

**อิทธิพลของสารช่วยประสานต่อสมบัติการไหล
ความหนาแน่นของพันธะข้าม และสมบัติเชิงกลของยางผสม
ระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอ็นบีอาร์**

ชัชวาลย์ กันทะลา¹ เอกชัย วิมลมาลา² ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ^{3*}

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

และ ชาคริต สิริสิงห์⁴

มหาวิทยาลัยมหิดล (ศาลายา) พุทธมณฑลสาย 4 ศาลายา จังหวัดนครปฐม 73170

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของสารช่วยประสานต่อ สมบัติการไหล ความหนาแน่นของพันธะข้าม และสมบัติเชิงกลของยางผสมระหว่างยาง NR กับยาง NBR โดยใช้สารช่วยประสานยางคลอโรพรีนและยางธรรมชาติอีพ็อกซีไดซ์ โดยปรับเปลี่ยนปริมาณที่ 0 ถึง 7 phr ในงานวิจัยนี้ใช้ยาง NR กับยาง NBR ที่สัดส่วน 20:80 ผลการทดลองพบว่า การเติมสารช่วยประสาน ยางคลอโรพรีนและยางธรรมชาติอีพ็อกซีไดซ์ทำให้ค่าความหนืดของยางผสมเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในกรณีของสารช่วยประสานยางธรรมชาติอีพ็อกซีไดซ์ อย่างไรก็ตาม พบว่า การเติมสารช่วยประสานไม่ส่งผลต่อเวลาในการไหลตัวเวลาในการคงรูป และค่าความแตกต่างแรงบิด แต่ส่งผลให้ความหนาแน่นของพันธะข้ามและสมบัติเชิงกลโดยรวมเพิ่มขึ้น โดยการเติมสารช่วยประสาน 5 phr เป็นปริมาณที่เหมาะสม

คำสำคัญ : ยางธรรมชาติ / ยางเอ็นบีอาร์ / สมบัติการไหล / สารช่วยประสาน / สมบัติเชิงกล

* Corresponding author; narongrit.som@kmutt.ac.th

¹ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

² นักวิจัย กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

³ ศาสตราจารย์ กลุ่มวิจัยการผลิตและขึ้นรูปพอลิเมอร์ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

⁴ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

Effect of Compatibilizers on Rheology, Crosslink Density and Mechanical Properties of NR/NBR Blend

Chatchawan Kantala ¹, Ekachai Wimolmala ², Narongrit Sombatsompop ^{3*},
King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Toongkru, Bangkok 10140
and Chakrit Sirisinha ⁴
Mahidol University Salaya Campus, Phutthamonthon 4 Rd. Salaya, Nakhon Pathom 73170

Abstract

This study investigated the effect of compatibilizer type and content on rheology, crosslink density and mechanical properties of rubber blend of natural rubber (NR) and Nitrile Rubber (NBR) (using 20:80 ratio of NR:NBR). The compatibilizers used in this work were chloroprene rubber (CR) and epoxidized natural rubber (ENR), the dosages varying from 0 to 7 phr. The experimental results suggested that adding both compatibilizers resulted in an increase in complex viscosity of the blend, the effect being pronounced with ENR compatibilizer. The use of compatibilizers did not affect scorch time, cure time and torque difference of the blend. The incorporation of these two compatibilizers was found to improve the crosslink density and mechanical properties of the blend, the recommended dosage of the compatibilizers being 5 phr.

Keywords : Natural Rubber / Nitrile Rubber / Rheological Properties / Compatibilizer / Mechanical Properties

* Corresponding author; narongrit.som@kmutt.ac.th

¹ Master Degree Student, Division of Material Technology, Polymer Processing and Flow (P-PROF) Group, School of Energy, Environment and Materials.

² Researcher, Polymer Processing and Flow (P-PROF) Group, School of Energy, Environment and Materials.

³ Professor, Polymer Processing and Flow (P-PROF) Group, School of Energy, Environment and Materials.

⁴ Associate Professor, Department of Chemistry, Faculty of Science.

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตและส่งออกยางธรรมชาติ (Natural Rubber : NR) มากที่สุดในโลก แต่ประเทศไทยยังมีความจำเป็นต้องใช้ยางสังเคราะห์เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางบางชนิดด้วยเช่นกัน เช่น ยางไนไตรล์ (Nitrile Rubber : NBR) ซึ่งเลือกใช้เป็นวัสดุที่ใช้งานต้องการให้ทนทานต่อน้ำมัน ตัวทำละลาย และจาระบี เป็นต้น ซึ่งสมบัติของยาง NR ที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีทางด้านความแข็งแรงเมื่อถูกยึดติด แต่ก็ยังมีข้อเสียคือไม่สามารถทนทานต่อน้ำมัน ความร้อน และสภาพอากาศ จึงไม่นิยมนำยาง NR ไปใช้งานเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ยางบางประเภทที่ต้องการสมบัติดังกล่าวได้ [1] ส่วนยาง NBR มีสมบัติเด่นทางด้านทนทานต่อน้ำมัน และตัวทำละลาย ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้น การผสมพอลิเมอร์ระหว่างยาง NR กับยาง NBR เพื่อเป็นการรวมสมบัติเด่นทั้งสองเข้าด้วยกัน หากพิจารณาสมบัติของยางทั้งสองชนิดข้างต้น สังเกตได้ว่ายางทั้งสองชนิดมีทั้งข้อดีข้อเสียต่างกันไป อย่างไรก็ตามเนื่องจากว่าโครงสร้างทางเคมีของยาง NR กับยาง NBR นั้นทำให้ไม่สามารถเข้ากัน (Incompatible) อย่างสมบูรณ์ จึงต้องมีการศึกษาเลือกชนิดและปริมาณสารช่วยประสาน (Compatibilizer) ที่เหมาะสมสำหรับระหว่างพอลิเมอร์ผสมระหว่างยาง NR กับยาง NBR ด้วย

จากผลงานวิจัยที่ผ่านมาได้ศึกษาการใช้ยางธรรมชาติอีพ็อกซิไดซ์เป็นสารปรับปรุงการเสริมแรงยาง NBR ที่มีการเติมซิลิกา พบว่า การเติมยาง ENR ช่วยทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น เช่น มอดุลัส ความทนต่อแรงฉีกขาด การทนต่อการขาดสี การกระเด็นตัวกลับ และรวมถึงความทนต่อการกัดตัวถาวร เนื่องจากยาง ENR ทำหน้าที่คล้ายกับสารคู่ควบระหว่าง ซิลิกา กับยาง NBR [2] ตลอดจนมีการศึกษาผลกระทบของปริมาณยาง NBR ที่มีต่อสารประกอบยาง NR กับสารเติมแต่งซิลิกา พบว่า เมื่อเติมยาง NBR หรือสารคู่ควบ 3-octanoylthio-1-propyltriethoxysilane (NXT) ในปริมาณที่สูง ส่งผลทำให้ค่าแรงบิดและเวลาในการคงรูปยางลดลง และทำให้สมบัติเชิงกล เช่น มอดุลัส ความทนต่อแรงดึง และปริมาณความหนาแน่นพันธะข้ามเพิ่มขึ้นด้วย [3] นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาผลของสภาวะการผสม

และขนาดของยางที่มีต่อสมบัติทางกล โครงสร้างจุลภาค และความทนทานต่อน้ำมันของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยาง NR กับยาง NBR โดยใช้สาร Dicumyl peroxide (DCP) เป็นสารช่วยการคงรูปยาง ผลการทดลองพบว่าใช้เวลาในการผสม 25 นาที เป็นเวลาที่ทำให้ขนาดของเฟสยาง NR แตกตัวมีขนาดเล็กมากที่สุด ส่งผลให้ความทนแรงดึงลัมพัทธ์ และความทนทานต่อน้ำมันสูงขึ้นด้วย เนื่องจากเฟสยาง NR ที่แตกตัวมีขนาดเล็กทำให้มีพื้นที่ผิวมากขึ้น ซึ่งจะถูกล้อมรอบด้วยยาง NBR ดังนั้นจึงยากต่อการที่น้ำมันจะเข้าไปทำลายเฟสยาง NR ได้ [4]

งานวิจัยนี้จึงสนใจที่ศึกษาวัสดุเชิงประกอบระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอ็นบีอาร์ โดยศึกษาอิทธิพลของสารช่วยประสานชนิด CR และ ENR ที่มีต่อสมบัติการไหล (Rheology) ปริมาณความหนาแน่นพันธะข้าม (Crosslink density) โครงสร้างจุลภาค และสมบัติเชิงกล ก่อนและหลังบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อน และในน้ำมันไฮดรอลิก เพื่อให้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมของพอลิเมอร์ผสมดังกล่าว

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยนี้ใช้สารเคมี ดังแสดงในตารางที่ 1 ดังนี้ ตัวกระตุ้นปฏิกิริยาประกอบด้วยซิงค์ออกไซด์ (ZnO) และกรดสเตียริก (Stearic acid) ตัวเร่งปฏิกิริยาใช้ ทีเอ็มทีดี (TMTD) เอ็มบีทีเอส (MBTS) และสารคงรูปใช้กำมะถัน (Sulfur) ส่วนสารช่วยประสานที่เลือกใช้ศึกษา 2 ชนิด ดังนี้ ยางคลอโรพรีน (Chloroprene : CR) และยางธรรมชาติอีพ็อกซิไดซ์ (Epoxidized Natural Rubber : ENR) เติมน้ำมันพอลิเมอร์ผสมระหว่างยาง NR กับยาง NBR

ตารางที่ 1 หน้าที่ และปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

สารเคมี	หน้าที่	ปริมาณ (phr*)
ยางธรรมชาติ (NR:STR20) : ยางเอ็นบีอาร์ (NBR:ACN 33.4%) (**NR=40 และ NBR=44.5)	ยางผสม	20 : 80 ส่วน
สารช่วยประสานยางคลอโรพรีน (Chloroprene, CR) และยางธรรมชาติอีพ็อกซิไดซ์ (Epoxidized Natural Rubber, ENR-50) (**CR=44.5 และ ENR-50=80)	สารช่วยประสาน	ปรับเปลี่ยนปริมาณ 0 3 5 และ 7
ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO)	ตัวกระตุ้นปฏิกิริยา	2.5
กรดสเตียริก (Stearic acid)	ตัวกระตุ้นปฏิกิริยา	0.75
ทีเอ็มทีดี (Tetramethylthiulam disulfide, TMTD)	ตัวเร่งปฏิกิริยา	1.25
เอ็มบีทีเอส (Dibenzothiazyl disulfide, MBTS)	ตัวเร่งปฏิกิริยา	0.35
กำมะถัน (Sulfur 325 mesh)	ตัวเชื่อมพันธะข้าม	1

