การปรับปรุงคุณสมบัติของยางกะเทาะเปลือก ด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต

Improving the Properties of Rubber Roll Husker with Calcium Carbonate

กมลาภา เรืองสิริสมบัติ อภิชาติ อาจนาเสียว
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสารตัวเติมในการผสมยางคอมพาวด์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของยางกะเทาะเปลือกให้ทนทานต่อการใช้งานให้นานยิ่งขึ้น ซึ่งสารตัวเติมที่ใช้ในงานนี้ ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนตและซิลิกา โดยผสมแคลเซียมคาร์บอเนตและซิลิกาที่อัตราส่วนต่าง ๆ กัน 5 สูตร (CC10-Si50, CC20-Si40, CC30-Si30, CC40-Si20 และ CC50-Si10) เทียบกับสูตรยางคอมพาวด์ทั่วไป (CC00-Si60) และทำการศึกษาความต้านทานแรงดึง ความยืด ความแข็งทั้งก่อนบ่มเร่งและหลังบ่มเร่งที่ 80 ^{0}C ค่าทอร์กต่ำสุดและค่าทอร์กสูงสุดตามมาตรฐาน จากผลการศึกษาพบว่า ยางคอมพาวด์สูตรที่มีแคลเซียมคาร์บอเนต 20 phr และซิลิกา 40 phr (CC20-Si40) มีค่าความต้านทานแรงดึง 26.3 MPa ค่าความยืด 545% ความแข็งก่อนบ่มเร่ง 77.8 IRHD หลังบ่มเร่ง 77.9 IRHD และค่าทอร์กต่ำสุด 2.21 dN-M ค่าทอร์กสูงสุด 28.52 dN-M ตามลำดับ ซึ่งมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดจากสูตรทั้งหมด และเมื่อเทียบกับสูตรยางคอมพาวด์ทั่วไปให้ผลที่ดีกว่าเช่นกัน

คำสำคัญ : ยางกะเทาะเปลือก ยางคอมพาวด์ แคลเซียมคาร์บอเนต

Abstract

This research aimed to study the effect of fillers in a rubber compound for improving the mechanical properties of rubber roll husker to withstand longer usage. There were two types of fillers in this mixture, such as calcium carbonate and silica. In this experiment, five rations of calcium carbonate and silica were studied (CC10-Si50, CC20-Si40, CC30-Si30, CC40-Si20 and CC50-Si10) by comparing with general rubber compound ratio (CC00-Si60). Additionally, tensile strength, elongation, hardness at pre- and post-accelerated curing and minimum and maximum torques were also investigated. The result was found that calcium carbonate at 20 phr and silica at 40 phr (CC20-Si40) showed highest mechanical properties, that is the tensile strength of 26.3 MPa, elongation of 545%, hardness at pre- and post-accelerated curing of 77.8 and 77.9 IRHD, minimum and maximum torques of 2.21 and 28.52 dN-M, respectively. In addition, this ratio provided better mechanical properties filer than the general rubber compound ratio as well.

Keywords: Rubber roll husker, Compound rubber, Calcium carbonate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

การกะเทาะเปลือกเป็นขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการสีข้าว ซึ่งเป็นการแยกเปลือกและเมล็ดข้าวออกจากกัน โดยเครื่องจักรประกอบไปด้วยยางกะเทาะ 2 ลูกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 นิ้ว ความยาว 10 นิ้ว เนื้อยางมีความหนา 1 นิ้ว หล่ออยู่บนแกนเหล็ก ยางกะเทาะด้านซ้ายจะถูกติดตั้งอยู่กับที่ ส่วนยางกะเทาะด้านขวาจะถูกติดตั้งบนเพลาที่สามารถปรับเข้า-ออกได้เพื่อปรับระยะห่างระหว่างยางกะเทาะซึ่งยางกะเทาะทั้งสองลูกจะหมุนในทิศทางตรงข้ามกัน โดยที่ยางกะเทาะที่เพลาเคลื่อนที่ได้นั้นจะมีความเร็วในการหมุนช้ากว่ายางกะเทาะที่อยู่กับที่ ความเร็วรอบยางกะเทาะที่เหมาะสมที่มีอัตราการกะเทาะสูงสุดคือ รอบเร็ว 1050 รอบ/นาที รอบช้า 865 รอบ/นาที ซึ่งมีผลทำให้ความเร็วเชิงเส้นของยางกะเทาะต่างกันที่ 25 เปอร์เซ็นต์ [1] โดยมีลักษณะการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 หลักการทำงานของเครื่องกะเทาะ

