

<http://journal.rmutp.ac.th/>

ผลกระทบของกรดไขมันอิสระที่เติมอยู่ในน้ำมันปาล์มต่อสมบัติความหนืด การวัลคาไนซ์ และสมบัติเชิงกล ของคอมพาวนด์ยางธรรมชาติผสมเขม่าดำ

ศิวโรฒ บุญราศรี^{1*} จันทรจิรา เหลลราช² และ พรชัย ราชชนะพันธ์³

¹ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

² คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

³ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

^{1,2,3} หมู่ 4 ถนนเชียงใหม่-พร้าว ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

³ 239 ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200

รับบทความ 16 กุมภาพันธ์ 2565 แก้ไขบทความ 23 สิงหาคม 2565 ตอรับบทความ 28 กันยายน 2565

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของกรดไขมันอิสระที่เติมลงไปน้ำมันปาล์มที่มีต่อสมบัติของคอมพาวนด์ยางธรรมชาติที่ผสมกับสารตัวเติมเขม่าดำ โดยใช้ไขมันปาล์มที่เติมกรดไขมันอิสระ (เติมกรดโอเลอิกปริมาณ 15% โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม) เป็นสารกระตุ้นเปรียบเทียบกับการใช้กรดสเตียริก ตั้งแต่ 1-7 phr (ส่วนโดยน้ำหนักต่อยาง 100 ส่วน) ศึกษาสมบัติต่าง ๆ เช่น ความหนืดโมดูลัส เวลาที่ยางวัลคาไนซ์ เวลาที่ยางวัลคาไนซ์ 300% โมดูลัส ความต้านทานแรงดึง และความยืดสูงสุด ณ จุดขาด ผลที่ได้พบว่ากรดสเตียริกจะให้ค่าความหนืดโมดูลัสนี้ที่น้อยกว่าน้ำมันปาล์มเล็กน้อย แต่เวลาที่ยางวัลคาไนซ์และเวลาที่ยางวัลคาไนซ์มากกว่า การใช้กรดสเตียริกและน้ำมันปาล์มเพิ่มขึ้นในยางคอมพาวด์ มีผลให้ค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาด มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่า 300% โมดูลัส และความต้านทานแรงดึงของยางวัลคาไนซ์มีแนวโน้มลดลง ยางคอมพาวด์ที่ผสมกับน้ำมันปาล์มปริมาณ 3 phr ให้สมบัติด้านการวัลคาไนซ์ และสมบัติเชิงกลดีที่สุดดังนี้ เวลาคงรูป 8.15 ± 0.3 นาที และค่าความต้านทานแรงดึง 24.92 ± 0.4

คำสำคัญ : คอมพาวนด์ยางธรรมชาติ; น้ำมันปาล์ม; สารกระตุ้น; กรดไขมันอิสระ; เขม่าดำ

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +669 0519 4926, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: siwarote.b@mju.ac.th

<http://journal.rmutp.ac.th/>

Effect of Free fatty Acid Added in Palm Oil on Viscosity, Cure Characteristics and Mechanical Properties of Carbon Black Filled Natural Rubber Compounds

Siwarote Boonrasri^{1*} Chanchira Laorach² and Pornchai Rachtanapun³

¹Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University

²Faculty of Liberal Arts, Maejo University

³Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University

^{1,2}63 Moo 4, Nong Han Subdistrict, San Sai District, Chiang Mai Province 50290

³239 Huay Kaew Road, Su Thep Subdistrict, Mueang Chiang Mai District, Chiang Mai Province 50200

Received 16 February 2022; Revised 23 August 2022; Accepted 28 September 2022

Abstract

This research studied the carbon black filled natural rubber (NR) incorporated with palm oil contained free fatty acid (oleic acid added of 15% by palm oil weight) or stearic acid as activators were developed and characterized. The effects of the palm oil and stearic acid content (1–7 phr (part per hundred of rubber)) on the advanced natural rubber compounds' properties were determined by measuring the Mooney viscosities, the scorch time, the curing time, 300% modulus, tensile strength, as well as elongation at break. It was found that the Mooney viscosities of the rubber compound with steric acid were lower than the compound with palm oil while the scorch time and the curing time were longer. As the stearic acid and palm oil in compound increased, elongation at break increased but 300% modulus and tensile strength of vulcanizes trended to decrease. The compound with 3 phr of palm oil displayed good cure and mechanical properties such as 8.15±0.3 minutes of cure time and 24.92±0.4 of tensile strength.

Keywords : Natural Rubber Compound; Palm Oil; Activator; Free Fatty Acid; Carbon Black

* Corresponding Author. Tel.: +669 0519 4926, E-mail Address: siwarote.b@mju.ac.th

1. บทนำ

ในระบบการวัลคาไนซ์ยางด้วยกำมะถันมีสารที่จำเป็นอย่างน้อยชนิด เช่น สารตัวเร่ง สารกระตุ้น และกำมะถัน ส่วนที่เป็นสารกระตุ้นมีสารเคมีที่สำคัญ 2 ชนิด ที่ใช้งานร่วมกัน คือ โลหะออกไซด์ (ซิงค์ออกไซด์) และกรดไขมัน (Fatty acid) ซึ่งกรดไขมันที่นิยมใช้ในปัจจุบันเป็นกรด สเตียริก (Stearic acid) A. Y. Coran [1] ศึกษาผลของความเข้มข้นของกรดสเตียริกที่ใช้เป็นสารกระตุ้นในยางธรรมชาติ พบว่าอัตราการวัลคาไนซ์ลดลงถ้าความเข้มข้นของกรดสเตียริกเพิ่มขึ้น B. C. Barton et al. [2] ได้แสดงถึงผลของการใช้กรดลอริกกระตุ้นในการเชื่อมโยงโมเลกุลยาง (Crosslink) โดยพิจารณาจากมอดูลัส 200% พบว่าการเพิ่มปริมาณกรดลอริก 1-7 phr ทำให้มอดูลัสของยางมีแนวโน้มสูงขึ้น แต่เมื่อใช้ปริมาณกรดลอริกมากกว่า 8 phr พบว่าค่ามอดูลัสก็จะคงที่ H. Ismail et al. [3] ศึกษาผลของกรดโอเลอิก (Oleic acid) ต่อสมบัติวัลคาไนซ์ และสมบัติเชิงกลของยางที่ผสมสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต พบว่าเวลายางเริ่มวัลคาไนซ์ (Scorch time, ts1) และเวลายางวัลคาไนซ์ (Cure time, tc90) เพิ่มขึ้นตามปริมาณของกรดโอเลอิก ในขณะที่ค่าแรงบิดสูงสุดและค่าแรงบิดต่ำสุด-(Maximum torque (MH), Minimum torque (ML)) เพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่งแล้วลดลงตามปริมาณของกรดโอเลอิก สมบัติเชิงกล เช่น ค่า Tensile modulus, Hardness, Tensile strength และ Tear strength มีแนวโน้มคล้าย กับค่าแรงบิดสูงสุด (Maximum torque, MH) ค่าแรงบิดต่ำสุด (Minimum Torque, ML)

นอกจากกระบวนการวัลคาไนซ์แล้วมีการใช้น้ำมันเป็นสารที่ช่วยในการแปรรูปยาง (พลาสติกไซเซอร์) ในกรณีที่มีการใส่สารตัวเติมเขม่าดำในปริมาณมากกว่า 20 phr เพื่อทำให้การผสมยางกับเขม่าดำง่ายขึ้น ซึ่งในปัจจุบันมีการใช้น้ำมันพืชแทนน้ำมันที่ได้จากปิโตรเลียมเนื่องจากน้ำมันปิโตรเลียมมีสารก่อมะเร็ง Y. Singh et al. [4] นอกจากนี้ Fernandez et al. [5] พบว่าน้ำมัน

