สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงสมบัติของยางล้างแม่แบบสำหรับงานอุตสาหกรรม

T062082

นางสาวณัฐณิชา เฮงประภากร
นางสาวมลสิริ ชีประวัติชัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วพ.
อ4329.ก
2547
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 62082
วัน,เดือน,ปี 27 ก.ค. 2549

ID.....
ที่.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Property Modification of Mold – Cleaning Rubber Compound for Industrial Applications

Miss Natnicha Hengprapakon

Miss Monsiri Cheeprawatchai

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for

the Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง	การปรับปรุงสมบัติของยางล้างแม่แบบสำหรับงานอุตสาหกรรม
นักศึกษา	นางสาวณัฐณิชา เฮงประภากร
	นางสาวมลสิริ ชีประวัติชัย
ภาควิชา	เคมี
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2547
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ผศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร	.....
กรรมการ	ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธี	.....
กรรมการ	รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด	.....

.....

(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง	การปรับปรุงสมบัติของยางล้างแม่แบบสำหรับงานอุตสาหกรรม	
นักศึกษา	นางสาวณัฐณิชา เฮงประภากร	รหัสนักศึกษา 44050093
	นางสาวมลสิริ ชีประวัติชัย	รหัสนักศึกษา 44050113
ภาควิชา	เคมี	คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2547	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด	

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงสูตรยางล้างแม่แบบอัดขึ้นรูปสำหรับงานอุตสาหกรรม โดยใช้ยางอีพีดีเอ็มหรือยางเอทิลีนพรอพิลีน (Ethylene-Propylene Rubber; EPDM) และใช้อะมิโนเมทิลโพรพานอล (2-Amino-2-Methyl-1-Propanol; AMP) เป็นสารเคมีที่ใช้ในการทำความสะอาด โดยใช้ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl peroxide) เป็นสารเชื่อมโยง ทำการผสมโดยใช้เครื่องผสมระบบเปิดแบบสองลูกกลิ้ง ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาชนิดของสารแอนตี้ออกซิแดนท์ ได้แก่ ไดเทอบิวทิลเมทิลฟีนอล (2,6-Di-Tert-Butyl-4-Methy-Phenol; BHT) และบิวทิวเรต (Butylated; Wingstay® L) พร้อมทั้งศึกษาชนิดของสารตัวเติม ได้แก่ ซิลิกาชนิดตกตะกอน (Precipitated silica) (Hi-Sil® 255 และ Hi-Sil® 233) และซิลิกาชนิดมีรูพรุน (Porous silica) (Hi-Sil® HOA) และศึกษาขั้นตอนในการผสมยางคอมปาวด์ที่มีผลต่อสมบัติของยางล้างแม่แบบและอายุการใช้งาน โดยศึกษาจากสมบัติต่าง ๆ เช่น สมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สัณฐานวิทยา และทดสอบการทำความสะอาดกับแม่แบบที่ใช้งานจริง จากผลการทดลองพบว่าสารแอนตี้ออกซิแดนท์ที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้คือ Wingstay® L ซึ่งจะให้ยางล้างแม่แบบที่มีสมบัติที่ดี เมื่อเทียบกับการใช้ BHT และชนิดของซิลิกาที่เหมาะสมในการใช้เป็นสารตัวเติมในยางล้างแม่แบบคือ Hi-Sil®255 เนื่องจากซิลิกา Hi-Sil®255 มีพื้นที่ผิวมาก ส่งผลให้สามารถดูดซับ AMP มาก จึงมีประสิทธิภาพในการทำความสะอาดแม่แบบได้ดีกว่า จากการศึกษาขั้นตอนในการผสมยางคอมปาวด์พบว่ายางล้างแม่แบบที่ได้จากการนำซิลิกาไปแช่ใน AMP ก่อนนำไปผสมเป็นยางคอมปาวด์ สามารถทำความสะอาดแม่แบบได้สะอาดกว่ายางล้างแม่แบบที่ใส่ AMP และ ซิลิกาแยกกัน จากการศึกษาระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยเก็บยางล้างแม่แบบที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิต่ำ (10 °C) เป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่ายางล้างแม่แบบที่เก็บทั้ง 2 สภาวะยังคงมีประสิทธิภาพในการทำความสะอาดแม่แบบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Property Modification of Mold – Cleaning Rubber Compound for Industrial Applications	
Name	Miss Natnicha Hengprapakon	ID. 44050093
	Miss Monsiri Cheeprawatchai	ID. 44050113
Department	Chemistry	
Academic Year	2004	
Special Project Advisor	Assoc.Prof.Dr.Ittipol Jangchud	

ABSTRACT

This research studied formula of mold-cleaning rubber compounds used in rubber industries. Based rubber was ethylene-propylene diene rubber (EPDM) incorporated with 2-amino-2-methy-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, two antioxidants (2-6-Di-Tert-Butyl-4-Methyl-Phenol; BHT and Butylated; Wingstay® L), three silica fillers (two grades of precipitated silica and one of porous silica), and AMP mixing sequences were studied. Properties of the mold cleaning rubbers were then characterized including physical, mechanical, morphological properties and mold-cleaning ability. It was found that rubber compounds with Wingstay® L possessed optimum properties compared to those with BHT. A suitable filler type in this research was silica Hi-Sil® 255. This can be explained that silica Hi-Sil® 255 had high surface area where can absorb very high amount of AMP. By studying the mixing sequence, it was found that soaking AMP into silica prior to mixing with rubber had lighten mold-cleaning efficiency. By studying shelf life of the compounds, it was found that the rubber compounds in this work were able to maintain high cleaning efficiency when they were kept at either room or low (10 °C) temperature for at least 3 months.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์ และบุคคลหลายฝ่ายที่ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อความสมบูรณ์ของโครงงานพิเศษนี้ ทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณผู้ให้ความช่วยเหลือ ดังมีรายนามต่อไปนี้

- รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ ที่คอยให้คำปรึกษาแนะนำตลอดการทำโครงงาน
- ผศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร ที่คอยให้คำปรึกษาแนะนำ ในการทำรายงาน
- ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธี ที่คอยให้คำปรึกษาแนะนำ ในการทำรายงาน
- คุณสุพจน์ สุวรรณพิมลกุล กรรมการผู้จัดการ และคุณชยุต สุวรรณพิมลกุล รองกรรมการผู้จัดการ บริษัท เอส.เค. โพลีเมอร์ จำกัด ที่ให้โอกาสและสนับสนุนในการทำโครงงานพิเศษ
- คุณจรูญรัตน์ ธิรักษพันธ์ และคุณมนต์สุดา บุรารักษ์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกต่าง ๆ
- บริษัท เอส.เค. โพลีเมอร์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ยางและสารเคมี
- คุณเกษรา เลาหพิสิฐพาณิชย์ ผู้จัดการฝ่ายขายและการตลาด บริษัท โตกุยามา สยามซิลิกา จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สารเคมี
- บริษัท โตกุยามา สยามซิลิกา จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สารเคมี
- คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ และคุณสุดใจ สอนสะอาด เจ้าหน้าที่ประจำอาคารฝึกงานทางอุตสาหกรรมเคมีและพอลิเมอร์เทคโนโลยี ที่คอยอำนวยความสะดวกตลอดการทำโครงงาน
- เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่คอยอำนวยความสะดวกตลอดการทำโครงงาน

นอกจากนี้ยังมีบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลืออีกมาก ซึ่งมิได้กล่าวถึง ณ ที่นี้ ทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นางสาวณัฐณิชา เฮงประภากร

นางสาวมลสิริ ชีประวัติชัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	5
2.1 ข้อมูลการทำความสะอาดแม่แบบ	5
2.2 ยางล้างแม่แบบ	6
2.3 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตยางล้างแม่แบบ	8
2.3.1 ยางเอทิลีนพรอพิลีน (Ethylene-Propylene Rubber; EPM and EPDM)	8
2.3.2 สารเติมแต่ง (Additives)	10
2.3.2.1 สารเชื่อมโยง (Crosslinking Agents)	10
2.3.2.2 สารกระตุ้นการเชื่อมโยง (Activators)	16
2.3.2.3 สารตัวเติม (Fillers)	16
2.3.2.4 สารช่วยกระบวนการผลิต (Processing Aids)	18
2.3.2.5 สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (Protective Agents)	19
2.3.2.6 สารคู่ควบ (Coupling Agents)	21
2.3.2.7 สารที่ใช้ในการทำความสะอาด (Cleaning Agents)	21
2.3.2.8 สารให้สี (Pigments)	22
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 ยางล้างแม่แบบทางการค้าที่ใช้ในปัจจุบัน	29
2.5.1 Struktol® MC-A	29
2.5.2 Super Clean® และ Super Wax®	31
2.5.3 Elastowet®	34
2.5.4 Glo-mold®	34
2.5.5 Nitto Denko Cleaning Sheet	36
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	39
3.1 แผนการดำเนินงาน	39
3.2 สารเคมีและอุปกรณ์	40
3.3 วิธีการทดลอง	44
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	52
4.1 การศึกษาชนิดของสารแอนตี้ออกซิแดนท์	52
4.1.1 การศึกษาสมบัติทางกายภาพ	53
4.2 การศึกษาชนิดของสารตัวเติม	54
4.3 การศึกษาขั้นตอนในการผสมยางคอมปาวด์ล้างแม่แบบ	58
4.4 การศึกษาสัณฐานวิทยาของยางล้างแม่แบบ	62
4.5 การทำความสะอาดกับแม่แบบที่ใช้งานจริง	64
4.6 การวัดสี	69
4.7 การศึกษาอายุการใช้งาน	71
4.8 การวิเคราะห์ต้นทุนของยางล้างแม่แบบ	73
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	74
5.1 สรุปผลการทดลอง	74
5.2 ข้อเสนอแนะ	78
เอกสารอ้างอิง	79
ภาคผนวก	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบการทำความสะอาดแม่แบบวิธีต่างๆ 7

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่าง Nonconjugate diene ที่ใช้ในการผลิตยาง EPDM 9

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างปริมาณสารเชื่อมโยงและสภาวะเชื่อมโยงยางชนิดต่างๆด้วย เปอร์ออกไซด์ 15

ตารางที่ 2.4 สูตรยางล้างแม่แบบที่ได้ 23

ตารางที่ 2.5 การวัดสีที่ D65/10° ของยางล้างแม่แบบที่เติม TiO_2 ปริมาณต่างๆ 26

ตารางที่ 2.6 สมบัติทางกายภาพของ Super Clean® และ Super Wax® 32

ตารางที่ 2.7 สภาวะที่แนะนำในการขึ้นรูปสำหรับ Manual Mold 32

ตารางที่ 2.8 สภาวะที่แนะนำในการขึ้นรูปสำหรับ Auto Mold 33

ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของซิลิกา Hi-Sil® 255 41

ตารางที่ 3.2 สมบัติบางประการของซิลิกา Hi-Sil® 233 42

ตารางที่ 3.3 สมบัติบางประการของซิลิกาชนิดมีรูพรุน ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ 42

ตารางที่ 3.4 สูตรยางล้างแม่แบบที่ใช้ในงานวิจัยตอนที่ 1 45

ตารางที่ 3.5 สูตรยางล้างแม่แบบที่ใช้ในงานวิจัยตอนที่ 2 46

ตารางที่ 4.1 การวัดสีที่ D65/10° ของยางล้างแม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดใน สูตรที่ใช้ซิลิกาชนิดตกตะกอน (Precipitated silica) Hi-Sil® 255 Hi-Sil® 233 และ ซิลิกาชนิดมีรูพรุน (Porous silica) Hi-Sil® HOA เป็นสารตัวเติม 70

ตารางที่ 4.2 ต้นทุนวัตถุดิบของยางล้างแม่แบบ ต่อ 1 กิโลกรัมสำหรับสูตรที่มีปริมาณ ซิลิกาชนิดตกตะกอน (Precipitated silica) Hi-Sil® 255 40 phr และ 50 phr 73

ตารางที่ 5.1 ตารางเปรียบเทียบสมบัติบางประการของยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้กับ ยางล้างแม่แบบทางการค้า (Struktol® MC-A) 77

ตารางที่ 5.2 สรุปสูตรยางล้างแม่แบบ 77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของยางอีพีเอ็ม (EPM) 8

รูปที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลของยางอีพีดีเอ็ม (EPDM) 9

รูปที่ 2.3 กลไกการเชื่อมโยงยางด้วยสารประกอบเปอร์ออกไซด์ 14

รูปที่ 2.4 โครงสร้างของอะมิโนเมทิลโพรพานอล (2-Amino-2-methyl-1-Propanol; AMP) 21

รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ ละอองซิลิกา 24

รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างยังมอดุลัสของยางล้างแม่แบบกับปริมาณละอองซิลิกา 24

รูปที่ 2.7 แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP 20 phr เป็นเวลา 3 นาที ที่ 175°C เทียบกับแม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด 25

รูปที่ 2.8 แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP 30 phr เป็นเวลา 3 นาที ที่ 175°C เทียบกับแม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด 25

รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ TiO_2 26

รูปที่ 2.10 แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP 30 phr และยางล้างแม่แบบทางการค้า (Struktol® MC-A) ที่ผ่านการทำความสะอาด 1 ครั้ง เป็นเวลา 15 นาที ที่ 175°C ที่เท่ากัน เทียบกับแม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด 27

รูปที่ 2.11 กราฟการเชื่อมโยง Struktol® MC-A 31

รูปที่ 2.12 Elastowet® 34

รูปที่ 2.13 แม่แบบก่อนและหลังทำความสะอาดด้วย Glo-mold® 35

รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนในการผสมยางคอมปาวด์ล้างแม่แบบ 44

รูปที่ 3.2 แผนภาพสรุปการดำเนินงานวิจัย 49

รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Δb^* (b^* คือ ค่าที่แสดงเฉดสีน้ำเงิน-เหลือง โดยค่าลบ คือ สีน้ำเงินและค่าบวก คือ สีเหลือง) กับระยะเวลา (วัน) 53

รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของยางล้างแม่แบบกับชนิดของซิลิกา 54

รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงฉีกขาดของยางล้างแม่แบบกับชนิดของซิลิกา 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดของยางล้างแม่แบบกับชนิดของซิลิกา 55

รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของยางล้างแม่แบบกับชนิดของซิลิกา 56

รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยางที่ 100 % การยืด (M100) ของยางล้างแม่แบบกับชนิดของซิลิกา 56

รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยางที่ 200 % การยืด (M200) ของยางล้างแม่แบบกับชนิดของซิลิกา 57

รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยางที่ 300 % การยืด (M300) ของยางล้างแม่แบบกับชนิดของซิลิกา 57

รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของยางล้างแม่แบบกับขั้นตอนในการผสมยางคอมปาวด์ 58

รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงฉีกขาดของยางล้างแม่แบบกับขั้นตอนในการผสมยางคอมปาวด์ 59

รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดของยางล้างแม่แบบกับขั้นตอนในการผสมยางคอมปาวด์ 59

รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของยางล้างแม่แบบกับขั้นตอนในการผสมยางคอมปาวด์ 60

รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสที่ 100 % การยืด (M100) ของยางล้างแม่แบบกับชนิดของซิลิกาและขั้นตอนในใส่ AMP 60

รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสที่ 200 % การยืด (M200) ของยางล้างแม่แบบกับชนิดของซิลิกาและขั้นตอนในใส่ AMP 61

รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสที่ 300 % การยืด (M300) ของยางล้างแม่แบบกับชนิดของซิลิกาและขั้นตอนในใส่ AMP 61

รูปที่ 4.16 สัณฐานวิทยาของยางล้างแม่แบบ ทำการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ โดยใช้กำลังขยาย 1000 เท่า 62

รูปที่ 4.17 แม่แบบที่สกปรก รอการทำความสะอาด 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.18 แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่ใช้สารตัวเติม คือ ซิลิกาชนิดตกตะกอน Hi-Sil® 255 เป็นเวลา 5 นาที ที่ 175 °C เทียบกับแม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด 65

รูปที่ 4.19 แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่ใช้สารตัวเติม คือ ซิลิกาชนิดตกตะกอน Hi-Sil® 255+AMP เป็นเวลา 5 นาที ที่ 175 °C เทียบกับแม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด 65

รูปที่ 4.20 แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่ใช้สารตัวเติม คือ ซิลิกาชนิดตกตะกอน Hi-Sil® 233 เป็นเวลา 5 นาที ที่ 175 °C เทียบกับแม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด 66

รูปที่ 4.21 แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่ใช้สารตัวเติม คือ ซิลิกาชนิดตกตะกอน Hi-Sil® 233+AMP เป็นเวลา 5 นาที ที่ 175°C เทียบกับแม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด 66

รูปที่ 4.22 แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่ใช้สารตัวเติม คือ ซิลิกาชนิดมีรูพรุน Hi-Sil® HOA เป็นเวลา 5 นาที ที่ 175°C เทียบกับแม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด 67

รูปที่ 4.23 แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่ใช้สารตัวเติม คือ ซิลิกาชนิดมีรูพรุน Hi-Sil® HOA+AMP เป็นเวลา 5 นาที ที่ 175°C เทียบกับแม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด 67

รูปที่ 4.24 ยางล้างแม่แบบก่อนการทำความสะอาด 68

รูปที่ 4.25 ยางล้างแม่แบบหลังผ่านการทำความสะอาด 68

รูปที่ 4.26 มาตราส่วนแสดงค่า L a และ b สามมิติ 69

รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่าง (L*) กับจำนวนครั้งในการทำความสะอาดแม่แบบ 72

รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสีที่เปลี่ยนแปลงไป (E*) กับจำนวนครั้งในการทำความสะอาดแม่แบบ 72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการแปรรูปยางมีมากมาย เช่น อุตสาหกรรมยางยานยนต์ ผลิตภัณฑ์ยางการแพทย์ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ยางสำหรับงานวิศวกรรม เป็นต้น โดยมีตั้งแต่อุตสาหกรรมขนาดย่อม (SMEs) ไปจนถึงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ซึ่งในอุตสาหกรรมยางนี้มีการแปรรูปยางอยู่หลายประเภทด้วยกัน หนึ่งในกระบวนการแปรรูปยางที่นิยมคือ การแปรรูปยางโดยการอัดขึ้นรูป (Compression molding) และการฉีดขึ้นรูป (Injection molding) ซึ่งต้องมีการใช้แม่แบบ (Mold) ที่มีลักษณะต่างๆ ปัญหาที่เกิดตามมาก็คือ ปัญหาในการทำความสะอาดแม่แบบ อันเกิดเนื่องมาจากสารเคมีที่ใช้ในการเชื่อมโยง โดยจะเกิดเป็นคราบสกปรกขึ้นที่แม่แบบ ทำให้เวลาอัดขึ้นรูปจะมีคราบติดที่ผิวของชิ้นงาน ส่งผลให้ชิ้นงานไม่สวย เป็นรอยด่าง จึงต้องมีการทำความสะอาดแม่แบบขึ้น การทำความสะอาดแม่แบบด้วยวิธีที่เหมาะสมมีความจำเป็นอย่างมาก เพื่อคุณภาพที่ดีของผลิตภัณฑ์ยาง การทำความสะอาดแม่แบบด้วยวิธีที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูง เสียเวลา อาจทำให้แม่แบบเสีย สึกกร่อนเร็ว หรือได้ผลิตภัณฑ์มีขนาดและรูปร่างผิดเพี้ยนไป

วิธีการทำความสะอาดแม่แบบที่ใช้กันโดยทั่วไปตามโรงงานอุตสาหกรรม [1] คือ

1. <u>การใช้น้ำยาล้างทำความสะอาด</u> ประเภทน้ำยาที่ใช้ดังนี้
   - น้ำยาล้างทำความสะอาดชนิดที่มีตัวทำละลาย ตัวทำละลายที่ใช้จะมีฤทธิ์กัดกร่อนที่รุนแรง ทำให้แม่พิมพ์สึกกร่อน และสารเคมีที่มักลื่นเหม็น เป็นอันตรายและส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม
   - น้ำยาล้างทำความสะอาดชนิดที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย วิธีนี้จะทำให้แม่แบบเป็นสนิมได้ง่าย
2. <u>การขัดด้วยกระดาษทราย</u> หรือการพ่นทราย วิธีนี้จะทำให้ผิวของแม่แบบสึกกร่อนได้ง่าย ทำให้ขนาดและรูปร่าง (Dimension) ของชิ้นงานเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะมีผลอย่างมากต่อชิ้นงานที่เป็นส่วนประกอบที่ต้องการขนาดของชิ้นงานที่แน่นอน วิธีนี้จะทำให้อายุการใช้งานของแม่แบบน้อยลง และการขัดทำความสะอาดนี้ต้องใช้แรงงานของพนักงาน ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองแรงงาน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการผลิตลดลงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. <u>การเผาแม่แบบ</u> ซึ่งเป็นการเผาแม่แบบ แล้วใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ราดบนแม่แบบ แล้วเทน้ำตามลงไป วิธีนี้จะใช้เวลาในการทำความสะอาดค่อนข้างสั้น ขนาดของชิ้นงานไม่เปลี่ยนแปลง แต่ต้องใช้ทุนในการทำความสะอาดสูง เนื่องจากวิธีนี้มีการใช้น้ำยาบางชนิดร่วมด้วย ซึ่งน้ำยามีราคาแพง และมีการเปลี่ยนสภาวะของแม่แบบจากร้อนเป็นเย็นอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดความเค้นที่ผิวของแม่แบบขึ้น ทำให้อายุการใช้งานของแม่แบบน้อยลง

อุตสาหกรรมขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางในประเทศไทย เช่น บริษัท เอส.เค.โพลีเมอร์ จำกัด ได้ประสบปัญหาในการทำความสะอาดแม่แบบ ซึ่งวิธีที่ทางบริษัทได้ใช้ในการทำความสะอาด คือ การขัดด้วยกระดาษทราย หรือ สก๊อตช์ไบรต์ หรือแปรงทองเหลือง โดยใช้แรงงานของพนักงานในบริษัท และการจ้างบริษัทข้างนอกขัดทำความสะอาด ซึ่งต้องใช้เวลาในการทำความสะอาดแม่แบบนาน ทำให้เสียเวลาในการผลิตสินค้า ส่งผลให้ผลิตสินค้าได้น้อย กำลังการผลิตลดลง ประสิทธิภาพในการผลิตลดลงด้วย

จากปัญหาในการทำความสะอาดแม่แบบที่กล่าวมาข้างต้น จึงได้มีการคิดวิธีที่จะใช้ในการทำความสะอาดแม่แบบออกมาในรูป ยางคอมปาวด์ทำความสะอาดแม่แบบ (Mold cleaning compound) ยางล้างแม่แบบสามารถใช้งานได้โดยการอัดขึ้นรูป (Compression molding) ด้วยความร้อนเป็นระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งในยางล้างแม่แบบจะมีส่วนประกอบที่เป็นสารทำความสะอาดซึ่งสลายตัวที่อุณหภูมิสูง คือที่อุณหภูมิเชื่อมโยงยาง (ประมาณ 150-170 $^{\circ}$C) เกิดเป็นก๊าซหรือสารที่มีประสิทธิภาพในการชะล้าง ทำความสะอาดผิวแม่แบบ ทำให้สิ่งสกปรกหลุดและติดออกมาพร้อมกับยางล้างแม่แบบ เป็นการลดเวลาในการทำความสะอาดแม่แบบ และแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นข้างต้น เช่น การสึกกร่อนของแม่แบบ ประสิทธิภาพในการผลิต ระยะเวลาที่ใช้ในการทำความสะอาดแม่แบบ ซึ่งจะทำให้ กำลังการผลิตของอุตสาหกรรมเพิ่มสูงขึ้น อุตสาหกรรมมีประสิทธิภาพในการผลิตมากขึ้น

อย่างไรก็ดีสำหรับประเทศไทยยางล้างแม่แบบที่ขายตามท้องตลาดนั้นมีราคาสูง และต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้ต้นทุนในการนำเข้ายางล้างแม่แบบสูงมาก จึงได้มีการร่วมวิจัยยางล้างแม่แบบขึ้นระหว่างบริษัท เอส.เค.โพลีเมอร์ จำกัด และภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อที่จะผลิตยางล้างแม่แบบราคาถูก มีสมบัติใกล้เคียงกันกับยางล้างแม่แบบที่ขายตามท้องตลาด และนำมาใช้ในอุตสาหกรรมจริงได้ ซึ่งจะช่วยลดการนำเข้ายางล้างแม่แบบที่มีราคาค่อนข้างสูง ทำให้ต้นทุนในการทำความสะอาดแม่แบบลดลงด้วย และส่งผลให้มีกำลังการผลิตเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการผลิต และอายุการใช้งานของแม่แบบนานขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยต่อเนื่องจากโครงงานพิเศษ สาขาเคมีอุตสาหกรรม ปีการศึกษา 2546 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เรื่อง การศึกษายางล้างแม่แบบสำหรับงานอุตสาหกรรม โดย นางสาวขนิษฐา ศรีประทุม และ นางสาวมนต์สุดา บุรารักษ์ ซึ่งมี รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ร่วมกับบริษัท เอส.เค.โพลีเมอร์ จำกัด

หลังจากที่ได้ทำการศึกษาโครงงานพิเศษ เรื่อง การศึกษายางล้างแม่แบบสำหรับงานอุตสาหกรรม พบว่า ยางล้างแม่แบบที่ได้ สามารถทำความสะอาดแม่แบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีต้นทุนการผลิตไม่สูง อย่างไรก็ดีงานวิจัยนี้ยังต้องการการทำวิจัยเพิ่มเติม เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของยางล้างแม่แบบ ลดต้นทุน และศึกษาสมบัติบางประการเพิ่มเติมให้ครบถ้วน เช่น อายุการเก็บรักษาของยางล้างแม่แบบ ชนิดของสารเติมแต่งบางชนิด เป็นต้น

ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาปัจจัยบางประการที่มีผลต่อสมบัติของยางล้างแม่แบบ เช่น ชนิดของสารตัวเติมซิลิกา ชนิดของสารแอนตี้ออกซิแดนท์ (Antioxidant) และขั้นตอนการผสมยางคอมปาวด์ เพื่อให้ยางล้างแม่แบบที่ได้สามารถทำความสะอาดแม่แบบได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ต้นทุนการผลิตต่ำลง และมีอายุในการเก็บรักษายาวนาน

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อให้ได้สูตรยางล้างแม่แบบที่เหมาะสมที่สุด มีสมบัติที่ดีสามารถทำความสะอาดแม่แบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีต้นทุนการผลิตต่ำ และมีระยะเวลาในการเก็บรักษาได้นาน โดยเน้นศึกษาชนิดของสารแอนตี้ออกซิแดนท์และชนิดของสารตัวเติมซิลิกา

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาและเปรียบเทียบชนิดของสารแอนตี้ออกซิแดนท์ ที่มีผลต่อสมบัติของยางล้างแม่แบบ
2. ศึกษาและเปรียบเทียบชนิดของสารตัวเติมซิลิกา ที่มีผลต่อสมบัติของยางล้างแม่แบบ
3. ศึกษาและเปรียบเทียบสมบัติของยางล้างแม่แบบที่ได้ เมื่อขั้นตอนในการผสมยางคอมปาวด์ต่างกัน
4. ศึกษาและเปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ ของยางล้างแม่แบบ เช่น สมบัติเชิงกล สัณฐานวิทยา และประสิทธิภาพการทำความสะอาดแม่แบบ
5. ศึกษาอายุการเก็บรักษาของยางล้างแม่แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 **ผลที่คาดว่าจะได้รับ**

1. ได้คอมปาวด์ทำความสะอาดแม่แบบที่มีประสิทธิภาพ ราคาถูก และมีอายุการเก็บรักษาได้นาน
2. ใช้เวลาในการทำความสะอาดแม่แบบน้อยลง
3. ลดการนำเข้าคอมปาวด์ทำความสะอาดแม่แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ข้อมูลการทำความสะอาดแม่แบบ [1]

