

ผลของน้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่มีต่อสมบัติของยางผสมระหว่าง  
ยางสไตรีน-บิวตาไดอิน และยางธรรมชาติ  
ที่เสริมแรงด้วยคาร์บอนแบล็ก  
Effect of *Jatropha curcas* oil on Properties of  
Carbon Black-Filled Styrene-Butadiene Rubber/Natural Rubber  
Blends

ปิยวิทย์ เหล่าบ้านค้อ (Piyawit Lawbankhor)<sup>1</sup>  
ไชยวัฒน์ รักษกุลพิวัฒน์ (Chaiwat Ruksakulpiwat)<sup>2</sup>  
เฉลิม เรืองวิริยะชัย (Chalerm Ruangviriyachai)<sup>3\*</sup>

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของการเติมน้ำมันเมล็ดสบู่ดำต่อสมบัติต่างๆ ของยางผสมระหว่างยางสไตรีน-บิวตาไดอิน และยางธรรมชาติ ที่มีการเสริมแรงด้วยคาร์บอนแบล็ก โดยในการทดลองได้ทำการนำยางสไตรีน-บิวตาไดอินกับยางธรรมชาติมาผสมกัน โดยใช้อัตราส่วนที่แตกต่างกัน จากนั้นได้เติมสารช่วยในกระบวนการผลิต (น้ำมันเมล็ดสบู่ดำหรือน้ำมันพาราฟินิก) ด้วยการแปรปริมาณสารช่วยในกระบวนการผลิตจาก 0.0 ถึง 9.0 ส่วนในร้อยส่วนของยาง จากการศึกษาพบว่า การเติมสารช่วยในกระบวนการผลิตทั้ง 2 ชนิดลงไปในยางคอมพาวนด์นั้นส่งผลทำให้การขึ้นรูปสามารถทำได้ง่ายขึ้น เนื่องจากทั้งค่าความหนืดและพลังงานที่ใช้ในการผสม โดยมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องตามการเพิ่มปริมาณสารช่วยในกระบวนการผลิต นอกจากนี้ได้ทดสอบสมบัติเชิงกลต่างๆ ของยางคงรูป เช่น ความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาด ความแข็ง สมบัติความทนทานต่อการเสื่อมสภาพ เป็นต้น ผลของการทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าเมื่อเติมยางธรรมชาติลงในของผสม NR/SBR ในปริมาณมากขึ้น จะทำให้สมบัติความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาด มีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย และผลจากการศึกษาในครั้งนี้ยังแสดงให้เห็นว่า การเติมน้ำมันเมล็ดสบู่ดำนั้นไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อสมบัติเชิงกลของยางผสม

## Abstract

This research aims to study and compare the influences of *Jatropha curcas* oil on properties of carbon black-filled styrene-butadiene rubber (SBR) / natural rubber (NR) blends. Preparation of the rubber compounds was carried out by blending styrene-butadiene rubber with natural rubber at different proportions. The content

<sup>1</sup>นักศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

<sup>2</sup>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

<sup>3</sup>รองศาสตราจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

\*Corresponding author, e-mail: chal\_ru@kku.ac.th

of *Jatropha curcas* oil or paraffinic oil was varied from 0.0-9.0 parts per hundred of rubber (phr). The processability and mechanical properties of the rubber compounds were then investigated. The results revealed that two types of processing aids could improve the processability of the rubber compound, i.e., both viscosity and mixing energy were found to decrease with increasing processing aid content. The tensile and tear strengths of the NR/SBR blends increase with increasing NR percentage. The results obtained also indicate that the addition of *Jatropha curcas* oil does not significantly affect the mechanical properties of the blends.

**คำสำคัญ:** ยางธรรมชาติ, ยางสไตรีน-บิวตาไดอีน, น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

**Keywords:** Natural Rubber (NR), Styrene-Butadiene Rubber (SBR), *Jatropha curcas* oil

## บทนำ

ยางสไตรีน-บิวตาไดอีน เป็นยางสังเคราะห์ที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมยาง เนื่องจากเป็นยางที่มีความต้านทานต่อการชูดัดและป้องกันการสึกกร่อนได้ดี ดังนั้นจึงนำยางชนิดนี้ไปใช้ในการผลิตสายพาน พื้นรองเท้า ฉนวนหุ้มสายไฟ ท่อยาง ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ บรรจุภัณฑ์อาหาร เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ยางสไตรีน-บิวตาไดอีนนี้ไม่สามารถเกิดผลึกได้เมื่อถูกยืดออก จึงทำให้มีข้อด้อยทางด้านสมบัติเชิงกลอยู่บางประการ เช่น มีความทนทานต่อแรงดึงต่ำ ความทนทานต่อการฉีกขาดน้อยด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงไม่สามารถใช้ยางชนิดนี้เพียงชนิดเดียวได้ในอุตสาหกรรมการผลิตล้อของยานพาหนะ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องนำไปใช้ผสมกับยางชนิดอื่นๆ เช่น ยางบิวตาไดอีน (BR) และยางธรรมชาติ (NR) (พงษ์ธร, 2548)

โดยทั่วไปการผสมยางตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปนั้น นอกจากจะทำให้ยางมีคุณสมบัติที่ดีกว่าเดิมแล้วยังอาจส่งผลทำให้ต้นทุนในกระบวนการผลิตลดลงด้วยอันเนื่องจากยาง SBR จัดเป็นยางที่สามารถรองรับสารตัวเติมได้ในปริมาณที่สูงมากได้ (Akovali et al., 1999) ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวทำให้ผู้ประกอบการสามารถออกสูตรเคมียางหลายชนิดมาเพื่อลดต้นทุนในการผลิตได้ แต่กระนั้นก็ตาม การเติมสารตัวเติมลงไปปริมาณสูงๆ นั้นอาจส่งผลกระทบบ้างให้กระบวนการผลิตเป็นไปด้วยความยากลำบาก การเติมสารช่วยในกระบวนการผลิตลงไปในส่วนที่

เหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่สามารถช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ เพราะสารช่วยในกระบวนการผลิตนอกจากจะช่วยทำให้ยางสามารถรองรับสารตัวเติมได้มากขึ้นแล้ว ยังส่งผลทำให้ปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตลดลงได้อีกด้วย นอกจากนี้ ยังได้มีการรายงานว่าสารช่วยในกระบวนการผลิตบางชนิดสามารถเพิ่มอัตราเร็วในการคงรูปของยางให้สูงขึ้นได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ (George et al., 2000; McDonel et al., 1978; Ismail et al., 2000; Furtado et al., 1999)

ปัจจุบันสารช่วยในกระบวนการผลิตที่ใช้ในอุตสาหกรรมยางมีหลายประเภท ได้แก่ สารเสริมสภาพพลาสติก (plasticizers) และสารเพปไทเซอร์ (peptizers) เป็นต้น โดยสารทำให้ยางนุ่มจำพวกน้ำมันแร่ (mineral oils) ซึ่งได้แก่ น้ำมันอะโรมาติก (aromatic oil) น้ำมันแนฟทาติก (naphthenic oil) และน้ำมันพาราฟินิก (paraffinic oil) นั้น จัดเป็นพวกสารเสริมสภาพพลาสติกที่นิยมนำมาใช้กันกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากน้ำมันแร่ส่วนใหญ่ได้มาจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียมจากการกลั่นน้ำมันดิบนั่นเอง ซึ่งสภาวะปัจจุบันทราบกันดีแล้วว่า มีราคาสูงขึ้น ดังนั้นจึงได้มีการทดลองนำน้ำมันชนิดต่างๆ ที่มีสมบัติใกล้เคียงกันมาใช้ทดแทน เช่น น้ำมันปาล์ม (Ismail et al., 2000) น้ำมันละหุ่ง (Baarle, 1997) เป็นต้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อนำน้ำมันเมล็ดสบู่ดำซึ่งเป็นพืชผลผลิตทางการเกษตรของประเทศไทยมาใช้และจากการศึกษาพบว่าเมล็ดสบู่ดำมีน้ำมันเป็นองค์ประกอบหลักอยู่ในปริมาณ

46.3% และน้ำมันสกัดจากเมล็ดสนูป่าจะมีกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acids) เป็นองค์ประกอบหลักในปริมาณ 78.4% โดยมีกรดโอเลอิก (Oleic acid) ในปริมาณ 41-48% และกรดลินโอเลอิก (Linoleic acid) 35-44% และกรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acids) มีปริมาณ 21.7% ซึ่งประกอบด้วยกรดปาล์มมิติก (Palmitic acid) 14.8% และกรดสเตียริก (Stearic acid) 6.9% ทั้งกรดปาล์มมิติก และกรดสเตียริก ใช้เป็นสารกระตุ้น (activator) อยู่แล้วนั้น (Hotmann et al., 1989; Okieiman, 2002) เพื่อให้เกิดความหลากหลายในการใช้น้ำมันเมล็ดสนูป่าจึงนำมาใช้เป็นสารช่วยในกระบวนการผลิตในรูปของสารเสริมสภาพพลาสติก โดยศึกษาเปรียบเทียบกับน้ำมันพาราฟินิกที่นิยมใช้กัน เพื่อศึกษาผลของปริมาณของน้ำมันเมล็ดสนูป่าที่มีต่อความสามารถในกระบวนการผลิตและสมบัติเชิงกลต่างๆ ของยางผสมระหว่างยางสไตรีน-บิวตาไดอินและยางธรรมชาติที่มีการเสริมแรงด้วยคาร์บอนแบล็ก โดยยางผสมที่เลือกมาใช้ในการศึกษานี้จะมีสัดส่วนการผสมระหว่างยางสไตรีน-บิวตาไดอินและยางธรรมชาติเท่ากับ 75/25 50/50 25/75 ทั้งก่อนและหลังการบ่มแรงด้วยความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 22 ชั่วโมง

## วิธีการทดลอง

ยางสไตรีน-บิวตาไดอิน (BSTE SBR 1502, 51-ML1+4@100 °C) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ผลิตโดยบริษัท บีเอสที อีลาสโตเมอร์ จำกัด ยางธรรมชาติ (RSS-3) ผลิตโดยบริษัท ไทยฮั่วยางพารา จำกัด (มหาชน) สารตัวเติมที่ใช้ คือ คาร์บอนแบล็กเกรด N330 (มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 83 m<sup>2</sup>/g) ซึ่งผลิตโดยบริษัท ไทยโกลคาร์บอนโปรดักส์ จำกัด สารช่วยในกระบวนการผลิตที่นำมาใช้ในการทดลองมี 2 ชนิด คือ น้ำมันพาราฟินิก บริษัท ยูเนียนลิงค์ จำกัด และน้ำมันเมล็ดสนูป่า ได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 3 (สวพ.) กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ สารเคมีที่ใช้เป็นองค์ประกอบในการผสม

เคมียาง ได้แก่ ซิงก์ออกไซด์ (ZnO) กรดสเตียริก (stearic acid) และกำมะถัน (S<sub>8</sub>) จากบริษัท เคมีอินคอร์ปอเรชั่น จำกัด ส่วนสารเร่งปฏิกิริยาจำนวน 2 ชนิดที่นำมาใช้คือ เตตระเมทิลไธยูเรมไดซัลไฟด์ (Tetramethylthiuram disulfide, TMTD) และไซโคลเฮกซิลเบนโซโทซัลไฟด์ (N-cyclohexyl -2- benzothiazyl sulfenamide, CBS) สารป้องกันการเสื่อมสภาพคือ ไดเมทิลบิวทิลฟีนิลลีนไดเอมีน (N-(1,3-dimethylbutyl)-N-phenyl-p-phenylenediamine, 6PPD) บริษัท รีไลแอนซ์ เทคโนโลยี จำกัด

