การปรับปรุงสมบัติยางรีเคลมโดยการใช้ขยะถุงมือยาง

IMPROVEMENT OF RECLAIM RUBBER PROPERTIES BY USING RUBBER GLOVE WASTES

พิชามญช์ ตั้งศิวานนท์
รติชา คงสุวรรณ์
วริศรา รอดวงษ์

สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การปรับปรุงสมบัติยางรีเคลมโดยการใช้ขยะถุงมือยาง

IMPROVEMENT OF RECLAIM RUBBER PROPERTIES BY USING RUBBER GLOVE WASTES

พิชามญช์ ตั้งศิวานนท์
รติชา คงสุวรรณ์
วริศรา รอดวงษ์

สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPROVEMENT OF RECLAIM RUBBER PROPERTIES BY USING RUBBER GLOVE WASTES

Pichamon Tangsivanon
Ratisha Kongsuwon
Waritsara Rodwong

COOPERTIVE STUDY SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR IN INDUSTRIAL CHEMISTRY
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สหกิจศึกษา	การปรับปรุงสมบัติยางรีเคลมโดยการใช้ขยะถุงมือยาง Improvement of reclaim rubber properties by using rubber glove wastes
ชื่อนักศึกษา	นางสาว พิชามญช์ ตั้งศิวานนท์ รหัสนักศึกษา 57050475 นางสาว รติชา คงสุวรรณ์ รหัสนักศึกษา 57050493 นางสาว วริศรา รอดวงษ์ รหัสนักศึกษา 57050505
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2560
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2560

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

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สหกิจศึกษา การปรับปรุงสมบัติยางรีเคลมโดยการใช้ขยะถุงมือยาง
ชื่อนักศึกษา นางสาว พิชามญช์ ตั้งศิวานนท์ รหัสนักศึกษา 57050475
นางสาว รติชา คงสุวรรณ์ รหัสนักศึกษา 57050493
นางสาว วริศรา รอดวงษ์ รหัสนักศึกษา 57050505
ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา เคมี
คณะ วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา 2560
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด

บทคัดย่อ

ยางรีเคลมเป็นที่นิยมมากในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถช่วยลดต้นทุน และลดขยะจากอุตสาหกรรมยาง อย่างไรก็ตามยางรีเคลมที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ต่ำลง ซึ่งเป็นข้อเสียหลักของยางรีเคลมเพราะผลิตมาจากผงยางล้อรถยนต์ (GRTs) ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาสมบัติของยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ (เกรด 103) โดยการใช้เศษถุงมือยางที่เหลือจากอุตสาหกรรมยาง ซึ่งได้ดำเนินงานวิจัยร่วมกับบริษัท ยูเนี่ยนพัฒนกิจ จำกัด โดยการหาสภาวะที่สภาวะเหมาะสมในการทำยางรีเคลมจากถุงมือยาง จากนั้นนำยางรีเคลมจากถุงมือยางที่ได้มาผสมกับยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ เพื่อช่วยพัฒนายางรีเคลมให้มีสมบัติเชิงกลที่สูงขึ้น ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของยางรีเคลมที่ศึกษา ได้แก่ อิทธิพลของการบดเศษถุง-มือยาง เวลาในการให้ความร้อน (3, 3.5 และ 4 ชั่วโมง) ปริมาณน้ำมัน (Rubber oil, RR) (0, 2.5, 5 และ 10 phr) ปริมาณสารรีเคลม (Devulcanizing agent, DA) (0 และ 0.5 phr) และอัตราส่วนระหว่างยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ กับยางรีเคลมจากถุงมือยาง (100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60 และ 0:100) โดยทำการนึ่งถุงมือยางด้วยถังปฏิกรณ์ (Stationary autoclave, AC) จากนั้นนำมาผสมสารเคมีที่เครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง (Two roll mill) และนำมาขึ้นให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องอัด (Compression molder) พบว่าผลของถุงมือยางที่ถูกบดย่อย (Mastication) ก่อนนำไปให้ความร้อนในถังปฏิกรณ์ ได้ยางรีเคลมที่เป็นเนื้อเดียวกันมากกว่า ซึ่งเวลาที่เหมาะสม คือ เวลา 4 ชั่วโมง และยางรีเคลมจากถุงมือยางที่มีการใส่ปริมาณน้ำมัน 2.5 phr และปริมาณสารรีเคลม 0.5 phr ได้สมบัติที่ดีที่สุด และเมื่อนำยางรีเคลมจากล้อรถยนต์มาผสมกับยางรีเคลมจากถุงมือยาง ได้ค่าสมบัติเชิงกลที่มีแนวโน้มลดลง โดย ค่ามอดุลัส ค่าความแข็งกด และค่าความแข็งแรงดึงมีค่าต่ำลงเมื่อมีการเพิ่มปริมาณยางรีเคลมจากถุงมือยาง เนื่องจากเกิดจุดบกพร่อง (Defects) ในชิ้นงาน และความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อผสมยางรีเคลมจากถุงมือยางกับยางรีเคลมจากล้อรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสำคัญ : การดีวัลคาไนเซชัน การเสื่อมสภาพ ถุงมือยาง น้ำมันยาง ยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ สารรีเคลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Improvement of reclaim rubber properties by using rubber glove wastes
Students	Miss Pichamon Tangsivanon Student ID 57050475
	Miss Ratisha Kongsuwon Student ID 57050493
	Miss Waritsara Rodwong Student ID 57050505
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)
Department	Chemistry
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2017
Advisor	Assoc.Prof.Dr. Ittipol Jangchud

Abstract

Reclaimed rubbers are very popular nowadays because they are inexpensive and helping rubber waste reduction. However, low mechanical properties are main drawbacks of reclaimed rubbers since they have been produced from ground tire rubbers (GRTs). In this work, attempts to improve reclaimed rubber properties by using wastes from glove industry were carried out with an incorporation with Union Commercial Development Company Limited. First, a suitable condition for reclaiming rubber gloves was studied. Then the reclaimed gloves were mixed with the reclaimed rubber from GRTs to improve current reclaimed products (UCD-103). Factors affecting rubber properties were studied including effects of grinding on glove wastes, heat treatment time (3, 3.5 and 4 hours) oil content (0, 2.5, 5 and 10 phr) and devulcanizing agent content (0 and 0.5 phr). Ratios of UCD-103 and reclaimed glove rubber were also studied (100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60 and 0:100). Rubber glove wastes were steamed by stationary autoclave (AC), then mixed with chemicals using two roll mill. Samples were shaped into sheets by using compression molding technique. It was found that grinding gloves prior to heating in autoclave yielded more uniform reclaimed rubbers. Optimun heating time was 4 hours. Products property with 2.5 phr rubber oil and 0.5 phr devulcanizing agent seemed to yield the best results. When glove reclaimed rubber was added into UCD-103 (tire reclaimed rubber), mechanical properties had trends to decrease. Rubber modulus, hardness, and tensile strength

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

were decreased as the amount of glove reclaimed rubbers was increased. This might be derived from defects and inhomogeneous mixtures of glove reclaimed rubbers.

Keywords : Devulcanization Degradation Rubber gloves Rubber oil Tire-reclaimed rubber Reclaiming agent

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำสหกิจศึกษานี้จะสำเร็จลุล่วงมิได้ถ้าหากขาดความช่วยเหลือ ความร่วมมือ ตลอดจนคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่คณะผู้จัดทำจากบุคคล และองค์กรต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษาเป็นอย่างสูงที่ดูแลเอาใจใส่ให้คำปรึกษาพร้อมทั้งให้การช่วยเหลือในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ของสหกิจศึกษานี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธี และ ผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบสหกิจศึกษา ตลอดจนให้คำแนะนำในการดำเนินงานวิจัย และแก้ไขปรับปรุงรูปเล่มให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ให้ความรู้ และให้คำแนะนำ

ขอขอบพระคุณ บริษัท ยูเนี่ยนพัฒนกิจ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทำสหกิจศึกษา และดำเนินงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณบุญหาญ อู่อุดมยิ่ง กรรมการบริหาร บริษัท ยูเนี่ยนพัฒนกิจ จำกัด, คุณอามีดะห์ ไพรพฤกษ์, คุณนิตยา อยู่สุขสวัสดิ์, คุณธัญญารัตน์ ศรียานะ, คุณวัชระ ผกาอบ, คุณมณเฑียร เนียมสวัสดิ์ และพนักงานบริษัท ยูเนี่ยนพัฒนกิจ จำกัด ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนดูแล การทำสหกิจศึกษา และดำเนินงานวิจัยให้ผ่านลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ และ คุณสุดใจ สอนสะอาด เจ้าหน้าที่อาคารฝึกงานทางอุตสาหกรรมเคมี และพอลิเมอร์ที่อำนวยความสะดวก และให้คำปรึกษาในการใช้เครื่องมือต่าง ๆ รวมทั้งช่วยแก้ปัญหาตลอดการดำเนินงาน

ขอขอบพระคุณ คุณขวัญใจ พูลสวัสดิ์ ผู้ช่วยวิจัย ที่ให้ความช่วยเหลือ และคำปรึกษาในการทำวิจัยให้ผ่านลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณครอบครัว ที่ให้การสนับสนุน และเป็นกำลังใจจนสหกิจศึกษานี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

พิชามญช์ ตั้งศิวานนท์
รติชา คงสุวรรณ์
วริศรา รอดวงษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูป ..... ฏ

คำย่อ/สัญลักษณ์ ..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 4

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 ประเภทของถุงมือยาง 5

2.1.1 ถุงมือยาง 5

2.1.1.1 ถุงมือยางที่ใช้ทางการแพทย์ (Medical gloves) 5

2.1.1.2 ถุงมือยางศัลยกรรม 6

2.1.1.3 ถุงมือยางที่ใช้ในงานบ้าน 6

2.1.1.4 ถุงมือยางที่ใช้ในอุตสาหกรรม 7

2.1.2 ถุงมือไนไตรล์ 7

2.1.3 ถุงมือไวนิล 7

2.2 สมบัติของถุงมือยาง 8

2.3 กระบวนการขึ้นรูปยาง 9

2.4 ยางรีเคลมจากถุงมือยาง (Reclaimed gloves) 14

2.5 กระบวนการผลิตถุงมือยางรีเคลม 14

2.5.1 กระบวนการทางเคมี (Chemical process) 15

2.5.2 กระบวนการอัลทราโซนิก (Ultrasonic process) 16

2.5.3 กระบวนการไมโครเวฟ (Microwave process) 16

2.5.4 กระบวนการทางชีวภาพ (Biological process) 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6 สารเติมแต่งสำหรับยาง (Additives for rubber) 17
2.6.1 สารทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing agents หรือ Curing agents) 18
2.6.1.1 ระบบเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน (Sulfur vulcanization system) .. 18
2.6.1.2 ระบบเชื่อมโยงด้วยสารประกอบที่สลายตัวให้กำมะถัน (Sulfur donor vulcanization system) 22
2.6.1.3 ระบบเชื่อมโยงด้วยสารประกอบเปอร์ออกไซด์ (Peroxide vulcanization system) 22
2.6.2 สารตัวเติม (Fillers) 23
2.6.3 สารช่วยในกระบวนการผลิต (Processing aids) 23
2.6.4 สารกลุ่มอื่น ๆ (Miscellaneous ingredients) 23
2.7 สารรีเคลม (Reclaiming agents) 24
2.8 การผสมยางรีเคลมจากถุงมือ 26
2.8.1 เครื่องผสมยางแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch mixer) 26
2.8.1.1 เครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง 26
2.8.1.2 เครื่องผสมระบบปิดบานบูรี (Banbury internal mixer) 26
2.8.1.3 เครื่องผสมระบบปิดแบบอินเตอร์มิกซ์ (Intermix internal mixer) 27
2.8.1.4 เครื่องผสมระบบปิดแบบที่ปรับระยะห่างระหว่างโรเตอร์ได้ (Variable intermeshing clearance internal mixer) 28
2.8.1.5 เครื่องนวดยาง 28
2.8.2 เครื่องผสมแบบต่อเนื่อง (Continuous mixer) 29
2.9 ขั้นตอนการผสมยางรีเคลมจากถุงมือยาง (Mixing step) 29
2.9.1 เครื่องวัดการเชื่อมโยงยาง 30
2.9.1.1 เครื่องวัดการไหลแบบจานสั่น (Oscillating disc rheometer, ODR) 30
2.9.1.2 เครื่องวัดการเชื่อมโยงแบบไม่มีจานหมุน (Moving die rheometer, MDR) 31
2.10 การขึ้นรูปยางรีเคลมจากถุงมือยาง (Reclaim forming) 32
2.10.1 การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ (Molding) 32
2.10.1.1 การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบกดอัด (Compression mold) 33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.10.1.2 การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบกึ่งฉีด (Semi-injection mold)... 33
2.10.1.3 การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบฉีด (Injection mold)..... 34
2.10.2 การขึ้นรูปด้วยวิธีอัดผ่านดายโดยใช้เครื่องอัดรีด (Extrusion)..... 34
2.10.3 การขึ้นรูปด้วยเครื่องคาเลนเดอร์ (Calendering)..... 35
2.11 การทดสอบ..... 36
2.11.1 การทดสอบคุณภาพถุงมือยาง..... 36
2.11.2 การทดสอบสมบัติในกระบวนการผลิต..... 36
2.12 มาตราฐานของยางรีเคลม..... 37
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 37
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย..... 41
3.1 วัตถุดิบ และสารเคมี..... 41
3.2 เครื่องมือที่ใช้..... 41
3.3 ขั้นตอนการทำยางรีเคลมจากถุงมือยาง..... 42
3.3.1 การศึกษาผลของการเตรียมถุงมือยางที่ไม่ผ่านการบด และที่ผ่านการบดที่มีผลต่อสมบัติของยางรีเคลมจากถุงมือยาง..... 42
3.3.2 การศึกษาเวลาในการดีวัลคาไนซ์ของถุงมือยางที่มีผลต่อสมบัติของยางรีเคลมจากถุงมือยาง..... 43
3.3.3 การศึกษาปริมาณน้ำมัน และปริมาณสารรีเคลมที่ส่งผลต่อสมบัติของยางรีเคลมจากถุงมือยาง..... 43
3.3.4 การศึกษาอัตราส่วนระหว่างปริมาณยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ กับยางรีเคลมจากถุงมือยางเพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลของยางรีเคลมจากล้อรถยนต์..... 43
3.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล..... 44
3.4.1 การทดสอบแรงดึง..... 44
3.4.2 การทดสอบความแข็งกดแบบดูโรมิเตอร์..... 45
3.5 การทดสอบสัณฐานวิทยา..... 45
3.6 แผนการทำงานวิจัย..... 46
บทที่ 4 ผลการวิจัย และการอภิปรายผล..... 48
4.1 การศึกษาผลของการเตรียมถุงมือยางที่ไม่ผ่านการบด และที่ผ่านการบดที่มีผลต่อสมบัติของยางรีเคลมจากถุงมือยาง..... 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2 การศึกษาเวลาในการดีวัลคาไนซ์ของถุงมือยางที่ส่งผลต่อสมบัติของยางรีเคลมจากถุงมือยาง 54
4.3 การศึกษาปริมาณน้ำมัน และปริมาณสารรีเคลมที่ส่งผลต่อสมบัติของยางรีเคลมจากถุงมือยาง 58
4.4 การศึกษาอัตราส่วนระหว่างปริมาณยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ กับยางรีเคลมจากถุงมือยาง เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลของยางรีเคลม 62
4.5 การวิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบ 67
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 69
5.1 สรุปผลการวิจัย 69
5.2 ข้อเสนอแนะ 70
เอกสารอ้างอิง 71
คำรับรองเล่มโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา 77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ตารางเปรียบเทียบสมบัติถุงมือยางธรรมชาติ และถุงมือยางไนไตรล์ในด้านต่าง ๆ 8
2.2 สูตรเคมีสำหรับอุตสาหกรรมการจุ่มถุงมือยาง..... 9
2.3 ระบบการวัลคาไนซ์ ปริมาณกำมะถัน และสารตัวเร่งที่ใช้..... 19
2.4 หน้าที่ และปริมาณการใช้สารเคมีต่าง ๆ 24
2.5 สมบัติขั้นต่ำของยางรีเคลมแต่ละประเภทตามมาตรฐาน ISO/CD 19846..... 37
3.1 ส่วนผสมของยางรีเคลมจากถุงมือยางที่ใช้ในตอนที่ 3.3.1..... 42
3.2 สัดส่วนปริมาณน้ำมัน และปริมาณสารรีเคลมที่ใช้ในตอนที่ 3.3.3..... 43
3.3 อัตราส่วนส่วนยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ กับยางรีเคลมจากถุงมือยางที่ใช้ในตอนที่ 3.3.4.... 44
4.1 ราคายางรีเคลมจากล้อรถยนต์ (เกรด 103)..... 67
4.2 ราคายางรีเคลมจากถุงมือยาง..... 67
4.3 ราคายางรีเคลมจากล้อรถยนต์ผสมกับยางรีเคลมจากถุงมือยาง (อัตราส่วน 90:10)..... 68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	กราฟความต้องการใช้ถุงมือยางของโลก	1
1.2	ขยะจากถุงมือยาง	1
1.3	โครงสร้างของถุงมือยางที่เกิดการเปลี่ยนแปลง (ก) โมเลกุลของยางก่อนการเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน และ (ข) โมเลกุลของยางหลังการเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน	2
1.4	รูปตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากยางรีเคลม	3
2.1	รูปตัวอย่างต้นยางพารา	5
2.2	รูปตัวอย่างถุงมือยาง	6
2.3	รูปตัวอย่างถุงมือใช้งานบ้าน	6
2.4	รูปตัวอย่างถุงมือไนไตรล์	7
2.5	รูปตัวอย่างถุงมือไวนิล	7
2.6	กระบวนการผลิตถุงมือยาง	10
2.7	การจุ่มแบบมือลงในถังสาร Coagulant	11
2.8	การจุ่มแบบมือลงในถังน้ำยาง	11
2.9	การชะล้างฟิล์มถุงมือยางในถัง Leaching	12
2.10	การอบถุงมือในตู้อบ	12
2.11	การถอดถุงมือยางในสายพานการผลิต	13
2.12	การทดสอบการรั่วซึม	13
2.13	โครงสร้างโมเลกุลของยางที่ใช้ทำถุงมือยางก่อนการรีเคลม–หลังการรีเคลม	14
2.14	ตัวอย่างวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตยางรีเคลม	14
2.15	การดีวัลคาไนเซชันโดยวิธีทางเคมี	15
2.16	การดีวัลคาไนเซชันโดยวิธีอัลทราโซนิก	16
2.17	การดีวัลคาไนเซชันโดยวิธีไมโครเวฟ	16
2.18	การดีวัลคาไนเซชันโดยวิธีทางชีวภาพ	17
2.19	กราฟการเชื่อมโยง (Cure curve) แสดงความแตกต่างของการเชื่อมโยงแบบไม่ใช้สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง และใช้สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง	20
2.20	โครงสร้างกลุ่มซัลเฟนาไมด์	20
2.21	โครงสร้างไทอะโซล	21
2.22	โครงสร้างของ IPPD	22
2.23	โครงสร้างของ Dicumyl peroxide (DCP)	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.24	กลไกการเกิดปฏิกิริยายางรีเคลมจากถุงมือยาง	25
2.25	เครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง	26
2.26	เครื่องผสมระบบปิดบานบูรี	27
2.27	เครื่องผสมระบบปิดแบบอินเตอร์มิกซ์	27
2.28	เครื่องผสมระบบปิดแบบที่ปรับระยะห่างระหว่างโรเตอร์ได้	28
2.29	เครื่องนวดยาง	29
2.30	เครื่องผสมแบบต่อเนื่อง	29
2.31	ขั้นตอนการผสมยาง	30
2.32	เส้นกราฟจากการวัดด้วยเครื่องวัดการไหลแบบจานสั่น	31
2.33	เครื่องรีโอมิเตอร์แบบจานสั่น	31
2.34	กราฟการเชื่อมโยง	32
2.35	เครื่องวัดการเชื่อมโยงแบบไม่มีจานหมุน	32
2.36	เครื่องกดอัดระบบไฮดรอลิก	33
2.37	เครื่องจักรแม่พิมพ์แบบกึ่งฉีด	34
2.38	เครื่องจักรแม่พิมพ์แบบฉีด	34
2.39	เครื่องอัดรีดที่อาศัยแรงอัดจากการหมุนของเกลียวหนอน (Screw extruder)	35
2.40	เครื่องคาเลนเดอร์ (Calender)	35
2.41	เครื่องวิเคราะห์ TGA	36
3.1	ชิ้นตัวอย่างทดสอบรูปดัมเบลล์ ตามมาตรฐาน ASTM D 412	44
3.2	กระบวนการผลิตยางรีเคลมจากถุงมือยาง	46
3.3	กระบวนการผสมยางรีเคลมกับยางรีเคลมจากถุงมือ	47
4.1	ภาพถ่ายการเตรียมถุงมือยาง (ก) ไม่บด และ (ข) บด 3 Mesh	50
4.2	โครงสร้างโมเลกุลของยาง Poly (isoprene)	50
4.3	กลไกการตัดสายโซ่ถุงมือยางผ่านปฏิกิริยาแบบ Chain scission	50
4.4	ถังปฏิกรณ์	51
4.5	ภาพถ่ายถุงมือยางที่ผ่านการทำยางรีเคลม (ก) ไม่บด และ (ข) บด 3 Mesh	51
4.6	ภาพถ่ายยางรีเคลมจากถุงมือยางที่ไม่ผ่านการบด	51
4.7	ค่าความแข็งแรงดึงของยางรีเคลมจากถุงมือยางที่ไม่ผ่านการบด และที่ผ่านการบด	52
4.8	ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด ของยางรีเคลมจากถุงมือยางที่ไม่ผ่านการบด และที่ผ่านการบด	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.9	ค่าความแข็งกดของยางรีเคลมจากถุงมือยางที่ไม่ผ่านการบด และที่ผ่านการบด	53
4.10	ค่ามอดุลัสที่ระยะยืด 200% ของยางรีเคลมจากถุงมือยางที่ไม่ผ่านการบด และที่ผ่านการบด	54
4.11	ภาพถ่ายยางรีเคลมจากถุงมือยางที่นำมาผสมสารเคมีด้วยเครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง	55
4.12	ภาพถ่ายยางรีเคลมจากถุงมือยาง (ก) เวลา 3 ชั่วโมง (ข) เวลา 3 ชั่วโมง 30 นาที และ (ค) เวลา 4 ชั่วโมง	55
4.13	ค่าความแข็งแรงดึงของยางรีเคลมจากถุงมือยาง ณ เวลาที่แตกต่างกัน	56
4.14	ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด ของยางรีเคลมจากถุงมือยาง ณ เวลาที่แตกต่างกัน	57
4.15	ค่าความแข็งแรงกดของยางรีเคลมจากถุงมือยาง ณ เวลาที่แตกต่างกัน	57
4.16	ค่ามอดุลัสที่ระยะยืด 200% ของยางรีเคลมจากถุงมือยาง ณ เวลาที่แตกต่างกัน	58
4.17	ภาพถ่ายยางรีเคลมจากถุงมือยาง (ก) ใส่น้ำมัน 2.5 phr และสารรีเคลม 0.5 phr (ข) ใส่น้ำมัน 5 phr และสารรีเคลม 0.5 phr และ (ค) ใส่น้ำมัน 10 phr และสารรีเคลม 0.5 phr	59
4.18	ค่าความแข็งแรงดึงของยางรีเคลมจากถุงมือยางที่มีการใส่ปริมาณน้ำมันที่แตกต่างกัน	60
4.19	ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด ของยางรีเคลมจากถุงมือยางที่มีการใส่ปริมาณน้ำมันที่แตกต่างกัน	61
4.20	ค่าความแข็งแรงกดของยางรีเคลมจากถุงมือยางที่มีการใส่ปริมาณน้ำมันที่แตกต่างกัน	61
4.21	ค่ามอดุลัสที่ระยะยืด 200% ของยางรีเคลมจากถุงมือยางที่มีการใส่ปริมาณน้ำมันที่แตกต่างกัน	62
4.22	ภาพถ่ายจุดบกพร่องของชิ้นงานในการผสมยางรีเคลมจากยางล้อรถยนต์ กับยางรีเคลมจากถุงมือยาง โดยกล้อง Optical microscope (OM)	63
4.23	ค่าความแข็งแรงดึงของการผสมกันระหว่างยางรีเคลมจากยางล้อรถยนต์ กับยางรีเคลมจากถุงมือยางในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	64
4.24	ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด ของการผสมกันระหว่างยางรีเคลมจากยางล้อรถยนต์ กับยางรีเคลมจากถุงมือยางในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	65
4.25	ค่าความแข็งแรงกดของการผสมกันระหว่างยางรีเคลมจากยางล้อรถยนต์ กับยางรีเคลมจากถุงมือยางในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	65
4.26	ค่ามอดุลัสที่ระยะยืด 200% ของการผสมกันระหว่างยางรีเคลมจากยางล้อรถยนต์ กับยางรีเคลมจากถุงมือยางในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

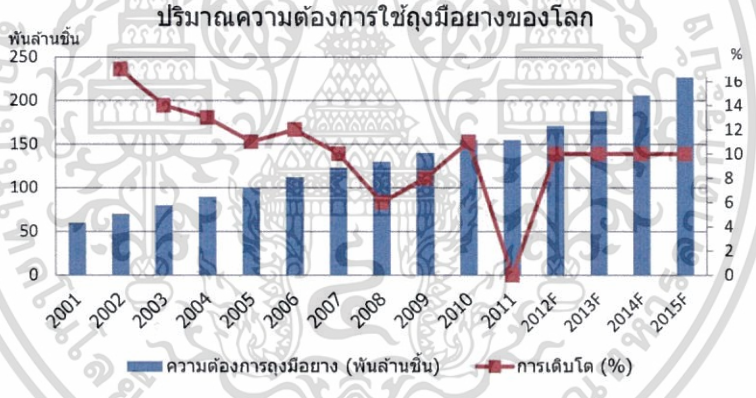
คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
T_b	ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)
E_b	เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break)
M100	มอดุลัสของยางที่ความเค้น 100 % (100 % Modulus)
M200	มอดุลัสของยางที่ความเค้น 200 % (200 % Modulus)
HS	ความแข็งกด (Hardness)
GRT	ผงยางบดจากล้อรถยนต์ (Ground rubber tire)
NR	ถุงมือยาง (National rubber)
CV	ระบบการเชื่อมโยงแบบดั้งเดิม (Conventional vulcanization)
EV	ระบบการเชื่อมโยงแบบมีประสิทธิภาพ (Efficient vulcanization)
Semi-EV	ระบบการเชื่อมโยงแบบมีกึ่งประสิทธิภาพ (Semi-efficient vulcanization)
ZnO	สารกระตุ้นปฏิกิริยา (Zinc Oxide)
DPG	สารเร่งปฏิกิริยา (Diphenyl guanidine)
MBT	สารเร่งปฏิกิริยา (Mercaptobenzothiazole)
$CaCO_3$	แคลเซียมคาร์บอเนต
GR	เครื่องบดยางละเอียด (Grinding roll)
PT	เครื่องตียาง (Plasticizing mill)
PR	เครื่องนวดยาง (Pre-refiner mill)
SN	เครื่องกรองยาง (Strainer)
FR	เครื่องรีดยาง (Finishing Roll)
Std error	ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันโลกของเรามีความต้องการใช้ถุงมือยางเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะในทางการแพทย์ เนื่องจากการแพร่ระบาดของโรคภัยสายพันธุ์ใหม่เกิดขึ้นมากมาย ส่งผลให้อัตราการใช้ถุงมือยางในการแพทย์มีแนวโน้มสูงขึ้น นอกจากถุงมือทางการแพทย์แล้วถุงมือที่ใช้ในอุตสาหกรรม และถุงมือที่ใช้ในครัวเรือนมีความต้องการใช้เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการตระหนักถึงสุขภาพอนามัยที่ดี เช่น การใช้ถุงมือในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารแปรรูป การใช้ภายในครัวเรือนอย่างการทำความสะอาดห้องครัว หรือ ห้องน้ำที่ต้องใช้สารเคมีในการทำความสะอาด เป็นต้น จึงส่งผลให้ถุงมือยางที่ใช้แล้วเป็นส่วนหนึ่งของปัญหาขยะอุตสาหกรรมในประเทศไทย และการกำจัดเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก เนื่องจากยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์แล้วจะเกิดโครงสร้างตาข่ายสามมิติ (3D network) เมื่อได้รับความร้อนจะไม่สามารถอ่อนตัว หรือ หลอมเหลวเปลี่ยนรูปร่างได้อีก

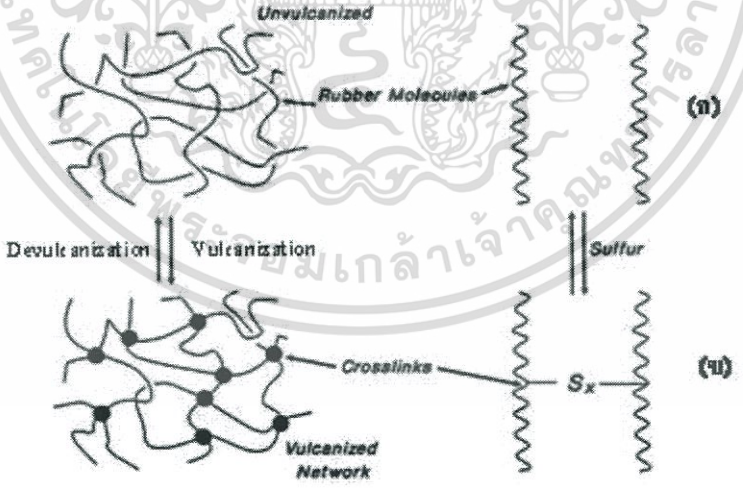


รูปที่ 1.1 กราฟความต้องการใช้ถุงมือยางของโลก [1]

รูปที่ 1.2 ขยะจากถุงมือยาง [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันมีการลดปริมาณยางที่ใช้แล้ว โดยจะนำมาใช้ประโยชน์ด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น การนำไปรีไซเคิลใหม่ให้ยางกลายเป็นของใช้ได้หลายอย่างรวมไปถึงเฟอร์นิเจอร์อีกด้วย [3] การนำยางใช้แล้วไปทิ้งในทะเล เพื่อทำเป็นปะการังเทียมให้เป็นที่อยู่อาศัย และวางไข่ของสัตว์ทะเลต่าง ๆ [4] การนำการแปรรูปยางรถยนต์เก่าเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงโดยกระบวนการ Pyrolysis [5] เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถนำกลับไปใช้ในรูปแบบยางตั้งต้นได้อีกด้วย สามารถทำได้โดยใช้สารเคมี และความร้อนตัดพันธะเชื่อมโยงโมเลกุล (Crosslinks) ของยางที่ผ่านการวัลคาไนซ์มาแล้วที่มีโครงสร้างตาข่ายสามมิติ เพื่อให้ยางมีสมบัติการไหล และขึ้นรูปใหม่ได้ เรียกกระบวนการนี้ว่า การดีวัลคาไนซ์ (Devulcanization) ยางที่ได้จะเรียกว่า ยางรีเคลม (Reclaimed rubber) [6] โดยการนำยางมากำจัดกำมะถัน (Desulferization) ส่งผลให้โมเลกุลของยางที่มีการเชื่อมโยงขาดออก จากนั้นสามารถนำไปผสมสารเคมี และขึ้นรูปใหม่ได้ แต่ยางรีเคลมที่ถูกนำมาวัลคาไนซ์ใหม่จะมีสมบัติเชิงกลด้อยกว่า และให้ความยืดหยุ่นที่ต่ำกว่ายางใหม่เราจึงนำมาผสมกับยางรีเคลมจากถุงมือยาง ซึ่งถุงมือยางทำมาจากยางดิบธรรมชาติ (Natural rubber) มีความแข็งแรง ยืดหยุ่น เหนียว และทนทาน เพราะกระบวนการผลิตถุงมือยางไม่ถูกบดย่อย จึงมีสายโซ่โมเลกุลที่ยาว และแข็งแรง ดังนั้นยางธรรมชาติจึงมีความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear resistance) สูงทั้งที่อุณหภูมิต่ำ และอุณหภูมิสูง เพื่อให้ยางมีสมบัติความยืดหยุ่น และสมบัติเชิงกลที่ดี แล้วยังช่วยเรื่องการลดต้นทุนการใส่สารเติมแต่งได้ปริมาณน้อยลง เช่น สารทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing agent), สารกระตุ้นปฏิกิริยา (Activators), สารตัวเติม เป็นต้น