จากเมล็ดของต้นปอปานสามารถใช้ในสูตรยางคอมพาวนด์ของยางธรรมชาติผสมกับกราฟีนได้ โดยปริมาณที่เหมาะสม คือ 2-4 phr ทำให้สมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของยางดีขึ้น C. Siri Wong et al. [6] พบว่าน้ำมันถั่วเหลืองดัดแปลงสามารถช่วยในการแปรรูปยางง่ายขึ้นและสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกับน้ำมันปิโตรเลียม S. Boonrasri et al. [7] พบว่าน้ำมันมะรุมและน้ำมันโนเจอร์ทำให้ซิลิกากระจายตัวในยางธรรมชาติได้ดี ส่งผลให้ยางมีสมบัติเชิงกลที่ดี A. Saetung et al. [8] ได้ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติเชิงกลของการใช้น้ำมันพืชเป็นสารพลาสติกไซเซอร์ในยางคอมพาวนด์ (STR 5L และ SBR 1502) ได้แก่ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันเมล็ดยางพาราเปรียบเทียบกับน้ำมันอะโรมาติก ที่ปริมาณตั้งแต่ 0-10 phr พบว่าน้ำมันพืชเหล่านี้สามารถใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์ในสูตรยางคอมพาวนด์ได้

จะเห็นได้ว่าน้ำมันพืชหลายชนิดสามารถใช้เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ในยางได้ แต่บางครั้งการผลิตน้ำมันพืชด้วยวิธีการที่แตกต่างกันทำให้เกิดกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid, FFA) ในน้ำมันพืชแตกต่างกัน น้ำมันปาล์มในท้องตลาดส่วนใหญ่มีปริมาณ FFA น้อยกว่า 1% ถ้าปริมาณกรดไขมันอิสระเกิน 1% ไม่สามารถใช้ทำเป็นน้ำมันสำหรับปรุงอาหารได้ ในขั้นตอนที่เป็นน้ำมันปาล์มดิบจะมีปริมาณ FFA ประมาณ 10-15% ในการผลิตน้ำมันพืชสำหรับบริโภคจะมีการสกัดเอากรดไขมันอิสระออกไปให้เหลือน้อยกว่า 0.6% B. Saad et al. [9] น้ำมันสบู่ดำดิบมี FFA ประมาณ 14% I. M. Atadashi et al. [10], A. K. Tiwari et al. [11] ขึ้นกับกระบวนการผลิต ซึ่งกรดไขมันเหล่านี้อาจจะทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นแทนกรดสเตียริกได้ ในปัจจุบันราคากรดสเตียริกอยู่ที่ 80-105 บาท/กิโลกรัม ส่วนน้ำมันปาล์มราคาประมาณ 40-42 บาท/กิโลกรัม หากนำน้ำมันปาล์มมาใช้เป็นสารกระตุ้นได้จะส่งผลต่อต้นทุนยางคอมพาวนด์ส่วนที่เป็นกรดไขมันลดลงประมาณ 50% การทดลองนี้

มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ไขมันปาล์มที่เติมกรดไขมันอิสระในระบบวัลคาไนซ์ของยางแท่นกรดสเดียริก เป็นสารกระตุ้นร่วมกับซิงค์ออกไซด์ โดยมีการศึกษาผลกระทบของกรดไขมันอิสระที่เติมอยู่ในน้ำมันปาล์ม ต่อสมบัติความหนืด การวัลคาไนซ์และสมบัติเชิงกลของคอมพาวนด์ยางธรรมชาติผสมเขม่าดำ

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 ยางและสารเคมี

ยางธรรมชาติ STR XL (Standard Thai Rubber, STR) เป็นยางธรรมชาติอัดแท่งเกรด XL ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ชนิด White seal ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้น (Activator) ในปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ กรดสเตียริก (Stearic acid, $C_{17}H_{35}COOH$) มีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาวทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้น (Activator) ร่วมกับซิงค์ออกไซด์ในปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติกำมะถัน (Sulphur, S) มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีเหลืองนวล ทำหน้าที่เป็นสารวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ สารทีบีบีเอส (N-tert-butyl-benzothiazyl sulphenamide, TBBS) มีลักษณะเป็นเม็ดสีขาวขุ่น เป็นสารตัวเร่งในปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ เขม่าดำ (Carbon black) ลักษณะเป็นผงละเอียดในระดับนาโนเมตร สีดำ เป็นเกรด HAF (N330) ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมเสริมแรงในยาง ยางและสารเคมีเหล่านี้จัดจำหน่ายโดยบริษัทหลักกี้โฟร์ จำกัด จังหวัดนนทบุรี น้ำมันปาล์ม (Palm oil) ที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระไม่เกิน 0.3% (กรดโอเลอิก และกรดปาล์มมาติก) ผลิตโดยบริษัท โอสิน จำกัด จังหวัดสมุทรสาคร น้ำมันปาล์มมีลักษณะเป็นของเหลวสีเหลืองใส ในการทดลองนี้มีการเติมกรดโอเลอิกลงไป 15% โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม กรดโอเลอิก (Oleic acid) ลักษณะเป็นของเหลวมีสีเหลืองใส จัดจำหน่ายโดยห้างหุ้นส่วนจำกัดนอร์ทเทอร์นเคมีเคิล จังหวัดเชียงใหม่

2.2 การเตรียมยางคอมพาวนด์

1) นำน้ำมันปาล์มทางการค้ามาเติมกรดโอเลอิก ลงไป 15% โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม

2) เตรียมยางผสมสารเคมีตามสูตรในตารางที่ 1 เพื่อเปรียบเทียบผลของการใช้กรดสเตียริกกับน้ำมันปาล์มที่เติมปริมาณกรดโอเลอิก 15% โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์ม โดยแปรปริมาณกรดสเตียริกและน้ำมันปาล์มเป็น 1, 3, 5 และ 7 phr

3) วิธีการบดผสมเป็นไปตามที่กำหนดในมาตรฐาน ISO 1658-1973(E) หรือ ASTM D 3184-89 Rubber-Evaluation of NR ใช้อุณหภูมิในการบดผสมยางที่ 70°C ใช้เวลาในการบดยาง (mastication) 2 นาที ก่อนใส่สารเคมีอื่น ๆ ทุกสูตร เก็บยางผสมสารเคมีไว้ 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบสมบัติกายภาพ

ตารางที่ 1 สูตรยางแปรชนิดและปริมาณกรดสเตียริก และน้ำมันปาล์ม

ส่วนผสม	กลุ่มที่ 1, phr กรดสเตียริก (Stearic acid, SA)	กลุ่มที่ 2, phr น้ำมันปาล์ม (Palm oil, PO)
STR XL	100.0	100.0
ZnO	5.0	5.0
S	2.25	2.25
SA	แปร 1, 3, 5 และ 7	-
PO	-	แปร 1, 3, 5 และ 7
N330	35.0	35.0
TBBS	0.7	0.7

2.3 ศึกษาความหนืดของยาง (Mooney viscosity)

หลังจากที่ผสมเสร็จแล้ว และตั้งทิ้งยางผสมสารเคมีไว้อย่างน้อย 24 ชั่วโมง นำยางคอมพาวนด์มาทดสอบความหนืดด้วยเครื่อง Mooney viscometer ยี่ห้อ Tech Pro รุ่น Visc-TECH++ ที่อุณหภูมิ 100°C บันทึกค่าความหนืดที่เวลา 4 นาที การรายงานผลอยู่ใน

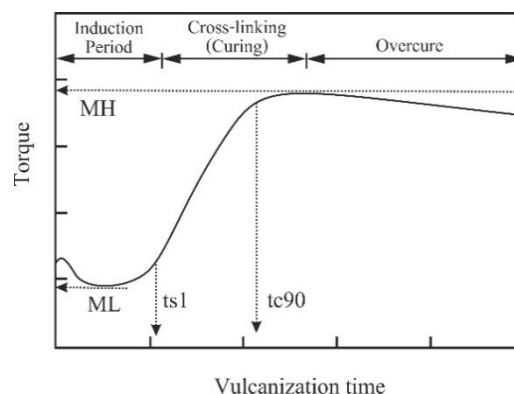
รูป X ML (1+4) 100°C มีหน่วยเป็น Mooney unit (MU) โดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM 1646-87

2.4 ศึกษาสมบัติการวัลคาไนซ์ (Cure Characteristics)

สมบัติการวัลคาไนซ์ (Cure characteristics) สามารถศึกษาโดยใช้เครื่อง Moving die rheometer (MDR) ผลที่ได้เป็นเส้นกราฟวัลคาไนซ์ (Cure curve) ดังรูปที่ 1 ซึ่งแบ่งได้ 3 ช่วง 1) ช่วงเริ่มต้น (Induction) 2) ช่วงวัลคาไนซ์ (Curing) 3) ช่วงหลังการวัลคาไนซ์ (Over cure) X. Sun et al. [12] เวลาที่ย่างเริ่มวัลคาไนซ์ (Scorch time, ts1) คือ เวลาที่ย่างสามารถไหลได้ก่อนการคงรูป เวลาที่ย่างวัลคาไนซ์ (Cure time, tc90) คือ เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ขึ้นที่อุณหภูมิที่กำหนด โดยใช้เวลาเป็นนาฬิกาของค่าแรงบิด 90% ของแรงบิดสูงสุด ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยขึ้นอยู่กับชนิดของยางผสมและความหนาของผลิตภัณฑ์ การทดลองนี้ใช้เวลาที่ 90% ของการวัลคาไนซ์ทั้งหมด หรือ tc90 ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากเครื่องทดสอบ ค่าอัตราการวัลคาไนซ์ (Cure rate index, CRI, min⁻¹) คือ อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ขึ้นของยางวัลคาไนซ์จากการเปลี่ยนแปลงสมบัติของวัลคาไนซ์ (Vulcanization) ต่อหนึ่งหน่วยเวลา ค่าแรงบิดสูงสุด (Maximum torque, MH, lbf-in) ค่าแรงบิดต่ำสุด (Minimum Torque, ML, lbf-in) ความหนาแน่นการเชื่อมโยง (Crosslink density) หาได้จาก MH - ML กราฟในช่วง Overcure หมายถึงช่วงที่อยู่หลังจากค่าแรงบิดสูงสุดเป็นต้นไป การเกิดรีเวอร์ชัน (Reversion) ปรากฏการณ์ที่ค่าแรงบิดหรือโมดูลัสของยางมีค่าลดลงเมื่อเกิดการสภาวะการคงรูปมากกว่าสภาวะที่เหมาะสม การเกิดรีเวอร์ชันเนื่องจากโมเลกุลหรือโครงร่างแหที่เชื่อมระหว่างโมเลกุลเกิดการสลายตัว มักเกิดในยางธรรมชาติ (NR)

การศึกษาค่าผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อสมบัติวัลคาไนซ์ โดยแปรอุณหภูมิจาก 150-190°C เพื่อศึกษา

อุณหภูมิที่เหมาะสมในการวัลคาไนซ์อย่างก่อนที่จะนำยางไปทดสอบสมบัติเชิงกล ทำการทดลองโดยนำยางผสมกับสารเคมีตามตารางที่ 1 โดยใช้ปริมาณน้ำมันปาล์ม 7 phr



รูปที่ 1 ตัวอย่างรูป Cure curve ที่ได้จากเครื่อง Moving die rheometer (MDR)

การศึกษาค่าผลของการใช้น้ำมันปาล์มเป็นสารกระตุ้นแทนกรดสเตียริกต่อสมบัติการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 20 นาที เพื่อศึกษาสมบัติ Cure characteristics เช่น ts1, tc90, ML, MH และ CRI สามารถทดสอบโดยใช้เครื่อง MDR ยี่ห้อ Tech Pro รุ่น rheOTECH MD+ โดยทดสอบตามมาตรฐาน ISO 6502

2.5 การทดสอบสมบัติเชิงกล

การทดสอบสมบัติด้านแรงดึง (Tensile test) โดยนำยางที่ผสมสารเคมีแล้วไปอัดเข้าขึ้นรูปยางด้วยเครื่องอัดเข้า (Compression machine) ยี่ห้อ OOMN SEM -AUTOMATIC MOULDING PRESS รุ่น HPS-100(D) ที่อุณหภูมิ 150 C แรงดัน 3000 psi เวลาวัลคาไนซ์ใช้เวลาที่ tc90 หลังจากนั้นนำยางที่อัดเข้าแล้วมาตัดเป็นรูปดัมเบล Die type C จากนั้นนำไปทดสอบแรงดึงวัดค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength, TS) ค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาด (Elongation at

break, EB) ค่ามอดุลัส 300% (300% Modulus) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D412-98 ใช้เครื่องทดสอบ Universal tester ยี่ห้อ Instron Universal รุ่น 5569 ความเร็วในการดึง 500 มิลลิเมตร/นาที

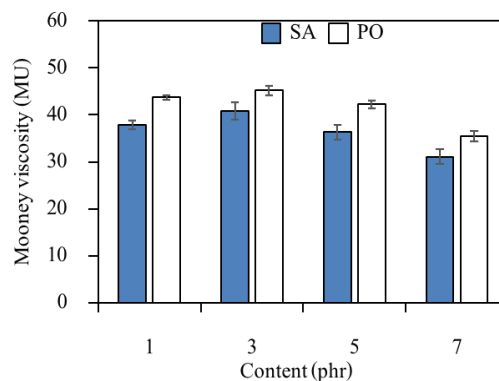
3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 ผลของความหนืดของยางคอมพาวนด์

ผลการศึกษาของยางคอมพาวนด์ที่ผสมกรดเตียริก (SA) และน้ำมันปาล์ม (PO) โดยแปรปริมาณสารเป็น 1, 3, 5 และ 7 ต่อค่าความหนืดมูนนี่ (Mooney viscosity) แสดงดังรูปที่ 2

จากรูปที่ 2 พบว่า เมื่อปริมาณกรดเตียริกและน้ำมันปาล์มเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดของยางคอมพาวนด์จะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดเมื่อปริมาณกรดไขมันระดับหนึ่งหลังจากนั้นจะเริ่มลดลง การที่ความหนืดเพิ่มขึ้นในช่วงแรกอาจเกิดจากการเตียริกและน้ำมันปาล์มที่ส่งผลให้โซ่พอลิเมอร์กระจายตัวได้ดีขึ้น H. Ismail et al. [3] และ S. Boonrasri et al. [7] และเกิดอันตรกิริยาระหว่างยางกับสารตัวเติม ทำให้ยางมีความหนืดมากขึ้น ซึ่งจะทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น ส่วนเมื่อเพิ่มปริมาณกรดเตียริกและน้ำมันปาล์มมากขึ้นอีกและทำให้ความหนืดลดลง เนื่องจากเมื่อมีการใช้ปริมาณกรดเตียริกและน้ำมันปาล์มเพิ่มขึ้น กรดเตียริกและน้ำมันปาล์มซึ่งเป็นพลาสติกไซเซอร์จะไปเป็นตัวช่วยลดความหนืดในยาง ทำให้ยางนิ่มลง เพราะอนุภาคของน้ำมันหรือสารโมเลกุลเล็กจะไปแทรกตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลของยางทำให้สายโซ่โมเลกุลของยางเกิดการเคลื่อนที่และลื่นไหลได้ดีขึ้นค่าความหนืดของยางจึงลดลง ซึ่งค่าความหนืดของยางที่ผสมกรดเตียริกต่ำกว่าน้ำมันปาล์มเล็กน้อยอาจเนื่องมาจากกรดเตียริก (อยู่ในรูปของกรดไขมันอิสระ ดังรูปที่ 10) มีขนาดโมเลกุลที่เล็กกว่าโมเลกุลของน้ำมันปาล์ม (อยู่ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ ดังรูปที่ 10) เมื่อเทียบน้ำหนักโดยประมาณ กรดไขมันอิสระจะมีปริมาณมากกว่าไตรกลีเซอไรด์ 3 เท่า ทำให้ กรดไขมันอิสระ