## การเตรียมและทดสอบสมบัติของยางคอมพาวนด์

ตารางที่ 1 แสดงสูตรการผสมเคมีที่ใช้ในงานวิจัย หลังจากการเตรียมสูตรแล้ว ได้ดำเนินการผสมเคมีโดยใช้เครื่องผสมระบบปิด (Brabender PLE 331) ตั้งอุณหภูมิเริ่มต้นของห้องผสมที่ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการหมุน 40 รอบต่อวินาที และใช้ค่า fill factor เท่ากับ 0.7 โดยเริ่มจากการผสมยาง NR ในเครื่องผสม เมื่อเวลาผ่านไป 2 นาที เติมยาง SBR ลงไป หลังจากนั้นในเวลาที่ 4 จึงทำการเติมซิงก์ออกไซด์และกรดสเตียริก แล้วเติมด้วยคาร์บอนแบล็ก ลงไปในเวลาที่ 6 และเมื่อเวลาผ่านไป 9 นาทีทำการเติมสารช่วยในกระบวนการผลิต สารป้องกันการเสื่อมสภาพ สารเร่งปฏิกิริยาและกำมะถัน ตามลำดับ จากนั้นผสมต่อไปอีกเป็นเวลานาน 3 นาที ก่อนที่จะนำยางคอมพาวนด์ที่เตรียมได้ให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องรีดแบบสองลูกกลิ้ง (two-roll mill) จากนั้นทำการแบ่งยางคอมพาวนด์ออกเป็น 3 ส่วน โดยส่วนแรกนำไปวัดความหนืดมูนีตามมาตรฐาน ASTM D1646 ด้วยเครื่องวัดความหนืดมูนี (Mooney viscometer) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ส่วนที่ 2 นำไปหาลักษณะเฉพาะของการบ่ม (cure characteristics) ตามมาตรฐาน ASTM D2084 ด้วยเครื่อง Oscillating Disk Rheometer (ODR) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และส่วนสุดท้าย นำไปขึ้นรูปสำหรับทดสอบสมบัติเชิงกลต่างๆ ของยางคงรูปตามสภาวะที่ได้จากลักษณะเฉพาะของการบ่ม

## การทดสอบสมบัติเชิงกลของยางคกรูป

นำยางคอมพาวนด์ที่ได้หลังจากการผสมไปทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ตามระยะเวลาในการคกรูปที่เหมาะสม ( $t_{90}$ ) ของยางแต่ละสูตร จากนั้นจึงนำยางคกรูปที่ได้ไปทดสอบสมบัติเชิงกลต่างๆ ได้แก่ สมบัติความแข็ง ตามมาตรฐาน ASTM D2240 สมบัติความทนทานต่อแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D412 สมบัติความทนทานต่อการฉีกขาด ตามมาตรฐาน ASTM D624 โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง สมบัติความทนทานต่อการเสื่อมสภาพ ตามมาตรฐาน ASTM D573 โดยนำชิ้นตัวอย่างไปบ่มแรงที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 22 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบความทนทานต่อแรงดึง โดยเปรียบเทียบกับสมบัติของชิ้นทดสอบที่ไม่ได้รับการบ่มแรง และแสดงผลในรูปของสมบัติสัมพัทธ์ (แสดงดังสมการที่ 1) (Rattanasom et.al., 2009)

$$\text{สมบัติสัมพัทธ์} = \frac{P_a}{P_i} \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ  $P_a$  หมายถึง สมบัติของยางคกรูปหลังการบ่มแรง

$P_i$  หมายถึง สมบัติของยางคกรูปที่ไม่ได้รับการบ่มแรง

## ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

### สมบัติทางกระบวนการผลิต

จากรูปที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบผลของปริมาณสารช่วยในกระบวนการผลิตต่อค่าพลังงานที่ใช้ในการผสม ซึ่งพบว่าพลังงานที่ใช้ในการผสมมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องตามปริมาณของสารช่วยในกระบวนการผลิตที่เติมลงไป ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำและน้ำมันพาราฟินก็มีลักษณะโครงสร้างทางเคมีแบบอะลิฟาติกคล้ายกันทั้งคู่ ดังนั้น ทั้งน้ำมันเมล็ดสบู่ดำและน้ำมันพาราฟินจึงสามารถผสมเข้ากับยางผสม

ได้ดี นอกจากนี้ การที่น้ำมันเมล็ดสบู่ดำและน้ำมันพาราฟินมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำอยู่ในสถานะที่เป็นของเหลว ซึ่งสามารถแทรกเข้าไประหว่างสายโซ่โมเลกุลของยางได้ ทำให้สายโซ่โมเลกุลเกิดการเคลื่อนที่ได้ดียิ่งขึ้น ความหนืดของยางผสมจึงลดลงอย่างต่อเนื่องตามปริมาณของน้ำมันเมล็ดสบู่ดำและน้ำมันพาราฟินที่เติมลงไป ดังแสดงในรูปที่ 2 ด้วยเหตุนี้ น้ำมันเมล็ดสบู่ดำจึงสามารถทำหน้าที่เป็นสารช่วยในกระบวนการผลิตของยางผสมได้เป็นอย่างดี เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันพาราฟินที่มีปริมาณ 3 - 7 phr

เมื่อพิจารณาผลของสารช่วยในกระบวนการผลิตต่อลักษณะการคกรูปของยางคอมพาวนด์ พบว่าการเติมน้ำมันเมล็ดสบู่ดำจะส่งผลทำให้ระยะสกอรัซ ( $t_2$ ) และระยะเวลาในการคกรูปที่เหมาะสม ( $t_{90}$ ) มีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันพาราฟิน ดังแสดงในรูปที่ 3 และรูปที่ 4 ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้คาดว่าเป็นผลมาจากการลดลงของอุณหภูมิในระหว่างการเติมสารช่วยในกระบวนการผลิต เพราะเป็นที่ทราบกันว่า การแตกตัวของสารตัวเร่งปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับประวัติการได้รับความร้อน (thermal history) ของยาง เนื่องจากการทดลองได้ทำการผสมแบบ 1 ขั้นตอน คือ หลังจากที่ทำการเติมสารตัวเติมและสารช่วยในกระบวนการผลิตเรียบร้อยแล้วก็จะทำการเติมสารเคมีในกลุ่มที่ทำให้ยางคกรูปตามลงไป แล้วผสมต่ออีก 3 นาทีก่อนที่จะนำยางคอมพาวนด์ออกจากเครื่องผสมระบบปิด ซึ่งในระหว่างที่จะทำการเติมสารเคมีในกลุ่มที่ทำให้ยางคกรูปลงไปในอุณหภูมิของยางคอมพาวนด์ในขณะนั้นค่อนข้างสูงมากเนื่องจากยางมีความหนืดค่อนข้างสูงส่งผลทำให้มีความร้อนเสียดทาน (frictional heat) สูงตามไปด้วย สำหรับในกรณีที่มีการเติมสารช่วยในกระบวนการผลิตลงไป ความหนืดของยางจะลดต่ำลง ส่งผลทำให้อุณหภูมิของยางคอมพาวนด์ขณะผสมลดลงด้วย ดังนั้น สารตัวเร่งปฏิกิริยาที่เติมลงไปในตอนท้ายของการผสมจึงได้รับอุณหภูมิที่ต่ำลง ซึ่งส่งผลต่อเนื้องทำให้ยางคอมพาวนด์มีระยะสกอรัซและระยะเวลาในการคกรูปที่เหมาะสมมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อย

### สมบัติเชิงกลของยางคงรูป

ในตารางที่ 2 และ 3 เป็นการแสดงผลของสารช่วยในกระบวนการผลิตต่อความแข็งแรง ความทนทานต่อการฉีกขาดและสมบัติแรงดึงจากตารางเมื่อเปรียบเทียบสารช่วยในกระบวนการผลิตระหว่างน้ำมันพาราฟินิกและน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ พบว่าการเติมสารช่วยในกระบวนการผลิตทั้งสองชนิดจะส่งผลทำให้ยางคงรูปที่ได้มีค่าความแข็งแรงและมอดูลัสลดลง ซึ่งการลดลงของค่าความแข็งแรงและมอดูลัสดังกล่าวเกิดจากผลของความเป็นสารเสริมสภาพพลาสติกของสารช่วยในกระบวนการผลิตทั้งน้ำมันพาราฟินิก และน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ เพราะสารช่วยในกระบวนการผลิตดังกล่าวสามารถแทรกเข้าไปในยางและทำให้โมเลกุลของยางสามารถเกิดการเคลื่อนที่ได้ง่ายมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้การลดลงของระดับความหนาแน่นเชื่อมขวางก็อาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ค่าความแข็งแรงและมอดูลัสของยางคงรูปลดลงตามการเพิ่มปริมาณสารช่วยในกระบวนการผลิต ตามที่เคยมีผู้รายงานแล้ว (Ibarra et al., 2004; Menon et al., 2002) ส่วนของสมบัติความทนทานต่อการฉีกขาดนั้น พบว่า การเติมสารช่วยในกระบวนการผลิตทั้งน้ำมันพาราฟินิกและน้ำมันเมล็ดสบู่ดำจะส่งผลทำให้ค่าความทนทานต่อการฉีกขาดมีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณที่เติมลงไป ในยางคงรูป (พิจารณาจากตาราง) เมื่อเปรียบเทียบการเติมน้ำมันพาราฟินิกและน้ำมันเมล็ดสบู่ดำไม่ส่งผลกระทบบ่อย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความทนทานต่อการฉีกขาดของยางแต่อย่างใด ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่าความทนทานต่อการฉีกขาดดังกล่าว คาดว่าน่าจะเป็นผลเกิดมาจากการลดลงของระดับความหนาแน่นเชื่อมขวาง เพราะเป็นที่ทราบกันดีว่าค่าความทนทานต่อการฉีกขาดของยางคงรูปจะสูงขึ้นเมื่อยางมีระดับความหนาแน่นเชื่อมขวางที่ค่อนข้างต่ำนั่นเอง (Coran, 2003)

เมื่อพิจารณาผลของปริมาณสารช่วยในกระบวนการผลิตต่อค่าสมบัติแรงดึงของยางผสมพบว่าสารช่วยในกระบวนการผลิตทั้งน้ำมันพาราฟินิกและน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ ส่งผลต่อสมบัติความทนทาน

ต่อแรงดึงของยางคงรูปเช่นกัน กล่าวคือ การเพิ่มปริมาณสารช่วยในกระบวนการผลิตทั้งสองชนิด ส่งผลให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงของยางคงรูปมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่าความทนทานต่อแรงดึงตามปริมาณของสารช่วยในกระบวนการผลิตนั้น คาดว่ามีส่วนสำคัญมาจากการที่เติมน้ำมันทั้งสองชนิดนั้นสามารถแทรกเข้าไปในเนื้อยางได้ จึงทำให้โมเลกุลของยางสามารถเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น มีผลทำให้สารเสริมแรง สามารถแทรกกระจายตัวอยู่ในเนื้อยางได้มากขึ้นนั่นเอง ทำให้การพันกันของโมเลกุล (entanglement) เพิ่มขึ้น เพราะเป็นที่ทราบกันดีว่าผลของการกระจายตัวที่ดีของสารเสริมแรงจะส่งผลทางบวกต่อค่าความทนทานต่อแรงดึง และจากผลการทดลองยังพบว่า เมื่อทำการเติมสารช่วยในกระบวนการผลิตทั้งสองชนิดที่ปริมาณเท่ากัน น้ำมันเมล็ดสบู่ดำจะทำให้ยางคงรูปมีสมบัติความทนทานต่อแรงดึงที่สูงกว่า น้ำมันพาราฟินิก เล็กน้อย

