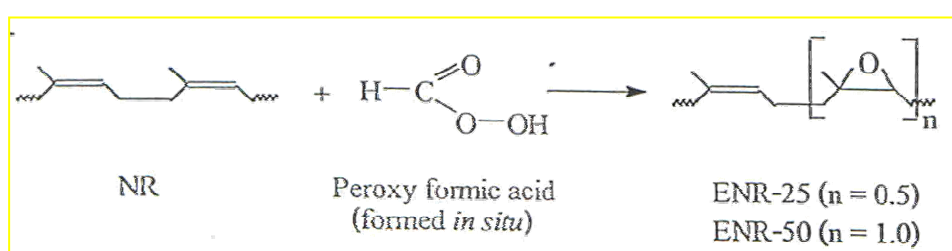


ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง พบว่าปริมาณหมู่อีพอกไซด์ที่เกิดขึ้นบนโมเลกุลของยางมีค่าสูง และเวลาที่น้ำยางเสียสภาพค่อนข้างนาน และค่าความหนืดมูนนี้ มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซด์

ในปัจจุบันมีการผลิตยางธรรมชาติอีพอกไซด์ในการค้า 2 ชนิด คือ ENR-25 และ ENR-50 ซึ่งมีปริมาณหมู่อีพอกไซด์เท่ากับ 25 และ 50 เปอร์เซนต์โมล ตัวอย่างยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่จำหน่ายในทางการค้า เช่น Epoxyprene 25 และ Epoxyprene 50 ของบริษัท Kumpulan Guthrie Berhad ประเทศมาเลเซีย [7]



ภาพประกอบที่ 5 แสดงปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันโดยใช้กรดเปอร์ฟอร์มิก [7]

ปริมาณหมู่อีพอกไซด์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลาในการทำปฏิกิริยา [7] ค่าความหนืดมูนนี้ อุณหภูมิคล้ายแก้ว ความเค้นเหนือนและความหนืดเหนือนของยางธรรมชาติอีพอกไซด์มีค่าสูงกว่ายางธรรมชาติ และมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซด์ นอกจากนี้ยังมีการรีเอกติฟเบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับแป้งมันสำปะหลัง พบว่าค่าความหนืดมูนนี้ ความเค้นเหนือนและความหนืดเหนือนของพอลิเมอร์เบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติอีพอกไซด์กับแป้งมันสำปะหลัง-เจลลาดีนซ์เพิ่มขึ้นตามปริมาณแป้งมันสำปะหลัง ความต้านทานต่อการดึงสูงขึ้นตามปริมาณแป้งมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้นจนถึงปริมาณ 50 phr หลังจากนั้นความต้านทานต่อการดึงมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ส่วนค่ามอดูลัสและความต้านทานต่อการฉีกขาดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการยืดจนขาดมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณแป้งมันสำปะหลัง

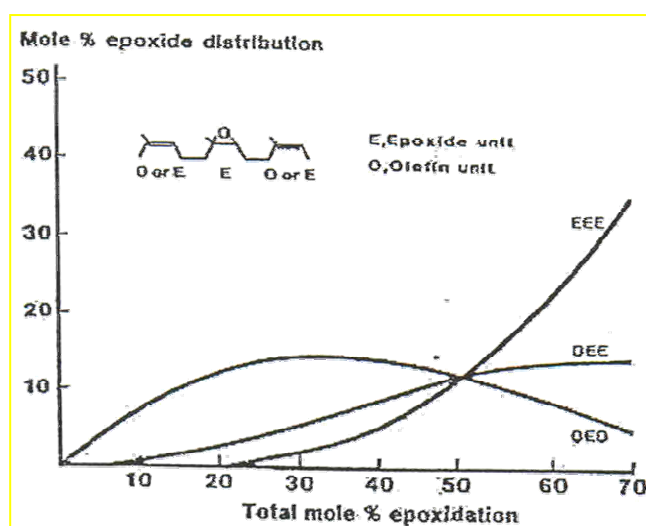
2.2.3 โครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ [7]

สเตอริโอเคมี (Stereochemistry)

ยางธรรมชาติมีลักษณะของโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันด้วยกรดเปอร์ออกไซด์ เป็นปฏิกิริยาเคมีที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสเตอริโอเคมีของโมเลกุล ดังนั้นยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ได้จะยังคงมีลักษณะของโครงสร้างโมเลกุลเป็นแบบซิส-1,4 (cis-1,4-configuration) ทั้งหมด

