การศึกษายางฟองน้ำจากยางธรรมชาติสำหรับทำความสะอาดท่อระบบหล่อเย็นโรงงานไฟฟ้า

STUDY OF NATURAL RUBBER SPONGE CLEANING BALLS FOR COOLING SYSTEM IN POWER PLANTS

พรรษมน เจริญพันธุ์

วัชรวิทย์ แซ่ฮ้อ

สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF NATURAL RUBBER SPONGE CLEANING BALLS FOR COOLING SYSTEM IN POWER PLANTS

PASAMOL CHAROENPUN
WATCHARAWIT SAEHO

A COOPERATIVE EDUCATION SUBMITTED IN PARTIAL
FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, SCHOOL OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สหกิจศึกษา	การศึกษายางฟองน้ำจากยางธรรมชาติสำหรับทำความสะอาดท่อระบบหล่อเย็นโรงงานไฟฟ้า Study of Natural Rubber Sponge Cleaning Balls for Cooling System in Power Plants
ชื่อนักศึกษา	นางสาวพรรษมน เจริญพันธุ์ รหัสนักศึกษา 62050312 นายวัชรวิทย์ แซ่ฮ้อ รหัสนักศึกษา 62050328
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2565
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. อิทธิพล แจ้งชัด

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2565

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธี ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ กรรมการ	
รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสหกิจศึกษา การศึกษาลูกบอลฟองน้ำจากยางธรรมชาติสำหรับทำความสะอาดท่อระบบหล่อเย็นโรงงานไฟฟ้า

ชื่อนักศึกษา นางสาว พรรษมน เจริญพันธุ์ รหัสนักศึกษา 62050312

นายวัชรวิทย์ แซ่ฮ้อ รหัสนักศึกษา 62050312

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา เคมี

คณะ วิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)

ปีการศึกษา 2565

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. อิทธิพล แจ้งชัด

บทคัดย่อ

งานวิจัยสหกิจศึกษานี้เป็นการศึกษาสูตรยางฟองน้ำล้างท่อจากยางธรรมชาติ (NR sponge cleaning balls) สำหรับการทำความสะอาดท่อระบบหล่อเย็น (Condenser) สำหรับโรงไฟฟ้า เตรียมตัวอย่างโดยการผสมยางกับสารเติมแต่งด้วยเครื่องผสมยางแบบปิดและกดอัดขึ้นรูปเป็นตัวอย่างทดสอบสมบัติต่างๆ การบดย่อยยางที่เวลาแตกต่างกันคือ 2, 5, 10 นาที ร่วมกับการใช้เป๊บ-ไทเซอร์เพื่อศึกษาผลของความหนืดมูนนี่ของยาง และผลของชนิดสารให้ฟอง ได้แก่ Azodicarbonamide (AZ), Dinitroso pentamethylene tetramine (DP) และ P,P-oxy bis(benzene sulfonyl hydrazide (OBSH) รวมทั้งผลของการใช้สารตัวเติมซิลิกาและแคลเซียมคาร์บอเนต ศึกษาแนวเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ จากการทดลองพบว่าความหนืดของยางคอมเปาวด์มีผลอย่างมากต่อการเกิดฟองและสัณฐานวิทยา การบดย่อยยางด้วยเป๊ปไทเซอร์ 0.3 phr 2 นาที โดยใช้สารให้ฟอง AZ และ DP ทำให้เกิดฟองน้ำยางที่ดี จากการศึกษาผลของปริมาณซิลิกา 0-20 phr พบว่า ฟองน้ำยางมีรูพรุนเล็กลง และมีความแข็งแรงลดลง เมื่อทำการผสมซิลิกา 5 phr ร่วมกับแคลเซียมคาร์บอเนต 0-50 phr พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตทำให้ฟองน้ำยางมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงลดลง และมีความต้านทานการขัดถูดีขึ้น จากการศึกษาสูตรลูกบอลยางฟองน้ำที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยครั้งนี้มีสมบัติเชิงกลที่ดีและเหมาะสมเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานเชิงพาณิชย์ที่นำเข้าจากต่างประเทศ แต่ยังมีปัญหาคือการทดสอบประสิทธิภาพการทำความสะอาดที่ต้องศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

คำสำคัญ : ยางธรรมชาติ, ลูกบอลฟองน้ำทำความสะอาด, สารให้ฟอง, ท่อระบบหล่อเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Study of Natural Rubber Sponge Cleaning Balls for Cooling System in Power Plants
Students	Miss Pasamol Charoenpun Student ID 62050312
	Mr. Watcharawit Saeho Student ID 62050328
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)
Department	Chemistry
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2022
Advisor	Assoc.Prof.Dr.Ittipol Jangchud

Abstract

This cooperative work was focused on study of NR sponge cleaning ball formulas for cleaning condenser pipes in cooling system of power plants. NR and additives were compounded by using an internal mixer and compressed into samples. Compound viscosities by different mastication times of 2, 5, 10 min with and without a peptizer were investigated. Some factors affecting rubber properties were studied, i.e., effects of blowing agents (i.e. azodicarbonamide (AZ), dinitroso pentamethylene tetramine (DP) and p,p-oxy bis(benzene sulfonyl hydrazide (OBSH)), silica loading (0-20 phr) and calcium carbonate ($CaCO_3$) loading (0-50 phr) using a commercial product as the benchmark. It was found that compound viscosity played an important role in porous morphology and density of the products. By using the peptizer 0.3 phr with 2 min mastication time together with AZ or DP blowing agent, good porous NR sponge could be prepared. By increasing silica loading 0-20 phr, smaller pore size sponges were found with deteriorated mechanical properties. By fixing silica loading at 5 phr, $CaCO_3$ loading was studied in the range of 0-50 phr. By increasing $CaCO_3$ loading, NR sponges had higher desity, lower strength, and better abrasion resistance. From this work, optimum formulas could be achieved with good properties compared to the commercial product. However, more works are needed to carry out including cleaning efficiency and mass production.

Keywords : Natural Rubber (NR), Sponge cleaning balls, Blowing agents, Cooling system

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยสหกิจศึกษานี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากอาจารย์ และบุคคลหลายฝ่ายที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อความสมบูรณ์ของงานวิจัยสหกิจศึกษานี้ ทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณผู้ให้ความช่วยเหลือ ดังมีรายนามต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษาเป็นอย่างสูงที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และช่วยเหลือในการทำงานวิจัยสหกิจศึกษาพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธี และ ผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ ที่กรุณาเป็นกรรมการตลอดจนให้คำแนะนำงานวิจัยสหกิจศึกษานี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณชยุต สุวรรณพิมลกุล คุณเดชาธร ฉันทรักษ์ และทีมงานแผนกวิจัยสูตรของบริษัท ไทยรับเทค จำกัด ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ สอนวิธีใช้เครื่องมือ สนับสนุนด้านวัตถุดิบและสารเคมี และคอยอำนวยความสะดวกทุกอย่าง

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่ธุรการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความร่วมมืออำนวยความสะดวกในการทำโครงงานพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณผู้ที่คอยให้แรงกระตุ้นและกำลังใจ พร้อมข้อแนะนำที่ดีจนทำให้โครงงานพิเศษนี้ประสบความสำเร็จอย่างงดงาม

ขอกราบขอบพระคุณบิดา และมารดา ผู้ที่ให้ทุกสิ่งทุกอย่างต่อคณะผู้วิจัยจนประสบความสำเร็จในการศึกษา

สุดท้ายนี้คณะผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยสหกิจศึกษาฉบับนี้คงเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องหรือผู้ที่สนใจศึกษาต่อ หากมีข้อผิดพลาดประการใดทางคณะผู้วิจัยขอน้อมรับและขออภัยไว้ ณ ที่นี้

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งไว้ ณ ที่นี้ด้วย

พรรษมน เจริญพันธุ์

วัชรวิทย์ แซ่ฮ้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... จ
สารบัญรูป ..... ฉ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ 3
1.3 ขอบเขต 3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 การทำความสะอาดท่อระบบหล่อเย็น 5
2.2 วัตถุดิบในการเตรียมลูกบอลยาง 6
2.2.1 ยางธรรมชาติ 6
2.2.2 สารเติมแต่ง 7
2.2.3 ตะกรัน 12
2.3 วิธีใช้ลูกบอลยาง 14
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 19
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 21
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 22
3.3 การเตรียมสาร 23
3.3.1 ชั่งสารเคมีตามสูตร 23
3.3.2 ทำการผสมสูตรยางรอบที่ 1 24
3.3.3 ทำการผสมสูตรยางรอบที่ 2 24
3.3.4 ทำการผสมสูตรยางรอบที่ 3 24
3.3.5 ทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง 24
3.3.6 ทำการใส่สารเติมแต่ง 24
3.3.7 ทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของยาง 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีการทดลอง 25
3.4.1 ทดสอบสมบัติของยางที่มีเวลาในการผสมต่างกัน 25
3.4.2 วิธีการขึ้นรูป 26
3.4.3 ศึกษาชนิดของสารให้ฟอง 29
3.4.4 ศึกษาปริมาณซิลิกา 29
3.4.5 ศึกษาปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต 29
3.3.6 แผนการดำเนินงาน 32
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล 33
4.1 ศึกษาสมบัติของยางคอมพาวด์บีที่มีเวลาในการผสมต่างกัน 34
4.2 ศึกษาชนิดของสารให้ฟองที่มีผลต่อความถ่วงจำเพาะและความแข็ง 35
4.3 ศึกษาปริมาณสารตัวเติมที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล 37
4.3.1 ศึกษาปริมาณซิลิกา 37
4.3.2 ศึกษาปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต 40
4.4 การวิเคราะห์ต้นทุนของลูกบอลยางฟองน้ำ 43
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 46
5.1 สรุปผลการวิจัย 46
5.2 ข้อเสนอแนะ 47
เอกสารอ้างอิง 48
ภาคผนวก 49
ภาคผนวก ก 50
ภาคผนวก ข 51
ภาคผนวก ข 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 แสดงสูตรที่ใช้ในการทดลอง..... 23
3.2 แสดงลำดับการใส่สารระหว่างการผสมยาง 23
3.3 ศึกษาสมบัติของยางคอมพาวด์ที่มีเวลาในการบดย่อยยางที่แตกต่างกัน 26
3.4 ศึกษาชนิดของสารให้ฟองที่มีผลต่อสัณฐานวิทยาของยาง 29
3.5 ศึกษาปริมาณซิลิกาที่มีผลต่อสมบัติทางเชิงกล 29
3.6 ศึกษาปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีผลต่อต้นทุนในการผลิต 29
3.7 แสดงแผนการดำเนินงาน 32
4.1 ศึกษาความหนืดของยางที่มีเวลาในการบดย่อยแตกต่างต่างกันที่ 2, 5 และ 10 นาที..... 34
4.2 ศึกษาชนิดของสารให้ฟองที่มีผลต่อค่าความถ่วงจำเพาะ (SG) และความแข็งกด (HS)..... 35
4.3 ศึกษาชนิดของสารให้ฟองที่มีสัณฐานวิทยาของยาง..... 35
4.4 ศึกษาสมบัติเชิงกลเมื่อเติมปริมาณซิลิกาที่แตกต่างกันคือ 5, 10, 15 และ 20 phr..... 37
4.5 ศึกษาสัณฐานวิทยาเมื่อเติมปริมาณซิลิกาที่แตกต่างกันคือ 5, 10, 15 และ 20 phr 38
4.6 ศึกษาสมบัติเชิงกลเมื่อเติมปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่แตกต่างกันคือ 10, 20, 30, 40 .. 40
และ 50 phr.....
4.7 ศึกษาสัณฐานวิทยาเมื่อเติมปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่แตกต่างกันคือ 10, 20, 30, 40.. 41
และ 50 phr.....
4.8 การวิเคราะห์ต้นทุนของลูกบอลยางฟองน้ำจากสูตรที่มีเวลาในการบดย่อยต่างกัน 44
4.9 การวิเคราะห์ต้นทุนของลูกบอลยางฟองน้ำจากสูตรเติมซิลิกา 5, 10, 15 และ 20 phr 44
4.10 การวิเคราะห์ต้นทุนของลูกบอลยางฟองน้ำจากสูตรเติมแคลเซียมคาร์บอเนต 10, 20, ... 45
30, 40 และ 50 phr .....
5.1 สรุปสมบัติของสูตรลูกบอลยางฟองน้ำสำหรับงานวิจัยที่เหมาะสมเมื่อเทียบกับชิ้นงาน..... 47
เชิงพาณิชย์ของลูกบอลบอลยางฟองน้ำที่นำเข้าจากต่างประเทศสำหรับทำความสะอาดท่อ .....
ระบบหล่อเย็นโรงไฟฟ้า.....
5.2 สรุปต้นทุนของสูตรลูกบอลยางฟองน้ำสำหรับงานวิจัยที่เหมาะสมเมื่อเทียบกับชิ้นงาน 47
เชิงพาณิชย์ของลูกบอลบอลยางฟองน้ำที่นำเข้าจากต่างประเทศสำหรับทำความสะอาดท่อ .....
ระบบหล่อเย็นโรงไฟฟ้า.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ 1
1.2 กระบวนการทำความสะอาดของยางฟองน้ำภายในท่อระบบหล่อเย็น..... 2
2.1 การทำความสะอาดท่อระบบหล่อเย็นโดยลูกบอลยางฟองน้ำ..... 6
2.2 คราบตะกรันในท่อระบบหล่อเย็น 13
2.3 ลักษณะลูกบอลยางที่ใช้ทำความสะอาดท่อระบบหล่อเย็น 14
3.1 แผนภาพการดำเนินงาน..... 20
3.2 กระบวนการขึ้นรูปแบบกดอัด..... 27
3.3 กระบวนการขึ้นรูปแบบบ่มเร่ง 28
4.1 แสดงความหนืดของยางโดยเปรียบเทียบผลของปริมาณเปปไทเซอร์และเวลาในการผสม 34
สารเคมีที่แตกต่างกัน.....
4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่า Specific gravity ที่มีสารให้ฟองที่ต่างชนิดกัน 36
4.3 แสดงการเปรียบเทียบค่า Hardness (Shore O) ที่มีสารให้ฟองที่ต่างชนิดกัน 36
4.4 แสดงการเปรียบเทียบ Tensile strength ในสูตรที่มีปริมาณซิลิกาแตกต่างกัน 38
4.5 แสดงการเปรียบเทียบ Specific gravity ในสูตรที่มีปริมาณซิลิกาแตกต่างกัน..... 39
4.6 แสดงการเปรียบเทียบ Hardness (Shore O) ในสูตรที่มีปริมาณซิลิกาแตกต่างกัน 39
4.7 แสดงการเปรียบเทียบ Abrasion resistance ในสูตรที่มีปริมาณซิลิกาแตกต่างกัน 39
4.8 แสดงการเปรียบเทียบ Tensile strength ในสูตรที่มีปริมาณ $CaCO_3$ แตกต่างกัน 42
4.9 แสดงการเปรียบเทียบ Specific gravity ในสูตรที่มีปริมาณ $CaCO_3$ แตกต่างกัน 42
4.10 แสดงการเปรียบเทียบ Hardness (Shore O) ในสูตรที่มีปริมาณ $CaCO_3$ แตกต่างกัน 42
4.11 แสดงการเปรียบเทียบ Abrasion resistance ในสูตรที่มีปริมาณ $CaCO_3$ แตกต่างกัน 42
4.12 แสดงการเปรียบเทียบ Specific gravity ในสูตรที่มีปริมาณ $CaCO_3$ แตกต่างกัน 42
4.13 แสดงการเปรียบเทียบ Abrasion resistance ในสูตรที่มีปริมาณ $CaCO_3$ แตกต่างกัน 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

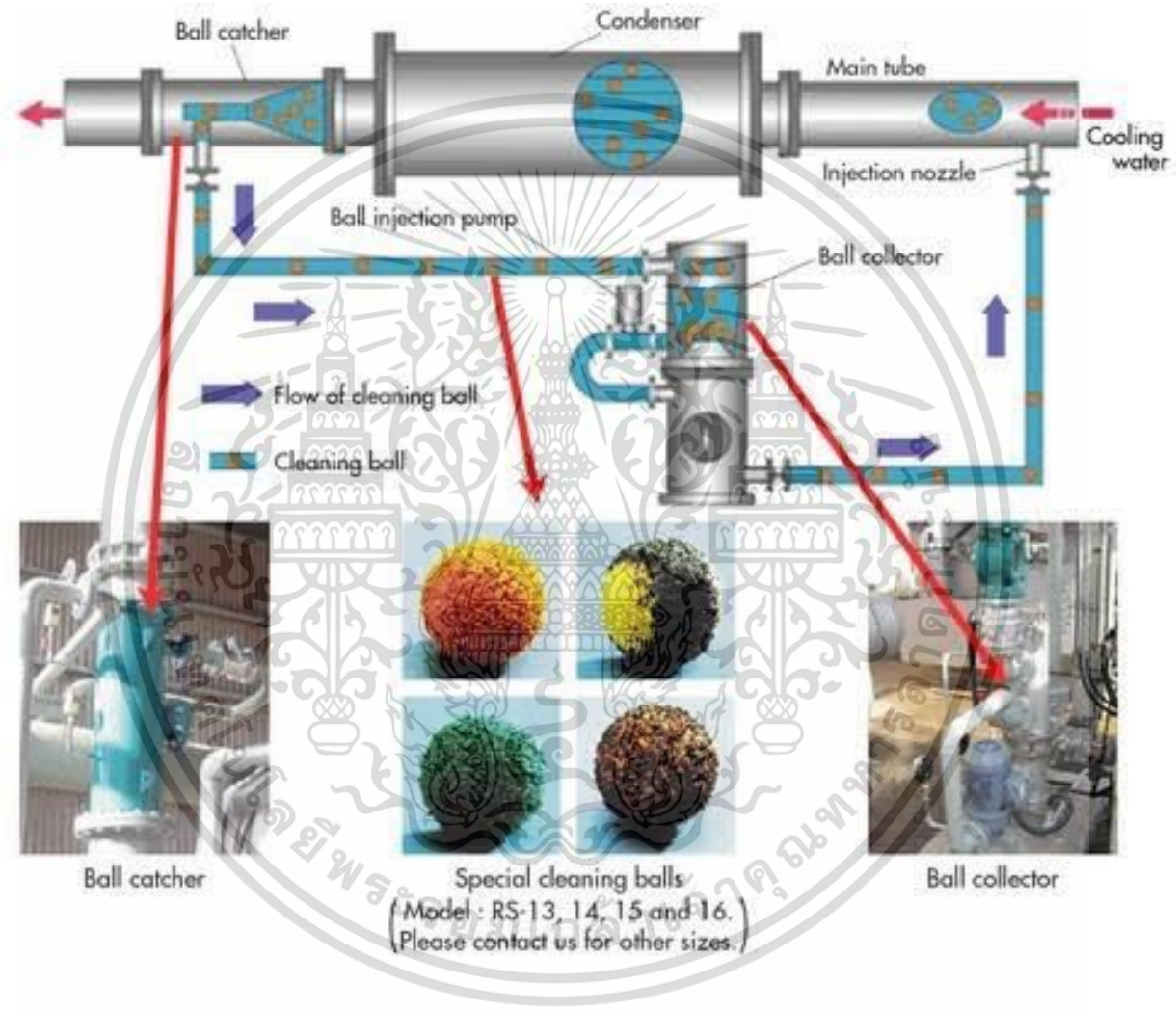
ยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR) เป็นวัสดุธรรมชาติชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมเนื่องจากมีสมบัติที่โดดเด่น เช่น ความยืดหยุ่น (Elasticity), ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength), ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength), ความทนทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) เป็นต้น ซึ่งประเทศไทยนั้นได้จัดเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางธรรมชาติแปรรูปขั้นต้นอันดับหนึ่งของโลก มีเกษตรกรและผู้ประกอบการยางธรรมชาติที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์สูง โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการน้ำยางธรรมชาติในประเทศไทยมีมากมายหลากหลาย สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น ผลิตภัณฑ์จุ่ม เช่น ถุงมือผ่าตัด, จุกนมยาง ผลิตภัณฑ์ยานพาหนะ เช่น ยางล้อรถยนต์, ยางล้อรถจักรยาน เป็นต้น ซึ่งถือได้ว่าเป็นแนวทางที่สำคัญที่ช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางเกษตรและลดค่าใช้จ่ายในการนำเข้าวัสดุจากประเทศไทย และช่วยส่งเสริมในการใช้ยางธรรมชาติภายในประเทศ ลดปริมาณยางในสต็อกให้น้อยลง และส่งผลดีต่อการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศมากด้วย [1]

