



บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติบางประการของน้ำยางชั้น

เป็นที่ทราบกันดีว่าน้ำยางธรรมชาตินั้นมีองค์ประกอบอื่น ๆ นอกเหนือจากเนื้อยางปะปนอยู่ด้วย และการนำน้ำยางธรรมชาติมาผลิตเป็นน้ำยางชั้น จะต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิดลงไปเพื่อรักษาสภาพน้ำยาง ได้แก่ แอมโมเนีย, TMTD, ZnO เป็นต้น ซึ่งสารเคมีต่าง ๆ เหล่านี้จะมีผลต่อคุณภาพยางเมื่อนำน้ำยางชั้นไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ก่อนที่จะนำตัวอย่างน้ำยางชั้นมาศึกษา จึงได้นำตัวอย่างน้ำยางชั้นดังกล่าวไปวิเคราะห์หาค่า และสมบัติต่าง ๆ เทียบกับค่าที่มีมาตรฐานอุตสาหกรรม (ISO 2004-1997 (E)) กำหนด ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 5.1

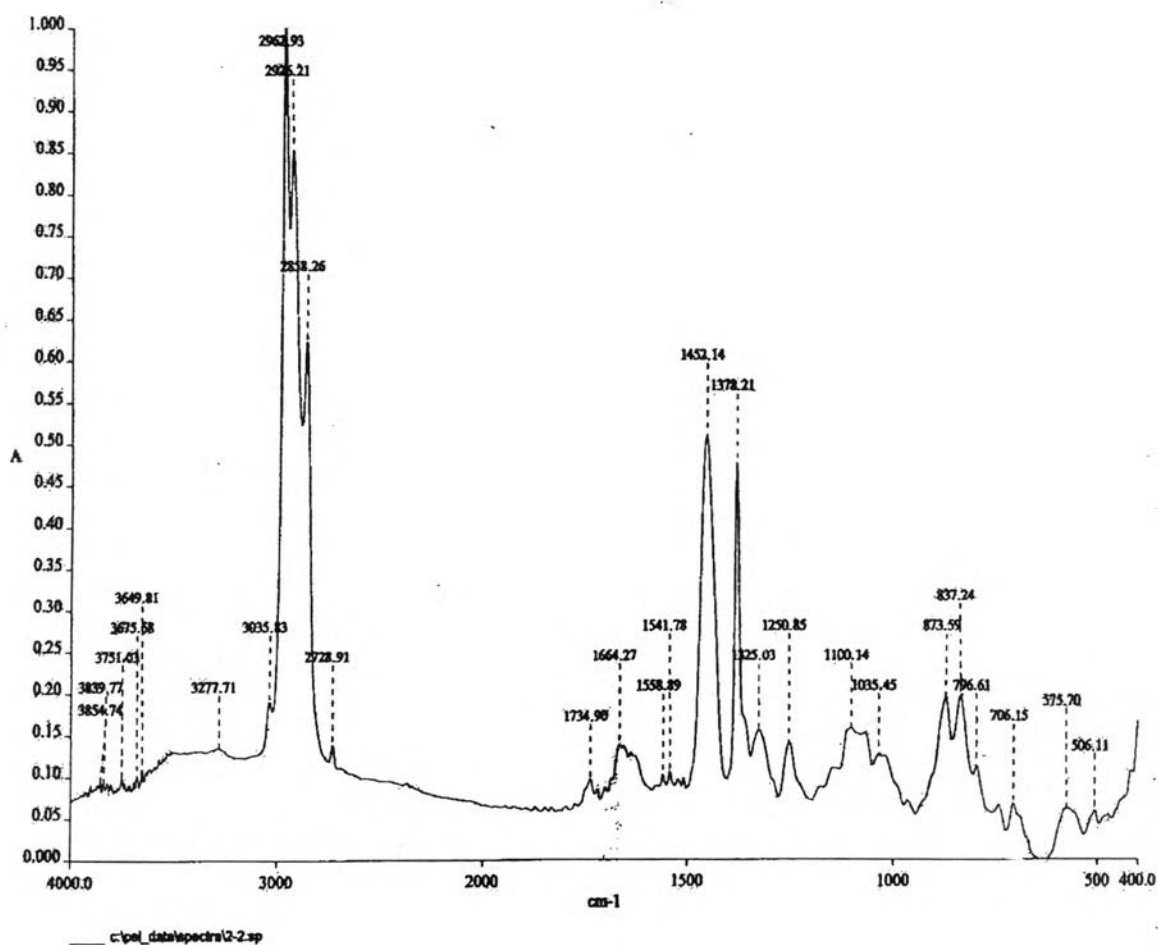
ตารางที่ 5.1 องค์ประกอบและสมบัติบางประการของน้ำยางชั้นก่อนนำมาทำยางธรรมชาติอิพอกไซค์

สมบัติ	ตัวอย่างน้ำยางชั้น แอมโมเนียสูง	มาตรฐาน ISO 2004-1997(E)
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TSC), ต่อน้ำหนักยาง, %	61.67	ไม่น้อยกว่า 61.5
ปริมาณเนื้อยางแห้ง (DRC), ต่อน้ำหนักยาง, %	59.78	ไม่น้อยกว่า 60.0
ปริมาณส่วนที่ไม่ใช่ยาง (NRC), ต่อน้ำหนักยาง, %	1.87	ไม่เกิน 2.0
ปริมาณความเป็นด่าง (NH ₃), ต่อน้ำหนักยาง, %	0.62	ไม่น้อยกว่า 0.60
ปริมาณความเป็นด่าง (NH ₃), ต่อน้ำหนักน้ำ, %	1.56	ไม่น้อยกว่า 1.60
ความคงตัวของน้ำยางต่อเครื่องมือกล (MST), (วินาที)	1029	ไม่น้อยกว่า 650
จำนวนกรดไขมันระเหยได้ (VFA number)	0.052	ไม่เกิน 0.20
จำนวนโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH number)	0.738	ไม่เกิน 1.0
ค่า pH	10.40	10-12

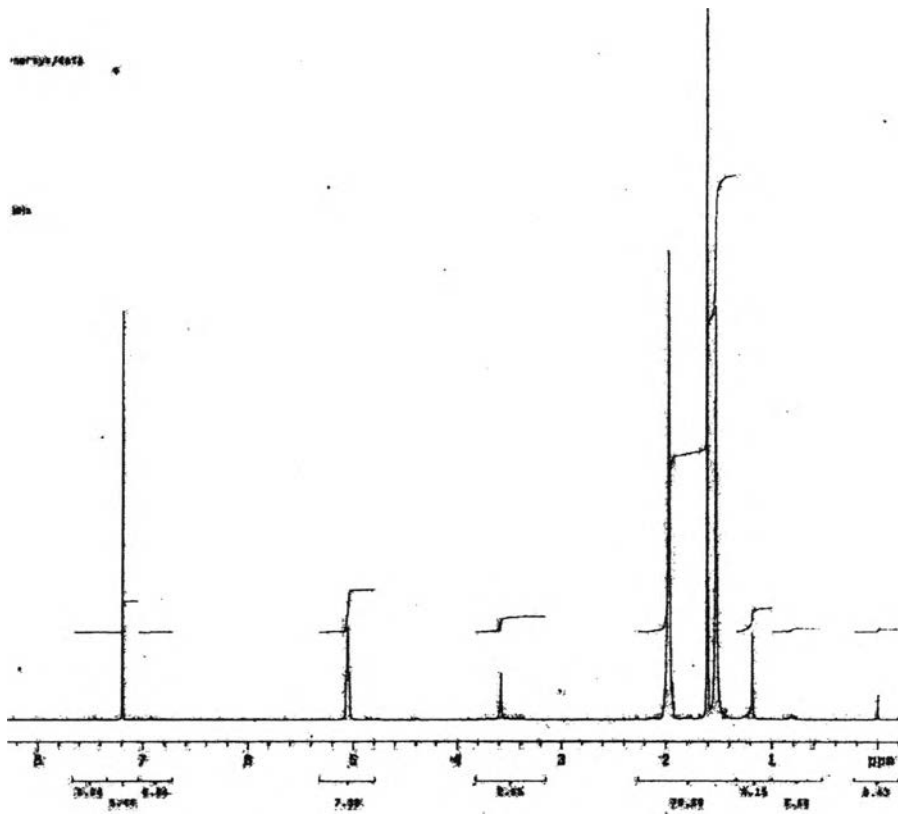
5.2 ยางธรรมชาติอีพอกไซด์ (Epoxidised natural rubber)

