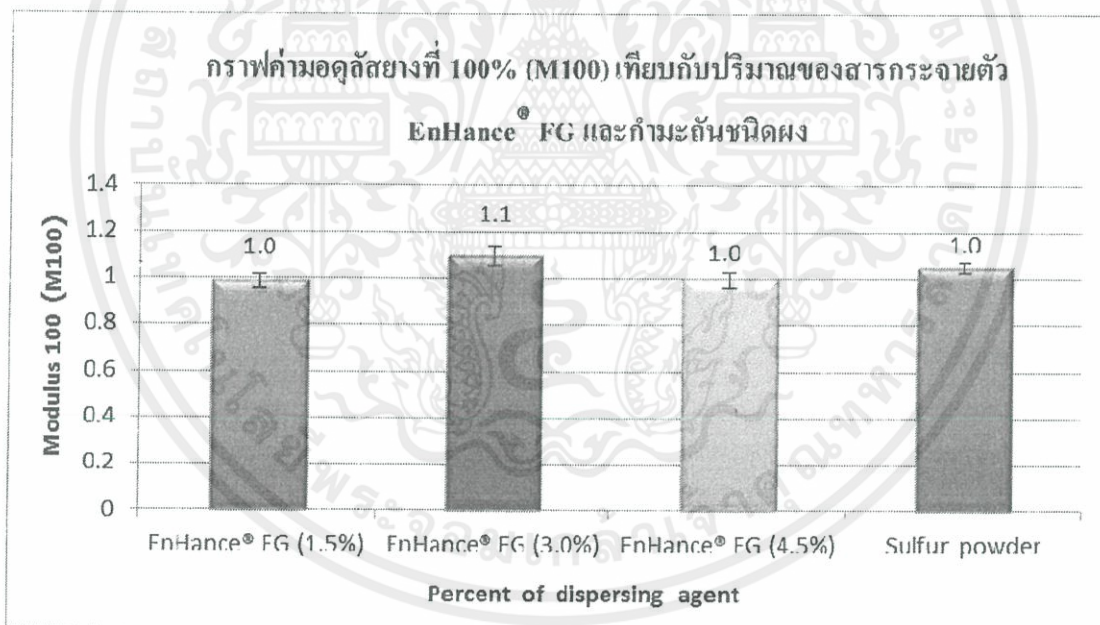


รูปที่ 4.9 ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เทียบกับปริมาณของสารกระจายตัว EnHance® FG และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

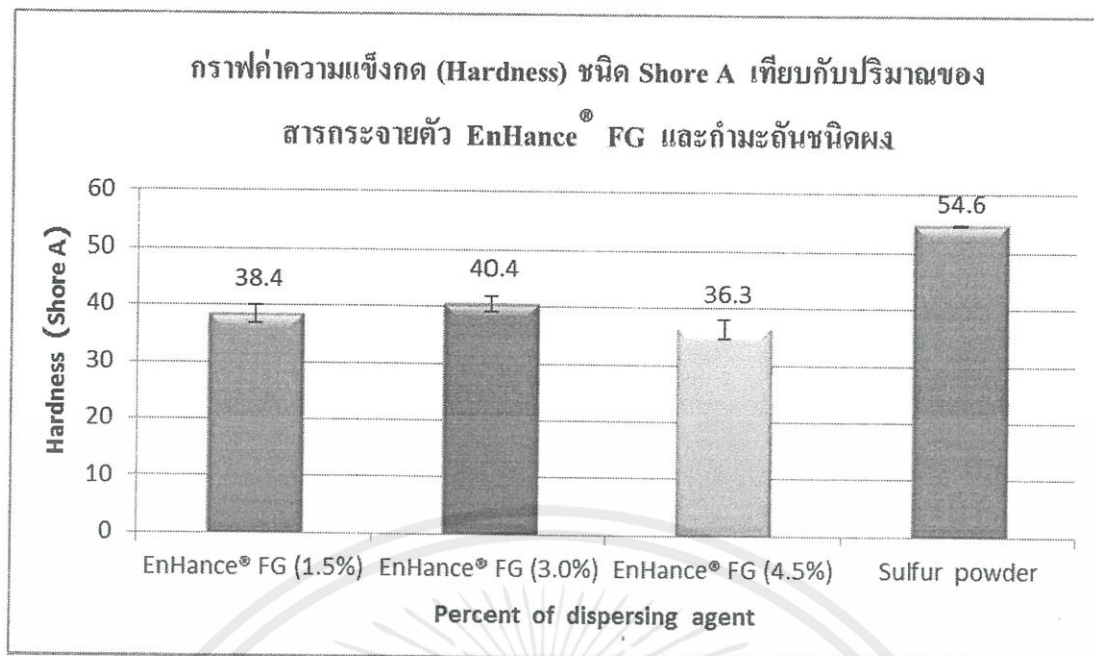


รูปที่ 4.10 ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) เทียบกับปริมาณของสารกระจายตัว EnHance[®] FG และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง



รูปที่ 4.11 ค่ามอดูลัสยางที่ 100% (M100) เทียบกับปริมาณของสารกระจายตัว EnHance[®] FG และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง

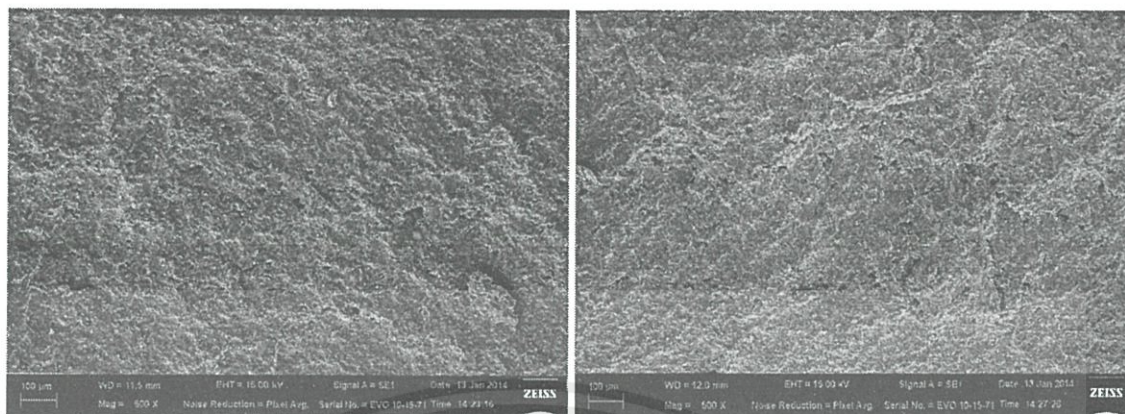
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ค่าความแข็งกด (Hardness) ชนิด Shore A เทียบกับปริมาณของสารกระจายตัว EnHance® FG และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง

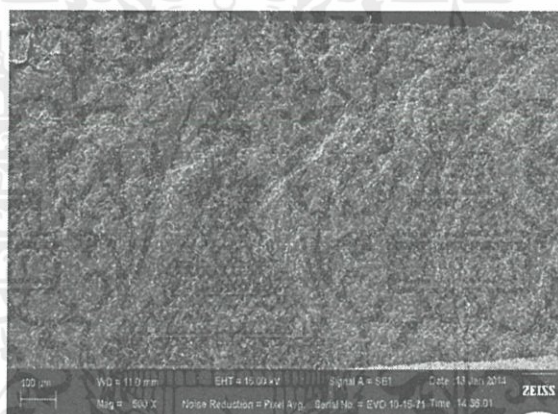
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติทางสัณฐานวิทยา (Morphology)



EnHance[®] FG 1.5% of curative

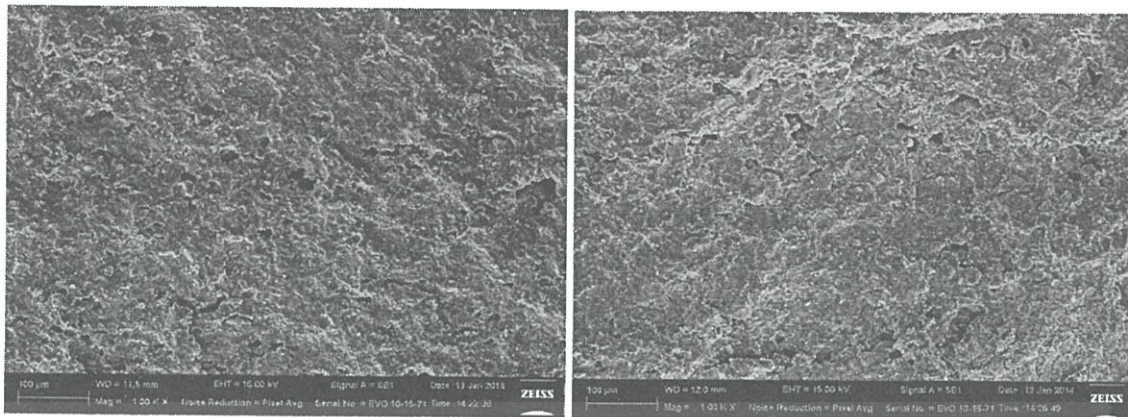
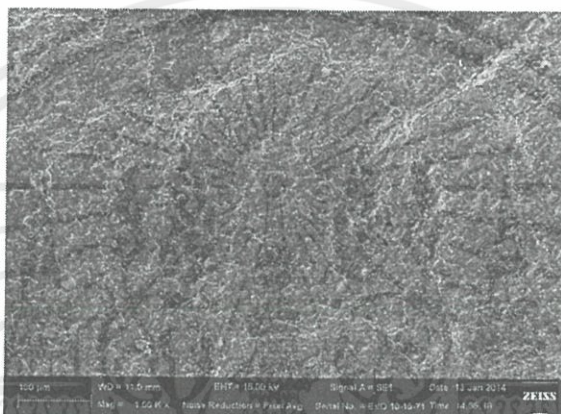
EnHance[®] FG 3.0% of curative