ลูกยางกะเทาะเปลือกจะเกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากอุณหภูมิของลูกยางสูงขึ้นซึ่งเกิดจากการเสียดสีกันระหว่างเมล็ดข้าวกับลูกยางกะเทาะมีผลให้ในทางปฏิบัติงานพนักงานต้องคอยเปลี่ยนสลับลูกยางกะเทาะอยู่เสมอในระหว่างการสีข้าว หรือทำการพักลูกยางทุก 8 ชั่วโมง เพื่อลดอุณหภูมิของยางกะเทาะ

ยางกะเทาะที่มีอยู่ในท้องตลาดทั่วไปมีข้อกำหนดตามมาตราฐาน มอก.633-2529 [2] โดยมีค่าแรงต้านทานการดึง 9.8 MPa ค่าความยืดร้อยละ 200 ค่าความแข็งก่อนบ่มเร่ง 80-95(+/-3) IRHD และค่าความแข็งหลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 80 C 72(+/-10) IRHD แต่จากการศึกษาของอภิชาติ อาจนาเสียวและคณะ [3] พบว่าเมื่ออุณหภูมิของยางกะเทาะเพิ่มขึ้นข้าวเปลือกที่กะเทาะได้มีการแตกหักเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการปรับปรุงคุณสมบัติของยางกะเทาะจึงมีความจำเป็น จากการสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า ยังไม่มีงานวิจัยใดที่ทำการปรับปรุงคุณสมบัติของยางกะเทาะเปลือก แต่พบว่าจากงานวิจัยของวีรเดช พิณเสนาะ และคณะ[4] ได้ทำการผสมสารตัวเติมชนิดซิลิกา และแคลเซียมคาร์บอเนตในยางโฟมธรรมชาติ พบว่าสมบัติการต้านทานต่อแรงดึงมีค่าลดลงมีซิลิกามีค่ามากกว่าที่ 20 phr และปริมาณสารตัวเติมซิลิการและแคลเซียมคาร์บอเนตที่เหมาะสมคือ 20 phr และ 20-30 phr ตามลำดับ ในปี 2559 ชำนาญ วิทย์และคณะ[5] ได้ศึกษาการเติมนาโนแคลเซียมคาร์บอเนตในยางธรรมชาติ พบว่า ยางธรรมชาติที่มีการเติมนาโนแคลเซียมคาร์บอเนตจะมีสมบัติเชิงกลได้ดีกว่ายางธรรมชาติทั่วไปคือ ค่ามอดูลัสและความทนทานต่อแรงดึงที่ดีขึ้น และในปี 2550 บุษยา รัตนสุภา และ วิรัญญา แก้ววัฒนะ[6] ได้ศึกษาสารตัวเติม 3 ชนิด คือ แคลซียมคาร์บอเนต ดินขาว และซีโอไลท์ที่ได้จากธรรมชาติในยางสังเคราะห์ชนิด EPDM พบว่าเมื่อมีปริมาณสารตัวเติมที่เท่ากัน การเติมด้วยแคลเซียมคาร์บอเนต จะสุกเร็วที่สุดและมีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด จากการศึกษางานวิจัยข้างต้นพบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตสามารถเพิ่มคุณสมบัติเชิงกลได้ดี ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการปรับปรุงสมบัติของยางกะเทาะเปลือกโดยใช้สารตัวเติมในการผสมยางคอมพาวด์ด้วยการผสมแคลเซียมคาร์บอเนตเพื่อเพิ่มคุณสมบัติเชิงกลของยางกะเทาะเปลือกให้ทนทานต่อการใช้งานให้นานยิ่งขึ้น แต่การเติมสารตัวเติมในสูตรยางคอมพาวด์ปกตินั้นจะมีสารตัวเติมไม่เกิน 60 phr (phr หรือ past of hundred of rubber คือ ส่วนโดยมวลของสารนั้นในส่วนผสมของยาง100 ส่วนโดยมวล) [7] เพราะในกรณีที่มีการเติมมากเกินไปจะทำให้ยางเกิดการบวม การปูด จนไปถึงทำให้ยางขึ้นรูปไม่ได้ ปัจจุบันสารตัวเติมปกติจากสูตรยางคอมพาวด์ใช้เฉพาะซิลิกาเท่านั้นซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับแคลเซียมคาร์บอเนตแล้วพบว่าซิลิกามีราคาที่สูงมากกว่าแคลเซียมคาร์บอเนต แต่ในการใช้งานจริงต้องมีการเติมซิลิกาด้วยเนื่องจากต้องการสมบัติบางอย่างของซิลิกาดังนั้นปริมาณของสารตัวเติมทั้งซิลิกาและแคลเซียมคาร์บอเนตต้องรวมกันไม่เกินที่ 60 phr และเติมสารเคมีที่ใช้สำหรับยางคอมพาวด์เพื่อให้ยางความพาวด์มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการใช้งานดังแสดงในตารางที่ 1 [8]

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การนำยางกะเทาะเปลือกในท้องตลาดมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อเป็นข้อมูลในการปรับปรุงยางกะเทาะเปลือกผู้วิจัยได้นำตัวอย่างของยางกะเทาะเปลือกทั่วไปในท้องตลาด ได้แก่ บริษัท ก บริษัท ข บริษัท ค บริษัท ง บริษัท จ บริษัท ฉ บริษัท ช และบริษัท ซ มาทำการทดสอบคุณสมบัติดังนี้ ค่าทดสอบค่าแรงต้านทานการดึงตามมาตรฐาน ASTM D412 [9] ค่าความยืดตามมาตรฐาน ASTM D412[9] ค่าความแข็งทั้งก่อนบ่มเร่งและหลังบ่มเร่งที่ 80C ตามมาตรฐาน Shore A [10] นอกจากนี้ยังนำลูกยางกะเทาะจากบางบริษัทมาทำการทดสอบลักษณะทางกายภาพ คือ น้ำหนักของแกนและของยาง น้ำหนักเฉพาะแกน น้ำหนักเฉพาะลูกยาง ความหนาเฉพาะลูกยาง ลักษณะผิวของลูกยาง ชนิดแกน จำนวนรูน็อต และความหนาของแกนเพิ่มเติมด้วย

2.2 การปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของยางกะเทาะเปลือก

ขั้นแรกทำการผสมยางคอมพาวด์จากสูตรยางคอมพาวด์สูตรปกติก่อน โดยนำยางไนไตรล์ความบริสุทธิ์ 40% มาทำการผสมสารเคมียางโดยใช้เครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (two-roll mill) ให้ความร้อนที่ 80 C จึงนำสารเคมียางมาผสมตามลำดับขั้น ดังนี้ ซิงค์ออกไซด์ กรดเสตียริก ซัลเฟอร์ ฟีโนลิกเรซิน ซิลิกา ไทเทเนียมไดออกไซด์ ไดออกทิลพาเลท ไดเอทิลีนไกลคอล แอคซิเคียวทีเอ็มทีดี และมอนเฟล็กซ์ซีบีเอส ตามลำดับ ซึ่งสมบัติของสารเคมีต่างๆมีผลต่อยางคอมพาวด์ชนิดยางไนไตรล์แสดงในตารางที่ 1 แล้วนำยางทั่วไปอัดเบ้าด้วยเครื่องอัดเบ้าแบบไฮโดรลิก โดยใช้อุณหภูมิ 150 C ตามเวลา 90% cure time จากนั้นทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ดังนี้ ทดสอบค่าแรงต้านทานการดึงตามมาตรฐาน ASTM D412 ค่าความยืดตามมาตรฐาน ASTM D412 ค่าความแข็งทั้งก่อนบ่มเร่งและหลังบ่มเร่งที่ 80C ตามมาตราฐาน shore A ค่าทอร์กต่ำสุดและค่าทอร์กสูงสุดโดยเครื่อง MDR (Moving Die Rheometer) ที่ 150 C จากนั้นทำการปรับปรุงยางคอมพาวด์โดยนำยางไนไตรล์ความบริสุทธิ์ 40% มาทำการผสมสารเคมียางโดยใช้เครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้งให้ความร้อนที่ 80C จึงนำสารเคมียางมาผสมตามลำดับที่แสดงในตารางที่ 1 โดยใช้สารตัวเติมชนิดซิลิกาเป็นสารตัวเติมชนิดเสริมแรงและเป็นสารเข้ากับยางมีขั้วสูงเช่นยางNBR ได้ดี ผลของการเสริมแรงของซิลิกาจะทำให้ยางมีความทนทานต่อการฉีกขาดความแข็งและความต้านทานต่อการขัดถูมากขึ้น ส่วนแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งเป็นสารตัวเติมอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง มีหลายเกรด โดยเกรดที่เลือกใช้คือเกรดที่มีการผสมสารเสตียเรท ซึ่งจะทำให้ซิลิกาและแคลเซียมคาร์บอเนตมีการกระจายตัวได้ดีขึ้น การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตจะทำให้ยางคอมพาวด์มีคุณสมบัติเชิงกลของยางเพิ่มขึ้น แต่เพื่อป้องกันการบวมของยาง ในการทดลองนี้จึงรักษาผลรวมของปริมาณซิลิกาและแคลเซียมคาร์บอเนตให้คงที่เท่ากับ 60 phr ทุกการทดลอง ซึ่งสภาวะในการทดลองคือปริมาณโดยน้ำหนักของแคลเซียมคาร์บอเนต-ซิลิกา (CC-Si) เท่ากับ CC10-Si50, CC20-Si40 , CC30-Si30 , CC40- Si20 และ CC 50-Si10 ตามลำดับ เนื่องจากในยางคอมพาวด์ปกติจะมีการเติมสารตัวเติมไม่เกิน 60 phr เพราะถ้าเติมมากกว่านี้จะทำให้ยางไม่สามารถขึ้นรูปได้หรือเรียกทั่วไปได้ว่ายางบวม จากนั้นนำยางคอมพาวด์ที่ปรับปรุงแล้วอัดเบ้าด้วยเครื่องอัดเบ้าแบบไฮโดรลิก โดยใช้อุณหภูมิ 150 ^{0} C ตามเวลา 90% cure time ก่อนนำมาทดสอบค่าคุณสมบัติเชิงกล คือ ค่าแรงต้านทานการดึงตามมาตรฐาน ASTM D412 ค่าความยืดตามมาตรฐาน ASTM D412

ตารางที่ 1 สมบัติของสารเคมีต่างๆที่มีผลต่อยางคอมพาวด์ชนิดยางไนไตรล์

สารเคมี	ผลที่มีต่อยางคอมพาวด์
ซิงค์ออกไซด์	สารกระตุ้นปฏิกิริยาคงรูป
แคลเซียมคาร์บอเนต	เพิ่มความแข็งของยางและช่วยกระตุ้นปฏิริยาได้เล็กน้อย
กรดเสตียริก	สารกระตุ้นปฏิกิริยา
ซัลเฟอร์	สารทำให้ยางคงรูป
ฟีโนลิกเรซิน	สารทำให้ยางนิ่มและทำให้ยางเข้ากับสารตัวเติมต่างๆได้ดี
ซิลิกา	สารตัวเติมเสริมแรง
ไทเทเนียมไดออกไซด์	สารเพิ่มสี
ไดออกทิลพาเลท	เพิ่มความยืดหยุ่นและลดความแข็งเปราะ
ไดเอทิลีนไกลคอล	เร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ ผลิตยางได้ง่ายขึ้น
แอคซิเคียวทีเอ็มทีดี	สารเร่งสภาพ cure
มอนเฟล็กซ์ซีบีเอส	สารเร่งปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความแข็งทั้งก่อนบ่มเร่งและหลังบ่มเร่งที่ 80 C ตามมาตราฐาน shore A ค่าทอร์กต่ำสุดและค่าทอร์กสูงสุดโดยเครื่อง MDR ที่ 150 C

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 ยางกะเทาะเปลือกที่ใช้ในการท้องตลาดทั่วไป

ผลการทดสอบค่าแรงต้านทานการดึง ค่าความยืด ค่าความแข็งก่อนบ่มเร่ง และค่าความแข็ง หลังบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 80 C ของยางกะเทาะที่ใช้ทั่วไปในท้องตลาดแสดงตามตาราง 2 ที่2 จากผลการทดสอบยางกะเทาะเปลือกข้าวที่นิยมใช้ในท้องตลาดทั่วไปมีสมบัติเชิงกลสูงกว่ามาตรฐาน มอก. มาก มีผลให้การยื่นขอจดรับรอง มอก. ของบริษัทต่างๆ มีน้อย โดยยางจากเวียดนาม (บริษัท ค) มีสมบัติดีกว่ายางที่ผลิตในเมืองไทยเกือบเท่าตัว ซึ่งถือว่าเป็นข้อดีของยางกะเทาะจากเวียดนาม ส่วนสมบัติทางกายภาพของยางกะเทาะที่นิยมใช้ในท้องตลาดแสดงในตารางที่ 3พบว่า ยางที่ผลิตในเมืองไทยทั้งหมดใช้แกนเหล็กหล่อมีผลให้น้ำหนักใกล้เคียงกัน ส่วนยางจาก

