

## การสังเคราะห์น้ำมันถั่วเหลือง

พิมพ์ชนก ไสไทย<sup>1</sup> สุนันท์ จรเจนเกียรติ<sup>2</sup> รัชนิดา ชินผา<sup>3</sup> และ วราภรณ์ ตันรัตนกุล<sup>4\*</sup>

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา 90112

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการสังเคราะห์น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ โดยทำปฏิกิริยาอีพ็อกซิเดชันบนพื้นระคู่ของน้ำมันถั่วเหลืองด้วยกรดแอซิดิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวแปรในการสังเคราะห์น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ ได้แก่ ปริมาณกรดแอซิดิก ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยา วิเคราะห์ปริมาณอีพ็อกซิเดชันด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี และขึ้นรูปน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ด้วยการผสมสารเชื่อมโยงโมเลกุลชนิดแอนไฮไดรด์และตัวเร่งปฏิกิริยา นำไปอบภายใต้สภาวะที่กำหนดเพื่อทดสอบสมบัติด้านแรงดึง น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ที่สังเคราะห์ได้ต้องมีหมู่อีพ็อกไซด์  $\geq 25\%$  จึงจะสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นพลาสติกได้ เปรียบเทียบสมบัติการทนต่อแรงดึงของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ที่มีปริมาณอีพ็อกไซด์ 25 - 35% ผลการทดลองพบว่าปริมาณอีพ็อกไซด์และปริมาณสารเชื่อมโยงมีความสัมพันธ์กันอย่างเห็นได้ชัด สูตรที่ดีที่สุด คือ สูตรที่มีปริมาณอีพ็อกไซด์ 31% และ MTHPA 70 phr ทำการอบเป็นเวลา 90 นาที ได้ค่ามอดุลัส 3.44 MPA ความเค้น ณ จุดขาด 3.01 MPA และความเครียด ณ จุดขาด 58%

**คำสำคัญ :** อีพ็อกซิเดชัน / น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิเดชัน / วัตถุดิบที่ทดแทนใหม่ได้ / พลาสติกชีวภาพ

<sup>1</sup> นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์

<sup>2</sup> นักศึกษาปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์

<sup>3</sup> อาจารย์ สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์

<sup>4</sup> รองศาสตราจารย์ สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์

\* ผู้รับผิดชอบบทความ

## Preparation of Epoxidized Soybean Oil

Pimchanok Saithai <sup>1</sup>, Sunan Jonjanekieat <sup>2</sup>, Watchanida Chinpa <sup>3</sup>,  
and Varaporn Tanrattanakul <sup>4\*</sup>

Prince of Songkla University, Hadyai, Songkla 90112

### Abstract

Epoxidized soybean oil (ESO) was prepared by in situ epoxidation, using acetic acid and hydrogen peroxide. Sulfuric acid was used as a catalyst. Experimental parameters included acetic acid content, hydrogen peroxide content, catalyst content, reaction temperature and reaction time. Epoxide content was investigated by using nuclear magnetic resonance spectroscopy. Tensile specimens were prepared by mixing with anhydride curing agent (MTHPA) and catalyst, and cured under controlled condition. It is found that ESO containing  $\geq 25\%$  was able to prepare a plastic sheet. ESO containing 25 - 35% of epoxide content was selected to compare tensile properties. Epoxide content in ESO and curing agent content were strongly related each other. The best formulation was obtained from ESO containing 31% and MTHPA 70 phr cured for 1 hour and 30 min. Its modulus, stress at break and strain at break were 3.44 MPA, 3.01 MPA, and 58% respectively.

**Keywords :** Epoxidation / Epoxidized Soybean Oil / Renewable Resource / Bioplastic

---

<sup>1</sup> Master Degree Student, Polymer Science and Technology Program, Faculty of Science.

<sup>2</sup> Bachelor Degree Student, Polymer Science Program, Faculty of Science.

<sup>3</sup> Lecturer, Polymer Science Program, Faculty of Science.

<sup>4</sup> Associate Professor, Polymer Science Program, Faculty of Science.