การกระจายของหมู่อีพอกไซด์ (Epoxide distribution)

การกระจายตัวของหมู่อีพอกไซด์ตลอดความยาวของโซ่โมเลกุลจะมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติอีพอกไซด์เป็นอย่างมาก ถ้าให้เกิดอีพอกซิเดชันตรงตำแหน่งพันธะคู่ของยางธรรมชาตินั้นเกิดแบบสุ่ม (Random) และไม่มีการควบคุม พบว่าเปอร์เซ็นต์โมลทั้งหมดของตำแหน่งต่างๆ ของหมู่อีพอกไซด์ที่ระดับของการเกิดอีพอกซิเดชันต่างๆ สามารถคำนวณได้ดังตัวอย่างในภาพประกอบที่ 6 พบว่าเมื่อระดับการเกิดอีพอกซิเดชันเพิ่มขึ้นการจัดเรียงตัวของหน่วยอีพอกไซด์ (Epoxide unit, E) และหน่วยโอลิฟิน (Olefin unit, O) แบบ O-E-O จะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งระดับของการเกิดอีพอกซิเดชันประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์โมล จากนั้นการจัดตัวแบบ O-E-O จะลดลง การจัดตัวแบบ O-E-E จะเริ่มเกิดเมื่อระดับของการเกิดอีพอกซิเดชันประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โมล ซึ่งการจัดตัวแบบนี้เพิ่มตามระดับของการเกิดอีพอกซิเดชัน และที่ระดับการเกิดอีพอกซิเดชันสูงประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์โมล จะมีการจัดตัวแบบ E-E-E เกิดขึ้น ด้วย ซึ่งการจัดตัวแบบนี้เพิ่มขึ้นอย่างมากและมากกว่าการจัดตัวแบบอื่นๆ เมื่อระดับการเกิดอีพอกซิเดชันสูงกว่า 50 เปอร์เซ็นต์โมล ซึ่งนอกจากการคำนวณแล้วยังสามารถตรวจวัดลำดับการจัดตัวของหน่วยอีพอกไซด์ (Epoxide unit, E) และหน่วยโอลิฟินของการเกิดอีพอกซิเดชัน ในยาง ENR-25 และ ENR-50 ได้ โดยการตรวจวัดด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกนีติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโกปี (^{13}C NMR) และ ^1H -NMR พบว่า จะเป็นไปตามผลที่ได้จากการคำนวณ โดยมีรายละเอียดในการคำนวณตามหัวข้อ 2.5



ภาพประกอบที่ 6 แสดงการคำนวณการจัดเรียงหมู่อีพอกไซด์แบบสุ่มของยางธรรมชาติ-อีพอกไซด์ [11]

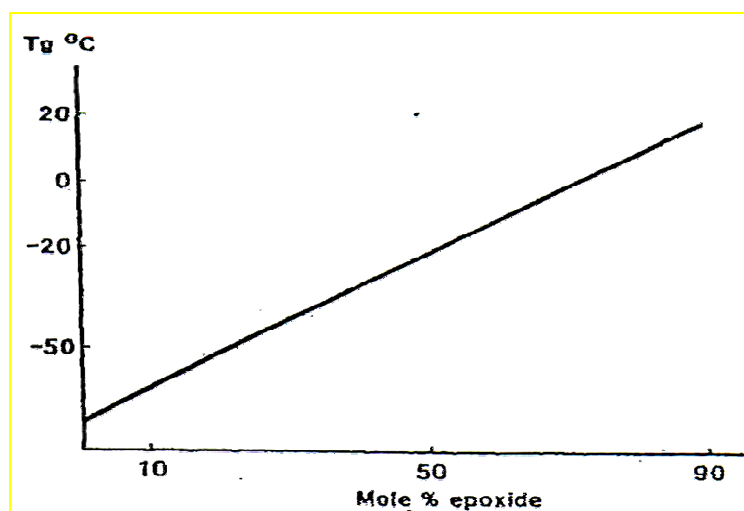
2.2.4 สมบัติของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ [7]