รูปที่ 1.1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ [1]

ปัจจุบันโรงงานผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยมีการใช้ผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำทำความสะอาดท่อระบบหล่อเย็น (Condensers) ในระบบระบายความร้อน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องนำเข้าจากประเทศ แต่ผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำล้างท่อนำเข้าจากต่างประเทศมีราคาค่อนข้างสูง จึงได้มีแนวคิดที่จะพัฒนาที่จะนำยางธรรมชาติในประเทศมาต่อยอดแปรรูปเป็นยางฟองน้ำทำความสะอาดท่อ ทำให้ลดการนำเข้าจากต่างประเทศและลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการล้างท่อระบบหล่อเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงได้เกิดโครงงานการผลิตยางฟองน้ำจากยางธรรมชาติสำหรับทำความสะอาดท่อระบบหล่อเย็นเพื่อช่วยแก้ลดการนำเข้าสินค้าประเภทวัสดุสิ้นเปลืองจากต่างประเทศ และทำให้สามารถนำผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำไปทำความสะอาดและคราบสิ่งสกปรกโดยไม่ให้เกิดความเสียหายต่อท่อระบบหล่อเย็นและประหยัดเวลาในการทำความสะอาด และมีรูปแบบการใช้งานสอดคล้องสภาพการทำงานในระบบระบายความร้อนของโรงงานผลิตไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 1.2 กระบวนการทำความสะอาดของยางฟองน้ำภายในท่อระบบหล่อเย็น [2]

ด้วยเหตุนี้จึงมีการร่วมมือกันระหว่างภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) กับ บริษัทไทยรับเทค จำกัด เพื่อวิจัยสูตรผสมและขึ้นรูปตัวอย่างการลดต้นทุนยางฟองน้ำสำหรับทำความสะอาดท่อระบบหล่อเย็น โดยมีการวิจัยและพัฒนาสูตรยางฟองน้ำ โดยเน้นศึกษาปัจจัยหลักที่มีผลต่อสมบัติการใช้งานลูกบอลยางฟองน้ำ ได้แก่ ปริมาณของสารตัวเติมที่เหมาะสม ชนิดและปริมาณสารให้ฟอง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยงานวิจัยนี้จะสามารถช่วยลดต้นทุนยางฟองน้ำล้างท่อจากยางธรรมชาติสำหรับทำความสะอาดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศที่มีราคาสูง เนื่องจากเรามีการนำได้นำยางธรรมชาติในประเทศมาเพิ่มมูลค่า และมาผลิตเป็นยางฟองน้ำที่มีสมบัติทางเชิงกลและทางเคมีที่เหมาะสมต่อการใช้งานแต่ละประเภทของโรงไฟฟ้าในประเทศไทย การวิจัยและพัฒนาโฟมยางฟองน้ำนี้เป็นการศึกษาโดยใช้ยางธรรมชาติเป็นวัสดุหลัก โดยเป็นการศึกษาแนวเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เดิมที่นำเข้าจากต่างประเทศในส่วนของสมบัติเชิงกลกับลูกบอลยางฟองน้ำในสูตรงานวิจัยนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อศึกษาสูตรยางฟองน้ำล้างท่อจากยางธรรมชาติ (NR sponge cleaning balls) ที่มีสมบัติที่เหมาะสมต่อการใช้งานทำความสะอาดท่อหล่อเย็นของโรงไฟฟ้าในประเทศไทย

2) การศึกษาแนวเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์เดิมที่นำเข้าจากต่างประเทศในส่วนของสมบัติเชิงกลกับลูกบอลยางฟองน้ำในสูตรงานวิจัยนี้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) ศึกษาค้นคว้างานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำล้างท่อจากยางธรรมชาติสำหรับทำความสะอาด และศึกษาลักษณะทางกายภาพและสมบัติการใช้งานของยางฟองน้ำล้างท่อจากยางธรรมชาติ ที่นำเข้าจากต่างประเทศในปัจจุบัน เพื่อสามารถนำมาพัฒนาสูตรโฟมยางที่เหมาะสม

2) ทำการเตรียมตัวอย่างยางผสมสูตรและขึ้นรูปตัวอย่างฟองน้ำล้างท่อจากยางธรรมชาติ โดยศึกษาสมบัติต่างๆ ดังนี้

- ความหนืดมูนนี่ (Mooney viscosity)
- ชนิดของสารให้ฟอง (Blowing agent)
- สัณฐานวิทยา
- สมบัติทางกายภาพ – ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)
- สมบัติเชิงกล - การทดสอบความแข็งแรงดึงเชิงกล (Tensile Strength), ความแข็งกด (Hardness Shore O) , ความต้านทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance)

3) ปรับสูตร และศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติของยางฟองน้ำ เช่น ชนิดสารให้ฟอง (Blowing agent, BA), ความหนืดของยาง (Viscosity) , ปริมาณซิลิกา (Silica) และปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้สูตรยางฟองน้ำล้างท่อจากยางธรรมชาติ (NR sponge cleaning ball) ที่มีสมบัติทางเชิงกลและทางเคมีที่เหมาะสมต่อการใช้งานแต่ละประเภทของโรงไฟฟ้าในประเทศไทย

2) ได้ยางฟองน้ำล้างท่อจากยางธรรมชาติที่สามารถใช้งานได้จริงและช่วยลดต้นทุนแทนยางฟองน้ำล้างท่อจากยางธรรมชาติที่นำเข้าจากต่างประเทศ ลดการนำเข้าและส่งเสริมอุตสาหกรรมแปรรูปยางภายในประเทศ

3) ได้องค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับสูตรยางธรรมชาติสำหรับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำทำความสะอาดท่อระบบหล่อเย็น (Condenser) และสามารถใช้ความรู้ที่ได้ในการประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ยางชนิดอื่นได้

4) ช่วยเพิ่มมูลค่าและเพิ่มปริมาณการใช้ยางธรรมชาติของประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทำความสะอาดท่อระบบหล่อเย็น

วิธีการทำความสะอาดท่อหล่อเย็นที่ใช้กันทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ มีได้หลายวิธี โดยวิธีที่ใช้เป็นวิธีการทำความสะอาดท่อหล่อเย็นที่ใช้มีหลายระดับและหลายวิธี ส่วนใหญ่จะแบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่

1. การทำความสะอาดเชิงกล (Mechanical cleaning) เป็นวิธีที่ใช้แรงเชิงกล เช่น การฉีดน้ำอัด (High pressure water jet) จะล้างได้แค่ Heat exchanger ที่เป็นสำหรับท่อเท่านั้น ไม่สามารถล้างพวก Plate heat exchanger ได้

ผลที่ได้รับ

ล้างตะกรันออกได้บางส่วน เนื่องจากตะกรันจะเกาะกันเป็นชั้นซึ่งทำให้ไม่สามารถล้างไปถึงชั้นสุดท้ายหรือล้างไปถึงผิวของท่อได้ และค่อนข้างจะใช้เวลาในการทำความสะอาดมาก เพราะจะต้องถอดท่อมาทำความสะอาด

2. การทำความสะอาดเชิงเคมี (Chemical cleaning) ใช้สารเคมีไปทำปฏิกิริยาละลายตะกรันและสิ่งสกปรกให้หลุดจากท่อระบบหล่อเย็น เป็นวิธีการล้างที่มีต้นทุนสูงกว่าการล้างเชิงกลแต่จะกำจัดตะกรันได้มากกว่า หากใช้สารละลายที่มีคุณภาพนอกจากนี้ยังสามารถล้าง Heat-exchanger ประเภทที่ไม่สามารถเปิดอุปกรณ์ออกได้ เช่น Welded plate heat exchanger, K-bloc heat exchanger เป็นต้น

ผลที่ได้รับ

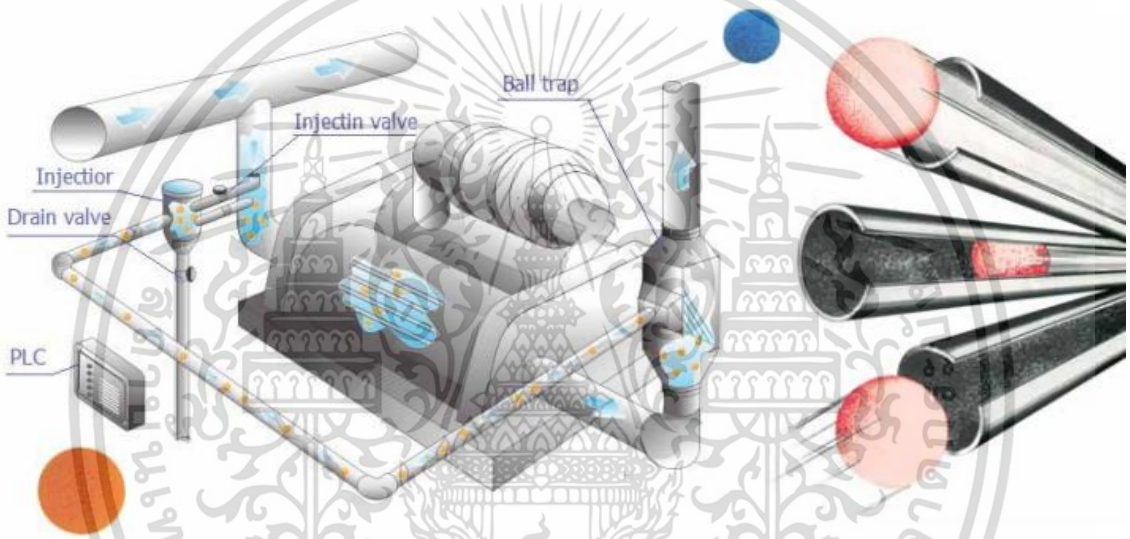
สามารถกำจัดตะกรันที่เกาะแน่นเป็นชั้นๆได้มาก ถึงมากที่สุด เนื่องจากมีการใช้สารละลายในการกำจัดตะกรัน อาจกำจัดได้ถึงชั้นของผิวท่อ แต่อาจทำให้ผิวของท่อเสื่อมสภาพเนื่องการสารละลายอาจเกิดปฏิกิริยากับท่อได้

จากวิธีในการทำความสะอาดที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่าจะต้องเสียเวลาและเกิดผลเสียต่อท่อหล่อเย็น จึงได้ใช้การใช้ลูกบอลทำความสะอาดท่อระบบหล่อเย็น ซึ่งจะทำให้ไม่ต้องเสียทั้งเวลาและความเสียหายต่อท่อระบบหล่อเย็น ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากกว่าทั้ง 2 วิธีข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วิธีการทำความสะอาดท่อระบบหล่อเย็นด้วยลูกบอลยางฟองน้ำ

การทำความสะอาดท่อระบบหล่อเย็นด้วยลูกบอลยางฟองน้ำ คือ การใส่ลูกบอลยางฟองน้ำเข้าไปในท่อระบบหล่อเย็น หลังจากนั้นจะฉีดน้ำเข้าไปเพื่อให้น้ำนำลูกบอลยางฟองน้ำไป ในขณะที่ลูกบอลยางฟองน้ำไหลผ่านท่อระบบหล่อเย็นจะขัดล้างคราบตะกรันต่างๆ ที่เกาะอยู่ที่ผิวท่อระบบหล่อเย็น เมื่อลูกบอลยางฟองน้ำไหลออกจากท่อระบบหล่อเย็นก็จะนำพาคราบตะกรันออกมาที่ตำแหน่งดักเก็บลูกบอล และสามารถนำลูกบอลกลับมาทำความสะอาด เพื่อใช้หมุนเวียนต่อโดยวิธีนี้จะไม่รบกวนต่ออัตราและทิศทางการไหลของน้ำระบายความร้อน ส่วนน้ำเสียและคราบสิ่งสกปรกจากการล้างลูกบอลจะถูกปล่อยลงท่อน้ำทิ้ง [3]



รูป 2.1 การทำความสะอาดท่อระบบหล่อเย็นโดยลูกบอลยางฟองน้ำ [4]

2.2 วัตถุดิบในการเตรียมลูกบอลยาง

2.2.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber)

ยางธรรมชาติ (Natural Rubber ; NR) [5] เป็นยางที่ได้จากธรรมชาติหรือที่รู้จักกันดีคือยางพารา ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย ยาง NR เป็นยางที่ได้จากต้นยางพารา มีทั้งแบบผลิตภัณฑ์น้ำยาง Latex และผลิตภัณฑ์ยางแห้ง มีรูปแบบทั้งแผ่นยางรมควัน ยางแท่ง และยางเครพ ซึ่งมีหลากหลายเกรดให้เลือกใช้งาน เพื่อให้เหมาะสำหรับการนำไปแปรรูปในแต่ละผลิตภัณฑ์

ยางธรรมชาติมีสมบัติเด่นในการทนแรงดึง ทนการฉีกขาด และทนการสึกหรอในระดับที่สูงมาก มีความยืดหยุ่นสูง มีความเหนียวติดกัน ทนต่อการล้าตัว (Fatigue resistance) และให้สมบัติเชิงพลวัตที่ดี อุณหภูมิการใช้งาน -50 ถึง +100 °C นอกจากนี้ยางธรรมชาติ ยังมีข้อจำกัดในการใช้งานหลากหลายด้าน เช่น การทนน้ำมัน สารเคมี การทนโอโซน การทนความร้อน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันยางธรรมชาติ นิยมนำมาใช้งานในหลากหลายอุตสาหกรรม นำมาผลิตชิ้นส่วนยาง ผลิตภัณฑ์ยางต่างๆอาทิเช่น ยางฟองน้ำ ชิ้นส่วนยางสำหรับอุตสาหกรรมยานยนต์ แผ่นยาง ท่อยาง ถุงยางอนามัย ล้อยางรถยนต์ เป็นต้น

2.2.2 สารเติมแต่ง (Additives) [6]

สารเติมแต่ง คือ สารที่ใส่ลงไปในยางเพื่อปรับปรุงสมบัติด้านต่างๆของยาง (Property enhancement) และเพื่อช่วยในกระบวนการผลิต (Processability) ให้สามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้ดีขึ้น

2.2.2.1 สารให้ฟองหรือสารฟู (Blowing agent) [7]

สารให้ฟองเป็นสารที่มีความเสถียรที่อุณหภูมิห้อง แต่จะสลายตัวที่อุณหภูมิสูงและปลดปล่อยก๊าซออกมา โดยการเกิดปฏิกิริยาเคมี และปฏิกิริยาทางความร้อน ทำให้เกิดช่องว่างหรือรูพรุนขึ้นในผลิตภัณฑ์ สารให้ฟองที่สามารถแบ่งได้ 2 ชนิดดังนี้

(1) สารให้ฟองอินทรีย์ (Organic blowing agents)

สารให้ฟองชนิดนี้สามารถผสมเข้าในเนื้อยางได้ดีทำให้เกิดการกระจายตัวของฟองอากาศเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ และเซลล์ที่ได้จะมีขนาดเล็กที่ใกล้เคียงกัน สารฟูชนิดอินทรีย์ยังสามารถแบ่งชนิดได้ตามโครงสร้างที่แตกต่างกันดังนี้

(1.1) กลุ่มสารประกอบเอโซ (Azo compound) ซึ่งสารให้ฟองชนิดนี้จะมีหมู่เอโซ (–N=N-) ประกอบอยู่ด้วย ได้แก่ เอโซไดคาร์โบนาไมด์ (Azodicarbonamide ; ADC หรือ AZ) ซึ่งมีอุณหภูมิการสลายตัวที่ 215°C แต่จะเริ่มก๊าซไนโตรเจนออกมาที่อุณหภูมิประมาณ 140°C และจะปล่อยก๊าซออกมาอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิการคงรูป (160°C หรือสูงกว่านั้น) ADC จะไม่เปลี่ยนสียางและไม่ทำให้ยางมีกลิ่นอีกด้วย นอกจากนี้เมื่อใช้ ADC กับไกลคอล (Glycols) ก็จะช่วยให้อุณหภูมิการสลายตัวลดลงประมาณ 20-30 °C

(1.2) กลุ่มสารประกอบไนโตรโซ (Nitroso compounds) สารให้ฟองชนิดนี้จะมีหมู่ไนโตรโซ (N-N=O) ประกอบอยู่ด้วย ได้แก่ไดไนโทรโซเพนตะเมทิลลีนเทตระมีน (N,N'-dinitrosopenta-methylene tetramine ; DNPT) ซึ่งนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมยางและพลาสติก ซึ่งจะเริ่มสลายสลายตัวให้ก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิประมาณ120-125°C

(1.3) กลุ่มของอนุพันธ์ของไฮดราซีน (Hydrazine derivatives) เช่น เบนซีนซัลโฟไฮดราไซด์ (Benzenesulfohydrazide ; BSH) ซึ่งมีอุณหภูมิการสลายตัวในยางที่ประมาณ 80-90 °C ไม่เปลี่ยนสียางและไม่ทำให้ยางมีกลิ่นอีกด้วย สารที่นิยมใช้อีกชนิดหนึ่งคือ เบนซีนไดซัลโฟไฮดราไซด์ (benzene-1,3-disulfohydrazide) ซึ่งจะเริ่มสลายตัวให้ก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิประมาณ 115°C (สูงกว่า BSH) ดังนั้นจึงนิยมใช้ในยางคอมพาวด์ที่ผ่านกระบวนการผลิตที่อุณหภูมิสูง เช่น ยางที่มีปริมาณสารตัวเติมสูง เป็นต้น

เอกสารนี้ ... ไม่ว่ากรณีใดๆ ... ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) สารให้ฟองอนินทรีย์ (Inorganic blowing agents)

เป็นสารให้ฟองที่มีประสิทธิภาพต่ำ ต้องใช้ในปริมาณมากถึง 10 phr การกระจายตัวไม่ดี ราคาค่อนข้างถูก สารอนินทรีย์ส่วนใหญ่ที่ใช้ คือแอมโมเนียมคาร์บอเนต แอมโมเนียมไบคาร์บอเนต โซเดียมไบคาร์บอเนต สารเคมีเหล่านี้จะให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

(2.1) แอมโมเนียมคาร์บอเนต (Ammonium carbonate ; $(NH_4)_2CO_3$) ซึ่งจะแตกตัวด้วยความร้อนอย่างช้าๆ ที่อุณหภูมิ 30°C และแตกตัวเร็วที่อุณหภูมิ 55-60°C จะได้ก๊าซแอมโมเนียและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนียมคาร์บอเนตจะกระจายในยางได้ไม่ดี ทำให้ยางที่ได้มีรูพรุนไม่สม่ำเสมอ

(2.2) แอมโมเนียมไบคาร์บอเนต (Ammonium bicarbonate ; NH_4HCO_3) แตกตัวให้ก๊าซแอมโมเนียและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อุณหภูมิ 60°C

(2.3) โซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium bicarbonate ; $NaHCO_3$) เป็นสารที่ไม่เป็นพิษใช้ในปริมาณ 5 ถึง 10 phr โซเดียมไบคารบอเนตเป็นสารที่สลายตัวอย่างช้าๆ ที่อุณหภูมิ100°C และสลายตัวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 140 °C

2.2.2.2 สารเชื่อมโยง (Cosslinking agent) [6]

สารเชื่อมโยง คือ สารที่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของยางจากสายโซ่ตรงเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ (3-D Network) โดยทำให้เกิดพันธะเคมีที่เชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุลของยาง เช่น กำมะถัน เปอร์ออกไซด์ ออกไซด์ของโลหะ

การเชื่อมโยง (Crosslinking) หรือ วัลคาไนเซชัน (Vulcanization) เป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดของกระบวนการผลิตขึ้นรูปยาง เนื่องจากผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปต่างๆของยางจะไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ ถ้าหากยางไม่ผ่านกระบวนการเชื่อมโยง เพราะยางจะไม่สามารถคงรูปร่างได้ ไหลได้ และไม่สามารถรับแรงได้

