

การพัฒนาสูตรยางทำความสะอาดเครื่องฉีดยาง

FORMULA DEVELOPMENT OF RUBBER CLEANING COMPOUND
FOR INJECTION MOLDING MACHINE

นางสาวกชุนมา	กตัญญู
นางสาวชาวี	คำครุฑ
นายศุภวิช	ทองเกิดสุข

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การพัฒนาสูตรยางทำความสะอาดเครื่องฉีดยาง

FORMULA DEVELOPMENT OF RUBBER CLEANING COMPOUND
FOR INJECTION MOLDING MACHINE

นางสาวกุสุมา	กลิ่นภักดี
นางสาวชาวดี	คำครุฑ
นายศุภวิช	ทองเกิดสุข

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

**FORMULA DEVELOPMENT OF RUBBER CLEANING COMPOUND
FOR INJECTION MOLDING MACHINE**

Miss KUSUMA KLANPHAKDEE
Miss CHAWADEE KUMKROOT
Mr. SUPPAWICH KONGGERDSUK

**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**

หัวข้อโครงการพิเศษ

การพัฒนาสูตรยางทำความสะอาดเครื่องฉีดยาง
Formula Development of Rubber Cleaning Compound for
Injection Molding Machine

ชื่อนักศึกษา

นางสาวกุสุมา กลั่นภักดี 53050173
นางสาวชาวดี คำครุฑ 53050207
นายศุภวิช กองเกิดสุข 53050365

ปริญญา

วิทยาศาสตรบัณฑิต


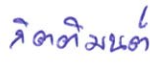

สาขาวิชา

เคมีอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
อุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สุภารัตน์ รัชชลธิ์	
ดร.กิตติมนต์ จิระกิตติคุณย์	
รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การพัฒนาสูตรยางทำความสะอาดเครื่องฉีดยาง	
นักศึกษา	นางสาวกฤษมา	กัณณ์ภักดิ์
	นางสาวชาวดี	คำครุฑ
	นายสุภวิช	ทองเกิดสุข
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต	
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2556	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด	

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาสูตรยางทำความสะอาดเครื่องฉีดยางสำหรับอุตสาหกรรม โดยใช้ยางหลักได้แก่ ยางอีพดีเอ็ม (Ethylene-Propylene Diene Rubber, EPDM) ผสมกับเอทีลีนไวนิลอะซีเตต (Ethylene Vinyl Acetate, EVA) ใช้ซิลิกาชนิดตกตะกอน (Precipitated Silica) เป็นสารตัวเติม ใช้ไขมันแอลกอฮอล์อีทอกซีเลต (Fatty Alcohol Ethoxylate, FAE) เป็นสารลดแรงตึงผิว และใช้โมโนเอทานอลามีน (Mono Ethanolamine, MEA) เป็นสารทำความสะอาด ทำการผสมโดยใช้เครื่องผสมระบบเปิดแบบสองลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาปริมาณสารตัวเติม (20-60 phr) อัตราส่วนของยางหลัก (EPDM/EVA) เท่ากับ 100/0, 85/15 และ 70/30 ปริมาณสารลดแรงตึงผิว (0-20 phr) และปริมาณสารทำความสะอาด (0-30 phr) ที่มีผลต่อสมบัติของยางทำความสะอาดเครื่องฉีดยาง โดยศึกษาจากสมบัติต่างๆ เช่น ความหนืดมูนี สมบัติการไหลด้วย Capillary Rheometer และทดสอบการทำความสะอาดกับเครื่องฉีดยางที่ใช้งานจริงครั้งละ 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร 7 ครั้ง สังเกตผลที่ได้ด้วยตาเปล่าและการวัดสี D65/10° จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซิลิกาทำให้ความหนืดสูงขึ้นและประสิทธิภาพการทำความสะอาดดีขึ้น ปริมาณซิลิกาที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้คือ 60 phr จากการศึกษ้อัตราส่วนยางหลัก EPDM/EVA พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ EVA ในยาง ทำให้ประสิทธิภาพการทำความสะอาดดีขึ้น การใช้อัตราส่วน 70/30 มีประสิทธิภาพในการทำความสะอาดสูงสุด จากการศึกษการใช้สารลดแรงตึงผิวและสารทำความสะอาด พบว่าสารทั้งสองทำให้ประสิทธิภาพการทำความสะอาดลดลง

คำสำคัญ : ยางอีพดีเอ็ม, เอทีลีนไวนิลอะซีเตต, ซิลิกาชนิดตกตะกอน, ไขมันแอลกอฮอล์อีทอกซีเลต, โมโนเอทานอลามีน

Title	Formulation Development of Rubber Cleaning Compound for Injection Molding Machine	
Students	Miss Kusuma	Klanphakdee
	Miss Chawadee	Kumkroot
	Mr. Suppawich	Konggerdsuk
Degree	Bachelor of Science	
Major Program	Industrial Chemistry	
Academic Year	2013	
Advisor	Assoc.Prof.Dr. Ittipol Jangchud	

ABSTRACT

This research work was focused on development of rubber compounds for cleaning injection molding machine in rubber industries. The rubber matrices based on blends of Ethylene-Propylene Diene Rubber (EPDM) and Ethylene Vinyl Acetate (EVA). Precipitated Silica was used as filler. Fatty Alcohol Ethoxylate (FAE) was used as a surfactant and monoethanolamine (MEA) was used as an active cleaning agent. Rubber compounds were mixed by using a two-roll mill. Silica loading (20-60 phr), ratios of EPDM/EVA (100/0, 85/15, and 70/30), and effects of FAE (0-20 phr) and MEA (0-30 phr) were studied. The compounds were determined mooney viscosity and flow curves via capillary rheometer. The cleaning efficiency was investigated by using 500 cm³ of rubber compounds for seven cycles. After each cleaning process, the rubber compounds were examined by visual and colorimeter (D65/10°). It was found that rubber viscosity and cleaning efficiency increased with increasing silica loading. The suitable silica filler loading was found at 60 phr. As the EVA in EPDM/EVA ratio increased, the cleaning ability was increased. The highest cleaning efficiency was found with the compound of EPDM/EVA at 70/30. By adding FAE surfactant and MEA cleaning agent, the cleaning efficiency was surprisingly deteriorated.

Keywords : Ethylene-Propylene Diene Rubber, Ethylene Vinyl Acetate, Precipitated silica, Fatty Alcohol Ethoxylate, Mono Ethanolamine

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์ และบุคคลหลายฝ่ายที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อความสมบูรณ์ของโครงการพิเศษนี้ ทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณผู้ให้ความช่วยเหลือ ดังมีรายนามต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษเป็นอย่างสูงที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ และ ดร.กิตติมนต์ จิระกิตติคุณย์ ที่กรุณาเป็นกรรมการตลอดจนให้คำแนะนำโครงการพิเศษนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่บริษัท เอส.เค. โพลีเมอร์ จำกัด ที่ให้ความช่วยเหลือสารเคมีและอำนวยความสะดวกในการทดสอบความสะอาด รวมทั้งให้คำปรึกษาในการทำโครงการพิเศษนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณกฤษณะ เกษประคิษฐ์ และคุณสุคใจ สอนสะอาด เจ้าหน้าที่ Polymer Workshop สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผู้สอนวิธีใช้เครื่องมือและคอยอำนวยความสะดวกทุกอย่าง

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความร่วมมืออำนวยความสะดวก ในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และบุคคลในครอบครัว รวมทั้งเพื่อน ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ และกำลังใจตลอดในการทำโครงการพิเศษ

นางสาวกุสุมา	กลั่นภักดี
นางสาวชาวดี	คำครุฑ
นายศุภวิช	กองเกิดสุข

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินงาน	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ข้อมูลการทำความสะอาดแม่พิมพ์	4
2.2 วัสดุที่ใช้ในการทำความสะอาดเครื่องฉีดยาง	8
2.2.1 ยางเอทิลีนพโรพิลีนไดอินหรือยาง EPDM (Ethylene-Propylene Diene Rubber)	8
2.2.2 ยางเอทิลีนไวนิลอะซิเตตหรืออีวีเอ (Ethylene Vinyl Acetate; EVA)	10
2.2.3 สารเติมแต่ง (Additives)	12
2.2.3.1 สารตัวเติม (Filler)	12
2.2.3.2 สารช่วยในการผลิต (Processing Aids)	15
2.2.3.3 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant)	16
2.2.3.4 สารทำความสะอาด (Cleaning Agent)	22
2.2.3.5 สารคู่ควบไซเลน (Silane Coupling Agent)	22

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.2.3.6 สารให้สี (Colorants)	24
2.3 พอลิเมอร์ผสม	25
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
2.5 ยางล้างแม่แบบทางการค้าที่ใช้ในปัจจุบัน	30
2.5.1 Struktoi [®] MC-A	30
2.5.2 Super Clean [®] และ Super Wax [®]	30
2.5.3 Elastowet [®]	32
2.5.4 Glo-mold [®]	32
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	34
3.1 แผนการดำเนินงาน	34
3.2 สารเคมีและอุปกรณ์	34
3.3 วิธีการทดลอง	35
3.3.1 การเตรียมยางผสมสูตร	35
3.3.2 การศึกษาสมบัติของยางทำความสะอาดเครื่องฉีดยาง	36
3.3.2.1 การศึกษาความหนืดมูนี้	36
3.3.2.2 การศึกษาความสามารถในการไหล	36
3.3.2.3 การทดสอบสมบัติการทำความสะอาดเครื่องฉีดยาง	37
3.3.2.4 การวัดสี	37
3.4 สรุปแผนภาพแสดงการดำเนินงานของงานวิจัย	39
การพัฒนาสูตรยางทำความสะอาดเครื่องฉีดยาง	
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล	40
4.1 ศึกษาปริมาณสารตัวเติมซิลิกา	40
4.2 ศึกษาอัตราส่วนยางหลัก	48
4.3 ศึกษาปริมาณสารลดแรงตึงผิว	55
4.4 ศึกษาปริมาณสารทำความสะอาดร่วมกับสารลดแรงตึงผิว	62
4.5 การวิเคราะห์ต้นทุนของยางทำความสะอาดเครื่องฉีดยาง	74

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	76
5.1 สรุปผลการทดลอง	76
5.2 ข้อเสนอแนะ	77
เอกสารอ้างอิง	

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบการทำความสะอาดแม่แบบวิธีต่างๆ	7
ตารางที่ 2.2 สมบัติของ EVA ที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณของไวนิลอะซีเตตใน โมเลกุล	11
ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบสมบัติของสารลดแรงตึงผิว	19
ตารางที่ 2.4 สมบัติจำเพาะของสารลดแรงตึงผิว FAE	21
ตารางที่ 2.5 สภาวะที่แนะนำในการใช้ขึ้นรูปสำหรับ Manual Mold	31
ตารางที่ 2.6 สภาวะที่แนะนำในการใช้ขึ้นรูปสำหรับ Auto Mold	32
ตารางที่ 3.1 สูตรยางทำความสะอาดเครื่องฉีดที่ใช้ในงานวิจัย	35
ตารางที่ 4.1 ต้นทุนวัตถุดิบของยางทำความสะอาดเครื่องฉีดยาง ต่อ 1 กิโลกรัม สำหรับยางผสมสูตรที่มีปริมาณซิลิกา 60 phr ยางผสมสูตรที่มีอัตราส่วนยาง EPDM70/EVA30/Silica 60 phr	75

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของยาง EPDM	8
รูปที่ 2.2 สูตรโครงสร้างของ Diene ที่มีอยู่ในยาง EPDM	9
รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตต	10
รูปที่ 2.4 ลักษณะหมู่ไฮดรอกซิลบนพื้นผิวของซิลิกา	14
รูปที่ 2.5 โมเดลแสดงลักษณะโครงสร้างของซิลิกา	14
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของน้ำมันพาราฟิน	16
รูปที่ 2.7 น้ำมันจากปิโตรเลียมสำหรับยาง จำแนกโดยน้ำหนักโมเลกุลและความมีขี้	16
รูปที่ 2.8 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว	17
รูปที่ 2.9 โครงสร้างของ (Mono Ethanolamine; MEA)	22
รูปที่ 2.10 โครงสร้างของสารคู่ควบไฮดรอกซิล Si-69	23
รูปที่ 2.11 ลักษณะโครงสร้างผลึกของไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO ₂)	24
รูปที่ 3.1 มาตรฐานส่วนแสดงค่า L*, a* และ b* แบบสามมิติ	38
รูปที่ 4.1 ยางที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยผงผสมสูตร ที่มีปริมาณซิลิกา 20, 40 และ 60 phr โดยทำการฉีดจำนวน 7 ครั้ง	42
รูปที่ 4.2 ลักษณะยางทำความสะอาดเมื่อผ่านการรีดผสมด้วย เครื่องผสมระบบเปิดแบบสองลูกกลิ้ง ในสูตรที่มีปริมาณซิลิกา 20, 40 และ 60 phr	43
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่าง (L*) กับจำนวนครั้งในการทำความสะอาด เครื่องฉีดยาง ในสูตรยางที่มีปริมาณซิลิกา 20, 40 และ 60 phr	45
รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบยางหลังการฉีดทำความสะอาดครั้งที่ 3 ในสูตรยางที่มีปริมาณซิลิกา 20, 40 และ 60 phr	46
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่าง (L*) กับจำนวนครั้งในการทำความสะอาด เครื่องฉีดยางในสูตรยางที่มีปริมาณซิลิกา 20, 40 และ 60 phr	46
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Viscosity กับ Shear rate ของยางผสมสูตร EPDM100/Silica40 และ EPDM100/Silica60	47
รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบค่าความหนืดมูนี (ML1+4(100°C)) กับปริมาณซิลิกา ในสูตรที่มีปริมาณซิลิกา 20, 40 และ 60 phr	47

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.8 ยางที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่มีอัตราส่วนยาง EPDM/EVA ที่ 100/0, 85/15 และ 70/30	49
รูปที่ 4.9 ลักษณะยางทำความสะอาดเมื่อผ่านการรีดผสมด้วย Two-Roll Mill ในอัตราส่วนยาง EPDM/EVA ที่ 100/0, 85/15 และ 70/30	50
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่าง (L*) กับจำนวนครั้งในการทำความสะอาด เครื่องฉีดยาง ในอัตราส่วนยาง EPDM85/EVA15/Silica60 และ EPDM70/EVA30/Silica60	52
รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบยางหลังการทำความสะอาดครั้งที่ 3 ในสูตรที่มี อัตราส่วนยางหลัก EPDM/EVA ที่ 100/0, 85/15 และ 70/30	53
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่าง (L*) กับจำนวนครั้งในการทำความสะอาด เครื่องฉีดยาง ในอัตราส่วนยาง EPDM/EVA ที่ 100/0, 85/15 และ 70/30	53
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Viscosity กับ Shear Rate ในอัตราส่วนยาง EPDM/EVA ที่ 100/0 และ 70/30	54
รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบค่าความหนืดมูนนี่ (ML1+4(100°C)) กับอัตราส่วนยาง EPDM/EVA ที่ 100/0, 85/15 และ 70/30	54
รูปที่ 4.15 ยางที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตร ที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิว FAE 0, 5, 10 และ 20 phr	56
รูปที่ 4.16 ลักษณะยางทำความสะอาดเมื่อผ่านการรีดผสมด้วย Two-Roll Mill ในสูตรยางที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิว FAE 0, 5, 10 และ 20 phr	57
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่าง (L*) กับจำนวนครั้งในการทำความสะอาด เครื่องฉีดยาง ในสูตรที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิว FAE 5, 10 และ 20 phr	59
รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบยางหลังการทำความสะอาดครั้งที่ 3 ในสูตรที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิว 0-20 phr	60
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่าง (L*) กับจำนวนครั้งในการทำความสะอาด เครื่องฉีดยาง ในสูตรที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิว 0-20 phr	61

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Viscosity กับ Shear Rate ในสูตรที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิว 0 และ 5 phr	61
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความหนืดมูนนี่ (ML1+4(100°C)) กับปริมาณสารลดแรงตึงผิว 0-20 phr ในอัตราส่วนยาง EPDM70/EVA30/Silica60	62
รูปที่ 4.22 ยางที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตร ในปริมาณ FAE/MEA ที่แตกต่างกัน	64
รูปที่ 4.23 ลักษณะยางทำความสะอาดเมื่อผ่านการรีดผสมด้วย Two-Roll Mill ในสูตรที่มีปริมาณ FAE/MEA ที่แตกต่างกัน	65
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่าง (L*) กับจำนวนครั้งในการทำความสะอาด เครื่องฉีดยางในสูตรที่มีปริมาณ FAE5/MEA10 phr, FAE5/MEA20 phr, FAE5/MEA30 phr และ FAE0/MEA10 phr	68
รูปที่ 4.25 การเปรียบเทียบยางหลังการทำความสะอาดครั้งที่ 3 ในสูตรที่มีปริมาณสารทำความสะอาด 10-30 phr	69
รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่าง (L*) กับจำนวนครั้งในการทำความสะอาด เครื่องฉีดยาง ในสูตรที่มีปริมาณสารทำความสะอาด 10-30 phr	70
รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Viscosity กับ Shear Rate ในสูตรที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่อสารทำความสะอาด 5/0, 5/10 และ 0/10	70
รูปที่ 4.28 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความหนืดมูนนี่ (ML1+4(100°C)) กับปริมาณสารทำความสะอาด 10-30 phr ที่อัตราส่วนยาง EPDM70/EVA30/Silica60	71
รูปที่ 4.29 ภาพแสดงการเปรียบเทียบยางหลังการทำความสะอาดครั้งที่ 3 ของยางผสมสูตรในแต่ละตอน	72
รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่าง (L*) กับจำนวนครั้งในการทำความสะอาด เครื่องฉีดยางของยางผสมสูตรในแต่ละตอน	73

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Viscosity กับ Shear Rate ของยางผสมสูตร ในแต่ละตอน	73
รูปที่ 4.32 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความหนืดมูนี่ (ML1+4(100°C)) ของยางผสมสูตรในแต่ละตอน	74

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ปัจจุบันนี้อุตสาหกรรมการแปรรูปยางในประเทศไทยมีอย่างแพร่หลาย เช่น อุตสาหกรรมทางด้านยานยนต์ การแพทย์ อิเล็กทรอนิกส์ และวิศวกรรม เป็นต้น โดยมีตั้งแต่อุตสาหกรรมขนาดย่อม (SMEs) ไปจนถึงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ซึ่งในอุตสาหกรรมการแปรรูปยางนี้มีการแปรรูปยางอยู่หลายประเภทด้วยกัน เนื่องจากยางมีสมบัติเด่น คือ มีสมบัติการยืดหด (Elastic), ยืดหยุ่น (Flexible) และเหนียว (Tough) สามารถเปลี่ยนรูปร่างและกลับคืนรูปร่างเดิมได้อย่างรวดเร็ว ด้วยสมบัติของยางดังกล่าวทำให้มีการขึ้นรูปยางหลากหลาย หนึ่งในกระบวนการแปรรูปที่นิยมคือ การแปรรูปยางโดยการฉีดขึ้นรูป (Injection Molding) ซึ่งการใช้งานเครื่องฉีดขึ้นรูปนั้นมักเกิดปัญหาที่ตามมาคือ ปัญหาในการทำความสะอาดสกรูของเครื่องฉีด อันเกิดเนื่องมาจากเนื้อยางที่เหลืตกค้างก่อนหน้า, สารเคมีต่างๆ น้ำมันแว็กซ์ และสารเติมแต่งต่างๆ จะสามารถติดในชิ้นส่วนภายในเครื่อง เช่น สกรูและบาร์เรล ทำให้ยางเกิดการปนเปื้อนของสารเคมี หรือเศษต่างๆ ที่อยู่ภายในสกรู ส่งผลให้การขึ้นรูปครั้งต่อไปผลิตภัณฑ์ที่ออกมา เกิดรอยตำหนิ เกิดเป็นของเสียหรือของด้อยคุณภาพ ไม่สามารถส่งต่อไปให้ผู้บริโภคได้ จึงจำเป็นต้องมีการทำความสะอาดสกรูให้สะอาด

วิธีการทำความสะอาดเครื่องฉีดยางที่ใช้กันทั่วไปตามโรงงานอุตสาหกรรม [1] คือ

1.การใช้น้ำยาล้างทำความสะอาด ประเภทของน้ำยาที่ใช้มีดังนี้

- น้ำยาล้างทำความสะอาดชนิดที่มีตัวทำละลาย ตัวทำละลายที่ใช้จะมีฤทธิ์กัดกร่อนที่รุนแรง ทำให้เครื่องฉีดยางเกิดการสึกกร่อน และสารเคมีนี้มีกลิ่นเหม็น เป็นอันตรายและส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม
- น้ำยาทำความสะอาดชนิดที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย วิธีนี้จะทำให้เครื่องฉีดยางเป็นสนิมได้ง่าย

2.การใช้ยางคืบไล่สิ่งสกปรก วิธีนี้ จะใช้ยางคอมปาวด์ที่เตรียมขึ้นรูปในครั้งต่อไป มาไล่สิ่งสกปรกของเก่าออก ซึ่งวิธีนี้จะไม่สามารถรู้ได้เลยว่า สิ่งสกปรกออกหมดแล้วหรือยัง และยังสิ้นเปลืองยางเป็นจำนวนมากอีกด้วย

อุตสาหกรรมขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางในประเทศไทย เช่น บริษัท เอส.เค. โพลีเมอร์ จำกัด ได้ประสบปัญหาในการทำความสะอาดเครื่องฉีดยาง ซึ่งวิธีที่ทางบริษัทใช้อยู่ในปัจจุบันคือ การใช้ยางดิบปริมาณมากฉีดไล่สิ่งสกปรกออก ทำให้เสียเวลาในการผลิตสินค้า, ผลิตสินค้าได้น้อย, กำลังการผลิตลดลง, ประสิทธิภาพในการผลิตลดลงและยังเสียค่าใช้จ่ายสูง

จากปัญหาในการทำความสะอาดเครื่องฉีดขึ้นรูปที่ได้กล่าวมาข้างต้น จึงได้มีการค้นคว้าพัฒนาสูตรยางล้างทำความสะอาดเครื่องฉีดขึ้นรูป เพื่อลดเวลาในการทำความสะอาดเครื่องฉีด และแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต เช่น ปัญหาการสึกกร่อน ประสิทธิภาพในการผลิต ระยะเวลาที่ใช้ในการทำความสะอาด ซึ่งจะส่งผลให้กำลังการผลิตของอุตสาหกรรมเพิ่มสูงขึ้น อุตสาหกรรมมีประสิทธิภาพในการผลิตมากขึ้น

แต่ยางล้างเครื่องที่ขายตามท้องตลาดนั้นมีราคาค่อนข้างสูง และต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศทำให้ต้นทุนการนำเข้ายางล้างเครื่องสูงมาก จึงได้มีการร่วมวิจัยพัฒนาสูตรยางล้างเครื่องฉีดขึ้นรูปขึ้นระหว่างบริษัท เอส.เค. โพลีเมอร์ จำกัด และภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อที่จะผลิตยางทำความสะอาดเครื่องฉีดยางที่สามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมได้จริง ทำให้ต้นทุนในการทำความสะอาดเครื่องฉีดยางลดลง มีกำลังการผลิตเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการผลิตดีขึ้น และอายุการใช้งานของเครื่องฉีดยางนานขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาสูตรยางทำความสะอาดเครื่องฉีดยาง (Injection Molding) ที่สามารถทำความสะอาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเน้นศึกษาปริมาณของสารตัวเติม (Filler) อัตราส่วนของยางหลัก ปริมาณสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) และปริมาณของสารทำความสะอาด (Cleaning Agent)

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาปริมาณสารตัวเติมซิลิกาที่ 20, 40 และ 60 phr
 2. ศึกษาอัตราส่วนของยางหลัก EPDM/EVA
 3. ศึกษาปริมาณสารลดแรงตึงผิว Fatty Alcohol Ethoxylate (FAE) ที่ 0, 5, 10 และ 20 phr
 4. ศึกษาปริมาณสารทำความสะอาด Mono Ethanolamine (MEA) ที่ 0, 10, 20 และ 30 phr
- เมื่อใช้ร่วมกับสารลดแรงตึงผิว Fatty Alcohol Ethoxylate (FAE)

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ออกสูตรยางทำความสะอาดเครื่องฉีดยาง
3. ศึกษาปริมาณของสารตัวเติม (Filler) สารตัวเติมที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ซิลิกา (Silica)
4. ศึกษาอัตราส่วนของยางหลัก ยางที่เลือกใช้ในงานวิจัย นี้ ได้แก่ ยางเอทิลีน โพรพิลีน ได-อีน (Ethylene-Propylene Diene Rubber; EPDM) และยางเอทิลีน ไวนิลอะซิเตต (Ethylene Vinyl Acetate; EVA)
5. ศึกษาปริมาณสารลดแรงตึงผิว สารลดแรงตึงผิวที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ Fatty Alcohol Ethoxylate (FAE)
6. ศึกษาปริมาณสารทำความสะอาด Mono Ethanolamine (MEA)
7. ทดสอบสมบัติของยางที่เตรียมได้ ได้แก่
 - ทดสอบความหนืดมูนนี้
 - ทดสอบความสามารถในการไหล (Rheology)
 - ทดสอบประสิทธิภาพในการทำความสะอาดเครื่องฉีดยางกับการใช้งานจริง
 - การทดสอบการวัดสี

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถผลิตยางทำความสะอาดเครื่องฉีดยาง โดยสามารถนำไปใช้ในการใช้งานจริงได้
2. ช่วยลดต้นทุนได้คอมพิวเตอร์ทำความสะอาดเครื่องฉีดยางที่มีประสิทธิภาพและราคาถูกลง

เวลาการผลิตให้กับอุตสาหกรรมการแปรรูปผลิตภัณฑ์ยาง

3. ช่วยสนับสนุนอุตสาหกรรมยางแปรรูปในประเทศไทยเพิ่มมูลค่ายางและเพื่อการส่งออก

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลการทำความสะอาดแม่พิมพ์

วิธีการทำความสะอาดแม่พิมพ์ที่ใช้กันทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรมมีหลายวิธีดังที่กล่าวใน บทที่ 1 ข้อมูลการทำความสะอาดแม่แบบที่จะอ้างถึงต่อไปนี้เป็นข้อมูลการทำความสะอาดแม่พิมพ์ที่ บริษัท เอส.เค. โพลีเมอร์ จำกัด ซึ่งมีวิธีการทำความสะอาดแม่พิมพ์ดังต่อไปนี้

1. การทำความสะอาดแม่พิมพ์โดยการขัดด้วยสก็อตช์ไบรด์หรือแปรงทองเหลือง[1]

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำความสะอาดแม่พิมพ์

- น้ำมันก๊าด
- ทองเหลืองเส้น
- สก็อตช์ไบรด์หรือแปรงทองเหลือง

วิธีการ

- เทน้ำมันก๊าดลงบนแม่พิมพ์ทิ้งไว้ 5 นาทีเพื่อให้เศษยางและคราบเคมีเก่าที่ติดบริเวณผิวแม่พิมพ์พองตัว
- ใช้ทองเหลืองเส้นแคะบริเวณร่องลึก และใช้สก็อตช์ไบรด์ขัดบริเวณที่เป็นผิวหน้าของแม่พิมพ์

ผลที่ได้รับ

คราบเคมีและเศษยางเก่ายังออกไม่หมด สังเกตได้จากการอัดชิ้นงานในครั้งแรกหลังจากทำความสะอาด ซึ่งพบว่าชิ้นงานมีผิวไม่เรียบ แสดงให้เห็นว่าแม่พิมพ์ยังคงมีคราบเคมีและเศษยางเก่าติดค้างอยู่

2. การทำความสะอาดแม่พิมพ์โดยการจ้างบริษัทรับทำความสะอาดแม่แบบ[1]

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำความสะอาดแม่แบบ

- หินขัด (Super Stone)
- กระดาษทราย
- แปรงทองเหลือง

วิธีการ

- ใช้หินขัด ขัดในร่อง
- ใช้กระดาษทรายหรือแปรงทองเหลืองขัดบริเวณผิวหน้า

ผลที่ได้รับ

คราบเคมีและเศษยางเก่ายังออกไม่หมด โดยสังเกตได้จากการอัดชิ้นงานในครั้งแรก หลังจากการทำความสะอาด ซึ่งพบว่าชิ้นงานมีผิวไม่เรียบ จึงต้องใช้พนักงานขัดซ้ำอีกครั้ง แต่ใช้เวลาในการทำสะอาดน้อยกว่าการใช้พนักงานขัดเองทั้งหมด

จากวิธีการทำความสะอาดแม่พิมพ์ที่กล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการทำสะอาดต่ำ จึงได้ใช้การทำความสะอาดแม่พิมพ์ด้วยยางล้างแม่พิมพ์ ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพในการทำสะอาดดีกว่า

3. ยางล้างแม่พิมพ์

ยางล้างแม่พิมพ์ที่ใช้ในการทำสะอาดแม่พิมพ์นี้ มีชื่อทางการค้าว่า Struktol[®]MC-A

วิธีการ

- ทำการกดอัดยางล้างแม่แบบ

ผลที่ได้รับ

คราบเคมีและเศษยางเก่าติดออกมากับยางล้างแม่พิมพ์ สามารถทำความสะอาดแม่แบบได้ดีกว่า สองวิธีแรก สังเกตได้จากการอัดชิ้นงานในครั้งแรกหลังจากทำความสะอาด พบว่าชิ้นงานไม่มีคราบสกปรก ผิวของชิ้นงานเรียบ และสวยงาม

การทดสอบประสิทธิภาพของยางล้างแม่แบบ Struktol[®]MC-A

การทดสอบครั้งที่ 1 เป็นการทำความสะอาดแม่แบบที่ยังไม่ได้ผ่านการทำความสะอาดด้วยวิธีใดๆเลย พบว่าต้องทำความสะอาดแม่แบบ 7 ครั้ง แม่แบบจึงจะสะอาด สังเกตได้จากคราบที่ติดที่ยางล้างแม่แบบ โดยการทำความสะอาดในครั้งที่ 7 นี้ยางล้างแม่แบบมีคราบสกปรกติดอยู่น้อยมาก และสังเกตได้จากชิ้นงานในโพรงแบบ (Cavity) ที่ถูกทำความสะอาดพบว่า ไม่มีคราบสกปรกตกค้างเมื่อเทียบกับชิ้นงานในโพรงแบบ ที่ไม่ได้ทำความสะอาด[1]

การทดสอบครั้งที่ 2 เป็นการทำความสะอาดแม่แบบหลังจากการทดสอบครั้งที่ 1 เป็นเวลา 3 วัน พบว่าต้องทำความสะอาดแม่แบบ 3 ครั้ง แม่แบบจึงสะอาด โดยสังเกตจากคราบสกปรกที่ติดที่ยางล้างแม่แบบ และสังเกตได้จากชิ้นงานในโพรงแบบ ที่ถูกทำความสะอาด ซึ่งจะไม่มีคราบสกปรกตกค้างเมื่อเทียบกับชิ้นงานในโพรงแบบ ที่ไม่ได้ทำความสะอาด[1]

ที่ยางล้างแม่แบบ และสังเกตได้จากชิ้นงานในโพรงแบบ ที่ถูกทำความสะอาด ซึ่งจะไม่มีคราบสกปรกตกค้างเมื่อเทียบกับชิ้นงานในโพรงแบบ ที่ไม่ได้ทำความสะอาด[1]

จากการทดลองข้างต้น จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ยางล้างแม่แบบทำความสะอาดจะใช้เวลาในการทำความสะอาดแม่แบบน้อยกว่าการขัดด้วยสก็อตช์ไบรด์หรือแปรงทองเหลืองและการจ้างบริษัทรับทำความสะอาดแม่แบบ เนื่องจากไม่ต้องเสียเวลาในการขัด และชิ้นงานมีผิวที่เรียบและสวยงามมากกว่าการทำความสะอาดแม่แบบโดยการขัดด้วยสก็อตช์ไบรด์หรือการจ้างบริษัททำความสะอาดแม่แบบ ดังตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบการทำความสะอาดแม่แบบวิธีต่างๆ

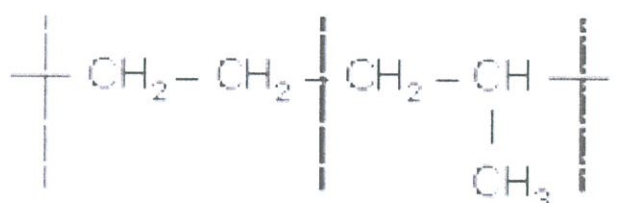
ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบการทำความสะอาดแม่แบบวิธีต่างๆ [1]

การทำความสะอาดโดยการขัดด้วยพนักงาน	การทำความสะอาดโดยการจ้างบริษัทข้างนอก	การทำความสะอาดโดยการใช้คอมพิวเตอร์ทำความสะอาดแม่แบบ
<ol style="list-style-type: none"> 1. แม่แบบไม่สะอาดยังมีคราบเคมีเกาะอยู่ที่ผิว 2. รอบในการทำความสะอาดคือ 2-3 ต่อ 1 ครั้ง 3. ระยะเวลาที่ใช้ในการทำความสะอาด คือ 2-3 วัน ต่อ 1 ครั้ง 4. เสียเวลาในการติดตั้งแม่แบบ เพราะต้องเอาแม่แบบลงและเอาแม่แบบขึ้นใหม่อีกครั้ง 5. เสียเวลาในการรอรูอุณหภูมิ เพราะต้องติดตั้งเครื่องใหม่ ต้องรอรูอุณหภูมิตั้งแต่ 0-165°C 6. ทำให้การผลิตหยุดชะงัก ประมาณ 2-3 วัน หรือเท่ากับ 504 Mold หรือเท่ากับ 1,290,240 ชิ้น 7. ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทำความสะอาด 1 ครั้ง คือ 338-507 บาท (คิดจากราคาค่าแรงขั้นต่ำ) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. แม่แบบไม่สะอาดเท่าที่ควร ยังมีคราบเกาะที่ผิวแต่น้อยกว่าการทำความสะอาดโดยการขัดด้วยพนักงาน 2. รอบในการทำความสะอาดคือ 2-3 วัน ต่อ 1 ครั้ง 3. ระยะเวลาที่ใช้ในการทำความสะอาดคือ 1-2 วัน ต่อ 1 ครั้ง 4. เสียเวลาในการติดตั้งแม่แบบ เพราะต้องเอาแม่แบบลงและต้องเอาแม่แบบขึ้นใหม่อีกครั้ง 5. เสียเวลาในการรอรูอุณหภูมิ เพราะต้องติดตั้งเครื่องใหม่ ต้องรอรูอุณหภูมิตั้งแต่ 0-165°C 6. ทำให้การผลิตหยุดชะงัก ประมาณ 1-2 วัน หรือเท่ากับ 496 Mold หรือเท่ากับ 1,269,760 ชิ้น 7. ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทำความสะอาด 1 ครั้ง คือ 2,000 บาท 	<ol style="list-style-type: none"> 1. แม่แบบสะอาดไม่มีคราบเคมีเกาะที่ผิว 2. รอบในการทำความสะอาดคือ 4 วัน ต่อ 1 ครั้ง ครั้งละ 3 mold 3. ระยะเวลาที่ใช้ในการทำความสะอาดคือ 45 นาที ต่อ 1 ครั้ง 4. ไม่เสียเวลาในการติดตั้งแม่แบบ และสามารถใช้อย่างทำความสะอาดได้เลย 5. ประหยัดเวลาในการติดตั้งเครื่อง หลังจากทำความสะอาดไม่ต้องรอรูอุณหภูมิตั้งแต่ 0-165°C 6. ทำให้การผลิตหยุดชะงักเพียง 1 ชม. หรือเท่ากับ 8 Mold หรือเท่ากับ 20,480 ชิ้น 7. ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทำความสะอาด 1 ครั้ง คือ 342.75 บาท

2.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสูตรยางทำความสะอาดเครื่องฉีดยาง

2.2.1 ยางเอทิลีนพรอพิลีนไดอินหรือยาง EPDM (Ethylene-Propylene Diene Rubber)

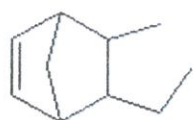
ในระยะแรกเริ่มที่ได้มีการสังเคราะห์พอลิเมอร์จากการทำปฏิกิริยาโคพอลิเมอร์ไรเซชันระหว่างมอนอเมอร์ของเอทิลีน (Ethylene) กับพรอพิลีน (Propylene) จะได้พอลิเมอร์ที่มีลักษณะการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (Amorphous) และเป็นยางเรียกว่า ยาง EPM แต่เนื่องจากในโมเลกุลไม่มีส่วนที่ไม่อิ่มตัว (ไม่มีพันธะคู่) ดังนั้นการทำให้ยางคงรูปจึงต้องใช้เปอร์ออกไซด์ (Peroxide) ปัจจุบันได้มีการพัฒนายางชนิดใหม่โดยการเติมมอนอเมอร์ตัวที่สาม คือ ไดอิน (Diene) ลงไปเล็กน้อยในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันทำให้ได้ยางที่มีส่วนที่ไม่อิ่มตัวอยู่ในสายโมเลกุล จึงสามารถคงรูปได้ด้วยกำมะถัน ยางชนิดนี้ คือ ยาง EPDM โครงสร้างดังรูปที่ 2.1[2]



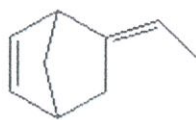
Ethylene unit Propylene unit

รูปที่ 2.1 สูตร โครงสร้างของยาง EPDM [2]

ยาง EPDM มีหลายเกรด แต่ละเกรดแตกต่างกันที่สัดส่วนของเอทิลีนและพรอพิลีน รวมถึงปริมาณของ Diene โดยทั่วไปยางชนิดนี้จะมีเอทิลีนอยู่ 45-85 % โมล และปริมาณของ Diene อยู่ในช่วง 3-11 % โมล ชนิดของ Diene ที่ใช้อย่างกว้างขวางมี 3 ชนิดคือ Dicyclopentadiene (DCPD) Ethylidene Norbornene (ENB) และ Trans-1,4-Hexadiene (1,4 HD) โครงสร้างดังรูปที่ 2.2 โดยชนิดที่ใช้มากที่สุดคือ ENB เพราะจะทำให้โมเลกุลของยางว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาคงรูปด้วยกำมะถัน (Sulfur Vulcanization)



Dicyclopentadiene
(DCPD)



Ethylene Norbornene
(EBN)



Trans-1,4-Hexadiene
(HX หรือ 1,4 HD)

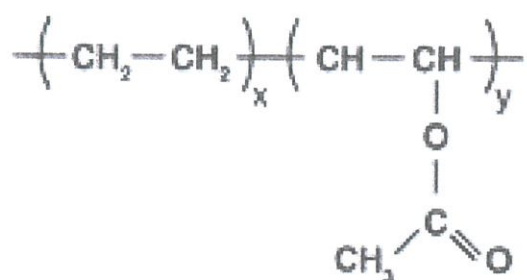
รูปที่ 2.2 สูตร โครงสร้างของ Diene ที่มีอยู่ในยาง EPDM [2]

จากลักษณะโครงสร้างโมเลกุลจะเห็นว่ายาง EPM และ EPDM เป็นยางไม่มีขั้ว ดังนั้นจึงไม่ทนต่อน้ำมันหรือสารละลายที่ไม่มีขั้ว และเนื่องจากการจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ในสายโมเลกุลเป็นแบบไม่มีรูปแบบ (Random) ทำให้ได้พอลิเมอร์อสัณฐาน (Amorphous) ยางชนิดนี้จึงไม่ตกผลึก ส่งผลให้ค่าความทนต่อแรงดึงต่ำและต้องมีสารเสริมแรง (Reinforcing Filler) เข้าช่วย ในยางที่มีสัดส่วนของเอทิลีนสูงจะมีสมบัติตกผลึก จึงส่งผลให้ยางมีความแข็งแรงในสภาพยังไม่คงรูปสูง (High Green Strength) สามารถที่จะเติมน้ำมันและสารตัวเติมได้มากซึ่งเป็นจุดเด่นของยางชนิดนี้ เพราะในบางครั้งอาจเติมสารตัวเติมได้มากถึง 2 เท่าของปริมาณยางที่ใช้ (200 Parts Per Hundred of Rubber, phr) แต่ข้อเสียของยางที่มีปริมาณเอทิลีนสูงคือการบดผสมยางที่อุณหภูมิต่ำจะทำได้ยาก และสมบัติของยางที่อุณหภูมิต่ำจะไม่ดีเพราะการตกผลึกของยางจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำลง

ยาง EPDM มีพันธะคู่ในโมเลกุลน้อยมาก ดังนั้นจึงทนต่อการเสื่อมเนื่องจากสภาพอากาศ ออกซิเจน โอโซน แสงแดด และความร้อนได้ดี นอกจากนี้ยังทนต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากสารเคมี กรด และด่าง ได้ดีอีกด้วย ยางชนิดนี้ส่วนมากจึงนิยมใช้ในการผลิตยางชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น ยางขอบหน้าต่าง แก้มยางรถยนต์ (Sidewall) ท่อยางของหม้อน้ำรถยนต์ (Radiator Hose) เป็นต้น ยาง EPDM ยังถูกใช้ในการผลิต ฉนวนยางกันความร้อน ฉนวนยางกันความชื้น ท่อยางของเครื่องซักผ้า ฉนวนหุ้มสายเคเบิล และใช้ผสมกับพลาสติกเพื่อปรับปรุงสมบัติบางประการของพลาสติก เช่น เพิ่มความเหนียวและความทนต่อแรงกระแทก (Impact Resistance) เป็นต้น[2]

2.2.2 ยางเอทิลีนไวนิลอะซิเตทหรืออีวีเอ (Ethylene Vinyl Acetate; EVA)

EVA เป็นพอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมพลาสติก จัดอยู่ในกลุ่ม Low Density Polyethylene Copolymer มีลักษณะโมเลกุลเป็นสายยาวของเอทิลีน โดยมีไวนิลอะซิเตทเกาะกระจายเป็นหย่อมบนสายโซ่โมเลกุลในลักษณะโครงสร้างโคพอลิเมอร์แบบไม่เป็นระเบียบ (Random Copolymer) และเนื่องจากสารชนิดนี้เกิดจากการรวมกันของมอนอเมอร์ 2 ชนิดคือ เอทิลีนมอนอเมอร์กับไวนิลอะซิเตทมอนอเมอร์ ซึ่งมีโครงสร้างทางเคมีดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท [3]

เนื่องจากสายโซ่ของ EVA เป็นพันธะเดี่ยวหมด ดังนั้น EVA จึงไม่สามารถเชื่อมโยงโมเลกุลได้ด้วยกำมะถัน แต่สามารถเชื่อมโยงโมเลกุลได้ด้วยระบบเปอร์ออกไซด์โดยมีการเติมสารกระตุ้นร่วมเข้าช่วยปรับปรุงระดับการเชื่อมโยงโมเลกุลให้สูงขึ้น การเลือกใช้สารตัวเติม สารทำให้อย่างนิ่ม สารช่วยในกระบวนการผลิตควรกระทำด้วยความระมัดระวังเนื่องจากสารตัวเติมที่มีฤทธิ์เป็นกรดหรือสารประกอบที่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุลสามารถรบกวนระบบการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์[3]

สมบัติของ EVA จะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณไวนิลอะซิเตทในโมเลกุล (โดยทั่วไป EVA จะมีปริมาณไวนิลอะซิเตทอยู่ประมาณ 20-70% โดยน้ำหนัก) โดยปริมาณของไวนิลอะซิเตทในโมเลกุลมีผลกระทบต่อ EVA ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สมบัติของ EVA ที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณของไวนิลอะซีเตตใน โมเลกุล [3]

สมบัติ	ปริมาณไวนิลอะซีเตต
ความเป็นผลึก (Crystallinity)	ความเป็นผลึกมากขึ้นเมื่อปริมาณไวนิลอะซีเตตลดลง
จุดหลอมเหลว (Melting Point)	จุดหลอมเหลวลดลงเมื่อปริมาณไวนิลอะซีเตตเพิ่มขึ้น
ค่ามอดูลัส (Modulus)	ค่ามอดูลัสลดลงเมื่อปริมาณไวนิลอะซีเตตเพิ่มขึ้น
ความแข็ง (Hardness)	ความแข็งลดลงเมื่อปริมาณไวนิลอะซีเตตเพิ่มมากขึ้น
สภาพขั้ว (Polarity)	สภาพขั้วของ EVA สูงขึ้นเมื่อปริมาณไวนิลอะซีเตตเพิ่มมากขึ้น
ความสามารถในการกันแก๊สซึมผ่าน	ความสามารถในการกันแก๊สซึมผ่านลดลงเมื่อปริมาณไวนิลอะซีเตตเพิ่มขึ้น
ความทนทานต่อแรงกระแทก	ความทนทานต่อแรงกระแทกมากขึ้นเมื่อปริมาณไวนิลอะซีเตตเพิ่มขึ้น
ความทนทานต่อตัวทำละลายอินทรีย์	ความทนทานต่อตัวทำละลายอินทรีย์ลดลงเมื่อปริมาณไวนิลอะซีเตตเพิ่มขึ้น
ความใส	EVA มีความใสมากขึ้นเมื่อปริมาณไวนิลอะซีเตตเพิ่มขึ้น

เมื่อปริมาณไวนิลอะซีเตตเพิ่มขึ้นทำให้ความเป็นผลึกของพอลิเอทิลีนลดลง ซึ่งเมื่อมีปริมาณของไวนิลอะซีเตตมากกว่าร้อยละ 40[3] EVA จะมีความเป็นอสัณฐานในโมเลกุลอย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้ EVA ที่มีไวนิลอะซีเตตมากยังมีความสามารถรับสารเพิ่มเนื้อ (Fillers) หรือผงสี (Pigments) ต่างๆ ได้ในปริมาณมากโดยไม่ส่งผลเสียสมบัติทางกายภาพ เช่น ในผลิตภัณฑ์ EVA ที่ใช้สำหรับงานกันไฟฟ้าสถิตนั้น ผู้ผลิตสามารถผสมเขม่าดำ (Carbon Black) ลงไปในเนื้อ EVA ได้มากถึง 40% และเนื่องจากสายโซ่หลัก EVA เป็นพันธะอิมิตัวโดยสมบูรณ์ ทำให้ทนทานต่อการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากความร้อนโอโซน และสภาพอากาศได้เป็นอย่างดี จึงไม่จำเป็นต้องเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพลงไป แต่ในกรณีที่ต้องนำ EVA ไปใช้ที่อุณหภูมิสูงมากๆ อาจเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพลงไปได้ ส่วนหมู่ไวนิลอะซีเตตซึ่งมีความเป็นขั้วสูงจะทำให้ยางทนต่อน้ำมันและตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วได้ดี อย่างไรก็ตาม EVA มีสมบัติการหักงอที่อุณหภูมิต่ำไม่ดี และเนื่องจาก EVA มีความเป็นขั้วสูง จึงมีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี

การใช้งาน

EVA เป็นพลาสติกที่นำมาประยุกต์ผลิตเป็นสินค้าได้หลากหลายอุตสาหกรรม มีความทนทานต่อสารเคมี สามารถนำไปแปรรูปได้ง่าย เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี และไม่มีสารพิษที่เป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ รวมถึงมีความสามารถในการรับแรงกระแทก มีความยืดหยุ่นและโค้งงอได้ดี มีน้ำหนักเบา ขึ้นรูปได้ง่าย มีความคงทนต่ออุณหภูมิและสภาพแวดล้อมได้ดี ให้สีสดใส สามารถใช้ประโยชน์ได้แทนพีวีซีและยางจึงมีความเหมาะสมสำหรับการนำไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น พื้นรองเท้า วัสดุคูชชั่น หมอน้าเทียม และสามารถนำไปทำกาวหลออมสำหรับงานไม้อัดได้

2.2.3 สารเติมแต่ง (Additives)

Additives คือ สารเติมแต่งต่างๆ ที่ผสมลงไปเพื่อปรับปรุงสมบัติต่างๆ ให้เป็นไปตามที่ต้องการ หรือเพื่อแก้ปัญหาในการขึ้นรูปให้ได้สินค้าที่มีสมบัติที่ดี Additive มีหลายชนิดและบางตัวมีสมบัติหลายประการในตัวเดียวกันสามารถทดสอบการใช้งานได้หลากหลายโดยการประเมินสมบัติทางตรง เช่น ความแข็ง และสมบัติทางอ้อม เช่น อายุการใช้งาน ที่จะได้รับเพิ่มเติมจากการใช้ Additive นั้นๆ [2]

2.2.3.1 สารตัวเติม (Filler)

สารตัวเติมหรือสารเพิ่มเนื้อ (Fillers) เป็นหนึ่งในสารเติมแต่งที่สำคัญของยาง เป็นวัสดุที่มีราคาถูกเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ชนิดต่างๆ ซึ่งมีราคาแพง สามารถใช้ผสมในยางผสมสูตรเพื่อลดต้นทุน สารตัวเติมสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด [2] คือ

1. สารตัวเติมชนิดเสริมแรง (Reinforcing Fillers) ทำหน้าที่ในการลดต้นทุนและช่วยเสริมแรงทำให้ความแข็งแรงของพอลิเมอร์เพิ่มสูงขึ้น

2. สารตัวเติมชนิดไม่เสริมแรง (Non-Reinforcing Fillers) ทำหน้าที่ในการลดต้นทุนเพียงอย่างเดียว ไม่ช่วยเสริมแรงให้กับพอลิเมอร์

สมบัติของสารตัวเติม

- เหนียวและมีเสถียรภาพทางความร้อน
- ดูดซึมความชื้นและสารเติมแต่งชนิดอื่นๆ ต่ำ
- ทำให้กระจายตัวในพอลิเมอร์ได้ง่าย
- ทั้งโครงสร้างและสมบัติไม่เปลี่ยนไปในระหว่างกระบวนการผลิตขึ้นรูป
- มีการกระจายของขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่สม่ำเสมอ

ขนาดของอนุภาคเฉลี่ยและการกระจายตัวของขนาดอนุภาค

สารตัวเติมแต่ละชนิดจะมีขนาดอนุภาคที่ไม่เท่ากันขึ้นกับแหล่งที่มา ซึ่งสารตัวเติมที่นำมาใช้งานได้ดีควรมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 40 ไมโครเมตร[2] โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ต้องการปรับปรุงสมบัติเชิงกล สารตัวเติมจะต้องมีขนาดอนุภาคที่ละเอียดมาก คือมีขนาดเล็กกว่า 5 ไมโครเมตร[2]

ธรรมชาติทางเคมีที่พื้นผิว

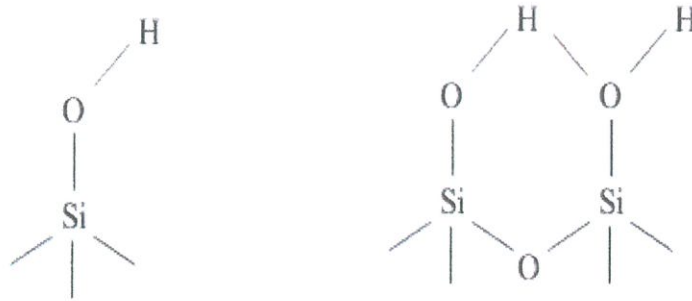
สารตัวเติมส่วนใหญ่มักจะมีหมู่ที่มีขั้ว (เช่น หมู่ไฮดรอกซิล) บนพื้นผิวทำให้เปียกน้ำได้ง่ายแต่ไม่เปียกหรือเกาะกับพอลิเมอร์ และหมู่ที่มีขั้วเหล่านี้อาจเกิดพันธะไฮโดรเจนกับสารเติมแต่งอื่นๆ ดังนั้นเพื่อให้สารตัวเติมเกาะกับพอลิเมอร์ได้ดีจึงมักปรับแต่งพื้นผิวของสารตัวเติม

สารตัวเติมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ซิลิกา (Silica) ซิลิกาเป็นสารตัวเติมที่สามารถเสริมแรงได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับสารตัวเติมที่ไม่มีสีค่าอื่นๆ เพราะมีขนาดอนุภาคเล็ก ซิลิกามีสูตรโครงสร้างเป็นซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ข้อดีของซิลิกา คือ ช่วยปรับปรุงสมบัติบางประการของยาง เช่น เพิ่มความแข็งแรงฉีกขาด (Tear Strength) เพิ่มความต้านทานการขัดถู (Abrasion Resistance) และเพิ่มการยึดเกาะกับองค์ประกอบอื่นในยาง เป็นต้น ซิลิกาเป็นสารตัวเติมที่ได้จากทั้งทางธรรมชาติและ การสังเคราะห์ สมบัติของซิลิกาขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยได้แก่

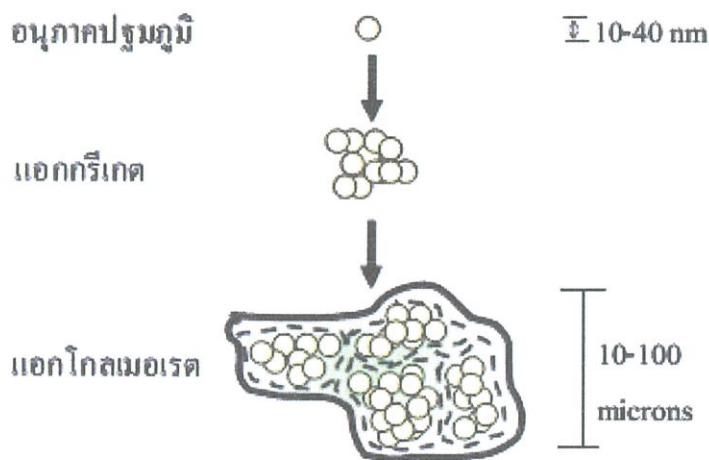
- ขนาดอนุภาคและพื้นที่ผิว
- ปริมาณน้ำใน โครงสร้าง

เนื่องจากซิลิกามีหมู่ไฮดรอกซิล (Silanol) บนพื้นผิวของอนุภาคซิลิกา ซึ่งจะเกาะอยู่ในหลายลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 จึงทำให้สามารถเสริมแรงได้ดีในยางที่มีขั้ว[4]

โครงสร้างของซิลิกาที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมยางมีขนาดอนุภาคปฐมภูมิอยู่ในช่วง 10-40 นาโนเมตร[4] ซิลิกาจะไม่อยู่อย่างเดี่ยวๆ ในรูปของอนุภาคปฐมภูมิแต่จะจับกลุ่มรวมกันเป็นก้อนที่เรียกว่าแอกกรีเกต (Aggregate) เกิดเป็นโครงสร้างปฐมภูมิ (Primary Structure) ซึ่งโครงสร้างนี้ไม่สามารถถูกทำลายได้ในระหว่างกระบวนการผสม นอกจากนี้แอกกรีเกตของซิลิกายังชอบจับกลุ่มกันเป็นก้อนขนาดใหญ่มากขึ้น เรียกว่า แอกโกลเมอเรต (Agglomerate) เกิดเป็นโครงสร้างทุติยภูมิ (Secondary Structure) ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 ลักษณะหมู่ไฮดรอกซิลบนพื้นผิวของซิลิกา [4]



รูปที่ 2.5 โมเดลแสดงลักษณะโครงสร้างของซิลิกา [4]

ซิลิกาสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายชนิด ได้แก่ [2]

1. ซิลิกาจากธรรมชาติหรือซิลิกาชนิดบด (Ground Silica) เป็นซิลิกาจากเหมือง แล้วยบคให้มีขนาดเล็ก เป็นผลึกโดยธรรมชาติ ซิลิกาชนิดนี้มักใช้ลดต้นทุน สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 3 ชนิด คือ [2]

- ซิลิกาผลึก (Crystalline Silica) คือซิลิกอนไดออกไซด์ในรูปผลึกควอartz ไซต์ (Quartzite) ซิลิกาชนิดนี้มีสิ่งเจือปนสูง มีพื้นที่ผิวที่เกิดจากการแตกหัก ขรุขระและมีขอบอนุภาคแหลมคม ทำให้มีสมบัติความเสียดทานสูง

- ซิลิกาผลึกเล็ก (Microcrystalline Silica) หรือคริปโตคริสเตอไลน์ควอartz (Cryptocrystalline Quartz) อนุภาคมีพื้นผิวเรียบมีขอบมนกลม

- ซิลิกาไดอะตอมเมเชียล (Diatomaceous Silica) ผลิตจากไดอะโตไมค์ ได้จากการบดหินและแยกด้วยลมหมุน

2.ซิลิกาชนิดสังเคราะห์ (Synthetic Silica) มีลักษณะเป็นผงสีขาวขนาดเล็ก สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 3 ชนิด [2]

- ซิลิกาชนิดไอ (Fumed Silica) ซิลิกาชนิดนี้มีความบริสุทธิ์สูง มีปริมาณความชื้นต่ำ และมีขนาดอนุภาคเล็กมาก มีประสิทธิภาพในการเสริมแรงสูง สังเคราะห์จาก



- ซิลิกาชนิดตกตะกอน (Precipitated Silica) ซิลิกาชนิดนี้มีความบริสุทธิ์น้อยกว่า และมีปริมาณความชื้นสูง สังเคราะห์จาก



- ซิลิกาเจล (Gel Silica) เกิดจากการตกตะกอนซิลิกาในสภาวะกรดเป็นเวลานานซิลิกาที่ได้จากการสังเคราะห์มีพื้นที่ผิวมากกว่าซิลิกาจากธรรมชาติ จึงมีประสิทธิภาพในการเสริมแรงที่ดีกว่า แต่ดูดความชื้นจากอากาศมากกว่า

2.2.3.2 สารช่วยในการผลิต (Processing Aids)

