



การเตรียมน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์เพื่อใช้เป็นอีพ็อกซีจากธรรมชาติ  
สำหรับประยุกต์ใช้งานเคลือบ

Preparation of Epoxidized Soybean Oil for Use as Bio-based  
Epoxy for Coating Application

ณัฐมล ขอกกลาง<sup>1</sup> และ ยศฐา ศรีเทพ<sup>2\*</sup>

Nattamon Khoklang<sup>1</sup> and Yottha Srithep<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150

<sup>1,2</sup>Faculty of Engineering, Prince of Mahasarakham University, Mahasarakham, 44150, Thailand

\*Corresponding Author, E-mail: yottha.s@msu.ac.th

Received: 22 September 2021 | Revised: 21 March 2022 | Accepted: 4 April 2022

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ (Epoxidized Soybean Oil, ESO) มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม เช่น สารหล่อลื่นและสารเคลือบผิว เนื่องจากมีราคาถูกและเป็นน้ำมันที่สังเคราะห์ได้จากพืชซึ่งสามารถปลูกทดแทนได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการเตรียม ESO และสารเชื่อมโยงโมเลกุล (Crosslink, B) ในอัตราส่วน  $x\text{ESO}+y\text{B}$  โดยปริมาตรซึ่ง  $x$  เป็นสัดส่วนของ ESO และ  $y$  เป็นสัดส่วนของ B ที่ 1ESO+0.5B 1ESO+0.75B 1ESO+1B 1ESO+2B และ 1ESO+3B โดยมีการผสมในบีกเกอร์คนให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนสารและเทลงในแม่พิมพ์ซิลิโคนขนาด  $1\times 1$  นิ้ว แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 160 175 190 และ 205 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 3 และ 5 ชั่วโมง ชิ้นงานได้ถูกทดสอบโครงสร้างทางเคมี ความแข็งและสมบัติทางความร้อน ในการทดสอบโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FTIR ซึ่งน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์จะพบพีคที่ตำแหน่งเลขคลื่น  $827\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นพีคของหมู่อีพ็อกซี ในการทดสอบความแข็งพบว่าเมื่ออบที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ทุกอัตราส่วนไม่เกิดการแข็งตัว และชิ้นงานเริ่มแข็งตัวที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส และความแข็งเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิการอบ 190 องศาเซลเซียส โดยอัตราส่วน 1ESO+1B ให้ความแข็งเฉลี่ยสูงสุด 99.75 HA. ที่เวลาการอบ 5 ชั่วโมง แต่ความแข็งเริ่มมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 205 องศาเซลเซียส อาจเกิดจากอุณหภูมิที่สูงถึง 205 องศาเซลเซียส ทำให้วัสดุเกิดการสลายตัว ทำให้ความแข็งลดลง นอกจากนี้การทดสอบสมบัติทางความร้อน พบว่าที่อัตราส่วน 1ESO+1B เกิดการคายพลังงานที่อุณหภูมิต่ำสุด 129.21 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า 1ESO+1B เป็นสัดส่วนที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้งาน และในการทดสอบเมื่อนำไปเคลือบไม้และตะปู เพื่อป้องกันการดูดซับน้ำและป้องกันการเกิดสนิมตามลำดับ พบว่าการดูดซับน้ำของไม้ลดลงเมื่อเคลือบผิวด้วย 1ESO+1B และตะปูที่เคลือบผิวด้วย 1ESO+1B สามารถป้องกันการเกิดสนิมได้

## ABSTRACT

Epoxidized Soybean Oil (ESO) is widely used in industry such as lubricants and coatings because it is cheap and synthesized from plants that is renewable. The objective of this research is to prepare ESO and crosslinking agent (B) at  $x\text{ESO}+y\text{B}$  by volume where  $x$  is the ratio of ESO and  $y$  is the ratio of B at  $1\text{ESO}+0.5\text{B}$ ,  $1\text{ESO}+0.75\text{B}$ ,  $1\text{ESO}+1\text{B}$ ,  $1\text{ESO}+2\text{B}$  and  $1\text{ESO}+3\text{B}$ . The blended materials were mixed in a beaker, stirred with a stirrer and poured into an 1x1x1 inch silicone mold, and then heated to 160, 175, 190 and 205 °C for 1, 3 and 5 hours. The samples were tested for their chemical structure, hardness and thermal properties. In the chemical structure test by FTIR technique. It was found that ESO showed the wave number of  $827\text{ cm}^{-1}$ , which was the peak of the epoxy group. In the hardness test, it was found that at 160 °C, all ratios did not solidify and the workpiece began to harden at 175 °C and the hardness increased at the temperature of 190 °C as  $1\text{ESO}+1\text{B}$  gave a maximum average hardness of 99.75 HA. However, the hardness decreased when the temperature was increased to 205 °C, because at this temperature the materials might be degraded. In addition, according to the thermal properties test it was found that at the ratio of  $1\text{ESO}+1\text{B}$ , had at the lowest endothermic temperature of 129.21 °C, which can be concluded that the  $1\text{ESO}+1\text{B}$  was the optimal proportion for the applications. This ratio was used to coat wood to prevent water absorption and coat nails to prevent rust. It was found that the water absorption of wood reduced and nails did not have rust.

**คำสำคัญ:** น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์ อีพ็อกซีจากธรรมชาติ การป้องกันสนิม

**Keywords:** Epoxidized soybean oil, bio-based epoxy, rust prevention

## บทนำ

ปัจจุบันแหล่งที่มาของการผลิตอีพ็อกซีมี 2 ส่วนหลักๆ คือ อีพ็อกซีจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม (Petroleum-based epoxy resin) และอีพ็อกซีจากชีวภาพ (bio-based epoxy resin) อีพ็อกซี (epoxy) จัดอยู่ในกลุ่มเทอร์โมเซตติงพอลิเมอร์ (thermosetting polymer) เป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยโมโนเมอร์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ตลาดอีพ็อกซีทั่วโลกสามารถสร้างรายได้ 5.5 พันล้านดอลลาร์ในปี 2554 และสูงถึง 8.4 พันล้านดอลลาร์ภายในปี 2560 (Sudheer et al., 2017) ซึ่งอีพ็อกซีมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น เป็นกาวเคลือบและวัสดุเคลือบ ในการใช้งานในอุตสาหกรรมที่หลากหลายหลายแสดงดังรูปที่ 1 โดยมีเปอร์เซ็นต์การใช้งานแสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งในการใช้งาน 50% เป็นการใช้งานในการเคลือบผิว 18% ใช้งานเป็นวัสดุผสม 13% ใช้กับงานก่อสร้าง 6% เป็นกาว และอื่นๆ 3%

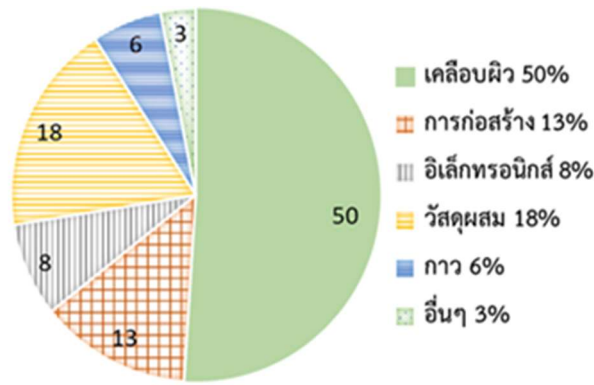
เกือบ 75% ของการผลิตอีพ็อกซีที่ใช้ในปัจจุบัน ถูกสังเคราะห์โดยปฏิกิริยาการควบแน่นของบิสฟีนอล เอ (Bisphenol A, BPA) และสารเชื่อมโยงโมเลกุล (crosslink, B) ไปทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลอีพ็อกซี (Corcuera et al., 2010) อย่างไรก็ตาม BPA ในฐานะตัวทำลายก่อให้เกิดผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ซึ่งหลายประเทศได้ห้าม BPA เป็นวัตถุดิบในการผลิตพอลิเมอร์หรือผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ อย่างไรก็ตามอีพ็อกซีจากชีวภาพ (bio-based epoxy resin) ได้ศึกษาเพื่อนำมาใช้ทดแทนอีพ็อกซีจากปิโตรเลียม โดยใช้สารที่ได้มาจากน้ำมันพืช ลิกนิน โรซิน แทนนิน คาโบนาล หรือกรดอโคนิค ซึ่งไม่มี BPA (Petrie et al., 2005) และเป็นวัสดุที่ปลูกทดแทนได้ซึ่งน้ำมันถั่วเหลืองเป็นหนึ่งในวัสดุที่ได้จากธรรมชาติและเป็นผลผลิตทางการเกษตรที่มีมากในประเทศไทย มีราคาไม่แพงและหาได้ง่ายทางการค้าเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ (Galai et al., 2010)