ความหนืดมูนีและความสามารถในการละลาย

ENR-25 และ ENR-50 มีค่าความหนืดมูนีอยู่ในช่วง 75-90 หน่วย ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องบดก่อน (Premasticate) ที่จะนำไปผสมกับสารเคมีต่างๆ นอกจากนี้ยางธรรมชาติอีพอกไซด์จะมีสภาพความเป็นขี้ผึ้งเพิ่มขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซด์ สำหรับความสามารถในการละลายของยางธรรมชาติอีพอกไซด์จะขึ้นอยู่กับระดับของการเกิดอีพอกซิเดชัน และชนิดของตัวทำละลาย ซึ่งยางธรรมชาติอีพอกไซด์สามารถละลายได้ง่ายขึ้นหากมีการบดขยักก่อน ตัวทำละลายที่เหมาะสม ได้แก่ โทลูอิน คลอโรฟอร์มและเตตราไฮโดรฟูเรน (Tetrahydrofuran, THF)

ค่าอุณหภูมิคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature, Tg)

การเกิดหมู่อีพอกไซด์ที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1 เปอร์เซนต์โมลบนโมเลกุลยางธรรมชาติจะทำให้ค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วเพิ่มขึ้นประมาณ 1 องศาเซลเซียส [12] ดังแสดงในภาพประกอบที่ 7 ซึ่งพบว่า ENR-25 มีค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วประมาณ -47 องศาเซลเซียส และ ENR-50 มีค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วประมาณ -22 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบที่ 7 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วต่อปริมาณเปอร์เซนต์โมลอีพอกไซด์ [9]

ความทนทานต่อน้ำมัน

สภาพความเป็นขี้ผึ้งของยางธรรมชาติอีพอกไซด์จะเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณหมู่อีพอกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ความต้านทานต่อน้ำมันและตัวทำละลายเปลี่ยนแปลงไป ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่มีระดับการอีพอกซิเดชันสูงจะเป็นวัสดุที่ทนทานต่อสารไฮโดรคาร์บอน

แต่ความทนทานต่อตัวทำละลายที่มีขั้วจะลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4 ยาง ENR-50 จะทนทานต่อ ASTM Oil ได้ใกล้เคียงกับยางไนไตรล์ที่มีปริมาณอะคริโลไนไตรล์ปานกลาง (Medium NBR, 34 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของอะคริโลไนไตรล์) และจะทนทานกว่ายางคลอโรพรีน (CR) จึงสามารถใช้ ENR-50 แทนพอลิเมอร์เหล่านี้ได้ในงานที่ต้องการสมบัติด้านความทนทานต่อน้ำมัน แต่ ENR-50 จะไม่ทนทานไปกว่ายางไนไตรล์ในกรณีของน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีแอลกอฮอล์เป็นองค์ประกอบ (Alcohol-containing fuels)

ตารางที่ 4 แสดงเปอร์เซ็นต์การบวมพองของยางในของเหลวชนิดต่างๆ [9]

Properties	NR	ENR-25	ENR-50	NBR	CR
70h/100°C in					
ASTM No.1 oil	97	11	-5	-4	2.5
ASTM No.2 oil	145	71	13	7	33
ASTM No.3 oil	209	126	36	18	59
70h/23°C in					
ASTM ref. Fuel B	178	127	59	38	-
Ethanol	-0.45	15	28	16	-
Methyl ethyl ketone	-36	51	98	178	-

ความทนทานต่อโอโซนและการซึมของอากาศ

ยางธรรมชาติอีพอกไซด์สามารถทนทานต่อโอโซน และการซึมของอากาศได้ใกล้เคียงกับยางบิวไทล์ เพราะพันธะคู่ในโครงสร้างยางธรรมชาติมีปริมาณลดน้อยลง และมีกลุ่มของอีพอกไซด์เกิดขึ้นแทนที่พันธะคู่ ทำให้โมเลกุลของยางเคลื่อนที่ได้ยากขึ้น

2.2.5 การวิเคราะห์ปริมาณหมู่อีพอกไซด์ (Analysis of Epoxide Level)

การวิเคราะห์ปริมาณหมู่อีพอกไซด์มีหลายวิธีดังรายละเอียดด้านล่าง

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโกปี

(Nuclear Magnetic Resonance, NMR analysis)

ตัวอย่างที่จะใช้ทดสอบต้องเตรียมในรูปของสารละลายเข้มข้นประมาณ 5% โดย