5.2.1 การศึกษาปริมาณสารเคมีที่มีผลต่อการเกิดยางธรรมชาติอีพอกไซด์

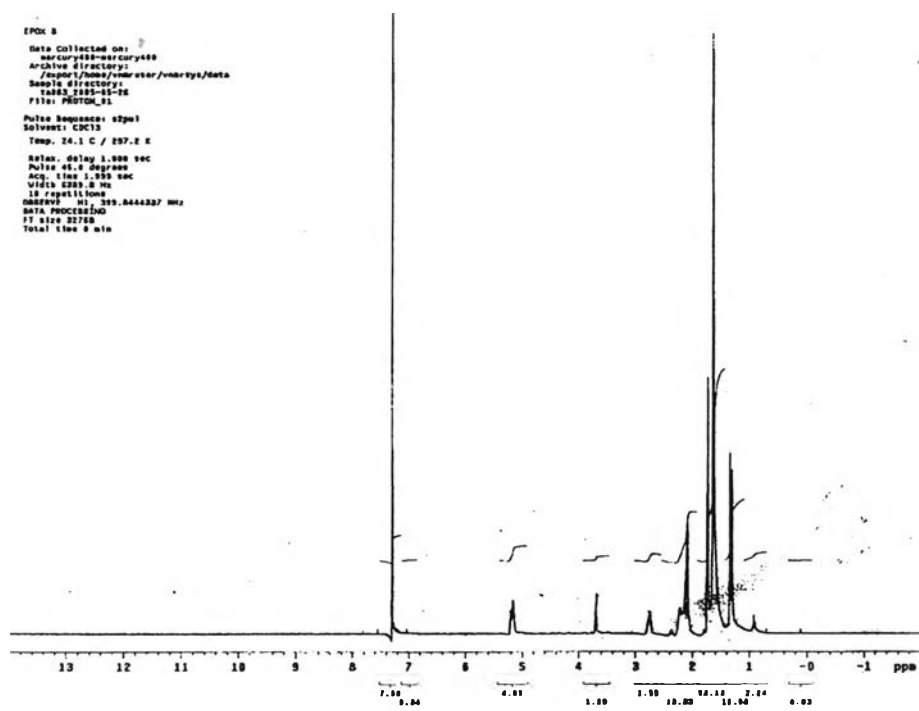
จากการทดลองในหัวข้อ 4.1 ทำการเก็บตัวอย่างน้ำยางที่เวลาของการทำปฏิกิริยาที่เวลาผ่านไป 2,4,6,8,10,12,14,16, และ 20 ชั่วโมง ตามลำดับ นำน้ำยางมาจับตัวด้วยเมทานอล ล้างให้สะอาดอบแห้ง แล้ววิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่ได้ ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ได้สเปกตรัมอินฟราเรดของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ แสดงตัวอย่าง ในกรณีสารเคมีในชุดที่ 1 (ตารางที่ 4.1) ที่ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 8 ชั่วโมง ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ที่เวลา 8 ชั่วโมง



รูปที่ 5.2 สเปกตรัม $^1\text{H-NMR}$ ของยางธรรมชาติ



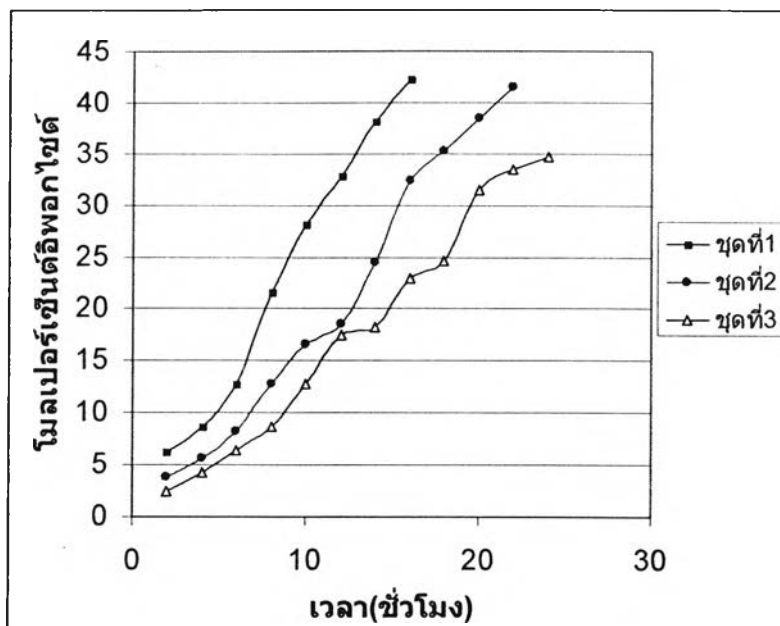
รูปที่ 5.3 สเปกตรัม $^1\text{H-NMR}$ ของยางธรรมชาติอิพอกซีไคส์ที่เวลา 8 ชั่วโมง

จากรูปที่ 5.1 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของยางธรรมชาติอีพอกซีไดส์ พบว่ามีตำแหน่งของแถบการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของหมู่เอพอกไซด์ ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 870 cm^{-1} ไม่พบแถบการดูดกลืนแสงของหมู่คาร์บอนิล และไฮดร็อกซิล ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาการเปิดวงแหวนอีพอกไซด์ ดังนั้น โมเลกุลยางธรรมชาติจะเกิดปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันกับกรดเพอร์ฟอร์มิก หลังจากนั้นคำนวณหา ค่า Absorbance ratio ของพีคที่ตำแหน่งเลขคลื่น 870 cm^{-1} (แสดงถึงการมีหมู่เอพอกไซด์) กับ 835 cm^{-1} (แสดงถึง =C-H ของ cis-1,4 cis-1-4-polyisoprene) แล้วคำนวณหาปริมาณหมู่เอพอกไซด์ โดยใช้กราฟมาตรฐานของ Daveu and Loadman(1984) จากรูปที่ 2.10 จากรูปที่ 5.2 พบ Spectrum $^1\text{H-NMR}$ ของยางธรรมชาติและยางธรรมชาติอีพอกไซด์ปรากฏพีคที่ตำแหน่ง 1.2 ppm และ 1.6 ppm เป็นของ methyl protons , พีคที่ 2.1 ppm เป็นของ methylene protons , และพีคที่ 5.1 ppm เป็นของ unsaturated methylene protons จากรูปที่ 5.3 เมื่อเกิดปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน พีคที่ 2.7 ppm เป็นของ methine protons จะเพิ่มขึ้นมาซึ่งมีเฉพาะในยางธรรมชาติอีพอกไซด์ เมื่อพิจารณาจากสูตรโครงสร้างที่ตำแหน่ง methylene protons(พีคที่ 5.1 ppm) จะเปลี่ยนเป็น methine protons (พีคที่ 2.7 ppm) เมื่อยางอีพอกซีไดส์ โดยถ้าเกิดเปลี่ยนเป็นหมู่เอพอกซีไดส์ มาก สัญญาณที่ 2.7 ppm ก็จะสูงขึ้น ดังนั้นสามารถหาปริมาณหมู่เอพอกไซด์ ได้โดยใช้อัตราส่วนความเข้มของสัญญาณที่ 2.7 ppm กับที่ 5.1 ppm ได้ใช้สูตร