EnHance[®] FG 4.5% of curative

รูปที่ 4.13 รูปเปรียบเทียบสมบัติทางสัณฐานวิทยา ที่ปริมาณของสารกระจายตัว EnHance[®] FG แตกต่างกันในมาสเตอร์แบดจ์กำมะถันโดยใช้ SEM ที่กำลังขยาย 500X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EnHance[®] FG 1.5% of curativeEnHance[®] FG 3.0% of curativeEnHance[®] FG 4.5% of curative

รูปที่ 4.14 รูปเปรียบเทียบสมบัติทางสัณฐานวิทยา ที่ปริมาณของสารกระจายตัว EnHance[®] FG แตกต่างกันในมาสเตอร์แบตช์ก้ำมะถัน โดยใช้ SEM ที่กำลังขยาย 1000X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การศึกษาอัตราส่วนของยางหลัก (EPDM/EVA blends)

จากผลการทดลองในการศึกษาชนิดและปริมาณของสารกระจายตัว พบว่าเลือกใช้สารกระจายตัวในมาสเตอร์แบตช์กัมมะถัน คือ EnHance® FG ปริมาณ 4.5% โดยน้ำหนักสารเชื่อมโยง โดยควบคุมอัตราส่วนของกัมมะถันต่อยางหลัก (EPDM/EVA blends) 75/25 โดยน้ำหนัก ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการเปลี่ยนอัตราส่วนของยางหลัก EPDM/EVA ที่ 60/40, 70/30 และ 80/20 โดยน้ำหนักของยาง

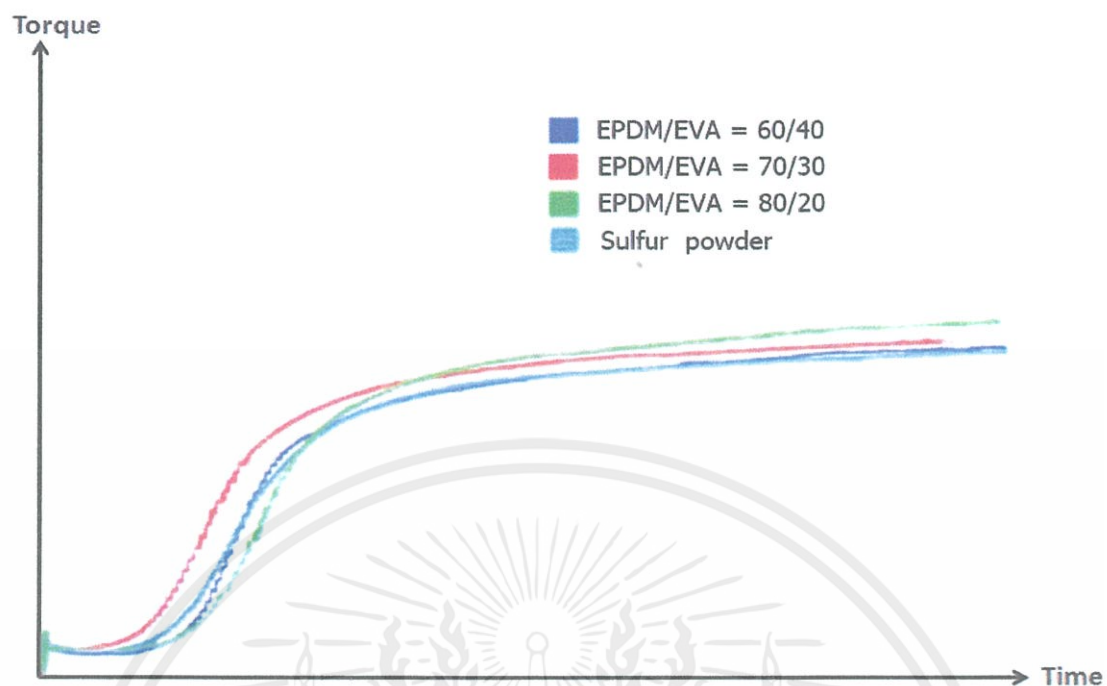
จากรูปที่ 4.15 และตารางที่ 4.3 ลักษณะการเชื่อมโยง เมื่อทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนของยางหลัก และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง พบว่า ที่อัตราส่วนยางหลัก 60/40 มีค่า Scorch time (t_{s2}) นานกว่าและมีค่า Cure time (t_{c90}) สั้นกว่าที่อัตราส่วนยางหลัก 70/30 เนื่องจากโครงสร้างของ EVA มีส่วนมีขั้วมากกว่า EPDM จึงช่วยในการกระจายตัวของกัมมะถันที่มีขั้วได้ดี ทำให้มีประสิทธิภาพในการเชื่อมโยงดีกว่าที่อัตราส่วนอื่นๆ

จากรูปที่ 4.13-4.19 แสดงสมบัติเชิงกล พบว่าค่า Tensile strength, % Elongation at break และค่า Modulus 100 เทียบกับอัตราส่วนของยางหลัก และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่สำหรับค่าความแข็งแรงเทียบกับอัตราส่วนยางหลักทั้งสามปริมาณพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน แต่เมื่อเทียบกับการใช้งานแบบผง พบว่า การใช้งานแบบผงให้ค่าความแข็งแรงที่มากกว่า เนื่องจาก การใช้งานแบบผงจะให้การกระจายตัวที่ดีกว่าแบบมาสเตอร์แบตช์ และมีความหนาแน่นของการเชื่อมโยงมากกว่า

จากรูปที่ 4.20 และ 4.21 การทดสอบทางสัณฐานวิทยาโดยใช้ SEM ที่กำลังขยาย 500X และ 1000X พบว่าที่อัตราส่วนยางหลัก 60/40 และ 70/30 มีลักษณะการกระจายตัวของกัมมะถันทั่วทั้งบริเวณ เนื่องจาก เมื่อปริมาณ EVA มากขึ้นจึงทำให้ความมีขั้วเพิ่มมากขึ้น การรวมเป็นเนื้อเดียวกันของกัมมะถันกับยางจะดีมากขึ้นนั่นเอง

ดังนั้นจากผลของการกระจายตัวที่อัตราส่วนยางหลัก 60/40 และ 70/30 แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย รวมทั้งลักษณะการเชื่อมโยงและสมบัติเชิงกลไม่แตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้อัตราส่วนยางหลัก 70/30 เนื่องจาก ต้นทุนราคาของ EVA ที่สูงกว่า EPDM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

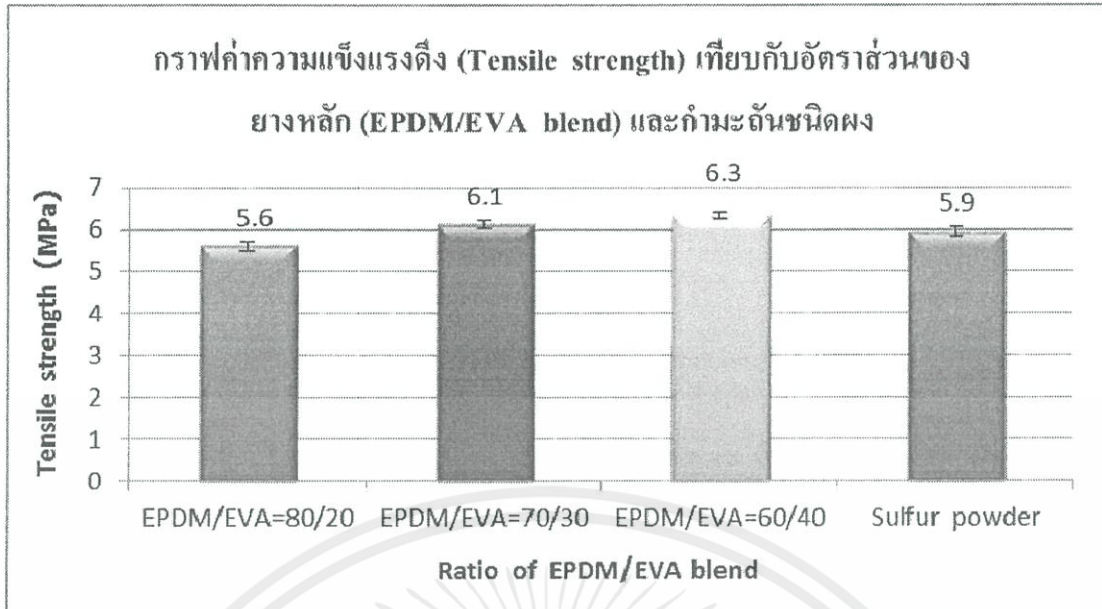


รูปที่ 4.15 ลักษณะการเชื่อมโยง (Cure characteristic) เทียบกับอัตราส่วนของยางหลัก (EPDM/EVA blends) และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง

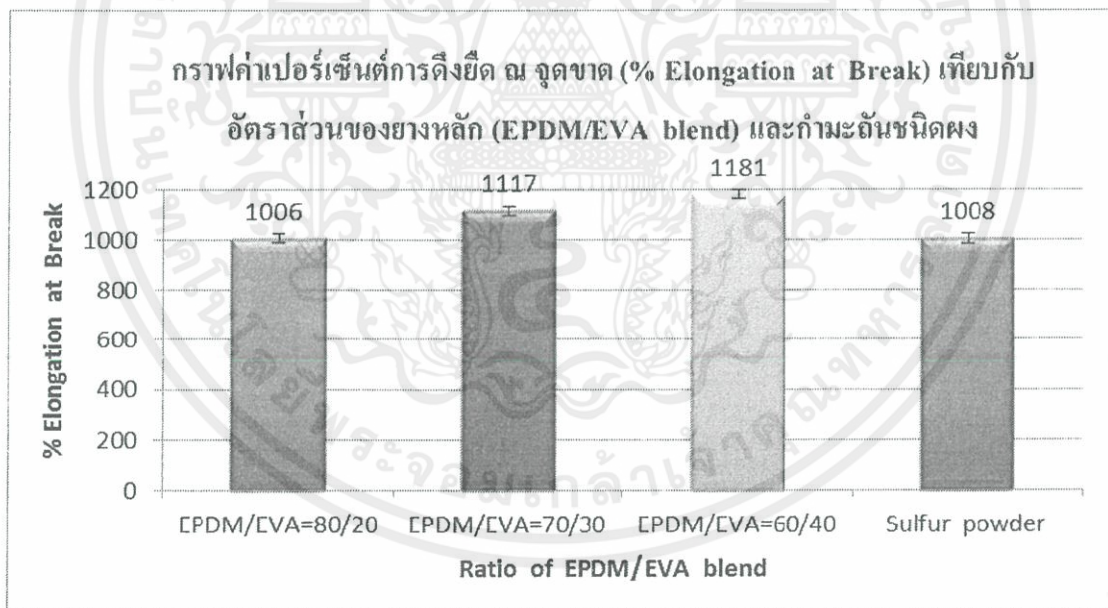
ตารางที่ 4.3 ผลของลักษณะการเชื่อมโยง เมื่อปริมาณของยางหลัก (EPDM/EVA blends) แตกต่างกันในมาตรฐานเบตซ์กำหนด และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง

Cure characteristic	Sulfur powder curative	EPDM/EVA ratio		
		80/20	70/30	60/40
Cure time, t_{90} (s)	450	450	435	420
Scorch time, t_{s2} (s)	127	150	120	135
Cure rate index, CRI (s^{-1})	0.31	0.33	0.32	0.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

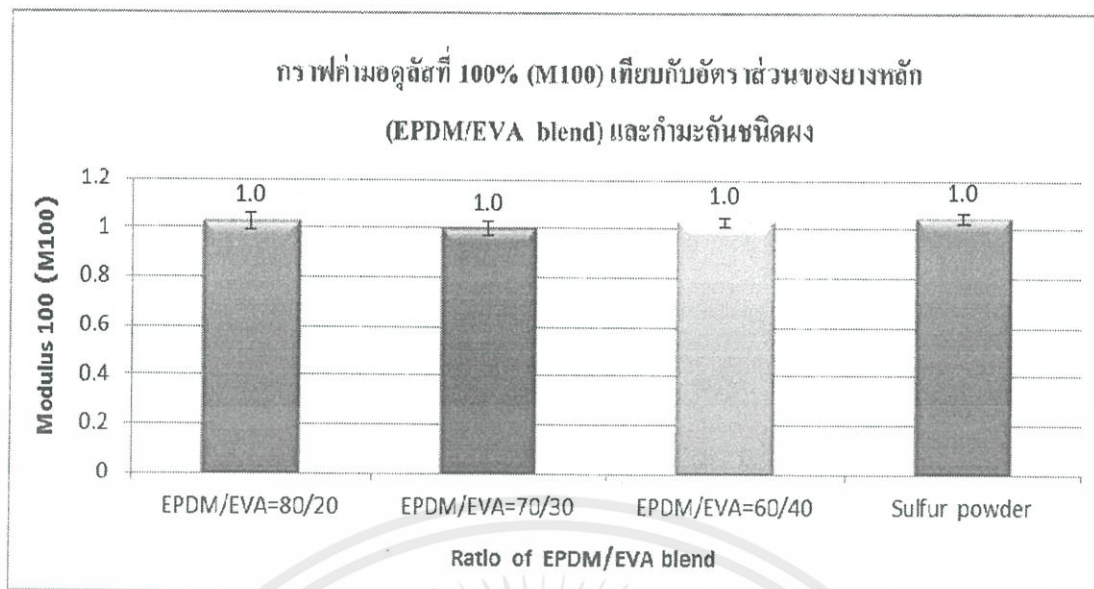


รูปที่ 4.16 ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เทียบกับอัตราส่วนของยางหลัก (EPDM/EVA blends) และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง

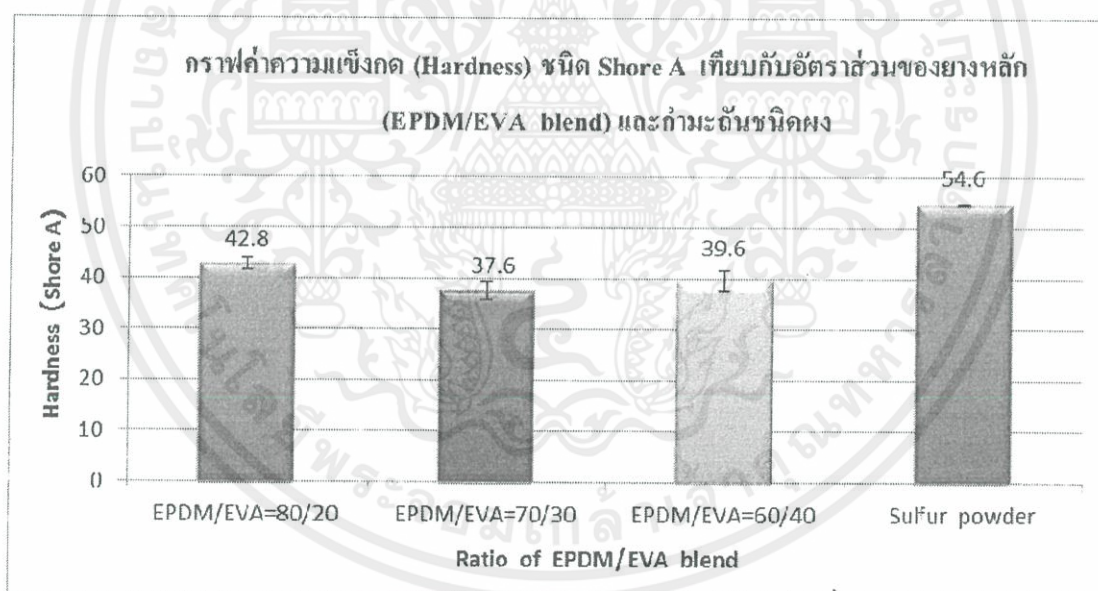


รูปที่ 4.17 ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) เทียบกับอัตราส่วนของยางหลัก (EPDM/EVA blends) และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



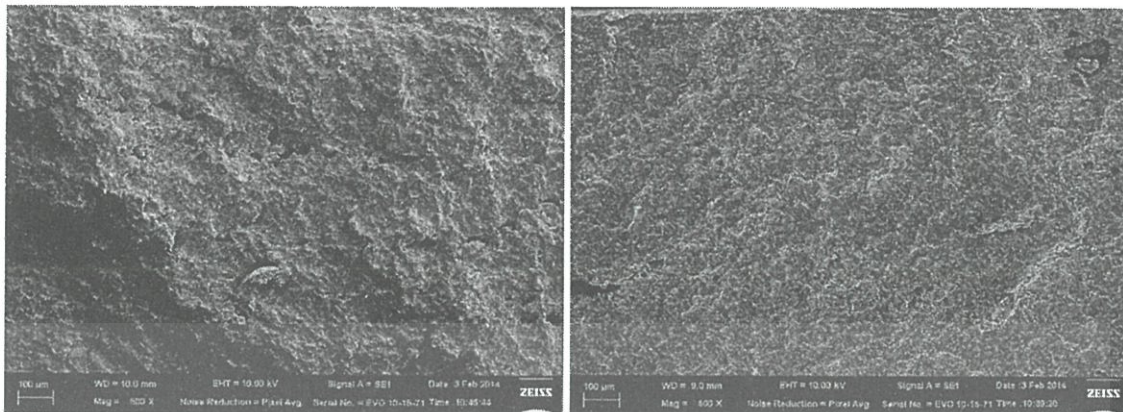
รูปที่ 4.18 ค่ามอดูลัสยางที่ 100% (M100) เทียบกับอัตราส่วนของยางหลัก (EPDM/EVA blends) และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง



รูปที่ 4.19 ค่าความแข็งกด (Hardness) ชนิด Shore A เทียบกับอัตราส่วนของยางหลัก (EPDM/EVA blends) และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง

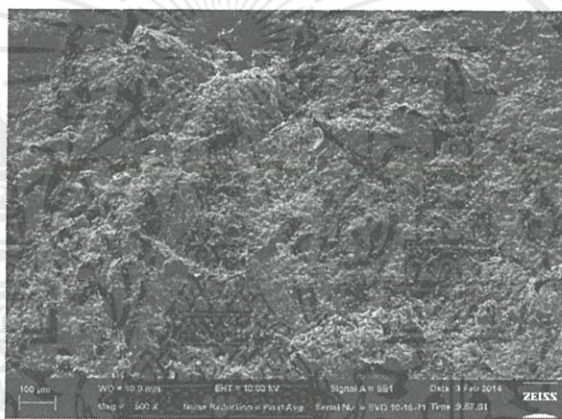
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติทางสัณฐานวิทยา (Morphology)



EPDM/EVA = 80/20

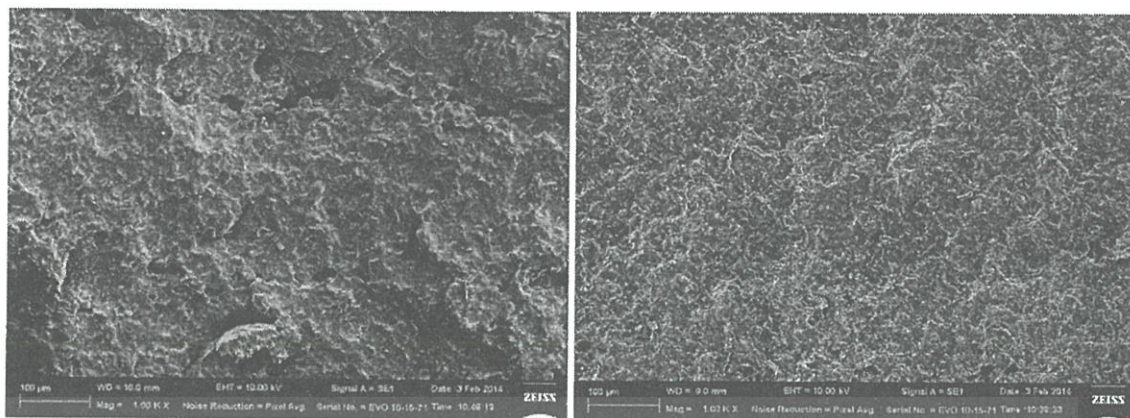
EPDM/EVA = 70/30



EPDM/EVA = 60/40

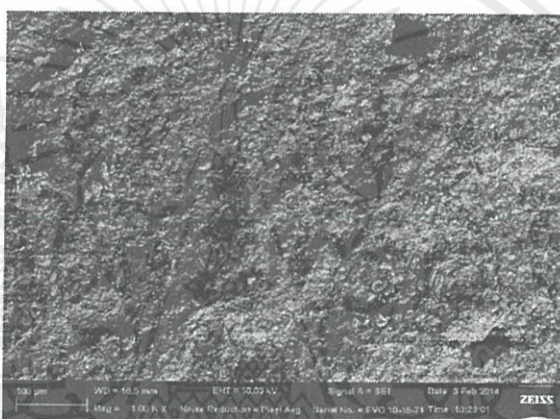
รูปที่ 4.20 รูปเปรียบเทียบสมบัติทางสัณฐานวิทยา ที่อัตราส่วนของยางหลัก (EPDM/EVA blends) แตกต่างกันในมาสเตอร์แบตช์กัมมะถัน โดยใช้ SEM ที่กำลังขยาย 500X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



EDPM/EVA = 80/20

EDPM/EVA = 70/30



EDPM/EVA = 60/40

รูปที่ 4.21 รูปเปรียบเทียบสมบัติทางสัณฐานวิทยา ที่อัตราส่วนของยางหลัก (EPDM/EVA blends) แตกต่างกันในมาสเตอร์แบตช์กัมมะถัน โดยใช้ SEM ที่กำลังขยาย 1000X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การศึกษาชนิดของกำมะถัน

จากผลการทดลองในการศึกษาชนิดและปริมาณของสารกระจายตัว พบว่า เลือกใช้สารกระจายตัวในมาสเตอร์แบดซ์กำมะถัน คือ EnHance[®] FG ปริมาณ 4.5% โดยน้ำหนักสารเชื่อมโยงและควบคุมอัตราส่วนของกำมะถันต่ออย่างหลัก 75/25 โดยน้ำหนัก ซึ่งการทดลองในตอนนี้จะทำการปรับเปลี่ยนชนิดของกำมะถัน คือ กำมะถันชนิดละลายและกำมะถันชนิดไม่ละลาย

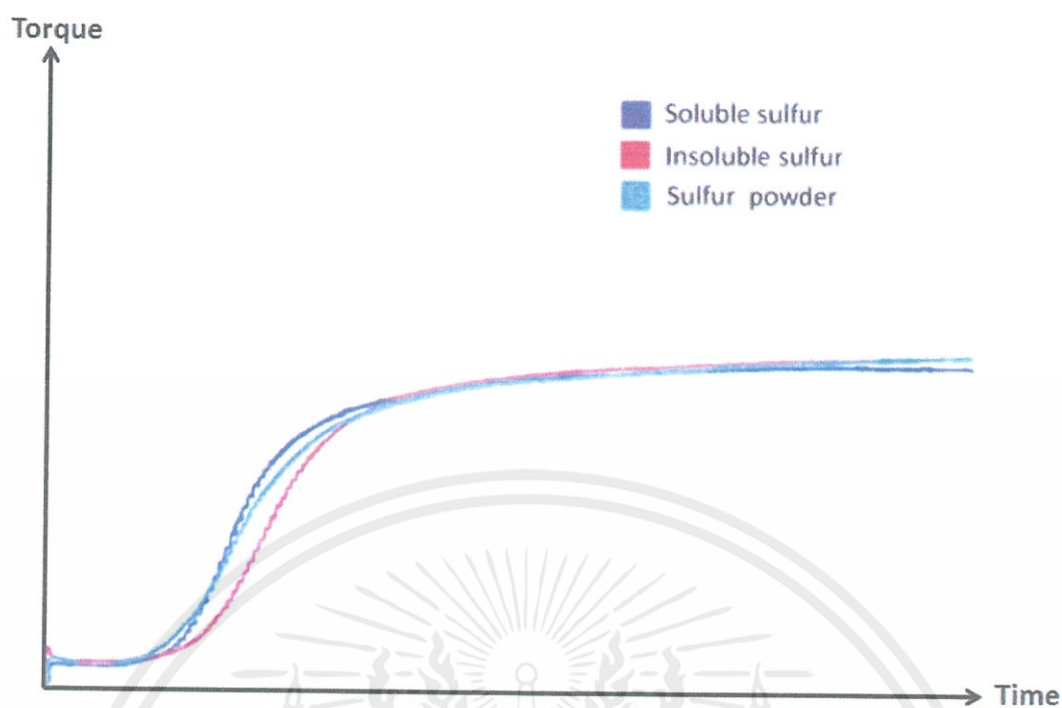
จากรูปที่ 4.22 และตารางที่ 4.4 ลักษณะการเชื่อมโยง เมื่อทำการเปรียบเทียบกำมะถันชนิดละลายและกำมะถันชนิดไม่ละลาย และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง พบว่า กำมะถันชนิดละลายมีค่า Scorch time (t_{2}) สั้นกว่ากำมะถันชนิดไม่ละลาย แต่สำหรับค่า Cure time (t_{90}) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องมาจากกำมะถันชนิดไม่ละลายมีโครงสร้างขนาดใหญ่ ผสมเข้ากับยางได้ยากกว่ากำมะถันชนิดละลาย ดังนั้นจึงส่งผลให้มีค่า Scorch time (t_{2}) ที่มากกว่ากำมะถันชนิดละลาย

จากรูปที่ 4.23-4.26 สมบัติเชิงกล พบว่าค่า Tensile strength, % Elongation at break และค่า Modulus 100 ของชนิดกำมะถันที่ต่างกันและการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่สำหรับค่าความแข็งแรง เทียบกับชนิดของกำมะถัน พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารเชื่อมโยงชนิดผง พบว่าชนิดผงให้ค่าความแข็งแรงที่มากกว่า เนื่องจาก การใช้งานแบบผงจะให้การกระจายตัวที่ดีกว่าแบบมาสเตอร์แบดซ์ และมีความหนาแน่นของการเชื่อมโยงมากกว่า

จากรูปที่ 4.27 และ 4.28 เมื่อทดสอบทางสัณฐานวิทยาโดยใช้ SEM ที่กำลังขยาย 500X และ 1000X พบว่า กำมะถันชนิดไม่ละลายมีการกระจายตัวไม่ดี พบกำมะถันเกาะตัวเป็นกลุ่มก้อน อาจเนื่องมาจากโครงสร้างกำมะถันขนาดใหญ่ ทำให้กระจายตัวในยางได้ยาก

ดังนั้น การเลือกใช้ชนิดของกำมะถันจะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ซึ่งการใช้งานส่วนมากจะนิยมใช้กำมะถันชนิดละลาย เนื่องจากราคาถูก แต่หากพบปัญหาการแพร่ของกำมะถันออกมาที่พื้นผิว (Bloom) ของชิ้นงาน จะเลือกใช้กำมะถันชนิดไม่ละลาย แต่จะมีราคาต้นทุนที่เพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

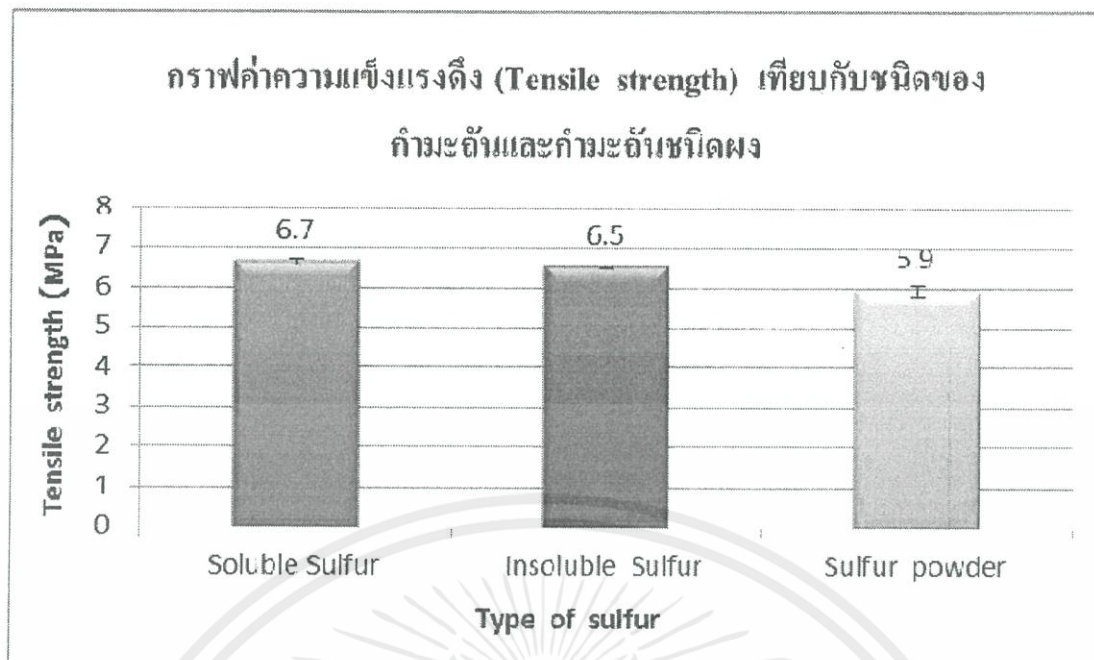


รูปที่ 4.22 ลักษณะการเชื่อม โยง (Cure characteristic) เทียบกับชนิดของกำมะถัน และการใช้สารเชื่อม โยงแบบผง

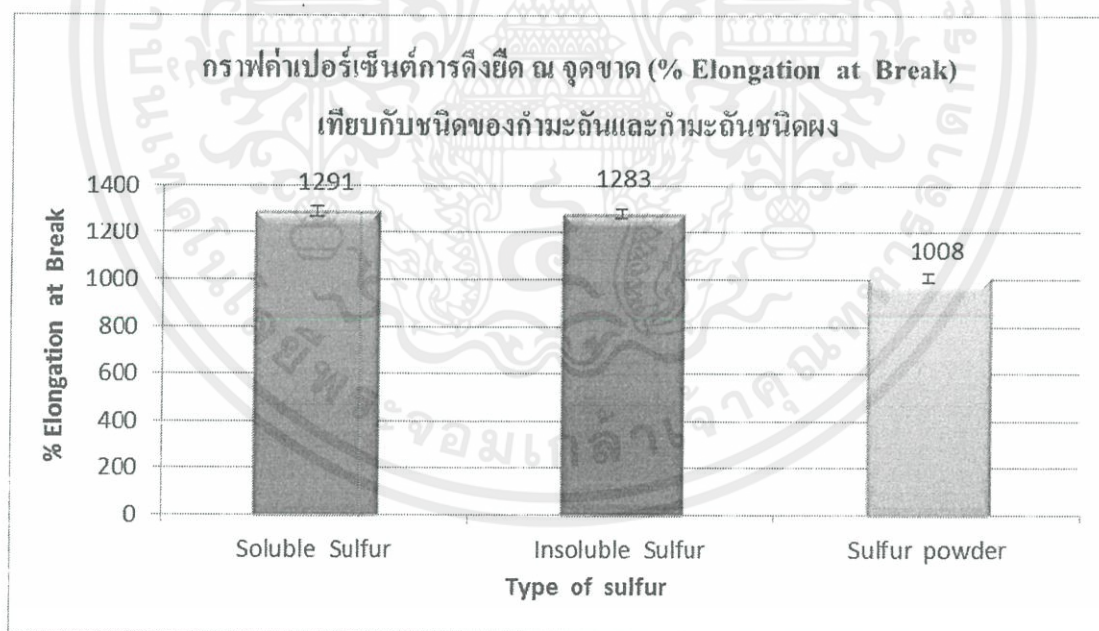
ตารางที่ 4.4 ผลของลักษณะการเชื่อม โยง เมื่อชนิดของกำมะถันแตกต่างกันในมาสเตอร์แบตช์กำมะถัน และการใช้สารเชื่อม โยงแบบผง

Cure characteristic	Sulfur powder curative	Sulfur	
		Soluble sulfur	Insoluble sulfur
Cure time , t_{c90} (s)	450	345	330
Scorch time , t_{s2} (s)	127	120	150
Cure rate index, CRI (s^{-1})	0.31	0.44	0.56

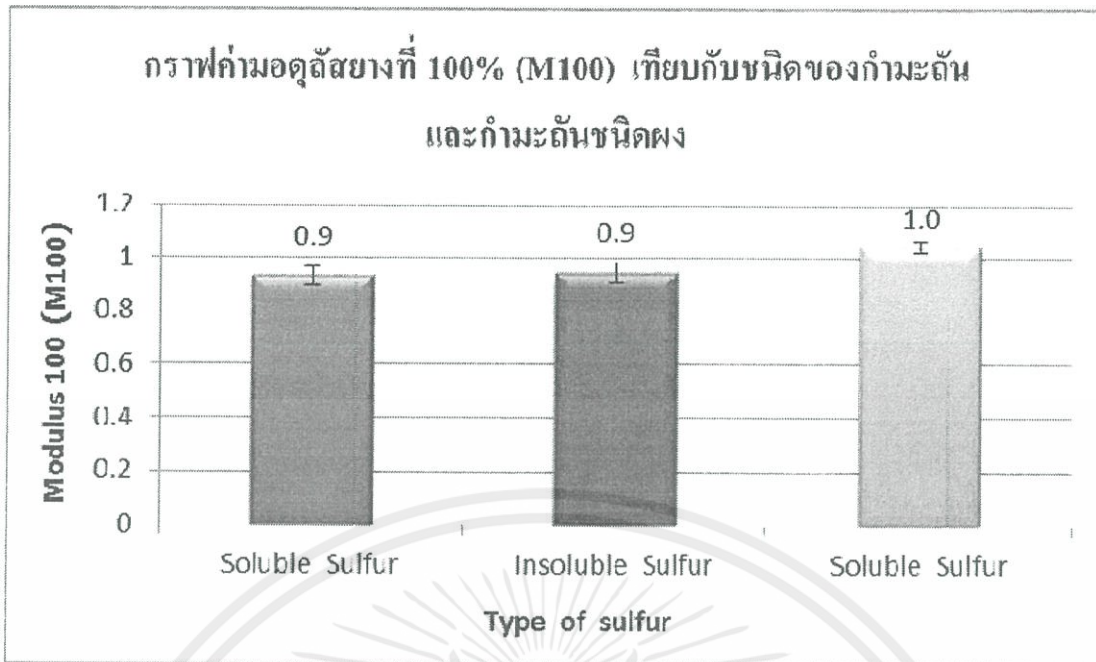
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