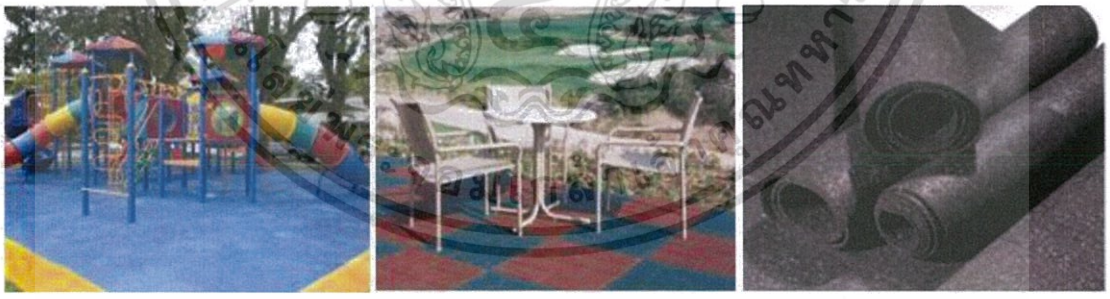
รูปที่ 1.3 โครงสร้างของถุงมือยางที่เกิดการเปลี่ยนแปลง (ก) โมเลกุลของยางก่อนการเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน และ (ข) โมเลกุลของยางหลังการเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันมีความต้องการในการใช้ยางรีเคลมเพิ่มมากขึ้นทั้งในประเทศไทย และต่างประเทศ ซึ่งคาดการณ์ว่าจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และกว้างขวางมากขึ้น ด้วยเหตุผลด้านการลดต้นทุนการผลิต และประสิทธิภาพการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นรวมถึงการขยายตัวของเศรษฐกิจโลกที่มีแนวโน้มดีขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม

บริษัท ยูเนี่ยนพัฒนกิจ จำกัด (UNION COMMERCIAL DEVELOPMENT CO., LTD.) เป็นหนึ่งในบริษัทผู้ผลิตยางรีเคลมชั้นนำของประเทศไทย เพื่อจำหน่ายยางรีเคลมภายในประเทศ และต่างประเทศจึงต้องการพัฒนาสมบัติยางรีเคลมที่ผลิตได้ให้ได้เป็นที่ยอมรับตรงตามความต้องการของลูกค้า ช่วยลดต้นทุนการผลิต นอกจากนี้ยังมีความประสงค์ที่จะพัฒนาสมบัติยางรีเคลมของบริษัทให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะความแข็งแรงดึง ซึ่งเป็นสมบัติขั้นต่ำในการแบ่งเกณฑ์มาตรฐานต่าง ๆ เพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันกับคู่ค้า โดยเฉพาะตลาดต่างประเทศที่มีการกำหนดมาตรฐานยางรีเคลม เช่น มาตรฐานสากล (International-standardization and organization : ISO) [8] มาตรฐานอินเดีย (Indian standard) [9] เป็นต้น

งานวิจัยนี้จึงศึกษาความเป็นไปได้ในการรีเคลมถุงมือยางมาผสมกับยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ (เกรด 103) เพื่อเช่วยในการลดต้นทุน และเพิ่มสมบัติเชิงกลของยางรีเคลม ให้สามารถแข่งขัน และส่งออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเน้นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการรีเคลมถุงมือยาง ได้แก่ การเตรียมถุงมือยาง เวลาในการดีวัลคาไนซ์ถุงมือยาง ปริมาณน้ำมัน ปริมาณสารรีเคลม และอัตราส่วนระหว่างยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ กับยางรีเคลมจากถุงมือยาง



รูปที่ 1.4 รูปตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากยางรีเคลม [10]

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อสมบัติของยางรีเคลมจากถุงมือยาง ซึ่งปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ การเตรียมถุงมือยาง ปริมาณน้ำมัน ปริมาณสารรีเคลม และเวลาในการดีวัลคาไนซ์ถุงมือยาง

2) ศึกษาสมบัติเชิงกลของยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ (เกรด 103) ด้วยการผสมยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ กับยางรีเคลมจากถุงมือยางในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของยางรีเคลมจากถุงมือยาง โดยแบ่งการทดลองได้ ดังนี้

- การศึกษาผลของการเตรียมถุงมือยางที่แตกต่างกัน ได้แก่ ถุงมือยางที่ไม่ผ่านการบด และที่ผ่านการบด

- การศึกษาเวลาในการดีวัลคาไนซ์ของถุงมือยางที่เวลาแตกต่างกัน (3, 3.5 และ 4 ชั่วโมง)

- การศึกษาปริมาณน้ำมัน และปริมาณสารรีเคลมที่ส่งผลต่อสมบัติของยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ในปริมาณที่แตกต่างกัน ได้แก่ ปริมาณน้ำมัน (0, 2.5, 5 และ 10 phr) และปริมาณสารรีเคลม (0 และ 0.5 phr)

- การศึกษาอัตราส่วนระหว่างยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ กับปริมาณยางรีเคลมจากถุงมือยางที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60 และ 0:100)

2) ผสมยางรีเคลมจากถุงมือยางด้วยสูตรต่าง ๆ โดยเครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง และทำการขึ้นรูปตัวอย่างโดยใช้แม่พิมพ์แบบกดอัด

3) ศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของยางรีเคลม ได้แก่

สมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

- ความแข็งแรงดึง
- ร้อยละการยืด ณ จุดขาด
- มอดุลัสยาง
- ความแข็งกด

ทดสอบสัณฐานวิทยา (Optical microscope, OM)

4) ศึกษาต้นทุนที่ใช้ในการผลิต และสรุปผลการทดลอง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) เพิ่มสมบัติด้านความแข็งแรงให้กับยางรีเคลม
2) ช่วยลดขยะที่เกิดจากอุตสาหกรรมยางได้
3) ลดต้นทุนในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่
4) ทราบปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมบัติของยางรีเคลม
5) สามารถนำความรู้ที่ได้จากงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาอุตสาหกรรมยางรีเคลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการผลิตถุงมือยางวัตถุดิบหลัก คือ น้ำยางธรรมชาติ และน้ำยางสังเคราะห์ เช่น น้ำยางไนไตรล์ ซึ่งไทยเป็นผู้ผลิต และส่งออกยางธรรมชาติเป็นอันดับ 1 ของโลก ทำให้ไทยมีวัตถุดิบมากในการผลิตถุงมือยาง แต่สำหรับยางสังเคราะห์ หรือ น้ำยางไนไตรล์ที่ใช้ในการผลิตถุงมือไนไตรล์ แม้ว่าไทยจะมีการผลิตน้ำยางไนไตรล์ แต่ไม่เพียงพอต่อความต้องการจึงต้องนำเข้าจากต่างประเทศ [1]

รูปที่ 2.1 รูปตัวอย่างต้นยางพารา [11]

2.1 ประเภทของถุงมือยาง

2.1.1 ถุงมือยาง

ถุงมือยางส่วนใหญ่ผลิตมาจากยางธรรมชาติ หรือ ยางพารา โดยมีการขึ้นรูปด้วยเทคนิคการจุ่ม (Dipping) และสมบัติของถุงมือยาง พบว่ามีความเหนียว ยืดหยุ่น สามารถทนต่อแรงดึง และมีความต้านทานต่อแรงฉีกขาดได้สูง [12]

2.1.1.1 ถุงมือยางที่ใช้ทางการแพทย์ (Medical gloves)

ถุงมือแพทย์หรือถุงมือยาง เป็นถุงมือที่นิยมใช้กันมาก ซึ่งมีหลายประเภททั้งใช้แล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่หรือแบบถุงมือที่ใช้แล้วทิ้ง เช่น ถุงมือแพทย์ ถุงมือไนไตรล์ ซึ่งถุงมือแพทย์ผลิตมาจากวัสดุหลายประเภท เช่น ยางธรรมชาติ และถุงมือแพทย์ยังแบ่งออกได้ดังนี้

- **ถุงมือแพทย์ชนิดมีแป้ง**

กระบวนการที่ทำให้ถุงมือแพทย์มีความลื่นในการสวมใส่ได้ง่าย และป้องกันไม่ให้เกิดการอับชื้นของถุงมือได้ แต่ข้อเสียของถุงมือชนิดนี้อาจก่อให้เกิดอาการแพ้แป้งสำหรับผู้ใช้บางกลุ่มได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ถุงมือแพทย์ชนิดไม่มีแป้ง**

ถุงมือที่ผลิตจากยางธรรมชาติที่ผ่านการทรีตที่ผิว เช่น การทำคลอริเนชัน (Chlorination) หรือ การเคลือบผิวด้วยโพลิเมอร์ (Polymer coating) เพื่อลดการเกิดการแพ้โปรตีนในน้ำยาง มีความต้านทานต่อการฉีกขาดสูง ยืดหยุ่นสูง เหนียว ทนร้อน ป้องกันสารเคมี และเชื้อโรคต่าง ๆ [13]

รูปที่ 2.2 รูปตัวอย่างถุงมือยาง [14-15]

2.1.1.2 ถุงมือยางศัลยกรรม

ถุงมือชนิดนี้จะมีเนื้อบาง แข็งแรง ยาวถึงข้อศอก ขั้นตอนการผลิตที่สำคัญคือกระบวนการฆ่าเชื้อซึ่งต้องใช้รังสีแกมมา และนั้นทำให้มีราคาค่อนข้างแพง และจะไม่นิยมให้มีการนำกลับมาใช้ใหม่

2.1.1.3 ถุงมือยางที่ใช้ในงานบ้าน

ถุงมือชนิดนี้จะมีความแข็งแรง ทนทาน และมีเนื้อของถุงมือหนากว่าถุงมือยางที่ใช้ในการแพทย์ เนื่องจากต้องสัมผัสกับน้ำยาทำความสะอาดต่าง ๆ จึงได้ออกแบบให้มีอายุใช้งานได้นาน

รูปที่ 2.3 รูปตัวอย่างถุงมือใช้งานบ้าน [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.4 ถุงมือยางที่ใช้ในอุตสาหกรรม

ถุงมือประเภทนี้จะมีความแข็งแรงมากผลิตจากวัสดุที่มีสมบัติในการทนทานต่ออันตรายและต้านทานสารพิษ ถุงมือประเภทนี้แบ่งออกเป็นหลายชนิด เช่น ถุงมือผ้าฝ้าย, ถุงมือหุ้มหลายชั้น, ถุงมือหนัง, ถุงมือป้องกันสารเคมี, ถุงมือป้องกันงานตัด, ถุงมือป้องกันความร้อน, ถุงมืองานเชื่อม และถุงมือสำหรับขับรถ [17]

2.1.2 ถุงมือไนไตรล์

การผลิตถุงมือยางไนไตรล์มีการผลิตจากยางสังเคราะห์ NBR ซึ่งทนความร้อน และทนการกัดกร่อนต่อสารพิษ กรด เบส ไขมันสัตว์ น้ำมัน ตลอดจนสารไฮโดรคาร์บอนต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นโอโซน คีโตน เอสเทอร์ เป็นต้น อีกทั้งยังยืดหยุ่นในกรณีผู้ใช้แพ้ยางธรรมชาติสามารถใช้ทดแทนได้ [18]

รูปที่ 2.4 รูปตัวอย่างถุงมือไนไตรล์ [19]

2.1.3 ถุงมือไวนิล

ถุงมือที่เหมาะกับงานบ้านหรือสวมใส่เพื่อหยิบจับสิ่งสกปรกเพื่อป้องกันเชื้อโรค ผลิตจากไวนิลคลอไรด์ ไม่นำไฟฟ้า และราคาถูกแต่ไม่แข็งแรงทนทาน ใส่ไม่กระชับมือ ทั้งยังมีอายุการเก็บที่สั้น [20]

รูปที่ 2.5 รูปตัวอย่างถุงมือไวนิล [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สมบัติของถุงมือยาง

การเปรียบเทียบสมบัติของถุงมือยาง และถุงมือไนไตรล์ในด้านต่าง ๆ ดังนี้ [1]

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบสมบัติถุงมือยาง และถุงมือไนไตรล์ในด้านต่าง ๆ [1]

สมบัติ	ยางธรรมชาติ (NR)	ยางไนไตรล์ (NBR)
ความทนทานต่อการฉีกขาด	เทียบเท่า	เทียบเท่า
ความทนทานต่อแรงดึง และความยืดหยุ่น	√	
ไม่เกิดการแพ้โปรตีน		√
ความสะดวกสบายในการสวมใส่	√	
การสัมผัส	√	
ความทนน้ำมัน และสารเคมี		√
การเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม	√	

หมายเหตุ: √ คือ สมบัติที่ดีกว่า

- ความทนทานต่อการฉีกขาดของยางทั้ง 2 ชนิด มีความทนทานต่อการฉีกขาดใกล้เคียงกัน เนื่องจากยางธรรมชาติสามารถเกิดผลึกได้จากการถูกดึงยืด จึงทำให้มีความทนทานต่อการฉีกขาดสูง และถ้าหากเติมสารตัวเติมที่สามารถเสริมแรงได้ จะทำให้ยางสามารถทนทานต่อการฉีกขาดได้เพิ่มมากขึ้น ส่วนยางไนไตรล์จะมี Carboxylic acid ทำให้มีความทนทาน, ความแข็งแรง และทนต่อการฉีกขาดได้อีกด้วย

- ความทนทานต่อแรงดึง และความยืดหยุ่น ยางธรรมชาติจะมีความทนทานต่อแรงดึง และความยืดหยุ่นที่สูงกว่ายางไนไตรล์ เนื่องจากยางธรรมชาติสามารถเกิดเป็นผลึกได้โดยการถูกดึงยืด ทำให้มีความแข็งแรง และทนทานต่อแรงดึงสูง โดยโครงสร้างยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นที่สูง เมื่อได้รับแรงกระทำจะเกิดการยืดตัวออก และคืนตัวกลับสู่รูปร่างเดิมเมื่อเอาแรงออก ทำให้ถุงมือยาง-ธรรมชาติมีสมบัติที่ดีกว่าถุงมือไนไตรล์

- การแพ้โปรตีนถุงมือที่ผลิตจากยางธรรมชาติสามารถทำให้ผู้ใช้เกิดอาการแพ้ได้ เนื่องจากโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ แต่ถุงมือไนไตรล์เป็นถุงมือที่มาจากสังเคราะห์ ดังนั้นจะไม่ทำให้ผู้ใช้เกิดการแพ้จากการใช้ถุงมือ ทำให้ถุงมือไนไตรล์มีสมบัติต้านการแพ้โปรตีนที่ดีกว่าถุงมือยาง

- ความสะดวกในการสวมใส่ถุงมือยางมีความแข็งแรง และยืดหยุ่นสูง ดังนั้นจึงทำให้มีความสะดวกสบายในการสวมใส่กระชับมือมากกว่าถุงมือไนไตรล์

- การสัมผัสถุงมือยางจะมีความยืดหยุ่นตัวสูง เมื่อสวมใส่จะทำให้เกิดการกระชับมือ ทำให้สวมใส่พอดี สบาย จับหยิบของได้สะดวกจึงทำให้ถุงมือยางสวมใส่สบายมากกว่าถุงมือไนไตรล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความทนน้ำมัน และสารเคมี ถุงมือไนไตรล์เป็นถุงมือที่มีความทนทานต่อน้ำมัน และสารเคมีได้มากกว่า เนื่องจากเป็นถุงมือที่มาจากการสังเคราะห์ ประกอบด้วยโคพอลิเมอร์ของอะไครโลไน-ไตรล์ และบิวตาไดอีน ซึ่งมีความเป็นขั้วสูง ทำให้ถุงมือไนไตรล์สามารถทนน้ำมัน และสารเคมีได้ดีกว่า

- การเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมถุงมือยางผลิตจากน้ำยางสด จึงมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าถุงมือไนไตรล์ที่มาจากการสังเคราะห์

ถุงมือยาง และถุงมือไนไตรล์ มีสมบัติที่แตกต่างกันต้องคำนึงถึงการใช้งานเป็นหลัก โดยสิ่งที่ต้องคำนึงถึงการแพ้จากโปรตีนในยางธรรมชาติ ซึ่งถุงมือจะมีความยืดหยุ่นสูงสะดวกในการสวมใส่มีความแข็งแรง และความทนทานต่อแรงดึงยืดสูง สิ่งที่สำคัญขึ้นกับความต้องการของผู้ใช้งาน และตลาดเป็นหลัก

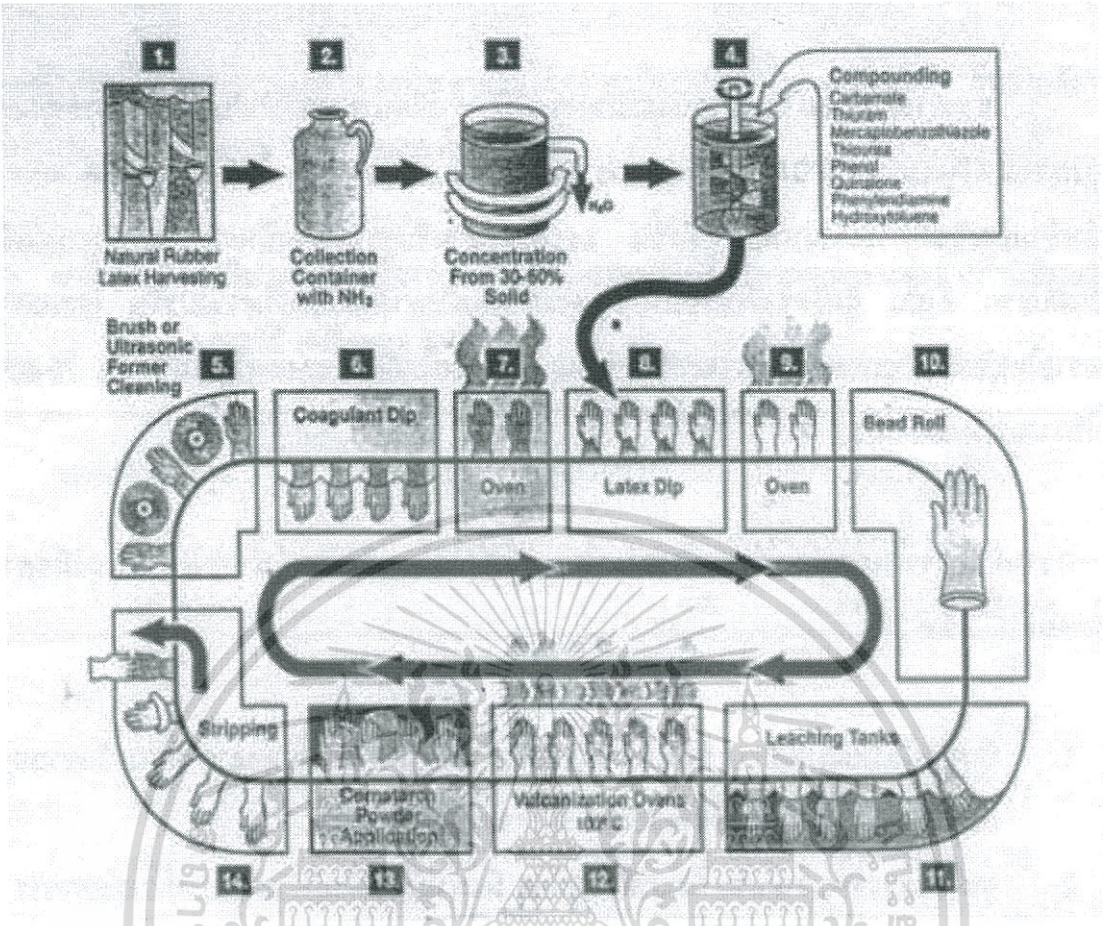
2.3 กระบวนการขึ้นรูปยางธรรมชาติ

ถุงมือยางเป็นผลิตภัณฑ์จากน้ำยาง ในการขึ้นรูปนั้นจะใช้เทคนิคการจุ่ม โดยจะขึ้นรูปแม่พิมพ์ตามผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ซึ่งแม่พิมพ์ที่ใช้สามารถผลิตได้จากโลหะ พลาสติก ไม้ หรือ เซรามิก เป็นต้น และจะต้องมีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่จะนำมาใช้งาน ซึ่งในการผลิตจะประกอบไปด้วยสารเคมีต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 และกระบวนการผลิตถุงมือยาง สามารถสรุปได้ในรูปที่ 2.6 [1]

ตารางที่ 2.2 สูตรเคมีสำหรับอุตสาหกรรมการจุ่มถุงมือยาง [1]

ชื่อสารเคมี	phr (ส่วนในร้อยของน้ำหนักแห้ง)
60% น้ำยางข้น	100
10% KOH	0.3
20% Potassium laurate	0.2
50% Sulfur	0.5
50% ZDC	0.75
40% SDBE	0.5
40% Wingstay L	0.75
50% ZnO	0.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 กระบวนการผลิตถุงมือยาง [1]

1) กระบวนการล้างแม่พิมพ์ (Former cleaning) เป็นกระบวนการที่สำคัญต้องทำความสะอาดก่อนขึ้นรูปทุกครั้ง เพื่อป้องกันไม่ให้ผลิตภัณฑ์เกิดความเสียหายเนื่องจากสิ่งสกปรก โดยจะใช้กรด และด่างในการทำความสะอาด ซึ่งกรดที่ใช้จะเป็น H_2SO_4 หรือ HCl และด่างจะใช้ NaOH หรือ KOH หลังจากนั้นล้างออกด้วยน้ำสะอาด

2) อบแบบพิมพ์ให้แห้ง (Oven 1) เป็นการระเหยน้ำออกจากแม่พิมพ์ก่อนจุ่มลงในถังสารช่วยในการจับตัว

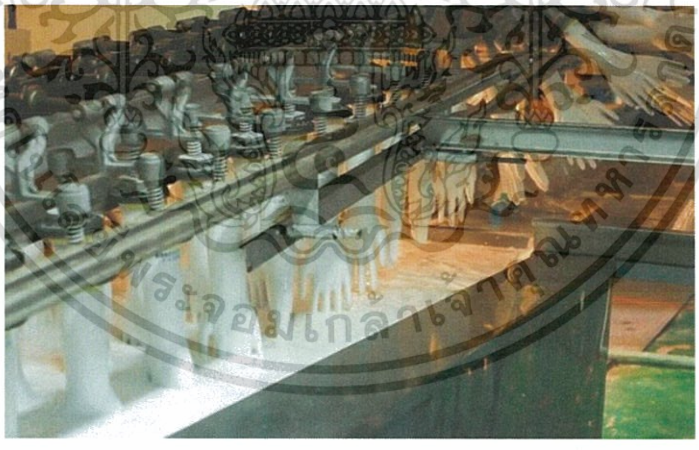
3) การจุ่มสาร Coagulant ซึ่ง Coagulant เป็นสารที่เกิดจากผสมระหว่าง $CaNO_3$ หรือ $CaCl_2$ ผสมกับ $CaCO_3$ ซึ่ง $CaNO_3$ หรือ $CaCl_2$ เป็นสารที่ช่วยในการจับตัวของอนุภาคยาง ส่วน $CaCO_3$ เป็นตัวป้องกันการติดแม่พิมพ์ โดยอุณหภูมิของแม่พิมพ์ที่ลงจุ่มในถัง Coagulant โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันน้ำยางจับตัวเสียสภาพ และในถัง Coagulant จะต้องมีการกวนเพื่อไม่ให้เกิดการตกตะกอนของ Coagulant ดังแสดงในรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.7 การจุ่มแบบมือลงในถังสาร Coagulant [22]

4) การอบแห้งสาร Coagulant (Oven 2) เป็นการทำให้สาร Coagulant แห้งก่อนลงจุ่มในถังน้ำยางคอมพาวด์

5) การจุ่มน้ำยางคอมพาวด์ (Latex dipping) เป็นกระบวนการเคลือบผิวของแม่พิมพ์ด้วยน้ำยาง ซึ่งจะมีการจุ่ม $CaCO_3$ เป็นตัวป้องกันการติดของแม่พิมพ์ ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของถุงมือจะขึ้นกับอุณหภูมิ ความเร็วในการจุ่มถุงมือ และคุณภาพของน้ำยาง ในกระบวนการผลิตจะต้องให้มีการปั่นกวนอย่างช้า เพื่อป้องกันการตกตะกอนของน้ำยาง ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การจุ่มแบบมือลงในถังน้ำยาง [22]

6) การอบหมาดฟิล์มถุงมือ (Oven 3) เป็นการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100-120 องศาเซลเซียส เพื่อทำให้ถุงมือแห้งพอหมาดจนสามารถนำไปม้วนขอบได้

7) การม้วนขอบถุงมือ (Beading) หลังจากการจุ่มแม่พิมพ์ลงในถังน้ำยาง ลักษณะของขอบถุงมือจะไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจะมีการม้วนขอบถุงมือเพื่อไม่ให้เห็นความไม่สม่ำเสมอดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) การล้างฟิล์มถุงมือ (Leaching) จะใช้อุณหภูมิในการล้างอยู่ที่ 60-70 องศาเซลเซียส ประมาณ 5-10 นาที เพื่อลดปริมาณโปรตีนในถุงมือ และล้างสารเคมีที่ปนเปื้อนบนเนื้อยางออก ดังแสดงในรูปที่ 2.9

รูปที่ 2.9 การชะล้างฟิล์มถุงมือยางในถัง Leaching [22]

9) การอบแห้ง (Oven 4) จะใช้อุณหภูมิไม่เกิน 100-120 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที ในการอบยางให้แห้ง และทำให้ยางเกิดการคงรูปซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของถุงมือยาง ดังแสดงในรูปที่ 2.10

รูปที่ 2.10 การอบถุงมือในตู้อบ [23]

10) การจุ่มแป้ง (Powder) เพื่อไม่ให้ถุงมือติดกับแม่พิมพ์ง่าย และสะดวกในการถอดถุงมือยางออกจากแม่พิมพ์

11) การอบแห้ง (Oven 5) เป็นการอบถุงมือยางหลังจากการจุ่มน้ำแป้ง เพื่อให้ถอดได้ง่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12) การถอดถุงมือยาง (Striping) เป็นขั้นตอนสุดท้ายในการผลิตที่จะถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ จะใช้พนักงานในการถอด หรือ ใช้เครื่องในการถอด ดังแสดงในรูปที่ 2.11

รูปที่ 2.11 การถอดถุงมือยางในสายพานการผลิต [24]

นอกจากนี้การคำนึงถึงความปลอดภัยของถุงมือทางการแพทย์เป็นสิ่งสำคัญ ดังนั้นจึงต้องผ่านกระบวนการผลิตที่หลากหลายขั้นตอน คือ

1) การอบถุงมือให้ยางคงรูป เนื่องจากถุงมือที่ผ่านการผลิตยังคงมีความชื้นหลงเหลืออยู่ ทำให้ถุงมือยางไม่คงรูป การอบจึงเป็นการกำจัดความชื้นที่หลงเหลืออยู่ และทำให้ชิ้นงานคงรูปเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะใช้ตู้อบขนาดใหญ่ในการอบ

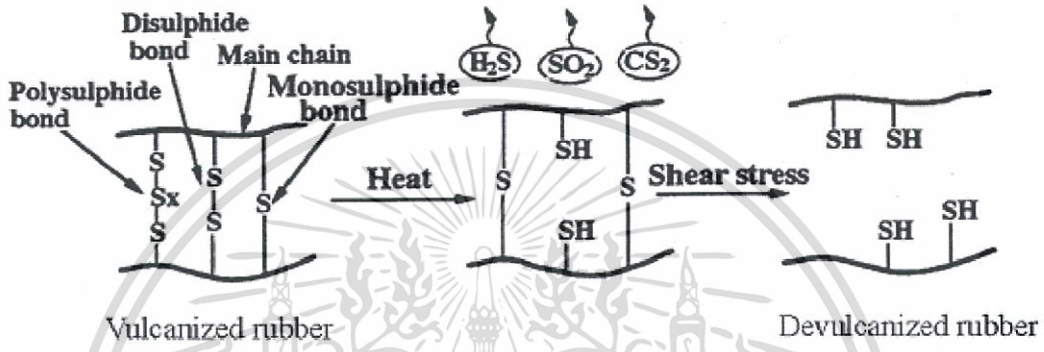
2) การทดสอบถุงมือยาง ส่วนมากจะใช้สายตาในการตรวจสอบใช้ลมเป่าให้ถุงมือโป่ง และการใช้น้ำในการทดสอบการรั่วซึม ดังแสดงในรูปที่ 2.12

รูปที่ 2.12 การทดสอบการรั่วซึม [25]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ยางรีเคลมจากถุงมือยาง (Reclaimed gloves)

ถุงมือที่ได้จากการนำเอาผลิตภัณฑ์ยางที่ไม่ผ่านมาตรฐาน เช่น ถุงมือแพทย์ ถุงมือที่ใช้ในครัวเรือน และถุงมือไนไตรล์มาผ่านกรรมวิธีโดยความร้อนทางเคมี ถุงมือยางจะเกิดการดีพอลิเมอไรซ์ (Depolymerize) เปลี่ยนจากสภาพคงรูป (Vulcanized) และมีความยืดหยุ่น (Elasticity) กลับคืนไปสู่สถานะแรกเริ่ม คือ ไม่มีความคงรูป (Unvulcanized) และไม่มีความยืดหยุ่น (Plasticity) ได้เป็นยางรีเคลมจากถุงมือยางที่มีลักษณะกึ่งของแข็ง และของเหลว (Paste-like) ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ [26]

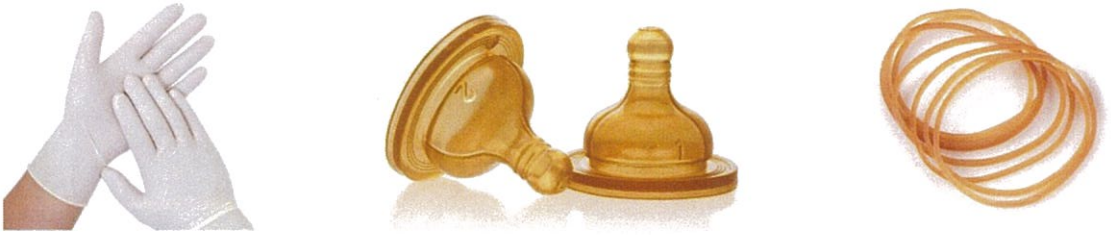


รูปที่ 2.13 โครงสร้างโมเลกุลของยางที่ใช้ทำถุงมือยางก่อนการรีเคลม–หลังการรีเคลม [26]

2.5 กระบวนการผลิตยางรีเคลมจากถุงมือยาง

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเป็นยางรีเคลม ส่วนมากจะมาจากอุตสาหกรรมยาง ซึ่งสามารถนำมาผลิตเป็นยางรีเคลมได้ทั้งหมด แต่สมบัติของยางรีเคลมที่ได้จะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปริมาณสารตัวเติมที่ใส่ในการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ได้แก่ [27]

1. เศษยางจากโรงงาน เช่น เศษเหลือจากชิ้นงาน
2. ผลิตภัณฑ์ยางที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว เช่น ยางรถยนต์ ถุงมือ จุกยางขวดนมเด็ก ฯลฯ
3. ผลิตภัณฑ์ยางที่ไม่ได้มาตรฐานหรือไม่สามารถนำมาใช้งานได้
4. ยางตายหรือยางที่เกิดการคงรูปก่อนเวลา ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้งานต่อได้



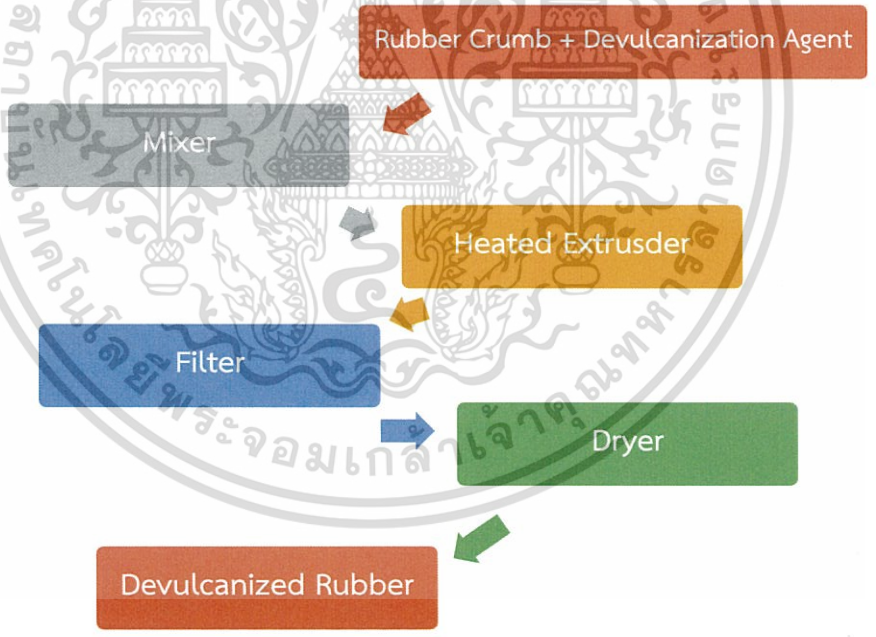
รูปที่ 2.14 ตัวอย่างวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตยางรีเคลม [28-30]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการผลิตยางรีเคลมเป็นกระบวนการนำยางวัลคาไนซ์ หรือ ยางคงรูปกลับมาใช้ใหม่ (Recycle process) หรือ เรียกอีกชื่อว่า ยางรีเคลม ซึ่งสามารถทำได้โดยการนำยางวัลคาไนซ์มาผ่านกระบวนการดีวัลคาไนเซชัน เพื่อเป็นการเปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลจากโครงสร้างแบบร่างแหให้เป็นโครงสร้างแบบเส้นตรง โดยมีหลักการ คือ การทำลายพันธะเคมีภายใน เช่น C-C, S-S และได้เป็นยางดีวัล-คาไนซ์ อย่างไรก็ตามพันธะเคมีของยางเป็นพันธะที่แข็งแรง และสลายตัวยาก จึงทำให้การเกิดปฏิกิริยายุ่งยาก ค่าใช้จ่ายสูง และใช้พลังงานในกระบวนการผลิตสูง ซึ่งการทำลายพันธะเคมีทำได้โดยใช้เทคนิค ดังนี้ [31]