$$X_{\text{epoxy}} = \frac{I_{2.7}}{(I_{2.7} + I_{5.1})} \times 100$$

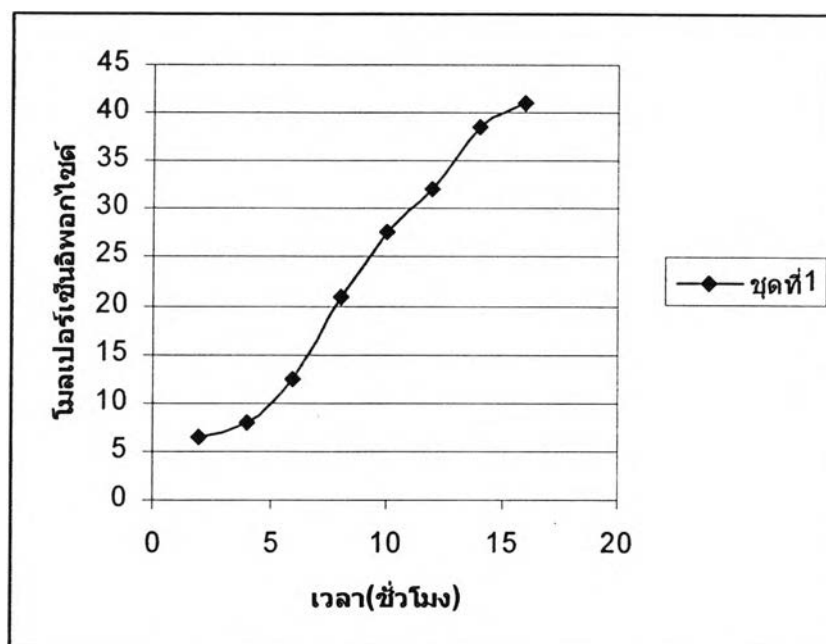
และเมื่อเปรียบเทียบกับการคำนวณหาปริมาณหมู่เอพอกไซด์โดยใช้ FT-IRวิเคราะห์ได้ผลปริมาณหมู่เอพอกไซด์ประมาณใกล้เคียงกันกับใช้ $^1\text{H-NMR}$ ในการวิเคราะห์

ผลที่ได้ใช้จากการวิเคราะห์ด้วยFT-IR ดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 โมลเปอร์เซ็นต์ของหมู่อิมพอกไซด์ของการใช้สารเคมีชุดที่ 1-3 (ตาราง 4.1) ที่ระยะเวลาของการทำปฏิกิริยา 1-25 ชั่วโมง

ผลที่ได้ใช้จากการวิเคราะห์ด้วย $^1\text{H-NMR}$ ดังรูปที่ 5.5

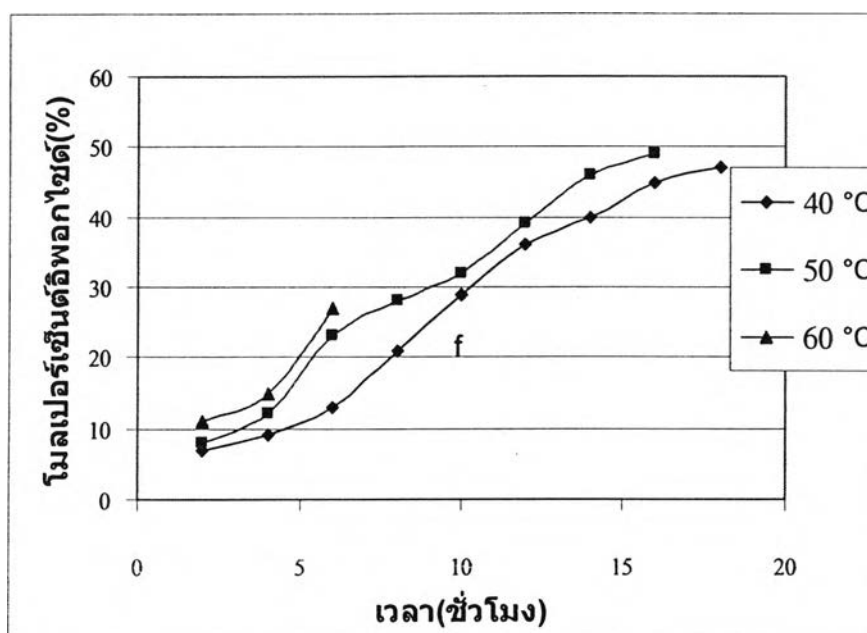


รูปที่ 5.5 โมลเปอร์เซ็นต์ของหมู่อิมพอกไซด์ของการใช้สารเคมีชุดที่ 1 (ตาราง 4.1) ที่ระยะเวลาของการทำปฏิกิริยา 1-16 ชั่วโมง

ผลการใช้สารเคมีชุดที่ 1-3 (ตารางที่ 4.1) ต่อปริมาณของหมู่อีพอกไซด์ แสดงดังรูปที่ 5.4 พบว่าที่อุณหภูมิของการทำปฏิกิริยา 30°C สารเคมีชุดที่ 1 มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงที่สุด และที่เวลาของการทำปฏิกิริยาเดียวกัน การใช้สารเคมีชุดที่ 1 จะเกิดวงแหวนอีพอกไซด์บนโมเลกุลยางธรรมชาติในปริมาณสูงที่สุดทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณส่วนประกอบของการทำปฏิกิริยา คือ ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ และกรดฟอร์มิคสูงที่สุด ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกใช้สารเคมีในชุดที่ 1 ในการเตรียมยางธรรมชาติอีพอกไซด์ในการทดลองขั้นตอนต่อไป และเมื่อเปรียบเทียบการวิเคราะห์ด้วย FT-IR รูปที่ 5.4 และ ¹H-NMR รูปที่ 5.5 ที่สารเคมีในชุดที่ 1 จะพบว่าปริมาณของหมู่อีพอกไซด์ที่เกิดขึ้นที่ระยะเวลาเท่ากันจะมีความใกล้เคียงกัน

5.2.2 ผลการศึกษาสภาวะของปฏิกิริยา

จากการทดลองในหัวข้อที่ 4.5 พบว่าสารเคมีในชุดที่ 1 มีความเหมาะสมมากที่สุด เพราะใช้เวลาในการอีพอกซิเดชันน้อย และเกิดหมู่อีพอกไซด์ในปริมาณสูงที่สุด ดังนั้นจึงนำสารเคมีชุดที่ 1 มาทำการทดลองที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ ได้ผลการทดลองแสดงรูปที่ 5.5