*phr: parts per hundred of rubber by weight, ** Mooney viscosity ML (1+4) 100 °C

2.1 การผสมพอลิเมอร์กับสารเติมแต่ง

การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่างยาง NR กับยาง NBR ที่ปริมาณ 20:80 ส่วน กับสารเติมแต่งชนิดต่างๆ โดยใช้เครื่องบดผสมลูกกลิ้งคู่ (Two roll mill) จาก บริษัท ยง ฟง แมชชีนเนอรี จำกัด ตามสารประกอบยาง ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยใช้เวลาในการผสมสารประกอบยางที่ 30 นาที อุณหภูมิในการผสมที่ 25 °C ความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ [5]

2.2 การหาเวลาคงรูปยาง การขึ้นรูปและเตรียมชิ้นงานทดสอบ

นำสารประกอบพอลิเมอร์ผสมระหว่างยาง NR กับยาง NBR ทดสอบหาเวลาการไหม้ (Scorch time) เวลาคงรูป (Cure time) ที่ 90 เปอร์เซ็นต์ (tc_{90}) และความแตกต่างแรงบิด (Torque difference) ด้วยเครื่อง Oscillating Disk Rheometer (ODR) จากบริษัท โทเทคเทคตั้ง แมชชีน อินดัสเตรียล จำกัด รุ่น GT 70-70-S2, Taiwan ตามมาตรฐาน ASTM D2084-01 ที่อุณหภูมิ 160 °C และเตรียมชิ้นรูปแผ่นยางทดสอบด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน (Hot press) จากบริษัท แล็บเทค จำกัด อุณหภูมิในการขึ้นรูปที่

160 °C ใช้แรงดันโมลด์ที่ 15 นิวตันต่อตารางเมตร และเตรียมชิ้นรูปชิ้นงานทดสอบความทนแรงดึงสูงสุดเป็นรูปดัมเบลล์ ชนิด Die C ตามมาตรฐาน ASTM D412-98 [5]

2.3 การทดสอบสมบัติของพอลิเมอร์ผสม

● **สมบัติการไหล** การทดสอบสมบัติการไหลตัวของพอลิเมอร์ผสมด้วยเครื่อง Technologies Rubber Process Analyzer (RPA 2000) ยี่ห้อ ALPHA จากบริษัท อีออน อีเตอร์เทค จำกัด ทดสอบหาค่าความหนืด (Complex viscosity) ของยางผสมระหว่างยาง NR กับยาง NBR โดยให้ช่วงความถี่ (frequency) 1-100 รอบต่อวินาที ใช้อุณหภูมิในการทดสอบที่ 100 °C

● การทดสอบสมบัติเชิงกล ทดสอบหาค่ามอดุลัส (Tensile modulus) ความทนแรงดึงสูงสุด (Tensile strength) โดยใช้เครื่อง Universal Testing Machines ขนาดน้ำหนักในการดึง 5.0 กิโลนิวตัน (Load cell 5.0 kN) จากบริษัท ซิมาสู รุ่น Autograph AG-I, Japan ตามมาตรฐาน ASTM D412-98 และทดสอบความทนแรงฉีกขาด (Tear strength) ตามมาตรฐาน ASTM D624-00 ใช้ความเร็วในการดึง 500 มิลลิเมตร

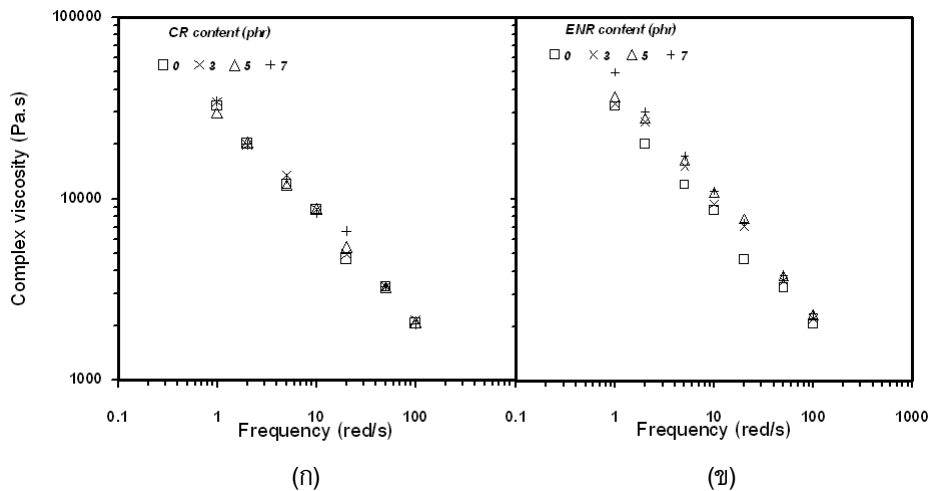
ต่อมาที่ ตลอดจนทดสอบค่าความแข็ง (Hardness Shore A) ด้วยเครื่องทดสอบความแข็ง จากบริษัท เทคลิค จำกัด ตามมาตรฐาน ASTM D2240-03 [5]

- การทดสอบสมบัติการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อน และการเร่งสภาวะในน้ำมันไฮดรอลิค ทดสอบการบ่มเร่งสภาวะในตู้อบยี่ห้อ GOTECH รุ่น GT-7017 ที่อุณหภูมิ 70 °C เวลา 168 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM D573-04 และทดสอบสมบัติการบ่มเร่งสภาวะในน้ำมันไฮดรอลิค ที่อุณหภูมิ 125 °C เวลา 70 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM D471-98 ซึ่งหลังบ่มเร่งสภาวะดังกล่าวแล้วนำชิ้นงานมาทดสอบสมบัติเชิงกล

- การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope:SEM) จาก

บริษัท JEOL รุ่น JSM-6400 ใช้พลังงาน 15 kV ที่ความดัน 10-5 - 10-6 และใช้วิธีการตรวจสอบแบบ Back Scattering Electron (BSE) โดยเตรียมชิ้นงานที่ย้อมผิวด้วยออสเมียมเตตระออกไซด์ (Osmium tetroxide) ตรวจสอบความสามารถในการเข้ากันได้ (Compatibility) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยาง NR และยาง NBR

- การทดสอบความหนาแน่นของพันธะข้าม ซึ่งตรวจสอบจากความสามารถในการดูดซับโทลูอีน โดยนำชิ้นงานทดสอบแช่ในสารละลายโทลูอีนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน และคำนวณหาค่าความหนาแน่นพันธะข้ามจากปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไป ด้วยสมการ ฟลอรีเรเนอร์ (Flory-Rehner equation) โดยใช้ค่า Interaction parameter ของยาง NR และยาง NBR เท่ากับ 0.3795 และ 0.1889 ตามลำดับ [6]



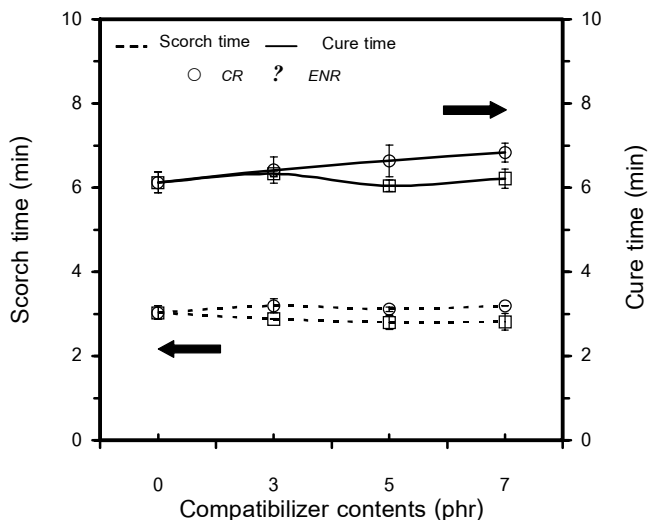
รูปที่ 1 ผลกระทบของอัตราความถี่ในการทดสอบและสารช่วยประสานยาง CR (ก) และยาง ENR (ข) ที่มีต่อความหนืดของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยาง NR กับยาง NBR

3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 สมบัติการไหลและการคงรูป

รูปที่ 1 แสดงผลกระทบของอัตราความถี่ในการทดสอบและสารช่วยประสานยาง CR (a) และยาง ENR (b) ที่มีต่อความหนืดของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยาง NR กับยาง NBR พบว่า เมื่อปริมาณสารช่วยประสานยาง CR เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อความหนืดของพอลิเมอร์ผสม ดังแสดงในรูปที่ 1 (ก) แต่เมื่อปริมาณสารช่วยประสานยาง ENR เพิ่มขึ้น พบว่า อัตราความถี่ช่วงต่ำๆ ค่าความหนืดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติมยาง ENR ทำให้น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น แต่เมื่ออัตราความถี่เพิ่มสูงขึ้น ปริมาณสารช่วยประสานไม่ส่งผลต่อค่าความหนืดเนื่องจากเวลาในการเสียรูป (Deformation time) มากกว่าเวลาในการกลับคืนตัว (Relaxation time) ดังแสดงในรูปที่ 1 (ข) อย่างไรก็ตามการเติมสารช่วยประสานทั้งสองชนิด มีค่าความหนืดลดลงตามอัตราความถี่ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งพอลิเมอร์ผสมระหว่างยาง NR กับ NBR แสดงพฤติกรรมแบบซูโดพลาสติก [7]

รูปที่ 2 แสดงผลกระทบของปริมาณสารช่วยประสานยาง CR และยาง ENR ที่มีต่อเวลาการไหล และเวลาคงรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยาง NR กับยาง NBR พบว่า เมื่อปริมาณสารช่วยประสานทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น เวลาการไหลของพอลิเมอร์ผสมไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก โดยที่สารช่วยประสานยาง ENR มีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย เนื่องจากยาง ENR มีความหนืดที่สูงกว่ายาง CR (แสดงในตารางที่ 1) ส่งผลทำให้ความหนืดของพอลิเมอร์ผสมโดยรวมเพิ่มขึ้น จึงทำให้ความสามารถในการไหลของยางผสมที่เติมสารช่วยประสาน ENR มีแนวโน้มลดลง ส่วนเวลาคงรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยาง NR กับยาง NBR ที่เติมสารช่วยประสานยาง CR และยาง ENR พบว่า เมื่อปริมาณสารช่วยประสานทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น เวลาคงรูปไม่เปลี่ยนแปลงเช่นกัน