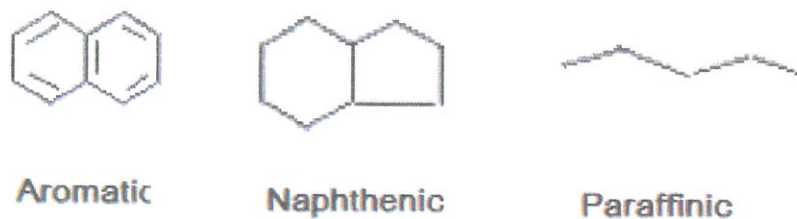
สารช่วยในกระบวนการผลิต คือ สารที่นำมาผสมเพื่อช่วยให้กระบวนการผลิตง่ายขึ้น ใช้เวลาและพลังงานในการผลิตน้อยลง นอกจากนี้ยังช่วยในการกระจายตัวของสารเติมแต่งต่างๆ ในยางเพื่อเพิ่มความสม่ำเสมอหรือเป็นเนื้อเดียวกันของยาง (Homogeneity)

น้ำมันปิโตรเลียม (Petroleum Oil) เป็นน้ำมันที่เข้ากันได้ดีกับยาง ทำให้ความหนืดลดลง เป็นน้ำมันที่ไม่ระเหย ไม่ติดสี และสีไม่ตก น้ำมันชนิดนี้จะทำให้ยางมีความแข็งลดลง ค่ามอดูลัสลดลง น้ำมันที่ใช้กับยางองค์ประกอบหลักของน้ำมันจะเป็นคาร์บอนและไฮโดรเจน แต่มีกำมะถัน ออกซิเจน และไนโตรเจนปนอยู่บ้างเล็กน้อย โครงสร้างของคาร์บอนและไฮโดรเจนในน้ำมันมีความแตกต่างกันสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท [2] โครงสร้างดังรูปที่ 2.6 และรูปที่ 2.7 แสดงการแบ่งชนิดน้ำมันตามน้ำหนัก โมเลกุลและความมีขั้ว

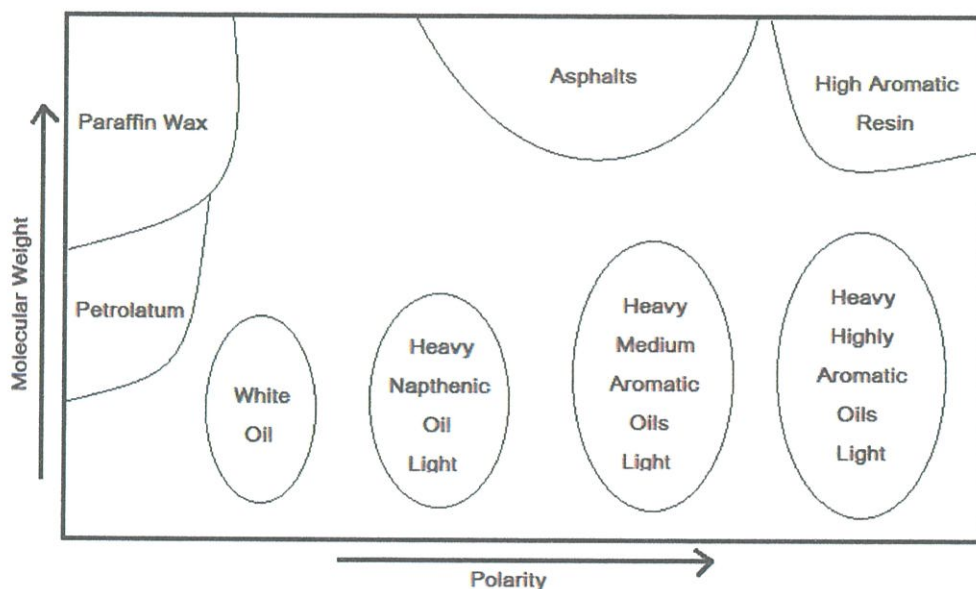
1. น้ำมันอะโรมาติก (Aromatic Oil) น้ำมันที่มีโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นวงแหวนอะโรมาติกไม่อิ่มตัว มีสีคล้ำ ความหนืดสูง

2. น้ำมันแนฟทานิก (Naphthenic Oil) น้ำมันที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นวงแหวนแนฟทานิกอิ่มตัว มีความหนืดปานกลาง

3. น้ำมันพาราฟิน (Paraffinic Oil) น้ำมันที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว อาจมีโซ่กิ่งบ้าง มีความหนืดต่ำ



รูปที่ 2.6 ลักษณะโครงสร้างของคาร์บอนและไฮโดรเจนในน้ำมันชนิดต่างๆ [2]

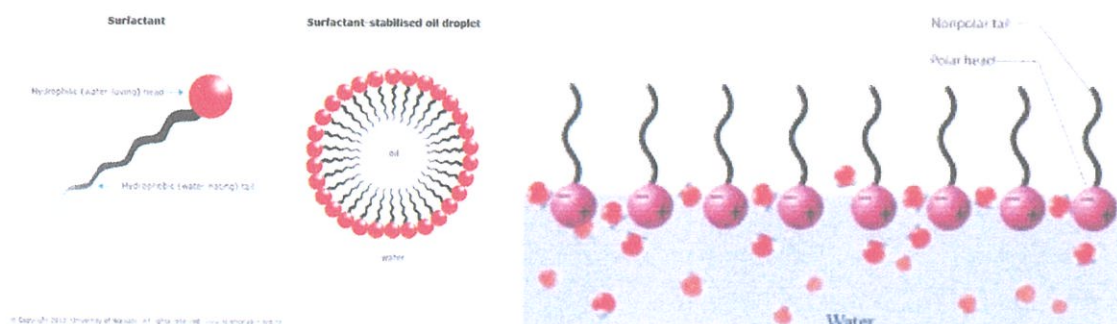


รูปที่ 2.7 น้ำมันจากปิโตรเลียมสำหรับยาง จำแนกโดยน้ำหนักโมเลกุลและความมีขี้ [2]

2.2.3.3 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant)

สารลดแรงตึงผิว หรือ Surface Active Agent มีชื่อเรียกโดยทั่วไปทางวิทยาศาสตร์ว่า “Surfactant” สารลดแรงตึงผิวส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอินทรีย์ซึ่งประกอบด้วยสองส่วนคือ ส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic Group) และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic Group) ส่วนที่ไม่ชอบน้ำนั้น มักจะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนคือมีธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนใหญ่จะมาจากไขมันและน้ำมันตามธรรมชาติ รวมทั้งผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมและพอลิเมอร์

สังเคราะห์ ลักษณะที่สำคัญของสารลดแรงตึงผิวคือ เมื่อใส่สารลดแรงตึงผิวเล็กน้อยลงในน้ำ สารลดแรงตึงผิวจะไปลดแรงตึงผิวของน้ำเพื่อให้เกิดกระบวนการต่างๆ ง่ายขึ้น เช่น การเกิดฟอง การทำให้เปียก และกระบวนการทำความสะอาด เป็นต้น ส่วนที่ไม่ชอบน้ำจะพยายามหนีน้ำโดยไปเกาะกับพื้นผิวที่ว่าง เช่น อากาศ ส่วนที่ชอบน้ำจะยังคงอยู่ในน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 การลดแรงตึงผิวเมื่อละลายน้ำจะแตกตัวโดยส่วนหัว (Hydrophilic Group) เข้ากับน้ำได้ดีจะแสดงประจุและบ่งบอกสมบัติของสารนั้นๆ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิดดังนี้[5]



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิว [5]

1) สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (Anionic Surfactant)

สารละลายชนิดนี้เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวและส่วนหัวจะแสดงประจุเป็นลบ เช่น Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) ซึ่งมีสูตรโมเลกุลคือ $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{SO}_4\text{Na}^+$ สารจำพวกนี้ถูกนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดต่างๆ เช่น น้ำยาล้างจาน ผงซักฟอก จนผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เพราะมีสมบัติในการทำความสะอาด มีฟองมาก และละลายน้ำได้ดี[5]

2) สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (Cationic Surfactant)

สารในกลุ่มนี้เมื่อละลายน้ำแล้วส่วนหัวจะมีประจุบวก เช่น Cetyltrimethyl Ammonium Bromide (CTAB) ซึ่งมีสูตรโมเลกุลคือ $\text{C}_{16}\text{H}_{33}\text{N}(\text{CH}_3)_3^+\text{Br}^-$ นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยใช้เคลือบผ้าเพื่อให้ความลื่น และป้องกันไฟฟ้าสถิต สามารถจำพวกนี้ไม่มีสามารถในการทำความสะอาด และไม่มีฟอง แต่สามารถเกาะเส้นผม และพื้นผิวได้ดีจึงนิยมนำมาใช้ใน ครีมนวดผม หรือปรับผ้านุ่ม สารตัวอย่างกลุ่มนี้ที่ใช้ในครีมนวดผม ได้แก่ Dyhyquar AC, Rinse Compound[5]

3) สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Nonionic Surfactant)

สารละลายชนิดนี้เมื่อละลายน้ำแล้วจะไม่แตกตัวจึงไม่เกิดประจุ เช่น Nonylpenol-9 (NP-9), Polyoxyethylene Alcohol ซึ่งมีสูตรโมเลกุลคือ $(C_nH_{2n+1}(OCH_2CH_2)_mOH)$ สมบัติของสารกลุ่มนี้จะแตกต่างกันไปตั้งแต่ละลายน้ำได้จนไม่ละลายน้ำ สารที่ไม่ละลายน้ำมักใช้เป็นตัวดับฟอง และ Emulsifier ส่วนสารที่ละลายน้ำมักใช้เป็นสารทำความสะอาด แต่เนื่องจากมีฟองน้อยจึงมักใช้กับ Anionic Surfactant อื่นๆ ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้สารนี้ได้แก่ สารขจัดคราบฝังแน่น[5]

4) สารลดแรงตึงผิวชนิดสองประจุ (Amphoteric Surfactant)

สารกลุ่มนี้มีทั้งประจุบวกและลบในโมเลกุลเดียวกัน เมื่อละลายน้ำจะแสดงประจุใดขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม โดยถ้าสภาพแวดล้อมเป็นกรดจะแสดงประจุบวก ถ้าสภาพแวดล้อมเป็นด่างจะแสดงประจุลบ สมบัติหลักของสารกลุ่มนี้คือ สามารถทนน้ำกระด้าง อ่อนละมุนต่อผิว เปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิดดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบสมบัติของสารลดแรงตึงผิว [5]

ประเภท สมบัติ	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	Betaine เช่น Mirataine BET C30, Dehyton K และ Amphoacetate เช่น Miranol LC 32
อุตสาหกรรม ที่ใช้	ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด สะอาดทั่วไป โดยใช้มากถึง 49 % ของ สารลดแรงตึงผิว ทั้งหมด	ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดและ ฆ่าเชื้อ ** มีสมบัติฆ่า เชื้อ	ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด และฆ่าเชื้อ **เกิดฟองน้อย	ผลิตภัณฑ์ชำระล้าง ของเด็ก, สบู่, แชมพู, ครีมอาบน้ำ
pH ที่ เหมาะสม		หาก pH เป็นเบส (pH 10-11) ส่งผลให้ Ammonium Salt สูญเสียประจุบวก เกิดการ ตกตะกอน ทำให้ ประสิทธิภาพ ลดลง		การแสดงสมบัติ ขึ้นอยู่กับสภาพ pH ของสภาพแวดล้อม ถ้าสภาพแวดล้อมเป็น เบส (pH>7) จะให้ประจุลบ, ถ้า สภาพแวดล้อมเป็น ด่าง (pH<7) จะให้ประจุบวก, ถ้า สภาพแวดล้อมเป็น กลาง (pH = 7) จะ ไม่ให้ประจุ
ประสิทธิภาพ เมื่ออยู่ในน้ำ กระด้าง	ไม่ละลาย	ละลายน้อยกว่า Nonionic	ละลายดีที่สุด	
การเกิดฟอง	ดีที่สุด	น้อยที่สุด	ดี	ค่อนข้างดี

เนื่องจากในผลิตภัณฑ์สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการทำความสะอาดมีแนวคิดที่ต้องการเน้นความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมผลิตภัณฑ์ทุกชนิดจึงถูกพัฒนาขึ้นมาจากวัตถุดิบจากธรรมชาติที่สามารถผลิตได้จากพืช เพื่อเป็นการลดการใช้ไขมันดิบ

Fatty Alcohol Ethoxylate (FAE) หรือมีชื่อทางการค้าว่า Dehydol ดังตารางที่ 2.4 แสดงสมบัติของ Dehydol เกรดต่างๆ ที่มีขายทางการค้า เป็นผลิตภัณฑ์สารลดแรงตึงผิวที่ถูกพัฒนาขึ้นมา โดยจะให้ความปลอดภัยในการมากกว่า Nonyl Phenol Alcohol Ethoxylate (NPEO) เป็นสารลดแรงตึงผิวไม่มีประจุชนิดเก่า ซึ่ง NPEO ถูกพิจารณาเป็นสารก่อมะเร็งและถูกห้ามนำมาใช้ในโซนยุโรปและอีกหลายประเทศที่กำลังจะห้ามใช้ NPEO จากลักษณะความเป็นพิษ จากจุดนี้ FAE จึงสามารถทดแทนการใช้งาน NPEO ได้เป็นอย่างดีโดยให้ผลเท่าเทียมกันหรือดีกว่าในด้านคุณภาพและการใช้งาน[6] สมบัติของ FAE

กระบวนการผลิต

FAE เกิดจาก Ethylene Oxide (EO) ทำปฏิกิริยากับ Fatty Alcohol (FA)

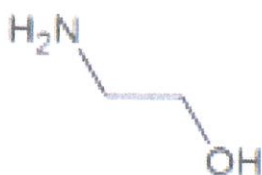
- EO : ได้จากกระบวนการผลิตที่มี Ethylene เป็นสารตั้งต้น โดยจะได้ EO ออกมาแต่ต้องผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ก่อนส่งมาเป็นสารตั้งต้น
- FA : ได้จากไขมันและน้ำมันธรรมชาติซึ่งพบในหลายแหล่งทั้งจากพืชและสัตว์

ตารางที่ 2.4 สมบัติจำเพาะของสารลดแรงตึงผิว FAE[6]

Product name	Properties						
	Chemical Description/INCI Name	Density (g/cm ³ @70°C)	Appearance	Active Matter %	Cloud Point (°C)	Emulsion	CAS Number
Dehydol LS 3 TH	Fatty Alcohol C12-C14 approx. 3 moles EO/ Laureth 3	0.89	Liquid	>99.7 %	51-53	O/W	68439-50-9
Dehydol LS 7 TH	Fatty Alcohol C12-C14 approx. 7 moles EO/ Laureth 7	0.949	Liquid	>99.7 %	46-52	O/W	68214-23-0
Dehydol LS 12 TH	Fatty Alcohol C12-C14 approx. 12 moles EO/Laureth 12	0.988	Liquid	>99.7 %	79-83	O/W	6843-50-9

2.2.3.4 สารทำความสะอาด (Cleaning Agent)

สารที่ใช้ในการทำความสะอาดเครื่องฉีดยาง ได้แก่ โมโนเอทานอลามีน (Mono Ethanolamine; MEA) สูตรโมเลกุล คือ C_2H_7NO [7]



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของ (Mono Ethanolamine; MEA)[7]

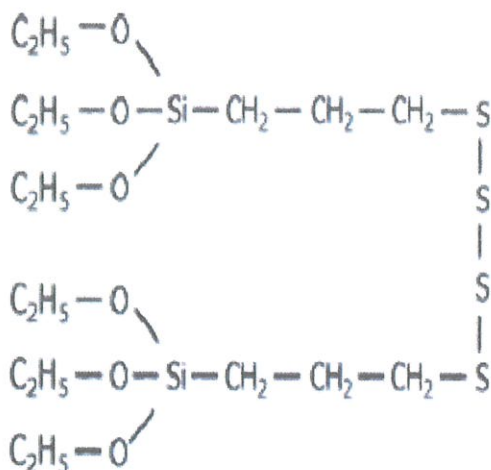
สมบัติบางประการของ MEA แสดงดังนี้

- มวลโมเลกุล 51.08
- ความหนาแน่น 1.02 g/cm^3
- จุดเดือด $167\text{-}173 \text{ }^\circ\text{C}$
- จุดหลอมเหลว $10 \text{ }^\circ\text{C}$
- จุดวาบไฟ $93 \text{ }^\circ\text{C}$

โมโนเอทานอลามีน (Mono Ethanolamine, MEA) มีสถานะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นคล้ายแอมโมเนียเจือจาง สามารถละลายได้ในน้ำ การนำไปใช้ประโยชน์มักใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิต น้ำยาซักผ้า, น้ำยาขัดเงา, เวชภัณฑ์ และช่วยป้องกันการกัดกร่อน นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารควบคุมค่า pH ในเครื่องสำอาง และการเตรียมสารเนื้อผสม (Emulsion)[7]

2.2.3.5 สารคู่ควบไซเลน (Silane Coupling Agent)

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ ขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเสริมแรงของยางและลดปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิตในการใช้สารตัวเติมชนิดต่างๆ เทคโนโลยีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันคือ การใช้สารคู่ควบไซเลน โดยทั่วไปการเติมสารคู่ควบไซเลนจะทำให้อันตรกิริยาระหว่างยางและสารตัวเติมจำพวกซิลิกาสูงขึ้นเพราะสารคู่ควบไซเลนประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันเคมี 2 หมู่ที่แตกต่างกัน [8] คือ หมู่แอลคอกซี (Alkoxy group) เช่น หมู่เมททอกซี ($-OCH_3$) หรือหมู่เอททอกซี ($-OC_2H_5$) และหมู่ที่เป็นสารอินทรีย์ (Organo-Functional Group)



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของสารคู่ควบไซเลน Si-69 [8]

เมื่อเติมสารคู่ควบไซเลนลงไป หมู่แอลคอกซีซึ่งอยู่ที่ปลายด้านหนึ่งของ โมเลกุลจะทำปฏิกิริยากับหมู่ไซเลนอลบนพื้นผิวของซิลิกาในระหว่างกระบวนการผสมเกิด เป็นพันธะไซลอคเซนที่มีความเสถียรและมีการปลดปล่อยแอลกอฮอล์ออกมา ทำให้ซิลิกามีอันตรกิริยาระหว่างกันลดลง ซิลิกาจึงแตกตัวและกระจายตัวในยางได้ง่ายยิ่งขึ้น ยางคอมปาวด์ที่ได้จะมีความหนืดลดลง สามารถไหลและขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น ส่วนหมู่ที่เป็นสารอินทรีย์ซึ่งอยู่ที่ปลายอีกด้านหนึ่งจะช่วยทำให้ซิลิกาเข้ากับยางได้ง่ายในระหว่างกระบวนการผสม เพราะหมู่ที่เป็นสารอินทรีย์นี้มีความเป็นขั้วต่ำ นอกจากนี้หมู่ที่เป็นสารอินทรีย์ของสารคู่ควบไซเลนส่วนใหญ่ยังมีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ ซึ่งในระหว่างกระบวนการอบคงรูป กำมะถันในสารคู่ควบไซเลนจะเข้าไปมีส่วนร่วมในปฏิกิริยาของรูปด้วยกำมะถัน (Sulfur Vulcanization Reaction) เกิดเป็นการเชื่อมโยงทางเคมีขึ้นด้วยเหตุนี้ สารคู่ควบไซเลนจึงทำหน้าที่เหมือนสะพานเชื่อมระหว่างสารตัวเติมซิลิกากับยาง ทำให้ประสิทธิภาพในการเสริมแรงสูงขึ้น ด้วยเหตุนี้การเติมสารคู่ควบไซเลนจึงส่งผลทำให้ยางคงรูปมีสมบัติเชิงกลต่างๆ ดีขึ้น สารคู่ควบไซเลนที่นิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ Bis-(3-Triethoxysilylpropyl)-Tetrasulfide (Si-69) ดังแสดงในรูปที่ 2.10 Mercaptopropyl-Trimethoxysilane (A-189) และ 3-Thiocyanato-Propyl-Triethoxysilane (Si-264) เป็นต้น[8]

2.2.3.6 สารให้สี (Colorants)

สารให้สีเป็นสารที่ใส่ลงไปเพื่อให้เกิดสีในยางเพื่อความสวยงาม สีที่ใส่ต้องมีประสิทธิภาพ ทนความร้อน ไม่ตกสี ไม่เป็นพิษ มีราคาไม่แพง ไม่มีผลต่ออายุของยาง และอัตราความเร็วทำให้ยางเชื่อม โยง สารให้สีแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท[2]

1. สีอินทรีย์ (Organic Colorants) เป็นสีที่มีประสิทธิภาพดี ใช้ในปริมาณน้อย ให้สีสวยงาม ไม่ทนต่อแสงและอุณหภูมิสูง
2. สีอนินทรีย์ (Inorganic Colorants) เป็นสีที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าสีอินทรีย์ มีความคงตัว สีไม่จาง ทนต่ออุณหภูมิสูง

สารให้สีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เป็นสารให้สีประเภทอนินทรีย์ชนิดหนึ่ง ลักษณะโดยทั่วไปของไทเทเนียมไดออกไซด์ มีสีขาว ทึบแสง เกิดเองตามธรรมชาติ โครงสร้างผลึกของไททาเนียมไดออกไซด์มีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ คือ โครงสร้างแบบอนาเทส (Anatase) แบบรูไทล์ (Rutile) และแบบบรুকโคท (Brookite) (รูปที่ 2.11) ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารสีที่มีสีขาวจึงมีประโยชน์สำหรับการใช้งานได้หลากหลาย



รูปที่ 2.11 ลักษณะ โครงสร้างผลึกของไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) [9]

2.3 พอลิเมอร์ผสม

พอลิเมอร์ผสม คือ การนำพอลิเมอร์ต่างชนิดกันมาผสมกันเพื่อนำมาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติตามต้องการ โดยไม่ต้องสังเคราะห์พอลิเมอร์ชนิดใหม่ ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งในการช่วยปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น และที่สำคัญเพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต แต่การนำพอลิเมอร์มาผสมกันเพื่อให้ได้สมบัติที่ดีขึ้นนั้นจำเป็นต้องพิจารณาองค์ประกอบต่างๆ ที่สำคัญของพอลิเมอร์ เช่น โครงสร้างและสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์แต่ละชนิด รวมทั้งความสามารถในการเข้ากันได้ของพอลิเมอร์ (Compatibility) ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อสมบัติของพอลิเมอร์ที่เตรียมได้

การผสมกันของพอลิเมอร์สามารถจำแนกได้เป็น 2 ลักษณะดังนี้[10]

1. การผสมโดยมีปฏิกิริยาเคมีมาเกี่ยวข้อง (Reactive Blending)

พอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันต้องมีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีต่อกัน เช่น พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิคาร์บอเนตและพอลิเอไมด์ เป็นต้น

2. การผสมโดยไม่มีปฏิกิริยาเคมีมาเกี่ยวข้อง (Non-Reactive Blending)

การผสมวิธีนี้สามารถทำได้ง่ายไม่ยุ่งยาก โดยใช้เครื่องมือในการผสมเช่น เครื่องอัดรีดระบบเปิดแบบสองลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill) ซึ่งเครื่องมือประเภทนี้จะทำให้เกิดแรงเฉือนเพิ่มขึ้นในระหว่างการผสมแรงเฉือนที่เพิ่มขึ้นทำให้พอลิเมอร์ที่นำมาผสมกันเกิดการกระจายตัวมากขึ้น ส่งผลให้การผสมมีประสิทธิภาพดีขึ้น

สมบัติของพอลิเมอร์ผสมจะขึ้นกับอัตราส่วนต่อองค์ประกอบ รวมทั้งสมบัติของแต่ละองค์ประกอบ ลักษณะเฉพาะของแต่ละองค์ประกอบ (ลักษณะคล้ายแก้ว หรือยาง หรือพอลิเมอร์กิ่งผลึก) สถานะทางเทอร์โมไดนามิกส์ของการผสม และการจัดเรียงโมเลกุล การผสมที่เข้ากันอย่างสมบูรณ์จะแสดงลักษณะสัญญาณวิทยาเพียงเฟสเดียว ในการผสมพอลิเมอร์ 2 ชนิดเข้าด้วยกันส่วนใหญ่มักจะแยกเป็น 2 เฟสตามหลักของเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งสัญญาณวิทยาของพอลิเมอร์ผสมนั้นจะขึ้นกับอัตราส่วนการผสม สมบัติการไหลของแต่ละองค์ประกอบและภาวะในการผสม

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กฤษณา กงศิลป์และคณะ [11] ศึกษาการใช้ยางธรรมชาติมาผสมกับยางสังเคราะห์และพอลิเมอร์อื่นๆ เพื่อเพิ่มสมบัติเด่นต่างๆ ของยาง โดยนำยางธรรมชาติซึ่งมีสมบัติทนต่อแรงดึงผสมกับยาง NBR ซึ่งมีสมบัติทนต่อน้ำมันพบว่าเมื่อมียางธรรมชาติในสัดส่วนที่ลดลง ค่าการทนต่อน้ำมันดีขึ้นจากเดิมเมื่อใช้ยางธรรมชาติร้อยละ ส่วนยาง EPDM มีสมบัติต้านทานต่อโอโซนสูงเมื่อผสมกับยางธรรมชาติพบว่าต้านทาน โอโซนดีขึ้นเมื่อใช้ EPDM สูงขึ้น เมื่อผสมยางธรรมชาติกับ PP พบว่ายางผสมมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของ PP และเมื่อผสมยางธรรมชาติกับ PE พบว่ายางผสมมีความแข็งแรงและค่ามอดูลัสสูงขึ้น ดังนั้นในทางกลับกันหากต้องการผลิตภัณฑ์ยางสังเคราะห์ที่ทนต่อแรงดึงสูงสามารถใช้ยางธรรมชาติผสมลงไปได้ การบดผสมยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์แต่ละชนิดจะมีวิธีที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมี ความหนืดของยาง และปริมาณที่ใช้ในยางผสม การผสมในสัดส่วนต่างๆ จะทำให้ยางมีสมบัติที่หลากหลายสามารถเลือกใช้งานได้เหมาะสมตามที่ต้องการได้

เสกสรรค์ วินยางค์ภูด [12] ศึกษาการออกแบบแม่พิมพ์สำหรับกระบวนการฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางนั้นต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ การให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ ช่องทางไหลเข้าในแม่พิมพ์ ช่องทางวิ่งร้อน ช่องทางไหลแบบเย็น แบบของแม่พิมพ์ รูปทรงของชิ้นงานภายในแม่พิมพ์ ช่องลมภายในแม่พิมพ์ ซึ่งจะส่งผลต่อการออกแบบแม่พิมพ์โดยทั่วไปแล้วการออกแบบแม่พิมพ์ของผู้ประกอบการภายในประเทศนั้นยังใช้ประสบการณ์ และใช้การลองผิดลองถูกในการออกแบบ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับชิ้นงานในด้านคุณภาพและกระบวนการผลิตเมื่อนำแม่พิมพ์ไปใช้งาน และได้นำเสนอหลักการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดที่ถูกต้อง เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดรวมทั้งลดปัญหาการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง

รงค์ดี แก้วประกอบ [3] ศึกษาพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเอทิลีน ไวนิลอะซีเตตกับยางธรรมชาติอีพ็อกซิไคซ์ และทำการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนการผสมระหว่างพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อให้มีความสามารถในการหดตัวทางความร้อน และศึกษาสมบัติการหดตัวทางความร้อนของพอลิเมอร์เนื่องจากพอลิเอทิลีน ไวนิลอะซีเตตมีสมบัติการคืนตัวที่ดี และเลือกใช้ยางธรรมชาติอีพอกไซค์เป็นพอลิเมอร์ผสมเนื่องจากมีปริมาณอย่างมากในประเทศ พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและอัตราการดึงยืดเพิ่มขึ้นความสามารถในการหดตัวทางความร้อนของพอลิเอทิลีน ไวนิลอะซีเตต

นิลอะซีเทตเพิ่มขึ้น แต่การเติมยางธรรมชาติอีพ็อกซิไดซ์ไม่ช่วยปรับปรุงความสามารถในการหดตัวด้วยความร้อน

Ismail H. และคณะ [13] ศึกษาผลของ Cationic Surfactants (Fatty Diamine; MFA) และ สารก่อกวนไซเลน (Si-69) กับสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติที่ผสมซิลิกา โดยใช้ยางธรรมชาติผสมซิลิกาเป็นวัสดุหลัก โดยแบ่งสูตรที่ศึกษาออกเป็นสูตรที่แปรเปลี่ยนปริมาณของ MFA โดยไม่ใส่สารก่อกวนไซเลนสูตรที่แปรเปลี่ยนปริมาณสารก่อกวนไซเลนโดยไม่ใส่ MFA และสูตรที่ผสม MFA ร่วมกับสารก่อกวนไซเลน โดยทดสอบการบวมตัวและวัดการกระจาย พบว่าการใช้สารก่อกวนไซเลน และ MFA นอกจากจะช่วยในการยึดเกาะของซิลิกากับยางเป็นอย่างดีแล้วยังช่วยเพิ่มการกระจายตัวของซิลิกาและช่วยลด Hysteresis ลง

Botros S.H. [14] ทำการศึกษาถึงการปรับปรุงความทนทานต่อความร้อนและโอโซนของ ยางบิวทิล ซึ่งปรับปรุงโดยนำยาง EPDM ผสมกับยางบิวทิล เนื่องจากยาง EPDM มีโครงสร้างหลักที่เป็นโครงสร้างอิมิตัวทั้งหมด จึงมีความทนทานต่อความร้อน โอโซน และการเกิดออกซิเดชันที่ตี มาก

ยาง EPDM ที่ศึกษามี 4 ชนิด คือ Buna AP-447, Vistalon-5600, Vistalon-6505 และ Keltan-820 และระบบการเชื่อมโยงที่ศึกษามี 3 ระบบ ได้แก่ การเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน/ZDEDC การเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน/TMTD/MBT และการเชื่อมโยงด้วย Phenolformaldehyde Resin-1054/Neoprene-w จากงานวิจัยพบว่า การเชื่อมโยงโดยใช้เรซินทำให้ยางมีความทนทานต่อความร้อนและโอโซนดีที่สุด รองลงมาคือ การเชื่อมโยงโดยใช้กำมะถัน/ZDEDC และการเชื่อมโยงโดยใช้กำมะถัน/TMTD/MBT

และเมื่อนำยางบิวทิลมาผสมกับยาง EPDM พบว่า ยางบิวทิลและยาง EPDM ชนิด Keltan-820 ในสัดส่วน 70:30 ให้ยางที่มีความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด มอดุลัสและมีสมบัติความทนทานต่อความร้อนดีที่สุด และจากการทดสอบทางความร้อน โดยนำไปอบที่ 165°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่าความแข็งแรงดึงและสมบัติเชิงกลอื่นๆ ไม่เปลี่ยนแปลง จากงานวิจัยนี้พบว่าที่สภาวะที่เหมาะสมที่นำไปใช้งานที่อุณหภูมิสูง คือที่ 165°C

Abdel-Aziz M.M. และ Basfar A.A. [15] ศึกษาการเกิดออกซิเดชันของยาง EPDM ที่เชื่อมโยงโดยใช้การใช้รังสีแกมมา โดยมีแอนติออกซิเดนต์ชนิดต่างๆ ได้แก่ Pentaerythritol Tetrakis (3,5-Di-Tert-Butyl(-4-hydroxyphenyl))propionate (Irganox 1010), Irganox 1035, Irganox 1520D, Irganox B561, Irganox B900, Tinuvin 633 LD, N-isopropyl-N-Phenyl-p-phenylene

Diamine (IPPD) และ IPPD ผสมกับ Trimethyl Quinoline (TMQ) โดยใช้แอนติออกซิแดนต์เหล่านี้ ในปริมาณ 0.5 phr ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA และ DSC

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DTG (อนุพันธ์ของ TGA) พบว่า Irganox B900 และแอนติออกซิแดนต์ผสมระหว่าง IPPD และ TMQ มีอุณหภูมิที่เกิดการสลายตัวของสารไป 50% (T_{50}) สูงกว่าแอนติออกซิแดนต์ตัวอื่นๆ คือที่ 513°C และ 507°C ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากการเกิดโครงสร้างที่เสถียรทางความร้อนขึ้น โดยแอนติออกซิแดนต์จะไปยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน โดยไปรับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นที่บางขณะผ่านกระบวนการ และเกิดเป็นอนุมูลอิสระขึ้นมาแทน

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC พบว่าเมื่อเติมแอนติออกซิแดนต์ลงในยาง EPDM ที่เชื่อมโยงด้วยการใช้ความร้อนจากการฉายรังสี ช่วยปรับปรุงความทนทานต่อการเกิดออกซิเดชัน โดยแอนติออกซิแดนต์ที่มีความเสถียรทางความร้อนที่ดีที่สุดคือ Irganox B900 และแอนติออกซิแดนต์ผสมระหว่าง IPPD และ TMQ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการวิเคราะห์จากเทคนิค TGA ซึ่งความทนทานต่อการเกิดออกซิเดชันเห็นได้จากค่าเอนทัลปีของการเกิดออกซิเดชันที่ลดลง ดังนั้นจากงานวิจัยจึงสรุปได้ว่า ความทนทานต่อการเกิดออกซิเดชันสามารถปรับปรุงได้โดยการใช้ Irganox B900 และแอนติออกซิแดนต์ผสมระหว่าง IPPD และ IMQ ในปริมาณ 0.5 phr

Ejolle E.E. และ Eaees A.F. [16] ศึกษากระบวนการเชื่อมโยงวิธีต่างๆ ได้แก่ ระบบการเชื่อมโยงที่ใช้กำมะถันในปริมาณน้อย (Efficiency Sulfur; EV) ระบบการเชื่อมโยงที่ใช้กำมะถันปกติ (Conventional Sulphur; CV) เปอร์ออกไซด์ (Peroxides) และการใช้ไดยูรีเทน (Diurethane) ที่มีต่อความคงรูปกีดอัดของยางธรรมชาติ ที่อุณหภูมิ 140°C, 160°C และ 180°C พบว่าที่ 140°C เกิดการสลายตัวทางความร้อนน้อย และไม่เหมาะที่เชื่อมโยงด้วยไดคิวมิวเปอร์ออกไซด์ เนื่องจากอุณหภูมิไม่สูงมากพอที่เปอร์ออกไซด์เกิดการสลายตัวในขณะที่เชื่อมโยง ต้องใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นจึงเกิดการเชื่อมโยงที่ดี และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ เวลาการเชื่อมโยง (Cure Time) จะลดลง และเกิดการสลายตัวทางความร้อนและเกิดออกซิเดชันได้มากขึ้น โดยเฉพาะการเชื่อมโยงระบบ CV เนื่องจากเกิดเป็นพันธะเชื่อมโยงแบบพอลิซัลไฟดิก (พันธะระหว่างอะตอมของกำมะถัน; S-S Bond) และที่ระดับการเชื่อมโยงเท่ากัน พบว่า ยางที่เชื่อมโยงด้วยระบบ EV และ เปอร์ออกไซด์ จะมีความคงรูปกีดอัดต่ำ เมื่อเทียบกับการเชื่อมโยงด้วยระบบ CV และการใช้ไดยูรีเทน

Poh B.T. และ NG C.C. [17] ศึกษาผลของสารคู่ควบไซเลนที่มีต่อเวลาการเชื่อมโยง (Mooney Scorch Time) ของยางธรรมชาติ โดยใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติม ไซเลนที่ศึกษานี้มี 2 ชนิด คือ γ -Mercaptopropyltrimethoxysilane (A-189) และ Bis(triethoxysilylpropyl)tetrasulphide (Si-

69) ใช้อุณหภูมิการเชื่อมโยงที่ 110-160°C พบว่าที่อุณหภูมิการเชื่อมโยงที่ต่ำกว่า 120°C เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ A-189 ส่งผลให้เวลาก่อนการเชื่อมโยงลดลง ซึ่งเป็นผลที่เนื่องมาจากหมู่ Thiol ซึ่งจะเพิ่มอัตราในการเชื่อมโยง และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Si-69 ส่งผลให้เวลาก่อนการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากความเกาะเกาะของหมู่ Triethoxysilylpropyl ซึ่งหน่วงการเชื่อมโยงให้ช้าลง และที่อุณหภูมิการเชื่อมโยงที่สูงขึ้น เวลาก่อนการเชื่อมโยงไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นไซเลนเนื่องจากพลังงานทางความร้อนที่มีค่ามากกว่าพลังงานกระตุ้น

ขนิษฐา ศรีประทุม และ มนต์สุดา บุรารักษ์ [18] งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสูตรยางล้างแม่แบบอัดขึ้นรูปสำหรับงานอุตสาหกรรม โดยใช้ยางอีพดีเอ็มหรือยางเอทิลีนพรอพิลีน (Ethylene-Propylene Rubber; EPDM) และใช้อะมิโนเมทิลโพรพานอล (2-Amino-2-Methyl-1-Propanol; AMP) เป็นสารเคมีที่ใช้ในการทำความสะอาด โดยใช้ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl Peroxide; DCP) เป็นสารเชื่อมโยง ทำการผสมโดยใช้เครื่องผสมระบบเปิดสองลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill) ซึ่งในการวิจัยนี้จะทำการศึกษาชนิดและปริมาณของสารตัวเติม (Filler) ได้แก่ ละอองซิลิกา (Fumed Silica) และ ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ (Zeolite Na-A) และปริมาณสารที่ใช้ทำความสะอาด ที่มีผลต่อสมบัติของยางล้างแม่แบบ และทำการหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูป โดยศึกษาจากสมบัติต่างๆ เช่น สมบัติการเชื่อมโยง สมบัติเชิงกล สันฐานวิทยาและทดสอบการทำความสะอาดกับแม่แบบที่ใช้งานจริง จากการทดลองพบว่าสารตัวเติมที่เหมาะสมคือ ละอองซิลิกา ที่ปริมาณ 40 phr ซึ่งจะทำให้ยางล้างแม่แบบมีสมบัติที่ดี เมื่อเทียบกับการใช้ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอเป็นสารตัวเติม จากการศึกษาปริมาณ AMP พบว่าประสิทธิภาพการทำความสะอาดแม่แบบจะดีขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ AMP แต่มีผลต่อสมบัติเชิงกลบางประการ เช่น โมดูลัสและความแข็งกดจะมีค่าลดลง

กิตติพงษ์ เรืองวัฒนานนท์ และคณะ [19] งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาสูตรยางทำความสะอาดแม่พิมพ์ โดยการใช้สารเสริมการเชื่อมโยง (Co-agent) Sarat[®] และทำการศึกษสมบัติบางประการของสารทำความสะอาดแม่พิมพ์ ได้แก่ ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength), เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break), Rubber Modulus (M100), ประสิทธิภาพการทำความสะอาดของยางทำความสะอาดแม่พิมพ์ และวิเคราะห์แก๊สที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้งานของยางทำความสะอาดแม่พิมพ์

จากการศึกษาผลของสารเสริมการเชื่อมโยง (Co-agent) Sarat[®] พบว่า ยางที่ผสมสารเสริมการเชื่อมโยง Sarat[®] ทำให้ยางทำความสะอาดแม่พิมพ์ เกิดการเชื่อมโยงอย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า และมีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่ายางทำความสะอาดแม่พิมพ์ที่ไม่ได้ผสมสารเสริมการเชื่อมโยง

Sarat® นอกจากนี้ยังพบอีกว่า สารเสริมการเชื่อมโยงปริมาณ 1, 2 และ 3 phr มีผลต่อการเชื่อมโยงที่ไม่แตกต่างกันมากนัก และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำความสะอาด พบว่าสารเสริมการเชื่อมโยงไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำความสะอาดแม่พิมพ์ และจากการศึกษาแก๊สที่เกิดปลดปล่อยจากการทำความสะอาด พบว่ายังทำความสะอาดแม่พิมพ์ทั้งใส่สารให้ฟอง (Blowing agent) และแบบไม่ใส่สารให้ฟองมีความแตกต่างกันตรงที่มีการปลดปล่อยแก๊สที่แตกต่างกันถึง 8 ชนิด

2.5 ยางล้างแม่แบบทางการค้าที่ใช้ในปัจจุบัน

2.5.1 Struktol® MC-A

Struktol® MC-A เป็นยางคอมปาวด์ที่มีสมบัติในการกำจัดคราบเคมีที่ตกค้างที่เกิดขึ้นในระหว่างการเชื่อมโยง โดยจะปล่อยหมูที่ว่องไวออกมาเพื่อดึงคราบเคมีที่ตกค้างและคราบน้ำมันจะติดออกมากับยางคอมปาวด์ในระหว่างการเชื่อมโยง โดยความสะอาดนั้นอยู่กับความดัน ชนิดของคราบที่ตกค้าง อุณหภูมิและเวลาในการขึ้นรูป[20]

สมบัติของ Struktol® MC-A

- เป็นคอมปาวด์ที่มีสีเหลืองอ่อน
- มีกลิ่นฉุนคล้ายแอมโมเนีย
- ความหนาแน่น 1.140 kg/m²
- เก็บรักษาได้อย่างน้อย 6 เดือนในที่ปราศจากความชื้น

สภาวะการขึ้นรูป

อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป 160-195°C

เวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป 30 นาที

อุณหภูมิในการขึ้นรูปที่เหมาะสม 175°C, 10 นาที

การเก็บรักษา

- ควรเก็บในสภาวะที่แห้งและเย็น
- ควรหลีกเลี่ยงการสัมผัสกับผิวหนังและดวงตา

2.5.2 Super Clean® และ Super Wax®

ส่วนประกอบของ Super Clean® และ Super Wax® มีดังนี้[21]

1. องค์ประกอบหลัก : ยางสังเคราะห์ (50-60%) คือยางเอทิลีนพรอพิลีน

ตารางที่ 2.6 สภาวะที่แนะนำในการใช้ขึ้นรูปสำหรับ Auto Mold [21]

Classification	Super Clean [®]		Super Wax [®]			
	SC 2000	SC 3000	SW 7005H	SW 7015W	SW 7020H	SW 7025H
Mold Temp (°C)	175-185	175-185	175-185	175-185	175-185	175-185
Cure Time (s)	180-300	180-300	180-300	180-300	180-300	180-300
Clamp Pressure (kg f/cm)	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20
Gap b/w Top&Bottom	0	0	0	0	0	0
No.of Shot	6-9	6-9	1-2	1-2	1-2	1-2
Dummy Shot	1	1	1	1	1	1
Smell (Odor)	Slight	Slight	Slight	Slight	Slight	Slight

2.5.3 Elastowet[®]

Elastowet[®] เป็นยางคอมปาวด์ที่ใช้ในการทำความสะอาดแม่แบบ องค์ประกอบหลักในยางคอมปาวด์นี้คือ ยางธรรมชาติ สามารถปรับให้เหมาะสมกับโพรงแบบ ในแม่แบบได้ง่าย มีขั้นตอนการใช้งานได้ง่าย ไม่ต้องการให้ความร้อนก่อนใช้งาน มีเวลาในการเชื่อมโยงสั้นจึงลดเวลาในการทำความสะอาดแม่แบบลงได้ ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการผลิตสูงและใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำ ไม่มีสารที่เป็นอันตราย มิตรกับสิ่งแวดล้อม[22]

สมบัติของ Elastowet[®]

- ความถ่วงจำเพาะ 1.1-1.3
- ขนาด ยาว 100-550 มิลลิเมตร
กว้าง 6-80 มิลลิเมตร
หนา 3-10 มิลลิเมตร

2.5.4 Glo-mold[®]

Glo-mold[®] เป็นยางคอมปาวด์ทำความสะอาดแม่แบบ เทคนิคที่ใช้ในการทำความสะอาดด้วย Glo-mold[®] คือ การฉีด (Injection) การกดอัด (Compression) และการอัดแบบถ่ายโอน (Transfer Molding)

ลักษณะการทำงานของ Glo-mold® คือ สารประกอบที่ว่องไว (Reactive Ingredients) จะแพร่เข้าไประหว่างชั้นของคราบสกปรก ทำให้คราบหลุดออกมามากมายอย่างคอมพิวเตอร์ ประสิทธิภาพการทำงานของหมู่่องไวนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของคราบสกปรก เวลา อุณหภูมิ และความดันที่ใช้ในการขึ้นรูป ถ้าอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปสูง หมู่่องไวนี้จะทำงานได้ดีขึ้น แพร่เข้าไประหว่างชั้นของคราบสกปรกได้เร็วขึ้น ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการทำความสะอาดสั้นลง[23]

สภาวะที่แนะนำในการใช้ Glo-mold® คือ

- ใช้เวลาในการทำความสะอาด 2-20 นาที
- ใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 280-450 °F
- ใช้ความดันสูงสุด

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 แผนการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้เป็นความร่วมมือระหว่างภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) กับบริษัท เอส.เค. โพลีเมอร์ จำกัด เพื่อพัฒนาสูตรยางทำ ความสะอาดเครื่องฉีดยางสำหรับงานอุตสาหกรรม โดยทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาใช้ในการผลิตยางทำความสะอาดเครื่องฉีดยาง ลดต้นทุนการผลิต และได้ยางทำความสะอาดเครื่องฉีดยางที่มีประสิทธิภาพ และราคาถูก ในงานวิจัยได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ตอนดังนี้

- | | |
|----------|---|
| ตอนที่ 1 | ศึกษาปริมาณซิลิกา 20 – 60 phr |
| ตอนที่ 2 | ศึกษาอัตราส่วนยางหลัก EPDM/EVA |
| ตอนที่ 3 | ศึกษาปริมาณสารลดแรงตึงผิว Fatty Alcohol Ethoxylate (FAE) 0-20 phr |
| ตอนที่ 4 | ศึกษาปริมาณสารทำความสะอาด Mono Ethanolamine (MEA) 0-30 phr
เมื่อใช้ร่วมกับสารลดแรงตึงผิว (FAE) |

3.2 สารเคมีและอุปกรณ์

- ยางเอทิลีนพรอพิลีน (Ethylene-Propylene Rubber; EPDM) เกรด 4045
บริษัท Mitsui Chemicals, Inc. Trading By MDR INTERNATIONAL CO., LTD.
- ยางพอลิเอทิลีน ไวนิลอะซิเตต (Ethylene-Vinyl Acetate Rubber; EVA) เกรด UL0554
0EH2 บริษัท ExxonMobil Chemical CO., LTD. Trading By GLOBAL CONNECTIONS PUBLIC CO., LTD.
- ซิลิกา (Silica) เกรด 255G บริษัท OSC SIAM SILICA CO., LTD. Trading By VICTORY STAR CO., LTD.
- น้ำมันพาราฟิน (Paraffinic Oil) Lube Base Oil Grade 150SN (MERYTIRE 919)
บริษัท THAI LUBE BASE PUBLIC CO., LTD. Trading By GREAT POLYMER CO., LTD.

5. ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium Dioxide) บริษัท Ti-Pure R-101 Manufacturer By Dupont Titanium Technologies Trading By KIJ PAIBOON CO.,LTD
6. เครื่องผสมระบบเปิดแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll Mill) รุ่น YFMR 8" AB บริษัท YONG FONG MACHINERY CO.,LTD.
7. เครื่องวัดความหนืดมูนนี่ (Mooney Viscometer) รุ่น LRM 200 บริษัท แล็บเทค เอ็นจิเนียร์ จำกัด
8. เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding Machine) รุ่น I300/2 บริษัท LIN CHENG TECHNOLOGIES CO.,LTD.
9. เครื่องวัดสี (Colorimeter) รุ่น CR 400 บริษัท Color Associates Co.Ltd
10. เครื่องคาปิลารีรีโอมิเตอร์ (Capillary Rheometer) รุ่น CEAST SmartRheo บริษัท Intro Enterprise จำกัด

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมยางผสมสูตร

1. ตัดยางและซังสารเคมีต่าง ๆ ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สูตรยางทำความสะอาดเครื่องฉีดที่ใช้ในงานวิจัย

สาร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (ส่วนในร้อยส่วนของยาง ; phr)
(EPDM / EVA)*	(100/0), (85/15) และ (70/30)
Silica*	20, 40 และ 60
Parafinic oil	10
FAE*	0, 5, 10 และ 20
MEA*	0, 10, 20 และ 30
TiO ₂	2
Si-69	3

หมายเหตุ * คือตัวแปรที่ศึกษา

- ปริมาณซิลิกา
- อัตราส่วนของยางหลัก

- ปริมาณสารลดแรงตึงผิว
- ปริมาณสารทำความสะอาด

2. ทำการผสมยางตามสูตร เริ่มจากนำยาง EPDM มาทำการบดย่อย (Mastication) ที่อุณหภูมิประมาณ 80°C โดยใช้เครื่องบดผสมระบบเปิดแบบสองลูกกลิ้งจนกระทั่งยางพันรอบลูกกลิ้ง ทำการกรีดพับจนกระทั่งยางนี้ม (สำหรับสูตรที่ผสมระหว่าง EPDM/EVA ทำการบดย่อย EPDM ให้พันรอบลูกกลิ้งก่อน จึงใส่ EVA ลงไป โดยจะใช้อัตราส่วนผสมระหว่าง EPDM/EVA เท่ากับ 85/15 และ 70/30 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ)

3. ค่อยๆ เติมซิลิกาลงไปพร้อมๆ กับการเติมน้ำมันและสารไซเลนเพื่อช่วยให้ง่ายในการบดผสม หลังจากนั้นเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ กรีดพับอย่างต่อเนื่องจนสารเคมีกระจายตัวในยาง ใช้เวลาประมาณ 15 นาที

4. เติมสารลดแรงตึงผิว FAE (และสารทำความสะอาด MEA สำหรับสูตรที่ใส่สารทำความสะอาดลงไปในยาง) ทำการบดผสมต่อไป โดยการกรีดและพับยาง จนยางมีความอ่อนตัว และสารเคมีผสมเข้ากับยางเป็นเนื้อเดียวกัน ใช้เวลาในขั้นตอนนี้ประมาณ 10 นาที

5. ปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งให้ห่างประมาณ 2-3 มิลลิเมตร แล้วรีดยางออกจากลูกกลิ้ง ระวังอย่าให้พับติดกัน

3.3.2. การศึกษาสมบัติของยางทำความสะอาดเครื่องฉีดยาง

3.3.2.1. การศึกษาความหนืดมูนนี่

นำสูตรยางที่ผสมได้มาตัดเป็นแผ่นตัดแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 2x2 นิ้วจำนวน 2 แผ่น แล้วนำไปวัดความหนืดแบบมูนนี่ (Mooney Viscosity) โดยใช้เครื่องมือวิสโคมิเตอร์ (Mooney Viscometer) กำหนดอุณหภูมิการวัดความหนืดที่ 100 °C โดยหาค่าความหนืด ML 1+4 (100°C) ทำการให้ความร้อนก่อน 1 นาที (1 = Preheat Time 1 นาที) วัดค่าความหนืดมูนนี่เมื่อเวลาผ่านไป 4 นาที โดยวัดค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 100 °C ค่าความหนืดมูนนี่ไม่มีหน่วย (Dimensionless)

3.3.2.2. การศึกษาความสามารถในการไหล

นำยางผสมสูตรที่ได้มาทดสอบอัตราเฉือน โดยใช้เครื่องรีโอมิเตอร์แบบแคปิลลารี (Capillary Rheometer) กำหนดค่าพารามิเตอร์ดังนี้ ขนาดหัวคาย 2 มิลลิเมตร อัตราส่วนของความยาวคายต่อเส้นผ่านศูนย์กลางคาย (L/D) เท่ากับ 30/2 อุณหภูมิในการทดสอบ 70 °C และอัตราเฉือน (Shear Rate) เท่ากับ 100, 200, 300, 400 และ 500 s⁻¹ ตามลำดับ

3.3.2.3. การทดสอบสมบัติการทำความสะอาดกับเครื่องฉีดยาง

1. นำยางทำความสะอาดที่ได้จากการบดผสมด้วยเครื่องบดผสมระบบเปิดแบบสองลูกกลิ้ง มาทดลองฉีดด้วยเครื่องฉีดยาง
2. ทำความสะอาดเครื่องฉีดยางครั้งที่ 1 ถึงครั้งที่ 7 จนยางที่ออกจากเครื่องฉีดยางสะอาด โดยฉีดยางครั้งละ 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร
3. นำยางที่ผ่านการทำความสะอาดครั้งที่ 1 ถึงครั้งที่ 7 มาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการทำความสะอาด

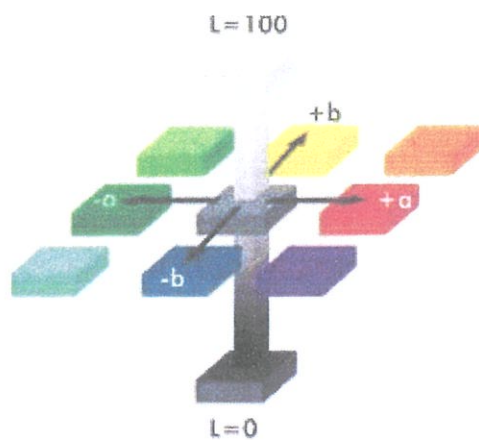
3.3.2.4. การวัดสี

นำยางที่ทำความสะอาดมาแล้วมาวัดสี เพื่อดูสีที่เปลี่ยนไปจากสีของยางเริ่มต้น โดยใช้ความสว่างของแสงที่ $D65/10^\circ$ เริ่มจากการวัดสีของยางล้างเครื่องฉีดที่เตรียมได้ จากนั้นนำยางที่ผ่านการทำความสะอาด ครั้งที่ 1 ถึงครั้งที่ 7 มาเพื่อวัดสีเปรียบเทียบในแต่ละครั้ง โดยวัดค่าออกมาออกมาเป็นค่า L , a , และ b ตามมาตราส่วนแสดงค่า L^* , a^* และ b^* แบบสามมิติ ดังรูปที่ 3.1

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

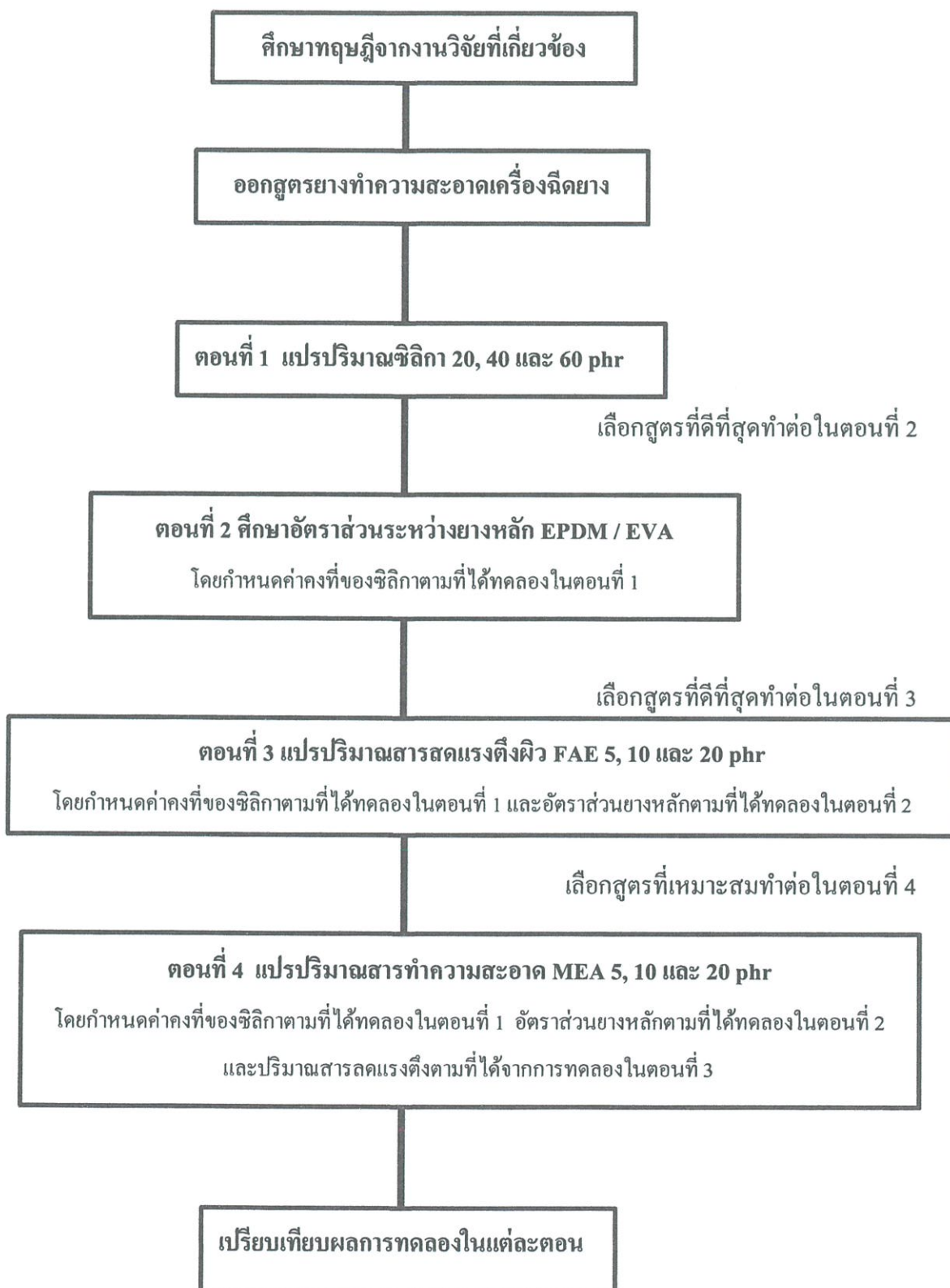
- เมื่อ ΔE^* = ความเข้มของสีที่เปลี่ยนแปลงไป
- L^* = ความสว่าง
- a^* = เฉดสีเขียว-แดง โดยค่าลบคือ สีเขียว และค่าบวกคือ สีแดง
- b^* = เฉดสีน้ำเงิน-เหลือง โดยค่าลบคือ สีน้ำเงิน และค่าบวกคือ สีเหลือง

นำค่าเฉลี่ยของค่า L^* ที่ได้ในแต่ละครั้งของการฉีดมาสร้างกราฟ



รูปที่ 3.1 มาตรฐานแสดงค่า L^* , a^* และ b^* แบบสามมิติ

3.4 สรุปแผนภาพแสดงการดำเนินงานของงานวิจัยการพัฒนาสูตราง่ายทำความสะอาดเครื่องฉีดยาง



บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปราย

งานวิจัยนี้แบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ตอน ได้แก่

ตอนที่ 1 ศึกษาปริมาณสารตัวเติมซิลิกา

ตอนที่ 2 ศึกษาอัตราส่วนยางหลัก

ตอนที่ 3 ศึกษาปริมาณสารลดแรงดึงผิว



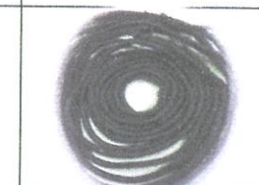
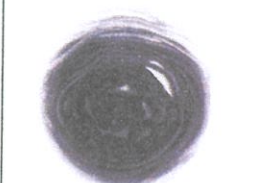

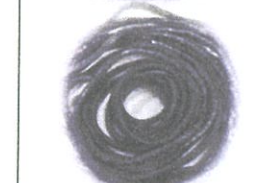
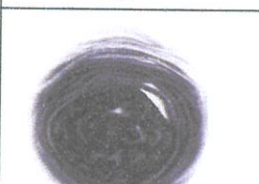


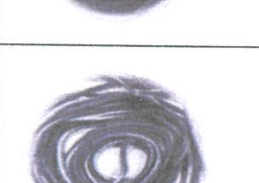
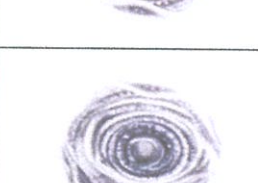

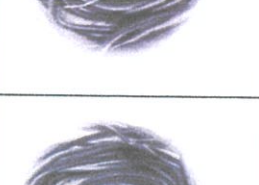
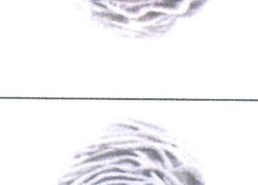
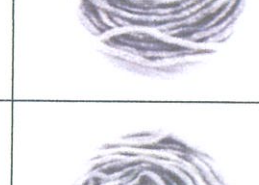






ตอนที่ 4 ศึกษาปริมาณสารทำความสะอาดร่วมกับสารลดแรงดึงผิว

4.1 ศึกษาปริมาณสารตัวเติมซิลิกา


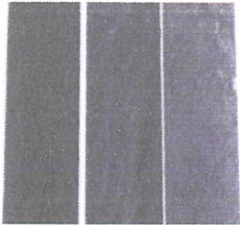
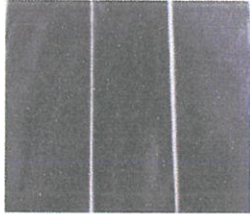

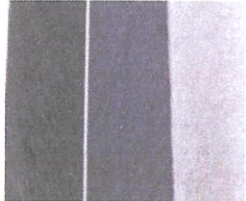
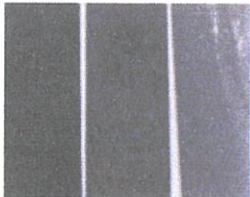

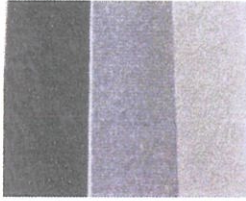
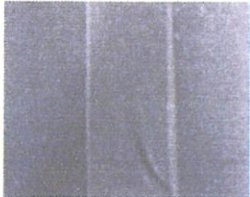

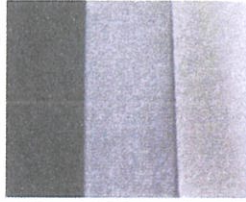






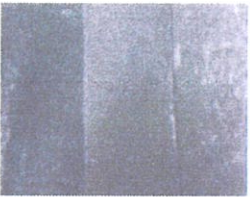



การทำความสะอาดสกรูของเครื่องฉีดยางต้องอาศัยความหนืด (Viscosity) ความเค้นเฉือน (Shear Stress) และความมีขี้ช่วยในการทำความสะอาด งานวิจัยนี้จึงเลือกซิลิกาเป็นสารตัวเติมที่ใช้ในการทดลอง เนื่องจากซิลิกาเป็นสารตัวเติมชนิดเสริมแรงที่ดี มีขนาดอนุภาคเล็ก มีความเป็นขี้ค่อนข้างสูง ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสในการดูดซับสิ่งสกปรกออกจากเครื่องฉีดยาง ศึกษาโดยใช้ปริมาณ EPDM 100 phr และทำการแปรปริมาณซิลิกาที่ปริมาณ 20, 40 และ 60 phr สภาวะที่ใช้ฉีดทำความสะอาดคือ ฉีดที่อุณหภูมิ 70°C ความดัน 90 ปาสคาล ความเร็วในการฉีด 90 มิลลิเมตรต่อวินาที ทำการฉีดทำความสะอาดทั้งหมด 7 ครั้ง ครั้งละ 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร

จากการฉีดทำความสะอาดเครื่องฉีดยางทั้งหมด 7 ครั้งจะเห็นได้ว่า ยางที่ออกมาจากเครื่องฉีดยางมีลักษณะเป็นเส้นยาว มีสีไม่สม่ำเสมอตลอดความยาวเส้น ส่วนที่ผ่านการทำความสะอาดก่อนจะมีสีดำเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนที่ออกมาทีหลัง ในการฉีดครั้งที่ 1 จะมีสีดำและเริ่มขาวขึ้นในการฉีดครั้งต่อไป เมื่อเปรียบเทียบลักษณะยางที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยเครื่องฉีดยางของแต่ละสูตร พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณซิลิกามากขึ้น ยางทำความสะอาดที่ผ่านการฉีดออกมาจากเครื่องฉีดยางจะขาวเร็วขึ้นกว่าสูตรที่มีปริมาณซิลิกาน้อย หมายถึง ยางสามารถทำความสะอาดเครื่องฉีดยางให้สะอาดโดยใช้ปริมาณยางน้อยกว่าสูตรอื่น สังเกตได้จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าสูตรยางทำความสะอาดที่มีซิลิกามากจะเริ่มขาวในการฉีดครั้งที่ 3 และขาวขึ้นเรื่อยๆ เมื่อทำความสะอาดมากครั้ง แต่สูตรยางทำความสะอาดที่มีซิลิกาน้อย จะเริ่มขาวในครั้งที่ 4 และยังมีสีดำอยู่มากเมื่อทำการฉีดทำ

ความสะอาดครบ 7 ครั้ง หลังจากนั้นจึงนำยางที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยเครื่องฉีดยางมาแบ่งออกเป็น 3 ส่วนเท่าๆ กันเป็น ส่วนหัว ส่วนกลาง และส่วนท้าย ส่วนละ 3 เมตร นำแต่ละส่วนผสมด้วยเครื่องผสมระบบเปิดแบบสองลูกกลิ้ง ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 นาที ให้สีของเนื้อยางสม่ำเสมอ นำไปวัดสี ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (หมายเหตุ จากรูปที่ 4.2 สูตรที่ปริมาณซิลิกา 20 เป็นสูตรแรกของการทดลองปริมาณยางน้อย ไม่สามารถแบ่งเป็น 3 ส่วนได้)

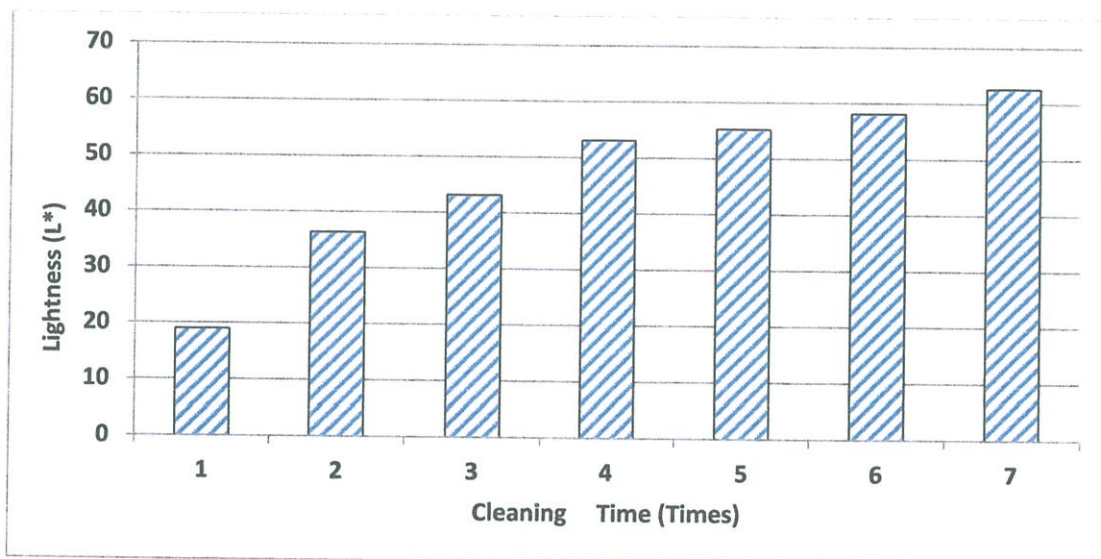
ครั้งที่ฉีด	ปริมาณซีดิกา (phr)		
	20	40	60
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

รูปที่ 4.1 ข้างที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่มีปริมาณซีดิกา 20, 40 และ 60 phr โดยทำการฉีดจำนวน 7 ครั้ง

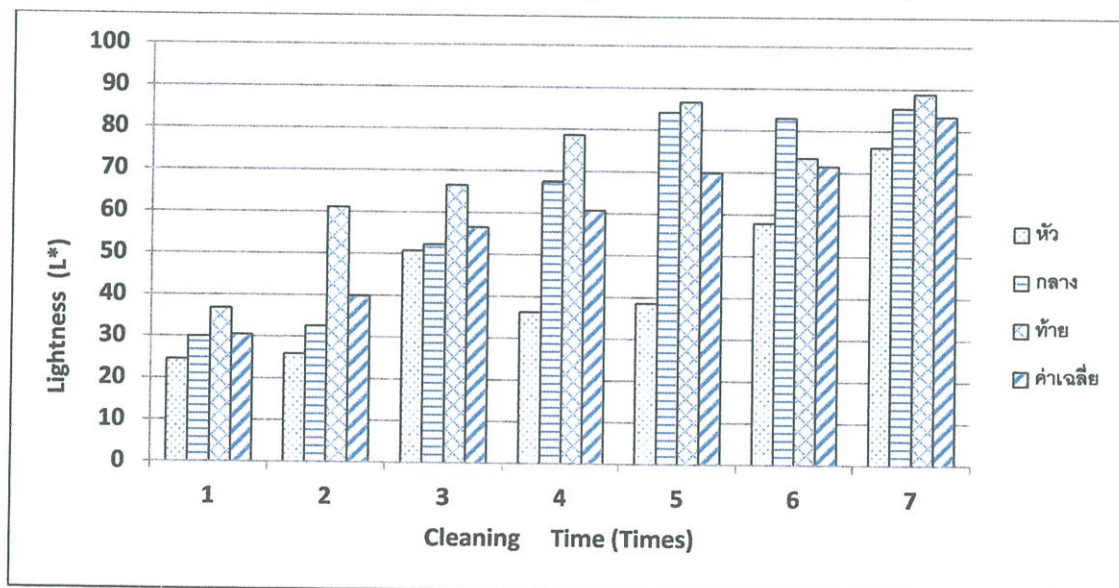
ครั้งที่ฉีด	ปริมาณซีลีกา (phr)		
	20	40	60
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

รูปที่ 4.2 ลักษณะยางทำความสะอาดเมื่อผ่านการรีดผสมด้วยเครื่องผสมระบบเปิดแบบสองลูกกลิ้ง ในสูตรที่มีปริมาณซีลีกา 20, 40 และ 60 phr

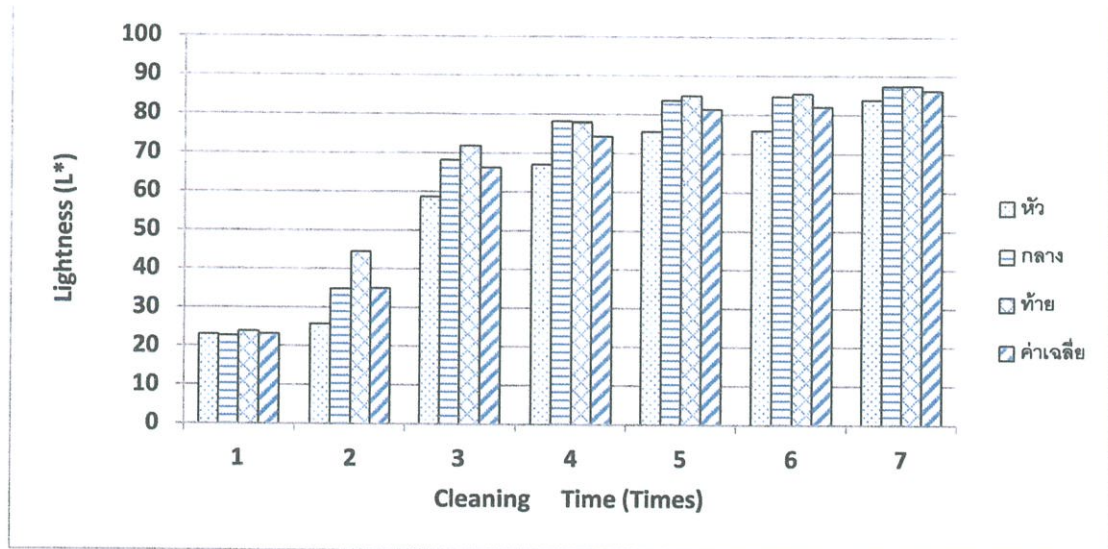
เมื่อนำยางทำความสะอาดที่ผ่านการทำความสะอาดมารีดเป็นแผ่นเพื่อทำการวัดสี จะเห็นว่า ยางสูตรที่มีปริมาณซิลิกา 60 phr จะมีค่าความสกปรกน้อยที่สุด คือสะอาดเร็วสุด ซึ่งสอดคล้องกับข้างต้น โดยนำยางมาวัดสีที่เปลี่ยนแปลงไปพบว่า ค่า L^* มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนครั้งในการทำความสะอาดมากขึ้น ยางมีความสว่างมากขึ้น แสดงว่าสกปรกสะอาดมากขึ้น จึงมีสิ่งสกปรกติดออกมาน้อยลง และในการทำความสะอาดครั้งที่ 3 พบว่ายางมีค่า L^* สูงขึ้น แสดงว่ามีสิ่งสกปรกเหลือติดอยู่ปริมาณน้อยภายในสกรู จึงมีสิ่งสกปรกติดออกมากับยางน้อยลง นั่นคือ สกรูมีความสะอาดมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.3



(A) แผนภูมิแท่งแสดงการวัดสีในสูตรยางที่มีปริมาณซิลิกา 20 phr



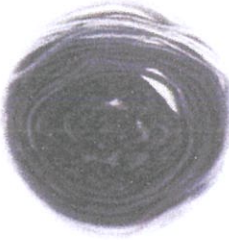


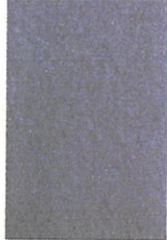
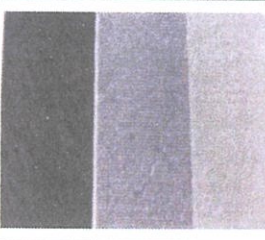
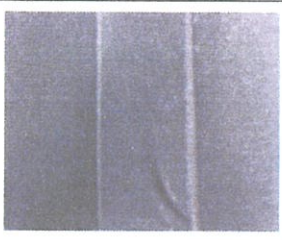
(B) แผนภูมิแท่งแสดงการวัดสีในสูตรยางที่มีปริมาณซิลิกา 40 phr



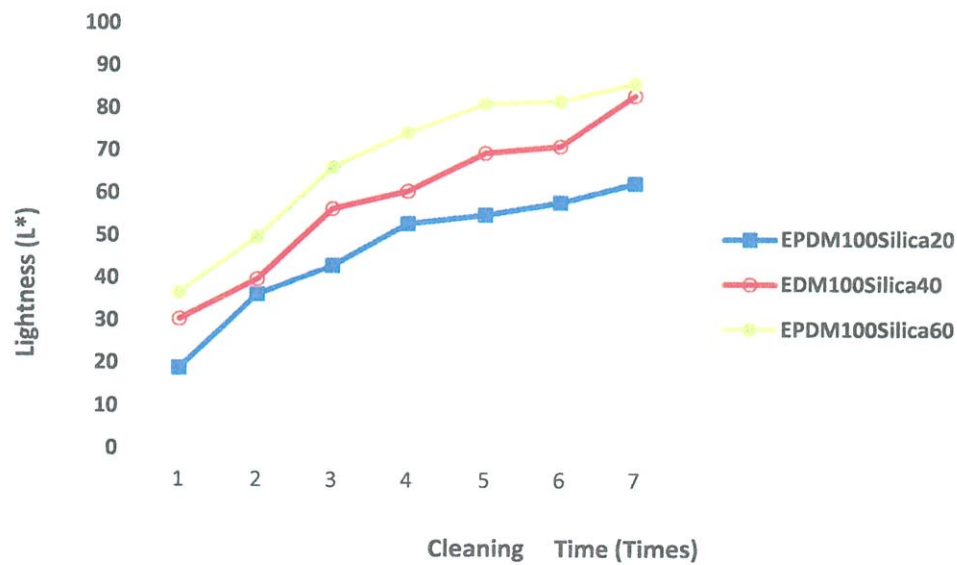
(C) แผนภูมิแท่งแสดงการวัดสีในสูตรยางที่มีปริมาณซิลิกา 60 phr

รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่าง (L*) กับจำนวนครั้งในการทำทำความสะอาดเครื่องฉีดยาง

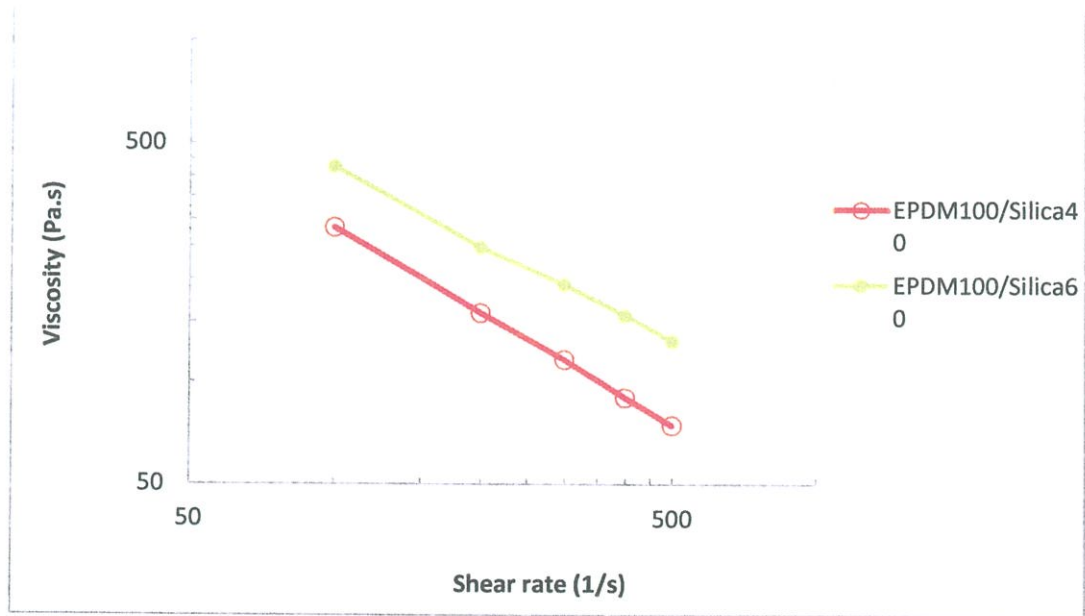
เมื่อเปรียบเทียบระหว่างยางทำความสะอาดที่มีปริมาณซิลิกาต่างกัน ในการฉีดครั้งที่สาม (รูปที่ 4.4) พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณซิลิกา ประสิทธิภาพในการทำทำความสะอาดเครื่องฉีดยางเพิ่มมากขึ้น ยางขาวเร็วขึ้น ค่า L* สูงขึ้น (รูปที่ 4.5) แสดงให้เห็นว่า ปริมาณซิลิกาที่ 60 phr มีประสิทธิภาพในการทำสะอาดสูงขึ้น เนื่องจากซิลิกาเป็นสารตัวเติมประเภทเสริมแรงที่มีขนาดอนุภาคเล็ก มีหมู่ไฮดรอกซิล (Si-OH) ที่พื้นผิวในปริมาณมาก ซึ่งหมู่ไฮดรอกซิลนี้ค่อนข้างว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีและมีความเป็นขั้วค่อนข้างสูง ดังนั้นเมื่อเติมซิลิกาในปริมาณมากขึ้น จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซิลิกา Viscosity มีค่าเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับค่าความหนืดมูนนี้ ดังรูปที่ 4.7 คือ ทำให้ยางผสมสูตรมีความหนืด แรงเฉือน ที่สูงขึ้น โดยเฉพาะการขัดถูกับเครื่องฉีด ทำให้ประสิทธิภาพในการทำสะอาดอันเนื่องมาจากแรงเฉือน มีค่าสูงกว่า และด้วยขนาดอนุภาคที่เล็กทำให้พื้นที่ผิวในการดูดซับสิ่งสกปรกมากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากการใช้ปริมาณซิลิกามากกว่า 60 phr เกิดความยากในการผสม และความหนืดของยางผสมสูตรสูงมาก ดังนั้นจึงเลือกยางผสมสูตรที่มีปริมาณซิลิกา 60 phr ไปทำการศึกษาต่อในตอนที่ 2 ต่อไป

รูปภาพหลังการ ทำความสะอาด ครั้งที่ 3	ปริมาณซิลิกา (phr)		
	20	40	60
ยางที่ผ่านการฉีด ทำความสะอาด			
ยางที่ผ่านการรีด ผสมด้วย Two-Roll Mill			

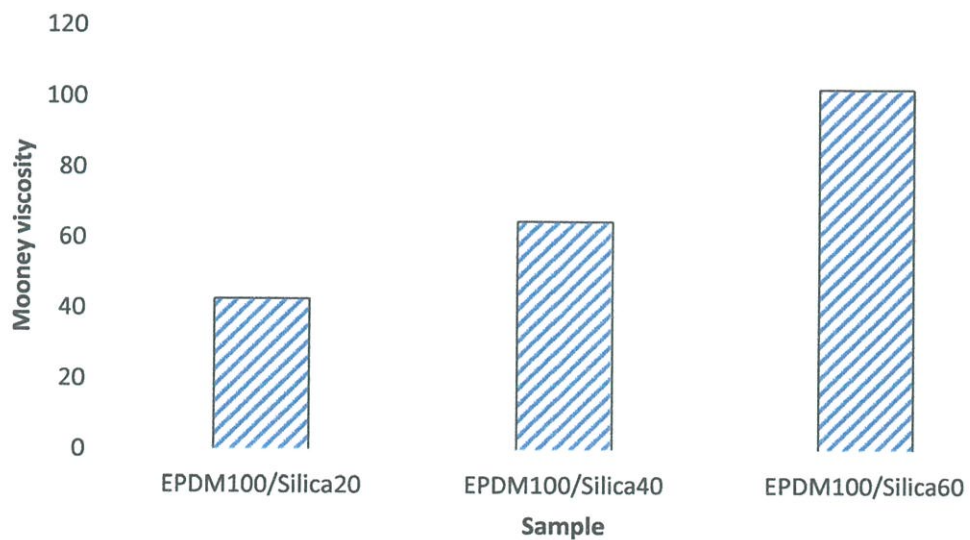
รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบยางหลังการฉีดทำความสะอาดครั้งที่ 3 ในสูตรยางที่มีปริมาณซิลิกา 20, 40 และ 60 phr



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่าง (L*) กับจำนวนครั้งในการทำความสะอาดเครื่องฉีดยางในสูตรยางที่มีปริมาณซิลิกา 20, 40 และ 60 phr



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Viscosity กับ Shear Rate ของยางผสมสูตร EPDM100/Silica40 และ EPDM100/Silica60



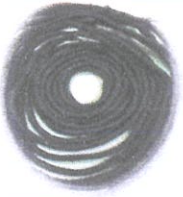



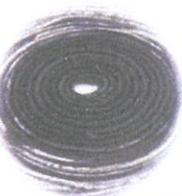

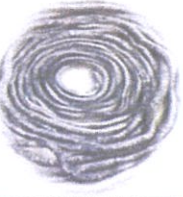

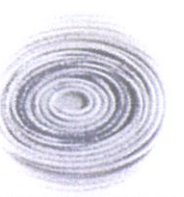
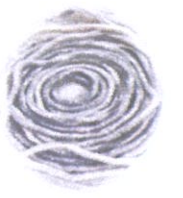

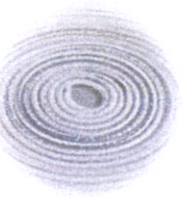

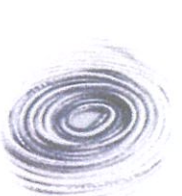



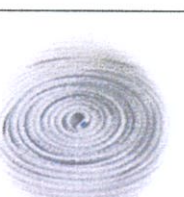


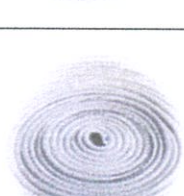
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความหนืดมูนนี่ (ML1+4(100°C)) กับปริมาณซิลิกา ในสูตร ที่มีปริมาณซิลิกา 20, 40 และ 60 phr

4.2 ศึกษาอัตราส่วนยางหลัก

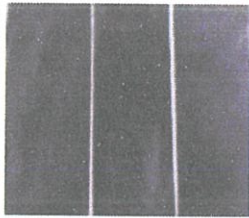
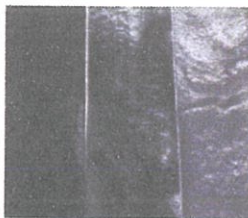
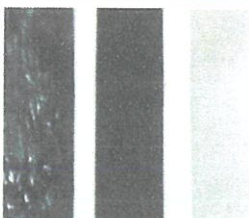
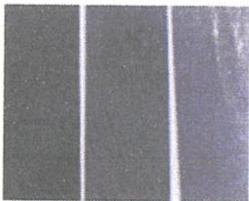
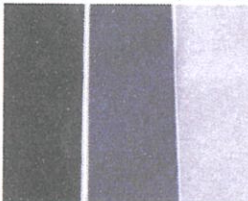


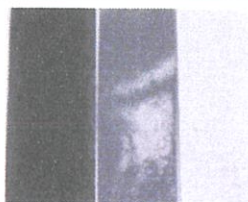

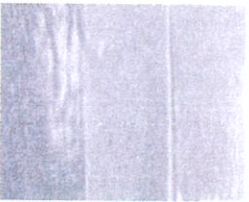





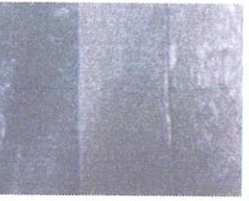
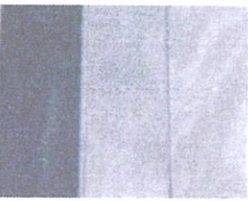
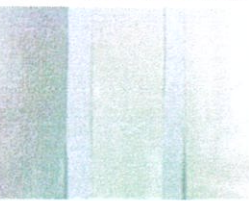



จากตอนที่ 1 อัตราส่วนยางหลักที่ใช้ในการทำความสะอาดคือ EPDM 100 phr แต่สิ่งสกปรกต่างๆ ที่อยู่ภายในเครื่องฉีดยางมีทั้งสิ่งสกปรกที่มีขี้และไม่มีขี้ เช่น เนื้อยางที่ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ สารเติมแต่งและสารตัวเติมต่างๆ ดังนั้นการใช้ยาง EPDM อย่างเดียว ซึ่งเป็นยางที่ไม่มีขี้ ทำให้ไม่สามารถนำสิ่งสกปรกที่มีขี้ภายในเครื่องฉีดออกมาได้ จึงนำ EVA ซึ่งมีโครงสร้างหลักเป็นพันธะอิมิตัว มีส่วนที่เป็นหมู่ไวโนลอะซีเตตที่มีความเป็นขี้สูง จากโครงสร้างของ EVA มีทั้งส่วนที่มีขี้และไม่มีขี้ทำให้สามารถเกิดอันตรกิริยากับ EPDM และซิลิกาที่มีขี้ค่อนข้างสูงได้ดี จึงเลือก EVA เป็นส่วนผสมในยาง หลักเพื่อเพิ่มความมีขี้ของยางหลัก โดยทำการศึกษาอัตราส่วนยางหลัก EPDM/EVA ที่ 100/0 85/15 และ 70/30 กำหนดปริมาณซิลิกาผงที่ 60 phr (อ้างอิงจากตอนที่ 1) ทำการผสมและใช้สภาวะในการทำความสะอาดเช่นเดียวกับตอนที่ 1

จากการฉีดทำความสะอาดเครื่องฉีดยาง จะเห็นได้ว่า ยางที่ออกมาจากเครื่องฉีดมีลักษณะเป็นเส้นขาว มีสีไม่สม่ำเสมอตลอดความยาวเส้น ส่วนแรกที่ยื่นออกมาจะมียืดมากและอ่อนลงในส่วนท้าย โดยจะมีสีเข้มในการฉีดครั้งแรกและเริ่มขาวขึ้นในการฉีดครั้งต่อไป เมื่อเปรียบเทียบลักษณะยางที่ผ่านการทำความสะอาดของสูตรยางทำความสะอาดแต่ละสูตร พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วน EVA ในสูตรยางทำความสะอาด ยางที่ผ่านการฉีดออกมาจากเครื่องฉีดจะขาวเร็วขึ้นกว่าสูตรที่มี EVA น้อย คือ สะอาดเร็วโดยใช้ปริมาณยางในการทำความสะอาดน้อยกว่า สังเกตได้จากรูปที่ 4.8 จะเห็นว่าสูตรยางทำความสะอาดที่มีอัตราส่วน EVA มากจะเริ่มขาวในการฉีดครั้งที่ 2 และขาวขึ้นเรื่อยๆ เมื่อทำความสะอาดมากขึ้น แต่สูตรยางทำความสะอาดที่อัตราส่วน EVA น้อย ยางจะเริ่มขาวในครั้งที่ 3 และจะสังเกตเห็นว่าเมื่อทำการฉีดมากครั้งเนื้อยางที่ออกมามีความสะอาดเร็วกว่าสูตรยางที่อัตราส่วนยางหลัก EPDM/EVA ที่ 100/0

หลังจากนั้นจึงนำยางที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยเครื่องฉีดยางมาแบ่งออกเป็น 3 ส่วนเท่าๆ กันเป็น ส่วนหัว ส่วนกลาง และส่วนท้าย ส่วนละ 3 เมตร นำแต่ละส่วนผสมด้วยเครื่องผสมระบบเปิดแบบสองลูกกลิ้ง ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 นาที ให้สีของเนื้อยางสม่ำเสมอ นำไปวัดสีดังแสดงในรูปที่ 4.9

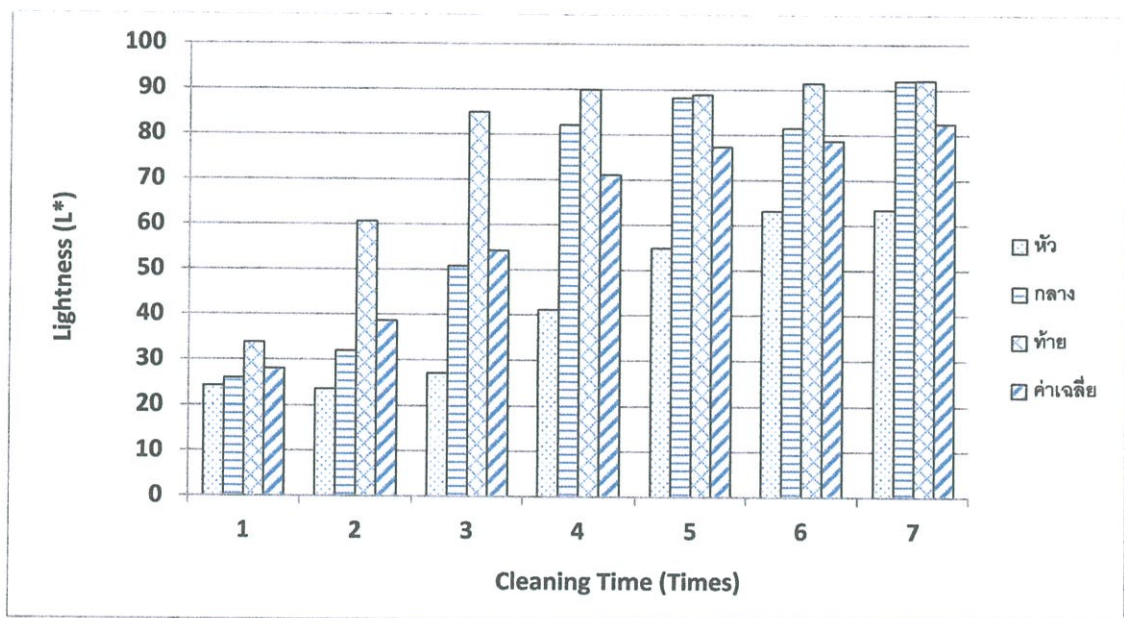
ครั้งที่ฉีด	อัตราส่วนยางหลัก EPDM/EVA		
	100/0	85/15	70/30
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

รูปที่ 4.8 ข้างที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่มีอัตราส่วนยาง EPDM/EVA ที่ 100/0, 85/15 และ 70/30

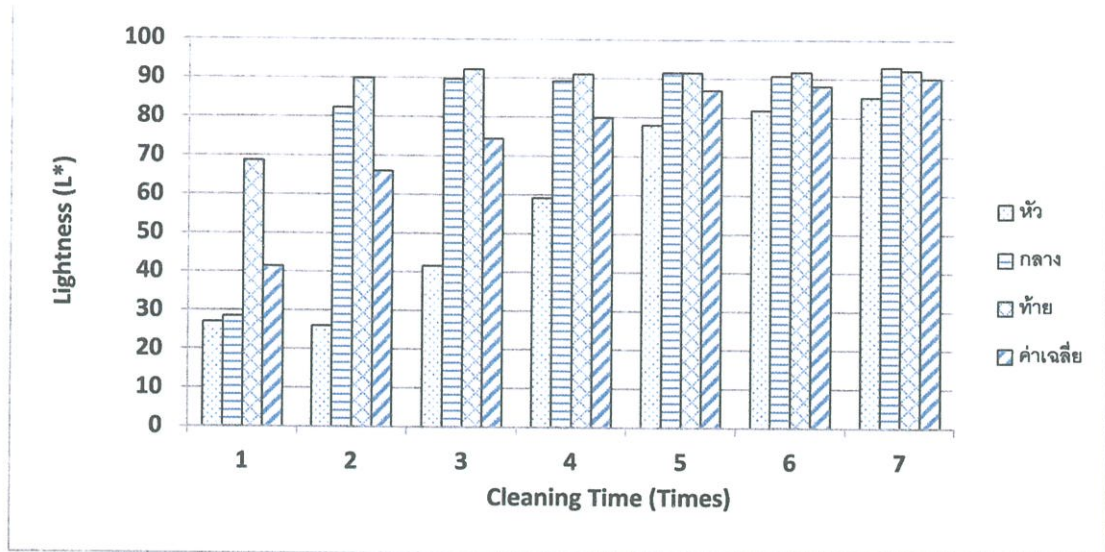
ครั้งที่ฉีด	อัตราส่วนยางหลัก EPDM/EVA		
	100/0	85/15	70/30
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

รูปที่ 4.9 ลักษณะยางทำความสะอาดเมื่อผ่านการรีดผสมด้วย Two-Roll Mill ในอัตราส่วนยาง EPDM/EVA ที่ 100/0, 85/15 และ 70/30

เมื่อนำยางทำความสะอาดที่ผ่านการทำความสะอาดมารีดเป็นแผ่นเพื่อทำการวัดสี จะเห็นว่า ยางสูตรที่มีอัตราส่วน EPDM/EVA ที่ 70/30 จะมีค่าความสกปรกน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับข้างต้น เมื่อนำยางมาวัดสีที่เปลี่ยนแปลงไปพบว่า ค่า L^* มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนครั้งในการทำความสะอาดมากขึ้น นั่นคือ ยางมีความสว่างมากขึ้น แสดงว่าสกปรกสะสมมากขึ้น จึงมีสิ่งสกปรกติดออกมาน้อยลง และในการทำความสะอาดครั้งที่ 2 พบว่ายางมีค่า L^* สูงขึ้น แสดงว่ามีสิ่งสกปรกเหลือติดอยู่น้อยที่สกปรก จึงมีสิ่งสกปรกติดออกมากับยางน้อยลง นั่นคือ สกปรกมีความสะอาดมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.3(C) และ 4.10



(A) แผนภูมิแท่งแสดงการวัดสีในอัตราส่วนยาง EPDM85/EVA15/Silica60

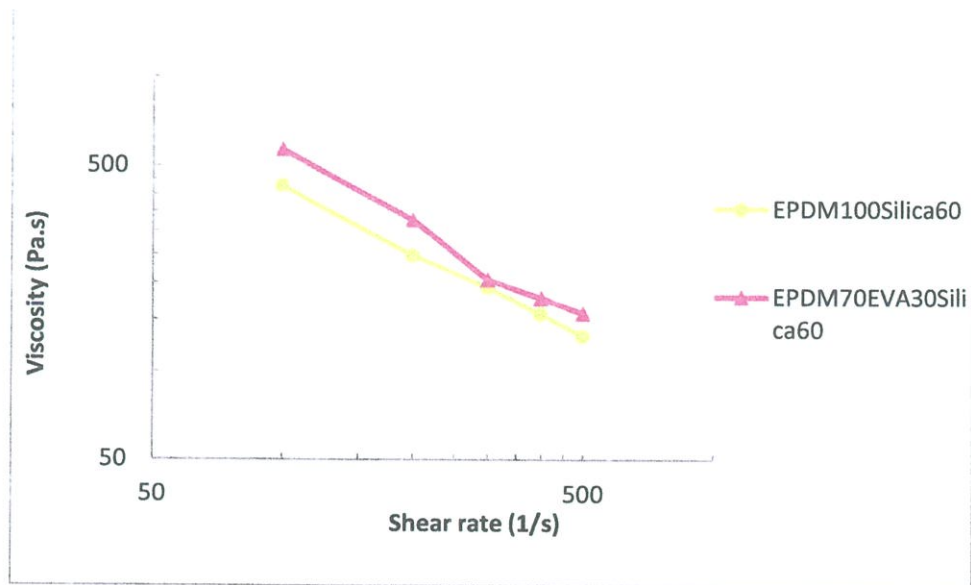


(B) แผนภูมิแท่งแสดงการวัดสีในอัตราส่วนยาง EPDM70/EVA30/Silica60

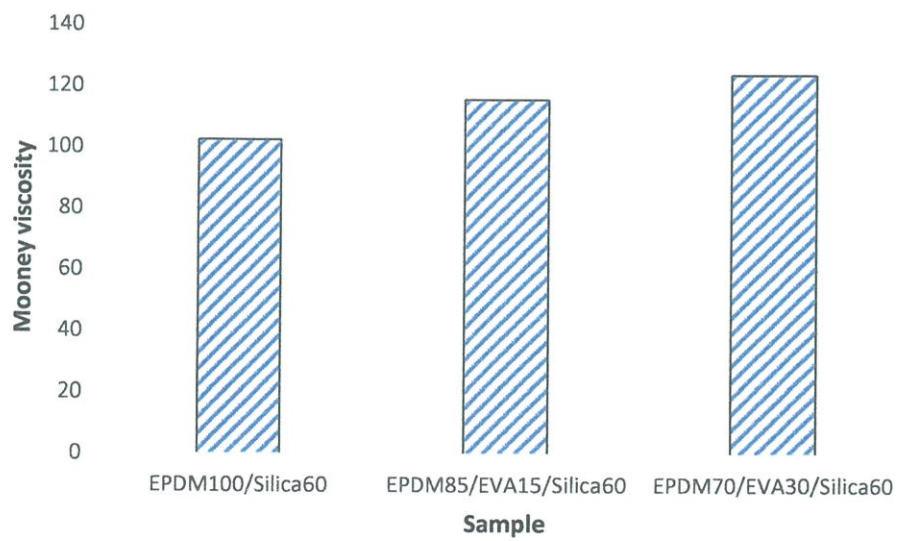
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่าง (L^*) กับจำนวนครั้งในการทำมาสะอาดเครื่องฉีดยาง

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างยางทำความสะอาดที่มีอัตราส่วน EPDM/EVA ต่างกันในการฉีดทำความสะอาดครั้งที่สาม (รูปที่ 4.11) พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณ EVA ประสิทธิภาพในการทำมาสะอาดเครื่องฉีดยางเพิ่มมากขึ้น ยางขาวเร็วขึ้น ค่า L^* สูงขึ้น (รูปที่ 4.12) แสดงให้เห็นว่า อัตราส่วนยางหลัก EPDM/EVA ที่ 70/30 มีประสิทธิภาพในการทำมาสะอาดสูงขึ้น เนื่องจาก EVA มีหมู่ไวนิลอะซีเตตที่มีความเป็นขั้วสูง ทำให้สามารถเกิดอันตรกิริยากับสารตัวเติมซิลิกาที่มีขั้วสูง เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลได้มากกว่าสูตรยางทำความสะอาดที่ไม่ได้ใส่ EVA และ EVA มีสมบัติเหนียวติดที่ดี จากรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ EVA Viscosity มีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยไม่แตกต่างกันมากเทียบกับ อัตราส่วน EPDM/EVA ที่ 100/0 เช่นเดียวกับค่าความหนืดมูนนี้ ดังรูปที่ 4.14





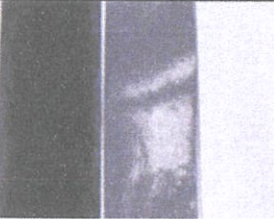

แสดงว่า EVA เพิ่มความมีขั้วให้กับอัตราส่วนยางหลัก ส่งผลให้สามารถนำสิ่งสกปรกที่มีขั้วออกมาได้ดีขึ้น จึงเลือกอัตราส่วนยางหลักเป็น EPDM/EVA ที่ 70/30 ไปทำการศึกษาต่อในตอนต่อไป



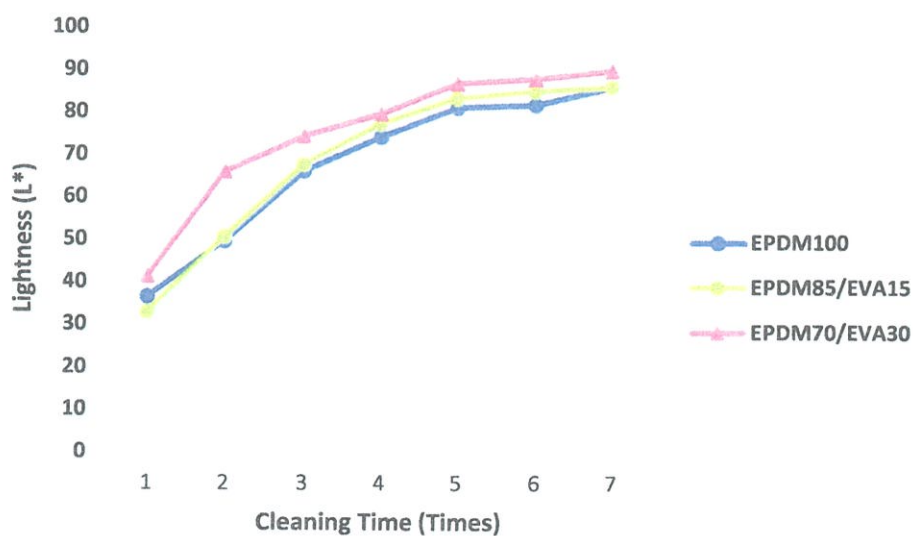
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Viscosity กับ Shear Rate ในอัตราส่วนยาง EPDM/EVA ที่ 100/0 และ 70/30



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความหนืดมูนนี่ (ML1+4(100°C)) กับอัตราส่วนยาง EPDM/EVA ที่ 100/0, 85/15 และ 70/30

รูปภาพหลัง การทำความสะอาด สะอาด ครั้งที่ 3	อัตราส่วนยางหลัก EPDM/EVA		
	100/0	85/15	70/30
ยางที่ผ่านการ ฉีดทำความสะอาด สะอาด			
ยางที่ผ่านการ รีดผสมด้วย Two-Roll Mill			

รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบยางหลังการทำความสะอาดครั้งที่ 3 ในสูตรที่มีอัตราส่วนยางหลัก EPDM/EVA ที่ 100/0, 85/15 และ 70/30




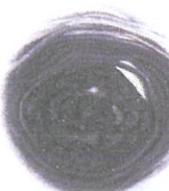

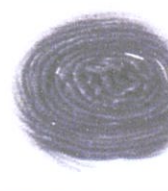



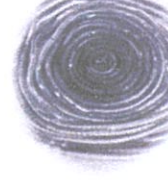


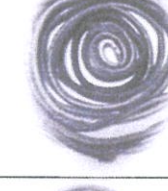




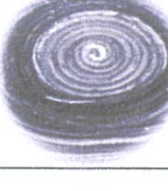







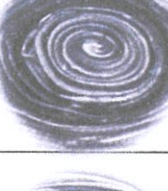




รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่าง (L*) กับจำนวนครั้งในการทำความสะอาดเครื่องฉีดยาง ในอัตราส่วนยาง EPDM/EVA ที่ 100/0, 85/15 และ 70/30

4.3 ศึกษาปริมาณสารลดแรงตึงผิว

งานวิจัยนี้เลือกใช้สารลดแรงตึงผิว FAE เป็นสารช่วยในการทำความสะอาดของยางทำความสะอาดเครื่องฉีดยาง เนื่องจาก FAE เป็นสารประกอบอินทรีย์ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนที่มีขี้มและส่วนที่ไม่มีขี้ม จึงคาดว่า FAE จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำความสะอาดของยางทำความสะอาดเครื่องฉีดยาง อัตราส่วนยางหลักที่ใช้ศึกษาในขั้นตอนนี้คือ EPDM70/EVA30/Silica60 และทำการแปรปริมาณ FAE ที่ 0, 5, 10 และ 20 phr สภาวะที่ใช้ในฉีดทำความสะอาดเช่นเดียวกับที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนที่ 1

จากการฉีดทำความสะอาดเครื่องฉีดยางทั้งหมด 7 ครั้งจะเห็นได้ว่า ยางที่ออกมาจากเครื่องฉีดยางมีลักษณะเป็นเส้นยาว มีสีไม่สม่ำเสมอตลอดความยาวเส้น สีดำมากในการฉีดครั้งแรกและขาวขึ้นเมื่อฉีดทำความสะอาดอีกครั้ง เมื่อเปรียบเทียบลักษณะยางที่ผ่านการทำความสะอาดของสูตรยางทำความสะอาดแต่ละสูตรที่ปริมาณสารลดแรงตึงผิวต่างกัน พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณ FAE มากขึ้นประสิทธิภาพการทำความสะอาดของยางทำความสะอาดลดลง ดังรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าที่ปริมาณ FAE น้อย ยางทำความสะอาดที่ฉีดออกมาเริ่มขาวในการฉีดทำความสะอาดครั้งที่ 2 ถึง 3 และขาวขึ้นเรื่อยๆ เมื่อทำการฉีดอีกครั้ง แสดงว่ามีสิ่งสกปรกติดออกมาน้อยลง สกปรกสะสมขึ้น ที่ปริมาณ FAE มาก จะมีสีค่อนข้างดำปนขาวเมื่อทำการฉีดครบ 7 ครั้ง แสดงว่าภายในเครื่องฉีดยางยังมีสิ่งสกปรกอยู่มาก

จากลักษณะยางที่ผ่านการฉีดทำความสะอาดด้วยเครื่องฉีดยาง จะเห็นได้ว่ายางที่ได้จากการฉีดทำความสะอาดในแต่ละครั้งมีสีที่ไม่สม่ำเสมอกันตลอดทั้งเส้น ทำการแบ่งส่วนและผสมด้วย Two-Roll Mill เช่นเดียวกับตอนที่ 1 ดังรูปที่ 4.16 นำไปวัดสี (หมายเหตุ จากรูปที่ 4.16 สูตรที่ FAE ปริมาณ 10 phr ในการฉีดครั้งที่ 7 เนื่องจากปริมาณน้อยจึงไม่สามารถแบ่งยางออกเป็น 3 ส่วนได้)

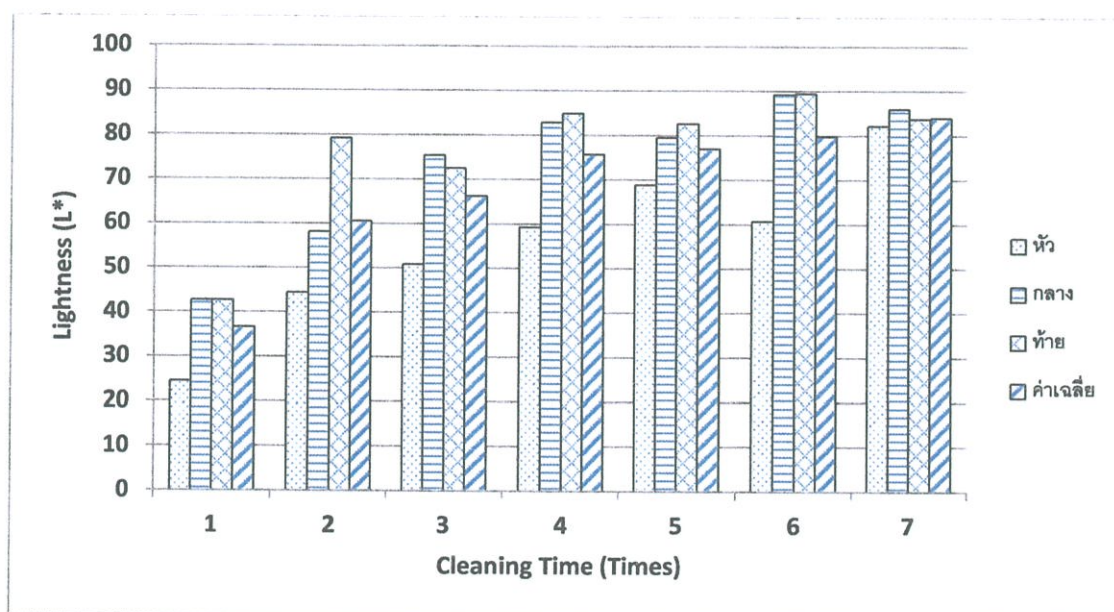
ครั้งที่ฉีด	ปริมาณสารลดแรงตึงผิว FAE (phr)			
	0	5	10	20
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

รูปที่ 4.15 ข้างที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยขยงผสมสูตรที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิว FAE 0, 5, 10 และ 20 phr

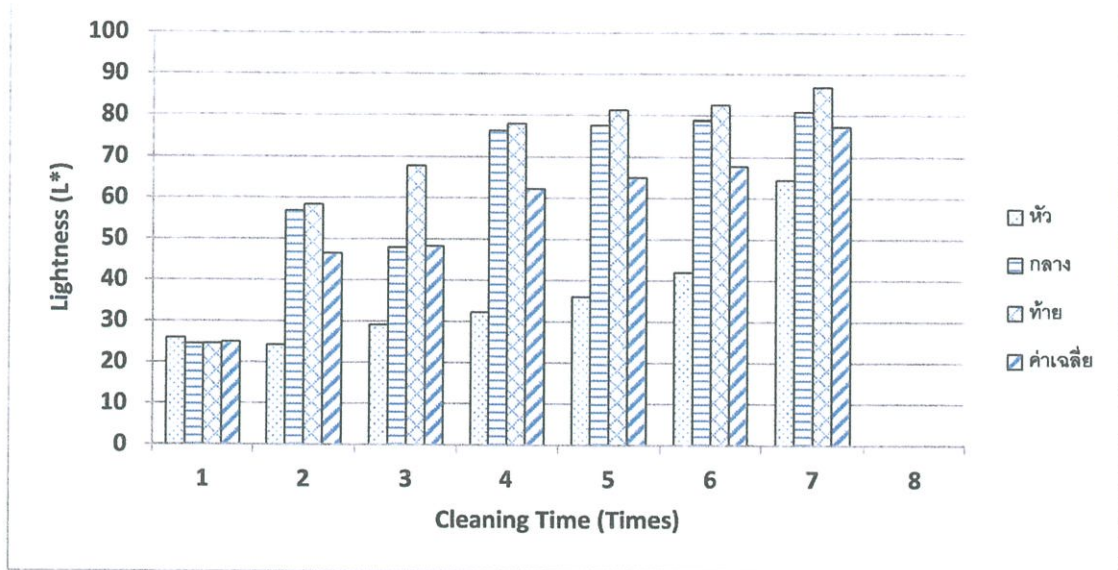
ครั้งที่ฉีด	ปริมาณสารลดแรงตึงผิว FAE (phr)			
	0	5	10	20
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

รูปที่ 4.16 ลักษณะยางทำความสะอาดเมื่อผ่านการรีดผสมด้วย Two-Roll Mill ในสูตรยางที่มี ปริมาณสารลดแรงตึงผิว FAE 0, 5, 10 และ 20 phr

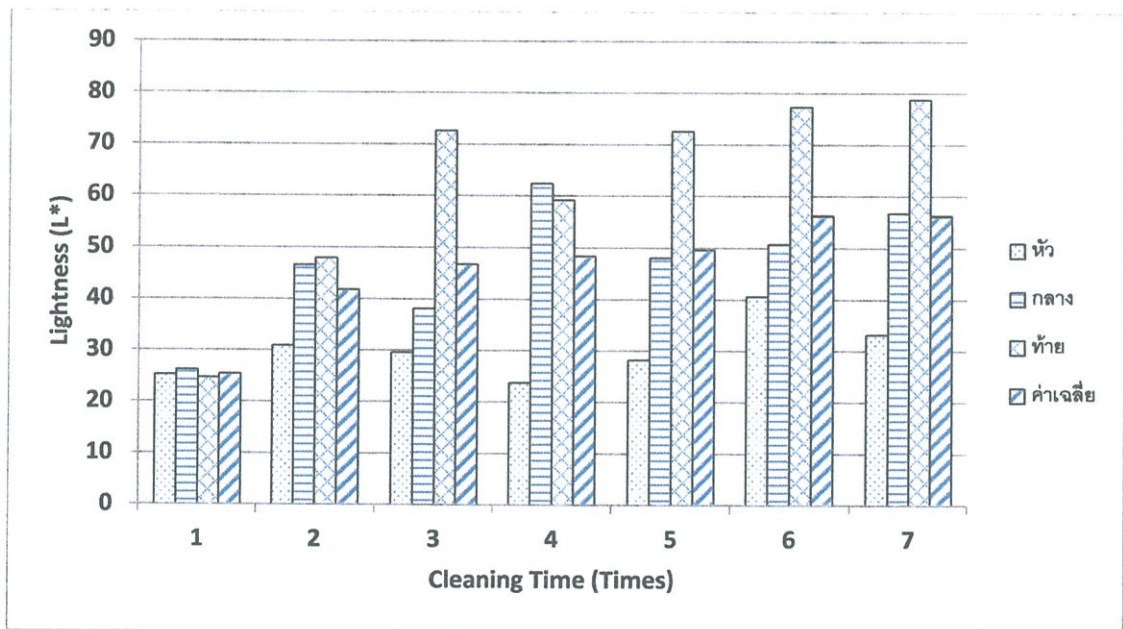
เมื่อนำยางทำความสะอาดที่ผ่านการทำความสะอาดมารีดเป็นแผ่นเพื่อทำการวัดสี จะเห็นว่า ยางสูตรที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิว FAE น้อย จะมีค่าความสกปรกน้อยที่สุดเมื่อทำการฉีดมากครั้ง ซึ่งสอดคล้องกับข้างต้น เมื่อนำยางมาวัดสีที่เปลี่ยนแปลงไป พบว่าที่ปริมาณ FAE น้อย ค่า L^* มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนครั้งในการทำทำความสะอาดมากขึ้น นั่นคือ ยางมีความสว่างมากขึ้น แสดงว่าสกปรกสะสมมากขึ้น จึงมีคราบสกปรกติดออกมาน้อยลง และในการทำทำความสะอาดครั้งที่ 3 พบว่ายางมีค่า L^* สูงขึ้นมากที่สุด ดังรูปที่ 4.10 (B) และ 4.17 แสดงว่ามีคราบสกปรกเหลือติดอยู่ที่สกปรกน้อย จึงมีคราบสกปรกติดออกมากับยางน้อยลง นั่นคือ สกปรกมีความสะอาดมากขึ้น



(A) แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณสารลดแรงตึงผิว FAE 5 phr



(B) แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณสารลดแรงตึงผิว FAE 10 phr



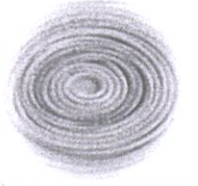
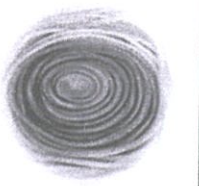
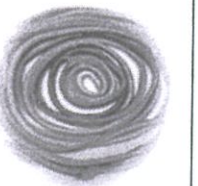
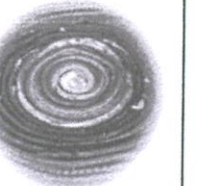
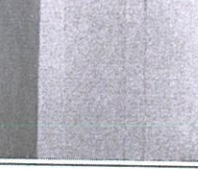

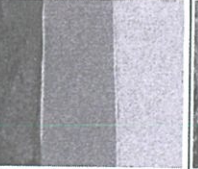

(C) แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณสารลดแรงตึงผิว FAE 20 phr

รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่าง (L*) กับจำนวนครั้งในการทำสะอาดเครื่องฉีดยาง

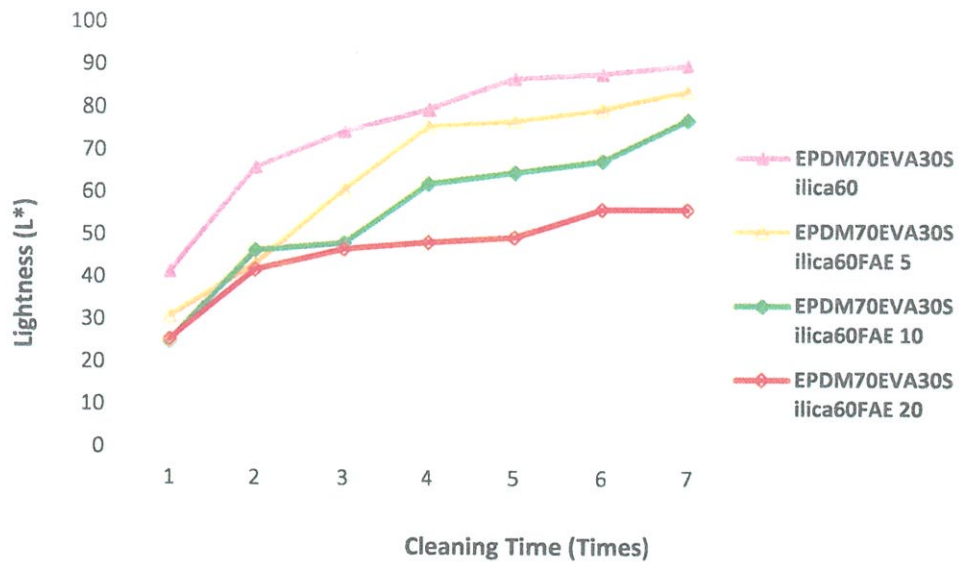
เมื่อเปรียบเทียบระหว่างยางทำความสะอาดที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิว FAE ต่างกัน จากรูปที่ 4.18 และ 4.19 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสารลดแรงตึงผิว FAE ประสิทธิภาพในการทำสะอาดเครื่องฉีดยางลดลง คาดว่าเนื่องจาก FAE ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ จึงไม่สามารถดึงสิ่งสกปรกที่มีขี้ภายในสกรูออกมา และมีสถานะเป็นของเหลวเมื่อผสมในปริมาณมาก

จะทำหน้าที่คล้ายสารช่วยหล่อลื่น ทำให้ยางเกิดการลื่นไถล แทนการดูดซับสิ่งสกปรกออกมา จากรูปที่ 4.20 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ FAE Viscosity มีค่าลดลง เนื่องจากของเหลว FAE แทรกอยู่ในเนื้อยาง ส่งผลให้ ค่าความหนืดมูนนี้ลดลง ดังรูปที่ 4.21 คือ ทำให้ยางผสมสูตรมีความหนืด แรงเนียนต่ำลง ส่งผลให้การขัดถูกับเครื่องฉีดลดลง ทำให้ประสิทธิภาพในการทำความสะอาดอันเนื่องมาจากแรงเนียนและการถูลดลงตามไปด้วย สิ่งสกปรกที่ติดสกรูภายในเครื่องฉีดไม่ถูกขัดออกมา มีสิ่งสกปรกติดอยู่ในสกรูมาก ค่า L^* จึงมีค่าลดลง

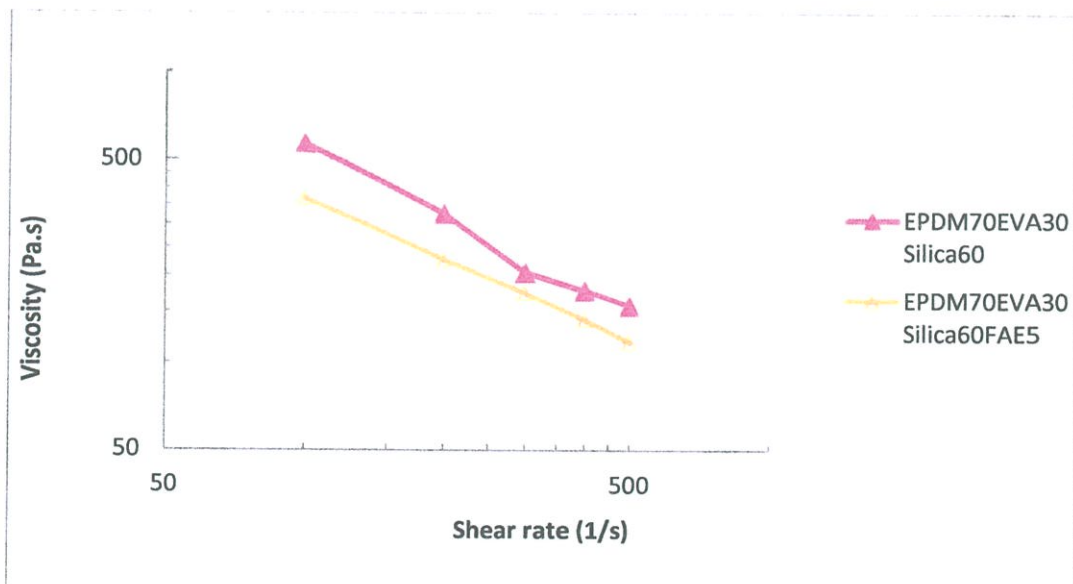
จากผลการทดลองปริมาณสารลดแรงตึงผิว FAE ที่ 0 phr มีประสิทธิภาพในการทำความสะอาดมากที่สุด แต่จะเลือก FAE ที่ 5 phr มาศึกษาในตอนต่อไป เนื่องจากจากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าเมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวร่วมกับสารทำความสะอาดประสิทธิภาพในการทำความสะอาดจะเพิ่มขึ้น[23]

รูปภาพหลังการทำความสะอาดครั้งที่ 3	ปริมาณสารลดแรงตึงผิว FAE (phr)			
	0	5	10	20
ยางที่ผ่านการฉีดทำความสะอาด				
ยางที่ผ่านการรีดด้วย Two-Roll Mill				

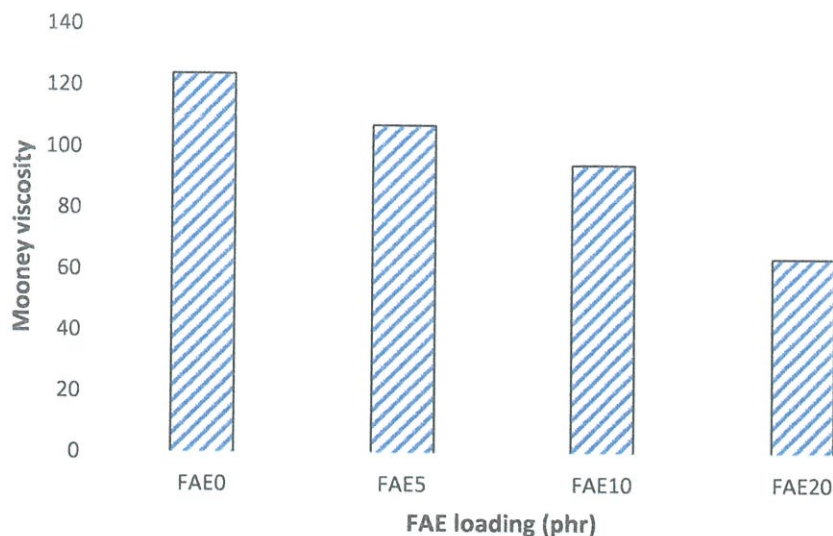
รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบยางหลังการทำความสะอาดครั้งที่ 3 ในสูตรที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิว 0-20 phr



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่าง (L*) กับจำนวนครั้งในการทำสะอาดเครื่องฉีดยางในสูตรที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิว 0-20 phr



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Viscosity กับ Shear Rate ในสูตรที่มีปริมาณสารลดแรงตึงผิว 0 และ 5 phr



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความหนืดมูนนี่ (ML1+4(100°C)) กับปริมาณสารลดแรงดึงผิว 0-20 phr ในอัตราส่วนยาง EPDM70/EVA30/Silica60

4.4 ศึกษาปริมาณสารทำความสะอาดร่วมกับสารลดแรงดึงผิว

จากการศึกษาผลของปริมาณสารทำความสะอาดที่ใช้ทำความสะอาด ในงานวิจัยนี้เลือกใช้สารทำความสะอาด MEA ศึกษาโดยการแปรปริมาณ MEA ที่ 0, 10, 20 และ 30 phr ร่วมกับสารลดแรงดึงผิว FAE กำหนดให้ปริมาณ FAE คงที่ที่ 5 phr (จากตอนที่ 3) และเลือกปริมาณสารทำความสะอาดที่ดีที่สุดเมื่อใช้ร่วมกับสารลดแรงดึงผิวมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำความสะอาดระหว่าง MEA เทียบกับ FAE อัตราส่วนยางหลักเป็น EPDM70/EVA30/Silica 60 ใช้สภาวะทดสอบเช่นเดียวกับตอนที่ผ่านมา จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสารที่ใช้ทำความสะอาดในระบบที่ใช้สารลดแรงดึงร่วมกับสารทำความสะอาดประสิทธิภาพในการทำมาสะอาดของเครื่องฉีดยางจะดีขึ้น[23] จึงคาดว่าเมื่อใช้ FAE ที่ 5 phr ร่วมกับการแปรปริมาณ MEA จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำมาสะอาดเครื่องฉีดยาง

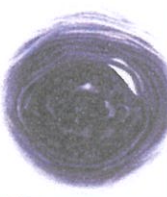

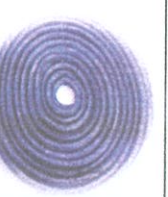




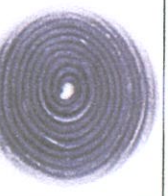

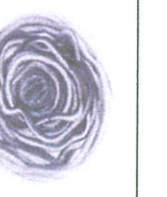
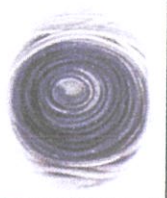
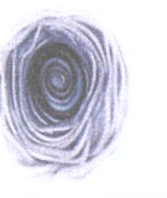



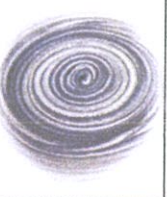
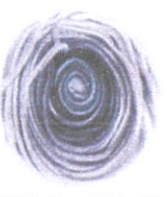
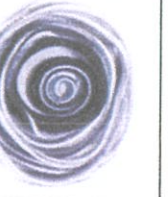



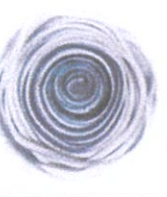

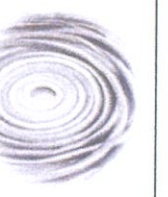
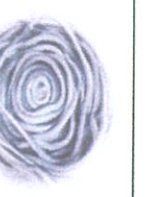
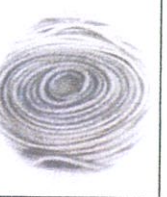
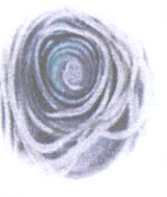
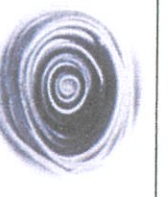
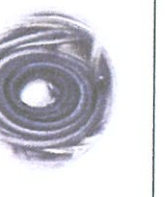
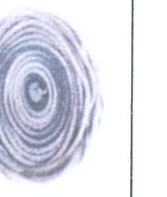
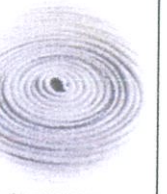


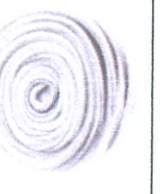
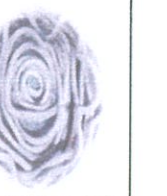
ในการศึกษาผลของปริมาณสารทำความสะอาดเมื่อใช้ร่วมกับสารลดแรงดึงผิว แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรก ศึกษาผลของ MEA เมื่อใช้ร่วมกับ FAE ส่วนที่สอง ศึกษาผลของ MEA เทียบกับ FAE

จากการฉีดทำความสะอาดเครื่องฉีดยางทั้งหมด 7 ครั้งจะเห็นได้ว่า ผลการศึกษาส่วนแรกเมื่อเปรียบเทียบลักษณะยางที่ผ่านการทำความสะอาดของสูตรยางทำความสะอาดแต่ละสูตรเมื่อใช้ MEA ร่วมกับ FAE ยางที่ออกมาจากเครื่องฉีดยางมีลักษณะเป็นเส้นยาว มีสีไม่สม่ำเสมอตลอด

ความยาวเส้น สีดำมากในการฉีดครั้งแรกและขาวขึ้นเมื่อฉีดทำความสะอาดอีกครั้ง ยางขาวช้าเมื่อเพิ่มปริมาณ MEA มากขึ้น โดยจะเห็นว่าที่ 10 phr ยางเริ่มขาวที่การฉีดครั้งที่ 2 ที่ 20 phr ยางเริ่มขาวที่การฉีดครั้งที่ 3 ที่ 30 phr ยางเริ่มขาวที่การฉีดครั้งที่ 4

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะยางที่ผ่านการทำความสะอาดของสูตรยางทำความสะอาดสูตรที่ ปริมาณ FAE 5 phr และสูตรที่ปริมาณ MEA 10 phr พบว่า ที่ FAE 5 phr ฉีดครั้งแรกยางมีสีดำมาก และเริ่มขาวขึ้นในการฉีดครั้งที่ 3 แสดงว่ายางทำความสะอาดสามารถขจัดสิ่งสกปรกออกมาได้มาก ที่ MEA 10 phr ยางเริ่มขาวที่การฉีดครั้งที่ 3 เช่นเดียวกัน และขาวขึ้นเรื่อยๆเมื่อทำการฉีดมากครั้ง ดังรูปที่ 4.22 แสดงว่ามีสิ่งสกปรกติดออกมาน้อยลง สกปรกสะอาดขึ้น

จากลักษณะยางที่ผ่านการฉีดทำความสะอาดด้วยเครื่องฉีดยาง จะเห็นได้ว่ายางที่ได้จากการฉีดทำความสะอาดในแต่ละครั้งมีสีที่ไม่สม่ำเสมอกันตลอดทั้งเส้น ทำการแบ่งส่วนและผสมด้วย Two-Roll Mill เช่นเดียวกับตอนที่ 1 ดังรูปที่ 4.23 นำไปวัดสี

ครั้งที่ฉีด	ปริมาณ FAE/MEA (phr)				
	5/0	5/10	5/20	5/30	0/10
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

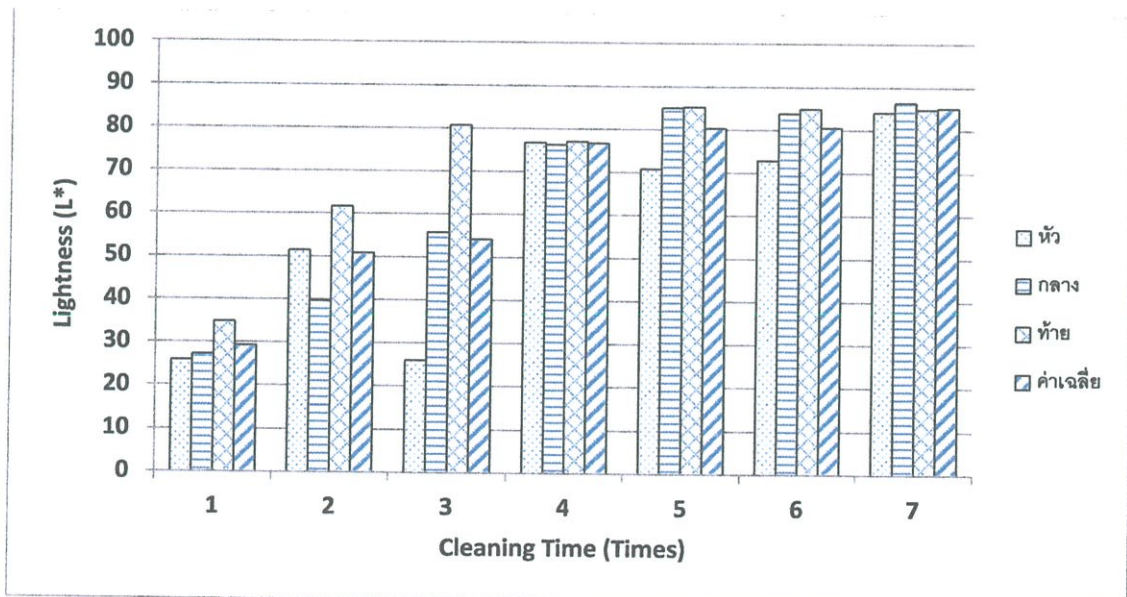
รูปที่ 4.22 ยางที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรในปริมาณ FAE/MEA ที่แตกต่างกัน

ครั้งที่ฉีด	ปริมาณ FAE/MEA (phr)				
	5/0	5/10	5/20	5/30	0/10
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					

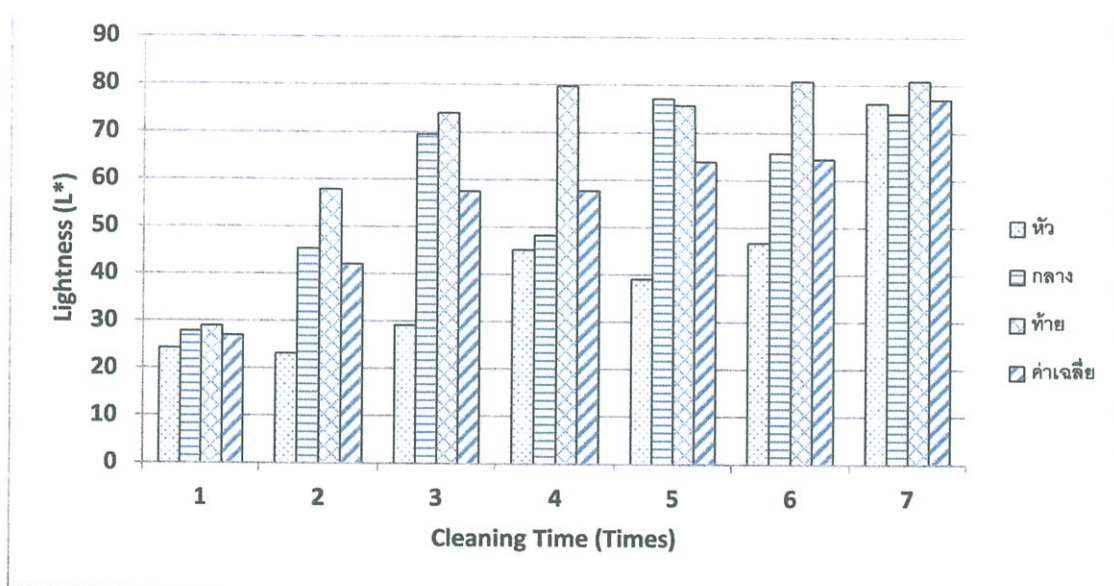
รูปที่ 4.23 ลักษณะยางทำความสะอาดเมื่อผ่านการรีดผสมด้วย Two-Roll Mill ในสูตรที่มีปริมาณ FAE/MEA ที่แตกต่างกัน

จากการสังเกตลักษณะยางเมื่อผ่านการรีดด้วย Two-Roll Mill พบว่าที่ปริมาณ MEA 10 phr ยางที่ผ่านการฉีดทำความสะอาดในรอบที่ 6 และ 7 มีความขาวไม่แตกต่างกันมากเมื่อเทียบกับสูตรยางที่ 5 phr

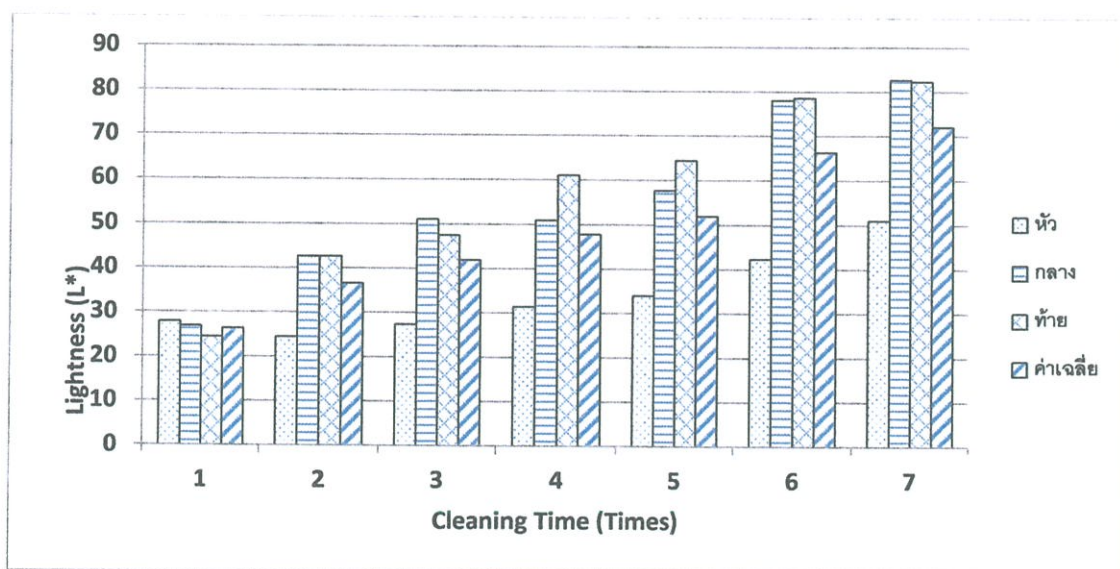
เมื่อนำยางทำความสะอาดที่ผ่านการทำความสะอาดมารีดเป็นแผ่นเพื่อทำการวัดสี จะเห็นว่า การศึกษาผลของปริมาณสารทำความสะอาดร่วมกับสารลดแรงตึงผิวยางสูตรที่มีปริมาณสารลดทำความสะอาดน้อย จะมีค่าความสกปรกน้อยที่สุด คือสะอาดเร็วสุด ซึ่งสอดคล้องกับข้างต้น เมื่อนำยางมาวัดสีที่เปลี่ยนแปลงไปพบว่า เมื่อทำการฉีดครั้งแรก ค่า L^* มีค่าต่ำ และในการทำความสะอาดครั้งที่ 3 พบว่ายางมีค่า L^* สูงขึ้นมากที่สุด และเมื่อจำนวนครั้งในการทำความสะอาดมากขึ้น ยางมีความสว่างมากขึ้น แสดงว่าสกปรกสะอาดมากขึ้น จึงมีคราบสกปรกติดออกมาน้อยลง ดังรูปที่ 4.17(A) และ 4.24 แสดงว่ามีคราบสกปรกเหลือติดอยู่ด้วยที่สกปรก จึงมีคราบสกปรกติดออกมากับยางน้อยลง นั่นคือ สกปรกมีความสะอาดมากขึ้น การศึกษาผลของสารทำความสะอาดเทียบกับสารลดแรงตึงผิว พบว่ายางสูตรที่ใช้สารทำความสะอาด ค่า L^* เพิ่มขึ้นมากกว่ายางสูตรที่ใช้สารลดแรงตึงผิว แสดงว่าสารทำความสะอาดสามารถนำสิ่งสกปรกภายในเครื่องฉีดออกมาได้มากกว่า



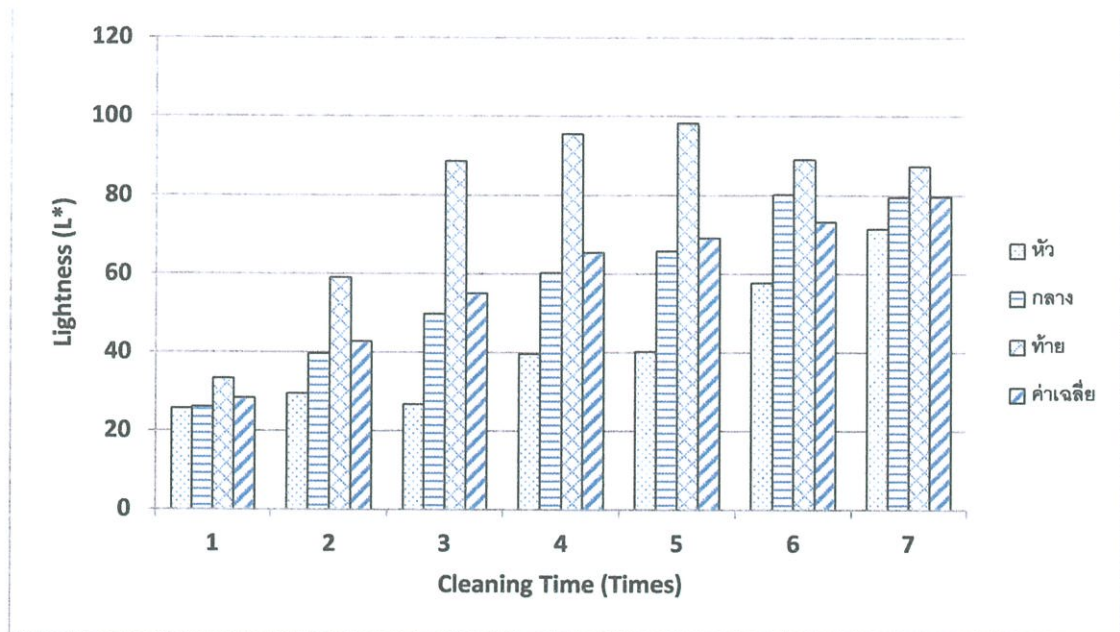
(A) แผนภูมิแท่งแสดงการวัดสียางทำความสะอาดในสูตรที่มีปริมาณ FAE5 MEA10 phr



(B) แผนภูมิแท่งแสดงการวัดสียางทำความสะอาดในสูตรที่มีปริมาณ FAE5 MEA20 phr



(C) แผนภูมิแท่งแสดงการวัดสียางทำความสะอาดในสูตรที่มีปริมาณ FAE5 MEA30 phr


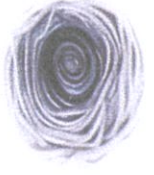
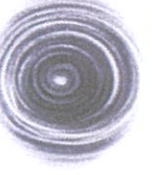


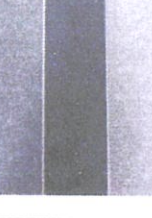


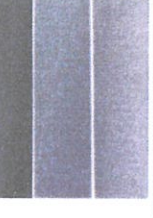



(D) แผนภูมิแท่งแสดงการวัดสียางทำความสะอาดในสูตรที่มีปริมาณ FAE0 MEA10 phr
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่าง (L*) กับจำนวนครั้งในการทำทำความสะอาดเครื่องฉีดยาง

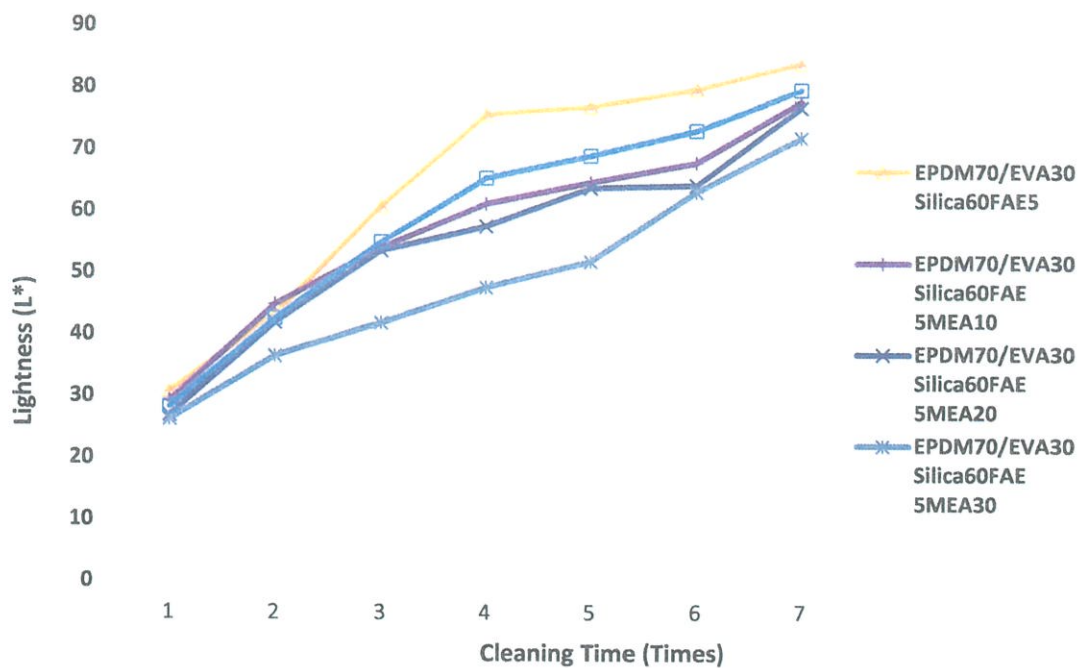
จากการศึกษาส่วนแรกผลของปริมาณ MEA เมื่อใช้ร่วมกับ FAE พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณ MEA มากขึ้น ประสิทธิภาพของยางทำความสะอาดเครื่องฉีดยางจะลดลง จากรูปที่ 4.25 และ 4.26 ซึ่งผลการทดลองที่ได้ไม่เป็นไปตามงานวิจัยที่ได้ศึกษา[23] คาดว่าเกิดจากการใช้สารทำความสะอาดต่างชนิด และเนื่องจากกลไกการทำความสะอาดของสารทำความสะอาด คือ สารทำความสะอาดจะระเหยเป็นไอเพื่อจับกับสิ่งสกปรก แต่งานวิจัยนี้ได้ใช้อุณหภูมิการฉีดที่ 70°C ซึ่งยังไม่ถึงอุณหภูมิที่ MEA จะทำหน้าที่ทำความสะอาด ทำให้ MEA ไม่ได้ทำหน้าที่ในการจับสิ่งสกปรกของสูตรยางที่ผสมสารทำความสะอาด และเมื่อเพิ่มปริมาณ MEA มากขึ้น จะมีลักษณะเป็นของเหลวข้น ติดอยู่บริเวณพื้นผิวของสูตรยางทำความสะอาด จากรูปที่ 4.27 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ MEA Viscosity มีค่าลดลง เนื่องจากของเหลว MEA เกาะอยู่บริเวณผิวยาง ส่งผลให้ ค่าความหนืดมีค่าลดลง และจากผลค่าความหนืดมีค่าดังในรูป 4.28 แสดงให้เห็นว่ายางผสมสูตรที่มี MEA มาก จะมีความหนืด และแรงเสียดต่ำลง ส่งผลให้การขัดถูกับเครื่องฉีดลดลง ทำให้ประสิทธิภาพในการทำความสะอาดอันเนื่องมาจากแรงเสียดและการถู ลดลงตามไปด้วย สิ่งสกปรกที่ติดสกรูภายในเครื่องฉีดถูกขัดออกมาได้ยาก ยางทำความสะอาดที่ถูกฉีดออกมาจึงมีค่า L* ที่ลดลง