น้ำมันถั่วเหลืองซึ่งนิยมนำมาทำอีพ็อกซีชีวภาพมีโครงสร้างทางเคมีที่เอื้อต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังรูปที่ 3 โดยมีพันธะคู่ที่ว่องไวบนสายโซ่ (Basturk et al., 2013) หากมีการดัดแปรโดยผ่านกระบวนการออกซิเดชันจะได้เป็นน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ (ESO) ที่มีความเสถียรตกว่าน้ำมันถั่วเหลือง (SBO) และสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ (พิมพ์ชนก, 2550)

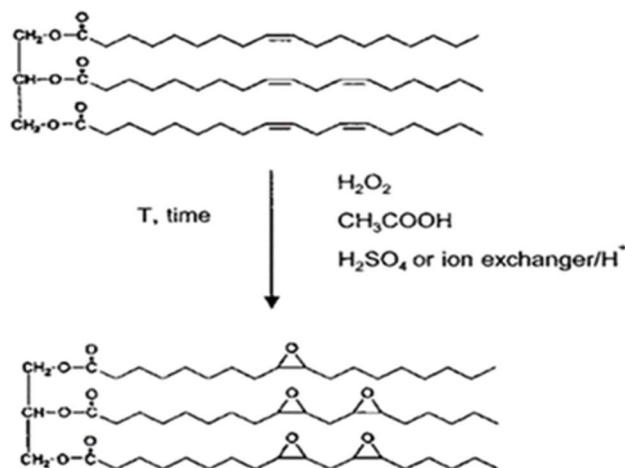
อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาการแข็งตัวของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ (ESO) เมื่อผสมสารเชื่อมโยงโมเลกุลที่สัดส่วนต่างๆ ในงานวิจัยนี้มีการทดสอบโครงสร้างทางเคมี ความแข็งแรง สมบัติทางความร้อน รวมถึงการประยุกต์ใช้งานของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์เพื่อทดแทนอีพ็อกซีจากปิโตรเลียม



รูปที่ 1 การใช้งานอีพ็อกซีจากปิโตรเลียมและอีพ็อกซีจากชีวภาพ (Sudheer et al., 2017)



รูปที่ 2 แผนภาพการนำอีพ็อกซีไปใช้งานในอุตสาหกรรม (Corcuera et al., 2010)



รูปที่ 3 ปฏิกิริยาอีพ็อกซิเดชันของน้ำมันถั่วเหลือง (Basturk et al., 2013)

## วิธีดำเนินการวิจัย

### 1. วัสดุและสารเคมี

น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ (Epoxydized Soybean Oil; ESO) จากบริษัท NAN YA Plastics Cooperation, Taiwan ปริมาณความชื้น 0.07% มีค่า

ความหน่วงจำเพาะ 0.998 ปริมาณ Oxidant 6.63% Epoxy จากปิโตรเลียมและสารเชื่อมโยงโมเลกุล (crosslink, B) จากบริษัท EASY RESIN ประเทศไทย และน้ำมันถั่วเหลือง จากบริษัท ไชม์ ดาร์บี ออยส์ มรกต จำกัด (มหาชน) ประเทศไทย

ตารางที่ 1 การเตรียมน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ (ESO) และ สารเชื่อมโยงโมเลกุล (B) ในสัดส่วนต่างๆ

ชิ้นงาน	น้ำมันถั่วเหลือง อีพ็อกซิไดซ์ ESO	สารเชื่อมโยงโมเลกุล B	อีพ็อกซีจากปิโตรเลียม A	น้ำมันถั่วเหลือง SBO
1. 1A+1B	-	1	1	-
2. 1ESO+5B	1	0.5	-	-
3. 1ESO+0.75B	1	0.75	-	-
4. 1ESO+1B	1	1	-	-
5. 1ESO+2B	1	2	-	-
6. 1ESO+3B	1	3	-	-
7. 1SBO+1B	-	1	-	1