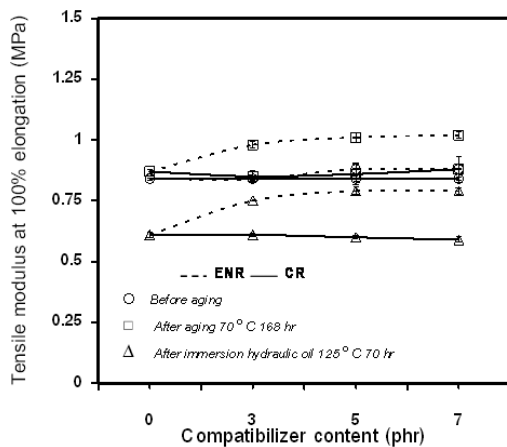


รูปที่ 2 ผลกระทบของปริมาณสารช่วยประสานยาง CR และยาง ENR ที่มีต่อเวลาการไหล และเวลาคงรูปของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยาง NR กับยาง NBR

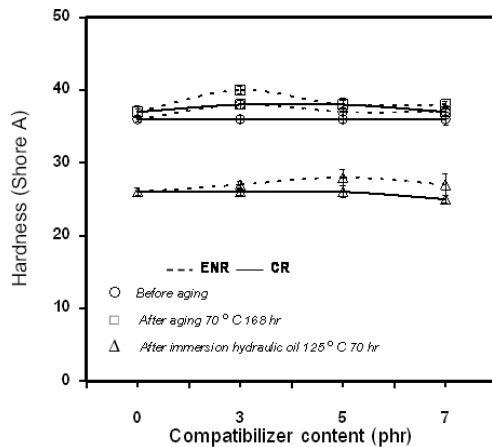
3.2 สมบัติเชิงกลก่อนและหลังบ่มแรงสภาวะด้วยความร้อน และการเร่งสภาวะในน้ำมันไฮดรอลิก

รูปที่ 3 (ก) แสดงผลกระทบของปริมาณสารช่วยประสานยาง CR และยาง ENR ที่มีต่อมอดูลัสที่การยืดตัว 100% ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยาง NR กับยาง NBR พบว่า ปริมาณสารช่วยประสานยาง CR ไม่ส่งผลต่อค่ามอดูลัสที่การยืดตัว 100% ทั้งก่อนและหลังการบ่มแรงสภาวะด้วยความร้อน เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมมีการเสียรูปที่น้อย (Small deformations) ซึ่งก่อนและหลังการบ่มแรงสภาวะด้วยความร้อนมีค่าที่ไม่แตกต่างกัน และยังพบอีกว่า หลังการบ่มแรงสภาวะในน้ำมันไฮดรอลิก ค่ามอดูลัสที่การยืดตัว 100% ของพอลิเมอร์ผสมมีค่าลดลง เนื่องจากผลของความร้อน และเฟสของยาง NR ที่ไม่ทนน้ำมันเกิดการเสื่อมสภาพ (Degradation) [8] ส่วนในกรณีการเติมสารช่วยประสานยาง ENR พบว่า เมื่อปริมาณยาง ENR เพิ่มขึ้น ค่ามอดูลัสที่การยืดตัว 100% ก่อนบ่มแรงสภาวะด้วย

ความร้อนไม่เปลี่ยนแปลง แต่หลังจากการบ่มแรงสภาวะด้วยความร้อน ค่ามอดูลัสที่การยืดตัว 100% กลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารเคมีที่ใช้ในพอลิเมอร์ผสมที่หลงเหลืออยู่สามารถเกิดปฏิกิริยาหลังการอบสุก (Post cure) ต่อไปได้อีก [5] ซึ่งในกรณีของการบ่มแรงสภาวะในน้ำมันไฮดรอลิกมีแนวโน้มเช่นเดียวกัน ส่วนผลกระทบของสารช่วยประสานยาง CR และยาง ENR ที่มีต่อค่าความแข็งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยาง NR กับยาง NBR ดังแสดงในรูปที่ 3 (ข) พบว่า ปริมาณยาง CR และยาง ENR ไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งของพอลิเมอร์ผสม แต่เมื่อทำการบ่มแรงสภาวะด้วยความร้อน ค่าความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากพอลิเมอร์ผสมเกิดปฏิกิริยาได้สมบูรณ์ ส่วนในกรณีการบ่มแรงสภาวะของพอลิเมอร์ผสมในน้ำมันไฮดรอลิก พบว่า เมื่อปริมาณสารช่วยประสานทั้งสองเพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งและเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนการบ่มแรงสภาวะมีค่าความแข็งต่ำกว่า

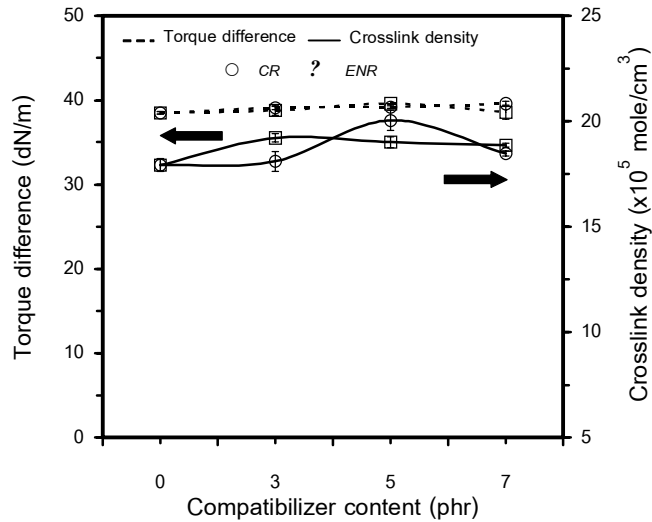


(ก)



(ข)

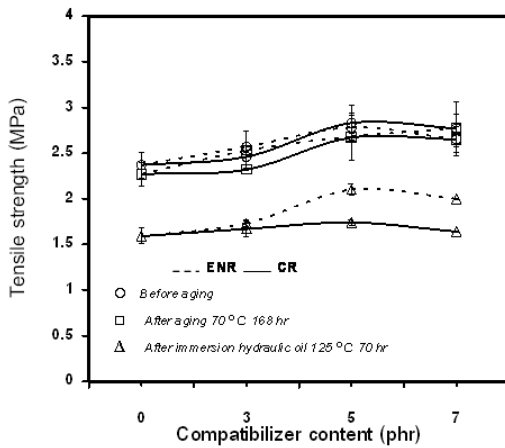
รูปที่ 3 ผลกระทบของปริมาณสารช่วยประสานยาง CR และยาง ENR ที่มีต่อมอดูลัสที่การยืดตัว 100% (ก) และความแข็ง (ข) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยาง NR กับยาง NBR [(O) ก่อนบ่มแรงสภาวะ (□) หลังบ่มแรงสภาวะด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C เวลา 168 ชั่วโมง (Δ) หลังการบ่มแรงสภาวะในน้ำมันไฮดรอลิกที่อุณหภูมิ 125 °C เวลา 70 ชั่วโมง]



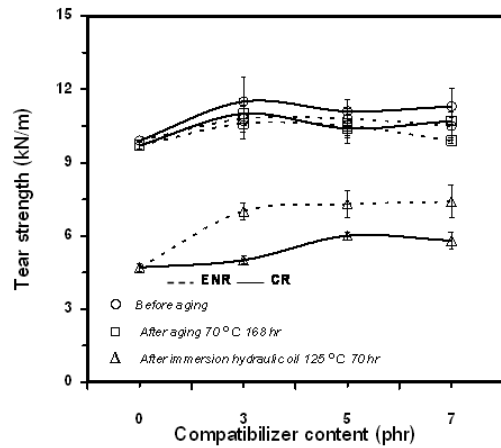
รูปที่ 4 ผลกระทบของปริมาณสารช่วยประสานยาง CR และยาง ENR ที่มีต่อความแตกต่างแรงบิด และความหนาแน่นพันธะข้ามของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยาง NR กับยาง NBR

รูปที่ 4 แสดงผลกระทบของปริมาณสารช่วยประสานยาง CR และยาง ENR ที่มีต่อความแตกต่างแรงบิด และความหนาแน่นพันธะข้ามของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยาง NR กับยาง NBR พบว่า ปริมาณสารช่วยประสานยาง CR และยาง ENR ไม่ส่งผลต่อความแตกต่างแรงบิดของพอลิเมอร์ผสม แต่ความหนาแน่นพันธะข้ามของพอลิเมอร์ผสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากการวัดความหนาแน่นพันธะข้าม โดยวัดการบวมตัว (Swelling) ในโทลูอีน ซึ่งการเติม

สารช่วยประสานทั้งสองชนิดช่วยเพิ่มการยึดเกาะระหว่างเฟสของยาง NR กับยาง NBR ส่งผลให้การบวมตัวของพอลิเมอร์ผสมลดลง แต่ไม่มากนัก ในขณะที่ การวัด ความแตกต่างแรงบิดได้จากเครื่อง ODR โดยเป็นการวัดขนาดที่ใหญ่ (Large scale measurement) ซึ่งเป็นตัวบอกแนวโน้มของความหนาแน่นพันธะข้าม ดังนั้น จึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของความแตกต่างแรงบิด



(ก)



(ข)

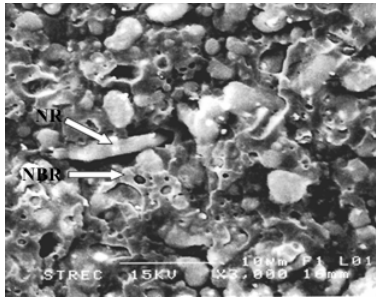
รูปที่ 5 ผลกระทบของปริมาณสารช่วยประสานยาง CR และยาง ENR ที่มีต่อความทนแรงดึงสูงสุด (ก) และความทนแรงฉีกขาด (ข) ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยาง NR กับยาง NBR [(O) ก่อนบ่มเร่งสภาวะ (□) หลังบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C เวลา 168 ชั่วโมง (Δ) หลังบ่มเร่งสภาวะในน้ำมันไฮดรอลิกที่อุณหภูมิ 125 °C เวลา 70 ชั่วโมง]