และเมื่อเทียบสารลดแรงตึงผิว FAE กับสารทำความสะอาด MEA พบว่าประสิทธิภาพในการทำความสะอาดของ FAE ดีกว่า MEA สังเกตได้จากการศึกษาผลของการทำความสะอาดด้วย

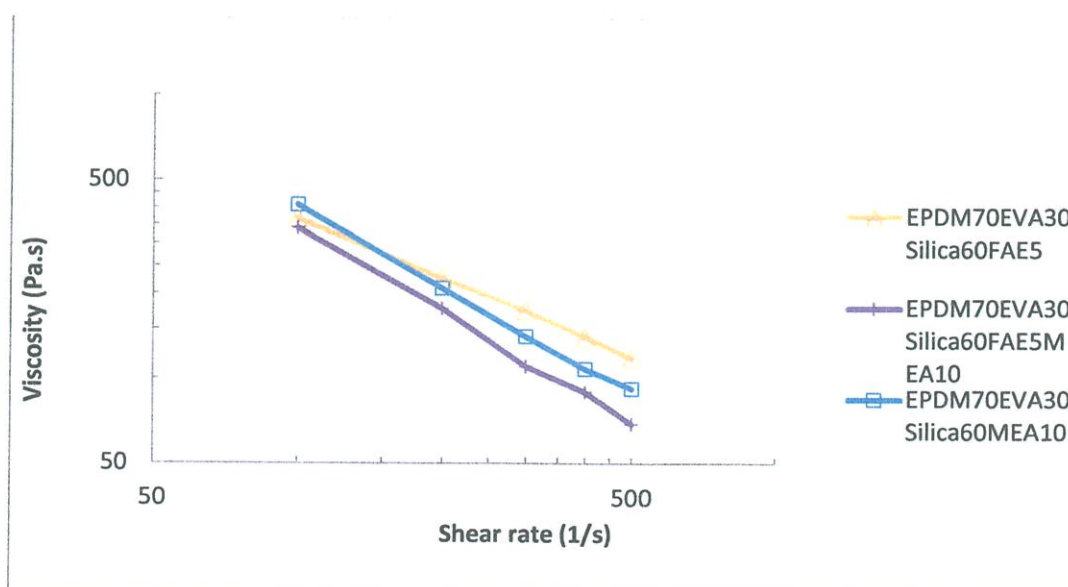
สายตา ผลจากการวัดสี และค่าความหนืดมูนนี้มากกว่า ดังรูปที่ 4.22, 4.24, 4.27 และ 4.28 ตามลำดับ

รูปภาพหลัง การทำความ สะอาด ครั้งที่ 3	ปริมาณ FAE/MEA (phr)				
	5/0	5/10	5/20	5/30	0/10
ยางที่ผ่าน การฉีดทำ ความสะอาด					
ยางที่ผ่าน การรีดด้วย Two-Roll Mill					

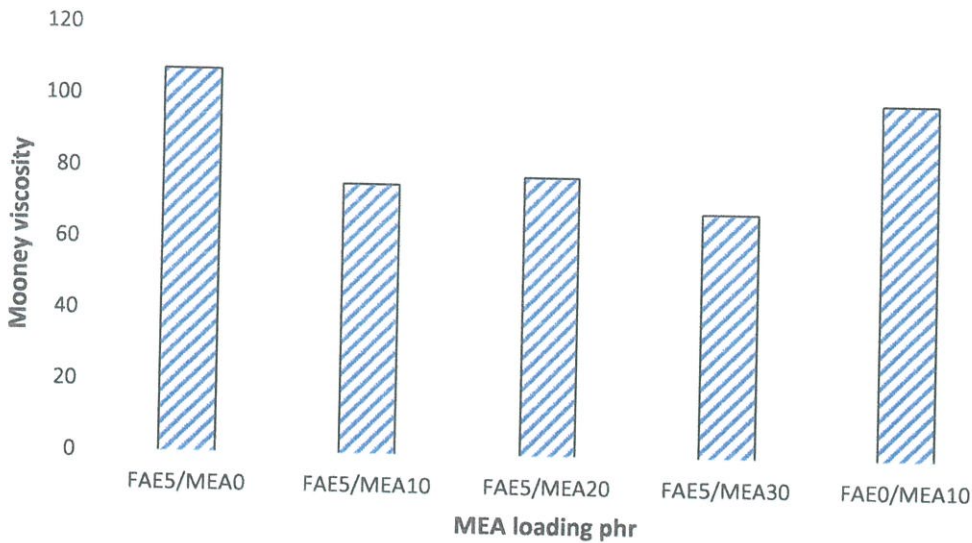
รูปที่ 4.25 การเปรียบเทียบยางหลังการทำความสะอาดครั้งที่ 3 ในสูตรที่มีปริมาณสารทำความ
สะอาด 10-30 phr



รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่าง (L^*) กับจำนวนครั้งในการทำความสะอาดเครื่องฉีดยางในสูตรที่มีปริมาณสารทำความสะอาด 10-30 phr



รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Viscosity กับ Shear Rate ในสูตรที่มีปริมาณสารลดแรงดึงผิวต่อสารทำความสะอาด 5/0, 5/10 และ 0/10




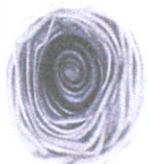


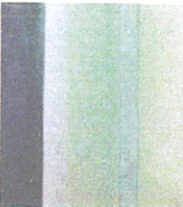
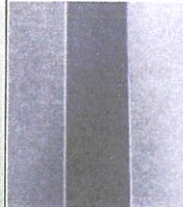
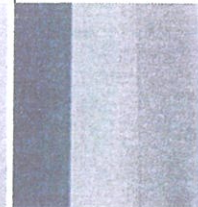
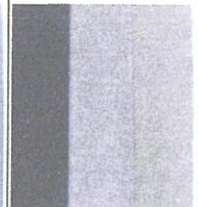


รูปที่ 4.28 การเปรียบเทียบค่าความหนืดมูนนี่ (ML1+4(100°C)) กับปริมาณสารทำความสะอาด 10-30 phr ที่อัตราส่วนยาง EPDM70/EVA30/Silica60

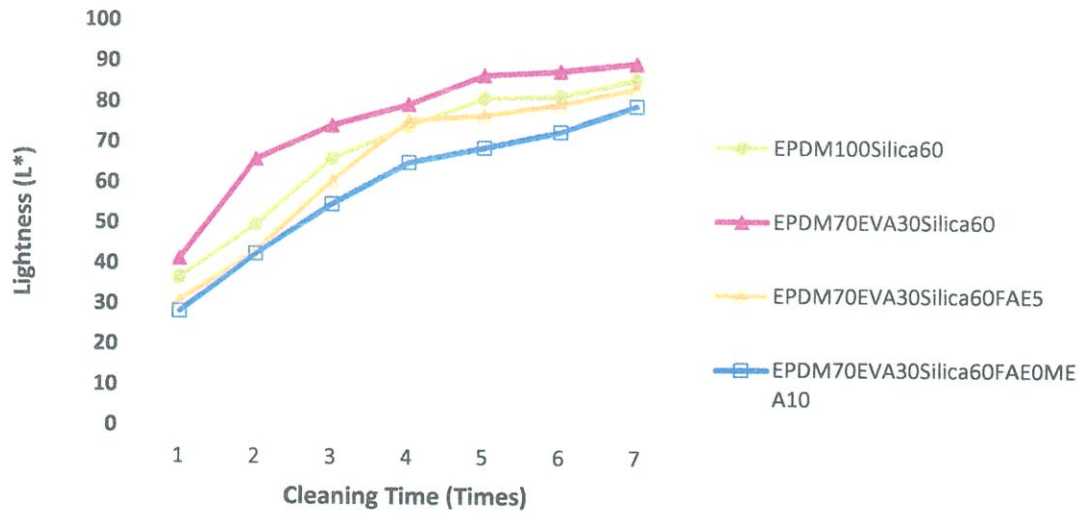
หลังจากเตรียมยางทำความสะอาดเครื่องฉีดยาง และนำมาทดสอบทำความสะอาดเครื่องฉีดยางที่ใช้งานจริงในอุตสาหกรรมที่บริษัท เอส.เค. โพลีเมอร์ ฉีดยางด้วยยางทำความสะอาดที่อุณหภูมิ 70°C ความดัน 90 ปาสคาล ความเร็ว 90 มิลลิเมตรต่อวินาที จำนวนการฉีด 7 ครั้ง ครั้งละ 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากรูปที่ 4.29 จะเห็นว่า เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำความสะอาดเครื่องฉีดยางด้วยยางทำความสะอาด EPDM100/Silica60, EPDM70/EVA30/Silica60, EPDM70/EVA30/Silica60/FAE5, EPDM70/EVA30/Silica60/FAE5/MEA10 และ EPDM70/EVA30/Silica60/MEA10 พบว่า ยางทำความสะอาดเครื่องฉีดยาง EPDM70/EVA30/Silica60 มีประสิทธิภาพในการทำความสะอาดมากที่สุด เนื่องจากในการฉีดครั้งแรกยางมีสีดำนมาก คือ มีสิ่งสกปรกออกมามากและความสกปรกตกลงเมื่อจำนวนครั้งในการฉีดมากขึ้น โดยใช้จำนวนครั้งในการฉีดและความสกปรกตกลงน้อยลงน้อยกว่ายางทำความสะอาดสูตรอื่น

เมื่อนำยางทำความสะอาดเครื่องฉีดยางที่ผ่านการทำความสะอาดมาวัดสีที่เปลี่ยนแปลงไป พบว่า ค่า L* มีค่าลดลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่า L* ของยางก่อนทำความสะอาด นั่นคือ ยางมีความสว่างลดลง มีสีเข้มมากขึ้น แสดงว่าคราบสกปรกติดออกมากับยางมากขึ้น และเมื่อจำนวนครั้งในการทำความสะอาดเครื่องฉีดยางมากขึ้นค่า L* มีค่าเพิ่มขึ้น นั่นคือยางมีความสะอาดมากขึ้น เมื่อฉีดยางครั้งที่ 1 และครั้งต่อไป ค่า L* จะลดลงอย่างมากในครั้งแรกและเพิ่มขึ้นในครั้งต่อไป แสดงให้เห็นว่า สิ่งสกปรกติดอยู่ภายในเครื่องฉีดยางน้อยลงจึงมีสิ่งสกปรกติดออกมากับยางน้อยลง

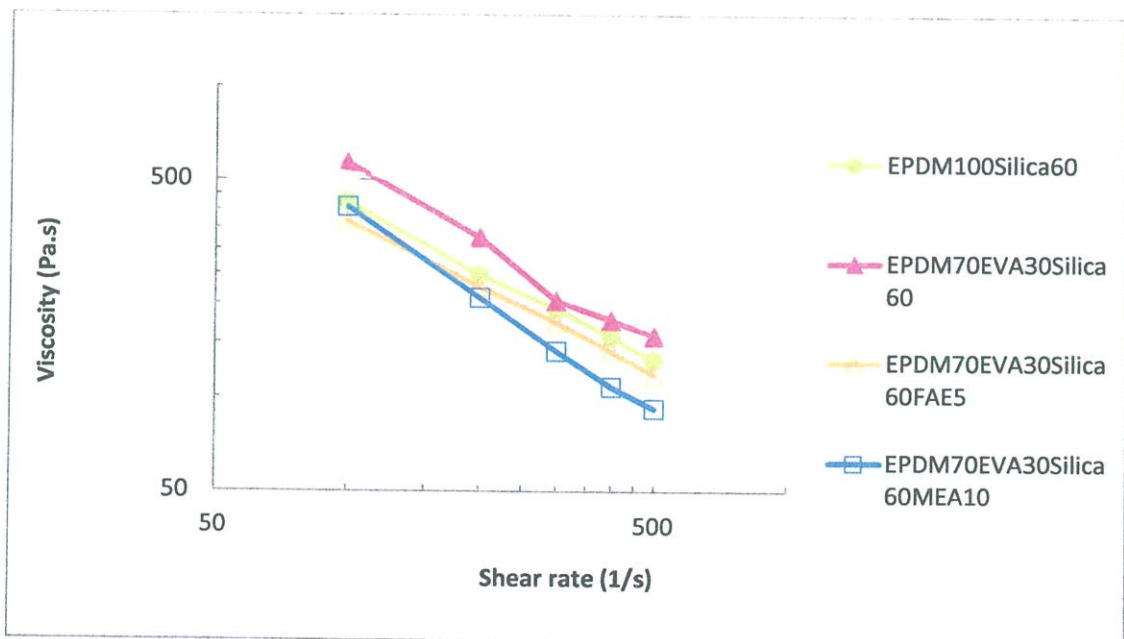
นั่นคือ เครื่องฉีดมีความสะอาดมากขึ้น จากกราฟแสดงการเปรียบเทียบผลการวัดสี รูปที่ 4.30 จะเห็นได้ว่า ยางสูตร EPDM70/EVA30/Silica 60 เริ่มขาวขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในการฉีดครั้งที่สอง และเมื่อทำการฉีดมากครั้งค่าความขาวของยางแต่ละสูตรไม่แตกต่างกันมาก ซึ่งสอดคล้องกับค่า Viscosity และความหนืดมูนนี้ ดังรูปที่ 4.31 และ 4.32 ตามลำดับ ยางสูตร EPDM70/EVA30/Silica 60 จึงมีประสิทธิภาพในการทำความสะอาดเครื่องฉีดอย่างมากที่สุด

รูปภาพหลัง การทำความสะอาด สะอาด ครั้งที่ 3	อัตราส่วนยางทำความสะอาด EPDM/EVA/Silica/FAE/MEA (phr)				
	100/0/60/0/0	70/30/60/0/0	70/30/60/5/0	70/30/60/5/10	70/30/60/0/10
ยางที่ผ่าน การฉีดทำ ความสะอาด					
ยางที่ผ่าน การรีดด้วย Two-roll mill					

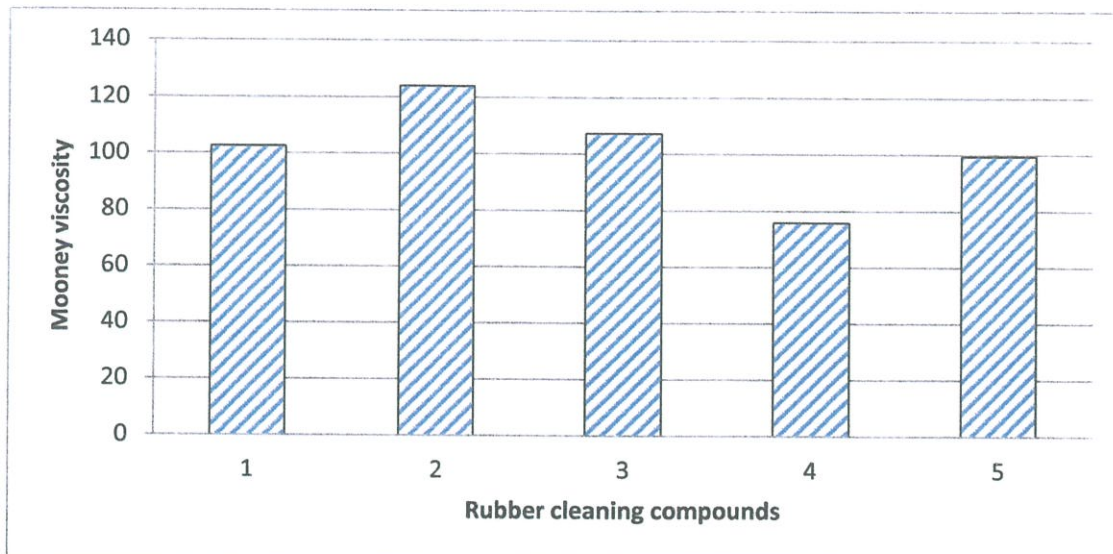
รูปที่ 4.29 ภาพแสดงการเปรียบเทียบยางหลังการฉีดทำความสะอาดครั้งที่ 3 ของยางผสมสูตรในแต่ละตอน



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่าง (L^*) กับจำนวนครั้งในการทำสะอาดเครื่องฉีดยางของยางผสมสูตรในแต่ละตอน



รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Viscosity กับ Shear Rate ของยางผสมสูตรในแต่ละตอน



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความหนืดมูนนี่ (ML1+4(100°C)) ของยางผสมสูตรในแต่ละตอน (1)ยางผสมสูตร EPDM100/Silica60 (2)ยางผสมสูตร EPDM70/EVA30/Silica60 (3)ยางผสมสูตร EPDM70/EVA30/Silica60/FAE5 (4)ยางผสมสูตร EPDM70/EVA30/Silica60 FAE5/MEA10 (5)ยางผสมสูตร EPDM70/EVA30/Silica60/MEA10

4.5 การวิเคราะห์ต้นทุนของยางทำความสะอาดเครื่องฉีดยาง

การวิเคราะห์ต้นทุนของยางทำความสะอาดเครื่องฉีดยางจะวิเคราะห์ 2 สูตร คือ ยางผสมสูตรที่มีอัตราส่วนยางหลัก EPDM100/Silica60 phr ยางผสมสูตรที่มีอัตราส่วนยาง EPDM70/EVA30/Silica60 phr ดังตารางที่ 4.1 พบว่า ต้นทุนวัตถุดิบของยางทำความสะอาดเครื่องฉีดยางทั้ง 2 สูตร ประมาณ 138 บาทต่อกิโลกรัม ทั้งนี้ยางทำความสะอาดเครื่องฉีดยางที่เตรียมได้มีต้นทุนที่ต่ำกว่ายางล้างแม่แบบทางการค้า (Struktol® MC-A) ซึ่งมีราคา 559 บาทต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 4.1 ต้นทุนวัตถุดิบของยางทำความสะอาดเครื่องฉีดยาง ต่อ 1 กิโลกรัม สำหรับยางผสม
สูตรที่มีปริมาณซิลิกา 60 phr ยางผสมสูตรที่มีอัตราส่วนยาง EPDM70/EVA30/Silica60 phr

วัตถุดิบ	อัตราส่วน phr	ราคาวัตถุดิบ/กก. (บาท)	ราคาสูตร ตอนที่1 EPDM100/Silica 60 (บาท)	ราคาสูตร ตอนที่2 EPDM70/EVA30/Silica60 (บาท)
EPT 4045	100/70	91	91	63.7
Escolene	0/30	90	-	27
HISIL 255G	60	32.2	19.32	19.32
OIL-P150	10	30	3	3
FAE	5	70	-	-
MEA	10	150	-	-
TiO ₂	2	160	3.2	3.2
SI 69	3	700	21	21
รวม			137.52	137.22

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาปริมาณสารตัวเติม อัตราส่วนยางหลัก และสารที่ใช้ทำความสะอาด ที่มีผลต่อสมบัติของยางทำความสะอาดเครื่องฉีดยางที่เตรียมได้ สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ปริมาณสารตัวเติมซิลิกา

จากการศึกษาปริมาณของสารตัวเติมซิลิกาที่ 20, 40 และ 60 phr พบว่า ปริมาณสารตัวเติมซิลิกาที่เหมาะสมในการเตรียมยางทำความสะอาดเครื่องฉีดยางคือ 60 phr เนื่องจากมีความหนืดแรงเนียน ประสิทธิภาพการทำความสะอาดมากที่สุด และการเติมซิลิกาในปริมาณมากยังช่วยลดต้นทุนการผลิตอีกด้วย

2. อัตราส่วนยางหลัก

จากการศึกษาอัตราส่วนยางหลัก EPDM/EVA ที่ 100/0, 85/15 และ 70/30 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ EVA ในยาง ทำให้ประสิทธิภาพการทำความสะอาดดีขึ้น การใช้อัตราส่วน EPDM70/EVA 30 มีประสิทธิภาพในการทำความสะอาดสูงสุด อาจเนื่องจาก EVA ความเป็นขั้วสูงขึ้นส่งผลให้ยางมีประสิทธิภาพมากขึ้น

3. ปริมาณสารลดแรงตึงผิว

จากการศึกษาปริมาณสารลดแรงตึงผิว FAE พบว่าการไม่ใส่สารลดแรงตึงผิว FAE ทำให้ประสิทธิภาพการทำความสะอาดสูงสุด เมื่อเพิ่มปริมาณ FAE ประสิทธิภาพในการทำความสะอาดเครื่องฉีดยางลดลง คาดว่าเนื่องจาก FAE ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวมีสถานะเป็นของเหลวเมื่อผสมในปริมาณมากจะทำหน้าที่คล้ายสารช่วยหล่อลื่นแทรกอยู่ในเนื้อยาง ทำให้ยางเกิดการลื่นไถล แทนการดูดซับสิ่งสกปรกออกมา

4. ปริมาณสารทำความสะอาดร่วมกับสารลดแรงตึงผิว

จากการศึกษาปริมาณสารทำความสะอาด (Mono Ethanolamine; MEA) ร่วมกับสารลดแรงตึงผิว FAE พบว่าสารทั้งสองชนิดไม่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความสะอาด ทำหน้าที่คล้ายสารช่วยหล่อลื่น ทำให้ยางเกิดการลื่นไถล แทนการดูดซับสิ่งสกปรกออกมา

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำความสะอาดของยางทำความสะอาดเครื่องฉีดยางทั้งหมด พบว่ายางทำความสะอาดเครื่องฉีดยางที่ EPDM70/EVA30/Silica60 มีประสิทธิภาพในการทำความสะอาดเครื่องฉีดยางมากที่สุด

จากการเปรียบเทียบความหนืด ประสิทธิภาพในการทำความสะอาด การวัดสี พบว่ายางทำความสะอาดเครื่องฉีดยางที่เตรียมได้มีประสิทธิภาพในการทำความสะอาดที่ดี สามารถทำความสะอาดเครื่องฉีดยางได้อย่างมีประสิทธิภาพและยังมีต้นทุนในการผลิตต่ำ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาชนิดของยางอื่นเพิ่มเติม เช่น ยางธรรมชาติ (Natural Rubber) เพื่อลดต้นทุนการผลิต
3. ศึกษาชนิดของสารตัวเติมอื่นๆ เช่น อะลูมิเนียมซิลิเกต เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความสะอาด
3. ศึกษาชนิดของสารทำความสะอาดที่ใช้ทำความสะอาดชนิดใหม่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความสะอาด
4. ลดปริมาณสารคู่ควบไซเลนเนื่องจากสารคู่ควบอาจมีส่วนทำให้ยางเกิดการลื่นไถล

เอกสารอ้างอิง

1. บริษัท เอส.เค. โพลีเมอร์ จำกัด. 2546. เอกสารการทำความสะอาดแม่แบบในปัจจุบัน
2. อธิธิพล แจ่มชัด. 2551. เทคโนโลยีการยาง. เอกสารประกอบการสอนวิชาเทคโนโลยีการยาง
กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง
3. ธงศักดิ์ แก้วประกอบ. 2551. อธิธิพลของยางธรรมชาติที่ออกซิไดซ์ที่มีผลต่อการหดตัว
ด้วยความร้อน และสมบัติเชิงกลของพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตต : วิทยานิพนธ์ วิทยา
ศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิ-เมอร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
4. พงษ์ธร แซ่ฮุย. 2551. การใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติมในยาง : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
[Online]. Available : www.rubbercenter.org
5. วิสาขา ภูจินดา. 2549. ฐานความรู้ความปลอดภัยด้านสารเคมี [Online]. Available :
www.chemtrack.org
6. Thai Ethoxylate Co.,Ltd. 2556. Fatty Alcohol Ethoxylate. [Online]. Available :
<http://www.tex.co.th/Product.asp?smenuid=2&shmenuid=&nlevel=1>
7. The Dow Chemisical Company. 2003. MSDS of Monoethanolamine. [Online]. Available :
www.UCS1987.com
8. ชญากร นิมสุวรรณ. 2554. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างสารคู่ควบไซเลน Si-69 กับ
Si-264. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวารสารเพื่อการพัฒนาของอุตสาหกรรมยางไทย.
ปีที่ 6. [Online]. Available : www.rubbercenter.org
9. ชลดา ธีรการณวงศ์. 2554. ปฏิกริยาการเร่งด้วยแสงโดยไทเทเนียมไดออกไซด์.
วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา : ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

10. ชวนชม อ่วมเนตร. 2552. การพัฒนาพอลิเมอร์ย่อยสลายได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำและ แป้งดัดแปรเพื่อผลิตวัสดุคลุมโรงเรือนสำหรับเพาะปลูกพืช : วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยศิลปากร
11. กฤษณา คงศิษฐ์ นุชนาฎ ธีระนอง พรรษา อุดลยธรรม ฌพรรัตน์ วิจิตชลชัย และ วรรณจันทร์ ไชวิศ. 2550. เทคโนโลยีการผลิตยางผสมจากยางธรรมชาติ : ศูนย์วิจัยยางสงขลา และ สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร
12. เสกสรรค์ วินยางค์กุล. 2550. การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยาง : คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
13. Ismail H., U.S. Ishiaku, Z.A. Isak and P.K. Freakley. 1995. The effects of a cationic surfactant (fatty diamine) and a commercial silane coupling agent on the properties of a silica filled natural rubber compound. **European Polymer Journal** Vol. 33 (No.1): 1-6
14. Botros S.B. 1998. Thermal Stability of Butyl/EPDM Rubber Blend Vulcanizates. **Polymer Degradation and Stability**. Vol. 62: 471-477
15. Abdel-Aziz M.M and Basfar A.A. 2001. Evaluation of some Antioxydant in Radiation Vulcanized Ethylene-Propylene Diene (EPDM) Rubber. **Nuclear Instrument and method in Physics Research B**. Vol. 185: 346-350
16. Ejjoll E.E. and Saeed A.F. 2001. Chemical Kinetics of Vulcanisation and Compression Set. **European Polymer Journal**. Vol. 37: 329-339
17. Poh B.T. and NG C.C. 1998. Effect of Silane Coupling Agent on the Mooney Scorch Time of Silica-filled Natural Rubber Compound. **European Polymer Journal**. Vol.34: 975-979
18. ขนิษฐา ศรีประทุม และมนต์สุดา บุรารักษ์. 2546. การศึกษาอย่างล้างแม่แบบสำหรับอุตสาหกรรม: โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

19. กิตติพงษ์ เรืองวัฒนานนท์, เฉลิมพล รูปปั้น และธนวัฒน์ จันทรัตน์. การพัฒนาสูตรยางโฟมทำความสะอาดแม่พิมพ์:ผลการสารเสริมการเชื่อมโยงและแก๊สที่เกิดขึ้น: โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
20. Strukol Company of America. 2004. **Strukol[®]MC-A**. [Online]. Available :
<http://www.strukol.com/pdfs/MC-A.PDF>
21. NET TIE TECHNOLOGIES.LTD. 2004. **Super Clean[®] & Super Wax[®]**. [Online].
Available : <http://www.moneyman.com.tw/rubber/rubberinfo.htm>
22. CAPE Technology Sdn.Bhd. 2004. **ELASTOWET[®]**. [Online]. Available :
<http://www.cape.com.my/elastowet.htm>
23. Valley Rubber Mixing/Glo-Mold. 2004. **Glo-Mold[®]Cleaning Compound**. [Online].
Available : <http://www.valleyrubber.com/other.htm>
24. สมศักดิ์ วรมงคลชัย, อิทธิพล แจ่มชัด, ชลลดา ฤตวิรุฬห์ และสุภารัตน์ รักชลธิ. 2546. เอกสารประกอบวิชาปฏิบัติการเทคโนโลยีพอลิเมอร์. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง