บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การเตรียมยางธรรมชาติอิพอกซิไดซ์ โดยให้อุณหภูมิ และปริมาณสารเคมี (กรดฟอร์มิก และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์) ที่ใช้ในปฏิกิริยาคงที่ แต่ให้เวลาในการทำปฏิกิริยาต่างกัน พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นทำให้กรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สามารถทำปฏิกิริยากันเกิดกรดเปอร์ออกซีอินทรีย์ในน้ำยางธรรมชาติเพิ่มมากขึ้น จึงเข้าทำปฏิกิริยากับยางธรรมชาติเกิดเป็นยางธรรมชาติอิพอกซิไดซ์ที่มีหมู่อิพอกไซด์มากขึ้น

5.1.2 สมบัติทางความร้อนของยางธรรมชาติอิพอกซิไดซ์ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคดิฟเฟอร์-เรนเชียลสแกนนิงแคลอริเมทรี (DSC) พบว่า T_g ของยางธรรมชาติอิพอกซิไดซ์จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณหมู่อิพอกไซด์เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากวงแหวนของหมู่อิพอกไซด์ทำให้สายโซ่โมเลกุลมีความแข็งตึงเพิ่มขึ้น

5.1.3 จากการทดสอบหาเวลาสคอร์ช (scorch time, t_{s1}) ของยาง ENR 20, ENR 45, ENR 65, STR 5L และ NBR พบว่ายาง NBR มีเวลาสคอร์ชสั้นที่สุด รองลงมา คือ ENR 65, ENR 45, ENR 20 และ STR 5L ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากยางไนไตรล์เป็นยางสังเคราะห์ที่ซัลเฟอร์สามารถกระตุ้นให้เกิดการวัลคาไนซ์ได้เร็วกว่า ทำให้มีเวลาสคอร์ชสั้น สำหรับยาง ENR ที่มีหมู่อิพอกไซด์มากจะมีเวลาสคอร์ชสั้นลง เนื่องจาก ซัลเฟอร์สามารถเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางที่พันธะคู่ได้น้อยลง ทำให้มีเวลาสคอร์ชสั้น ส่วนการทดสอบหาเวลาการคงรูป (cure time, t_{90}) พบว่ายาง NBR ใช้เวลาการคงรูปโดยเฉลี่ยสูงสุด รองลงมา ได้แก่ ยาง STR 5L, ENR 20, ENR 45 และ ENR 65 ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะซัลเฟอร์สามารถเกิดปฏิกิริยาเชื่อมขวางที่พันธะคู่ได้น้อยลงทำให้ปฏิกิริยาถึงจุดออพติมัมได้เร็วขึ้น ทำให้ยางธรรมชาติอิพอกซิไดซ์ที่มีหมู่อิพอกไซด์มากเกิดการคงรูปได้เร็วกว่า

5.1.4 จากการทดสอบหาค่าความแข็งของยาง STR 5L, ENR 20, ENR 45, ENR 65 และ NBR ก่อนการบ่มเร่งด้วยความร้อน พบว่ายาง ENR 65 มีความแข็งมากกว่า ENR 45, ENR 20 และ STR 5L แต่ใกล้เคียงยาง NBR เนื่องจากยาง ENR 65 มีปริมาณหมู่อิพอกไซด์มากกว่าทำให้ยางมีสมบัติความยืดหยุ่นต่ำกว่า เมื่อนำยางที่ผ่านการบ่มเร่งด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง ไปทดสอบหาค่าความแข็ง พบว่ายางที่ผ่านการบ่มเร่งด้วยความร้อนจะแข็งกว่ายางที่ไม่ได้บ่มเร่งด้วยความร้อน

5.1.5 จากการทดสอบหาค่าความทนแรงดึงของยาง STR 5L, ENR 20, ENR 45, ENR 65 และ NBR ก่อนบ่มเร่งด้วยความร้อน พบว่ายางธรรมชาติอิพอกซิไดซ์มีความทนแรงดึงมากที่สุด รองลงมา คือ ยาง NBR และยาง STR 5L ตามลำดับ โดยยาง ENR 20 มีความทนแรงดึงมากที่สุด รองลงมาคือยาง ENR 45 และ ENR 65 ตามลำดับ เนื่องจากยาง ENR 20 เกิดปฏิกิริยาอิพอกซิเดชันน้อยกว่าทำให้ในโครงสร้างของยางมีปริมาณพันธะคู่มากกว่ายาง ENR 45 และ ENR 65 เมื่อเตรียมยางผสมสารเคมียางจะเกิดการเชื่อมขวางได้มากกว่าทำให้ยางมีความทนแรงดึงมากกว่า และเมื่อมีการดึงยางทำให้มีแนวโน้มที่เกิดผลึกได้มากกว่ายางที่มีหมู่อิพอกไซด์จำนวนมากอยู่ในโครงสร้างของยาง และเมื่อนำยางที่ผ่านการบ่มเร่งด้วยความร้อนทดสอบหาค่าความทนแรงดึง พบว่ายางที่ผ่านการบ่มเร่งด้วยความร้อนจะมีความทนแรงดึงต่ำกว่ายางที่ไม่ได้บ่มเร่งด้วยความร้อน เนื่องจากการเสื่อมสภาพของยางที่อุณหภูมิสูง