### สมบัติความทนทานต่อการเสื่อมสภาพ

จากรูปที่ 5 นั้นเป็นการแสดงผลของสารช่วยในกระบวนการผลิตต่อสมบัติทนทานต่อความร้อนของยางผสม ซึ่งแสดงในรูปของสมบัติความทนทานต่อแรงดึงสัมพัทธ์ พบว่าความทนทานต่อแรงดึงสัมพัทธ์ของยางผสมทั้งหมดมีค่าต่ำกว่า 1 แสดงให้เห็นว่า การบ่มเร่งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 22 ชั่วโมง นั้นจะส่งผลให้ความทนทานต่อแรงดึงของยางมีค่าต่ำกว่าค่าที่น่าจะเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้น ทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพ (Rattanasom et.al., 2009) ซึ่งดูเปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วน 50/50 NR/SBR + paraffinic oil และ 50/50 NR/SBR + *Jatropha curcas* oil การเติมน้ำมันพาราฟินิกจะส่งผลให้ความทนทานต่อแรงดึงของยางมีค่าต่ำลงเนื่องจากเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายกว่าน้ำมัน สบู่ดำ ซึ่งที่ทราบกันดีว่าน้ำมันสบู่ดำมีสารแอนติออกซิเดนต์ (Adebowale et al., 2006) อย่างไรก็ตามแล้วการเติมสารช่วยในกระบวนการผลิตทั้งน้ำมันพาราฟินิกและน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ ไม่ส่งผลต่อสมบัติความทนทานต่อแรง



ดึงสัมพัทธ์ของยางอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบเทียบกัน ระหว่างสารช่วยในกระบวนการผลิตทั้งสองชนิด

## สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของการเติมสารช่วยในกระบวนการผลิตทั้งสองชนิด คือ น้ำมันพาราฟินิก และน้ำมันเมล็ดสบู่ดำลงในยางผสมระหว่างยางสไตรีน-บิวตาไดอีน และยางธรรมชาติที่มีการเสริมแรงด้วยคาร์บอนแบล็ก พบว่าสารช่วยในกระบวนการผลิตทั้งสองชนิดดังกล่าวมี ประสิทธิภาพในการช่วยปรับปรุงกระบวนการผลิตยางได้ใกล้เคียงกัน กล่าวคือส่งผลให้ทั้งค่าความหนืดและพลังงานที่ใช้ในการผสมมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องตามปริมาณของสารช่วยในกระบวนการผลิตที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้กระบวนการผลิตเป็นไปได้อย่างยิ่งขึ้น เมื่อพิจารณาสมบัติเชิงกลต่างๆ ของยางผสมพบว่า การเติมน้ำมันเมล็ดสบู่ดำลงไปในการผสมนั้นจะไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความแข็งแรง ความทนทานต่อการฉีกขาด สมบัติแรงดึงของยางคงรูปเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันพาราฟินิกที่ปริมาณเท่ากัน ดังนั้นจึงพบว่าสมบัติเชิงกลต่างๆ ตามที่ได้ศึกษาดังกล่าวจะมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องตามปริมาณของสารช่วยในกระบวนการผลิตทั้งสองชนิด นอกจากนี้ ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่า การเติมน้ำมันเมล็ดสบู่ดำนั้นทำให้ยางผสมมีสมบัติความทนทานต่อการเสื่อมสภาพส่งผลที่ไม่แตกต่างจากการเติมน้ำมันพาราฟินิก เมื่อเปรียบเทียบที่ปริมาณเท่ากัน ซึ่งถือได้ว่า น้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่นำมาใช้นี้ สามารถทำหน้าที่เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกในยางผสมได้ และทำให้ยางคอมพาวนด์มีสมบัติในกระบวนการผลิตที่ดีขึ้น จึงควรที่จะนำไปพัฒนาศักยภาพของการนำไปใช้ต่อไป

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากศูนย์ความเป็นเลิศด้านนวัตกรรมทางเคมี (PERCH-CIC) สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ

## เอกสารอ้างอิง

- พงษ์ธร แซ่ฮุย. 2548. สารเคมียาง. พิมพ์ครั้งที่ 1. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค).
- Adebowale, K.O., Adedire, C.O. 2006. Chemical composition and insecticidal properties of the underutilized *Jatropha curcas* seed oil. **African Journal of Biotechnology** 5 (10): 901-906.
- Akovali, G., Ulkem, I. 1999. Some performance characteristics of plasma modified carbon black in the (SBR) matrix. **Polymer** 40: 7417-7422.
- Baarle, B. V. 1997. Processing Aids. **Newsletter of the Rubber Foundation Information Center for Natural Rubber** 9: 9-10.
- Coran, A. Y. 2003. Chemistry of the Vulcanization and Protection of Elastomers: A Review of the Achievements. **Journal of Applied Polymer Science** 87: 24-30.
- Furtado, C.R.G., Leblanc, J.L., Nunes, R.C.R. 1999. Fatigue resistance of mica- carbon black-styrene butadiene rubber (SBR) compounds. **European Polymer Journal** 35(7): 1319-1325.
- George, S.C., Ninan, K.N., Greonincks, G., Thomas, S. 2000. Styrenebutadiene rubber/natural rubber blends: morphology, transport behaviour, and dynamic mechanical properties. **Journal of Applied Polymer Science** 78(6): 1280-1283.
- Hotmann, Werner: Rubber technology handbook. Munich; Vienna; New York: Hanser; New York: Oxford University Press, 1989.
- Ibarra, L., Posadas, P. and Esteban-Martinez, M. 2004. Influence of Some Additives on

- Rheological Properties, Viscosity, and Dynamic Mechanical Properties in NR Compounds. **Journal of Applied Polymer Science** 94: 332-344.
- Ismail, H. and Anuar, H. 2000. Palm Oil Fatty Acid As an Activator in Carbon Black Filled Natural Rubber Compounds: Dynamic Properties, Curing Characteristics, Reversion and Fatigue Studies. **Polymer Testing** 19: 349-359.
- Ismail, H., Hairunezam, H.M. 2000. The effect of compatibilizer on curing characteristics, mechanical properties and oil resistance of styrene butadiene rubber/epoxidized natural rubber blends. **European Polymer Journal** 137: 39-44.
- McDonel, E.T., Baranwal, K.C., Andries, J.C. In: Paul DR, Newman S, editors. 1978. **Polymer blends** vol. 2. New York: Academic Press; [Chapter 19].
- Menon, A. R. R., Aigbodion, A. I., Pillai, C. K. S. and Mathew, N. M. 2002. Processability Characteristics and Physico-Mechanical Properties of Natural Rubber Modified with Cashewnut Shell Liquid and Cashewnut Shell Liquid-Formaldehyde Resin. **European Polymer Journal** 38: 163-168.
- Rattanasom, N., Prasertsri, S. 2009. Relationship among mechanical properties, heat ageing resistance, cut growth behaviour and morphology in natural rubber: Partial replacement of clay with various types of carbon black at similar hardness level. **Polymer Testing** 28: 270-276.
- Okieiman, F.E. 2002. Studies in the utilization of epoxidised vegetable oils as thermal stabiliser for polyvinyl chloride. **Industrial Crops and Products** 15: 71-75.