2.5.1 กระบวนการทางเคมี (Chemical process)

กระบวนการที่ใช้สารเคมีช่วยในการดีวัลคาไนเซชันยาง ซึ่งสารเคมีที่นิยมใช้อยู่ในตระกูลของไดซัลไฟด์ (Disulfides) หรือ เมอร์เคปแทน (Mercaptans) โดยกระบวนการนี้สามารถทำได้โดยการนำยางที่ใช้แล้วมาแช่ในตัวทำละลายอินทรีย์ เพื่อให้โมเลกุลของยางเกิดการบวมตัว และง่ายต่อการซึมผ่านของสารเคมี ซึ่งโดยส่วนใหญ่กระบวนการนี้เป็นปฏิกิริยาแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch process) แต่ข้อเสียของกระบวนการนี้ คือ การกำจัดตัวทำละลายออกจากเนื้อยางค่อนข้างยาก

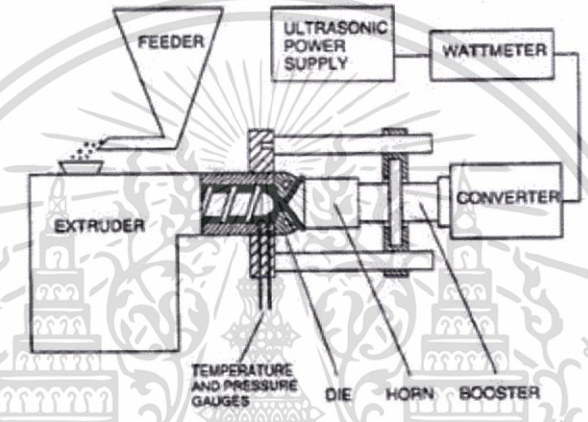


รูปที่ 2.15 การดีวัลคาไนเซชันโดยวิธีทางเคมี [32]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 กระบวนการอัลตราโซนิก (Ultrasonic process)

กระบวนการที่ใช้รังสีอัลตราซาวด์ (Ultrasound radiation) ในการทำลายโครงสร้างสามมิติแบบร่างแหของยาง ซึ่งระดับพลังงานสามารถทำลายพันธะคาร์บอน-ซัลเฟอร์ และพันธะซัลเฟอร์-ซัลเฟอร์ แต่ไม่ทำลายพันธะคาร์บอน-คาร์บอนของโมเลกุลยางได้ โดยกระบวนการนี้มีข้อดี คือ กระบวนการไม่ยุ่งยาก และไม่มีการใช้ตัวทำละลายหรือสารเคมี และการกำเนิดรังสีอัลตราซาวด์จะถูกควบคุมโดยเครื่องส่งกำลังอัลตราโซนิก (Ultrasonic power supply), เครื่องวัดจำนวนวัตต์ (Wattmeter), เครื่องแปลงไฟ (Converter), เครื่องเพิ่มกำลัง (Booster) และตัวควบคุมความร้อน (Horn) ซึ่งกระบวนการนี้ยังเป็นปฏิกิริยาแบบไม่ต่อเนื่อง



รูปที่ 2.16 การดีวัลคาไนเซชันโดยวิธีอัลทราโซนิก [32]

2.5.3 กระบวนการไมโครเวฟ (Microwave process)

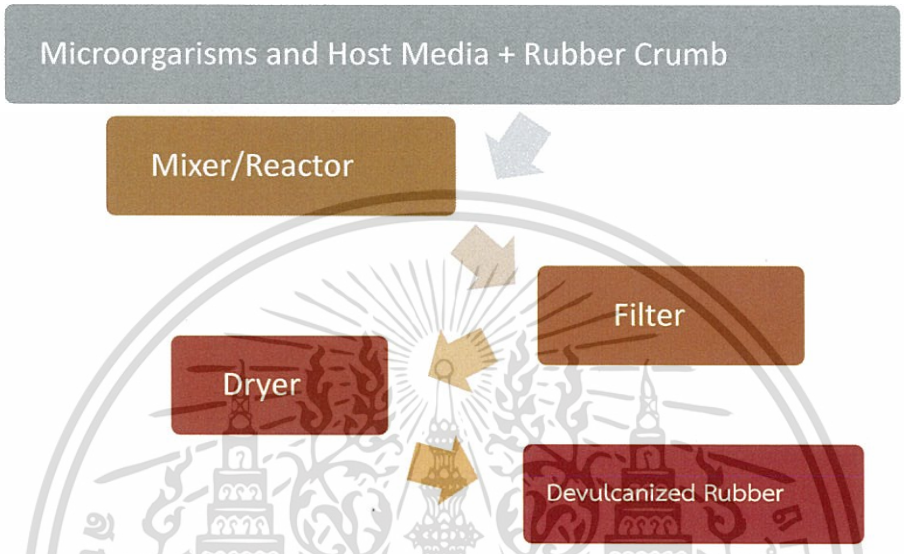
กระบวนการนี้เป็นการใช้คลื่นไมโครเวฟที่มีค่าความถี่ และระดับพลังงานที่เหมาะสมต่อการทำลายพันธะคาร์บอน-คาร์บอน, พันธะคาร์บอน-ซัลเฟอร์ และพันธะซัลเฟอร์-ซัลเฟอร์ ซึ่งยางที่ผ่านกระบวนการวัลคาไนเซชันที่มีหมู่มีขั้วจะเหมาะกับเทคนิคนี้มากที่สุด เนื่องจากหมู่ที่มีขั้วจะตอบสนองต่อคลื่นไมโครเวฟได้ดี และข้อดีของกระบวนการนี้ คือ ประหยัดเวลา และมีการกระจายความร้อนสม่ำเสมอ แต่ข้อเสีย คือ ยางอาจจะเกิดการเสื่อมสภาพ (Degradation) ได้เนื่องจากได้รับพลังงานความร้อนสูง และอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการนี้มีราคาแพง

รูปที่ 2.17 การดีวัลคาไนเซชันโดยวิธีไมโครเวฟ [32]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 กระบวนการทางชีวภาพ (Biological process)

การนำจุลินทรีย์มาใช้ในกระบวนการ เพื่อเป็นการทำลายพันธะซัลเฟอร์ภายในโมเลกุลของยาง ส่วนใหญ่ใช้เวลาประมาณ 10-100 วัน อย่างไรก็ตามข้อเสียของกระบวนการนี้ คือ สารเคมีที่ใช้ในการคงรูป (Curing reagent) และสารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antioxidant) จะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายพันธะซัลเฟอร์ลดลง



รูปที่ 2.18 การดีวัลคาไนเซชันโดยวิธีทางชีวภาพ [32]

2.6 สารเติมแต่งสำหรับยาง (Additives for rubber)

สารเติมแต่ง หมายถึง สารเคมีชนิดต่าง ๆ ที่ผสมลงไปในยาง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีสมบัติตามที่ต้องการ ซึ่งสารเคมีเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับยาง และสามารถเร่งโดยการให้ความร้อน หากยางที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยา กับสารเคมีจะเรียกว่า ยางไม่คงรูป (Green compound หรือ Uncured-compound) ถ้าหากสารเคมีทำปฏิกิริยากับยางแล้วจะเรียกว่า ยางคงรูป และจุดประสงค์ของการเติมสารเคมีลงไปในยางมีดังนี้ [33-34]

1) เพื่อแก้ข้อเสียของยาง ซึ่งข้อเสียของยางมี ดังนี้

- ยางมีสมบัติเป็นทั้งพลาสติก (Plastic) และมีอีลาสติก (Elastic) ทำให้ไม่สามารถนำยางไปใช้งานได้โดยตรง

- เนื่องจากยางเป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) ทำให้ยางใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิที่จำกัด ซึ่งที่อุณหภูมิสูงยางจะนิ่ม และที่อุณหภูมิต่ำยางจะแข็ง

- ยางมีความแข็งแรง, ความต้านทานต่อแรงดึง และความต้านทานต่อการสึกหรอที่ต่ำ เนื่องจากความหนาแน่นเชื่อมโยงสูง ทำให้สายโซ่ขยับยาก จึงทำให้กระจายพลังงานที่ได้รับไม่ดีเป็นผลให้ความแข็งแรงของวัสดุต่ำ และแตกหักง่าย

- ยางสามารถละลายได้ในตัวทำละลาย เช่น โทลูอีน คาร์บอนเตตระคลอไรด์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เพื่อเป็นตัวช่วยในกระบวนการแปรรูปยาง เนื่องจากยางที่ยังไม่ได้ผสมกับสารเคมีจะมีสมบัติเหนียว ซึ่งลำบากในการนำไปเข้ากระบวนการต่าง ๆ แต่หลังจากที่ได้เติมสารเติมแต่งลงไปจะสามารถช่วยลดปัญหาเกี่ยวกับความไม่สม่ำเสมอของแผ่นยางลงได้

3) ทำให้ยางมีขอบเขตการใช้งานกว้างขึ้น เนื่องจากการผสมสารเคมีในยางจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติของผลิตภัณฑ์ยางอย่างมาก เช่น มีความสามารถในการทนความร้อน และผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งมาก

4) เพื่อลดต้นทุนการผลิต เนื่องจากสารเพิ่มเนื้อบางชนิดมีราคาถูกกว่ายางมาก จึงเติมลงไปเพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณ

ซึ่งสารเคมีที่ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ยาง แบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ ดังนี้

2.6.1 สารทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing agents หรือ Curing agents)

สารทำให้ยางคงรูปหรือสารวัลคาไนซิ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของยางให้กลายเป็นโครงสร้างตาข่ายสามมิติตรงตำแหน่งที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา เพื่อปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์ยางให้ดีขึ้น ทำให้ยางอยู่ในสถานะที่ยืดหยุ่นมาก หรือ อาจใช้คำว่า “คงรูป” หรือ ตามภาษาโรงงานเรียกว่า “ยางสุก” ซึ่งสารเคมีที่ใช้แบ่งออกเป็น 3 ระบบใหญ่ ๆ ได้แก่

2.6.1.1 ระบบเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน (Sulfur vulcanization system)

ระบบเชื่อมโยงประเภทนี้ถูกใช้กันมากในอุตสาหกรรมยาง เนื่องจากกำมะถันมีราคาถูกละลายได้ดีในยาง โดยใช้ร่วมกับสารเร่ง และสารกระตุ้น ได้แก่ กรดสเตียริก และซิงค์ออกไซด์ (Stearic acid/ZnO) เป็นต้น และยังได้ยางวัลคาไนซ์ที่มีสมบัติเชิงกลดี ซึ่งระบบนี้เป็นที่นิยมใช้มากกับยางที่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุล โดยเฉพาะยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่ เช่น ยางไอโซพรีน (IR) ยางสไตรีน-บิวตะไดอีน (SBR) ฯลฯ แต่ระบบนี้มีข้อเสีย คือ ไม่สามารถใช้วัลคาไนซ์ยางที่ไม่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุลได้ เช่น ยางซิลิโคนหรือยาง EPM เป็นต้น

1. กำมะถัน (Sulfur)

กำมะถันเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงได้กับยางที่ไม่อิ่มตัว หรือ ยางที่มีพันธะคู่ และมีอะตอมของไฮโดรเจนที่ตำแหน่งอะไลลิก (Allylic hydrogen) เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ยางที่มี Allylic hydrogen มากจะเชื่อมโยงด้วยกำมะถันได้มาก โดยในปัจจุบันการ วัลคาไนซ์ยางด้วยกำมะถันนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระบบ ดังนี้

- ระบบการเชื่อมโยงแบบดั้งเดิม

ระบบการเชื่อมโยงกำมะถันเป็นระบบที่มีราคาถูกที่สุด และการเชื่อมโยงแบบนี้ทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลที่ดี ซึ่งหลักการ คือ ใช้กำมะถันปริมาณมาก และใช้สารเร่งปริมาณน้อย ทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงกำมะถันหลายอะตอม หรือ พอลิซัลฟิดิก (Polysulfidic linkage) ซึ่งพันธะระหว่างอะตอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของกำมะถัน (S-S bond) เป็นพันธะที่ไม่แข็งแรง สามารถถูกทำลายได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน หรือแรงกระทำ

- ระบบการเชื่อมโยงแบบมีประสิทธิภาพ

ระบบการเชื่อมโยงที่ใช้กำมะถันปริมาณน้อย และใช้สารเร่งปริมาณมาก ทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงแบบกำมะถันอะตอมเดี่ยวหรือโมโนซัลฟิดิก (Monosulfidic linkage) จำนวนมาก ซึ่งพันธะระหว่างกำมะถัน กับคาร์บอน (S-C bond) เป็นพันธะที่แข็งแรง และมีเสถียรภาพทางความร้อนสูง

- ระบบการเชื่อมโยงแบบมีกึ่งประสิทธิภาพ

ระบบนี้เป็นระบบกึ่งกลางระหว่างสองระบบ คือ ระบบการเชื่อมโยงแบบดั้งเดิม และระบบการเชื่อมโยงแบบมีประสิทธิภาพ ทำให้ได้ยางที่มีสมบัติหลังจากการเชื่อมโยง และต้นทุนการผลิตอยู่ระหว่างกลางของสองระบบแรก

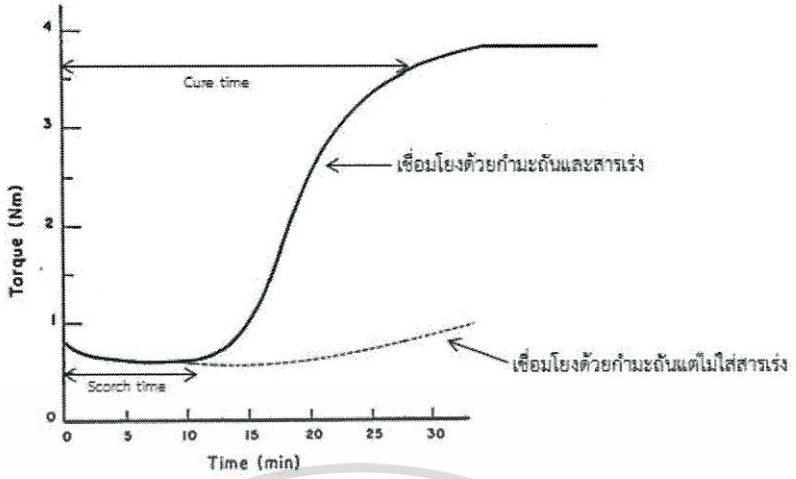
ตารางที่ 2.3 ระบบการวัลคาไนซ์ ปริมาณกำมะถัน และสารตัวเร่งที่ใช้ [35]

ระบบการเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน	กำมะถัน (phr)	สารเร่ง (phr)	อัตราส่วนของสารเร่งต่อกำมะถัน
แบบดั้งเดิม (CV)	2.0-3.5	0.4 - 1.2	0.1-0.6
แบบกึ่งประสิทธิภาพ (Semi-EV)	1.0-1.7	1.2-2.5	0.7-2.5
แบบมีประสิทธิภาพ (EV)	0.3-0.8	2.5-6.0	2.5-2.0

2. สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Accelerators)

สารเคมีที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงให้มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Crosslinking rate) เร็วขึ้น ทำให้เวลาการเชื่อมโยง (Cure time) เร็วขึ้น ทั้งนี้จึงทำให้การเชื่อมโยงมีประสิทธิภาพมากขึ้น และยังใช้กำมะถันในปริมาณน้อยลง ซึ่งมีความจำเป็นสำหรับระบบเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน มิฉะนั้นยางจะเกิดปฏิกิริยาได้ช้ามากแม้จะให้อุณหภูมิสูง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



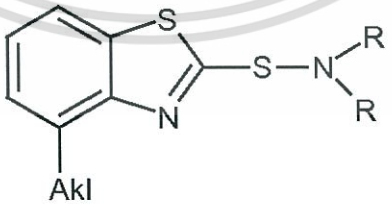
รูปที่ 2.19 กราฟการเชื่อมโยง (Cure curve) แสดงความแตกต่างของการเชื่อมโยงแบบไม่ใช้สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง และใช้สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง [36]

ก. ชนิดของสารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง

การใช้สารเร่งมากกว่าหนึ่งชนิดร่วมกัน และสารเร่งที่ใช้ในปริมาณมากจะเป็นสารเร่งหลัก หรือ เรียกว่าเป็น “สารเร่งปฐมภูมิ” (Primary accelerators) ส่วนสารเร่งที่ใช้ในปริมาณน้อยจะเรียกว่าเป็น “สารเร่งทุติยภูมิ” (Secondary accelerators) ซึ่งสารเร่งปฏิกิริยาแบ่งได้หลายชนิด ดังนี้

ก1. สารเร่งปฏิกิริยากลุ่มซัลเฟนาไมด์ (Sulfenamides)

สารเร่งชนิด Delay-action accelerators ซึ่งจะเริ่มเกิดการเชื่อมโยง (Scorch) ช้า เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่ง ซึ่งนิยมใช้กับยางที่ต้องการเวลาผสมหรือขึ้นรูปช้า ๆ เนื่องจากหมู่อัลคิล (R) ในโครงสร้างเป็นหมู่ใหญ่ (Bulky) ทำหน้าที่ให้โปรตอน (H^+) ช่วยหน่วงให้จุดเริ่มการเชื่อมโยงช้า จึงทำให้เวลาเริ่มเชื่อมโยงหรือเวลาสกอร์ช (Scorch time) นาน

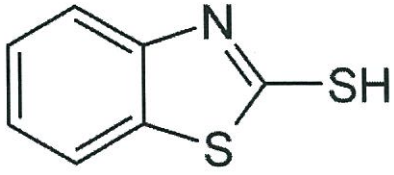


รูปที่ 2.20 โครงสร้างกลุ่มซัลเฟนาไมด์ [37]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก2. สารเร่งปฏิกิริยากลุ่มไทเอโซล (Thiazoles)

สารเร่งที่นิยมใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรม เนื่องจากราคาไม่แพง และยังเป็นสารเร่งที่ใช้ได้ดีกับยางแทบทุกประเภท ทำให้ยางมีอัตราเร็วในการเชื่อมโยงปานกลาง และยางเชื่อมโยงที่ได้จะมีสมบัติเชิงกลที่ดี



รูปที่ 2.21 โครงสร้างไทอะโซล [38]

ข. ปัจจัยที่ควรพิจารณาในการเลือกสารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง

- เวลาที่จะต้องให้ยางผสมสูตรเริ่มเชื่อมโยง
- ดัชนีอัตราเร็วเชื่อมโยง (Cure rate index, CRI)
- องศาการเชื่อมโยง และชนิดของพันธะเชื่อมโยงที่เกิด
- ปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความยากง่ายในการเกิดบลูม (Blooming)

ค. หลักในการใช้งานสารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง

- การใส่สารเร่งปริมาณมากเกินไป อาจทำให้ความสามารถในการละลายของสารเร่งเกินจุดอิ่มตัว ส่งผลให้เกิดการบลูมหรือการแพร่ออกของสารเร่งได้
- ควรหลีกเลี่ยงการสูญเสียสารเร่งขณะผสม โดยการใช้งานในรูปของเม็ด หรือ มาสเตอร์แบทช์ (Masterbatch) เป็นต้น เนื่องจากสารเร่งมีลักษณะเป็นผง
- ควรใส่สารเร่งลำดับหลัง เพื่อหลีกเลี่ยงการเชื่อมโยงก่อนเวลา

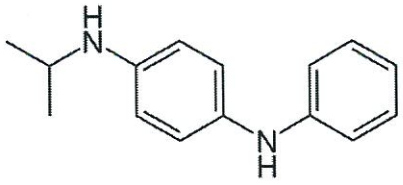
3. สารกระตุ้นปฏิกิริยาเชื่อมโยง

สารที่ช่วยเสริมให้สารตัวเร่งทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น สารกระตุ้นที่นิยมมากที่สุดในอุตสาหกรรมยาง ได้แก่ ซิงค์ออกไซด์ร่วมกับกรดสเตียริก เนื่องจากมีราคาไม่แพง และประสิทธิภาพสูงในการทำงาน

4. สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (Antidegradants)

เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของยางทั่วไป โดยเฉพาะยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่จะมีพันธะคู่อยู่ค่อนข้างมาก จึงทำให้มีสภาพที่อ่อนแอต่อปัจจัยต่าง ๆ จึงต้องเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพของยางเข้าไปเพื่อยืดอายุการใช้งานของยาง ซึ่งตัวอย่างของสารในป้องกันยางเสื่อมสภาพ ได้แก่ N-Isopropyl-N'-phenyl-p-phenylene diamine (IPPD), 2,6-Di-tertButyl-p-cresol (BHT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



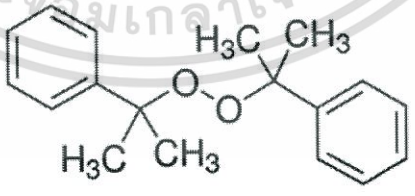
รูปที่ 2.22 โครงสร้างของ IPPD [39]

2.6.1.2 ระบบเชื่อมโยงด้วยสารประกอบที่สลายตัวให้กำมะถัน (Sulfur donor vulcanization system)

ระบบเชื่อมโยงประเภทนี้เป็นการใช้สารที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ Tetramethyl thiuram disulfide (TMTD), Dithiodimorpholine (DTDM), Dipentamethylene-thiuram tetrasulfide (DPTT) สารพวกนี้ยังก่อให้เกิดพันธะเคมีแบบ Monosulfidic เป็นส่วนใหญ่ ทำให้ยางทนต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนได้ดีมาก และยังช่วยลดปัญหาการเกิดการบลูมได้อีกด้วย

2.6.1.3 ระบบเชื่อมโยงด้วยสารประกอบเปอร์ออกไซด์ (Peroxide vulcanization system)

ระบบเชื่อมโยงประเภทนี้ เกิดจากการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ (Free radicals) เมื่อให้ความร้อนสูงขณะเชื่อมโยง เมื่ออนุมูลอิสระมาเจอกันบนสายโซ่ จะเกิดเป็นพันธะคาร์บอน-คาร์บอน (C-C bonds) เชื่อมโยงระหว่างสายโซ่ระบบการเชื่อมโยงนี้สามารถใช้ได้ทั้งยางที่อิ่มตัวและไม่อิ่มตัว และนิยมใช้โดยเฉพาะยางอิ่มตัวที่ไม่มีหมู่ฟังก์ชันที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเชื่อมโยง แต่ระบบนี้ต้องทำการให้ความร้อนหลังการเชื่อมโยง (Post cure) ซึ่งเสียเวลา และเพิ่มต้นทุนการผลิต สารประกอบเปอร์-ออกไซด์ที่นิยมมากที่สุด คือ Dicumyl peroxide (DCP)



รูปที่ 2.23 โครงสร้างของ Dicumyl peroxide (DCP) [40]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 สารตัวเติม (Fillers)

สารตัวเติม คือ องค์ประกอบที่เติมเข้าไปในยางเพื่อให้ได้จุดประสงค์หลายอย่าง เช่น เสริมแรงให้ยางมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น หรือ เพื่อลดต้นทุน และสารตัวเติมที่ใช้ในอุตสาหกรรมสามารถแบ่งออกตามประสิทธิภาพของการเสริมแรงได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ สารตัวเติมเสริมแรง และสารตัวเติมที่ไม่เสริมแรง

2.6.3 สารช่วยในกระบวนการผลิต (Processing aids)

สารเคมีที่เติมเข้าไปในยางเพื่อช่วยให้การผสม หรือ การขึ้นรูปเป็นไปได้ง่ายยิ่งขึ้น ได้แก่ พวกน้ำมัน (Oils) และสารเคมีที่ย่อยยาง (Peptizer) เช่น Pepton 22 จะช่วยควบคุมไม่ให้ยางมีความหยุ่นตัว (Nerve) สูงเกินไป เพราะจะทำให้สารเคมีที่เป็นผงเข้าเนื้อยางได้ยาก

2.6.4 สารกลุ่มอื่น ๆ (Miscellaneous ingredients)

สารเหล่านี้โดยทั่วไปแล้วไม่จำเป็นต้องใช้ในการออกสูตรเสมอไปแต่ในบางกรณีที่ต้องการให้ยางมีสมบัติพิเศษบางประการ จึงจำเป็นต้องมีการเติมสารเคมีบางตัวเข้าช่วยทำปฏิกิริยา

- สารหน่วง (Retarders) จะใช้เมื่อต้องการชะลอไม่ให้ยางเสียก่อนเวลา หรือ ที่เรียกว่า ยางตาย ตัวอย่างของสารหน่วง ได้แก่ Benzoic acid หรือ Salicyclic acid เป็นต้น

- สารทำให้เกิดฟอง (Blowing agents) ใช้สำหรับการทำให้ยางฟู เพื่อใช้ในการทำโฟมยาง เป็นต้น ตัวอย่างของสารกลุ่มนี้ ได้แก่ Sodium bicarbonate หรือ Dinitrosopentamethylene tetramine เป็นต้น

- สารทำให้เกิดสี (Pigments) มีทั้งสีอนินทรีย์ เช่น Cadmium sulfide, Chromium oxide และ Titanium dioxide และสีอินทรีย์ซึ่งให้สีสด ทนต่อความร้อนได้ดีกว่าสีอนินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 หน้าที่ และปริมาณการใช้สารเคมีต่าง ๆ [41]

สมบัติที่ต้องการ	สารเคมี	ปริมาณการที่ใช้ (phr)
ความยืดหยุ่น (elasticity)	สารทำให้ยางคงรูป สารกระตุ้น สารเร่ง	1-3.5 1-5 0.5-2.5
การป้องกันยางเสื่อมอันเนื่องมาจากออกซิเจนและโอโซน	สารป้องกันยางเสื่อม เช่น 6 PPD, Flectol H, Antioxidant 2246, Wingstay L, Vulkanox MB	1-4
เสริมความแข็งแรงให้ยาง	สารตัวเติมที่มีขนาดอนุภาคเล็ก เช่น เขม่าดำ ซิลิกา	10-100
ลดความหนืด (viscosity) ของยางดิบ	บดให้นิ่ม (mastication) และเติมสารย่อยยาง (chemical peptizer)	0.1-1.5
เชื่อมติดผ้า โลหะ กระเบื้อง	สารพวกเป็นตัวเชื่อม (bonding agent) และต้องทำความสะอาด หรือมีวิธีการปรับผิว (treat) ของสิ่งที่ต้องการเชื่อม	2-10
สี	สีอนินทรีย์ หรือสีอินทรีย์	ตามความเข้มที่ต้องการ
ลดต้นทุน	สารตัวเติมชนิดราคาถูก ยางรีเคลม เศษยางคงรูป	10-200,10-100, 5-50
ฟองพรุน (cellular structure)	สารฟู พวกสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์	0.5-20 5-30
ลดอันตรายจากการติดไฟ (self extinguishing)	สารลดการติดไฟ เช่น พวก phosphates, antimony salts, halogenated organics, borates (antimonytrioxide and chlorinated wax - มักใช้กับยางธรรมชาติ)	1-20
ฉนวนกันไฟฟ้า	สารพวกไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า เช่น สารตัวเติมพวกแร่ธาตุ น้ำมัน ไฮโดรคาร์บอน	5-50
กันไฟฟ้าสถิตย์	สารกันไฟฟ้าสถิตย์ เช่น พวกเอสเทอร์ที่มีขั้ว เขม่าดำ	0.1-2.0,1-5
ตัวนำไฟฟ้า	สารตัวนำไฟฟ้า เช่น เขม่าดำ อนุภาคโลหะ และเกลือโลหะ	10-50
ป้องกันแบคทีเรีย	สารป้องกันเชื้อรา เช่น สารพวก chlorinated phenol	0.5-5.0

2.7 สารรีเคลม (Reclaiming agents)

สารรีเคลม คือ สารเคมีที่ทำหน้าที่ทำให้เกิดการสลายโครงสร้างสามมิติในยางส่งผลให้โมเลกุลของยางรวมทั้งพันธะกำมะถันที่อยู่ในโมเลกุลของยางเกิดการสลายตัวเปลี่ยนสภาพจากยางคงรูป ซึ่งมีความยืดหยุ่นสูง กลับคืนสู่สภาวะแรกเริ่ม คือ ไม่มีความคงรูป และไม่มีความยืดหยุ่น ทำให้ได้เป็นยางรีเคลมที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ตัวอย่างสารรีเคลม เช่น สารไดฟีนิล ไดซัลไฟด์ [42]

กลไกการรีเคลม

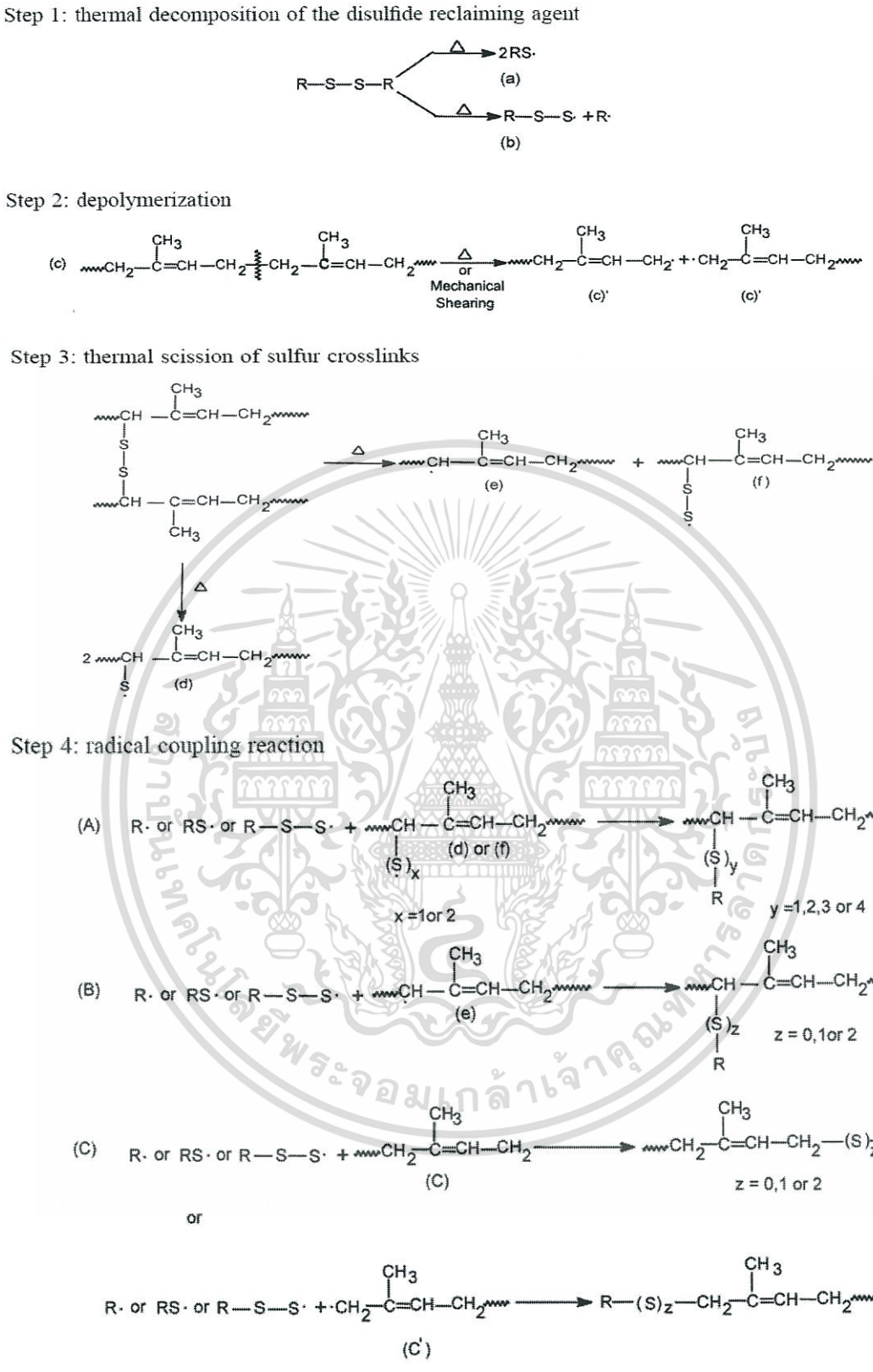
ขั้นที่ 1 ให้ความร้อนเพื่อสลายพันธะกำมะถันของสารรีเคลมไดซัลไฟด์