### 2. การเตรียมตัวอย่างและวัสดุ

ศึกษาอัตราส่วนของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ต่อสารเพิ่มเชื่อมโยงโมเลกุล (B) ในอัตราส่วน  $x\text{ESO}+y\text{B}$  โดย  $x$  แสดงสัดส่วนของ ESO และ  $y$  แสดงสัดส่วน B โดยปริมาตรดังแสดงในตาราง 1 ผสมวัสดุในสัดส่วนต่างๆ ในบีกเกอร์คนให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนสารเป็นเวลา 10 นาที และหลังจากนั้นถูกเทใส่แม่พิมพ์ซิลิโคนรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด  $1\times 1\times 1$  นิ้ว แล้วอบที่อุณหภูมิ 160 175 190 และ 205 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 3 และ 5 ชั่วโมง เพื่อศึกษาเวลาและอุณหภูมิในการอบต่อความแข็งของน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ ชิ้นงานที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับอีพ็อกซีจากปิโตรเลียมและน้ำมันถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านกระบวนการอีพ็อกซิเดชัน (Soybean oil, SBO) ด้วยสัดส่วน Epoxy: B ที่ 1:1 (1A+1B) และสัดส่วน SBO:B ที่ 1:1 (1SBO+1B)

### 3. การทดสอบ

#### 3.1 การทดสอบโครงสร้างทางเคมี

การทดสอบโครงสร้างทางเคมีของน้ำมันถั่วเหลือง (SBO) น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์ (ESO) และอีพ็อกซีปิโตรเลียม (Epoxy A) ใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) รุ่น frontier and spotlight

200i จากบริษัท PerkinElmer (USA) การทดสอบนี้สารอยู่ในรูปของของเหลว และทดสอบในช่วงความถี่  $400 - 4000\text{ cm}^{-1}$

#### 3.2 การทดสอบความแข็ง

นำชิ้นงานหลังจากอบที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ ออกจากตู้อบและรอให้ชิ้นงานเย็นตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนทดสอบความแข็งด้วยเครื่องวัดความแข็งแบบชอร์ Shore A (Shore Hardness Tester หรือ Durometer Hardness) อ้างอิงจากมาตรฐาน International Organization for Standardization หรือ ISO 868

#### 3.3 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

การศึกษาการทดสอบสมบัติทางความร้อนโดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) รุ่น DSC-4000 จากบริษัท PerkinElmer (USA) โดยนำชิ้นงานที่ผสมแล้วทำการทดสอบด้วยการให้ความร้อนที่อัตรา 10 องศาเซลเซียส/นาที เริ่มจากการให้ความร้อนแรก 30 องศาเซลเซียส จนถึง 300 องศาเซลเซียสเพื่อบันทึกข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความร้อน

## 4. การประยุกต์ใช้

### 4.1 การทดสอบความต้านทานต่อน้ำ

ผสมน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์กับสารเพิ่มความแข็งแรงที่อัตราส่วน 1ESO+1B เคลือบกับไม้ และอบที่อุณหภูมิ 175 และ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 และ 5 ชั่วโมง นำชิ้นงานออกจากตู้อบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อรอให้ชิ้นงานเย็นตัวและทำการชั่งน้ำหนักของชิ้นงานก่อนนำแช่น้ำ หลังจากนั้นนำตัวอย่างแช่น้ำเป็นเวลา 1 3 5 และ 24 ชั่วโมง เพื่อดูอัตราการดูดซับน้ำ โดยน้ำหนักของไม้ที่เพิ่มขึ้นสามารถคำนวณได้จากสมการ [1]

$$M (\%) = \left| \frac{W_f - W_i}{W_i} \right| \times 100 \quad [1]$$

โดยที่ M คือ อัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนัก (%)