วิธีการทำความสะอาดแม่แบบที่ใช้กันทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรมยาง มีหลายวิธีดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 1 ข้อมูลการทำความสะอาดแม่แบบที่จะอ้างถึงต่อไปนี้ เป็นข้อมูลการทำความสะอาดแม่แบบที่บริษัท เอส.เค.โพลิเมอร์ จำกัด ซึ่งมีวิธีการทำความสะอาดแม่แบบดังต่อไปนี้

1. การทำความสะอาดแม่แบบโดยการขัดด้วยสก๊อตซ์ไบรต์หรือแปรงทองเหลือง

<u>อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำความสะอาดแม่แบบ</u>

- น้ำมันก๊าด
- ทองเหลืองเส้น
- หรือแปรงทองเหลือง

<u>วิธีการ</u>

- เทน้ำมันก๊าดลงบนแม่แม่แบบทิ้งไว้ 5 นาที เพื่อให้เศษยางและคราบเคมีเก่าที่ติดบริเวณผิวแม่แบบพองตัว
- ใช้ทองเหลืองเส้นแคะบริเวณที่เป็นร่องลึก และใช้สก๊อตซ์ไบรต์ขัดบริเวณที่เป็นผิวหน้าของแม่แบบ

<u>ผลที่ได้รับ</u>

คราบเคมีและเศษยางเก่ายังออกไม่หมด สังเกตได้จากการอัดชิ้นงานในครั้งแรกหลังจากทำความสะอาด ซึ่งพบว่าชิ้นงานมีผลไม่เรียบ แสดงให้เห็นว่าแม่แบบยังคงมีคราบเคมีและเศษยางเก่าติดค้างอยู่

2. การทำความสะอาดแม่แบบโดยการจ้างบริษัททำความสะอาดแม่แบบ

<u>อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำความสะอาดแม่แบบ</u>

- หินขัด (Super stone)
- กระดาษทราย
- แปรงทองเหลือง

<u>วิธีการ</u>

- ใช้หินขัด ขัดในร่อง
- ใช้กระดาษหรือแปรงทองเหลืองขัดบริเวณผิวหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลที่ได้รับ

คราบเคมีและเศษยางเก่ายังออกไม่หมด โดยสังเกตได้จากการอัดชิ้นงานในครั้งแรก หลังจากการทำความสะอาด ซึ่งพบว่าชิ้นงานมีผิวไม่เรียบ จึงต้องใช้พนักงานขัดซ้ำอีกครั้ง แต่ใช้เวลาในการทำความสะอาดน้อยกว่าการใช้พนักงานขัดเองทั้งหมด

จากวิธีการทำความสะอาดแม่แบบที่กล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการทำความสะอาดต่ำ จึงได้ใช้การทำความสะอาดแม่แบบด้วยยางล้างแม่แบบ ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพในการทำความสะอาดดีกว่า

2.2 ยางล้างแม่แบบ

ยางล้างแม่แบบที่ใช้ในการทำความสะอาดแม่แบบนี้ มีชื่อทางการค้าว่า Struktol® MC-A

วิธีการ

- ทำการกดอัดยางล้างแม่แบบ

ผลที่ได้รับ

คราบเคมีและเศษยางเก่าติดออกมากับยางล้างแม่แบบ สามารถทำความสะอาดแม่แบบได้ดีกว่า 2 วิธีแรก สังเกตได้จากการอัดชิ้นงานในครั้งแรกหลังจากการทำความสะอาด พบว่าชิ้นงานไม่มีคราบสกปรก ผิวของชิ้นงานเรียบ และสวยงาม

การทดสอบประสิทธิภาพของยางล้างแม่แบบ Struktol® MC-A

การทดสอบครั้งที่ 1

เป็นการทำความสะอาดแม่แบบ ที่ยังไม่ได้ผ่านการทำความสะอาดด้วยวิธีใด ๆ เลย พบว่า ต้องทำความสะอาดแม่แบบ 7 ครั้ง แม่แบบจึงสะอาด สังเกตได้จากคราบที่ติดที่ยางล้างแม่แบบ โดยการทำความสะอาดในครั้งที่ 7 นี้ยางแม่แบบมีคราบสกปรกติดอยู่น้อยมาก และสังเกตได้จากชิ้นงานในโพรงแบบ (Cavity) ที่ถูกทำความสะอาดพบว่า ไม่มีคราบสกปรกตกค้าง เมื่อเทียบกับชิ้นงานในโพรงแบบ ที่ไม่ได้ทำความสะอาด

การทดสอบครั้งที่ 2

เป็นการทำความสะอาดแม่แบบหลังจากการทดสอบครั้งที่ 1 เป็นเวลา 3 วัน พบว่าต้องทำความสะอาดแม่แบบ 3 ครั้ง แม่แบบจึงสะอาด โดยสังเกตจากคราบสกปรกที่ติดที่ยางล้างแม่แบบ และสังเกตได้จากชิ้นงานในโพรงแบบ ที่ถูกทำความสะอาดซึ่งจะไม่มีคราบสกปรกตกค้างเมื่อเทียบกับชิ้นงานในโพรงแบบ ที่ไม่ได้ทำความสะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบข้างต้น จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ยางล้างแม่แบบทำความสะอาดจะใช้เวลาในการทำความสะอาดแม่แบบน้อยลง เนื่องจากไม่ต้องเสียเวลาในการขัด และชิ้นงานมีผิวที่เรียบและสวยงามมากกว่าการทำความสะอาดแม่แบบโดยการขัดด้วยสก๊อตช์ไบรต์ หรือการจ้างบริษัทรับทำความสะอาดแม่แบบ

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบการทำความสะอาดแม่แบบวิธีต่างๆ [1]

การทำความสะอาด โดยการขัดด้วยพนักงาน	การทำความสะอาด โดยการจ้างบริษัทข้างนอก	การทำความสะอาด โดยการใช้คอมปาวด์ทำความสะอาดแม่แบบ
1. แม่แบบไม่สะอาด ยังมีคราบเคมี เกาะอยู่ที่ผิว	1. แม่แบบไม่สะอาดเท่าที่ควร ยังมีคราบเกาะที่ผิว แต่น้อยกว่าการทำความสะอาดโดยขัดด้วยพนักงาน	1. แม่แบบสะอาดไม่มีคราบเคมีเกาะที่ผิว
2. รอบในการทำความสะอาดคือ 2-3 วัน ต่อ 1 ครั้ง	2. รอบในการทำความสะอาดคือ 2-3 วัน ต่อ 1 ครั้ง	2. รอบในการทำความสะอาดคือ 4 วัน ต่อ 1 ครั้ง ครั้งละ 3 mold
3. ระยะเวลาที่ใช้ในการทำความสะอาด คือ 2-3 วัน ต่อ 1 ครั้ง	3. ระยะเวลาที่ใช้ในการทำความสะอาด คือ 1-2 วัน ต่อ 1 ครั้ง	3. ระยะเวลาที่ใช้ในการทำความสะอาด คือ 45 นาที ต่อ 1 ครั้ง
4. เสียเวลาในการติดตั้ง แม่แบบเพราะต้องเอาแม่แบบลงและต้องเอาแม่แบบขึ้นใหม่อีกครั้ง	4. เสียเวลาในการติดตั้งแม่แบบเพราะต้องเอาแม่แบบลงและต้องเอาแม่แบบขึ้นใหม่อีกครั้ง	4. ไม่เสียเวลาในการติดตั้งแม่แบบเพราะไม่ต้องเอาแม่แบบลงและสามารถใช้ยางทำความสะอาดได้เลย
5. เสียเวลาในการรออุณหภูมิเพราะต้องติดตั้งเครื่องใหม่ต้องรออุณหภูมิตั้งแต่ 0-165 ^{o}C	5. เสียเวลาในการรออุณหภูมิเพราะต้องติดตั้งเครื่องใหม่ต้องรออุณหภูมิตั้งแต่ 0-165 ^{o}C	5. ประหยัดเวลาในการติดตั้งเครื่องหลังจากทำความสะอาดไม่ต้องรออุณหภูมิตั้งแต่ 0-165 ^{o}C
6. ทำให้การผลิตหยุดชะงักประมาณ 2-3 วัน หรือเท่ากับ 504 mold หรือเท่ากับ 1,290,240 ชิ้น	6. ทำให้การผลิตหยุดชะงักประมาณ 1-2 วัน หรือเท่ากับ 496 mold หรือเท่ากับ 1,269,760 ชิ้น	6. ทำให้การผลิตหยุดชะงัก เพียง 1 ชม. หรือเท่ากับ 8 mold หรือเท่ากับ 20,480 ชิ้น
7. ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทำความสะอาด 1 ครั้ง คือ 338 - 507 บาท (คิดจาก ค่าแรงขั้นต่ำ)	7. ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทำความสะอาด 1 ครั้ง คือ 2,000 บาท	7. ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทำความสะอาด 1 ครั้งคือ 345.75 บาท.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

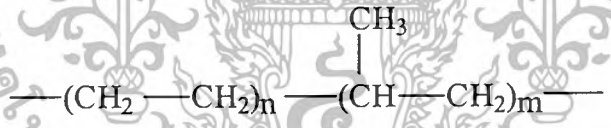
2.3 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตยางล้างแม่แบบ

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

ยางเอทิลีนพรอพิลีน มี 2 ชนิดคือ

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" ท้ายชื่อใช้เรียกกลุ่มยางที่มีโครงสร้างหลักเหมือนพอลิเมทิลีน (Polymethylene,-$(CH_2)_n$-) "EPM" คือพอลิเมอร์ร่วม (Copolymer) ของเอทิลีนและพรอพิลีน ดังรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าโครงสร้างของยาง EPM เป็นโครงสร้างที่อิ่มตัวทั้งหมด ทำให้ยางชนิดนี้มีสมบัติเด่นคือ ความทนทานต่อโอโซน ออกซิเจน และสิ่งแวดล้อมอื่นๆ นอกจากนี้ยังมีความเป็นฉนวนสูง สมบัติเด่นอีกอย่างของยางเอทิลีนพรอพิลีนคือ เป็นยางที่มีความหนาแน่นต่ำที่สุด (ความหนาแน่น = 0.854 g/cm^3) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีน้ำหนักเบา สามารถผลิตยางได้ในปริมาณมาก ยางเอทิลีนพรอพิลีนมีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ประมาณ – 60 ^{o}C



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของยาง EPM [2]

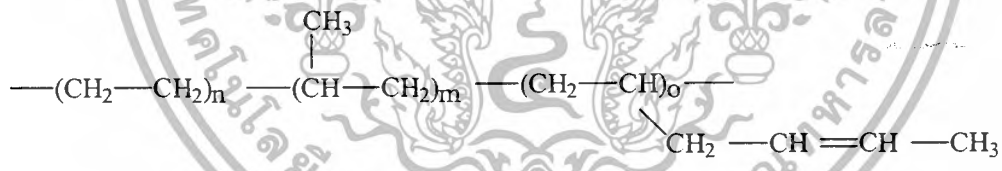
ในกรณีของ "EPDM" อักษร "D" มาจาก "Diene" ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ร่วมชนิดที่สามในโครงสร้างทำให้เกิดความไม่อิ่มตัวในโครงสร้าง เป็นโครงสร้างที่ใส่ขึ้น เพื่อช่วยให้ง่ายในการเชื่อมโยง เนื่องจากยาง EPM อิ่มตัว ไม่มีพันธะคู่ ดังนั้นจึงไม่สามารถเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน (Sulfur; S) เหมือนยางทั่ว ๆ ไป จึงต้องเชื่อมโยงด้วยสารประเภทเปอร์ออกไซด์ (Peroxide) ซึ่งมีราคาแพง ยุ่งยาก ช้า และไม่สะดวกในการผลิต ดังนั้นจึงมีการใส่มอนอเมอร์ชนิดที่สามประเภทไดอีนชนิดไม่คอนจูเกต (Nonconjugate diene) ที่มีพันธะคู่สองพันธะที่ไม่สลับกันดังตารางที่ 2.1 การที่มีพันธะคู่สองพันธะไม่สลับกัน เมื่อใช้พันธะหนึ่งในการพอลิเมอไรซ์เกิดพอลิเมอร์ร่วมก็ยังเหลือพันธะคู่ที่ไม่อิ่มตัวอีกหนึ่งพันธะ "ภายนอก" สายโซ่หลัก ทำให้เกิดพอลิเมอร์ร่วมชนิดที่สาม (Terpolymer) ในปริมาณเล็กน้อย ในโครงสร้างเป็นโครงสร้างที่ไม่อิ่มตัวดังรูปที่ 2.2 ใช้เป็นตำแหน่งเชื่อมโยง (Crosslinking sites) ของยาง EPDM สามารถเชื่อมโยงด้วยกำมะถันเหมือนกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยางชนิดอื่น ๆ เนื่องจากโครงสร้างที่ไม่อิ่มตัวนี้ไม่อยู่ภายในสายโซ่หลัก (Polymer backbone) แต่อยู่ที่หมู่ข้าง (Side group) ดังนั้นยางชนิดนี้จึงยังมีความทนทานต่อโอโซนและดินฟ้าอากาศดีเช่นเดียวกับยาง EPM

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่าง Nonconjugate diene ที่ใช้ในการผลิตยาง EPDM [2]

ชื่อ	สมบัติ	โครงสร้าง
1,4 Hexadiene (HD)	เชื่อมโยงช้า แต่ได้ยางที่มีสมบัติดีใกล้เคียง EPM	$CH_2{=}CH{-}CH_2{-}CH{=}CH{-}CH_3$
Ethylidene norbonene (ENB)	นิยมใช้มากที่สุด แต่แพง เชื่อมโยงง่าย และเข้าได้ดีกับยางไม่อิ่มตัวอื่น ๆ	
Dicyclopentadiene (DCPD)	ราคาถูก เข้าได้ดีกับยางชนิดอื่น แต่เชื่อมโยงช้าที่สุด	



รูปที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลของยาง EPDM (Terpolymer) [2]

ยางเอทิลีนพรอพิลีน สามารถเตรียมได้จาก ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบสารละลาย (Solution polymerization) โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบโคออดิเนชัน (Coordination) หรือซีเกลอร์-แนทต้า (Ziegler-Natta) ซึ่งเป็นสารประกอบโลหะทรานซิชันเฮไลด์ (Transition metal halide) และสารออกาโนเมทาลิก (Organomatallic) สมบัติของยางที่สังเคราะห์ได้ขึ้นกับอัตราส่วนของมอนอเมอร์เอทิลีนต่อพรอพิลีนที่ใช้ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเอทิลีนในโครงสร้างประมาณ 45-75% โดยจะมีการจัดตัวของพอลิเมอร์ร่วมแบบสุ่ม (Random copolymer) ทำให้ได้พอลิเมอร์ร่วมชนิดอสัณฐาน (Amorphous copolymer) ถ้ามีเอทิลีนในโครงสร้างมากจะทำให้ความเป็นผลึก (Crystallinity) เพิ่มสูงขึ้น เป็นผลให้ได้ยางที่มีความแข็งแรงก่อนเชื่อมโยง (Green strength) และเสถียรภาพของรูปร่างสูง ทำเม็ดง่าย ขึ้นรูปด้วยเทคนิคอัดรีด (Extrusion) ดี อย่างไรก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสียของการมีเอทิลีนในองค์ประกอบสูงคือ ยางจะมีสมบัติที่อุณหภูมิต่ำ (Low temperature properties) ด้อยลง และผสมยากขึ้น

สำหรับยาง EPDM สมบัติการเชื่อมโยงของยางจะขึ้นกับชนิด และปริมาณของไดอีนที่ใช้ถ้ามีปริมาณพอลิเมอร์ร่วมชนิดที่สามหรือไดอีนมาก ก็จะสามารถเชื่อมโยงยาง EPDM ได้รวดเร็ว

การผสมยางเอทิลีนพรอพิลีน (EPM/EPDM) นิยมใช้เครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer) ถ้าใช้เครื่องผสมแบบเปิดสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) จะใช้ยาง EPM/EPDM ที่มีปริมาณเอทิลีนน้อยหรือพรอพิลีนมาก เพราะชนิดที่มีเอทิลีนมากจะมีความหนืดสูงมาก (เนื่องจากความเป็นผลึก) ทำให้ผสมด้วยลูกกลิ้งยาก

ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้งานยางเอทิลีนพรอพิลีน (EPM/EPDM) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่นส่วนประกอบรถยนต์ ที่ปัดกระจก ท่อยางหม้อน้ำ ส่วนประกอบของเบรค ใช้เคลือบสายไฟ ท่อยาง วัสดุฉนวนผ้าเพดาน ฯลฯ นอกจากนี้ยังใช้ผสมกับพลาสติกในการผลิตเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ (Thermoplastic elastomers; TPEs) บางชนิดด้วย

2.3.2 สารเติมแต่ง (Additives) [2]

สารเติมแต่ง คือ สารเคมีที่ใส่ลงไปในยางเพื่อปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของยาง (Property enhancement) และเพื่อช่วยกระบวนการผลิต (Processability) ให้ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้ง่ายขึ้น

2.3.2.1 สารเชื่อมโยง (Crosslinking agents)

สารเชื่อมโยง ทำหน้าที่เปลี่ยนโครงสร้างของยางจากสายโซ่ตรงเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ (3-D Network) โดยทำให้เกิดพันธะเคมีเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุลของยาง เช่น กำมะถัน (Sulfur; S) เปอร์ออกไซด์ (Peroxide) ออกไซด์ของโลหะ (Metal oxide)

การใช้ประโยชน์ยางนั้น ต้องนำยางมาทำการเชื่อมโยง หรือ วัลคาไนเซชัน (Crosslinking หรือ Vulcanization) หรือเรียกว่า การทำให้ยางสุก (Curing) เนื่องจากยางเป็นวัสดุที่อ่อน นิ่ม ยืดหยุ่นต่ำ ไม่แข็งแรง เหนียวติด (Sticky) และไม่เสถียรภาพของรูปร่าง (Dimensional stability) ไหลได้เมื่อทิ้งไว้นาน เมื่อทำการเชื่อมโยงแล้ว ยางจะมีสมบัติที่ดีขึ้น เปลี่ยนจากสายโซ่ตรงเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ

การเชื่อมโยงสามารถทำได้โดยการผสมสารเคมีคือ สารเชื่อมโยง (Vulcanizing agents) ได้แก่ กำมะถัน (Sulfur) เปอร์ออกไซด์ (Peroxides) หรือ สารประกอบออกไซด์ของโลหะบางชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยมใช้สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Accelerators) และสารกระตุ้นปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Activators) ผสมเข้ากับยางแล้วทำการให้อุณหภูมิสูงภายหลังการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ อุณหภูมิสูง จะทำให้สารเชื่อมโยงต่าง ๆ เกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันเชื่อมโยงโครงสร้างโมเลกุลยาง เปลี่ยนโครงสร้างจากสายโซ่ตรง ให้เป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ มีเสถียรภาพของรูปร่างและมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น

การเชื่อมโยงทำให้ยางมีสมบัติเปลี่ยนไปกล่าวคือ

- มีค่าความแข็งแรง (Strength) เพิ่มขึ้น
- มีมอดุลัส (Modulus) เพิ่มขึ้น
- มีความยืดหยุ่น (Elasticity) ดีขึ้น
- มีฮีสเตอรีซีส (Hysteresis) ลดลง
- มีเซ็ต (Set) หรือเปลี่ยนขนาดถาวรเมื่อได้รับแรงลดลง มีเสถียรภาพของรูปร่างเพิ่มขึ้น
- เหนียวติด (Sticky) น้อยลง
- เปลี่ยนเป็นเทอร์โมเซต ไม่ละลายในตัวทำละลายใด ๆ ทนต่อความร้อน แสง และการใช้งานนานขึ้น

การเชื่อมโยงยางด้วยเปอร์ออกไซด์ (Peroxide vulcanization) [2]

การเชื่อมโยงยางด้วยสารประกอบเปอร์ออกไซด์เริ่มมีใช้ตั้งแต่ ค.ศ. 1950s วิธีเชื่อมโยงนี้มีข้อเด่นเหนือการเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน คือ

- สามารถใช้ได้ทั้งยางที่อิ่มตัว (Saturated rubbers) และยางที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated rubbers) นิยมใช้โดยเฉพาะยางที่อิ่มตัวที่ไม่มีหมู่ฟังก์ชันที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเชื่อมโยง เช่น ยางเอทิลีนพรอพิลีน (EPM) และยางซิลิโคน (Q)
- ยางที่เชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์มีเสถียรภาพมากกว่า มีสมบัติการทนต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน (Heat-aging properties) ดีกว่า
- ยางที่เชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์ มีการเปลี่ยนรูปถาวร (Permanent set) น้อยกว่า
- ยางที่เชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์ มีสมบัติความยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำ (Low temperature flexibility) ดีกว่า
- สามารถใช้เชื่อมโยงผลิตภัณฑ์ยางที่ต้องการสีธรรมชาติ ยางใส หรือสีขาว ไม่เป็นสีเหลืองเนื่องจากกำมะถัน และสีที่ได้มีความเสถียร มีการเปลี่ยนสีผลิตภัณฑ์เนื่องจากรังสีอุลตร้าไวโอเลต (UV light discoloration) น้อยกว่า
- ไม่เกิดปัญหาการบลูม (Bloom) ซึ่งมักเกิดเมื่อใช้กำมะถัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากพันธะที่เกิดจากการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์ เป็นพันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอน (C-C bonds) ซึ่งมีพลังงานพันธะสูง มีความเสถียรต่อความร้อนและแรงกระทำใดๆ เทียบกับพันธะที่เกิดจากการเชื่อมโยงด้วยกำมะถันทั้งแบบโมโนซัลฟิดิกและพอลิซัลฟิดิก (C-S bonds และ S-S bonds ตามลำดับ) ทำให้ยางที่เชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์มีความเสถียรมากกว่า อย่างไรก็ดี การเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์มีข้อจำกัดบางประการ คือ

- ในการเชื่อมโยงยางด้วยเปอร์ออกไซด์ จะเกิดกลิ่นเหม็นที่ไม่พึงปรารถนาของสารที่ปลดปล่อยออกมา ในระหว่างเชื่อมโยงยาง และในผลิตภัณฑ์ยาง
- เปอร์ออกไซด์เป็นสารเคมีอันตราย ต้องระมัดระวังในการใช้และการเก็บรักษา
- สารประกอบเปอร์ออกไซด์ว่องไวต่อปฏิกิริยากับสารเติมแต่งชนิดอื่นในยาง มากกว่ากำมะถัน ดังนั้นจึงมีข้อจำกัดและต้องมีความรอบคอบในการเลือกใช้สารเคมียาง เช่น การเลือกใช้สารหล่อลื่น หรือ น้ำมัน (Oils) เป็นต้น
- ไม่ควรเลือกใช้เทคนิคการให้ความร้อนที่มีบรรยากาศของออกซิเจน ในการเชื่อมโยงยาง เช่น เทคนิคการให้ความร้อนเชื่อมโยง โดยใช้อากาศร้อน (Hot air cures) เนื่องจากอนุมูลอิสระที่เคลื่อนย้ายจากเปอร์ออกไซด์ไปยังสายโซ่พอลิเมอร์ในปฏิกิริยาเชื่อมโยงอาจถูกออกซิไดซ์เนื่องจากออกซิเจนในบรรยากาศ ทำให้เกิดหมู่ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide) และไม่เกิดการเชื่อมโยง กลายคือยางเกิดจากการเสียสภาพ (Degradation) สลายตัวเนื่องจากความร้อนนั่นเอง
- ยางบิวทิล (Butyl rubber, IIR) เกิดปฏิกิริยาเสียสภาพ (Degradation) เมื่อเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์ เนื่องจากเกิดเป็นอนุมูลของคาร์บอนตติยภูมิ (Tertiary carbon radicals) ไม่เสถียร เกิดการขาดของสายโซ่ที่ตำแหน่งเบต้า (β-scission reaction) นำไปสู่การเสื่อมสลายของสายโซ่พอลิเมอร์ จึงมีข้อยกเว้น ไม่สามารถใช้สารประกอบเปอร์ออกไซด์ในการเชื่อมโยงยางบิวทิล (IIR)

มีสารประกอบเปอร์ออกไซด์หลายชนิดที่สามารถใช้ได้ในการเชื่อมโยงยาง เช่น ไดเอซิลเปอร์ไซด์ (Diacyl peroxides) และเปอร์ออกซีเอสเทอร์ (Peroxy esters) อย่างไรก็ดีในทางปฏิบัติสารเปอร์ออกไซด์ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมยางได้แก่

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

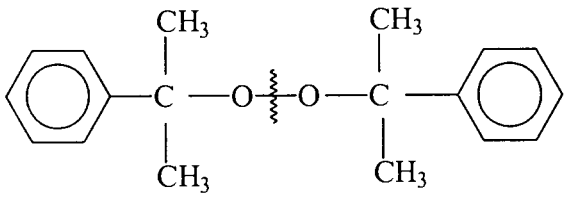
สารประกอบเปอร์ออกไซด์ที่นิยมใช้มากที่สุดคือ ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ (DCP) มีจำหน่ายทั้งในรูปผงของแข็งและของเหลว ความบริสุทธิ์ประมาณ 90-99 % เนื่องจากเปอร์ออกไซด์มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาสูง จึงมีจำหน่ายในรูปของผสมกับสารตัวกลางเฉื่อยบางชนิด เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) ความเข้มข้น 40-45 % และใช้ในรูปของผสมพร้อมสารเพิ่มเนื้อไดบิวทิลเปอร์ออกไซด์ (DBP) นิยมน้อยกว่าเนื่องจากกลายเป็นไอง่ายขณะใช้งาน ส่วนไดเมทิลไดบิวทิลเปอร์ออกซีเฮกเซนนิยมใช้เชื่อมโยงที่อุณหภูมิสูง (180 ^{o}C) เนื่องจากมีเสถียรภาพทางความร้อนมากกว่า และไม่มีกลิ่นเหม็นของสารอะซิโตฟีโนน

ในการใช้งานสารเชื่อมโยงเปอร์ออกไซด์ ควรหลีกเลี่ยงการเก็บสารที่อุณหภูมิสูง (เกิน 40 ^{o}C) เพื่อหลีกเลี่ยงการเสื่อมสลาย นอกจากนี้ควรเก็บให้ห่างจากแหล่งใช้ความร้อนและไฟฟ้าสถิตย์ เนื่องจากเปอร์ออกไซด์ติดไฟง่ายและดับไฟยาก

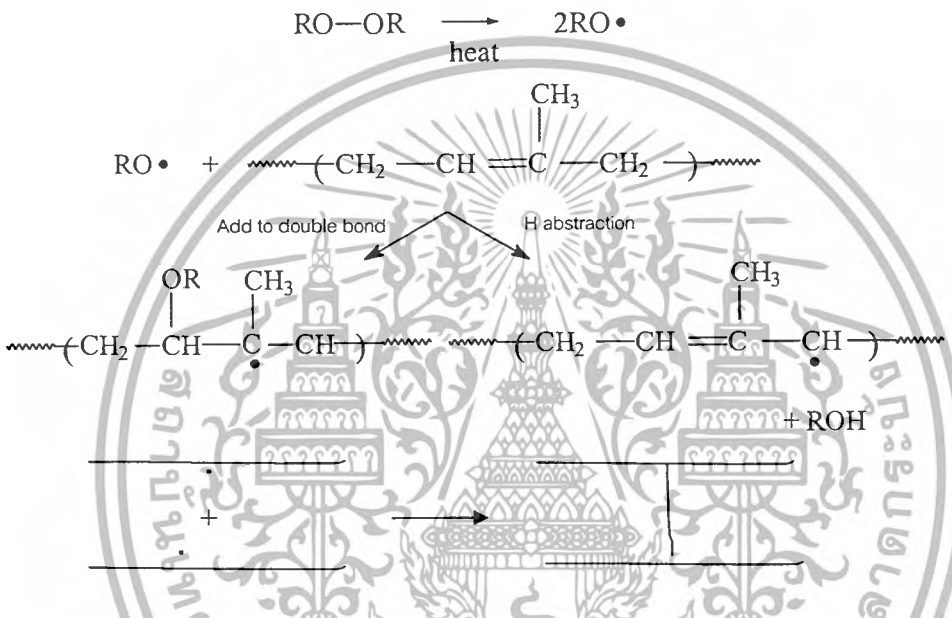
<u>กลไกการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์</u>

กลไกการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์ เริ่มต้นจาก ปฏิกิริยาโฮโมไลติก - ดีคอมโพซิชัน (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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Dicumyl peroxide, DC



รูปที่ 2.3 กลไกการเชื่อมโยงยางด้วยสารประกอบเปอร์ออกไซด์ [2]

นอกจากอนุมูลอิสระจะเข้าทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งพันธะคู่ในยางไม่อิ่มตัวแล้ว อนุมูลอิสระยังเข้าจับไฮโดรเจนในตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาง่าย (เช่นที่ Allylic hydrogen) เกิดเป็นสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีอนุมูล เช่นเดียวกับในกรณีใช้สารประกอบเปอร์ออกไซด์เชื่อมโยงยางที่อิ่มตัว การรวมกันของอนุมูลที่อยู่ต่างสายโซ่ทำให้เกิดเป็นพันธะเชื่อมโยงเช่นเดียวกัน

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่า เปอร์ออกไซด์มีความว่องไวต่อปฏิกิริยา การใส่สารเคมียางบางชนิดเช่น สารหล่อลื่นหรือน้ำมัน (Oils) และสารแอนตี้ออกซิแดนท์ (Antioxidants) อาจเกิดปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระในขณะเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยง เป็นผลให้เกิด "ปรากฏการณ์เจือจางการเชื่อมโยง" (Dilute crosslinking effect) ได้ความหนาแน่นเชื่อมโยงน้อยกว่าที่ควรจะเป็น นอกจากนี้ควรหลีกเลี่ยงการใส่สารเติมแต่งยางที่เป็น "กรด" เช่น สารตัวเติมซิลิกา (Silica) หรือเขม่าดำ (Carbon black) ที่เป็นกรด เนื่องจากกรดสามารถเร่งให้เปอร์ออกไซด์สลายตัวแบบไม่เกิดอนุมูลอิสระ (Nonradical-generating decomposition) ทำให้เกิดการสูญเสียของสารเชื่อมโยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์ออกไซด์ เช่นเดียวกับสารเติมแต่งอื่น เช่น สารแอนตี้ออกซิแดนท์ อาจหยุดปฏิกิริยา หรือเปลี่ยนแปลงอนุมูลอิสระระหว่างเกิดปฏิกิริยาไม่ให้ทำปฏิกิริยากับสายโซ่พอลิเมอร์ เป็นผลให้ไม่เกิดพันธะเชื่อมโยงหรือปฏิกิริยาเชื่อมโยงน้อย

ประสิทธิภาพการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์ ขึ้นอยู่กับความสามารถ ในการละลาย (Solubility) ของเปอร์ออกไซด์ในยาง และจำนวนของหมู่ฟังก์ชันและไฮโดรเจนของโครงสร้างยางที่สามารถถูกจับด้วยอนุมูลอิสระ ปกติในการเชื่อมโยงยางด้วยเปอร์ออกไซด์นิยมใช้ปริมาณไม่เกิน 2.5 phr (ส่วนในร้อยส่วนของยาง) ที่อุณหภูมิเชื่อมโยงตั้งแต่ 150-230 ^{o}C การใช้อุณหภูมิสูงจะใช้เวลาน้อยลงประมาณ 2.5 เท่าทุก 10 ^{o}C ที่เพิ่มขึ้น แต่จะเสี่ยงกับการเสียสภาพของยางและต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น การใช้ปริมาณสารเชื่อมโยงที่มากเกิน จะทำให้ยางมีความหนาแน่นเชื่อมโยงมากเกินไป (Over-cure) ทำให้สมบัติบางประการลดลง เช่น ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) ฯลฯ

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างปริมาณสารเชื่อมโยงและสภาวะเชื่อมโยงยางชนิดต่าง ๆ 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 (^{o}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 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.2 **สารกระตุ้นการเชื่อมโยง** (Activators)

สารกระตุ้นการเชื่อมโยง เป็นสารเคมีที่ทำหน้าที่กระตุ้นหรือเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยง (Accelerators) ดังนั้นอาจเรียกสารนี้ว่าสารกระตุ้นสารเร่ง (Accelerator Activators)

สารกระตุ้นที่นิยมใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรมยางในปัจจุบันได้แก่ "ซิงค์ออกไซด์ร่วมกับกรดสเตียริก" (ZnO/Stearic acid) เนื่องจากมีราคาไม่แพงและมีประสิทธิภาพสูงในการทำงาน สามารถใช้ได้กับยางทั่วไป ซิงค์ออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับกรดสเตียริกเกิดเป็น "ซิงค์สเตียเรต" (Zinc stearate) ซึ่งสามารถละลายได้ในยางและช่วยเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง เนื่องจากเป็นซิงค์ไอออน (Zinc ions) ที่อยู่ในรูปที่ละลายได้ในยาง

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

ตัวกระตุ้นอีกครึ่งหนึ่งของ ZnO คือ กรดไขมัน (Fatty acid) ที่มีจำนวนคาร์บอน 12-18 อะตอม เช่น กรดสเตียริก (เกิดเป็นซิงค์สเตียเรต) กรดลอรีอิก (เกิดเป็นซิงค์ลอรีเอต) (Zinc Laureate) โดยปกติใช้กรดสเตียริกในอุตสาหกรรมยางประมาณ 1-3 phr จะใช้ปริมาณน้อยลง (1-2 phr) เมื่อใช้กับยางที่เริ่มตัว เช่น EPDM นอกจากกรดสเตียริกจะทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นในการเชื่อมโยงแล้ว กรดสเตียริกยังทำหน้าที่เป็น "สารหล่อลื่น" (Lubricants) ในการผสมยาง ทำให้ความหนืดของยางลดลง

2.3.2.3 **สารตัวเติม** (Fillers) [3]

สารตัวเติมทำหน้าที่เพิ่มเนื้อหรือลดต้นทุนให้กับผลิตภัณฑ์ยาง สารตัวเติมบางชนิดนอกจากใช้ลดต้นทุนแล้วยังเพิ่มความแข็งแรงหรือเสริมแรง (Reinforcement) ให้กับยาง เช่น เขม่าดำ (Carbon black ; CB) ซิลิกา (Silica)

วัตถุประสงค์ของการใส่สารตัวเติม

1. **เพื่อลดต้นทุน**
2. **เพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของยาง**
3. **เพื่อช่วยกระบวนการผลิต**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

4. ลดการบวมตัวของยางในน้ำมัน
5. เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของยาง

ซิลิกา (Silica)

ซิลิกา เป็นสารตัวเติมที่สามารถเสริมแรงได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับสารตัวเติมสีไม่ดำอื่น ๆ โดยเฉพาะซิลิกาที่มีอนุภาคขนาดเล็ก ซิลิกามีสูตรโครงสร้างเป็นซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ข้อดีของซิลิกาคือ ช่วยปรับปรุงสมบัติบางประการของยาง เช่น เพิ่มความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) ลดความร้อนสะสม (Heat buildup) เพิ่มความต้านการขัดถู (Abrasion resistance) และเพิ่มการยึดเกาะ (Adhesion) กับองค์ประกอบอื่นในยาง เป็นต้น

ในการใช้งานซิลิกานิยมใช้สารคู่ควบ (Coupling agents) เช่นสารประกอบไซเลน (Silane coupling agent) เคลือบผิวอนุภาคซิลิกาเพื่อเพิ่มความแข็งแรงในการยึดเกาะระหว่างวัฏภาคทำให้สมบัติของยางดีขึ้น

ซิลิกาเป็นสารตัวเติมที่ได้จากธรรมชาติและการสังเคราะห์ สมบัติของซิลิกาขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยได้แก่

- ขนาดอนุภาค และพื้นที่ผิว
- ปริมาณน้ำในโครงสร้าง (Extent of hydration)
- สมบัติทางกายภาพ เช่น pH องค์ประกอบทางเคมี การดูดซับน้ำมัน (Oil absorption) ฯลฯ

เนื่องจากซิลิกาประกอบด้วยอะตอมของซิลิกอนและออกซิเจน จึงมีหมู่ไซลานอล (Silanol Group; -Si-OH) ชนิดต่าง ๆ บนพื้นผิวของอนุภาคซิลิกา ปริมาณหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวจะมีผลโดยตรงต่อปริมาณน้ำที่สามารถเกาะติดบนพื้นผิวและยังมีผลต่อความเป็นกรดบนพื้นผิวของซิลิกาอีกด้วย จากความมีขั้วหรือความชอบน้ำ (Hydrophilic) ของซิลิกาทำให้สารตัวเติมชนิดนี้สามารถเสริมแรงได้ดีในยางที่มีขั้วเช่น ยางไนไตร์ล (NBR) หรือยางคลอโรพรีน (CR) มากกว่ายางที่ไม่มีขั้ว เช่น ยางธรรมชาติ (NR) และยางเอสบีอาร์ (SBR) ซิลิกามีหลายชนิด เช่น ซิลิกาชนิดตกตะกอน (Precipitated silica) ซิลิกาชนิดมีรูพรุน (Porous silica) และองซิลิกา (Fumed silica) เป็นต้น

ซิลิกาชนิดมีรูพรุน (Porous silica) เป็นอสัณฐาน (Amorphous) มีสีขาว เตรียมได้จากการตกตะกอนโดยการเกิดปฏิกิริยาเคมีในน้ำ โดยได้ออกมาเป็นอนุภาคที่มีลักษณะกลมและมีขนาดเล็กมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
62082

สมบัติบางประการ [4]

ขนาดอนุภาค (micrometers)	45
Bulk density (lbs/cu ft)	12
BET surface area (m^2/g)	155
Oil absorption (ml/100g)	310
pH	7
% Free water	5
% NaCl	0.01
% Na_2SO_4	1.25

ลักษณะเฉพาะของซิลิกาชนิดมีรูพรุน

1. ป้องกันการรวมตัวกันเป็นก้อนของสารเคมีชนิดอื่น ๆ ในระหว่างการผสม ช่วยเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ลดการเหนียวติด การกระจายตัวดีขึ้น

2. ไม่เกิดการขัดถูเสียดสีกับเครื่องมือที่ใช้ในระหว่างการผสม การพ่น และการบด

3. สามารถเข้ากันได้กับสารเคมีเกือบทุกชนิดและจะไม่เป็นตัวเร่งหรือกระตุ้นให้เกิดการเสียสภาพทางเคมี แม้ว่าจะอยู่ในบริเวณที่อุณหภูมิและความชื้นสูง ส่งผลให้ระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น

4. สามารถนำมาใช้งานได้หลายประเภท เนื่องจาก มีความสามารถในการดูดซับสูง มีขนาดอนุภาคที่สม่ำเสมอ มีความหนาแน่นโดยรวมสูง

5. ช่วยในการบดของแข็งที่มีจุดหลอมเหลวทั้งต่ำและสูง และป้องกันการรวมตัวกันเป็นก้อนภายในเครื่องบด

2.3.2.4 **สารช่วยกระบวนการผลิต** (Processing aids)

สารช่วยกระบวนการผลิต คือ สารเคมีที่ผสมในยางเพื่อช่วยให้กระบวนการผลิตง่ายขึ้น มีประสิทธิภาพมากขึ้น นั่นคือใช้เวลาและพลังงานในการผลิตน้อยลง นอกจากนี้ยังช่วยในการกระจายตัวของสารเติมแต่งต่าง ๆ ในยาง เพิ่มความสม่ำเสมอหรือเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity) ทำให้มีอัตราเร็วในการผลิตสูงขึ้น ปกติจะใช้สารช่วยกระบวนการผลิตในปริมาณน้อยไม่เกิน 5 phr สารช่วยกระบวนการผลิต ได้แก่

1. เปพไทเซอร์ (Peptizers) ทำหน้าที่ช่วยเร่งปฏิกิริยาการขาดของสายโซ่ (Chain scission) ของยางทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers) เป็นสารเติมแต่งที่ใส่เพื่อเพิ่มความนิ่มให้กับยาง และยังช่วยลดความหนืด ทำให้ขึ้นรูปได้ง่ายขึ้น พลาสติไซเซอร์เป็นสารโมเลกุลเล็กที่แทรกตัวอยู่ระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ ช่วยเพิ่มปริมาตรอิสระ (Free volume) ทำให้สายโซ่โมเลกุลยางเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ลดลง ทำให้วัสดุมีสมบัติความยืดหยุ่นเป็นยางดีขึ้น นิ่มตัวขึ้น และสมบัติความยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำ (Low temperature flexibility) พลาสติ-ไซเซอร์ที่ดีต้องเข้ากันได้ดีกับยางไม่แพร่ออกที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ยาง ตัวอย่างพลาสติไซเซอร์สำหรับยาง ได้แก่ กรดไขมัน (Fatty acid) น้ำมัน (Oils) สารจำพวกเอสเทอร์ (esters) น้ำมันสน (Pine)

3. แทคคิไฟเออร์ (Tackifiers) ทำหน้าที่ช่วยเพิ่มการยึดติดของยาง

สารช่วยกระบวนการผลิตมีความสำคัญดังนี้

1) ช่วยเร่งอัตราและควบคุมองศาการลดขนาดของเขม่าดำในเนื้อยาง
2) ช่วยเพิ่มการกระจายตัวของสารเพิ่มเนื้อโดยเฉพาะเขม่าดำในเนื้อยาง
3) ช่วยลดความยืดหยุ่นของยางที่ยังไม่ได้ผ่านปฏิกิริยาทำให้คงรูป
4) สามารถทำให้ยางมีความเหนียวติดกันเองดีขึ้น
5) อำนวยความสะดวกในระหว่างการผลิตโดยเฉพาะด้านการเตรียมตัวอย่างใส่ในแม่แบบ

2.3.2.5 **สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ** (Protective agents)

ยางเป็นสารอินทรีย์ที่เสื่อมสภาพได้เมื่อตั้งทิ้งไว้หรือขณะใช้งาน การเสื่อมสภาพของยางเกิดเนื่องจากโมเลกุลของยางถูกทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยออกซิเจน หรือโอโซน การเสื่อมสภาพของยางนี้เรียกว่า “Degradation” การเสื่อมสภาพของยางเกิดขึ้นช้ามากถ้าไม่มีตัวเร่ง แต่ในธรรมชาติมีแสงแดด ความร้อน และความไม่บริสุทธิ์ของโลหะ ล้วนเป็นตัวเร่งตามธรรมชาติที่ทำให้ยางเสื่อมสภาพเร็วมากขึ้น นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตช่วงที่มีการอบยาง (Aging) ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงในทุกส่วนของผลิตภัณฑ์ เช่นเกิดรอยแตกที่ผิว ผิวแข็ง และสูญเสียความแข็ง กระบวนการเสื่อมสภาพของยางสามารถแบ่งย่อยออกเป็น 6 แบบ

1) เสื่อมสภาพเนื่องจากตั้งทิ้งไว้นาน (Self aging)
2) เสื่อมสภาพเนื่องจากการกระตุ้นของโลหะที่เป็นตัวเร่ง
3) เสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน (Heat aging)
4) เสื่อมสภาพเนื่องจากแสง (Light aging)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) เสื่อมสภาพเนื่องจากการหักงอไปมา (Flex aging)

6) เสื่อมสภาพเนื่องจากบรรยากาศ (Atmospheric aging)

ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง เพื่อเป็นการป้องกันยางเสื่อมสภาพ เพิ่มความทนทานของยางให้ดีขึ้นไปจากเดิม จำเป็นต้องมีการเติมสารป้องกันยางเสื่อมสภาพ โดยใช้สารแอนตี้ออกซิแดนท์ (Antioxidant) หรือสารแอนตี้โอโซแนนท์ (Antiozonant) ซึ่งสารทั้งสองชนิดทำให้อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ยางนานขึ้น

สารแอนตี้ออกซิแดนท์ เป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพของยาง เนื่องจากออกซิเจนเข้าทำปฏิกิริยากับยาง ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) สารแอนตี้ออกซิแดนท์ สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. สารแอนตี้ออกซิแดนท์ชนิดตกสี (Staining antioxidant)

สารแอนตี้ออกซิแดนท์ชนิดตกสี เป็นสารประกอบเอมีน หรืออนุพันธ์ของเอมีน เป็นสารที่มีประสิทธิภาพสูง แต่เมื่อใช้ทำผลิตภัณฑ์ยางจะมีสีคล้ำ หรือตกสี นิยมใช้กับยางที่มีสีดำ สารแอนตี้ออกซิแดนท์ชนิดนี้ สามารถแบ่งเป็น 3 ชนิดคือ

1) Ketone-amine Condensates
2) Aldehyde-amine Condensates
3) Secondary Aromatic Amine

2. สารแอนตี้ออกซิแดนท์ชนิดไม่ตกสี (Non-staining antioxidant)

สารแอนตี้ออกซิแดนท์ชนิดไม่ตกสี เป็นสารแอนตี้ออกซิแดนท์ที่เป็นสารประกอบฟีนอล (Phenol) หรืออนุพันธ์ของฟีนอล ใช้กับยางทั่วไปที่ไม่มีสีดำ ไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์ยางมีสีตก และเปลี่ยนสียาง

สารแอนตี้ออกซิแดนท์ชนิดนี้สามารถแบ่งเป็น 4 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.6 **สารคู่ควบ** (Coupling agents) [3]

สารคู่ควบ เป็นตัวช่วยยึดระหว่างสารตัวเติมกับยางให้ยึดกันได้ดีขึ้นทำให้คุณสมบัติทางฟิสิกส์ดีขึ้น เช่น ไซเลน (Silane) ผลของไซเลนทำให้มอดุลัส ความต้านทานต่อการสึกหรอ การเปลี่ยนรูปถาวรของยางที่ใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติมดีขึ้นอย่างมาก

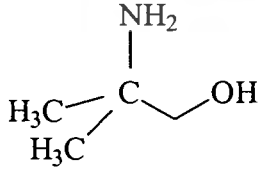
ไซเลนเป็นสารที่มีสูตรทั่วไปเป็น R'-Si-$(OR)_3$-R' เป็นหมู่อะมิโนเมอร์แคบโต ไวนิล อีพอกซี หรือ Methacryloxy เป็นต้น –OR เป็นหมู่ Alkoxy ในการใช้งาน Alkoxy จะถูกไฮโดรไลซ์เกิดเป็นไซลานอล

ไซลานอล

ไซลานอลจะไปเกาะอยู่กับสารตัวเติมชนิดอนินทรีย์ เช่น ผิวของซิลิกา เคลย์ (Clay) หรือโลหะออกไซด์ เป็นต้น ส่วนอีกด้านหนึ่งคือ R' จะไปทำปฏิกิริยากับยาง ดังนั้น ไซเลนจึงทำหน้าที่เป็นตัวยึดหรือประสานให้ยางกับสารตัวเติมอนินทรีย์มาเกาะกัน วิธีใช้ไซเลนทำโดยผสมสารตัวเติมกับไซเลนแล้วจึงค่อยผสมกับยาง หรืออาจเอาไซเลนใส่เข้าไปในยางขณะผสมกับสารตัวเติมก็ได้ เช่น γ-Aminopropyltrimethoxy Silane ($H_2NC_3H_6Si(OC_2H_5)$) β-Mercaptoethyltriethoxy Silane ($HSC_2H_2Si(OC_2H_6)_3$)

2.3.2.7 **สารที่ใช้ในการทำความสะอาดแม่แบบ** (Cleaning agents) [5]

สารที่ใช้ในการทำความสะอาดแม่แบบ ได้แก่ อะมิโนเมทิลโพรพานอล (2-Amino-2-Methyl-1-Propanol; AMP) สูตรโมเลกุล คือ $C_4H_{11}NO$ โครงสร้างของ (2-Amino-2-Methyl-1-Propanol; AMP) แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้าง (2-Amino-2-Methyl-1-Propanol; AMP) [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติบางประการของ AMP แสดงได้ดังนี้

- น้ำหนักโมเลกุล 89.14
- ความถ่วงจำเพาะ 0.934
- จุดเดือด 165 ^{o}C
- จุดหลอมเหลว 30-31 ^{o}C
- มีความเป็นเบส

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

AMP สามารถทำปฏิกิริยากับทองแดง ทองเหลือง และอลูมิเนียม แต่ไม่ทำปฏิกิริยากับเหล็ก และโลหะ

ประโยชน์ของ AMP

1. ใช้ในการสังเคราะห์แอกทีฟ เอเจนท์ (Active-agent)
2. เป็นองค์ประกอบของยางคอมปาวด์ทำความสะอาด (Cleaning compound)
3. เป็นตัวเร่งในการเชื่อมโยง
4. ยับยั้งการกัดกร่อนของโลหะ โดย AMP จะดูดซับ CO_2 และลดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ของเหล็ก
5. ช่วยรักษา pH และความหนืดให้คงที่
6. ช่วยให้เม็ดสีกระจายตัวได้ดีขึ้น

2.3.2.8 **สารให้สี** (Pigments) [6]

เป็นสารที่เปลี่ยนสีของผลิตภัณฑ์ให้มีสีสวยงามตามต้องการ สารให้สีที่ใช้ในยางล้างแม่แบบคือ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide; TiO_2)

ไทเทเนียมไดออกไซด์มีลักษณะเป็นผงแป้งละเอียด ผลึกสีขาว ไม่ละลายน้ำหรือตัวทำละลายใด ๆ ไม่เป็นพิษ ไม่ติดไฟ และไม่ว่องไวต่อสารเคมี

ไทเทเนียมไดออกไซด์มีสมบัติทางแสงที่ดีมาก มีความมันเงาสูงเป็นผงแป้งที่มีความสว่างและความทึบแสงดีมาก สามารถกระจายตัวได้ดีและทนต่อสภาวะอากาศสูง

ดังนั้นจึงเลือกใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นสารให้สีกับยางล้างแม่แบบ เพื่อให้ยางมีสีอ่อนขึ้น และสามารถเห็นคราบสกปรกได้ชัดเจน เมื่อทำความสะอาดแม่แบบแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ขนิษฐา ศรีประทุม และ มนต์สุดา บุรารักษ์ [1] โครงงานพิเศษเรื่อง การศึกษายางล้างแม่แบบสำหรับงานอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี สาขาเคมีอุตสาหกรรม ปีการศึกษา 2546 ได้ศึกษาสูตรยางล้างแม่แบบอัดขึ้นรูปสำหรับงานอุตสาหกรรม โดยใช้ยางอีพีดีเอ็มหรือยางเอทิลีนพรอพิลีน (Ethylene-Propylene Rubber; EPDM) และใช้อะมิโนเมทิลโพรพานอล (2-Amino-2-Methyl-1-Propanol; AMP) เป็นสารเคมีที่ใช้ในการทำความสะอาด ใช้ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl peroxide) เป็นสารเชื่อมโยง สูตรที่ได้แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สูตรยางล้างแม่แบบที่ได้ [1]

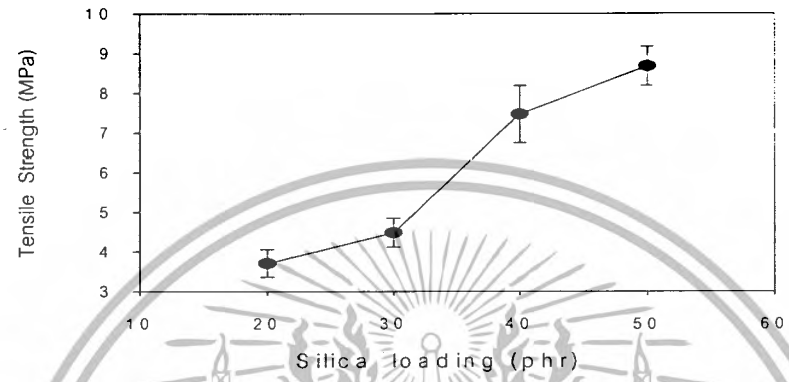
สาร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (ส่วนในร้อยส่วนของยาง ; phr)
EPDM	100
ZnO	5
Stearic acid	1
Silica หรือ Zeolite	20-50*
DCP	7
Paraffinic oil	5
BHT (Antioxidant)	1
SR-350 (Coupling agent)	3
AMP	10-30*
TiO_2	2-10*

หมายเหตุ * คือตัวแปรที่ศึกษา

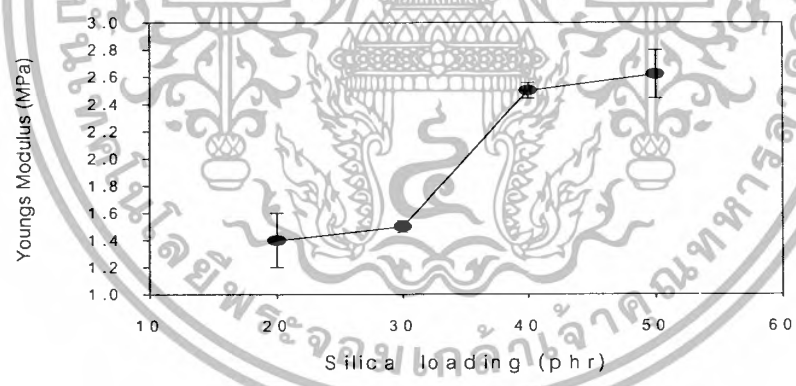
ซึ่งในงานวิจัยจะศึกษาชนิดและปริมาณของสารตัวเติม (Fillers) ได้แก่ ละอองซิลิกา (Fumed silica) และซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอ (Zeolite Na-A) ปริมาณสารที่ใช้ทำความสะอาด อุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูป ปริมาณไททาเนียมไดออกไซด์ที่เหมาะสม และสมบัติต่าง ๆ ของยางล้างแม่แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่ได้ เมื่อใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติมที่ปริมาณต่าง ๆ กัน แสดงได้ดังรูปที่ 2.5 – 2.6



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของยางล้างแม่แบบกับปริมาณละอองซิลิกา [1]



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างยังมอดุลัสของยางล้างแม่แบบกับปริมาณละอองซิลิกา [1]

ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ความแข็งแรงฉีกขาด มอดุลัสที่ 100% 200% และ 300% การยืด และค่าความแข็งกดมีผลการทดลองไปในแนวเดียวกับค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสที่แสดงดังรูปที่ 2.5-2.6

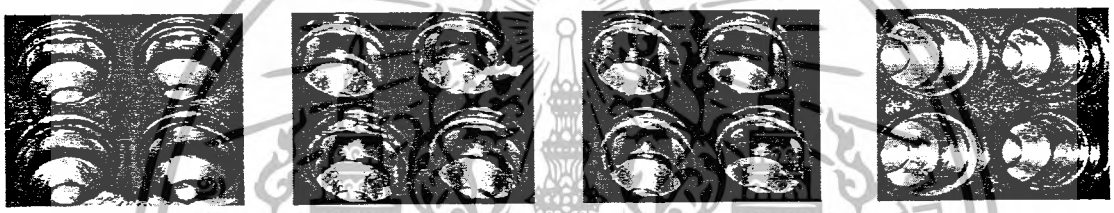
จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของยางล้างแม่แบบพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณซิลิกาที่ใส่ในยางล้างแม่ ทำให้สมบัติเชิงกลของยางดีขึ้น ซึ่งปริมาณของละอองซิลิกา ที่เหมาะสมเท่ากับ 40 phr เพราะถึงแม้เมื่อเติมซิลิกาปริมาณ 50 phr จะให้สมบัติเชิงกลดีกว่า แต่เนื่องจากเมื่อปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิลิกามาก ๆ พบว่ามีความยากในการผสม ส่วนซีโอไลต์ชนิดโซเดียมเอเป็นสารตัวเติมที่ไม่เสริมแรง ซึ่งจะเพิ่มเนื้อเพียงอย่างเดียว และเมื่อเพิ่มปริมาณซีโอไลต์ทำให้สมบัติเชิงกลลดลง และมีค่าน้อยกว่าการใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติม ดังนั้นจึงเลือกซิลิกาที่ปริมาณ 40 phr