ขั้นที่ 2 ให้ความร้อนหรือแรงเฉือนเชิงกลเพื่อทำลายสายโซ่พอลิเมอร์ให้สั้นลง

ขั้นที่ 3 ให้ความร้อนเพื่อทำลายพันธะของกำมะถัน

ขั้นที่ 4 เกิดปฏิกิริยาคู่ขนานระหว่างสารรีเคลมไดซัลไฟด์ กับสายโซ่พอลิเมอร์ที่สั้นลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 กลไกการเกิดปฏิกิริยารีเคลม [43]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

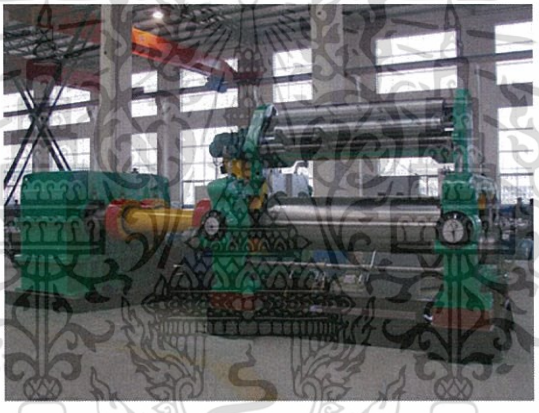
2.8 การผสมยางรีเคลมจากถุงมือยาง

การผสมถุงมือยางเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สามารถทำให้สารตัวเติมที่ใส่ลงไปในยางเกิดการแตกตัว และกระจายตัวผสมเป็นเนื้อเดียวกัน สามารถส่งผลถึงคุณภาพ และความสม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการเลือกใช้เครื่องมือ และสภาวะในการผสมเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง เพื่อให้ได้ถุงมือยางที่มีคุณภาพ และมีความสม่ำเสมอ โดยเครื่องที่ใช้ในการผสมยางจะมีหลากหลายชนิด ดังนี้ [33]

2.8.1 เครื่องผสมแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch mixer)

2.8.1.1 เครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง

เครื่องผสมยางระบบเปิด ประกอบด้วยสองลูกกลิ้ง ภายในลูกกลิ้งจะมีน้ำไหลผ่านเพื่อหล่อเย็น ลูกกลิ้งจะหมุนเข้าหากัน โดยที่ลูกกลิ้งด้านหน้าจะหมุนช้ากว่าด้านหลัง ช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งสามารถปรับได้ตามความต้องการ หากต้องการทำให้สารเคมีเข้ากับยางได้ดีต้องทำการกรีดยางแผ่น และพับไปมาในขณะที่เติมสารเคมีลงไปในยางจะช่วยกระจายตัวเข้ากับเนื้อยางได้ดี



รูปที่ 2.25 เครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง [44]

2.8.1.2 เครื่องผสมระบบปิดบานบูรี (Banbury internal mixer)

เครื่องมือผสมระบบปิดที่มีประสิทธิภาพสูงสามารถผสมยางให้เข้ากันได้อย่างรวดเร็ว และการกระจายตัวดีมาก ซึ่งมีองค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ ห้องผสม ตัวบดผสมหรือโรเตอร์ แท่งกด หรือ แรม และระบบหล่อเย็น ซึ่งจะใช้เวลาในการผลิตน้อย และมีการผสมในอัตราส่วนที่แน่นอน ไม่เกิดการสูญหายสารเคมีระหว่างการผสม เนื่องจากเป็นระบบปิด ลักษณะของโรเตอร์ของเครื่องผสมระบบนี้จะมีรัศมีการหมุนของโรเตอร์ทั้งสองไม่คาบเกี่ยวกัน หรือ ที่เรียกว่า “Non-interlocking หรือ Non-intermeshing” โรเตอร์จะหมุนด้วยอัตราเร็วที่แตกต่างกันทำให้เกิดแรงเฉือน ยางกับสารเคมีจะเกิดการผสมกัน และจะทำให้สารเคมีกระจายตัวได้ดีในเนื้อยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.26 เครื่องผสมระบบปิดบานบูรี [33]

2.8.1.3 เครื่องผสมระบบปิดแบบอินเตอร์มิกซ์ (Intermix internal mixer)

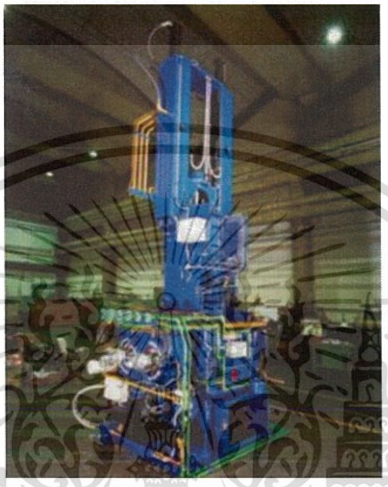
เครื่องบดที่ให้ประสิทธิภาพสูงในการบดยาง สามารถบดยางได้ครั้งละปริมาณมาก ๆ คล้ายกับเครื่องบานบูรี แต่ต่างกันที่รัศมีการหมุนของโรเตอร์ จะคาบเกี่ยวกันหรือที่เรียกว่า “Intermeshing” และโรเตอร์ ทั้งสองหมุนด้วยความเร็วเท่ากันสามารถควบคุมอุณหภูมิในห้องผสมและอุณหภูมิของโรเตอร์ได้ดีกว่าเครื่องบานบูรี จึงมีประสิทธิภาพการผสมที่สูงมาก ทำให้สารเคมีกระจายตัว และแตกตัวในยางได้ดีกว่าเครื่องผสมชนิดบานบูรี

รูปที่ 2.27 เครื่องผสมระบบปิดแบบอินเตอร์มิกซ์ [33]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1.4 เครื่องผสมระบบปิดแบบที่ปรับระยะห่างระหว่างโรเตอร์ได้ (Variable-intermeshing clearance internal mixer)

เครื่องผสมแบบระบบปิดเหมือนเครื่องอินเตอร์มิกซ์ แต่ต่างกันที่สามารถปรับระยะห่างระหว่างตัวโรเตอร์ได้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผสม เช่น ช่วงแรกอาจปรับให้ระยะห่างระหว่างโรเตอร์กว้างหน่อย เพื่อจะได้ใส่สารลงมาได้มาก และปรับให้โรเตอร์แคบลง เพื่อเพิ่มแรงเฉือนให้มากขึ้น ทำให้เกิดการแตกตัวของสารตัวเติม และกระจายตัวในยางได้ดีมากขึ้น



รูปที่ 2.28 เครื่องผสมยางระบบปิดแบบที่ปรับระยะห่างระหว่างโรเตอร์ได้ [33]

2.8.1.5 เครื่องนวดยาง

เครื่องนวดยาง ทำหน้าที่ในการผสมยางกับสารเคมี และนวดยาง กับสารเคมีเป็นเนื้อเดียวกัน มีหลักการทำงานคล้ายกับเครื่องผสมระบบปิดบานบูรี แต่รูปแบบของตัวบดผสม หรือ โรเตอร์แตกต่างจากของเครื่องผสมระบบปิดบานบูรีมาก ทำให้ประสิทธิภาพในการผสมต่ำกว่า หลักการของเครื่องนวดยางมีลูกกลิ้ง 2 ลูกกลิ้ง จะใส่ยางลงไปในช่องระหว่างลูกกลิ้ง โดยจะมีแรงเฉือนเกิดขึ้น ทำให้ยางกับสารเคมีสามารถผสมเข้ากัน และจะมีความร้อนสะสมในเครื่องน้อยกว่าเครื่องผสมระบบปิดบานบูรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

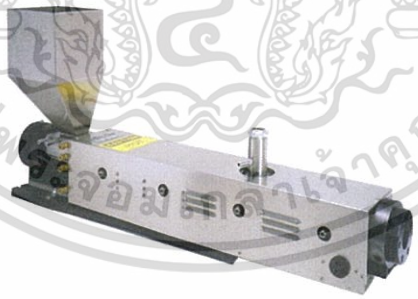
รูปที่ 2.29 เครื่องนวดยาง [33]

2.8.2 เครื่องผสมแบบต่อเนื่อง (Continuous mixer)

เครื่องผสมแบบต่อเนื่อง ได้แก่ เครื่องผสมแบบเกลียวหนอนเดี่ยว (Single screw) เครื่องผสมแบบเกลียวหนอนคู่ (Twin screw) ตัวเครื่องสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 บริเวณใหญ่ ๆ ได้แก่

1. บริเวณที่ป้อนสาร (Feed zone) ซึ่งจะประกอบด้วยถังป้อนสารที่มีลักษณะคล้ายกรวย (Hopper)
2. บริเวณที่เกิดการผสม (Mixing zone) คล้ายห้องผสมในเครื่องผสมระบบปิด
3. บริเวณที่ปล่อยยางออกจากเครื่อง (Metering zone) เป็นส่วนที่ติดกับหัว Die

ซึ่งปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์จะต้องเลือกอัตราเร็วในการป้อนสารให้เหมาะสมกับระยะเวลาในการผสมยางคอมพาวด์ที่อยู่ในเครื่อง จึงจะได้ยางคอมพาวด์ที่มีคุณภาพ



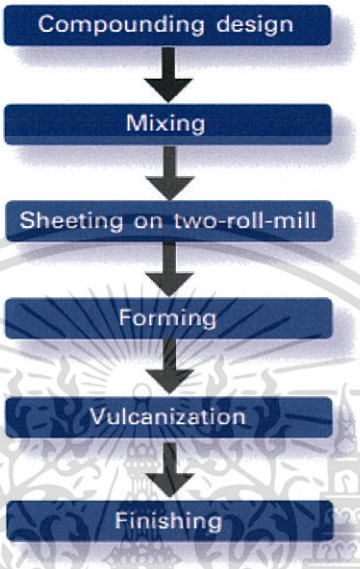
รูปที่ 2.30 เครื่องผสมแบบต่อเนื่อง [45]

2.9 ขั้นตอนการผสมยางรีเคลมจากถุงมือยาง (Mixing step)

การผสมถุงมือยางกับสารเคมีโดยใช้เครื่องผสมอาจจะเป็นได้ทั้งเครื่องผสมระบบปิด หรือระบบเปิด หลังจากการบดยางให้นิ่มแล้ว จึงเริ่มเติมสารเติมแต่งที่กระจายตัวยากก่อน เช่น ซิงค์ออก-ไซด์ กรดสเตียริก ผงเขม่าดำ เป็นต้น เนื่องจากช่วงแรกอุณหภูมิในการบดต่ำ แต่ยางมีความหนืดสูงจึงมีแรงกระทำเชิงกลมาก จากนั้นเติมสารเติมแต่งชนิดอื่น ๆ และน้ำมันลงไป โดยสารที่ควรเติมลำดับสุดท้าย คือ สารตัวเร่ง กำมะถัน และสารป้องกันยางตาย (Retarders) ซึ่งยางที่ผ่านการผสมสารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วจะเรียกว่า ยางคอมพาวด์ (Rubber compound) ซึ่งการใช้กระบวนการผสมที่ต่างกันจะส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของการผสมโดยนำยางคอมพาวด์ที่ได้ในแต่ละครั้งไปทดสอบความหนืดมูนนี่ (Mooney viscosity) และสมบัติการคงรูปของยาง (Cure characteristics) เพื่อควบคุมคุณภาพให้คงที่อีกด้วย [41]



รูปที่ 2.31 ขั้นตอนการผสมยาง [41]

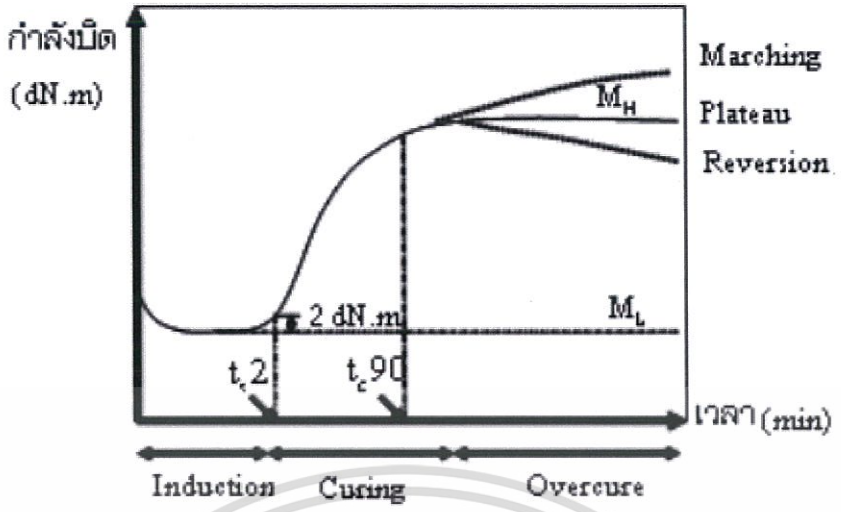
2.9.1 เครื่องวัดการเชื่อมโยงยาง

ตัวอย่างยางผสมสูตรทุกครั้งจะถูกทดสอบลักษณะการเชื่อมโยง เช่น ระยะเวลาสกอร์ช และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ (Curing time) เพื่อทดสอบสมบัติของยางที่ผลิต และความสม่ำเสมอในการผสมยาง เพราะถ้ายางเกิดการวัลคาไนซ์เร็วเกินไป หรือ มีระยะเวลาสกอร์ชที่สั้นเกินไปอาจก่อให้เกิดยางไหลได้ไม่เต็มแม่พิมพ์ ดังนั้นจึงต้องมีการออกสูตรให้ยางคอมพาวด์มีระยะเวลาสกอร์ชที่เหมาะสม และ ยางคอมพาวด์ควรมีระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ที่สั้น เพื่อเป็นการลดต้นทุน และเพิ่มประสิทธิภาพยาง ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบสมบัติมี ดังนี้ [33]

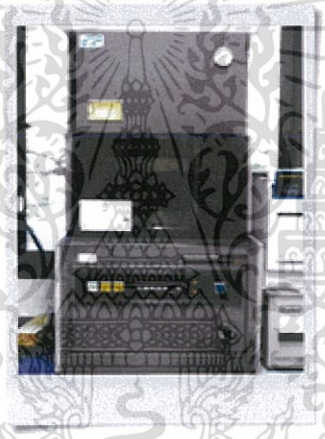
2.9.1.1 เครื่องวัดการไหลแบบจานสั่น (Oscillating disc rheometer, ODR)

เครื่องประกอบไปด้วยโรเตอร์ที่มีรูปร่างเป็นรูปโคนคู่ประกบ (Biconical shape) และการเคลื่อนที่ของโรเตอร์ในระหว่างการทดสอบจะเป็นแบบแกว่ง โดยการแกว่งของโรเตอร์จะเป็นการวัดการเปลี่ยนแรงหมุน (Torque) ซึ่งจะเกิดมุมแคบๆทำมุม 1, 3 หรือ 5 องศา จากนั้นเครื่องจะบันทึกได้เป็นเส้นกราฟการคงรูป และแสดงค่าแรงบิดต่ำสุด แรงบิดสูงสุด ระยะเวลาสกอร์ช และระยะเวลาคงรูปแรงบิดที่เปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 เส้นกราฟจากการวัดด้วยเครื่องวัดการไหลแบบจานสั่น [33]

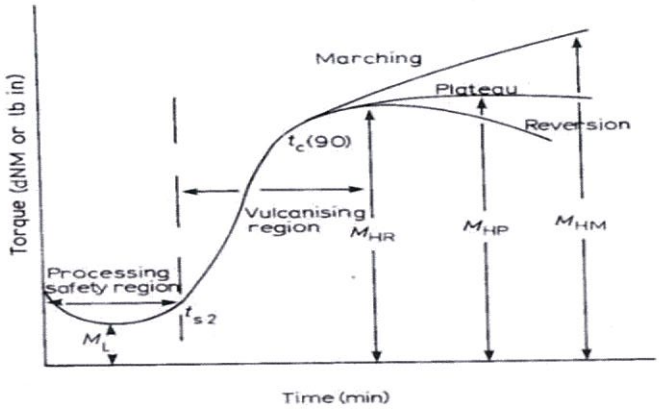


รูปที่ 2.33 เครื่องรีโอมิเตอร์แบบจานสั่น [46]

2.9.1.2 เครื่องวัดการเชื่อมโยงแบบไม่มีจานหมุน (Moving die rheometer, MDR)

เครื่องมือชนิดที่ไม่มีโรเตอร์ และเป็นเครื่องมือที่มีการถ่ายเทอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว เนื่องจากใช้ตัวอย่างเล็ก และบางกว่า เป็นผลให้เกิดการเชื่อมโยงได้เร็วกว่า และให้ข้อมูลการทดสอบที่ถูกต้องแม่นยำกว่า และยังให้ข้อมูลอีกมากมาย เช่น ค่ามอดุลัสสูญเสีย (Loss modulus. E") อัตราการเชื่อมโยง (Cure rate) และ Phase angles โดยทั่วไปเครื่อง MDR มีหลักการทำงาน และวิธีการทดสอบเหมือนกับเครื่อง ODR เมื่อเริ่มการทดสอบจานด้านบนจะอยู่กับที่ ที่ความถี่เท่ากับ 1.7 เฮิร์ทซ์ และเริ่มบันทึกค่าการวัดแรงบิด (Torque) ซึ่งเรียกว่า กราฟเชื่อมโยง แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.34 กราฟการเชื่อมโยง [47]

รูปที่ 2.35 เครื่องวัดการเชื่อมโยงแบบไม่มีจานหมุน [48]

2.10 การขึ้นรูปยางรีเคลมจากถุงมือยาง (Reclaim forming)

การผสมถุงมือยาง กับสารเคมีให้เข้ากันได้ดี ขั้นตอนต่อมา คือ การนำถุงมือยางคอมพาวด์ที่ได้มาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างต่าง ๆ ตามต้องการ ก่อนที่จะนำไปคงรูปต่อไป หรือ ในบางกรณีการขึ้นรูป และการคงรูป อาจจะเกิดขึ้นได้ในขั้นตอนเดียวกัน เช่น กรณีที่ขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ (Molding) โดยทั่วไปการขึ้นรูปถุงมือยางสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 เทคนิคใหญ่ ๆ ได้แก่ [49]

2.10.1 การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ (Molding)

การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ด้วยความร้อน และแรงอัด เริ่มจากการให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ก่อน จากนั้นจึงนำถุงมือยางคอมพาวด์ไปใส่ลงในเบ้าแม่พิมพ์แล้วความร้อนจากแม่พิมพ์จะทำให้ยางเกิดปฏิกิริยาคงรูป แม่พิมพ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมสามารถแบ่งได้ออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.1.1 การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบกดอัด (Compression mold)

การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบกดอัดเป็นวิธีที่ใช้กันมากที่สุดใน อุตสาหกรรมเมื่อเทียบกับการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบอื่น เพราะเป็นวิธีที่ง่าย และเครื่องจักรที่ใช้ราคาไม่สูงมากนัก เครื่องจักรที่ใช้ได้แก่ เครื่องกดอัดระบบไฮดรอลิก (Hydraulic press) ซึ่งประกอบด้วยแผ่นกดอัด (Platen) จำนวน 2 แผ่น หรือ มากกว่า 2 แผ่น ขึ้นกับการออกแบบ ซึ่งระบบไฮดรอลิกกด และจะส่งแรงดันเข้าสู่แม่พิมพ์ตรงกลาง ซึ่งเครื่องนี้สามารถตั้งอุณหภูมิ และควบคุมความร้อนให้คงที่ระหว่างการผลิต

รูปที่ 2.36 เครื่องกดอัดระบบไฮดรอลิก [49]

2.10.1.2 การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบกึ่งฉีด (Semi-injection mold)

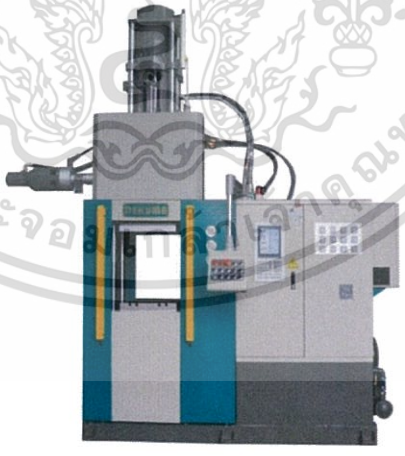
การขึ้นรูปยางด้วยวิธีนี้เริ่มจากการให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ แล้วนำยางคอมพาวด์ใส่ลงไปในช่องใส่ยางของแม่พิมพ์ส่วนตรงกลางแล้วทำการปิดแม่พิมพ์ จากนั้นแท่งกด (Ram) ส่วนบนของแม่พิมพ์จะดันยางให้ไหลผ่านช่องว่างเข้าสู่ช่องว่างของแม่พิมพ์จนเต็ม ซึ่งเทคนิคนี้มีข้อดี คือ สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างซับซ้อนเกินกว่าที่จะใช้แม่พิมพ์แบบกดอัดได้ อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้ยังมีข้อเสีย คือ การเสียเวลานานในการขึ้นรูปแต่ละครั้ง เนื่องจากหลังการขึ้นรูปต้องนำแม่พิมพ์ส่วนตรงกลางมาทำความสะอาดโดยกำจัดเศษยางคงรูป (Scrap) ที่ติดอยู่บริเวณหัวฉีด หรือ บริเวณฐานของช่องใส่ยางออกให้หมดก่อนที่จะทำการขึ้นรูปครั้งต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.37 เครื่องจักรแม่พิมพ์แบบกึ่งฉีด [49]

2.10.1.3 การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์แบบฉีด (Injection mold)

การขึ้นรูปด้วยวิธีนี้อัตราเร็วในการผลิตสูง และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีขนาดที่ถูกต้องมากกว่าการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบอื่น ๆ จึงเหมาะกับการผลิตชิ้นส่วนที่มีความซับซ้อนทำให้ยางนิ่ม และไหลได้ก่อนที่จะฉีดยางเข้าสู่เบ้าแม่พิมพ์ โดยเกลียวหนอนจะหมุนทำให้ยางถูกป้อนเข้าสู่บาเรลของเครื่องฉีดอย่างต่อเนื่อง จากนั้นยางจะไหลไปทางด้านหน้าของเกลียวหนอน เมื่อมีปริมาณ และอุณหภูมิสูงเพียงพอ เกลียวหนอนจะหยุดหมุน และถูกดันไปข้างหน้าเพื่อฉีดยางคอมพาวด์ให้ไหลเข้าสู่เบ้าแม่พิมพ์ที่ร้อน หลังจากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาคงรูปจนสมบูรณ์ และแม่พิมพ์จะเปิดออกแล้ว จึงนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์



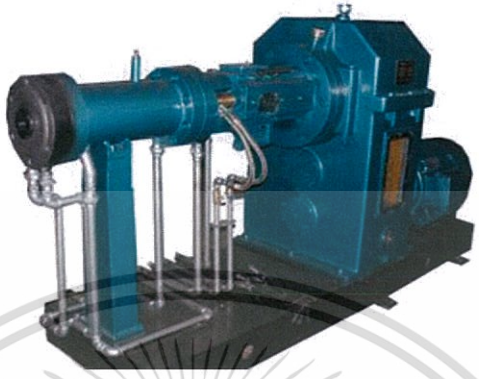
รูปที่ 2.38 เครื่องจักรแม่พิมพ์แบบฉีด [49]

2.10.2 การขึ้นรูปด้วยวิธีอัดผ่านดายโดยใช้เครื่องอัดรีด (Extrusion)

กระบวนการขึ้นรูปสำหรับเครื่องอัดรีดพลาสติก หรือ เครื่องรีดพลาสติก โดยเม็ดพลาสติกจะเข้าสู่เครื่องทาง Hopper จากนั้นจะถูกหลอมภายในเครื่องอัดรีด (Extruder) โดยอาศัยทั้งความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงเฉือน และความดัน พลาสติกหลอมจะถูกดันออกสู่แม่พิมพ์ ที่บริเวณปลายเปิด (Die) เพื่อขึ้นรูปตามต้องการ พลาสติกหลอม ที่ออกจากหน้าหัว Die เรียกว่า extrudate ในบางกระบวนการจะมีการให้ความเย็น (cooling) หลังจากพลาสติกออกจากหน้า Die แล้วเพื่อให้คงรูปตามที่ต้องการ



รูปที่ 2.39 เครื่องอัดรีดที่อาศัยแรงอัดจากการหมุนของเกลียวหนอน (Screw extruder) [49]

2.10.3 การขึ้นรูปด้วยเครื่องคาเลนเดอร์ (Calendering)

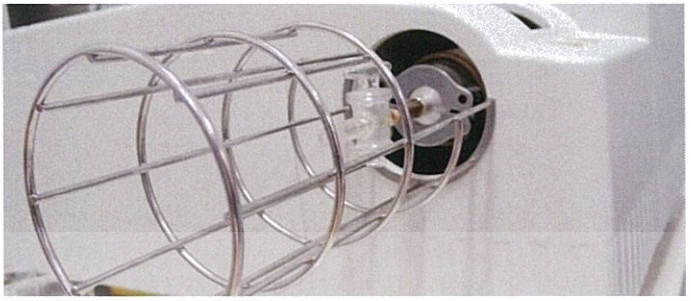
การขึ้นรูปด้วยเครื่องคาเลนเดอร์ นิยมใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่เป็นแผ่นเรียบที่มีความหนาและความกว้างสม่ำเสมอ หรือ เพื่อการฉาบยางบาง ๆ ลงบนผ้าหรือแผ่นใยลวด (Coating) เครื่องคาเลนเดอร์ประกอบด้วย ลูกกลิ้งที่ทำจากเหล็กหล่อ ผิวหน้าขัดเรียบ ตั้งแต่ 2 ถึง 4 วางเรียงตัวกันในลักษณะต่าง ๆ ด้านในของลูกกลิ้งมีลักษณะกลวง เพื่อติดตั้งระบบทำความร้อน และหล่อเย็น ช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งสามารถปรับให้กว้าง หรือ แคบได้ โดยทั่วไปแล้วนิยมใช้ลูกกลิ้งทั้ง 3 โดยจะหมุนด้วยความเร็วเท่ากัน หรือ ต่างกัน ซึ่งขั้นตอนการรีดยางเป็นแผ่นเรียบทำได้โดยยาง (ที่อุ่นแล้ว) จะถูกป้อนเข้าระหว่างลูกกลิ้งคู่บน ยางจะพันตามลูกกลิ้งกลางผ่านไปยังลูกกลิ้งคู่ล่างแล้วม้วนออกมา และจะมีการเป่าด้วยแป้งทาล์คัม หรือ สารกันยางติดอื่น ๆ เพื่อป้องกันการเหนียวติด อย่างไรก็ตามหลังจากยางแผ่น หรือ ยางที่ฉาบหรือเคลือบบนผ้าใบผ่านคาเลนเดอร์ออกมา แล้วจึงนำไปผ่านขั้นตอนการคงรูปต่อไป

รูปที่ 2.40 เครื่องคาเลนเดอร์ (Calender) [49]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 การทดสอบ

2.11.1 การทดสอบคุณภาพถุงมือยาง



รูปที่ 2.41 เครื่องวิเคราะห์ TGA [50]

เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยสมบัติทางความร้อน ด้วย Thermogravimetric Analysis (TGA) โดยใช้เครื่องชั่งที่มีความว่องไว และความละเอียดสูง ในสภาวะแวดล้อมที่ผู้ทดลองกำหนด เพื่อศึกษาสมบัติของตัวอย่างได้หลากหลายชนิด ทั้งตัวอย่างในกลุ่ม Ceramic, Polymer หรือ สาร Inorganic ต่าง ๆ ได้ ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาจุดหลอมเหลว การสูญเสียน้ำหนัก และหาสารเจือปนในตัวอย่าง รวมไปถึงการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงวัฏภาค (Phase) ของตัวอย่างเมื่อได้รับความร้อนได้อีกด้วย

ตัวอย่างที่นำมาทดสอบด้วย TGA สามารถเป็นตัวอย่างที่เป็นผง หรือ เป็นก้อน หรือ เป็นแผ่น หากกรณีตัวอย่างเป็นก้อน หรือ แผ่นต้องตัดให้มีขนาดพอที่จะใส่ลงใน Crucible ได้ (เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 mm และสูงไม่เกิน 2-3 mm) หากกรณีตัวอย่างเป็นผงจะใช้ประมาณ 3-20 mg ขึ้นกับความหนาแน่นของตัวอย่าง [50]

2.11.2 การทดสอบสมบัติของยางเชื่อมโยง

สมบัติที่ต้องทดสอบสำหรับยางคงรูป ได้แก่ สมบัติความแข็งแรงดึง, ค่ามอดุลัส, ร้อยละการยืด ณ จุดขาด, ความแข็งกด, สมบัติความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength), การหักงอ (Flex cracking), การเด้งตัว (Rebound resilience), การล้าตัว (Fatigue), การยุบตัว (Compression set), การต้านทานโอโซน (Ozone resistance), การเกิดความร้อนสะสม (Heat build-up) และความทนทานต่อการขัดสี (Abrasion resilience) [51]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 มาตรฐานของยางรีเคลม

ปัจจุบันได้มีการกำหนดมาตรฐานยางรีเคลมในระดับนานาชาติ เพื่อจำแนกประเภท และกำหนดสมบัติขั้นต่ำของยางรีเคลมที่ผลิตจากยางธรรมชาติ (ISO/CD 19846) โดยยางรีเคลมถูกแบ่งเป็น 3 เกรด แต่ละเกรดจะมีความแตกต่างกันตามความหนืดมูนี่ ความแข็งแรงสูงสุดขั้นต่ำ และปริมาณเนื้อยาง แสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 สมบัติขั้นต่ำของยางรีเคลมแต่ละประเภทตามมาตรฐาน ISO/CD 19846 [6]

Type of Rubber	Mooney viscosity ML(1+4)@100°C		Tensile strength		Rubber hydrocarbon content		Acetone extract	
	Code	*MV*	Code	*TS* MPa	Code	*RHC* %	Code	*AE* %
Natural Rubber Class 1	MVA	$MV \leq 25$	TA	$TS \geq 12,0$	RH1	$RHC > 60$	AE1	$AE \leq 12$
	MVB	$25,0 < MV \leq 35,0$	TB	$9,0 \leq TS < 12,0$	RH2	$50,0 < RHC \leq 60$	AE2	$12 < AE \leq 16,6$
	MVC	$35,0 < MV \leq 50,0$	TC	$6,0 \leq TS < 9,0$	RH3	$40,0 < RHC \leq 50$	AE3	$16,6 < AE \leq 20,0$

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

M. Mahdieh และ M. Saeed [52] ได้ทำการศึกษาการรีไซเคิลยางที่ใช้แล้วด้วยวิธีการฉายรังสี โดยนำยางที่ใช้แล้วมาดีวัลคาไนซ์ด้วยเตาอบไมโครเวฟในห้องปฏิบัติการร่วมกับสารดีวัลคาไนซ์และน้ำมัน สำหรับการดีวัลคาไนซ์ให้เป็นเนื้อเดียวกันยางที่เสียจะถูกบดให้มีขนาดอนุภาคขนาดปานกลาง (319 มม.) ก่อนกระบวนการฉายรังสี ผลที่ได้คือยางจะถูกบดเป็นผง ซึ่งจากการวิเคราะห์แล้วสูตรที่ผสมด้วย Diphenyl disulfide (DPDS) คือ มีน้ำมันหอมระเหย 30 phr และ DPDS 6 phr อุณหภูมิในการดีวัลคาไนซ์ 240 องศาเซลเซียส เป็นสารประกอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการดีวัลคาไนซ์ในการฉายรังสีด้วยไมโครเวฟ ซึ่งพันธะที่เชื่อมโยงกันเป็นแบบ Polysulfides จะเกิดการแตกพันธะกลายเป็นแบบ Monosulfide และในการศึกษาสัณฐานวิทยาพบว่ายางที่ไม่ผ่านการวัลคาไนซ์จะมีลักษณะพื้นผิวที่หยาบ