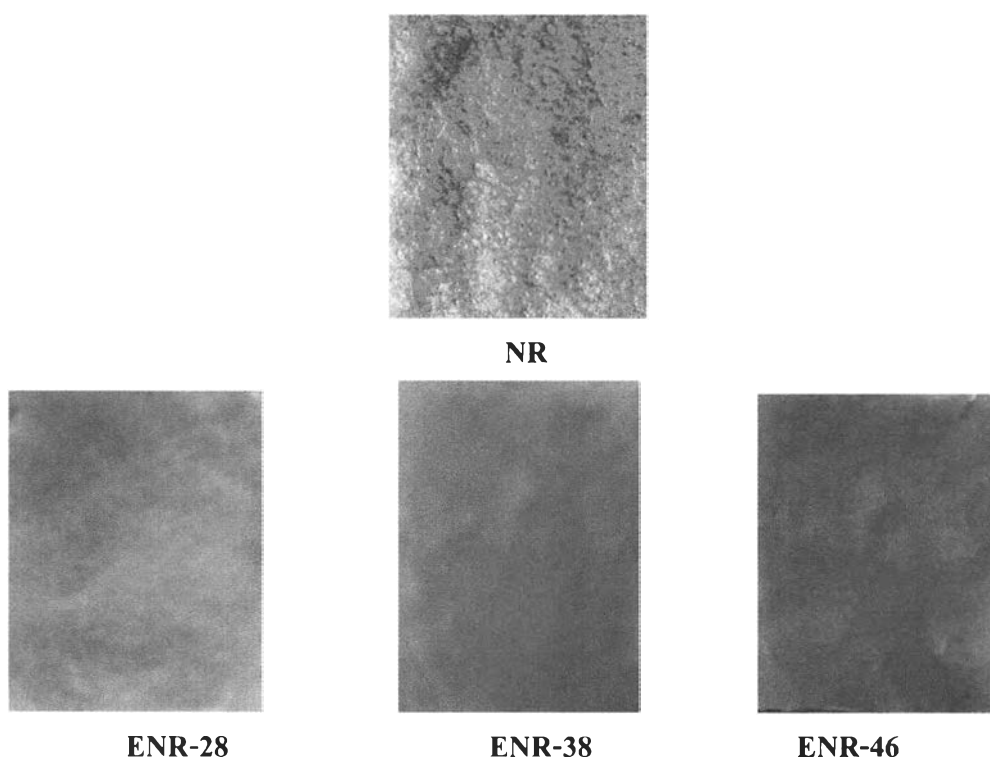


รูปที่ 5.6 โมลเปอร์เซ็นต์ของหมู่อีพอกไซด์ของการใช้สารเคมีชุดที่ 1 โดยการแปรเวลาและอุณหภูมิของการทำปฏิกิริยา

รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับปริมาณหมู่เอพอกไซด์บนโมเลกุลยางธรรมชาติ เมื่อใช้สารเคมีชุดที่ 1 พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของปฏิกิริยาทำให้น้ำยางเกิดการเสียดสภาพได้เร็วกว่า แต่มีแนวโน้มของอัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำปฏิกิริยา คือ 50°C เนื่องจากได้ยางธรรมชาติที่มีปริมาณหมู่เอพอกไซด์สูงกว่า อุณหภูมิ 40°C และยางเกิดการเสียดสภาพที่เวลาของการทำปฏิกิริยา ประมาณ 16 ชั่วโมง ซึ่งเป็นเวลาที่นานพอที่จะทำให้เกิดหมู่เอพอกไซด์บนโมเลกุลยางธรรมชาติในปริมาณสูงได้ ส่วนที่อุณหภูมิ 60°C ถึงแม้ได้ยางธรรมชาติที่มีปริมาณหมู่เอพอกไซด์สูงที่สุดในเวลาที่เท่ากัน แต่ยางจะเสียดสภาพหลังจากเวลา 6 ชั่วโมง ดังนั้นจึงเลือกใช้อุณหภูมิ 50°C เป็นสภาวะในการเตรียมยางธรรมชาติเอพอกไซด์ เพื่อนำไปใช้ในการทำพอลิเมอร์อีเล็กโทรไลต์ต่อไป

5.2.3 ผลการเตรียมยางธรรมชาติเอพอกไซด์ (Epoxidized Natural Rubber , ENR)

การเตรียมยางธรรมชาติเอพอกไซด์ เพื่อนำไปใช้ทำพอลิเมอร์อีเล็กโทรไลต์โดยจะเลือกโมลเปอร์เซ็นต์เอพอกไซด์ คือ ENR-28, ENR-38, และ ENR-46 ดังแสดงขึ้นตัวอย่างรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.7 ตัวอย่าง ของ NR, ENR-28, ENR-38, และ ENR-46

จากลักษณะขึ้นตัวอย่างที่เปรียบเทียบกันระหว่าง ของ NR, ENR-28, ENR-38, และ ENR-46

จะเห็นว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์โมลของไซตัสสูงขึ้นสีจะเข้มขึ้นและมีความเหนียวเพิ่มขึ้น

5.2.4 ผลการหาแอกติวิตีของเอนไซม์ Lipoxigenase

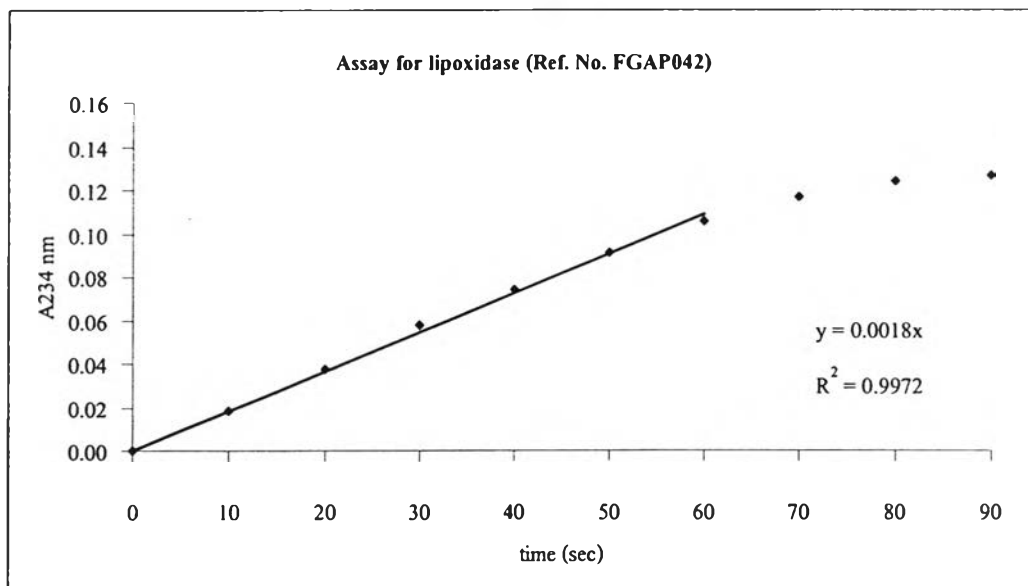
Assay for Lipoxidase

วัดแอกติวิตีเอนไซม์ที่ใช้ ได้เท่ากับ 129,600 หน่วยต่อมิลลิกรัมเอนไซม์

โดยคำนวณตามวิธี Ref. No. FGAP042

$$\text{จาก Activity (U/ml solution)} = \frac{\Delta A_{234}/\text{min} \times V_t \times \text{dilution}}{\epsilon \times V_s}$$