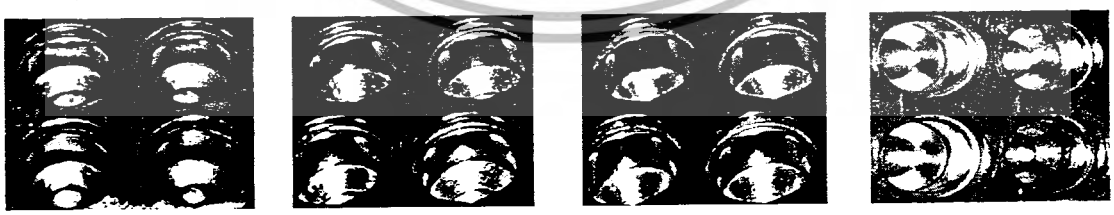
จากการศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปที่ 165 °C และ 175 °C พบว่าอุณหภูมิในการขึ้นรูปที่เหมาะสมคือ 175 °C ซึ่งที่อุณหภูมินี้ AMP สลายตัวได้ดี ทำให้ประสิทธิภาพของสารทำความสะอาดดีขึ้น เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงดีขึ้น และมีสมบัติเชิงกลที่ดี เนื่องจากความหนาแน่นเชื่อมโยงมากขึ้น ยางแข็งขึ้น แต่เปราะ แตกหักง่าย

ผลการทดสอบการทำความสะอาดแม่แบบเมื่อปริมาณ AMP เท่ากับ 20 และ 30 phr



แม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด | แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาด ครั้งที่ 1 | แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาด ครั้งที่ 2 | แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาด ครั้งที่ 3

รูปที่ 2.7 แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP 20 phr เป็นเวลา 3 นาที ที่ 175 °C เทียบกับแม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด [1]



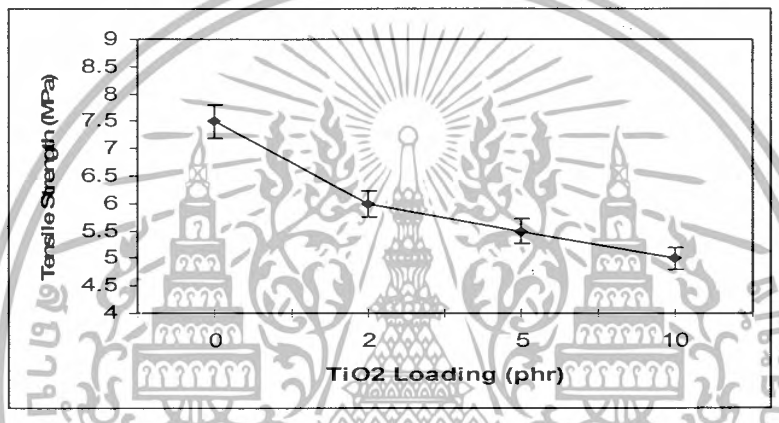
แม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด | **แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาด ครั้งที่ 1** | **แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาด ครั้งที่ 2** | **แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาด ครั้งที่ 3**

รูปที่ 2.8 แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP 30 phr เป็นเวลา 3 นาที ที่ 175 °C เทียบกับแม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาปริมาณ AMP พบว่า ประสิทธิภาพการทำความสะอาดแม่แบบจะดีขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณ AMP แต่มีผลต่อสมบัติเชิงกลบางประการ เช่น มอดุลัส และความแข็งกดลดลง อีกทั้งในการนำไปใช้งานจริงจะต้องคำนึงถึงต้นทุนการผลิตด้วย ดังนั้น ปริมาณ AMP ที่เหมาะสม เท่ากับ 20 phr

การปรับปรุงความขาวของยางล้างแม่แบบ สามารถทำได้โดยเติมไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide; TiO_2) ตัวอย่างผลการทดลองที่ได้ดังรูปที่ 2.9 และตารางที่ 2.5



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของยางล้างแม่แบบกับปริมาณ TiO_2 [1]

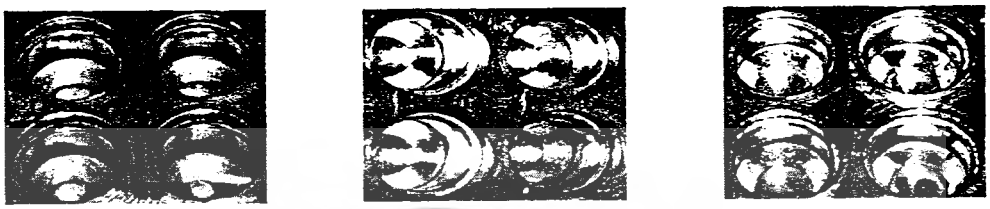
ตารางที่ 2.5 การวัดสีที่ D65/10° ของยางล้างแม่แบบที่เติม TiO_2 ปริมาณต่าง ๆ [1]

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

จากการทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ TiO_2 ยางล้างแม่แบบที่ได้จะมีสีขาวมากขึ้น แต่สมบัติเชิงกลด้อยลงอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจาก TiO_2 เป็นสารตัวเติมที่ไม่เสริมแรง ดังนั้น ปริมาณ TiO_2 ที่เหมาะสมเท่ากับ 2 phr เนื่องจากมีความขาวเพียงพอและไม่ทำให้สมบัติเชิงกลด้อยลงมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำความสะอาดแม่แบบที่ใช้งานได้จริงเมื่อเทียบกับยางทางการค้า ผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 2.10



แม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด | แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางสูตรที่มีปริมาณ AMP 30 phr | แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วย Struktol® MC-A

รูปที่ 2.10 แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP 30 phr และยางล้างแม่แบบทางการค้า (Struktol® MC-A) ที่ผ่านการทำความสะอาด 1 ครั้ง เป็นเวลา 15 นาที ที่ 175 °C เท่ากัน เทียบกับแม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด [1]

จากผลที่ได้พบว่าเมื่อปริมาณ AMP เพิ่มมากขึ้น การทำความสะอาดจะดีขึ้น แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงต้นทุนการผลิตด้วย และเมื่อเปรียบเทียบการทำความสะอาดแม่แบบระหว่างยางผสมสูตรที่มีปริมาณ AMP 30 phr กับยางล้างแม่แบบทางการค้า (Struktol® MC-A) เมื่อใช้เวลาในการทำความสะอาดที่ 15 นาทีเท่ากันพบว่าสามารถทำความสะอาดแม่แบบได้อย่างมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน

Botros S.H. [7] ทำการศึกษาถึงการปรับปรุงความทนทานต่อความร้อนและโอโซนของยางบิวทิล ปรับปรุงโดยนำยาง EPDM ผสมกับยางบิวทิล เนื่องจากยาง EPDM มีโครงสร้างหลักที่เป็นโครงสร้างอิ่มตัวทั้งหมดจึงมีความทนทานต่อความร้อน โอโซน และการเกิดออกซิเดชันที่ดีมาก

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Abdel-Aziz M.M. และ Basfar A.A. [8] ศึกษาการเกิดออกซิเดชันของยาง EPDM ที่เชื่อมโยงโดยการใช้รังสีแกมมา (γ-ray) โดยมีแอนตี้ออกซิแดนท์ชนิดต่างๆ ได้แก่ Pentaerythrityl tetrakis(3,5-di-tert-buty(-4-hydroxyphenyl))propionate (Irganox 1010), Irganox 1035, Irganox1520D, Irganox B561, Irganox B900, Tinuvin 633 LD, N-isopropyl-N-phenyl-p-phenylene diamine (IPPD) และ IPPD ผสมกับ trimethyl quinoline (TMQ) โดยใช้แอนตี้ออกซิแดนท์เหล่านี้ปริมาณ 0.5 phr ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA และ DSC

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DTG (อนุพันธ์ของ TGA) พบว่า Irganox B900 และแอนตี้ออกซิแดนท์ผสมระหว่าง IPPD และ TMQ มีอุณหภูมิที่เกิดการสลายตัวของสารไป 50% (T_{50}) สูงกว่าแอนตี้ออกซิแดนท์ตัวอื่นๆ คือที่ 513 °C และ 507 °C ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากการเกิดโครงสร้างที่เสถียรทางความร้อนขึ้น โดยแอนตี้ออกซิแดนท์จะไปยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน โดยไปรับอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นที่ยางขณะผ่านกระบวนการ และเกิดเป็นอนุมูลอิสระขึ้นมาแทน

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC พบว่า เมื่อเติมแอนตี้ออกซิแดนท์ลงไปในยาง EPDM ที่เชื่อมโยงด้วยการให้ความร้อนจากการฉายรังสี ช่วยปรับปรุงความทนทานต่อการเกิดออกซิเดชัน

โดยแอนตี้ออกซิแดนท์ที่มีความเสถียรทางความร้อนที่ดีที่สุดคือ Irganox B900 และแอนตี้ออกซิแดนท์ผสมระหว่าง IPPD และ TMQ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการวิเคราะห์จากเทคนิค TGA ซึ่งความทนทานต่อการเกิดออกซิเดชันเห็นได้จากค่าเอนทาลปีของการเกิดออกซิเดชันที่ลดลง ดังนั้นจากงานวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่า ความทนทานต่อการเกิดออกซิเดชันสามารถปรับปรุงได้โดยการใช้Irganox B900 และแอนตี้ออกซิแดนท์ผสมระหว่าง IPPD และ TMQ ในปริมาณ 0.5 phr

Ejolle E.E. และ Saeed A.F. [9] ศึกษาระบบการเชื่อมโยงวิธีต่างๆ ได้แก่ ระบบการเชื่อมโยงที่ใช้กำมะถันในปริมาณน้อย (Efficiency vulcanization; EV) ระบบการเชื่อมโยงที่ใช้กำมะถันปกติ (Conventional vulcanization; CV) เปอร์ออกไซด์ (Peroxide) และการใช้ไดยูรีเทน (Diurethane) ที่มีต่อความคงรูปกดอัดของยางธรรมชาติที่อุณหภูมิ 140 °C 160 °C และ 180 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าที่ 140 °C เกิดการสลายตัวทางความร้อนน้อย และไม่เหมาะที่จะเชื่อมโยงด้วยไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ เนื่องจากอุณหภูมิไม่สูงมากพอที่เปอร์ออกไซด์เกิดการสลายตัวในขณะที่เชื่อมโยง ต้องใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นจึงเกิดการเชื่อมโยงที่ดี และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ เวลาการเชื่อมโยง (Cure time) จะลดลง และเกิดการสลายตัวทางความร้อนและเกิดออกซิเดชันได้มากขึ้น โดยเฉพาะการเชื่อมโยงระบบ CV เนื่องจากเกิดเป็นพันธะเชื่อมโยงแบบพอลิซัลฟิดิก (พันธะระหว่างอะตอมของกำมะถัน; S-S bond) และระดับการเชื่อมโยงเท่ากัน พบว่า ยางที่เชื่อมโยงด้วยระบบ EV และเปอร์ออกไซด์ จะมีความคงรูปกดอัดต่ำ เมื่อเทียบกับการเชื่อมโยงด้วยระบบ CV และการใช้ไดยูรีเทน

Poh B.T. และ NG C.C. [10] ศึกษาผลของสารคู่ควบไซเลนที่มีต่อเวลาการเชื่อมโยง (Mooney Scorch time) ของยางธรรมชาติ โดยใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติม ไซเลนที่ศึกษานี้มี 2 ชนิด คือ γ-Mercaptopropyltrimethoxysilane (A-189) และ Bis(triethoxysilylpropyl)tetrasulfide (Si-69) ใช้อุณหภูมิการเชื่อมโยงที่ 110-160 °C พบว่าที่อุณหภูมิการเชื่อมโยงที่ต่ำกว่า 120 °C เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ A-189 ส่งผลให้เวลาก่อนการเชื่อมโยงลดลง ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากหมู่ thiol ซึ่งจะเพิ่มอัตราในการเชื่อมโยง และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Si-69 ส่งผลให้เวลาก่อนการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากความเกะกะของหมู่ Triethoxysilylpropyl ซึ่งหน่วงการเชื่อมโยงให้ช้าลง และที่อุณหภูมิการเชื่อมโยงที่สูงขึ้น เวลาก่อนการเชื่อมโยงไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของไซเลน เนื่องมาจากพลังงานทางความร้อนที่ให้มีค่ามากกว่าพลังงานกระตุ้น

2.5 วิธีการล้างแม่แบบในปัจจุบัน

ในปัจจุบันได้มีวิธีการทำความสะอาดแม่แบบด้วยเทคนิคต่าง ๆ ดังนี้

2.5.1 Struktol® *MC-A* [11]

<u>สมบัติของ Struktol® *MC-A*</u>

- เป็นคอมปาวด์ที่มีสีเหลืองอ่อน
- มีกลิ่นฉุนคล้ายแอมโมเนีย
- ความหนาแน่น 1140 kg/m^3
- เก็บรักษาได้อย่างน้อย 6 เดือน ในที่ปราศจากความชื้น
- ราคาของ Struktol® MC-A คือ 559 บาท ต่อ 1 กิโลกรัม (เม.ย. 2546)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะการขึ้นรูป

อุณหภูมิในการขึ้นรูป	160-195 °C
เวลาในการขึ้นรูป	5-30 นาที
อุณหภูมิในการขึ้นรูปที่เหมาะสม	175 °C ,10 นาที

คำแนะนำในการใช้งานของ Struktol® MC-A

Struktol® MC-A เป็นยางคอมปาวด์ที่มีสมบัติในการกำจัดคราบเคมีที่ตกค้างที่เกิดขึ้นในระหว่างการเชื่อมโยง โดยจะปล่อยหมู่ที่ว่องไวออกมาเพื่อไปดึงคราบเคมีที่ตกค้าง และคราบนั้นจะติดออกมากับยางคอมปาวด์ในระหว่างการเชื่อมโยง

Struktol® MC-A สามารถกำจัดคราบเคมีที่ตกค้างที่เกิดจากยางธรรมชาติหรือยาง SBR ได้ดีกว่าคราบที่เกิดจากยางซิลิโคนหรือยางฟลูออโรอิลาสโตเมอร์ และประสิทธิภาพในการทำความสะอาดยังขึ้นอยู่กับความดัน ชนิดของคราบที่ตกค้าง อุณหภูมิ และเวลาในการขึ้นรูป

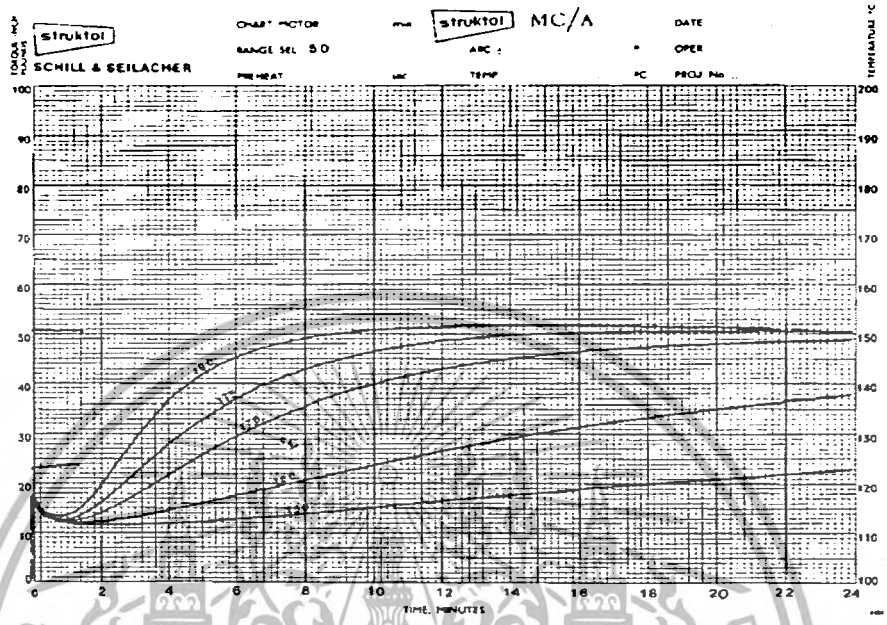
Struktol® MC-A นี้สามารถใช้ได้กับแม่แบบที่ทำจากโลหะผสม ไม่ควรใช้กับแม่แบบที่ไม่ได้ทำจากโลหะ ใช้ Struktol® MC-A ทำความสะอาดในบริเวณที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวก เนื่องจาก Struktol® MC-A มีกลิ่นฉุน หลังจากทำความสะอาดแม่แบบด้วย Struktol® MC-A แล้วควรทิ้งยางคอมปาวด์นี้ลงในน้ำทันที เพื่อเป็นการกำจัดกลิ่นฉุน

การเก็บรักษา

- ควรเก็บในสภาวะที่แห้งและเย็น
- ควรหลีกเลี่ยงการสัมผัสกับผิวหนังและดวงตา

กราฟการเชื่อมโยงของ Struktol® MC-A แสดงดังรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 กราฟการเชื่อมโยงของ Struktol® MC-A [11]

2.5.2 Super Clean® และ Super Wax® [12]

ส่วนประกอบของ Super Clean® และ Super Wax® มีดังนี้

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

<u>หน้าที่ของแต่ละส่วนประกอบ</u>

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 สมบัติทางกายภาพของ Super Clean® และ Super Wax®

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 2.7 สภาวะที่แนะนำในการใช้ขึ้นรูปสำหรับ Manual Mold

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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 สภาวะที่แนะนำในการใช้ขึ้นรูปสำหรับ Auto Mold

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	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

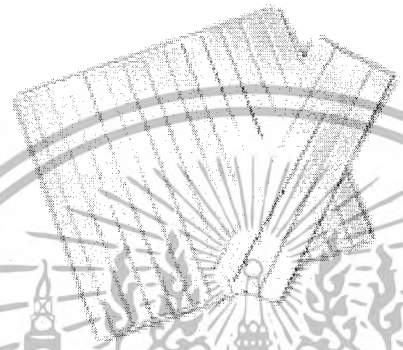
1. อุณหภูมิของการเก็บ : เก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 °C
2. อายุเวลาของสินค้าที่สภาวะอุณหภูมิห้อง : ภายใน 4 วันหลังออกจากห้องเย็น
3. อายุของสินค้านับจากวันผลิต : 12 เดือน ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 °C

การทำความสะอาดแม่แบบด้วย Super Clean® และ Super Wax® ควรทำในบริเวณที่มีอากาศถ่ายเทสะดวกเพื่อกำจัดกลิ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 Elastowet® [13]

Elastowet® เป็นยางคอมปาวด์ที่ใช้ในการทำความสะอาดแม่แบบ องค์ประกอบหลักในยางคอมปาวด์นี้คือ ยางธรรมชาติ



รูปที่ 2.12 Elastowet® [13]

สมบัติของ Elastowet®

- ลักษณะ	เป็นสีชมพู
- ความถ่วงจำเพาะ	1.1 - 1.3
- ขนาด	ยาว 100 – 550 มิลลิเมตร
	กว้าง 6 – 8 มิลลิเมตร
	หนา 3 – 10 มิลลิเมตร

Elastowet® สามารถปรับให้เหมาะสมกับโพรงแบบ (Cavity) ในแม่แบบได้ง่าย มีขั้นตอนการใช้งานง่าย ไม่ต้องทำการให้ความร้อนก่อนใช้งาน มีเวลาในการเชื่อมโยงสั้นจึงลดเวลาในการทำความสะอาดแม่แบบลงได้ ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการผลิตสูงและใช้ต้นทุนในการทำความสะอาดต่ำ ไม่มีสารประกอบที่เป็นอันตราย จึงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

2.5.4 Glo-mold® [14]

Glo-mold® เป็นยางคอมปาวด์ทำความสะอาดแม่แบบ

เทคนิคที่ใช้ในการทำความสะอาดด้วย Glo-mold® คือ การฉีด (Injection) การกดอัด (Compression) และการอัดแบบถ่ายโอน (Transfer molding)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของ Glo-mold®

สารประกอบที่ว่องไว (Reactive Ingredients) จะแพร่เข้าไประหว่างชั้นคราบสกปรก ทำให้คราบสกปรกหลุดออกมาติดที่ยางคอมปาวด์ ประสิทธิภาพการทำงานของหมู่ว่องไวนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของคราบสกปรก เวลา อุณหภูมิ และความดันที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป ถ้าอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปสูง หมู่ว่องไวนี้จะทำงานได้ดีขึ้น แพร่เข้าไประหว่างชั้นของคราบสกปรกได้เร็วขึ้น ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการทำความสะอาดสั้นลง

สภาวะที่แนะนำในการใช้ Glo-mold®

- ใช้เวลาในการทำความสะอาด 2 – 20 นาที
- ใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 137.8 – 232.2 °C (280 – 450 °F)
- ใช้ความดันสูงสุด

ก่อนทำความสะอาด **หลังทำความสะอาด**

รูปที่ 2.13 แม่แบบก่อนและหลังทำความสะอาดด้วย Glo-mold® [14]

Glo-mold® สามารถใช้ได้กับแม่แบบที่ทำจากโลหะ สเตนเลส สตีล (Stainless steel) โครเมียม (Chromium) อะลูมิเนียม (Aluminium) ไม่ควรใช้ Glo-mold® กับแม่แบบที่ทำจากทองเหลือง

การเก็บรักษา

- ควรเก็บ Glo-mold® ไว้ที่อุณหภูมิห้อง
- หลีกเลี่ยงการสัมผัสกับผิวหนังและดวงตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.5 **แผ่นทำความสะอาดแม่แบบที่เคลือบด้วยสารกึ่งตัวนำ** [15]

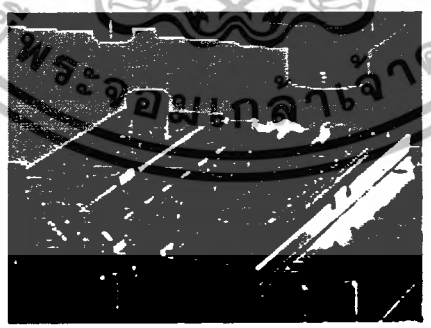
แผ่นทำความสะอาดแม่แบบนี้ ผลิตจากยางและมีความสามารถในการทำความสะอาดได้จริง

การอัดแบบถ่ายโอนนิยมใช้สารกึ่งตัวนำในการกำจัดเรซินที่สกปรก อย่างไรก็ตาม ในกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่อง เรซินที่สกปรกก็ยังหลงเหลืออยู่ในแม่แบบ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเรซินบางส่วนบนแม่แบบ ทำให้ความสามารถในการกำจัดเรซินที่สกปรกออกลดลง Nitto Denko Cleaning Sheet (NCS) ผลิตจากยางที่ยังไม่เกิดการเชื่อมโยง ซึ่งจะเกิดพันธะกับเรซินที่สกปรก เมื่อทำการอัดขึ้นรูป

ลักษณะเฉพาะ

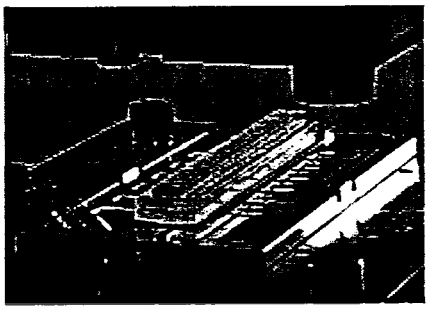
- สามารถใช้ได้ทันทีตามสภาวะการขึ้นรูป โดยไม่ต้องให้ความร้อนก่อน
- ทำงานได้อย่างดีเยี่ยม
- ทำความสะอาดได้ดี ซึ่งเห็นได้จากการติดสิ่งสกปรกออกมา

<u>ขั้นตอนการทำความสะอาด</u>

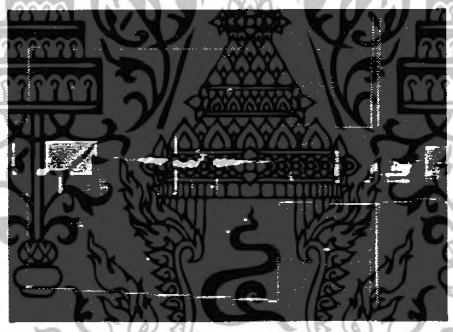


1. แม่แบบก่อนทำความสะอาด

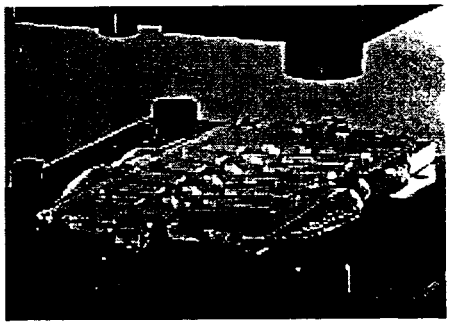
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2. วางแผ่นยางทำความสะอาดตัดแผ่นยางทำความสะอาดให้มีขนาดเหมาะสมกับโพรงแบบของแม่แบบ และวางยางที่ตัดแล้วไว้ตรงกลางโพรงแบบของแม่แบบ (เพื่อกำจัดอากาศในโพรงแบบ ระวังอย่าวางคลุมโพรงแบบทั้งหมด)

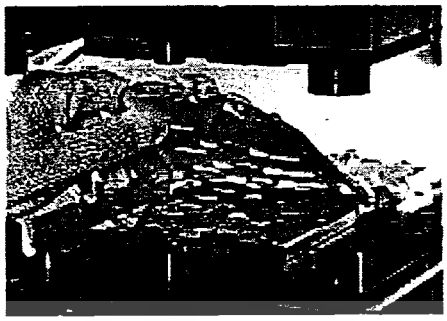


3. ทำการอัดขึ้นรูป โดยให้ระยะห่างระหว่างแม่แบบบนและล่างห่างกัน 1 – 2 mm เพื่อป้องกันแผ่นทำความสะอาดล้นออกมา ทำให้การอัดขึ้นรูปสมบูรณ์

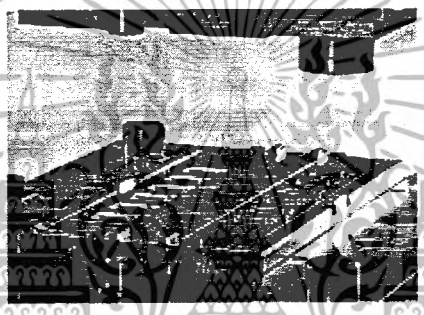


4. เปิดแม่แบบหลังจากการอัดเสร็จสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



5. นำแผ่นทำความสะอาดออกจากแม่แบบ



6. แม่แบบหลังจากทำความสะอาดแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการดำเนินการ

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยต่อเนื่องจากโครงงานพิเศษ สาขาเคมีอุตสาหกรรม ปีการศึกษา 2546 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เรื่อง การศึกษายางล้างแม่แบบสำหรับงานอุตสาหกรรม โดย นางสาวขนิษฐา ศรีประทุม และ นางสาวมนต์สุดา บุรารักษ์ ซึ่งมี รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ร่วมกับบริษัท เอส.เค.โพลิเมอร์ จำกัด ซึ่งจะทำการศึกษาสูตรยางที่ได้จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาใช้ผลิตยางล้างแม่แบบและปรับปรุงสมบัติของยางล้างแม่แบบให้ดีขึ้น ขั้นตอนในการทำการวิจัยมีดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ออกสูตรยางล้างแม่แบบ
3. ศึกษาชนิดของสารแอนตี้ออกซิแดนท์ (Antioxidant) ที่มีผลต่อสมบัติของยางล้างแม่แบบ

   สารแอนตี้ออกซิแดนท์ ที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่

   1. 2-6-Di-Tert-Butyl-4-Methyl-Phenol ;BHT
   2. Butylated ;Wingstay® L
4. ศึกษาชนิดของสารตัวเติม (Filler) ที่มีผลต่อสมบัติของยางล้างแม่แบบ สารตัวเติมที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่

   1 . ซิลิกาชนิดตกตะกอน (Precipitated silica) Hi-Sil® 255 และ Hi-Sil® 233
   2. ซิลิกาชนิดมีรูพรุน (Porous silica) Hi-Sil® HOA
5. ศึกษาสมบัติของยางล้างแม่แบบที่ได้ เมื่อขั้นตอนในการผสมยางคอมปาวด์ต่างกัน
6. ทำการผสมและอัดขึ้นรูปยางล้างแม่แบบ

   ทำการผสมยางล้างแม่แบบด้วยเครื่องผสมระบบเปิดแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) และทำการอัดขึ้นรูปยางล้างแม่แบบด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine) รุ่น LP20
7. การทดสอบสมบัติของยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้

   1. การทดสอบสมบัติเชิงกล

      - การทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile test) ตามมาตรฐาน ASTM D412

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การทดสอบความแข็งแรงฉีกขาด (Tear test) ตามมาตรฐาน ASTM D624
- การทดสอบความแข็งแรงกด (Hardness test) ตามมาตรฐาน ASTM D2240

2. การทดสอบสมบัติการทำความสะอาด

3. การทดสอบการวัดสี

4. ศึกษาระยะเวลาในการเก็บรักษา

5. การศึกษาสัณฐานวิทยา

8. การวิเคราะห์ต้นทุน

ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ตอนหลักๆ ด้วยกัน คือ

ตอนที่ 1 ศึกษาชนิดของสารแอนตี้ออกซิแดนท์ ที่มีผลต่อสมบัติของยางล้างแม่แบบ

ตอนที่ 2 ศึกษาชนิดของสารตัวเติม ที่มีผลต่อสมบัติของยางล้างแม่แบบ

ตอนที่ 3 ศึกษาสมบัติของยางล้างแม่แบบที่ได้ เมื่อขั้นตอนในการผสมยางคอมปาวด์ต่างกัน

3.2 สารเคมีและอุปกรณ์

สารเคมี

1. ยางเอทิลีนพรอพิลีน (Ethylene-propylene rubber; EPDM) เกรดการค้า MITSU EPT® 3045 บริษัท Onlx Limited Co.,Ltd. สมบัติบางประการของ EPDM มีดังนี้

   Mooney viscosity ML1+4(100°C) 40

   Ethylene content normal

2. ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide) เกรดการค้า บริษัท Global Chemical Co.,Ltd.
3. กรดสเตียริก (Stearic acid) บริษัท Kijpaiboon Chemical Co.,Ltd.
4. ซิลิกาชนิดตกตะกอน (Precipitated silica) Hi-Sil® 255 บริษัท Tokuyama Siam Silica Co.,Ltd. สมบัติบางประการของซิลิกา แสดงดังตารางที่ 3.1
5. ซิลิกาชนิดตกตะกอน (Precipitated silica) Hi-Sil® 233 บริษัท Tokuyama Siam Silica Co.,Ltd. สมบัติบางประการของซิลิกา แสดงดังตารางที่ 3.2
6. ซิลิกาชนิดมีรูพรุน (Porous silica) Hi-Sil® HOA บริษัท Tokuyama Siam Silica Co.,Ltd. สมบัติบางประการของซิลิกาชนิดมีรูพรุน แสดงดังตารางที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl peroxide; DCP) ความเข้มข้น 40% เกรดการค้า บริษัท Kijpaiboon Chemical Co.,Ltd.
8. แอนตี้ออกซิแดนท์ (2,6-Di-Tert-Butyl-4Methyphenol; BHT) เกรดการค้า บริษัท Technochem Co.,Ltd.
9. แอนตี้ออกซิแดนท์ ชนิดบิวทิวเรเต็ต (Butylated) Wingstay®L เกรดการค้า บริษัท Goodyear Chemicals Europe Co.,Ltd.
10. น้ำมันพาราฟิน (Parafinic oil) บริษัท Union Link Co.,Ltd.
11. โคเอเจนต์ (Co-agent) SR-350 บริษัท Kijpaiboon Chemical Co.,Ltd.
12. สารที่ใช้ทำความสะอาด อะมิโนเมทิลโพรพานอล (2-Amino-2Methyl-1-Propanol; AMP) เกรดการค้า บริษัท Merck Co.,Ltd.
13. ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) เกรดการค้า บริษัท Kijpaiboon Chemical Co.,Ltd.

ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของซิลิกา Hi-Sil® 255 [16]

Analysis item	Unit	Result	Test Method
SiO_2 content	Hydrated basis,%	93.05	ISO 3262-19
pH (5% suspension)	-	6.8	ISO 787/9
Moisture (as packed)	%	5.6	ISO 787/2
Na_2SO_4	%	1.15	X-Ray
Apparent density	g/cm^3	0.314	ISO 787-11
BET Surface Area (5 pt.)	m^2/g	160	ISO 9277

<u>หมายเหตุ</u> ข้อมูลจากผู้ผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 สมบัติบางประการของซิลิกา Hi-Sil® 233 [17]

Analysis item	Unit	Result	Test Method
SiO_2 content	Hydrated basis,%	93.86	ISO 3262-19
pH (5% suspension)	-	6.8	ISO 787/9
Moisture (as packed)	%	4.6	ISO 787/2
Na_2SO_4	%	0.93	X-Ray
Bulk density	g/cm^3	0.239	ISO 787-11
BET surface area (5 pt.)	m^2/g	128	ISO 9277

หมายเหตุ ข้อมูลจากผู้ผลิต

ตารางที่ 3.3 สมบัติบางประการของซิลิกาชนิดมีรูพรุน ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ [4]

Analysis / Test	Unit	Result (s)
pH	-	6.9
Moisture (as packed)	%	5.2
Na_2SO_4	%	0.88
Bulk density	g/cm^3	0.197
BET surface area (5 pt.)	m^2/g	131
Oil absorption	$cm^3/100g$	292

หมายเหตุ ข้อมูลจากผู้ผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>อุปกรณ์</u>

1. เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine) รุ่น LP20 บริษัท แลบเทค เอนจิเนียริ่ง จำกัด
2. เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) บริษัท แลบเทคเอนจิเนียริ่ง จำกัด
3. เครื่องวัดความหนืดแบบมูนนี่ (Mooney viscometer) บริษัท Shimadzu จำกัด Model SMV – 201
4. เครื่องวัดสมบัติการคงรูปของยาง (Rotorless moving rheometer : Curelastometer®) 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. เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine) รุ่น VO-200 ความดัน 200 psi บริษัท Kuemin Machinery Co.,Ltd.
8. เครื่องวัดสี (Color meter) รุ่น Mini Scan® XE plus 6.11 บริษัท Hunter Lab Co.,Ltd.
9. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM) รุ่น 1455 VP บริษัท Leo Co.,Ltd.
10. เครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric analyzer) รุ่น Pyris 1 TGA บริษัท Perkin Elmer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 ศึกษาและเปรียบเทียบชนิดของสารแอนตี้ออกซิแดนท์

การเตรียมยางผสมสูตร [18]

1. ตัดยางและชั่งสารเคมีต่าง ๆ ตามตารางที่ 3.4
2. ทำการผสมยางผสมสูตร เริ่มจากการนำยาง EPDM มาทำการบดย่อย (Mastication) ที่อุณหภูมิประมาณ 60 °C โดยใช้เครื่องบดผสมระบบเปิดแบบสองลูกกลิ้ง (Two- roll mill) จนกระทั่ง ยางพันรอบลูกกลิ้ง ทำการกรีดพับจนกระทั่งยางนิ่ม ใช้เวลาประมาณ 8 นาที
3. ค่อย ๆ เติม ZnO TiO_2 และ BHT หรือ Wingstay® L ลงไประหว่างลูกกลิ้ง แล้วทำการบดผสมโดยกรีดพับยางเพื่อให้เกิดการผสมที่มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในยาง ใช้เวลาประมาณ 3 นาที
4. เติมซิลิกาชนิดตกตะกอนลงไปพร้อม ๆ กับเติมน้ำมัน และ SR-350 เพื่อช่วยให้ง่ายในการบดผสม จากนั้นก็ทำการเติมกรดสเตียริกลงไป กรีดพับยางต่อจนสารเคมีกระจายตัวไปทั่วในยาง ใช้เวลาประมาณ 15 นาที แล้วรีดยางออกเป็นแผ่นหนาประมาณ 3-5 มิลลิเมตร
5. ตัดแผ่นยางผสมสูตรที่ได้เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ 2X2 นิ้ว จำนวน 2 แผ่น นำมาวัดความหนืดแบบมูนนี่ (Mooney viscosity) โดยใช้เครื่องมูนนี่วิสโคมิเตอร์ (Mooney viscometer) กำหนดอุณหภูมิการวัดความหนืดที่ 100 °C โดยหาค่าความหนืด ML 1+4(100 °C) ของยางผสมสูตรก่อนการเชื่อมโยง
6. เติมสารเชื่อมโยง DCP และสารที่ใช้ทำความสะอาด AMP ลงไปในยาง ทำการบดผสมต่อไป โดยการกรีดพับยางจนยางมีความอ่อนตัว และสารเคมีผสมเข้ากับยางเป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้เวลาในขั้นตอนนี้ประมาณ 10 นาที
7. ปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งให้ห่างประมาณ 2-3 มิลลิเมตร แล้วรีดยางออกจากลูกกลิ้ง
8. ตัดแผ่นยางผสมสูตรเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ 2X2 นิ้ว แล้วนำไปทดสอบลักษณะการเชื่อมโยง (Cure characteristic) ด้วยเครื่องวัดสมบัติการคงรูปของยาง เพื่อหาเวลาก่อนการเชื่อมโยง หรือเวลาสกอร์ช (Scorch time ; t_{s2}) และเวลาเชื่อมโยง (Cure time; t_{90})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 สูตรยางล้างแม่แบบที่ใช้ในงานวิจัยตอนที่ 1

สาร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (ส่วนในร้อยส่วนของยาง ; phr)
EPDM	100
ZnO	5
Stearic acid	1
Precipitated silica Hi-Sil® 255	50
DCP	7
Paraffinic oil	5
BHT หรือ Wingstay® L	1
SR-350	3
AMP	20
TiO_2	2

3.3.2 ศึกษาและเปรียบเทียบชนิดของสารตัวเติม

จากการศึกษาชนิดของสารแอนตี้ออกซิแดนท์ นำสูตรยางที่ได้มาเปรียบเทียบชนิดของสารตัวเติมระหว่าง ซิลิกาชนิดตกตะกอน (Precipitated silica) Hi-Sil® 255 Hi-Sil® 233 และซิลิกาชนิดมีรูพรุน (Porous silica) Hi-Sil®HOA ออกสูตรยาง และทำการผสมยางคอมปาวด์ ซึ่งสูตรยางที่ได้แสดงในตารางที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

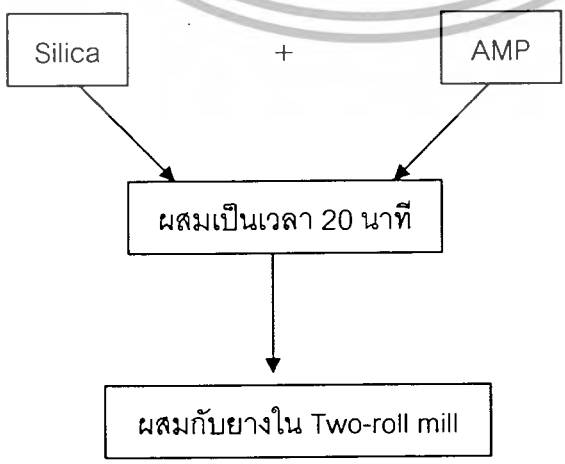
ตารางที่ 3.5 สูตรยางล้างแม่แบบที่ใช้ในงานวิจัยตอนที่ 2

สาร	อัตราส่วนโดยน้ำหนัก (ส่วนในร้อยส่วนของยาง ; phr)
EPDM	100
ZnO	5
Stearic acid	1
Precipitated silica หรือ Porous silica	50
DCP	7
Paraffinic oil	5
Wingstay® L	1
SR-350	3
AMP	20
TiO_2	2

3.3.3 ศึกษาและเปรียบเทียบขั้นตอนในการผสมยางคอมปาวด์ล้างแม่แบบ

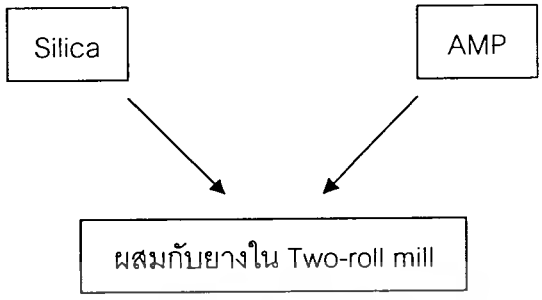
จากการศึกษาชนิดของสารตัวเติมทำการทดลองเหมือนเดิม แต่เปลี่ยนขั้นตอนในการเติม AMP โดยนำ Silica ทั้ง 3 ชนิดผสมกับ AMP ก่อนที่จะนำไปผสมเป็นยางคอมปาวด์ ดังรูปที่ 3.1

แบบ A



แบบ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แบบ B

รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนในการผสมยางคอมปาวด์ล้างแม่แบบ

3.3.4 การศึกษาสมบัติของยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้

3.3.4.1 การศึกษาสมบัติเชิงกลของยางล้างแม่แบบ

3.3.4.1.1 การทดสอบแรงดึง (Tensile test)

ด้วยเครื่อง Universal Tester ตามมาตรฐาน ASTM D412 โดยเตรียมชิ้นงานตัวอย่างรูปดัมเบลล์ (Dumbell shape) กำหนดสภาวะเครื่อง ทดสอบดังนี้

ความเร็วในการดึงยืด	500	มิลลิเมตรต่อนาที
ความยาวเกจหรือความยาวเริ่มต้น (Gauge length)	25	มิลลิเมตร
ค่าแรงสูงสุดที่เครื่องรับได้	5	กิโลนิวตัน
จำนวนชิ้นงานตัวอย่างที่ทดสอบ	5	ชิ้นงาน

ผลการทดสอบที่ได้นำมาหาค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้

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

$$\text{ความแข็งแรงดึง} = F/A \qquad \text{.....(3.1)}$$

เมื่อ F = แรงที่ใช้ในการดึง ณ จุดขาด (N)

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน (mm^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด = $(I - I_0) / I_0 \times 100$ .....(3.2)

เมื่อ I = ความยาวสุดท้ายของชิ้นงาน (mm)

I_0 = ความยาวเริ่มต้นของชิ้นงาน (mm)

3. มอดุลัสของยาง (Rubber modulus) เป็นค่าความเค้น (Stress) ที่เปอร์เซ็นต์ความเครียด 100 (R100) 200 (R200) และ 300 (R300)

3.3.4.1.2 การทดสอบความแข็งแรงฉีกขาด (Tear test)

ด้วยเครื่อง Universal Tester ตาม มาตรฐาน ASTM D624 โดยเตรียมชิ้นงานตัวอย่างรูปปีกนกตามมาตรฐาน ASTM Die C กำหนด สภาวะเครื่องทดสอบดังนี้

ความเร็วในการดึงยืด	500	มิลลิเมตรต่อนาที
ความแรงสูงสุดที่เครื่องรับได้	5	กิโลนิวตัน
จำนวนชิ้นงานตัวอย่างที่ทดสอบ	5	ชิ้นงาน

3.3.4.1.3 การทดสอบความแข็งกด (Hardness test)

นำชิ้นงานที่เตรียมได้มาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งกดแบบน้ำหนักคงที่ (Dead load hardness tester) ชนิด Shore A ที่อุณหภูมิห้องตามมาตรฐาน ASTM D2240 ซึ่งอ่าน ค่าความแข็งกดได้โดยตรงจากเครื่องจากการกดที่ตัวอย่างหนาอย่างน้อย ¼ นิ้ว รายงานผลเป็น ค่าเฉลี่ย จากการทดสอบ 10 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่าง

3.3.4.2 <u>การทดสอบสมบัติการทำความสะอาดกับแม่แบบที่ใช้งานจริง</u>

3.3.4.2.1 นำยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้ในแต่ละสูตรมาอัดกับแม่แบบที่ใช้งานจริงด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปยางรุ่น VO-200 เป็นเวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิ 175 °C และทำซ้ำจนแม่แบบสะอาด

3.3.4.2.2 เปรียบเทียบความสะอาดของแม่แบบที่ทำความสะอาดด้วยยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้ในแต่ละสูตร ที่อุณหภูมิ 175 °C เป็นเวลา 5 นาที เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4.3 การศึกษาสัณฐานวิทยาของยางล้างแม่แบบ

ศึกษาสัณฐานวิทยาของยางล้างแม่แบบ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM) โดยดูจากภาพตัดขวางตัวอย่างที่แตกหักที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic fracture) สามารถเตรียมตัวอย่างได้ดังนี้

- นำยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้มาหักที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic crack) โดยแช่ชิ้นงานในไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) เป็นเวลา 20 นาที แล้วหักชิ้นงานเป็นชิ้นเล็ก ๆ โดยอย่าให้รอยที่หักถูกสัมผัส
- ทำการเคลือบชิ้นงานด้วยทองคำ
- นำชิ้นงานไปศึกษาสัณฐานวิทยาด้วย SEM

3.3.4.4 การวัดสี

นำยางที่อัดทำความสะอาดแล้วมาวัดสีเพื่อดูสีที่เปลี่ยนแปลงไปจากสีของยางล้างแม่แบบเริ่มต้น โดยใช้ความสว่างของแสงที่ D65/10° เริ่มจากการวัดสีของยางล้างแบบที่ยังไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด จากนั้นนำยางล้างแม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 มาวัดสีเพื่อเปรียบเทียบความสกปรกในแต่ละครั้ง โดยวัดออกมาในค่า

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

เมื่อ ΔE^{*} = ความเข้มของสีที่เปลี่ยนแปลงไป

L^{*} = ความสว่าง

a^{*} = เฉดสีเขียว-แดง โดยค่าลบ คือ สีเขียว และค่าบวกคือสีแดง

b^{*} = เฉดสีน้ำเงิน-เหลือง โดยค่าลบ คือ สีน้ำเงิน และค่าบวกคือสีเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4.5 <u>การศึกษาระยะเวลาในการเก็บรักษา</u>

3.3.4.5.1 นำยางล้างแม่แบบที่ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน เพื่อเก็บรักษาใน 2 สภาวะ ดังนี้คือ

- สภาวะที่ 1 เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง
- สภาวะที่ 2 เก็บไว้ที่ 10 $^{\circ}$C

3.3.4.5.2 นำยางล้างแม่แบบทั้ง 2 สภาวะมาทดสอบ TGA ทุกๆ 1 เดือน

- ชั่งตัวอย่างยางประมาณ 5 มิลลิกรัม
- อัตราการให้ความร้อน 10 $^{\circ}$C / min
- ช่วงอุณหภูมิ 35-600 $^{\circ}$C

3.3.5 ทำการวิเคราะห์ต้นทุน

โดยเปรียบเทียบต้นทุนวัตถุดิบของยางล้างแม่แบบ สูตรที่มีปริมาณซิลิกาชนิดตกตะกอน Hi-Sil® 255 40 phr 50 phr และ ยางล้างแม่แบบทางการค้า (Struktol® MC-A) ต่อ 1 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 แผนภาพสรุปการดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

ในอุตสาหกรรมยางมักจะประสบปัญหาในเรื่องการทำความสะอาดแม่แบบ วิธีที่ใช้กันทั่วไป คือ การใช้แรงงานคนในการขัด ซึ่งใช้เวลาในการทำความสะอาดนาน ส่งผลให้กำลังการผลิตลดลง ในงานวิจัยนี้จึงได้ผลิตยางคอมปาวด์ล้างแม่แบบขึ้นเพื่อลดเวลาในการทำความสะอาด และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความสะอาดแม่แบบ

ยางคอมปาวด์ล้างแม่แบบนี้มีลักษณะที่ต้องคำนึงถึง ดังนี้

- สามารถเก็บสารที่ใช้ทำความสะอาดได้ เนื่องจากส่วนประกอบที่สำคัญของยางล้างแม่แบบคือ สารที่ใช้ทำความสะอาด ซึ่งจะทำงานได้เมื่อยางเกิดการเชื่อมโยง ดังนั้นยางล้างแม่แบบนี้ต้องสามารถเก็บสารที่ใช้ทำความสะอาดไว้ได้จนถึงยางเกิดการเชื่อมโยง
- มีสมบัติเชิงกลที่ดี สามารถดึงออกจากแม่แบบได้ง่าย เช่น ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงฉีกขาด เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และมอดุลัส เนื่องจากแม่แบบมีลักษณะที่ซับซ้อน
- มีสีอ่อนๆ หรือสีขาว เพื่อที่จะได้เห็นถึงคราบสกปรกที่ติดออกมากับยางล้างแม่แบบได้ง่าย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาชนิดของสารแอนตี้ออกซิแดนท์ (Antioxidants) ที่มีผลต่อสมบัติของยางล้างแม่แบบ ซึ่งได้นำสารแอนตี้ออกซิแดนท์ 2 ชนิด ได้แก่ BHT และ Wingstay® L มาใช้ในการผลิตยางล้างแม่แบบ พร้อมทั้งทำการศึกษาและเปรียบเทียบชนิดของสารตัวเติมที่มีผลต่อสมบัติของยางล้างแม่แบบ โดยสารตัวเติมที่นำมาศึกษาทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ซิลิกาชนิดตกตะกอน(Precipitated silica) เกรด Hi-Sil® 255 เกรด Hi-Sil® 233 และ ซิลิกาชนิดมีรูพรุน (Porous silica) เกรด Hi-Sil® HOA และทำการศึกษาขั้นตอนในการผสมยางคอมปาวด์ แล้วนำยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้มาศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สัณฐานวิทยา สมบัติการทำความสะอาด และอายุการใช้งาน ผลการวิจัยแสดงดังต่อไปนี้

4.1 การศึกษาชนิดของสารแอนตี้ออกซิแดนท์

สารแอนตี้ออกซิแดนท์ (Antioxidants) เป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพของยาง เนื่องจากออกซิเจน เข้าทำปฏิกิริยากับยาง ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) และจากงานวิจัยเรื่อง การศึกษายางล้างแม่แบบสำหรับอุตสาหกรรมปีการศึกษา 2546 [1] ได้ประสบปัญหาบางประการ กล่าวคือ เมื่อเก็บยางล้างแม่แบบไว้เป็นระยะเวลาหนึ่งจะเกิดการเปลี่ยนสีจากสีขาวเป็นสีเหลืองอ่อน ซึ่งคาดว่าอาจเนื่องมาจากการใช้สารแอนตี้ออกซิแดนท์ไม่เหมาะสม ดังนั้น

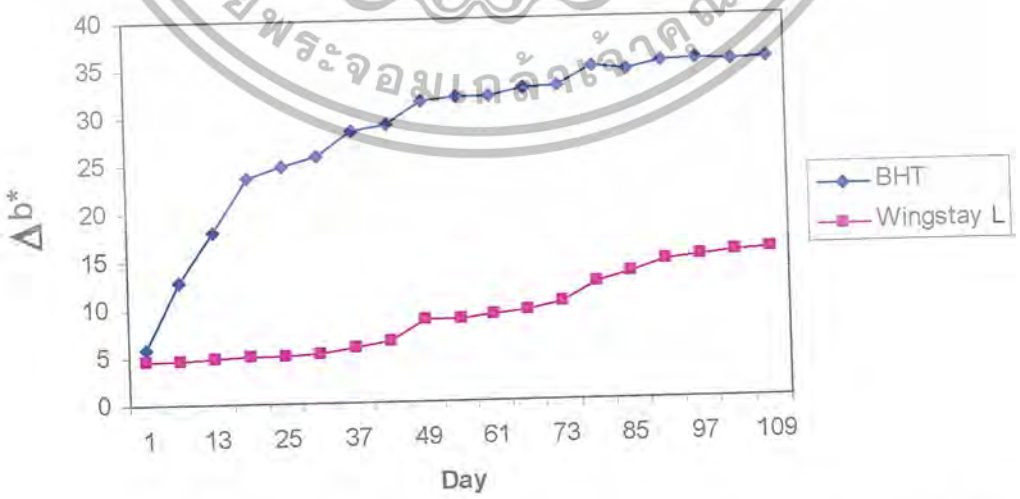
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยนี้จึงทำการปรับเปลี่ยนสารแอนตี้ออกซิแดนท์ จาก BHT เป็น Wingstay® L แล้วทำการศึกษาสมบัติต่าง ๆ คือ สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การเปลี่ยนสี (เหลือง) และสมบัติเชิงกล

จากการศึกษาสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงฉีกขาด ความแข็งกด และเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด พบว่า สมบัติเชิงกลของยางผสมสูตรที่ใช้สารแอนตี้ออกซิแดนท์ทั้งสองชนิดไม่พบความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด

จากการศึกษาการเปรียบเทียบสีของยางล้างแม่แบบเมื่อใช้ BHT และ Wingstay® L เป็นสารแอนตี้ออกซิ-แดนท์ (Antioxidants) โดยในงานวิจัยนี้จะเน้นค่าการเปลี่ยนสีของ Δb^* ซึ่งเป็นค่าที่แสดงเฉดสีน้ำเงิน-เหลือง โดยค่าบวกเป็นค่าแสดงการเพิ่มขึ้นของสีเหลือง จากกราฟที่ได้จะเห็นว่า เมื่อเวลาผ่านไปยางล้างแม่แบบที่ใช้ BHT เป็นสารแอนตี้ออกซิแดนท์จะมีค่า Δb^* เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและเริ่มคงที่เมื่อระยะเวลาผ่านไป แต่ยางล้างแม่แบบที่ใช้ Wingstay® L เป็นสารแอนตี้ออกซิแดนท์จะมีค่า Δb^* เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาผ่านไป ทั้งนี้ค่า Δb^* ที่เพิ่มขึ้นนั้น อาจเกิดเนื่องจาก BHT และ AMP ซึ่ง BHT เป็นสารประกอบประเภทฟีนอล เมื่อสัมผัสกับความชื้นจะทำให้เกิดสีเหลืองขึ้นได้ [19] ส่วน AMP เป็นสารประเภทเอมีนซึ่งจะมีสีเหลืองอ่อน ๆ จึงส่งผลให้ยางคอมปาวด์ที่ใช้ Wingstay® L เป็นสารแอนตี้ออกซิแดนท์จะมีสีเหลืองอ่อน ๆ แต่ยางคอมปาวด์ที่ใช้ BHT เป็นสารแอนตี้ออกซิแดนท์จะมีสีเหลืองเข้มเมื่อระยะเวลาผ่านไป

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ Wingstay® L เป็นสารแอนตี้ออกซิแดนท์ ที่ใช้ผสมในยางล้างแม่แบบ ซึ่งใช้ศึกษาในตอนต่อไป เนื่องจากยางผสมสูตรที่ได้มีเสถียรภาพมากกว่า มีการเปลี่ยนสี (เหลือง) เมื่อเพิ่มระยะเวลาการเก็บน้อยกว่า

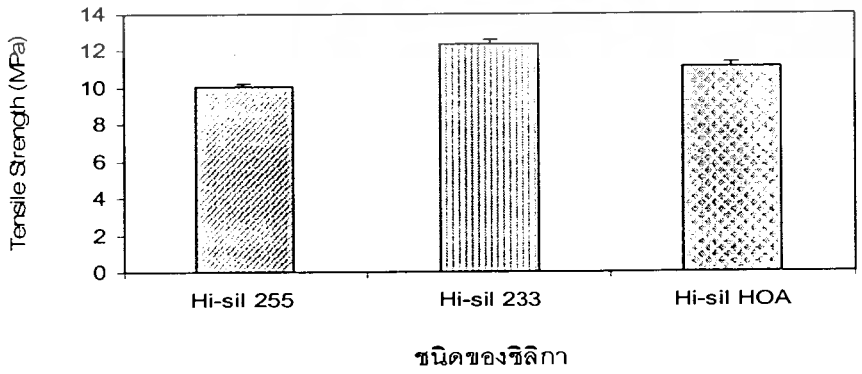


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Δb^* (b^* คือ ค่าที่แสดงเฉดสีน้ำเงิน-เหลือง โดยค่าลบคือ สีน้ำเงิน และค่าบวกคือสีเหลือง) กับระยะเวลาการเก็บยางผสมสูตรที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