$W_f$  คือ น้ำหนักไม้หลังแช่น้ำ

$W_i$  คือ น้ำหนักไม้ก่อนแช่น้ำ

### 4.2 การทดสอบการป้องกันการเกิดสนิม

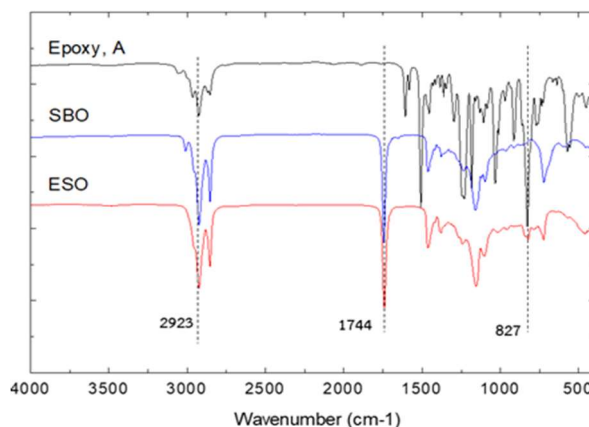
ผสมน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์กับสารเชื่อมโยงโมเลกุล ที่อัตราส่วน 1ESO+1B เคลือบกับตะปู และให้ชิ้นงานแห้งตัวที่อุณหภูมิ 175 และ 190 องศาเซลเซียส

เป็นเวลา 3 และ 5 ชั่วโมง รอชิ้นงานเย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นนำตัวอย่างแช่ภาชนะเปิดบรรจุน้ำกลั่นเป็นเวลา 3 วัน เพื่อเปรียบเทียบการเกิดสนิมของตะปู

## ผลการดำเนินงาน และอภิปรายผล

### 1. ผลการทดสอบโครงสร้างทางเคมี

การทดสอบโมเลกุลของสารใช้เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) การทดสอบนี้สารอยู่ในรูปของของเหลวและทดสอบในช่วงความถี่ 400 - 4000  $\text{cm}^{-1}$  รูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์ (ESO) และน้ำมันถั่วเหลือง (SBO) มีพีคคล้ายกันโดยมีสเปกตรัม 2923 -2919  $\text{cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบยืดของ  $\text{CH}_2$  และ  $\text{C=O}$  (Yee T. et al, 2016) และพีค 1744  $\text{cm}^{-1}$  เป็นกลุ่มเอสเทอร์ (Xujuan H. et al, 2019) นอกจากนี้ น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์และอีพ็อกซีจะพบพีคที่ตำแหน่งเลขคลื่น 827  $\text{cm}^{-1}$  เป็นพีคของหมู่อีพ็อกซี (Situ et al., 2007) ซึ่งพีคนี้ไม่พบในน้ำมันถั่วเหลืองที่ไม่ผ่านกระบวนการอีพ็อกซีเดชัน บ่งชี้ว่าน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์มีหมู่อีพ็อกซีอยู่ด้วยและสามารถใช้แทนอีพ็อกซีจากปิโตรเลียมเคมีได้

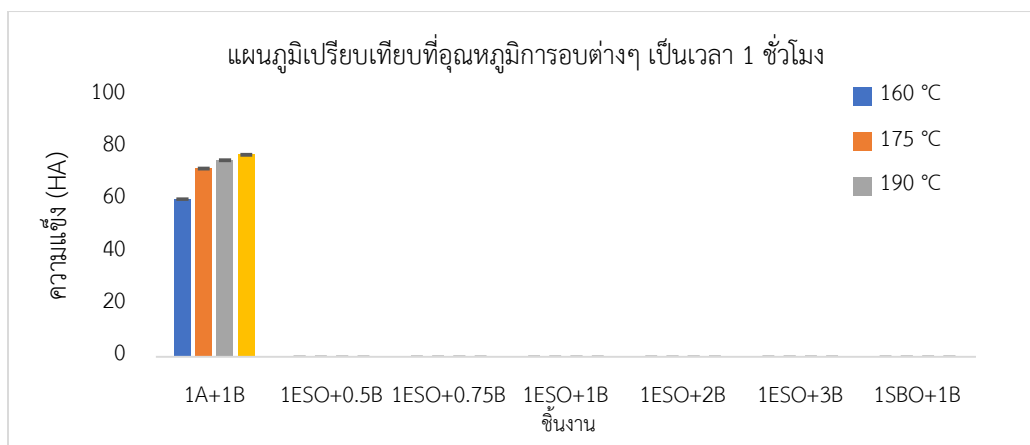


รูปที่ 4 สเปกตรัมของ Epoxy, SBO และ ESO

### 2. ผลการทดสอบความแข็ง

นำชิ้นงานจากการผสมระหว่าง ESO และ B อัตราส่วนต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 มาทดสอบความแข็ง โดยอบที่อุณหภูมิการอบที่ 160 175 190 และ 205 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 3 และ 5 ชั่วโมง แล้วเปรียบเทียบกับความแข็งของอีพ็อกซีจากปิโตรเลียมและน้ำมันถั่วเหลือง (SBO) เมื่อผสมสารเชื่อมโยงโมเลกุล (B) ในอัตราส่วน