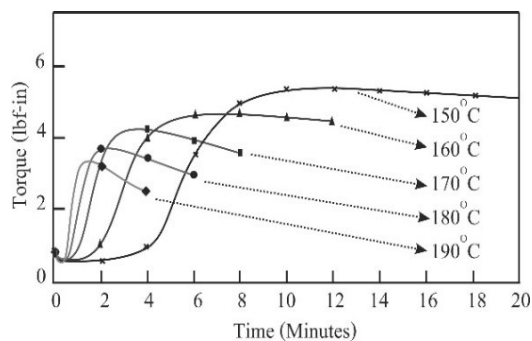
แทรกตัวเข้าระหว่างสายโซ่โมเลกุลยางได้ดี ทำให้ยางนิ่มลงส่งผลให้ความหนืดของยางลดลง การที่ยางมีความหนืดต่ำทำให้สามารถแปรรูปยางได้ดี เนื่องจากยางคอมพาวนด์เมื่อได้รับความร้อน ความหนืดของยางลดลง ทำให้ยางเริ่มไหลตัวในแม่พิมพ์ได้ดี



รูปที่ 2 ค่าความหนืดมูนนี่ของยางคอมพาวนด์ที่ผสมกรดเตียริก (SA) และน้ำมันปาล์ม (PO) ในปริมาณแตกต่างกัน

3.2 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อสมบัติยางวัลคาไนซ์

ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อสมบัติยางวัลคาไนซ์ (โดยใช้สูตรยางที่มีน้ำมันปาล์ม 7 phr เนื่องจากเป็นปริมาณน้ำมันมากที่สุดในการทดลอง) โดยแปรอุณหภูมิจาก 150-190°C เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการวัลคาไนซ์ยางก่อนที่จะนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ค่า Cure curve ของยางคอมพาวนด์ที่อุณหภูมิ 150 - 190°C

จากรูปที่ 3 แสดงลักษณะของกราฟ Cure curve ที่ได้จากเครื่อง MDR ค่าที่ใช้พิจารณา คือ ค่า MH เป็นค่าแรงบิดสูงสุด หากค่า MH มีค่ามาก แสดงให้เห็นว่ายางมีสมบัติเชิงกลดี เช่น มีค่าสมบัติแรงดึงสูง และมีค่ามอดุลัสสูง จะเห็นว่าที่ อุณหภูมิ 150°C มีค่า MH สูงที่สุด และที่อุณหภูมิ 190°C มีค่า MH ต่ำที่สุด ดังนั้นจึงเลือกใช้อุณหภูมิที่ 150°C ใช้ในการทดลองต่อไป

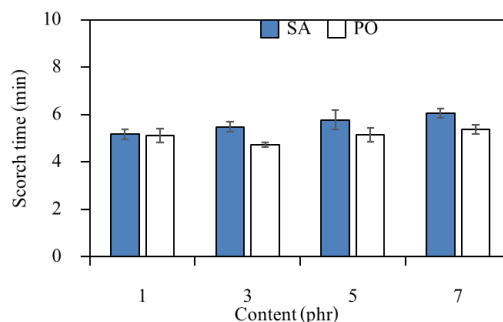
เมื่อสังเกตจากค่า Tc90 คือ เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาคัดค้านเซชันที่อุณหภูมิที่กำหนด โดยใช้เวลาเป็นนาฬิกาของค่าแรงบิด 90% ของแรงบิดสูงสุด ที่อุณหภูมิ 150°C มีค่าโดยประมาณ 8 นาที อุณหภูมิ 160°C มีค่าโดยประมาณ 4 นาที แสดงว่าทุก ๆ การเพิ่มอุณหภูมิ 10°C เวลาในการเกิดปฏิกิริยาจะเร็วขึ้นเป็น 2 เท่า ซึ่งเป็นไปตามสมการอาร์เรเนียส (Arrhenius equation) สมการที่ (1) X. Sun et al. [12]

$$k = Ae^{-\frac{Ea}{RT}} \quad (1)$$

เมื่อพิจารณากราฟในช่วง Overcure เป็นช่วงที่อยู่หลังจากค่าแรงบิดสูงสุดเป็นต้นไป จะพบว่าอุณหภูมิ 170°C เป็นต้นไปกราฟช่วง Overcure ลดลงอย่างเห็นได้ชัด แสดงว่าเกิดรีเวอร์ชันซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่มอดุลัสของยางมีค่าลดลงเมื่อเกิดสภาวะการคงรูปมากกว่าสภาวะที่เหมาะสม จึงปรากฏกราฟแบบรีเวอร์ชันเนื่องจากโมเลกุลหรือโครงร่างแหที่เชื่อมระหว่างโมเลกุลเกิดการสลายตัว เนื่องจากพันธะก้ำะกันที่เชื่อมอยู่ระหว่างสายโซ่เกิดการสลายตัวด้วยความร้อน ซึ่งมักเกิดในยางธรรมชาติ (NR) ดังนั้นเลือกใช้อุณหภูมิที่ 150°C ใช้ในการทดลองต่อไป

3.3 ผลสมบัติการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 150°C

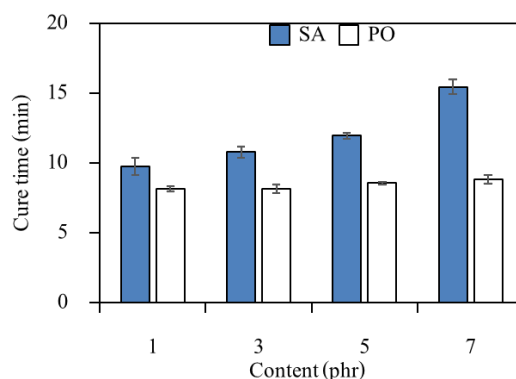
สมบัติการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิการอบยางปกติ 150°C เป็นเวลา 20 นาที เพื่อศึกษาค่า ts1, tc90, CRI, Reversion, MH, ML และ Crosslink density (MH-ML) ผลการทดลองดังรูปที่ 4-7



รูปที่ 4 ค่าเวลายางเริ่มวัลคาไนซ์ (ts1) ของยางคอมพาวนด์ที่ผสมกรดสเตียริกและน้ำมันปาล์มในปริมาณแตกต่างกัน

จากรูปที่ 4 เมื่อเพิ่มปริมาณกรดสเตียริกเป็น 1, 2, 5 และ 7 phr จะเห็นค่า ts1 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนน้ำมันปาล์มเมื่อใช้ในปริมาณเพิ่มมากขึ้น ส่งผลกระทบบต่อค่า ts1 เพียงเล็กน้อย ทำให้ได้ค่า ts1 ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน

จากภาพที่ 5 เมื่อเพิ่มปริมาณกรดสเตียริกเป็น 1, 2, 5 และ 7 phr จะเห็นแนวโน้มค่า tc90 เพิ่มขึ้นอย่างมาก เนื่องจากความเป็นกรดของกรดสเตียริกทำให้ยาง Cure ช้าลง ทำให้การแปรรูปผลิตภัณฑ์ยางใช้เวลานานมากขึ้น ส่วนน้ำมันปาล์มเมื่อใช้ในปริมาณเพิ่มมากขึ้นส่งผลกระทบบต่อค่า tc90 เพียงเล็กน้อย ทำให้ได้ค่า tc90 มีค่าใกล้เคียงกัน