R. Suganti และคณะ [53] ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงสมบัติความเป็นผลึก และสมบัติเชิงกลของยางรีไซเคิลจากเศษเหลือยางล้อรถยนต์ผสมกับเอทิลีนไวนิลอะซิเทตภายใต้การฉายรังสีอิเล็กตรอน นำยางล้อรถยนต์เก่ามารีไซเคิลเป็นยางรีเคลม เรียกว่า Reclaimed waste tire rubber (RTR) โดยผ่านกระบวนการดีวัลคาไนเซชัน เปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลจากโครงสร้างร่างแหสามมิติเป็นโครงสร้างแบบเส้นตรง ได้ยางรีเคลมกลับมาสู่กระบวนการวัลคาไนเซชันเพื่อผลิตเป็นยางได้อีกครั้ง ยางที่เสียสภาพมาก่อนทำให้สมบัติความเป็นผลึก และสมบัติเชิงกลต่ำลง ซึ่งมีการปรับปรุงสมบัติของ RTR โดยการนำมาผสมกับ Poly(ethylene-co-vinyl acetate) หรือ เรียกอีกชื่อนึงว่า EVA โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EVA ทำให้เกิดการเชื่อมโยงที่ดีมีสมบัติคล้ายกับยาง จากนั้นทำการฉายรังสีอิเล็กตรอนลงบนยาง เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยง ฉายรังสีอิเล็กตรอนที่ 50-200 kGy ซึ่งการฉายรังสีอิเล็กตรอนจะช่วยให้เกิดการเชื่อมโยงอย่างมีประสิทธิภาพ และทำให้มีสมบัติทางความร้อน และสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น

F. Krzysztof และคณะ [54] ได้ทำการศึกษาผลของ พลาสติไซเซอร์ และแรงเฉือนที่มีต่อประสิทธิภาพ การรีเคลมยางรถยนต์บดที่อุณหภูมิต่ำ โดยการนำยางคงรูปไปบดให้มีขนาดอนุภาคที่เล็ก และนำยางที่ได้มาผสมกับสารดีวัลคาไนซ์ จะทำให้เกิดการสลายโครงสร้างสามมิติในยางเปลี่ยนจากสภาพยางคงรูปให้มีความยืดหยุ่นสูงกลายเป็นไม่มีความคงรูป และไม่มีความยืดหยุ่น ทำให้ได้ยางรีเคลมที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ในการดีวัลคาไนเซชันมี 2 วิธี คือ 1.วิธีการใช้แรงเชิงกล และสารเคมีในการรีเคลมยาง 2.วิธีการใช้ความร้อนเชิงกลในการรีเคลม ผลที่ได้พบว่า เมื่อเติมพลาสติไซเซอร์ในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึง และค่าความแข็งแรง ลดลง แต่มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดขาด เพิ่มขึ้น เนื่องจากผลของพลาสติไซเซอร์ ซึ่งยางรีเคลมที่ผ่านวิธีการใช้ความร้อนเชิงกลในยางรีเคลมจะมีการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation) ซึ่งทำให้มีความแข็งแรงดึงน้อยลง และมีความหนาแน่นเชื่อมโยงน้อยกว่าวิธีการใช้แรงเชิงกล และสารเคมีในการรีเคลม เนื่องจากมีทั้งแรงเฉือนที่มาก และมีความร้อนมาช่วยในการตัดพันธะเชื่อมโยงกำมะถัน

S. Malihe และคณะ [55] ได้ทำการศึกษาผลของการนำน้ำมันซัลไฟด์ (DSO) ที่ได้มาจากโรงกลั่น เพื่อนำมาใช้เป็นสารเคมีที่ช่วยกระบวนการรีเคลม แบบ Mechanochemical ในการรีไซเคิลยาง EPDM ด้วยเครื่อง Co-rotating twin screw extruder โดยนำ DSO มาใช้ในความเข้มข้นที่ต่างกัน (5 และ 7 phr) และที่อุณหภูมิต่างกัน (220, 250 และ 290 องศาเซลเซียส) ผลการทดลองยืนยันได้ว่าประสิทธิผลของ DSO นั้นช่วยลดความหนาแน่นของการเชื่อมโยง ถึง 73% ในสภาวะจำเพาะที่กำหนด (T = 290 องศาเซลเซียส, DSO ; 7 phr และความเร็วสกรู 120 rpm) และเมื่อนำยาง EPDM รีเคลม (RR) มาผสมต่อกันด้วยยาง EPDM บริสุทธิ์ที่อัตราส่วนที่แตกต่างกัน (20 และ 40% โดยน้ำหนัก) แล้วจากนั้นนำมาประเมินค่าสมบัติเชิงกลของตัวอย่าง ผลที่ได้พบว่า การแทนที่ 40% โดยน้ำหนักของ RR นั้น ไม่มีผลต่อเวลาเริ่มการเชื่อมโยง, เวลาในการเชื่อมโยงที่เหมาะสม และอัตราการเชื่อมโยงที่ไม่เปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ยังทำให้สมบัติเชิงกลของตัวอย่างมีผลที่ไม่ได้แย่ลง และในบางกรณียังให้ค่าทั้งความต้านทานแรงดึง และการยืดตัวที่จุดขาดสูงขึ้นได้ถึง 14% และ 26% ตามลำดับ

K.A. Dubkov และคณะ [56] ได้ทำการศึกษาการรีเคลมยางรถยนต์ที่ใช้แล้วด้วยไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ซึ่งทำได้โดยนำเศษยางคลอโรพรีน (CR) ขนาด 1-2 มม.มาทำปฏิกิริยากับ N_2O ซึ่งทำในตัวทำละลายอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 180-230 องศาเซลซียส และความดัน 3-5 MPa ซึ่งเกิดปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์ที่มีความดันสูง เราได้ทำการสกัดสารเข้มข้น 100 กรัมด้วย $CHCl_3$ กับอะซิโตน (2:1) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้เครื่อง Reflux condenser หลังจากนั้นทำการระเหยสารสกัด และทำการชั่งน้ำหนัก และวิเคราะห์ด้วยวิธี NMR spectroscopy เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาเราสามารถวิเคราะห์หาองค์ประกอบเฟสของก๊าซได้โดยใช้แก๊สโครมาโทกราฟี (GS) ผลที่ได้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dinitrogen เป็นผลิตภัณฑ์ปฏิกิริยาเดียวที่พบในขั้นตอนของแก๊ส และปฏิกิริยาที่ทำกับไนตรัส-ออกไซด์สามารถนำไปใช้กับยางรีเคลมได้ และมีระดับของการทำลายวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณของตัวทำละลายจะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงพันธะคู่ของคาร์บอนในปฏิกิริยา N_2O

J.-Y. Xua และคณะ [57] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลชนิดและปริมาณของ Reclaim Softener ที่มีต่อสมบัติยางรีเคลมที่นำมารีวัลคาไนซ์ ซึ่งในการทดลองนี้ทำโดยนำผงยางที่ผ่านกระบวนการรีเคลมนำมา รีวัลคาไนซ์เซชั่น โดยใช้เครื่องผสมสองลูกกลิ้ง และเติม Reclaim- Softener ชนิดต่าง ๆ ซึ่งประกอบไปด้วย Treated distillate aromatic extract (TDAE), Naphthenic oil, Wood tar, Shea butter และ Recycled cooking oil ลงไปในปริมาณ 0, 5, 10, 15 และ 20 phr จากนั้นนำเอายางคอมพาวด์ที่ได้จากการทดลองมาทำการตรวจสอบสมบัติต่าง ๆ พบว่าชนิดของ Reclaim Softener สมบัติของยางพาวด์ทีได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ปริมาณของสาร Reclaim Softener ที่ใส่ในการรีวัลคาไนซ์นั้นมีอิทธิพลต่อสมบัติของยางโดยพบว่าเมื่อมีการใส่ Reclaim Softener มากขึ้นส่งผลให้มีการตัดสายโซ่หลักเพิ่มขึ้น จึงทำให้เกิด Sol fraction มากขึ้นและ ความหนาแน่นในการเชื่อมโยงรวมทั้งค่าความแข็งแรงดึงลดลง

Z. Lukasz และคณะ [58] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการดีวัลคาไนซ์เชิงกลร่วมเคมี โดยมีสารเติมแต่งที่ช่วยในการรีเคลม ได้แก่ 1. Peptizer P300 2. Tetramethylthiuram disulfide (TMTD) 3. Organic peroxide di(2-tertbutyl peroxyisopropyl)benzene (BIB1) โดยนำยางมารีเคลมด้วยวิธีการใช้แรงเชิงกลร่วมกับสารเคมีด้วยเครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อนของยางรีเคลมที่ใช้สารเติมแต่งแต่ละชนิด ด้วยเครื่อง Oscillating disc rheometer (ODR) ผลการทดลองพบว่า Peptizer P300 และ TMTD ช่วยให้เกิดกระบวนการรีเคลมได้ดี แต่ในขณะเดียวกันยังส่งผลให้สมบัติเชิงกลของยางรีเคลมลดลงตามชนิดของสารเติมแต่งเช่นกัน โดย Peptizer P300 จะทำให้เกิดการลดลงของสมบัติเชิงกลในยางรีเคลมมากที่สุด รองลงมา คือ Peroxide BIB1 และสารเติมแต่งส่งผลน้อยที่สุดคือ TMTD แต่เมื่อนำยางรีเคลมที่ใส่สารเติมแต่งในแต่ละชนิดมาผสมกับยาง NBR แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR และ TGA-FTIR ผลทดสอบที่ได้แทบไม่เห็นความแตกต่างเลย

พิพัฒน์ ไทยเจริญ และคณะ [59] ได้ทำการศึกษากระบวนการเชิงกลร่วมเคมีสำหรับการทำยางรีเคลมโดยการนำยางธรรมชาติ 100 phr, Zincoxide 5 phr, Stearic Acid 2 phr, Sulfur 3 phr, N-Cyclohexyl-2-benzothiazyl 5 phr และ Sulfonamide 1 phr มาผ่านเครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง จากนั้นนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ได้เป็นยางคอม-พาวด์ออกมา จากนั้นนำยางคอมพาวด์มาบดเป็นผงแล้วร่อนด้วยตะแกรงให้ได้ 20 Mesh แล้วนำยางคอมพาวด์ที่ได้มาผสมกับน้ำมัน และสารรีเคลม ซึ่งสารรีเคลมมี 2 ชนิด ได้แก่ ไดฟีนิลไดซัลไฟด์ และไทโอซาลิไซลิก (Thiosalicylic) จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นาที ได้ยางรีเคลม แล้วนำยางรีเคลมที่ได้ผสมกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 80:20, 60:40, 40:60 และ 20:80 โดยเติม Zincoxide, Stearic Acid, Sulfur, N-Cyclohexyl-2-benzothiazyl และ Sulfonamide ในอัตราส่วนดังข้างต้น เพื่อก่อให้เกิดการเชื่อมโยงของสายโซ่ ซึ่งผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนยางธรรมชาติกับยางรีเคลมที่เหมาะสมที่สุด คือ 80:20 และสูตรที่ใช้สารรีเคลมชนิด ไดฟีนิลไดซัลไฟด์ จะให้ค่าความแข็งแรงดึง และค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด ได้สูงกว่าสูตรที่ใช้สารรีเคลมชนิด ไทโอซาลิไซลิก

สรุปการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- การฉายรังสีด้วยไมโครเวฟร่วมกับสารดีวัลคาไนซ์ และน้ำมัน จะทำให้จะเกิดการแตกพันธะจาก แบบ Polysulphides กลายเป็น แบบ Monosulphide

- การนำยางรีเคลมมาผสมกับ EVA และนำไปฉายรังสีอิเล็กตรอน จะทำให้เกิดการเชื่อมโยงอย่างมีประสิทธิภาพ จะมีสมบัติทางความร้อน และสมบัติเชิงกลดีขึ้น

- ในการดีวัลคาไนเซชัน เมื่อเติมพลาสติไซเซอร์มากขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งแรงดึง และค่าความแข็งแรงกดลดลง แต่มีค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด เพิ่มขึ้น และยางรีเคลมที่ผ่านวิธีการใช้ความร้อนเชิงกล จะทำให้ยางรีเคลมมีการเกิดออกซิเดชัน ส่งผลให้มีความแข็งแรงดึงน้อย และมีความหนาแน่นเชื่อมโยงน้อยกว่าวิธีการใช้แรงเชิงกล และสารเคมีในการรีเคลม

- อิทธิพลของ Reclaim Softener และปริมาณของสารที่ใส่ในการรีเคลมมีผลต่อกระบวนการรีเคลม และสมบัติของยางที่ถูกรีเคลม โดยทำให้เกิด Sol fraction มากขึ้น และทำให้ความหนาแน่นในการเชื่อมโยงลดลง และยังทำให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลง

- ปฏิกิริยาที่ทำกับไนตรัสออกไซด์สามารถนำไปใช้กับยางรีเคลมได้ และมีระดับของการทำลายวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณของตัวทำละลายจะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงพันธะคู่ของคาร์บอนในปฏิกิริยา N_2O

- เมื่อมีการใส่ Reclaim Softener มากขึ้น จะทำให้เกิด Sol fraction มาก และทำให้ความหนาแน่นในการเชื่อมโยงลดลง และทำให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลง

- สารตัวเติม Peptizer P300 และ TMTD นั้น ช่วยเพิ่มปริมาณการเกิดยางรีเคลมได้ดีแต่ยังส่งผลให้สมบัติเชิงกลของยางรีเคลมลดลง โดย Peptizer P300 จะทำให้สมบัติเชิงกลในยางรีเคลมลดลง รองลงมา คือ Peroxide BIB1 และสารเติมแต่งที่ส่งผลน้อยที่สุด คือ TMTD แต่ในการทดสอบผลกระทบสารเติมแต่งกับสมบัติของยางรีเคลม GTR ผสมกับยาง NBR นั้น ไม่เห็นความแตกต่าง

- อัตราส่วนยางธรรมชาติ กับยางรีเคลมที่เหมาะสมที่สุด คือ 80:20 และสูตรที่ใช้สารรีเคลมชนิด ไดฟีนิลไดซัลไฟด์ จะให้ค่าความแข็งแรงดึง และค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด ได้สูงกว่าสูตรที่ใช้สารรีเคลมชนิด ไทโอซาลิไซลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ จะทำการทดลองแบ่งเป็น

ตอนที่ 1 การศึกษาผลของการเตรียมถุงมือยางที่ไม่ผ่านการบด และที่ผ่านการบดที่มีผลต่อสมบัติของยางรีเคลมจากถุงมือยาง

ตอนที่ 2 การศึกษาเวลาในการดีวัลคาไนซ์ของถุงมือที่มีผลต่อสมบัติของยางรีเคลมจากถุงมือยาง

ตอนที่ 3 การศึกษาปริมาณน้ำมัน และปริมาณสารรีเคลมที่ส่งผลต่อสมบัติของยางรีเคลมจากถุงมือยาง

ตอนที่ 4 การศึกษาอัตราส่วนระหว่างยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ กับยางรีเคลมจากถุงมือยาง เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลของยางรีเคลมจากล้อรถยนต์

3.1 วัตถุดิบ และสารเคมี

1. ถุงมือยาง จากบริษัท ซุปเปอร์โกลฟอินดัสตรี กำจัด
2. ยางรีเคลมที่เตรียมจากขนาดอนุภาคของผงยางรถยนต์ (GRT) ขนาด 26 mesh จากบริษัท ยูเนี่ยนพัฒนกิจ จำกัด
3. สารกระตุ้นปฏิกิริยาการเชื่อมโยง กรดสเตียริก (Stearic acid) เกรดการค้า จากบริษัท พี ที. ซิสาเดน รายา เคมิคอล จำกัด
4. สารกระตุ้นปฏิกิริยาการเชื่อมโยง ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เกรดการค้า จากบริษัท จักรวาล เคมี จำกัด
5. สารเชื่อมโยง กำมะถัน (Sulfur) เกรดการค้า จากบริษัท สหไพศาลอินดัสทรี จำกัด
6. สารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยง MBT เกรดการค้า จากบริษัท ท๊อปไฟท์ จำกัด
7. สารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยง DPG เกรดการค้า จากบริษัท ซัลนีเวิลด์ เคมีเคิล จำกัด
8. ไนโตรเจนเหลว (Liquid N_2) จากบริษัท ลินดา (ไทยแลนด์) พับบลิค จำกัด

3.2 เครื่องมือที่ใช้

1. เครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง : รุ่น SK-6, บริษัท ยงฟง แมชชีเนรี่ จำกัด
2. เครื่องกดอัด : รุ่น 25-12H, บริษัท แคลเซิร์ฟ (ไทยแลนด์) จำกัด
3. เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine) : รุ่น TCS-2000, บริษัท สิทธิพร แอซโซซิเอท จำกัด
4. เครื่องตัดตัวอย่างให้เป็นรูปดัมเบลล์ : รุ่น KS-5010, บริษัท จินัน กาสอน เทสติ้ง จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เครื่องวัดความแข็ง : รุ่น GS-719N, บริษัท เจทีซี ทูล จำกัด
6. ไมโครมิเตอร์ (Micrometer) : รุ่น LP-10-C Thickness gauge, บริษัท บีเอ็นซี ทูลลิ่ง จำกัด
7. กล้องจุลทรรศน์แบบแสง : รุ่น VT 300, บริษัท เบอเทอร์ซายน์ อินสทรูเมนท์ จำกัด
8. บีกเกอร์
9. เครื่องชั่งละเอียดดิจิตอลความละเอียด 0.0001 กรัม
10. ปืนวัดอุณหภูมิดิจิตอล

3.3 ขั้นตอนการทำยางรีเคลมจากถุงมือ

3.3.1 การศึกษาผลของการเตรียมถุงมือยางที่ไม่ผ่านการบด และผ่านการบดที่มีผลต่อสมบัติของยางรีเคลมจากถุงมือยาง

1. นำถุงมือยาง 100 kg ไปผ่านเครื่องบดยางละเอียดให้มีขนาด ประมาณ 3 Mesh และเตรียมถุงมือยาง 100 kg ที่ไม่ผ่านการบด
2. นำถุงมือยางที่เตรียมไว้ทั้ง 2 แบบ เข้านึ่งที่ถังปฏิกรณ์ที่มีอุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส และใช้ความดันที่ 7 บาร์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยที่ไม่มีน้ำมัน และสารรีเคลม ภายในถังปฏิกรณ์
3. ตัดตัวอย่างยางที่ผ่านการนึ่งแล้วมาทดสอบสมบัติต่าง ๆ
4. เตรียมวัตถุดิบในอัตราส่วนที่กำหนด ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมของยางรีเคลมจากถุงมือยางที่ใช้ในตอนที่ 3.3.1

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (phr)
ถุงมือยางรีเคลม	100
Stearic acid	2
ZnO	5
MBT	0.5
DPG	0.2
Sulfur	3

5. นำยางรีเคลมจากถุงมือยาง 800 g มาทำการบดย่อย ด้วยเครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง
6. ผสมยางรีเคลมจากถุงมือยางกับ Stearic acid และ Zinc oxide เป็นเวลาประมาณ 1 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ผสมยางรีเคลมจากถุงมือยางกับสารเร่งปฏิกิริยา และกำมะถัน เป็นเวลาประมาณ 5 นาที

8. ตัดยางผสมสูตรที่ได้ประมาณ 6×6 นิ้ว ใส่แม่พิมพ์ แล้วนำเข้าเครื่องกดอัด เพื่อทำการอัดเป็นแผ่น และเชื่อมโยงยาง

9. ตัดตัวอย่างยางเป็นรูปดัมเบลล์ ตามมาตรฐาน ASTM D 412 นำมาทดสอบสมบัติต่าง ๆ

3.3.2 การศึกษาเวลาในการดีวัลคาไนซ์ของถุงมือยางที่มีผลต่อสมบัติของยางรีเคลมจากถุงมือยาง

ทำการทดลองตามขั้นตอน ในหัวข้อ 3.3.1 แต่ในข้อ 2 มีการปรับเปลี่ยนเวลาในการนึ่งยางมีการเพิ่มเวลาในการนึ่งยางจากเดิม 3 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 30 นาที และ 4 ชั่วโมง

3.3.3 การศึกษาปริมาณน้ำมัน และปริมาณสารรีเคลมที่ส่งผลต่อสมบัติของยางรีเคลมจากถุงมือยาง

ทำการทดลองตามขั้นตอนในหัวข้อ 3.3.1 แต่ในข้อ 2 มีการเติมน้ำมัน และสารรีเคลมภายในถังปฏิกรณ์ ดังแสดงในตารางที่ 3.2 และเปลี่ยนเวลาในการนึ่งยางเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที

ตารางที่ 3.2 สัดส่วนปริมาณน้ำมัน และปริมาณสารรีเคลมที่ใช้ในตอนที่ 3.3.3

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (phr)
น้ำมัน	0, 2.5, 5 และ 10
สารรีเคลม	0 และ 0.5

3.3.4 การศึกษาอัตราส่วนระหว่างปริมาณยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ กับยางรีเคลมจากถุงมือยาง เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลของยางรีเคลมจากล้อรถยนต์

1. ทำการศึกษาอัตราส่วนของยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ กับยางรีเคลมจากถุงมือยาง โดยใช้ปริมาณ ดังตารางที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนส่วนยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ กับยางรีเคลมจากถุงมือยางที่ใช้ในตอนที่ 3.3.4

สูตร	ยางรีเคลมจากล้อรถยนต์	ยางรีเคลมจากถุงมือยาง
100 : 0	100	0
90 : 10	90	10
80 : 20	80	20
70 : 30	70	30
60 : 40	60	40
50 : 50	50	50
40 : 60	40	60
0 : 100	0	100

2. นำยางรีเคลมจากถุงมือ 0 phr ที่เลือกจากเวลาที่ให้ค่าดีที่สุด และยางรีเคลมจากถุงมือยางที่เลือกจากปริมาณน้ำมัน และสารรีเคลมที่ให้ค่าดีที่สุดมาผสมกับผงยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ 100 phr ตามสูตร 100 : 0 ที่เครื่องตียาง และรีดออกมาเป็นแผ่น โดยเครื่องรีดยาง

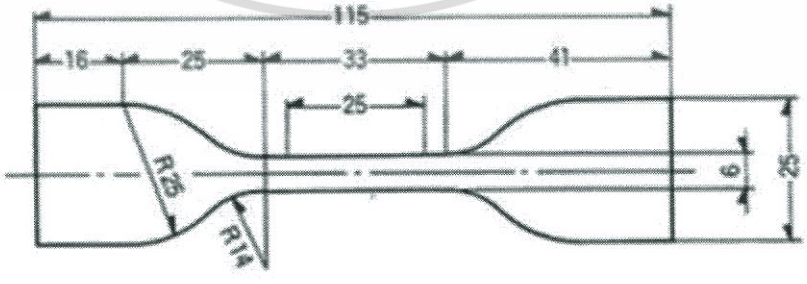
3. ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 2 แต่เปลี่ยนอัตราส่วนตามตารางที่ 3.3

3.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล

3.4.1 การทดสอบแรงดึง

มาตรฐานการทดสอบ ASTM D 412 [62]

1. ใช้แม่พิมพ์มีด และเครื่องตัดชิ้นงานตัวอย่างแผ่นยางที่เชื่อมโยงเป็นรูปดัมเบลล์ (Dumbell) ที่มีความยาวเกจ (Gauge length) 25 มิลลิเมตร จำนวน 5 ชิ้น ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ชิ้นตัวอย่างทดสอบรูปดัมเบลล์ ตามมาตรฐาน ASTM D 412 [63]

2. ทดสอบตัวอย่างด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ โดยใช้ค่าแรงสูงสุดที่เครื่องรับได้ขนาด 5 kN และใช้อัตราเร็วในการดึง 500 mm/min เพื่อหาค่าความแข็งแรงดึง ดังสมการที่ 3.1 ร้อย-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละการยืด ณ จุดขาด ดังสมการที่ 3.2 และค่ามอดุลัสของยางที่ระยะยืด 200 เปอร์เซ็นต์ ดังสมการที่ 3.3 [64]

- ความแข็งแรงดึง

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \tag{3.1}$$

เมื่อ P = แรงดึงที่กระทำตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน

A_0 = พื้นที่หน้าตัดเดิมของชิ้นงาน

- ร้อยละการยืด ณ จุดขาด

$$\%Elongation = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \tag{3.2}$$

เมื่อ ΔL = ความยาวของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงไป

L_0 = ความยาวเดิมของชิ้นงาน

- มอดุลัสที่ 200% (Modulus at 200%) หมายถึง ค่าความเค้นดึงยืดที่ 200% ของชิ้นงานทดสอบ มีหน่วยเป็นปาสคาล (Pa)

3.4.2 การทดสอบความแข็งแรงกดแบบดูโรมิเตอร์

มาตรฐานทดสอบ ASTM D 2240 [65]

1. นำแผ่นยางที่ไปทดสอบความแข็งกด ด้วยเครื่องดูโรมิเตอร์ชอร์เอ (Shore A durometer) อ่านค่าหลังจากกดภายใน 1 วินาที ตัวอย่างต้องหนาอย่างน้อย 6 มิลลิเมตร
2. ทำการทดสอบอย่างน้อย 10 ตำแหน่งที่ไม่ซ้ำกันต่อ 1 ตัวอย่าง

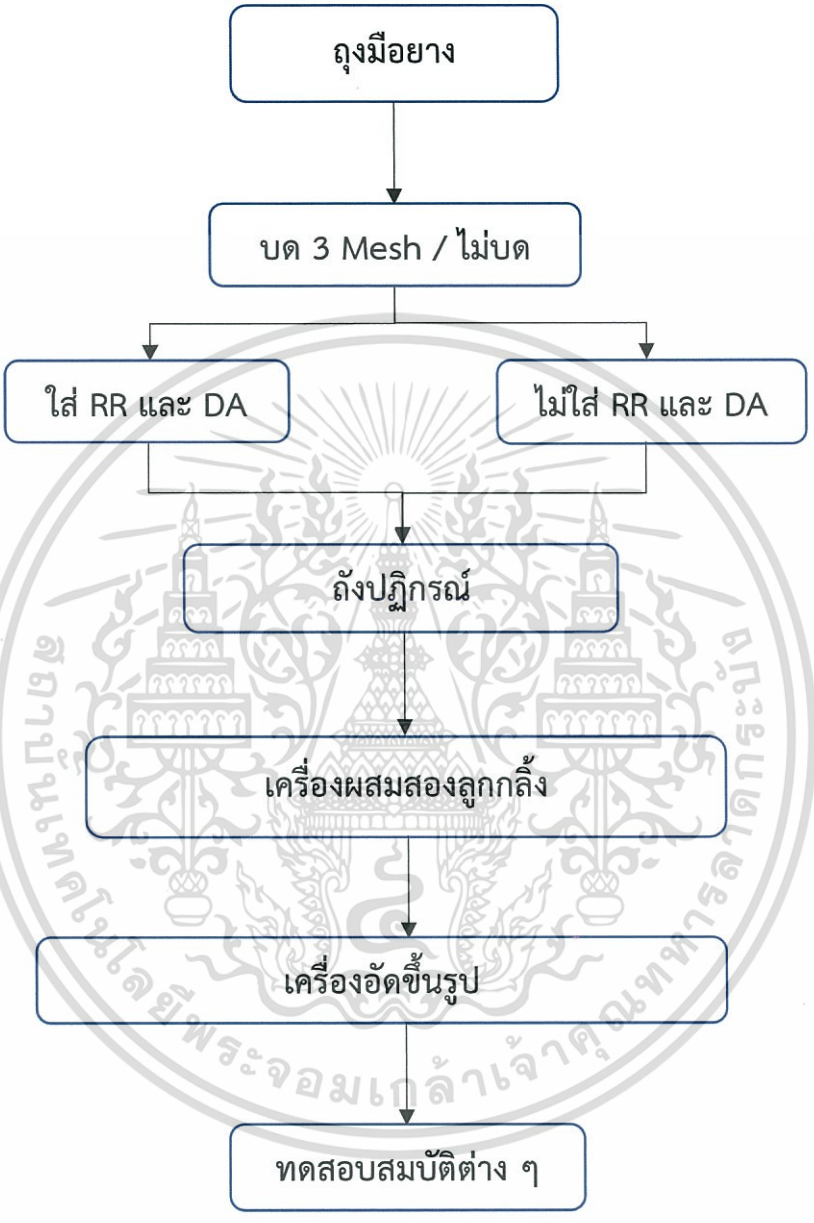
3.5 การทดสอบสัณฐานวิทยา

- นำชิ้นงานยางรีเคลม มาศึกษาลักษณะพื้นผิวด้วยกล้อง Optical microscope ที่กำลังขยาย 50 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 แผนการทำงานวิจัย

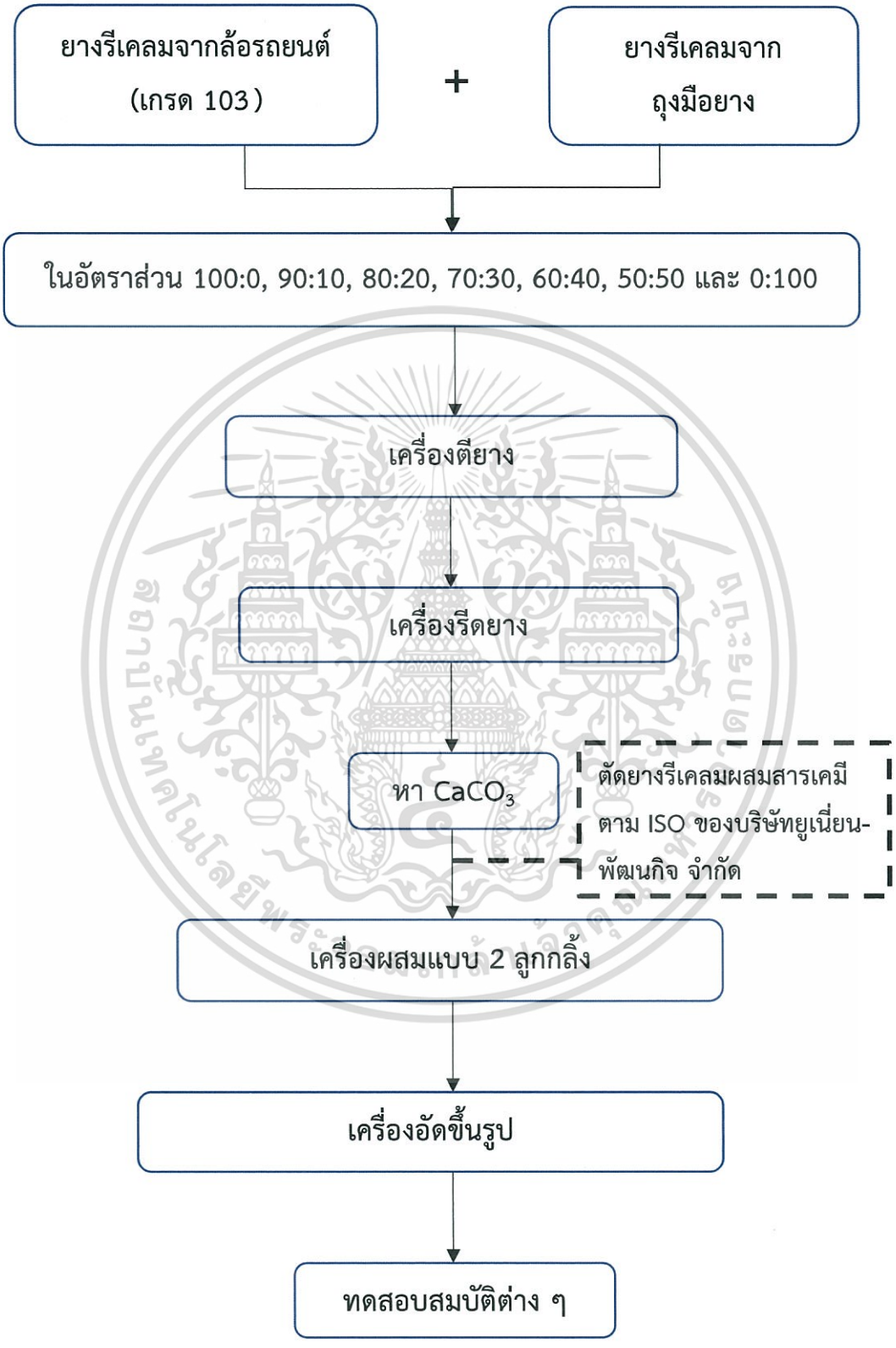
ขั้นตอนการดำเนินงานสามารถสรุปเป็นแผนผังแสดงได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 กระบวนการผลิตยางรีเคลมจากถุงมือยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการดำเนินงานสามารถสรุปเป็นแผนผังแสดงได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 กระบวนการผสมยางรีเคลมกับยางรีเคลมจากถุงมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการเปลี่ยนขยะถุงมือยางให้นำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ในรูปของยางรีเคลม โดยเน้นศึกษาปัจจัยบางประการที่ส่งผลต่อกระบวนการผลิต และสมบัติเชิงกลของยางรีเคลมที่ได้ ซึ่งในปัจจุบันยางรีเคลมจากล้อรถยนต์มีความนิยมอย่างมาก และมีการใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากราคาถูก แต่ยังมีสมบัติเชิงกลที่ค่อนข้างต่ำ เพราะใช้วัตถุดิบเป็นยางล้อรถยนต์ที่ผ่านการใช้งานแล้ว นอกจากนี้กระบวนการทำล้อรถยนต์ยังมีกระบวนการบดย่อย ทำให้ยางรีเคลมจากล้อรถยนต์มีสายโซ่โมเลกุลหลักสั้น และเพื่อทำให้ได้สมบัติเชิงกลสูงขึ้น จึงได้มีการนำยางรีเคลมจากถุงมือยางมาผสมกับยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ เนื่องจากกระบวนการผลิตถุงมือยางนั้นวัตถุดิบไม่ได้ผ่านกระบวนการบดย่อย จึงส่งผลให้มีสายโซ่โมเลกุลหลักที่ยาว ดังนั้นจึงได้นำเสนอปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนายางรีเคลมจากล้อรถยนต์ด้วยยางรีเคลมจากถุงมือยาง โดยแบ่งออกเป็น 4 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การศึกษาผลของการเตรียมถุงมือที่ไม่ผ่านการบด และที่ผ่านการบดส่งผลต่อสมบัติของยางรีเคลมจากถุงมือยาง