จากการทดสอบหาค่าระยะยืด ณ จุดขาดของยาง STR 5L, ENR 20, ENR 45, ENR 65 และ NBR ก่อนบ่มเร่งด้วยความร้อน พบว่ายาง STR 5L มีค่าระยะยืด ณ จุดขาดสูงกว่ายาง ENR 20, NBR, ENR 45 และ ENR 65 ตามลำดับ ส่วนยางที่ผ่านการบ่มเร่งจะให้ผลของค่าระยะยืด ณ จุดขาด ไปในทำนองเดียวกับยางที่ไม่ได้ผ่านการบ่มเร่ง นั่นคือ ยาง ENR 20 ซึ่งมีปริมาณอิพอกไซด์ต่ำกว่ายาง ENR 45 และ ENR 65 แต่สามารถยืดตัวได้มากก่อนที่ชิ้นงานจะขาด เนื่องจากโมเลกุลที่อยู่ในโครงสร้างมีอิสระในการเคลื่อนไหวได้ดีกว่า

5.1.6 จากการทดสอบหาค่า compression set ของยาง STR 5L, ENR 20, ENR 45, ENR 65 และ NBR พบว่ายาง ENR 20 มีการคืนตัวดีที่สุด (ค่า %compression set ต่ำ) รองลงมา คือ ยาง ENR 45, ENR 65, NBR และ STR 5L ตามลำดับ เนื่องจากยาง ENR ที่มีหมู่อิพอกไซด์จำนวนมากจะมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลสูงจึงคืนตัวได้น้อยกว่ายาง ENR ที่มีปริมาณหมู่อิพอกไซด์น้อยกว่า และการมีหมู่อิพอกไซด์ในยาง ENR ทำให้มีการกระจายแรงเพื่อทำให้โมเลกุลของยางมีการเคลื่อนไหวที่เป็นอิสระกว่ายาง STR 5L และ ยาง NBR

5.1.7 จากการทดสอบหาค่าสภาพการต้านทานโอโซนของยาง STR 5L, ENR 20, ENR 45, ENR 65 และ NBR พบว่ายาง ENR 20, ENR 45, ENR 65 และ NBR มีสภาพการต้านทานโอโซนดีกว่ายาง STR 5L คือ เกิดรอยแตกจำนวนนับไม่ถ้วน แต่ละรอยแตกมีความยาว 1-3 มม. เนื่องจากยาง NBR และยางธรรมชาติอิพอกซิไดซ์มีพันธะคู่ในโครงสร้างน้อยกว่ายาง STR 5L

5.1.8 จากการทดสอบหาค่าความต้านทานน้ำมัน ASTM Oil No. 1 และ IRM 903 ของยาง STR 5L, ENR 20, ENR 45, ENR 65 และ NBR พบว่ายาง NBR มีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรต่ำกว่ายาง ENR 65, ENR 45 และ ENR 20 ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะยาง NBR และยางธรรมชาติอิพอกซิไดซ์ต่างเป็นยางที่มีขั้วจึงบวมตัวในน้ำมันมาตรฐานน้อย เมื่อพิจารณายางธรรมชาติอิพอกซิไดซ์ พบว่ายาง ENR 65 บวมตัวน้อยที่สุด รองลงมา คือ ENR 45 และ ENR 20

ตามลำดับ เพราะยาง ENR 65 มีปริมาณหมู่อิพอกไซด์มากที่สุด ซึ่งเป็นยางที่มีขั้วมากกว่ายางธรรมชาติอิพอกซิไดซ์ที่มีหมู่อิพอกไซด์น้อย ส่วนยาง STR 5L เป็นยางไม่มีขั้วจึงละลายในน้ำมันมาตรฐานทั้งสองชนิด สำหรับน้ำมันมาตรฐาน IRM 903 ซึ่งมีจุดอะนิลีนต่ำกว่าน้ำมัน ASTM Oil No.1 มีโครงสร้างที่มีความเป็นขั้วสูงกว่าน้ำมัน ASTM Oil No.1 ทำให้ยางบวมตัวในน้ำมัน IRM 903 มากกว่า เพราะโครงสร้างของยาง NBR และยางธรรมชาติอิพอกซิไดซ์มีขั้วเช่นเดียวกับน้ำมัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การเตรียมยางธรรมชาติอิพอกซิไดซ์ด้วยวิธี '*in-situ*' epoxidation สามารถปรับเปลี่ยนปริมาณกรดฟอร์มิก และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อุณหภูมิ และเวลาในการเกิดปฏิกิริยาอิพอกซิเดชัน เพื่อให้ได้ปริมาณหมู่อิพอกไซด์แตกต่างจากในงานวิจัยนี้

5.2.2 นำน้ำยางสด (field latex) หรือหางน้ำยาง (skim latex) ที่ได้จากการผลิตน้ำยางข้นมาใช้ทดลองเตรียมยางธรรมชาติอิพอกซิไดซ์ เปรียบเทียบกับที่เตรียมจากน้ำยางข้น

5.2.3 ทดลองเปลี่ยนแปลงสูตรที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติอิพอกซิไดซ์เพื่อให้ได้ยางที่มีสมบัติแตกต่างจากที่ใช้ในงานวิจัยนี้

5.2.4 ทดลองใช้ฟิลเลอร์ชนิดอื่น เช่น คาร์บอนแบล็ก เพื่อเปรียบเทียบสมบัติของยางธรรมชาติอิพอกซิไดซ์ให้เหมาะสมกับการใช้งาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย