

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้น้ำมันที่ได้จากพืชเป็นน้ำมันช่วยแปรรูป สำหรับการผลิตยางธรรมชาติคอมพาวด์

Feasibility Study of Using Vegetable Oils as Processing Oil for Natural Rubber Compound Production

สุนิสา หวนา¹, มณฑนา สงไข¹ และวัชรินทร์ สายน้ำใส¹
Sunisa Huana¹, Mantana Songkhai¹ and Watcharin Sainumsai¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาน้ำมันจากพืช 3 ชนิด คือ น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันมะพร้าว เพื่อใช้เป็นน้ำมันช่วยแปรรูปทดแทนน้ำมันอะโรมาติก โดยวิเคราะห์ค่าความหนืดและการผ่อนคลายความเค้นด้วยเครื่องทดสอบความหนืดมูนี ทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง Moving Die Rheometer (MDR) พบว่ายางคอมพาวด์ที่ใช้ น้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลืองมีค่าความหนืดมูนี ค่าแรงบิดต่ำสุด แรงบิดสูงสุด ผลต่างแรงบิด ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ ใกล้เคียงกับยางที่ใช้ น้ำมันอะโรมาติก แต่จะมีดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ที่ต่ำกว่าเล็กน้อย ส่วนยางที่ใช้ น้ำมันมะพร้าวมีค่าความหนืดสูงกว่ายางที่ใช้ น้ำมันชนิดอื่น ๆ ซึ่งน้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลืองจัดเป็นน้ำมันที่มีศักยภาพสูงสำหรับนำไปใช้เป็นน้ำมันช่วยแปรรูปทดแทนน้ำมันอะโรมาติก

คำสำคัญ: ยางธรรมชาติ น้ำมันช่วยแปรรูป น้ำมันจากพืช ความหนืดมูนี ลักษณะการวัลคาไนซ์

Abstract

In this research, the feasibility of using 3 types of vegetable oils: palm oil, soybean oil and coconut oil as replacements for aromatic oils in processing of natural rubber were studied. The Mooney viscosity and stress relaxation were determined using a Mooney viscosity tester. Vulcanization characteristics were investigated using a moving die rheometer (MDR). It was found that the Mooney viscosity, minimum torque, maximum torque, torque difference, and scorch time of the rubber compounds produced with palm oil and soybean oil were not significantly different from those of rubber compounds incorporating aromatic oil. However, rubber compounds made with palm oil and soybean oil gave slightly lower cure rate indexes than did compounds made with aromatic oil. Coconut oil gave rubber compounds with the highest viscosity. The research strongly suggests that palm oil and soybean oil have great potential to be used as processing oils instead of aromatic oils.

Keywords: natural rubber, processing oil, vegetable oil, Mooney viscosity, vulcanization characteristics

คำนำ

ยางธรรมชาติที่ยังไม่ผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ จัดเป็นวัสดุประเภทหยุ่นหนืด (viscoelastic material) มีสมบัติเป็นทั้งพลาสติกและอีลาสติก (Ward and Hadley, 1993; Ngai et al., 2014) ซึ่งทำให้ยางยุบตัวหรือยืดเมื่อได้รับแรงกดหรือแรงดึง แต่เมื่อคลายแรงกระทำออก ยางจะคืนรูปกลับแต่ไม่เท่าเดิม ส่วนยางธรรมชาติที่ผ่านการวัลคาไนซ์แล้วสามารถยืดได้ถึงประมาณ 1000% หรือมากกว่านั้น (Roberts, 1988; Gent and Mars, 2014) สมบัติในการยืดได้สูงนี้ทำให้สามารถนำยางธรรมชาติไปใช้ได้หลากหลาย เนื่องจากยางธรรมชาติมีโครงสร้างโมเลกุลที่สมำเสมอ ทำให้สามารถตกผลึกได้เมื่อดึง (Tosaka et al., 2004; Toki et al., 2005; Sainumsai et al., 2017) ทำให้ยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อแรงดึงและความต้านทานต่อการฉีกขาดสูง

การนำยางธรรมชาติมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ยางประเภทต่าง ๆ จะมีการผสมสารตัวเติมชนิดเสริมแรงบางชนิด เช่น เขม่าดำ (carbon black) หรือ ซิลิกา (silica) (Laube et al., 2001; Waddell and Evans, 2001) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานให้กับยางธรรมชาติ โดยสารตัวเติมเหล่านี้จะยึดติดกับโมเลกุลยางด้วยอันตรกิริยาทางกายภาพและทางเคมี ซึ่งซิลิกาจัดเป็นสารเสริมแรงที่ไม่ใช้สีดำ ส่วนสารตัวเติมอื่น ๆ นอกจากเขม่าดำและซิลิกา ได้แก่ ดินขาวหรือเคลย์ (clay)

¹โปรแกรมวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา อ. เมือง จ. สงขลา 90000

¹ Program in Rubber and Polymer Technology, Faculty of Science and Technology, Songkhla Rajabhat University, Muang, Songkhla 90000

*Corresponding author, Email: 594236011@parichat.skru.ac.th

แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ทัลคัม (talcum) ซึ่งสารเหล่านี้ไม่เสริมแรงจนถึงเสริมแรงได้ปานกลางขึ้นกับขนาดของอนุภาค (Brydson, 1988) แต่จะช่วยลดต้นทุนในการผลิต และช่วยให้กระบวนการผลิตเป็นไปได้อย่างง่ายดาย ซิลิกาเป็นสารตัวเติมที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมยาง โดยเฉพาะในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่มีสีหรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความโปร่งแสงในขณะที่ยังคงมีสมบัติเชิงกลที่ดี

การเตรียมยางคอมพาวด์ที่ใส่สารตัวเติมในปริมาณมากจำเป็นต้องมีการใช้น้ำมันช่วยแปรรูปเพื่อควบคุมความหนืดของยางให้สามารถแปรรูปได้ง่ายและทำให้สารตัวเติมกระจายตัวในยางได้ดี (Rodgers and Waddell, 2014) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วน้ำมันที่ใช้กันมากคือน้ำมันอะโรมาติกเพราะมีความเข้ากันกับยางได้ดี แต่จากผลการศึกษาด้านความเป็นพิษ พบว่าน้ำมันชนิดนี้มีองค์ประกอบของสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs) ซึ่งถูกจัดเป็นสารในกลุ่มที่ก่อมะเร็ง (carcinogenic substances) ผลของความเป็นพิษดังกล่าวทำให้มีการประกาศข้อบังคับของสหภาพยุโรป (European Union regulation) ที่ IP/04/2008 ลงวันที่ 16 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2547 เพื่อห้ามการนำเข้าผลิตภัณฑ์ยางรถยนต์ที่มีปริมาณ PAHs เกินร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก จากการสกัดด้วยสารไดเมทิลซัลฟอกไซด์หรือ DMSO ตามวิธี IP346 ซึ่งเริ่มมีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2553 เป็นต้นมา จากข้อบังคับนี้ทำให้ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่ต้องการส่งผลิตภัณฑ์ไปจำหน่ายในสหภาพยุโรป จำเป็นต้องใช้น้ำมันช่วยแปรรูปชนิดอื่นทดแทนน้ำมันอะโรมาติก ทำให้มีความจำเป็นต้องหาน้ำมันชนิดอื่นมาใช้ทดแทน น้ำมันชนิดที่มีปริมาณ PAHs ต่ำกว่าข้อกำหนดที่มีการศึกษาและทดลองใช้เพื่อทดแทนการใช้น้ำมันอะโรมาติก มีทั้งน้ำมันที่ได้จากแร่ (mineral oils) เช่น น้ำมัน treated distillate aromatic extract (TDAE) และน้ำมัน mild extraction solvate (MES) และน้ำมันที่ได้จากพืช (vegetable oils) ทั้งแบบที่ไม่ดัดแปรและดัดแปรโครงสร้างโมเลกุลการใช้น้ำมันจากพืชซึ่งสามารถปลูกทดแทนใหม่ได้มีข้อได้เปรียบทั้งในแง่เศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม

ในงานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้น้ำมันจากพืช 3 ชนิด คือ น้ำมันปาล์ม (palm oil, PO) น้ำมันถั่วเหลือง (soybean oil, SO) และน้ำมันมะพร้าว (coconut oil, CO) ทดแทนน้ำมันอะโรมาติก (aromatic oil, AO) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม เป็นน้ำมันช่วยแปรรูปยางธรรมชาติที่ผสมเขม่าดำเกรด N660 เป็นสารตัวเติม โดยศึกษาเปรียบเทียบความหนืดมูนิ การผ่อนคลายความเค้น และลักษณะการวัลคาไนซ์

วิธีการศึกษา

การเตรียมยางคอมพาวด์

ยางธรรมชาติที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นยางแท่งมาตรฐานเกรด 20 (STR 20) ผลิตโดยบริษัท ถาวรอุตสาหกรรมยางพารา (1982) จำกัด จังหวัดสงขลา ผสมยางคอมพาวด์ตามสูตรการทดลองใน Table 1 โดยนำยางแท่งมาตรฐานเกรด 20 มาบดผสมยางกับสารเคมีตามวิธีมาตรฐาน ISO 2393 (2014) ด้วยเครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้งขนาด 10x20 นิ้ว ซึ่งมี friction ratio เท่ากับ 1:1.2 ผลิตโดยบริษัทชัยเจริญเอ็นจิเนียริง ดังรายละเอียดขั้นตอนการผสมยางและสารเคมีใน Table 2 หลังจากนั้นนำยางคอมพาวด์มาทดสอบความสามารถในการแปรรูป ได้แก่ ความหนืดมูนิ การผ่อนคลายความเค้น และลักษณะการวัลคาไนซ์

Table 1 Compound rubber formulations.

Ingredients	Quantity (phr ^a)			
	AO	PO	SO	CO
Natural rubber, STR 20	100	100	100	100
Stearic acid	2	2	2	2
Zinc oxide	5	5	5	5
Accelerator MBT ^b	1	1	1	1
Carbon black N660 grade	35	35	35	35
Aromatic oil	1	-	-	-
Palm oil	-	1	-	-
Soybean oil	-	-	1	-
Coconut oil	-	-	-	1
Sulfur	2	2	2	2

^aphr: parts (by weight) per hundred parts of rubber, ^bMBT: 2-mercapto benzothiazole.

Table 2 Mixing procedure used in this study.

Step	Procedure	Duration (min)	Accumulative (min)
1	Set the mill opening at 0.20 mm and pass the rubber through the rolls twice without banding	1	1
2	Band the rubber on the front roll with the mill opening at 1.40 mm. Make two $\frac{3}{4}$ cuts from each side.	2	3
3	Set the mill opening at 1.70 mm. Add zinc oxide. Make one $\frac{3}{4}$ cut from each side.	2	5
4	Add the carbon black and oil evenly across the mill at a uniform rate. When about half the black is incorporated, add the stearic acid and open the mill to 1.90 mm. Make one $\frac{3}{4}$ cut from each side then add the remainder of the carbon black.	10	15
5	Add the accelerator, taking care to avoid any loss. Sweep the mill pan and add until all the pigment is in the batch. Make three $\frac{3}{4}$ cuts from each side.	2	17
6	Add the sulfur and that which falls into the mill pan. Make one $\frac{3}{4}$ cut from each side.	3	20
7	Cut the stock from the mill. Set the opening at 0.80 mm. and pass the rolled stock endwise through the mill six times.	2	22
8	Open the mill to give a minimum stock thickness of 6 mm and pass the stock through the rolls four times, folding it back on itself each time.	3	25

การทดสอบความหนืดมูนนี่และการผ่อนคลายความเค้น

นำยางคอมพาวด์มาทดสอบความหนืดมูนนี่และการผ่อนคลายความเค้นด้วยเครื่องทดสอบความหนืดมูนนี่ รุ่น MV-3000-VS (GOTECH Testing Machines Inc.) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยใช้โรเตอร์ขนาดใหญ่ ตามวิธีการทดสอบมาตรฐาน ISO/TS 289-4 (2017) ซึ่งในการทดสอบจะมี 3 ขั้นตอนแสดงดัง Figure 1(A) โดยขั้นตอนแรกจะเป็นการอุ่นยางตัวอย่างเป็นเวลา 1 นาที ในขั้นตอนที่สอง โรเตอร์จะหมุนด้วยความเร็ว 2 รอบต่อนาทีและบันทึกค่าแรงบิดเป็นค่าความหนืดมูนนี่ของยางตัวอย่างที่เวลา 4 นาที และในขั้นตอนที่สาม เป็นการวัดการผ่อนคลายความเค้นของยางหลังจากโรเตอร์หยุดหมุน โดยจะบันทึกค่าแรงบิดเป็นเวลา 1 นาที

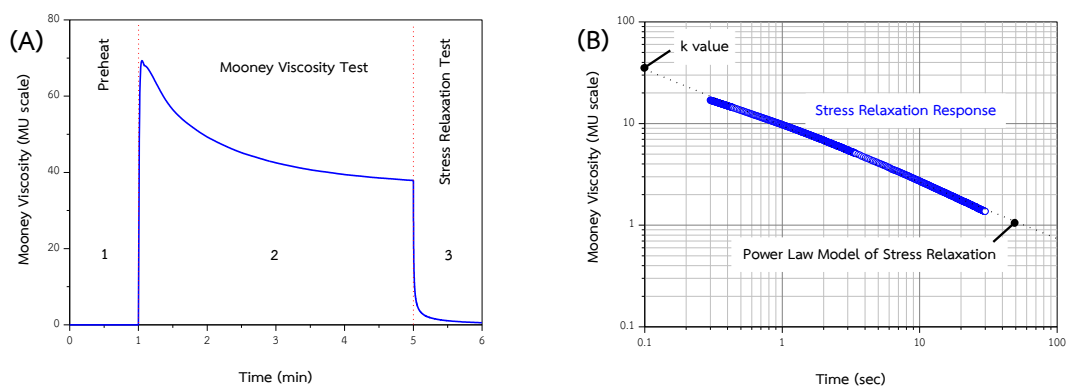


Figure 1 (A) Torque curve from a Mooney viscosity test plus a stress relaxation test and (B) Plot of log Mooney units versus log time from a stress relaxation test.

จากนั้นนำข้อมูลแรงบิด (Mooney viscosity value) มาวิเคราะห์หาอัตราการผ่อนคลายความเค้น (rate of stress relaxation) จากความสัมพันธ์ของแรงบิด (Mooney units) กับเวลา (วินาที) แสดงดัง Figure 1(B) ซึ่งสามารถคำนวณค่าคงที่และอัตราการผ่อนคลายความเค้นได้จากสมการยกกำลังแบบถดถอยดังสมการ (1) ทดสอบ 5 ซ้ำทดสอบ รายงานผลด้วยค่าเฉลี่ย

$$M = k(t)^a \dots\dots\dots (1)$$

โดยที่ M หมายถึง ค่าแรงบิดในหน่วย Mooney units

k หมายถึง ค่าคงที่ เป็นแรงบิดในหน่วย Mooney units ที่เวลา 1 วินาทีหลังจากโรเตอร์หยุดหมุน

a หมายถึง อัตราการผ่อนคลายความเค้น (s^{-1})

การทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์

นำยางคอมพาวด์มาทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง Moving Die Rheometer (MDR) ตามวิธีมาตรฐาน ISO 6502-3 (2018) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส บันทึกค่าแรงบิดต่ำสุด แรงบิดสูงสุด ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ และเวลาการวัลคาไนซ์ของยางคอมพาวด์ จากนั้นคำนวณดัชนีความเร็วการวัลคาไนซ์ (cure rate index, CRI) ดังสมการ (2) ทดสอบ 5 ซีนทดสอบ รายงานผลด้วยค่าเฉลี่ย

$$\text{Cure rate index, CRI (min}^{-1}\text{)} = \frac{100}{\text{CureTime} - \text{ScorchTime}} \dots\dots\dots (2)$$

โดยที่ Cure time (t_{c90}) เป็นระยะเวลาการวัลคาไนซ์ของยางคอมพาวด์ในหน่วยนาที่

Scorch time (t_{s1}) เป็นระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ของยางคอมพาวด์ในหน่วยนาที่

ผลการศึกษาและวิจารณ์

ยางธรรมชาติที่ผสมน้ำมันปาล์ม (PO) และน้ำมันถั่วเหลือง (SO) มีค่าความหนืดมูนีใกล้เคียงกับยางธรรมชาติที่ใช้น้ำมันอะโรมาติก (AO) ดังแสดงใน Figure 2 แต่ยางธรรมชาติที่ผสมน้ำมันมะพร้าว (CO) มีค่าความหนืดมูนีสูงกว่าน้ำมันชนิดอื่น ๆ เล็กน้อย ซึ่งค่าความหนืดของยางคอมพาวด์ที่สูงกว่าจะแปรรูปได้ยากกว่า นั่นคือการไหลของยางในขณะแปรรูปเกิดขึ้นได้ยากกว่า ต้องใช้พลังงานในการแปรรูปสูงกว่า (บุญธรรม นิธิอุทัย, 2539; Ngai et al., 2014)

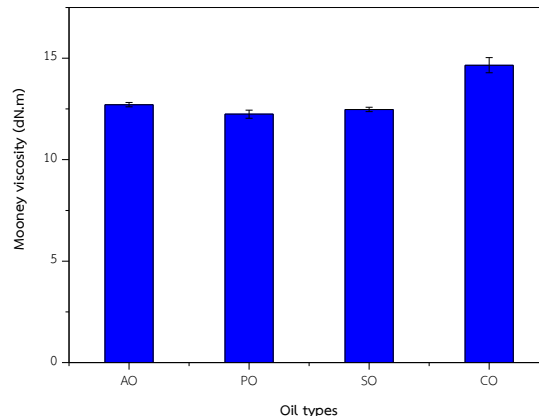


Figure 2 Mooney viscosity value of rubber compound with various types of processing oil.

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดหลังโรเตอร์หยุดหมุนกับเวลาของยางธรรมชาติที่ใช้น้ำมันชนิดต่าง ๆ แสดงดัง Figure 3 ซึ่งสามารถวิเคราะห์อัตราการผ่อนคลายความเค้นของยางคอมพาวด์โดยใช้สมการยกกำลังแบบถดถอย อัตราการผ่อนคลายความเค้นพิจารณาได้จากความสัมพันธ์ของความเค้นกับเวลา ซึ่งอัตราการผ่อนคลายความเค้นของยางที่มีค่าน้อยจะบ่งชี้ว่ายางตัวอย่งนั้นมีพฤติกรรมของแข็งที่ยืดหยุ่น (elastic) สูง (Treloar, 2005; Gent, 2014) ในทางกลับกันยางตัวอย่างที่มีอัตราการผ่อนคลายความเค้นสูงจะแสดงพฤติกรรมของของเหลวหนืด (viscous) สูง จาก Table 3 พบว่าอัตราการผ่อนคลายความเค้นของยางคอมพาวด์ที่ใช้น้ำมันทั้ง 4 ชนิด คือ น้ำมันอะโรมาติก น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันมะพร้าว มีค่าใกล้เคียงกัน ในช่วง 0.608-0.648 หน่วยต่อวินาที นั่นแสดงว่ายางคอมพาวด์ที่ใช้น้ำมันทั้ง 4 ชนิดมีพฤติกรรมเป็นวัสดุหยุ่นหนืด (viscoelastic behavior) ที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งอาจเป็นผลมาจากทั้งส่วนประกอบของยางและขนาดน้ำหนักโมเลกุลรวมถึงโครงสร้างของโมเลกุลด้วย (Treloar, 2005) ซึ่งจะได้ทำการศึกษาต่อไปในอนาคต นอกจากนี้อาจส่งผลที่ใกล้เคียงกันต่อระยะเวลาการเก็บยางคอมพาวด์ (บุญธรรม นิธิอุทัย, 2539) ตลอดจนกระบวนการแปรรูปในขั้นตอนอื่น ๆ ต่อไปด้วย

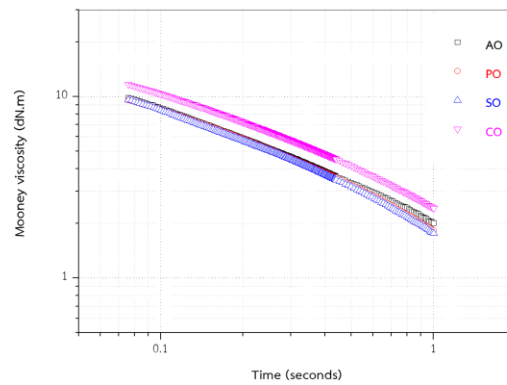


Figure 3 Torque curve from a stress relaxation test of rubber compound with various types of processing oil.

Table 3 Parameters and correlation of regression power equation.

Oil types	Parameters		Correlation, r
	<i>k</i>	<i>a</i>	
Aromatic oil (AO)	2.1685±0.0312	0.613±0.016	0.9960±0.0011
Palm oil (PO)	2.0591±0.1183	0.638±0.034	0.9896±0.0007
Soybean oil (SO)	1.9940±0.0129	0.648±0.013	0.9899±0.0015
Coconut oil (CO)	2.6823±0.0130	0.608±0.008	0.9913±0.0060