ข้อมูลที่ได้



รูปที่ 5.8 แสดงผลการหาแอกติวิตีของเอนไซม์ Lipoxigenase

ได้

$$\Delta A_{234}/\text{min} = 0.108 \text{ min}^{-1} \text{ (} 0.0018 \text{ sec}^{-1}\text{)}$$

$$V_t = \text{final volume of reaction mixture [3.0 ml]}$$

$$V_s = \text{sample volume [1.0 ml]}$$

$$\epsilon = 0.001$$

ดังนั้นจะได้ Activity (U/ml solution) = 648,000 U/ml

คำนวณเป็น unit/mg powder enzyme

$$\text{จะได้ Activity (U/mg powder)} = \frac{\text{U/ml solution}}{\text{mg enzyme/ml original solution}}$$

โดย mg enzyme/ml original solution = 5 mg/ml

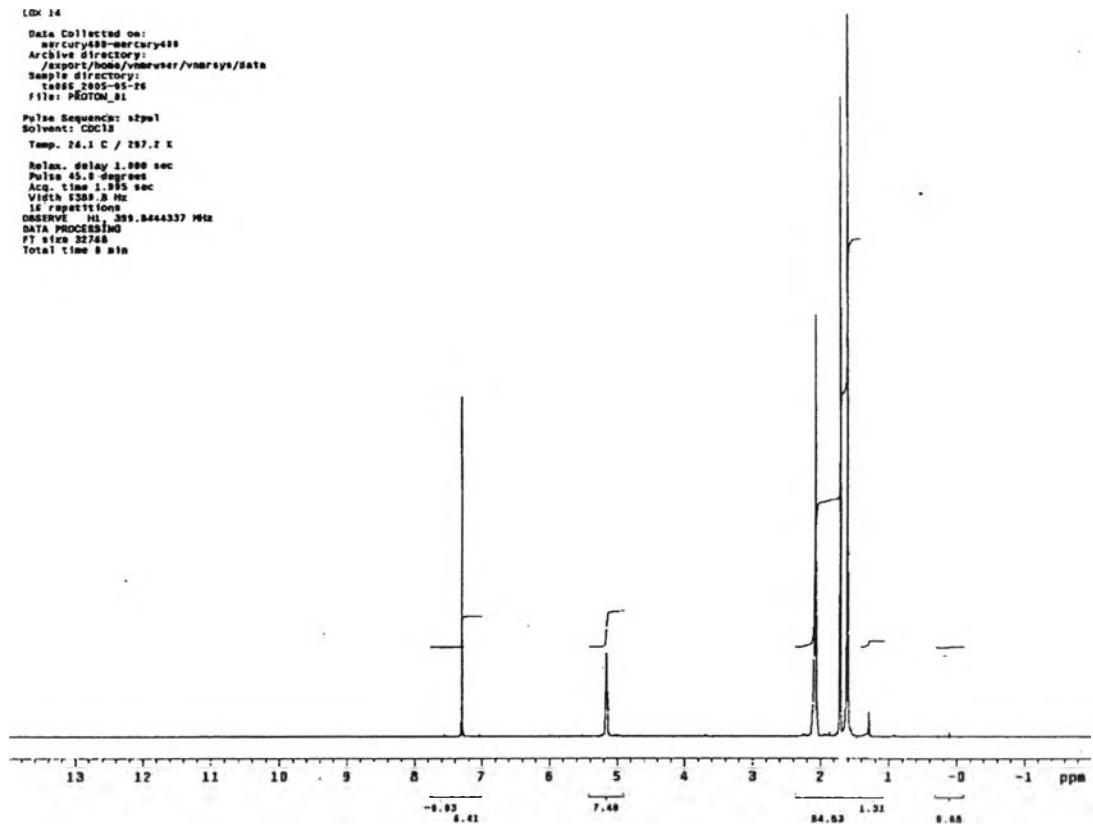
ดังนั้นจะได้ Activity (U/mg powder) = 129,600 U/mg

จากค่าแอกติวิตีของเอนไซม์ที่ใช้ เมื่อนำมาใช้ในการ treat ขางในการทดลอง จะมีปริมาณเอนไซม์ที่ใช้ในแต่ละการทดลองได้ดังตาราง

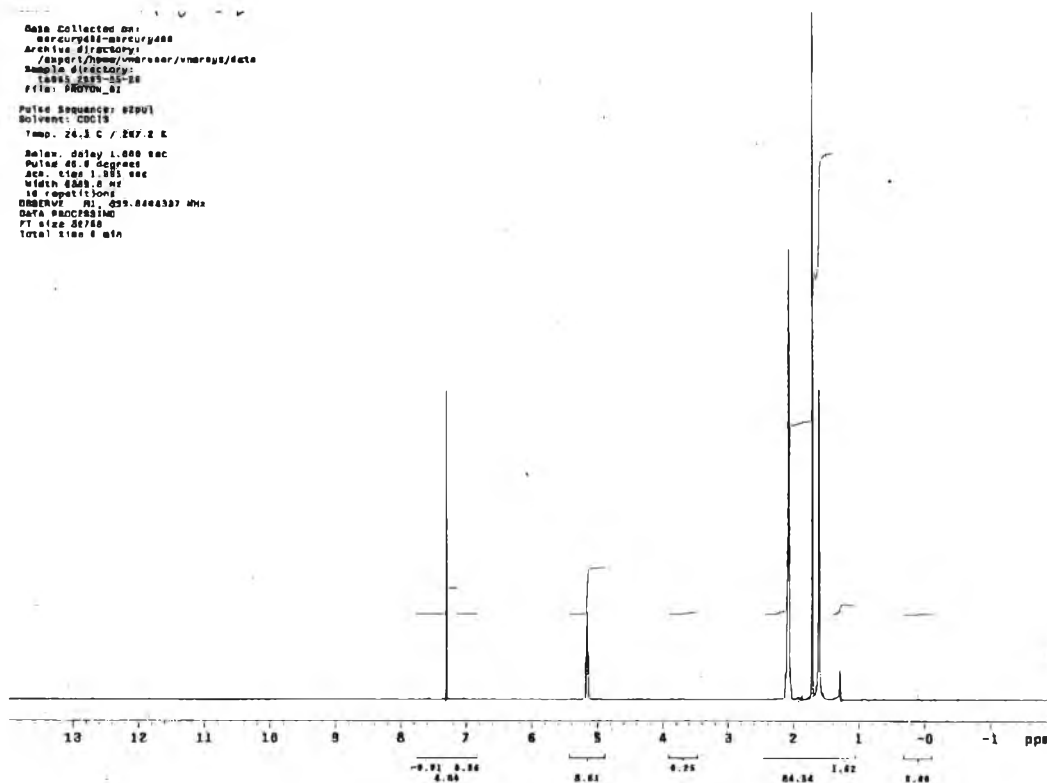
ตารางที่ 5.2 แสดงปริมาณเอนไซม์และแอกติวิตีของเอนไซม์ที่ใช้ในการ treat ขาง