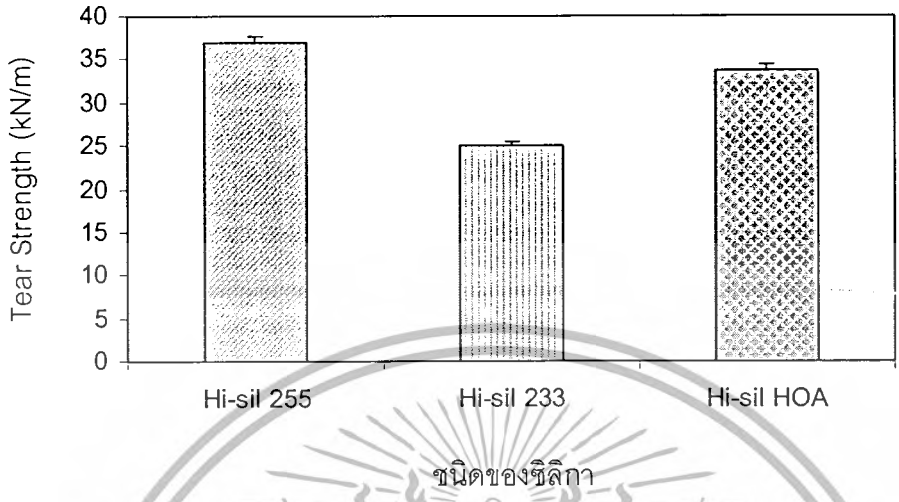
4.2 การศึกษาชนิดของสารตัวเติม (Fillers)

การเลือกใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติม นอกจากจะช่วยลดต้นทุน เนื่องจากมีราคาถูกเมื่อเทียบกับยางสังเคราะห์หลักที่ใช้ (EPDM) ซิลิกาบางชนิดเป็นสารตัวเติมชนิดเสริมแรง (Reinforcing filler) ที่ดีที่สุด เมื่อเทียบกับสารตัวเติมสีไม่ดำอื่น ๆ และยังช่วยปรับปรุงสมบัติบางประการของยาง เช่น ความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) นอกจากนี้ซิลิกายังมีการดูดซับที่ดีซึ่งจะช่วยดูดซับ AMP ที่ใช้เป็นสารทำความสะอาดได้และเพิ่มอายุการเก็บรักษา (Shelf life) ซึ่งขนาดของอนุภาคซิลิกาที่ใช้เรียงตามลำดับ ดังนี้คือ ซิลิกา Hi-Sil® 233 มีขนาดอนุภาคใหญ่สุด รองลงมาคือ Hi-Sil® HOA และ Hi-Sil® 255 ตามลำดับ จากการทดลองหลังจากเตรียมยางล้างแม่แบบโดยใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติมแล้ว นำไปทดสอบสมบัติเชิงกลต่าง ๆ พบว่า ยางล้างแม่แบบที่ใช้ซิลิกา Hi-Sil® 233 เป็นสารตัวเติมจะมีค่าความแข็งแรงดึง ความแข็งกด และมอดุลัสสูงกว่ายางล้างแม่แบบที่ใช้ซิลิกา Hi-Sil® HOA และ Hi-Sil® 255 เป็นสารตัวเติม เนื่องจาก Hi-Sil® 233 มีขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุด ส่งผลให้อนุภาคซิลิกากระจายตัวบนยางได้ดี เพราะมีพื้นที่ผิวสัมผัสกันไม่มาก แรงยึดเกาะระหว่างอนุภาคน้อย จึงไม่ต้องใช้พลังงานมากนักในการจะทำให้อนุภาคกระจายตัวออกจากกัน แต่ซิลิกา Hi-Sil® HOA และ Hi-Sil® 255 ซึ่งมีขนาดอนุภาคที่เล็ก โดยเฉพาะ Hi-Sil® 255 มีขนาดอนุภาคเล็กที่สุดทำให้เกิดการกระจายตัวได้ยาก เพราะมีการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสกันสูงจึงยึดเกาะกันแน่น ซึ่งจะเห็นได้จากสัณฐานวิทยาที่ได้ (รูปที่ 4.16) ส่วนค่าความแข็งแรงฉีกขาด จะเห็นได้ว่า ยางล้างแม่แบบที่ใช้ซิลิกา Hi-Sil® 255 เป็นสารตัวเติมจะมีค่าความแข็งแรงฉีกขาดสูงกว่ายางล้างแม่แบบที่ใช้ซิลิกา Hi-Sil® 233 และ Hi-Sil® HOA ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ความแข็งแรงดึงของยางจะขึ้นอย่างมากกับตำหนิ (Defect) ที่เกิดขึ้นในชิ้นงาน แต่ความแข็งแรงฉีกขาดนั้นตำหนิ (Defect) เกิดขึ้นในชิ้นงานจะไม่มีผลมากนัก ซึ่งความแข็งแรงฉีกขาดนี้เป็นสมบัติเชิงกลที่สำคัญ เพราะส่งผลต่อความสามารถในการดึงยางออกจากแม่แบบหลังการทำความสะอาด

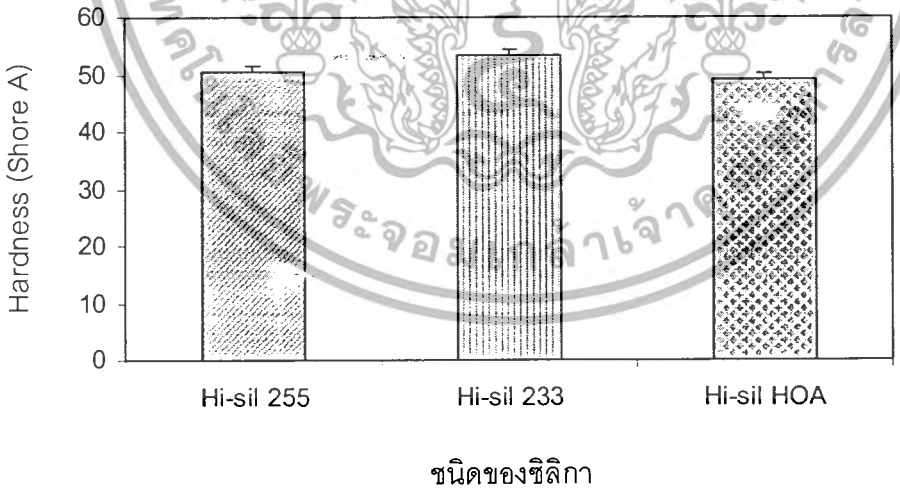


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของยางล้างแม่แบบกับชนิดของซิลิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

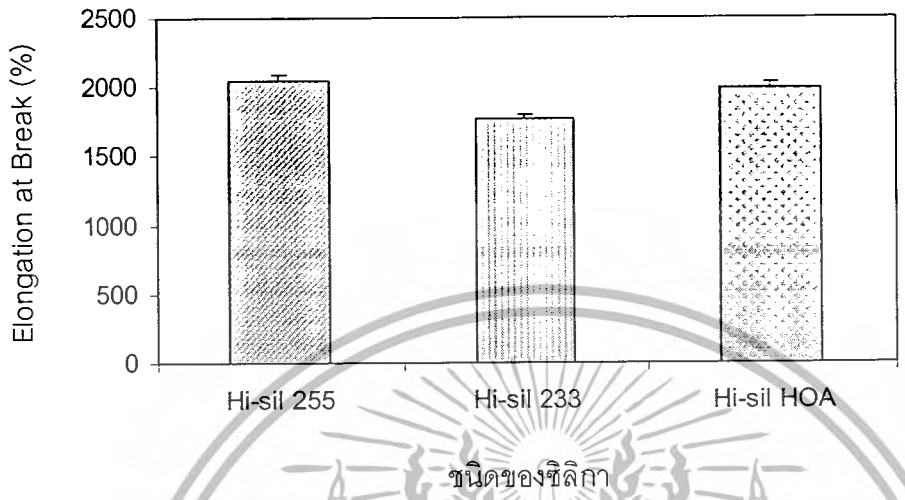


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงฉีกขาดของยางล้างแม่แบบกับชนิดของซิลิกา

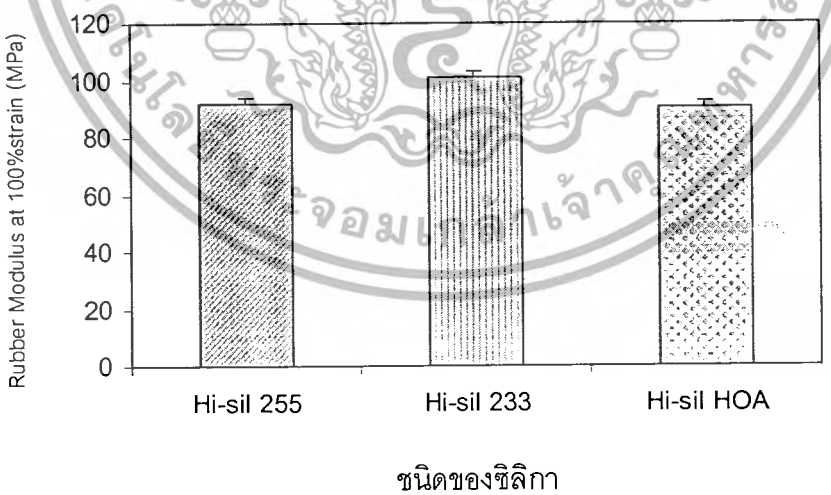


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดของยางล้างแม่แบบกับชนิดของซิลิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

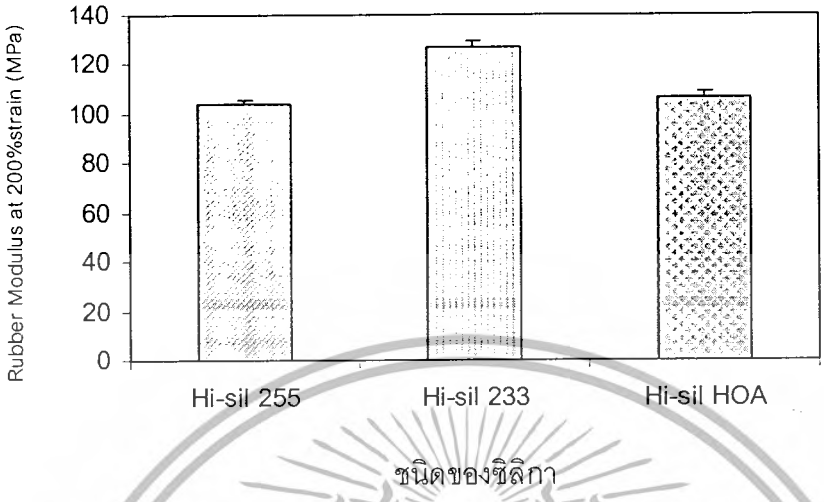


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของยางล้างแม่แบบกับชนิดของซิลิกา

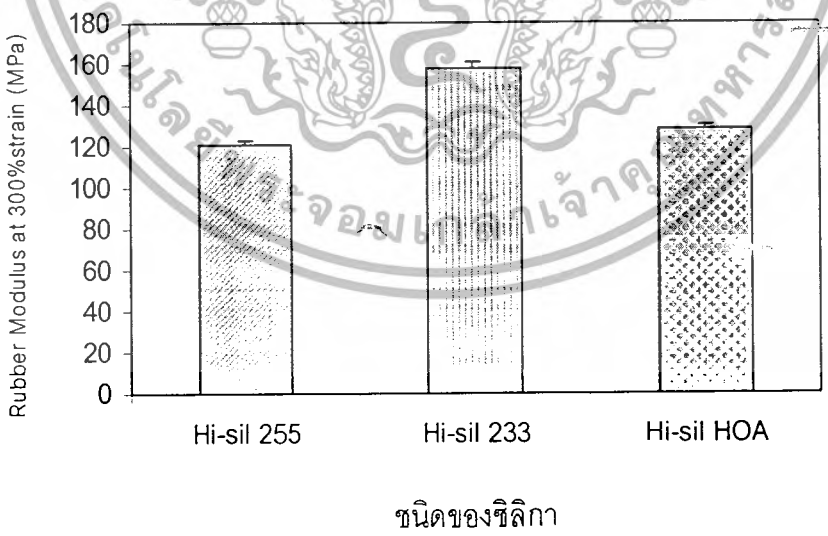


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยางที่ 100 % การยืด (M100) ของยางล้างแม่แบบกับชนิดของซิลิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยางที่ 200 % การยืด (M200) ของยางล้างแม่แบบกับชนิดของซิลิกา

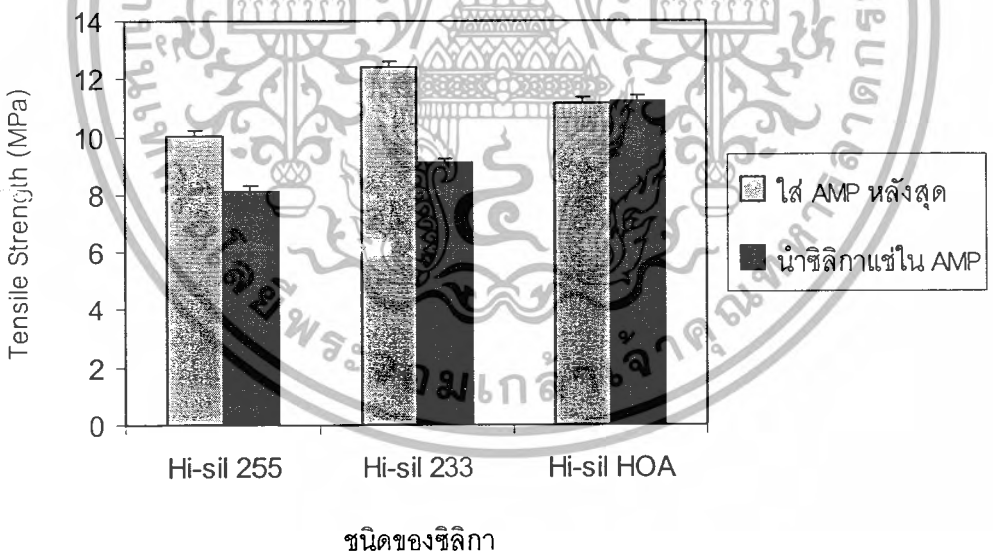


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสของยางที่ 300 % การยืด (M300) ของยางล้างแม่แบบกับชนิดของซิลิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

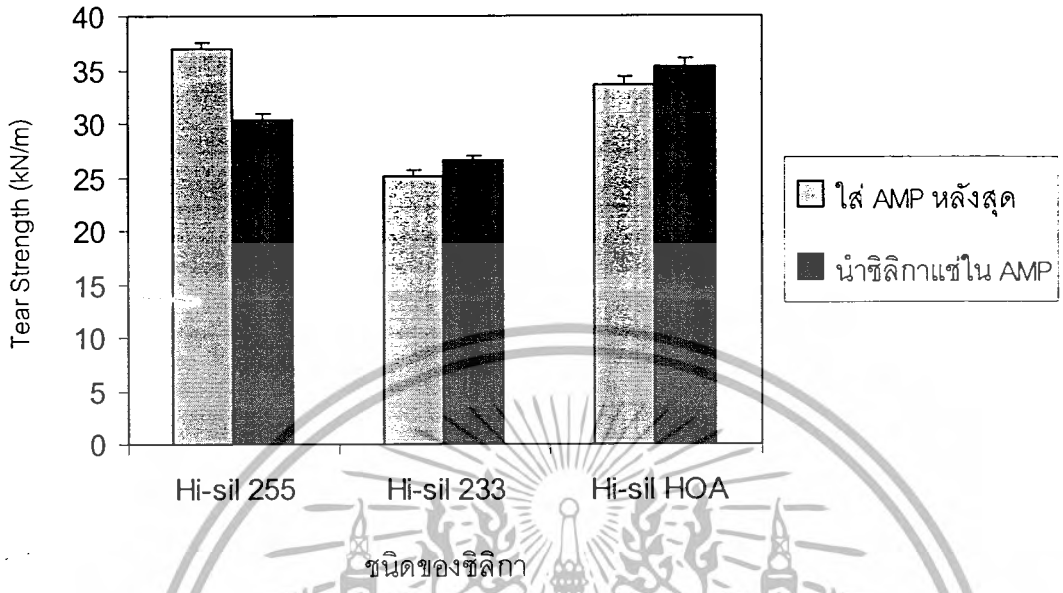
4.3 การศึกษาขั้นตอนในการผสมยางคอมปาวด์ล้างแม่แบบ

จากการที่เปลี่ยนขั้นตอนในการใส่ AMP โดยเปลี่ยนจากการใส่หลังสุด เปลี่ยนมาใส่ในตอนต้นพร้อมกับซิลิกาโดยนำ Silica ทั้ง 3 ชนิดมาผสมใน AMP ก่อนเพื่อให้ซิลิกาสามารถดูดซับ AMP ได้เต็มที่ ก่อนที่จะนำไปผสมเป็นยางคอมปาวด์ จากการศึกษาสมบัติเชิงกลที่ได้ พบว่ายางล้างแม่แบบที่นำซิลิกาไปผสมใน AMP ก่อนนำไปผสมเป็นยางคอมปาวด์ จะมีค่าความแข็งแรงดึงลดต่ำลง ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องมาจาก ซิลิกาซึ่งมีขนาดอนุภาคเล็กทำให้เกิดการกระจายตัวได้ยากและเมื่อนำมาผสมกับ AMP ยิ่งทำให้เกิดการกระจายได้ยากยิ่งขึ้น ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับสัณฐานวิทยา (รูปที่ 4.16) อีกทั้ง AMP บางส่วนอาจระเหยออกไปไม่หมด ส่งผลให้ AMP ที่เหลืออยู่ทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น (Lubricant) และแทรกตัวอยู่ตามเนื้อยาง หรืออาจเกิดจากการระเหยของ AMP ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเนื้อยาง ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นตำหนิ (Defect) บนชิ้นงานได้ ส่วนสมบัติเชิงกลอื่น ๆ ขั้นตอนในการใส่ AMP ไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกลที่ชัดเจนนัก

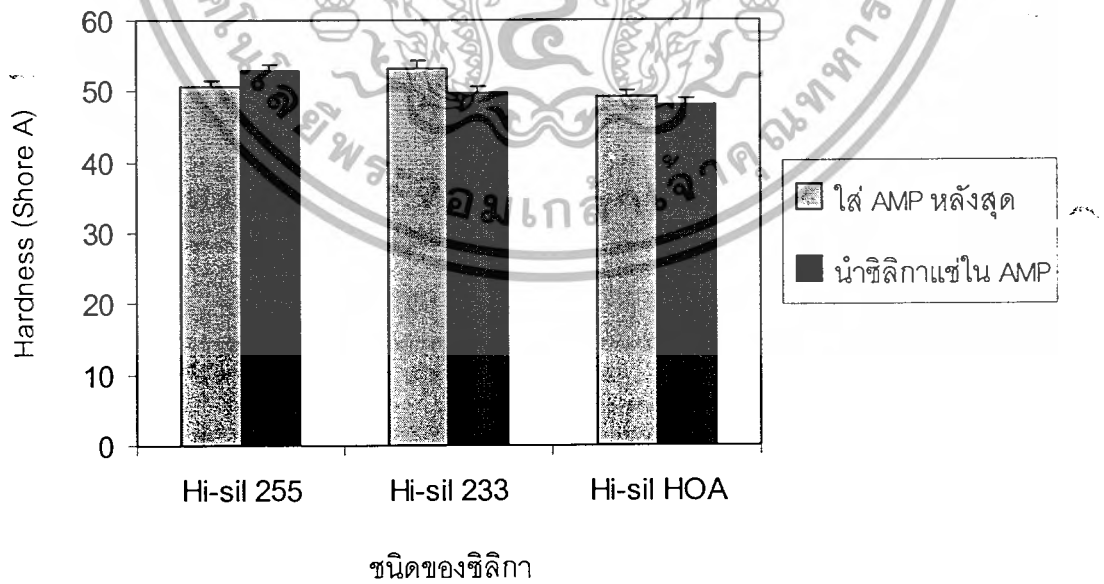


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงของยางล้างแม่แบบกับขั้นตอนในการผสมยางคอมปาวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

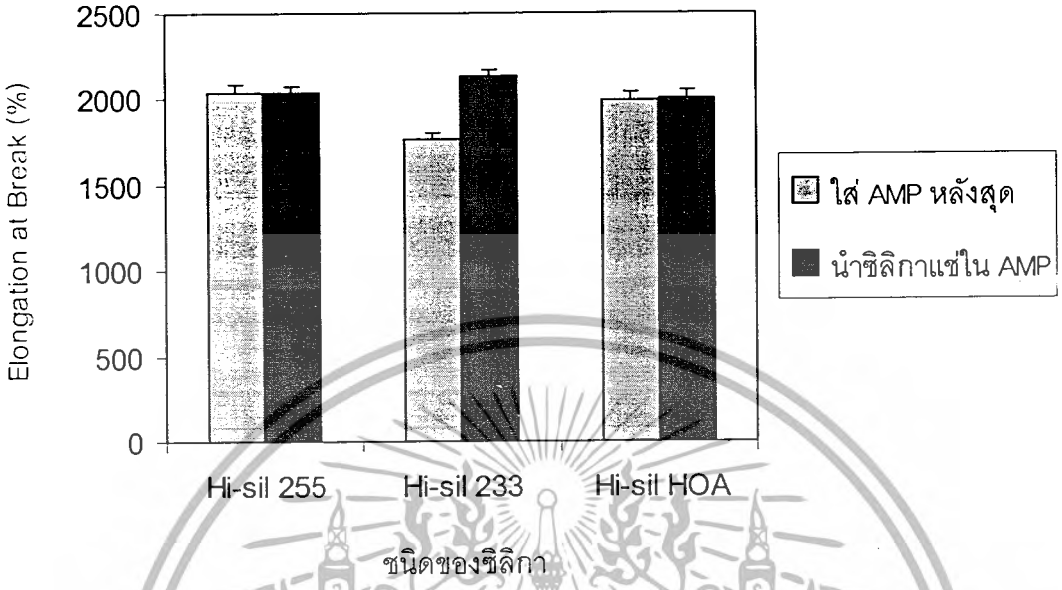


รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงฉีกขาดของยางล้างแม่แบบกับขั้นตอนในการผสมยางคอมปาวด์

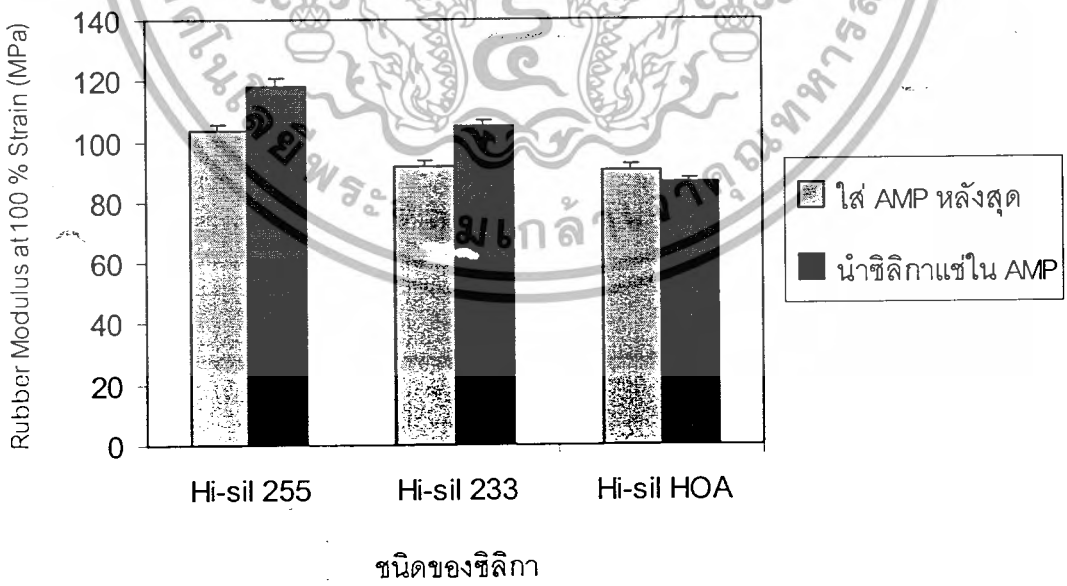


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกดของยางล้างแม่แบบกับขั้นตอนในการผสมยางคอมปาวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

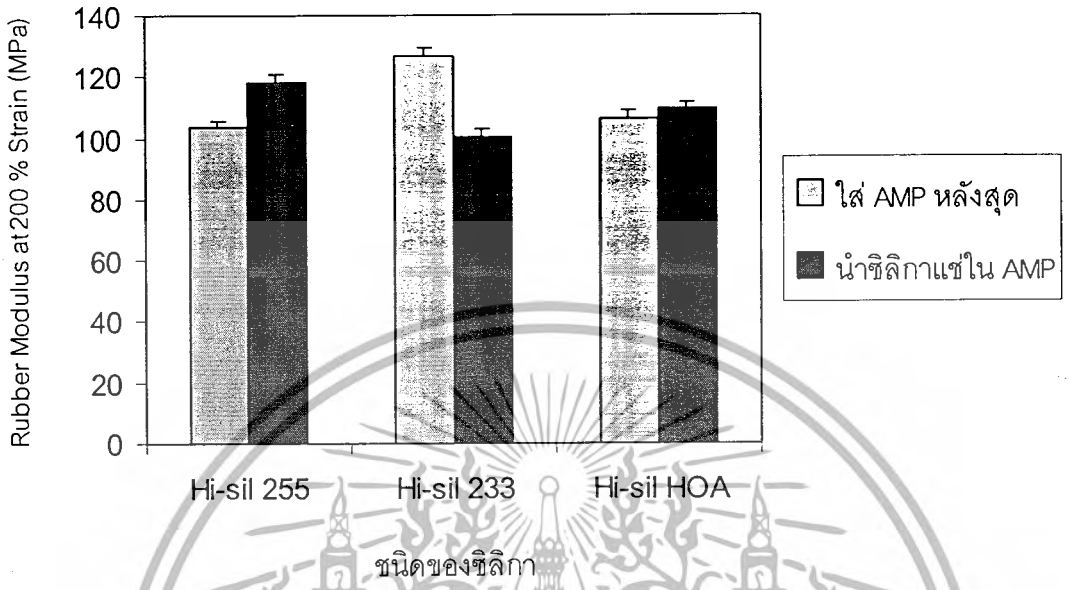


รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของยางล้างแม่แบบกับขั้นตอนในการผสมยางคอมปาวด์

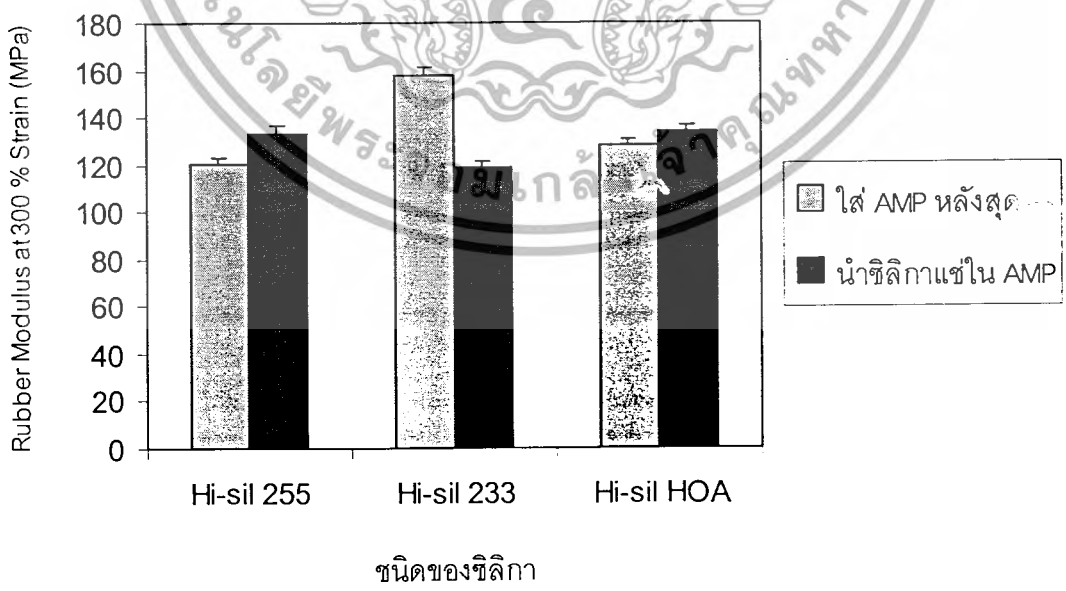


รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสที่ 100 % การยืด (M100) ของยางล้างแม่แบบกับชนิดของซิลิกาและขั้นตอนในใส่ AMP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสที่ 200 % การยืด (M200) ของยางล้างแม่แบบกับชนิดของซิลิกาและขั้นตอนในใส่ AMP



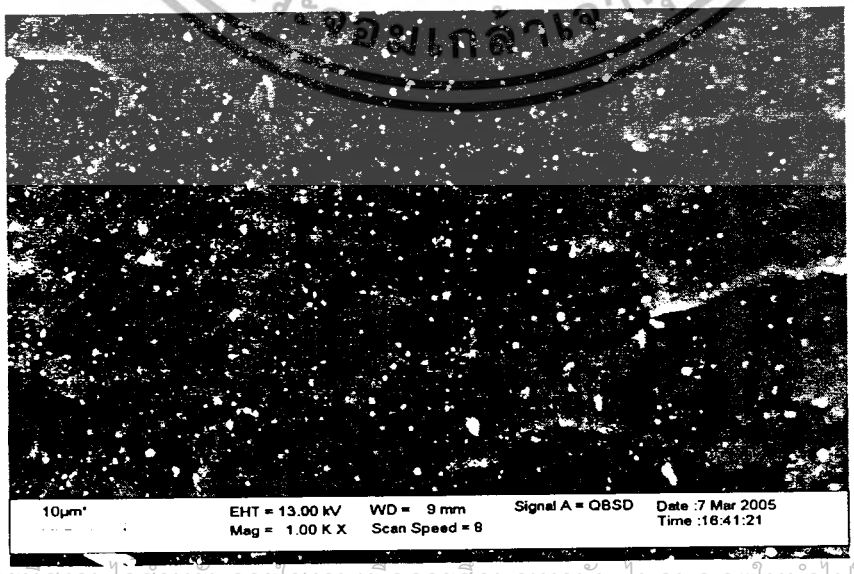
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างมอดุลัสที่ 300 % การยืด (M300) ของยางล้างแม่แบบกับชนิดของซิลิกาและขั้นตอนในใส่ AMP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การศึกษาสัณฐานวิทยาของยางล้างแม่แบบ

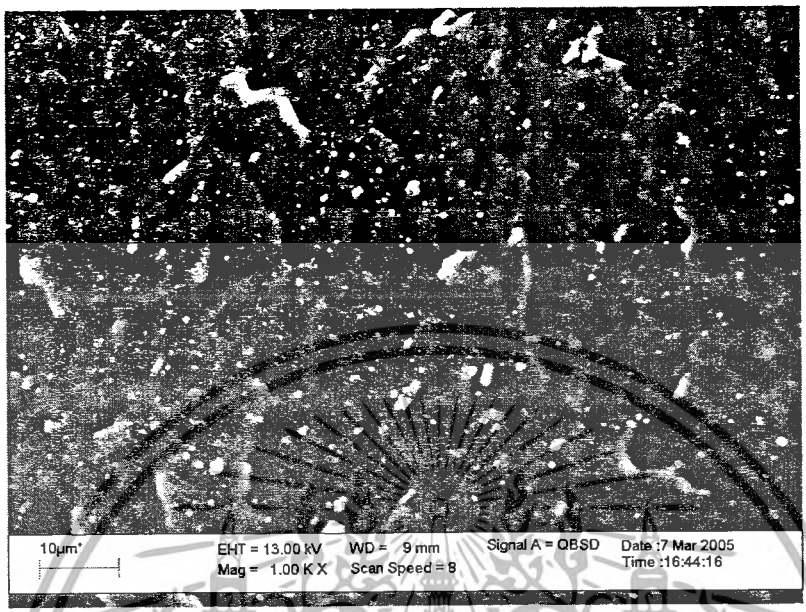
นำยางล้างแม่แบบผสมในไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) แล้วหักยางที่อุณหภูมิต่ำจากนั้นนำไปส่องด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM) เพื่อดูการกระจายตัวของอนุภาคซิลิกาบนยาง

ผลของการศึกษาสัณฐานวิทยา จากยางล้างแม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดที่อุณหภูมิการขึ้นรูปที่ 175 ^{o}C เพื่อดูการกระจายตัวของสารตัวเติมและฟองอากาศที่เกิดจากการสลายตัวของ AMP โดยใช้เทคนิค SEM พบว่ายางล้างแม่แบบที่ใช้ซิลิกาเกรดทางการค้า Hi-Sil® HOA และ Hi-Sil® 233 มีการกระจายตัวของอนุภาคซิลิกาซึ่งใช้เป็นสารตัวเติม อย่างสม่ำเสมอและไม่พบรูพรุนของฟองอากาศอันเนื่องมาจากการสลายตัวของ AMP ส่วนยางล้างแม่แบบที่ใช้ซิลิกาเกรดทางการค้า Hi-Sil® 255 และยางล้างแม่แบบที่นำซิลิกาไปผสมใน AMP ก่อนการผสม พบว่ามีการกระจายตัวไม่ค่อยดีทั้งนี้เนื่องจาก Hi-Sil® 255 มีขนาดอนุภาคที่เล็กที่สุดส่งผลให้กระจายตัวได้ยาก เพราะมีพื้นที่ผิวมากทำให้อนุภาคมีโอกาสสัมผัสกันและยึดเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนมากขึ้น ส่งผลให้ต้องใช้พลังงานสูงในการทำให้อนุภาคแตกตัวออกจากกันและกระจายตัวได้ดี ดังนั้นขนาดอนุภาคยิ่งเล็กยิ่งกระจายตัวยาก ส่วนซิลิกาที่นำไปผสมใน AMP ทั้งนี้อาจเกิดการจับตัวเป็นก้อน การกระจายตัวที่ดีจะต้องใช้แรงเฉือนสูงซึ่งจากผลการทดลองที่ได้อาจใช้แรงเฉือนไม่มากพอที่จะทำให้อนุภาคแตกออก และกระจายตัวอย่างทั่วถึง จากสัณฐานวิทยาให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับสมบัติเชิงกล กล่าวคือ Hi-Sil® HOA และ Hi-Sil® 233 มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า Hi-Sil® 255 ทำให้กระจายตัวได้ง่ายและดีกว่า แต่ขนาดอนุภาคของ Hi-Sil® 255 ซึ่งมีขนาดเล็กมากก็ส่งผลให้เสริมแรงได้ดี ถึงแม้จะกระจายตัวได้ไม่ดีนักส่งผลให้สมบัติเชิงกลของยางล้างแม่แบบเมื่อใช้ซิลิกาทั้ง 3 ชนิด เป็นสารตัวเติม ไม่ต่างกันมากนัก

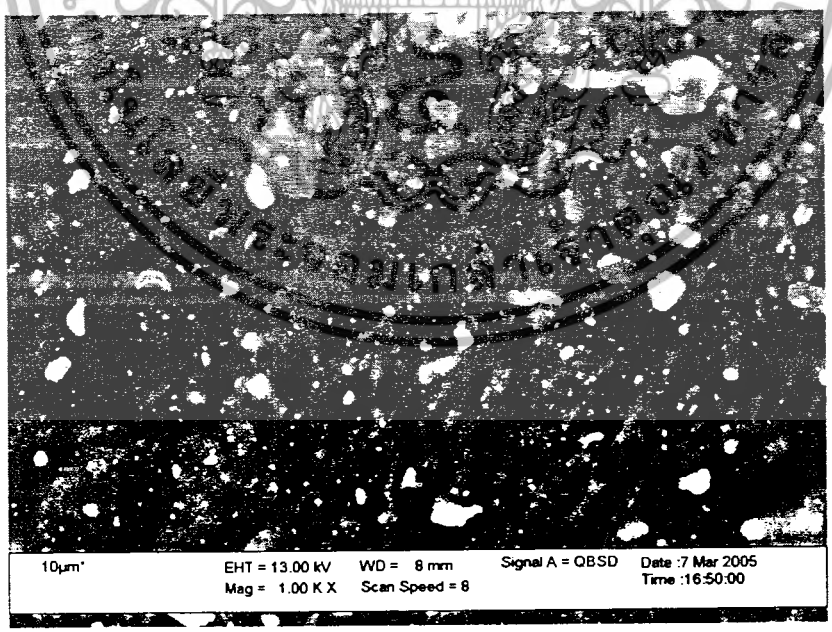


a) Hi-Sil® HOA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

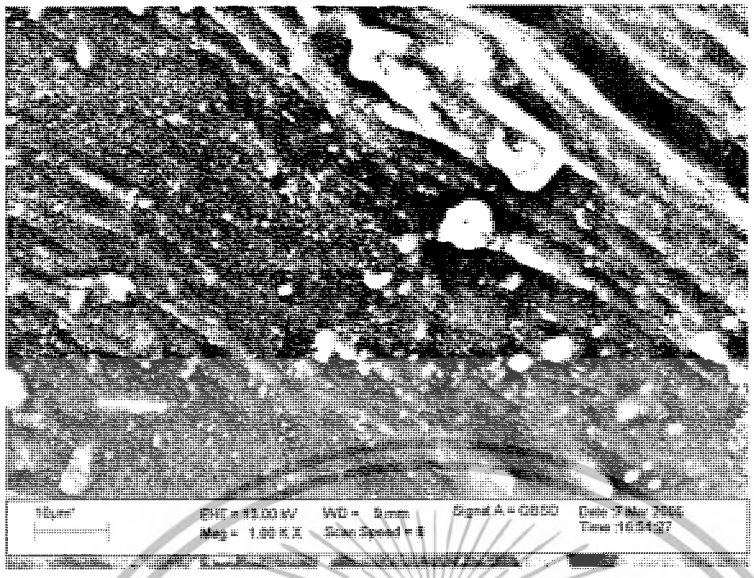


b) Hi-Sil® 233



c) Hi-Sil® 255

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



d) Hi-Sil® 255 + AMP

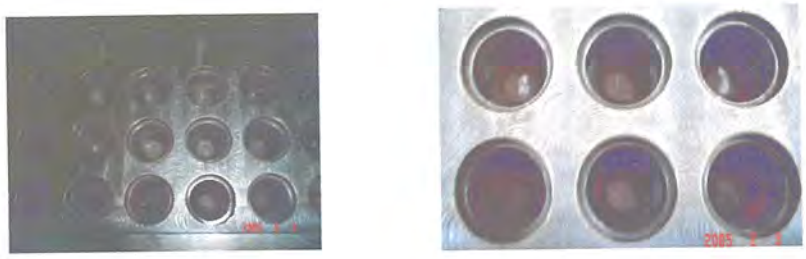
รูปที่ 4.16 สัณฐานวิทยาของยางล้างแม่แบบ ทำการแตกหักที่อุณหภูมิต่ำ โดยใช้กำลังขยาย 1000 เท่า

4.5 การทำความสะอาดกับแม่แบบที่ใช้งานจริง

หลังจากที่เตรียมยางล้างแม่แบบที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีแล้ว นำยางล้างแม่แบบมาทดสอบการทำความสะอาดกับแม่แบบที่ใช้งานจริงในอุตสาหกรรมที่บริษัท เอส.เค. โพลิเมอร์ จำกัด โดยทดสอบกับแม่แบบที่มีลักษณะเป็นหลุม ซึ่งทดสอบกับแม่แบบเดียวกันเพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบ

จากการทำความสะอาดแม่แบบด้วยยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้ ที่ 175°C เวลา 5 นาที พบว่ายางล้างแม่แบบที่เตรียมได้ในงานวิจัยนี้สามารถทำความสะอาดแม่แบบให้สะอาดได้ ซึ่งยางคอมปาวด์ล้างแม่แบบสูตรที่ใช้ซิลิกา Hi-Sil® 255 โดยนำไปผสมใน AMP ก่อน สามารถทำความสะอาดแม่แบบได้ดีที่สุด ซึ่งจะเห็นได้จากคราบสกปรกที่ติดยางออกมา หรือแม่แบบมีความสะอาดขึ้น โดยพบว่าแม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดครั้งที่ 1 จะมีความสะอาดขึ้น และแม่แบบจะสะอาดมากขึ้นเมื่อจำนวนครั้งในการทำความสะอาดแม่แบบมากขึ้น อีกทั้งยางล้างแม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดจะมีความสกปรกลดลงเนื่องจากมีคราบสกปรกติดอยู่ที่แม่แบบน้อยลง ดังนั้นยางล้างแม่แบบที่ใช้ซิลิกา Hi-Sil®255 เป็นสารตัวเติม จะทำความสะอาดได้ดีที่สุด รองลงมาคือซิลิกา Hi-Sil®233 และ Hi-Sil®HOA อีกทั้งยางคอมปาวด์สูตรที่นำซิลิกาไปผสมกับ AMP ก่อนคอมปาวด์จะทำความสะอาดแม่แบบได้ดีกว่าสูตรที่ใส่ AMP ในยางคอมปาวด์หลังสุด ทั้งนี้เนื่องจากซิลิกาสามารถดูดซับ AMP ได้อย่างเต็มที่จึงทำให้ประสิทธิภาพในการทำความสะอาดดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 แม่แบบที่สกปรก รอการทำความสะอาด

แม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด | แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาด ครั้งที่ 1 | แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาด ครั้งที่ 2 | แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาด ครั้งที่ 3 | ยาง 255 ที่ผ่านการทำความสะอาด ครั้งที่1

รูปที่ 4.18 แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่ใช้สารตัวเติม คือซิลิกา Hi-Sil® 255 (ไม่ผสม AMP) เป็นเวลา 5 นาที ที่ 175°C เทียบกับ แม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด

แม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด | แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาด ครั้งที่ 1 | แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาด ครั้งที่ 2 | แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาด ครั้งที่ 3 | ยาง 255+AMP ที่ผ่านการทำความสะอาด ครั้งที่ 1

รูปที่ 4.19 แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่ใช้สารตัวเติม คือ ซิลิกา Hi-Sil® 255 (ผสม AMP) เป็นเวลา 5 นาที ที่ 175°C เทียบกับแม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด | แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาด ครั้งที่ 1 | แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาด ครั้งที่ 2 | แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาด ครั้งที่ 3 | ยาง 233 ที่ผ่านการทำความสะอาด ครั้งที่ 1

รูปที่ 4.20 แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่ใช้สารตัวเติม คือ ซิลิกา Hi-Sil® 233 (ไม่ผสม AMP) เป็นเวลา 5 นาที ที่ 175°C เทียบกับแม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด

แม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด | แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาด ครั้งที่ 1 | แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาด ครั้งที่ 2 | แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาด ครั้งที่ 3 | ยาง 233+AMP ที่ผ่านการทำความสะอาด ครั้งที่ 1

รูปที่ 4.21 แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่ใช้สารตัวเติม คือ ซิลิกา Hi-Sil® 233 (ผสม AMP) เป็นเวลา 5 นาที ที่ 175°C เทียบกับแม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

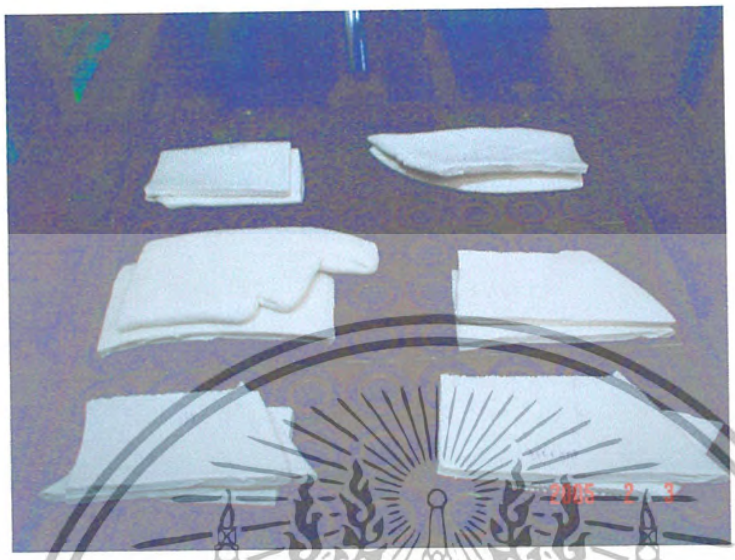
แม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด | แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาด ครั้งที่ 1 | แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาด ครั้งที่ 2 | แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาด ครั้งที่ 3 | ยาง Porous ที่ผ่านการทำความสะอาด ครั้งที่ 1

รูปที่ 4.22 แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่ใช้สารตัวเติม คือ ซิลิกาซนิดมีรูพรุน Hi-Sil® HOA (ไม่ผสม AMP) เป็นเวลา 5 นาที ที่ 175°C เทียบกับแม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด

แม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด | แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาด ครั้งที่ 1 | แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาด ครั้งที่ 2 | แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาด ครั้งที่ 3 | ยาง Porous+AMP ที่ผ่านการทำความสะอาด ครั้งที่ 1

รูปที่ 4.23 แม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยยางผสมสูตรที่ใช้สารตัวเติม คือ ซิลิกาซนิดมีรูพรุน Hi-Sil® HOA (ผสม AMP) เป็นเวลา 5 นาที ที่ 175°C เทียบกับแม่แบบที่ไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 ยางล้างแม่แบบก่อนการทำความสะอาด

รูปที่ 4.25 ยางล้างแม่แบบหลังผ่านการทำความสะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การวัดสี

การวัดสีนี้จะวัดกับยางล้างแม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดแล้ว เพื่อดูสีที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเทียบกับยางล้างแม่แบบที่ยังไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด ซึ่งสามารถบอกถึงคราบสกปรกของแม่แบบ ผลการวัดสี 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

รูปที่ 4.26 มาตราส่วนแสดงค่า L^* a^* และ b^* สามมิติ [1]

<u>การวัดสีของยางล้างแม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาด</u>

วัดสีของยางล้างแม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาด ในสูตรที่ใช้ซิลิกาชนิดตกตะกอน (Precipitated silica) เกรด Hi-Sil® 255 เกรด Hi-Sil® 233 และ ซิลิกาชนิดมีรูพรุน (Porous silica) เกรด Hi-Sil® HOA เป็นสารตัวเติมและขั้นตอนในการผสม AMP ต่างกัน โดยทำความสะอาด 3 ครั้ง ครั้งละ 5 นาที ที่ 175°C

เมื่อนำยางล้างแม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดมาวัดสีที่เปลี่ยนแปลงไปพบว่า ค่า L^* มีค่าลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับค่า L^* ของยางก่อนทำความสะอาด นั่นคือ ยางมีความสว่างลดลงมีสีเข้มขึ้นมาแสดงว่าคราบสกปรกติดออกมากับยางมากขึ้น และเมื่อจำนวนครั้งในการทำความสะอาดมากขึ้นค่า L^* มีค่าเพิ่มขึ้น นั่นคือยางมีความสว่างมากขึ้น แสดงว่าแม่แบบมีความสะอาดมากขึ้นจึงมีคราบสกปรกติดออกมากับยางน้อยลง ซึ่งเห็นได้จากการทำความสะอาดแม่แบบครั้งที่ 1 โดยยางล้างแม่แบบ ที่ได้ L^* ที่ลดลงอย่างมากนั่นคือมีคราบสกปรกติดออกมามากยางจึงมีสีที่เข้มขึ้น และในการทำความสะอาดแม่แบบครั้งที่ 2 พบว่ายางล้างแม่แบบมีค่า L^* ที่เพิ่มขึ้น นั่นคือ ยางสว่างมากขึ้น มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คราบสกปรกติดออกมาน้อยลง และในการทำความสะอาดแม่แบบครั้งที่ 3 พบว่ายางล้างแม่แบบมีค่า L* สูงขึ้นแสดงว่ามีคราบสกปรกเหลือติดอยู่ที่แม่แบบน้อย จึงมีคราบสกปรกติดออกมากับยางน้อยลง นั่นคือแม่แบบมีความสะอาดมากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างยางล้างแม่แบบสูตรที่ใช้ซิลิกาต่างชนิดกัน พบว่ายางล้างแม่แบบที่ใช้ซิลิกาเกรด Hi-Sil®255 จะมีค่า L* ที่ลดลงอย่างมาก และมีค่า ΔE^* มากที่สุด รองลงมาคือ ยางล้างแม่แบบที่ใช้ซิลิกาเกรด Hi-Sil®233 และยางล้างแม่แบบที่ใช้ซิลิกาเกรด Hi-Sil®HOA จะมีค่า L* ลดลงมาน้อยที่สุด และมีค่า ΔE^* ความเข้มสีที่เปลี่ยนไปน้อยที่สุด นั่นแสดงว่ายางล้างแม่แบบที่ใช้ซิลิกาเกรด Hi-Sil®255 มีคราบสกปรกติดออกมากับยางมากที่สุด

ในกรณีที่ขั้นตอนในการผสมยางคอมปาวด์ต่างกัน พบว่ายางคอมปาวด์ที่นำซิลิกาไปผสมกับ AMP ก่อนนำไปผสมเป็นยางคอมปาวด์จะมี ค่า L* ที่ลดลง และค่า ΔE^* ที่เพิ่มขึ้นมากกว่า ยางคอมปาวด์ที่ใส่ AMP กับซิลิกาแยกกัน แสดงว่ายางคอมปาวด์ที่นำซิลิกาไปผสมกับ AMP ก่อนนำไปผสมเป็นยางคอมปาวด์มีคราบสกปรกติดออกมากับยางมากกว่ายางคอมปาวด์ที่ใส่ซิลิกากับ AMP แยกกัน ดังนั้นยางคอมปาวด์ที่มีประสิทธิภาพในการทำความแม่แบบมากที่สุดคือ ยางคอมปาวด์ที่ใช้ซิลิกาเกรด Hi-Sil®255 เป็นสารตัวเติมและนำไปผสมใน AMP ก่อนการผสมเป็นยางคอมปาวด์

ตารางที่ 4.1 การวัดสีที่ D65/10° ของยางล้างแม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดในสูตรที่ใช้ซิลิกา Hi-Sil® 255 Hi-Sil® 233 และซิลิกาชนิดมีรูพรุน Hi-Sil® HOA เป็นสารตัวเติม

	L*	a*	b*	ΔE^*
ยางล้างแม่แบบที่ใช้ ซิลิกา Hi-Sil® 255				
ก่อนทำความสะอาด	85.95	-1.53	4.58	
หลังทำความสะอาด ครั้งที่ 1	20.12	0.52	9.59	66.05
ครั้งที่ 2	34.24	2.41	11.66	52.34
ครั้งที่ 3	41.39	1.11	12.90	45.41
ยางล้างแม่แบบที่ใช้ ซิลิกา Hi-Sil® 255+AMP				
ก่อนทำความสะอาด	92.85	-1.26	7.37	
หลังทำความสะอาด ครั้งที่ 1	15.34	1.36	12.61	77.73
ครั้งที่ 2	34.28	1.93	13.68	59.00
ครั้งที่ 3	46.16	-0.03	12.01	46.94

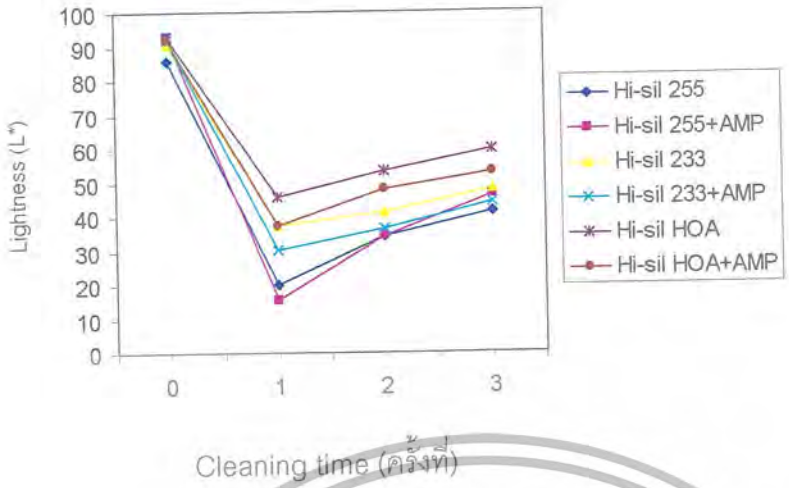
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	L*	a*	b*	ΔE*
ยางล้างแม่แบบที่ใช้ ซิลิกา Hi-Sil® 233				
ก่อนทำความสะอาด	90.62	-1.22	10.24	
หลังทำความสะอาด ครั้งที่ 1	37.38	-0.65	11.04	53.25
ครั้งที่ 2	41.17	-0.70	11.63	49.47
ครั้งที่ 3	48.16	-0.59	11.39	42.51
ยางล้างแม่แบบที่ใช้ ซิลิกา Hi-Sil® 233+AMP				
ก่อนทำความสะอาด	92.18	-1.28	7.13	
หลังทำความสะอาด ครั้งที่ 1	30.41	2.15	12.29	62.08
ครั้งที่ 2	36.32	1.26	12.14	56.14
ครั้งที่ 3	43.87	2.06	15.06	49.07
ยางล้างแม่แบบที่ใช้ ซิลิกา Hi-Sil® HOA				
ก่อนทำความสะอาด	92.70	-1.65	6.38	
หลังทำความสะอาด ครั้งที่ 1	45.65	1.98	20.20	49.17
ครั้งที่ 2	53.42	-0.58	11.21	39.59
ครั้งที่ 3	59.65	0.31	13.02	33.77
ยางล้างแม่แบบที่ใช้ ซิลิกา Hi-Sil® HOA+AMP				
ก่อนทำความสะอาด	91.84	-1.404	6.74	
หลังทำความสะอาด ครั้งที่ 1	37.39	1.78	16.75	55.45
ครั้งที่ 2	47.80	0.77	13.74	44.65
ครั้งที่ 3	52.92	-0.88	11.05	39.16

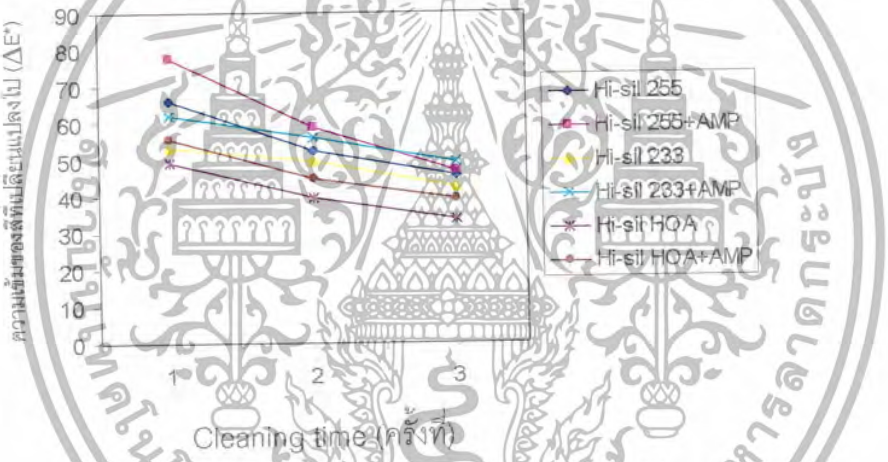
<u>หมายเหตุ</u> เกรด Hi-Sil® 233+AMP เกรด Hi-Sil® HOA+AMP และ Hi-Sil® 255+AMP คือ การนำซิลิกาไปผสมใน AMP ก่อนทำการผสมเป็นยางคอมปาวด์