ตารางที่ 2 ค่าแรงต้านทานการดึง ค่าความยืด และค่าความแข็งก่อนบ่มเร่งและหลังบ่มเร่งที่ 80 ^{0}C ของยางกะเทาะที่นิยมใช้

รายการทดสอบ	หน่วย	มอก	บริษัท ก	บริษัท ข	บริษัท ค	บริษัท ง	บริษัท จ	บริษัท ฉ	บริษัท ช	บริษัท ซ
ค่าแรงต้านทานการดึง	MPa	9.8	18.6	19.3	26.4	15.8	19.8	15	15	24
ค่าความยืด	%	200	288	253	333	273	281	400	400	290
ค่าความแข็ง (ก่อนบ่มเร่ง)	IRHD	80-95 (+/-3)	87	93	96	92	95	85	90	90
ค่าความแข็ง (หลังบ่มเร่ง)	IRHD	72 (+/-10)	82	91	94	93	96	80	81	88

ตารางที่ 3 สมบัติทางกายภาพของยางกะเทาะที่นิยมใช้

รายการทดสอบ	บริษัท ก	บริษัท ข	บริษัท ค	บริษัท ง	บริษัท จ
น้ำหนักรวมแกน+ยาง (กก.)	13.7	13.5	7.8	10.1	12.3
น้ำหนักเฉพาะแกน (กก.)	7	7.2	2.2	4	7.1
น้ำหนักเฉพาะลูกยาง (กก.)	6.7	6.3	5.6	6.1	5.2
ความหนาเฉพาะลูกยาง (มม.)	280	260	250	250	230
ชนิดแกน	แกนเหล็กม้วน	แกนเหล็กหล่อ	แกนอลูมิเนียม	แกนเหล็กหล่อ	แกนเหล็กหล่อ
จำนวนรูน๊อต (รู)	4	4	4	4	4
ความหนาของแกน (มม.)	4	5	5	3	5

ตารางที่ 4 ส่วนประกอบทางเคมีของยางกะเทาะที่นิยมใช้ในตลาด 2 ชนิด ที่ทดสอบด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analysis (TGA) Pyris 1 ของ Perkin Elmer ตามมาตรฐาน ASTM D6370-99 (2009)

ลูกยางที่นำมาทดสอบ	สารที่ระเหยได้ (%)	โพลีเมอร์ (%)	สารตัวเติม และเถ้า(%)
ยางบริษัท ค (เวียดนาม)	4.8	49	46.2
ยางบริษัท ข	5.4	48.7	45.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

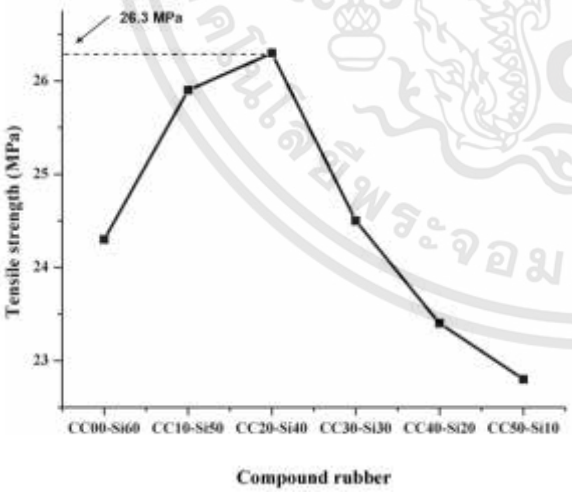
เวียดนามใช้แกนอลูมิเนียมจึงมีผลทำให้มีน้ำหนักเบากว่าเกือบเท่าตัว ซึ่งจะมีผลให้ใช้พลังงานน้อยกว่าด้วย ถือว่าเป็นข้อดีของยางกะเทาะจากเวียดนาม ส่วนสารประกอบทางเคมี ที่ทดสอบด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analysis (TGA) Pyris 1 ของ Perkin Elmer ตามมาตรฐาน ASTM D6370-99 (2009) [10] ทำการทดสอบยางเพียง 2 ชนิด แสดงตามตารางที่ 4 พบว่า ยางเวียดนามและยางที่ผลิตในเมืองไทยมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้น สมบัติเชิงกลของยางเวียดนามที่ดีกว่าน่าจะเป็นผลมาจากกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน

3.2 ยางกะเทาะเปลือกที่ทำการปรับปรุงสมบัติแล้ว

เนื่องจากต้องการศึกษาอิทธิพลของสารตัวเติมชนิดแคลเซียมคาร์บอร์เนตจึงต้องทำการผสมยางโดยไม่มีสารตัวเติมชนิดนี้ และมีสารตัวเติมชนิดซิลิกาเท่านั้น (CC00-Si60) จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับยางคอมพาวด์ที่มีสารตัวเติมชนิดแคลเซียมคาร์บอเนตที่ 10-50 phr จะได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

3.2.1 ค่าแรงต้านทานการดึง (Tensile strength)

ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 2 พบว่าเมื่อปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตเพิ่มขึ้น ค่าแรงต้านทานการดึงมีค่าเพิ่มขึ้นโดยค่าแรงต้านทานการดึงสูงสุดเท่ากับ 26.3 MPa ซึ่งค่าแรงต้านทานการดึงนี้มีค่ามากกว่าค่าของยางที่ไม่มีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตถึง 8.7% ที่ส่วนผสม CC-Si เท่ากับ CC20-Si40 เนื่องมาจากแคลเซียมคาร์บอเนตมีคุณสมบัติเด่นคือ ทำให้ส่วนประกอบต่างๆ ในยางคอมพาวด์กระจายตัวในเนื้อยางได้ดีขึ้นและมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นจากพันธะเสตียเรท [7] ดังนั้นเมื่อปริมาณแคลเซียม



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ของแคลเซียมคาร์บอเนต-ซิลิกา (CC-Si) กับค่าแรงต้านทานการดึงของยางกะเทาะ

3.2.2 ค่าความยืด (Elongation)

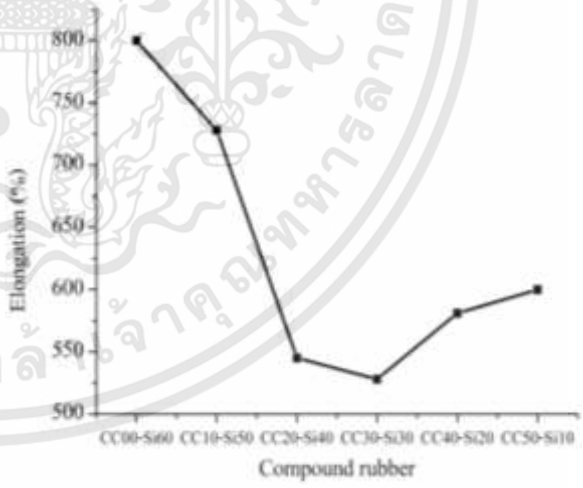
ค่าความยืดคำนวณได้จากสมการที่ 1 [11]

$$\%Elongation = \frac{\Delta L}{L_0} x\ 100 \qquad (1)$$

ΔL คือ ความยาวสุดท้าย–ความยาวเริ่มต้นของชิ้นงาน

L_0 คือ ความยาวเดิมของชิ้นงาน

ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 3 ที่พบว่า แนวโน้มเป็นตามที่คาดการณ์ คือ ค่าความยืดของยางกะเทาะมีค่าผกผันกับค่าแรงต้านทานการดึงของยางกะเทาะ โดยมีค่าต่ำที่สุดที่ส่วนผสม CC30-Si30 เท่ากับ 528 % อย่างไรก็ตามค่าความยืดน้อยที่สุดนี้ยังมีค่ามากกว่าค่าตามมาตรฐาน มอก. ที่มีค่าเพียง 200% เท่านั้น

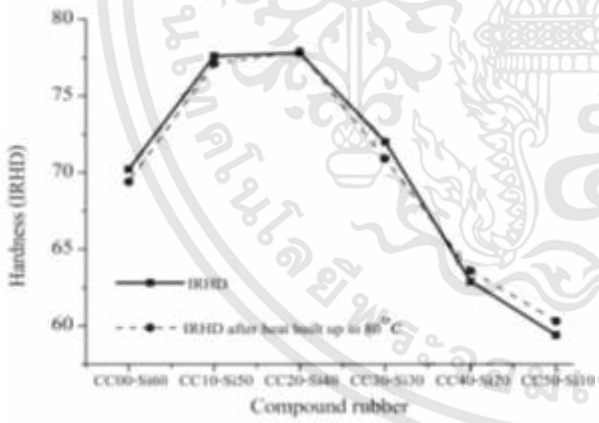


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ของแคลเซียมคาร์บอเนต-ซิลิกา (CC-Si) กับค่าความยืดของยางกะเทาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ค่าความแข็งก่อนบ่มเร่งและค่าความแข็งหลังบ่มเร่งที่ 80 °C (Hardness)

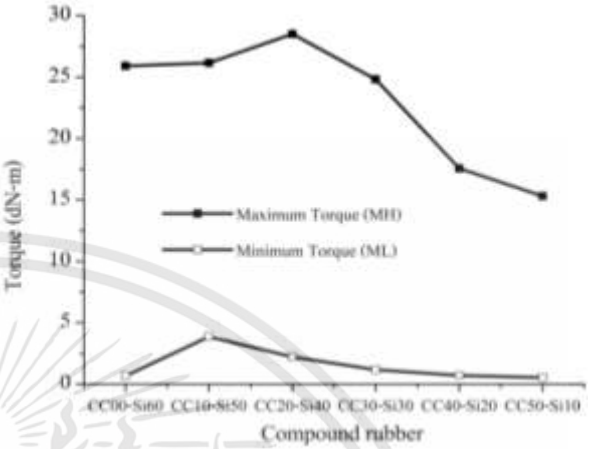
ความแข็งของยางเป็นสมบัติที่สำคัญของยางกะเทาะโดยในการทดสอบยางกะเทาะเปลือกข้าวจะทดสอบทั้งข้าวเหนียวและข้าวหอมมะลิ เนื่องจากความหนาของเปลือกข้าวแต่ละชนิดจะไม่เท่ากัน ข้าวเหนียวจะมีเปลือกที่หนากว่าข้าวหอมมะลิ [1] รวมไปถึงเมื่อใช้งานยางกะเทาะไป 3-4 ชั่วโมง จะมีความร้อนเกิดขึ้น ดังนั้นการทดสอบความแข็งของยางกะเทาะทั้งก่อนและหลังบ่มเร่งที่ 80 °C จึงมีความจำเป็น ซึ่งผลการทดสอบความแข็งของยางกะเทาะทั้งก่อนและหลังบ่มเร่งที่ 80 °C แสดงในรูปที่ 4 ที่พบว่า แนวโน้มเป็นไปตามที่คาดการณ์ คือ มีค่าแปรผันตรงกับค่าแรงต้านทานการดึงของยางกะเทาะ โดยมีค่าความแข็งก่อนบ่มเร่งสูงสุดเท่ากับ 77.8 IRHD และมีค่าความแข็งหลังบ่มเร่งที่ 80 °C สูงสุดเท่ากับ 77.9 IRHD ที่ส่วนผสม CC20-Si40 ซึ่งมากกว่าค่าความแข็งตามมาตรฐาน มอก.ที่ต้องมีค่าความแข็งก่อนบ่มเร่งไม่ต่ำกว่า 80-95 (+/-3) IRHD และค่าความแข็งหลังบ่มเร่งที่ 80 °C ไม่ต่ำกว่า 72(+/-10) IRHD



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของแคลเซียมคาร์บอเนต-ซิลิกา (CC-Si) กับค่าความแข็งทั้งก่อนบ่มเร่งและหลังบ่มเร่งที่ 80 °C

3.2.4 ค่าทอร์กต่ำสุดและทอร์กสูงสุด

ค่าทอร์กต่ำสุดและค่าทอร์กสูงสุดของยางแสดงในรูปที่ 5 โดยส่วนต่างของค่าทอร์กสูงสุดและค่าทอร์กสูงสุด (MH - ML = ΔM) แสดงถึงความหนาแน่นของการเชื่อมโยงพันธะของสารประกอบยาง [7] กรณีค่า ΔM มีค่ามาก แสดงว่ายางมีการเชื่อมโยงพันธะดี จากรูปที่ 5 พบว่าที่ส่วนประกอบ CC20-Si40 มีค่า ΔM มากที่สุด ซึ่งเป็นการสนับสนุนการทดสอบก่อนหน้านี้ที่ระบุว่าที่ส่วนผสมนี้ให้ยางที่มีความแข็งแรงสูงสุด