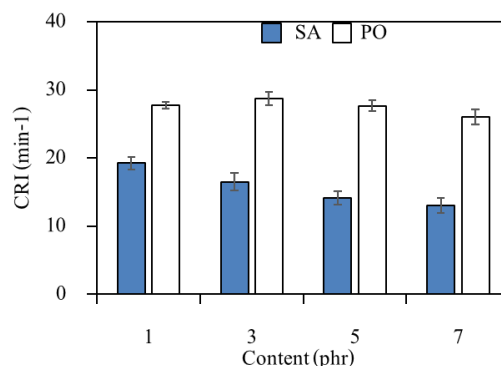
รูปที่ 5 ค่าเวลายางวัลคาไนซ์ (tc90) ของยางคอมพาวนด์ที่ผสมกรดสเตียริกและน้ำมันปาล์มในปริมาณแตกต่างกัน

ผลของกรดสเตียริกเมื่อใช้ปริมาณเพิ่มขึ้นให้ผลการทดลองสอดคล้องกับงานของ H. Ismail et al. [3] ที่ศึกษาผลของกรดโอเลอิก (Oleic acid) ต่อสมบัติวัลคาไนซ์โดยแปรปริมาณกรดโอเลอิก 0 - 7 phr โดยใช้ปริมาณเขม่าดำ 15, 30 และ 50 phr พบว่า ts1 และ tc90 เพิ่มขึ้นตามปริมาณของกรดโอเลอิก ในการทดลองนี้น้ำมันปาล์มมีปริมาณกรดโอเลอิก 15% โดยน้ำหนักในน้ำมันปาล์ม เมื่อใส่น้ำมันปาล์มในปริมาณ 7 phr ไม่มีผลต่ออัตราการวัลคาไนซ์ เมื่อเทียบสัดส่วนกรดโอเลอิกที่มีในน้ำมันปาล์ม 7 phr จะมีปริมาณกรดโอเลอิกเพียงแค่ว่า 1.05 phr เป็นเหตุผลหลักเมื่อใส่น้ำมันปาล์มลงไปแล้วทำให้ค่า ts1 และ tc90 ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ดังนั้นในกรณีเป็นสารกระตุ้น กรดสเตียริกควรใช้ประมาณ 1-2 phr ถ้าใช้กรดสเตียริกปริมาณเกินกว่า 2 phr ทำให้เวลา Cure time เพิ่มขึ้นอย่างมาก แต่น้ำมันปาล์มที่เติมปริมาณกรดโอเลอิก 15% สามารถใช้ได้ 1-7 phr โดยมีผลกระทบต่อ cure time น้อย อย่างไรก็ตามต้องดูผลการทดสอบอย่างอื่นประกอบเพื่อเลือกสูตรที่เหมาะสม

A. Y. Coran [1] เสนอผลการศึกษาค้นคว้าของกรดสเตียริกต่ออย่างธรรมชาติ พบว่าอัตราการวัลคาไนซ์ลดลงเมื่อปริมาณกรดสเตียริกเพิ่มขึ้น กล่าวคือ Zinc ions ทำปฏิกิริยากับกรดสเตียริก เกิดเป็นสารประกอบใหม่เป็น Zinc stearate เพื่อไปทำปฏิกิริยากับสารคงรูปกำมะถันและยางต่อไป ดังนั้นอาจจะเป็นไปได้ว่าในกรณีของน้ำมันปาล์มที่เติมกรดโอเลอิกลงไป กรดโอเลอิกสามารถทำปฏิกิริยากับซิงค์ออกไซด์สามารถฟอร์มตัวเป็น Zinc oleate ได้ เพื่อไปทำปฏิกิริยากับสารคงรูปกำมะถันและยางต่อไป

จากรูปที่ 6 อัตราการวัลคาไนซ์ของยางที่ผสมน้ำมันปาล์มสูงกว่ากรดสเตียริก แสดงให้เห็นว่าน้ำมันปาล์มทำให้ยางมีอัตราการวัลคาไนซ์เร็วกว่ากรดสเตียริก นอกจากนี้เมื่อปริมาณกรดสเตียริกเพิ่มมากขึ้นทำให้อัตราการวัลคาไนซ์มีแนวโน้มลดลงอย่างมาก แต่น้ำมัน

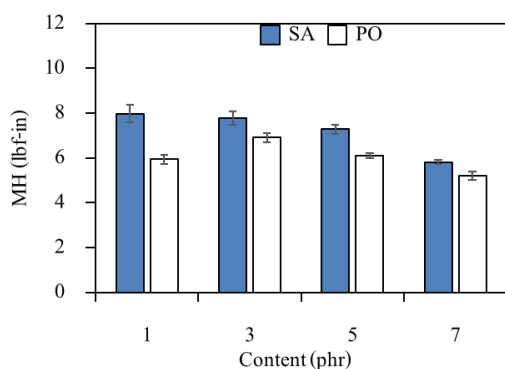
ปาล์มมีอัตราการวัลคาไนซ์ลดลงเพียงเล็กน้อย เหตุผลเช่นเดียวกับค่า tc90 และอีกเหตุผลหนึ่ง ที่อุณหภูมิการวัลคาไนซ์ 150°C กรดสเตียริกเมื่อใช้ในปริมาณ 5-10 phr จะทำหน้าที่คล้ายกับสารยับยั้งการเกิดการเชื่อมโยงโมเลกุล Pre-vulcanization inhibitor (PVI) B. Saad et al. [9] ตัวอย่างสารที่นิยมใช้คือ N-(cyclohexylthio) phthalimide (CTP) โดยสารนี้จะไปทำให้ค่า ts1 เพิ่มขึ้น แต่ไม่มีผลกระทบต่ออัตราการวัลคาไนซ์ย่าง แต่กรดสเตียริกเมื่อใช้ในปริมาณ 5-10 phr ทำให้ ts1 ให้เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และยังพบข้อเสียคือ มีผลต่ออัตราการวัลคาไนซ์ย่าง โดยทำให้อัตราการวัลคาไนซ์ลดลง และเวลา tc90 ของยางเพิ่มขึ้น



รูปที่ 6 ค่าอัตราการวัลคาไนซ์ (CRI) ของยางคอมพาวนด์ที่ผสมกรดสเตียริกและน้ำมันปาล์มในปริมาณแตกต่างกัน

ผลการทดลองค่อนข้างสอดคล้องกับผลการทดลองของ A. Saetung et al. [8] อย่างไรก็ตามพบว่าสูตรยางที่ใช้ในงานวิจัยดังกล่าวมีความแตกต่างจากการทดลองนี้ โดยสูตรยางที่มีการเติมกรดสเตียริก 1 phr ในยางทุกสูตรที่ทำการทดลอง และทำการแปรปริมาณน้ำมันพืช แต่ในงานวิจัยนี้ในยางสูตรที่มีน้ำมันปาล์มจะไม่มีการเติมกรดสเตียริก ซึ่งจากการทดลองพบน้ำมันปาล์มเมื่อใช้ในปริมาณเพิ่มมากขึ้นจาก 2 phr ถึง 10

phr ทำให้ค่า ts1 และ tc90 ของยางเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แสดงว่าน้ำมันปาล์มที่ใช้ อาจจะมีปริมาณ FFA มากกว่า 15% ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่าถ้ามีปริมาณ FFA มากกว่านี้ ก็จะส่งผลต่อค่า ts1 และ tc90



รูปที่ 7 ค่าแรงบิดสูงสุด (MH) ของยางคอมพาวนด์ที่ผสมกรดสเตียริกและน้ำมันปาล์มในปริมาณแตกต่างกัน