รูปที่ 5 (ก) แสดงผลกระทบของปริมาณสารช่วยประสานยาง CR และยาง ENR ที่มีต่อความทนแรงดึงสูงสุดของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยาง NR กับยาง NBR พบว่า ก่อนบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อน พอลิเมอร์ผสมที่ไม่เติมสารช่วยประสานมีค่าความทนแรงดึงสูงสุดต่ำกว่าพอลิเมอร์ผสมที่มีการเติมสารช่วยประสาน เนื่องจาก ความไม่เข้ากันของยางผสมทั้งสองชนิด มีการแยกเฟสของยาง NR (เฟสสีขาว) กับยาง NBR (เฟสสีเทา) และมีโพรงอากาศ (Void) ในพอลิเมอร์ผสม จากภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาค ดังแสดงในรูปที่ 6 (ก) อย่างไรก็ตาม เมื่อปริมาณสารช่วยประสานยาง CR ที่ 3 phr พบว่า ค่าความทนแรงดึงสูงสุดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อเติมปริมาณสารช่วยประสานยาง CR ที่ 5 phr เนื่องจากยาง CR เป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างยาง NR ที่มีความเป็นขั้วต่ำกับยาง NBR ที่มีความเป็นขั้วสูงให้เข้ากันได้ดียิ่งขึ้น โดยที่กลไกการเกี่ยวพัน (Entanglements) ระหว่างยาง CR กับยาง NR และ CI ในสายโซ่ของยาง CR เกิดการเชื่อมโยงแบบขั้ว (Polar-Polar interactions) กับอะตอมของ CN ของยาง NBR [9] ซึ่งจากภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคในรูปที่ 6 (ข) พบว่า เฟสของยาง NR สามารถ

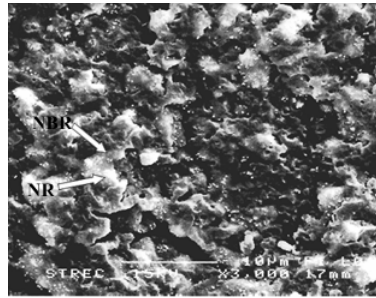
เชื่อมประสานกับเฟสของยาง NBR ได้ดี โดยที่พอลิเมอร์ผสมที่ผ่านการบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อน มีค่าความทนแรงดึงสูงสุดที่ต่ำกว่าเล็กน้อย เนื่องจาก พอลิเมอร์ผสมเกิดการเสื่อมสภาพ ดังที่กล่าวมาแล้ว ส่วนในกรณีของการบ่มเร่งสภาวะในน้ำมันไฮดรอลิก เมื่อปริมาณยาง CR เพิ่มขึ้น ค่าความทนแรงดึงสูงสุดมีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน เมื่อเทียบกับก่อนบ่มเร่งสภาวะในน้ำมันไฮดรอลิก อาจเนื่องจากเฟสของยาง NR ในพอลิเมอร์ผสมเกิดการเสื่อมสภาพ เช่นเดียวกัน จึงส่งผลทำให้สมบัติดังกล่าวลดลง และเมื่อปริมาณสารช่วยประสานยาง ENR เพิ่มขึ้น พบว่า ความทนแรงดึงสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน เนื่องจาก เฟสของยาง ENR ช่วยในการเชื่อมระหว่างเฟสของยาง NR กับเฟสของ NBR ให้เข้ากันได้ดีขึ้น ดังแสดงได้จากภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคในรูปที่ 6 (ค) ส่วนผลกระทบของสารช่วยประสานยาง CR และยาง ENR ที่มีต่อความทนแรงฉีกขาดของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยาง NR กับยาง NBR ดังแสดงในรูปที่ 5 (ข) พบว่า เมื่อปริมาณสารช่วยประสานทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น ที่ 3 phr ก่อนบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อน ค่าความทนแรงฉีกขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และค่าความทนแรงฉีกขาดไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อปริมาณของยาง

CR และยาง ENR เพิ่มขึ้น ที่ 5-7 phr โดยที่การบ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนมีลักษณะเช่นเดียวกับก่อนการบ่มเร่งสภาวะ สำหรับในการเติมสารบ่มเร่งสภาวะของพอลิเมอร์ผสมในน้ำมันไฮดรอลิค พบว่า การเติมสารช่วยประสานยาง ENR ส่งผลให้ค่าความทนแรงฉีกขาด มีแนวโน้มสูงกว่าการเติมสารช่วยประสานยาง CR เนื่องจากความเข้ากันของยาง

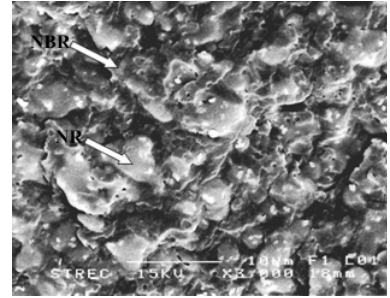
ENR กับยาง NR ที่สามารถเข้ากันได้ดีกว่ายาง CR กับยาง NR ซึ่งเป็นผลมาจากโครงสร้างโมเลกุลของยาง ENR มีความคล้ายคลึงกับยาง NR มากกว่า และเมื่อปริมาณสารช่วยประสานทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น ค่าความทนแรงฉีกขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน แต่มีค่าต่ำกว่าก่อนการบ่มเร่งสภาวะ



(ก) สารช่วยประสาน 0 phr



(ข) สารช่วยประสานยาง CR 5 phr



(ค) สารช่วยประสานยาง ENR 5 phr

รูปที่ 6 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยาง NR (เฟสสีขาว) กับยาง NBR (เฟสสีเทา) ที่สัดส่วน 20:80 (ก) สารช่วยประสาน 0 phr (ข) สารช่วยประสานยาง CR 5 phr (ค) สารช่วยประสานยาง ENR 5 phr (กำลังขยาย 3000 เท่า)

4. สรุปผลการทดลอง

การนำพอลิเมอร์ผสมระหว่าง NR กับยาง NBR ที่สัดส่วน 20:80 ที่เติมสารช่วยประสานยาง CR และยาง ENR ทำให้ค่าความเหนียวของยางผสมเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะสารช่วยประสานยาง ENR และยังพบอีกว่า การเติมสารช่วยประสานทั้งสองชนิดช่วยในการเชื่อมระหว่างเฟสของยาง NR กับยาง NBR ได้ดีขึ้น ส่งผลให้ความหนาแน่นของพันธะข้ามและสมบัติเชิงกลโดยรวมเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะปริมาณสารช่วยประสานที่ 5 phr จากผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของพอลิเมอร์ผสม พบว่า มีการยึดเกาะระหว่างเฟสที่ดี อย่างไรก็ตาม การเติมสารช่วยประสานไม่ส่งผลต่อเวลาการไหล เวลาคงรูป และค่าความแตกต่างแรงบิด ส่วนหลัง

บ่มเร่งสภาวะด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C เวลา 168 ชั่วโมง ค่ามอดูลัสและความแข็งแรงมีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่ความทนแรงดึงสูงสุด และความทนแรงฉีกขาดมีค่าลดลง ซึ่งหลังการบ่มเร่งสภาวะในน้ำมันไฮดรอลิคที่อุณหภูมิ 125 °C เป็นเวลา 70 ชั่วโมง มีสมบัติเชิงกลโดยรวมลดลง

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยฯ ขอขอบคุณ โครงการวิจัยแห่งชาติ : ยางพารา สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และบริษัท คอมพาวด์โปรเฟสชั่นแนล จำกัด ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยตามสัญญาโครงการเลขที่ RDG4850076

6. เอกสารอ้างอิง

1. พงษ์ธร แซ่ฮุย, 2548, “ยาง : ชนิด สมบัติ และการใช้งาน,” *ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค)*, พิมพ์ครั้งที่ 2., หน้า 2-5.
2. George, K.M., Varkey, J.K., Thomas, K.T., and Mathew, N., 2002, “Epoxidized Natural Rubber as a Reinforcement Modifier for Silica-Filled Nitrile Rubber,” *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 85, No. 2 pp. 292-306.
3. Yan, H., Sun, K., Zhang, Y., and Zhang, Y., 2005, “Effect of Nitrile Rubber on Properties of Silica-Filled Natural Rubber Compounds,” *Polymer Testing*, Vol. 24, No. 1 pp. 32-38.
4. Sirisinha, C., Limcharoen, S., and Thunyarittikorn, J., 2001, “Relationships Among Blending Conditions, Size of Dispersed Phase, and Oil Resistance in Natural Rubber and Nitrile Rubber Blends,” *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 82, No. 5 pp. 1232-1237.
5. Sombatsompop, N., Wimolmala, E., and Markpin, T., 2007, “Fly-Ash Particles and Precipitated Silica as Fillers in Rubbers. II. Effects of Silica Content and Si69-Treatment in Natural Rubber/Styrene-Butadiene Rubber Vulcanizates,” *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 104, No. 5 pp. 3396-3405.
6. Sombatsompop, N., Thongsang, S., Markpin, T., and Wimolmala, E., 2004, “Fly Ash Particles and Precipitated Silica as Fillers in Rubbers: Part I. Untreated Fillers in Natural Rubber and Styrene-Butadiene Rubber Compounds.” *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 93, No. 5 pp. 2119-2130.
7. Phewthongin, N., Saeoui, P., and Sirisinha, C., 2004, “A study of Rheological Properties in Sulfur-Vulcanized CPE/NR Blends,” *Polymer Testing*, Vol. 24, No. 2 pp. 227-233.
8. Ramesan, M.T., 2004, “Thermogravimetric Analysis, Flammability and Oil Resistance Properties in Natural Rubber and Dichlorocarbene Modified Styrene Butadiene Rubber Blends,” *Reactive and Functional Polymers*, Vol. 59, No. 3 pp. 267-274.
9. Sirisinha, C., Limcharoen, S. and Thunyarittikorn, J., 2003, “Effects of fillers, Maleated Ethylene Propylene Diene Rubber, and Maleated Ethylene Octene Copolymer on Phase Morphology and Oil Resistance in Natural Rubber/Nitrile Rubber Blends,” *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 89, No. 4 pp. 1156-1162.