ตอนที่ 2 การศึกษาเวลาในการดีวัลคาไนซ์ของถุงมือที่ส่งผลต่อสมบัติของยางรีเคลมจากถุงมือยาง

ตอนที่ 3 การศึกษาปริมาณน้ำมัน และปริมาณสารรีเคลมที่ส่งผลต่อสมบัติของยางรีเคลมจากถุงมือยาง

ตอนที่ 4 การศึกษาอัตราส่วนระหว่างยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ กับยางรีเคลมจากถุงมือยาง เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลของยางรีเคลมจากล้อรถยนต์

โดยทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของยาง ได้แก่ ความแข็งแรงดึง ร้อยละการยืด ณ จุดขาด มอดุลัสของยางที่ระยะยืด 200 เปอร์เซ็นต์ ความแข็งกด และศึกษาสัณฐานวิทยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การศึกษาผลของการเตรียมถุงมือยางที่ไม่ผ่านการบด และที่ผ่านการบดที่มีผลต่อสมบัติของยางรีเคลมจากถุงมือยาง

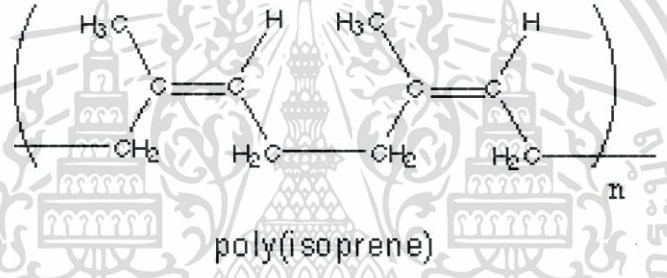
การผลิตยางรีเคลมจากเศษยางรถยนต์จะต้องมีการบดเศษยางรถยนต์ให้เป็นผงยางขนาดเล็ก เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวให้เกิดประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาตัดสายโซ่จากสารรีเคลม (รูปที่ 2.24) และความร้อน (รูปที่ 2.13) อย่างไรก็ดีถุงมือยางเป็นวัตถุดิบที่มีความบาง (ประมาณ 3 มิลลิเมตร) ซึ่งมีสมมติฐานว่าอาจเพียงพอที่จะสามารถเกิดปฏิกิริยาตัดสายโซ่ โดยไม่ต้องทำการบด ซึ่งเป็นการประหยัดเวลา และลดต้นทุนการผลิต ซึ่งในการผลิตยางรีเคลมจาก ถุงมือยางการเตรียมถุงมือยางมีผลอย่างมากต่อสมบัติของยางรีเคลมที่ได้ เนื่องจากถุงมือยางที่ผ่านการบดจะมีพื้นที่ผิวมากกว่าถุงมือยางที่ไม่ผ่านการบด จึงทำให้ถุงมือยางที่ผ่านการบดสามารถได้รับความร้อนอย่างทั่วถึงมากกว่า และเพื่อเป็นการศึกษาว่าการบดของถุงมือยางมีผลต่อสมบัติเชิงกลของยางรีเคลมจากถุงมือยางหรือไม่ เราจึงได้ทำการทดลองโดยนำถุงมือยางมาบดให้มีขนาดประมาณ 3 Mesh โดยใช้เครื่องบดยางละเอียด เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับถุงมือยางที่ไม่ผ่านการบด และทำการนึ่งถุงมือยางที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส และใช้ความดัน 7 บาร์ ที่เวลาคงที่ (3 ชั่วโมง) ด้วยถังปฏิกรณ์ โดยที่ไม่มีการใส่น้ำมัน และสารรีเคลม

จากผลการทดลองพบว่า การเตรียมถุงมือยางมีผลต่อกระบวนการผลิต และสมบัติเชิงกลของยางรีเคลมที่ได้อย่างมาก จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าการเตรียมถุงมือยางที่ไม่ผ่านการบด และถุงมือยางที่ผ่านการบดประมาณ 3 Mesh มีลักษณะ และพื้นที่ผิวที่แตกต่างกัน เมื่อนำมานึ่งด้วยถังปฏิกรณ์ (รูปที่ 4.4) ซึ่งมีกระบวนการนึ่งถุงมือยาง โดยการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ และแรงดันสูง เนื่องจากไอน้ำจะเป็นตัวช่วยนำความร้อนเข้าไปในถุงมือยางได้อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งในกระบวนการทดลองนี้มีเพียงการให้ความร้อนอย่างเดียวเป็นเวลานานไม่มีการใส่สารรีเคลมเข้าไปช่วยในการเกิดปฏิกิริยา ส่งผลให้กลไกที่เกิดขึ้นเป็นกลไกการเสื่อมสภาพ (Degrade) แบบ Chain scission (รูปที่ 4.3) โดยความร้อนจะทำลายสายโซ่หลักของยางให้เกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระในตำแหน่งอะไลลิก เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้เป็นถุงมือยางที่มีพันธะคู่อยู่ในโครงสร้าง (รูปที่ 4.2) ซึ่งไม่ทนต่อความร้อน และเมื่อมีอนุมูลอิสระเกิดขึ้นออกซิเจน (O_2) ในอากาศจะเข้าทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระ (Free radical) ทำให้สายโซ่หลักของถุงมือยางขาดออกจากกัน จากรูปที่ 4.5 ยางรีเคลมจากถุงมือยางที่ได้ (ก) ถุงมือยางที่ไม่ผ่านการบด จะสังเกตได้จากบริเวณด้านบนจะมีลักษณะคล้ายของเหลวหนืด อย่างไรก็ตามพบว่าบริเวณส่วนกลางมีลักษณะเหมือนตอนแรกเริ่มก่อนทำการนึ่งยาง และเมื่อทำการดึงยืดด้วยมือจะมีความยืดหยุ่นสูง (รูปที่ 4.6) เนื่องจากถุงมือยางที่ไม่ผ่านการบดมีพื้นที่ผิวน้อย จึงทำให้ได้รับความร้อนอย่างไม่สม่ำเสมอ (ข) ถุงมือยางที่ผ่านการบด จะสังเกตได้ว่าบริเวณด้านบน และบริเวณส่วนกลางมีความเละ และเหนียวใกล้เคียงกัน เนื่องจากการบดเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวให้มีมากขึ้น จึงได้รับความร้อนที่สม่ำเสมอกัน

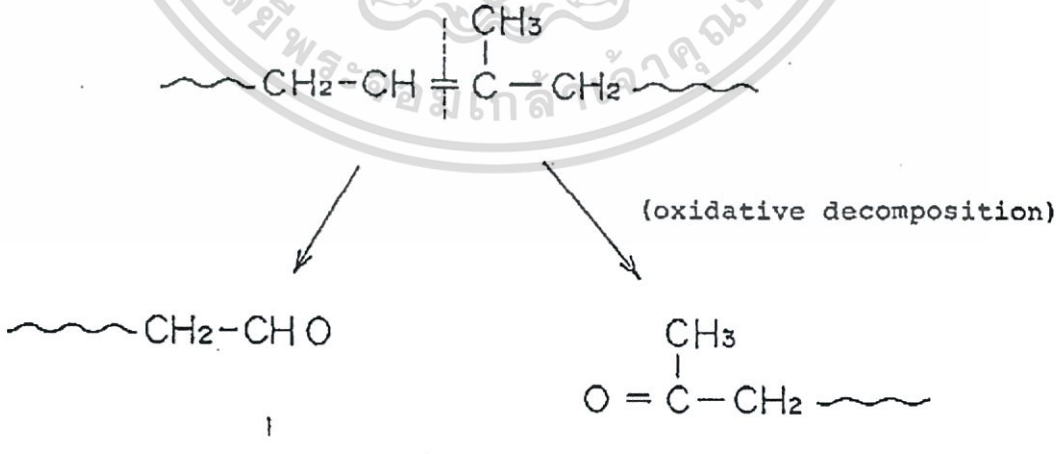
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก) (ข)

รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายการเตรียมถุงมือยาง (ก) ไม่บด และ (ข) บด 3 Mesh

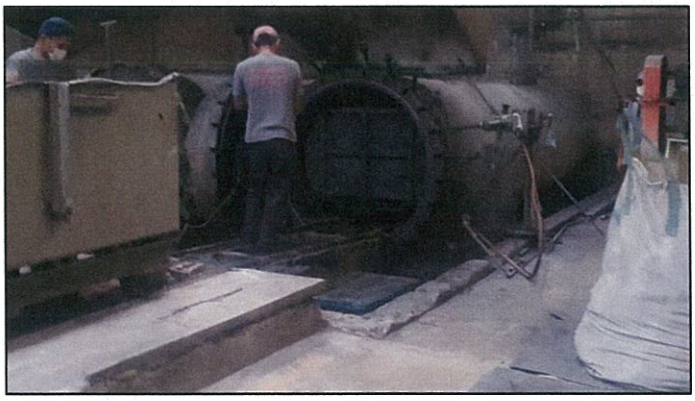


รูปที่ 4.2 ภาพโครงสร้างโมเลกุลของยาง Poly (isoprene) [67]

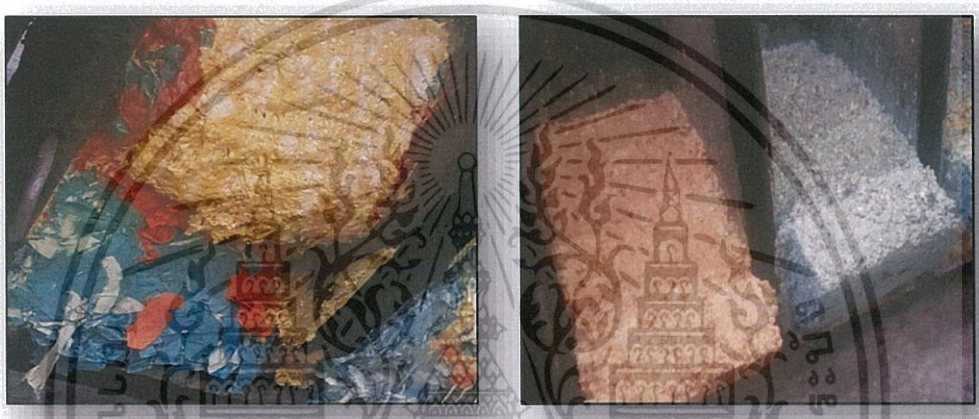


รูปที่ 4.3 กลไกการตัดสายโซ่ถุงมือยางผ่านปฏิกิริยาแบบ Chain scission [68]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ถังปฏิกรณ์



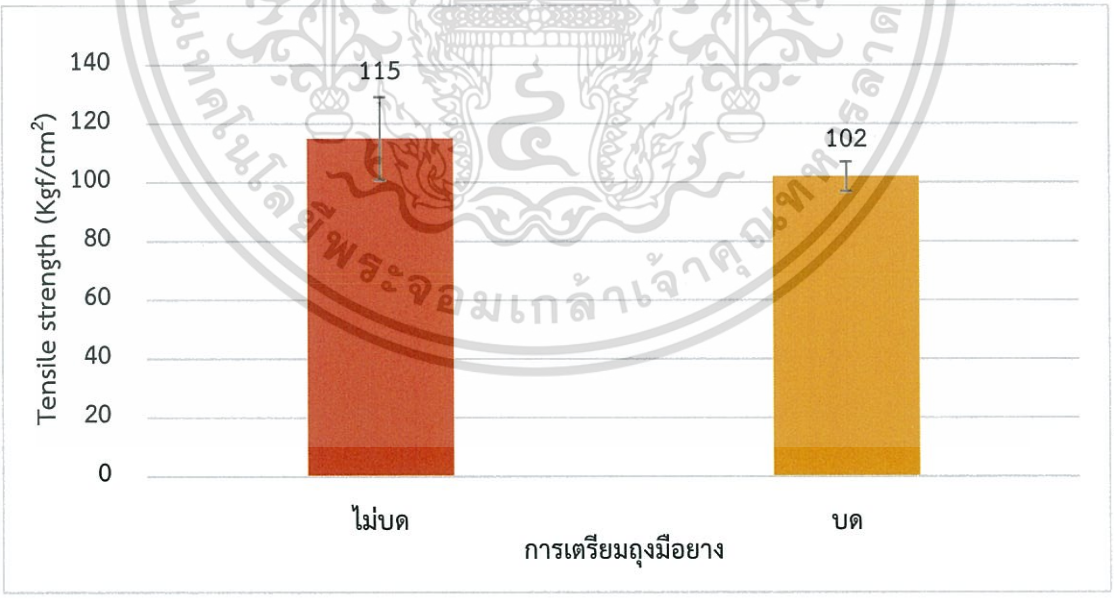
(ก) (ข)

รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายถุงมือยางที่ผ่านการทำยางรีเคลม (ก) ไม่บด และ (ข) บด 3 Mesh

รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายยางรีเคลมจากถุงมือยางที่ไม่ผ่านการบด

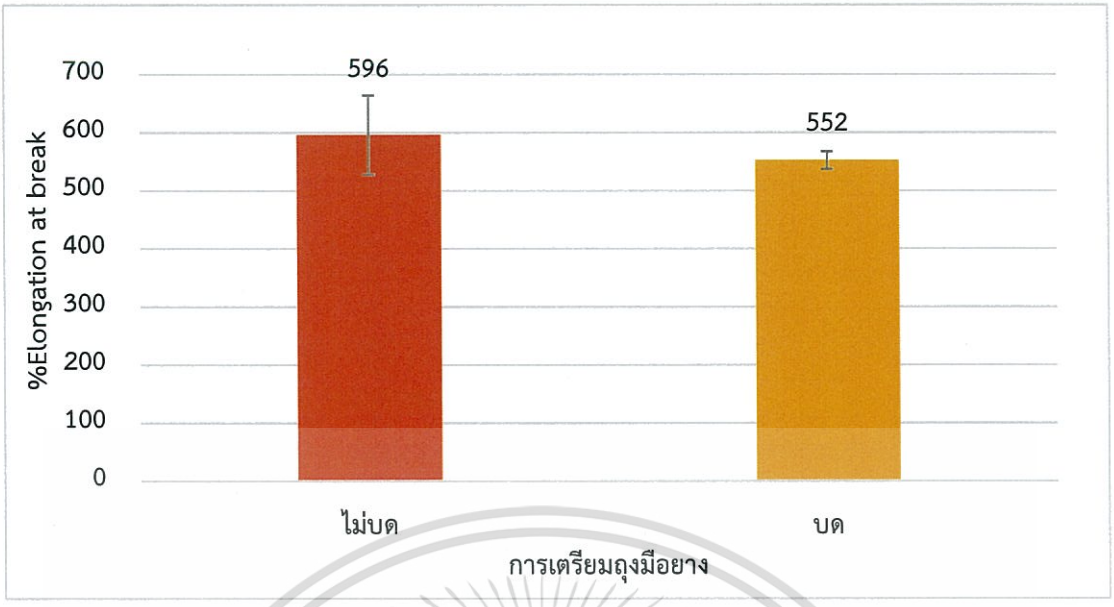
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองพบว่า ถุงมือยางที่ไม่ผ่านการบดนั้นได้ค่าความแข็งแรงดึงที่สูงกว่าถุงมือยางที่ผ่านการบด (รูปที่ 4.7) เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นกลไกการเสื่อมสภาพ คือ สายโซ่โมเลกุลหลัก (Main chain) โดนตัดมากกว่าเกิดการตัดที่พันธะเชื่อมโยง เนื่องจากถุงมือยางที่ไม่ผ่านการบดมีพื้นที่ผิวน้อย ทำให้เกิดการตัดสายโซ่จากกลไกการเสื่อมสภาพได้น้อย และจากการได้รับความร้อนที่ไม่สม่ำเสมอของถุงมือยางที่ไม่ผ่านการบด จึงทำให้มีถุงมือยางที่ไม่ได้รับความร้อน และมีสมบัติเชิงกลของถุงมือยางเก่า เป็นผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึงที่ได้สูง แต่ในทางกลับกันถุงมือยางที่ผ่านการบดเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว จึงทำให้เกิดกลไกการเสื่อมสภาพมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการตัดสายโซ่ที่โมเลกุลหลักมาก จึงทำให้ค่าความแข็งแรงดึงของถุงมือยางที่ผ่านการบดมีค่าลดลง และจากเหตุผลข้างต้นนี้จึงทำให้ถุงมือยางที่ผ่านการบดมีค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด (รูปที่ 4.8) น้อยกว่าถุงมือยางที่ไม่ผ่านการบด และค่าความแข็งกดของยางรีเคลมจากถุงมือยาง (รูปที่ 4.9) กับค่ามอดุลัสที่ระยะยืด 200% (รูปที่ 4.10) สามารถแสดงให้เห็นถึงความยากง่ายในการเปลี่ยนรูปเมื่อได้รับแรงเชิงกล ซึ่งตามทฤษฎีค่าทั้ง 2 แปรผันตามกัน เพราะว่าชิ้นงานที่มีพื้นผิวที่แข็ง แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างของชิ้นงานนั้นเกิดการเชื่อมโยงมาก จึงเป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปได้ยาก ซึ่งจากการทดลองพบว่าถุงมือยางที่ไม่ผ่านการบด ถูกตัดสายโซ่ที่โมเลกุลหลักน้อยกว่าถุงมือที่ผ่านการบด จึงทำให้มีค่าความแข็งแรงกด และค่ามอดุลัสที่ระยะยืด 200% สูง อย่างไรก็ตามสมบัติเชิงกลของถุงมือที่ไม่ผ่านการบดมีค่ามากกว่าถุงมือที่ผ่านการบดเพียงเล็กน้อย จึงถือได้ว่าการเตรียมถุงมือยางที่ใช้ในงานวิจัยนี้ให้ผลการทดลองที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

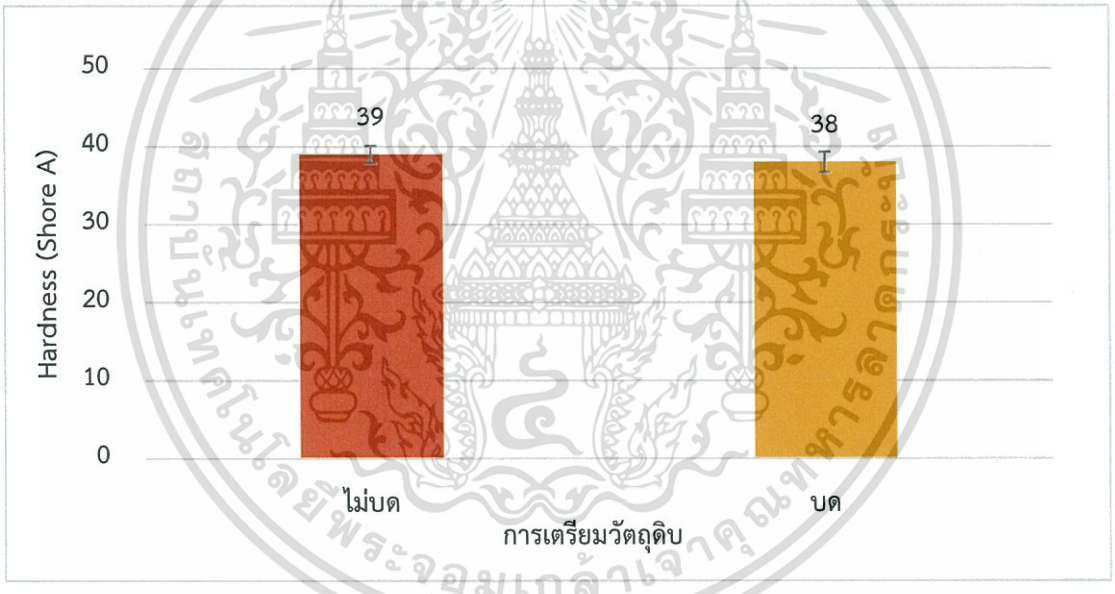


รูปที่ 4.7 ค่าความแข็งแรงดึงของยางรีเคลมจากถุงมือยางที่ไม่ผ่านการบด และที่ผ่านการบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

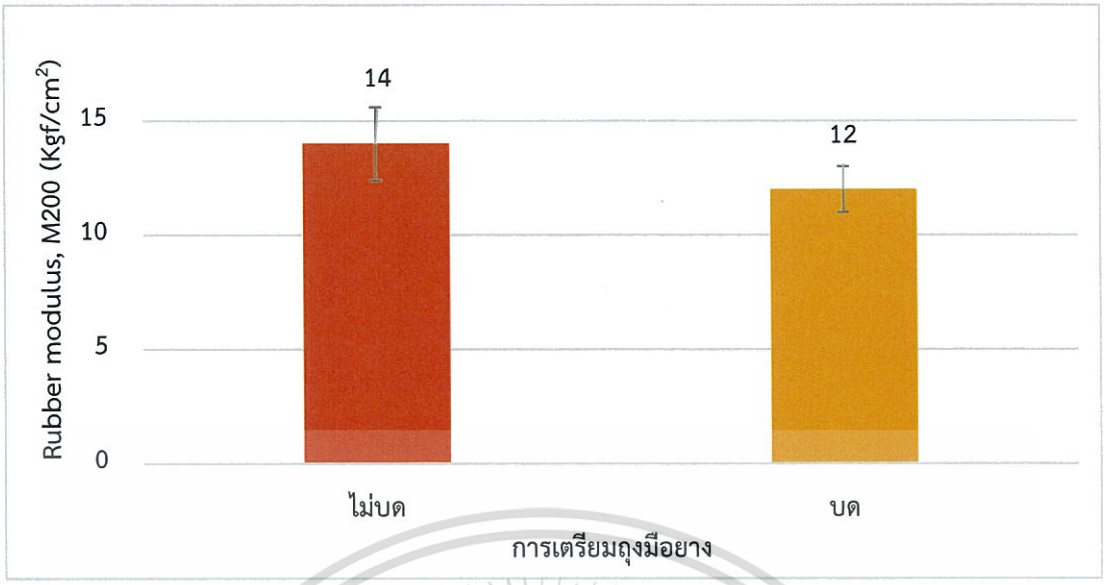


รูปที่ 4.8 ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด ของยางรีเคลมจากถุงมือยางที่ไม่ผ่านการบด และที่ผ่านการบด



รูปที่ 4.9 ค่าความแข็งกดของยางรีเคลมจากถุงมือยางที่ไม่ผ่านการบด และที่ผ่านการบด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ค่ามอดุลัสที่ระยะยืด 200% ของยางรีเคลมจากถุงมือยางที่ไม่ผ่านการบด และที่ผ่านการบด

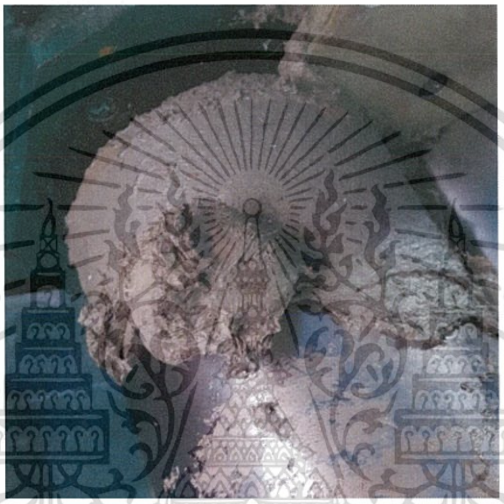
จากผลที่ได้ทั้งหมดนี้สามารถสรุปได้ว่า ถุงมือยางที่ไม่ผ่านการบดนั้นเกิดกลไกการเสื่อมสภาพน้อย เนื่องจากถุงมือยางที่ไม่ผ่านการบดมีพื้นที่ผิวน้อย ทำให้ไม่ได้รับความร้อนสม่ำเสมอ และเป็นผลทำให้บางส่วนของถุงมือยางที่ไม่ได้รับความร้อนมีสมบัติเชิงกลของถุงมือเก่าอยู่ แต่ในทางกลับกันถุงมือยางที่ผ่านการบดมีการเพิ่มพื้นที่ผิวมากเป็นผลทำให้ถุงมือยางได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอมากกว่า ดังนั้นจึงได้เลือกนำเอาถุงมือยางที่ผ่านการบดไปศึกษาในหัวข้อถัดไป

4.2 การศึกษาเวลาในการดีวัลคาไนซ์ของถุงมือยางที่ส่งผลต่อสมบัติของยางรีเคลมจากถุงมือยาง

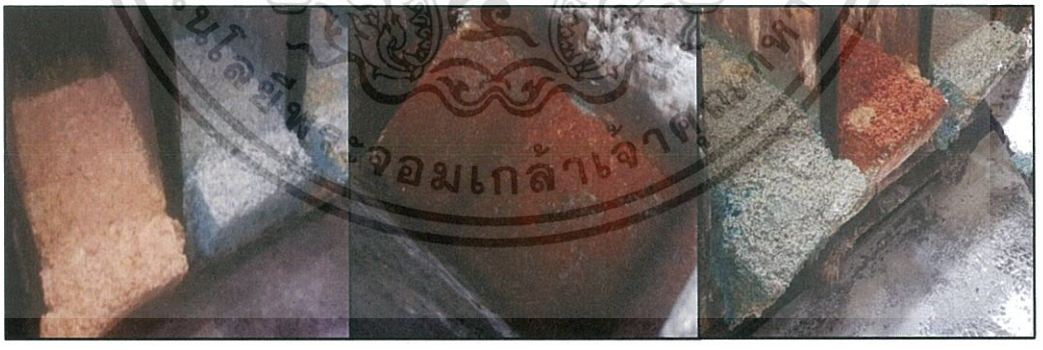
จากผลการศึกษาปัจจัยในหัวข้อที่ 4.1 นั้นเราจึงได้เลือกนำเอาถุงมือยางที่ผ่านการบดมาทำการศึกษาต่อ อย่างไรก็ตามเวลาในการนึ่งถุงมือยางมีผลต่อลักษณะของถุงมือยาง และสมบัติเชิงกลของยางรีเคลมจากถุงมือยาง เนื่องจากตามสมมติฐานแล้วเมื่อนึ่งถุงมือยางที่เวลาเพิ่มขึ้น ลักษณะที่ได้ของถุงมือยางจะเหนียวหนืดมาก เนื่องจากโครงสร้างของถุงมือยางมีพันธะคู่ และตำแหน่งอะไลลิก ซึ่งไม่ทนต่อความร้อน ส่งผลให้ความร้อนเข้าทำลายพันธะบนสายโซ่หลักมาก ซึ่งในหัวข้อนี้ได้ทำการศึกษาเรื่องของเวลาที่ใช้ในกระบวนการดีวัลคาไนซ์ของถุงมือยางว่ามีผลต่อลักษณะของถุงมือยาง หรือ สมบัติเชิงกลของยางรีเคลมจากถุงมือยางหรือไม่ โดยนำถุงมือยางที่ผ่านการบดไปนึ่งด้วยถังปฏิกรณ์ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส และใช้ความดัน 7 บาร์ ที่เวลาแตกต่างกัน ได้แก่ 3 ชั่วโมง, 3.5 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมง) ซึ่งไม่มีการใส่น้ำมัน และสารรีเคลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองพบว่า ในรูปที่ 4.12 ภาพถ่ายถุงมือยางที่ผ่านการรีเคลม พบว่าบริเวณด้านบนของยางรีเคลมจากถุงมือยางที่ได้ทั้ง 3 เวลาที่แตกต่างกัน มีลักษณะเป็นของเหลวหนืด เนื่องจากถุงมือยางที่ใช้ทำการทดลองเป็นถุงมือยางที่ผ่านการบด ซึ่งมีพื้นที่ผิวมากจึงทำให้ได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอ และเมื่อมีการใช้เวลาในการนึ่งเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ลักษณะของยางรีเคลมที่ได้ออกมามีความหนืดมาก เนื่องจากความร้อนที่ให้เข้าไปสามารถทำปฏิกิริยาเกิดการตัดสายโซ่ทั้งที่พันธะหลัก และที่พันธะเชื่อมโยงได้มากขึ้น และยางรีเคลมที่ได้เมื่อนำมาผสมกับสารเคมีเพื่อต้องการทดสอบสมบัติเชิงกลนั้นทำได้ยากเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารเคมีกระจายตัวได้น้อย และการผสมเป็นเนื้อเดียวกันนั้นทำได้ยาก (จากรูปที่ 4.11)



รูปที่ 4.11 ภาพถ่ายยางรีเคลมจากถุงมือยางที่นำมาผสมสารเคมีที่เครื่องผสม 2 ลูกกลิ้ง



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 4.12 ภาพถ่ายยางรีเคลมจากถุงมือยาง (ก) เวลา 3 ชั่วโมง (ข) เวลา 3 ชั่วโมง 30 นาที และ (ค) เวลา 4 ชั่วโมง

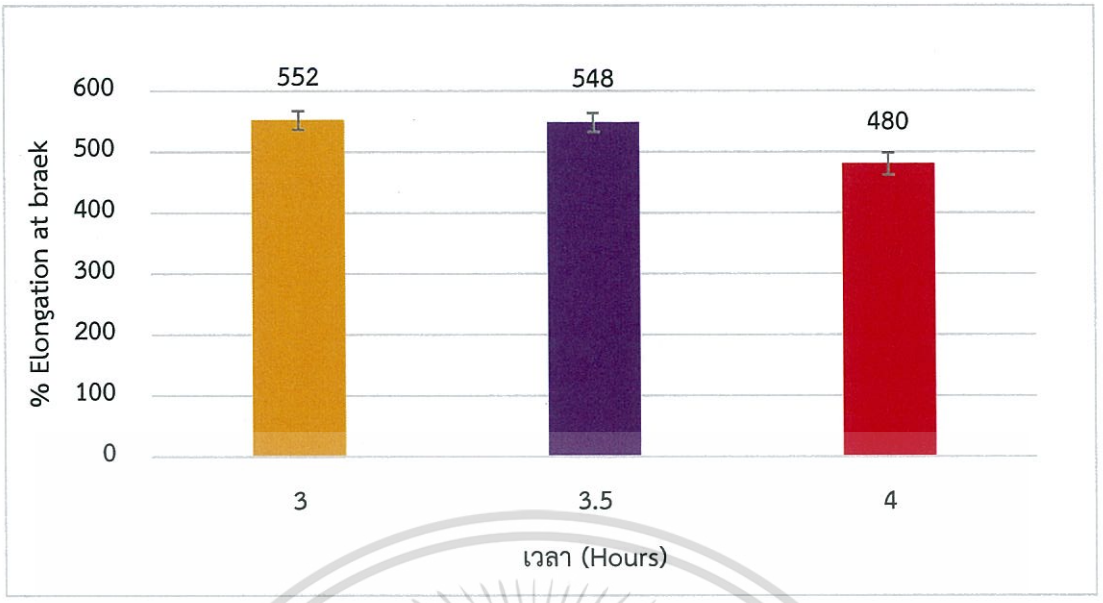
จากผลการทดลองพบว่า เมื่อนำถุงมือยางที่ผ่านการรีเคลมมาทำการทดสอบสมบัติเชิงกลจะเห็นได้ว่า ถุงมือยางที่ผ่านการนึ่งมาเป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีค่าความแข็งแรงดึง (รูปที่ 4.13) มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