## ตารางที่ 1. สูตรการผสมยางที่ใช้ในงานวิจัย

| องค์ประกอบ                               | ปริมาณ (phr*)                        |
|--|--------------------------------------|
| ยางสไตรีน-บิวตาไดอีน (SBR)               | 75, 50, 25                           |
| ยางธรรมชาติ (NR)                         | 25, 50, 75                           |
| ซิงก์ออกไซด์ (ZnO)                       | 5                                    |
| กรดสเตียริก (stearic acid)               | 2                                    |
| คาร์บอนแบล็ก เกรด N330                   | 40                                   |
| สารช่วยในกระบวนการผลิต (น้ำมันพาราฟินิก) | ปรับเปลี่ยนปริมาณ (0, 1, 3, 5, 7, 9) |
| น้ำมันเมล็ดสบู่ดำ                        | ปรับเปลี่ยนปริมาณ (0, 1, 3, 5, 7, 9) |
| ไดเมทิลบิวทิลฟีนีลีนไดเอมีน (6PPD)       | 1                                    |
| เตตระเมทิลไทอูเรมไดซัลไฟด์ (TMTD)        | 0.5                                  |
| ไซโคลเฮกซิลเบนโซไทอะซัลซัลฟิनाไมด์ (CBS) | 1.5                                  |
| กำมะถัน (S <sub>8</sub> )                | 2.5                                  |

หมายเหตุ: \*phr: parts per hundred of rubber

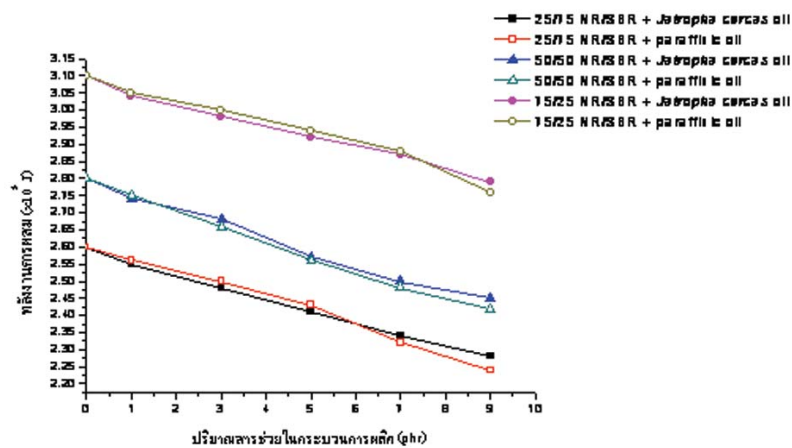
## ตารางที่ 2. แสดงผลของสารช่วยในกระบวนการผลิตของน้ำมันพาราฟินิกต่อความแข็ง ความทนทานต่อการฉีกขาดและสมบัติแรงดึงของยางคงรูป

| ชนิด         | สารช่วยในกระบวนการผลิตน้ำมันพาราฟินิก (phr) | ความแข็ง (Shore A) | ความทนทานต่อการฉีกขาด (N/mm) | สมบัติแรงดึง             |                     |                        |
|--------------|---|--------------------|------------------------------|--------------------------|---------------------|------------------------|
|              |   |                    |                              | ความทนทานต่อแรงดึง (MPa) | 100 % มอดุลัส (MPa) | การยืดตัว ณ จุดขาด (%) |
| 25/75 NR/SBR | 0   | 69.0 ± 0.3         | 47.9 ± 4.4                   | 15.5 ± 1.5               | 3.9 ± 0.2           | 258.1 ± 10.2           |
|              | 1   | 68.6 ± 0.4         | 48.3 ± 2.8                   | 15.7 ± 2.2               | 3.8 ± 0.4           | 261.5 ± 15.7           |
|              | 3   | 67.5 ± 0.3         | 48.3 ± 3.5                   | 16.3 ± 4.7               | 3.6 ± 0.3           | 288.2 ± 11.9           |
|              | 5   | 66.4 ± 0.4         | 48.2 ± 4.1                   | 17.6 ± 2.0               | 3.4 ± 0.1           | 319.4 ± 21.0           |
|              | 7   | 65.5 ± 0.3         | 49.0 ± 3.8                   | 17.9 ± 2.4               | 3.4 ± 0.3           | 322.9 ± 13.8           |
|              | 9   | 64.2 ± 0.2         | 49.5 ± 2.5                   | 18.8 ± 1.5               | 3.5 ± 0.1           | 325.5 ± 24.1           |
| 50/50 NR/SBR | 0   | 67.9 ± 0.6         | 46.5 ± 4.8                   | 15.7 ± 0.3               | 4.5 ± 0.2           | 241.1 ± 4.9            |
|              | 1   | 67.1 ± 0.4         | 47.0 ± 3.6                   | 16.6 ± 3.0               | 3.6 ± 0.3           | 276.0 ± 28.5           |
|              | 3   | 66.7 ± 0.4         | 47.8 ± 4.1                   | 17.2 ± 1.7               | 3.6 ± 0.3           | 287.4 ± 20.5           |
|              | 5   | 66.4 ± 0.5         | 49.1 ± 6.2                   | 20.5 ± 3.0               | 3.5 ± 0.1           | 336.4 ± 38.6           |
|              | 7   | 66.0 ± 0.5         | 49.8 ± 4.4                   | 21.6 ± 3.2               | 3.5 ± 0.2           | 347.8 ± 30.2           |
|              | 9   | 65.7 ± 0.3         | 50.4 ± 3.6                   | 23.1 ± 2.6               | 3.4 ± 0.2           | 352.4 ± 20.5           |
| 75/25 NR/SBR | 0   | 70.8 ± 0.4         | 45.5 ± 3.0                   | 16.5 ± 0.5               | 4.7 ± 0.2           | 242.3 ± 17.9           |
|              | 1   | 70.0 ± 0.4         | 46.3 ± 4.2                   | 16.9 ± 2.2               | 4.7 ± 0.2           | 245.5 ± 20.4           |
|              | 3   | 68.4 ± 0.6         | 47.5 ± 5.5                   | 17.4 ± 3.0               | 4.5 ± 0.3           | 277.9 ± 25.1           |
|              | 5   | 65.8 ± 0.1         | 50.7 ± 3.3                   | 18.5 ± 3.0               | 4.3 ± 0.1           | 305.7 ± 34.4           |
|              | 7   | 64.1 ± 0.4         | 51.4 ± 4.5                   | 18.9 ± 4.1               | 4.4 ± 0.4           | 303.3 ± 28.0           |
|              | 9   | 62.9 ± 0.4         | 53.1 ± 6.1                   | 19.8 ± 3.4               | 4.3 ± 0.2           | 310.6 ± 18.9           |

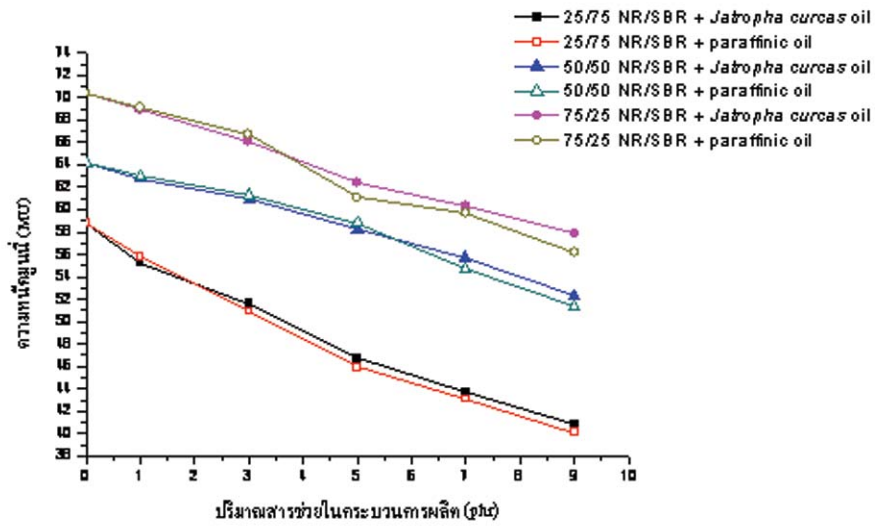


ตารางที่ 3. แสดงผลของสารช่วยในกระบวนการผลิตของน้ำมันเมล็ดสนุ่ดำต่อความแข็ง ความทนทานต่อการฉีกขาดและสมบัติแรงดึงของยางรูป

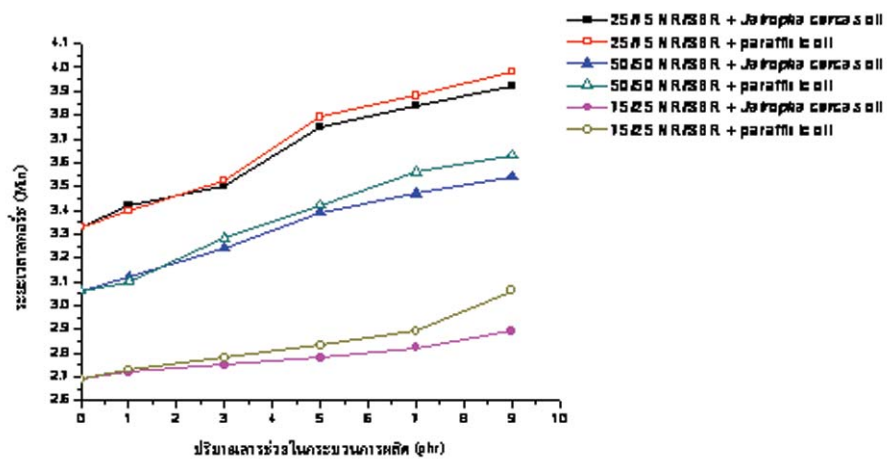
| ชนิด         | สารช่วยในกระบวนการผลิตน้ำมันเมล็ดสนุ่ดำ (phr) | ความแข็ง (Shore A) | ความทนทานต่อการฉีกขาด (N/mm) | สมบัติแรงดึง             |                      |                        |
|--------------|---|--------------------|------------------------------|--------------------------|----------------------|------------------------|
|              |   |                    |                              | ความทนทานต่อแรงดึง (MPa) | 100 % มอดคูลัส (MPa) | การยืดตัว ณ จุดขาด (%) |
| 25/75 NR/SBR | 0   | 69.0 ± 0.3         | 47.9 ± 4.4                   | 15.5 ± 1.5               | 3.9 ± 0.2            | 258.1 ± 10.2           |
|              | 1   | 68.2 ± 0.6         | 48.3 ± 5.5                   | 16.1 ± 2.0               | 3.3 ± 0.5            | 266.3 ± 20.1           |
|              | 3   | 67.4 ± 0.4         | 49.4 ± 4.0                   | 16.4 ± 1.7               | 3.8 ± 0.2            | 267.1 ± 13.2           |
|              | 5   | 66.3 ± 0.2         | 51.2 ± 3.8                   | 17.0 ± 0.9               | 3.4 ± 0.3            | 296.8 ± 9.9            |
|              | 7   | 65.4 ± 0.4         | 53.0 ± 4.0                   | 17.5 ± 1.9               | 3.4 ± 0.1            | 319.4 ± 20.0           |
|              | 9   | 63.7 ± 0.3         | 55.7 ± 5.5                   | 17.7 ± 1.2               | 3.5 ± 0.5            | 284.9 ± 11.3           |
| 50/50 NR/SBR | 0   | 67.9 ± 0.5         | 46.5 ± 4.8                   | 15.7 ± 0.3               | 4.5 ± 0.2            | 241.1 ± 4.9            |
|              | 1   | 67.1 ± 0.5         | 47.4 ± 4.2                   | 16.3 ± 2.0               | 3.4 ± 0.4            | 298.7 ± 10.3           |
|              | 3   | 66.5 ± 0.4         | 48.7 ± 2.9                   | 17.1 ± 3.4               | 3.5 ± 0.4            | 300.7 ± 20.2           |
|              | 5   | 65.8 ± 0.4         | 50.6 ± 3.5                   | 17.7 ± 2.4               | 3.5 ± 0.2            | 319.3 ± 22.6           |
|              | 7   | 64.6 ± 0.4         | 51.2 ± 5.0                   | 18.7 ± 2.8               | 3.6 ± 0.3            | 321.8 ± 11.8           |
|              | 9   | 63.5 ± 0.4         | 54.3 ± 4.8                   | 20.5 ± 3.0               | 3.5 ± 0.1            | 320.1 ± 30.8           |
| 75/25 NR/SBR | 0   | 70.8 ± 0.4         | 45.5 ± 3.0                   | 16.5 ± 0.5               | 4.7 ± 0.2            | 242.3 ± 17.9           |
|              | 1   | 70.0 ± 0.5         | 46.1 ± 4.7                   | 16.4 ± 1.8               | 3.8 ± 0.4            | 279.8 ± 17.3           |
|              | 3   | 68.7 ± 0.4         | 46.5 ± 4.2                   | 17.2 ± 1.4               | 3.7 ± 0.5            | 249.5 ± 20.0           |
|              | 5   | 66.8 ± 0.3         | 46.1 ± 3.7                   | 17.1 ± 2.7               | 4.4 ± 0.4            | 258.9 ± 30.7           |
|              | 7   | 65.1 ± 0.3         | 47.3 ± 5.4                   | 17.7 ± 2.0               | 4.4 ± 0.3            | 272.3 ± 10.2           |
|              | 9   | 63.9 ± 0.3         | 48.7 ± 3.9                   | 18.8 ± 1.0               | 4.4 ± 0.2            | 280.7 ± 23.6           |



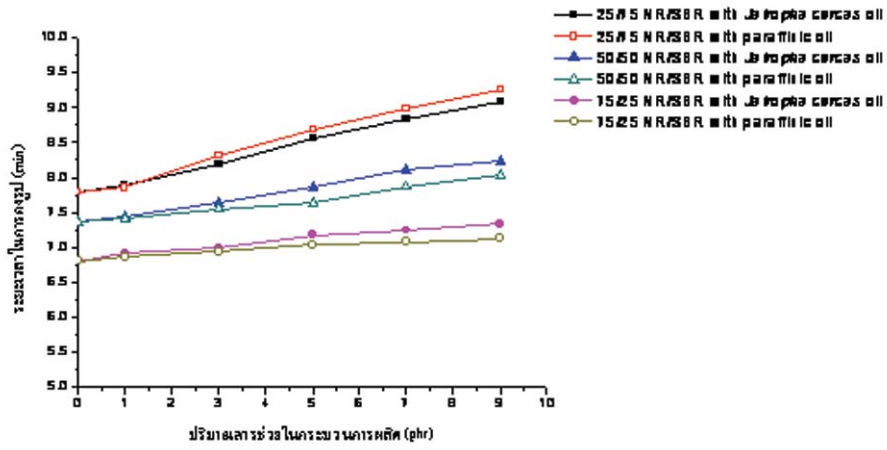
รูปที่ 1. แสดงการเปรียบเทียบผลของปริมาณสารช่วยในกระบวนการผลิตต่อพลังงานที่ใช้ในการผสม



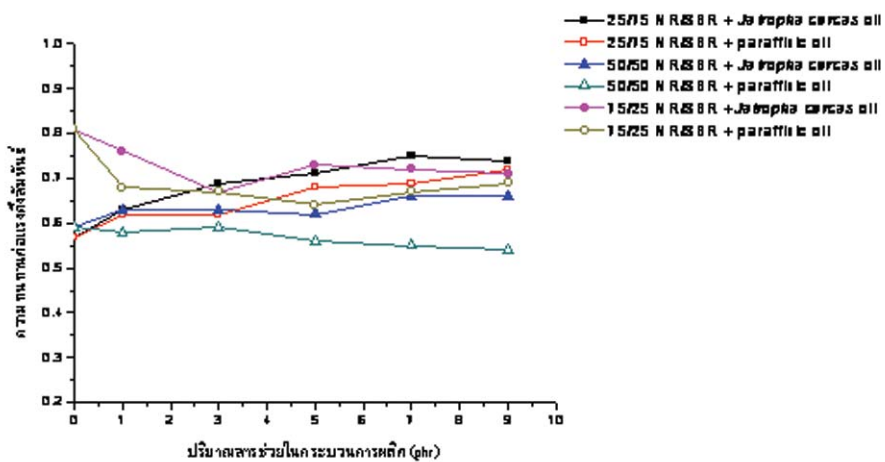
รูปที่ 2. แสดงการเปรียบเทียบผลของปริมาณสารช่วยในกระบวนการผลิตต่อความเหนียวของยางคอมพาวนด์



รูปที่ 3. แสดงการเปรียบเทียบผลของปริมาณสารช่วยในกระบวนการผลิตต่อระยะเวลาสกอรัซ ( $t_2$ )



รูปที่ 4. แสดงการเปรียบเทียบผลของปริมาณสารช่วยในกระบวนการผลิตต่อระยะเวลาการคงรูป (t<sub>90</sub>)



รูปที่ 5. แสดงการเปรียบเทียบผลของปริมาณสารช่วยในกระบวนการผลิตต่อความทนทานต่อแรงดึงสัมพัทธ์