ปริมาณเอนไซม์ที่ใช้ treat ขาง (มิลลิกรัม)	แอกติวิตีของเอนไซม์ (ยูนิตเอนไซม์)
5	655,000
10	1,310,000
15	1,965,000
20	2,620,000

5.1.5 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมขางธรรมชาติออกไซค์โดยใช้เอนไซม์

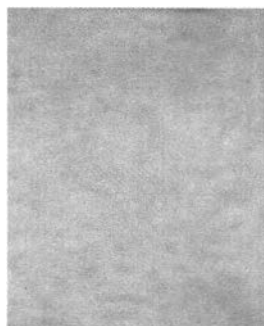


รูปที่ 5.9 ¹H-NMR สเปกตรัมของขางธรรมชาติที่บ่มด้วยเอนไซม์ Lipoxigenase ปริมาณ 20 มิลลิกรัม ที่เวลา 32 ชั่วโมงในสภาวะใช้ก๊าซออกซิเจน

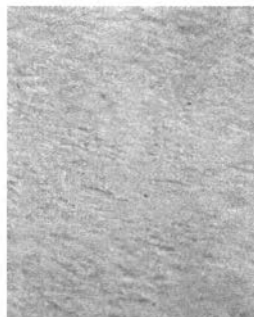


รูปที่ 5.10 $^1\text{H-NMR}$ สเปกตรัมของยาง ของยางธรรมชาติที่บ่มด้วยเอนไซม์ Lipoxygenase ปริมาณ 20 มิลลิกรัม ที่เวลา 32 ชั่วโมงในสภาวะไม่ใช้ก๊าซออกซิเจน

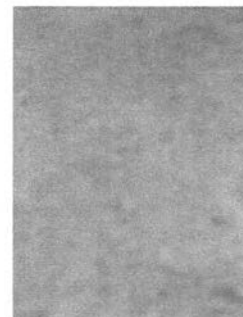
จากผลการทดลองทุกชุดการทดลองของสภาวะที่กำหนดจากการทดลอง พบว่าไม่มีสัญญาณพีคที่ตำแหน่ง 2.7 ppm (จากรูปที่ 5.9 และ 5.10) ปรากฏขึ้นมานั้นแสดงว่าการใช้เอนไซม์ Lipoxygenase เพื่อทำปฏิกิริยาออกซิเดชันของยางธรรมชาติไม่สามารถทำได้ ลักษณะของชิ้นตัวอย่างที่ treat ด้วยเอนไซม์ Lipoxygenase ปริมาณ ต่างๆ แสดงดังรูปที่ 5.11



LOX-10



LOX-15

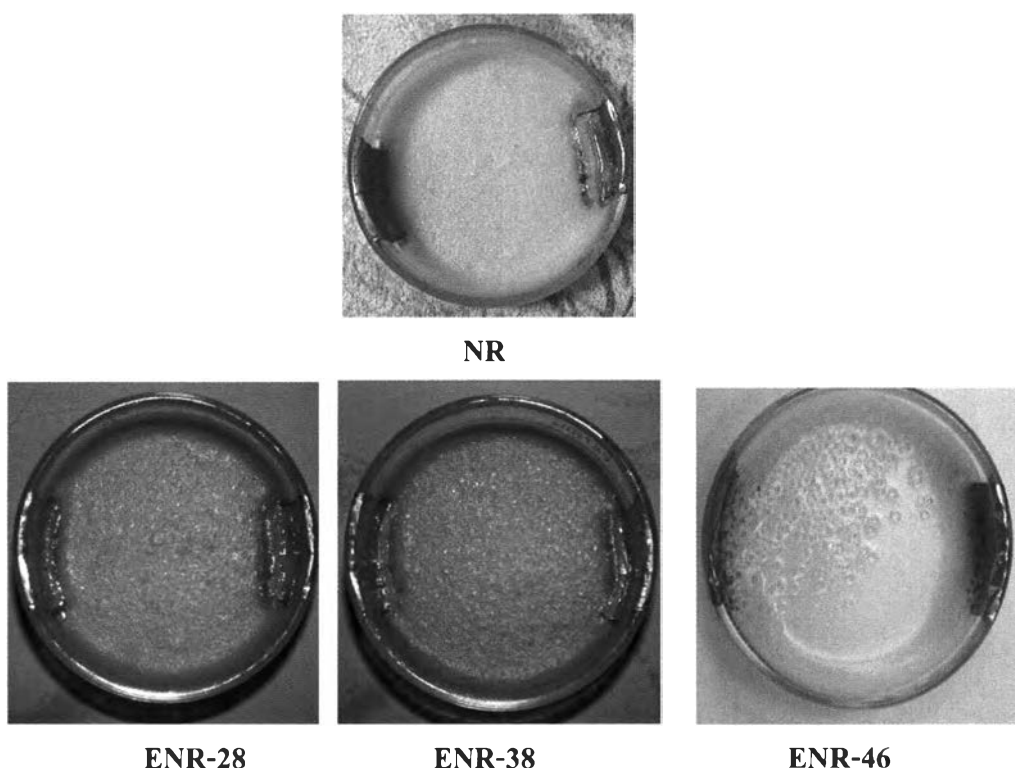


LOX-20

รูปที่ 5.11 แสดงตัวอย่าง ของยางธรรมชาติที่ treat ด้วยเอนไซม์ Lipoxygenase ปริมาณ 10,15, และ 20 มิลลิกรัมตามลำดับ

5.3 การทำพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์

การเตรียมพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์จากยางธรรมชาติอีพอกไซด์ จะมีการเติม plasticizer ไปด้วย ซึ่งในที่นี้คือ ethylene carbonate (EC) และ propylene carbonate (PC) เนื่องจากในงานวิจัยตีพิมพ์ที่ผ่านมา การเติม plasticizer จะช่วยให้ค่าการนำไฟฟ้าดีขึ้น โดยในที่นี้จะใช้อัตราส่วนของยางธรรมชาติอีพอกไซด์ต่อ plasticizer เป็น 1 ต่อ 1 จากการทดลองนำยาง ENR ปริมาณโมลเปอร์เซ็นต์อีพอกไซด์ 28, 38 และ 46 มาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ละลายด้วย คลอโรฟอร์ม คนด้วยแท่งแม่เหล็กเป็นเวลา 5 วัน สารละลายที่ได้จะมีลักษณะเป็นของเหลวโปร่งแสงที่หนืด จากนั้นนำมาเติมสารละลายเกลือลิเทียมซึ่งได้จาก นำเกลือลิเทียม ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ผสมด้วย ethylene carbonate (EC) และ propylene carbonate (PC) แล้วละลายให้เข้ากันด้วยคลอโรฟอร์ม นำมาผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน คนด้วยแท่งแม่เหล็กเป็นเวลา 2 วัน ได้สารละลายโปร่งแสงเนื้อเดียวที่หนืด นำไปขึ้นรูปให้เป็นแผ่นฟิล์มที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร ใน petri dish ที่มีแผ่นทองแดงเป็นอิเล็กโทรดประกอบทั้ง 2 ข้าง แล้วนำไปประเหยตัวทำละลายในตู้อบสูญญากาศ ตัวอย่างที่ได้จะเป็นแผ่นฟิล์มมีความเสถียร เหนียว ฟิล์มตัวอย่างที่อยู่ในรูปพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ที่นำมาทดลองประกอบด้วย ENR-28, ENR-38, และ ENR-46