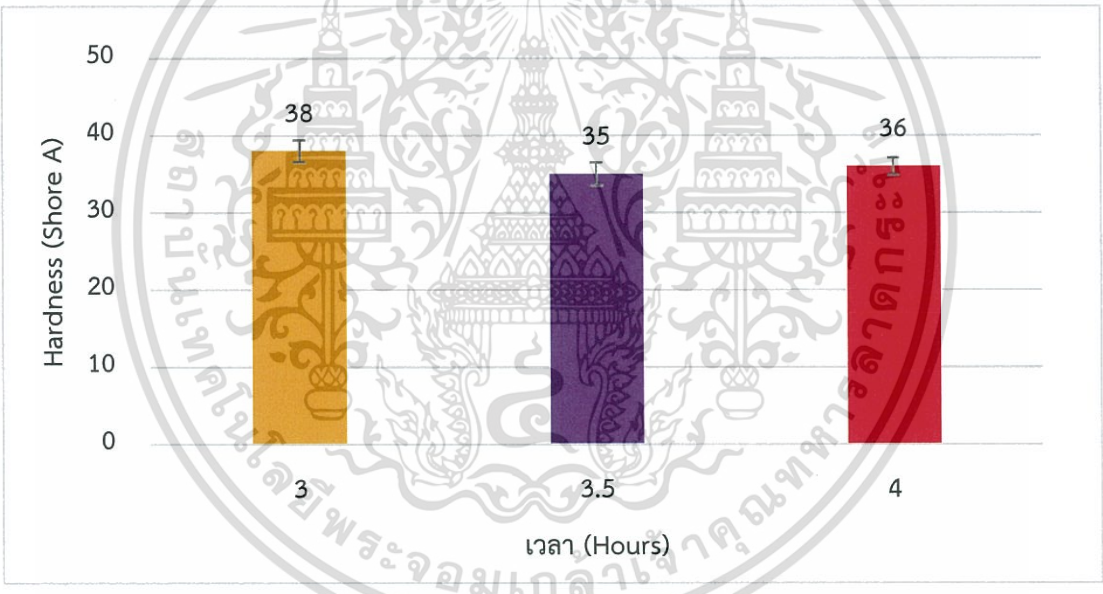
เนื่องจากการทดลองเป็นแบบ Pan Process หรือ Heater Process คือ มีการให้ความร้อนเข้าไปในระบบเพียงอย่างเดียว ไม่มีใบพัดปั่นกวนในเครื่อง จึงทำให้ได้รับความร้อนที่ไม่สม่ำเสมอ และไม่มีการใส่สารรีเคลม เพื่อช่วยในการเกิดปฏิกิริยาดีวัลคาไนซ์ ดังนั้นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจึงเป็นปฏิกิริยาการเสื่อมสภาพ เมื่อให้ความร้อนเป็นเวลานานปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้มาก อย่างไรก็ตามค่าความแข็งแรงดึงของเวลานึ่งที่ 4 ชั่วโมงที่มีค่ามาก อาจเนื่องมาจากการสุ่มตัวอย่างโดนส่วนที่ไม่ได้รับความร้อน จึงทำให้มีค่าความแข็งแรงดึงเก่าของถุงมือ และจะพบว่าเวลานึ่งที่แตกต่างกัน ค่าที่ได้ออกมาแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด (รูปที่ 4.14) พบว่ามีแนวโน้มที่ต่ำลง เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดเป็นการเสื่อมสภาพ ซึ่งมีการตัดสายโซ่พันธะที่ตำแหน่งสายโซ่โมเลกุลหลักให้ขาดออกจากกันมากกว่าเกิดจากการตัดที่พันธะเชื่อมโยง และเมื่อพิจารณาค่ามอดุลัสที่ระยะยืด 200% (รูปที่ 4.16) และค่าความแข็งแรงกด (รูปที่ 4.15) พบว่าที่เวลา 4 ชั่วโมง มีค่าความแข็งแรงกดสูงที่สุด เนื่องจากสาเหตุข้างต้นเรื่องความไม่สม่ำเสมอของการได้รับความร้อน ทำให้ผลการทดลองที่ได้ขึ้นกับบริเวณที่สุ่มตัวอย่างมาทดลอง และทำให้เมื่อนำมาทดสอบสมบัติเชิงกล ส่งผลให้ค่ามอดุลัสที่ระยะยืด 200% และค่าความแข็งแรงกดสูง

รูปที่ 4.13 ค่าความแข็งแรงดึงของยางรีเคลมจากถุงมือยาง ณ เวลาที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

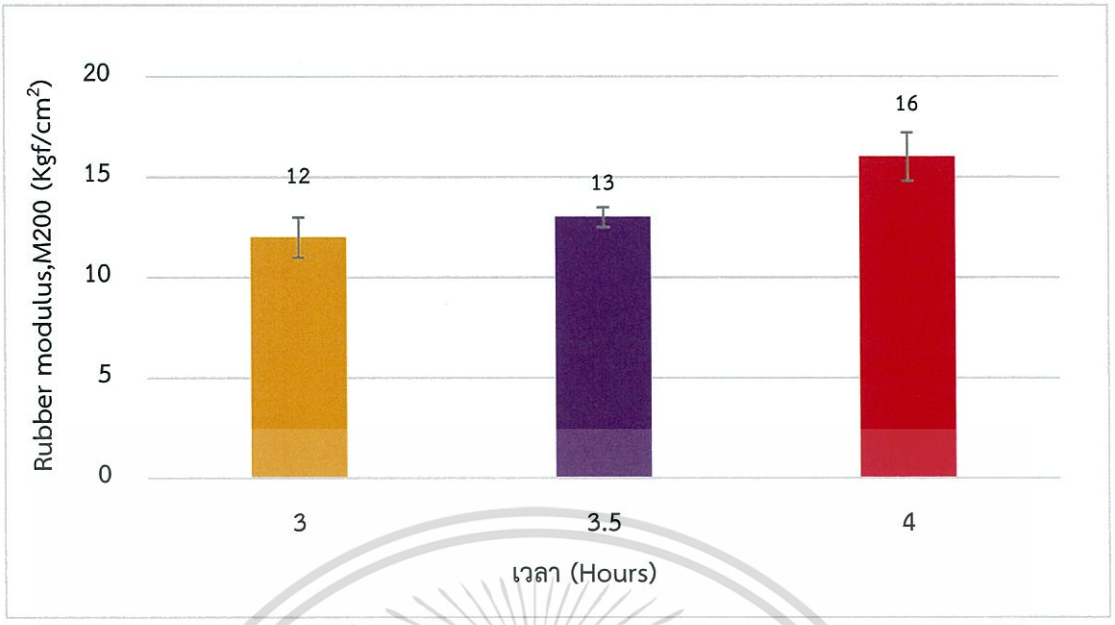


รูปที่ 4.14 ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด ของยางรีเคลมจากถุงมือยาง ณ เวลาที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.15 ค่าความแข็งแรงกดของยางรีเคลมจากถุงมือยาง ณ เวลาที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ค่ามอดุลัสที่ระยะยืด 200% ของยางรีเคลมจากถุงมือยาง ณ เวลาที่แตกต่างกัน

จากผลที่ได้ทั้งหมดนี้สามารถสรุปได้ว่า ถุงมือยางที่ผ่านการบด เมื่อมีการใช้เวลาในการนึ่งเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ลักษณะของยางรีเคลมที่ได้ออกมามีความหนืดเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเมื่อใช้เวลาในการนึ่งยางเพิ่มขึ้น ความร้อนที่เข้าไปในถุงมือยางจะมีความสม่ำเสมอกันมากขึ้น ด้วยเหตุผลนี้จึงเลือกใช้ถุงมือยางที่นึ่งเป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีชื่อย่อ คือ 4T7B-RR0DA0 มาทำการผสมกับยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลของยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ต่อไป

4.3 การศึกษาปริมาณน้ำมัน และปริมาณสารรีเคลมที่ส่งผลต่อสมบัติของยางรีเคลมจากถุงมือยาง

จากผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.2 จึงเป็นผลให้มีการเติมน้ำมัน และสารรีเคลมเข้าไปผสมในถุงมือยาง ตามสมมติฐานที่ว่าสารรีเคลมจะสามารถช่วยเพิ่มการดีวัลคาไนซ์ได้ โดยเป็นการทำให้เกิดการตัดพันธะที่ตำแหน่งเชื่อมโยงมากกว่าการตัดบนสายโซ่หลัก (รูปที่ 2.24) จึงเป็นผลทำให้เกิดการดีวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้น และสารรีเคลมที่ใช้เป็นชนิดไดฟีนิลไดซัลไฟด์ และยังมีการใส่น้ำมันเข้าไป เพื่อช่วยนำความร้อนภายในถังปฏิกรณ์ ทำให้ถุงมือยางได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอ และทำให้สายโซ่เกิดการบวมตัวเพื่อให้สารรีเคลมเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้น และเกิดการตัดสายโซ่ที่พันธะเชื่อมโยงมากขึ้น ทำให้สายโซ่หลักยังคงเป็นสายโซ่โมเลกุลที่ยาวอยู่ เนื่องจากถุงมือยางที่ใช้มีโครงสร้างเป็นพอลิไอโซพรีน (รูปที่ 4.2) ดังนั้นน้ำมันที่ใช้ในกระบวนการสามารถใช้ได้ทั้ง 3 ตระกูล คือ Aromatic, Naphthenic และ Paraffinic แต่ในงานทดลองมีการเลือกใช้น้ำมัน Aromatic เนื่องจากเป็นน้ำมันที่ผสมเข้ากับถุงมือยางได้ง่ายที่สุด มีราคาถูก และมีสีคล้ำเหมาะแก่ยางรีเคลมสีดำอย่างมาก และเพื่อศึกษาว่าปริมาณน้ำมัน และปริมาณสารรีเคลม มีผลต่อกระบวนการดีวัลคาไนซ์ และส่งผลต่อสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชิงกลหรือไม่ จึงได้ทำการศึกษาปริมาณน้ำมันที่แตกต่างกัน คือ 0, 2.5, 5 และ 10 phr และปริมาณสารรีเคลมที่แตกต่างกัน คือ 0 และ 0.5 phr โดยการทดลองนี้ได้นำเอาถุงมือยางที่ผ่านการบดไปทำกับผสมกับน้ำมัน และสารรีเคลม โดยใช้เครื่องผสม (Mixer) ซึ่งมีใบพัดปั่นกวนภายในเพื่อให้ถุงมือยางกับน้ำมัน และสารรีเคลมผสมเข้ากันอย่างทั่วถึง เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นจึงนำไปนึ่งที่ถังปฏิกรณ์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส และใช้ความดัน 7 บาร์

จากการทดลองพบว่า เมื่อมีการใส่น้ำมัน และสารรีเคลมลงไปในปริมาณที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อลักษณะของยางรีเคลมจากถุงมือยางแตกต่างกัน (รูปที่ 4.17) โดยยางรีเคลมจากถุงมือยางในรูป (ก) มีการใส่น้ำมัน 2.5 phr และสารรีเคลม 0.5 phr ลักษณะของยางรีเคลมที่ได้ บริเวณด้านบนมีลักษณะเป็นชิ้นถุงมือยางที่เกาะกันเป็นก้อน และไม่เหนียวหนืดจนเกินไป ซึ่งง่ายต่อกระบวนการผลิต และเมื่อเปรียบเทียบกันในส่วนของรูป (ค) มีการใส่น้ำมัน 10 phr และสารรีเคลม 0.5 phr บริเวณด้านบนจะมีลักษณะเป็นของเหลวหนืดมากกว่า เนื่องจากปริมาณน้ำมันที่ใส่มากเกินไป ซึ่งน้ำมันเป็นตัวนำความร้อนที่ดี จึงส่งผลให้ยางรีเคลมจากถุงมือยางที่ได้ออกมามีลักษณะเละมากกว่ารูปอื่น ทั้งนี้จึงสามารถบอกได้ว่าปริมาณน้ำมัน และสารรีเคลมมีผลต่อกระบวนการผลิต และส่งผลต่อสมบัติเชิงกล

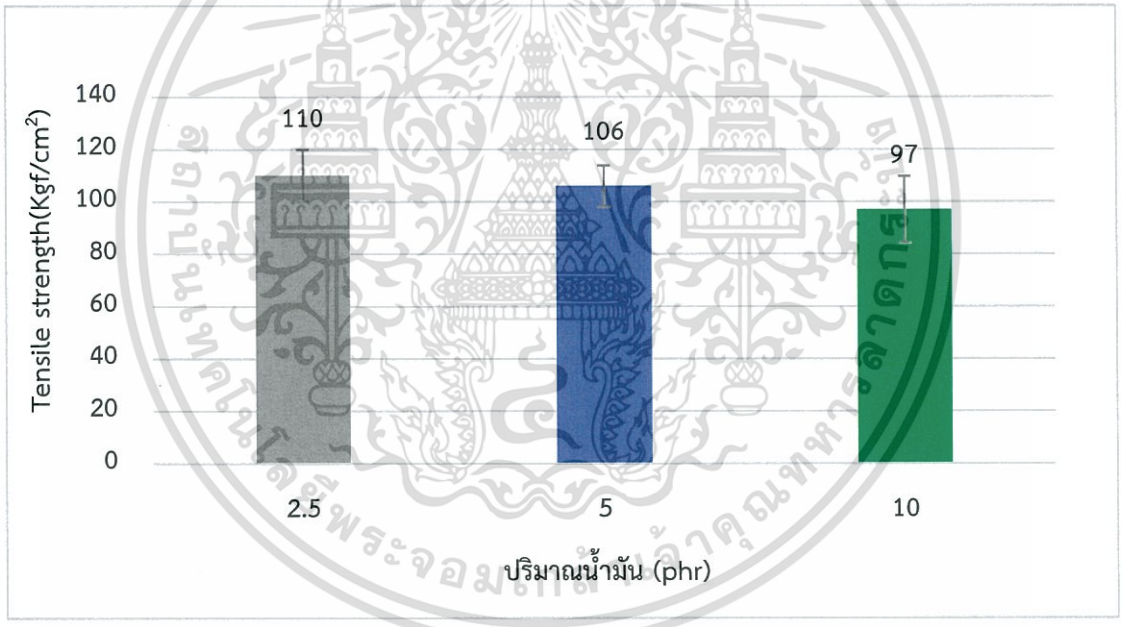
(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 4.17 ภาพถ่ายยางรีเคลมจากถุงมือยาง (ก) ใส่น้ำมัน 2.5 phr และสารรีเคลม 0.5 phr (ข) ใส่น้ำมัน 5 phr และสารรีเคลม 0.5 phr และ (ค) ใส่น้ำมัน 10 phr และสารรีเคลม 0.5 phr

จากการทดลองพบว่า ยางรีเคลมที่มีการใส่น้ำมัน 10 phr และสารรีเคลม 0.5 phr มีค่าความแข็งแรงดึงที่น้อยที่สุด (รูปที่ 4.18) เนื่องจากน้ำมันที่ใส่เข้าไปมีปริมาณมากเกิน โดยน้ำมันนี้มีหน้าที่นำความร้อนให้เกิดอย่างสม่ำเสมอ และยังช่วยให้สายโซ่เกิดการบวมตัวเพื่อทำให้สารรีเคลมเข้าไปตัดสายโซ่ได้ง่ายขึ้น แต่ปริมาณน้ำมันที่ใส่มากเกินทำให้น้ำมันเกิดการตกค้าง เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการนึ่งยางไม่เพียงพอที่จะทำให้น้ำมันระเหยได้ในระหว่างกระบวนการดีวัลคาไนซ์ ซึ่งน้ำมันที่ตกค้างจะทำหน้าที่เป็นพลาสติไซเซอร์ที่ทำให้เกิดปริมาตรอิสระเพิ่มขึ้น เมื่อนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลทำให้สายโซ่ขาดออกจากกันได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงต่ำลง เมื่อเปรียบเทียบกับยางรีเคลมจาก

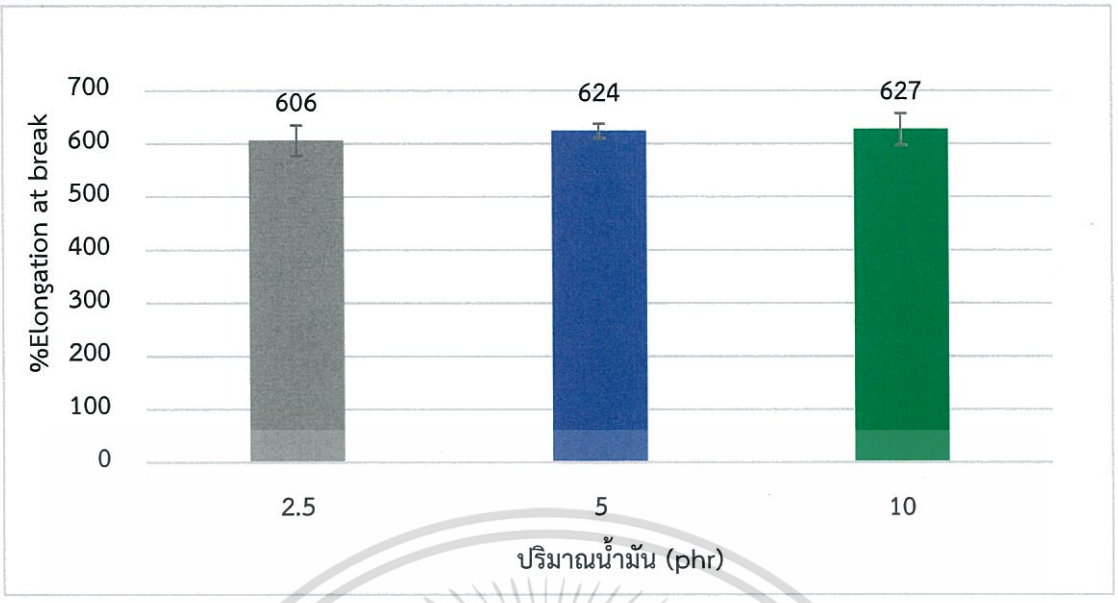
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถุงมือยางที่มีการใส่ปริมาณน้ำมันที่น้อยกว่า แต่ปริมาณน้ำมันที่มาก ได้ทำให้สายโซ่เกิดการบวมตัวมาก และทำให้สารรีเคลมเข้าไปตัดสายโซ่ที่ตำแหน่งพันธะเชื่อมโยงได้ดีกว่า จึงทำให้สายโซ่โมเลกุลหลักไม่ถูกตัด ส่งผลให้ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด (รูปที่ 4.19) สูงกว่าการใส่ปริมาณน้ำมันที่น้อย และจากสมบัติเชิงกลนี้พบว่าค่าความแข็งกดของยางรีเคลมจากถุงมือยาง (รูปที่ 4.20) และค่ามอดุลัสที่ระยะยืด 200% (รูปที่ 4.21) บ่งบอกถึงความยากง่ายในการเปลี่ยนรูปร่าง ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใส่น้ำมันที่ปริมาณมาก สายโซ่โมเลกุลหลักยังยาวอยู่ เนื่องจากเกิดการตัดสายโซ่ที่พันธะเชื่อมโยงได้ดี ไม่มีตัวยึดระหว่างโมเลกุล ส่งผลให้การเกิดการเปลี่ยนรูปร่างได้ง่าย เป็นผลให้ค่ามอดุลัสที่ระยะยืด 200% ต่ำ แต่เมื่อใส่ปริมาณน้ำมันน้อย ค่ามอดุลัสที่ระยะยืด 200% สูง เกิดการเปลี่ยนรูปร่างที่ยาก เนื่องจากปริมาณน้ำมันที่น้อยทำให้เกิดการตัดสายโซ่ที่พันธะเชื่อมโยงน้อยกว่า อย่างไรก็ตามการใส่ปริมาณน้ำมัน 2.5 phr และ 5 phr เกิดการตัดสายโซ่ และเกิดการเปลี่ยนรูปร่างเพียงเล็กน้อย จึงถือได้ว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากในตอนที่ทำการผสมน้ำมันในเครื่องผสมน้ำมันเกิดติดอยู่ที่เครื่องผสมมากกว่าติดมากับถุงมือยางจึงทำให้ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกัน

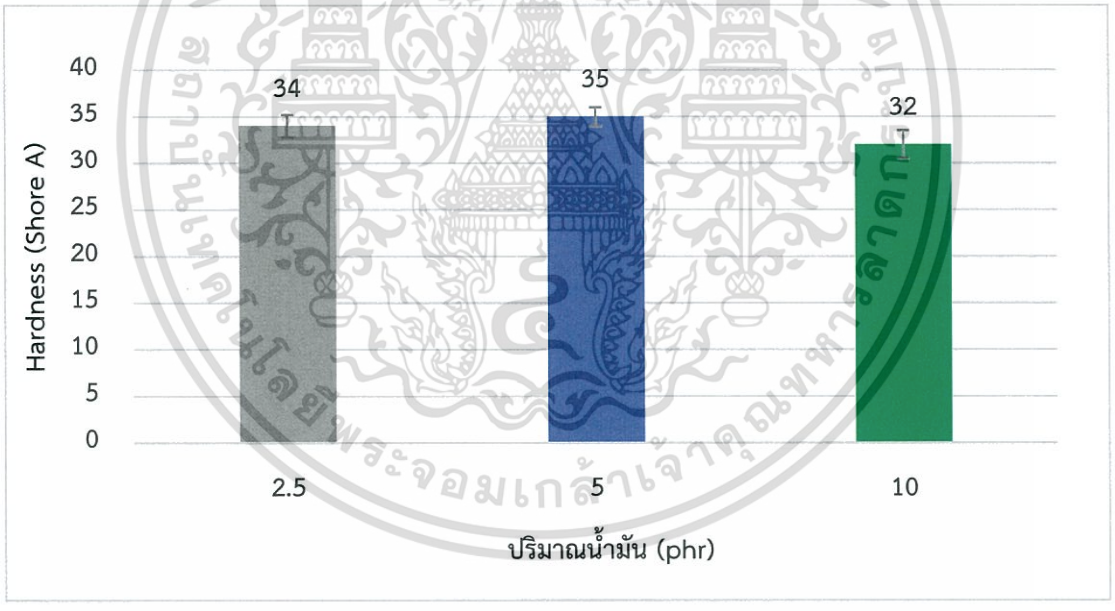


รูปที่ 4.18 ค่าความแข็งแรงดึงของยางรีเคลมจากถุงมือยางที่มีการใส่ปริมาณน้ำมันที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

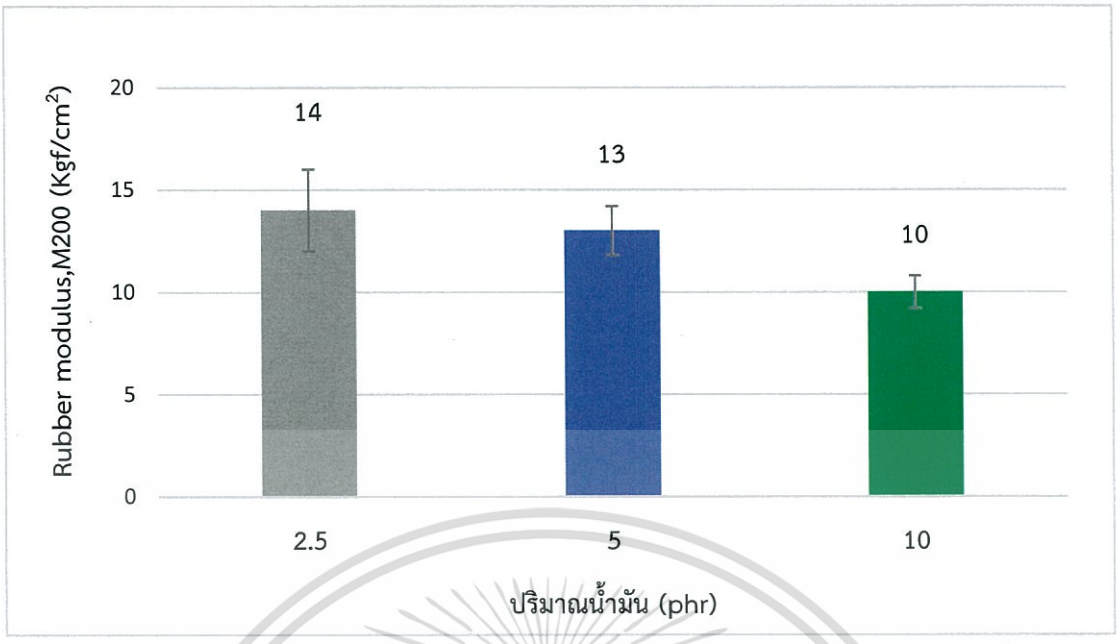


รูปที่ 4.19 ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด ของยางรีเคลมจากถุงมือยางที่มีการใส่ปริมาณน้ำมันที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.20 ค่าความแข็งแรงกดของยางรีเคลมจากถุงมือยางที่มีการใส่ปริมาณน้ำมันที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 ค่ามอดุลัสที่ระยะยืด 200% ของยางรีเคลมจากถุงมือยางที่มีการใส่ปริมาณน้ำมันที่แตกต่างกัน

จากผลที่ได้ทั้งหมดนี้สามารถสรุปได้ว่า ถุงมือยางที่มีการใส่น้ำมัน 2.5 phr และสารรีเคลม 0.5 phr มีปริมาณน้ำมันที่เหมาะสม เนื่องจากลักษณะของยางรีเคลมจากถุงมือยางที่ได้มีความเหนียวและเละน้อยกว่าปริมาณอื่น เป็นเพราะว่าปริมาณน้ำมันที่ใส่ลงไปในขณะผสมถุงมือยางนั้นมีปริมาณน้อยจึงเกิดการตกค้างของน้ำมันที่น้อยกว่าการทดลองอื่น จึงทำให้มีสมบัติเชิงกลสูง ด้วยเหตุนี้จึงเลือกใช้ถุงมือยางที่ใส่น้ำมัน 2.5 phr และสารรีเคลม 0.5 phr ที่นึ่งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที มีชื่อย่อ คือ 1.5T7B-RR2.5DA0.5 มาทำการผสมกับยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลของยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ต่อไป

4.4 การศึกษาอัตราส่วนระหว่างยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ กับยางรีเคลมจากถุงมือยาง เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลของยางรีเคลม

ปัจจุบันยางรีเคลมเกรด 103 ที่ผลิตจากล้อรถยนต์ เป็นยางที่ได้รับความนิยมมากในกลุ่มของยางรีเคลม แต่มีสมบัติทางเชิงกลที่ต่ำ เนื่องจากวัตถุดิบได้ผ่านกระบวนการบดเกิดการตัดสายโซ่โมเลกุลจำนวนมาก ทำให้ยางรีเคลมที่ได้ไม่ผ่านมาตรฐาน ISO โดยงานวิจัยนี้จะทำการปรับสมบัติเชิงกลของยางรีเคลม โดยจะนำถุงมือยางซึ่งเป็นวัตถุดิบจากการผลิตที่ไม่ผ่านกระบวนการบด พบว่ามีสายโซ่โมเลกุลที่ยาว จากนั้นจึงได้นำถุงมือยางมาทำเป็นยางรีเคลม และนำมาผสมกับยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ (เกรด 103) เพื่อเป็นการเพิ่มสมบัติทางเชิงกลของยางรีเคลมให้ได้ตามมาตรฐาน ISO และเพิ่มสมบัติของความแข็งแรง ณ จุดขาดให้กับยางรีเคลมมากขึ้น และเพื่อจะศึกษาว่ายางรีเคลมจากถุงมือยางสามารถช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลให้กับยางรีเคลมได้จริงหรือไม่ จึงได้ทำการทดลองโดยการผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ กับยางรีเคลมจากถุงมือยางในอัตราส่วนต่าง ๆ ดังนี้ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60 และ 0:100

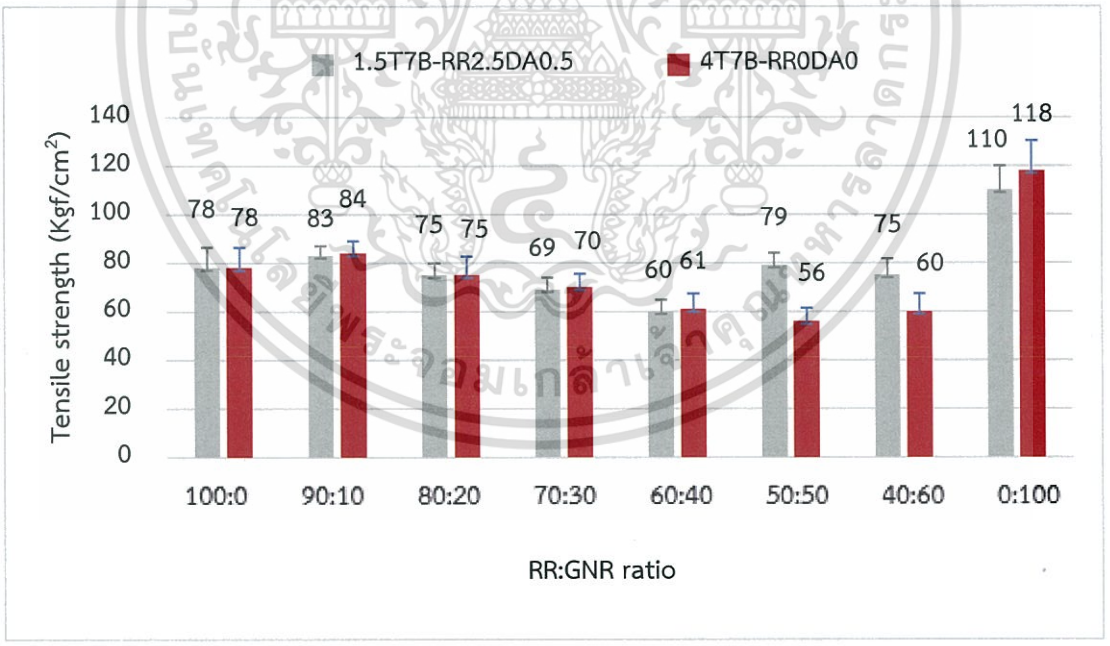
จากการศึกษาในหัวข้อที่ 4.2 และ 4.3 จึงเลือกยางรีเคลมจากถุงมือยางที่ไม่มีการใส่น้ำมันและสารรีเคลมที่มีค่าความแข็งแรงดึงมากที่สุด คือ 4T7B-RR0DA0 และยางรีเคลมจากถุงมือยางที่มีการใส่น้ำมัน และสารรีเคลมที่มีค่าความแข็งแรงดึงที่มากที่สุด คือ 1.5T7B-RR2.5DA0.5 นำมาผสมกับยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ ซึ่งจากทฤษฎีกฎของของผสม การที่จะทำให้ยางทั้ง 2 ชนิด เกิดการผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันต้องใช้แรงบดที่สูง, ยางทั้ง 2 ชนิดต้องมีขั้วที่เหมือนกัน, มีขนาดใกล้เคียงกัน, ความหนืดของยางทั้ง 2 ชนิด ต้องใกล้เคียงกัน, อุณหภูมิที่ใช้ในการผสมต้องสูงเพื่อทำให้เกิดการผสมที่เข้ากัน และเวลาที่ใช้ผสมต้องเหมาะสม จากการทดลอง (รูปที่ 4.22) จะพบว่าชิ้นงานที่ได้ออกมามีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และมีฟองอากาศเกิดขึ้น เนื่องจากขนาดของยางรีเคลมจากถุงมือยาง กับยางรีเคลมจากล้อรถยนต์มีขนาด และลักษณะที่ต่างกัน โดยยางรีเคลมจากถุงมือยางจะมีลักษณะเป็นชิ้นเล็ก ๆ ขนาดประมาณ 3 Mesh เกาะกลุ่มเป็นก้อน แต่ยางรีเคลมจากล้อรถยนต์มีลักษณะเป็นผงยางละเอียดขนาดประมาณ 26 Mesh เมื่อนำมาทำการผสม จึงเกิดความไม่เข้ากันของยางทั้ง 2 ชนิด และยางรีเคลมจากถุงมือยางที่ได้ค่อนข้างเหนียวหนืดมาก ซึ่งต่างจากยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ จึงทำให้การที่จะผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันค่อนข้างยาก และเมื่อทำการใส่สารเคมีเพื่อนำไปทดสอบเชิงกล การกระจายตัวของสารเคมีในยางทั้ง 2 ชนิด มีการกระจายตัวที่แตกต่างกัน เมื่อนำมาทดสอบตามกระบวนการทดสอบเชิงกล จึงทำให้เกิดจุดบกพร่องจำนวนมาก ซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงลดน้อยลง

รูปที่ 4.22 ภาพถ่ายจุดบกพร่องของชิ้นงานในการผสมยางรีเคลมจากยางล้อรถยนต์ กับยางรีเคลมจากถุงมือยาง โดยกล้อง Optical Microscope (OM)

จากการทดลองพบว่า เมื่อทำการผสมยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ กับยางรีเคลมจากถุงมือยางทั้งชนิด 4T7B-RR0DA0 และชนิด 1.5T7B-RR2.5DA0.5 ในรูปที่ 4.23 คือ ค่าความแข็งแรงดึง พบว่าเมื่ออัตราส่วนของยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ มีปริมาณมากขึ้น ค่าความแข็งแรงดึงของยางรีเคลมทั้งชนิด 4T7B-RR0DA0 และชนิด 1.5T7B-RR2.5DA0.5 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อปริมาณยางรีเคลมจากถุงมือยางมีปริมาณที่มากขึ้น จะเห็นได้ว่าค่าความแข็งแรงดึงของยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ที่ผสมกับยางรีเคลมจากถุงมือยางที่มีการใส่น้ำมัน และสารรีเคลมมีค่าที่สูงกว่า เนื่องจาก