การเชื่อมโยงสามารถทำได้โดยการผสมสารเคมี คือ สารเชื่อมโยง ได้แก่ กำมะถัน เปอร์ออกไซด์ และสารประกอบออกไซด์ของโลหะ นิยมใช้สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Accelerators) สารกระตุ้นเชื่อมโยง (Activators) ผสมเข้ากับยางแล้วให้อุณหภูมิสูงในภายหลัง เพื่อทำการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการในอุณหภูมิสูงจะทำให้สารเชื่อมโยงเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันและเชื่อมโยงโครงสร้างโมเลกุลของยาง เมื่อทำการเชื่อมโยงแล้วโครงสร้างจะเปลี่ยนจากสายโซ่ตรงเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ ยางที่เกิดกระบวนวัลคาไนเซชันจะมีสมบัติที่ดีขึ้น การเชื่อมโยงจะทำให้ยางมีสมบัติเปลี่ยนไปดังกล่าว คือ

- มอดุลัส (Modulus) เพิ่มขึ้น
- ความแข็งแรง (Strength) เพิ่มขึ้น
- ความยืดหยุ่น (Elasticity) เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ฮีสเตอร์รีซิส (Hysterisis) ลดลง
- การปลี่ยนแปลงสภาพถาวร (Permanent set) ลดลง
- การเหนียวติด (Sticky) ลดลง
- เปลี่ยนเป็นเทอร์โมเซตไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆทนต่อความร้อน แสงและการใช้งานนานขึ้น

การเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน (Sulfur Vulcanization)

การเชื่อมโยงยางสามารถทำได้หลายวิธี ที่นิยมที่สุดสำหรับยางส่วนใหญ่ที่ไม่อิ่มตัวคือการเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน (Sulfur, S) เนื่องจากกำมะถันมีราคาถูก ละลายในยางได้ดี ที่สำคัญที่สุดคือยางส่วนมากที่นิยมใช้เป็นยางที่ไม่อิ่มตัว มีพันธะคู่จำนวนมาก (High-diene) เช่น ยางธรรมชาติ (NR) ยางไอโซพรีน (IR) ยางสไตรีนบิวตะไดอีน (SBR) ฯลฯ โดยใช้ร่วมกับสารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Accelerators) และสารกระตุ้น (Activators) ได้แก่ กรดสเตียริกและซิงค์ออกไซด์ (Stearic acid/ZnO)

2.2.2.3 สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Accelerators) [6]

สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง คือสารเคมีที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยงให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Crosslinking rate) เร็วขึ้น ทำให้เวลาเชื่อมโยง (Cure time) เร็วขึ้น การเชื่อมโยงมีประสิทธิภาพมากขึ้น และใช้กำมะถันน้อยลง การใช้สารเชื่อมโยงเพียงอย่างเดียวสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงได้ แต่จะใช้เวลานานมากอาจจะใช้วลาเป็นวันถึงจะทำให้เกิดการเชื่อมโยงที่สมบูรณ์ เนื่องจากอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงต่ำมาก การใช้สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยงจะช่วยเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยาและลดเวลาเชื่อมโยงอย่างมาก จะลดเวลาจากหลายชั่วโมงเหลือเพียงไม่กี่นาที ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเชื่อมโยง

สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยงมีหลายชนิด สารเร่งแต่ละชนิดจะมีสมบัติที่แตกต่างกัน เช่น เวลาเริ่มเกิดการเชื่อมโยง (Scorch time) อัตราเร็วการชื่อมโยง (Cure rate) เวลาเชื่อมโยงสมบูรณ์ (Cure time) ความสามารถในการละลายในยาง (Solubility) ความเป็นพิษ (Toxicity) ฯลฯ

2.2.2.4 สารกระตุ้นปฏิกิริยา (Activators) [6]

สารกระตุ้นปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Activators) เป็นสารเคมีที่ทำหน้าที่กระตุ้นหรือเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Accelerators) อีกทีหนึ่ง

สารกระตุ้นที่นิยมใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรมยางในปัจจุบันได้แก่ ซิงค์ออกไซด์ร่วมกับกรดสเตียริก (ZnO/Stearic acid) เนื่องจากมีราคาไม่แพงและมีประสิทธิภาพสูงในการทำงาน สามารถใช้ได้กับยางทั่วไป ซิงค์ออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับกรดสเตียริกเกิดเป็น ซิงค์สเตียเรต (Zinc stearate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสามารถละลายได้ในยาง และช่วยเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง เนื่องจากเป็นซิงค์ไอออน (Zinc ions, Zn^{2+}) ที่อยู่ในรูปที่ละลายได้ในยาง

สิ่งสำคัญของตัวกระตุ้นคือมีความเป็นด่าง (Alkaline) นอกจากการใช้ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นตัวกระตุ้นแล้ว อาจใช้ออกไซด์ลิเทียม (Li_2O) แมกนีเซียม (MgO) และสารจำพวกเอมีน (Amines) โดยปกติในอุตสาหกรรมปริมาณการใช้ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) คือ 3-5 phr

2.2.2.5 สารตัวเติมซิลิกา (Silica) [10]

ซิลิกาเป็นสารตัวเติมอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมยาง โดยเฉพาะในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่มีสีหรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความโปร่งแสงและมีสมบัติเชิงกลที่ดี เช่น ยางพื้นรองเท้า เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากบนพื้นผิวของซิลิกามีหมู่ไฮดรอกซิล (หมู่ -OH) หรือหมู่ไซลานอลอยู่ในปริมาณมาก ทำให้มีความเป็นขั้วสูง ซิลิกาจึงแตกตัวและเข้ากับยางที่ไม่มีขั้วได้ยาก นอกจากนี้หมู่ไซลานอลดังกล่าวยังสามารถดูดซับสารกระตุ้นปฏิกิริยาทำให้ยางเกิดการวัลคาไนซ์ได้ช้าลงและมีระดับของการวัลคาไนซ์ต่ำลง ดังนั้นจึงต้องแก้ปัญหาด้วยการเติมสารเคมีที่สามารถทำปฏิกิริยาได้ง่ายกับหมู่ไซลานอล เช่น ไดเอทิลีนไกลคอล (Diethylene glycol ; DEG) โพลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol ; PEG) ไตรเอทาโนลามีน (triethanolamine) หรือเฮกซะเมทิลีนเตตระมีน (Hexamethylene tetramine ; HEXA) รวมถึงการเติมสารตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เช่น DPG หรือ DOTG ลงไปในสูตรเคมียางด้วย

2.2.2.6 สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Protective agent) [7]

ยางเป็นสารอินทรีย์ที่เสื่อมสภาพได้เมื่อตั้งทิ้งไว้หรือขณะใช้งาน การเสื่อมสภาพของยางถูกทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างโดยออกซิเจนหรือโอโซน การเสื่อมมีความสำคัญและเกิดขึ้นมากโดยเฉพาะยางที่มีโครงสร้างไม่อิ่มตัว เช่น ยางธรรมชาติ (NR) ยางเอสบีอาร์ (SBR) ยางไอาร์ (IR) ยางบีอาร์ (BR) ฯลฯ ยางเหล่านี้มีพันธะคู่อยู่ในสายโซ่หลัก เป็นที่ทราบกันดีว่าพันธะคู่มีความว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาโดยเฉพาะอย่างยิ่งออกซิเจน (O_2) และโอโซน (O_3) ในบรรยากาศ ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) และโอโซน (Ozonation) ตามลำดับ นอกจากนี้ปฏิกิริยาเสื่อมสภาพของยางสามารถถูกเร่งให้เกิดเร็วขึ้นเนื่องจากหลายปัจจัย เช่น ความร้อน สิ่งปนเปื้อนจำพวกโลหะหนัก กำมะถัน แสง ความชื้น การบวมตัวเนื่องจากน้ำมันและตัวทำละลายความล้าเนื่องจากการสั่น (Dynamic fatigue) ฯลฯ

ในผลิตภัณฑ์ยางเพื่อป้องกันยางเสื่อมสภาพ เพิ่มความทนทานของยางให้ดีขึ้นจำเป็นต้องมีการเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพ โดยใช้สารแอนตีออกซิแดนท์ (Antioxidants) หรือ สารแอนตี้โอโซนแนนท์ (Antiozonants) ซึ่งสารทั้งสองชนิดจะทำการแอนตี้ออกซิแดนท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.7 สารช่วยในกระบวนการผลิต (Processing aids) [6]

สารช่วยกระบวนการผลิต คือ สารเคมีที่ผสมในยางเพื่อช่วยให้กระบวนการผลิตง่ายขึ้น มีประสิทธิภาพมากขึ้น นั่นคือการใช้เวลาและพลังงานในการผลิตน้อยลง นอกจากนี้ยังช่วยในการกระจายตัวของสารเติมแต่งต่างๆ ในยาง เพิ่มความสม่ำเสมอหรือเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity) ปกติจะใช้สารช่วยกระบวนการผลิตในปริมาณน้อยที่ไม่เกิน 5 phr สารที่ช่วยในกระบวนการผลิต คือ เปพไทเซอร์ (Peptizers) เป็นสารที่ทำให้ยางนิ่มเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเคมี ทำหน้าที่โดยช่วยเร่งปฏิกิริยาการขาดของสายโซ่ (Chain scission) ของยางทำให้น้ำหนักโมเลกุลของยางลดลง เป็นผลให้ความหนืดของลดลงตามไปด้วย เกิดการผสมได้ง่ายขึ้น นิยมใส่เพื่อลดเวลาการบดย่อย (Mastication)

2.2.2.8 สารคู่ควบ (Coupling agent) [6]

สารคู่ควบเป็นสารช่วยยึดติดระหว่างสารตัวเติมกับยางให้ยึดติดกันได้ดีขึ้น ทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น เช่น ไซเลน (Silanes) ผลของไซเลนทำให้มอดุลัส ความต้านทานการสึกหรอ การเปลี่ยนแปลงรูปถาวรของยางที่ใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติมดีมากขึ้น

ไซเลนเป็นสารที่มีสูตรทั่วไป R'-Si-$(OR)_3$ หมู่ R' เป็นอะมิโนแคปโต ไวนิล อีพอกซี หรือ Methacryloxy เป็นต้น หมู่ R เป็นอัลคอกซี (Alkoxy) จะถูกไฮโดรไลซ์เกิดแป็นไซลานอล และจะไปเกาะอยู่กับสารตัวเติมชนิดอนินทรีย์ เช่น ผิวของซิลิกา เคลย์ (Clay) หรือโลหะออกไซด์ (metal-oxides) เป็นต้น ส่วนอีกด้านหนึ่งคือ R' จะไปทำปฏิกิริยากับยาง ดังนั้นไซเลนจึงทำหน้าที่เป็นตัวยึดหรือประสานให้ยางกับสารตัวเติมอนินทรีย์มาเกาะกัน ไซเลนที่เหมาะสมนำมาผสมกับยาง เช่น γ-Aminopropyltrimethoxy silane ($H_2NC_3H_6Si(OC_2H_5)$) β-Mercaptoethyltriethoxy silane ($HSC_2H_6Si(OC_2H_5)_3$) ฯลฯ

2.2.2.9 คิกเกอร์ (Kicker) [6]

เป็นสารเคมีที่เติมลงไปเพื่อลดอุณหภูมิสลายตัว (Decomposition temperature, T_d) ของสารให้ฟอง การใช้คิกเกอร์ผสมสารให้ฟองในอัตราส่วนที่เหมาะสม เช่น ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักสารให้สารต่อคิกเกอร์ 1:1 ทำให้อุณหภูมิขึ้นรูปโฟมต่ำลง ประหยัดพลังงาน และลดการเสี่ยงต่อการเสียสภาพหรือการไหม้ เช่น ใช้คิกเกอร์ ZnO ผสมกับ AZ ในอัตราส่วน 1:1 ทำให้อุณหภูมิการสลายตัวของ AZ ลดจาก 200-220 °C เหลือ 160-165 °C

2.2.2.10 สารให้สี (Pigment)

ผลิตภัณฑ์บางชนิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการให้มีสีต่างๆ เพื่อความสวยงาม จึงจำเป็นต้องมีการใส่สารที่ทำให้เกิดสีลงไปในยาง สีที่ใส่ลงไปควรมีประสิทธิภาพ ทนทานแสง ความร้อน ไม่ตกสี ไม่เป็นพิษ มีราคาไม่แพง ไม่มีผลต่ออายุของยาง และอัตราเร็วในการทำให้ยางเชื่อมโยง เหตุที่ต้องใส่สีใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลูกบอลยาง เพราะว่าต้องการจำแนกเป็นของเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกบอลยาง เนื่องจากในอุตสาหกรรมต่างๆ มีการใช้ขนาดของท่อหล่อเย็นแตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องมีการใส่สีลงไป สารให้สีสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. สีอินทรีย์ (Organic pigment) เป็นสีที่มีประสิทธิภาพดี ใช้ในปริมาณเล็กน้อย ประมาณ 1 phr ให้สีสด สวยงาม แต่มีราคาแพง สีอินทรีย์บางชนิดเปลี่ยนสีหรือสีจางลงได้ง่าย ถ้าถูกแสงนานๆ หรือถูกสารเคมี และไม่ทนต่อการแปรรูปที่อุณหภูมิสูง
2. สีอนินทรีย์ (Inorganic pigment) เป็นสีที่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าพวกสีอินทรีย์ ราคาค่อนข้างถูก แต่ต้องใช้ในปริมาณมาก ประมาณ 5-10 phr สีค่อนข้างทึบ แต่มีความคงตัวอยู่นาน สีไม่จาง และทนอุณหภูมิสูง เช่น Monolite yellow, Vynamon blue, Titanium dioxide (white)

2.2.3 ตะกรัน (Fouling) [8]

ตะกรัน คือ คราบ เมือก เศษตะกอน อาจเป็นคราบหินปูนที่เกิดจากสารละลายต่างๆ เช่น เกลือ แคลเซียม แมกนีเซียมคาร์บอเนต ซึ่งตะกรันพวกนี้ก็จะไปจับติดกับพื้นผิวและพอกหนาขึ้นเรื่อยๆ สมบัติอย่างหนึ่งของตะกรันคือเป็นฉนวนกันความร้อน ตะกรันแบ่งออกเป็น 4 ประเภทดังนี้

(1) ตะกรันจากสารเคมี (Scaling/Chemical fouling)

น้ำในระบบคูลลิ่งทาวเวอร์มักประกอบด้วยผลึกเกลือของแคลเซียมและแมกนีเซียม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ผลึกเกลือของแคลเซียมและแมกนีเซียมจะเกาะตัวบนผิวของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของสารเคมีในของเหลวจะทำให้ตะกรันเหล่านี้แข็งตัวเกาะบนผิวท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ตัวอย่างที่เห็นได้อย่างชัดเจน คือ ตะกรันที่เกาะบนผิวหม้อต้มน้ำ ที่เกลือตะกรันเกิดการแข็งตัวเกาะผิวหม้อต้มน้ำ เนื่องจากสมบัติการละลายน้ำลดลงเมื่อมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังสมการทางเคมีและลักษณะทางกายภาพ ตะกรันชนิดนี้สามารถกำจัดได้โดยการใช้สารเคมีและกำจัดทางกล เช่น การขัดผิว เป็นต้น

$$Mg(HCO_3)_2 + Heat \longrightarrow MgCO_3\ (Deposit) + CO_2 + H_2O$$

$$Ca(HCO_3)_2 + Heat \longrightarrow CaCO_3\ (Deposit) + CO_2 + H_2O$$

(2) สิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก (Biological fouling)

สิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก เช่น สาหร่ายเซลล์เดียว เชื้อรา หรือตะไคร่น้ำ สามารถสะสมตัวเกาะผนังของผิวท่อ แลกเปลี่ยนความร้อนและแผ่น Shell plate ก่อนเข้าท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้การไหลผ่านของน้ำเข้าไปในท่อไม่เต็มที่ ตลอดจนลดความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นผิว สิ่งมีชีวิตเหล่านี้สามารถเติบโตเพิ่มขึ้นใน ระบบหมุนเวียนน้ำคูลลิ่งทาวเวอร์และสะสมตัวเกาะกับพื้นผิวต่างๆ ตะกรันชนิดนี้สามารถกำจัดได้ด้วยการใช้สารเคมีและการกำจัดด้วยวิธีทางกล เช่น แปรงขัด หรือฉีดน้ำแรงดันสูง เป็นต้น

(3) ฝุ่นผง ขี้โคลน สนิมเหล็ก (Deposition fouling)

อนุภาคขนาดเล็กเหล่านี้ สามารถปะปนเข้ามาในระบบน้ำแลกเปลี่ยนความร้อนของคูลลิ่งทาวเวอร์ที่ส่วน ใหญ่เป็นระบบเปิด ในสภาวะที่เหมาะสมซึ่งความเร็วของน้ำอยู่ในระดับต่ำ อนุภาคเหล่านี้สามารถสะสมตัวในบางจุดของอุปกรณ์ เช่น จุดอับจากการไหลวนของของไหล เป็นต้น แม้ว่าจะมีการจัดการคุณภาพที่ดี ของสภาวะแวดล้อมภายในสถานประกอบการก็ตาม ตะกรันประเภทนี้โดยทั่วไปจะใช้วิธีการกำจัดด้วยวิธีทางกล เช่น แปรงขัด หรือฉีดน้ำแรงดันสูง เป็นต้น

(4) ตะกรันจากการกัดกร่อน (Corrosion fouling)

การกัดกร่อนผิวของวัสดุโลหะที่ใช้สร้างอุปกรณ์สามารถเกิดได้จากสารเคมี โดยอากาศหรือก๊าซภายในระบบ หมุนเวียนน้ำแลกเปลี่ยนความร้อนจะไปทำปฏิกิริยากับโลหะ แล้วเกิดสารสะสมตัวเกาะพื้นผิวท่อแลกเปลี่ยนความ ร้อน โดยทั่วไปชั้นของตะกรันสะสมเหล่านี้จะมีความต้านทานการถ่ายเทความร้อนสูง

รูปที่ 2.2 คราบตะกรันในท่อระบบหล่อเย็น [9]

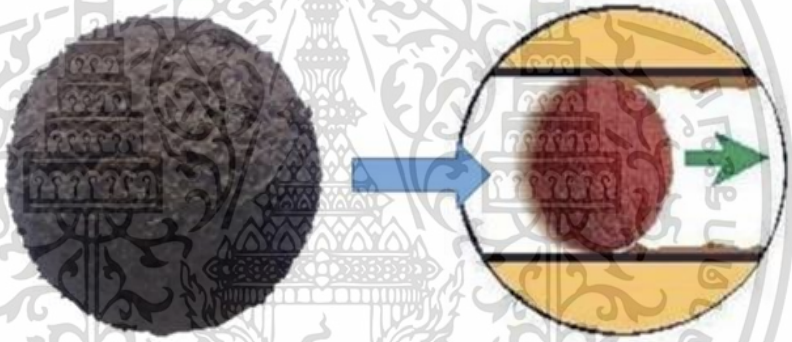
ผลกระทบของตะกรันต่อระบบชิลเลอร์ทำความเย็น (Effect of Fouling on HVAC Chillers) [8]

ตะกรันที่เกาะผิวท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะทำให้เกิดความต้านทานการถ่ายเทความร้อน ซึ่งส่งผลกระทบ ทำให้ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการเดินเครื่องระบบมากขึ้น รวมทั้งเป็นการลดประสิทธิภาพของระบบพลังงานไฟฟ้าที่ ต้องใช้เพิ่มมากขึ้นจะถูกนำไปใช้ที่คอมเพรสเซอร์ โดยตะกรันที่เกิดขึ้นทำให้เพิ่มความต้านทานการถ่ายเทความร้อน ของพื้นผิวและเป็นผลทำให้สารทำความเย็นในสถานะก๊าซมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งก๊าซจะมีความดันสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นคอมเพรสเซอร์จึงต้องใช้พลังงานมากขึ้นในการอัดก๊าซสารทำความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 วิธีใช้ลูกบอลยาง [8]