รูปที่ 5.12 ภาพฟิล์มตัวอย่าง ของ NR, ENR-28, ENR-38, และ ENR-46 ที่เปอร์เซ็นต์เกลือ lithium 30 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 5.11 ลักษณะของฟิล์มตัวอย่างจะมีลักษณะแตกต่างกันเล็กน้อยโดยแผ่นฟิล์มของ ENR-28 และ ENR-38 จะมีลักษณะค่อนข้างใสและดูเป็นเนื้อเดียวกัน ส่วน ENR-46 ลักษณะแผ่นฟิล์มค่อนข้างขุ่นและมีความพรุนดูลักษณะเนื้อไม่สม่ำเสมอ นำตัวอย่างแผ่นฟิล์มที่เตรียมได้ไปวัดค่าการนำไฟฟ้า อุณหภูมิคล้ายแก้วและจุดหลอมเหลว ซึ่งผลการทดลองจะแสดงในตารางที่ 5.3-5.5 ซึ่งแสดงถึงองค์ประกอบต่างๆ และผลการทดลองในการศึกษาการนำไฟฟ้า อุณหภูมิคล้ายแก้วและจุดหลอมเหลวโดยค่า T_g และ T_m จะเลือกวัดตัวอย่างที่มีเปอร์เซ็นต์ Lithium ที่ 10, 30, และ 50 ตามลำดับเพื่อดูแนวโน้ม

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าการนำไฟฟ้า อุณหภูมิคล้ายแก้วและจุดหลอมเหลวของ ENR-28 และ NR

ตัวอย่าง	ENR/EC+PC/Li	ค่าการนำไฟฟ้า ($S\ cm^{-1}$)	อุณหภูมิคล้ายแก้ว T_g ($^{\circ}C$)	จุดหลอมเหลว T_m ($^{\circ}C$)
NR	100/-/-	N/A	-63.99	68.59
NR	100/100/20	6.2×10^{-7}	-	-
ENR-28	100/-/-	N/A	-	-
ENR-28	100/100/5	2.2×10^{-6}	-	-
ENR-28	100/100/10	6.2×10^{-6}	-35.87	67.51
ENR-28	100/100/20	1.8×10^{-5}	-	-
ENR-28	100/100/30	5.2×10^{-5}	-34.16	64.33
ENR-28	100/100/50	5.4×10^{-5}	-33.89	65.15

ตารางที่ 5.4 แสดงค่าการนำไฟฟ้า อุณหภูมิคล้ายแก้วและจุดหลอมเหลวของ ENR-32

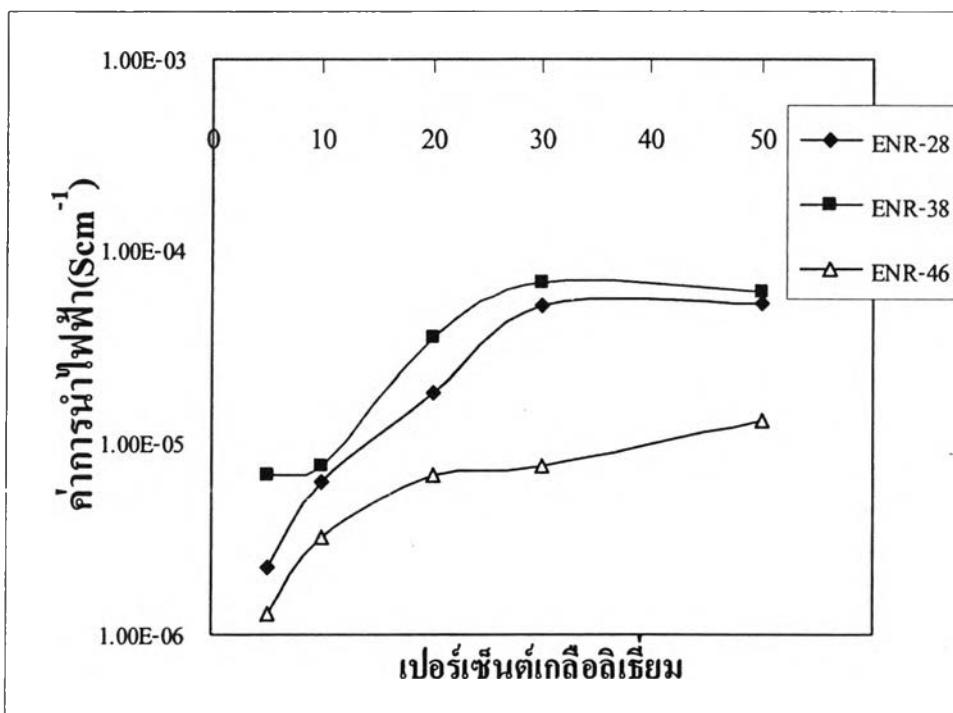
ตัวอย่าง	ENR/EC+PC/Li	ค่าการนำไฟฟ้า ($S\ cm^{-1}$)	อุณหภูมิคล้ายแก้ว T_g ($^{\circ}C$)	จุดหลอมเหลว T_m ($^{\circ}C$)
ENR-38	100/-/-	N/A	-	-
ENR-38	100/100/5	6.8×10^{-6}	-	-
ENR-38	100/100/10	7.5×10^{-6}	-34.95	69.92
ENR-38	100/100/20	3.5×10^{-5}	-	-
ENR-38	100/100/30	6.9×10^{-5}	-30.68	66.45
ENR-38	100/100/50	6.2×10^{-5}	-30.77	66.27

ตารางที่ 5.5 แสดงค่าการนำไฟฟ้า อุณหภูมิคล้ายแก้วและจุดหลอมเหลวของ ENR-46

ตัวอย่าง	ENR/EC+PC/Li	ค่าการนำไฟฟ้า ($S\ cm^{-1}$)	อุณหภูมิคล้ายแก้ว T_g ($^{\circ}C$)	จุดหลอมเหลว T_m ($^{\circ}C$)
ENR-46	100/-/-	N/A	-	-
ENR-46	100/100/5	1.3×10^{-6}	-	-
ENR-46	100/100/10	3.2×10^{-6}	-28.88	68.27
ENR-46	100/100/20	6.7×10^{-6}	-	-
ENR-46	100/100/30	7.5×10^{-6}	-28.72	68.59
ENR-46	100/100/50	1.3×10^{-5}	-26.17	65.43