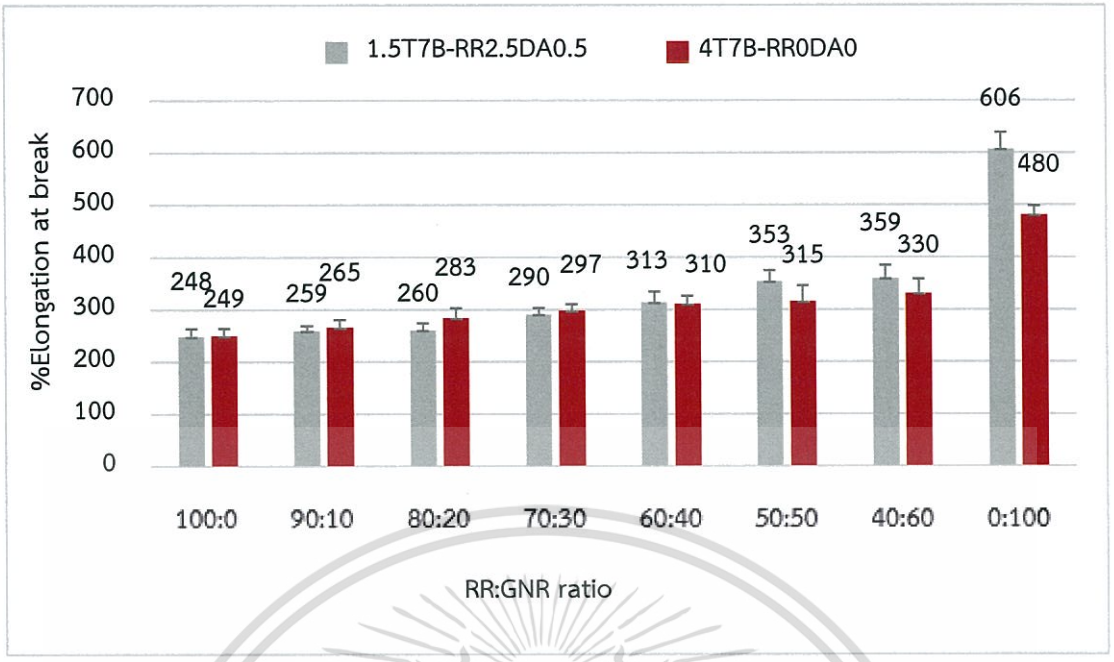
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยางรีเคลมจากถุงมือยางที่มีการใส่น้ำมัน และสารรีเคลมมีปริมาณน้ำมันตกค้างเหลืออยู่ เมื่อนำมาผสมกับยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ จะพบว่าน้ำมันสามารถช่วยผสมให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงที่ได้มีค่าที่สูงกว่า เมื่ออัตราส่วนของยางรีเคลมจากถุงมือยางมากขึ้น และค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด ของยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ที่ผลิตจากล้อรถยนต์ ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ได้ผ่านกระบวนการบด จึงทำให้มีสายโซ่โมเลกุลสั้นลง และส่งผลให้มีค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดต่ำ แต่เมื่อทำการผสมกับยางรีเคลมจากถุงมือยาง ซึ่งวัตถุดิบจากการผลิตไม่ได้ผ่านกระบวนการบด จึงมีสายโซ่โมเลกุลยาว เมื่อนำถุงมือยางชนิด 4T7B-RR0DA0 และชนิด 1.5T7B-RR2.5DA0.5 มาผสมกับยาง-รีเคลม จึงสามารถช่วยเพิ่มค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด ให้กับยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ได้ และเมื่อยิ่งมีการใส่อัตราส่วนของยางรีเคลมจากถุงมือยางเพิ่มมากขึ้น จะทำให้ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น (จากรูปที่ 4.24) และจากสมบัติเชิงกลนี้ยังมีค่าความแข็งกด (รูปที่ 4.25) และค่ามอดุลัสที่ระยะยืด 200% (รูปที่ 4.26) บ่งบอกถึงความยากง่ายในการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการใส่ยางรีเคลมจากถุงมือยางเข้าไปในปริมาณที่มากขึ้น ส่งผลให้มีค่ามอดุลัสที่ระยะยืด 200% และค่าความแข็งกดที่ต่ำลง เนื่องจากยางรีเคลมจากถุงมือยางที่เลือกนำมาผสมกับยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ได้ผ่านกระบวนการตัดสายโซ่ที่พันธะเชื่อมโยงมาก เมื่อนำมาผสมกับยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ ซึ่งมีการตัดสายโซ่ที่พันธะเชื่อมโยงมาก จึงทำให้ง่ายต่อการเปลี่ยนรูป ค่ามอดุลัสที่ระยะยืด 200% และค่าความแข็งกด จึงมีแนวโน้มที่ต่ำลง เมื่อเพิ่มปริมาณถุงมือยางมากขึ้น

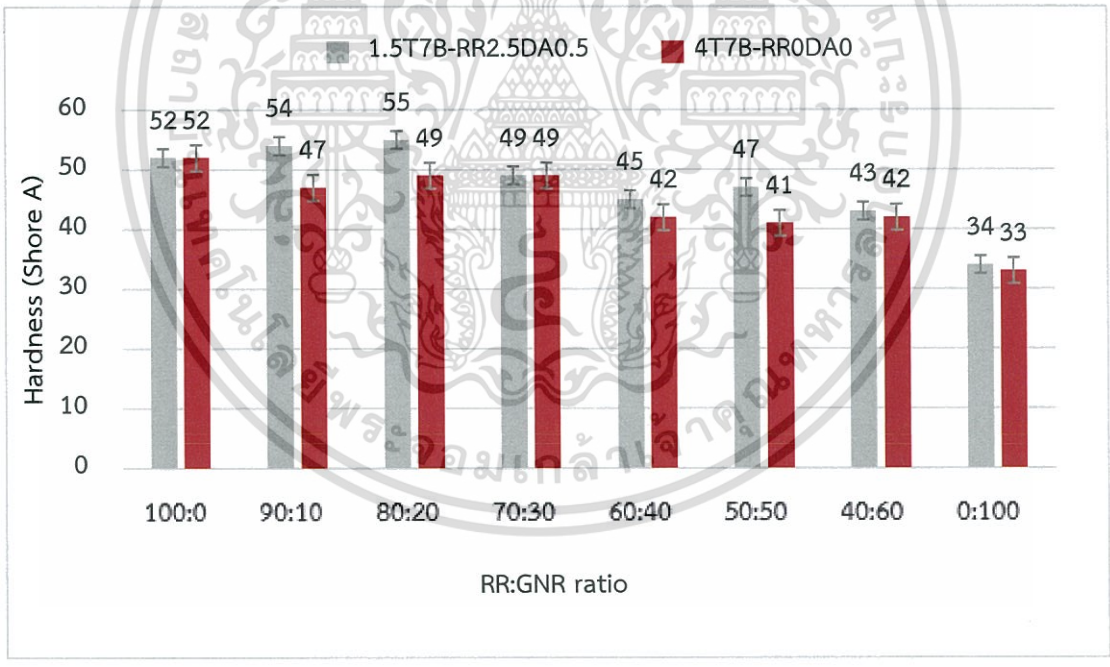


รูปที่ 4.23 ค่าความแข็งแรงดึงของการผสมกันระหว่างยางรีเคลมจากยางล้อรถยนต์ กับยางรีเคลมจากถุงมือยางในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

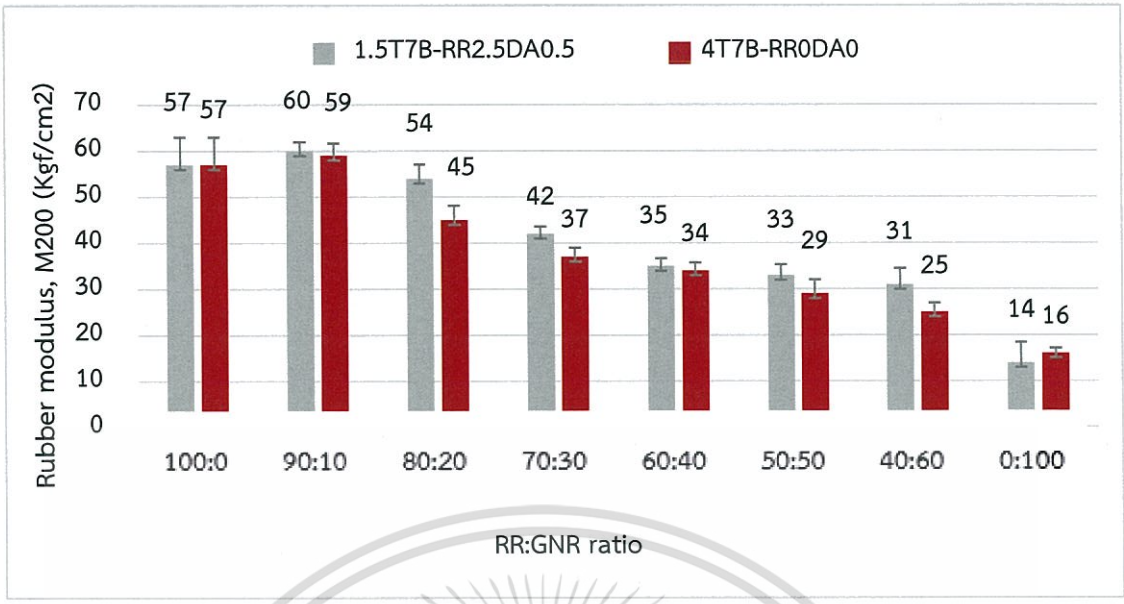


รูปที่ 4.24 ค่าร้อยละการยืด ณ จุดขาด ของการผสมกันระหว่างยางรีเคลมจากยางล้อรถยนต์ กับยางรีเคลมจากถุงมือยางในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.25 ค่าความแข็งแรงกดของการผสมกันระหว่างยางรีเคลมจากยางล้อรถยนต์ กับยางรีเคลมจากถุงมือยางในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 ค่ามอดุลัสที่ระยะยืด 200% ของการผสมกันระหว่างยางรีเคลมจากยางล้อรถยนต์ กับยางรีเคลมจากถุงมือยางในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

จากผลที่ได้ทั้งหมดนี้สามารถสรุปได้ว่า การผสมยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ กับยางรีเคลมจากถุงมือยาง (ชนิด 4T7B-RR0DA0 และชนิด 1.5T7B-RR2.5DA0.5) นั้น พบว่ายางทั้ง 2 ประเภทมีความหนืด, การกระจายตัวของสารเคมี และขนาดของวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิดไม่เท่ากันหรือไม่เหมาะสมกัน จึงทำให้เมื่อเพิ่มปริมาณของถุงมือยางรีเคลมจนมีอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกับยางล้อรถยนต์ลักษณะที่ได้นั้นไม่มีความเป็นเนื้อเดียวกัน และมีฟองอากาศมากขึ้น จึงทำให้ยางรีเคลมจากถุงมือยางกลายเป็นจุดบกพร่อง ในยางรีเคลมจากล้อรถยนต์จำนวนมาก ส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงลดน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การวิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบ

การวิเคราะห์ต้นทุนวัตถุดิบของยางรีเคลมในสหกิจศึกษานี้ เพื่อเป็นการศึกษาต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการผลิตยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ เพื่อทำการเปรียบเทียบกับราคายางรีเคลมจากถุง-มือยาง ซึ่งใช้ในการลดต้นทุนการผลิต

ตารางที่ 4.1 ราคายางรีเคลมจากล้อรถยนต์ (เกรด 103)

วัตถุดิบ และสารเคมี	ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ (phr)	ราคาวัตถุดิบ (บาท/กิโลกรัม)
ยางล้อรถยนต์เก่า	100	15
ZnO	2	87
Stearic acid	5	37.5
MBT	0.5	92
DPG	0.2	220
Sulfur	3	12
ยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ (เกรด 103) มีราคาประมาณ 20 บาท/กิโลกรัม		

ตารางที่ 4.2 ราคายางรีเคลมจากถุงมือยาง

วัตถุดิบ และสารเคมี	ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ (phr)	ราคาวัตถุดิบ (บาท/กิโลกรัม)
เศษถุงมือยาง	100	5
ZnO	2	87
Stearic acid	5	37.5
MBT	0.5	92
DPG	0.2	220
Sulfur	3	12
ยางรีเคลมจากถุงมือยาง มีราคาประมาณ 10 บาท/กิโลกรัม		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ราคายางรีเคลมจากล้อรถยนต์ผสมกับยางรีเคลมจากถุงมือยาง (อัตราส่วน 90:10)

วัตถุดิบ และสารเคมี	ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ (phr)	ราคาวัตถุดิบ (บาท/กิโลกรัม)
ยางล้อรถยนต์เก่า + เศษถุงมือยาง	100	20
ZnO	2	87
Stearic acid	5	37.5
MBT	0.5	92
DPG	0.2	220
Sulfur	3	12
เมื่อผสมยางรีเคลมทั้ง 2 ชนิด มีราคาประมาณ 25 บาท/กิโลกรัม		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

สหกิจศึกษานี้เป็นการศึกษาการพัฒนาสมบัติเชิงกลของยางรีเคลม โดยจะนำปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสมบัติของยางรีเคลม ได้แก่ การเตรียมถุงมือยาง, เวลาในการดีวัลคาไนซ์ถุงมือยาง (3, 3.5 และ 4 ชั่วโมง), ปริมาณน้ำมัน (0, 2.5, 5 และ 10 phr), ปริมาณสารรีเคลม (0, 5 phr) และอัตราส่วนระหว่างปริมาณยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ กับยางรีเคลมจากถุงมือยาง (100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 50:50, 60:40 และ 0:100)

5.1 สรุปผลการวิจัย

- ถุงมือยางที่ผ่านการบด มีการเพิ่มพื้นที่ผิวมาก จึงเป็นผลทำให้ถุงมือยางได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงได้เลือกนำเอาถุงมือยางที่ผ่านการบดไปศึกษาต่อไป

- ถุงมือยางที่ผ่านการบด เมื่อมีการใช้เวลาในการนึ่งเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ลักษณะของยางรีเคลมที่ได้ออกมามีความหนืดเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเมื่อใช้เวลาในการนึ่งยางเพิ่มขึ้น ความร้อนที่เข้าไปในถุงมือยางจะมีความสม่ำเสมอกันมากขึ้น ด้วยเหตุผลนี้จึงเลือกใช้ถุงมือยางที่นึ่งเป็นเวลา 4 ชั่วโมง มีชื่อย่อ คือ 4T7B-RR0DA0 มาทำการผสมกับยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลของยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ต่อไป

- ถุงมือยางที่มีการใส่น้ำมัน 2.5 phr และสารรีเคลม 0.5 phr มีปริมาณน้ำมันที่เหมาะสม เนื่องจากมีความเหนียว และเละน้อย เกิดการตกค้างของน้ำมันที่น้อย จึงทำให้มีสมบัติเชิงกลสูง ด้วยเหตุนี้จึงเลือกใช้ถุงมือยางที่ใส่น้ำมัน 2.5 phr และปริมาณสารรีเคลม 0.5 phr ที่นึ่งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที มีชื่อย่อ คือ 1.5T7B-RR2.5DA0.5 มาทำการผสมกับยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลของยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ต่อไป

- การผสมยางรีเคลมจากล้อรถยนต์ กับยางรีเคลมจากถุงมือยาง (ชนิด 4T7B-RR0DA0 และชนิด 1.5T7B-RR2.5DA0.5) พบว่ายางมีความหนืด, การกระจายตัวของสารเคมี และขนาดของวัตถุดิบทั้ง 2 ชนิดไม่เท่ากันหรือไม่เหมาะสมกัน จึงทำให้เมื่อเพิ่มปริมาณยางรีเคลมจากถุงมียางมีลักษณะไม่มีความเป็นเนื้อเดียวกัน และมีฟองอากาศมากขึ้น จึงทำให้ยางรีเคลมจากถุงมือยางกลายเป็นจุดบกพร่องในยางรีเคลมจากล้อรถยนต์จำนวนมาก ส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงลดน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรเปลี่ยนถังปฏิกรณ์ให้มีใบพัดกวนในหม้อ เพื่อให้ยางได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอกันทั้งหมด

2. ควรศึกษาน้ำมันยาง (Rubber oil) เกรดอื่น ๆ ในการดีวัลคาไนซ์ยางรีเคลมจากถุงมือยาง

3. ควรศึกษาหาสภาวะของยางรีเคลมจากถุงมืออย่างละเอียด โดยทำการทดลองหลาย ๆ รอบ และเพิ่มการทดสอบสมบัติของยางรีเคลมจากถุงมือยาง

4. ควรศึกษาเทคนิคการตีผสมเพื่อให้ยางรีเคลมจากกล้อรถยนต์ กับยางรีเคลมจากถุงมือยาง เพื่อให้ของผสมมีความเข้ากันได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. 2558. **อนาคตถุงมือยางไทยในตลาดโลก**. [Online]. Avialable : http://rubber.oie.go.th/box/Article/42174.pdf

[2] Prashant. 2017. **Latex Rubber Scrap.** [Online]. Avialable : https://m.indiamart .com/proddetail.php?i=1161619112

[3] YELLOW SMILE. 2557. **25 ไอเดียรีไซเคิลยางรถยนต์ ที่จะทำให้คุณรู้ว่า 'ยางเก่า'มีดีกว่าที่คิด.** [Online]. Available : https://www.jeab.com/home-living/how-to/25-reuse-old-tires-ideas.

[4] พีรเดช ทองอำไพ. 2552. **รีไซเคิลยางพารา.** [Online]. Available : http://www. arda.or.th/easyknowledge/easy-articles-detail.php?id=238.

[5] Icykids. 2008. **Rubber processing.** [Online]. Available : http://www.tpa.or.th /writer/read_this_book_topic.php?bookID=1049&read=true&count=true.

[6] ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย. 2558. **ยางรีเคลม.** [Online]. Avialable : http://www. Onartgroup.com/Article/0326.pdf.

[7] Ct. 2008. **Reclaim.** [Online]. Avialable : http://www2.pop.vcharkarn.com/ blog/35534/5395

[8] International Organization for Standardization (ISO). 20vh .Reclaimed rubber-Coding and classification system: ISO/CD 19846.

[9] Rolexreclaim. 2017. **Whole Tyre Reclaim Rubber.** [Online]. Avialable : http:// www. Spotchemi.eu/techspec/08156.pdf.

[10] Ct. 2008. **Reclaim.** [Online]. Avialable : http://www2.pop.vcharkarn.com/blog/3-5534/5402

[11] Rubber intelligence Unit. 2559. **เนื้อที่กรีดยาง ผลผลิตยาง และผลผลิตยางต่อไร่ของไทยในระหว่างปี 2557-2559.** [Online]. Avialable : http://rubber.oie.go.th /Elibrary .aspx?cid=50

[12] Admin. 2555. **ถุงมือแพทย์ถุงมือ ไนไตรล์เป็นอย่างไรเลือกใช้แบบไหนดี.** [Online]. Avialable : http://www.siamglove.com/ถุงมือ/ถุงมือแพทย์-ถุงมือ ไนไตรล์.html

[13] พร้อมศักดิ์ สงวนธำมรงค์. 2554. **ถุงมือยาง.** [Online]. Available : http://rubber. ole-.go.th/file/RI U-glove.pdf.

[14] Officemate. 2557. **ถุงมือยางไนโตรไร้แป้ง Size M (100ชิ้น) โพลี-ไบรท์.** [Online]. Avialable : https://www.officemate.co.th/Product/0002437/ถุงมือยางไนโตรไร้แป้ง-Siz- e-M-100ชิ้น-โพลี-ไบรท์-943D3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[15] Shinko Kaizen. **ถุงมือยาง latex gloves.** [Online]. Avialable : http://www.พัดลมอุตสาหกรรมไทย.com/16205934/ถุงมือยาง-latex-gloves

[16] Wuhan Rainbow Protective Products Co., Ltd. 2557. **ถุงมือยางที่ใช้ในครัวเรือน.** [Online]. Avialable : https: / / thai. alibaba. com/ product- detail/ flocklined-household-latex-glove-1620703419.html

[17] บริษัท ย่ง อินเตอร์เทรด จำกัด. 2559. **การป้องกันอันตรายที่เกิดกับมือและนิ้ว.** [Online]. Available : http://www.yonginter.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=539505389&Ntype=8

[18] บริษัท ดูราเซฟ จำกัด. 2560. **ถุงมือไนไตรล์ (Nitrile Gloves).** [Online]. Available : http://www. durasafe.co.th

[19] Goodchoiz. 2556. **ถุงมือยางไนไตรล์ล์ Microtex ยาว 13 นิ้ว สีเขียว ขนาดกลาง.** [Online]. Avialable : https://www.goodchoiz.com/ถุงมือยาง ไนไตรล์ล์-Microtex-ยาว-13-นิ้ว-สีเขียว-ขนาดกลาง

[20] Admin. 2554. **ถุงมือแพทย์ ถุงมือไนไตรล์ ถุงมือไวนิล อย่างไหนดีกว่ากัน.** [Online]. Available : http://www.siamglove.com/ถุงมือ/อย่างไหนดีกว่ากัน.html

[21] Safetouch. 2014. **Vinile senza talco esami guanti - Scatola 100 - GRANDI DIMENSIONI.** [Online]. Avialable : https: / / www. amazon. it/ Vinile- senza-talcoesami-guanti/dp/B01AZ602S8

[22] Smethailandclub. 2559. **Healthy Glove ต่อยอดยางพาราไทย ตีตลาดโลก.** [Online]. Avialable : http://www.smethailandclub.com/entrepreneur-1307-id.html

[23] Suttapong vichitchoachai. 2556. **วิธีการทำผลิตภัณฑ์จากยางแบบจุ่ม.** [Online]. Avialable : http://yungpara.blogspot.com/2013/09/blog-post_7779.html

[24] Inter gloves. 2556. **YL-1.1-1 ถุงมือยางแบบมีแป้ง INTER(Latex Gloves Powdered).** [Online]. Avialable : http: / / www. yonginter. com/ index. php?lay=show&ac= article&Id=539505386&Ntype=1

[25] Admin. 2555. **ถุงมือ ไนไตรล์ – ทำไมจึงเหมาะที่ใช้ในอุตสาหกรรมห้องเย็น.** [Online]. Avialable : http://www.siamglove.com/ถุงมือ/ถุงมือ ไนไตรล์-ห้องเย็น.html

[26] Elastomeric materials. 2007. **Devulcanization.** [Online]. Avialable : https:// www.tut.fi/ms/muo/vert/6_elastomeric_materials/reclaim_recycling_methods_devulcanization.htm

[27] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2554. **ยางรีเคลม.** [Online]. Available : https://th.wikipedia.org/wiki/ยางรีเคลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[28] บริษัท เอสเค อินดัสทรี จำกัด. **ถุงมือยาง.** [Online]. Available : http://www.skindustry.co.th/product/ถุงมือยาง/

[29] MamaExpert Team. 2558. **จุกนม.** [Online]. Available : http://www.mamaexpert.com/posts/content-906

[30] Officemate. 2557. **หนังยางวงใหญ่.** [Online]. Available : https://www.officemate.co.th/Product/3200110

[31] Ct. 2551. **กระบวนการรีเคลมเคมี.** [Online]. Available : http://www2.pop.vcharkarn.com/blog/35534/5399

[32] M Leary. 2003. **Evaluation of Waste Tire Devulcanization Technologies.** [Online]. Available : http://www.ciwmb.ca.gov/Publications/Tires/62204008.pdf.

[33] โครงการพัฒนาอุตสาหกรรมยางคอมพาวด์เพื่อยกระดับมูลค่าผลิตภัณฑ์ เพื่อสนับสนุนอุตสาหกรรมยานยนต์และเครื่องมือแพทย์. 2557. **เทคโนโลยีการผลิตยางคอมพาวด์.** [Online]. Available : http://rubber.oie.go.th/box/Article/pdf

[34] พรทิพย์ ศรีโสภา. 2547. **สารเคมีสำหรับยาง.** [Online]. Available : http://rubber-mold.blogspot.com/2011/05/blog-post.html

[35] รัฐพงศ์ หนูหมาด. 2552. "การศึกษาพันธะเชื่อมโยงและการเสื่อมสภาพของฟิลม์ยางโดยเทคนิคการวัดการดูดกลืนรังสีเอ็กซ์" วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[36] Wikimedia Commons. 2016. **Cure curve.** [Online]. Avialable : https://commons-wikimedia.org/wiki/File:Cure curve.svg Plastic raw material for film raffia yarn.jpg.

[37] MK Nanotechnology. 2016. **Sulfenamides.** [Online]. Avialable : http://www.suggest keywords.com/c3VsZmVuYW1pZGU

[38] Wikimedia Commons. 2016. **Mercaptobenzothiazole.** [Online]. Avialable : https:/ /commons.wikimedia.org/wiki/File:2-Mercaptobenzothiazole.png.

[39] Wikimedia Commons. 2016. **N- Isopropyl- N'- phenyl- p- phenylenediamine.** [Online]. Avialable : https:// commons. wikimedia. org/ wiki/ File: N- Isopropyl- N'- phenyl-p-phenyl enediamine.svg.

[40] SIGMA ALDRICH. 2016. **Dicumyl peroxide.** [Online]. Avialable : http://www.sig-maaldrich.com/catalog /product/aldrich /329541?lang= en& region=TH

[41] พงษ์ธร แซ่อุย. 2558. **กระบวนการผลิต.** [Online]. Avialable : http://www.mahido-lrubber.org/files/process.pdf

[42] บริษัท ไทยรับเบอร์ ซอร์สซิ่ง จำกัด. 2559. **โครงสร้างของสารรีเคลม.** [Online]. Available: http://www.thairubbersourcing.com/wp-content/uploads/2013/02/ s-s.jpg.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[43] B. Adhikari, D. De and S. Maiti. 2000. Reclamation and recycling of waste Rubber. Progress in Polymer Science 25 : 909-948.

[44] บริษัทต้าเหลียนฮั้วหันเครื่องจักรยางและพลาสติก. **กระบวนการผลิต.** [Online]. Available: http://th.etwinternational.com/1-1-3-two-roll-mill-784.html

[45] C.W. Brabender. 2011. **Food single srew extruders**. [Online]. Available : http://www.cwbrabender.com/Moreindustry/Snack/Food_single_screw_extruders.html

[46] ศูนย์วิจัยเทคโนโลยียาง. 2560. **เครื่องรีโอมิเตอร์แบบจานแกว่ง.** [Online]. Available : http://www.rubbercenter.org/dictionary/show.php?ID=205

[47] EKTRON TECH. 2014. **Oscillating Disc Rheometer.** [Online]. Avialable : https: //www.ektrontek.com/oscillating-disc-rheometer-ekt-100h.html.

[48] Dongguan City Gaoxin Testing Equipment Co., Ltd. 2558. **การทดสอบยางอุปกรณ์อุตสาหกรรม MDR Rheometer.** [Online]. Available : http://thai.professionaltest-equipment.com/sale-3325635-industrial-rubber-testing-equipment-mdr-with-astm-d5289-iso-6502.htm

[49] Rubber intelligence Unit. 2556. **เทคโนโลยีการขึ้นรูปยาง(forming).** [Online]. Available : http://rubber.oie.go.th/Article.aspx?aid=3404

[50] วีระพงศ์ สังวาล. 2557. **Thermogravimetric Analysis (TGA).** [Online]. Available : http://web2.mfu.ac.th/center/stic/thermal-analysis-instrument-menu/item/111-thermogravimetric-analysis-tga.html

[51] อิทธิพล แจ้งชัด. 2554. การทดลองที่ 1 การผสมและเชื่อมโยงยาง : อิทธิพลของสารตัวเติม. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[52] M. Mahdieh and M. Saeed. 2016. "Reclaiming waste tire rubber by an irradiation technique." Polymer Degadation and Stability. 128 : 115-125.

[53] R. Suganti, T. Ratnam, K. Mohammad, C. Abdullah and H. Svenja. 2017. "Improved crystallinity and dynamic mechanical properties of reclaimed waste tire rubber/ EVA blends under the influence of electron beam irradiation." Radiation Physics and Chemistry. 130 : 362-370.

[54] F. Krzysztof, K. Marek, C. Xavier and S. Mohammad. 2016. "Investigating the combined impact of plasticizer and shear force on the efficiency of low temperature reclaiming of ground tire rubber (GTR)." Polymer Degradation and Stability 125 : 1-11.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[55] S. Malihe, Z. Gholamhossein, C. Mahdi, M. Seyed, K. Majid and A. Said. 2016. "A new approach for reclaiming of waste automotive EPDM rubber using waste oil." Polymer Degradation and Stability. 129 : 55-62.

[56] K.A. Dubkov, S.V. Semikolenov, D.P. Ivanov, D.E. Babushkin, G.I. Panov and V.N. Parmon. 2012 "Reclamation of waste tyre rubber with nitrous oxide." Polymer Degradation and Stability 97 : 1123-1130.

[57] J.-Y. Xua, M. Shen, X.-Q. Wanga, C.-H. Chena and Z.-X. Xina. 2014. "The Effect of Reclaim Softener on Properties of Reclaimed Rubber. " Journal of Macromolecular Science, Part B. 53 : 1182-1192.

[58] Z. Lukasz, P. Marta, K. Marek, R. Mohammed, and F. Krzysztof. 2017. "Processing, physico-mechanical and thermal properties of reclaimed GTR and NBR/ reclaimed GTR blends as function of various additives." Polymer Degradation and Stability 143 : 186-195.

[59] พิพัฒน์ ไทยเจริญ, พัชณิดา วาทะกุล และ ศิริลักษณ์ พุ่มประดับ. 2551. "กระบวนการเชิงกลร่วมเคมีสำหรับยางรีเคลม." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[60] T. Yliopisto. 2016. **Mooney**. [Online]. Avialable : https://www.tut.fi/ms/muo/vert/9 test_methods/rubber compounds viscosity and scorch.htm.

[61] Nawi. 2013. **Rubber compounding basics.** [Online] . Avialable : https://rubbertech.wordpress.com/category/technical-notes.

[62] American Society for Testing and Materials (ASTM). 2016. Standard Test Method for Tensile Strength Properties of Rubber and Elastomers: D412-16.

[63] N. Baba, A. Suhaimi, M. Amin and M. Mohd. 2015. **Testing dumbbell shape.** [Online] . Avialable : https: / / www. researchgate. net/ figure/ 283955082 fig11 Testingdumbbell-shape-a-ASTM-D-412-type-C-and-b-hybrid-GFRP

[64] S. Hashemi, D. Dieter and W. Callister. 2017. **Tensile test.** [Online]. Available : http://www.cmerc.engratu.ac.th/document/Lab%205%20Tensile%test.pdf.

[65] American Society for Testing and Materials (ASTM). 2011. Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness: D2240-05.

[66] American Society for Testing and Materials (ASTM). 2006. Standard Test Methods for Determination of Gel Content and Swell Ratio of Crosslinked Polymer: D27651.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[67] T. Yasuyukianaka, S. Toshiaki and K. Atsuko. 1996. **Depolymerized natural rubber and process for preparation thereof.** [Online] . Avialable : https://patents. google.com/patent/EP0702029A1/en

[68] Andrew Hancock. 2011. **Vulcanization.** [Online] . Avialable : http://www. chm.bris.ac.uk/webprojects2003/hancock/index.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คำรับรองเล่มโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา

วันที่ 17 เดือน พฤษภาคม พ.ศ.2561

ข้าพเจ้า นางสาวพิชามญช์ ตั้งศิวานนท์ รหัสประจำตัว 57050475
นางสาวรติชา คงสุวรรณ์ รหัสประจำตัว 57050493
นางสาววริศรา รอดวงษ์ รหัสประจำตัว 57050505

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม ภาควิชา เคมี
ขอรับรองว่าสหกิจศึกษา เรื่อง
ชื่อภาษาไทย การปรับปรุงสมบัติยางรีเคลมโดยการใช้ขยะถุงมือยาง
ชื่อภาษาอังกฤษ Improvement of reclaim rubber properties by using rubber glove wastes
ปีการศึกษา 2560
เป็นผลงานวิจัยที่มิได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์
โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์ 0.25%

ลงชื่อ พิชามญช์ ตั้งศิวานนท์ ลงชื่อ รติชา คงสุวรรณ์ ลงชื่อ วริศรา รอดวงษ์

(นางสาวพิชามญช์ ตั้งศิวานนท์) (นางสาวรติชา คงสุวรรณ์) (นางสาววริศรา รอดวงษ์)
นักศึกษา นักศึกษา นักศึกษา

ข้าพเจ้า รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด อาจารย์ที่ปรึกษาสหกิจศึกษาได้ตรวจสอบสหกิจศึกษาของนักศึกษาข้างต้นแล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงขอลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....
(รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด)
อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้