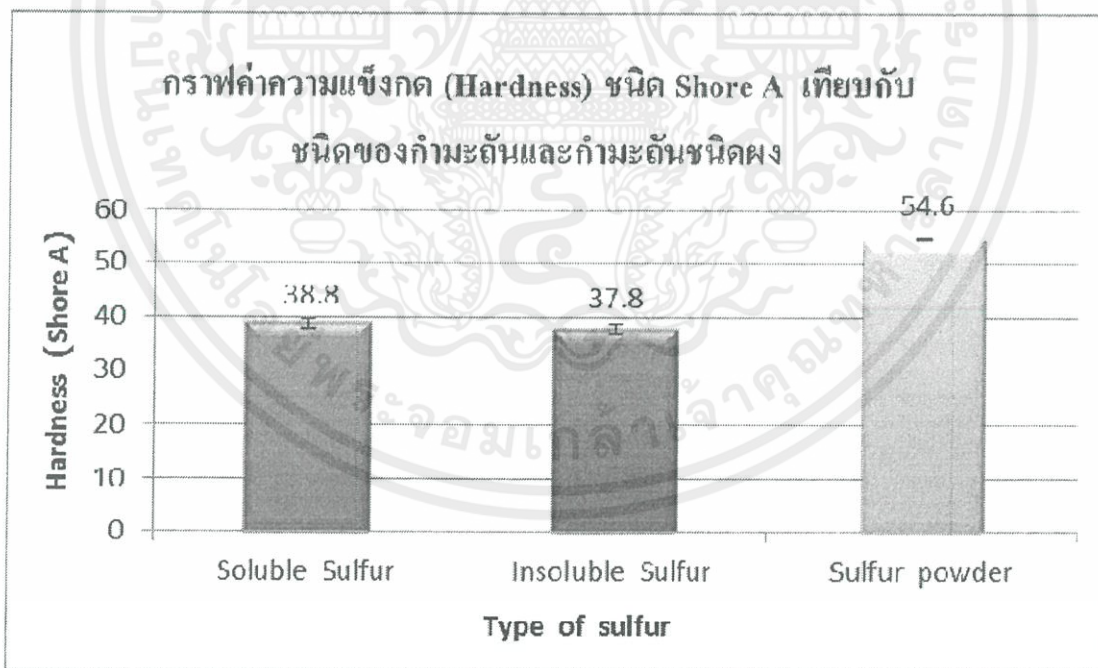
รูปที่ 4.23 ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เทียบกับชนิดของกำมะถัน และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง



รูปที่ 4.24 ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) เทียบกับชนิดของกำมะถัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า และการใช้สารเชื่อม โยงแบบผง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



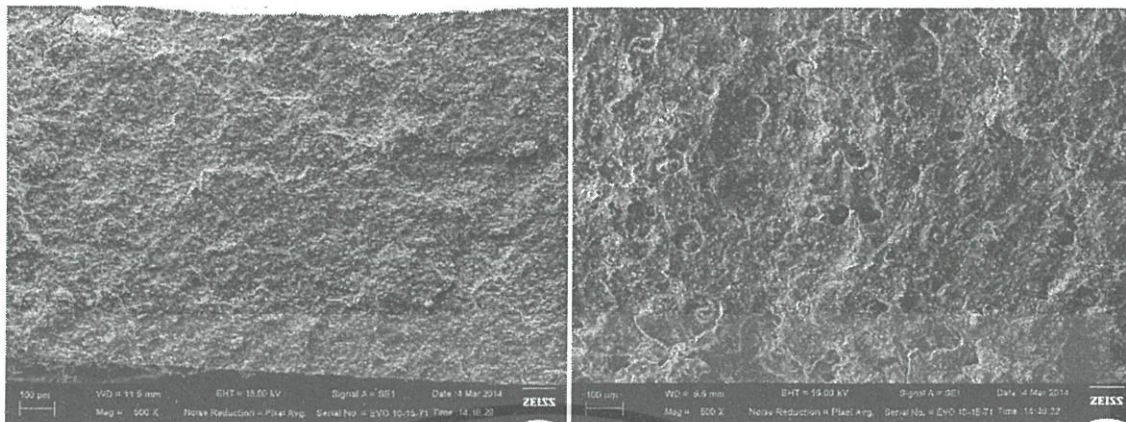
รูปที่ 4.25 ค่ามอดูลัสยางที่ 100% (M100) เทียบกับชนิดของกำมะถัน และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง



เอกสารรูปที่ 4.26 ค่าความแข็งกด (Hardness) ชนิด Shore A เทียบกับชนิดของกำมะถัน และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ผู้ใช้จำเป็นต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

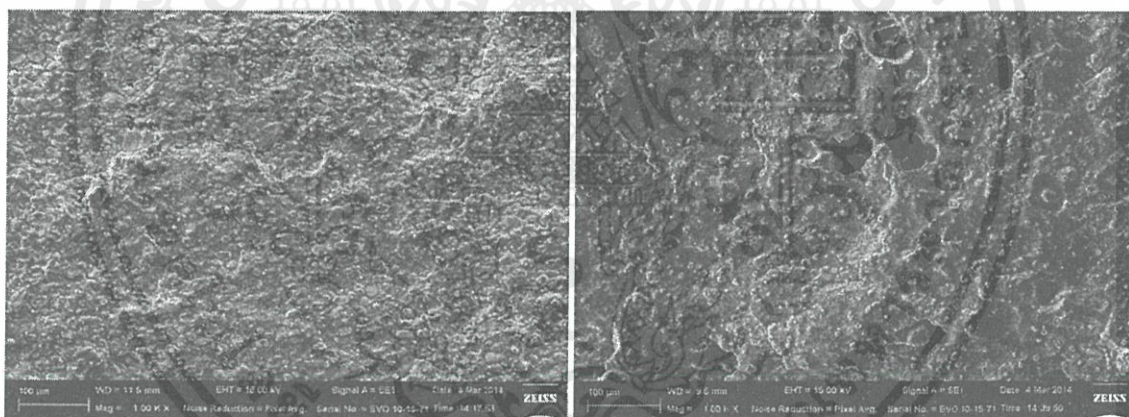
สมบัติทางสัณฐานวิทยา (Morphology)



กำมะถันชนิดละลาย

กำมะถันชนิดไม่ละลาย

รูปที่ 4.27 รูปเปรียบเทียบสมบัติทางสัณฐานวิทยา ของกำมะถันชนิดละลายและกำมะถันชนิดไม่ละลายในมาสเตอร์แบตช์กำมะถันโดยใช้ SEM ที่กำลังขยาย 500X



กำมะถันชนิดละลาย

กำมะถันชนิดไม่ละลาย

รูปที่ 4.28 รูปเปรียบเทียบสมบัติทางสัณฐานวิทยา ของกำมะถันชนิดละลายและกำมะถันชนิดไม่ละลายในมาสเตอร์แบตช์กำมะถันโดยใช้ SEM ที่กำลังขยาย 1000X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีการศึกษาแนวเปรียบเทียบระหว่างประสิทธิภาพการใช้อย่างมาตรฐานแบบซ์กับการใช้สารเชื่อมโยงบแบบผง โดยศึกษาสูตรยางมาตรฐานแบบซ์สารเชื่อมโยงบกำมะถัน 2 ชนิด คือ กำมะถันชนิดละลาย และกำมะถันชนิดไม่ละลาย โดยศึกษาชนิดและปริมาณของสารกระจายตัว และศึกษาอัตราส่วนของยางหลัก (EPDM/EVA blends) ที่ใช้ในมาตรฐานแบบซ์ ซึ่งจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

- การศึกษาแนวเปรียบเทียบระหว่างประสิทธิภาพการใช้อย่างมาตรฐานแบบซ์ที่เตรียมในงานวิจัยนี้กับการใช้สารเชื่อมโยงบแบบผง พบว่าการเตรียมมาตรฐานแบบซ์สารเชื่อมโยงบกำมะถันชนิดละลายและกำมะถันชนิดไม่ละลาย สามารถใช้งานได้เหมือนกับการใช้สารเชื่อมโยงบกำมะถันชนิดผง ทำให้ได้ยางที่สมบัติเหมือนกัน ทั้งสมบัติการเชื่อมโยงบและสมบัติเชิงกล
- การศึกษาชนิดของสารกระจายตัว คือ EnHance[®] FG, Dehydol[®] LS 3 TH, Dehydol[®] LS 7 TH และ Dehydol[®] LS 12 TH ในมาตรฐานแบบซ์กำมะถันชนิดละลาย พบว่าลักษณะการเชื่อมโยงบ EnHance[®] FG มีค่า Scorch time (t_{90}) และ Cure time (t_{c90}) สั้นกว่าสารกระจายตัวชนิดอื่น สำหรับสมบัติเชิงกล พบว่าสารกระจายตัวทั้ง 4 ชนิด และสารเชื่อมโยงบชนิดผงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ผลจากสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 500X พบว่าสารกระจายตัว Dehydol[®] LS 3 TH และ Dehydol[®] LS 12 TH มีการกระจายตัวไม่ดี กำมะถันรวมตัวเป็นกลุ่มก้อน และที่กำลังขยาย 1000X พบว่า EnHance[®] FG มีการกระจายตัวทั่วบริเวณมากกว่า Dehydol[®] LS 7 TH ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเลือก EnHance[®] FG มาใช้ในมาตรฐานแบบซ์กำมะถันชนิดละลาย
- การศึกษาปริมาณของสารกระจายตัวที่ปริมาณ 1.5, 3.0 และ 4.5% โดยน้ำหนักสารเชื่อมโยงบ ในมาตรฐานแบบซ์กำมะถันชนิดละลาย พบว่า EnHance[®] FG 4.5% โดยน้ำหนักสารเชื่อมโยงบ มีลักษณะการเชื่อมโยงบที่ดี มีค่า Scorch time (t_{90}) และ Cure time (t_{c90}) ที่สั้นกว่าสารกระจายตัว EnHance[®] FG ที่ปริมาณอื่นๆ สำหรับสมบัติเชิงกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งในการนำไปใช้

