

ยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางไนไทรล์

ชนากา นันสุวรรณ

บทนำ

ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของยางผสม NR/NBR

ยางไนไทรล์ (nitrile rubber; NBR) เป็นโคพอลิเมอร์หรือโพลิเมอร์ระหว่างอะคริโลไนไทรล์กับบิวทาไดอีน โครงสร้างในส่วนของอะคริโลไนไทรล์จะมีหมู่ฟังก์ชัน $-CN$ อยู่ ทำให้โมเลกุลของยางชนิดนี้มีความเป็นขั้วสูง จึงทนต่อน้ำมันปิโตรเลียมและตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วต่างๆ ได้ดี โดยถ้ามีสัดส่วนของอะคริโลไนไทรล์มากจะทำให้ยางนี้มีสมบัติที่ทนต่อน้ำมันได้ดียิ่งขึ้น และโครงสร้างในส่วนของบิวทาไดอีนจะเป็นตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงและให้ความยืดหยุ่น ในขณะที่ยางธรรมชาติ (natural rubber; NR) จัดเป็นยางที่ไม่มีขั้ว จึงไม่สามารถทนต่อน้ำมันหรือตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วได้ แต่ยางธรรมชาติมีสมบัติเด่น คือ มีความยืดหยุ่นสูงและมีสมบัติเชิงกลที่ดี

ในอุตสาหกรรมยาง มีการนำยางธรรมชาติมาผสมกับยางไนไทรล์เพื่อต้องการปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติให้สามารถทนน้ำมันได้ดีขึ้น เนื่องจากยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงกลที่ดี แต่ไม่ทนน้ำมัน จึงทำให้ไม่สามารถนำยางธรรมชาติไปใช้ได้ในการใช้งาน แต่ในทางปฏิบัติบ่อยครั้งจะได้ยางผสมที่มีสมบัติไม่ดี ทั้งนี้เป็นเพราะการไม่เข้ากันของยางธรรมชาติและยางไนไทรล์ เนื่องจากยางทั้งสองชนิดมีความเป็นขั้วที่ต่างกัน จึงทำให้แรงดึงดูดระหว่างรอยต่อของวัฏภาค (interfacial tension) มีค่าสูง ยางทั้งสองชนิดจึงผสมกันได้น้อย ในบริเวณนี้ วัฏภาคกระจายตัว (dispersed phase) ที่ได้ก็มีขนาดใหญ่ ซึ่งส่งผลต่อสมบัติเชิงกล นอกจากนั้นความเป็นขั้วที่แตกต่างกันของยางทั้งสองชนิดยังเป็นเหตุให้เกิดการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอของสารวัลคาไนซ์ในวัฏภาคของยางทั้งสองชนิด ทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงมากเกินไปในวัฏภาคหนึ่งและอาจจะน้อยเกินไปในอีกวัฏภาคหนึ่ง นอกจากนี้ยังอาจเกิดการกระจายตัวที่ไม่เท่ากันของสารตัวเติมเสริมแรงในวัฏภาคของยางธรรมชาติและยางไนไทรล์ มีผลให้สมบัติเชิงกลของยางผสมไม่ดีเท่าที่ควร

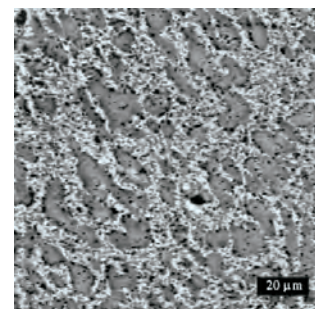
ในบทความนี้จะกล่าวถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อสมบัติของยางผสมระหว่าง NR/NBR ซึ่งได้แก่ โครงสร้างพื้นฐาน ความแข็งแรงของพันธะเชื่อมโยงบริเวณรอยต่อ การกระจายตัวของสารเคมี และการปรับปรุงสมบัติของยางผสมดังนี้

1. โครงสร้างพื้นฐาน

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า ยางผสม NR/NBR มีระดับความเป็นขั้วที่แตกต่างกัน ทำให้ผสมเข้ากันไม่ได้ วัฏภาคกระจายตัวที่ได้มีขนาดใหญ่ ซึ่งส่งผลทำให้ยางผสม NR/NBR ที่ได้มีสมบัติไม่ดีเท่าที่ควร

Lewan [1] ได้ศึกษาโครงสร้างพื้นฐานของยางผสม NR/NBR โดยใช้ยาง NBR เกรดที่มีอะคริโลไนไทรล์ร้อยละ 41 (Breon N41 จาก Zeon Chemicals แทนด้วยสัญลักษณ์ NBR41) ระบบการวัลคาไนซ์ แบบ Semi-EV โดยมีอัตราส่วนของ กำมะถัน:ตัวเร่ง = 1:1 (ใช้ปริมาณสารตัวเร่งปฏิกิริยา CBS MBS และ TBBS = 1.3 phr) และผลของวิธีการผสมโดยการนำเอายางมาสเตอร์แบตช์ ทั้ง 2 ชนิดมาผสมกัน (crossblend) ในอัตราส่วน 50:50 (ไม่เสริมแรง) แล้วจึงเติมสารวัลคาไนซ์ จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์ที่อุณหภูมิ $150^{\circ}C$ เพื่อหา t_{max} (แรงบิดสูงสุด) และวิเคราะห์ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงในยางทั้งสองวัฏภาคโดยใช้เทคนิค swollen-state NMR spectroscopy

รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของ NR/NBR41 (50:50) ที่ไม่เสริมแรงศึกษาด้วยเทคนิคไมโครสโคปี ซึ่งจะเห็นว่ายาง NBR ซึ่งมีสีเข้มนั้นมีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีการกระจายตัวของอนุภาคซิงก์ออกไซด์ (จุดดำ) อยู่ในวัฏภาคของยาง NR มากกว่าในวัฏภาคของยาง NBR ซึ่งจะส่งผลทำให้สมบัติเชิงกลของยางผสมที่ได้ต่ำ



รูปที่ 1 โครงสร้างพื้นฐานของยางผสม NR/NBR41 (50:50) ไม่เสริมแรง

¹ ยางมาสเตอร์แบตช์ ประกอบด้วย ยาง NR หรือ NBR 100 phr ซิงก์ออกไซด์ 5 phr กรดสเตียริก 2 phr และสารต้านออกซิเดชัน TMQ 1.5 phr

2. ความแข็งแรงของพันธะเชื่อมโยงบริเวณรอยต่อของวัสดุ

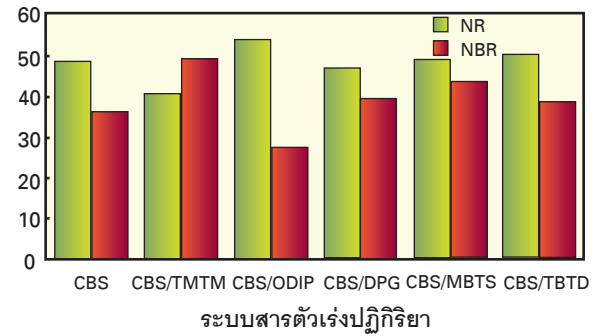
การที่ยางผสมจะมีสมบัติเชิงกลที่ดีนั้น ปัจจัยอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญก็คือ การเกิดพันธะเชื่อมโยงบริเวณรอยต่อของวัสดุ (co-crosslinking) ของยางทั้งสองชนิด ซึ่งการเกิดพันธะเชื่อมโยงดังกล่าวจะสามารถเกิดขึ้นได้ดีก็ต่อเมื่อยางผสมนั้นต้องผสมเข้ากันได้ดี แต่ถ้านำยางที่ผสมเข้ากันได้ยาก เช่น ยาง NR และยาง NBR ที่มีระดับความเป็นขั้วแตกต่างกันมากมาผสมกัน ก็อาจมีความเป็นไปได้ว่าไม่สามารถเกิดพันธะเชื่อมโยงที่บริเวณรอยต่อของวัสดุได้มากเพียงพอ เนื่องจากยางทั้งสองชนิดไม่สามารถผสมเข้ากันได้ดีพอที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงระหว่างยาง NR และยาง NBR ได้นอกจากนี้การที่พื้นที่ผิวของวัสดุกระจายตัวมีขนาดใหญ่ ยังทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสในการเกิดพันธะได้น้อย มีผลให้ยางผสมที่ได้มีความแข็งแรงต่ำ ดังนั้นถ้าเราทำให้ขนาดของวัสดุกระจายตัวมีขนาดเล็กลงได้ ก็จะมีโอกาสที่จะเกิดพันธะเชื่อมโยงบริเวณรอยต่อของวัสดุได้มากขึ้น ส่งผลทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น