1A+1B และ 1SBO+1B เมื่ออบที่เวลา 1 ชั่วโมง จากรูปที่ 5 และสรุปผลในตาราง 2 พบว่า ESO ที่ผสมในหลายๆ อัตราส่วน และ 1SBO+1B ที่อุณหภูมิการอบต่างๆ ไม่เกิดการแข็งตัว เมื่อเปรียบเทียบกับ 1A+1B พบว่าที่อุณหภูมิการอบที่ 205 องศาเซลเซียส ให้ความแข็งสูงสุด 77.23 HA เนื่องจากชิ้นงานสามารถแข็งตัวได้ดีเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น



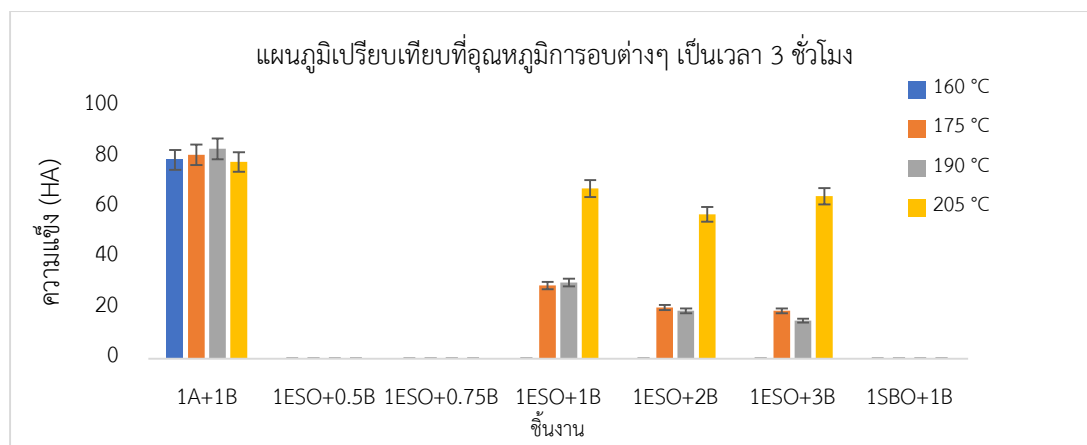
รูปที่ 5 การทดสอบความแข็งของชิ้นงานในอัตราส่วนต่างๆ ที่เวลาอบ 1 ชั่วโมง

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความแข็งของอีพ็อกซีที่อุณหภูมิการอบ 160 175 190 และ 205 องศาเซลเซียส ที่เวลาอบ 3 ชั่วโมง

ชิ้นงาน	ความแข็งที่อุณหภูมิการอบต่างๆ (shore A)			
	160 °C	175 °C	190 °C	205 °C
1. 1A+1B	60.25	72	75.12	77.23
2. 1ESO+0.5B	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว
3. 1ESO+0.75B	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว
4. 1ESO+1B	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว
5. 1ESO+2B	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว
6. 1ESO+3B	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว
7. 1SBO+1B	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว

เมื่ออบชิ้นงานเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงดังรูปที่ 6 และสรุปผลในตาราง 3 พบว่าชิ้นงาน 1ESO+0.5B 1ESO+0.75B และ 1SBO+1B ไม่เกิดการแข็งตัวในทุกๆ อุณหภูมิการอบ แต่น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซี-ไดซ์แข็งตัวเมื่อผสมสารเชื่อมโยงโมเลกุลที่อัตราส่วน 1ESO+1B 1ESO+2B และ 1ESO+3B เกิดการแข็งตัวเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 175 องศาเซลเซียส โดยให้ค่าความแข็ง

ใกล้เคียงกัน ซึ่งชิ้นงาน 1ESO+1B ที่อุณหภูมิการอบ 205 องศาเซลเซียส ให้ความแข็งสูงสุด 67.5 HA อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ผสมกับอีพ็อกซีจากปิโตรเลียม 1A+1B ซึ่งให้ความแข็งสูงกว่าน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์ โดยที่อุณหภูมิต่ำกว่า 190 องศาเซลเซียส ให้ความแข็ง 83.17 HA