พบว่าสารกระจายตัว EnHance® FG ในปริมาณต่างๆ มีสมบัติไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และผลจากสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 500X พบว่าปริมาณ EnHance® FG 4.5 % โดยน้ำหนักสารเชื่อมโยง มีการกระจายตัวดีทั่วทุกบริเวณ และมีความเป็นเนื้อเดียวกันเข้ากับยางได้ดีกว่าที่ EnHance® FG ในปริมาณอื่นๆ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้สารกระจายตัว EnHance® FG 4.5% โดยน้ำหนักสารเชื่อมโยง

- การศึกษาอัตราส่วนของยางหลัก (EPDM/EVA blends) ของมาสเตอร์แบดซ์กัมมะถันชนิดละลาย ในอัตราส่วน EPDM/EVA ที่ 60/40, 70/30 และ 80/20 โดยน้ำหนักของยาง พบว่าลักษณะการเชื่อมโยงที่อัตราส่วนยางหลัก 60/40 มีค่า Scorch time (t_{s2}) นานกว่าและมีค่า Cure time (t_{c90}) อัตราส่วนยางหลัก 70/30 โดยน้ำหนักของยาง สำหรับสมบัติเชิงกลพบว่าที่อัตราส่วนของยางหลักไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และผลจากสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 500X และ 1000X พบว่าอัตราส่วนของ EPDM/EVA = 80/20 การกระจายตัวไม่ดี มีการเกาะกลุ่มของอนุภาคของแข็ง และที่อัตราส่วน EPDM/EVA ที่ 60/40 และ 70/30 มีการกระจายตัวดีทั่วทุกบริเวณ แต่สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้อัตราส่วนของยางหลัก EPDM/EVA ที่ 70/30 จากเหตุผลของต้นทุนการผลิตที่น้อยกว่าอัตราส่วน EPDM/EVA ที่ 60/40
- การศึกษาชนิดของกัมมะถันชนิดละลายและกัมมะถันชนิดไม่ละลาย พบว่าลักษณะการเชื่อมโยงของมาสเตอร์แบดซ์กัมมะถันชนิดละลาย มีค่า Scorch time (t_{s2}) สั้นกว่ากัมมะถันชนิดไม่ละลาย สำหรับสมบัติเชิงกลไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ผลจากสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 500X และ 1000X พบว่า กัมมะถันชนิดไม่ละลายมีการกระจายตัวไม่ดีเท่ากัมมะถันชนิดละลาย พบกัมมะถันเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน

5.2 ข้อเสนอแนะ

- ศึกษาสารกระจายตัวชนิดอื่นๆ ที่มีการใช้มากในอุตสาหกรรม เช่น NPE40, Tween 40 เป็นต้น
- ศึกษาสารกระจายตัวกับสารเชื่อมโยงชนิดอื่นๆ ที่มีการใช้มากในอุตสาหกรรม เช่น

สารเร่งปฏิกิริยา Diphenylguanidine (DPG), Zinc Dibutyldithiocarbamate (ZDBC) แม้ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น เป็นต้น

- ในการผสมมาสเตอร์เบตต์กำหนดกับยางคอมพาวด์ ควรใช้เวลาในการผสมน้อยกว่าการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง เนื่องจาก ในการทำมาสเตอร์เบตต์นั้น มีเวลาในการผสมสารเชื่อมโยงและยางไปแล้วบ้างบางส่วน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. “เอกสารเผยแพร่อุตสาหกรรมน่ารู้ ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอุตสาหกรรมยางและผลิตภัณฑ์”. [Online]. Available:http://www.oie.go.th/sites/default/files/attachments/IndustBasicKnowledge/Master_2.pdf 2548.
- [2] สมาคมยางพาราไทย. “ปริมาณการส่งออกยางธรรมชาติแยกตามประเภทหลัก ปี 2545-2556 (สมาคมยางพาราไทย)”. [Online]. Available:<http://www.thainr.com/th/detail-stat.php?statID=2192555>.
- [3] สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. “ผลผลิตยางธรรมชาติของประเทศไทย”. [Online]. Available: http://www.nesdb.go.th/portals/0/Tasks/dev_ability/Profile/industry/B9%8C.pdf 2549.
- [4] ประภากร สายประสิทธิ์, พรศิวะ รุ่งสว่าง และเสาวลักษณ์ สุริย์. “การศึกษาสารเพิ่มการกระจายตัวในมาสเตอร์แบตช์สารเชื่อมโยง”. โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2554
- [5] Research and Development Centre for Thai Rubber Industry. “คำศัพท์ด้านเทคโนโลยียาง”. [Online]. Available: <http://www.rubbercenter.org/dictionary/index.php?char=M> 2548.
- [6] OKorder India, China. “Plastic materials”. [Online]. Available: http://www.okorder.com/p/rubber-masterbatch-insoluble-sulfur_186175.html 2006.
- [7] Virtual Education in Rubber. “Technology of Ethylene-Propylene Rubber (EPM), Ethylene-Propylene-Diene Rubber (EPDM)”. [Online]. Available: https://www.tut.fi/ms/muo/vert/6_elastomeric_materials/epm_epdm.htm 2009.
- [8] อธิธิพล แจ่มชัด. “เทคโนโลยีการยาง”. เอกสารประกอบการสอนวิชาเทคโนโลยีการยาง กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2551
- [9] Wood E.W. “Maturation or ripening inhibitor release from polymer, fiber, film, sheet or packaging”. [Online] Available: <http://www.google.com/patents/US20110143004> 2004.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รวบรวมไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีการดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] Research and Development Centre for Thai Rubber Industry. “คำศัพท์ด้านเทคโนโลยียาง”. [Online]. Available: <http://www.rubbercenter.org/dictionary/index.php?char=E 2548>.
- [11] Anderson K. “**MOLECULAR STRUCTURE OF ETHYLENE VINYL ACETATE (EVA) COPOLYMERS**”. [Online]. Available: <http://www.vitaldose.com/blog/molecular-structure-ofeva-copolymers/> 2013.
- [12] The Federation of Thai Industries. “**Ethylene Vinyl Acetate (EVA)**”. [Online]. Available: <http://www.fti.or.th/2011/emarket 2011/ftiemarketdetail.aspx?id=4287&memid=1860&emid=0 2006>.
- [13] Roger. “**The Element Sulfur: Structure and Chemical Properties**”. [Online]. Available: <http://www.green-planet-solar-energy.com/the-element-sulfur.html> 2014.
- [14] Alliger G., Mark E. and James E. “**Tire**”. [Online]. Available: http://www.eng.buffalo.edu/Courses/ ce435/2001ZGu/Firestone_Tires/FirestoneTiresReport.htm 2009.
- [15] Graf H-J. and Feng Y. “**EPDM compounds for dynamic applications**”. [Online]. Available: <http://www.google.com/patents/EP1444295A4?cl=en> 2005.
- [16] Leyo. “**TensideHydrophilHydrophob**”. [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:TensideHyrophilHydrophob.png> 2009.
- [17] Konze A. “**Science news**”. [Online]. Available: http://www.neutron.rmutphysics.com/sciencenews/index.php?option=com_content&task=view&id=1686&Itemid=4&limit=1&limit start=7 2006.
- [18] BIC CHEMICAL CO.,LTD. “**สารลดแรงตึงผิวในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ**”. [Online]. Available: http://www.bicchemical.com/index.php?option=com_content&view=article&id=78&lang=en 2550
- [19] ข้อมูลจากบริษัทผู้จำหน่าย: บริษัท Behn Meyer Chemical จำกัด. “**Product Data Sheet Enhance FG[®]**”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [20] ไทยโพลีมิเนอร์ล. “Oxidized Polyethylene Wax”. [Online]. Available: <http://thaipolymineralsplazathai.com/Show756891/2551>.
- [21] ข้อมูลจากบริษัทผู้จำหน่าย: บริษัท Thai Ethoxylate จำกัด. “**Product Data Sheet Dehydrol® LS 3 TH**”
- [22] ข้อมูลจากบริษัทผู้จำหน่าย: บริษัท Thai Ethoxylate จำกัด. “**Product Data Sheet Dehydrol® LS 7 TH**”
- [23] ข้อมูลจากบริษัทผู้จำหน่าย: บริษัท Thai Ethoxylate จำกัด. “**Product Data Sheet Dehydrol® LS 12 TH**”
- [24] Thai Ethoxylate. “สมบัติเฉพาะตัวของของ Dehydrol®”. [Online]. Available: <http://www.tex.co.th/Product.asp?smenuid=18&shmenuid=&nlevel=1&sLang=TH> 2551.
- [25] Thai Ethoxylate. “การนำสารกระจายตัว Dehydrol® ไปใช้ในงานด้านต่างๆ” [Online]. Available: <http://www.tex.co.th/Product.asp?smenuid=19&shmenuid=&nlevel=1> 2551.
- [26] Plastics Institute of Thailand. “เทคโนโลยีการผสมยาง (Mixing)”. [Online]. Available: http://rubber.oic.go.th/box/Article/340mixing_3403_1.pdf 2552.
- [27] ชาญศักดิ์ พัทธ โศภินธุ์. “เครื่องบดผสมพลาสติกหรือยางแบบสองลูกกลิ้ง Two Roll Mill, Test Mixing Roll”. [Online]. Available: <http://www.talad2you.com/automobile/viewitem.php?id=133231> 2551.
- [28] Research and Development Centre For Thai Rubber Industry. “แหล่งความรู้ เทคโนโลยี บริการ วิชาการและข้อมูล เพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย”. [Online]. Available: <http://www.rubbercenter.org/index.php/service/testing-facilities> 2554.
- [29] Lima J.C., Lee M.C., Lima T-K. and Kim B.J. “**Synthesis of sorbital based nonionic surfactants and characterization of interfacial and adhesive properties for waterborne pressure sensitive adhesives**”. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspe*, 2014: 80-89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [30] Kim D-H., Kim J-W., Oh S-G., Han S-H., Chung D.J. and Suh K-D. **“Effects of nonionic surfactant on the rheological property of associative polymers in complex formulations”**. Polymer 48, 2007: 3817-3821
- [31] ข้อมูลจากบริษัทผู้จำหน่าย: บริษัท Struktol จำกัด. **“Rubber Handbook”**. หน้า 54
- [32] Hayes D.G. , Alkhatib M.H. , Rio J.G. del and Urban V.S. **“Physicalchemical characterization of water-in-oil microemulsions formed by a binary 1,3-dioxolane alkyl ethoxylate/Aerosol-OT surfactant system”**. Colloids and Surface A 417, 2013: 94-110