หมายเหตุ เครื่องหมาย (-) ในตารางที่ 5.3-5.5 หมายถึงไม่ได้นำตัวอย่างไปวิเคราะห์

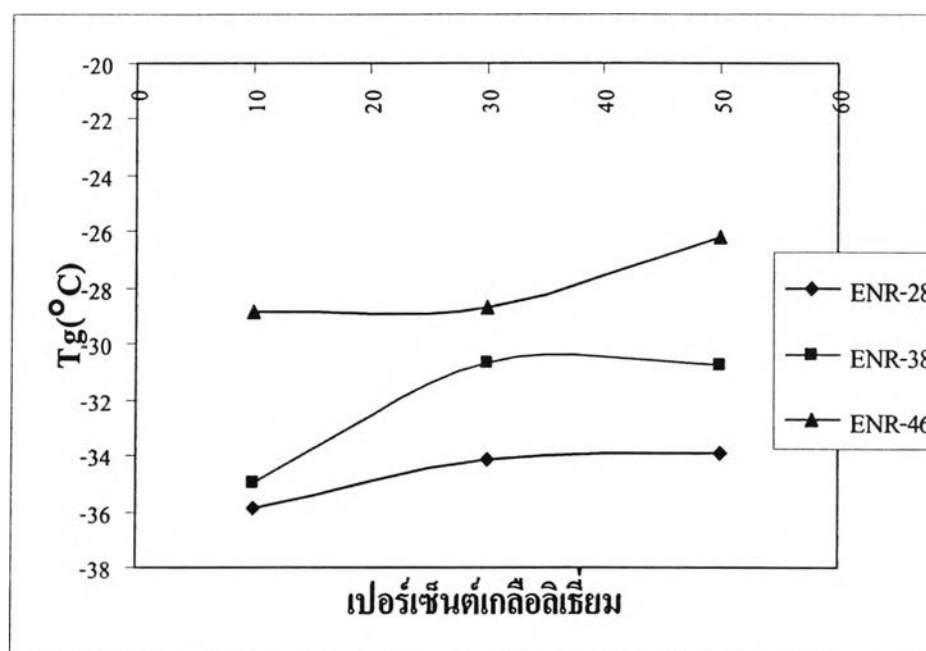
จากตารางที่ 5.3-5.5 เมื่อนำค่าการนำไฟฟ้าของ ENR-28, ENR-38, และ ENR-46 มาเขียนกราฟเปรียบเทียบกันจะได้ผลดังรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.13 ค่าการนำไฟฟ้าเปรียบเทียบระหว่าง ENR-28, ENR-38, และ ENR-46

เมื่อนำไปศึกษาค่าการนำไฟฟ้าของยาง ENR-28, ENR-38, และ ENR-46 พบว่า ค่าการนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อเปอร์เซ็นต์เกลือลิเธียมเพิ่ม แต่เมื่อเพิ่มเกลือลิเธียมมากกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ ค่าการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบค่าการนำไฟฟ้าของยางธรรมชาติอีพอกไซค์ทั้ง 3 ชนิด ยาง ENR-38 จะให้ค่าการนำไฟฟ้ามากที่สุดเมื่อเทียบกับ ยาง ENR-28 และ ENR-46 อาจเป็นเนื่องมาจากเมื่อเพิ่มปริมาณหมู่อีพอกไซค์จะทำให้โมเลกุลของยางธรรมชาติอีพอกไซค์มีออกซิเจนที่สามารถเกิดพันธะโคออดิเนชันกับไอออนลิเธียมได้เพิ่มขึ้น การนำไฟฟ้าจะมากขึ้น แต่เมื่อปริมาณหมู่อีพอกไซค์มากเกินไปออกซิเจนของหมู่อีพอกไซค์อาจจะไปจับกับลิเธียมไอออนมากเกินไปทำให้ขัดขวางการเคลื่อนที่ของไอออน โดยในกรณี ENR-38 ค่าการนำไฟฟ้าที่เปอร์เซ็นต์เกลือลิเธียมสูงสุดคือ 30% ได้ค่า $6.9 \times 10^{-5} \text{ Scm}^{-1}$

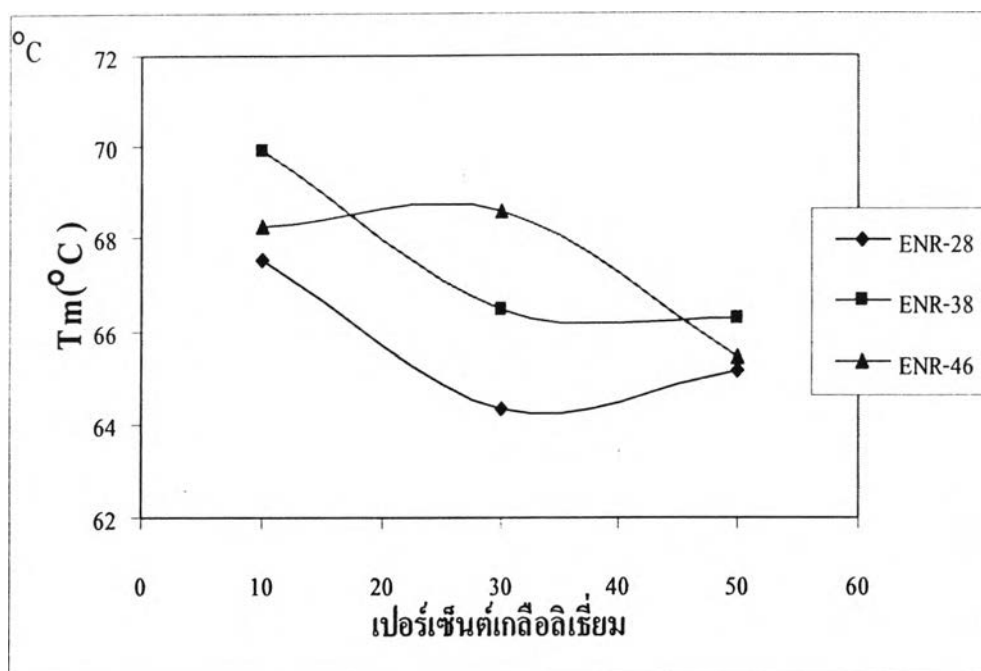
จากตารางที่ 5.3-5.5 เมื่อนำค่าอุณหภูมิคล้ายแก้ว (T_g) ของ ENR-28, ENR-38, และ ENR-46 มาเขียนกราฟเปรียบเทียบกันจะได้ผลดังรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.14 อุณหภูมิคล้ายแก้ว T_g (°C)เปรียบเทียบระหว่าง ENR-28, ENR-38, และ ENR-46

หมายเหตุ รูปที่ 5.13 และ 5.14 เปอร์เซ็นต์เกลือลิเธียมจะอยู่บนแกน X ด้านบนเพราะค่าการนำไฟฟ้า และค่าอุณหภูมิคล้ายแก้ว (T_g) มีค่าติดลบ ตามลำดับ

จากตารางที่ 5.3-5.5 เมื่อนำค่าจุดหลอมเหลว (T_m) ของ ENR-28, ENR-38, และ ENR-46 มาเขียนกราฟเปรียบเทียบกันจะได้ผลดังรูปที่ 5.15



รูปที่ 5.15 จุดหลอมเหลว T_m (°C) เปรียบเทียบระหว่าง ENR-28, ENR-38, และ ENR-46

การที่มีเฟสมากกว่าหนึ่งเฟสในพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ ข่อมทำให้สมบัติเปลี่ยนจากเดิม ดังนั้นจึงได้มีการการศึกษาสมบัติเชิงความร้อน ในที่นี้จะศึกษา อุณหภูมิกลายแก้ว (T_g) และจุดหลอมเหลว (T_m) โดยจะศึกษาตัวอย่างยางธรรมชาติพอกไซค์ทั้ง 3 ชนิด ที่เปอร์เซ็นต์กลีโกลีเอียม 10, 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองจะเห็นว่า ค่า T_g จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปอร์เซ็นต์ของกลีโกลีเอียมเพิ่ม ซึ่งสิ่งนี้บ่งบอกว่าเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างยางธรรมชาติพอกไซค์กับกลีโกลีเอียม ส่วนในการศึกษาจุดหลอมเหลว เมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของกลีโกลีเอียม จุดหลอมเหลวมีแนวโน้มจะลดลงเล็กน้อยแสดงว่าพอลิเมอร์อิเล็กโตรไลต์ยังคงสมบัติของยางธรรมชาติอยู่