จากรูปที่ 7 จะเห็นว่ายางคอมพาวนด์ที่มีกรดสเตียริกจะมีค่า MH มากกว่ายางคอมพาวนด์ที่มีน้ำมันปาล์ม นอกจากนี้ค่า MH ของยางของคอมพาวนด์มีแนวโน้มลดลง เมื่อมีปริมาณกรดสเตียริกและน้ำมันปาล์มมากขึ้นอาจเนื่องมาจากสมบัติการเป็นพลาสติกไซเซอร์ของกรดสเตียริกและน้ำมันปาล์มเมื่อใส่สารเหล่านี้ในปริมาณมากขึ้น ดังนั้นน้ำมันปาล์มและกรดสเตียริกเมื่อใช้ในปริมาณตั้งแต่ 3-7 phr สามารถทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ได้ด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย C. T. Loo [13] ได้รายงานว่าการลดลงของค่าแรงบิดสูงสุดและการลดลงของค่าความแตกต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับค่าแรงบิดต่ำสุด เนื่องจากผลของการเป็นพลาสติกไซเซอร์ที่มีมากเกินไปของ Zinc stearate ที่เกิดขึ้นระหว่างวัลคาไนซ์ ดังนั้นที่ 150°C Zinc stearate จะทำให้ยางนิ่มและส่งผลให้ค่าแรงบิดลดลง

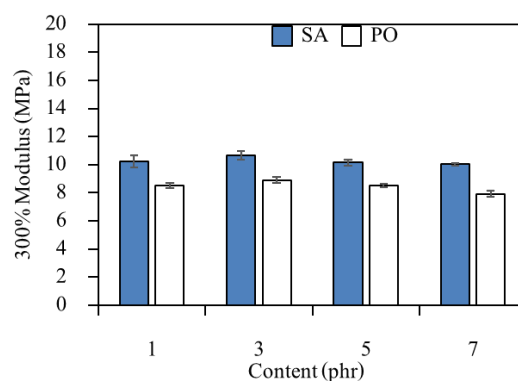
จากผลการทดลองเมื่อใช้น้ำมันปาล์มในปริมาณมากขึ้นทำให้ค่าแรงบิดสูงสุดเพิ่มขึ้นที่ปริมาณ 3 phr หลังจากนั้นค่าแรงบิดเริ่มลดลง การที่ค่าแรงบิดสูงสุดที่

ปริมาณ 3 phr มากกว่าที่ 1 phr อาจเนื่องมาจากกรดโอเลอิกที่เพิ่มขึ้นทำให้ซิงค์ออกไซด์สามารถฟอร์มตัวเป็น Zinc oleate ได้ และทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นในยาง โดยจะไปกระตุ้นสารตัวเร่ง TBBS ให้ทำงานเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ ทำให้มีปริมาณการเชื่อมโยงโมเลกุลยางมากขึ้นส่งผลให้สมบัติยางดีขึ้น และอาจเนื่องมาจากการกระจายตัวของเขม่าดำดีขึ้น แต่เมื่อเติมในปริมาณมากกว่า 3 phr ทำให้ค่าแรงบิดสูงสุดลดลงอาจเนื่องมาจากการเป็นพลาสติกไซเซอร์ดังกล่าวข้างต้น

ในสูตรยางที่ทำการทดลองนี้ไม่มีการเติมแอนติออกซิแดนต์ยางทุกสูตรที่อุณหภูมิ 150°C เกิดการ Reversion น้อยมาก ทั้งนี้การเกิด Reversion เกิดจากหลายปัจจัย เช่น สารตัวเร่ง ซึ่งจากการทดลองพบว่าสารตัวเร่ง TBBS ทำให้เกิดการ Reversion น้อยมาก ที่อุณหภูมิวัลคาไนซ์ 150°C

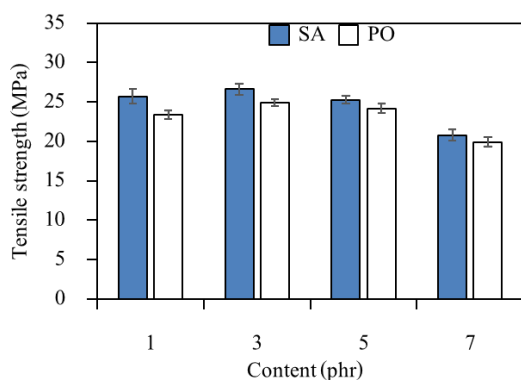
3.4 ผลของสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์

การศึกษาสมบัติเชิงกลของยางที่วัลคาไนซ์โดยใช้กรดสเตียริกและน้ำมันปาล์มปริมาณต่าง ๆ ใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปยาง 150°C เวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ขึ้นกับเวลา Cure time ของแต่ละสูตร หลังจากขึ้นรูปและตัดเป็นชิ้นทดสอบแล้วนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลผลการทดลองดังรูปที่ 8-11



รูปที่ 8 ค่า 300% Modulus ของยางวัลคาไนซ์ที่ผสมกรดสเตียริกและน้ำมันปาล์มในปริมาณแตกต่างกัน

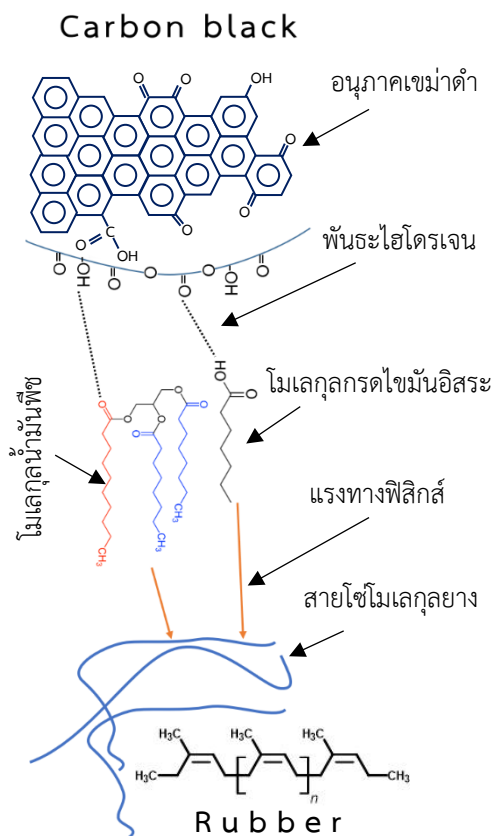
จากรูปที่ 8 พบว่าเมื่อใช้ปริมาณกรดเตียริก และน้ำมันปาล์มเพิ่มขึ้น ค่า 300% Modulus ของ ยางวัลคาไนซ์จะมีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อมีปริมาณการใช้ กรดเตียริกและน้ำมันปาล์มเพิ่มขึ้น กรดเตียริกและ น้ำมันปาล์มจะทำให้ความแข็งแรงของยางวัลคาไนซ์ลดลง ทำให้แรงที่ต้องใช้ในการดึงยางวัลคาไนซ์ลดลง ส่งผลให้ ค่ามอดุลัสลดลง และเห็นชัดเจนขึ้นเมื่อใช้ปริมาณกรด เตียริกและน้ำมันปาล์มเพิ่มขึ้น กรดเตียริกจะให้ค่ามอดุลัสสูงกว่าน้ำมันปาล์มเล็กน้อยซึ่งสอดคล้องกับค่า MH



รูปที่ 9 ค่าความต้านทานแรงดึง (TS) ของยางวัลคาไนซ์ที่ผสมกรดเตียริกและน้ำมันปาล์มในปริมาณแตกต่างกัน