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ผลของสมบัติเชิงกล เมื่อชนิดของสารกระจายตัวแตกต่างกันในมาสเตอร์แบตช์
กำมะถัน และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง

Mechanical properties	Sulfur powder curative	Masterbatch with dispersing agent			
		EnHance [®] FG	Dehydol [®] LS 3 TH	Dehydol [®] LS 7 TH	Dehydol [®] LS 12 TH
Tensile strength (MPa)	5.9±0.3	5.7±0.2	5.2±0.2	5.8±0.2	5.3±0.1
%Elongation at break	1008±51	972±35	905±49	994±30	895±8
Rubber modulus, M_{100} (MPa)	1.0±0.1	0.9±0.4	1.0±0.0	1.0±0.1	1.1±0.1
Hardness (Shore A)	54.6±0.3	54.8±0.3	54.3±0.8	52.4±2.6	54.1±0.8

ตารางที่ 2 ผลของสมบัติเชิงกล เมื่อปริมาณของสารกระจายตัวแตกต่างกันในมาสเตอร์แบตช์
กำมะถัน และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง

Mechanical properties	Sulfur powder curative	ปริมาณ EnHance [®] FG % of curative		
		1.5	3.0	4.5
Tensile strength (MPa)	5.9±0.3	6.1±0.4	5.5±0.2	6.2±0.3
%Elongation at break	1008±51	1136±40	934±52	1101±47
Rubber modulus, M_{100} (MPa)	1.0±0.1	1.0±0.1	1.1±0.1	1.0±0.1
Hardness (Shore A)	54.6±0.3	38.4±3.8	40.4±3.2	36.3±3.9

ตารางที่ 3 ผลของสมบัติเชิงกล เมื่อปริมาณของยางหลัก (EPDM/EVA blends) แตกต่างกันใน
มาสเตอร์แบตช์กำมะถันและการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง

Mechanical properties	Sulfur powder curative	EPDM/EVA ratio		
		80/20	70/30	60/40
Tensile strength (MPa)	5.9±0.3	5.6±0.3	6.1±0.2	6.3±0.2
%Elongation at break	1008±51	1006±43	1117±44	1181±44
Rubber modulus, M_{100} (MPa)	1.0±0.1	1.0±0.0	1.0±0.1	1.0±0.0
Hardness (Shore A)	54.6±0.3	42.8±2.9	37.6±4.2	39.6±5.1

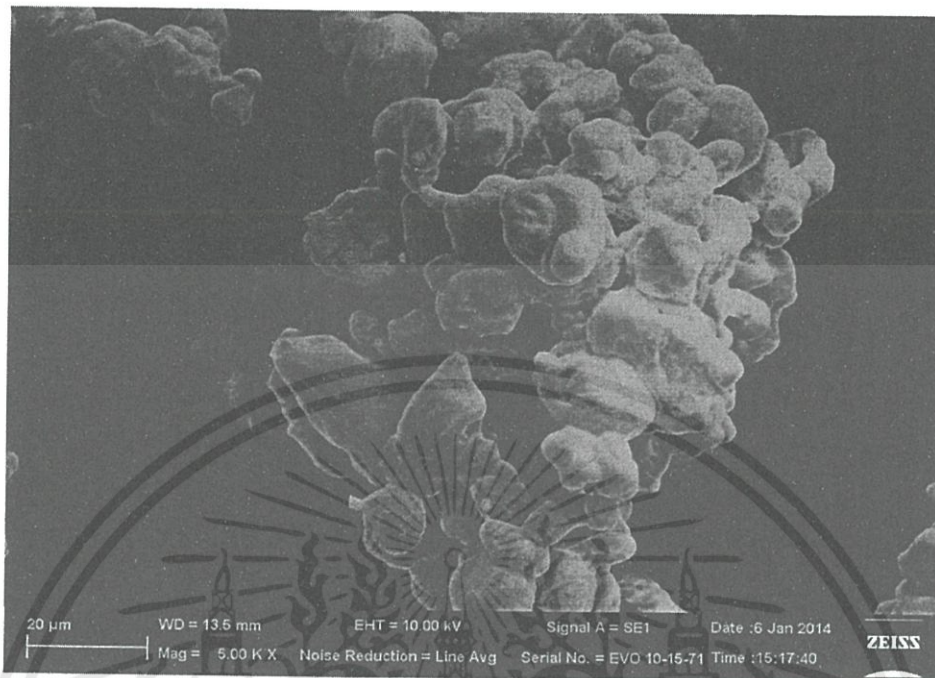
ตารางที่ 4 ผลของสมบัติเชิงกล เมื่อชนิดของกำมะถันแตกต่างกันในมาสเตอร์แบตช์กำมะถัน และการใช้สารเชื่อมโยงแบบผง

Mechanical properties	Conventional powder Curative	Sulfur	
		Soluble sulfur	Insoluble sulfur
Tensile strength (MPa)	5.9±0.3	6.7±0.2	6.5±0.1
%Elongation at break	1008±51	1291±49	1283±49
Rubber modulus, M_{100} (MPa)	1.0±0.1	0.9±0.1	0.9±0.1
Hardness (Shore A)	54.6±0.3	38.8±2.4	37.8±2.2

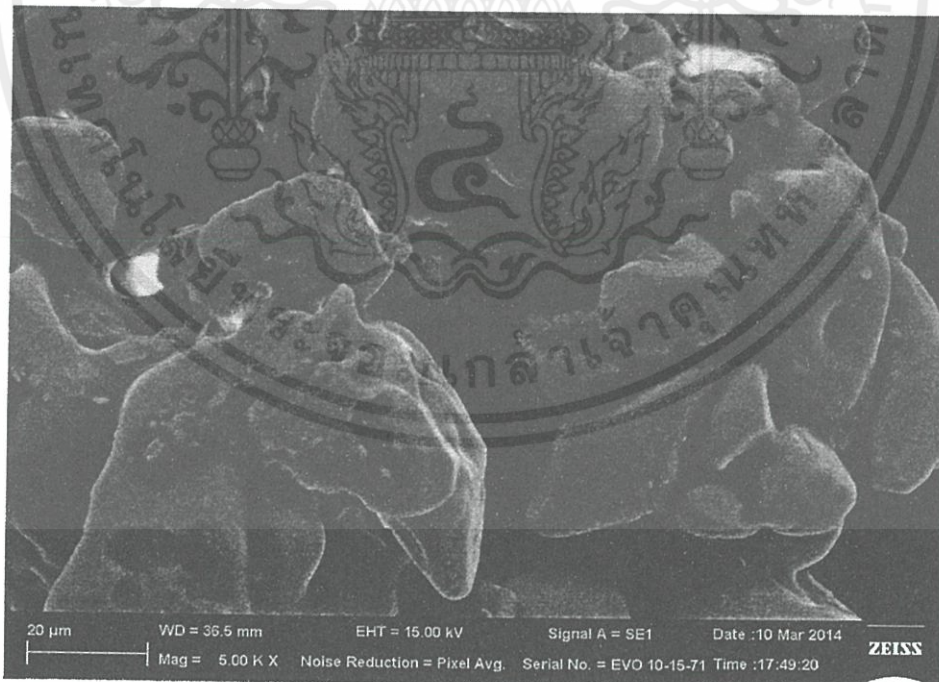


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปภาพจากกล้อง SEM



รูปที่ ก. ผงกำมะถันชนิดละลาย (Soluble sulfur)



รูปที่ ข. ผงกำมะถันชนิดไม่ละลาย (Insoluble sulfur)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาในสิ่งพิมพ์นี้โดยเด็ดขาด ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้