ยางคอมพาวด์ที่ใช้น้ำมันอะโรมาติกและน้ำมันที่ได้จากพืชชนิดต่าง ๆ มีกราฟการวัลคาไนซ์ที่คล้ายคลึงกัน ดังแสดงใน Figure 4 โดยยางที่ใช้น้ำมันอะโรมาติกมีอัตราการวัลคาไนซ์ที่สูงกว่าเล็กน้อยซึ่งจะได้พิจารณาต่อไป ส่วนค่าแรงบิดต่ำสุด และแรงบิดสูงสุดของยางคอมพาวด์ที่ใช้น้ำมันอะโรมาติกและน้ำมันจากพืชไม่แตกต่างกันมากนัก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำมันซึ่งเป็นสารช่วยในการแปรรูป ไม่มีผลต่อปริมาณการเชื่อมโยระหว่างโมเลกุลยาง (crosslink) ผลต่างระหว่างค่าแรงบิดสูงสุดกับแรงบิดต่ำสุดของยางคอมพาวด์ใช้บ่งชี้ถึงปริมาณการเชื่อมระหว่างโมเลกุลยางได้ (Coran, 2014) โดยยางคอมพาวด์ที่ใช้น้ำมันอะโรมาติกและน้ำมันที่ได้จากพืชชนิดต่าง ๆ มีผลไม่แตกต่างกัน

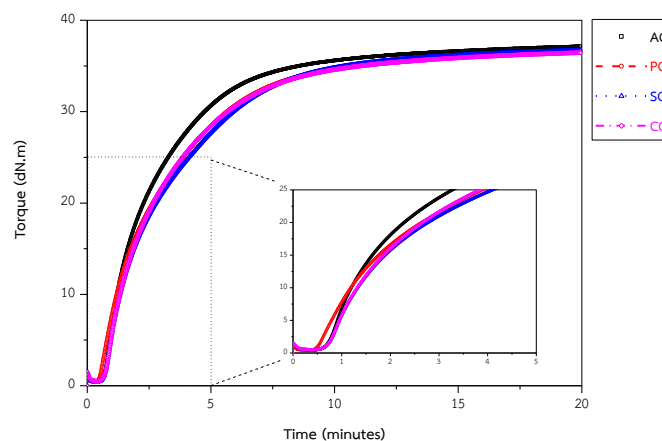


Figure 4 Cure curve of rubber compound with various types of processing oil at testing temperature 150°C.

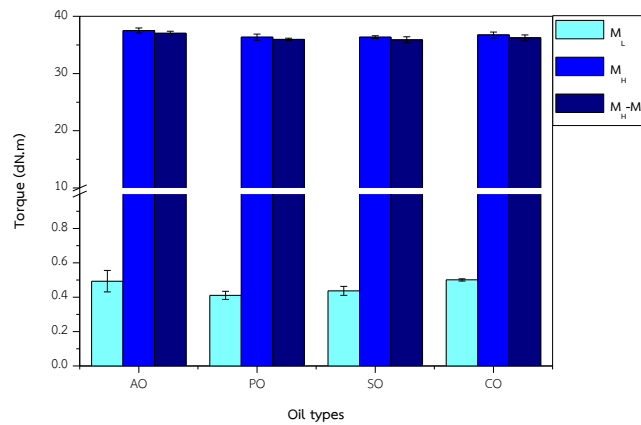


Figure 5 Minimum torque, maximum torque, and different torque of rubber compound with various types of processing oil.

เปรียบเทียบค่าแรงบิดต่ำสุด แรงบิดสูงสุด และผลต่างแรงบิดของยางคอมพาวด์ที่ใช้น้ำมันชนิดต่าง ๆ แสดงดัง Figure 5 พบว่ายางที่ใช้น้ำมันทั้ง 4 ชนิด มีค่าแรงบิดต่ำสุด แรงบิดสูงสุด และผลต่างแรงบิดไม่แตกต่างกัน นั่นคือน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันมะพร้าว ไม่มีผลทำให้ปริมาณการเชื่อมโยงของโมเลกุลยางเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากค่าผลต่างแรงบิดจะเป็นดัชนีบ่งชี้ถึงปริมาณการเชื่อมโยงของโมเลกุลยาง (Coran, 2014) ซึ่งในการศึกษานี้พบว่า ยางที่ใช้น้ำมันทั้ง 4 ชนิด มีค่าใกล้เคียงกัน น้ำมันอะโรมาติกมีอัตราการวัลคาไนซ์ที่สูงกว่าเล็กน้อยซึ่งจะได้พิจารณาต่อไป ส่วนค่าแรงบิดต่ำสุด และแรงบิดสูงสุดของยางคอมพาวด์ที่ใช้น้ำมันอะโรมาติกและน้ำมันจากพืชไม่แตกต่างกันมากนัก

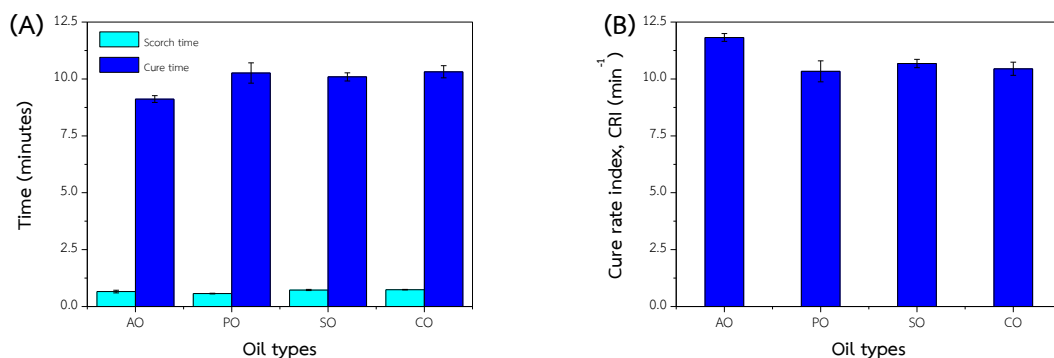


Figure 6 (A) Scorch time and cure time and (B) cure rate index of rubber compound with various types of processing oil.

จาก Figure 6(A) พบว่าระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ของยางที่ใช้น้ำมันอะโรมาติกและน้ำมันจากพืชทั้ง 3 ชนิด มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้เป็นช่วงเวลาที่โมเลกุลยังไม่เกิดปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ ยังไม่เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลยาง (Coran, 2014) นั่นคือยางคอมพาวด์ยังสามารถไหล หรือเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ ส่วนเวลาวัลคาไนซ์ของยางคอมพาวด์ พบว่ายางที่ใช้น้ำมันจากพืชทั้ง 3 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน แต่มีค่าสูงกว่ายางที่ใช้น้ำมันอะโรมาติกอยู่เล็กน้อย เวลาวัลคาไนซ์เป็นเวลาที่ช่วยให้เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของโมเลกุลยาง ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์ยางมีความยืดหยุ่นสูงขึ้น ยางที่ใช้น้ำมันพืชมีระยะเวลาวัลคาไนซ์ที่นานกว่าอยู่เล็กน้อย กล่าวคือจะต้องใช้เวลาในการทำผลิตภัณฑ์ยางนานกว่าเพียงเล็กน้อย ซึ่งดัชนีความเร็วการวัลคาไนซ์ของยางคอมพาวด์แสดงดัง Figure 6(B) พบว่ายางที่ใช้น้ำมันอะโรมาติกมีค่าดัชนีความเร็วการวัลคาไนซ์สูงกว่ายางที่ใช้น้ำมันพืชอยู่เล็กน้อย

สรุปผลการศึกษา

น้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลืองมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้เป็นน้ำมันช่วยแปรรูปในยางธรรมชาติ ทดแทนน้ำมันอะโรมาติก ซึ่งยางคอมพาวด์ที่ใช้น้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลืองมีความหนืดมู่นี้ ค่าแรงบิดต่ำสุด แรงบิดสูงสุด ผลต่างแรงบิด ระยะเวลาที่สามารถแปรรูปได้ ใกล้เคียงกับยางที่ใช้น้ำมันอะโรมาติก แต่จะมีดัชนีความเร็วในการวัลคาไนซ์ที่ต่ำกว่าอยู่เล็กน้อย

ในการวิจัยนี้ศึกษาเขม่าดำเพียงเกรดเดียว (N660) ในปริมาณ 35 phr ร่วมกับน้ำมัน 1 phr การวิจัยครั้งต่อไป จะศึกษาโดยใช้เขม่าดำเกรดต่าง ๆ และสารตัวเติมชนิดอื่น ๆ โดยแปรปริมาณสารตัวเติมและปริมาณน้ำมัน รวมถึงการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพทั้งเชิงกล และพลวัตของยางวัลคาไนซ์ที่ใช้น้ำมันจากพืชและน้ำมันอะโรมาติก