3. การกระจายตัวของสารเคมีและพันธะเชื่อมโยง

ความแตกต่างกันของความเป็นขั้วของยางผสม นอกจากจะมีผลต่อโครงสร้างพื้นฐานแล้ว ยังส่งผลต่อการกระจายตัวของสารเคมีและพันธะเชื่อมโยงที่เกิดขึ้นในแต่ละวัสดุอีกด้วย เพราะสารวัลคาไนซ์ชอบที่จะอยู่ในวัสดุที่มีความเป็นขั้วใกล้เคียงกันมากกว่า ทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงที่ไม่เท่ากันในแต่ละวัสดุ ซึ่งจะมีผลต่อสมบัติของยางผสม Lewan [1] จึงได้ศึกษาผลของการกระจายตัวของความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงในยางผสม NR/NBR โดยใช้สารตัวเร่งปฏิกิริยาในกลุ่มเดียวกัน 3 ชนิด ได้แก่ CBS (N-cyclohexyl benzothiazole-2-sulfenamide) MBS (N-oxydiethylenebenzothiazole-2-sulfenamide) และ TBBS (N-t-butylbenzothiazole-2-sulfenamide) พบว่าสารตัวเร่งปฏิกิริยาหลัก CBS กระจายตัวในยางทั้งสองวัสดุได้ไม่เท่ากัน โดยจะเข้าไปอยู่ในวัสดุของ NR มากกว่า (รูปที่ 2) ในขณะที่สารตัวเร่งปฏิกิริยาหลัก MBS จะเข้าไปอยู่ในวัสดุของ NR มากกว่าเล็กน้อย (รูปที่ 3) ส่วนสารตัวเร่งปฏิกิริยาหลัก TBBS จะกระจายตัวอยู่ในยางทั้งสองวัสดุใกล้เคียงกัน (รูปที่ 4)

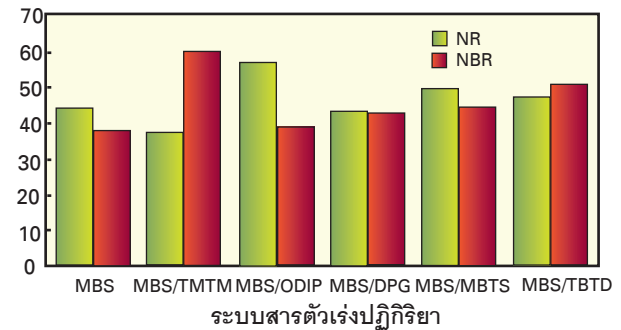


ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง (mol/m³)



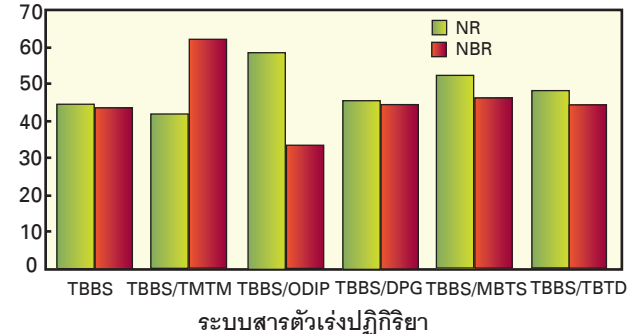
รูปที่ 2 การกระจายตัวของความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงในยางผสม NR/NBR41 (50:50) วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 150°C เมื่อใช้ CBS เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาหลัก

ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง (mol/m³)



รูปที่ 3 การกระจายตัวของความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงในยางผสม NR/NBR41 (50:50) วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 150°C เมื่อใช้ MBS เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาหลัก

ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง (mol/m³)



รูปที่ 4 การกระจายตัวของความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงในยางผสม NR/NBR41 (50:50) วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 150°C เมื่อใช้ TBBS เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาหลัก

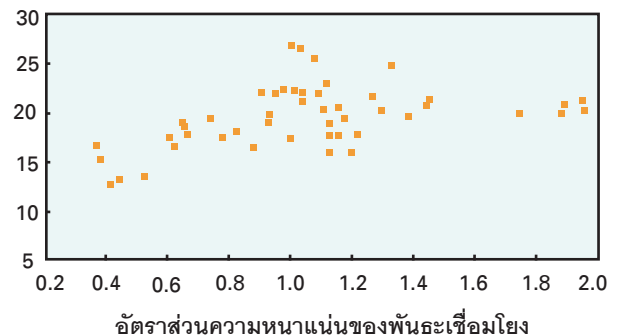
การวัลคาไนซ์โดยใช้สารตัวเร่งปฏิกิริยาคลุ่มซัลฟีนามิด์ จะให้ผลดีในกรณีที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัด (compression) แต่ถ้าผลิตกันที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีด (injection molding) ที่จำเป็นจะต้องให้เกิดอัตราเร็วในการวัลคาไนซ์ที่สูงขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีการใช้สารตัวเร่งปฏิกิริยามากกว่า 1 ชนิด ซึ่งในการศึกษาได้มีการใช้สารตัวเร่งปฏิกิริยาทุติยภูมิหรือสารตัวเร่งปฏิกิริยารอง 5 ชนิด ได้แก่ TMTM (tetramethylthiuram monosulfide) DPG (diphenyl guanidine) TBTD (tetrabutylthiuram disulfide) MBTS (2,2'-benzothiazole disulfide) และ ODIP (N,N'-diisopropylthiuram disulfide) ในปริมาณ 0.1 phr เพื่อศึกษาอัตราการวัลคาไนซ์และการกระจายตัวของพันธะเชื่อมโยงที่เกิดขึ้น

จากรูปที่ 2 พบว่าการเติมสารตัวเร่งปฏิกิริยารอง TMTM เข้าไปในระบบการวัลคาไนซ์ที่มี CBS เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาหลัก จะส่งผลทำให้พันธะเชื่อมโยงในวัฏภาคของ NBR สูงขึ้น เนื่องจาก TMTM ซึ่งเป็นสารมีขั้วชอบที่จะเข้าไปอยู่ในวัฏภาคของ NBR มากกว่าในทางกลับกันเมื่อเติมสารตัวเร่งปฏิกิริยารอง ODIP ลงไป พบว่าความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงจะเกิดขึ้นในวัฏภาคของ NR สูงขึ้น ในขณะที่ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงในวัฏภาคของ NBR ลดลง แสดงให้เห็นว่า ODIP ซึ่งถึงแม้ว่าจะอยู่ในกลุ่มของไทูรัมเหมือนกับ TMTM แต่เนื่อง ODIP ถูกแทนที่ด้วยหมู่แอลคิลที่มีขนาดใหญ่กว่า TMTM จึงทำให้มีระดับความเป็นขั้วลดลงดังนั้นจึงชอบที่จะเข้าไปอยู่ในวัฏภาคของ NR มากกว่า สำหรับสารตัวเร่งปฏิกิริยารอง DPG MBTS และ TBTD จะส่งผลต่อการกระจายตัวของพันธะเชื่อมโยงเพียงเล็กน้อย