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ของแคลเซียมคาร์บอเนต-ซิลิกา (CC-Si) กับค่าทอร์กต่ำสุดและทอร์กสูงสุด

4. สรุปผลการทดลอง

การปรับปรุงคุณสมบัติของยางกะเทาะเปลือกโดยการเติมสารตัวเติมชนิดซิลิกาและแคลเซียมคาร์บอเนตในยางคอมพาวด์ ซึ่งสารตัวเติมที่ใช้ในงานนี้ โดยผสมแคลเซียมคาร์บอเนตและซิลิกาที่อัตราส่วนต่าง ๆ กัน 5 สูตร (CC10-Si50, CC20-Si40, CC30-Si30, CC40-Si20 และ CC50-Si10) เทียบกับสูตรยางคอมพาวด์ทั่วไป (CC00-Si60) ผลจากการทดลอง พบว่า การเติมแคลเซียมคาร์บอเนต 20 phr และซิลิกา 40 phr (CC20-Si40) ทำให้ยางคอมพาวด์มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดกล่าวคือความต้านทานแรงดึง ความยืด ความแข็งทั้งก่อนบ่มเร่งและหลังบ่มเร่งที่ 80 °C ค่าทอร์กต่ำสุดและค่าทอร์กสูงสุดตามมาตรฐาน จากผลการศึกษาพบว่า ยางคอมพาวด์สูตรที่มีแคลเซียมคาร์บอเนต 20 phr และซิลิกา 40 phr (CC20-Si40) มีค่าความต้านทานแรงดึง 26.3 MPa ค่าความยืด 545% ความแข็งก่อนบ่มเร่ง 77.8 IRHD หลังบ่มเร่ง 77.9 IRHD และค่าทอร์กต่ำสุด 2.21 dN-M ค่าทอร์กสูงสุด 28.52 dN-M ตามลำดับเมื่อเทียบกับยางคอมพาวด์ทั่วไป (CC00-Si60) เนื่องจากซิลิกาและแคลเซียมคาร์บอเนตจัดเป็นสารเสริมแรงทำให้คุณสมบัติเชิงกลของยางคอมพาวด์ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เอกสารอ้างอิง

[1] J. Nissayan and A. Artnaseaw, "Increasing an efficiency of Jasmine Rice Mill," In proceedings of 12th Khon Kaen University graduate Research conference: science, pp. PMO15, Khon Kaen, Thailand, 2011.

[2] TISI. 633-2529. Thai Industrial Standards Institute, Vol. 103, No. 132, Thailand, 1985.

[3] A. Artnaseaw and S. Weawdee , "Reducing Broken Rice in Rice Mill (Part 1 : Drying , Cleaning and Dehusking)," In proceedings of 12th Sripatum University Research conference: Industrial Engineering,Petchaburi , Thailand, 2012.

[4] V. Pinsanor, S . Junpoonsup , S. Patcharaphun ,and N. Sombatsompop , "Effect of silica, Calcium Carbonate, amd SiO_2 /$CaCO_3$ Blends on properties of cellular NR compounds," Journal of Science and Technology: science,Vol.25, No.1, pp. 75-90, 2003.

[5] C. Penwong, W. Teewong, S. Sakulkhaemaruethai, C.Sakulkhaemaruethai, "Effect of Nano Calcium Carbornate on Natural Rubber Properties," Journal of science, Vol.32, No.2, pp.61-75, 2016.

[6] B. Rattanasuoa and W. Kaewwattana , "Development of rubber compound based on NR and EPDM for playground rubber mat," In proceedings of 45th Kasetsart University Research conference: science, pp. 584-591, Bangkok, Thailand, 2007.

[7] P. Sae-oui, "Rubber", Vol. 2, pp. 70-98, Bangkok. Se-education,. 2007.

[8] ASTM D412-16, Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016.available from: http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?D412, 2018.

[9] Shore Durometer, Internet Available http://en.wikipedia.org/wiki/Durometer, 2018.

[10] ASTM D6370-99(2019), Standard Test Methods for Rubber–Compositonal Analysis by Thermogravimotry (TGA), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.available from: http://www.astm.org/standards/D6370. htm, 2019.

[11] IPC-TM-650 TEST METHODS MANUAL, The Instistute for Interconnecting and Packaging Electronics Circuits, Illinois, USA, available from: https://www.ipc.org/TM/2.4.18.3.pdf,2018.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้