ข้อมูลจากตารางที่ 4.1 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.31 และ 4.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความสว่าง (L*) กับจำนวนครั้งในการทำความสะอาดแม่แบบ



รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสีที่เปลี่ยนแปลงไป (ΔE^*) กับจำนวนครั้งในการทำความสะอาดแม่แบบ

4.7 การศึกษาอายุการใช้งาน

จากการเก็บยางล้างแม่แบบไว้ที่อุณหภูมิ 10°C และที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำมาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric analyzer) ทุก ๆ 1 เดือน เพื่อหาปริมาณ AMP ที่เหลืออยู่ในยางล้างแม่แบบ (ภาคผนวก ก)

ผลการทดลองที่ได้พบว่า เมื่อระยะเวลาผ่านไปปริมาณ AMP จะลดน้อยลง โดยยางล้างแม่แบบที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 10°C จะมีปริมาณ AMP เหลืออยู่มากกว่ายางล้างแม่แบบที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ทั้งนี้เนื่องจาก AMP มีสารประกอบประเภทเอมีน เป็นองค์ประกอบ ซึ่งเป็นสารที่มีจุดเดือดต่ำระเหยได้ง่าย และหลังจากเก็บยางล้างแม่แบบไว้เป็นระยะเวลา 3 เดือน แล้วนำไปทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TGA พบว่ายางล้างแม่แบบที่เก็บไว้ทั้ง 2 สภาวะยังคงมี AMP เหลืออยู่จึงสามารถทำความสะอาดแม่แบบได้ ดังนั้นยางล้างแม่แบบจึงมีอายุการเก็บรักษาได้อย่างน้อย 3 เดือน

4.8 การวิเคราะห์ต้นทุนของยางล้างแม่แบบ

การวิเคราะห์ต้นทุนของยางล้างแม่แบบนี้ จะวิเคราะห์สูตรที่ทำความสะอาดแม่แบบได้มีประสิทธิภาพที่สุด ได้แก่ สูตรยางล้างแม่แบบที่ใช้ซิลิกาชนิดตกตะกอน (Precipitated silica) Hi-Sil® 255 ปริมาณ 40 phr และ ปริมาณ 50 phr เป็นสารตัวเติม ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่าต้นทุนวัตถุดิบของยางล้างแม่แบบทั้งสองสูตร ประมาณ 275 และ263 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ทั้งนี้ยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้มีต้นทุนที่ต่ำกว่ายางล้างแม่แบบทางการค้า (Struktol® MC-A) ซึ่งมีราคา 559 บาทต่อกิโลกรัม (มีนาคม 2546)

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ต้นทุนยางล้างแม่แบบ ต่อ 1 กิโลกรัมสำหรับสูตรที่มีปริมาณซิลิกาชนิดตกตะกอน (Precipitated silica) เกรด Hi-Sil® 255 40 phr และ 50 phr

	phr	ราคาวัตถุดิบ/กก. (บาท) [a]	ราคาสูตรยางผสม [b] Hi-Sil® 255 40 phr	ราคาสูตรยางผสม [b] Hi-Sil® 255 50 phr
ยาง EPDM	100	90	48.9	46.4
ZnO(RA)	5	33.5	0.9	0.9
Stearic acid	1	28	0.2	0.1
Silica	40,50	29	6.3	7.5
Oil-P	5	28-29	0.7	0.7
SR-350	3	380	6.2	5.9
Wingstay® L	1	225	1.2	1.2
DCP 40%	7	220	8.4	8.0
TiO_2	2	95	1.0	1.0
AMP	20	1850	201.1	190.7
		รวมราคา	275	263

หมายเหตุ a. ราคาขาย ณ เดือนมีนาคม 2548

b. ราคานี้ไม่รวมค่าแรง ค่าไฟฟ้า และค่าเครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของสารแอนตี้ออกซิแดนท์ สารตัวเติม และขั้นตอนในการผสมยางคอมปาวด์ ที่มีผลต่อสมบัติของยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้ สามารถสรุปผล การวิจัยได้ดังนี้

1. **การศึกษาชนิดของสารแอนตี้ออกซิแดนท์**

จากการศึกษาชนิดของสารแอนตี้ออกซิแดนท์ ที่ใช้คือ BHT และ Wingstay® L พบว่า สารแอนตี้ออกซิแดนท์ ที่เหมาะสมในการเตรียมยางล้างแม่แบบคือ Wingstay® L เนื่องจากมีสมบัติทางกายภาพที่ดี คือ เมื่อระยะเวลาผ่านไปจะมีความเหลืองเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและน้อยกว่าเมื่อใช้ BHT ซึ่งจะเกิดสีเหลืองเมื่อสัมผัสกับความชื้น

นอกจากความเหลืองจะเกิดจากชนิดของสารแอนตี้ออกซิแดนท์แล้ว ยังเกิดจาก AMP ซึ่งเป็นสารทำความสะอาดประเภทเอมีน จะมีสีเหลืองอ่อน ๆ จึงส่งผลให้ยางคอมปาวด์ที่ใช้ Wingstay® L มีสีเหลืองอ่อน ๆ ด้วย แต่เหลืองน้อยกว่าใช้ BHT เป็นสารแอนตี้ออกซิแดนท์

2. **การศึกษาชนิดของสารตัวเติม**

จากการศึกษาชนิดของสารตัวเติม 3 ชนิด ได้แก่ Hi-Sil® 255 Hi-Sil® 233 และ Hi-Sil® HOA พบว่า สารตัวเติมที่เหมาะสมในการเตรียมยางล้างแม่แบบ คือ ซิลิกาชนิดตกตะกอน (Precipitated silica) Hi-Sil® 255 เนื่องจากมีสมบัติเชิงกล คือ ความแข็งแรงฉีกขาดมากที่สุด ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการดึงยางออกจากแม่แบบ ส่วนสมบัติเชิงกลอื่น ๆ มีค่าไม่ต่างกันมากนัก

3. **การศึกษาขั้นตอนในการผสมยางคอมปาวด์ล้างแม่แบบ**

จากการเปลี่ยนขั้นตอนในการใส่ AMP โดยเปลี่ยนจากใส่ลำดับสุดท้ายเป็นใส่ในตอนต้นพร้อมกับซิลิกา พบว่า ขั้นตอนในการใส่ AMP ที่เหมาะสมในการเตรียมยางล้างแม่แบบ คือ ใส่ AMP พร้อมกับซิลิกา เนื่องจากซิลิกาจะสามารถดูดซับ AMP ได้อย่างเต็มที่ ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการทำความสะอาด

4. **สัณฐานวิทยาของยางล้างแม่แบบ**

จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้ ด้วยเทคนิค SEM พบว่า ซิลิกา Hi-Sil® HOA และ Hi-Sil® 233 มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอและดีกว่า ซิลิกา Hi-Sil® 255 และ Hi-Sil® 255 ที่แช่ใน AMP เนื่องจากซิลิกา Hi-Sil® HOA และ Hi-Sil® 233 มีขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุภาคใหญ่กว่าซิลิกา Hi-Sil® 255 ทำให้เกิดการกระจายตัวที่ดีได้ไม่ยากนัก ส่วนซิลิกา Hi-Sil® 255 ซึ่งมีขนาดอนุภาคเล็กมาก ทำให้เกิดการกระจายตัวที่ดีได้ยากเพราะต้องใช้แรงเฉือนสูง แต่ทั้งนี้เนื่องจากขนาดอนุภาคเล็กจึงส่งผลให้เสริมแรงได้ดีกว่าขนาดใหญ่ จึงทำให้ยางล้างแม่แบบที่ใช้ซิลิกาทั้ง 3 ชนิด มีสมบัติเชิงกลไม่ต่างกันมากนัก อีกทั้ง AMP ที่อยู่ในยางล้างแม่แบบทุกสูตรเกิดการสลายตัวแบบไม่เกิดฟองอากาศกักขังอยู่ในเนื้อยางขณะทำความสะอาดแม่แบบ จึงไม่พบฟองอากาศในเนื้อยาง ทำให้ไม่มีผลต่อสมบัติเชิงกล

5. **การทำความสะอาดกับแม่แบบที่ใช้งานจริง**

จากการทดสอบการทำความสะอาดกับแม่แบบที่ใช้งานจริง พบว่า ยางคอมปาวด์ล้างแม่แบบสูตรที่ใช้ซิลิกา Hi-Sil® 255 ที่ผสมกับ AMP ก่อนผสมเป็นยางคอมปาวด์ สามารถทำความสะอาดแม่แบบได้ดีที่สุด รองลงมาคือ ซิลิกา Hi-Sil® 255 Hi-Sil® 233 ที่ผสมกับ AMP ก่อนผสมเป็นยางคอมปาวด์ Hi-Sil® 233 Hi-Sil® HOA ที่ผสมกับ AMP ก่อนผสมเป็นยางคอม-ปาวด์ และ Hi-Sil® HOA ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้จากคราบสกปรกที่ติดยางออกมา และจะเห็นว่าสูตรที่นำซิลิกาผสมกับ AMP ก่อน สามารถทำความสะอาดได้ดีกว่าสูตรที่ใส่ AMP หลังสุด เนื่องจากซิลิกาสามารถดูดซับ AMP ได้อย่างเต็มที่ จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการทำความสะอาดแม่แบบได้ดีขึ้น

6. **การวัดสี**

จากการวัดสีที่เปลี่ยนแปลงไปของยางล้างแม่แบบ ที่ผ่านการทำความสะอาด ซึ่งสามารถบอกได้ถึงคราบสกปรกที่ติดออกมากับยาง พบว่าค่าความสว่าง (L^*) ของยางล้างแม่แบบที่ผ่านการทำความสะอาดมีค่าลดลงอย่างมาก เมื่อเทียบกับค่า L^* ของยางล้างแม่แบบก่อนทำความสะอาด แสดงว่ามีคราบสกปรกติดออกมากับยางมาก และเมื่อจำนวนครั้งในการทำความสะอาดแม่แบบมากขึ้น ความเข้มของสีที่เปลี่ยนแปลงไป (ΔE^*) จะมีค่าลดลงและค่า L^* มีค่าเพิ่มขึ้น นั่นคือ ยางมีความสว่างมากขึ้น มีคราบสกปรกติดออกมากับยางน้อยลง แม่แบบสะอาดขึ้น

เมื่อนำยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้ที่ผ่านการทำความสะอาดมาวัดสี พบว่า ยางล้างแม่แบบสูตรที่ใช้ซิลิกา Hi-Sil® 255 โดยนำไปผสมกับ AMP ก่อนผสมเป็นยางคอมปาวด์ จะมีค่าความสว่างที่เปลี่ยนแปลงไป (ΔL^*) มากที่สุด นั่นคือ ยางมีสีที่เปลี่ยนแปลงไปมากที่สุด แสดงว่ามีคราบสกปรกติดออกมากับยางมากที่สุด ดังนั้นแม่แบบสะอาดมากที่สุด รองลงมาคือ ซิลิกา Hi-Sil® 255 Hi-Sil® 233 ที่ผสมกับ AMP ก่อนผสมเป็นยางคอมปาวด์ Hi-Sil® 233 Hi-Sil® HOA ที่ผสมกับ AMP ก่อนผสมเป็นยางคอมปาวด์ และ Hi-Sil® HOA ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. **อายุการเก็บรักษา**

จากการนำยางล้างแม่แบบเก็บที่ 2 สภาวะ คือ เก็บที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 10 °C แล้วนำไปทดสอบสมบัติทางความร้อน (TGA) ทุกๆ 1 เดือน พบว่า เมื่อระยะเวลาผ่านไป ยางล้างแม่แบบที่เก็บที่อุณหภูมิ 10 °C AMP จะระเหยออกไปได้น้อยกว่า จึงทำให้เหลือ AMP อยู่มากกว่ายางล้างแม่แบบที่เก็บที่อุณหภูมิห้อง จึงส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการทำความสะอาดแม่แบบมากกว่า และหลังจากเก็บยางล้างแม่แบบไว้เป็นระยะเวลา 3 เดือน แล้วนำไปทดสอบ TGA พบว่า ยางล้างแม่แบบทั้ง 2 สภาวะ ยังคงมี AMP เหลืออยู่ จึงสามารถทำความสะอาดแม่แบบได้ ดังนั้นยางล้างแม่แบบจึงมีอายุการเก็บรักษาได้อย่างน้อย 3 เดือน

8. **ต้นทุนวัตถุดิบของยางล้างแม่แบบ**

ต้นทุนวัตถุดิบของยางล้างแม่แบบสูตรที่ใช้ซิลิกา Hi-Sil® 255 ปริมาณ 50 phr เป็นสารตัวเติม เท่ากับ 263 บาทต่อกิโลกรัม ทั้งนี้ยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้ในงานวิจัยนี้มีราคาต่ำกว่ายางล้างแม่แบบสูตรที่ใช้ซิลิกา Hi-Sil® 255 ปริมาณ 40 phr และยางล้างแม่แบบทางการค้า (Struktol® MC-A) ซึ่งมีราคา 275 และ 559 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

9. **สมบัติบางประการของยางล้างแม่แบบ**

จะเห็นได้ว่ายางล้างแม่แบบที่เตรียมในงานวิจัยนี้ มีสมบัติเทียบเท่าหรือดีกว่ายางล้างแม่แบบทางการค้า (Struktol® MC-A) ซึ่งแสดงดังตารางที่ 5.1

10. **สรุปสูตรยางล้างแม่แบบที่สามารถประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์**

ยางล้างแม่แบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ยาง EPDM เป็นยางหลัก ซึ่งสามารถสรุปสูตรได้ดังตารางที่ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ตารางเปรียบเทียบสมบัติบางประการของยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้กับยางล้างแม่แบบทางการค้า (Struktol® MC-A)

สมบัติเชิงกล	ยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้	ยางล้างแม่แบบทางการค้า (Struktol® MC-A)
Tensile Strength (MPa)	8.15	0.0551
Tear Strength (kN/m)	37.50	0.1598
Elongation at Break (%)	2039	550
Hardness (shore A)	52.8	54
Modulus ที่ 100 % Strain (M 100) (MPa)	104.7	-
Modulus ที่ 200 % Strain (M 200) (MPa)	118.2	-
Modulus ที่ 300 % Strain (M 300) (MPa)	133.7	0.01813
Cure Time (t_{90}) ที่ 175°C (min)	4.43	8.25

ตารางที่ 5.2 สรุปสูตรยางล้างแม่แบบ

ส่วนประกอบ	phr
ยาง EPDM	100
ZnO	5
Stearic acid	1
Precipitated silica (Hi-Sil® 255)	50
DCP 40%	7
Paraffinic oil	5
Wingstay® L	1
SR-350	3
AMP	20
TiO_2	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบสมบัติบางประการของยางล้างแม่แบบ ดังตารางที่ 5.1 พบว่า ยางล้างแม่แบบที่เตรียมได้มีสมบัติเชิงกลที่ดี สามารถทำความสะอาดแม่แบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังมีต้นทุนในการผลิตต่ำด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาชนิดของสารที่ใช้ทำความสะอาดชนิดใหม่ เพื่อลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มอายุการใช้งาน
2. การศึกษาชนิดของยางอื่นเพิ่มเติม เพื่อลดต้นทุนในการผลิต เช่น ยางธรรมชาติ
3. การศึกษาชนิดของสารเติมแต่งอื่นเพิ่มเติม เพื่อลดต้นทุนในการผลิต เช่น สารให้ฟอง (Blowing Agent)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ขนิษฐา ศรีประทุม และมนต์สุดา บุรารักษ์. 2546. **โครงงานพิเศษเรื่องการศึกษายางล้างแม่แบบสำหรับงานอุตสาหกรรม**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. อิทธิพล แจ้งชัด. 2542. **เทคโนโลยีการยาง**. เอกสารประกอบการสอนวิชาเทคโนโลยีการยาง กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. พรพรรณ นิธิอุทัย. 2528. **สารเคมีสำหรับยาง**. ปัตตานี: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
4. Tokuyama Siam Silica Co.,Ltd. 2004. Hi-Sil® HOA Agricultural Applications. กรุงเทพฯ
5. Mallinckrodt Baker,Inc. 2004. 2-AMINO-2-METHYL-1-PROPANOL. [Online]. Available : http://www.jtbaker.com/titaniumdioxide.htm
6. MORAKA PTE.LTD. 2004. Titanium Dioxide Rutile. [Online]. Available : http://www.moraka.com/titaniumdioxide.htm
7. Botros S.H. 1998. Thermal Stability of Butyl/EPDM Rubber Blend Vulcanizates. Polymer Degradation and Stability. Vol. 62: 471-477
8. Abdel-Aziz M.M. and Basfar A.A. 2001. Evaluation of Some Antioxidant in Radiation Vulcanized Ethylene-Propylene Diene (EPDM) Rubber. Nulear Instrument and Methods in Physics Research B. Vol. 185: 346-350
9. Ejolle E.E. and Saeed A.F. 2001. Chemical Kinetics of Vulcanisation and Compression Set. European Polymer Journal. Vol. 37: 329-334
10. 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
11. Struktol Company of America. 2004. Struktol® MC-A. [Online]. Available : http://www.struktol.com/pdfs/MC-A.PDF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. NET TIE TECHNOLOGIES.LTD. 2004. Super Clean® & Super Wax®. [Online]. Available : http://www.moneyman.com.tw/rubber/rubberinfo.htm

13. CAPE Technology Sdn.Bhd. 2004. ELASTOWET®. [Online]. Available : http://www.cape.com.my/elastowet.htm

14. Valley Rubber Mixing/Glo-Mold. 2004. Glo Mold® Cleaning Compound. [Online]. Available : http://www.valleyrubber.com/other.htm

15. Nitto Denko Product. 2004. Semiconductor Encapsulating Mold Cleaning Sheets. [Online]. Available: http://www.nitto.com/product/datasheet/semicon/001/index.htm

16. Tokuyama Siam Silica Co.,Ltd. 2004. Hi-Sil® 255 Certificate Of Analysis. กรุงเทพฯ

17. Tokuyama Siam Silica Co.,Ltd. 2004. Hi-Sil® 233 Certificate Of Analysis. กรุงเทพฯ

18. สมศักดิ์ วรมงคลชัย อิทธิพล แจ้งชัด ชลลดา ฤตวิรุฬห์ และสุภารัตน์ รักชลธี. 2546. **ปฏิบัติการเทคโนโลยีพอลิเมอร์**. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

19. Ratnagiri Chemicals Pvt. Ltd. 2004 Buthylated Hydroxy Toluene. [Online]. Available: http://www.ratnagirichemicals.com/specs_and_applications/bht_sp_app.htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก กราฟแสดงสมบัติทางความร้อนของยางล้างแม่แบบที่ใช้ซิลิกา Hi-Sil® 255 เป็นสารตัวเติม ก่อนเก็บที่อุณหภูมิห้อง

ภาคผนวก ข กราฟแสดงสมบัติทางความร้อนของยางล้างแม่แบบที่ใช้ซิลิกา Hi-Sil® 255 เป็นสารตัวเติม ก่อนเก็บที่อุณหภูมิ 10 $^{\circ}$C

ภาคผนวก ค กราฟแสดงสมบัติทางความร้อนของยางล้างแม่แบบที่ใช้ซิลิกา Hi-Sil® 255 เป็นสารตัวเติม หลังเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 3 เดือน

ภาคผนวก ง กราฟแสดงสมบัติทางความร้อนของยางล้างแม่แบบที่ใช้ซิลิกา Hi-Sil® 255 เป็นสารตัวเติม หลังเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 10 $^{\circ}$C เป็นระยะเวลา 3 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

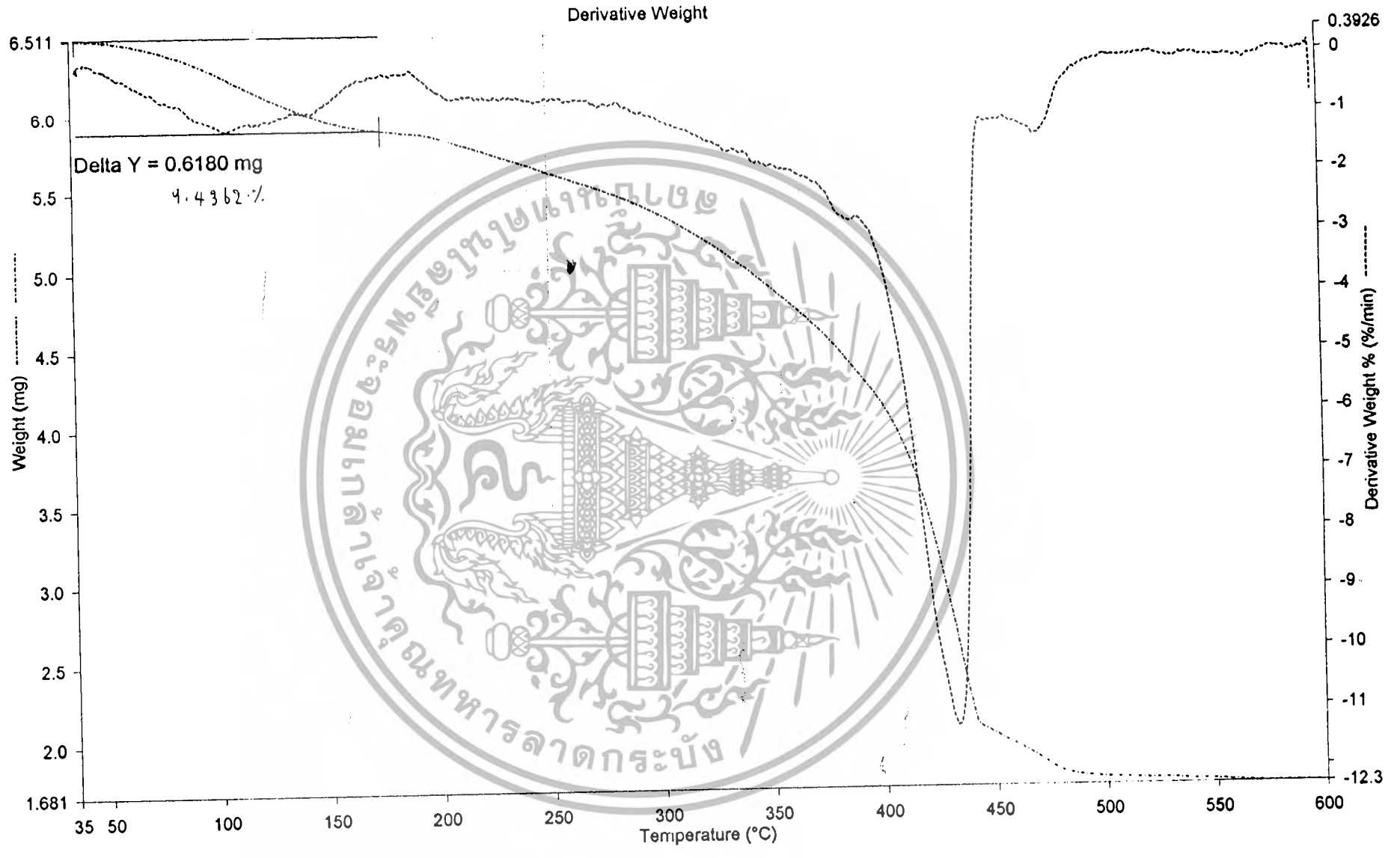
กราฟแสดงสมบัติทางความร้อนของยางล้างแม่แบบที่ใช้ซิลิกา Hi-Sil® 255 เป็นสารตัวเติม ก่อนเก็บที่อุณหภูมิห้อง

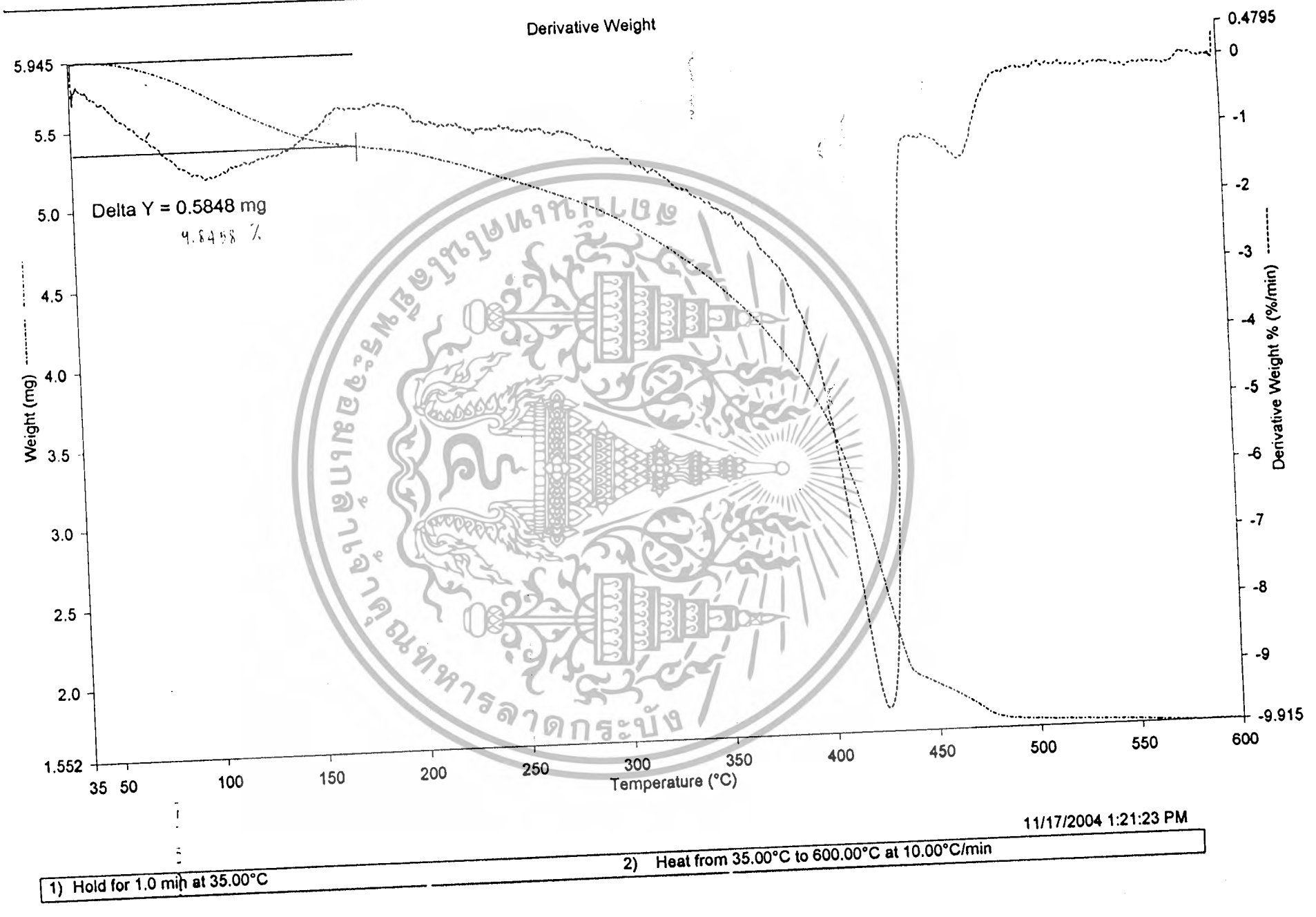
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

กราฟแสดงสมบัติทางความร้อนของยางล้างแม่แบบที่ใช้ซิลิกา Hi-Sil® 255 เป็นสารตัวเติม ก่อนเก็บที่อุณหภูมิ 10 °C


Derivative Weight
6.511
6.0
5.5
5.0
4.5
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.681
Delta Y = 0.6180 mg
4.4362 %
Weight (mg)
0.3926
0
-1
-2
-3
-4
-5
-6
-7
-8
-9
-10
-11
-12.3
Derivative Weight % (%/min)
35 50 100 150 200 250 300 350 400 450 500 550 600
Temperature (°C)
11/17/2004 1:26:08 PM
1) Hold for 1.0 min at 35.00°C
2) Heat from 35.00°C to 600.00°C at 10.00°C/min



รูปที่ 3 เทอร์โมแกรมของซิลิกา Hi-Sil® 255 ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 10 °C ต่อนาที