แม้ว่าการใช้ MBS เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาหลักเพียงชนิดเดียว จะส่งผลทำให้การกระจายตัวของพันธะเชื่อมโยงในแต่ละวัฏภาคดีกว่าการใช้ CBS เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาหลัก แต่ก็จะทำให้ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงโดยรวมต่ำกว่า (รูปที่ 3) ส่วนการเติมสารตัวเร่งปฏิกิริยารองต่างๆ ลงไปร่วมกับ MBS จะให้ผลในทำนองเดียวกับการใช้ CBS เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาหลัก สำหรับการใส่ TBBS เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาหลักจะให้การกระจายตัวของพันธะเชื่อมโยงในยางทั้งสองวัฏภาคใกล้เคียงกัน (รูปที่ 4) ส่วนการเติมสารตัวเร่งปฏิกิริยารองบางชนิด เช่น DPG TBTD และ MBTS ไม่ส่งผลต่อการกระจายตัวของพันธะเชื่อมโยง ดังนั้นในภาพรวมแล้วจากการศึกษาพบว่าสารตัวเร่งปฏิกิริยาคลุ่มซัลฟีนามิด์จะทำให้เกิดการกระจายตัวของพันธะเชื่อมโยงที่แตกต่างกันได้ แต่อย่างไรก็ตามเราสามารถปรับระดับความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงในยางแต่ละวัฏภาคให้ใกล้เคียงกันได้มากขึ้นโดยการเลือกเติมสารตัวเร่งปฏิกิริยาหลักและรองที่เหมาะสม ซึ่งในกรณีนี้ของยางคู่ผสมนี้สามารถใช้ TBBS เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาหลักและเพิ่มอัตราเร็วในการวัลคาไนซ์ได้โดยใช้ร่วมกับสารตัวเร่งปฏิกิริยารอง TBTD หรือ MBTS ได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการกระจายตัวของพันธะเชื่อมโยงในแต่ละวัฏภาคของยางคู่ผสม

ในทางปฏิบัติถ้าเราต้องการยางผสม NR/NBR ที่มีสมบัติเชิงกล เช่น ความทนต่อแรงดึงที่ดี ก็ควรออกสูตรให้มีระดับการกระจายตัวของพันธะเชื่อมโยงใกล้เคียงกันในแต่ละวัฏภาค จากรูปที่ 5 จะเห็นว่า ความทนต่อแรงดึงจะมีค่าสูงสุดถ้าอัตราส่วนความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงในยางผสม NR/NBR อยู่ในช่วง 1.0-1.2 แต่ถ้าระดับการกระจายตัวของพันธะเชื่อมโยงในแต่ละวัฏภาคแตกต่างกันมากก็จะส่งผลให้ความทนต่อแรงดึงมีค่าลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเกิดพันธะเชื่อมโยงกระจายตัวอยู่ในวัฏภาคของยาง NBR มากกว่าก็จะยิ่งทำให้ความทนต่อแรงดึงมีค่าลดลง เมื่อเทียบกับการกระจายตัวของพันธะเชื่อมโยงในวัฏภาคของยาง NR มากกว่าเล็กน้อยนั้นอาจทำให้ยาง NR (ที่มีความแข็งแรงกว่า) มีความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงสูงเพียงพอที่จะทำให้ยางผสมมีสมบัติความแข็งแรงที่ดีได้

ความทนต่อแรงดึง (MPa)



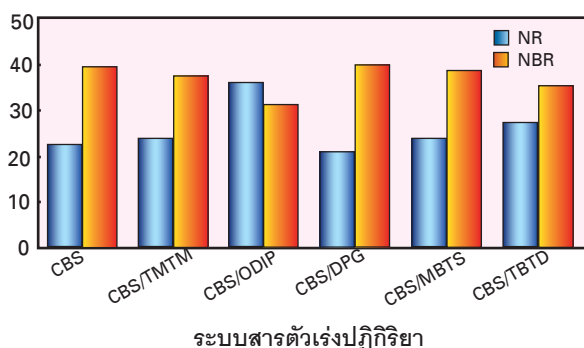
อัตราส่วนความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง

รูปที่ 5 ผลของอัตราส่วนความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงต่อความทนต่อแรงดึงในยางผสม NR/NBR41 (50:50) วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 150°C

นอกจากชนิดของสารเคมีแล้ว อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ก็มีส่วนต่อการกระจายตัวของพันธะเชื่อมโยงด้วย Lewan [1] ได้ศึกษาความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงในระบบของยางผสม NR/NBR ที่มี CBS เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาหลักที่อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ที่ 150°C (รูปที่ 2) เปรียบเทียบกับ 180°C (รูปที่ 6) โดยใช้เทคนิค swollen-state ¹H NMR Spectroscopy พบว่าที่อุณหภูมิ 150°C ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงจะเกิดในวัฏภาคของ NR มากกว่าในวัฏภาคของ NBR แต่ที่อุณหภูมิ 180°C ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงในวัฏภาคของ NR ต่ำกว่าความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงในวัฏภาคของ NBR อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งอธิบายได้ว่าการวัลคาไนซ์ในวัฏภาคของ NBR ได้มากกว่า ทั้งนี้เป็นผลมาจากการที่กำมะถันและสารตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาในวัฏภาค NBR ได้มากกว่า ซึ่งแม้ว่าจะมีการเติมสารตัวเร่งปฏิกิริยารอง เช่น DPG MBTS

หรือ TBTD ก็จะทำให้ผลในลักษณะเดียวกัน ยกเว้นการใช้สารตัวเร่งปฏิกิริยารอง TMTM และ ODIP ที่จะทำให้ผลความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงในวัฏภาคของ NBR และ NR เหมือนกันทั้งที่อุณหภูมิ 150°C และ 180°C เพียงแต่อยู่ที่อุณหภูมิ 180°C จะมีความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 150°C

ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง (mol/m³)



รูปที่ 6 การกระจายตัวของความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงในยางผสม NR/NBR41 (50:50) วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 180°C

การปรับปรุงสมบัติของยางผสม NR/NBR

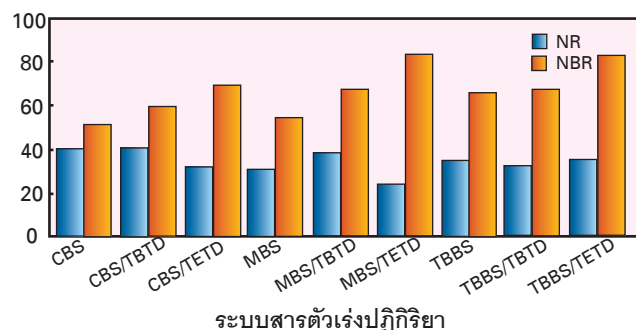
จากปัญหาความเป็นขั้วที่แตกต่างกันของยาง NR และยาง NBR ทำให้ยางทั้งสองไม่สามารถเข้ากันได้ ส่งผลให้วัฏภาคกระจายตัว มีขนาดใหญ่และทำให้สมบัติเชิงกลไม่ดี การปรับปรุงสมบัติของยางผสม NR/NBR ดังกล่าวสามารถทำได้โดย

1. เลือกเกรดของยาง NBR ให้เหมาะสม

ปัจจัยแรกที่ต้องพิจารณา คือ การเลือกเกรดยาง NBR ให้เหมาะสม คือ มีร้อยละของอะคริโลไนไตรล์ไม่สูงมากนัก ทั้งนี้ถ้าโมเลกุลของยาง NBR มีหมู่อะคริโลไนไตรล์ (ที่มีความเป็นขั้วสูง) อยู่ในปริมาณที่สูง จะทำให้ยาง NBR มีระดับความเป็นขั้วสูง แต่ถ้าโมเลกุลของยาง NBR มีหมู่อะคริโลไนไตรล์น้อยลง จะทำให้ยาง NBR นี้มีระดับความเป็นขั้วลดลง ซึ่งจะทำให้ใกล้เคียงกับยาง NR มากขึ้น ยางผสมที่มีความเป็นขั้วไม่แตกต่างกันมากเกินไป ก็มีแนวโน้มที่จะผสมกันได้ง่ายขึ้น นอกจากนั้นความหนืดยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง ถ้าความหนืดของยางผสมแตกต่างกันมาก จะทำให้โครงสร้างพื้นฐานของวัฏภาคกระจายตัวที่ได้มีขนาดใหญ่ ซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติของยางผสม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกยาง NBR เกรดที่มีความหนืดให้ใกล้เคียงกับยาง NR ด้วย เพื่อให้ยางทั้งสองสามารถผสมเข้ากันได้ดีขึ้น

Lewan [1] ได้ศึกษาการผสมยาง NR/NBR โดยที่ใช้ยาง NBR ที่มีร้อยละของอะคริโลไนไตรล์ต่ำลง เช่น ร้อยละ 34 (NBR34) พบว่าแม้จะใช้ยาง NBR ที่มีร้อยละของอะคริโลไนไตรล์ต่ำลง และความเป็นขั้วลดลง แต่พันธะเชื่อมโยงก็ยังคงเกิดขึ้นในวัฏภาคของ NBR มากกว่าในวัฏภาคของ NR ดังแสดงในรูปที่ 7 แต่อย่างไรก็ตามพันธะเชื่อมโยงของ NR/NBR34 โดยรวมก็จะต่ำกว่า NR/NBR41 ซึ่งส่งผลให้มีความทนต่อแรงดึงต่ำกว่าด้วยเช่นกัน ฉะนั้นการเลือกใช้ยาง NBR ที่มีร้อยละของอะคริโลไนไตรล์ที่ต่ำลง ก็อาจจะทำให้สมบัติของยางผสมไม่เป็นไปอย่างที่ต้องการได้ ดังนั้นในทางปฏิบัติควรเลือกใช้เกรดของยาง NBR ให้ตรงกับความต้องการโดยคำนึงถึงระดับความเป็นขั้วที่ไม่ให้แตกต่างกันมากนักของยางผสมทั้งสองชนิด

ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง (mol/m³)



รูปที่ 7 การกระจายตัวของความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงในยางผสม NR/NBR34 (50:50) วัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 150°C

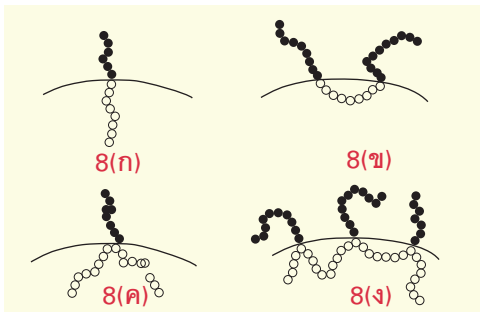
2. เลือกระบบสารตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม

เลือกระบบสารตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม เช่น การใช้ TBBS เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาจะให้การกระจายตัวของพันธะเชื่อมโยงในแต่ละวัฏภาคใกล้เคียงกันมากกว่าการใช้ CBS หรือ MBS เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนั้นอาจยังจำเป็นต้องใช้ระบบสารตัวเร่งปฏิกิริยามากกว่า 1 ชนิด เช่น การใช้ TBBS เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาหลักและใช้ TBTD หรือ MBTS เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยารอง เพื่อปรับความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงในแต่ละวัฏภาคให้ใกล้เคียงกันมากขึ้นอีกด้วย ซึ่งจะส่งผลทำให้สมบัติเชิงกลของยางผสมดีขึ้น

3. เติมสารเสริมสภาพเข้ากันได้ (compatibilizer)

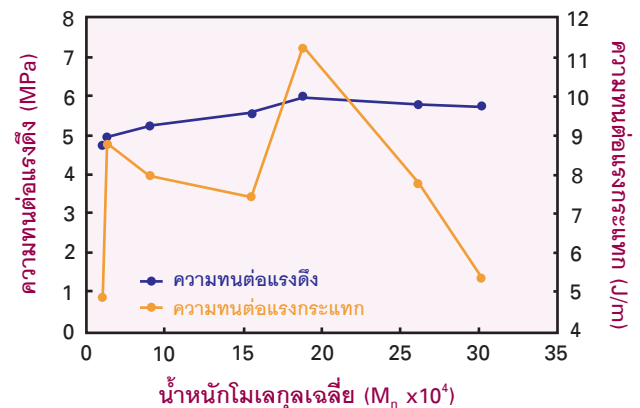
นอกจากการเลือกชนิดของยางและระบบสารตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมแล้วนั้น การปรับให้วัฏภาคกระจายตัวมีขนาดเล็กลงเพื่อเพิ่มอันตรกิริยาระหว่างวัฏภาคให้มากขึ้นก็เป็นปัจจัยสำคัญที่จะช่วยให้สมบัติของยางผสมดีขึ้น ซึ่งในทางปฏิบัติมักนิยมเติมสารเสริมสภาพเข้ากันได้เข้าไปด้วยในปริมาณเล็กน้อย

สารเสริมสภาพเข้ากันได้ (compatibilizer) คือ สารเคมีที่เข้าไปอยู่ระหว่างรอยต่อของวัฏภาคของยางผสม ทำหน้าที่ลดพลังงานเชิงพื้นผิวระหว่างวัฏภาค และเพิ่มการยึดติดระหว่างวัฏภาคให้มากขึ้น รวมถึงทำให้วัฏภาคกระจายตัวมีขนาดเล็กลงและเสถียรไม่กลับมารวมตัวกันเป็นวัฏภาคใหญ่ ซึ่งจะทำให้ยางสองชนิดที่ไม่สามารถเข้ากันได้นั้นสามารถเข้ากันได้ดีขึ้น โดยทั่วไปสารเสริมสภาพเข้ากันได้จะเป็นบล็อกหรือกราฟต์โคพอลิเมอร์ ซึ่งสิ่งสำคัญในการพิจารณาเลือกสารเสริมสภาพเข้ากันได้มาใช้ในระบบยางผสม คือ ความเป็นขั้วที่เหมาะสมกับยางทั้งสองวัฏภาคของสารเสริมสภาพเข้ากันได้ เช่น ในกรณีของไดบล็อกโคพอลิเมอร์ ด้านหนึ่งของบล็อกโคพอลิเมอร์จะต้องเข้ากันได้กับวัฏภาคของยางชนิดที่หนึ่ง ส่วนอีกด้านหนึ่งของบล็อกโคพอลิเมอร์จะต้องเข้ากันได้กับวัฏภาคของยางชนิดที่สอง หรือในกรณีของกราฟต์โคพอลิเมอร์ก็คือ การทำให้สายโซ่หลักที่เข้ากันได้กับวัฏภาคของยางชนิดที่หนึ่งถูกกราฟต์ด้วยหมู่ฟังก์ชันที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถเข้ากันได้กับวัฏภาคของยางชนิดที่สอง เป็นต้น นอกจากนี้น้ำหนักโมเลกุลที่เหมาะสมของสารเสริมสภาพเข้ากันได้ ยังเป็นอีกปัจจัยที่ต้องพิจารณา เพื่อให้สารเสริมสภาพเข้ากันได้นั้นมีการเคลื่อนไหว (mobility) ได้ดีในระบบยางผสมนั้นๆ อย่างไรก็ตาม ถ้าเราเลือกสารเสริมสภาพเข้ากันได้ที่ไม่เหมาะสมกับระบบยางผสมนั้นๆ หรือมีการใช้สารเสริมสภาพเข้ากันได้ในปริมาณที่มากเกินไป อาจจะทำให้สารเสริมสภาพเข้ากันได้นั้นเกิดการรวมตัวกันเป็นก้อนหรือเป็นไมเซลล์ (micelle) ได้อีกด้วย ซึ่งอาจส่งผลต่อสมบัติของยางผสมได้



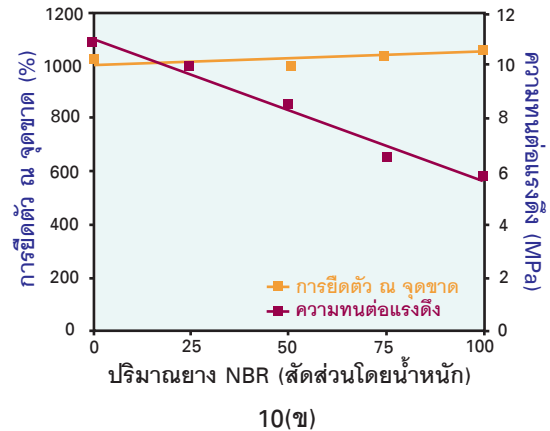
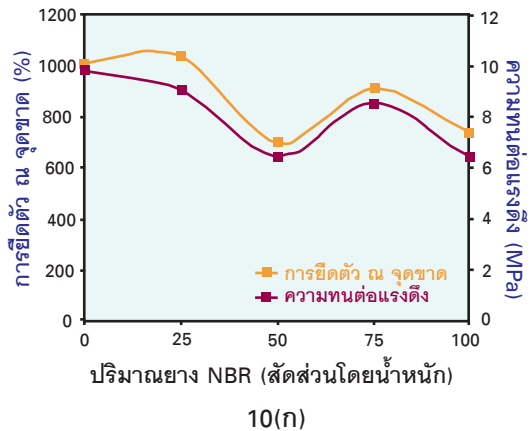
รูปที่ 8 บล็อกโคพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ที่ใช้เป็นสารเสริมสภาพเข้ากันได้
บริเวณรอยต่อของวัฏภาค (ก) ไดบล็อกโคพอลิเมอร์
(ข) ไตรบล็อกโคพอลิเมอร์ (ค) และ (ง) กราฟต์โคพอลิเมอร์

Mounir และคณะ [2] ได้ศึกษาสารเสริมสภาพเข้ากันได้ของยางผสม NR/NBR โดยนำเบนโซอิลเพอร์ออกไซด์/มาลิกแอนไฮไดรด์ (benzoyl peroxide/maleic anhydride) ร้อยละ 3 มากราฟต์บนยาง NBR และผสมลงในยางผสม NR/NBR (อัตราส่วน 70:30) พบว่าค่าความทนต่อแรงดึงจะสูงสุดเมื่อใช้มาลิกแอนไฮไดรด์กราฟต์ NBR ในปริมาณ 0.5-1 phr หลังจากนั้นจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณมาลิกแอนไฮไดรด์กราฟต์ NBR ขึ้นไปจนถึง 2.5 phr ซึ่งอาจเป็นเพราะการกราฟต์ด้วยมาลิกแอนไฮไดรด์จะเกิดขึ้นบนกิ่งก้านสาขาของหมู่ไวนิล ในทางกลับกัน ค่าความทนต่อแรงกระแทก (impact resistance) สูงที่สุดเมื่อใช้มาลิกแอนไฮไดรด์กราฟต์ NBR ในปริมาณ 2 phr เนื่องจากการกราฟต์เกิดขึ้นที่พันธะคู่ของสายโซ่หลัก นอกจากนั้นยังได้ศึกษาการนำยางธรรมชาติเหลว (liquid natural rubber; LNR) มาใช้เป็นสารเสริมสภาพเข้ากันได้ ในยางผสม NR/NBR (70:30) ด้วยเช่นกัน ซึ่งผลการศึกษาระบุว่า เมื่อเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลของ LNR จะทำให้ LNR สามารถประพฤติตัวเป็นสารเสริมสภาพเข้ากันได้ดีขึ้นจนกระทั่งถึงน้ำหนักโมเลกุลที่เหมาะสม คือ ประมาณ 18.7×10^4 ซึ่งจะเป็นจุดที่ทำให้สมบัติความทนต่อแรงดึงและความทนต่อแรงกระแทกสูงสุด (รูปที่ 9) ซึ่งหลังจากจุดนี้แม้ว่าจะมีการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลของ LNR อีกก็ไม่ทำให้สมบัติต่างๆ ดีขึ้นอีกต่อไป ทั้งนี้เนื่องมาจากอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างวัฏภาคขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุลของ LNR ด้วย กล่าวคือ LNR ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าจะมีพื้นที่ในการทำปฏิกิริยาระหว่างวัฏภาคได้มากกว่า ส่งผลให้เกิดแรงยึดติดระหว่างวัฏภาคได้ดีกว่า นอกจากนี้โมเลกุลขนาดเล็กยังสามารถเคลื่อนที่ได้มากกว่า จึงสามารถเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลของวัฏภาคต่อเนื่องได้ง่ายกว่าด้วย ส่งผลทำให้ยางผสมที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดี



รูปที่ 9 พลของน้ำหนักโมเลกุลของ LNR ที่มีต่อความทนต่อแรงดึง และความทนต่อแรงกระแทกของยางผสม NR/NBR

Botros และคณะ [3] ได้ศึกษาการนำอะคริโลไนไทรล์กราฟต์บนยางธรรมชาติ (NR-g-AN) มาใช้เป็นสารเสริมสภาพเข้ากันได้ ในยางผสม NR/NBR ในอัตราส่วนต่างๆ พบว่าสารเสริมสภาพเข้ากันได้ดีกล่าวช่วยปรับปรุงโครงสร้างสัณฐานของยางผสมให้ดีขึ้นและทำให้สมบัติเชิงกลดีขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 ความทนต่อแรงดึงและการยืดตัว ณ จุดขาดของยางผสม NR/NBR ในอัตราส่วนต่างๆ (ก) ไม่เติมสารเสริมสภาพเข้ากันได้ (ข) เติมสารเสริมสภาพเข้ากันได้ NR-g-AN 10 phr

Kongsin และ Lewan [4] ได้ศึกษาการนำโพลิคลอโรพรีน (polychloroprene; CR) หรือยางคลอโรพรีนมาใช้เป็นสารเสริมสภาพเข้ากันได้ของยางผสม NR/NBR เนื่องจากยาง CR มีโครงสร้างเคมีคล้ายกับยาง NR แต่มีความเป็นขั้วมากกว่าเนื่องจากมีหมู่แทนที่เป็นหมู่คลอรีน ทำให้มีความต้านทานต่อการบวมตัวในน้ำมันอะโรมาติกได้ดี นอกจากนี้ยาง CR ยังมีสมบัติเชิงกลสูงแม้จะไม่เสริมแรง และมีค่าตัวกำหนดการละลาย (solubility parameter) อยู่ระหว่างยาง NR กับยาง NBR และหมู่คลอรีนที่มีขั้วสามารถจะเกิดอันตรกิริยาไดโพลาร์กับหมู่ที่มีขั้วในยาง NBR ได้

จากผลการศึกษาในตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่า ความทนต่อแรงดึงของยางผสม NR/NBR34 (50:50) ที่ไม่เสริมแรงและไม่เติมยาง CR จะมีค่าความทนต่อแรงดึงต่ำ ในขณะที่ข้อมูลในตารางที่ 2 แสดงว่า การนำยาง CR มาใช้เป็นสารเสริมสภาพเข้ากันได้โดยแทนที่ยาง NR บางส่วนจะทำให้สมบัติเชิงกล เช่น ความทนต่อแรงดึงมีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะยาง CR มีผลให้ปริมาณพันธะเชื่อมโยงในวัฏภาคของยาง NR เพิ่มขึ้น (รูปที่ 11) ทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และในการนำยาง CR มาแทนที่ยาง NBR บางส่วนก็ให้ผลในทำนองเดียวกันดังแสดงในตารางที่ 3 คือ มีความทนต่อแรงดึงสูงขึ้น (เมื่อเทียบกับไม่เติมยาง CR ในตารางที่ 1)

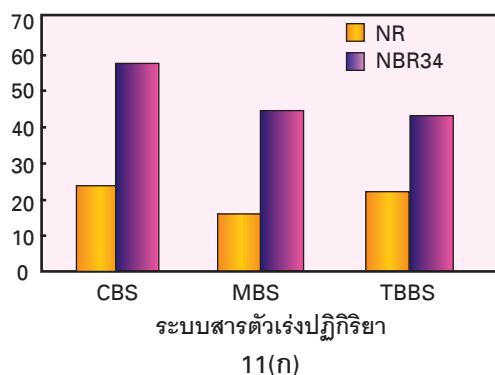
ตารางที่ 1 สมบัติเชิงกลของยางผสม NR/NBR34 ในอัตราส่วน 50:50

ระบบตัวเร่งปฏิกิริยา	100%โมดูลัส (MPa)	300%โมดูลัส (MPa)	ความทนต่อแรงดึง (MPa)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)
CBS	0.66	1.08	8.6	745
MBS	0.68	1.06	11.7	815
TBBS	0.64	1.02	9.3	780

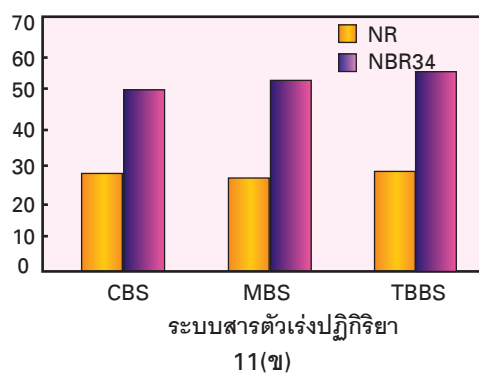
ตารางที่ 2 สมบัติเชิงกลของยางพรม NR/CR/NBR34 ในอัตราส่วน 40:10:50

ระบบตัวเร่งปฏิกิริยา	100%โมดูลัส (MPa)	300%โมดูลัส (MPa)	ความทนต่อแรงดึง (MPa)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	ความทนต่อการฉีกขาดแบบ Crescent (N/mm)
CBS	0.71	1.32	17.0	785	30.3
MBS	0.71	1.30	16.7	785	15.1
TBBS	0.71	1.31	18.5	800	21.1

ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง (mol/m³)



ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง (mol/m³)

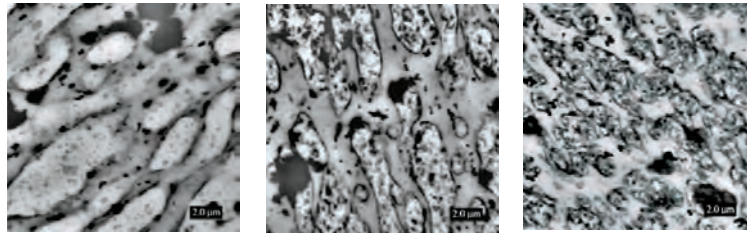


รูปที่ 11 การกระจายตัวของพันธะเชื่อมโยงในแต่ละวัฏภาคของยางพรมที่วัลคาไนซ์โดยไม่เสริมแรง
(ก) NR/NBR34 (50:50) (ข) NR/CR/NBR34 (40:10:50)

ตารางที่ 3 สมบัติเชิงกลของยางพรม NR/CR/NBR34 ในอัตราส่วน 50:10:40

ระบบตัวเร่งปฏิกิริยา	100%โมดูลัส (MPa)	300%โมดูลัส (MPa)	ความทนต่อแรงดึง (MPa)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	ความทนต่อการฉีกขาดแบบ Crescent (N/mm)
CBS	0.68	1.26	19.5	810	26.6
MBS	0.69	1.29	18.5	785	22.8
TBBS	0.65	1.17	18.1	810	23.5

เมื่อนำยางผสม NR/NBR ที่มีการเติม CR เข้าไปเป็นสารเสริมสภาพเข้ากันได้ นั้นมาศึกษาโครงสร้างพื้นฐานดังแสดงในรูปที่ 12(ก) จะเห็นว่า ขนาดของวัฏภาคกระจายตัวอยู่ในระดับประมาณ 10 ไมโครเมตร (เมื่อเทียบกับยางผสมที่ไม่ได้เติมสารเสริมสภาพเข้ากันได้ที่มีขนาดของวัฏภาคกระจายตัวมากกว่า 100 ไมโครเมตร) และเมื่อเพิ่มปริมาณ CR ขึ้นเป็น 10 phr และ 20 phr ดังแสดงในรูปที่ 12(ข) และ 12(ค) จะเห็นว่าวัฏภาคกระจายตัวมีขนาดเล็กลง ทั้งนี้เนื่องจากการมี CR ที่บริเวณรอยต่อของวัฏภาคจะช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างวัฏภาคลง และทำให้วัฏภาคกระจายตัวมีขนาดเล็กลง และช่วยเพิ่มพันธะเชื่อมโยงระหว่างวัฏภาคของยางทั้งสองด้วย ดังจะให้เห็นจากรูป คือ วัฏภาค NR มีสีเข้มกว่าวัฏภาคของ NBR เนื่องจากวัฏภาค NR สามารถถูกย้อมด้วยออกไซด์ของออสเมียมเททราออกไซด์ (osmium tetroxide) ได้ดีกว่าวัฏภาคของ NBR จึงทำให้มีสีเข้มกว่า นอกจากนี้ยังจะเห็นโพรงเล็กๆ ของ NR ในวัฏภาคของ NBR และในทางกลับกันก็จะเห็นโพรงเล็กๆ ของ NBR ในวัฏภาคของ NR ด้วย ส่วนจุดดำๆ นั้นคือ ซิงก์ออกไซด์ ที่อยู่ในเฉพาะวัฏภาคของ NR สำหรับเส้นสีดำบางๆ นั้น คือ บริเวณรอยต่อของวัฏภาค NR และ NBR ส่วนยาง CR จะเห็นเป็นสีเข้มเนื่องจากปริมาณของคลอรีน



12(ก)

12(ข)

12(ค)

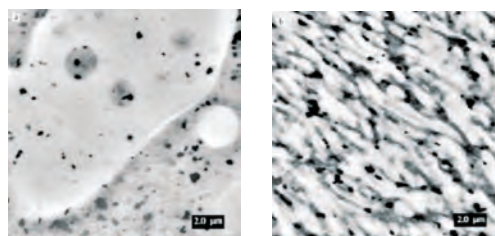
รูปที่ 12 โครงสร้างพื้นฐานของยางผสม NR/CR/NBR34 ที่วัลคาไนซ์โดยไม่เสริมแรง ในอัตราส่วน (ก) 50:5:45 (ข) 50:10:40 (ค) 50:20:30 ถ่ายด้วย scanning tunnelling electron microscope (STEM)

ตัวอย่างอื่นๆ ของสารเสริมสภาพเข้ากันได้ของยางผสม NR/NBR เช่น โพลี(อะคริไลโนไทรล์-โค-เมทิลเมทาคริเลต-โค-สไตรีน) [5] อีพ็อกซีเรซิน/โพลี(อะคริไลโนไทรล์) และ/หรือ โพลี(อะคริลิก แอซิด) [6] อีพ็อกซีเรซิน/โพลี(อะคริลิก แอซิด) [7] ยางธรรมชาติ/พอลิซไนด์ [8] เป็นต้น นอกจากนี้ปัจจุบันยังมีการผลิตสารเสริมสภาพเข้ากันได้จำหน่ายในทางการค้า เช่น ULTRA-BLEND™ 5000 ซึ่งเป็นของผสมระหว่างอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนเรซิน ซึ่งทำหน้าที่ปรับปรุงความเข้ากันได้ของโพลิเมอร์ผสมที่มีความเป็นขั้วหรือความหนืดที่แตกต่างกัน [9]

4. ดัดแปรยาง NR ให้มีความเป็นขั้วเพิ่มขึ้น

นอกจากการใช้สารเสริมสภาพเข้ากันได้แล้ว การดัดแปรยางให้มีความเป็นขั้วเพิ่มขึ้นก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยลดขนาดของวัฏภาคกระจายตัวให้เล็กลง ซึ่งจะช่วยให้ปรับปรุงสมบัติเชิงกลของยางผสมให้ดีขึ้น เช่น การนำโพลิเมทิลเมทาคริเลต (PMMA) มากราฟต์ลงบนยางธรรมชาติได้เป็นยางธรรมชาติที่กราฟต์ด้วย PMMA

Karnika และ Lewan [10] ได้ศึกษาโครงสร้างพื้นฐานของยางผสม NR/NBR41 ในอัตราส่วน 65:35 พบว่าวัฏภาคกระจายตัวมีขนาดค่อนข้างใหญ่ดังแสดงในรูปที่ 13(ก) และมีแรงยึดติดบริเวณรอยต่อของวัฏภาคที่ไม่แข็งแรง (ซึ่งจะส่งผลทำให้ยางผสมมีความทนต่อแรงดึงต่ำ) แต่เมื่อนำยางธรรมชาติที่กราฟต์ด้วย PMMA ร้อยละ 30 หรือ Heveaplus MG30 มาผสมกับยาง NBR ในอัตราส่วน 50:50 พบว่าการกราฟต์ PMMA บนยางธรรมชาติจะทำให้ได้ยางผสมกับยาง NBR ที่มีวัฏภาคกระจายตัวขนาดเล็กดังแสดงในรูปที่ 13(ข) ซึ่งทำให้ยางผสมมีความทนต่อแรงดึงสูงขึ้น



13(ก)

13(ข)

รูปที่ 13 โครงสร้างพื้นฐานของยางผสม NR/NBR ที่วัลคาไนซ์โดยไม่เสริมแรง (ก) NR/NBR41 (65:35) ไม่เติมสารเสริมสภาพเข้ากันได้ (ข) MG30/NBR41 (50:50) ถ่ายด้วย scanning tunnelling electron microscope (STEM)

เมื่อนำ MG30 ซึ่งเป็นยาง NR ดัดแปรมาผสมลงในยางผสม NR/NBR โดยทดแทนยาง NR บางส่วน พบว่าความทนต่อแรงดึงและความต้านทานต่อการบวมตัวในน้ำมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ MG30 ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สมบัติทางกายภาพของยางผสม NR/MG30/NBR41C80 วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถัน/TBBS (1.3 phr /1.17 phr)

NR/MG30/NBR	100%โมดูลัส (MPa)	300%โมดูลัส (MPa)	ความทนต่อแรงดึง (MPa)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	ความทนต่อการฉีกขาดแบบ Trouser (N/mm)	การบวมตัวในน้ำมัน ASTM#1 (%)*
45:5:50	0.83	1.43	19.9	805	11.3	-
40:10:50	0.90	1.68	21.5	780	10.9	-
35:15:50	1.11	2.27	23.6	710	3.86	58
30:20:50	1.20	2.65	24.6	672	4.07	49

* ปริมาตรการบวมตัวหลังจากทดสอบที่อุณหภูมิ 100°C 70 ชั่วโมง

จากรายงานการศึกษาระบุว่า ยางผสมระหว่าง NR กับ NBR ที่มีอะคริโลไนไตรล์ร้อยละ 41 (NBR41) มีการกระจายตัวของพันธะเชื่อมโยงในวัฏภาคของ NR/NBR เป็น 11/82 และ 43/10 เมื่อวัลคาไนซ์ที่ 150°C ด้วยกำมะถัน 1.5 phr และ TMTD 0.6 phr หรือกำมะถัน 1.5 phr และ ODIP 1.93 phr ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการวัลคาไนซ์ด้วย S/TMTD จะให้การกระจายตัวของพันธะเชื่อมโยงในวัฏภาคของ NBR สูงกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจาก TMTD ชอบที่จะเข้าไปอยู่ในวัฏภาคของ NBR มากกว่า ในทางกลับกันการวัลคาไนซ์ด้วย S/ODIP จะให้การกระจายตัวของพันธะเชื่อมโยงในวัฏภาคของ NR สูงกว่า เพราะ ODIP เป็นสารที่มีสายโซ่ที่เป็นอะลิฟาติกยาวกว่า จึงชอบที่จะเข้าไปอยู่ในวัฏภาคของ NR ได้มากกว่า ในขณะที่การใช้สารตัวเร่งปฏิกิริยา TBBS จะทำให้การกระจายตัวของพันธะเชื่อมโยงในวัฏภาคของ NR กับ NBR ใกล้เคียงกัน

เมื่อเติม Heveaplus MG30 ลงไปในยางผสม พบว่าให้ผลเช่นเดียวกัน กล่าวคือ การกระจายตัวของพันธะเชื่อมโยงของ NR/MG30/NBR = 9:41:50 เท่ากับ 12/75 และ 64/5 ตามลำดับ นั่นคือการกระจายตัวของพันธะเชื่อมโยงจะเกิดในวัฏภาคของ NBR มากกว่า ในกรณีที่ใช้ TMTD และจะเกิดในวัฏภาคของ NR มากกว่ากรณีที่ใช้ ODIP ในทางตรงกันข้ามในระบบการวัลคาไนซ์ที่ใช้ S/TBBS เมื่อมีการเติม MG30 พบว่าจากที่เคยให้การกระจายตัวของพันธะเชื่อมโยงในยางผสมได้ใกล้เคียงกันก็จะเปลี่ยนไปดังแสดงในตารางที่ 5 กล่าวคือจะมีการกระจายตัวของพันธะเชื่อมโยงในวัฏภาคของ NR มากกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากขนาดวัฏภาคที่ลดลงเมื่อเติม Heveaplus MG30 ทำให้เกิดการแพร่หรือการเคลื่อนย้ายของสารวัลคาไนซ์บริเวณรอยต่อของวัฏภาคระหว่างการวัลคาไนซ์ ส่งผลต่อการกระจายตัวของความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงมากขึ้น

ดังนั้นการดัดแปรยางธรรมชาติให้มีความเป็นขั้วเพิ่มขึ้น (MG30) และเติมลงในยางผสม NR/NBR จะช่วยลดขนาดของวัฏภาคกระจายตัวให้เล็กลงและเพิ่มแรงยึดติดบริเวณรอยต่อของวัฏภาค (แม้ว่าจะใช้ยาง NBR ที่มีอัตราส่วนอะคริโลไนไตรล์ต่างกันก็ตาม) ซึ่งจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความทนต่อแรงดึงสูงขึ้น นอกจากนี้การเติม MG30 ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวของพันธะเชื่อมโยงระหว่างวัฏภาคของยางผสม กล่าวคือ การที่ขนาดวัฏภาคลดลง ทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของสารวัลคาไนซ์ได้ระหว่างการเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ ซึ่งจะช่วยลดการกระจายตัวที่ไม่เท่ากันของความหนาแน่นพันธะเชื่อมโยงในแต่ละวัฏภาคลงได้

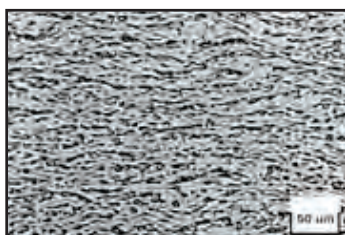


ตารางที่ 5 ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงในยางผสม NR/MG30/NBR ที่วัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน/TBBS (1.3/1.17 phr)

NR/MG30/NBR	เกรดของยาง NBR	ความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง (mol/m ³)	
		NR	NBR
45:5:50	NBR41C80	46.1	26.2
40:10:50	NBR41C80	52.8	22.0
55:5:40	NBR41C45	50.2	29.3
50:10:40	NBR41C45	47.8	32.7
45:5:50	NBR41C45	46.2	32.7
40:10:50	NBR41C45	50.4	31.8
50:0:50	NBR28C45	44.9	48.7
50:15:35	NBR28C45	58.6	55.2
30:20:50	NBR28C45	58.1	41.9
0:50:50	NBR28C45	66.0	41.4

5. เติมสารตัวเติม

นอกจากการเลือกใช้สารเสริมสภาพเข้ากันได้หรือการดัดแปรยาง NR ให้มีความเป็นขั้วเพิ่มขึ้นแล้ว มีรายงานว่า การเติมสารตัวเติมลงไปในยางผสมจะช่วยให้วัฏภาคกระจายตัวมีขนาดเล็กลง Sirisinha และคณะ [11] ได้ศึกษาโครงสร้างสัณฐานของยางผสม NR/NBR (20:80) ที่มีการเติมเขม่าดำและซิลิกา ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 14 ซึ่งจะเห็นว่า ยางผสมที่เติมสารตัวเติม 20 phr (ไม่ว่าจะเป็นเขม่าดำหรือซิลิกา) จะให้วัฏภาคกระจายตัวที่มีขนาดเล็กลง (เมื่อเทียบกับที่ไม่ได้เติมสารตัวเติม) ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะเมื่อเติมสารตัวเติมลงไปจะทำให้ความหนืดเฉือน (shear viscosity) ในระบบ (bulk) เพิ่มขึ้น ทำให้ความเค้นเฉือน (shear stress) เพิ่มขึ้นเพียงพอที่จะทำให้วัฏภาคกระจายตัวของ NR แตกออกและมีขนาดเล็กลง นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า เขม่าดำที่อยู่บริเวณรอยต่อของวัฏภาคสามารถจะประพฤติตัวเป็นสารเสริมสภาพเข้ากันได้ให้กับยางผสมได้อีกด้วย [12]



14(ก)



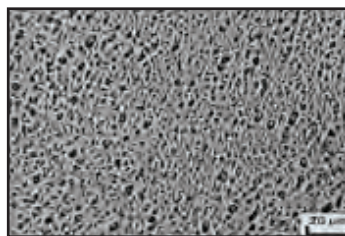
14(ข)



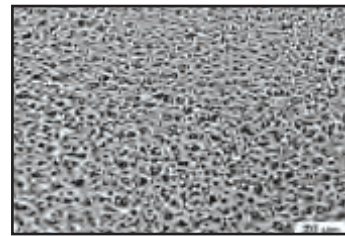
14(ค)



14(ง)



14(จ)



14(ฉ)

รูปที่ 14 โครงสร้างสัณฐานของยางผสม NR/NBR (ก) ไม่เติมสารตัวเติม (ข) เขม่าดำ N220 (ค) เขม่าดำ N330 (ง) เขม่าดำ N660 (จ) ซิลิกา (ฉ) ซิลิกาที่ผ่านการปรับผิว

สรุป

ยาง NR และยาง NBR เป็นยางที่มีระดับความเป็นขั้วแตกต่างกัน ดังนั้นจึงผสมให้เข้ากันได้ยาก อย่างไรก็ตามเราสามารถจะปรับสมบัติของยางผสม NR/NBR ให้ดีขึ้นได้โดยการเลือกใช้ยาง NBR ที่มีระดับความเป็นขั้วต่ำและมีความหนืดใกล้เคียงกับยาง NR เพื่อให้ยาง NR กับ NBR เข้ากันได้ดีขึ้น รวมทั้งการเลือกระบบสารตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม เช่น TBBS ที่ให้การกระจายตัวของพันธะเชื่อมโยงในแต่ละภูมิภาคใกล้เคียงกัน หรือการใช้ระบบสารตัวเร่งปฏิกิริยามากกว่า 1 ชนิด เช่น TBBS/TBTD หรือ TBBS/MBTS นอกจากนั้น การเติมสารเพิ่มความเข้ากันได้ เช่น ยางคลอโรพรีน หรือการดัดแปรยางธรรมชาติให้มีขั้วเพิ่มขึ้น (Heveaplus MG30) หรือแม้แต่การเติมสารตัวเติมก็สามารถจะทำให้ยางคู่ผสมนี้เข้ากันได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. Lewan, M.V., “NR/NBR blends – basic problems and solutions” in Tinker, A.J. and Jones, K.P., “Blends of Natural Rubber: Novel Techniques for Blending with Specialty Polymers”, Chapman&Hall, 1998.
2. Mounir, A., Darwish, N.A. and Shehata, A., “Effect of maleic anhydride and liquid natural rubber as compatibilizers on the mechanical properties and impact resistance of the NR-NBR blend”, *Polym. Adv. Technol.*, **15**, 209–213, (2004)
3. Botros, S.H., Moustafa, A.F and Ibrahim, S.A., “Improvement of homogeneity of NR/NBR rubber blends”, Posters presentation in PMA 2011&RubberCon 2011.
4. Kongsin, K. and Lewan, M.V., “Improving the morphology and properties of NR/NBR blends with polychloroprene as the compatibilizing agent” in Tinker, A.J. and Jones, K.P., “Blends of Natural Rubber: Novel Techniques for Blending with Specialty Polymers”, Chapman&Hall, 1998.
5. Botros S. H, Moustafa A. F., *J. Appl. Polym. Sci.*, **89**, 3143, (2003)
6. Botros S. H., Moustafa A. F., *J. Elastomers Plastics*, **34**, 15, (2002)
7. Botros S. H., *Polym-Plast Technol. Eng.*, **41**, 341, (2002)
8. ชัชวาลย์ กันทะลา, เอกชัย วิมลมาลา, ชาคิต สิริสิงห์ และณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ, “อิทธิพลของสารช่วยประสานต่อสมบัติการไหล ความหนาแน่นของพันธะข้าม และสมบัติเชิงกลของยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางเอ็นบีอาร์”, การประชุมวิชาการด้านพลังงาน สิ่งแวดล้อมและวัสดุ ครั้งที่ 1, คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ, กรุงเทพฯ, 31 สิงหาคม 2550
9. <http://www.performance-additives.com/>
10. Karnika de Silva, K.G. and Lewan, M.V., “Improving the morphology and properties of NR/NBR blends with NR/PMMA graft copolymers” in Tinker, A.J. and Jones, K.P., “Blends of Natural Rubber: Novel Techniques for Blending with Specialty Polymers”, Chapman&Hall, 1998.
11. Sirisinha C., Limcharoen S. and Thunyarittikorn J., “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”, *J. Appl. Polym Sci.*, **89**(4), 1156-1162, (2003)
12. Clarke, J., Clarke, B., Freakley, P.K. and Sutherland, I., *Plast Rubber Compos Process Appl*, **30**, 39, (2001)

เขมภา นิมสุวรรณ

การศึกษา : ปริญญาโท (วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์) มหาวิทยาลัยมหิดล

สถานที่ทำงานปัจจุบัน : นักวิเคราะห์โครงการ

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