\* Corresponding author

## 1. บทนำ

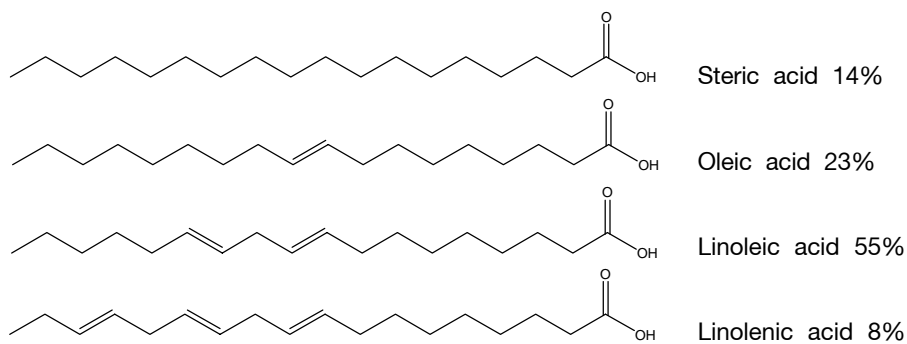
น้ำมันถั่วเหลืองเป็นหนึ่งในวัสดุที่ได้จากธรรมชาติ และเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่มีมากในประเทศไทย ซึ่งมีราคาไม่แพงและหาได้ง่ายในทางการค้าเมื่อเทียบกับน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมหลายอย่าง เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมการผลิตสารเคลือบผิว (สี วาร์นิช และแล็กเกอร์) อุตสาหกรรมสารหล่อลื่น น้ำมันถั่วเหลืองเป็นไตรกลีเซอไรด์ชนิดหนึ่ง มีโครงสร้างทางเคมีที่เอื้อต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเนื่องจากมีพันธะคู่ที่ว่องไวบนสายโซ่ หากตัดแปรโดยผ่านกระบวนการอีพอกซิเดชันจะได้เป็นน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดซ์ (epoxidized soybean oil, ESO) และสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ถ้าหากมีการเชื่อมโยงโครงสร้างเป็นตาข่ายสามมิติ แต่ยังมีข้อด้อยด้านความแข็งแรง อาจจะต้องมีการปรับปรุงสมบัติโดยการผสมกับอีพอกซีเรซินหรือการทำโคพอลิเมอร์ไรเซชันกับสไตรีน และรวมไปถึงการทำเป็นวัสดุคอมโพสิทก็เป็นอีกทางหนึ่งซึ่งช่วยปรับปรุงสมบัติด้านความแข็งแรง ความยืดหยุ่น และทนทานต่อการใช้งานมากขึ้น การผลิต ESO สามารถประยุกต์ใช้งานทางด้านอุตสาหกรรมพอลิเมอร์ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับน้ำมันถั่วเหลือง ทำให้เกษตรกรผู้ผลิตมีรายได้เพิ่มขึ้น ในขณะที่ได้มีการผลิต ESO

ในต่างประเทศเพื่อใช้ในทางการค้าแต่ยังไม่มีการผลิตและยังไม่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในประเทศไทย อีกทั้งยังเป็นการสร้างองค์ความรู้ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ เช่น น้ำมันปาล์ม ต่อไป

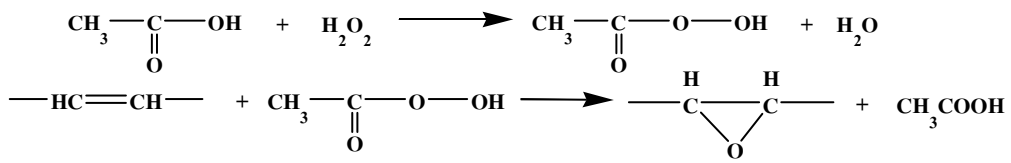
## 2. วิธีการ

### 2.1 การสังเคราะห์น้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดซ์

เป็นที่ทราบกันดีว่าน้ำมันพืชเป็นไตรกลีเซอไรด์ ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดต่างๆ ซึ่งอาจเป็นกรดไขมันชนิดอิ่มตัวและหรือชนิดไม่อิ่มตัว น้ำมันถั่วเหลืองประกอบด้วยกรดอิ่มตัวและกรดไม่อิ่มตัว ดังนี้ กรดสเตียริกซึ่งเป็นกรดอิ่มตัว กรดโอเลอิกมีพันธะคู่ 1 ตำแหน่ง กรดลิโนเลอิกมีพันธะคู่ 2 ตำแหน่ง และกรดลิโนลินิกมีพันธะคู่ 3 ตำแหน่ง บนสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนของกรดไขมัน โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันถั่วเหลืองแสดงในรูปที่ 1 พันธะคู่นี้ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เมื่อมีการตัดแปรพันธะคู่ให้เป็นวงแหวนอีพอกไซด์โดยผ่านกระบวนการอีพอกซิเดชัน กลไกการเกิดปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันของน้ำมันถั่วเหลืองแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งเป็นกลไกเช่นเดียวกับที่เกิดในการสังเคราะห์ยางธรรมชาติอีพอกซิไดซ์



