

การศึกษาอย่างล้างแม่แบบสำหรับงานอุตสาหกรรม



นางสาวชนิษฐา ศรีประทุม
นางสาวมนต์สุดา บุรารักษ์

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

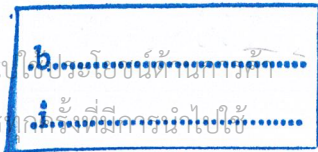
ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือนำไปใช้
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....55553
วัน,เดือน,ปี 19 พ.ค. 2548



Study of Mold-Cleaning Rubber Compound for Industrial Applications



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for
the Degree of Science
Department of Chemistry
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year 2003

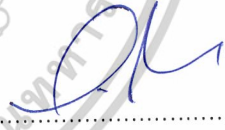
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การศึกษาขงล้าแม่แบบสำหรับงานอุตสาหกรรม

นักศึกษา นางสาวนินษฐา ศรีประทุม
นางสาวมนต์สุดา บุรารักษ์
ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ดร.สุภรัตน์ รักชาติ	
กรรมการ ดร.ชลลดา ฤทธิวิทย์	
กรรมการ นายชยุต สุวรรณพิมลกุล	


.....
(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)
หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การศึกษายางล้างแม่แบบสำหรับงานอุตสาหกรรม	
นักศึกษา	นางสาวชนิษฐา ศรีประทุม	รหัสนักศึกษา 43050066
	นางสาวมนต์สุดา บุรารักษ์	รหัสนักศึกษา 43050098
ภาควิชา	เคมี	คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2546	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. อธิธิพล แจ่มชัด	

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสูตรยางล้างแม่แบบอัดขึ้นรูปสำหรับงานอุตสาหกรรม โดยใช้ยางอีพียีเอ็มหรือยางเอทิลีนพรอพิลีน (Ethylene-Propylene Rubber; EPDM) และใช้อะมิโนเมทิลโพรพานอล (2-Amino-2-Methyl-1-Propanol; AMP) เป็นสารเคมีที่ใช้ในการทำความสะอาด โดยใช้ไดคิวมิวเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl Peroxide; DCP) เป็นสารเชื่อมโยง ทำการผสมโดยใช้เครื่องผสมระบบเปิดแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll Mill) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษานิตและปริมาณของสารตัวเติม (Filler) ได้แก่ ละอองซิลิกา (Fumed Silica) และซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ (Zeolite Na-A) และปริมาณสารที่ใช้ทำความสะอาด ที่มีผลต่อสมบัติของยางล้างแม่แบบ และทำการหาสถานะที่เหมาะสมในการขึ้นรูป โดยศึกษาจากสมบัติต่าง ๆ เช่น สมบัติการเชื่อมโยง สมบัติเชิงกล สันฐานวิทยาและทดสอบการทำความสะอาดกับแม่แบบที่ใช้งานจริง จากผลการทดลองพบว่า สารตัวเติมที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้คือ ละอองซิลิกา ที่ปริมาณ 40 phr ซึ่งจะให้ยางล้างแม่แบบที่มีสมบัติที่ดี เมื่อเทียบกับการใช้ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอเป็นสารตัวเติม ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจาก ละอองซิลิกาเป็นสารตัวเติมชนิดเสริมแรงที่ดี ส่วนซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอเป็นสารตัวเติมที่ไม่เสริมแรง ซึ่งจะเพิ่มเนื้อเพียงอย่างเดียว จากการศึกษาปริมาณ AMP พบว่า ประสิทธิภาพการทำความสะอาดแม่แบบจะดีขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณ AMP แต่มีผลต่อสมบัติเชิงกลบางประการ เช่น มอดุลัส และความแข็งแรงจะมีค่าลดลง การปรับปรุงความขาวของยางล้างแม่แบบสามารถทำได้โดยเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium Dioxide; TiO_2) จากการศึกษาพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณ TiO_2 จะส่งผลให้ สมบัติเชิงกลด้อยลง จากนั้นนำยางล้างแม่แบบที่ได้ไปทดสอบความสามารถในการทำ ความสะอาดกับแม่แบบจริง ซึ่งจากการทดสอบพบว่า ยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้ มีประสิทธิภาพ ในการทำความสะอาดมากกว่าหรือใกล้เคียงกับยางล้างแม่แบบทางการค้า (Struktol[®] MC-A) และยังมีต้นทุนต่ำกว่าด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Study of Mold Cleaning Rubber Compound for Industrial Applications		
Name	Miss Kanittha Sripratum	ID. 43050066	
	Miss Monsuda Buraruk	ID. 43050098	
Department	Chemistry		
Program	Industrial Chemistry		
Academic Year	2003		
Special Project Advisor	Asst.Prof.Dr.Ittipol Jangchud		

ABSTRACT

This research studied formula of mold cleaning rubber compounds for using in rubber industries. The based rubber was Ethylene-Propylene Diene Rubber (EPDM) incorporated with 2-Amino-2-Methyl-1-Propanol (AMP) as an active ingredient for surface cleaning. Dicumyl peroxide (DCP) was used as a crosslinking agent. The rubber compounds were mixed by a two-roll mill. In this research, some additives affecting rubber properties were studied; i.e., filler types (fumed silica and Zeolite Na-A), % filler loading and AMP loading. Properties of the mold cleaning rubbers were then characterized including cure characteristic, mechanical, morphological properties and cleaning ability with industrial mold. It was found that the rubber compound with 40 phr fumed silica possessed optimum properties compare to that with Zeolite Na-A. This can be explained that fumed silica is a reinforcing filler whereas Zeolite Na-A is a non-reinforcing filler. By studying % AMP loading, it was found that cleaning efficiency was increased as % AMP loading increased, however; some mechanical properties such as modulus, hardness were decreased. Whitening of the rubber compound can be improved by adding titanium dioxide (TiO₂). However, the more the TiO₂ loading, the lower the mechanical properties. The final formulation (EPDM with 40 phr silica, 20/30 phr AMP and 2 phr TiO₂) was tested for clean ability with industrial molds.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

It was revealed that the compound had higher/comparable cleaning efficiency and lower cost, compared to the commercial one (Struktol[®] MC-A).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์ และบุคคลหลายฝ่ายที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อความสมบูรณ์ของโครงการพิเศษนี้ ทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณผู้ให้ความช่วยเหลือ ดังมีรายนามต่อไปนี้

- ผศ.ดร. อธิธิพล แฉ่งชัด อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่คอยให้คำปรึกษา
แนะนำตลอดการทำโครงการ

- คุณสุพจน์ สุวรรณพิมลกุล กรรมการผู้จัดการ และ คุณชยุต สุวรรณพิมลพิกุล รอง
กรรมการผู้จัดการ บริษัทเอส.เค. โพลีเมอร์ จำกัด ที่ให้โอกาสและสนับสนุนในการทำโครงการ
พิเศษ

- คุณจตุรวัตรณ์ อธิรักษพันธ์ คุณกীরติ เลขาข้า และ คุณสุกัญญา มะณีใหญ่ ที่ปรึกษา
โครงการพิเศษ ที่ให้คำปรึกษาและคอยอำนวยความสะดวกต่าง ๆ

- บริษัทเอส.เค. โพลีเมอร์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ยางและสารเคมี

- อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิประสาทวิชาความรู้ และให้คำปรึกษาจนโครงการพิเศษสำเร็จ
ลุล่วง

- คุณภุชณะ เกษประดิษฐ์ และ คุณสุดใจ สอนสะอาด เจ้าหน้าที่ประจำอาคาร
ฝึกงานทางอุตสาหกรรมเคมีและพอลิเมอร์เทคโนโลยี ที่คอยอำนวยความสะดวกตลอดการทำ
โครงการ

- เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่คอยอำนวยความสะดวกตลอดการทำโครงการ

นอกจากนี้ยังมีบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลืออีกมาก ซึ่งมีได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ ทางคณะผู้จัดทำ
ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นางสาวชนิษฐา ศรีประทุม

นางสาวมนต์สุดา บุรารักษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.2.6 สารคู่ควบ (Coupling Agent)	23
2.3.2.7 สารที่ใช้ในการทำความสะอาด (Cleaning Agent)	24
2.3.2.8 สารให้สี (Pigment)	25
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
2.5 ยางล้างแม่แบบทางการค้าที่ใช้ในปัจจุบัน	28
2.5.1 Struktol® MC-A	28
2.5.2 Super Clean® และ Super Wax®	29
2.5.3 Elastowet®	32
2.5.4 Glo-mold®	32
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	34
3.1 แผนการดำเนินการ	34
3.2 สารเคมีและอุปกรณ์	35
3.3 วิธีการทดลอง	37
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	42
4.1 การศึกษาสมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยา	
4.1.1 การใช้ซิลิกาฟุ้ง (Fumed Silica) เป็นสารตัวเติม	42
4.1.2 การใช้ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ (Zeolite Na-A) เป็นสารตัวเติม	46
4.1.3 อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป	47
4.1.4 ปริมาณสารที่ใช้ทำความสะอาด (AMP)	54
4.1.5 การใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium Dioxide) เป็นสารเติมแต่ง	62
4.2 การศึกษาสัณฐานวิทยาของยางล้างแม่แบบ	67
4.3 การทำความสะอาดแม่แบบที่ใช้งานจริง	69
4.4 การวัดสี	74
4.5 การวิเคราะห์ต้นทุนของยางล้างแม่แบบ	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	79
5.1 สรุปผลการทดลอง	79
5.2 ข้อเสนอแนะ	82
เอกสารอ้างอิง	83



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบการทำความสะอาดแม่แบบวิธีต่าง ๆ	8
ตารางที่ 2.2 ตัวอย่าง Nonconjugate Diene ที่ใช้ในการผลิตยาง EPDM	10
ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างปริมาณสารเชื่อมโยงและสภาวะเชื่อมโยงยางชนิดต่าง ๆ ด้วย เปอร์ออกไซด์	16
ตารางที่ 2.4 สมบัติทางกายภาพของ Super Clean [®] และ Super Wax [®]	30
ตารางที่ 2.5 สภาวะที่แนะนำในการใช้ขึ้นรูปสำหรับ Manual Mold	30
ตารางที่ 2.6 สภาวะที่แนะนำในการใช้ขึ้นรูปสำหรับ Auto Mold	31
ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของยางเอทิลีนพรอพิลีน ชนิด Nordel [®] 4640 ที่ใช้ใน งานวิจัย	35
ตารางที่ 3.2 สูตรยางล้างแม่แบบที่ใช้ในงานวิจัย	37
ตารางที่ 4.1 การวัดสีที่ D 65/10 [°] ของยางล้างแม่แบบที่เติม TiO ₂ ในปริมาณต่าง ๆ	66
ตารางที่ 4.2 การวัดสีที่ D 65/10 [°] ของยางล้างแม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาด สูตรที่มีปริมาณ AMP 20 phr และ 30 phr	75
ตารางที่ 4.3 การวัดสีที่ D 65/10 [°] ของยางล้างแม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาด สูตรที่มีปริมาณ AMP 30 phr กับยางล้างแม่แบบทางการค้า (Struktol [®] MC-A)	77
ตารางที่ 4.4 ต้นทุนยางล้างแม่แบบ	78
ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้กับ ยางล้างแม่แบบทางการค้า (Struktol [®] MC-A)	81
ตารางที่ 5.2 การสรุปสูตรยางล้างแม่แบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของยางอีพีเอ็ม (EPM)	9
รูปที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลของยางอีพีดีเอ็ม (EPDM)	10
รูปที่ 2.3 กลไกการเชื่อมโยงยางด้วยสารประกอบเปอร์ออกไซด์	15
รูปที่ 2.4 โครงสร้างซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ (Zeolite Na-A)	19
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของ อะมิโนเมทิลโพรพานอล (2-Amino-2-Methyl-1-Propanol; AMP)	24
รูปที่ 2.6 กราฟการเชื่อมโยงของ Struktol [®] MC-A	29
รูปที่ 3.1 กราฟเชื่อมโยง (Cure Curve) ของยางผสมสูตร แสดงเวลาเชื่อมโยง (Cure Time; t_{90}) และเวลาก่อนการเชื่อมโยง (Scorch Time; t_{s2})	38
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของยางล้างแม่แบบกับปริมาณละอองซิลิกา	43
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของยางล้างแม่แบบกับปริมาณละอองซิลิกา	44
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงฉีกขาดของยางล้างแม่แบบกับปริมาณละอองซิลิกา	44
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างยังมอดุลัสของยางล้างแม่แบบกับปริมาณละอองซิลิกา	45
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสที่ 100 % 200 % 300 % การยืด (M100 M200 M300) ของยางล้างแม่แบบกับปริมาณละอองซิลิกา	45
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกดของยางล้างแม่แบบกับปริมาณละอองซิลิกา	46
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการเชื่อมโยงกับปริมาณของสารตัวเติม	48
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการเชื่อมโยงกับปริมาณ AMP ที่อุณหภูมิการขึ้นรูป 165 °C	48
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการเชื่อมโยงกับปริมาณ AMP ที่อุณหภูมิการขึ้นรูป 175 °C	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของยางล้างแม่แบบกับอุณหภูมิขึ้นรูป	50
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของยางล้างแม่แบบกับอุณหภูมิขึ้นรูป	50
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงฉีกขาดของยางล้างแม่แบบกับอุณหภูมิขึ้นรูป	51
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างยังมอดุลัสของยางล้างแม่แบบกับอุณหภูมิขึ้นรูป	51
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยางที่ 100 % การยืด (M100) ของยางล้างแม่แบบกับอุณหภูมิขึ้นรูป	52
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยางที่ 200 % การยืด (M200) ของยางล้างแม่แบบกับอุณหภูมิขึ้นรูป	52
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยางที่ 300 % การยืด (M300) ของยางล้างแม่แบบกับอุณหภูมิขึ้นรูป	53
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ AMP	54
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ AMP	54
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงฉีกขาดของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ AMP	55
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างยังมอดุลัสของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ AMP	55
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยางที่ 100 % การยืด (M100) ของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ AMP	56
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยางที่ 200 % การยืด (M200) ของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ AMP	56
รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยางที่ 300 % การยืด (M300) ของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ AMP	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยึด ณ จุดขาดของยางล้างแม่แบบ กับปริมาณ AMP ที่ปริมาณละอองซิลิกาที่ 40 phr	57
รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของยางล้างแม่แบบ กับปริมาณ AMP ที่ปริมาณละอองซิลิกาที่ 40 phr	58
รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงฉีกขาดของยางล้างแม่แบบ กับปริมาณ AMP ที่ปริมาณละอองซิลิกาที่ 40 phr	58
รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างยังมอดุลัสของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ AMP ที่ปริมาณละอองซิลิกาที่ 40 phr	59
รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยางที่ 100 % การยึด (M100) ของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ AMP ที่ปริมาณละอองซิลิกาที่ 40 phr	59
รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยางที่ 200 % การยึด (M200) ของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ AMP ที่ปริมาณละอองซิลิกาที่ 40 phr	60
รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยางที่ 300 % การยึด (M300) ของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ AMP ที่ปริมาณละอองซิลิกาที่ 40 phr	60
รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกดของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ AMP ที่ปริมาณละอองซิลิกาที่ 40 phr	61
รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการเชื่อมโยงกับปริมาณ TiO_2	62
รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยึด ณ จุดขาดของยางล้างแม่แบบกับ ปริมาณ TiO_2	62
รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ TiO_2	63
รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงฉีกขาดของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ TiO_2	63
รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างยังมอดุลัสของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ TiO_2	64
รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยางที่ 100 % การยึด (M100) ของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ TiO_2	64
รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยางที่ 200 % การยึด (M200) ของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ TiO_2	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยางที่ 300 % การยืด (M300) ของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ TiO_2	65
รูปที่ 4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ TiO_2	66
รูปที่ 4.41 สัณฐานวิทยาของยางล้างแม่แบบ ทำการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ โดยใช้กำลังขยาย 3000 เท่า	67
รูปที่ 4.42 แม่แบบที่สกรปรก รอการทำความสะอาด	69
รูปที่ 4.43 แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาด	70
รูปที่ 4.44 แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP 20 phr เป็นเวลา 3 นาที ที่ $175^{\circ}C$ เทียบกับแม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด	71
รูปที่ 4.45 แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP 30 phr เป็นเวลา 3 นาที ที่ $175^{\circ}C$ เทียบกับแม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด	71
รูปที่ 4.46 แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP 30 phr กับยางล้างแม่แบบทางการค้า (Struktol [®] MC-A) ที่ผ่านการทำความสะอาด 1 ครั้ง เป็นเวลา 15 นาที ที่ $175^{\circ}C$ เทียบกับแม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด	72
รูปที่ 4.47 ยางที่ผ่านการทำความสะอาดแม่แบบ	72
รูปที่ 4.48 มาตรฐานแสดงค่า L a และ b สามมิติ	74
รูปที่ 4.49 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่าง (L^*) กับจำนวนครั้งในการทำความสะอาดแม่แบบ	76

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ปัจจุบันนี้อุตสาหกรรมการแปรรูปยางในประเทศไทยมีอย่างแพร่หลาย เช่น อุตสาหกรรมยางทางด้านยานยนต์ ทางด้านการแพทย์ ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ ทางด้านวิศวกรรม เป็นต้น โดยมีตั้งแต่อุตสาหกรรมขนาดย่อม (SMEs) ไปจนถึงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ซึ่งในอุตสาหกรรมการแปรรูปยางนี้มีการแปรรูปยางอยู่หลายประเภทด้วยกัน หนึ่งในกระบวนการการแปรรูปยางที่นิยมคือ การแปรรูปยางโดยการอัดขึ้นรูป (Compression Molding) และการฉีดขึ้นรูป (Injection Molding) ซึ่งต้องมีการใช้แม่แบบ (Mold) ที่มีลักษณะต่าง ๆ ดังนั้นปัญหาที่มักเกิดตามมาคือ ปัญหาในการทำความสะอาดแม่แบบ อันเกิดเนื่องมาจากสารเคมีที่ใช้ในการเชื่อมโยง โดยจะเกิดเป็นคราบสกปรกขึ้นที่แม่แบบ ทำให้เวลาอัดขึ้นรูปจะมีคราบสกปรกติดที่ผิวของชิ้นงาน ส่งผลให้ชิ้นงานไม่สวยงาม เป็นรอยต่าง จึงต้องมีการทำความสะอาดแม่แบบขึ้น

วิธีการทำความสะอาดแม่แบบที่ใช้กันโดยทั่วไปตามโรงงานอุตสาหกรรม [1] คือ

1. การใช้น้ำยาล้างทำความสะอาด ประเภทของน้ำยาที่ใช้มีดังนี้
 - น้ำยาล้างทำความสะอาดชนิดที่มีตัวทำละลาย ตัวทำละลายที่ใช้จะมีฤทธิ์กัดกร่อนที่รุนแรง ทำให้แม่แบบสึกกร่อน และสารเคมีนี้มีกลิ่นเหม็น เป็นอันตรายและส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม
 - น้ำยาล้างทำความสะอาดชนิดที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย วิธีนี้จะทำให้แม่แบบเป็นสนิมได้ง่าย

2. การขัดด้วยกระดาษทราย หรือการพ่นทราย วิธีนี้จะทำให้ผิวของแม่แบบสึกกร่อนได้ง่าย ทำให้ขนาดและรูปร่าง (Dimensions) ของชิ้นงานเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะมีผลอย่างมากต่อชิ้นงานที่เป็นส่วนประกอบที่ต้องการขนาดของชิ้นงานที่แน่นอน วิธีนี้จะทำให้อายุการใช้งานของแม่แบบน้อยลง และการขัดทำความสะอาดนี้ต้องใช้แรงงานของพนักงาน ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองแรงงาน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการผลิตลดลงด้วย

3. การเผาแม่แบบ ซึ่งเป็นการเผาแม่แบบ แล้วใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ภาดบนแม่แบบ แล้วเทน้ำตามลงไป วิธีนี้จะใช้เวลาในการทำความสะอาดค่อนข้างสั้น ขนาดของชิ้นงานไม่เปลี่ยนแปลง แต่ต้องใช้ต้นทุนในการทำความสะอาดสูง เนื่องจากวิธีนี้มีการใช้น้ำยาบางชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร่วมด้วย ซึ่งน้ำยามีราคาแพง และมีการเปลี่ยนสภาวะของแม่แบบจากร้อนเป็นเย็นอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดความเค้นที่ผิวของแม่แบบขึ้น ทำให้อายุการใช้งานของแม่แบบน้อยลง

อุตสาหกรรมขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางในประเทศไทย เช่น บริษัท เอส.เค. โพลีเมอร์ จำกัด ได้ประสบปัญหาในการทำความสะอาดแม่แบบ ซึ่งวิธีที่ทางบริษัทได้ใช้ในการทำความสะอาด คือการขัดด้วยกระดาษทราย หรือสก๊อตช์ไบรต์ หรือแปรงทองเหลือง โดยใช้แรงงานของพนักงานในบริษัท และการจ้างบริษัทข้างนอกขัดทำความสะอาด ซึ่งต้องใช้เวลาในการทำ ความสะอาดแม่แบบนาน ทำให้เสียเวลาในการผลิตสินค้า ส่งผลให้ผลิตสินค้าได้น้อย กำลังการผลิตลดลง ประสิทธิภาพในการผลิตลดลงด้วย

จากปัญหาในการทำ ความสะอาดแม่แบบดังที่กล่าวมาข้างต้น จึงได้มีการคิดวิธีที่จะใช้ในการทำความสะอาดแม่แบบออกมาในรูป ยางคอมปาวด์ทำความสะอาดแม่แบบ (Mold Cleaning Compound) เพื่อลดเวลาในการทำ ความสะอาดแม่แบบ และแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นข้างต้น เช่น การสึกกร่อนของแม่แบบ ประสิทธิภาพในการผลิต ระยะเวลาที่ใช้ในการทำ ความสะอาดแม่แบบ ซึ่งจะส่งผลให้กำลังการผลิตของอุตสาหกรรมเพิ่มสูงขึ้น อุตสาหกรรมมี ประสิทธิภาพในการผลิตมากขึ้น

แต่ยางล้างแม่แบบที่ขายตามท้องตลาดนั้นมีราคาค่อนข้างสูง และต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้ต้นทุนในการนำเข้ายางล้างแม่แบบสูงมาก จึงได้มีการร่วมวิจัยยางล้างแม่แบบขึ้นระหว่างบริษัท เอส.เค. โพลีเมอร์ จำกัด และภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อที่จะผลิตยางล้างแม่แบบขึ้นโดยมีราคาที่ดีกว่า มีสมบัติใกล้เคียงกับยางล้างแม่แบบที่ขายตามท้องตลาด และนำมาใช้ในอุตสาหกรรมจริงได้ ซึ่งจะช่วยลดการนำเข้ายางล้างแม่แบบที่มีราคาค่อนข้างสูง ทำให้ต้นทุนในการทำ ความสะอาดแม่แบบลดลงด้วย และส่งผลให้มีกำลังการผลิตเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการผลิต และอายุการใช้งานของแม่แบบนานขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

ศึกษาสูตรผสมยางล้างแม่แบบที่เหมาะสม มีสมบัติที่ดีสามารถทำความสะอาดแม่แบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีต้นทุนการผลิตต่ำ โดยเน้นศึกษาชนิด ปริมาณของสารตัวเติม (Filler) ปริมาณ ของอะมิโนเมทิลโพรพานอล (2-Amino-2-Methyl-1-Propanol; AMP) ปริมาณของไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium Dioxide; TiO₂) และอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาชนิดและปริมาณของสารตัวเติม ดังนี้ 10 20 30 40 50 phr ที่มีผลต่อสมบัติของยางล้าแม่แบบ
2. ศึกษาปริมาณอะมิโนเมทิลโพรพานอล ดังนี้ 10 15 20 30 phr ที่มีผลต่อการทำความสะอาดแม่แบบ
3. ศึกษาอุณหภูมิ ดังนี้ 165 °C และ 175 °C ที่เหมาะสมในการขึ้นรูป
4. ศึกษาปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ ดังนี้ 0 5 10 phr ที่มีผลต่อสีและสมบัติของยางล้าแม่แบบ
5. ศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของยางล้าแม่แบบ เช่น สมบัติการเชื่อมโยง สมบัติเชิงกล สันฐานวิทยา การวัดสี

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ออกสูตรยางล้าแม่แบบ
3. ศึกษาชนิดของสารตัวเติม (Filler) ที่มีผลต่อสมบัติของยางล้าแม่แบบ สารตัวเติมที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่
 - ละอองซิลิกา (Fumed silica)
 - ซีโอไลต์ ชนิดโซเดียมเอ (Zeolite Na-A)
4. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสม โดย
 - แปรปริมาณ AMP
 - แปรอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป
 - แปรปริมาณละอองซิลิกา และซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ
 - แปรปริมาณ TiO_2
5. ผสมและอัดขึ้นรูปยางล้าแม่แบบ
6. ทดสอบสมบัติของยางล้าแม่แบบที่เตรียมได้
 - การทดสอบการเชื่อมโยง
 - การทดสอบสมบัติเชิงกล เช่น การทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile test) การทดสอบความแข็งแรงฉีกขาด (Tear test) การทดสอบความแข็งกด (Hardness test)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การทำความเข้าใจและนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การทดสอบการวัดสี

7. ศึกษาสัณฐานวิทยาจากยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้คอมปาวด์ทำความสะอาดแม่แบบที่มีประสิทธิภาพ และราคาถูก
2. ใช้เวลาในการทำความสะอาดแม่แบบน้อยลง
3. ลดการนำเข้าคอมปาวด์ทำความสะอาดแม่แบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ข้อมูลการทำความสะดวกแม่แบบ [1]

วิธีการทำความสะอาดแม่แบบที่ใช้กันทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรมอาจมีหลายวิธีดังที่กล่าวในบทที่ 1 ข้อมูลการทำความสะดวกแม่แบบที่จะอ้างถึงต่อไปนี้เป็นข้อมูลการทำความสะดวกแม่แบบที่บริษัทเอส.เค. โพลีเมอร์ จำกัด ซึ่งมีวิธีการทำความสะอาดแม่แบบดังต่อไปนี้

1. การทำความสะอาดแม่แบบโดยการขัดด้วยสก็อตช์ไบรต์หรือแปรงทองเหลือง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำความสะดวกแม่แบบ

- น้ำมันก๊าด
- ทองเหลืองเส้น
- สก็อตช์ไบรต์ หรือแปรงทองเหลือง

วิธีการ

- เทน้ำมันก๊าดลงบนแม่แบบทิ้งไว้ 5 นาที เพื่อให้เศษยางและคราบเคมีเก่าที่ติดบริเวณผิวแม่แบบพองตัว
- ใช้ทองเหลืองเส้นและบริเวณที่เป็นร่องลึก และใช้สก็อตช์ไบรต์ขัดบริเวณที่เป็นผิวหน้าของแม่แบบ

ผลที่ได้รับ

คราบเคมีและเศษยางเก่ายังออกไม่หมด สังเกตได้จากการอัดขึ้นงานในครั้งแรกหลังจากทำความสะอาด ซึ่งพบว่าขึ้นงานมีผิวไม่เรียบ แสดงให้เห็นว่าแม่แบบยังคงมีคราบเคมีและเศษยางเก่าติดค้างอยู่

2. การทำความสะอาดแม่แบบโดยการจ้างบริษัทรับทำความสะอาดแม่แบบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำความสะดวกแม่แบบ

- หินขัด (Super Stone)
- กระดาษทราย
- แปรงทองเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการ

- ใช้หินขัด (Super Stone) ขัดในร่อง
- ใช้กระดาษทรายหรือแปรงทองเหลืองขัดบริเวณผิวหน้า

ผลที่ได้รับ

คราบเคมีและเศษยางเก่ายังออกไม่หมด โดยสังเกตได้จากการขัดชิ้นงานในครั้งแรก หลังจากการทำความสะอาด ซึ่งพบว่าชิ้นงานมีผิวไม่เรียบ จึงต้องใช้พนักงานขัดซ้ำอีกครั้ง แต่ใช้เวลาในการทำความสะอาดน้อยกว่าการใช้พนักงานขัดเองทั้งหมด

จากวิธีการทำความสะอาดแม่แบบที่กล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการทำความสะอาดต่ำ จึงได้ใช้การทำความสะอาดแม่แบบด้วยยางล้างแม่แบบ ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพในการทำความสะอาดดีกว่า

2.2 ยางล้างแม่แบบ

ยางล้างแม่แบบที่ใช้ในการทำความสะอาดแม่แบบนี้ มีชื่อทางการค้าว่า Struktol[®] MC-A

วิธีการ

- ทำการกัดอัดยางล้างแม่แบบ

ผลที่ได้รับ

คราบเคมีและเศษยางเก่าติดออกมากับยางล้างแม่แบบ สามารถทำความสะอาดแม่แบบได้ดีกว่า 2 วิธีแรก สังเกตได้จากการขัดชิ้นงานในครั้งแรกหลังจากทำความสะอาด พบว่าชิ้นงานไม่มีคราบสกปรก ผิวของชิ้นงานเรียบ และสวยงาม

การทดสอบประสิทธิภาพของยางล้างแม่แบบ Struktol[®] MC-A

การทดสอบครั้งที่ 1 เป็นการทำความสะอาดแม่แบบที่ยังไม่ได้ผ่านการทำความสะอาดด้วยวิธีใด ๆ เลย พบว่าต้องทำความสะอาดแม่แบบ 7 ครั้ง แม่แบบจึงสะอาด สังเกตได้จากคราบที่ติดที่ยางล้างแม่แบบ โดยการทำความสะอาดในครั้งที่ 7 นี้ยางล้างแม่แบบมีคราบสกปรกติดอยู่น้อยมาก และสังเกตได้จากชิ้นงานในโพรงแบบ (Cavity) ที่ถูกทำความสะอาดพบว่า ไม่มีคราบสกปรกตกค้างเมื่อเทียบกับชิ้นงานในโพรงแบบ (Cavity) ที่ไม่ได้ทำความสะอาด

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

จากการทดสอบข้างต้น จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ยางล้างแม่แบบทำความสะอาดจะใช้เวลาในการทำทำความสะอาดแม่แบบนี้ลดลงเนื่องจากไม่ต้องเสียเวลาในการขัด และชิ้นงานมีผิวที่เรียบและสวยงามมากกว่าการทำความสะอาดแม่แบบโดยการขัดด้วยสก็อตช์ไบรด์ หรือการจ้างบริษัทรับทำความสะอาดแม่แบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบการทำความสะอาดแม่แบบวิธีต่าง ๆ [1]

การทำความสะอาดโดยการขัดด้วยพนักงาน	การทำความสะอาดโดยการจ้างบริษัทข้างนอก	การทำความสะอาดโดยการใช้คอมพิวเตอร์ทำความสะอาดแม่แบบ
<ol style="list-style-type: none"> 1. แม่แบบไม่สะอาด ยังมีคราบเคมีเกาะอยู่ที่ผิว 2. รอบในการทำความสะอาดคือ 2-3 วัน ต่อ 1 ครั้ง 3. ระยะเวลาที่ใช้ในการทำความสะอาด คือ 2-3 วัน ต่อ 1 ครั้ง 4. เสียเวลาในการติดตั้งแม่แบบ เพราะต้องเอาแม่แบบลงและต้องเอาแม่แบบขึ้นใหม่อีกครั้ง 5. เสียเวลาในการรอรู้นหุ้ เพราะต้องติดตั้งเครื่องใหม่ ต้องรอรู้นหุ้ตั้งแต่ 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 (คิดจากค่าแรงขั้นต่ำ) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. แม่แบบไม่สะอาดเท่าที่ควร ยังมีคราบเกาะที่ผิว แต่น้อยกว่าการทำความสะอาดโดยขัดด้วยพนักงาน 2. รอบในการทำความสะอาดคือ 2-3 วัน ต่อ 1 ครั้ง 3. ระยะเวลาที่ใช้ในการทำความสะอาด คือ 1-2 วัน ต่อ 1 ครั้ง 4. เสียเวลาในการติดตั้งแม่แบบ เพราะต้องเอาแม่แบบลงและต้องเอาแม่แบบขึ้นใหม่อีกครั้ง 5. เสียเวลาในการรอรู้นหุ้ เพราะต้องติดตั้งเครื่องใหม่ ต้องรอรู้นหุ้ตั้งแต่ 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. แม่แบบสะอาด ไม่มีคราบเคมีเกาะที่ผิว 2. รอบในการทำความสะอาดคือ 4 วัน ต่อ 1 ครั้ง ครั้งละ 3 mold 3. ระยะเวลาที่ใช้ในการทำความสะอาด คือ 45 นาที ต่อ 1 ครั้ง 4. ไม่เสียเวลาในการติดตั้งแม่แบบ เพราะไม่ต้องเอาแม่แบบลง และสามารถใช้อย่างทำความสะอาดได้เลย 5. ประหยัดเวลาในการติดตั้งเครื่อง หลังจากทำความสะอาดไม่ต้องรอรู้นหุ้ตั้งแต่ 0-165 °C 6. ทำให้การผลิตหยุดชะงัก เพียง 1 ชม. หรือเท่ากับ 8 mold หรือเท่ากับ 20,480 ชิ้น 7. ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทำความสะอาด 1 ครั้ง คือ 342.75 บาท

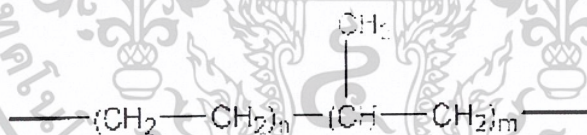
2.3 วัสดุที่ใช้ในการผลิตยางล้างแม่แบบ

2.3.1 ยางเอทิลีนพรอพิลีน (Ethylene-Propylene Rubber ; EPM and EPDM) [2]

ยางเอทิลีนพรอพิลีน มีสองชนิดคือ

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

ชื่อทั้งสองกำหนดตามมาตรฐาน ASTM (American Society for Testing and Materials) และ ISO (International Standard Organization) อักษร “E” มาจากเอทิลีน (Ethylene) อักษร “P” มาจากพรอพิลีน (Propylene) ส่วนอักษร “M” ทำยชื้อใช้เรียกกลุ่มยางที่มีโครงสร้างหลักเหมือนพอลิเมทิลีน (Polymethylene, $-(CH_2)_n-$) “EPM” คือพอลิเมอร์ร่วม (Copolymer) ของเอทิลีนและพรอพิลีน ดังรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าโครงสร้างของยาง EPM เป็นโครงสร้างที่อิมตัวทั้งหมด ทำให้ยางชนิดนี้มีสมบัติเด่นคือ ความทนทานต่อโอโซน ออกซิเจน และสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ นอกจากนี้ยังมีความเป็นฉนวนสูง สมบัติเด่นอีกอย่างของยางเอทิลีนพรอพิลีนคือ เป็นยางที่มีความหนาแน่นต่ำที่สุด (ความหนาแน่น = 0.854 g/cm^3) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีน้ำหนักเบาสามารถผลิตยางได้ในปริมาณมาก ยางเอทิลีนพรอพิลีนมีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ประมาณ -60°C



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของยาง EPM [2]


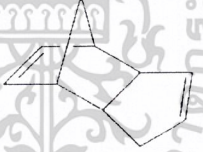
ในกรณีของ “EPDM” อักษร “D” มาจาก “Diene” ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ร่วมชนิดที่สามในโครงสร้างทำให้เกิดความไม่อิ่มตัวในโครงสร้าง เป็นโครงสร้างที่ใส่ขึ้นเพิ่มช่วยให้ง่ายในการเชื่อมโยง เนื่องจากยาง EPM อิมตัว ไม่มีพันธะคู่ ดังนั้นจึงไม่สามารถเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน (Sulfur; S) เหมือนยางทั่ว ๆ ไป จึงต้องเชื่อมโยงด้วยสารประเภทเปอร์ออกไซด์ (Peroxide) ซึ่งแพง ยุ่งยาก ซ้ำและไม่สะดวกในการผลิต ดังนั้นจึงมีการใส่มอนอเมอร์ชนิดที่สามประเภทไดอีนชนิดไม่คอนจูเกต (Nonconjugate Diene) ที่มีพันธะคู่สองพันธะที่ไม่สลับกันดังตารางที่ 2.2 การที่มีพันธะคู่สองพันธะไม่สลับกัน เมื่อใช้พันธะหนึ่งในการพอลิเมอไรส์เกิดพอลิเมอร์ร่วมก็ยังเหลือพันธะคู่ที่ไม่อิมตัวอีกหนึ่งพันธะ “ภายนอก” สายโซ่หลัก ทำให้เกิดพอลิเมอร์ร่วมชนิดที่สาม (Terpolymer)

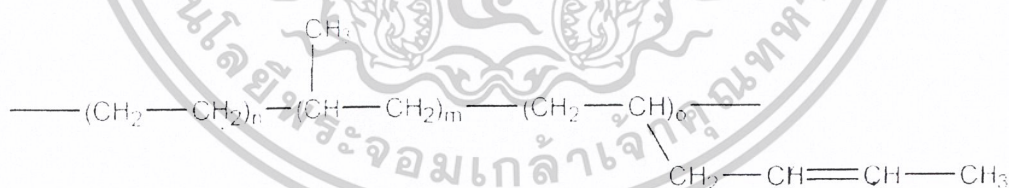
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปริมาณเล็กน้อยในโครงสร้างเป็นโครงสร้างที่ไม่อิ่มตัวดังรูปที่ 2.2 ใช้เป็นตำแหน่งเชื่อมโยง (Crosslinking Sites) ของยาง EPDM สามารถเชื่อมโยงด้วยกำมะถันเหมือนกับยางชนิดอื่น ๆ เนื่องจากโครงสร้างที่ไม่อิ่มตัวนี้ไม่ได้อยู่ภายในสายโซ่หลัก (Polymer Backbone) แต่อยู่ที่หมู่ข้าง (Side Group) ดังนั้นยางชนิดนี้จึงยังคงมีความทนทานต่อโอโซนและดินฟ้าอากาศดีเช่นเดียวกับยาง EPM

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่าง Nonconjugate Diene ที่ใช้ในการผลิตยาง EPDM [2]

ชื่อ	สมบัติ	โครงสร้าง
1,4 Hexadiene (HD)	เชื่อมโยงง่าย แต่ได้ยางที่มีสมบัติดีใกล้เคียง EPM	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3$
Ethylidene norbornene (ENB)	นิยมใช้มากที่สุด แต่แข็ง เชื่อมโยงง่าย และเข้าได้ดีกับยางไม่อิ่มตัวอื่นๆ	
Dicyclopentadiene (DCPD)	ราคาถูก เข้าได้ดีกับยางชนิดอื่น แต่เชื่อมโยงง่ายที่สุด	



รูปที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลของยาง EPDM (Terpolymer) [2]

ยางเอทิลีนพรอพิลีนสามารถเตรียมได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบสารละลาย (Solution Polymerization) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบโคออดิเนชัน (Coordination) หรือซีเกลอร์-นัตตา (Ziegler-Natta) ซึ่งเป็นสารประกอบโลหะทรานซิชันเฮไลด์ (Transition Metal Halide) และสารออกาโนเมทัลลิก (Organometallic) สมบัติของยางที่สังเคราะห์ได้ขึ้นกับอัตราส่วนของมอนอเมอร์เอทิลีนต่อพรอพิลีนที่ใช้ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเอทิลีนในโครงสร้างประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

45-75 % โดยจะมีการจัดตัวของพอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่ม (Random Copolymer) ทำให้ได้พอลิเมอร์ร่วมชนิดอสัณฐาน (Amorphous Copolymer) ถ้ามีเอทิลีนในโครงสร้างมากจะทำให้ความเป็นผลึก (Crystallinity) เพิ่มขึ้น เป็นผลให้ได้ยางที่มีความแข็งแรงก่อนเชื่อมโยง (Green Strength) และเสถียรภาพของรูปร่างสูง ทำเม็ดยาง ขึ้นรูปด้วยเทคนิคอัดรีด (Extrusion) ดี อย่างไรก็ตามข้อเสียของการมีเอทิลีนในองค์ประกอบสูงคือ ยางจะมีสมบัติที่อุณหภูมิต่ำ (Low Temperature Properties) ต่ำลง และผสมยากขึ้น

สำหรับยาง EPDM สมบัติการเชื่อมโยงของยางจะขึ้นกับชนิด และปริมาณของไดอีนที่ใช้ ถ้ามีปริมาณพอลิเมอร์ร่วมชนิดที่สามหรือไดอีนมาก ก็จะสามารถเชื่อมโยงยาง EPDM ได้รวดเร็ว

การผสมยางเอทิลีนพรอพิลีน (EPDM) นิยมใช้เครื่องผสมแบบปิด (Internal Mixer) ถ้าใช้เครื่องผสมแบบเปิดสองลูกกลิ้ง (Two-roll Mill) จะใช้ยาง EPDM ที่มีปริมาณเอทิลีนน้อยหรือพรอพิลีนมาก เพราะชนิดที่มีเอทิลีนมากจะมีความหนืดสูงมาก (เนื่องจากความเป็นผลึก) ทำให้ผสมด้วยลูกกลิ้งยาก

ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้งานยางเอทิลีนพรอพิลีน (EPDM) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ส่วนประกอบรถยนต์ ที่ปิดกระจก ท่อยางหม้อน้ำ ส่วนประกอบของเบรค ใช้เคลือบสายไฟ ท่อยาง วัสดุฉนวนผ้าเพดาน ฯลฯ นอกจากนี้ยังใช้ผสมกับพลาสติกในการผลิตเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Elastomers; TPEs) บางชนิดอีกด้วย

2.3.2 สารเติมแต่ง (Additives) [2]

สารเติมแต่ง คือ สารเคมีที่ใส่ลงไปนยางเพื่อปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของยาง (Property Enhancement) และเพื่อช่วยกระบวนการผลิต (Processability) ให้ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้ง่ายขึ้น

2.3.2.1 สารเชื่อมโยง (Crosslinking agent)

สารเชื่อมโยง (Crosslinking Agent) ทำหน้าที่เปลี่ยนโครงสร้างของยางจากสายโซ่ตรงเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ (3-Dimension Network) โดยทำให้เกิดพันธะเคมีเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุลของยาง เช่น กำมะถัน (Sulfur; S) เปอร์ออกไซด์ (Peroxide) ออกไซด์ของโลหะ (Metal Oxide)

การใช้ประโยชน์ยางนั้น ต้องนำยางมาทำการเชื่อมโยง หรือวัลคาไนเซชัน (Crosslinking หรือ Vulcanization) หรือเรียกว่า การทำให้ยางสุก (Curing) เนื่องจากยางเป็นวัสดุที่อ่อนนิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยืดหยุ่นต่ำ ไม่แข็งแรง เหนียวติด (Sticky) และไม่มีเสถียรภาพของรูปร่าง (Dimensional Stability) ไหลได้เมื่อทิ้งไว้นาน เมื่อทำการเชื่อมโยงแล้ว ยางจะมีสมบัติที่ดีขึ้น เปลี่ยนจากสายไซตรงเป็น โครงสร้างร่างแหสามมิติ

การเชื่อมโยงสามารถทำได้โดยการผสมสารเคมีคือ สารเชื่อมโยง (Vulcanizing Agent) ได้แก่ กำมะถัน เปอร์ออกไซด์ หรือ สารประกอบออกไซด์ของโลหะบางชนิด นิยมใช้สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Accelerators) และสารกระตุ้นปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Activators) ผสมเข้ากับยาง แล้วทำการให้อุณหภูมิสูงภายหลังการขึ้นรูปร่างเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ อุณหภูมิสูงจะทำให้สารเชื่อมโยงต่าง ๆ เกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันเชื่อมโยงโครงสร้างโมเลกุลยางเปลี่ยนโครงสร้างจากสายไซตรง ให้เป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ มีเสถียรภาพของรูปร่างและมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น

การเชื่อมโยงทำใหยางมีสมบัติเปลี่ยนไปกล่าวคือ

- มีค่าความแข็งแรง (Strength) เพิ่มขึ้น
- มีมอดุลัส (Modulus) เพิ่มขึ้น
- มีความยืดหยุ่น (Elasticity) ดีขึ้น
- มีฮีสเตอรีซิส (Hysteresis) ลดลง
- มีเซต (Permanent Set) หรือการเปลี่ยนแปลงขนาดถาวรเมื่อได้รับแรงลดลง หรือมีเสถียรภาพของรูปร่างเพิ่มขึ้น
- เหนียวติดน้อยลง
- เปลี่ยนเป็นเทอร์โมเซต ไม่ละลายในตัวทำละลายใด ๆ ทนต่อความร้อน แสงและการใช้งานนานขึ้น

การเชื่อมโยงยางด้วยเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Vulcanization) [2]

การเชื่อมโยงยางด้วยสารประกอบเปอร์ออกไซด์เริ่มมีใช้ตั้งแต่ต้น ค.ศ. 1950s วิธีเชื่อมโยงนี้มีข้อเด่นเหนือการเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน คือ

- สามารถใช้ได้ทั้งยางที่อิ่มตัว (Saturated Rubbers) และยางที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated Rubbers) นิยมใช้โดยเฉพาะยางที่อิ่มตัวที่ไม่มีหมู่ฟังก์ชันที่วงไวต่อปฏิกิริยาเชื่อมโยง เช่น ยางเอทิลีนพรอพิลีน (EPM) และยางซิลิโคน (Q)
- ยางที่เชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์มีเสถียรภาพมากกว่า มีสมบัติการทนต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน (Heat-aging Properties) ดีกว่า
- ยางที่เชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์ มีการเปลี่ยนรูปถาวรหรือเซตน้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ยางที่เชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์ มีสมบัติความยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำ (Low Temperature Flexibility) ต่ำกว่า
- สามารถใช้เชื่อมโยงผลิตภัณฑ์ยางที่ต้องการสีธรรมชาติ ยางใส หรือสีขาว ไม่เป็นสีเหลืองเนื่องจากกำมะถัน และสีที่ได้มีความเสถียร มีการเปลี่ยนสีผลิตภัณฑ์เนื่องจากรังสีอุลตราไวโอเลต (UV Light Discoloration) น้อยกว่า
- ไม่เกิดปัญหาการบลูม (Bloom) ซึ่งมักเกิดเมื่อใช้กำมะถัน

เนื่องจากพันธะที่เกิดจากการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์เป็นพันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอน (C-C bonds) ซึ่งมีพลังงานพันธะสูง มีความเสถียรต่อความร้อนและแรงกระทำใด ๆ เทียบกับพันธะที่เกิดจากการเชื่อมโยงด้วยกำมะถันทั้งแบบโมโนซัลฟิดิกและพอลิซัลฟิดิก (C-S bonds และ S-S bonds ตามลำดับ) ทำให้ยางที่เชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์มีความเสถียรมากกว่า อย่างไรก็ตาม การเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์มีข้อจำกัดบางประการคือ

- ในการเชื่อมโยงยางด้วยเปอร์ออกไซด์จะเกิดกลิ่นเหม็นที่ไม่พึงปรารถนาของสารที่ปลดปล่อยออกมาเช่น อะซิโตนฟีโนน (Acetophenone) ในระหว่างเชื่อมโยงยาง และในผลิตภัณฑ์ยาง
- เปอร์ออกไซด์เป็นสารเคมีอันตราย ต้องเพิ่มความระมัดระวังในการใช้และการเก็บรักษา
- สารประกอบเปอร์ออกไซด์ว่องไวต่อปฏิกิริยากับสารเติมแต่งชนิดอื่นในยางมากกว่ากำมะถัน ดังนั้นจึงมีข้อจำกัดและต้องมีความรอบคอบในการเลือกใช้สารเคมียาง เช่น การเลือกใช้สารหล่อลื่นหรือน้ำมัน (Oils) สารแอนติออกซิแดนท์ (Antioxidants) เป็นต้น
- ไม่ควรเลือกใช้เทคนิคการให้ความร้อนที่มีบรรยากาศของออกซิเจนในการเชื่อมโยงยาง เช่น เทคนิคการให้ความร้อนเชื่อมโยงโดยใช้อากาศร้อน (Hot Air Cure) เนื่องจากอนุมูลอิสระที่เคลื่อนย้ายจากเปอร์ออกไซด์ไปยังสายโซ่พอลิเมอร์ในปฏิกิริยาเชื่อมโยงอาจถูกออกซิไดส์เนื่องจากออกซิเจนในบรรยากาศ ทำให้เกิดหมู่ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide) และไม่เกิดการเชื่อมโยง กล่าวคืออาจเกิดการเสถียรภาพ (Degradation) สลายตัวเนื่องจากความร้อนนั่นเอง
- ยางบิวทิล (Butyl Rubber, IIR) เกิดปฏิกิริยาเสถียรภาพ (Degradation) เมื่อเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์ เนื่องจากเกิดเป็นอนุมูลของคาร์บอนตติยภูมิ (Tertiary Carbonradicals) ไม่เสถียร เกิดการขาดของสายโซ่ที่ตำแหน่งเบต้า (β -scission

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reaction) นำไปสู่การเสื่อมสลายของสายโซ่พอลิเมอร์ จึงมีข้อยกเว้น ไม่สามารถใช้สารประกอบเปอร์ออกไซด์ในการเชื่อมโยงยางบิวทิล (IIR)

มีสารประกอบเปอร์ออกไซด์หลายชนิดที่สามารถใช้ได้ในการเชื่อมโยงยางเช่น ไดเอซิลเปอร์ไซด์ (Diacyl Peroxides) และเปอร์ออกซีเอสเทอร์ (Peroxy Esters) อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ สารเปอร์ออกไซด์ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมยางได้แก่

- ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl Peroxide, DCP)
- ไดบิวทิลเปอร์ออกไซด์ (Di-*t*-butyl Peroxide, DBP)
- ไดเมทิลไดบิวทิลเปอร์ออกซีเฮกเซน (2,5-dimethyl-2,5-di(*t*-butyl-peroxy) hexane)

สารประกอบเปอร์ออกไซด์ที่นิยมใช้มากที่สุดคือ ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ (DCP) มีจำหน่ายทั้งในรูปแบบของแข็งและของเหลว ความบริสุทธิ์ประมาณ 90-99% เนื่องจากเปอร์ออกไซด์มีความไวต่อปฏิกิริยาสูง จึงมีจำหน่ายในรูปของผสมกับสารตัวกลางเนื้อบางชนิดเช่น แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate) ความเข้มข้น 40-50% และใช้ในรูปแบบผสมพร้อมสารเพิ่มเนื้อ ไดบิวทิลเปอร์ออกไซด์ (DBP) นิยมน้อยกว่าเนื่องจากกลายเป็นไอง่ายขณะใช้งาน ส่วนไดเมทิลไดบิวทิลเปอร์ออกซีเฮกเซนนิยมใช้เชื่อมโยงที่อุณหภูมิสูง (180 °C) เนื่องจากมีเสถียรภาพทางความร้อนมากกว่า และไม่มีการเหม็นของสารอะซิโตน

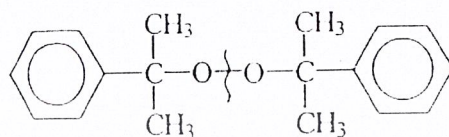
ในการใช้งานสารเชื่อมโยงเปอร์ออกไซด์ ควรหลีกเลี่ยงการเก็บสารที่อุณหภูมิสูง (เกิน 40 °C) เพื่อหลีกเลี่ยงการเสื่อมสลาย นอกจากนี้ควรเก็บให้ห่างจากแหล่งให้ความร้อนและไฟฟ้าสถิตย์ เนื่องจากเปอร์ออกไซด์ติดไฟง่ายและดับไฟยาก

กลไกการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์

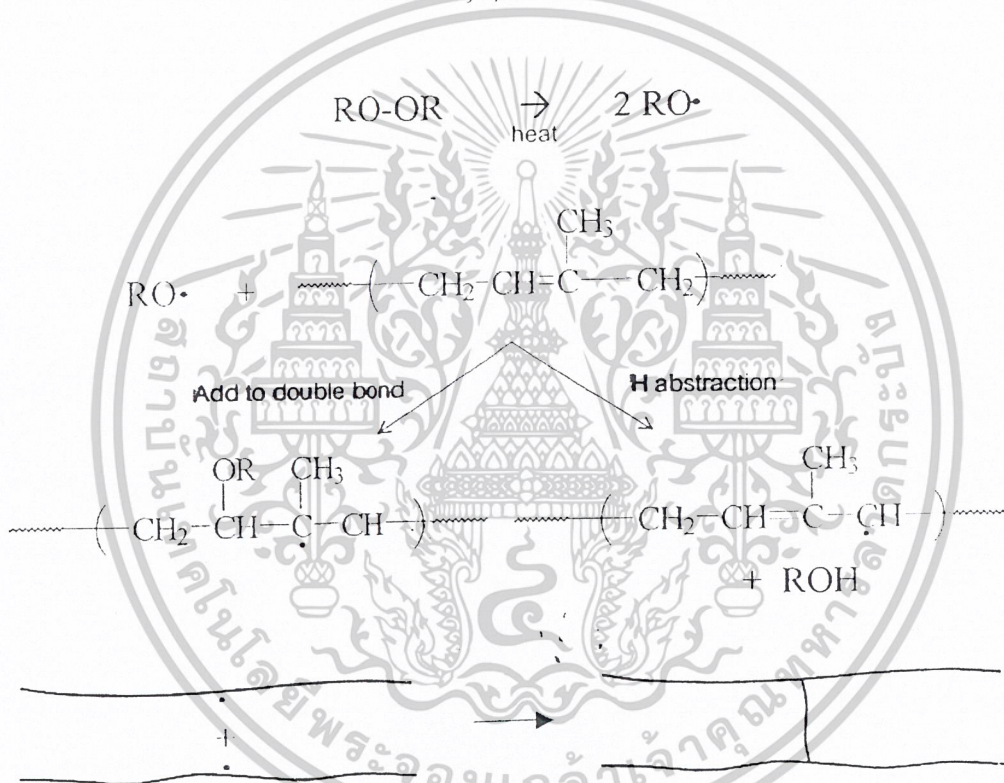
กลไกการเชื่อมโยงยางด้วยเปอร์ออกไซด์เริ่มต้นจากปฏิกิริยาไฮโมไลติก-ดีคอมโพสิชัน (Homolytic Decomposition) สลายตัวเนื่องจากความร้อน แตกตัวเกิดเป็นอนุมูลอัลคอกซี (Alkoxy Radicals, RO•) สองตัว ซึ่งเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาเชื่อมโยง ดังรูปที่ 2.3 ในกรณีใช้สารประกอบเปอร์ออกไซด์เชื่อมโยงยางที่ไม่อิ่มตัว เช่น ยางธรรมชาติ (NR) อนุมูลอิสระที่จะเกิดขึ้นสามารถทำปฏิกิริยากับพันธะคู่บนสายโซ่เกิดเป็นสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีอนุมูล (Polymer Radicals หรือ Macro-radicals) จากนั้นจะเกิดการรวมกันของอนุมูลที่อยู่ต่างสายโซ่ เกิดเป็นพันธะเชื่อมโยง ดังรูปที่ 2.3

นอกจากอนุมูลอิสระจะเข้าทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งพันธะคู่ในยางไม่อิ่มตัวแล้ว อนุมูลอิสระยังเข้าจับไฮโดรเจนในตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาง่าย (เช่นที่ Allylic Hydrogen) เกิดเป็นสายโซ่พอลิ-

เมอร์ที่มีอนุมูล เช่นเดียวกับในกรณีใช้สารประกอบเปอร์ออกไซด์เชื่อมโยงอย่างที่อึดตัว การรวมกันของอนุมูลที่อยู่ต่างสายโซ่ทำให้เกิดเป็นพันธะเชื่อมโยงเช่นเดียวกัน



Dicumyl peroxide, DCP



รูปที่ 2.3 กลไกการเชื่อมโยงยางด้วยสารประกอบเปอร์ออกไซด์ [2]

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่า เปอร์ออกไซด์มีความว่องไวต่อปฏิกิริยา การใส่สารเคมีบางชนิดเช่น สารหล่อลื่นหรือน้ำมัน (Oils) และสารแอนติออกซิแดนท์ (Antioxidants) อาจเกิดปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระในขณะเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยง เป็นผลให้เกิด “ปรากฏการณ์เจือจางการเชื่อมโยง” (Dilute Crosslinking Effect) ได้ความหนาแน่นเชื่อมโยงน้อยกว่าที่ควรจะเป็น นอกจากนี้ควรหลีกเลี่ยงการใส่สารเติมแต่งที่เป็น “กรด” เช่นสารตัวเติมซิลิกา (Silica) หรือเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขม่าดำ (Carbon Black) ที่เป็นกรด เนื่องจากกรดสามารถเร่งให้เปอร์ออกไซด์สลายตัวแบบไม่เกิดอนุมูลอิสระ (Nonradical-generating Decomposition) ทำให้เกิดการสูญเสียของสารเชื่อมโยงเปอร์-ออกไซด์ เช่นเดียวกับสารเติมแต่งอื่น เช่น สารแอนติออกซิแดนท์ อาจหยุดปฏิกิริยาหรือเปลี่ยนแปลงอนุมูลอิสระระหว่างเกิดปฏิกิริยาไม่ให้ทำปฏิกิริยากับสายโซ่พอลิเมอร์ เป็นผลให้ไม่เกิดพันธะเชื่อมโยงหรือเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงน้อย

ประสิทธิภาพการเชื่อมโยงยางด้วยเปอร์ออกไซด์ขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลาย (Solubility) ของเปอร์ออกไซด์ในยาง และจำนวนของหมู่ฟังก์ชันและไฮโดรเจนของโครงสร้างยางที่สามารถถูกจับด้วยอนุมูลอิสระ ปกติในการเชื่อมโยงยางด้วยเปอร์ออกไซด์นิยมใช้ปริมาณไม่เกิน 2.5 phr (ส่วนในร้อยละของยาง) ที่อุณหภูมิเชื่อมโยงตั้งแต่ 150-230 °C การใช้อุณหภูมิสูงจะใช้เวลาน้อยลงประมาณ 2.5 เท่าทุก 10 °C ที่เพิ่มขึ้น แต่จะเสี่ยงกับการเสียสภาพของยางและต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น การใช้ปริมาณสารเชื่อมโยงที่มากเกินไป จะทำให้ยางมีความหนาแน่นเชื่อมโยงมากเกินไป (Over-cure) ทำให้สมบัติบางประการลดลง เช่น ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at Break) ฯลฯ

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างปริมาณสารเชื่อมโยงและสภาวะเชื่อมโยงยางชนิดต่างๆ ด้วยเปอร์ออกไซด์ [2]

สารเชื่อมโยง (phr)	NR	SBR	EPM	Silicone	Urethane
Dicumyl peroxide	1	1	2.7	-	2
Bis-2,4-dichlorobenzoyl peroxide	-	-	-	1	-
Triallyl cyanurate	-	-	1.5	-	-
สภาวะเชื่อมโยง ^a					
อุณหภูมิเชื่อมโยง (°C)	150	150	160	115,250 ^b	153
เวลาเชื่อมโยง (นาที)	45	45	30	15,1440 ^b	45

หมายเหตุ ^a สภาวะเชื่อมโยงไม่แน่นอนขึ้นกับองค์ประกอบอื่นของยาง

^b อุณหภูมิและเวลาสำหรับการเชื่อมโยงภายหลังหรือโพสเคียว (Postcure) ซึ่งจำเป็นสำหรับยางซิลิโคน เพื่อกำจัดกรดที่เป็นผลิตภัณฑ์เหลือจากปฏิกิริยา เพราะกรดจะเร่งปฏิกิริยาสลายตัวของยางซิลิโคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.2 สารกระตุ้นการเชื่อมโยง (Activators)

สารกระตุ้นการเชื่อมโยง (Activators) เป็นสารเคมีที่ทำหน้าที่กระตุ้นหรือเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Accelerators) ดังนั้นอาจเรียกลักษณะนี้ว่าสารกระตุ้นสารเร่ง (Accelerator Activators)

สารกระตุ้นที่นิยมใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรมยางในปัจจุบันได้แก่ “ซิงค์ออกไซด์ร่วมกับกรดสเตียริก” (ZnO/Stearic Acid) เนื่องจากมีราคาไม่แพงและมีประสิทธิภาพสูงในการทำงานสามารถใช้ได้กับยางทั่วไป ซิงค์ออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับกรดสเตียริกเกิดเป็น “ซิงค์สเตียเรต” (Zinc Stearate) ซึ่งสามารถละลายได้ในยางและช่วยเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง เนื่องจากเป็นซิงค์ไอออน (Zinc Ions) ที่อยู่ในรูปที่ละลายได้ในยาง

ลักษณะสำคัญของตัวกระตุ้นคือมีความเป็นด่าง (Alkaline) นอกจากการใช้ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นสารกระตุ้นแล้ว อาจใช้ซิงค์ออกไซด์ของลิเทียม (Li_2O) แมกนีเซียม (MgO) และสารจำพวกเอมีน (Amines) โดยปกติในอุตสาหกรรมปริมาณการใช้ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) คือ 2-5 phr ได้มีการศึกษาพบว่า การใช้ปริมาณ ZnO เกิน 4 phr มีผลเพียงเล็กน้อยต่อการกระตุ้นการเชื่อมโยง

ตัวกระตุ้นอีกครึ่งหนึ่งของ ZnO คือกรดไขมัน (Fatty acid) ที่มีจำนวนคาร์บอน 12-18 อะตอม เช่น กรดสเตียริก (เกิดเป็นซิงค์สเตียเรต) กรดลอริค (เกิดเป็นซิงค์ลอริเอต) (Zinc Laureate) โดยปกติใช้กรดสเตียริกในอุตสาหกรรมยางประมาณ 1-3 phr จะใช้ปริมาณน้อยลง (1-2 phr) เมื่อใช้กับยางที่อึดตัวเช่น EPDM นอกจากกรดสเตียริกจะทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นในการเชื่อมโยงแล้ว กรดสเตียริกยังทำหน้าที่เป็น “สารหล่อลื่น” (Lubricants) ในการผสมยาง ทำให้ความเหนียวของยางลดลง

2.3.2.3 สารตัวเติม (Filler) [3]

สารตัวเติม ทำหน้าที่เพิ่มเนื้อหรือลดต้นทุนให้กับผลิตภัณฑ์ยาง สารตัวเติมบางชนิด นอกจากใช้ลดต้นทุนแล้วยังเพิ่มความแข็งแรงหรือเสริมแรง (Reinforcement) ให้กับยาง เช่น เขม่าดำ (Carbon Black; CB) ซิลิกา (Silica)

วัตถุประสงค์ของการใส่สารตัวเติม

1. เพื่อลดต้นทุน
2. เพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของยาง
3. เพื่อช่วยกระบวนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ลดการบวมตัวของยางในน้ำมัน
5. เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของยาง

2.3.2.3.1 ซิลิกา (Silica)

ซิลิกา เป็นสารตัวเติมที่สามารถเสริมแรงได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับสารตัวเติมสีไม่ดำอื่น ๆ โดยเฉพาะซิลิกาที่มีอนุภาคขนาดเล็ก ซิลิกามีสูตรโครงสร้างเป็นซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ข้อดีของซิลิกา คือ ช่วยปรับปรุงสมบัติบางประการของยาง เช่น เพิ่มความแข็งแรงฉีกขาด (Tear Strength) ลดความร้อนสะสม (Heat Buildup) เพิ่มความต้านทานการขัดถู (Abrasion Resistance) และเพิ่มการยึดเกาะ (Adhesion) กับองค์ประกอบอื่นในยาง เป็นต้น

ในการใช้งานซิลิกานิยมใช้สารคู่ควบ (Coupling Agents) เช่น สารประกอบซิลเลน (Silane Coupling Agent) เคลือบผิวอนุภาคซิลิกาเพื่อเพิ่มความแข็งแรงในการยึดเกาะระหว่างวัฏภาค ทำให้สมบัติของยางดีขึ้น

ซิลิกาเป็นสารตัวเติมที่ได้จากทั้งธรรมชาติและการสังเคราะห์ สมบัติของซิลิกาขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยได้แก่

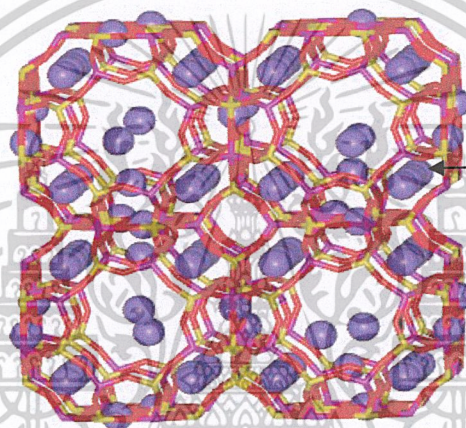
- ขนาดอนุภาค และพื้นที่ผิว
- ปริมาณน้ำในโครงสร้าง (Extent of Hydration)
- สมบัติทางกายภาพ เช่น pH องค์ประกอบทางเคมี การดูดซับน้ำมัน (Oil Absorption) ฯลฯ

เนื่องจากซิลิกาประกอบด้วยอะตอมของซิลิกอนและออกซิเจน จึงมีหมู่ไฮดรอกซิล (Silanol Group; $-\text{Si}-\text{OH}$) ชนิดต่าง ๆ บนพื้นผิวของอนุภาคซิลิกา ปริมาณหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวจะมีผลโดยตรงต่อปริมาณน้ำที่สามารถเกาะติดบนพื้นผิว และยังส่งผลต่อความเป็นกรดบนพื้นผิวของซิลิกา อีกด้วย จากความมีขั้วหรือความชอบน้ำ (Hydrophilic) ของซิลิกาทำให้สารตัวเติมชนิดนี้สามารถเสริมแรงได้ดีในยางที่มีขั้ว เช่น ยางไนไตรล์ (NBR) หรือยางคลอโรพรีน (CR) มากกว่ายางที่ไม่มีขั้ว เช่น ยางธรรมชาติ (NR) และยางเอสบีอาร์ (SBR)

2.3.2.3.2 ซีโอไลต์ (Zeolite) [4]

ซีโอไลต์คือ สารประกอบอะลูมิโนซิลิเกต (Crystalline Aluminosilicates) หน่วยย่อยของซีโอไลต์ประกอบด้วยอะตอมของซิลิกอน (หรืออะลูมิเนียม) หนึ่งอะตอม และออกซิเจนสี่อะตอม (SiO_4 หรือ AlO_4) สร้างพันธะกันเป็นรูปสามเหลี่ยมสี่หน้า (Tetrahedron) โดยอะตอมของซิลิกอน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(หรืออะลูมิเนียม) อยู่ตรงกลาง ล้อมรอบด้วยอะตอมของออกซิเจนที่มุมทั้งสี่ ซึ่งโครงสร้างสามเหลี่ยมที่หน้านี้จะเชื่อมต่อกันที่มุม (ใช้ออกซิเจน ร่วมกัน) ก่อให้เกิดเป็นโครงสร้างที่ใหญ่ขึ้น และเกิดเป็นช่องว่างระหว่างโมเลกุล ทำให้ซีโอไลต์เป็นผลึกแข็ง เป็นรูพรุนและช่องว่างหรือโพรงที่ต่อเชื่อมกันอย่างเป็นระเบียบในสามมิติ ขนาดตั้งแต่ 2-10 อังสตรอม (1 อังสตรอมเท่ากับ 1×10^{-10} เมตร) นอกจากซิลิคอน (หรืออะลูมิเนียม) และออกซิเจนแล้ว ในโครงสร้างโมเลกุลของซีโอไลต์ยังมีประจุบวกของโลหะ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม เกาะอยู่อย่างหลวมๆ และยังมีโมเลกุลของน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ในช่องว่างในโครงผลึก สามารถต้มให้เดือดระเหยออกไปได้



Sodium atoms are purple

รูปที่ 2.4 โครงสร้างซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ (Zeolite Na-A) [5]

ซีโอไลต์นั้นอาจเกิดขึ้นตามธรรมชาติในรูปของแร่ธาตุ หรืออาจสังเคราะห์ขึ้นได้โดยกระบวนการทางเคมี เพื่อประโยชน์ทางการค้า ซึ่งจะทำให้ได้ซีโอไลต์ที่มีสมบัติเฉพาะเจาะจง รวมทั้งอาจมีการสังเคราะห์ซีโอไลต์ในห้องปฏิบัติการเพื่อประโยชน์ในการศึกษาลักษณะทางเคมีของซีโอไลต์เองด้วย

ซีโอไลต์นั้นมีมากกว่า 600 ชนิด แต่สามารถแบ่งกลุ่มตามชนิดของโครงสร้างได้ประมาณ 40 ชนิด ซึ่งความแตกต่างในโครงสร้างมีผลต่อสมบัติต่างๆ ของซีโอไลต์ เช่น โครงสร้างผลึก ความหนาแน่น ขนาดของรูพรุน ความแข็งแรงของพันธะ เป็นต้น การจำแนกชนิดของซีโอไลต์นั้นอาศัยขนาดและรูปร่างของรูพรุนของซีโอไลต์เป็นหลัก ซึ่งจะทำให้หน้าซีโอไลต์ไปใช้ประโยชน์ในงานที่แตกต่างกันไป

สมบัติของซีโอไลต์ (Zeolite)

1. ความเป็นรูพรุนที่มีขนาดเล็กมาก (Microporosity) ทำให้มีอันตรกิริยาภายในรูพรุนสูง จึงทำให้มีความสามารถในการดูดซับได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. มีความเฉพาะเจาะจง (Selectivity) เนื่องจากรูพรุนมีความเป็นระเบียบและขนาดของรูพรุนเท่ากันทั้งหมดทำให้สามารถดูดซับและแยกสารได้ดี

3. มีความเสถียร (Stability) สูงมาก เมื่อเทียบกับสารมีรูพรุนอื่นๆ เนื่องจากมีองค์ประกอบหลักเป็นซิลิกอน (Silicon) กับอะลูมิเนียม (Aluminium)

ซีโอไลต์สามารถนำไปใช้ในการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) การดูดซับ (Adsorption) และการเร่งปฏิกิริยา (Catalysis)

1. การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) ในปัจจุบันนิยมใช้ซีโอไลต์เป็นส่วนผสมในการซักล้าง โดยจะใช้ซีโอไลต์แทนสารฟอสเฟตซึ่งเป็นตัวลดความกระด้างของน้ำที่มีอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม โดยการนำซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ (Zeolite Na-A) ที่มีโลหะโซเดียมเป็นตัวแลกเปลี่ยนกับโลหะแคลเซียมและแมกนีเซียมได้เป็นอย่างดี และไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ในการบำบัดน้ำเสีย ซีโอไลต์สามารถขจัดแอมโมเนียโดยการแลกเปลี่ยนแอมโมเนียมแคตไอออนกับโลหะโซเดียม นอกจากนี้ยังสามารถใช้ขจัดไฮโดรคาร์บอนที่ระเหยง่ายจากกากนิวเคลียร์

2. การดูดซับ (Adsorption) มีการใช้ซีโอไลต์เป็นตัวดูดซับสารต่าง ๆ รวมทั้งการประยุกต์ใช้ในกระบวนการทำให้แห้ง (Drying) กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (Purification) และกระบวนการแยกสาร (Separation)

3. การเร่งปฏิกิริยา (Catalysis) นักเคมีทำการสังเคราะห์สารที่มีโครงสร้างซีโอไลต์และเรียกสารกลุ่มนี้ว่า Molecular Sieves จากการสังเคราะห์และออกแบบโครงสร้างจึงทำให้สารดังกล่าวมีคุณค่าและคุณสมบัติที่สำคัญในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี การนำซีโอไลต์ไปใช้ เราจะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติทางเคมี เช่น ความเป็นกรด และคุณสมบัติทางโครงสร้าง เช่น ขนาดของรูพรุน จากคุณสมบัติทั้งสองนี้เองทำให้เราสามารถนำซีโอไลต์ไปใช้เร่งปฏิกิริยาซีโอไลต์ทั้งในกระบวนการปิโตรเลียมและการผลิตปิโตรเคมีภัณฑ์ ปฏิกิริยาที่สำคัญคือ Cracking, Hydrocracking, Catalytic Dewaxing, Alkylation, Dealkylation, Transalkylation, Isomerization, Polymerization, Addition, Disproportionation และ Acid-catalyzed Reaction อื่น ๆ

การนำซีโอไลต์ (Zeolite) ไปประยุกต์ใช้งาน

1. การบำบัดน้ำเสีย
2. ลดความกระด้างของน้ำ
3. เพิ่มแร่ธาตุในดิน
4. ตัวดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. แยก Hydrocarbon เช่น แยก Linear Paraffin โดยใช้ 5A (Zeolite Na-A ที่มีขนาดรูพรุน 5 Å)

ประโยชน์อื่น ๆ ยังมีการใช้งานซีโอไลต์ในประโยชน์ด้านอื่น ๆ อีก เช่น ใช้ในการเกษตร การเลี้ยงสัตว์ และการก่อสร้าง ในเชิงการเกษตรนั้น เป็นวิธีการที่เรียกว่า Zeoponic หมายถึง การนำซีโอไลต์ธรรมชาติมาปรับเปลี่ยนองค์ประกอบบริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนประจุ ใส่ประจุบวก ที่เป็นสารอาหารของพืชลงไปแทน ทำให้โมเลกุลของซีโอไลต์กลายเป็นแหล่งอาหารของพืช ซึ่งสารอาหารนั้นจะค่อย ๆ ถูกปลดปล่อยออกมา ทำให้สารอาหารไม่ถูกชะล้างไปโดยง่าย เป็นการประหยัดสารอาหารได้อีกทางหนึ่ง

2.3.2.4 สารช่วยกระบวนการผลิต (Processing aid)

สารช่วยกระบวนการผลิต (Processing Aid) คือสารเคมีที่ผสมในยางเพื่อช่วยให้กระบวนการผลิตง่ายขึ้น มีประสิทธิภาพมากขึ้น นั่นคือใช้เวลาและพลังงานในการผลิตน้อยลง นอกจากนี้ยังช่วยในการกระจายตัวของสารเติมแต่งต่าง ๆ ในยาง เพิ่มความสม่ำเสมอหรือเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity) ทำให้มีอัตราเร็วในการผลิตสูงขึ้น ปกติจะใช้สารช่วยกระบวนการผลิตในปริมาณน้อยไม่เกิน 5 phr สารช่วยกระบวนการผลิตได้แก่

1. เปปไทเซอร์ (Peptizers) ทำหน้าที่ช่วยเร่งปฏิกิริยาการขาดของสายโซ่ (Chain Scission) ของยางทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลง
 2. พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers) เป็นสารเติมแต่งที่ใส่เพื่อเพิ่มความนิ่มให้กับยาง และยังช่วยลดความหนืด ทำให้ขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น พลาสติกไซเซอร์เป็นสารโมเลกุลเล็กที่แทรกตัวอยู่ระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ ช่วยเพิ่มปริมาตรอิสระ (Free Volume) ทำให้สายโซ่โมเลกุลยางเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ลดลง ทำให้วัสดุมีสมบัติความยืดหยุ่นเป็นยางดีขึ้น นิ่มตัวขึ้น และสมบัติความยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำ (Low Temperature Flexibility) พลาสติกไซเซอร์ที่ดีต้องเข้ากันได้ดีกับยางไม่แพร่ออกที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ยาง ตัวอย่างพลาสติกไซเซอร์สำหรับยาง ได้แก่ กรดไขมัน (Fatty Acid) น้ำมัน (Oils) สารจำพวกเอสเทอร์ (Esters) น้ำมันสน (Pine)
 3. แทคคิไฟเออร์ (Tackifiers) ทำหน้าที่ช่วยเพิ่มการยึดติดของยาง
- สารช่วยกระบวนการผลิตมีความสำคัญดังนี้
1. ช่วยเร่งอัตราและควบคุมองศาการลดขนาดของเขม่าดำในเนื้อยาง
 2. ช่วยเพิ่มการกระจายตัวของสารเพิ่มเนื้อโดยเฉพาะเขม่าดำในเนื้อยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ช่วยลดความยืดหยุ่นของยางที่ยังไม่ได้ผ่านปฏิกิริยาทำให้คงรูป
4. สามารถทำให้ยางมีความเหนียวติดกันเองดีขึ้น
5. อำนวยความสะดวกในระหว่างการผลิตโดยเฉพาะด้านการเตรียมตัวอย่างใส่ในแม่แบบ

2.3.2.5 สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (Protective Agent)

ยางเป็นสารอินทรีย์ที่เสื่อมสภาพได้เมื่อตั้งทิ้งไว้หรือขณะใช้งาน การเสื่อมสภาพของยางเกิดเนื่องจากโมเลกุลของยางถูกทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยออกซิเจน และ/หรือโอโซน การเสื่อมสภาพของยางนี้เรียกว่า "Degradation" การเสื่อมสภาพของยางเกิดขึ้นช้ามากถ้าไม่มีตัวเร่ง แต่ในธรรมชาติมีแสงแดด ความร้อน และความไม่บริสุทธิ์ของโลหะ ส่วนเป็นตัวเร่งตามธรรมชาติที่ทำให้ยางเสื่อมสภาพเร็วมากขึ้น นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตช่วงที่มีการอบยาง (Aging) ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงในทุกส่วนของผลิตภัณฑ์ เช่นเกิดรอยแตกที่ผิว ผิวแข็ง และสูญเสียความแข็ง ขบวนการเสื่อมสภาพของยางสามารถแบ่งย่อยออกเป็น 6 แบบ

1. เสื่อมสภาพเนื่องจากตั้งทิ้งไว้นาน (Self Aging)
2. เสื่อมสภาพเนื่องจากการกระตุ้นของโลหะที่เป็นตัวเร่ง
3. เสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน (Heat Aging)
4. เสื่อมสภาพเนื่องจากแสง (Light Aging)
5. เสื่อมสภาพเนื่องจากการหักงอไปมา (Flex Aging)
6. เสื่อมสภาพเนื่องจากบรรยากาศ (Atmospheric Aging)

ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง เพื่อเป็นการป้องกันยางเสื่อมสภาพ เพิ่มความทนทานของยางให้ดีขึ้นไปจากเดิม จำเป็นต้องมีการเติมสารป้องกันยางเสื่อมสภาพ โดยใช้สารแอนตี้ออกซิแดนซ์ (Antioxidant) หรือสารแอนตี้ออโซนันท์ (Antiozonant) ซึ่งสารทั้งสองชนิดทำให้อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ยางนานขึ้น

สารแอนตี้ออกซิแดนซ์ (Antioxidant) เป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพของยาง เนื่องจากออกซิเจนเข้าทำปฏิกิริยากับยาง ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation Reaction) สารแอนตี้ออกซิแดนซ์ สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. สารแอนตี้ออกซิแดนซ์ชนิดตกสี (Staining Antioxidant)

สารแอนตี้ออกซิแดนซ์ชนิดตกสี เป็นสารประกอบเอมีน หรืออนุพันธ์ของเอมีน เป็นสารที่มีประสิทธิภาพสูง แต่เมื่อใช้ทำผลิตภัณฑ์ยางจะมีสีคล้ำ หรือตกสี นิยมใช้กับยางที่มีสีดำ สารแอนตี-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกซิแดนซ์ชนิดนี้ สามารถแบ่งเป็น 3 ชนิดคือ

1. Ketone-amine Condensates
2. Aldehyde-amine Condensates
3. Secondary Aromatic Amine
2. สารแอนติออกซิแดนซ์ชนิดไม่ตกสี (Non-Staining Antioxidant)

สารแอนติออกซิแดนซ์ชนิดไม่ตกสี เป็นสารแอนติออกซิแดนซ์ที่เป็นสารประกอบฟีนอล (Phenol) หรืออนุพันธ์ของฟีนอล ใช้กันอย่างทั่วไปที่ไม่มีสีดำ ไม่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ยางมีสีตก และไม่เปลี่ยนสียาง

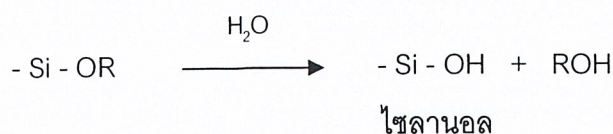
สารแอนติออกซิแดนซ์ชนิดนี้สามารถแบ่งเป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. Substituted Phenol สมบัติการเป็นแอนติออกซิแดนซ์ที่ไม่ดี
2. Phenolic Sulfide มีความทนทานต่อความร้อนปานกลาง
3. Phenol-aldehyde Condensate เป็นสารที่มีสมบัติเท่ากับชนิดเอมีน คือป้องกันการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน ทนทานต่อความร้อน ทนต่อการหักงอ ไม่เปลี่ยนสียาง
4. Hydroquinone Derivatives เป็นสารแอนติออกซิแดนซ์ที่อ่อนสำหรับยางที่คงรูปแล้ว เหมาะจะใช้กับยางที่ไม่คงรูปและกาว โดยการป้องกันไม่ให้ผิวยางที่คงรูปแห้งจนติดกันไม่ได้ เมื่อนำไปประกอบด้วยกัน

2.3.2.6 สารคู่ควบ (Coupling Agent) [3]

สารคู่ควบ (Coupling Agent) เป็นตัวช่วยยึดระหว่างสารตัวเติมกับยางให้ยึดกันได้ดีขึ้น ทำให้คุณสมบัติทางฟิสิกส์ดีขึ้น เช่น ซิเลน (Silane) ผลของซิเลนทำให้มอดุลัส ความต้านทานต่อการสึกหรอ การเปลี่ยนรูปถาวรของยางที่ใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติมดีขึ้นอย่างมาก

ซิเลนเป็นสารที่มีสูตรทั่วไปเป็น $R'-Si-(OR)_3-R'$ เป็นกรุปอะมิโนเมอร์แคปโต ไวนิล อีพอกซี หรือ Methacryloxy เป็นต้น -OR เป็นกรุป Alkoxy ในการใช้งาน Alkoxy จะถูกไฮโดรไลส์เกิดเป็นซิลานอล



ซิลานอลจะไปเกาะอยู่กับสารตัวเติมชนิดอนินทรีย์ เช่น ผิวของซิลิกา เคลย์ (Clay) หรือโลหะออกไซด์ เป็นต้น ส่วนอีกด้านหนึ่งคือ R' จะไปทำปฏิกิริยากับยาง ดังนั้น ซิเลนจึงทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่เป็นตัวยึดหรือประสานให้ยางกับสารตัวเติมอินทรีย์มาเกาะกัน วิธีใช้ไซเลนทำโดยผสมสารตัวเติมกับไซเลนแล้วจึงค่อยผสมกับยาง หรืออาจเอาไซเลนใส่เข้าไปในยางขณะผสมกับสารตัวเติม ก็ได้ เช่น γ -Aminopropyltrimethoxy Silane ($\text{H}_2\text{NC}_3\text{H}_6\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$)
 β -Mercaptoethyltriethoxy Silane ($\text{HSC}_2\text{H}_4\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$)

2.3.2.7 สารที่ใช้ในการทำความสะอาดแม่แบบ (Cleaning Agent) [6]

สารที่ใช้ในการทำความสะอาดแม่แบบ ได้แก่ อะมิโนเมทิลโพรพานอล (2-Amino-2-Methyl-1-Propanol; AMP) สูตรโมเลกุล คือ $\text{C}_4\text{H}_{11}\text{NO}$ โครงสร้างของ (2-Amino-2-Methyl-1-Propanol; AMP) แสดงดังรูปที่ 2.5

รูปที่ 2.5 โครงสร้าง (2-Amino-2-Methyl-1-Propanol; AMP)



สมบัติบางประการของ AMP แสดงได้ดังนี้

- น้ำหนักโมเลกุล 89.14
- ความถ่วงจำเพาะ 0.934
- จุดเดือด 165°C
- จุดหลอมเหลว $30-31^\circ\text{C}$
- มีความเป็นเบส

อะมิโนเมทิลโพรพานอล (2-Amino-2-Methyl-1-Propanol; AMP) มีทั้งสถานะของเหลวและของแข็ง โดยปกติ AMP จะอยู่ในสภาพของเหลวหนืด ซึ่งสามารถติดไฟได้ AMP ในสถานะของเหลวจะมีกลิ่นคล้ายเอมีนอ่อน ๆ AMP ในสถานะของแข็งจะไม่มีกลิ่น

AMP สามารถทำปฏิกิริยากับทองแดง ทองเหลือง และอลูมิเนียม แต่ไม่ทำปฏิกิริยากับเหล็ก และโลหะ

ประโยชน์ของ AMP

1. ใช้ในการสังเคราะห์แอกทีฟ เอเจนท์ (Active Agent)
2. เป็นองค์ประกอบของยางคอมปาวด์ทำความสะอาด (Cleaning Compound)

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ยับยั้งการกัดกร่อนของโลหะ โดย AMP จะดูดซับ CO_2 และลดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ของเหล็ก
5. ช่วยรักษา pH และความหนืดให้คงที่
6. ช่วยให้เม็ดสีกระจายตัวได้ดีขึ้น

2.3.2.8 สารให้สี (Pigment) [7]

เป็นสารที่เปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ให้มีสีสวยงามตามต้องการ สารให้สีที่ใช้ในยางล้างแม่แบบคือ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium Dioxide; TiO_2)

ไทเทเนียมไดออกไซด์มีลักษณะเป็นผงแป้งละเอียด ผลึกสีขาว ไม่ละลายน้ำหรือตัวทำละลายใดๆ ไม่เป็นพิษ ไม่ติดไฟ และไม่ไวต่อสารเคมี

ไทเทเนียมไดออกไซด์มีสมบัติทางแสงที่ดีมาก มีความมันเงาสูงเป็นผงแป้งที่มีความสว่างและความทึบแสงดีมาก สามารถกระจายตัวได้ดีและทนต่อสภาวะอากาศสูง

ดังนั้นจึงเลือกใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารให้สีกับยางล้างแม่แบบ เพื่อให้ยางมีสีอ่อนขึ้น และสามารถเห็นคราบสกปรกได้ชัดเจน เมื่อทำความสะอาดแม่แบบแล้ว

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Botros S.H. [8] ทำการศึกษาถึงการปรับปรุงความทนทานต่อความร้อนและโอโซนของ ยางบิวทิล ซึ่งปรับปรุงโดยนำยาง EPDM ผสมกับยางบิวทิล เนื่องจากยาง EPDM มีโครงสร้างหลัก ที่เป็นโครงสร้างอิมิตัวทั้งหมด จึงมีความทนทานต่อความร้อน โอโซน และการเกิดออกซิเดชันที่ดี มาก

ยาง EPDM ที่ศึกษามี 4 ชนิดคือ Buna AP-447, Vistalon-5600, Vistalon-6505, Keltan-820 และระบบการเชื่อมโยงที่ศึกษามี 3 ระบบ ได้แก่ การเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน/ZDEDC การเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน/TMTD/MBT และการเชื่อมโยงด้วย Phenolformaldehyde resin-1054/neoprene-w จากงานวิจัยพบว่า การเชื่อมโยงโดยใช้เรซินทำให้ยางมีความทนทานต่อ ความร้อนและโอโซนดีที่สุด รองลงมาคือ การเชื่อมโยงโดยใช้กำมะถัน/ZDEDC และการเชื่อมโยง โดยใช้กำมะถัน/TMTD/MBT

และเมื่อนำยางบิวทิลมาผสมกับยาง EPDM พบว่า ยางบิวทิลและยาง EPDM ชนิด Keltan-820 ในสัดส่วน 70:30 ให้ยางที่มีความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด มอดุลัส และมีสมบัติความทนทานต่อความร้อนดีที่สุด และจากการทดสอบทางความร้อน โดยนำไปอบที่ 165 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่าความแข็งแรงดึงและสมบัติเชิงกลอื่น ๆ ไม่เปลี่ยนแปลง จากงานวิจัยนี้พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่นำไปใช้งานที่อุณหภูมิสูง คือที่ 165 °C

Abdel-Aziz M.M. และ Basfar A.A. [9] ศึกษาการเกิดออกซิเดชันของยาง EPDM ที่ เชื่อมโยงโดยการใส่รังสีแกมมา (γ -ray) โดยมีแอนติออกซิแดนซ์ชนิดต่าง ๆ ได้แก่ pentaerythrityl 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) โดยใช้ แอนติออกซิแดนซ์เหล่านี้ปริมาณ 0.5 phr ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA และ DSC

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DTG (อนุพันธ์ของ TGA) พบว่า Irganox B900 และแอนติ ออกซิแดนซ์ผสมระหว่าง IPPD และ TMQ มีอุณหภูมิที่เกิดการสลายตัวของสารไป 50 % (T_{50}) สูง กว่าแอนติออกซิแดนซ์ตัวอื่น ๆ คือที่ 513 °C และ 507 °C ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากการ เกิดโครงสร้างที่เสถียรทางความร้อนขึ้น โดยแอนติออกซิแดนซ์จะไปยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน โดย ไปรับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นที่บางขณะผ่านกระบวนการ และเกิดเป็นอนุมูลอิสระขึ้นมาแทน

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC พบว่า เมื่อเติมแอนติออกซิแดนซ์ลงในยาง EPDM ที่

เชื่อมโยงด้วยการให้ความร้อนจากการฉายรังสี ช่วยปรับปรุงความทนทานต่อการเกิดออกซิเดชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยแอนต็อกซิแดนทที่มีความเสถียรทางความร้อนที่ดีที่สุดคือ Irganox B900 และแอนต็อกซิแดนท์ผสมระหว่าง IPPD และ TMQ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการวิเคราะห์จากเทคนิค TGA ซึ่งความทนทานต่อการเกิดออกซิเดชันเห็นได้จากค่าเอนทัลปีของการเกิดออกซิเดชันที่ลดลง ดังนั้นจากงานวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่า ความทนทานต่อการเกิดออกซิเดชันสามารถปรับปรุงได้โดยการใช้ Irganox B900 และแอนต็อกซิแดนท์ผสมระหว่าง IPPD และ TMQ ในปริมาณ 0.5 phr

Ejolle E.E. และ Saeed A.F. [10] ศึกษากระบวนการเชื่อมโยงวิธีต่าง ๆ ได้แก่ ระบบการเชื่อมโยงที่ใช้กำมะถันในปริมาณน้อย (Efficiency Sulphur; EV) ระบบการเชื่อมโยงที่ใช้กำมะถันปกติ (Conventional Sulphur; CV) เปอร์ออกไซด์ (Peroxides) และการใช้ไดยูรีเทน (Diurethane) ที่มีต่อความคงรูปกีดของยางธรรมชาติ ที่อุณหภูมิ 140 °C 160 °C และ 180 °C พบว่า ที่ 140 °C เกิดการสลายตัวทางความร้อนน้อย และไม่เหมาะที่เชื่อมโยงด้วยไดควิมิลเปอร์ออกไซด์ เนื่องจากอุณหภูมิไม่สูงมากพอที่เปอร์ออกไซด์เกิดการสลายตัวในขณะที่เชื่อมโยง ต้องใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นจึงเกิดการเชื่อมโยงที่ดี และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ เวลาการเชื่อมโยง (Cure Time) จะลดลง และเกิดการสลายตัวทางความร้อนและเกิดออกซิเดชันได้มากขึ้น โดยเฉพาะการเชื่อมโยงระบบ CV เนื่องจากเกิดเป็นพันธะเชื่อมโยงแบบพอลิซัลไฟด์ (พันธะระหว่างอะตอมของกำมะถัน; S-S bond) และที่ระดับการเชื่อมโยงเท่ากัน พบว่า ยางที่เชื่อมโยงด้วยระบบ EV และ เปอร์ออกไซด์ จะมีความคงรูปกีดต่ำ เมื่อเทียบกับการเชื่อมโยงด้วยระบบ CV และการใช้ไดยูรีเทน

POH B.T. และ NG C.C. [11] 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 ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากหมู่ thiol ซึ่งจะเพิ่มอัตราในการเชื่อมโยง และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Si-69 ส่งผลให้เวลาก่อนการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น เนื่องจากความเกาะกะของหมู่ Triethoxysilylpropyl ซึ่งหน่วงการเชื่อมโยงให้ช้าลง และที่อุณหภูมิการเชื่อมโยงที่สูงขึ้น เวลาก่อนการเชื่อมโยงไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นไซเลน เนื่องจากพลังงานทางความร้อนที่ให้มามีค่ามากกว่าพลังงานกระตุ้น

2.5 ยางล้างแม่แบบทางการค้าที่ใช้ในปัจจุบัน

2.5.1 Struktol[®] MC-A [12]

สมบัติของ Struktol[®] MC-A

- เป็นคอมปาวด์ที่มีสีเหลืองอ่อน
- มีกลิ่นฉุนคล้ายแอมโมเนีย
- ความหนาแน่น 1140 kg/m³
- เก็บรักษาได้อย่างน้อย 6 เดือน ในที่ปราศจากความชื้น
- ราคาของ Struktol[®] MC-A คือ 559 บาท ต่อ 1 กิโลกรัม (เม.ย. 2546)

สภาวะการขึ้นรูป

อุณหภูมิในการขึ้นรูป 160-195 °C

เวลาในการขึ้นรูป 5-30 นาที

อุณหภูมิในการขึ้นรูปที่เหมาะสม 175 °C, 10 นาที

คำแนะนำในการใช้งานของ Struktol[®] MC-A

Struktol[®] MC-A เป็นยางคอมปาวด์ที่มีสมบัติในการกำจัดคราบเคมีที่ตกค้างที่เกิดขึ้นในระหว่างการเชื่อมโยง โดยจะปล่อยหมอกที่ว่องไวออกมาเพื่อไปดึงคราบเคมีที่ตกค้าง และคราบนั้นจะติดออกมาที่ยางคอมปาวด์ในระหว่างการเชื่อมโยง

Struktol[®] MC-A สามารถกำจัดคราบเคมีที่ตกค้างที่เกิดจากยางธรรมชาติหรือยาง SBR ได้ดีกว่าคราบที่เกิดจากยางซิลิโคนหรือยางฟลูออโรอีลาสโตเมอร์ และประสิทธิภาพในการทำ ความสะอาดยังขึ้นอยู่กับความดัน ชนิดของคราบที่ตกค้าง อุณหภูมิ และเวลาในการขึ้นรูป

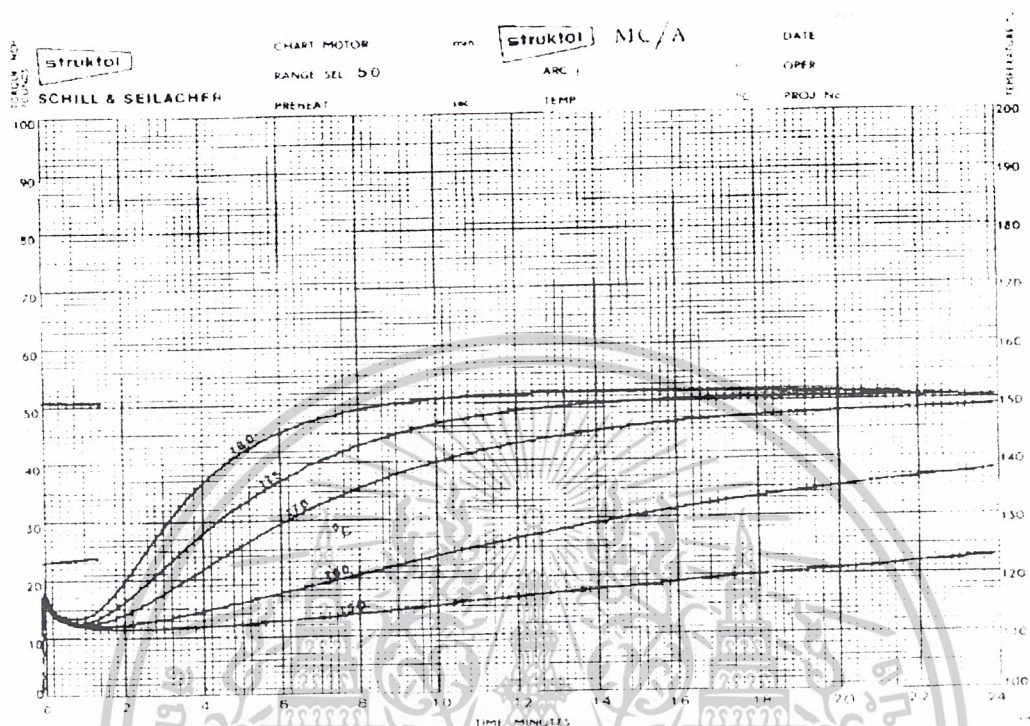
Struktol[®] MC-A นี้สามารถใช้ได้กับแม่แบบที่ทำจากโลหะผสม ไม่ควรใช้กับแม่แบบที่ไม่ได้ทำจากโลหะ ใช้ Struktol[®] MC-A ทำความสะอาดในบริเวณที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก เนื่องจาก Struktol[®] MC-A นี้มีกลิ่นฉุน หลังจากทำความสะอาดแม่แบบด้วย Struktol[®] MC-A แล้ว ควรทิ้งยางคอมปาวด์นี้ลงน้ำทันที เพื่อเป็นการกำจัดกลิ่นฉุน

การเก็บรักษา

- ควรเก็บในสภาวะที่แห้งและเย็น
- ควรหลีกเลี่ยงการสัมผัสกับผิวหนังและดวงตา

กราฟการเชื่อมโยงของ Struktol[®] MC-A แสดงดังรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 กราฟการเชื่อมโยงของ Struktol® MC-A [12]

2.5.2 Super Clean® และ Super Wax® [13]

ส่วนประกอบของ Super Clean® และ Super Wax® มีดังนี้

1. องค์ประกอบหลัก : ยางสังเคราะห์ (50 – 60%) คือยางเอทิลีนพรอพิลีน
2. ตัวทำความสะอาด : สารประกอบเอมีน (5 – 9%)
3. ตัวดูดซับ : ซิลิกาชนิดไอ (30 – 40%)
4. สารเชื่อมโยง : Organic Peroxide (2 – 3%)
5. สารเติมแต่งอื่น (5 – 8%)

หน้าที่ของแต่ละส่วนประกอบ

1. ยางสังเคราะห์ : เป็นองค์ประกอบหลัก
2. สารทำความสะอาด : เป็นตัวทำลายพันธะการยึดติดของคราบสกปรกบนพื้นผิวแม่แบบ
3. ซิลิกาชนิดไอ : ผงซิลิกาจะดูดซับสิ่งสกปรกติดออกมาในขณะที่ทำการเชื่อมโยงยาง
4. Organic Peroxide : เป็นสารเชื่อมโยงสำหรับยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 สมบัติทางกายภาพของ Super Clean® & Super Wax® [13]

Classification	Unit	Super Clean®	Super Wax®
Specific Gravity	g/cc	1.12 -1.16	1.10 - 1.14
Mooney Viscosity	-	115 - 175	105 -145
Tensile Strength	Kg f/sq cm	Min. 45	Min. 40
Elongation	%	Min. 50	Min. 50
Color	-	White	Gray

ตารางที่ 2.5 สภาวะที่แนะนำในการใช้ขึ้นรูปสำหรับ Manual Mold [13]

Classification	Super Clean®		Super Wax®			
	SC 2000	SC 3000	SW 7005H	SW 7015W	SW 7020H	SW 7025H
Mold Temp (°C)	175 -195	175 -195	175 -195	175 -195	175 -195	175 -195
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	50 - 60	50 - 60	50 - 60	50 - 60	50 - 60	50 - 60
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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 สภาวะที่แนะนำในการใช้ขึ้นรูปสำหรับ Auto Mold [13]

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

การเก็บและการบรรจุ

1. อุณหภูมิของการเก็บ : เก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 °C
2. อายุเวลาของสินค้าที่สภาวะอุณหภูมิห้อง : ภายใน 4 วันหลังจากออกจากห้องเย็น
3. อายุของสินค้านับจากวันผลิต : 12 เดือน ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 °C

ขนาดของยาง

1. ความยาวที่เหมาะสมของแผ่นยาง : 10 มิลลิเมตร
2. ความกว้างของรูปร่างแผ่นยาง : 10 หรือ 15 มิลลิเมตร
3. ความหนาของรูปร่างแผ่นยาง : 5 6 7 8 9 และ 10 มิลลิเมตร

หมายเหตุ ขนาดของแผ่นยาง (ยาว/กว้าง/หนา) สามารถเปลี่ยนได้ตามความต้องการ

การทำความสะดวกแม่แบบด้วย Super Clean[®] & Super Wax[®] ควรทำในบริเวณที่มีอากาศถ่ายเทสะดวกเพื่อกำจัดกลิ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 Elastowet® [14]

Elastowet® เป็นยางคอมปาวด์ที่ใช้ในการทำความสะอาดแม่แบบ องค์ประกอบหลักในยางคอมปาวด์นี้คือ ยางธรรมชาติ

สมบัติของ Elastowet®

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

Elastowet® สามารถปรับให้เหมาะสมกับโพรงแบบ (Cavity) ในแม่แบบได้ง่าย มีขั้นตอนการใช้งานง่าย ไม่ต้องทำการให้ความร้อนก่อนใช้งาน มีเวลาในการเชื่อมโยงสั้นจึงลดเวลาในการทำ ความสะอาดแม่แบบลงได้ ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการผลิตสูงและใช้ต้นทุนในการทำ ความสะอาดต่ำ ไม่มีสารประกอบที่เป็นอันตราย จึงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

2.5.4 Glo-mold® [15]

Glo-mold® เป็นยางคอมปาวด์ทำความสะอาดแม่แบบ เทคนิคที่ใช้ในการทำ ความสะอาดด้วย Glo-mold® คือ การฉีด (Injection) การกดอัด (Compression) และการอัดแบบถ่ายโอน (Transfer Molding)

การทำงานของ Glo-mold®

สารประกอบที่ว่องไว (Reactive Ingredients) จะแพร่เข้าไประหว่างชั้นของคราบสกปรก ทำให้คราบสกปรกหลุดออกมาติดที่ยางคอมปาวด์ ประสิทธิภาพการทำงานของหมู่ว่องไวนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของคราบสกปรก เวลา อุณหภูมิ และความดันที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป ถ้าอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปสูง หมู่ว่องไวนี้จะทำงานได้ดีขึ้น แพร่เข้าไประหว่างชั้นของคราบสกปรกได้เร็วขึ้น ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการทำ ความสะอาดสั้นลง

สภาวะที่แนะนำในการใช้ Glo-mold® คือ

- ใช้เวลาในการทำ ความสะอาด 2-20 นาที
- ใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 280-450 °F
- ใช้ความดันสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Glo-mold[®] สามารถใช้ได้กับแม่แบบที่ทำจากโลหะ สแตนเลส สตีล (Stainless steel) โครเมียม (Chromium) อะลูมิเนียม (Aluminium) ไม่ควรใช้ Glo-mold[®] กับแม่แบบที่ทำจาก ทองเหลือง

การเก็บรักษา

- ควรเก็บ Glo-mold[®] ไว้ที่อุณหภูมิห้อง
- หลีกเลี่ยงการสัมผัสกับผิวหนังและดวงตา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการดำเนินการ

โครงการพิเศษนี้ เป็นการศึกษาสูตรยางล้างแม่แบบอัดขึ้นรูปสำหรับงานอุตสาหกรรม ซึ่งจะทำการศึกษาทฤษฎีจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาใช้ในการผลิตยางล้างแม่แบบ และปรับปรุงสมบัติยางล้างแม่แบบให้ดีขึ้น

ตอนที่ 1 ศึกษาทฤษฎีจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตอนที่ 2 ออกสูตรยางล้างแม่แบบ

ตอนที่ 3 การศึกษาชนิดของสารตัวเติม (Filler) ที่มีผลต่อสมบัติของยางล้างแม่แบบ สารตัวเติมที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่

1. ละอองซิลิกา (Fumed Silica)
2. ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ (Zeolite Na-A)

ตอนที่ 4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสม โดย

1. แปรปริมาณอะมิโนเมทิลโพรฟานอล ดังนี้ 10 15 20 30 phr
2. แปรอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป ดังนี้ 165 °C และ 175 °C
3. แปรปริมาณละอองซิลิกา และซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ ดังนี้ 10 20 30 40 50 phr
4. แปรปริมาณไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) ดังนี้ 2 5 10 phr

ตอนที่ 5 ทำการผสมและอัดขึ้นรูปยางล้างแม่แบบ

ทำการผสมยางล้างแม่แบบด้วยเครื่องผสมระบบเปิดแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll Mill) และทำการอัดขึ้นรูปยางล้างแม่แบบด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) รุ่น LP20

ตอนที่ 6 การทดสอบสมบัติของยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้

1. การทดสอบการเชื่อมโยงตามมาตรฐาน ASTM D2084
2. การทดสอบสมบัติเชิงกล
 - การทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile Test) ตามมาตรฐาน ASTM D412
 - การทดสอบความแข็งแรงฉีกขาด (Tear Test) ตามมาตรฐาน ASTM D624
 - การทดสอบความแข็งกด (Hardness Test) ตามมาตรฐาน ASTM D 2240
3. การทดสอบสมบัติการทำความสะอาด

4. การวัดสีของยางล้างแม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การศึกษาฐานฐานวิทยา

ตอนที่ 7 การวิเคราะห์ต้นทุน

3.2 สารเคมีและอุปกรณ์

สารเคมี

- ยางเอทิลีนพรอพพิลีน (Ethylene – Propylene Rubber ; EPR and EPDM) ชนิด Nordel® 4640 บริษัท Chemical Innovation Co.,Ltd. สมบัติบางประการของยางเอทิลีน – พรอพพิลีน แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของยางเอทิลีน-พรอพพิลีนชนิด Nordel® 4640 ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

Test Name	Test Method	Specifications	UOM
Mooney Viscosity (ML1+4,125C)	ASTM – 1646	36	44
Yellowness Index	ASTM E – 313		7
Total Volatiles	PQ - E – 007		0.4 wt %
ENB Content	ASTM D - 6047	4.5	5.30 wt %
Ethylene Content	ASTM D - 3900	54	56.0 wt %
Contamination	PQ - E – 009		20 counts

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

- ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide) บริษัท Global Chemical Co.,Ltd.
- กรดสเตียริก (Stearic Acid) บริษัท Kijpaiboon Chemical Co.,Ltd.
- ละอองซิลิกา (Fumed Silica) ขนาดอนุภาค 0.8 ไมครอน บริษัท PPG Siam Silica Co.,Ltd.
- ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ (Zeolite Na-A) ขนาดอนุภาค 3-6 ไมครอน บริษัท PQ Chemical Co.,Ltd.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl Peroxide; DCP) ความเข้มข้น 40% บริษัท Kijpaiboon Chemical Co.,Ltd.
7. แอนติออกซิแดนซ์ (2,6-Di-Tert-Butyl-4-Methylphenol; BHT) บริษัท Technochem Co.,Ltd.
8. น้ำมันพาราฟิน (Parafinic Oil) บริษัท Union Link Co.,Ltd.
9. ซิลเลน (Silane) SR-350 บริษัท Kijpaiboon Chemical Co.,Ltd.
10. สารที่ใช้ทำความสะอาด อะมิโนเมทิลโพรพานอล (2-Amino-2-Methyl-1-Propanol; AMP) บริษัท Merck Co.,Ltd.
11. ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) บริษัท Kijpaiboon Chemical Co.,Ltd.

อุปกรณ์

1. เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding Machine) รุ่น LP20 บริษัท แลบเทคเอนจิเนียริง จำกัด
2. เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two – roll Mill) บริษัท แลบเทคเอนจิเนียริง จำกัด
3. เครื่องวัดความหนืดแบบมูนี (Mooney Viscometer) บริษัท Shimadzu จำกัด Model SMV - 201
4. เครื่องวัดสมบัติการคงรูปของยาง (Rotorless Moving Rheometer : Curelastimeter[®]) บริษัท Nichigo Shigi Model II F
5. เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Tester) รุ่น LR5K บริษัท Intro LLOYD Instruments จำกัด
6. เครื่องทดสอบความแข็งกด (Hardness Tester) รุ่น 7689 บริษัท Intro Enterprise จำกัด
7. เครื่องอัดขึ้นรูปยาง (Compression Molding Machine) บริษัท Kuemin Machinery Co.,Ltd. รุ่น VO-200 ความดัน 200 psi
8. เครื่องวัดสี (Colormeter) รุ่น Mini Scan[®]XE plus 6.11 บริษัท Color Associates Co.,Ltd

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

1. การเตรียมยางผสมสูตร [16]

1.1 ตัดยางและซังสารเคมีต่าง ๆ ตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สูตรยางล้างแม่แบบที่ใช้ในงานวิจัย

สาร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (ส่วนในร้อยละของยาง ; phr)
EPDM Nordel 4640	100
ZnO	5
Stearic acid	1
Zeolite หรือ Silica	20-50*
DCP	7
Paraffinic oil	5
BHT(Antioxidant)	1
SR-350(Coupling agent)	3
AMP	10-30*
TiO ₂	2-10*

หมายเหตุ * คือตัวแปรที่ศึกษา

1.2 ทำการผสมยางผสมสูตร เริ่มจากการนำยาง EPDM มาทำการบดย่อย (Mastication) ที่อุณหภูมิประมาณ 30 °C โดยใช้เครื่องบดผสมระบบเปิดแบบสองลูกกลิ้ง จนกระทั่งยางพันรอบลูกกลิ้ง ทำการกรีดพับยางจนกระทั่งยางนิ่ม ใช้เวลาประมาณ 8 นาที

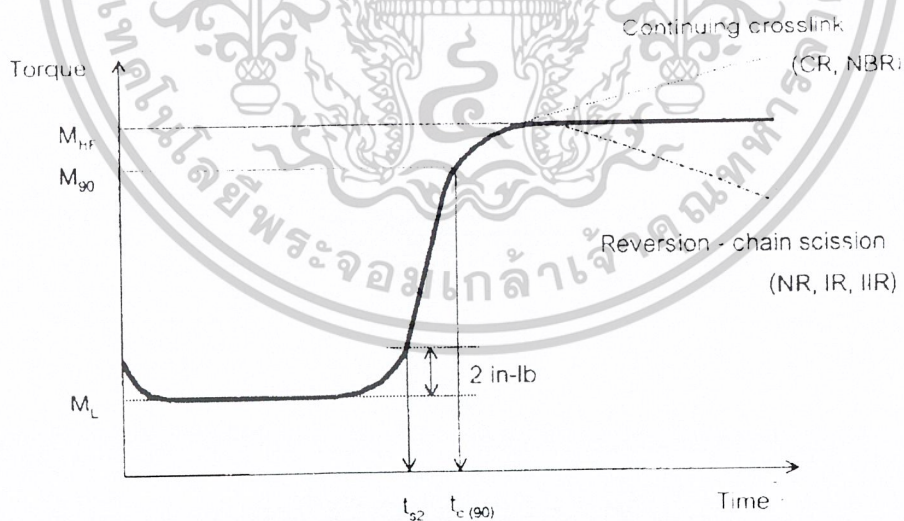
1.3 ค่อย ๆ เติม ZnO TiO₂ และ BHT ลงไประหว่างลูกกลิ้ง แล้วทำการบดผสม โดยกรีดพับยาง (Cut and fold) เพื่อให้เกิดการผสมที่มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในยาง ใช้เวลาประมาณ 3 นาที

1.4 เติมละอองซิลิกา หรือซีโอไลต์ชนิดซีเดียมเอ ลงไปพร้อม ๆ กับเติมน้ำมันและ SR-350 เพื่อช่วยให้ง่ายในการบดผสม จากนั้นก็ทำการเติมกรดสเตียริกลงไป กรีดพับยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อจนสารเคมีกระจายตัวได้ทั่วในยาง ใช้เวลาประมาณ 15 นาที แล้วรีดยางออกเป็นแผ่นหนาประมาณ 3-5 มิลลิเมตร

- 1.5 ตัดแผ่นยางผสมสูตรที่ได้เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ 2x2 นิ้ว จำนวน 2 แผ่น นำไปวัดความหนืดแบบมูนี (Mooney Viscosity) โดยใช้เครื่องมือวัดความหนืด (Mooney Viscometer) กำหนดอุณหภูมิการวัดความหนืดที่ 100 °C โดยหาค่าความหนืด ML 1+4(100 °C) ของยางผสมสูตรก่อนการเชื่อมโยง
- 1.6 เต็มสารเชื่อมโยง DCP และสารที่ใช้ทำความสะอาด AMP ลงไปในยาง ทำการบดผสมต่อไป โดยการกรีดทับยาง จนยางมีความอ่อนตัว และสารเคมีผสมเข้ากับยาง เป็นเนื้อเดียวกัน ใช้เวลาในขั้นตอนนี้ประมาณ 10 นาที
- 1.7 ปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งให้ห่างประมาณ 2-3 มิลลิเมตร แล้วรีดยางออกจากลูกกลิ้ง
- 1.8 ตัดแผ่นยางผสมสูตรเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ 2x2 นิ้ว แล้วนำไปทดสอบลักษณะการเชื่อมโยง (Cure Characteristic) ด้วยเครื่องวัดสมบัติการคงรูปของยาง เพื่อหาเวลาก่อนการเชื่อมโยง หรือเวลาสกอร์ช (Scorch Time; t_{s2}) และเวลาเชื่อมโยง (Cure Time; $t_{c(90)}$) ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 กราฟเชื่อมโยง (Cure Curve) ของยางผสมสูตร แสดงเวลาเชื่อมโยง (Cure Time; $t_{c(90)}$)

และเวลาก่อนการเชื่อมโยง (Scorch Time; t_{s2}) [2] โดยที่

- ML คือค่าแรงบิด (Torque) ต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยียางแห่งประเทศไทย ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- t_{s2} คือเวลาก่อนการเชื่อมโยง หรือเวลาสกอร์ช (Scorch Time) เป็นเวลาที่ค่าแรงบิด (Torque) เพิ่มขึ้นสูง 2 ปอนด์นิ้ว (in-lb) กำหนดเป็นเวลาที่สามารถขึ้นรูปยางผสมสูตรเป็นรูปร่างผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ โดยที่ยังไม่เกิดการเชื่อมโยง
- $t_{c(90)}$ คือเวลาเชื่อมโยง (Cure Time) เป็นเวลาที่ยางเกิดการเชื่อมโยงที่ดีที่สุด (Optimum Cure Time) กำหนดเป็นเวลาที่ยางเชื่อมโยง 90% หรือแรงบิดเพิ่ม 90% จากค่าแรงบิดต่ำสุด

2. การศึกษาสมบัติของยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้

2.1 การศึกษาสมบัติเชิงกลของยางล้างแม่แบบ

- 2.1.1 การทดสอบแรงดึง (Tensile Test) ด้วยเครื่อง Universal Tester ตามมาตรฐาน ASTM D412 โดยเตรียมชิ้นงานตัวอย่างรูปร่างดัมเบลล์ (Dumbell Shape) กำหนดสภาวะเครื่องทดสอบดังนี้
- | | |
|---|----------------------|
| ความเร็วในการดึงยึด | 500 มิลลิเมตรต่อนาที |
| ความยาวเกจ หรือความยาวเริ่มต้น (Gauge length) | 2.5 เซนติเมตร |
| ค่าแรงสูงสุดที่เครื่องรับได้ | 5 กิโลนิวตัน |
| จำนวนชิ้นงานตัวอย่างที่ทดสอบ | 5 ชิ้นงาน |

ผลการทดสอบที่ได้นำมาหาค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

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

$$\text{ความแข็งแรงดึง} = F / A \quad \dots(3.1)$$

เมื่อ F = แรงที่ใช้ในการดึง ณ จุดขาด (N)

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน (m^2)

- 2.) เอลงชันต์การยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) หาได้จากสมการ

$$\text{เอลงชันต์การยืด ณ จุดขาด} = (l - l_0) / l_0 \times 100 \quad \dots(3.2)$$

เมื่อ l = ความยาวสุดท้ายของชิ้นงาน (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$l_0 = \text{ความยาวเริ่มต้นของชิ้นงาน (m)}$$

3.) มอดุลัสของยาง (Rubber Modulus) เป็นค่าความเค้น (Stress) ที่เปอร์เซ็นต์
ความเครียด 100 200 300

4.) มอดุลัสของยาง (Young's Modulus) หาได้จากสมการ

$$\text{มอดุลัสของยาง} = \frac{\text{ความเค้นดึง}}{\text{ความเครียดดึง}} \text{ ที่ความชันเริ่มต้น}$$

2.1.2 การทดสอบความแข็งแรงฉีกขาด (Tear Test) ด้วยเครื่อง Universal Tester ตาม
มาตรฐาน ASTM D624 โดยเตรียมชิ้นงานตัวอย่างรูปปีกนก กำหนดสถานะ
เครื่องทดสอบดังนี้

ความเร็วในการดึงยึด	500 มิลลิเมตรต่อนาที
ค่าแรงสูงสุดที่เครื่องรับได้	5 กิโลนิวตัน
จำนวนชิ้นงานตัวอย่างที่ทดสอบ	5 ชิ้นงาน

2.1.3 การทดสอบความแข็งกด (Hardness Test)

นำชิ้นงานที่เตรียมได้มาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งกดแบบน้ำหนักคงที่
(Dead Load Hardness Tester) ชนิด Shore A ที่อุณหภูมิห้องตามมาตรฐาน
ASTM D2240 ซึ่งอ่านค่าความแข็งกดได้โดยตรงจากเครื่องจากการกดที่ตัวอย่าง
หนาอย่างน้อย ¼ นิ้ว รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดสอบ 10 ครั้งต่อ
1 ตัวอย่าง

2.2 การทดสอบสมบัติการทำความสะอาดกับแม่แบบที่ใช้งานจริง

2.2.1 นำยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้มาอัดกับแม่แบบที่ใช้งานจริงด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปยาง
รุ่น VO-200 เป็นเวลา 3 นาที ที่อุณหภูมิ 175 °C และทำซ้ำจนแม่แบบสะอาด

2.2.2 นำยางล้างแม่แบบทางการค้า Struktol® MC – A มาอัดกับแม่แบบที่ใช้งานจริง
เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 175 °C และทำซ้ำจนแม่แบบสะอาด

2.2.3 เปรียบเทียบความสะอาดของแม่แบบที่ทำความสะอาดด้วยยางล้างแม่แบบที่
เตรียมได้กับยางล้างแม่แบบทางการค้า Struktol® MC – A ที่อุณหภูมิ 175 °C
เป็นเวลา 15 นาที เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การศึกษาสัณฐานวิทยาของยางล้างแม่แบบ

ศึกษาสัณฐานวิทยาของยางล้างแม่แบบ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) โดยดูจากภาพตัดขวางตัวอย่างที่แตกหักที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic Fracture) สามารถเตรียมตัวอย่างได้ดังนี้

- นำยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้มาหักที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic Crack) โดยแช่ชิ้นงานในไนโตรเจนเหลว (Liquid Nitrogen) เป็นเวลา 20 นาที แล้วหักชิ้นงานเป็นชิ้นเล็กๆ โดยอย่าให้รอยที่หักถูกสัมผัส
- ทำการเคลือบชิ้นงานด้วยทองคำ
- นำชิ้นงานไปศึกษาสัณฐานวิทยาด้วย SEM

2.4 การวัดสี

นำยางที่อัดทำความสะอาดแล้วมาวัดสี เพื่อดูสีที่เปลี่ยนแปลงไปจากสีของยางล้างแม่แบบเริ่มต้น โดยใช้ความสว่างของแสงที่ $D65/10^\circ$ เริ่มจากการวัดสีของยางล้างแม่แบบที่ยังไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด จากนั้นนำยางล้างแม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 มาวัดสีเพื่อเปรียบเทียบความสีกปรกในแต่ละครั้ง โดยวัดออกมาในค่า

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

เมื่อ ΔE^* = ความเข้มของสีที่เปลี่ยนแปลงไป

L^* = ความสว่าง

a^* = เฉดสีเขียว-แดง โดยค่าลบคือ สีเขียว และค่าบวกคือ สีแดง

b^* = เฉดสีน้ำเงิน-เหลือง โดยค่าลบคือ สีน้ำเงิน และค่าบวกคือสีเหลือง

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

ในอุตสาหกรรมยางมักจะประสบปัญหาในเรื่องการทำความสะอาดแม่แบบ วิธีที่ใช้กันทั่วไปคือ การใช้แรงงานคนในการขัด ซึ่งใช้เวลาในการทำความสะอาดนาน ส่งผลให้กำลังการผลิตลดลง ในงานวิจัยนี้จึงได้ผลิตยางคอมปาวด์ล้างแม่แบบขึ้น เพื่อลดเวลาในการทำความสะอาด และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความสะอาดแม่แบบ

ยางคอมปาวด์ล้างแม่แบบนี้มีลักษณะที่ต้องคำนึงถึง ดังนี้

- สามารถเก็บสารที่ใช้ทำความสะอาดได้ เนื่องจากส่วนประกอบที่สำคัญของยางล้างแม่แบบคือ สารที่ใช้ทำความสะอาด ซึ่งจะทำงานได้เมื่อเกิดการเชื่อมโยง ดังนั้นยางล้างแม่แบบนี้ต้องสามารถเก็บสารที่ใช้ทำความสะอาดไว้ได้จนถึงเกิดการเชื่อมโยง
- มีสมบัติเชิงกลที่ดี สามารถดึงออกจากแม่แบบได้ง่าย เช่น ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงฉีกขาด เบอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาด และมอดุลัส เนื่องจากแม่แบบมีลักษณะที่ซับซ้อน
- มีสีอ่อน ๆ หรือสีขาว เพื่อที่จะได้เห็นถึงคราบสกปรกที่ติดออกมาด้วยยางล้างแม่แบบได้ง่าย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาชนิดและปริมาณของสารตัวเติมที่มีผลต่อสมบัติของยางล้างแม่แบบ ซึ่งได้นำสารตัวเติม 2 ชนิด ได้แก่ ละอองซิลิกา (Fumed Silica) และซีโอไลต์ชนิดไซเดียมเอ (Zeolite Na-A) มาใช้ในการผลิตยางล้างแม่แบบ และยังศึกษาถึงปริมาณของไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium Dioxide; TiO_2) อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป และปริมาณสารที่ใช้ทำความสะอาด (2-Amino-2-Methyl-1-Propanol; AMP) โดยทำการศึกษาสมบัติเชิงกล สัณฐานวิทยา และสมบัติการทำความสะอาด ผลการวิจัยแสดงดังต่อไปนี้

4.1 การศึกษาสมบัติเชิงกล

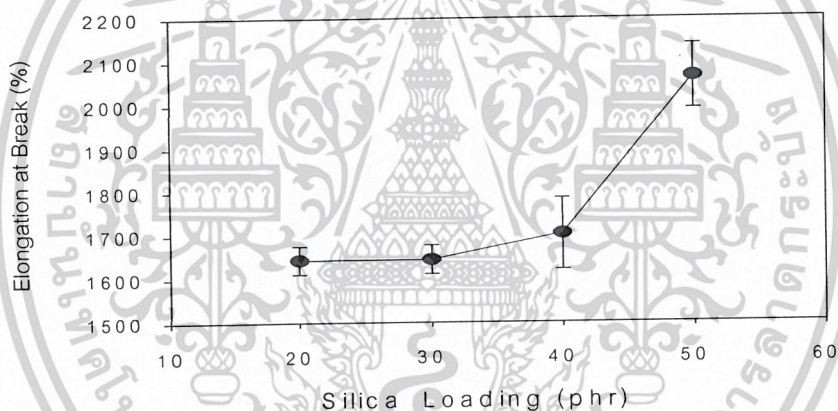
4.1.1 การใช้ละอองซิลิกา (Fumed Silica) เป็นสารตัวเติม

การเลือกใช้ละอองซิลิกาเป็นสารตัวเติม นอกจากจะช่วยลดต้นทุน เนื่องจากมีราคาถูก

เมื่อเทียบกับยางสังเคราะห์หลักที่ใช้ (EPDM) ซิลิกาเป็นสารตัวเติมชนิดเสริมแรง (Reinforcing) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

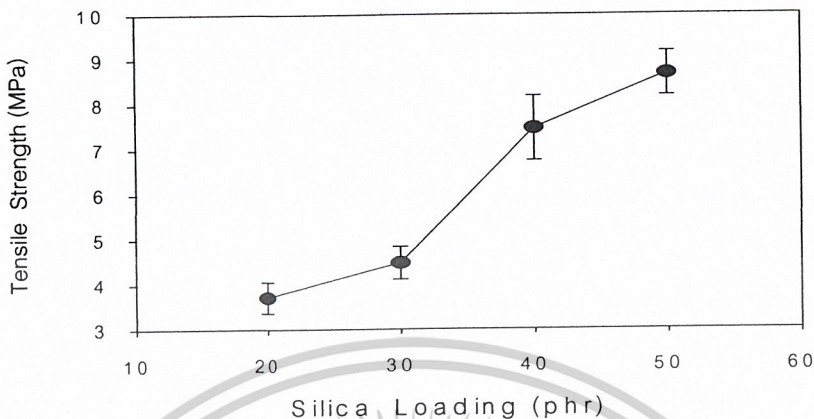
Filler) ที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับสารตัวเติมสีไม่ดำอื่น ๆ โดยเฉพาะละอองซิลิกาที่มีขนาดอนุภาคที่เล็ก มีประสิทธิภาพการเสริมแรงดีเยี่ยม จะช่วยปรับปรุงสมบัติบางประการของยาง เช่น ความแข็งแรงฉีกขาด (Tear Strength) นอกจากนี้อนุภาคละอองซิลิกามีโครงสร้างที่เป็นกลุ่มก้อนขนาดเล็ก (Aggregate) และกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ (Agglomerates) คาดว่าสารที่ใช้ทำความสะอาดที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ AMP มีความสามารถแทรกตัวระหว่างอนุภาคหรือกลุ่มก้อน หรือดูดซับที่ผิว ซึ่งสามารถเก็บสาร AMP ที่ใช้ทำความสะอาดไว้ระหว่างอนุภาคได้ และเพิ่มอายุการเก็บรักษา (Shelf Life)

จากการทดลองหลังจากเตรียมยางล้างแม่แบบโดยใช้ละอองซิลิกาเป็นสารตัวเติมแล้ว จะนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.1-4.6

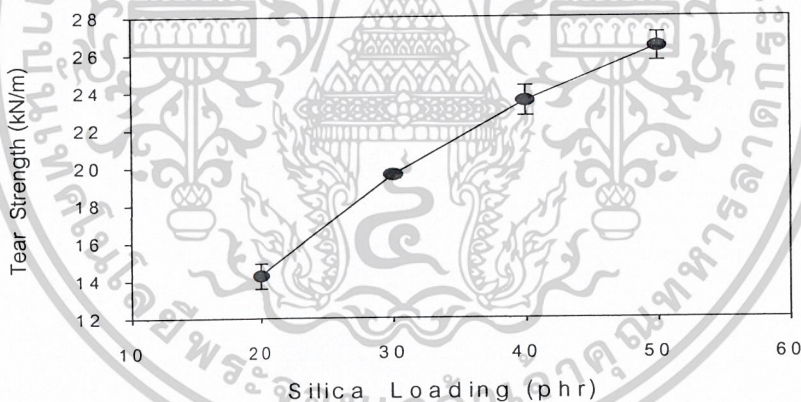


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของยางล้างแม่แบบกับปริมาณละอองซิลิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

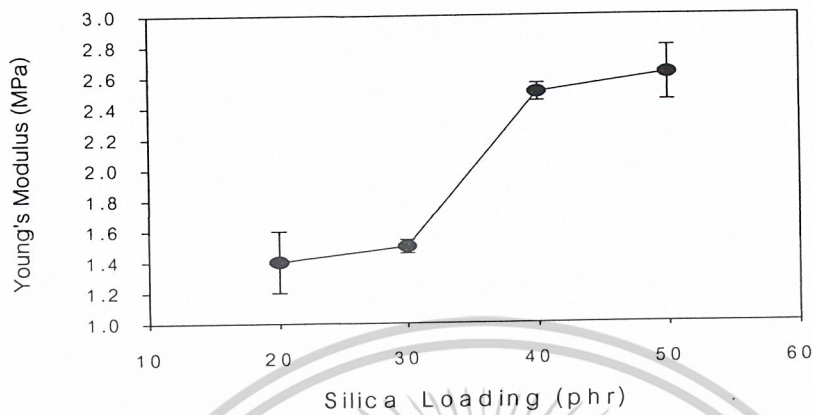


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ
ละอองซิลิกา

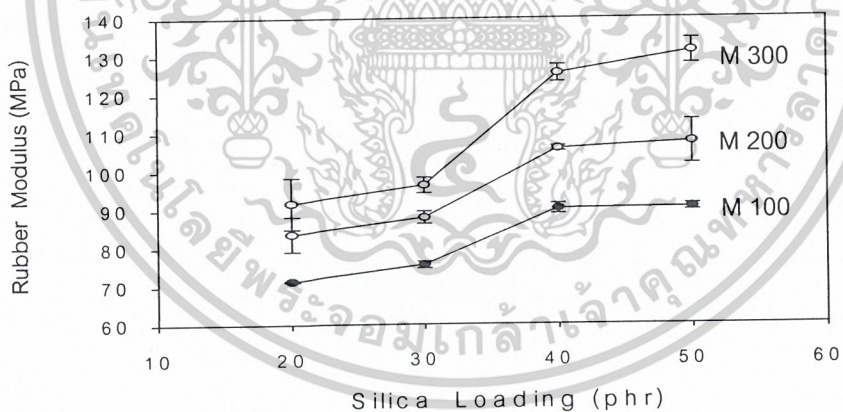


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงฉีกขาดของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ
ละอองซิลิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

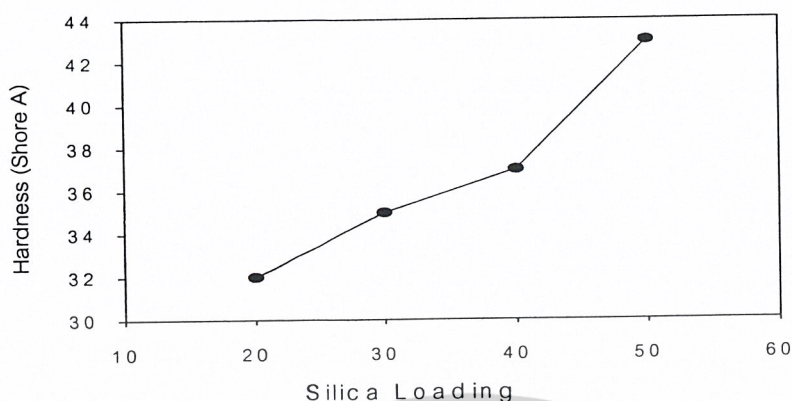


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างยังมอดุลัสของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ
ละอองซิลิกา



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสที่ 100 % 200 % 300 % การยัด (M100 M200 M300)
ของยางล้างแม่แบบกับปริมาณละอองซิลิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ
ละอองซิลิกา

จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของยางล้างแม่แบบพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณซิลิกาที่ใส่ในยางล้างแม่แบบ จะทำให้เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงฉีกขาด ความแข็งกด และมอดุลัสมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากละอองซิลิกามีอนุภาคเล็ก (0.8 ไมครอน) เป็นสารตัวเติมชนิดเสริมแรง เมื่อเพิ่มปริมาณซิลิกาในยางยิ่งเพิ่มความสามารถในการเสริมแรงในยางให้สูงขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงฉีกขาดมีค่าสูงขึ้น ซิลิกาเป็นลีนแร่อนินทรีย์ เป็นวัสดุที่มีความแข็ง หรือค่ามอดุลัสสูงมากเมื่อเทียบกับยาง เมื่อเพิ่มปริมาณซิลิกาในยางส่งผลให้ความแข็งของวัสดุโดยรวมคือ ค่ามอดุลัส และความแข็งกดมีค่าสูงขึ้นตามกฎของของผสม (Rule of Mixture) ปริมาณซิลิกาที่เหมาะสมที่ใช้ในการเตรียมยางล้างแม่แบบ คือ 40 phr ถึงแม่ซิลิกาที่ปริมาณ 50 phr จะให้สมบัติเชิงกลที่ดีกว่า แต่ที่ปริมาณซิลิกามาก ๆ พบว่ามีความยากในการผสม

4.1.2 การใช้ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ (Zeolite Na-A) เป็นสารตัวเติม

การเลือกใช้ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอเป็นสารตัวเติมเนื่องจาก ซีโอไลต์มีความเป็นรูพรุน และมีพื้นที่ผิวมาก ทำให้สามารถดูดซับสารได้ดี คาดว่า ซีโอไลต์สามารถเก็บสารที่ใช้ทำความสะอาดไว้ได้ก่อนที่จะเกิดการเชื่อมโยง เพื่อเพิ่มอายุการเก็บรักษา และซีโอไลต์นี้ยังเป็นสารตัวเติมที่เพิ่มเนื้อ และยังช่วยลดต้นทุนได้ เนื่องจากมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่าละอองซิลิกา (ขนาดอนุภาคของซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ 3-6 ไมครอน)

จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของยางล้างแม่แบบพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณซีโอไลต์ชนิด

โซเดียมเอที่ใส่ในยางล้างแม่แบบ จะทำให้เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงฉีกขาด และมอดุลัสมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากซีโอไลต์มีรูพรุนและพื้นที่ผิวมาก ทำให้สามารถดูดซับสารได้ดี คาดว่า ซีโอไลต์สามารถเก็บสารที่ใช้ทำความสะอาดไว้ได้ก่อนที่จะเกิดการเชื่อมโยง เพื่อเพิ่มอายุการเก็บรักษา และซีโอไลต์นี้ยังเป็นสารตัวเติมที่เพิ่มเนื้อ และยังช่วยลดต้นทุนได้ เนื่องจากมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่าละอองซิลิกา (ขนาดอนุภาคของซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ 3-6 ไมครอน) ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

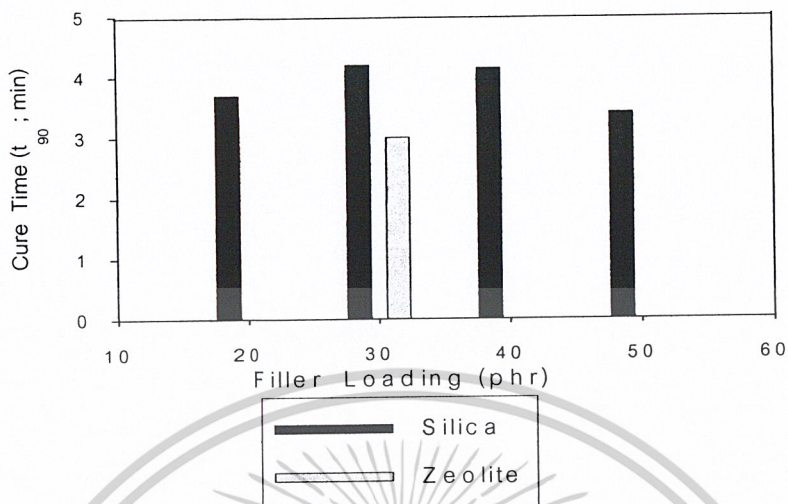
แรงฉีกขาด ความแข็งกดและมอดูลัสมีค่าลดลง และมีค่าน้อยกว่าการใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติม ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากซีโอไลต์มีโครงสร้างที่มีลักษณะที่เป็นรูพรุน และดูดความชื้นอย่างมาก เมื่อใส่ในยางจะทำให้ยางมีความเป็นรูพรุนมากขึ้น เกิดช่องว่างภายในเนื้อยางมากขึ้น ความแข็งแรงของยางลดลง สมบัติเชิงกลด้อยลง

ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอมีขนาดรูพรุนที่เล็ก (5 Å) ทำให้สารที่ใช้ทำความสะอาดซึ่งประกอบด้วยหมู่เอมีนและแอลกอฮอล์เข้าไปในรูพรุนไม่ได้ เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันนี้มีขนาดใหญ่กว่า รูพรุน ดังนั้นจึงเลือกใช้ละอองซิลิกาเป็นสารตัวเติมในยางล้างแม่แบบ เนื่องจากเหตุผลดังกล่าว

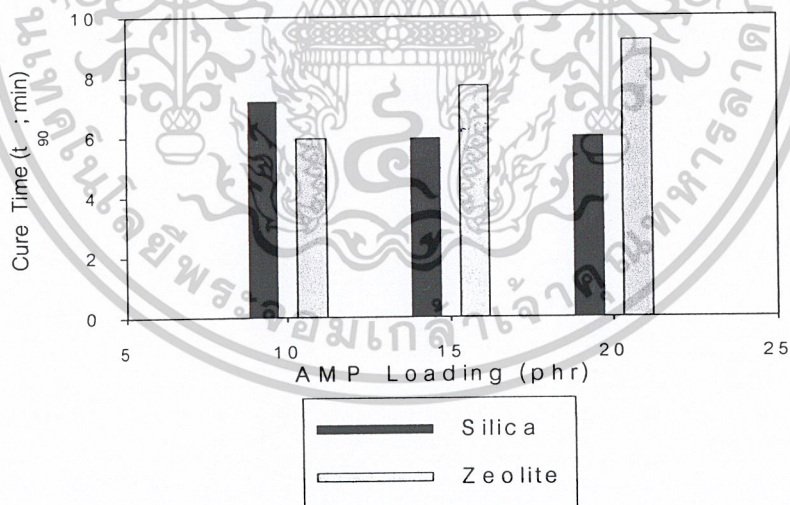
4.1.3 อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป

อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปที่ศึกษา คือ 165 °C และ 175 °C ที่เลือกอุณหภูมิในช่วงนี้เนื่องจากในอุตสาหกรรมยางสังเคราะห์สามารถเกิดการเชื่อมโยงด้วยสารประกอบเปอร์ออกไซด์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 150 °C และที่ 165 °C เป็นจุดเดือดของ AMP ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่านี้ AMP ไม่สามารถทำงานได้ จากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องพบว่า ถ้าใช้อุณหภูมิเชื่อมโยงสูงขึ้น ประสิทธิภาพของสารทำความสะอาดจะดีขึ้น และเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงเร็วขึ้น [7] แต่ถ้าใช้อุณหภูมิเชื่อมโยงสูงเกินไป อาจทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพ เป็นผลให้สมบัติของยางหลังการเชื่อมโยงลดลง จากนั้นนำยางล้างแม่แบบที่ผ่านการเชื่อมโยงในช่วงอุณหภูมิที่ศึกษามาทดสอบสมบัติต่าง ๆ

จากการทดสอบลักษณะการเชื่อมโยง (Cure Characteristic) ด้วยเครื่องวัดสมบัติการคงรูปของยาง (Curelometer) ที่อุณหภูมิ 165 °C และ 175 °C เพื่อหาเวลาก่อนการเชื่อมโยงหรือเวลาสกอร์ช (Scorch Time; t_{s2}) และเวลาเชื่อมโยง (Cure Time; t_{90}) ของยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้ พบว่า Scorch Time ไม่สามารถหาค่าได้ เนื่องจากการเชื่อมโยงยางด้วยเปอร์ออกไซด์นั้นจะเกิดปฏิกิริยาการแตกตัวของเปอร์ออกไซด์ขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจากการทดลองจะหาได้เฉพาะ Cure Time ดังที่แสดงดังรูปที่ 4.7-4.9

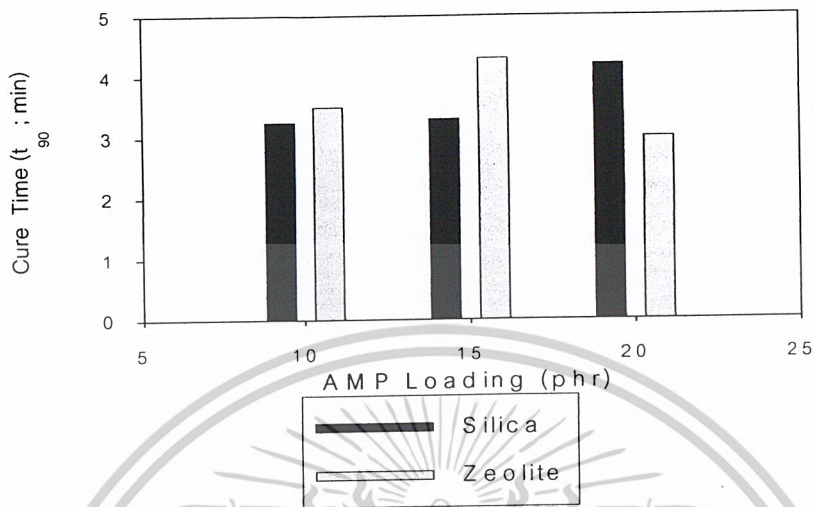


รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการเชื่อมโยงกับปริมาณของสารตัวเติมที่อุณหภูมิการขึ้นรูป 175 °C
หมายเหตุ ศึกษาปริมาณของซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอเฉพาะที่ปริมาณ 30 phr



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการเชื่อมโยงกับปริมาณ AMP ที่อุณหภูมิการขึ้นรูป 165 °C
โดยใช้ปริมาณละอองซิลิกาและซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ 30 phr

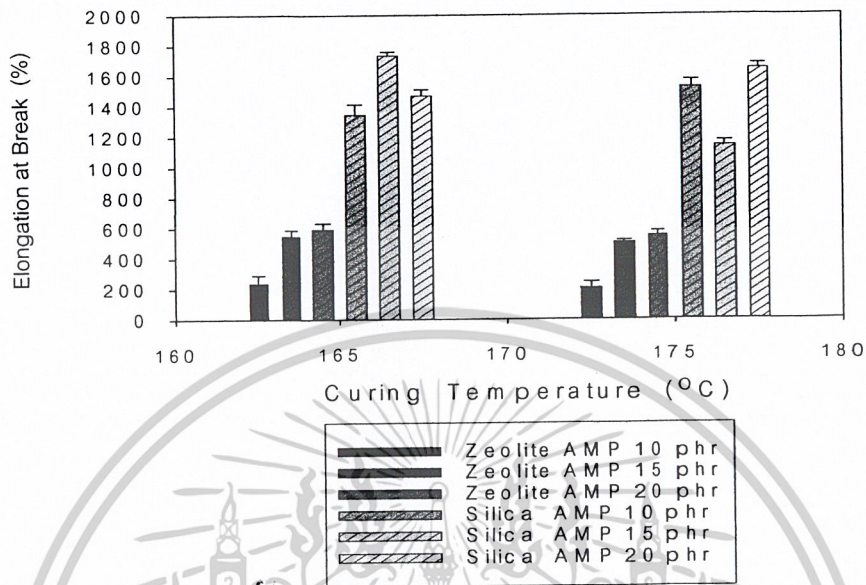
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



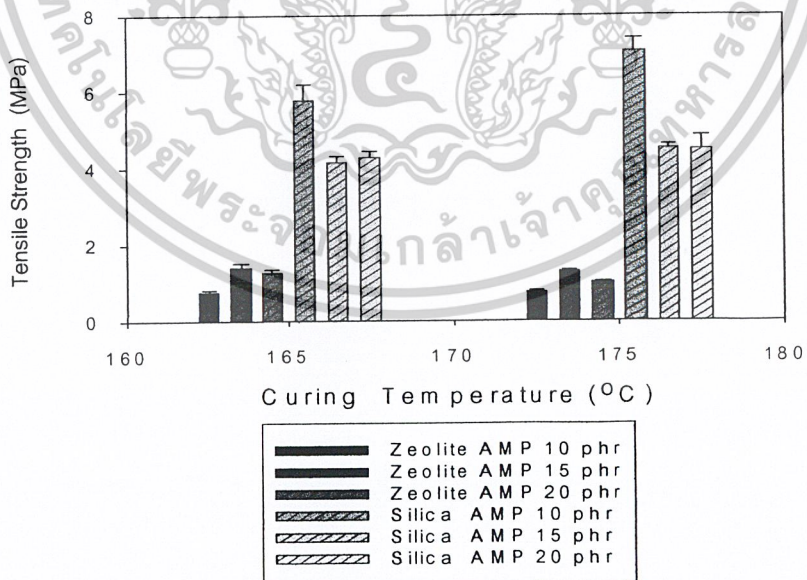
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการเชื่อมโยงกับปริมาณ AMP ที่อุณหภูมิการขึ้นรูป 175 °C โดยให้ปริมาณละของซิลิกาและซีโอไลต์ชนิดโซเดียม 30 phr

จากการทดสอบลักษณะการเชื่อมโยงของยางล่างแม่แบบพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการขึ้นรูปหรืออุณหภูมิเชื่อมโยงจะทำให้ Cure Time ลดลง เนื่องจากเปอร์ออกไซด์จะสลายตัวที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะเป็นการเร่งให้เปอร์ออกไซด์ทำงานได้ดีขึ้นโดยไม่ต้องใช้สารเร่ง ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการทำความสะดวกลดลงด้วย และที่อุณหภูมิในการขึ้นรูปที่สูงขึ้นนี้ เปอร์ออกไซด์จะแตกตัวได้ดี มีผลให้เกิดการเชื่อมโยงมากขึ้น ความหนาแน่นของการเชื่อมโยงยาง (Crosslink Density; ρ_c) เพิ่มขึ้น

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ของยางล่างแม่แบบกับอุณหภูมิการขึ้นรูปที่ 165 °C และ 175 °C โดยศึกษาทั้งการให้ละของซิลิกาและซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอเป็นสารตัวเติม ที่ปริมาณ 30 phr และแปรปริมาณ AMP ที่ 10 15 และ 20 phr ดังรูปที่ 4.10-4.16

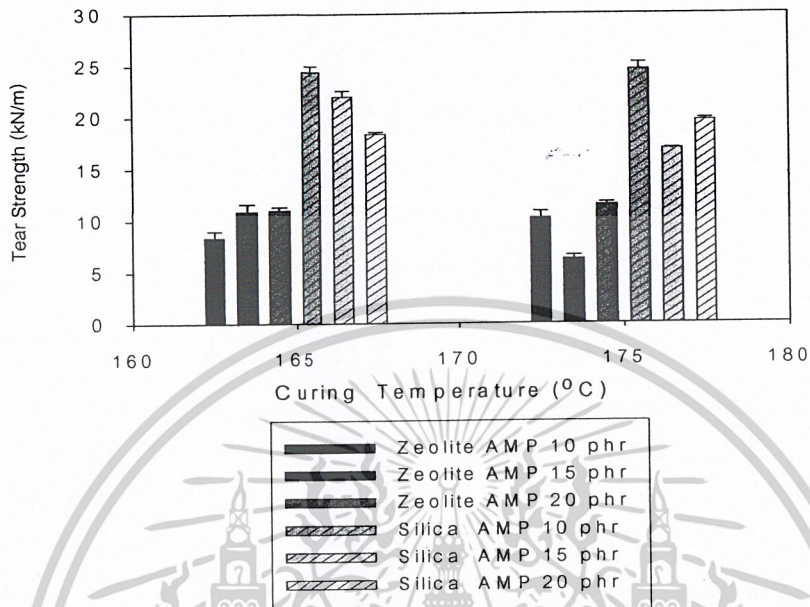


รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของยางล้างแม่แบบกับอุณหภูมิการขึ้นรูป

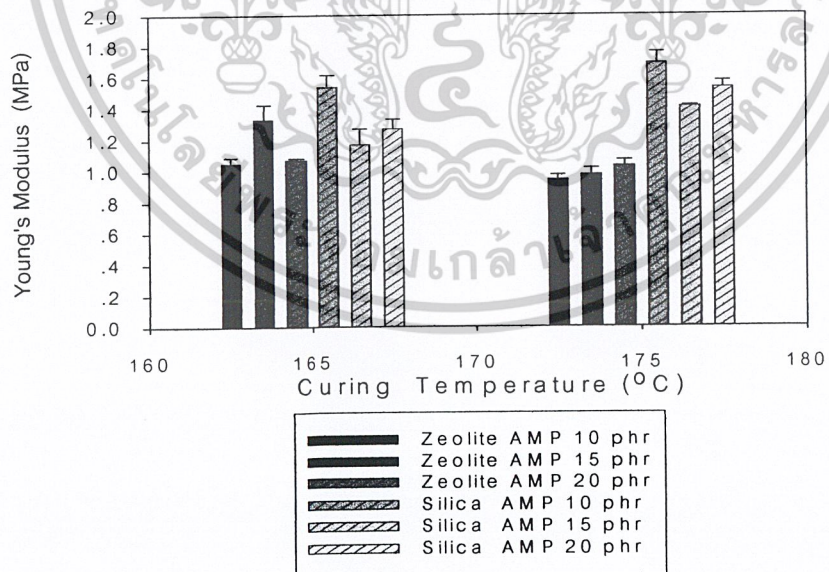


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของยางล้างแม่แบบกับอุณหภูมิการขึ้นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

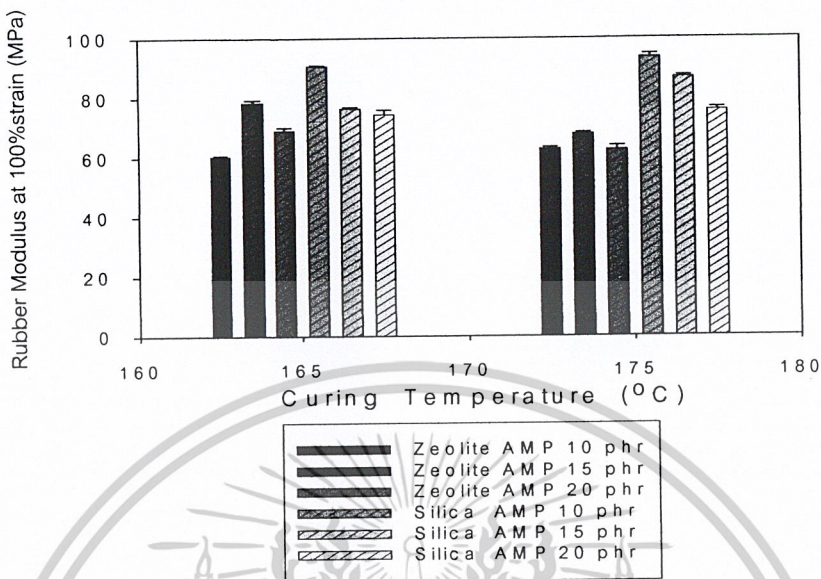


รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดัดของยางล้างแม่แบบกับอุณหภูมิการขึ้นรูป

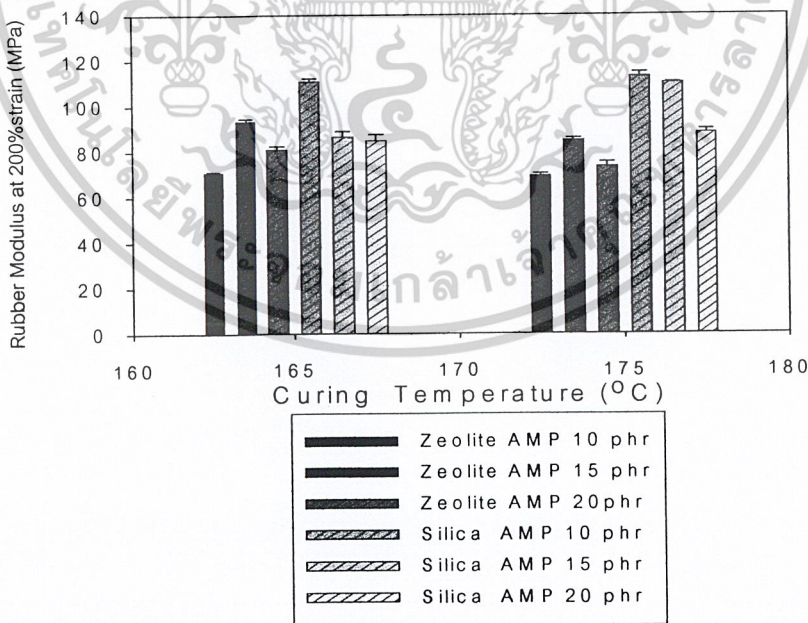


รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างยังมอดุลัสของยางล้างแม่แบบกับอุณหภูมิการขึ้นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

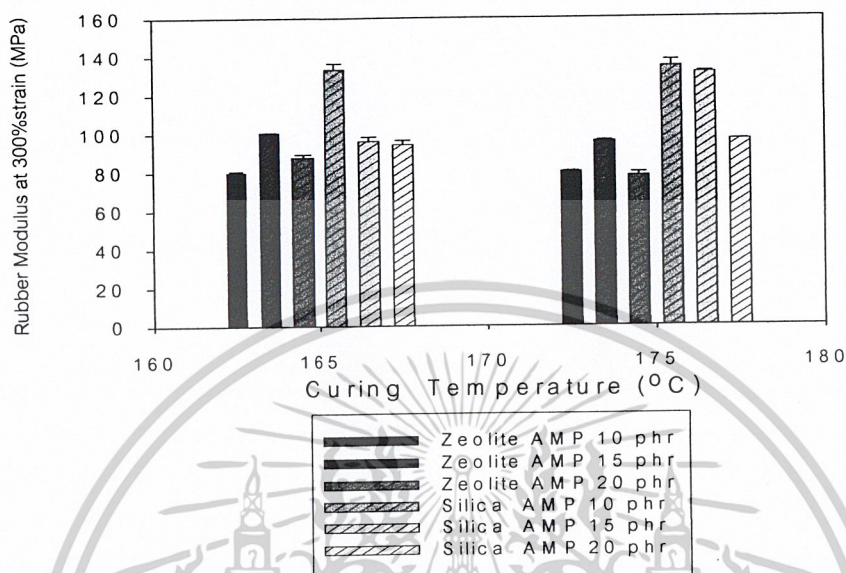


รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยางที่ 100 % การยืด (M100) ของยางล้างแม่แบบ กับอุณหภูมิการขึ้นรูป



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยางที่ 200 % การยืด (M200) ของยางล้างแม่แบบ กับอุณหภูมิการขึ้นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยางที่ 300 %การยืด (M300) ของยางล้างแม่แบบ กับอุณหภูมิการขึ้นรูป

จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของยางล้างแม่แบบพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการขึ้นรูป ทำให้เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงฉีกขาดลดลง แต่มอดุลัส และความแข็งกดเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากความหนาแน่นเชื่อมโยงของยางเพิ่มขึ้น พันธะเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น ทำให้โมเลกุลยางเคลื่อนที่ยากขึ้น ยางแข็งขึ้น ส่งผลให้มอดุลัสและความแข็งกดมากขึ้น ส่วนเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงฉีกขาดจะเกิดจุดสูงสุดที่ความหนาแน่นเชื่อมโยงค่าหนึ่งเท่านั้น โดยก่อนถึงจุดสูงสุด เมื่อยางเชื่อมโยงมากขึ้น ทำให้สายโซ่เคลื่อนที่หลุดออกจากกันยากขึ้นเมื่อได้รับแรง เป็นผลให้ความแข็งแรงของยางสูงขึ้น ที่หลังจุดสูงสุด สายโซ่ถูกยึดด้วยพันธะเชื่อมโยง สายโซ่เคลื่อนไหวได้อย่างจำกัด เนื่องจากเกิดโครงสร้างร่างแหที่แน่น (Tight Network) ทำให้ไม่สามารถเคลื่อนไหวเพื่อกระจายพลังงานที่ได้รับ เป็นผลให้ความแข็งแรงของวัสดุต่ำลง ยางจะแข็งแต่เปราะ แตกหักง่าย

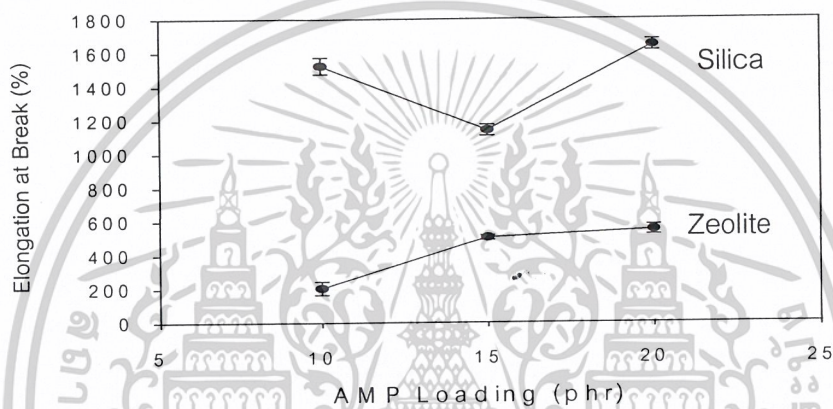
จากผลการทดลองจึงสรุปได้ว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปยางล้างแม่แบบที่เหมาะสมคือ 175 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ปฏิกิริยาการเชื่อมโยงเกิดได้ดี และ AMP สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

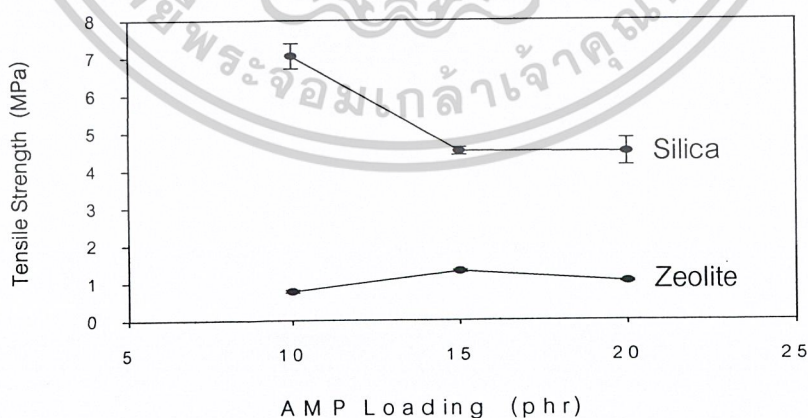
4.1.4 ปริมาณสารที่ใช้ทำความสะอาด (AMP)

การศึกษาค่าผลของปริมาณสารที่ใช้ทำความสะอาด (AMP) ในงานวิจัยนี้ ศึกษาโดยการแปรปริมาณ AMP จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าถ้าเพิ่มปริมาณสารที่ใช้ทำความสะอาด ประสิทธิภาพในการทำความสะอาดแม่แบบจะดีขึ้น

ในการศึกษาค่าผลของปริมาณ AMP นี้ ศึกษาโดยกำหนดปริมาณละอองซิลิกาหรือซีโอไลต์ ชนิดไซเดียมเอที 30 phr และใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปที่ 175 °C ดังรูปที่ 4.17-4.23

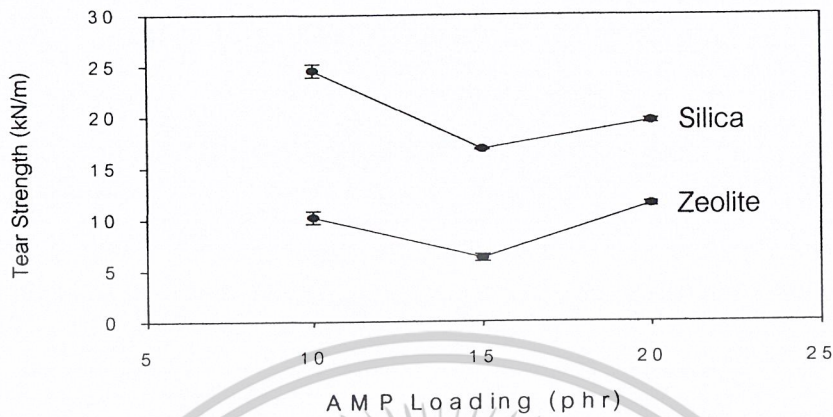


รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของยางล้างแม่แบบ กับปริมาณ AMP

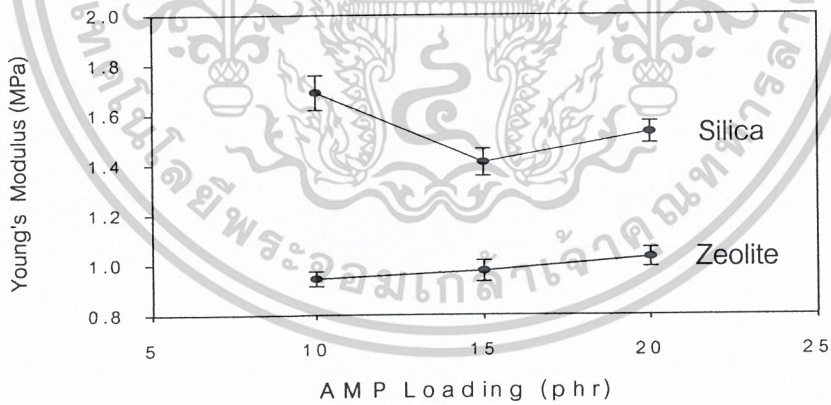


รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ AMP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

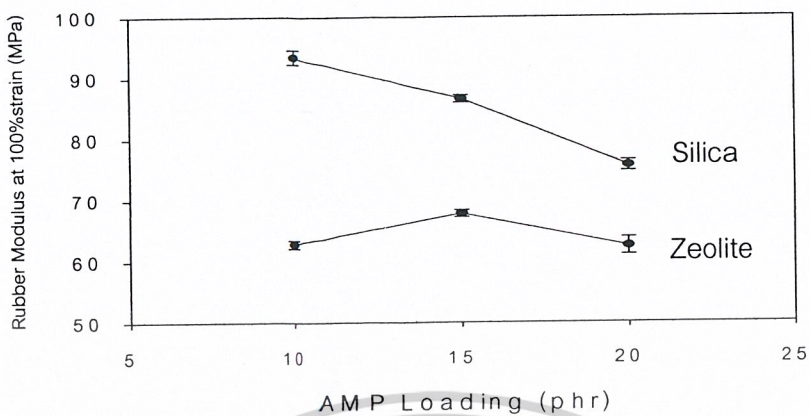


รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงฉีกขาดของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ AMP

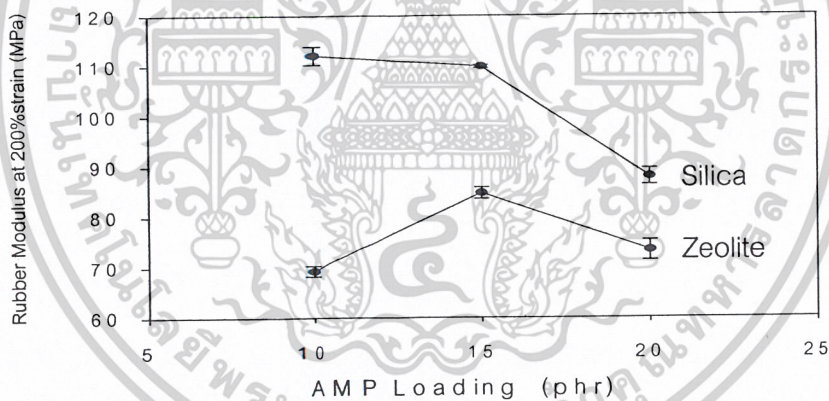


รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างยังมอดุลัสของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ AMP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

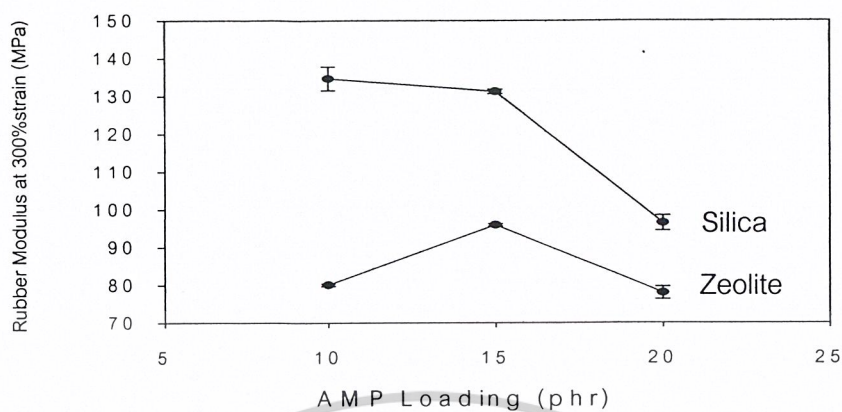


รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยางที่ 100 % การยืด (M100) ของยางล้างแม่แบบ กับปริมาณ AMP



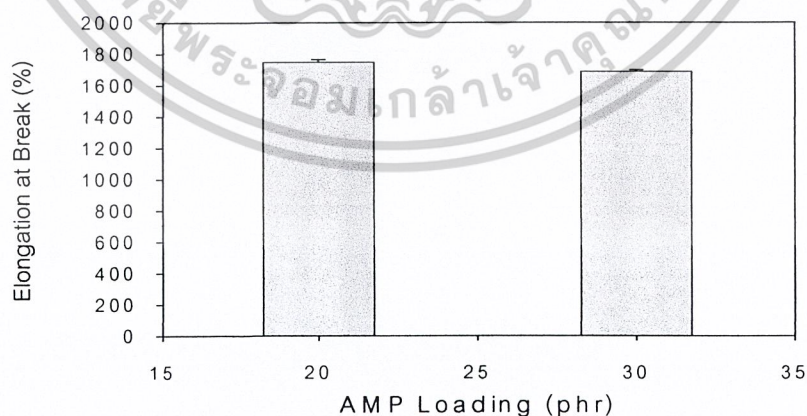
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยางที่ 200 % การยืด (M200) ของยางล้างแม่แบบ กับปริมาณ AMP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



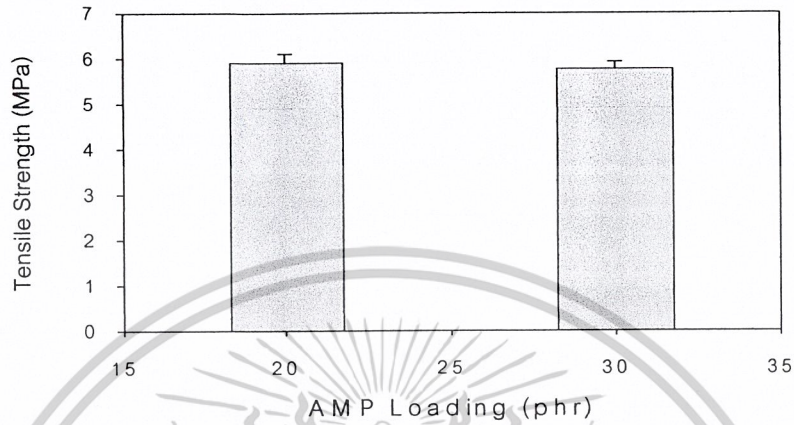
รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยางที่ 300 % การยืด (M300) ของยางล้างแม่แบบ กับปริมาณ AMP

จากการศึกษาสมบัติเชิงกลของยางล้างแม่แบบ โดยใช้ละอองซิลิกาและซีโอไลต์ชนิดไซเดียมเอเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณเท่ากัน พบว่าซีโอไลต์ชนิดไซเดียมเอให้สมบัติเชิงกลที่ด้อยกว่า ดังนั้น ละอองซิลิกาจึงเป็นสารตัวเติมที่เหมาะสมในการเตรียมยางล้างแม่แบบ และจากการศึกษาปริมาณละอองซิลิกาที่ใช้เป็นสารตัวเติม พบว่าปริมาณละอองซิลิกาที่เหมาะสม คือ 40 phr จากนั้นทำการศึกษาปริมาณ AMP โดยแปรปริมาณ AMP ที่ 20 phr และ 30 phr มีละอองซิลิกาเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณ 40 phr ใช้อุณหภูมิการขึ้นรูปที่ 175 °C ดังรูปที่ 4.24-4.31

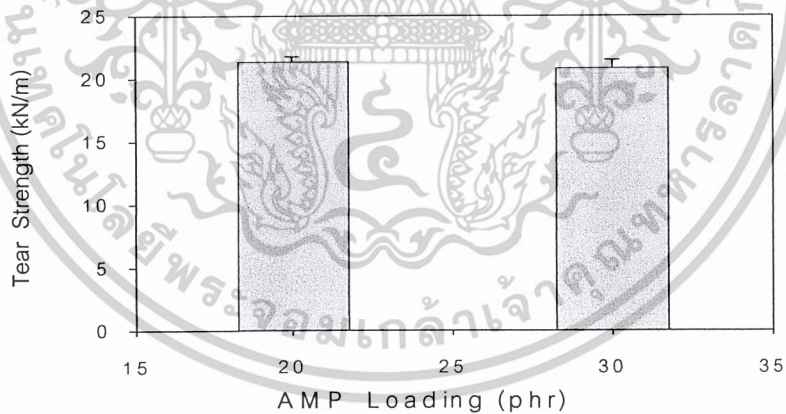


รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของยางล้างแม่แบบ กับปริมาณ AMP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

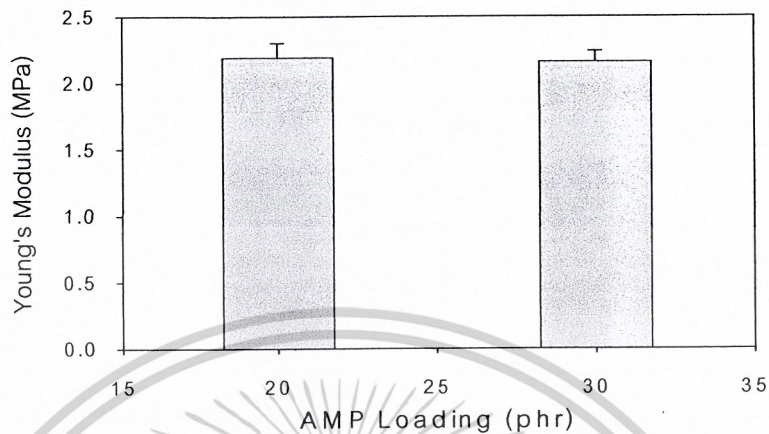


รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของยางล้อแม่แบบกับปริมาณ AMP

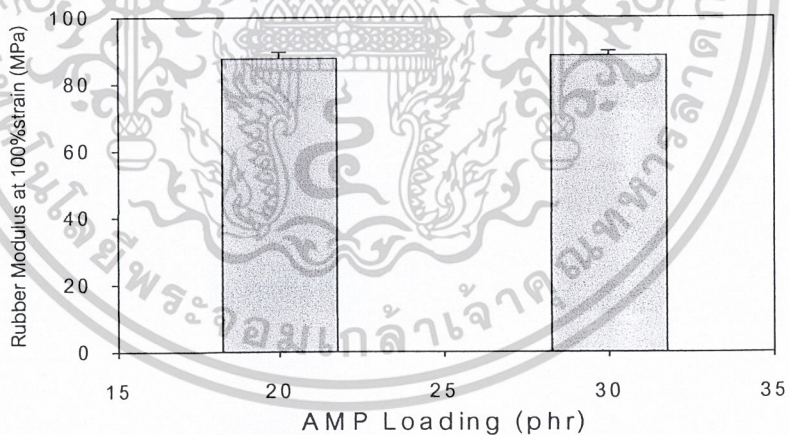


รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงฉีกขาดของยางล้อแม่แบบกับปริมาณ AMP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

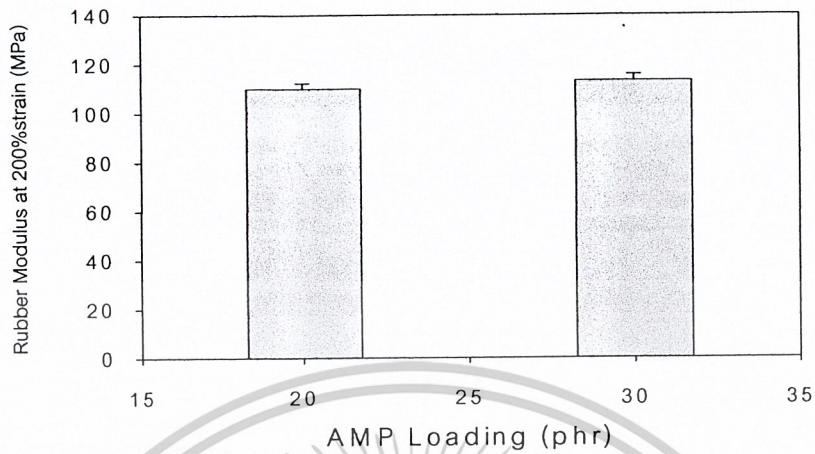


รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างยังมอดุลัสของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ AMP

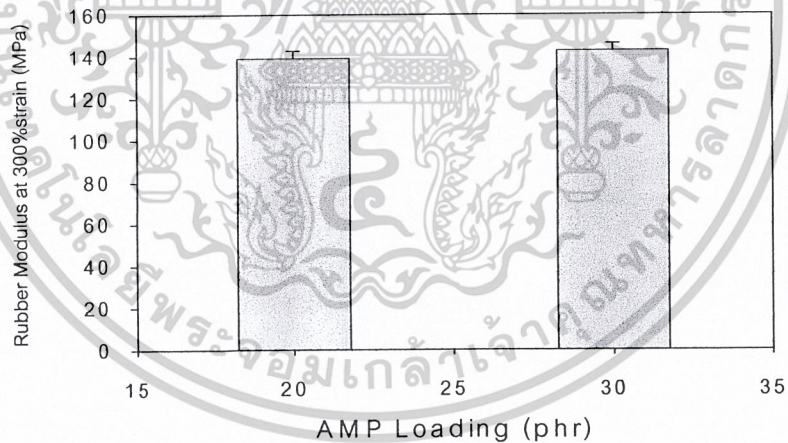


รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยางที่ 100 % การยืด (M100) ของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ AMP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

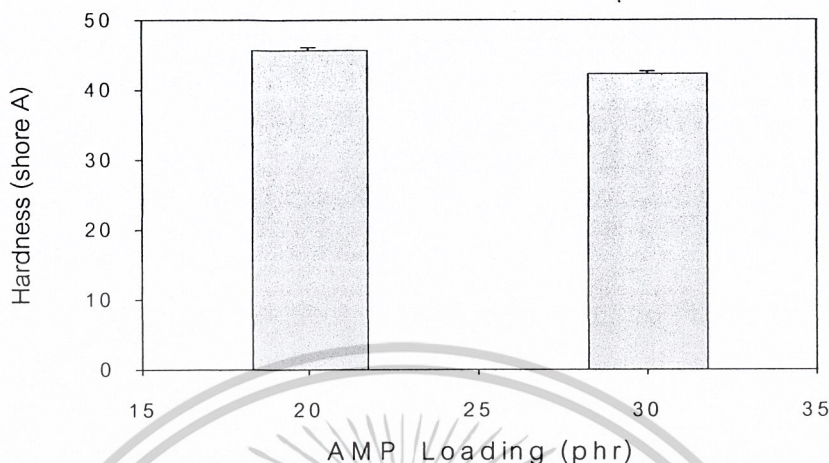


รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยางที่ 200 % การยืด (M200) ของยางล้างแม่แบบ กับปริมาณ AMP



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยางที่ 300 % การยืด (M300) ของยางล้างแม่แบบ กับปริมาณ AMP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ AMP

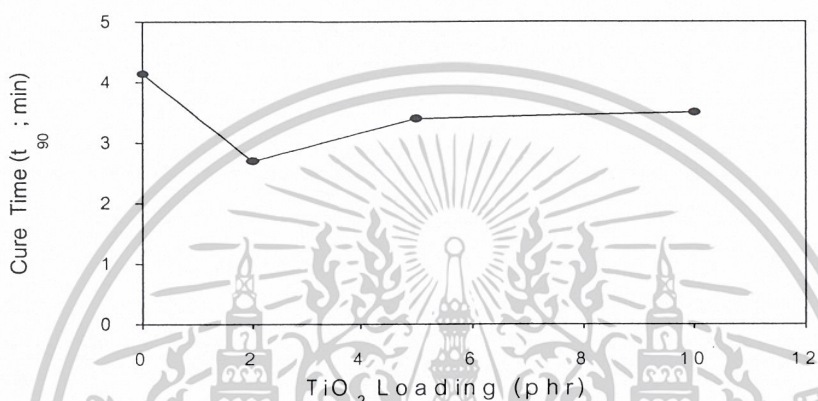
ผลการศึกษาปริมาณของ AMP พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ AMP ไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกลใด ๆ อย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากที่อุณหภูมิในการขึ้นรูปสูงกว่าจุดเดือดของ AMP ดังนั้น AMP สลายตัว และแทรกตัวหลุดออกจากยางล้างแม่แบบโดยไม่เกิดเป็นฟองอากาศตกค้างในยางล้างแม่แบบ (ยืนยันโดยการศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM) จึงไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกล

เมื่อใช้ AMP ปริมาณมาก มีผลต่อสมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรงดึง และมอดุลัส ซึ่งมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย คาดว่าอาจมี AMP ที่ยังไม่สลายตัวหลังเวลาเชื่อมโยงที่ใช้ เหลือเป็น AMP ในสถานะของเหลวแทรกตัวผสมอยู่ในยาง (สังเกตจากกลิ่นฉุนของแอมโมเนีย หรือของ AMP) AMP เป็นสารโมเลกุลเล็ก คาดว่าทำหน้าที่คล้ายพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) แทรกตัวระหว่างสายโซ่โมเลกุลยาง ทำให้โมเลกุลยางเคลื่อนไหว ยืดหยุ่น เปลี่ยนโครงรูป (Conformation) ได้ง่ายขึ้น ทำให้ยางมีความนิ่มเพิ่มขึ้น หรือความแข็งของยางลดลง

จากผลการทดลองที่ได้ พบว่าปริมาณ AMP ที่เหมาะสมในการเตรียมยางล้างแม่แบบ คือ 20 phr ถ้าเพิ่มปริมาณ AMP ประสิทธิภาพการทำความสะอาดแม่แบบเพิ่มขึ้น แต่ต้นทุนในการผลิตก็เพิ่มสูงตามไปด้วย

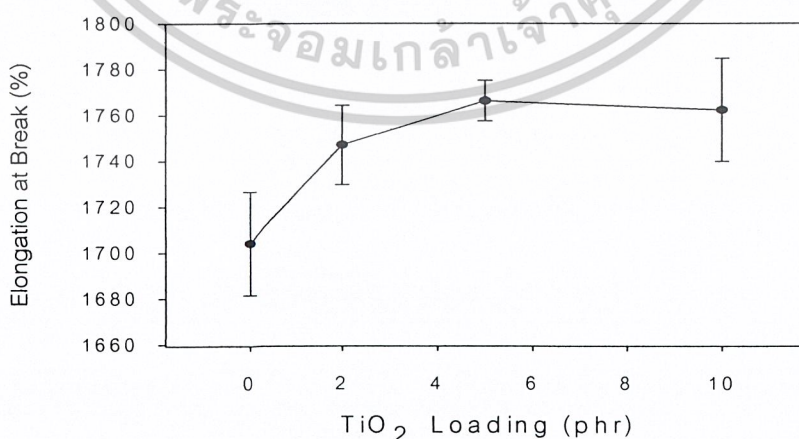
4.1.5 การใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่ง

การเลือกใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารเติมแต่งในยางผสมสูตรได้แก่ สารตัวเติม และ สารให้สีขาว เนื่องจากต้องการให้ยางล้างแม่แบบมีสีอ่อน ๆ หรือสีขาว เพื่อที่จะได้เห็นคราบสกปรก ได้ง่ายเวลาทำความสะอาด ซึ่ง TiO_2 เป็นตัวให้สีขาวที่ดีที่สุด และเป็นสารตัวเติมชนิดเพิ่มเนื้อ จากนั้นนำยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้มาทดสอบลักษณะการเชื่อมโยง ดังรูปที่ 4.32



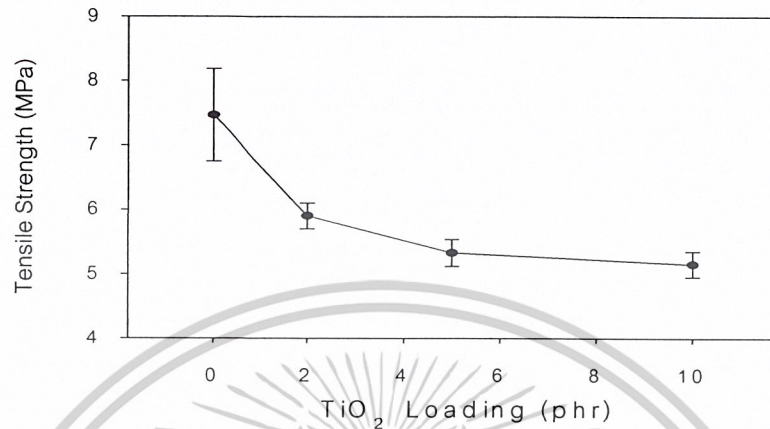
รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการเชื่อมโยงกับปริมาณ TiO_2 โดยใช้ปริมาณละอองซิลิกาที่ 40 phr ปริมาณ AMP 20 phr และใช้อุณหภูมิการขึ้นรูปที่ 175°C

การทดสอบสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ของยางล้างแม่แบบ โดยแปรปริมาณ TiO_2 ที่ 0 2 5 และ 10 phr โดยใช้ปริมาณละอองซิลิกาที่ 40 phr และปริมาณ AMP ที่ 20 phr และใช้อุณหภูมิการขึ้นรูปที่ 175°C ดังรูปที่ 4.33-4.40

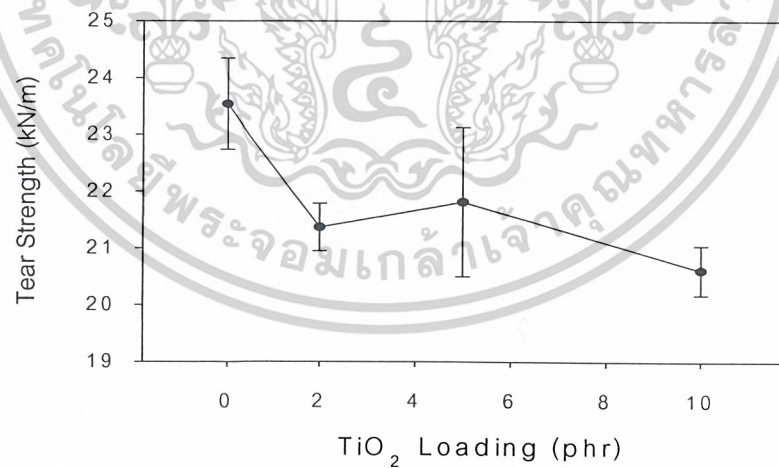


รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ TiO_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

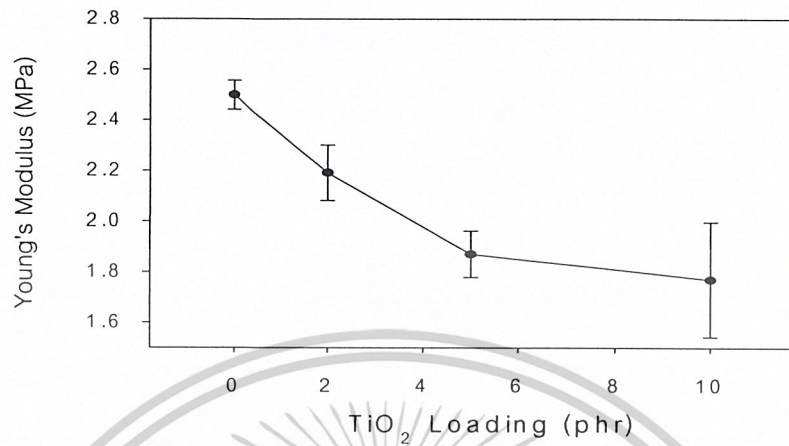


รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ TiO₂

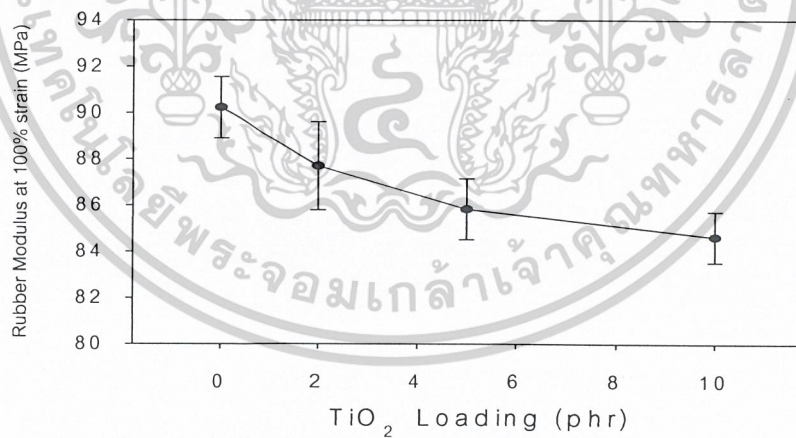


รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงฉีกขาดของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ TiO₂

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

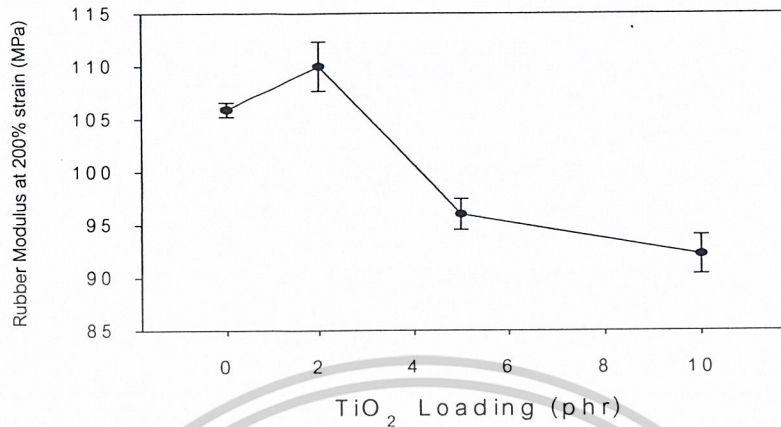


รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างยังมอดุลัสของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ TiO₂

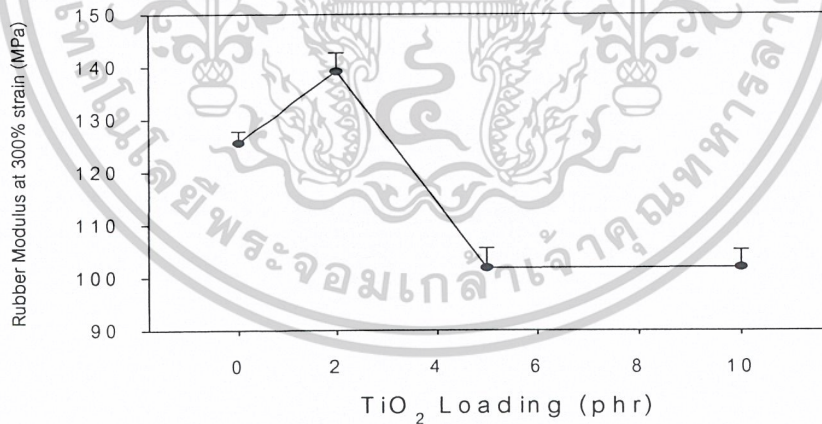


รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยางที่ 100 % การยืด (M100) ของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ TiO₂

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

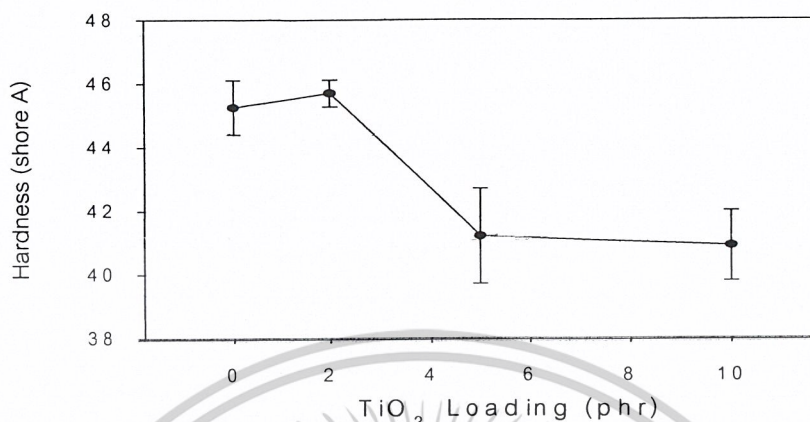


รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยางที่ 200 % การยืด (M200) ของยางล้างแม่แบบ กับปริมาณ TiO₂



รูปที่ 4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยางที่ 300 % การยืด (M300) ของยางล้างแม่แบบ กับปริมาณ TiO₂

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ TiO₂

จากการทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ TiO₂ ยางล้างแม่แบบที่ได้มีสีขาวมากขึ้น แต่สมบัติเชิงกลด้อยลงอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจาก TiO₂ เป็นสารตัวเติมที่ไม่เสริมแรง (Non-Reinforcing Filler) โดยอนุภาคของ TiO₂ มีขนาดเล็กและความแข็งต่ำ (เทียบกับสารตัวเติมละอองซิลิกา) จึงทำให้สมบัติเชิงกลต่าง ๆ ของยางล้างแม่แบบลดลง โดยเห็นได้ว่ายางล้างแม่แบบสูตรที่มีการเติม TiO₂ 10 phr มีเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงฉีกขาด ความแข็งกด และมอดุลัสน้อยกว่ายางล้างแม่แบบสูตรที่มีการเติม TiO₂ 5 phr 2 phr และสูตรที่ไม่เติม TiO₂

จากการทดสอบความสว่างของยางล้างแม่แบบ โดยการวัดสียางล้างแม่แบบที่มีปริมาณ TiO₂ 0 2 5 และ 10 phr สามารถแสดงค่าได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การวัดสีที่ D65/10° ของยางล้างแม่แบบที่เติม TiO₂ ปริมาณต่าง ๆ

ปริมาณ TiO ₂ (phr)	L*	a*	b*
0	88.7	-7.4	5.1
2	93.4	-6.2	5.3
5	96.8	-4.7	3.1
10	98.1	-0.7	2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

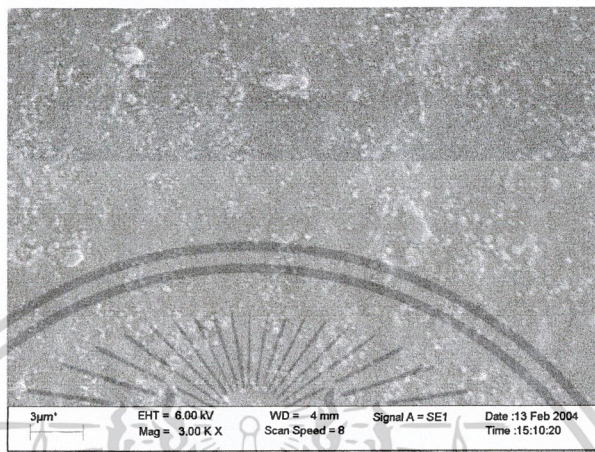
จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การเพิ่มปริมาณ TiO_2 ที่มากเกินไปส่งผลเสียอย่างเห็นได้ชัดต่อสมบัติเชิงกลของยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้ มีเฉพาะความขาวของยางผสมสูตรที่ได้เท่านั้นที่ต้องการ ดังนั้นในการทดลองจึงมีการปรับสูตรใช้ TiO_2 เพียง 2 phr พบว่ายางล้างแม่แบบที่ได้มีความขาวเพียงพอและไม่ต่างจากเมื่อเติม TiO_2 ปริมาณมาก และพบว่าสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ของยางที่ได้มีสมบัติดีไม่ต่างจากยางสูตรที่ไม่เติม TiO_2 ดังนั้นสรุปปริมาณ TiO_2 ที่เหมาะสมที่ใช้ในการเตรียมยางล้างแม่แบบ คือ 2 phr โดยยางล้างแม่แบบที่ได้มีสีขาวสวยงาม และยังมีสมบัติเชิงกลดีเช่นเดิม

4.2 การศึกษาสัณฐานวิทยาของยางล้างแม่แบบ

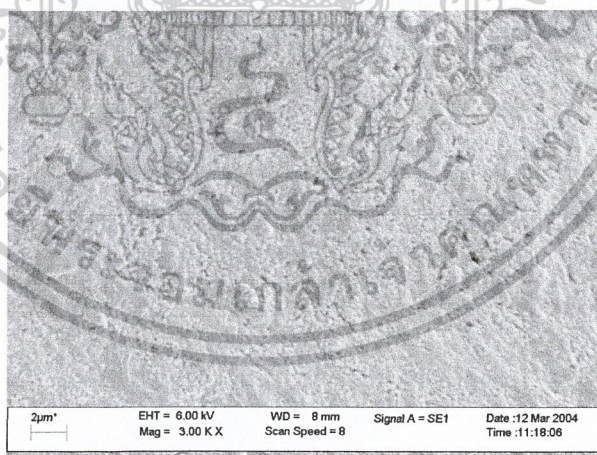


a) AMP 20 phr Silica 40 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



b) AMP 30 phr Silica 40 phr



c) Struktol® MC-A

รูปที่ 4.41 สัณฐานวิทยาของยางล้างแม่แบบ ทำการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ โดยใช้กำลังขยาย 3000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการศึกษาสัณฐานวิทยา จากยางล้างแม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดที่อุณหภูมิ การขึ้นรูปที่ 175 °C เพื่อดูการกระจายตัวของสารตัวเติมและฟองอากาศที่เกิดจากการสลายตัวของ AMP โดยใช้เทคนิค SEM พบว่ายางล้างแม่แบบที่เตรียมได้ทั้ง 2 สูตร คือสูตรที่มีปริมาณ AMP 20 phr และ 30 phr ดังรูปที่ 4.41a และ 4.41b มีการกระจายตัวของอนุภาคละอองซิลิกา ซึ่งใช้เป็นสารตัวเติม อย่างสม่ำเสมอและไม่พบรูพรุนของฟองอากาศ อันเนื่องจากการสลายตัวของ AMP จากสัณฐานวิทยาให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับสมบัติเชิงกล กล่าวคือเมื่อ AMP เกิดการสลายตัวแบบไม่เกิดฟองอากาศก็ยังคงอยู่ในยางขณะทำความสะอาดแม่แบบที่อุณหภูมิการขึ้นรูป จึงไม่พบฟองอากาศในเนื้อยางที่เป็นจุดอ่อนหรือรอยตำหนิ (Flaws) ที่เป็นจุดริเริ่มทำให้เกิดการเสียหายเมื่อวัสดุได้รับแรง

ส่วนสัณฐานวิทยาของยางล้างแม่แบบทางการค้า (Struktol[®] MC-A) ดังรูปที่ 4.41c พบว่ามีการกระจายตัวของอนุภาคละอองซิลิกาอย่างสม่ำเสมอ และพบรูพรุนที่เป็นฟองอากาศ ซึ่งอาจเป็นผลจากการสลายตัวไปไม่หมดของ AMP ก็กเก็บไว้ในเนื้อยาง

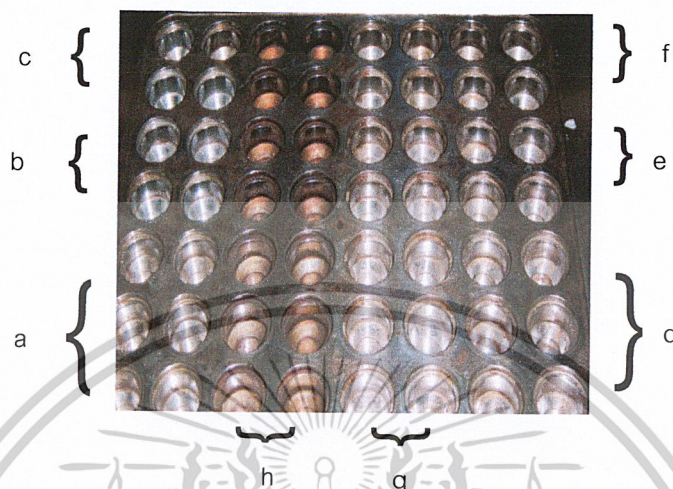
4.3 การทำความสะอาดแม่แบบที่ใช้งานจริง

หลังจากที่เตรียมยางล้างแม่แบบที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีแล้ว นำยางล้างแม่แบบมาทดสอบ การทำความสะอาดกับแม่แบบที่ใช้งานจริงในอุตสาหกรรมที่บริษัท เอส.เค. โพลีเมอร์ จำกัด โดยทดสอบกับแม่แบบที่มีลักษณะเป็นหลุม 8x8 ขึ้นตัวอย่าง ซึ่งทดสอบกับแม่แบบเดียวกันเพื่อความ สะดวกในการเปรียบเทียบ ยางล้างแม่แบบที่นำมาทดสอบกับแม่แบบจริงนี้มี 2 สูตร คือ ยางผสม สูตรที่มีปริมาณ AMP 20 phr และ 30 phr โดยวางยางล้างแม่แบบคนละด้านของแม่แบบ ดังรูป ที่ 4.42-4.47



รูปที่ 4.42 แม่แบบที่สุกปรก รอการทำความสะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

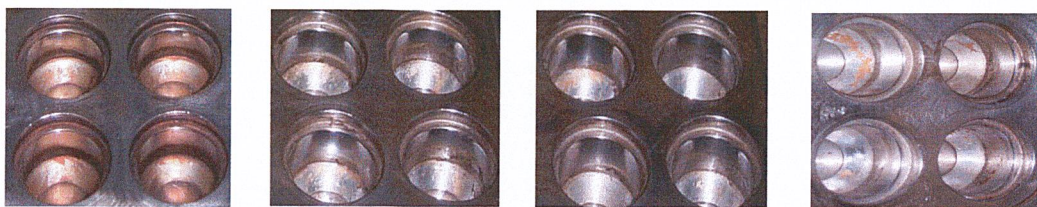


รูปที่ 4.43 แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาด

- (a) แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP 30 phr ครั้งที่ 1
- (b) แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP 30 phr ครั้งที่ 2
- (c) แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP 30 phr ครั้งที่ 3
- (d) แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP 20 phr ครั้งที่ 1
- (e) แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP 20 phr ครั้งที่ 2
- (f) แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP 20 phr ครั้งที่ 3
- (g) แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางล้างแม่แบบทางการค้า (Struktol[®] MC-A) ที่ผ่านการทำความสะอาดครั้งที่ 1
- (h) แม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด

หมายเหตุ (a) – (f) ทำความสะอาดที่ 175 °C เป็นเวลา 3 นาที

(g) ทำความสะอาดที่ 175 °C เป็นเวลา 15 นาที



แม่แบบที่ไม่ได้ผ่าน
การทำความสะอาด

แม่แบบที่ผ่านการ
ทำความสะอาด
ครั้งที่ 1

แม่แบบที่ผ่านการ
ทำความสะอาด
ครั้งที่ 2

แม่แบบที่ผ่านการ
ทำความสะอาด
ครั้งที่ 3

รูปที่ 4.44 แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP 20 phr เป็นเวลา 3 นาที ที่ 175°C เทียบกับแม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด



แม่แบบที่ไม่ได้ผ่าน
การทำความสะอาด

แม่แบบที่ผ่านการ
ทำความสะอาด
ครั้งที่ 1

แม่แบบที่ผ่านการ
ทำความสะอาด
ครั้งที่ 2

แม่แบบที่ผ่านการ
ทำความสะอาด
ครั้งที่ 3

รูปที่ 4.45 แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP 30 phr เป็นเวลา 3 นาที ที่ 175°C เทียบกับแม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แม่แบบที่ไม่ได้ผ่าน
การทำความสะอาด

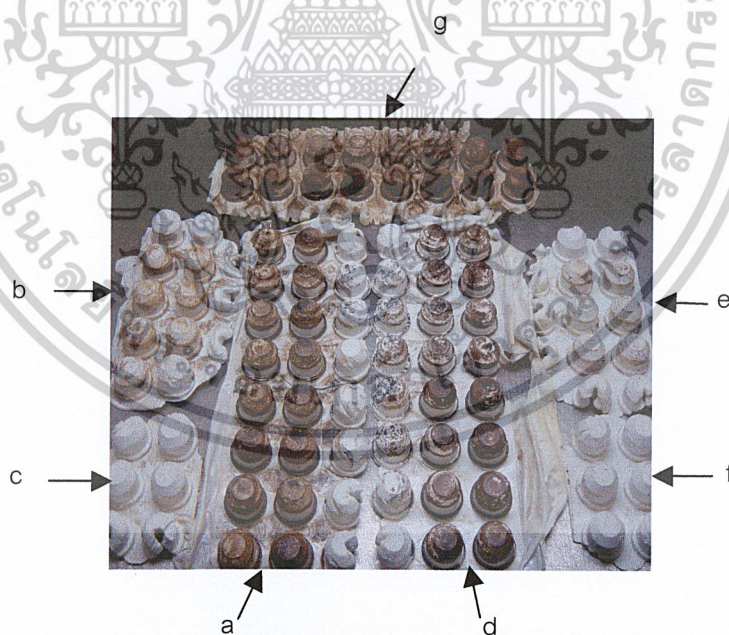


แม่แบบที่ผ่านการทำ
ความสะอาดด้วยยางสูตร
ที่มีปริมาณ AMP 30 phr



แม่แบบที่ผ่านการทำความ
สะอาดด้วย Struktol® MC-A

รูปที่ 4.46 แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP 30 phr และ ยางล้างแม่แบบทางการค้า (Struktol® MC-A) ที่ผ่านการทำความสะอาด 1 ครั้ง เป็น เวลา 15 นาที ที่ 175°C เท่ากัน เทียบกับแม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด



รูปที่ 4.47 ยางที่ผ่านการทำความสะอาดแม่แบบ

(a) ยางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP 30 phr ที่ผ่านการทำความสะอาดครั้งที่ 1

(b) ยางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP 30 phr ที่ผ่านการทำความสะอาดครั้งที่ 2

(c) ยางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP 30 phr ที่ผ่านการทำความสะอาดครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (d) ยางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP 20 phr ที่ผ่านการทำความสะอาดครั้งที่ 1
 - (e) ยางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP 20 phr ที่ผ่านการทำความสะอาดครั้งที่ 2
 - (f) ยางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP 20 phr ที่ผ่านการทำความสะอาดครั้งที่ 3
 - (g) ยางล้างแม่แบบทางการค้า (Struktol[®] MC-A) ที่ผ่านการทำความสะอาดครั้งที่ 1
- หมายเหตุ (a) – (f) ทำความสะอาดที่ 175 °C เป็นเวลา 3 นาที
- (g) ทำความสะอาดที่ 175 °C เป็นเวลา 15 นาที

จากการทำความสะอาดแม่แบบด้วยยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้ ที่ 175 °C ครั้งละ 3 นาที พบว่าทำความสะอาดแม่แบบ 3 ครั้ง แม่แบบจึงสะอาด ดังรูปที่ 4.43 เห็นได้ว่าแม่แบบเงาขึ้น เมื่อเทียบกับตำแหน่งตรงกลางแม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการทำความสะอาดแม่แบบด้วยยางล้างแม่แบบที่มีปริมาณ AMP ต่างกัน คือ 20 phr และ 30 phr พบว่าแม่แบบส่วนที่ทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP มาก คือ 30 phr จะเงากว่า นั่นคือสะอาดมากกว่าแม่แบบส่วนที่ทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP น้อยกว่า (20 phr) แต่การนำไปประยุกต์ใช้งานจริงต้องคำนึงถึงต้นทุนในการผลิตด้วย ซึ่งการใช้ AMP ในปริมาณมากส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

และเมื่อเปรียบเทียบการทำความสะอาดแม่แบบระหว่างยางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP 30 phr กับยางล้างแม่แบบทางการค้า (Struktol[®] MC-A) ที่ใช้เวลาในการทำความสะอาด 15 นาทีเท่ากัน พบว่าแม่แบบส่วนที่ทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP 30 phr มีความสะอาดใกล้เคียงกับแม่แบบส่วนที่ทำความสะอาดด้วยยางล้างแม่แบบทางการค้า

ความสะอาดของแม่แบบสามารถเห็นได้จากคราบสกปรกที่ติดยางออกมา ดังรูปที่ 4.47 โดยพบว่ายางล้างแม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดครั้งที่ 1 สกปรกมากที่สุด และความสกปรก ลดลงเมื่อจำนวนครั้งในการทำความสะอาดแม่แบบมากขึ้น และยางล้างแม่แบบสูตรที่มีปริมาณ AMP มากที่ผ่านการทำความสะอาดแม่แบบแล้วมีความสกปรกมากกว่ายางล้างแม่แบบสูตรที่มีปริมาณ AMP น้อย นั่นคือ เมื่อเพิ่มปริมาณ AMP ประสิทธิภาพในการทำความสะอาดแม่แบบเพิ่มขึ้น

4.4 การวัดสี

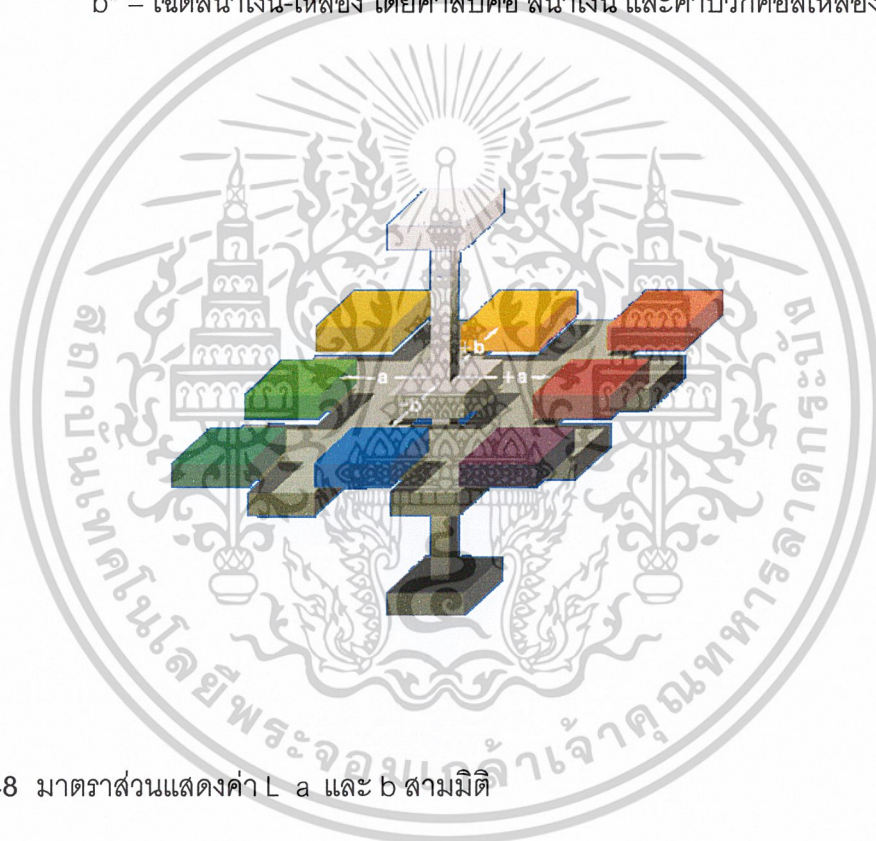
การวัดสีนี้จะวัดกับยางล้างแม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดแล้ว เพื่อจะดูสีที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเทียบกับยางล้างแม่แบบที่ยังไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด ซึ่งสามารถบอกถึงความสกปรกของแม่แบบ ผลการวัดสีนี้วัดออกมาในค่า $\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$

เมื่อ ΔE^* = ความเข้มของสีที่เปลี่ยนแปลงไป

L^* = ความสว่าง

a^* = เคนสีเขียว-แดง โดยค่าลบคือ สีเขียว และค่าบวกคือ สีแดง

b^* = เคนสีน้ำเงิน-เหลือง โดยค่าลบคือ สีน้ำเงิน และค่าบวกคือสีเหลือง



รูปที่ 4.48 มาตรฐานแสดงค่า L a และ b สามมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดสียางล้างแม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาด

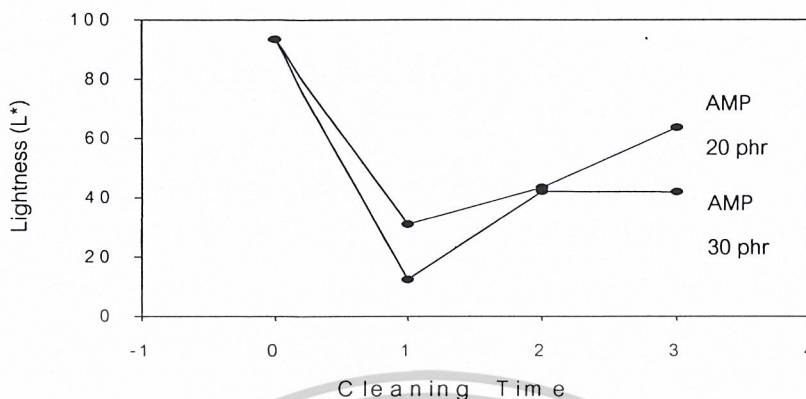
- 1) วัดสียางล้างแม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดในสูตรที่มีปริมาณ AMP 20 phr และ 30 phr มีปริมาณ TiO_2 เท่ากันคือ 2 phr โดยทำความสะอาด 3 ครั้ง ครั้งละ 3 นาที ที่ $175^\circ C$ แสดงผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การวัดสีที่ D65/10° ของยางล้างแม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดสูตรที่มีปริมาณ AMP 20 phr และ 30 phr

		L*	a*	b*	ΔE^*
ยางล้างแม่แบบที่มี ปริมาณ AMP 20 phr, TiO_2 2 phr	ก่อนทำความสะอาด	93.4	-6.2	5.3	
	หลังทำความสะอาด ครั้งที่ 1	31.1	5.8	13.1	64.0
	ครั้งที่ 2	43.5	6.7	19.2	53.4
	ครั้งที่ 3	63.7	8.2	21.23	36.6
ยางล้างแม่แบบที่มี ปริมาณ AMP 30 phr, TiO_2 2 phr	ก่อนทำความสะอาด	93.4	-6.2	5.3	
	หลังทำความสะอาด ครั้งที่ 1	12.4	2.9	12.2	81.8
	ครั้งที่ 2	42.2	-0.6	20.6	53.8
	ครั้งที่ 3	42.0	-3.9	15.6	52.5

ข้อมูลจากตารางที่ 4.2 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.49 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่าง (L^*) กับจำนวนครั้งในการทำทำความสะอาดแม่แบบ

เมื่อนำยางล้างแม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดมาวัดสีที่เปลี่ยนแปลงไปพบว่า ค่า L^* มีค่าลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับค่า L^* ของยางก่อนทำความสะอาด นั่นคือ ยางมีความสว่างลดลง มีสีเข้มขึ้นมาก แสดงว่าคราบสกปรกติดออกมากับยางมากขึ้น และเมื่อจำนวนครั้งในการทำทำความสะอาดแม่แบบมากขึ้น ค่า L^* มีค่าเพิ่มขึ้น นั่นคือ ยางมีความสว่างมากขึ้น แสดงว่าแม่แบบสะอาดมากขึ้น จึงมีคราบสกปรกติดออกมากับยางน้อยลง ซึ่งเห็นได้จากการทำความสะอาดแม่แบบครั้งที่ 1 โดยยางล้างแม่แบบที่ได้มีค่า L^* ที่ลดลงอย่างมาก นั่นคือมีคราบสกปรกติดออกมาก ยางจึงมีสีที่เข้มขึ้น และในการทำความสะอาดแม่แบบครั้งที่ 2 พบว่ายางล้างแม่แบบมีค่า L^* ที่เพิ่มขึ้น นั่นคือ ยางสว่างมากขึ้น มีคราบสกปรกติดออกมาน้อยลง และในการทำความสะอาดแม่แบบครั้งที่ 3 พบว่ายางล้างแม่แบบมีค่า L^* สูงขึ้น แสดงว่ามีคราบสกปรกเหลือติดอยู่ที่แม่แบบน้อย จึงมีคราบสกปรกติดออกมากับยางน้อยลง นั่นคือ แม่แบบมีความสะอาดมากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างยางล้างแม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดสูตรที่มีปริมาณ AMP ต่างกัน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ AMP ประสิทธิภาพในการทำความสะอาดแม่แบบเพิ่มมากขึ้น ค่า L^* มีค่าลดลง โดยสังเกตได้จากการทำความสะอาดแม่แบบทั้ง 3 ครั้ง พบว่ายางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP 30 phr มีค่า L^* ที่ลดลงอย่างมาก และมีค่าน้อยกว่ายางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP 20 phr นั่นแสดงว่ามีคราบสกปรกติดออกมากับยางมากกว่า ดังนั้นยางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP 30 phr มีประสิทธิภาพในการทำความสะอาดแม่แบบมากกว่า แม่แบบสะอาดมากกว่า

- 2) วัดสียางล้าแม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดในสูตรที่มีปริมาณ AMP 30 phr และมีปริมาณ TiO_2 2 phr กับยางล้าแม่แบบทางการค้า (Struktol[®] MC-A) โดยทำความสะอาด 1 ครั้ง เป็นเวลา 15 นาที ที่ 175 °C แสดงผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การวัดสีที่ D65/10° ของยางล้าแม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดสูตรที่มีปริมาณ AMP 30 phr กับยางล้าแม่แบบทางการค้า (Struktol[®] MC-A)

	L*	a*	b*	ΔE^*
ยางล้าแม่แบบที่มี ปริมาณ AMP 30 phr , TiO_2 2 phr				
ก่อนทำความสะอาด	93.4	-6.2	5.3	
หลังทำความสะอาด	29.9	7.6	14.5	65.6
ยางล้าแม่แบบทางการค้า (Struktol [®] MC-A)				
ก่อนทำความสะอาด	85.9	-3.7	14.7	
หลังทำความสะอาด	25.4	6.2	13.4	66.5

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างยางล้าแม่แบบสูตรที่มีปริมาณ AMP 30 phr กับยางล้าแม่แบบทางการค้าที่ผ่านการทำความสะอาดโดยมี Cure Time 15 นาทีเท่ากัน พบว่ายางสูตรที่มีปริมาณ AMP 30 phr มีค่าความสว่างที่เปลี่ยนแปลงไป (ΔL^*) มากกว่ายางล้าแม่แบบทางการค้า นั่นคือยางมีสีที่เปลี่ยนแปลงไปมากกว่า แสดงว่ามีคราบสกปรกติดออกมากับยางมากกว่า ดังนั้นคราบสกปรกที่เหลือติดอยู่ที่แม่แบบจึงน้อยกว่า แม่แบบจึงมีความสะอาดมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การวิเคราะห์ต้นทุนของยางล้างแม่แบบ

การวิเคราะห์ต้นทุนของยางล้างแม่แบบนี้จะวิเคราะห์ 2 สูตร คือ ยางล้างแม่แบบสูตรที่มีปริมาณ AMP 20 phr และ ยางล้างแม่แบบสูตรที่มีปริมาณ AMP 30 phr ดังตารางที่ 4.4 พบว่าต้นทุนวัตถุดิบของยางล้างแม่แบบทั้งสองสูตร ประมาณ 230 และ 293 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ทั้งนี้ยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้มีต้นทุนที่ต่ำกว่ายางล้างแม่แบบทางการค้า (Struktol[®] MC-A) ซึ่งมีราคา 559 บาทต่อกิโลกรัม

ตารางที่ 4.4 ต้นทุนวัตถุดิบของยางล้างแม่แบบ ต่อ 1 กิโลกรัมสำหรับสูตรที่มีปริมาณ AMP 20 phr และ 30 phr

	phr	ราคาวัตถุดิบ/กก. (บาท)	ราคาสูตร AMP 20 phr (บาท)	ราคาสูตร AMP 30 phr (บาท)
ยาง EPDM	100	90	48.9	46.4
ZnO(RA)	5	30.5	0.8	0.8
Stearic Acid	1	28	0.2	0.1
Silica	40	28	6.1	5.8
Oil-P	5	22.85	0.6	0.6
SR-350	3	370	6.0	5.7
BHT	1	135	0.7	0.7
DCP 40%	7	220	8.4	7.9
TiO ₂	2	95	1.0	1.0
AMP	20/30	1450	157.6	224.2
			230.4	293.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของสารตัวเติม และสารที่ใช้ในการทำความสะอาด ที่มีผลต่อสมบัติของ ยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้ สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. การใช้ละอองซิลิกา (Fumed Silica) เป็นสารตัวเติม

จากการศึกษาปริมาณของละอองซิลิกาที่ใช้ ที่ 20 30 40 และ 50 phr พบว่าปริมาณ ละอองซิลิกาที่เหมาะสมในการเตรียมยางล้างแม่แบบคือ 40 phr ซึ่งส่งผลให้ยางล้างแม่แบบมี สมบัติเชิงกลที่ดี เนื่องจากละอองซิลิกาเป็นสารตัวเติมชนิดเสริมแรงที่ดีที่สุด และยังช่วยลดต้นทุน อีกด้วย แต่ปริมาณละอองซิลิกาที่มากเกินไปจะมีผลต่อความยากในการผสม

2. การใช้ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ (Zeolite Na-A) เป็นสารตัวเติม

จากการศึกษาปริมาณของซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ โดยทำการศึกษาเฉพาะที่ปริมาณ 30 phr พบว่ายางล้างแม่แบบที่เตรียมได้มีสมบัติเชิงกล เช่น เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงฉีกขาด และมอดุลัสต่ำ เนื่องจากโครงสร้างของซีโอไลต์มีลักษณะ เป็นรูพรุนและดูดความชื้นอย่างมาก ทำให้ยางมีรูพรุนมากขึ้น และรูพรุนของซีโอไลต์ชนิดโซเดียม เอมีขนาดเล็ก ไม่สามารถเก็บ AMP ได้ ดังนั้นจึงไม่ใช้ซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอเป็นสารตัวเติมในการ เตรียมยางล้างแม่แบบ

3. อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป

จากการศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปที่ 165 °C และ 175 °C พบว่าอุณหภูมิในการ ขึ้นรูปที่เหมาะสมคือ 175 °C ซึ่งที่อุณหภูมินี้ AMP สลายตัวได้ดี ทำให้ประสิทธิภาพของสารทำ ความสะอาดดีขึ้น เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงดีขึ้น และที่อุณหภูมิ 175 °C ให้ความแข็งแรงและมอดุลัส สูงขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงฉีกขาดลดลง เนื่องจาก ความหนาแน่นเชื่อมโยง (Crosslink Density; ρ_c) มากขึ้น ยางแข็งขึ้น แต่เปราะ แตกหักง่าย

4. สารที่ใช้ในการทำความสะอาด

จากการศึกษาปริมาณสารที่ใช้ในการทำความสะอาดที่ใช้ในการเตรียมยางล้างแม่แบบ คือ อะมิโนเมทิลโพรพานอล (2-Amino-2-Methyl-1-propanol; AMP) พบว่าปริมาณ AMP ที่ เหมาะสมคือ 20 phr เมื่อเพิ่มปริมาณ AMP ประสิทธิภาพในการทำความสะอาดแม่แบบเพิ่มขึ้น แต่ส่งผลให้ต้นทุนของยางล้างแม่แบบเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย และปริมาณ AMP ไม่มีผลต่อสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชิงกลใด ๆ อย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากที่อุณหภูมิในการขึ้นรูปสูงกว่าจุดเดือดของ AMP ดังนั้น AMP สลายตัวหมด ไม่เกิดฟองอากาศขึ้นในยางล้างแม่แบบ ซึ่งยืนยันได้จากการศึกษาด้วยเทคนิค SEM

แต่ถ้าปริมาณ AMP ที่มากเกินไป สมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรงดึงและมอดุลัสมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เนื่องจากอาจมี AMP ที่สลายตัวไม่หมดหลังเวลาเชื่อมโยง เหลือเป็น AMP ในสถานะของเหลว ทำหน้าที่คล้ายพลาสติกไซเซอร์ แทรกตัวระหว่างสายโซ่โมเลกุลยาง ทำให้ยางมีความแข็งแรงลดลง มีความนิ่มเพิ่มขึ้น

5. การใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium Dioxide; TiO_2) เป็นสารเติมแต่ง

จากการศึกษาปริมาณ TiO_2 ที่ใช้เป็นสารตัวเติมและสารให้สีขาว ที่ 2 5 และ 10 phr พบว่าเมื่อปริมาณ TiO_2 เพิ่มขึ้น สมบัติเชิงกลของยางล้างแม่แบบด้อยลงอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจาก TiO_2 เป็นสารตัวเติมที่ไม่เสริมแรง โดยอนุภาคของ TiO_2 มีขนาดเล็กและความแข็งต่ำ และเมื่อเพิ่มปริมาณ TiO_2 ที่มากเกินไปส่งผลเสียต่อสมบัติเชิงกลอย่างเห็นได้ชัด มีเฉพาะความยาวของยางที่เพิ่มมากขึ้นเท่านั้น ดังนั้นจึงใช้ปริมาณ TiO_2 ในการเตรียมยางล้างแม่แบบเพียง 2 phr ซึ่งยางที่ได้มีสีขาวเช่นเดียวกัน และมีสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ดีไม่ต่างจากยางผสมสูตรที่ไม่เติม TiO_2

6. สัณฐานวิทยาของยางล้างแม่แบบ

จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้ ด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) พบว่ามีการกระจายตัวของอนุภาคละอองซิลิกา ซึ่งใช้เป็นสารตัวเติมอย่างสม่ำเสมอในวัฏภาคของยาง และ AMP สลายตัวแบบไม่เกิดฟองอากาศกักขังอยู่ในเนื้อยางขณะทำความสะอาดแม่แบบ จึงไม่พบฟองอากาศในเนื้อยาง จึงไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกล

7. การวัดสี

จากการวัดสีที่เปลี่ยนแปลงไปของยางล้างแม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาด ซึ่งสามารถบอกได้ถึงคราบสกปรกที่ติดออกมากับยาง พบว่าค่าความสว่าง (L^*) ของยางล้างแม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดมีค่าลดลงอย่างมาก เมื่อเทียบกับค่า L^* ของยางล้างแม่แบบก่อนทำความสะอาด แสดงว่ามีคราบสกปรกติดออกมากับยางมาก และเมื่อจำนวนครั้งในการทำความสะอาดแม่แบบมากขึ้น ค่า L^* มีค่าเพิ่มขึ้น นั่นคือ ยางมีความสว่างมากขึ้น มีคราบสกปรกติดออกมากับยางน้อยลง แม่แบบสะอาดขึ้น

เมื่อเพิ่มปริมาณ AMP ค่า L^* มีค่าลดลง นั่นคือมีคราบสกปรกติดออกมากับยางมากขึ้น ดังนั้นแม่แบบสะอาดมากขึ้น

ยางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP 30 phr และยางล้างแม่แบบทางการค้า (Struktol[®] MC-A)

ที่มี Cure Time เท่ากัน คือ 15 นาที เมื่อนำมาวัดสีพบว่า ยางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP 30 phr มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเชิงพาณิชย์เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อขู่ผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความสว่างที่เปลี่ยนแปลงไป (ΔL^*) มากกว่ายางล้างแม่แบบทางการค้า นั่นคือ ยางมีสีที่เปลี่ยนแปลงไปมากกว่า แสดงว่ามีคราบสกปรกติดออกมากับยางมากกว่า ดังนั้นแม่แบบสะอาดมากกว่า

8. ต้นทุนวัตถุดิบของยางล้างแม่แบบ

ต้นทุนวัตถุดิบของยางล้างแม่แบบสูตรที่มีปริมาณ AMP 20 phr และ ยางล้างแม่แบบสูตรที่มีปริมาณ AMP 30 phr ประมาณ 230 และ 293 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ทั้งนี้ยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้มีราคาต่ำกว่ายางล้างแม่แบบทางการค้า (Struktol[®] MC-A) ซึ่งมีราคา 559 บาทต่อกิโลกรัม

9. สมบัติเชิงกลของยางล้างแม่แบบ แสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ตารางเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้กับยางล้างแม่แบบทางการค้า (Struktol[®] MC-A)

สมบัติเชิงกล	ยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้	ยางล้างแม่แบบทางการค้า (Struktol [®] MC-A)
Elongation at Break (%)	1704	550
Tensile Strength (MPa)	7.4673	0.0551
Tear Strength (kN/m)	23.54	0.1598
Young's Modulus (MPa)	2.497	-
Modulus ที่ 200% strain (M 100) (MPa)	90.23	-
Modulus ที่ 200% strain (M 200) (MPa)	105.9	-
Modulus ที่ 300% strain (M 300) (MPa)	125.57	0.01813
Hardness (shore A)	45.25	54
Cure Time (t_{90}) ที่ 175°C (min)	2.7	8.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. สูตรยางล้าแม่แบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ยางล้าแม่แบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ยาง EPDM เป็นยางหลัก ซึ่งสามารถแสดงสูตรได้ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 สูตรยางล้าแม่แบบ

ส่วนประกอบ	phr
ยาง EPDM	100
ZnO(RA)	5
Stearic Acid	1
Fumed Silica	40
Oil-P	5
SR-350	3
BHT	1
DCP 40%	7
TiO ₂	2
AMP	20

และจากการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของยางล้าแม่แบบ ดังตารางที่ 5.1 พบว่า ยางล้าแม่แบบที่เตรียมได้มีสมบัติเชิงกลที่ดี สามารถทำความสะอาดแม่แบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำกว่าอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาชนิดของยางอื่นเพิ่มเติม เช่น ยางธรรมชาติ (Natural Rubber) เพื่อลดต้นทุนการผลิต
2. การศึกษาชนิดของสารที่ใช้ทำความสะอาดชนิดใหม่ เพื่อลดต้นทุนการผลิต
3. การศึกษาชนิดของสารตัวเติมอื่นเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มอายุในการเก็บรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. บริษัท เอส.เค.โพลิเมอร์ จำกัด
2. อิทธิพล แจ่มชัด. 2542. **เทคโนโลยีการยาง**. เอกสารประกอบการสอนวิชาเทคโนโลยีการยาง
กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง
3. พรพรรณ นิธิอุทัย. 2528. **สารเคมีสำหรับยาง**. ปัตตานี: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
4. นิสากร ปานประสงค์. 2546. **UPDATE MAGAZINE ONLINE**. กรุงเทพฯ: บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น
จำกัด(มหาชน)
5. Bell R.G. 2001. **Zeolites**. [Online]. Available : <http://www.bza.org/zeolites.html>
6. Mallinckrodt Baker, Inc. 2004. **2-AMINO-2-METHYL-1-PROPANOL**. [Online].
Available : <http://www.jtbaker.com/titaniumdioxide.htm>
7. MORAKA PTE.LTD. 2004. **Titanium Dioxide Rutile**. [Online]. Available :
<http://www.moraka.com/titaniumdioxide.htm>
8. Botros S.B. 1998. Thermal Stability of Butyl/EPDM Rubber Blend Vulcanizates.
Polymer Degradation and Stability. Vol. 62: 471-477
9. Abdel-Aziz M.M. and Basfar A.A. 2001. Evaluation of Some Antioxidant in Radiation
Vulcanized Ethylene-Propylene Diene (EPDM) Rubber. **Nuclear Instrument and
Methods in Physics Research B**. Vol. 185: 346-350.
10. Ejolle E.E. and Saeed A.F. 2001. Chemical Kinetics of Vulcanisation and
Compression Set. **European Polymer Journal**. Vol. 37: 329-334
11. POH B.T. and NG C.C. 1998. Effect of Silane Coupling Agents on the Mooney
Scorch Time of Silica-filled Natural Rubber Compound. **European Polymer
Journal**. Vol.34: 975-979
12. Struktol Company of America. 2004. **Struktol® MC-A**. [Online]. Available :
<http://www.struktol.com/pdfs/MC-A.PDF>
13. NET TIE TECHNOLOGIES.LTD. 2004. **Super Clean® & Super Wax®**. [Online].
Available : <http://www.moneyman.com.tw/rubber/rubberinfo.htm>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ ซึ่งเนื้อหาอาจมีข้อผิดพลาดได้บ้าง กรุณาใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. CAPE Technology Sdn.Bhd. 2004. ELASTOWET®. [Online]. Available :
<http://www.cape.com.my/elasticwet.htm>
15. Valley Rubber Mixing/Glo-Mold. 2004. Glo-Mold® Cleaning Compound. [Online].
Available : <http://www.valleyrubber.com/other.htm>
16. สมศักดิ์ วรมงคลชัย อธิพิพล แจ่มชัด ชลลดา ฤตวิรุฬห์ และสุภารัตน์ รักชลธิ. 2546.
เอกสารประกอบวิชาปฏิบัติการเทคโนโลยีพอลิเมอร์. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้