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลาที่อนุเคราะห์วัสดุและสารเคมี รวมทั้งเครื่องมือ เครื่องจักร เครื่องทดสอบ และขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลาที่สนับสนุนงบประมาณในการนำเสนองานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- บุญธรรม นิธิอุทัย. 2539. *กระบวนการแปรรูปยาง*. ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปัตตานี. 317 หน้า.
- Brydson, J. A. 1988. *Rubbery materials and their compounds*. Essex, U.K.: Elsevier Science Publishers Ltd. 469 pp.
- Coran, A. Y. 2014. Vulcanization. In *The Science and Technology of Rubber*, J. E. Mark, B. Erman, and C. M. Roland. eds. pp. 383-416. 4th Ed. MA, USA: Elsevier Inc.
- Gent, A. N. 2014. Rubber elasticity: basic concepts and behavior. In *The Science and Technology of Rubber*, J. E. Mark, B. Erman, and C. M. Roland. eds. pp. 1-26. 4th Ed. MA, USA: Elsevier Inc.
- Gent, A. N., and Mars, W. V. 2014. Strength of elastomers. In *The Science and Technology of Rubber*, J. E. Mark, B. Erman, and C. M. Roland. eds. pp. 473-516. 4th Ed. MA, USA: Elsevier Inc.
- ISO 2393. 2014. *Rubber test mixes - Preparation, mixing and vulcanization - Equipment and procedures*. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland. 24 pp.
- ISO 6502-3. 2018. *Rubber - Measurement of vulcanization characteristics using curemeters - Part 3: Rotorless curemeter*. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland. 20 pp.
- ISO/TS 289-4. 2017. *Rubber, unvulcanized - Determinations using a shearing-disc viscometer - Part 4: Determination of the Mooney stress-relaxation rate*. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland. 13 pp.
- Laube, S., Monthey, S., and Wang, M. J. 2001. Compounding with carbon black and oil. In *Rubber Technology: Compounding and testing for performance*, J. S. Dick. ed. pp. 295-324. Ohio, USA: Hanser Gardner Publications, Inc.
- Ngai, K. L., Capaccioli, S., and Plazek, D. J. 2014. The viscoelastic behavior of rubber and dynamics of blends. In *The Science and Technology of Rubber*, J. E. Mark, B. Erman, and C. M. Roland. eds. pp. 193-284. 4th Ed. MA, USA: Elsevier Inc.
- Roberts, A. D. 1988. *Natural rubber science and technology*. Oxford, U.K.: Oxford University Press. 1136 pp.
- Rodgers, B., and Waddell, W. 2014. The science of rubber compounding. In *The Science and Technology of Rubber*, J. E. Mark, B. Erman, and C. M. Roland. eds. pp. 417-471. 4th Ed. MA, USA: Elsevier Inc.
- Sainumsai, W., Toki, S., Amnuaypornsi, S., Nimpaboon, A., Sakdapapanich, J., Rong, L., Hsiao, B. S., and Suchiva, K. 2017. Dependence of the onset of strain-induced crystallization of natural rubber and its synthetic analogue on crosslink and entanglement by using synchrotron X-ray. *Rubber Chemistry and Technology* 90(4): 728-742.
- Toki, S., Sics, I., Hsiao, B. S., Murakami, S., Tosaka, M., Poompradub, S., Kohjiya, S., and Ikeda, Y. 2005. Probing the nature of strain-induced crystallization in polyisoprene rubber by combined thermomechanical and in situ X-ray diffraction techniques. *Macromolecules* 38(16): 7064-7073.
- Tosaka, M., Murakami, S., Poompradub, S., Kohjiya, S., Ikeda, S., Toki, Y., Sics, I., and Hsiao, B. S. 2004. Orientation and crystallization of natural rubber network as revealed by WAXD using synchrotron radiation. *Macromolecules* 37(9): 3299-3309.
- Treloar, L. R. G. 2005. *The Physics of Rubber Elasticity*. 3rd ed. Oxford, USA: Oxford University Press. 322 pp.
- Waddell, W. H., and Evans, L. R. 2001. Precipitated silica and non-black fillers. In *Rubber Technology: Compounding and Testing for Performance*, J. S. Dick. ed. pp. 325-343. Ohio, USA: Hanser Gardner Publications.
- Ward, I. M., and Hadley, D. W. 1993. *An introduction to the mechanical properties of solid polymers*. West Essex, U.K.: John Wiley & Sons Ltd. 334 pp.

วันรับบทความ (Received date) : 13 พ.ย. 62

วันแก้ไขบทความ (Revised date) : 12 ม.ค. 63

วันตอบรับบทความ (Accepted date) : 17 ก.ค. 63