รูปที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันถั่วเหลือง [1]



รูปที่ 2 ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันบนพันธะคู่ของน้ำมันถั่วเหลือง [2]

วิธีการสังเคราะห์ถั่วเหลืองในงานวิจัยนี้ ดัดแปลงจากวิธีการของ Eckwert และคณะ [3] Meffert และ Kluth [4] และ Soo-Jin และคณะ [5] ขั้นตอนของการสังเคราะห์น้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดซ์มีดังนี้ ซึ่งน้ำมันถั่วเหลืองลงในขวดปฏิกิริยาชนิด 3 คอ เติมกรดแอซิติกลงไปในขวดปฏิกิริยา กวนด้วยแท่งแม่เหล็กตลอดเวลาที่ทำการสังเคราะห์ ปรับอุณหภูมิจนถึง 55°C แล้วเติมกรดซัลฟิวริก ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาลงไป จากนั้นค่อยๆ หยดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงไปช้าๆ ปล่อยให้ปฏิกิริยาอีพอกซิเดชันเป็นระยะเวลา 5 - 8 ชั่วโมง ควบคุมปริมาณสารเคมีต่างๆ ได้แก่ กรดแอซิติค ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และกรดซัลฟิวริก หยุดปฏิกิริยาโดยการหล่อเย็น ล้างน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดซ์ที่ได้ด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่ง pH = 7 แยกน้ำกลั่นออกจากน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดซ์แล้ววัดความชื้นด้วยไซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส วิเคราะห์หาปริมาณวงแหวนอีพอกไซด์ที่เกิดขึ้นในโดยใช้เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโกปี (<sup>1</sup>H NMR)

## 2.2 การขึ้นรูปและการทดสอบสมบัติ

วงแหวนอีพอกไซด์ของน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดซ์สามารถเกิดปฏิกิริยาเปิดวงกับสารเชื่อมขวางโมเลกุล ทำให้ได้โครงสร้างที่เป็นตาข่ายสามมิติ จึงทำให้สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นเพื่อทดสอบสมบัติเชิงกลต่างๆ ได้ทำการผสมน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดซ์กับสารเชื่อมโย

โมเลกุล (curing agent) ในกลุ่มแอนไฮโดรด์ชนิด Methyltetrahydrophthalate (MTHPA) ทำการควบคุมปริมาณสารเชื่อมโยและเวลาที่ใช้ในการอบ นำพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง (tensile properties) ตามมาตรฐาน ASTM D 638 ทดสอบด้วยอัตราการดึง 50 มม./นาที ทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง ทดสอบจำนวน 5 ชิ้นต่อตัวอย่าง ตัดชิ้นตัวอย่างเป็นรูปดัมเบลล์

## 3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

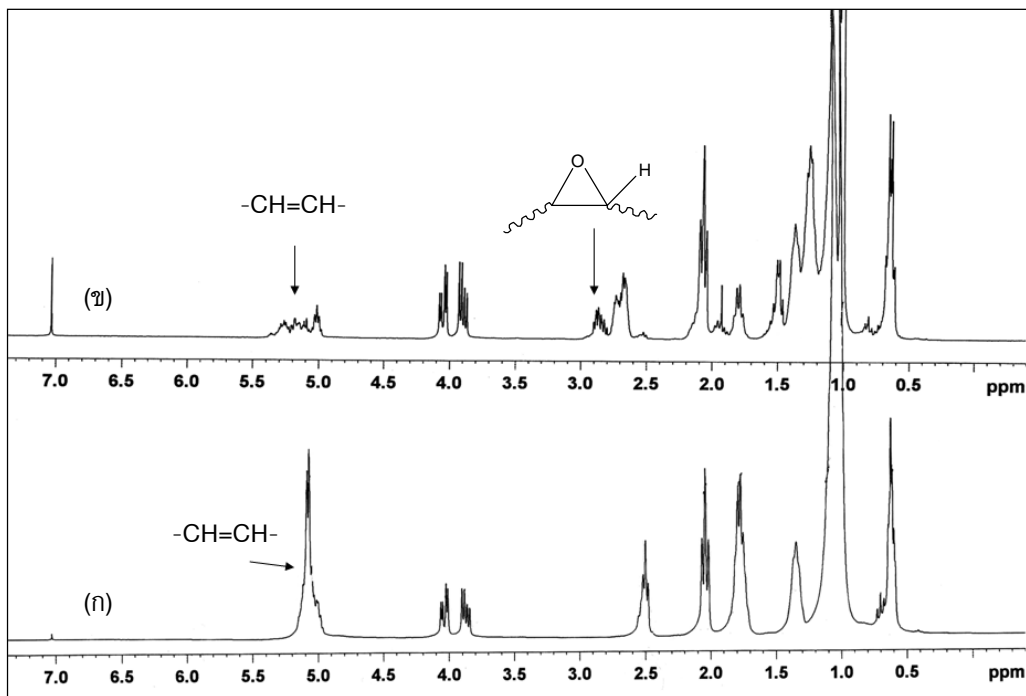
### 3.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณอีพอกไซด์

ผลการวิเคราะห์หาปริมาณอีพอกไซด์ของน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดซ์ โดยใช้เทคนิคเปกโตรสโกปีด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโกปี (<sup>1</sup>H NMR) แสดงในรูปที่ 3 โดยรูปที่ 3(a) เป็นสเปกตรัมของน้ำมันถั่วเหลือง พีคที่สำคัญคือ พีคที่ตำแหน่ง δ 5.3 - 5.6 ppm ซึ่งบ่งบอกถึงพันธะคู่ (C=C) รูปที่ 3(b) เป็นสเปกตรัมของน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดซ์ พบว่าตำแหน่ง δ 5.3 - 5.6 ppm ในน้ำมันถั่วเหลืองอีพอกซิไดซ์มีความเข้มของสัญญาณลดลงอย่างมาก ในขณะที่เดียวกันจะมีพีคที่ตำแหน่งใหม่เกิดขึ้นที่ δ 3.0 - 3.15 ppm ซึ่งเป็นตำแหน่งของอีพอกไซด์โปรตอน พีคนี้จะไม่ปรากฏในสเปกตรัมของน้ำมันถั่วเหลืองปริมาณอีพอกไซด์ที่เกิดขึ้นสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ [6]

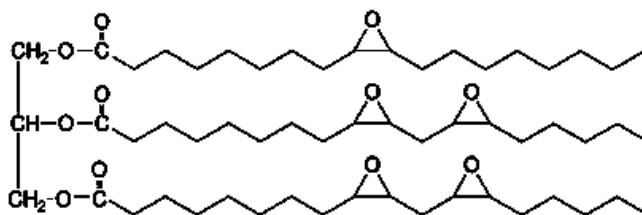
$$\text{Epoxide content (\%)} = \frac{I_{3.0-3.15}}{I_{3.0-3.15} + I_{5.3-5.6}} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่  $I_{3.0-3.15}$  คือความเข้มของสัญญาณที่ตำแหน่ง  $\delta$  3.0 - 3.15 ppm และ  $I_{5.3-5.6}$  คือความเข้มของสัญญาณที่ตำแหน่ง  $\delta$  5.3 - 5.6 ppm เมื่อความเข้มของสัญญาณได้จากกราฟอินทิเกรตความสูงของพีคที่คำนวณจากโปรแกรมของเครื่องมือ ซึ่งหลักการคำนวณคิดว่าปริมาณหมู่เอพ็อกไซด์ที่เกิดขึ้นเทียบเท่ากับปริมาณของพันธะคู่ที่หายไป โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันถั่วเหลืองที่พันธะคู่ทั้งหมดถูกเปลี่ยนเป็นวงแหวนเอพ็อกไซด์แสดงในรูปที่ 4 ผลจากการ

ทดลองพบว่าปริมาณเอพ็อกไซด์ที่มีค่ามากกว่า 25% จะสามารถนำไปขึ้นรูปได้ ในการทดลองนี้จึงเลือกน้ำมันถั่วเหลืองเอพ็อกซิไดซ์ที่มีปริมาณเอพ็อกไซด์ประมาณ 25 - 35% นำไปทดสอบการขึ้นรูปเป็นแผ่นชั้นงานที่มีความหนา 1.8 มม. เพื่อทดสอบสมบัติการดึง สภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์เพื่อให้ปริมาณเอพ็อกไซด์ที่ต้องการนี้คือ อัตราส่วนโดยโมลของพันธะคู่ต่อกรดแอซิดต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 1:0.65:1.09



รูปที่ 3 สเปกตรัมจาก  $^1\text{H-NMR}$  ของ (ก) น้ำมันถั่วเหลือง, (ข) น้ำมันถั่วเหลืองเอพ็อกซิไดซ์



รูปที่ 4 โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันถั่วเหลืองเอพ็อกซิไดซ์ที่มีปริมาณเอพ็อกไซด์ 100% [7]

### 3.2 ผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึง

ผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึงของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ ที่มีสูตรการผสมต่างๆ และใช้เวลาในการอบต่างๆ แสดงในตารางที่ 1 จะเห็นว่าสมบัติที่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณอีพ็อกไซด์ ปริมาณสารเชื่อมโยง และระยะเวลาในการอบ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณอีพ็อกไซด์ และปริมาณสารเชื่อมโยงมีความสัมพันธ์กัน การใส่ปริมาณสารเชื่อมโยงมากขึ้นอาจทำให้สมบัติลดลงได้ ดังที่เห็นได้ใน

ตัวอย่างที่มีหมู่อีพ็อกไซด์ 31% จะมีสมบัติลดลงเมื่อเติม MTHPA มากขึ้นเป็น 80 phr สูตรที่ดีที่สุดคือสูตรที่มีปริมาณอีพ็อกไซด์ 31% และ MTHPA 70 phr ที่อบเป็นเวลา 90 นาที เนื่องจากให้ค่ามอดุลัส (E) ความเค้น ณ จุดขาด ( $\sigma_b$ ) และความเครียด ณ จุดขาด ( $\epsilon_b$ ) สูงกว่าสูตรอื่นๆ ถึงแม้ว่าสูตรที่มีปริมาณอีพ็อกไซด์ 35% จะให้ค่ามอดุลัสสูงสุด แต่ค่าความเค้น ณ จุดขาด และความเครียด ณ จุดขาด มีค่าต่ำลง

ตารางที่ 1 สมบัติการทนต่อแรงดึงของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ที่ขึ้นรูปด้วยสภาวะต่างๆ

ปริมาณอีพ็อกไซด์ (%)	ปริมาณ MTHPA (phr)	ระยะเวลาในการอบ (นาที)	มอดุลัส (MPa)	ความเค้น ณ จุดขาด (MPa)	ความเครียด ณ จุดขาด (%)
25	60	60	1.71 ± 0.08	1.34 ± 0.11	51 ± 4
		75	2.49 ± 0.08	1.79 ± 0.07	47 ± 2
		90	2.30 ± 0.07	1.46 ± 0.19	43 ± 4
31	70	60	2.23 ± 0.13	1.31 ± 0.18	44 ± 6
		75	3.68 ± 0.71	2.25 ± 0.64	44 ± 7
		90	3.44 ± 0.09	3.01 ± 0.30	58 ± 5
	80	60	0.94 ± 0.12	0.78 ± 0.04	63 ± 8
		75	1.98 ± 0.03	0.99 ± 0.33	41 ± 9
		90	1.98 ± 0.03	0.99 ± 0.33	41 ± 9
35	50	60	2.98 ± 0.32	1.61 ± 0.25	36 ± 4
		75	3.52 ± 0.19	1.65 ± 0.18	43 ± 2

เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่รายงานโดย Zengshe และคณะ [8] ที่ทดสอบสมบัติเชิงกลของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์จากทางการค้าที่มีปริมาณอีพ็อกไซด์ 100% (oxirane oxygen = 7%) และใช้สารเชื่อมโยงในกลุ่มเอมีนชนิด Triethylenetetramine (TETA) ปริมาณ 23.3 phr ทำการอบที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง และ 120 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่าตัวอย่างแสดงค่ามอดุลัส 1.20 MPa ความเค้น ณ จุดขาด 1.27 MPa และ ความเครียด ณ จุดขาด 127% โดยทำการทดสอบตาม ASTM-D412 ด้วยอัตราการดึง 50 มม./นาที จะเห็น

ได้ว่าตัวอย่างที่ได้จากการทดลองนี้ให้ค่ามอดุลัสและค่าความเค้น ณ จุดขาด สูงกว่าตัวอย่างที่รายงานโดย Zengshe และคณะ คาดว่าความแตกต่างน่าจะมาจากการใช้สารเชื่อมโยงต่างชนิดกัน เนื่องจากน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ที่ Zengshe และคณะ ใช้ในงานวิจัยนั้น มีปริมาณอีพ็อกไซด์สูงกว่าน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ที่สังเคราะห์ได้ในการทดลองนี้ แต่เนื่องจาก MTHPA ที่ใช้ในการทดลองนี้มีลักษณะที่เป็นวงแหวน (phenyl group) ในขณะที่ TETA มีลักษณะเป็นโมเลกุลสายยาวกว่าและโค้งงอได้ง่ายกว่า ดังนั้น การเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลด้วย

MTHPA จึงทำให้ระยะห่างระหว่างโมเลกุลสั้นกว่าและมีความแข็งแรงมากกว่า ส่วน TETA จะทำให้การยึดหยุ่นดีกว่า

#### 4. สรุปผล

น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ที่สังเคราะห์ได้สามารถขึ้นรูปเป็นพอลิเมอร์ได้โดยไม่ต้องผสมกับพอลิเมอร์อื่นๆ โดยที่มีปริมาณอีพ็อกไซด์ในช่วง 25 - 35% สมบัติการทนต่อแรงดึงขึ้นอยู่กับปริมาณอีพ็อกไซด์ ปริมาณสารเชื่อมโยง และระยะเวลาในการอบ ปริมาณอีพ็อกไซด์และปริมาณสารเชื่อมโยงมีความสัมพันธ์กันอย่างเห็นได้ชัด การขึ้นรูปชิ้นงานจำเป็นต้องมีสูตรที่เหมาะสม สูตรที่ดีที่สุดในการทดลองนี้คือ สูตรที่มีปริมาณอีพ็อกไซด์ 31% และ MTHPA 70 phr ที่อบเป็นเวลา 90 นาที ซึ่งเป็นสูตรที่มีสมบัติสูงที่สุดในการทดลองและยังมีค่ามอดุลัสและความเค้น ณ จุดขาด สูงกว่าค่าที่ได้จากการใช้น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ทางการค้าที่รายงานไว้ก่อนหน้านี้

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ผลงานวิจัยภายใต้โครงการนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินทุนอุดหนุนโครงการวิจัย พัฒนา และวิศวกรรมของศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (รหัสนโครงการ NN-B-22-CT2-19-50-07) และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยบัณฑิตศึกษา

#### 6. เอกสารอ้างอิง

1. Thais, F., 2002, "Quantitative determination of epoxidized soybean oil using near-infrared spectroscopy and multivariate calibration," *Applied Spectroscopy*, Vol. 56, No. 12, pp. 1607-1614.

2. อรุสา สรวารี, 2537, *สารเคลือบผิว*, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร ตุลาคม หน้า 55.

3. Eckwert, K., Jeromin, L., Meffert, A., and Peukert, E., 1987, "Process for the epoxidation of olefinically unsaturated hydrocarbon compounds with peracetic acid", *US Patent* 4,647,678.

4. Meffert, A. and Kluth, H., 1987, "Process for the preparation of modified triglycerides", *U.S. Patent* 4,886,893.

5. Soo-Jin, P., Fan-Long, J. and Jae-Rock, L., 2003, "Thermal and mechanical properties of Tetrafunctional epoxy resin toughened with epoxidized soybean oil", *Materials Science and Engineering : Part A*, Vol. 374, pp. 109 - 114.

6. Aursand, M., Rainuzzo, J.R. and Grasdalen, H., 1993, "Quantitative high-resolution <sup>13</sup>C and <sup>1</sup>H nuclear magnetic resonance of ω3 fatty acids from white muscle of atlantic salmon (*Salmo salar*)", *Journal of American Oil Chemistry Society*, Vol. 70, pp. 971 - 981.

7. Rusch, G., 1999, "Complete and partial epoxidation of plant oils by lipased-catalyzed perhydrolysis", *Industrial Crops and Products*, Vol. 9, pp. 125 - 132.

8. Zengshe, L., Sevim, Z.E. and Jingyuan, X., 2005, "Preparation, characterization and mechanical Properties of epoxidized soybean oil / clay nanocomposites" *Polymer*, Vol. 46, 10119 - 10127.