ระบบ Condenser Tube Cleaning System จะทำความสะอาดท่อระบบหล่อเย็นแบบออนไลน์ โดยใช้ลูกบอลยาง (Sponge rubber ball) โดยจะติดตั้งหัวฉีด (Injection nozzle) ที่ทางเข้าของท่อระบบหล่อเย็นตามจุดที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับรูปแบบการระบายความร้อนเพื่อให้มีการกระจายตัวของลูกบอลได้ทั่วถึงแผ่นรังผึ้งของท่อระบบหล่อเย็น (Condenser tube sheet) โดยลูกบอลจะวิ่งเข้าไปในแต่ละท่อโดยอาศัยการไหลของน้ำเย็น และความต่างของความดันระหว่างท่อ ลักษณะของลูกบอลยางจะมีขนาดที่ใหญ่กว่าขนาดของท่ออยู่ประมาณ 2-3 มิลลิเมตร เพื่อให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างลูกบอลกับผิวท่อ โดยแรงเสียดทานเป็นสิ่งสำคัญในการขัดเอาตะกรันออกจากผิวท่อ โดยแสดงลักษณะลูกบอล ดังรูปที่ 2.3 เมื่อทำความสะอาดเสร็จแล้วลูกบอลจะย้อนกลับไปส่วนที่กรอง (Strainer section) เอาลูกบอลออกที่ทางด้านปลายท่อ (Condenser outlet) ซึ่งทำหน้าที่กรองลูกบอลเพื่อส่งกลับไปที่เก็บลูกบอล และรอการใช้งานในครั้งต่อไป



รูปที่ 2.3 ลักษณะลูกบอลยางที่ใช้ทำความสะอาดท่อระบบหล่อเย็น [8]

ข้อดี [3]

- ไม่ต้องใช้ปั๊ม ไม่ต้องใช้มอเตอร์ ไม่ต้องใช่คอมเพลสเซอร์
- ไม่เกิดสารตกค้างที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์
- ค่าบำรุงรักษา และค่าใช้จ่ายในการจัดการต่ำ
- ประหยัดแรงงาน และเวลาในการดำเนินงาน

ข้อเสีย

- ไม่สามารถทำความสะอาดได้ครอบคลุม
- เหมาะสมกับโรงงานที่มีขนาดใหญ่หรือโรงงานที่ต้องการดำเนินการผลิตอย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Hossein Bayat, และคณะ [11] ศึกษาการเชื่อมโยงและโครงสร้างของโฟมยางธรรมชาติโดยการเติมซิลิกาคอมโพสิต สมบัติของโฟมขึ้นอยู่กับความหนาแน่นและโครงสร้างเซลล์ซึ่งจะถูกควบคุมโดยกระบวนการเกิดฟอง โฟมยางในปัจจุบันส่วนใหญ่ผลิตมาจากยางธรรมชาติซึ่งมีสมบัติพิเศษ เช่น ความยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำ มีความยืดหยุ่นที่ดี มีความต้านทานการฉีกขาดและสามารถทนต่อแรงกระแทกได้ดีเยี่ยม การเตรียมโฟมจากยางธรรมชาติที่เป็นของแข็ง เมื่อนำมาตรวจสอบการดูดซับเสียงของโฟมธรรมชาติ โฟมที่มีขนาดเซลล์เล็กจะมีประสิทธิภาพการดูดซับเสียงที่ดีกว่า สูตรยางที่ใช้คือ ยางธรรมชาติ ซิลิกาที่ตกตะกอน สารเร่ง สารให้ฟอง ซิงค์ออกไซด์ กำมะถัน กรดสเตียริก พาราฟินและน้ำมัน โฟมยางธรรมชาติที่เติมด้วยซิลิกาคอมโพสิต ซึ่งเตรียมโดยกระบวนการเกิดฟองได้สองวิธี คือ หนึ่งขั้นตอนและสองขั้นตอน วิธีหนึ่งขั้นตอน เริ่มแรกทำการเกิดฟองที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการเชื่อมโยงยางที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส วิธีสองขั้นตอน ทำการเกิดฟองและการเชื่อมโยงของยางพร้อมกันที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส การเพิ่มสารให้ฟองในสารประกอบยางธรรมชาติช่วยเพิ่มอัตราการการเชื่อมโยงและลดระยะเวลาที่ยางเริ่มจะเกิดการคงรูปอย่างเห็นได้ชัด การเพิ่มซิลิกาคอมโพสิตมีผลกระทบเล็กน้อยต่อพฤติกรรมการเชื่อมโยงของยาง การเกิดฟองในวิธีสองขั้นตอนทำให้ความหนาแน่นของโฟมลดลง ขนาดของเซลล์เพิ่มขึ้น และการกระจายเซลล์ที่ไม่สม่ำเสมอ และเมื่ออุณหภูมิฟองที่สูงขึ้นจะจำกัดการเติบโตของฟองเนื่องจากมีอัตราการเชื่อมโยงที่สูงขึ้นและยับยั้งการรวมตัวของเซลล์

Ali Vahidifar และคณะ [12] การนำยางธรรมชาติมาผลิตเป็นยางโฟม มีโครงสร้างแบบปิดที่มีสมบัติที่คือขนาดของเซลล์เล็กความหนาแน่นต่ำ มีความแข็งแรงและสมบัติการซึมผ่านของแก๊สและเสียง ทนต่อความร้อน โดยสูตรที่ใช้คือยางธรรมชาติ/นาโนเคลย์/นาโนคาร์บอนแบล็ค นาโนคาร์บอนแบล็คจะทำให้การขึ้นรูปโฟมได้เซลล์ที่มีการกระจายขนาดใกล้กันและผนังเซลล์หนาโฟมที่ได้จะมีสมบัติดีขึ้น แต่ไม่เหมาะกับการใช้งานเป็นฉนวนในขณะที่นาโนเคลย์ทำให้เกิดทางคดเคี้ยว (tortuous path) ที่สามารถลดการซึมผ่านของแก๊สได้การรวมตัวของนาโนเคลย์จะทำให้ประสิทธิภาพของการลดการซึมผ่านของแก๊สแย่ลง การเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารเสริมแรงอย่างนาโนเคลย์ชนิด Cloisite 20a ใน 6 แบบ (0, 1, 3, 5, 7, 10 phr) ผลที่เกิดขึ้นคือการใส่นาโนเคลย์ทำให้โฟมยางมีการสุกที่เร็วขึ้นและสมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน สัณฐานวิทยาดีขึ้น โดยความเข้มข้นของนาโนเคลย์ที่ 5 phr ทำให้ได้โฟมที่มีขนาดเซลล์เล็กและการและการกระจายตัวสม่ำเสมอกันที่สุด การกระจายตัวเป็นแบบ Intercalated/exfoliated ซึ่งเป็นการกระจายตัวที่ดี หากเพิ่มนาโนเคลย์มากขึ้นที่7 และ 10 phr เซลล์จะมีโครงสร้างแบบ Agglomerations /aggregations ทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอและเชื่อมต่อกันเป็นโครงสร้างแบบเปิดและยังส่งผลให้ค่ามอดูลัสและความแข็งสูงขึ้น แต่ความยืดหยุ่นของโฟมลดลง การเติมนาโนเคลย์สามารถทำให้เกิดชั้นถ่านและทางคดเคี้ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Tortuous path) ที่ทำหน้าที่เป็นฉนวนความร้อน ตัวอย่างทั้งหมดแสดงผลที่ใกล้เคียงกันคือมีการสะท้อนเสียงที่ดีและมีดูดซับเสียงต่ำ

Pollawat Charoeythornkhajhornchai และคณะ [13] ศึกษาผลกระทบของเอโซไดคาร์-โบนาไมด์ (azodicarbonamide : AZ) ที่เป็นสารให้ฟองต่อสัณฐานวิทยา เวลาการเชื่อมโยง (Cure time) และสมบัติทางกายภาพของโฟมยางธรรมชาติ จากสัณฐานวิทยาเมื่อปริมาณของสารให้ฟองเพิ่มขึ้นจาก 3 เป็น 4 phr ขนาดฟองในเมทริกซ์ยางจะลดลงเล็กน้อยเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอัตราการเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันจากการมีองค์ประกอบของเอมีนเป็นผลพลอยได้จากการสลายตัวไอออนของ AZ การรวมตัวกันระหว่างฟองอากาศสังเกตได้ในตัวอย่างที่ AZ 5 และ 6 phr เนื่องจากมีปริมาณก๊าซสูงในเมทริกซ์ยาง ยิ่งไปกว่านั้น เวลาในการเริ่มเชื่อมโยง (Scorch time) จะลดลงเล็กน้อยและอัตราการเชื่อมโยง (Cure rate) จะเพิ่มขึ้นตามการทำงานของปริมาณอะโซไดคาร์บอนาไมด์ สามารถใช้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการเร่งด้วยตัวของตัวสารเองเพื่ออธิบายปฏิกิริยาการเชื่อมโยงและกลไกของโฟมยางธรรมชาตินี้ นอกจากนี้ พลังงานกระตุ้น (Ea) ยังสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดฟองและโครงสร้างช่องว่างขนาดเล็กของโฟมยางธรรมชาติ เมื่อเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติวัลคาไนซ์โดยไม่เติมสารให้ฟอง พบว่าความหนาแน่นของโฟมยางธรรมชาติลดลงอย่างมีนัยสำคัญและอัตราส่วนการขยายตัวเชิงปริมาตรของโฟมยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นเมื่อสารให้ฟองมีปริมาณสูง ยิ่งไปกว่านั้นโฟมยางธรรมชาติที่มีปริมาณสารให้ฟอง AZ 4 phr แสดงค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนที่ต่ำที่สุดเนื่องจากขนาดฟองที่เล็กที่สุดและมีการรวมตัวกันน้อยกว่า

Do Young Kim และคณะ [14] ศึกษาความยืดหยุ่นสูงสุดและความสามารถในการเปลี่ยนรูปของยาง ทำให้ยางเป็นหนึ่งในพอลิเมอร์ที่ใช้งานได้หลากหลายที่สุดในยุคนี้ โดยความสามารถเหล่านี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ รวมถึงสภาวะการแปรรูป (processing conditions) ระบบการขึ้นรูป (curing system) และประเภทของสารเติมแต่ง (Additives) ที่ใช้ เนื่องจากสมบัติเชิงกลของยางได้รับอิทธิพลจากการเชื่อมโยงของโครงสร้าง จากการตรวจสอบความสัมพันธ์ของสมบัติเชิงกลกับลักษณะการเชื่อมโยงของยางโดยใช้ทฤษฎีการบวมตัวสมบูรณ์ (Equilibrium swelling theory) จากสมการ Flory–Rehner และทฤษฎีความสัมพันธ์ระหว่างยาง-สารตัวเติม (Rubber–Filler Interaction) และในสมการ Kraus การทดลองนี้ได้ทดสอบผลของตัวเร่งปฏิกิริยา (Accelerators) และสารเสริมแรง (Reinforcement agent) ในเชิงปริมาณต่อผลของการเชื่อมโยงทางเคมีและปฏิกิริยาระหว่างยาง-สารตัวเติม ผลการศึกษาโดยสรุป พบว่าปริมาณสารเร่งปฏิกิริยาส่งเสริมให้เกิดโครงสร้างเชื่อมโยงทางเคมีของโมโนซัลไฟด์และไดซัลไฟด์ในยาง NR นอกจากนี้ ผลลัพธ์เหล่านี้ยังแสดงให้เห็นว่าสมบัติเชิงกลและความต้านทานความร้อนของยาง NR ขึ้นอยู่กับลักษณะการเชื่อมโยง ผลการศึกษานี้ให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับการพัฒนาและการประยุกต์ใช้ผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติเพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงกลของผลิตภัณฑ์จากยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

E.Wimolmala และคณะ [15] ศึกษาผลของประเภทและปริมาณของสารให้ฟองทางเคมีในยางผสมที่เป็นโฟมระหว่างยางธรรมชาติ (NR) กับยางเอสบีอาร์ (SBR) ที่อัตราส่วนยางผสมเท่ากัน 1:1 ที่มีผลต่อสมบัติการเชื่อมโยงของยางและทางโครงสร้างจุลภาค โดยใช้สารให้ฟอง 2 ชนิด คือ ออกซีบิสเบนซีนซัลโฟนิลไฮดราไซด์ (Oxybis benzene sulfonyl hydrazide : OBSH) และอะโซ-ไดคาร์โบนาไมด์ (azodicarbonamide : AZ) ที่มีปริมาณ 0-10 phr สารเติมแต่งที่ใช้คือ ผงเถ้าลอย ผงซิลิกา และผงเขม่าดำ ที่ปริมาณสัดส่วนคงที่ 40 phr โดยที่ผงเถ้าลอยและผงซิลิกาทำการปรับปรุงผิวด้วยสารคู่ควบไซเลน ผลการทดลองพบว่า เวลาในการเชื่อมโยง (Cure time) ความหนาแน่น สมบัติเชิงกลของยางผสมลดลงตามปริมาณของสารให้ฟอง โดยที่ OBSH มีประสิทธิภาพสูงกว่าสารให้ฟอง AZ บางผสมที่เติมผงเขม่าดำมีขนาดของเซลล์ฟองขนาดเล็ก และมีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอ เมื่อเทียบกับยางผสมที่เติมผงซิลิกา และผงเถ้าลอย ส่วนการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนของยางผสมไม่มีผลต่อสมบัติความต้านทานแรงดึง และความต้านแรงฉีกขาด แต่สมบัติดังกล่าวมีค่าลดลงเมื่อผ่านการเชื่อมโยงสภาวะด้วยรังสียูวี และสูตรยางฟองน้ำจากการวิจัยสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นปะเก็นยางในระดับโรงงานได้ โดยพบว่า การเติมผงเขม่าดำในยางผสมให้สมบัติเชิงกลโดยรวมที่ดีกว่าสารเติมแต่งชนิดอื่นๆ แต่มีการพองตัวที่น้อยกว่าการเติมซิลิกาเกรดการค้าในยางผสม ส่วนการเติมผงเถ้าลอยในยางผสมทำให้ยางผสมมีราคาลดลง

ปิยะ ดอกรัก และคณะ [16] พัฒนาสูตรยางล้างแม่พิมพ์ชนิดโฟมสำหรับงานอุตสาหกรรม โดยใช้ยางเอทิลีนพรอพิลีน (Ethylene-propylene diene rubber : EPDM) มีซิลิกาชนิดตกตะกอนเป็นสารตัวเติมชนิดเสริมแรงและไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl peroxide : DCP) เป็นสารเชื่อมโยง และใส่สารให้ฟองอะโซไดคาร์โบนาไมด์ (azodicarbonamide : AZ) และไดไนโตรโซเพนตะเมทิลีนเตตระมีน (N,N'-Dinitroso pentamethylene tetramine : DNPT) ร่วมกับคิกเกอร์ (Kicker) สารประกอบยูเรีย ช่วยในการทำงานของสารให้ฟองในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก ในงานวิจัยนี้ใช้โมโนเอทาโนลามีน (Monoethanolamine : MEA) เป็นสารทำความสะอาด ทำการคอมปาวด์ด้วยเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) และขึ้นรูปตัวอย่าง ทดสอบประสิทธิภาพการทำความสะอาดด้วยเทคนิคอัดขึ้นรูป (Compression molding) จากการศึกษาพบว่าเวลาในการขึ้นรูปจะเพิ่มขึ้นเมื่อใส่สารให้ฟอง อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มปริมาณสารให้ฟองจาก 1 phr เป็น 2 phr เวลาในการขึ้นรูปกลับลดลง คาดว่าเกิดจากคิกเกอร์ที่มีสมบัติเป็นด่างช่วยเสริมประสิทธิภาพการเชื่อมโยง การใส่สารให้ฟองจะทำให้สมบัติบางประการ เช่น % การยืด ณ จุดขาด ความแข็งแรงฉีกขาด มอดุลัส และความหนาแน่นลดลง เนื่องจากฟองอากาศทำให้เกิดเป็นรอยตำหนิในชิ้นงาน แต่ความแข็งแรงดึงของชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้น จากผลการศึกษาด้วยเทคนิค TGA พบว่าการสลายตัวของ AZ มีค่ามากกว่าอุณหภูมิการขึ้นรูปของยางล้างแม่พิมพ์ (175 °C) ในขณะที่ DNPT ซึ่งมีอุณหภูมิการสลายตัวใกล้เคียงกับอุณหภูมิขึ้นรูป ทำให้ DNPT จึงเกิดเป็นโฟมยางได้ดีกว่า และมีความหนาแน่นน้อยกว่า จากการทดลองพบว่าการใส่สารให้ฟองทำให้ประสิทธิภาพการทำความสะอาดเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในสูตรที่มี DNPT เป็นสาร

เอกสารนี้ ... ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ฟอง โดยคาดว่ากระบวนการเกิดโฟมจะทำให้เกิดความดันภายในระบบและก๊าซที่เกิดขึ้นจะช่วยนำพา MEA ออกมาสู่ผิวแม่พิมพ์เพื่อล้างทำความสะอาดได้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

แผนการดำเนินการ

งานวิจัยนี้ทำการการออกแบบสูตรทดลองขึ้นรูปตัวอย่าง และทดสอบสมบัติของลูกบอลยางทำความสะอาดสำหรับท่อระบบหล่อเย็นในโรงงานอุตสาหกรรม ร่วมกับบริษัท ไทยรับเทค จำกัด ซึ่งจะทำการศึกษาสูตรลูกบอลยาง เพื่อนำมาใช้ผลิตลูกบอลยางทำความสะอาดท่อระบบหล่อเย็น และปรับลดต้นทุนของลูกบอลยางทำความสะอาดให้ถูกขึ้น ทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ และยังคงมีประสิทธิภาพเทียบเท่าจากการนำเข้าจากต่างประเทศ โดยศึกษาลูกบอลยางทำความสะอาดชนิด “โฟม” ทำได้โดยใช้สารให้ฟอง ขั้นตอนในการทำการวิจัยมีดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ออกสูตรลูกบอลยางทำความสะอาดท่อหล่อเย็น
3. เตรียมตัวอย่างสารเคมี
4. ทำการผสมและอัดขึ้นรูปลูกบอลยาง

ทำการผสมและอัดขึ้นรูปลูกบอลยางทำความสะอาดท่อระบบหล่อเย็นด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) และทำการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine)

ทำการทดสอบสมบัติของลูกบอลยางทำความสะอาดท่อระบบหล่อเย็น

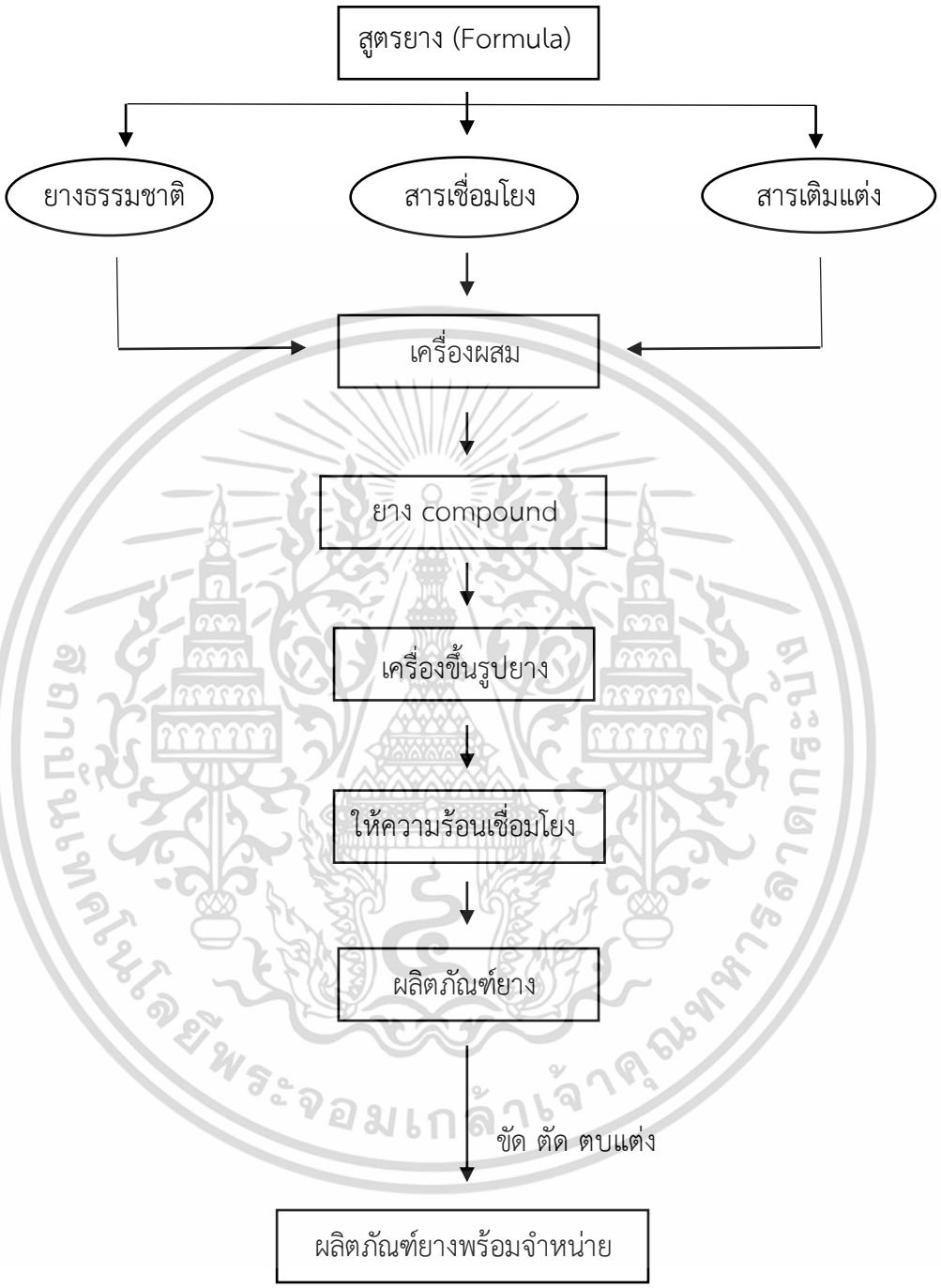
1. ศึกษาความหนืดมูนนี่ของยาง
2. ศึกษาชนิดของสารให้ฟอง
3. ศึกษาโครงสร้างสัณฐานวิทยา
4. ศึกษาความถ่วงจำเพาะ
5. ทำการทดสอบเชิงกล