จากรูปที่ 9 พบว่าในช่วงแรกที่ทำกรเติม ปริมาณกรดเตียริกและน้ำมันปาล์มในปริมาณน้อยให้ ค่า TS ของยางวัลคาไนซ์ต่ำ แต่พอเติมกรดเตียริกและ น้ำมันปาล์มลงไปมากขึ้นค่า TS ของยางวัลคาไนซ์จะ ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงจุด ๆ หนึ่ง ที่ 3 phr ค่าความ ต้านทานต่อแรงดึงจะค่อย ๆ ลดลง โดยปกติโครงสร้าง ของยางธรรมชาติสามารถเกิดการตกผลึกได้เนื่องจากมี ความเป็นระเบียบของโครงสร้างโมเลกุล ทำให้ยาง ธรรมชาติสามารถเกิดผลึกจากการยัดตัว (Stain induced crystallization) ส่งผลให้สมบัติเชิงกลที่ เพิ่มขึ้น เมื่อใส่น้ำมันลงไปยางวัลคาไนซ์จะทำให้ค่า TS เพิ่มขึ้นในช่วงแรก เพราะน้ำมันจะไปช่วยให้การ กระจายตัวของสารเคมีในยางวัลคาไนซ์เกิดได้ดีขึ้น

(จะอธิบายต่อไปในรูปที่ 10) แต่หากเติมลงไปปริมาณ ที่มากเกินไปจะทำให้โมเลกุลของยางวัลคาไนซ์ถูกแยก ห่างออกจากกันทำให้ความแข็งแรงของยางวัลคาไนซ์ ลดลง



รูปที่ 10 ภาพกลไกที่อาจจะเกิดอันตรกิริยาของ โมเลกุลน้ำมันพืช หรือกรดไขมันอิสระ อนุภาคเขม่าดำ และสายโซ่โมเลกุลยาง

(ดัดแปลงมาจาก S. Boonrasri et al. [7])

นอกจากนี้ที่ปริมาณน้ำมันปาล์ม 3 phr ให้ค่า TS สูงกว่าที่ 1 phr สอดคล้องกับค่า MH ซึ่งค่า MH สูง อาจจะส่งผลให้ปริมาณการเชื่อมโยงโมเลกุลยางวัลคาไนซ์มากขึ้นทำให้สมบัติยางวัลคาไนซ์ดีขึ้น (แต่ถ้า ปริมาณการเชื่อมโยงที่มากเกินไปอาจจะทำให้สมบัติ ยางวัลคาไนซ์ไม่ดีได้เช่นเดียวกัน ดังนั้นปริมาณการ เชื่อมโยงที่เหมาะสมทำให้สมบัติยางวัลคาไนซ์ดี)

กรดสเตียริกจะให้ค่า TS สูงกว่าน้ำมันปาล์มเล็กน้อยซึ่งให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับค่ามอดุลัส

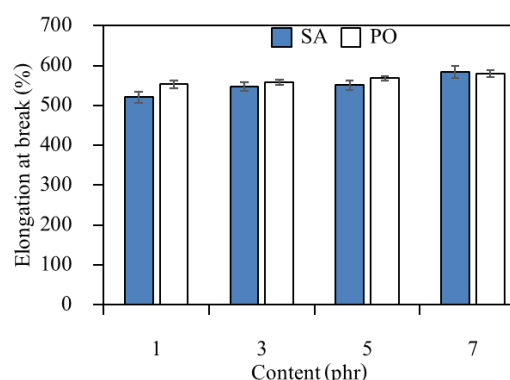
จากรูปที่ 10 ข้อเสนอภาพกลไกที่อาจจะเป็นไปได้ของโมเลกุลน้ำมันพืช หรือ กรดไขมันอิสระช่วยกระจายตัวเขม่าดำ โดยอนุภาคของเขม่าดำมีความเป็นขั้วที่ผิวเล็กน้อยของหมู่ -OH, =O อาจจะทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่เอสเทอร์ หรือหมู่คาร์บอกซิลิกของโมเลกุลน้ำมันพืช หรือ กรดไขมันอิสระ ส่วนที่ไม่มีขั้วของน้ำมันจะเกิดแรงทางฟิสิกส์กับโมเลกุลยางได้ S. Boonrasri et al. [7], T. R. Kukreja et al. [14], G. Fard-Zolfaghari et al. [15], R. Mohamed [16] ส่งผลให้ยางมีค่า TS เพิ่มขึ้นที่ 3 phr แต่ถ้าเติมในปริมาณที่มากกว่านี้ทำให้ค่า TS ลดลงเนื่องจากน้ำมันทำให้สายโซ่โมเลกุลห่างจากกัน ดังนั้นการใช้น้ำมันในยางควรใช้ในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อทำให้ได้สมบัติตามที่ต้องการ S. H. Song [17], J. Li et al. [18] การใช้น้ำมันพืชในยางนอกจากเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมแล้วยังสามารถปรับปรุงสมบัติเชิงกล(TS) และสมบัติพลวัต (wet grip and rolling resistance) ของยางให้ดีขึ้น P. Intharapat et al. [19], N. Sovtic et al. [20] นอกจากนี้ นักวิจัยได้เสนอและทดลองการเกิดอันตรกิริยาระหว่างหมู่ -OH กับหมู่เอสเทอร์ของน้ำมันพืช พบว่าหมู่ดังกล่าวสามารถเกิดอันตรกิริยากันได้ S. Boonrasri et al. [7], C. K. Lee [21], C. Yan et al. [22]

จากรูปที่ 11 พบว่าเมื่อใช้ปริมาณกรดไขมันเพิ่มขึ้นค่า EB ของยางวัลคาไนซ์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากเมื่อมีปริมาณการใช้กรดไขมันเพิ่มขึ้นกรดไขมันจะทำให้ยางวัลคาไนซ์ยืดได้ง่ายขึ้น อย่างไรก็ตาม การเติมกรดสเตียริกและการเติมน้ำมันปาล์ม มีการยืดตัวมากกว่า 500% และพบว่าการเพิ่มปริมาณทั้ง 2 ชนิดค่าการยืดตัวของยางไม่แตกต่างกันมากนัก

ยางวัลคาไนซ์ที่ผสมน้ำมันปาล์มให้ค่า EB สูงกว่ายางวัลคาไนซ์ที่ผสมกรดสเตียริกเล็กน้อย เนื่องจากยางวัลคาไนซ์ที่ผสมกรดสเตียริกมีค่า 300% Modulus

และค่า TS ที่สูงกว่า ยางวัลคาไนซ์ที่ผสมน้ำมันปาล์มเล็กน้อย ยางที่มีค่ามอดุลัสสูงมักจะมีความยืดหยุ่นน้อย ทำให้ระยะยืดสูงสุดมีค่าลดลง

ดังนั้นจากสมบัติการวัลคาไนซ์และสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์พบว่าน้ำมันปาล์มที่เติมปริมาณกรดโอลิก 15% สามารถใช้เป็นสารกระตุ้นร่วมกับซิงค์ออกไซด์ได้ อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ใช้สารตัวเร่งเพียงตัวเดียวคือทียบีส ถ้าหากว่ามีการเปลี่ยนชนิดของสารตัวเร่งหรือสารตัวเติมเป็นชนิดอื่น ๆ อาจจะทำให้ผลการทดลองที่แตกต่างกันออกไปได้



รูปที่ 11 ค่าความยืดสูงสุด ณ จุดขาด (EB) ของยางวัลคาไนซ์ที่ผสมกรดสเตียริกและน้ำมันปาล์มในปริมาณแตกต่างกัน

จากการทดลองการเลือกใช้น้ำมันปาล์มควรใช้ที่ปริมาณ 3 phr ทำให้ได้สมบัติการใช้งานที่ต้องการโดยให้ค่า TS ของยางวัลคาไนซ์สูงที่สุด เมื่อปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้นจาก 1, 3, 5 และ 7 phr ทำให้ความหนืดของยางลดลง ค่า ts1 และ tc90 ค่อนข้างจะคงที่ ค่า EB มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย

4. สรุป

ความหนืดมุนนี้ของยางคอมพาวนด์ที่ผสมน้ำมันปาล์มมีความหนืดสูงกว่ากรดสเตียริกเล็กน้อย เมื่อ

ปริมาณกรดสเตียริกและน้ำมันปาล์มเพิ่มมากขึ้นอย่างมีค่าความหนืดลดลง ทำให้ยางไหลได้ดีขึ้น การแปรรูปทำได้ดีขึ้น แสดงว่ากรดสเตียริกและน้ำมันปาล์มในปริมาณมากกว่า 3 phr สามารถใช้เป็นพลาสติกไซเซอร์ได้

อุณหภูมิ 150°C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติเพราะให้ค่า MH สูงกว่าที่อุณหภูมิมากกว่า 150°C

สมบัติการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 150°C เมื่อปริมาณกรดสเตียริกเพิ่มขึ้นจาก 1-7 phr เวลา ts1 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และ tc90 เพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อปริมาณน้ำมันปาล์มเพิ่มขึ้นจาก 1-7 phr เวลา ts1 มีค่าใกล้เคียงกัน และ tc90 มีค่าใกล้เคียงกัน ที่ปริมาณน้ำมันปาล์ม 3 phr ให้ค่า MH ของยางคอมพาวนด์สูงที่สุด

สมบัติเชิงกลการใช้กรดสเตียริกและน้ำมันปาล์มเพิ่มขึ้นมีผลให้ค่า EB มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ค่า 300% Modulus และ TS ของยางวัลคาไนซ์มีแนวโน้มลดลง ที่ปริมาณน้ำมันปาล์ม 3 phr ให้ค่า TS ของยางวัลคาไนซ์สูงที่สุด ดังนั้นน้ำมันปาล์มที่เติมปริมาณกรดโอเลอิก 15% สามารถใช้เป็นสารในระบบวัลคาไนซ์ของยางได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณแหล่งทุน สกว. ที่สนับสนุนการวิจัยนี้ รหัสโครงการ สกว.-54-010.

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Y. Coran, "Vulcanization. Part VII. Kinetics of Sulfur Vulcanization of Natural Rubber in Presence of Delayed-Action Accelerators," *Rubber Chemistry and Technology*, vol. 38, no. 1, pp. 1-14, 1965.
- [2] B. C. Barton and E. J. Hart, "Variables Controlling the Cross-Linking Reactions in Rubber," *Rubber Chemistry and Technology*, vol. 26, no. 1, pp. 510-521, 1953.
- [3] H. Ismail and H. Anuar, "Palm oil fatty acid as an activator in carbon black filled natural rubber compounds: Dynamic properties, curing characteristics, reversion and fatigue studies," *Polymer Testing*, vol. 19, no. 1, pp. 349-359, 2000.
- [4] Y. Singh, A. Sharma and A. Singla, "Non-edible vegetable oil-based feedstocks capable of bio-lubricant production for automotive sector applications—a review," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 26, no. 15, pp. 14867-14882, 2019.
- [5] S. Fernandez, S. Kunchandy and S. Ghosh, "Linseed Oil Plasticizer Based Natural Rubber/Expandable Graphite Vulcanizates: Synthesis and Characterizations," *Journal of Environment Polymer Degradation*, vol. 23, no. 4, pp. 526-533, 2015.
- [6] C. Siri Wong, P. Khansawai, S. Boonchiangma, C. Sirisinha and P. Sae-Oui, "The influence of modified soybean oil as processing aids in tire application," *Polymer Bulletin*, vol. 78, no. 7, pp. 3589-3606, 2021.
- [7] S. Boonrasri, P. Sae-Oui, A. Reungsang and P. Rachtanapun, "New Vegetable Oils with Different Fatty Acids on Natural Rubber Composite Properties," *Polymers*, vol. 13, no. 7, pp. 1108, 2021.
- [8] A. Saetung, P. Patya and A. Rungvichaniwit, "Using Vegetable Oil Replaced Aromatic Oil in

- Rubber Compounds, Full research report, The Thailand Research Fund (TRF) 2005.
- [9] B. Saad, C. W. Ling, M. S. Jab, B. P. Lim, A. S. M. Ali, W. T. Wai and M. I. Saleh, "Determination of free fatty acids in palm oil samples using non-aqueous flow injection titrimetric method," *Food Chemistry*, vol. 102 no. 4, pp. 1407-1414, 2007.
- [10] I. M. Atadashi, M. K. Aroua, A. R. A. Aziz and N. M. N. Sulaiman, "Production of biodiesel using high free fatty acid feedstocks," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 5, pp. 3275-3285, 2012.
- [11] A. K. Tiwari, A. Kumar, and H. Raheman, "Biodiesel production from jatropha oil (*Jatropha curcas*) with high free fatty acids: An optimized process," *Biomass and Bioenergy*, vol. 31, no. 8, pp. 569-575, 2007.
- [12] X. Sun, and A. I. Isayev, "Cure Kinetics Study of Unfilled and Carbon Black Filled Synthetic Isoprene Rubber," *Rubber Chemistry and Technology*, vol. 82, no. 2, pp. 149-169, 2009.
- [13] C. T. Loo "High temperature vulcanization of elastomers: 2. Network structures in conventional sulphenamide - sulphur natural rubber vulcanizates." *Polymer*, vol. 15, no. 6, pp. 357-365, 1974.
- [14] T. R. Kukreja, R. C. Chauhan, S. Choe and P. P. Kundu, "Effect of the doses and nature of vegetable oil on carbon black/rubber interactions: Studies on castor oil and other vegetable oils," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 87, no. 10, pp. 1574-1578, 2003.
- [15] G. Fard-Zolfaghari, A. Abbasian and M. Razzaghi-Kashani, "Insights into the compatibility of vegetable-based plasticizers on the performance of filled rubber vulcanizates," *Polymer Engineering and Science*, vol. 61, no. 5, pp. 1379-1391, 2021.
- [16] R. Mohamed, N. Mohd Nurazzi and M. Huzaifah, "Effect of carbon black composition with sludge palm oil on the curing characteristic and mechanical properties of natural rubber/styrene butadiene rubber compound," In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, Malaysia vol. 223, 2017, pp. 1-9.
- [17] S. H. Song, "The Effect of Palm Oil-Based Hybrid Oils as Green Multifunctional Oils on the Properties of Elastomer Composites," *Polymers (Basel)*, vol. 10, no. 9, pp. 1045, 2018.
- [18] J. Li and A. I. Isayev, "Recent development in application of bio-based oils in elastomers," *Rubber Chemistry and Technology*, vol. 91, no. 4, pp. 719-728, 2018.
- [19] P. Intharapat, A. Kongnoo and P. Maiwat, "Bio-processing aids based on jatropha seed oil and its epoxidized derivatives in carbon black-reinforced natural rubber," *Journal of Vinyl and Additive Technology*, vol. 26, no. 1, pp. 62-76, 2020.

- [20] N. Sovtic, K. S. Predrag, O. J. Bera, J. M. Pavlicevic, O. M. Govedarica and M. C. Jovicic, "A review of environmentally friendly rubber production using different vegetable oils," *Polymer Engineering and Science*, vol. 60, no. 6, pp. 1097-1117, 2020.
- [21] C. K. Lee, J. G. Seo, H. J. Kim and S. H. Song, "Novel green composites from styrene butadiene rubber and palm oil derivatives for high performance tires," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 136, no. 25, p. 47672, 2019.
- [22] C. Yan, A. D. Sarma, E. Moretto, J.-S. Thomann, P. Verge, D. Schmidt, F. Kayser and R. Dieden. "Semiquantitative Solid-State NMR Study of the Adsorption of Soybean Oils on Silica and Its Significance for Rubber Processing," *Langmuir*, vol. 37, no. 34, pp. 10298-10307, 2021.