- การทดสอบความแข็งแรงดึงเชิงกล (Tensile strength) ตามมาตรฐาน ASTM D412
- การทดสอบความแข็งแรงกด (Hardness) ตามมาตรฐาน ASTM D2240
- การทดสอบความทนทานการขัดถู (Abrasion resistance) ตามมาตรฐาน ASTM D5963

6. การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภาพการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 แผนภาพการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

3.1.1 ยางธรรมชาติ (Nutural rubber ; NR) เกรด STR XL, บริษัท NATURAL ART AND TECHNOLOGY จำกัด

3.1.2 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide ; ZnO) เกรด TR235, บริษัท S.SUMPRAN CHEMICAL จำกัด

3.1.3 กรดสเตียริก (Stearic acid) เกรดการค้า, บริษัท PT. DUA KUDA INDONESIA จำกัด

3.1.4 กำมะถัน (Sulfur), บริษัท SAHAPAISAL INDUSTRY จำกัด

3.1.5 ซิลิกา (Silica) เกรด NEWSIL 175, บริษัท Q&C QUECHEN SILICA (THAILAND) จำกัด

3.1.6 บิวทิเลเตด ไฮดรอกซีโทลูอีน (Butylated hydroxytoluene ; BHT) เกรด VULKANOX BHT, บริษัท LANXESS จำกัด

3.1.7 เปปไทเซอร์ (Peptizer) เกรด Peptor 3S บริษัท KAWAGUCHI CHEMICAL INDUSTRY จำกัด

3.1.8 โพลีเอทิลีน ไกลคอล (Polyethylene Glycol 4000 ; PEG4000) เกรดการค้า, บริษัท PAN ASIA CHEMICAL CORP จำกัด

3.1.9 เอโซไดคาร์โบนาไมด์ (Azodicarbonamide ; AZ) เกรดการค้า, บริษัท A.F. SUPERCELL จำกัด

3.1.10 Dinitroso Pentamethylene Tetramine ; DP เกรดการค้า, บริษัท A.F. SUPERCELL จำกัด

3.1.11 P,P-oxy bis(benzene sulfonyl hydrazide ; OBSH เกรดการค้า, บริษัท A.F. SUPERCELL จำกัด

3.1.12 แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate ; $CaCO_3$) เกรด 4Q, บริษัท Quality Minerals Public จำกัด

3.1.13 2-เมอร์แคปโตเบนโซไทอาโซล (2-Mercaptobenzothiazole ; MBT) เกรด MASTER MBT, บริษัท COSMOS CHEMICAL จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) : รุ่น YFT R 8 AB, บริษัท YONG FONG MACHINERY จำกัด

3.2.2 เครื่องผสมยางแบบปิด (Kneader) : รุ่น YFD-3, บริษัท YONG FONG MACHINERY จำกัด

3.2.3 เครื่องวัดความแข็งแรงกด (Hardness Shore O) : รุ่น GS-753G, บริษัท TECLOCK จำกัด

3.2.4 เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine : UTM) : รุ่น TTS200, บริษัท MONSANTO THAILAND จำกัด

3.2.5 เครื่องทดสอบความหนืดของยาง (Mooney viscometer) : รุ่น TMN200, บริษัท MONSANTO THAILAND จำกัด

3.2.6 ตู้อบ (Oven) : รุ่น S2204-3150, บริษัท พีเอ็นพี สเกล แอนด์ อินสตรูเมนท์จำกัด

3.2.7 เครื่องทดสอบความต้านทานการสึกกร่อน (Abrasion) : รุ่น GT-7012-D, บริษัท GOTECH TESTING MACHINES จำกัด

3.2.8 เครื่องที่ใช้ทดสอบสมบัติการไหลและค่าความหนืดของยาง (Rheometer) : รุ่น TTR200, บริษัท MONSANTO THAILAND จำกัด

3.2.9 เครื่องปั้ม (Die cut)

3.2.10 เครื่องวัดความหนา (thickness gauge) : รุ่น 7305, บริษัท MITUTOYO จำกัด

3.2.11 เครื่องทดสอบความหนาแน่น : รุ่น AB204, บริษัท METTLER TOLEDO จำกัด

3.2.12 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง : รุ่น TBS-C, บริษัท ZEPPER INSTUMENTS จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเตรียมสาร

3.3.1 ชั่งสารเคมีตามสูตร ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงสูตรที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี (ส่วนในร้อยส่วนของยาง ; phr)	**สูตรที่ใช้**				
	0 PEP 2 MIN	**0 PEP 10 MIN**	**0.3 PEP 2 MIN**	**0.3 PEP 5 MIN**	**0.3 PEP 10 MIN**
STR XL	100	100	100	100	100
*Silica	5	5	5,10,15,20	5	5
Stearic acid	3	3	3	3	3
ZnO	5	5	5	5	5
BHT	1	1	1	1	1
PEPTOR 3S	0	0	0.3	0.3	0.3
PEG-4000	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
MASTER MBT	1	1	1	1	1
S	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
AZ	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
*DP	-	-	4.6	-	-
*OBSH	-	-	4.6	-	-
*$CaCO_3$	-	-	10,20,30,40,50	-	-
*Mixing Time	2	10	2	5	10

หมายเหตุ * คือตัวแปรที่ศึกษา

- ทุกสูตรศึกษาเวลาในการบดย่อยยางที่เหมาะสม
- สูตร 0.3 PEP 2 MIN ศึกษาชนิดของสารให้ฟอง
- สูตร 0.3 PEP 2 MIN ศึกษาปริมาณซิลิกาที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล
- สูตร 0.3 PEP 2 MIN ศึกษาปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงลำดับการใส่สารระหว่างการผสมยาง

รอบ	ลำดับการใส่	สารเคมี
1	1	STR XL
	2	Silica
	3	PEPTOR 3S
2	4	$CaCO_3$
	5	Stearic acid
	6	ZnO
	7	BHT
	8	PEG-4000
3	กวาดสารเคมี	
4	9	MASTER MBT
	10	S
	11	AZ/DP/OBSH

3.3.2 ทำการผสมสูตรยาง โดยการนำยางธรรมชาติเกรด STR XL มาบดย่อย (Mastication) โดยใช้เครื่องผสมยางแบบปิด (Kneader) ประมาณ 5 วินาที จากนั้นจึงเติมซิลิกา และสารที่ช่วยในการบดย่อย (Peptizers) และผสมยางกับสารโดยใช้เวลา 2, 5, และ 10 นาที

3.3.3 เมื่อครบเวลาที่กำหนดจึงเติม กรดสเตียริก, ZnO, BHT, และ PEG ลงไปทั้งหมด แล้วใช้เวลาอีก 3 นาทีในการผสมยางให้เข้ากับเนื้อยาง

3.3.4 เมื่อครบเวลาจากขั้นตอนที่แล้ว จะต้องหยุดเครื่องเพื่อกวาดเคมีที่กระจายอยู่ที่เครื่องลงไปในตัวเครื่องผสม และหลังจากนั้นทำการผสมยางอีก 4 นาที เพื่อให้สารเคมีที่กวาดลงไปผสมเข้ากับเนื้อยาง

3.3.5 นำยางที่ได้จากเครื่องผสมแบบปิด มาใส่เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) บดย่อยยางจนกว่าอุณหภูมิของยางจะลดลงเล็กน้อย และนำยางออกจากเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง เพื่อนำยางคอมพาวด์ (Compound A) ที่ได้มาตัดแบ่งชั่งตามน้ำหนักที่ต้องการ

3.3.6 นำยางที่ชั่งมาใส่เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งที่ความห่างของลูก 2 มิลลิเมตร เพื่อใส่สารเติมแต่งที่เหลือ ได้แก่ S_8, AZ/DP/OBSH และ MASTER MBT กรีดพับยางไปมาจนครบเวลาประมาณ 6-7 นาที และปรับความห่างของลูกกลิ้งลดลงเหลือ 1 มิลลิเมตรและกรีดยางพับไปพับมาโดยใช้เวลา 3-3.5 นาที ในครั้งสุดท้ายนี้จะต้องปรับความห่างของลูกกลิ้งให้ห่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสาร[illegible]ใช้[illegible]ใช้[illegible]ใช้[illegible]ค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 มิลลิเมตร และกรีดพับยางไปอีก 3-3.5 นาที จากนั้นจึงนำยางออกจากเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง

3.3.7 นำยางคอมพาวด์ (Compound A) ที่ได้จากข้อ 3.3.4 และยางคอมพาวด์ (Compound B) แบ่งไปวัดหาค่าความถ่วงจำเพาะ

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 ทดสอบสมบัติของยางคอมพาวด์บีที่มีเวลาในการผสมแตกต่างกัน

- ศึกษาค่าความหนืดมูนนี่ที่ 100 °C และมูนนี่สก็อตที่ 100°C โดยการนำยางคอมพาวด์ (Compound B) มาตัดชั่งให้ได้น้ำหนักตัวอย่างที่ตัวอย่างละ 27-30 กรัม

- ศึกษาอัตราการคงรูปของยางคอมพาวด์ (Compound B) ที่อุณหภูมิ 150°C เวลา 8 นาที โดยใช้เครื่องรีโอมิเตอร์ เพื่อหาเวลาในการเชื่อมโยง (Cure time ; T_{90}) ของยางกับกำมะถัน

- ตัดยางคอมพาวด์ (Compound B) มาชั่งให้ได้น้ำหนัก 10 กรัม และนำไปเข้าตู้อบ (Oven) ที่อุณหภูมิ 165 °C ตามเวลาในการเชื่อม (T_{90}) ที่ได้จากกราฟของเครื่องรีโอมิเตอร์ และนำยางที่ออกตู้อบมาทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิ 25 °C หลังจากนั้นจึงนำมาวัดค่าความถ่วงจำเพาะเพื่อหาอัตราการขยายตัวของยาง

- นำค่าความถ่วงจำเพาะที่ได้จากข้อด้านบนของยางคอมพาวด์ (Compound B) หลังจากเข้าตู้อบมาคูณกับปริมาตรของแม่พิมพ์ เพื่อน้ำหนักของยางที่ต้องใส่ลงในแม่พิมพ์

- เมื่อได้ยางที่ผ่านการชั่งน้ำหนักมาแล้ว มาใส่แม่พิมพ์เพื่อนำไปเข้าเครื่องปั๊มแบบมือเพื่อกดอัดยางให้เรียบเนียนให้ได้มากที่สุด และจากนั้นจะต้องนำยางทั้งแม่พิมพ์นำมาใส่ในตู้อบ (Oven) ที่อุณหภูมิ 100 °C (Precure) ตามเวลาของมูนนี่สก็อตที่ 100°C และขั้นตอนต่อมาคือการนำยางจากตู้อบมาเข้าเครื่องอัดร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C ตามเวลาจาก T_{90} + 8 นาที

- นำยางที่อัดครบเวลาแล้วมาทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และนำไปวัดค่าความถ่วงจำเพาะ

จากสมการความถ่วงจำเพาะ

$$\text{ค่าความถ่วงจำเพาะ } (SG) = \frac{\text{น้ำหนักยางบนอากาศ} - \text{น้ำหนักยางใต้น้ำ}}{\text{น้ำหนักยางบนอากาศ}} \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ตารางศึกษาสมบัติของยางคอมพาวด์บีที่มีเวลาในการบดย่อยยางที่แตกต่างกัน

Sample	Mixing time รอบที่ 1	Mixing time รอบที่ 2	Mixing time รอบที่ 3
PEPTOR 3S 0 phr	2, 10 min	3 min	4 min
PEPTOR 3S 0.3 phr	2, 5, 10 min	3 min	4 min

3.4.2 วิธีการขึ้นรูป

- คำนวณน้ำหนักของยางจากปริมาตรของแม่พิมพ์

น้ำหนักของยางที่ต้องใส่ในแม่พิมพ์ = ปริมาตรของแม่พิมพ์ × ค่าความถ่วงจำเพาะของยาง (3.2)

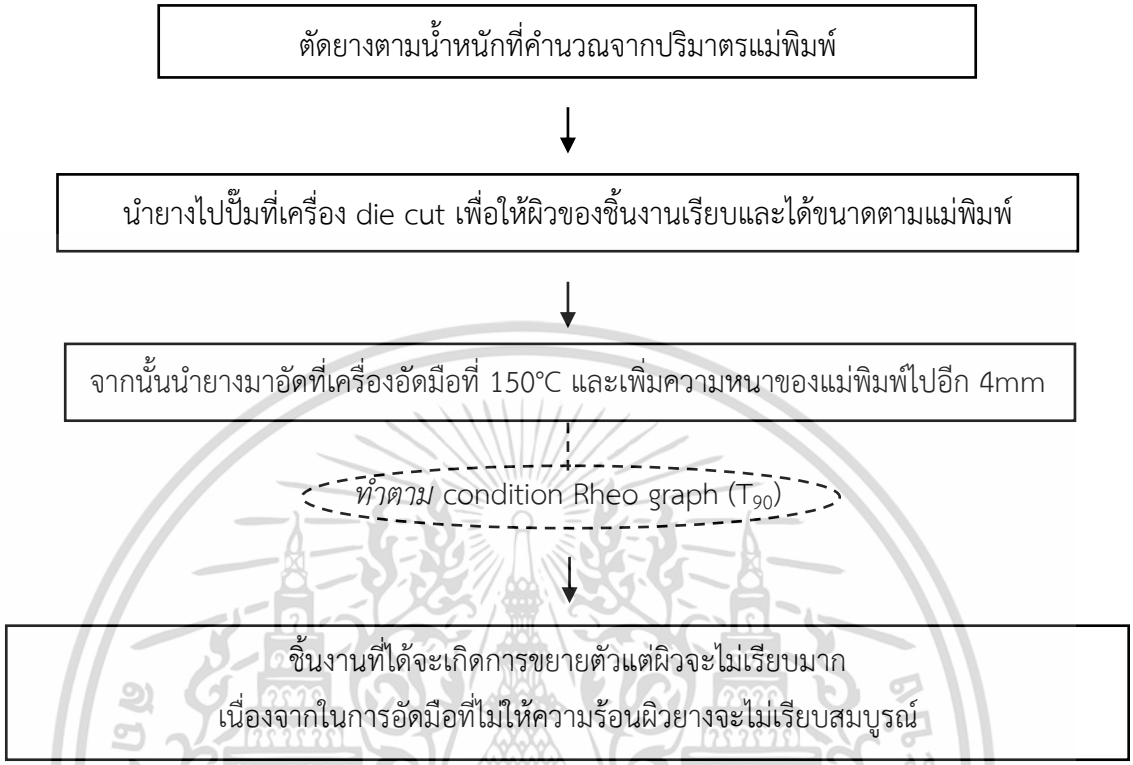
- นำยางที่ได้จากการคำนวณไปเข้าเครื่องปั๊มยาง (Die Cut) เพื่อทำให้ผิวของยาง Compound B เรียบ

- นำไปเข้าตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 100°C และเวลาตามกราฟของ Mooney Scorch

- นำไปเข้าเครื่องอัดแบบมือ อุณหภูมิ 150°C และเวลาตาม T_{90}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขึ้นรูปแบบกดอัด



รูปที่ 3.2 กระบวนการขึ้นรูปแบบกดอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขึ้นรูปแบบบ่มเร่ง

รูปที่ 3.3 กระบวนการขึ้นรูปแบบบ่มเร่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 ศึกษาชนิดของสารให้ฟองที่ปริมาณ 4.6 phr

3.4.3.1 นำผลที่ได้จาก 3.4.1 มาเปรียบเทียบเพื่อดูสูตรที่มีค่ามูนนี่ที่ต่ำและเหมาะสมที่สุด

3.4.3.2 ศึกษาชนิดของสารให้ฟองเพื่อดูสัณฐานวิทยา ค่าความหนาแน่นจำเพาะและค่าความแข็งของยาง

ตารางที่ 3.4 ตารางศึกษาชนิดของสารให้ฟองที่มีผลต่อสัณฐานวิทยาของยาง

สูตร	ชนิดและปริมาณของสารให้ฟอง		
0.3PEP-2Min	AZ	DP	OBSH

3.4.4 ศึกษาปริมาณซิลิกา (Si)

3.4.4.1 นำผลที่ได้จาก 3.4.3 มาเปรียบเทียบดูการขยายตัวที่ดี มีขนาดของรูพรุนที่สม่ำเสมอ ค่าความหนาแน่นจำเพาะและค่าความแข็งของยางตามที่ต้องการ

3.4.4.2 ศึกษาปริมาณซิลิกาที่ 5, 10, 15 และ 20 phr

ตารางที่ 3.5 ตารางศึกษาปริมาณซิลิกาที่มีผลต่อสมบัติทางเชิงกล

สูตร	ปริมาณซิลิกา (phr)			
0.3PEP-2Min	5	10	15	20

3.4.5 ศึกษาปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$)

3.4.5.1 นำสูตรจาก 3.4.4.1 มาศึกษาปริมาณ $CaCO_3$

ตารางที่ 3.6 ตารางศึกษาปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีผลต่อต้นทุนในการผลิต

สูตร	ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต (phr)				
0.3PEP-2Min-4.6AZ	10	20	30	40	50

3.4.6 ทดสอบสมบัติเชิงกล

3.4.6.1 การทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ตามมาตรฐาน ASTM D412

โดยนำแผ่นยางที่ผ่านการขึ้นรูปมาตัดเป็นรูปดัมเบล ด้วยเครื่องตัดแบบ die cut และใช้จำนวนชิ้นตัวอย่างของแต่ละสูตร 3 ชิ้น และนำชิ้นตัวอย่างไปทดสอบด้วยเครื่อง tensometer ที่อัตราการดึง 500 mm/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

$$\text{Tensile strength} = F/A \quad (3.3)$$

เมื่อ F คือ แรงดึงที่ทำให้ชิ้นงานทดสอบขาด (N)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบขณะยังไม่ยืด (mm^2)

$$\text{300\% modulus} = F/A \quad (3.4)$$

เมื่อ F คือ แรงดึงที่ทำให้ชิ้นทดสอบยืด 300% (N)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบขณะยังไม่ยืด (mm^2)

$$\text{Elongation at break} = [(L-L_0)/L_0] \times 100 \quad (3.5)$$

เมื่อ L คือ ระยะที่ชิ้นทดสอบสามารถยืดตัวได้จนขาด (cm)

L_0 คือ ระยะกำหนดก่อนทำการทดสอบ (cm)

3.4.6.2 การทดสอบความแข็งแรงกด (Hardness) ตามมาตรฐาน ASTM D2240

ทดสอบความแข็งโดยการเตรียมชิ้นงานโดยนำยางตัวอย่างไปเข้าเครื่อง Compression molding ใช้เวลาตาม T_{90} และนำชิ้นงานที่ได้มาพักให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที และนำไปทดสอบความแข็งที่เครื่องทดสอบความแข็ง Shore O อุณหภูมิ 23 ± 2 °C , ความชื้น 50 ±5 % เริ่มจากใช้แรงกดทั่วไปตามมาตรฐานกำหนดมากด โดยหัวของเครื่องจะกดลงไปบนผิวชิ้นงานที่จะทดสอบ โดยกำหนดความเร็วให้ไม่เกิน 3.2 mm/sec ตำแหน่งที่จะทดสอบควรอยู่ห่างจากขอบชิ้นงานมากกว่า 12 mm และความหนาของชิ้นงานต้องมากกว่า 6 mm

<u>หมายเหตุ</u> ในการวัดค่าความแข็งของยางฟองน้ำยิ่งตัวเลขมีค่าสูงมากเท่าไหร่ก็จะบ่งบอกว่ายางฟองน้ำมีความแข็งมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.6.3 การทดสอบความทนทานการขัดถู (Abrasion resistance) ตามมาตรฐาน ASTM D5963

ทดสอบการสึกหรอของลูกบอลยาง ด้วยเครื่อง DIN Abrasion tester โดยนำตัวอย่างยางที่ได้จากการอัดเบ้าใส่ไปในเครื่องทดสอบหมุนให้ครบ 40 ± 1 รอบต่อนาที แล้วนำตัวอย่างไปชั่งแล้วคำนวณหาปริมาตรยางที่หายไป นำยางไปทดสอบเป็นจำนวน 2 ครั้ง

การคำนวณ

$$\text{Volume loss} = [(\text{Wt.loss}_{avg}/D_{avg}) \times (S/S_o) \times 1000] \quad (3.6)$$

เมื่อ Wt.loss_{avg} คือ น้ำหนักยางที่หายไปเฉลี่ย (g)

D_{avg} คือ ความหนาแน่นของยางเฉลี่ย (g/cm^3)

S คือ Weight loss of Std. Rubber (g)

S_o คือ Nominal abrasive grade (g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 3.7 ตารางแสดงแผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	เดือน								
	สค 65	กย 65	ตค 65	พย 65	ธค 65	มค 66	กพ 66	มีค 66	เมย 66
ศึกษาทฤษฎีจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←	—	→						
ออกสูตรลูกบอลยางทำความสะอาดท่อหล่อเย็น				←	—	→			
เตรียมตัวอย่างสารเคมี						←	→		
ทำการผสมและอัดขึ้นรูปลูกบอลยางฟองน้ำ						←	—	—	→
ทดสอบสมบัติ							←	—	→
สรุปและเขียนรายงาน									← →

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ในปัจจุบันโรงงานผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยมีการใช้ผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำทำความสะอาดท่อระบบหล่อเย็น (Condensers) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องนำเข้าจากประเทศ แต่ปัญหาที่พบคือผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำล้างท่อนั้นมีราคาค่อนข้างสูง ซึ่งประเทศไทยมีการผลิตยางธรรมชาติค่อนข้างมาก จึงได้มีคิดค้นและพัฒนาที่จะนำยางธรรมชาติในประเทศมาต่อยอด จึงได้เกิดโครงงานการผลิตยางฟองน้ำจากยางธรรมชาติสำหรับทำความสะอาดท่อระบบหล่อเย็นเพื่อช่วยแก้ลดการนำเข้าสินค้าประเภทวัสดุสิ้นเปลืองจากต่างประเทศ และทำให้สามารถนำผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำไปทำความสะอาดและคราบสิ่งสกปรกโดยไม่ให้เกิดความเสียหายต่อท่อระบบหล่อเย็นและประหยัดเวลาในการทำความสะอาด และมีรูปแบบการใช้งานสอดคล้องสภาพการทำงานในระบบระบายความร้อนของโรงงานผลิตไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้แบ่งการศึกษาออกเป็น

1. ศึกษาสมบัติของยางคอมพาวด์บีที่มีเวลาในการบดย่อยแตกต่างต่างกันที่ 2, 5 และ 10 นาที
2. ศึกษาชนิดของสารให้ฟองที่มีผลต่อสัณฐานวิทยา ความถ่วงจำเพาะและความแข็ง
3. ศึกษาปริมาณสารตัวเติมที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล โดยศึกษา
    3.1 ปริมาณซิลิกาที่ 5, 10, 15 และ 20 phr
    3.2 ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 phr
4. วิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

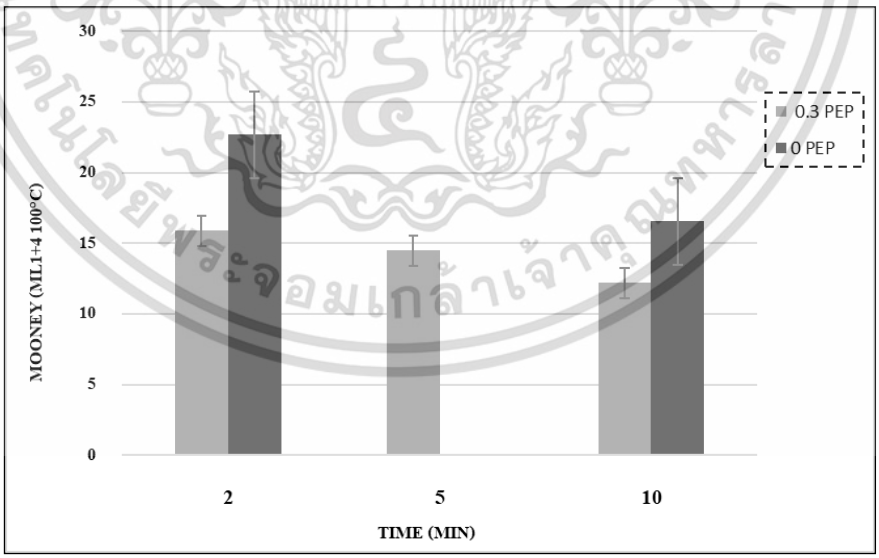
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การศึกษาสมบัติของยางคอมพาวด์บีที่มีเวลาในการผสมแตกต่างกัน

เกรดของยางธรรมชาติมีหลายเกรด ขึ้นอยู่กับความสกปรกและสิ่งเจือปนที่อยู่ในเนื้อยาง โดยความสกปรกของยางจะส่งผลต่อความหนืด และสีของยาง แต่จะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำความสะอาด ซึ่งยางธรรมชาติเกรดที่นำมาใช้ คือ เกรด STR XL เป็นเกรดที่สะอาดมาก มีสิ่งเจือปนน้อยมาก การทำฟองให้เกิดในเนื้อยางนั้นต้องอาศัยความหนืดของยางที่ต่ำ เนื่องจากยางเป็นพอลิเมอร์ที่ค่อนข้างไหลได้ยาก มีความหนืดสูง ดังนั้นจึงทำการศึกษาเวลาในการบดย่อยเพราะเวลาในการบดย่อยจะส่งผลต่อความหนืดของยาง จึงได้กำหนดเวลาในการบดย่อยเป็น 2, 5 และ 10 นาที และใส่สารที่ช่วยในการบดย่อยลงไปด้วย เพื่อดูความแตกต่างของความหนืดที่ใส่สารช่วยในการบดย่อย (Peptizer ; PEP) กับสูตรที่ไม่ใส่สารที่ช่วยในการบดย่อย โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดความหนืดของยางให้เหลือ 15-20

ตารางที่ 4.1 ศึกษาความหนืดของยางที่มีเวลาในการบดย่อยแตกต่างต่างกันที่ 2, 5 และ 10 นาที

สูตร / เวลาบดย่อย(นาที)	2	5	10
PEP0 (ML1+4 100°C)	22.7	-	16.6
PEP0.3 (ML1+4 100°C)	15.9	14.5	12.2



รูปที่ 4.1 แผนภูมิแสดงความหนืดของยางโดยเปรียบเทียบผลของปริมาณเปปไทเซอร์และเวลาในการผสมสารเคมีที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองทั้ง 2 สูตร ณ เวลาต่างกัน จะมีสูตร PEP0-10MIN, PEP0.3-2MIN, PEP0.3-5MIN ที่ค่าความหนืดที่ใกล้เคียงกับค่าต้องการที่สุด จากระยะเวลาการผลิตจริงของโรงงาน จะเห็นได้ว่าที่ 5 และ 10 นาทีนั้นใช้เวลาในการผลิตนานเกินความจำเป็นจะส่งผลให้ต้นทุนสูงขึ้น จึงไม่คุ้มค่าแก่การผลิต และไม่สามารถนำมาใช้ในการทดลองต่อได้ ดังนั้นจึงเลือกสูตรที่มีระยะการบดย่อยน้อย แต่ได้ผลความหนืดอยู่ในช่วงที่ต้องการ คือ สูตร PEP0.3-2MIN

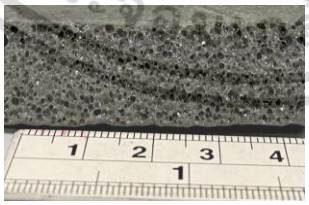
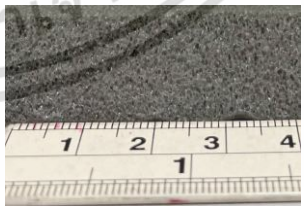
4.2. ศึกษาชนิดของสารให้ฟองที่มีผลต่อถ่วงจำเพาะและความแข็ง

สารให้ฟองเป็นสารที่มีการสลายตัวทางความร้อนที่อุณหภูมิแตกต่างกัน และก๊าซที่ได้จากการสลายตัวก็แตกต่างกันด้วย ขึ้นอยู่กับชนิดของสารให้ฟองนั้นๆ แก๊สที่ได้จากการสลายตัวของสารให้ฟองจะส่งผลต่อสัณฐานของยาง ความถ่วงจำเพาะ และความแข็งกดของยาง

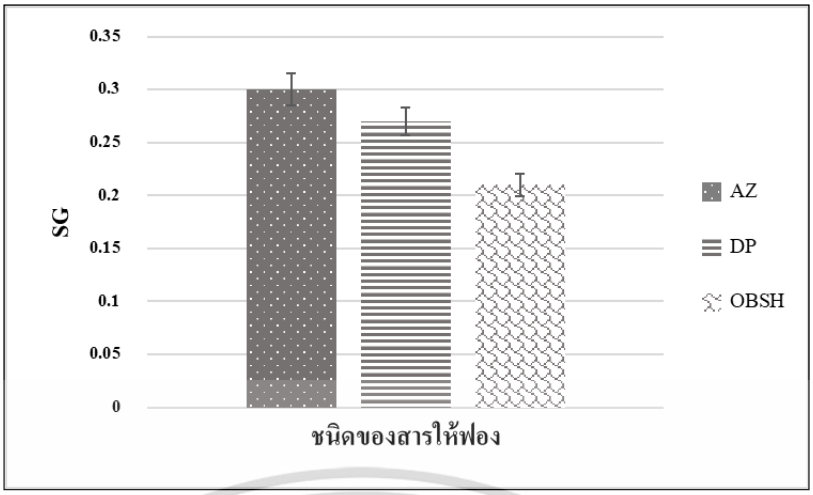
ตารางที่ 4.2 ศึกษาชนิดของสารให้ฟองที่มีผลต่อค่าความถ่วงจำเพาะ (SG) และความแข็งกด (HS)

สมบัติ / ชนิดสารให้ฟอง	AZ	DP	OBSH
ความหนืด (ML1+4 100°C)	15.9	24.8	31.4
ความถ่วงจำเพาะ	0.30	0.27	0.21
ความแข็งแรงกด (Shore O)	14	14	5

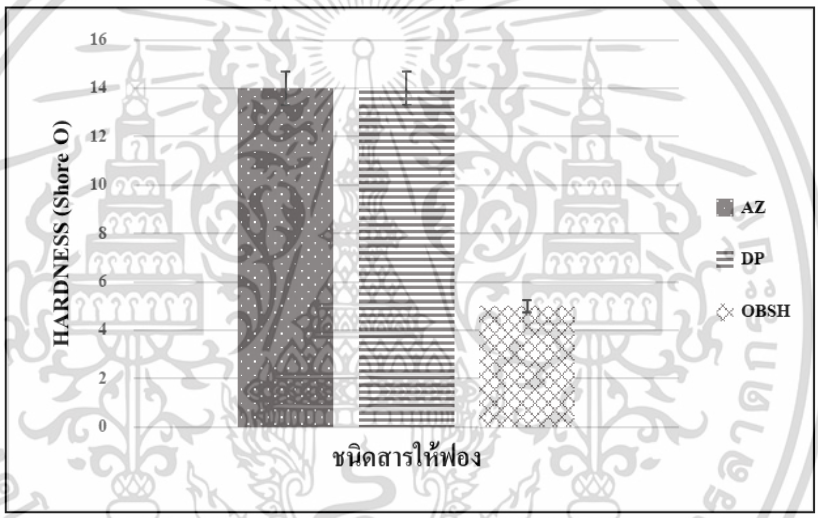
ตารางที่ 4.3 ศึกษาชนิดของสารให้ฟองที่มีสัณฐานวิทยาของยาง

ชนิดสารให้ฟอง	AZ	DP	OBSH
สัณฐานวิทยาเบื้องต้น (รูปถ่าย)			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบ Specific gravity ที่มีสารให้ฟองต่างชนิดกัน



รูปที่ 4.3 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบ Hardness (Shore O) ที่มีชนิดของสารให้ฟองต่างชนิดกัน

การศึกษาชนิดของสารให้ฟองทั้ง 3 ชนิด จะเห็นว่าขนาดของรูพรุนนั้นแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากก๊าซที่สลายตัวออกมามีขนาดโมเลกุลที่แตกต่างกัน สารให้ฟองชนิดที่ 3 (OBSH) จะมีรูพรุนขนาดใหญ่ที่สุด และมีค่าความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกับความต้องการของงานนี้ แต่ว่ามีค่าความแข็งแรงกดที่ต่ำเกินไป เนื่องจากความหนาแน่นน้อยทำให้ยางฟองน้ำมีโครงสร้างผนังเซลล์ที่บางกว่า ทำให้มีความแข็งน้อยกว่า จึงไม่สามารถนำมาใช้ในงานวิจัยได้ สารให้ฟองชนิดที่ 1 (AZ) มีขนาดรูพรุนที่รองจากสารให้ฟองชนิดที่ 3 (OBSH) และยังมีค่าความแข็งแรงกดใกล้เคียงกับความต้องการ จึงเหมาะกับการเลือกเป็นสารที่ใช้ในงานวิจัยนี้ และสารให้ฟองชนิดที่ 2 (DP) มีขนาดรูพรุนที่เล็กที่สุด แม้ว่าจะมีค่าความถ่วงจำเพาะที่น้อยกว่าสารให้ฟองชนิดที่ 1 (AZ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ศึกษาปริมาณสารตัวเติมที่มีผลต่อสมบัติเชิงกล

โดยศึกษาความต้านทางแรงดึง (Tensile strength), ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity ; SG), ความแข็งแรงกด (Hardness ; HS), ความทนทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance), ประสิทธิภาพการทำความสะอาด

งานวิจัยนี้เลือกซิลิกาเป็นสารตัวเติมที่ใช้ในการทดลอง เนื่องจากซิลิกาเป็นสารตัวเติมชนิดเสริมแรงที่ดี มีขนาดอนุภาคเล็ก มีความเป็นขั้วค่อนข้างสูง ช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลให้ดียิ่งขึ้น ศึกษาโดยใช้ปริมาณ STR XL 100 phr และจึงนำสูตรจากตอนที่ 4.2 ทำการแปรปริมาณซิลิกาที่ปริมาณ 5, 10, 15 และ 20 phr สภาวะในการขึ้นรูปให้ความร้อนที่ 100°C และหลังจากนั้นนำมาอัดขึ้นรูปที่ 150°C เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่เหมาะกับการทดสอบสมบัติเชิงกลในแต่ละรูปแบบ

4.3.1 ศึกษาปริมาณซิลิกา (Si)

ตารางที่ 4.4 การศึกษาสมบัติเชิงกลจากสูตรเริ่มต้นที่ 0.3PEP-2MIN-4.6AZ เมื่อเติมปริมาณซิลิกาที่แตกต่างกันคือ 5, 10, 15 และ 20 phr

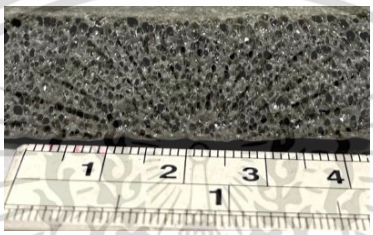
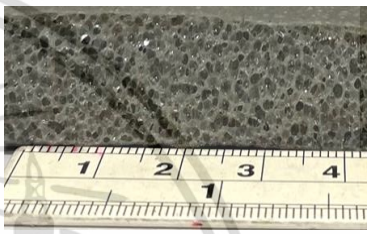
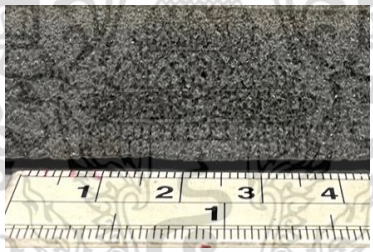
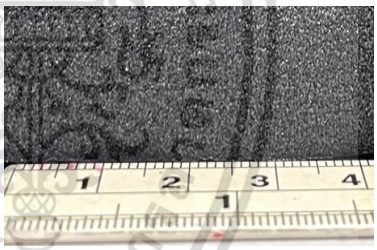
สมบัติ / ปริมาณ Si (phr)	Commercial Product	5	10	15	20
ความหนืด (ML1+4 100°C)	N/A	15.9	30.8	33.5	34.4
ความถ่วงจำเพาะ	0.33	0.30	0.27	0.27	0.27
ความแข็งแรงกด (Shore O)	15	14	14	10	13
ความต้านทางแรงดึง (MPa)	N/A	48.4	41.2	26.9	26.8
ความทนทานต่อการขัดถู (mm^3)	385	301	209	220	362

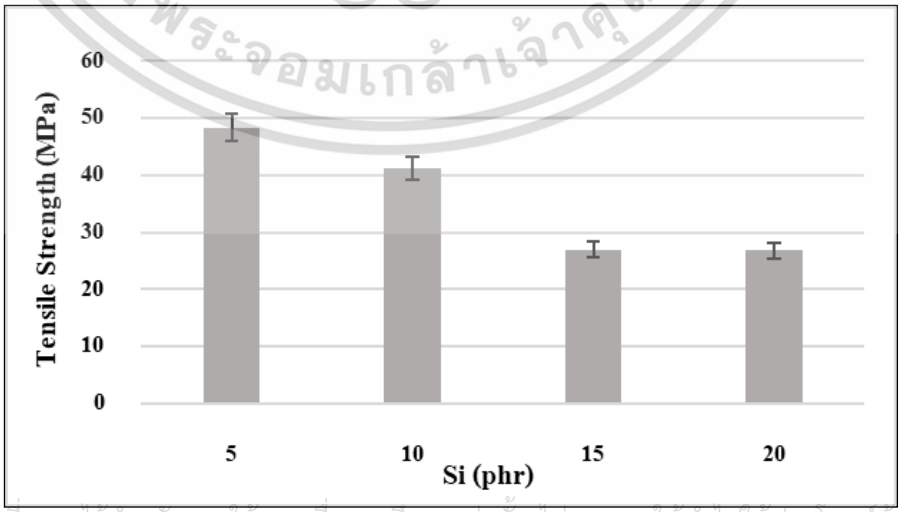
อย่างไรก็ตามข้อเสียของการเติมซิลิกาที่มากขึ้น คือ ความหนืดของยางจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณซิลิกาจะสังเกตได้ว่าเมื่อเติมซิลิกาจาก 5 phr เป็น 10 phr เนื่องจากซิลิกาเป็นสารตัวเติมชนิดเสริมแรงทำให้ความหนืดจะสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด จนทำให้ฟองที่เกิดจากการสลายตัวของสารให้ฟองขยายตัวออกได้ยากกว่า จึงเกิดเป็นฟองขนาดเล็กและมีจำนวนของฟองที่มากกว่า นอกจากนี้จะเกิดโอกาสที่ฟองขนาดเล็กรวมตัวกันเป็นฟองขนาดใหญ่ (Coalescent) ยากกว่า ซึ่งจะส่งผลทำให้นั้นความต้านทานแรงดึงลดลง และความถ่วงจำเพาะลดลงเพราะว่าจำนวนฟองที่เพิ่มขึ้นจะแทรกตัว

เอกสารนี้เป็นการเผยแพร่เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง ดัดแปลงเพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ในเนื้อยางมากกว่าการเติมซิลิกา 5 phr และความต้านทานการขัดถูที่คาดเคลื่อนเกิดจากการใส่ซิ-ลิกาเพิ่มจะรวมตัวกันเป็นก้อน (Agglomerates) แต่ไม่กระจายตัวไปที่ผิวของยาง เมื่อนำไปทดสอบการขัดถูผิวยางที่มีซิลิกาจะทนทานได้ดีมากกว่า

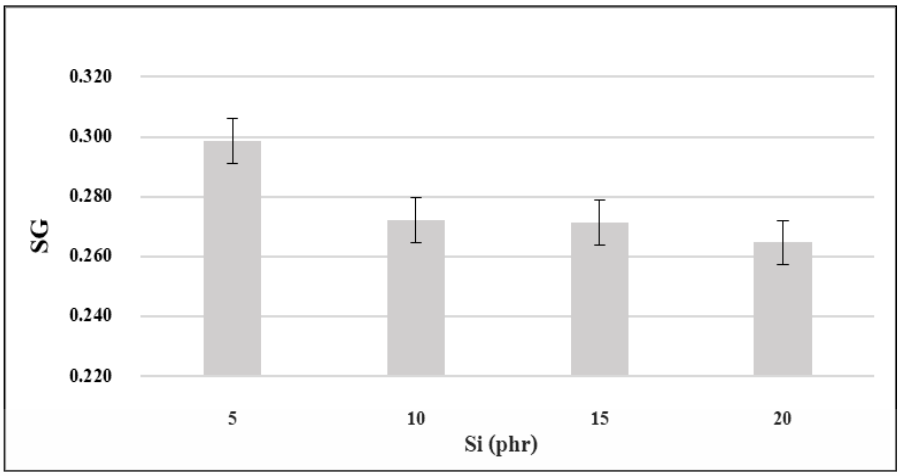
ตารางที่ 4.5 การศึกษาสัณฐานวิทยาจากสูตรเริ่มต้นที่ 0.3PEP-2MIN-4.6AZ เมื่อเติมปริมาณ Si ที่แตกต่างกันคือ 5, 10, 15 และ 20 phr

ปริมาณซิลิกา (phr)	5	10
สัณฐานวิทยาเบื้องต้น (รูปถ่าย)		
ปริมาณซิลิกา (phr)	15	20
สัณฐานวิทยาเบื้องต้น (รูปถ่าย)		

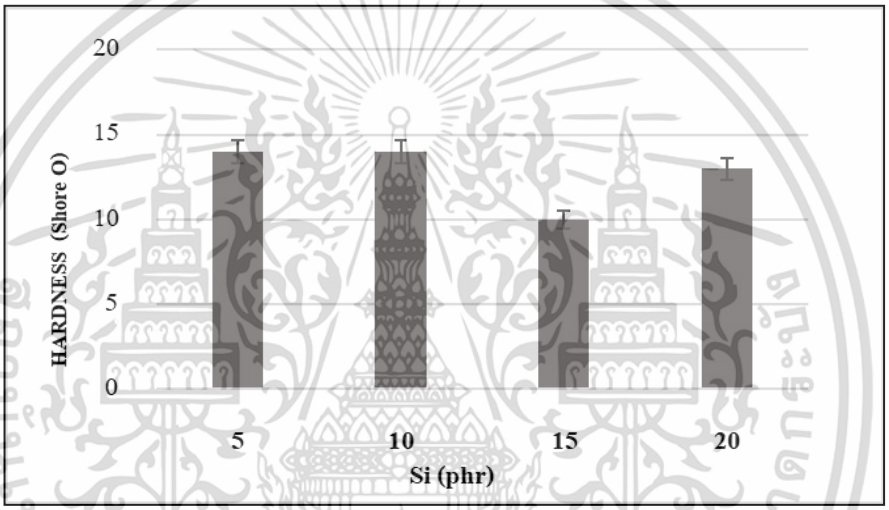


รูปที่ 4.4 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบ Tensile strength ในสูตรที่มีปริมาณซิลิกาแตกต่างกัน

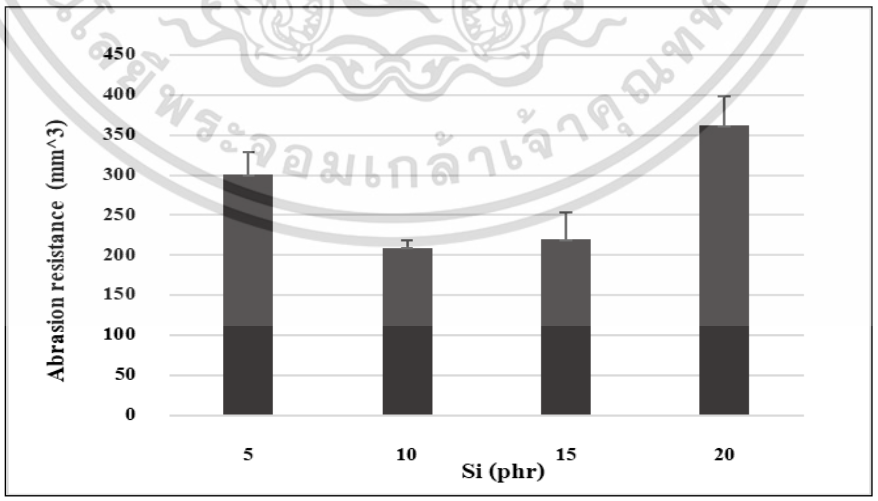
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบ Specific gravity ในสูตรที่มีปริมาณซิลิกาแตกต่างกัน



รูปที่ 4.6 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบ Hardness (Shore O) ในสูตรที่มีปริมาณซิลิกาแตกต่างกัน



รูปที่ 4.7 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบ Abrasion resistance ในสูตรที่มีปริมาณซิลิกาแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองเมื่อเติมซิลิกามากขึ้นทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงลดลงนั้น เป็นผลมาจากการเติมซิลิกาที่เป็นสารเสริมแรงมากขึ้นทำให้ความหนืดของยางมากขึ้น ขณะที่ฟองเกิดการขยายตัวจึงทำให้มีแรงต้านของเนื้อยางมากขึ้น ขนาดรูพรุนของยางจึงเล็กและความสม่ำเสมอของขนาดรูพรุนน้อย และสัมพันธ์กับความหนาแน่นของยางที่ลดลงเนื่องจากความหนืดน้อยมีโอกาสให้ก๊าซที่เกิดขึ้นหนีออกไปจากผลิตภัณฑ์ได้ดีมากกว่า ทำให้ความหนาแน่นยางสูงกว่า เมื่อทดสอบความแข็งแรงกดจึงได้ค่าที่ลดลง สุดท้ายแปรปวนของค่าการต้านทานการขัดถูนั้น เกิดจากรูพรุนมีขนาดที่เล็ก ผนังเซลล์บางเกินไปจนทำให้ขณะกำลังทดสอบการขัดถู เนื้อยางจึงถูกขัดออกได้ง่าย ไม่ทนทานต่อกระดาษทรายที่ใช้ทดสอบ

4.3.2 ศึกษาปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$)

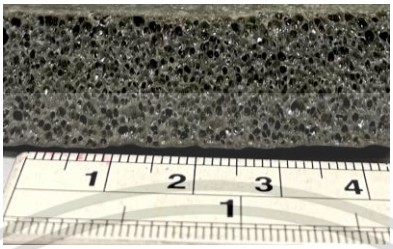
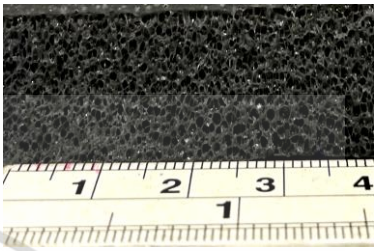
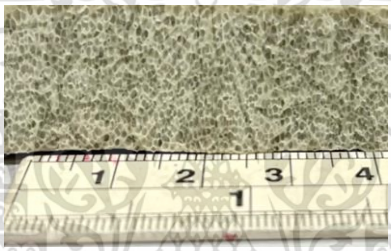
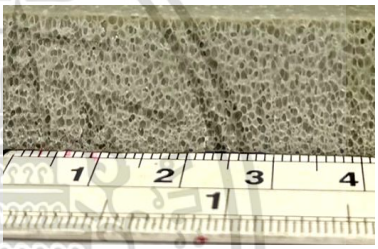
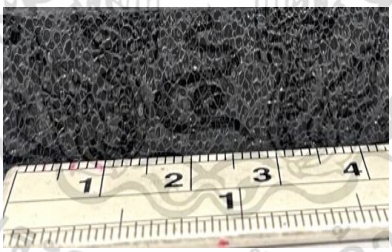
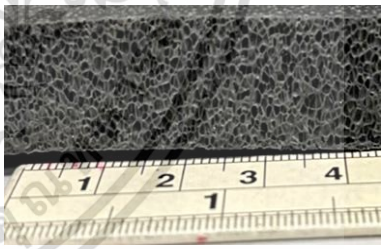
การวิเคราะห์ต้นทุนของลูกบอลยางฟองน้ำ จะวิเคราะห์ 5 สูตร โดยจะมีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตลงไป เพราะว่าแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมชนิดเพิ่มปริมาณเนื้อพอลิเมอร์ หรือเป็นสารตัวเติมชนิดไม่เสริมแรง (Non-reinforcing agent) และมีราคาถูก จึงเหมาะสมกับการใส่เพื่อลดต้นทุนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม

ตารางที่ 4.6 การศึกษาสมบัติเชิงกลจากสูตรเริ่มต้นที่ 0.3PEP-2MIN-4.6AZ-Si5 เมื่อเติมปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่แตกต่างกันคือ 10, 20, 30, 40 และ 50 phr

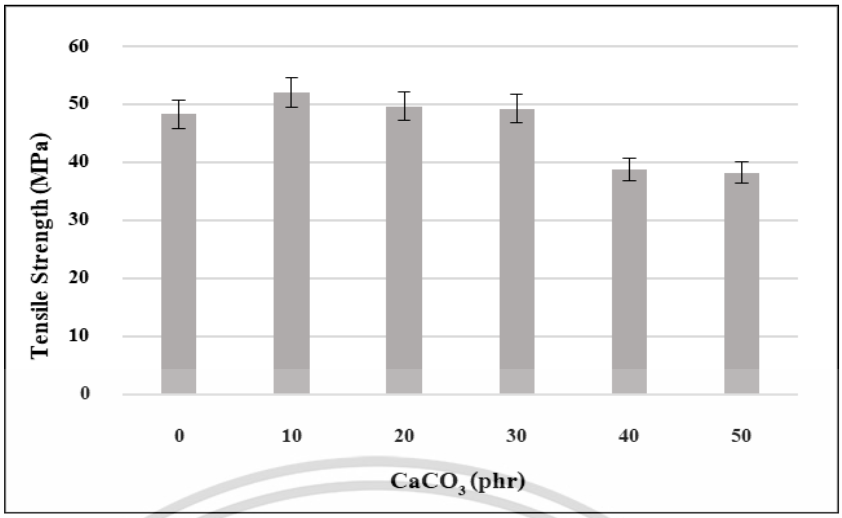
สมบัติ / ปริมาณ $CaCO_3$	Commercial Product	10	20	30	40	50
ความหนืด (ML1+4 100°C)	N/A	**22.1**	**22.4**	**23.1**	**26.3**	**26.4**
ความถ่วงจำเพาะ	0.33	0.28	0.30	0.32	0.34	0.36
ความแข็งแรงกด (Shore O)	15	11	11	12	12	11
ความต้านทางแรงดึง (MPa)	N/A	52.1	49.7	49.3	38.8	38.2
ความทนทานต่อการขัดถู (mm^3)	385	197	282	279	280	202

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

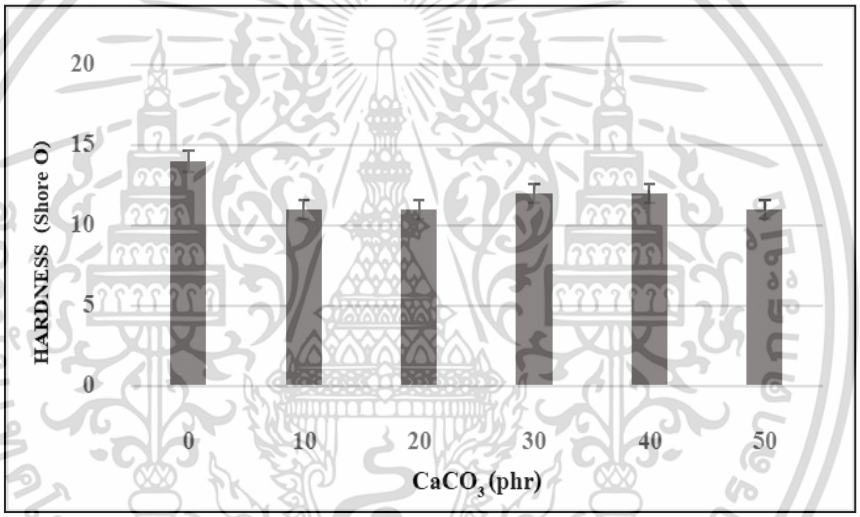
ตารางที่ 4.7 การศึกษาสัณฐานวิทยาจากสูตรเริ่มต้นที่ 0.3PEP-2MIN-4.6AZ-Si5 เมื่อเติมปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่แตกต่างกันคือ 10, 20, 30, 40 และ 50 phr

ปริมาณแคลเซียม (phr)	No $CaCO_3$	10
สัณฐานวิทยาเบื้องต้น (รูปถ่าย)		
ปริมาณแคลเซียม (phr)	20	30
สัณฐานวิทยาเบื้องต้น (รูปถ่าย)		
ปริมาณแคลเซียม (phr)	40	50
สัณฐานวิทยาเบื้องต้น (รูปถ่าย)		

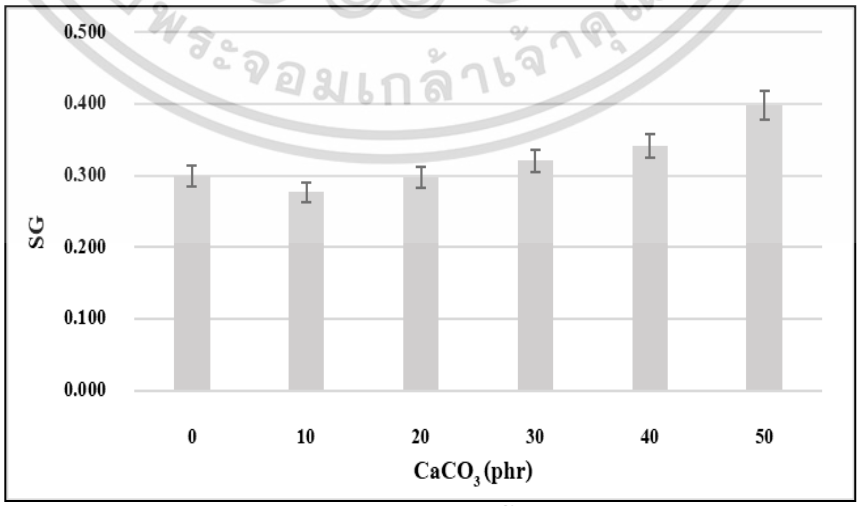
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แผนภูมิแสดงเปรียบเทียบ Tensile strength ในสูตรที่มีปริมาณ $CaCO_3$ แตกต่างกัน

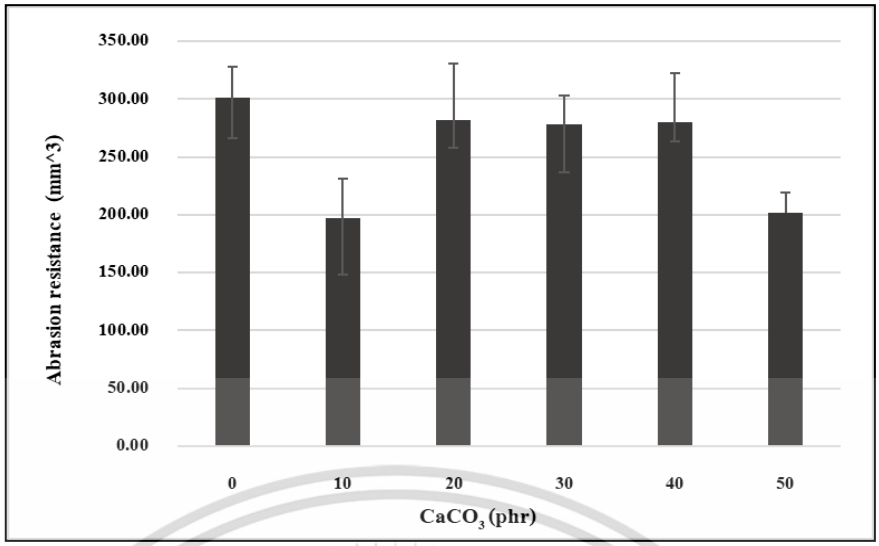


รูปที่ 4.9 แผนภูมิแสดงเปรียบเทียบ Hardness (Shore O) ในสูตรที่มีปริมาณ $CaCO_3$ แตกต่างกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.10 แผนภูมิแสดงเปรียบเทียบ Specific gravity ในสูตรที่มีปริมาณ $CaCO_3$ แตกต่างกัน



รูปที่ 4.11 แผนภูมิแสดงเปรียบเทียบ Abrasion resistance ในสูตรที่มีปริมาณ $CaCO_3$ แตกต่างกัน

จากตารางการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตลงไปเพื่อลดต้นทุนนั้น ความหนืดของยางจะเพิ่มขึ้นแต่ไม่มากเท่าซิลิกา เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมชนิดไม่เสริมแรง การที่ค่าความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้น สาเหตุเกิดจากการที่ยางมีอัตราส่วนของแคลเซียมคาร์บอเนตในเนื้อยางเพิ่มมาก เมื่อนำยางที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตเพิ่มขึ้นมาทดสอบ ยางที่นำมาทดสอบจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ความต้านทานแรงดึงที่ลดลงเพราะว่าแคลเซียมคาร์บอเนตจะเกิดรอยต่อกับยาง ซึ่งเป็นสิ่งที่บกพร่องในเนื้อยาง ถ้ายิ่งเติมแคลเซียมคาร์บอเนตมากขึ้นก็จะหมายถึงการที่ยางมีรอยต่อที่มาก รอยต่อนี้ไม่แข็งแรง ถ้าให้แรงดึงเพียงเล็กน้อยเข้าไปก็สามารถทำให้ยางขาดได้ และความต้านทานการขัดถูจะคาดเคลื่อน เนื่องจากแคลเซียมชอบเกาะตัวเป็นกลุ่มเป็นก้อน (Agglomerates) ทำให้เมื่อทดสอบแคลเซียมคาร์บอเนตบางส่วนที่เกาะเป็นก้อนอาจถูกขัดออกไปได้ยาก สูตรที่มีค่าใกล้เคียงกับชิ้นงานตัวอย่างลูกบอลยางฟองน้ำที่นำเข้าจากต่างประเทศมากที่สุด และมีต้นทุนที่คุ้มค่าสุด คือ สูตรที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตลงไป 30 phr เนื่องจากมีค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าความต้านทานการขัดถูที่ใกล้เคียงและค่าความต้านทานแรงดึงอยู่ในระดับดี

4.4. การวิเคราะห์ต้นทุนของลูกบอลยางฟองน้ำ

การวิเคราะห์ต้นทุนของลูกบอลยางฟองน้ำ จะวิเคราะห์เป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 จะคำนวณต้นทุนจากสูตรที่มีเวลาในการบดย่อยต่างกัน ขั้นตอนที่ 2 เมื่อได้สูตรและเวลาในการบดย่อยที่เหมาะสมและความหนืดใกล้เคียงกับที่ต้องการแล้วจะนำมาเติมซิลิกา 5 10 15 และ 20 phr และคิดต้นทุน และขั้นตอนที่ 3 คือ ใส่แคลเซียมคาร์บอเนตเพื่อช่วยลดต้นทุนมากขึ้นกว่าตอนไม่ใส่ โดยพิจารณาด้านสมบัติเชิงกล สัณฐานวิทยาด้วยเช่นกัน จากการวิเคราะห์มีข้อสังเกตดังนี้

เอกสารนี้ [illegible] ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 การวิเคราะห์ต้นทุนของลูกบอลยางฟองน้ำจากสูตรที่มีเวลาในการบดย่อยต่างกัน

ต้นทุน / สูตร	COMP. (THB/Kg)	MIXING (1THB/1Kg.1min)	MIX COM.B (0.5THB//1Kg.1min)	COMP.COST TOTAL (THB/Kg)
0.3PEP-2MIN	80.49	2	2.5	84.99
0.3PEP-5MIN	80.49	5	2.5	87.99
0.3PEP-10MIN	80.49	10	2.5	92.99
0PEP-2MIN	80.82	2	2.5	85.32
0PEP-10MIN	80.82	10	2.5	93.32

การวิเคราะห์ต้นทุนของตารางนี้ จะวิเคราะห์จากการแปรของเวลาในการผสม เนื่องจากการผสมนี้จะมีผลต่อความหนืดของยาง โดยที่จะมีเวลาผสม 5 แบบ คือ การใส่สารช่วยในการบดย่อยแบ่งเวลาผสมเป็น 2, 5 และ 10 นาที ส่วนอีกสูตรหนึ่งจะไม่มีการใส่สารที่ช่วยในการบดย่อย แบ่งเวลาผสมเป็น 2 และ 10 นาที ซึ่งการผสมที่นานเกินไปจะทำให้การผลิตลูกยองฟองน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม จึงไม่มีความคุ้มค่า จะเห็นได้ว่าราคาของสูตร 2 นาทีและใส่สารที่ช่วยในการบดย่อยจะเป็นสูตรที่มีราคาต้นทุนต่ำที่สุด

ตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์ต้นทุนของลูกบอลยางฟองน้ำจากสูตรเติมซิลิกา 5, 10, 15 และ 20 phr

ต้นทุน/สูตร	COMP. (THB/Kg)	MIXING (1THB/1Kg.1min)	MIX COM.B (0.5THB//1Kg.1min)	COMP.COST TOTAL (THB/Kg)
0.3PEP-2MIN-Si5	80.49	2	2.5	84.99
0.3PEP-2MIN-Si10	78.86	2	2.5	83.36
0.3PEP-2MIN-Si15	77.34	2	2.5	81.84
0.3PEP-2MIN-Si20	75.94	2	2.5	80.44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเติมซิลิกาลงไปเพิ่มนั้น จากตาราง 4.9 จะเห็นได้ว่าราคาต้นทุนนั้นจะลดต่ำลง แต่ว่าการเติมซิลิกาที่มากเกินไปนั้นจะส่งผลทำให้ขนาดของรูพรุนเล็กตามปริมาณซิลิกาที่มากขึ้น และยังส่งผลเสียต่อสมบัติด้านต่างๆ เช่น ค่าความต้านทานแรงดึงลดลง ค่าความแข็งกดลดลง และทำให้ค่าความต้านทานการขัดถูแปรปวน ซึ่งจากการทำการทดลองนั้น สูตรที่เหมาะสมและมีขนาดรูพรุนที่พอดีคือสูตรที่เติมซิลิกา 5 phr

ตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์ต้นทุนของลูกบอลยางฟองน้ำจากสูตรเติมแคลเซียมคาร์บอเนต 10, 20, 30, 40 และ 50 phr

ต้นทุน/สูตร	COMP. (THB/Kg)	MIXING (1THB/1Kg.1min)	MIX COM.B (0.5THB//1Kg.1min)	COMP.COST TOTAL (THB/Kg)
0.3PEP-2MIN-Si5-Ca10	74.68	2	2.5	79.18
0.3PEP-2MIN-Si10-Ca20	69.67	2	2.5	74.17
0.3PEP-2MIN-Si15-Ca30	65.36	2	2.5	69.86
0.3PEP-2MIN-Si20-Ca40	61.57	2	2.5	66.07
0.3PEP-2MIN-Si20-Ca50	58.21	2	2.5	62.71

การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตจะเป็นอีกวิธีหนึ่งในการลดต้นทุน ซึ่งจากตาราง 4.6 และตาราง 4.10 สูตรที่ใส่แคลเซียมคาร์บอเนต 30 phr จะมีค่าความต้านทานแรงดึงอยู่ในระดับดี ความความต้านทานการขัดถูและค่าความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกับชิ้นงานตัวอย่าง และราคาต้นทุนการผลิตรวมต้นทุนวัตถุดิบนั้นเหมาะสมแก่การนำไปผลิตมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังนี้

- จากการศึกษาทำให้ทราบว่า ระยะเวลาในการบดย่อยยางนั้นมีผลต่อความหนืดของยาง เนื่องจากการบดย่อยจะเป็นการตัดสายโซ่หลักของโมเลกุลยางให้สั้นลงเรื่อยๆ และยังมีการใส่ช่วยการบดย่อยยางลงไปเพิ่ม จะช่วยให้สายโซ่ถูกตัดได้เร็วขึ้น ความหนืดของยางจะลดลงเร็วขึ้น แต่ระยะเวลาที่เหมาะสมและประหยัดต้นทุนในการผลิตมากที่สุดในการผลิตลูกบอลยางฟองน้ำคือ 2 นาทีและใส่สารช่วยในการบดย่อยในปริมาณ 0.3 phr

- จากการศึกษาทำให้ทราบว่าชนิดของสารให้ฟองมีผลต่อการขยายตัวของยาง โดยสารให้ฟองที่ต่างชนิดกัน จะให้แก๊สที่แตกต่างกันด้วย ซึ่งแก๊สแต่ละชนิดจะมีขนาดโมเลกุลที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นขนาดของรูพรุนจึงแตกต่างกันตามชนิดของสารให้ฟอง สารให้ฟองเอโซไดคาร์โบนาไมด์ (AZ) จึงเป็นสารที่ให้การขยายตัวได้ที่ดีที่สุด เนื่องจากแก๊สที่ได้ออกมาเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีขนาดโมเลกุลที่มาก จึงทำให้ได้รูพรุนที่มีขนาดใหญ่และสม่ำเสมอ อีกทั้งยังได้ค่าความถ่วงจำเพาะและค่าความแข็งตรงกับที่ต้องการอีกด้วย

- จากการศึกษาปริมาณของซิลิกาที่ 5, 10, 15 และ 20 phr พบว่าปริมาณซิลิกาที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปลูกบอลยางฟองน้ำคือ 5 phr เนื่องจากการใส่ซิลิกาที่มากเกินพอ จะทำให้ความหนืดของยางเพิ่มมากขึ้นจนแก๊สที่ได้จากการสลายตัวของสารให้ฟองไม่สามารถขยายตัวได้อย่างเต็มที่ ด้วยเหตุนี้จะส่งผลให้เนื้อยางมีรูพรุนขนาดเล็ก มีความหนาแน่นของรูพรุนมาก และรูพรุนมีความไม่สม่ำเสมอ จนส่งผลเสียต่อสมบัติเชิงกลทั้งหมดของยาง

- จากการศึกษาปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตที่ 10, 20, 30, 40 และ 50 phr พบว่าการใส่แคลเซียมคาร์บอเนตไปนั้นจะช่วยให้ต้นทุนในการผลิตลดลง และปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการใส่คือ 20 phr เพราะเป็นสูตรที่เมื่อใส่แคลเซียมคาร์บอเนตเข้าไปแล้ว สมบัติเชิงกลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และยังมีสมบัติเชิงกลบางประการที่ดียิ่งขึ้นด้วย

ด้วยเหตุผลนี้จึงสามารถสรุปสูตรลูกบอลยางฟองน้ำสำหรับทำความสะอาดท่อระบบหล่อเย็นโรงไฟฟ้าและสมบัติของสูตรยางดังกล่าว ได้ดังตารางที่ 4.14 สูตรที่ใส่แคลเซียมคาร์บอเนต 30 phr จะมีค่าความต้านทานแรงดึง ความความต้านทานการขัดถูและค่าความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงหรือบางสมบัตินั้นดียิ่งกว่าชิ้นงานเชิงพาณิชย์ของลูกบอลยางฟองน้ำที่นำเข้าจากต่างประเทศและสรุปเปรียบเทียบราคาต้นทุนได้ดังตารางที่ 4.15 ราคาต้นทุนการผลิตรวมต้นทุนวัตถุดิบมีราคาที่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้สำหรับทางโรงงานอีกทั้งยังสามารถช่วยลดต้นทุนการนำเข้าจากต่างประเทศอย่างเห็นได้ชัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 สรุปสมบัติของสูตรลูกบอลยางฟองน้ำสำหรับงานวิจัยที่เหมาะสมเมื่อเทียบกับชิ้นงานเชิงพาณิชย์ของลูกบอลบอลยางฟองน้ำที่นำเข้าจากต่างประเทศสำหรับทำความสะอาดท่อระบบหล่อเย็นโรงไฟฟ้า

สมบัติ	Commercial Product	สูตร 0.3PEP-2MIN-Si15-Ca30
Tensile strength (MPa)	N/A	49.3
Hardness (shoe O)	15	12
Specific gravity	0.33	0.32
Abrasion resistance (mm^3)	384.5	279.2

ตารางที่ 5.2 สรุปต้นทุนของสูตรลูกบอลยางฟองน้ำสำหรับงานวิจัยที่เหมาะสมเมื่อเทียบกับชิ้นงานเชิงพาณิชย์ของลูกบอลบอลยางฟองน้ำที่นำเข้าจากต่างประเทศสำหรับทำความสะอาดท่อระบบหล่อเย็นโรงไฟฟ้า

สูตร	Commercial Product	สูตร 0.3PEP-2MIN-Si15-Ca30
COMP. (THB/Kg)	-	69.67
MIXING (1THB/1Kg.1min)	-	2
MIX COM.B (0.5THB//1Kg.1min)	-	2.5
COMP.COST TOTAL (THB/Kg)	-	74.17
COMP.COST TOTAL (THB/Pcs.)	10.33	0.193

**หมายเหตุ ราคาของสินค้าเชิงพาณิชย์เป็นราคาขายจริงหน้าเว็บไซต์, ราคาของสูตรยาง 0.3PEP-2MIN-Si15-Ca30 เป็นการแสดงต้นทุนของการผลิตซึ่งยังไม่ได้คำนวณค่าการตลาด ค่าขนส่ง ค่าแพ็คเกต*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองมีข้อเสนอแนะซึ่งจะสามารถปรับปรุงสูตรลูกบอลยางฟองน้ำสำหรับทำความสะอาดท่อระบบหล่อเย็นโรงไฟฟ้าให้มีสมบัติดียิ่งขึ้น ดังนี้

1. ทดลองใช้งานจริงเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำความสะอาดผลิตภัณฑ์ลูกบอลยางฟองน้ำ
2. การศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารเพิ่มประสิทธิภาพการขัดถู เช่น หินพัมมิซ เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีประสิทธิภาพการทำความสะอาด ความคงทนและอายุการใช้งานที่เหมาะสมยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ตารางแสดงต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ผลิตของลูกบอลยางฟอง

ภาคผนวก ก ตารางแสดงต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ผลิตของลูกบอลยางฟองสำหรับสูตร 0 PEP และ 0.3 PEP

ภาคผนวก ข ตารางแสดงต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ผลิตของลูกบอลยางฟองสำหรับสูตรเติมซิลิกา 5, 10, 15 และ 20 phr

ภาคผนวก ค ตารางแสดงต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ผลิตของลูกบอลยางฟองสำหรับสูตรเติม $CaCO_3$ 10, 20, 30, 40 และ 50 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

สารเคมี	อัตราส่วน (Phr)	ราคาวัตถุดิบ/กก. (บาท)	ราคาสูตรยาง 0 PEP (บาท)	ราคาสูตรยาง 0.3 PEP (บาท)
STR XL	100	75	61.80	61.65
NEWSIL 175	5	39	1.61	1.60
Sta^	3	73	1.80	1.80
ZnO (TR235)	5	80	4.00	3.29
VULKANOX BHT	1	252	2.08	2.07
PEPTOR 3S	0.3	233	-	0.57
PEG-4000	0.25	81	0.17	0.17
S	1.5	28	0.35	0.35
AZ	4.6	200	7.58	7.56
MASTER MBT	1	174	1.43	1.43
รวม			80.82	80.49

ภาคผนวก ก ตารางแสดงต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ผลิตของลูกบอลยางฟองสำหรับสูตร 0 PEP และ 0.3 PEP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

สารเคมี	อัตราส่วน (Phr)	ราคาวัตถุดิบ/กก. (บาท)	ราคาสูตรยาง (บาท)			
			Si 5 phr	Si 10 phr	Si 15 phr	Si 20 phr
STR XL	100	75	61.65	59.22	56.97	54.88
NEWSIL 175	5,10,15,20	39	1.60	3.08	4.44	5.71
Sta^	3	73	1.80	1.73	1.66	1.6
ZnO (TR235)	5	80	3.29	3.16	3.04	2.93
VULKANOX BHT	1	252	2.07	1.99	1.91	1.84
PEPTOR 3S	0.3	233	0.57	0.55	0.53	0.51
PEG-4000	0.25	81	0.17	0.16	0.15	0.15
S	1.5	28	0.35	0.33	0.32	0.31
AZ	4.6	200	7.56	7.26	6.99	6.73
MASTER MBT	1	174	1.43	1.37	1.32	1.27
รวม			80.49	78.86	77.34	75.94

ภาคผนวก ข ตารางแสดงต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ผลิตของลูกบอลยางฟองสำหรับสูตรเติม Si 5, 10, 15 และ 20 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

สารเคมี	อัตราส่วน (Phr)	ราคาวัตถุดิบ/กก. (บาท)	ราคาสูตรยาง (บาท)				
			Ca 10 phr	Ca 20 phr	Ca 30 phr	Ca 40 phr	Ca 50 phr
STR XL	100	75	56.97	52.95	49.46	46.40	43.69
NEWSIL 175	5	39	1.48	1.38	1.29	1.21	1.14
4Q	10,20,30,40,50	4	0.3	0.56	0.79	0.99	1.17
Sta^	3	73	1.66	1.55	1.44	1.35	1.28
ZnO (TR235)	5	80	3.04	2.82	2.64	2.47	2.33
VULKANOX BHT	1	252	1.91	1.78	1.66	1.56	1.47
PEPTOR 3S	0.3	233	0.53	0.49	0.46	0.43	0.41
PEG-4000	0.25	81	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12
S	1.5	28	0.32	0.3	0.28	0.26	0.24
AZ	4.6	200	6.99	6.49	6.07	5.69	5.36
MASTER MBT	1	174	1.32	1.2	1.15	1.08	1.01
รวม			74.68	69.67	65.36	61.57	58.21

ภาคผนวก ค ตารางแสดงต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ผลิตของลูกบอลยางฟองสำหรับสูตรเติม $CaCO_3$ 10, 20, 30, 40 และ 50 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ฐานข้อมูลส่งเสริมและยกระดับคุณภาพสินค้า OTOP. (2023). ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ, สืบค้นเมื่อวันที่ 22 ธันวาคม 2565. จาก.http://otop.dss.go.th/index.php/home/26-interesting-articles/257-2018-11-30-02-25-50.

[2] Alibaba.com. (2023). กระบวนการทำความสะอาดท่อของยางฟองน้ำภายในเครื่องทำความเย็น , สืบค้นเมื่อวันที่ 24 ธันวาคม 2565. จาก. https://thai.alibaba.com/product-detail/Sponge-Ball-Circulating-Condenser-Tube-Cleaning-60677483080.html.

[3] Chin Power. (2023). การทำความสะอาดท่อหล่อเย็น, สืบค้นเมื่อวันที่ 29 พฤศจิกายน 2565. จาก. https://chinpower.net/product/ball-cleaning-system/ball-technic-system/.

[4] S.T. SEVEN THAI CO., LTD. (2023). การทำความสะอาดท่อระบบหล่อเย็นโดยลูกบอลยางฟองน้ำ, สืบค้นเมื่อวันที่ 24 ธันวาคม 2565. จาก. http://www.stseventhai.com/balltech.html.

[5] บริษัท โพลิเทค อินดัสทรี จำกัด (PTI). (2023). ยางธรรมชาติ, สืบค้นเมื่อวันที่ 29 พฤศจิกายน 2565. จาก.https://www.polytechindustry.co.th/content.

[6] ปิยะ ดอกรัก, พงษ์ธาดา คุรุกิจกำจร, สรวิชญ์ เบญจฤทธิวงศ์ **การพัฒนาสูตรยางล้างแม่พิมพ์ชนิดโฟม** (งานวิจัยปริญญาตรีบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549) หน้า 3-19.

[7] George Wypych, “Handbook of Foaming and Blowing Agents,” **Chemtec Publishing** (2017) : 71-217.

[8] บุคลากรในโรงงานไฟฟ้าจะนะ, “การพัฒนาลูกบอลจากโฟมยางพารา,” ข้อเสนอโครงการวิจัยและพัฒนา นวัฒกรรม การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เรื่อง**การพัฒนาลูกบอลจากโฟมยางพาราสำหรับทำความสะอาดท่อในระบบคอนเดนเซอร์ของโรงไฟฟ้าจะนะ** เสนอที่หน่วยงานภายนอก กฟผ. (เอกสารไม่พิมพ์เผยแพร่).

[10] สถาบันพลาสติก. (2023). สารตัวเติมซิลิกา (Silica) , สืบค้นเมื่อวันที่ 3 มกราคม 2566. จาก. เทคโนโลยีการผลิตยางคอมพาวด์.pdf (oie.go.th)

[9] บริษัท อิสเทิร์น โปรดิวซ์ แอนด์เซอร์วิสเซส จำกัด. (2023). คราบตะกรันในท่อระบบหล่อเย็น, สืบค้นเมื่อวันที่ 27 ธันวาคม 2565. จาก. https://eastern-produce.com/product/sc-klean-168/.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[11] Hossein Bayat, Mohammad Fasihi, Yasser zare, and Kyong Yop Rhee. 2020. “An experimental study on one-step and two-step foaming of natural rubber/silica nanocomposites.” **Nanotechnology Reviews** (2 January 2020) : 427-435.

[12] Ali Vahidifar, Elnaz Esmizadeh, Ehsan Rostami, Saied Nouri Khorasani, Denis Rodrigue. “Morphological, rheological, and mechanical properties of hybrid elastomeric foams based on natural rubber, nanoclay, and nanocarbon black.” **Polymer composites.** (April 2019) : 2-10.

[13] Pollawat Charoeythornkhajhornchai, Chavakorn Samthong, Kanoktip Boonkerd and Anongnat Somwangthanaroj. “Effect of azodicarbonamide on microstructure, cure kinetics and physical properties of natural rubber foam.” **Journal of cellular Plastics.** (June 2016) : 1-17.

[14] Do Young Kim, Jae woo Park, Dong Yun Lee and Kwan Ho Seo. 2020. “Correlation between the Crosslink Characteristics and Mechanical Properties of Natural Rubber Compound via Accelerators and Reinforcement.” **Polymers.** (September 2020) : 1-14.

[15] E.Wimolmala, K.Khongnual and N.Sombatsompop. 2009. “Mechanical and Morphological Properties of Cellular NR/SBR Vulcanizates under Thermal and Weathering Ageing.” **Journal of Applied Polymer Science.** 114 : 2816-2827.

[16] ปิยะ ดอกรัก, พงษ์ธาดา คุรุกิจกำจร, สรวิชญ์ เบญจฤทธิวงศ์ **การพัฒนาสูตรยางล้างแม่พิมพ์ชนิดโฟม** (งานวิจัยปริญญาตรีบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549) หน้า 1-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คำรับรองเล่มโครงงานสหกิจศึกษา

วันที่ 4 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2566

ข้าพเจ้า นางสาวพรรษมน เจริญพันธุ์ รหัสประจำตัว 62050312
นายวัชรวิทย์ แซ่ฮ้อ รหัสประจำตัว 62050328

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาวิทยาศาสตร์
ขอรับรองว่าสหกิจศึกษา เรื่อง
การศึกษายางฟองน้ำจากยางธรรมชาติสำหรับทำความสะอาดท่อระบบหล่อเย็นโรงงานไฟฟ้า
Study of Natural Rubber Sponge Cleaning Balls for Cooling System in Power Plants
ปีการศึกษา 2565
เป็นผลงานวิจัยที่มิได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์แล้ว
โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์ 0.58 %

ลงชื่อ.....พรรษมน เจริญพันธุ์.....
(นางสาวพรรษมน เจริญพันธุ์)
นักศึกษา

ลงชื่อ.....วัชรวิทย์ แซ่ฮ้อ.....
(นาย วัชรวิทย์ แซ่ฮ้อ)
นักศึกษา

ข้าพเจ้า รศ.ดร. อิทธิพล แจ้งชัด อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานสหกิจศึกษา ได้ตรวจสอบโครงงานสหกิจศึกษาของนักศึกษาข้างต้นแล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ
.....
อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้