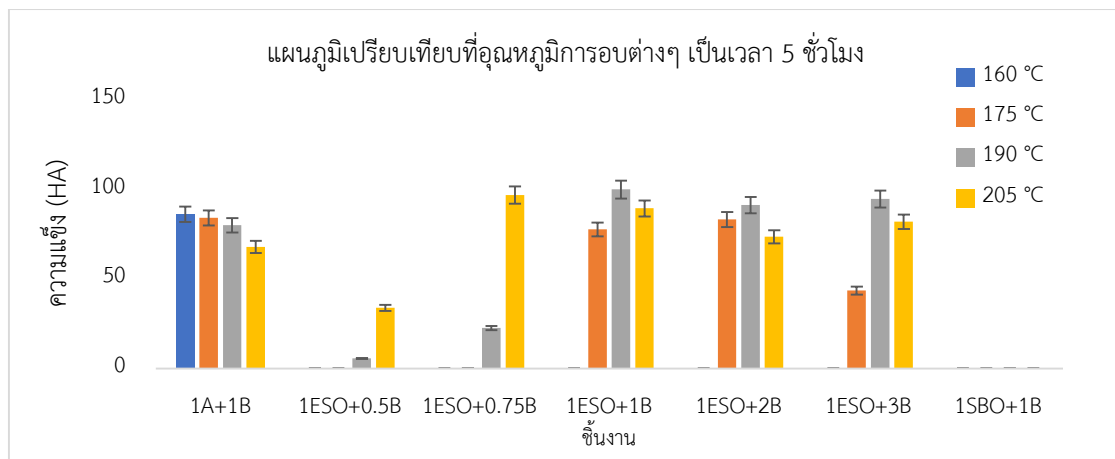
รูปที่ 6 การทดสอบความแข็งของชิ้นงานในอัตราส่วนต่างๆ ที่เวลาอบ 3 ชั่วโมง

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความแข็งของอีพ็อกซีที่อุณหภูมิการอบ 160 175 190 และ 205 องศาเซลเซียส ที่เวลาอบ 3 ชั่วโมง

ชิ้นงาน	ความแข็งที่อุณหภูมิการอบต่างๆ (shore A)			
	160 °C	175 °C	190 °C	205 °C
1. 1A+1B	78.83	80.83	83.17	78
2. 1ESO+0.5B	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว
3. 1ESO+0.75B	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว
4. 1ESO+1B	ไม่แข็งตัว	29	30.23	67.5
5. 1ESO+2B	ไม่แข็งตัว	20.33	19	57.35
6. 1ESO+3B	ไม่แข็งตัว	19	15.13	64.4
7. 1SBO+1B	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว

เมื่ออบชิ้นงานเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงดังรูปที่ 7 และสรุปผลตามตาราง 4 พบว่าเมื่ออบที่ 160 องศาเซลเซียส ชิ้นงาน xESO+yB ไม่เกิดการแข็งตัว และชิ้นงานเมื่ออบที่ 175 องศาเซลเซียส ชิ้นงานมีการแข็งตัวที่อัตราส่วน 1ESO+1B 1ESO+2B และ 1ESO+3B เมื่ออบชิ้นงานที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ชิ้นงาน xESO+yB เกิดการแข็งตัวทุกอัตราส่วน ซึ่งชิ้นงาน 1ESO+1B 1ESO+2B และ 1ESO+3B ให้ความแข็งไม่แตกต่างกัน โดยชิ้นงาน 1ESO+1B ให้ความแข็งสูงสุดที่ 99.75 HA และเมื่ออบชิ้นงานที่ 205 องศาเซลเซียส พบว่าชิ้นงาน xESO+yB มี

การแข็งตัวทุกอัตราส่วน โดยทุกอัตราส่วนถูกเปรียบเทียบกับความแข็งกับชิ้นงานอีพ็อกซีจากปิโตรเลียม 1A+1B ที่อุณหภูมิการอบ 175 องศาเซลเซียส ซึ่งให้ความแข็งสูงสุด 83.83 HA และที่อุณหภูมิการอบ 205 องศาเซลเซียส ให้ความแข็งต่ำสุด 67.67 HA จึงแสดงให้เห็นว่าชิ้นงานอีพ็อกซีจากปิโตรเลียมมีความแข็งลดลงเนื่องจากวัสดุเกิดการสลายตัว เมื่อเพิ่มเวลาและอุณหภูมิการอบขึ้น อาจเป็นเพราะอุณหภูมิและเวลาสูงๆ ทำให้อีพ็อกซีจากปิโตรเลียมมีสมบัติทางกลที่ลดลง ในขณะที่ชิ้นงาน 1SBO+1B นั้นไม่มีหมู่อีพ็อกซี ไม่เกิดการแข็งตัวในทุกอุณหภูมิการอบ



รูปที่ 7 การทดสอบความแข็งของชิ้นงานในอัตราส่วนต่างๆ ที่เวลาอบ 5 ชั่วโมง

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบความแข็งของอีพ็อกซีที่อุณหภูมิการอบ 160 175 190 และ 205 องศาเซลเซียส ที่เวลาอบ 5 ชั่วโมง

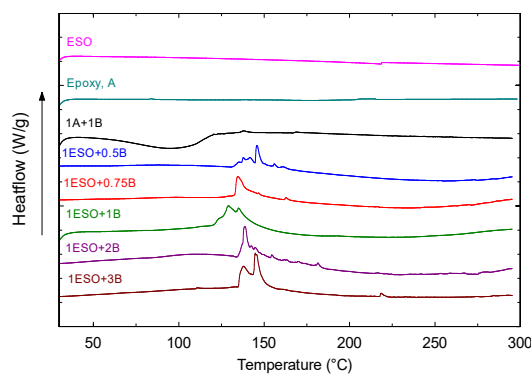
ชิ้นงาน	ความแข็งที่อุณหภูมิการอบต่างๆ (shore A)			
	160 °C	175 °C	190 °C	205 °C
1. 1A+1B	86	83.83	79.83	67.67
2. 1ESO+0.5B	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว	5.5	33.83
3. 1ESO+0.75B	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว	22.5	96.67
4. 1ESO+1B	ไม่แข็งตัว	77.5	99.79	89.25
5. 1ESO+2B	ไม่แข็งตัว	83	91.12	73.38
6. 1ESO+3B	ไม่แข็งตัว	43.37	94.5	81.75
7. 1SBO+1B	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว

### 3. ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน

การศึกษาการทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimeter (DSC) แสดงดังรูป 8 และสรุปผลดังตาราง 5 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอีพ็อกซีจากปิโตรเลียม (A) และ ESO ไม่มีการดูดหรือคายพลังงานความร้อน โดยที่ชิ้นงานจากปิโตรเลียมผสมกับสารเชื่อมโยโมเลกุล 1A+1B เกิดการคายพลังงานที่อุณหภูมิ 97.64 องศาเซลเซียส และมีการคายพลังงานที่ 7194.61 J/g จึงแสดงให้เห็นว่าอีพ็อกซีเกิดการแข็งตัวได้ โดยสังเกตได้ว่าเป็นพีคคายความร้อน และอุณหภูมิพีคแบบคายความร้อนจะสะท้อนถึงความแข็งของชิ้นงาน และเมื่อนำ ESO ผสมสาร

เชื่อมโยโมเลกุล (B) ที่อัตราส่วนต่างๆ มาทดสอบสมบัติทางความร้อนชิ้นงาน 1ESO+0.5B มีการคายพลังงานที่อุณหภูมิสูงสุด 145.97 องศาเซลเซียส และชิ้นงาน 1ESO+1B มีการคายพลังงานที่อุณหภูมิต่ำสุดคือ 129.21 องศาเซลเซียส และมีการคายพลังงานที่ 100.71 J/g จากการทดสอบสมบัติทางความร้อนทำให้เห็นว่าที่อัตราส่วน 1ESO+1B เกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่ำสุด จึงเลือกอัตราส่วนนี้มาทดสอบกับการประยุกต์ใช้งาน และพลังงานในการคายความร้อนสัมพันธ์กับความแข็งของชิ้นงาน ซึ่ง ESO+0.5B ที่มีค่าความแข็งต่ำที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4 มีค่าการคายพลังงานความร้อนน้อยที่สุด





รูปที่ 8 การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค DSC ของชิ้นงาน

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อนที่มีการผสมสารเพิ่มความแข็ง

ชิ้นงาน	พลังงานความร้อน	
	อุณหภูมิ (°C)	คายพลังงาน (J/g)
1. Epoxy A	-	-
2. ESO	-	-
3. 1A+1B	97.64	7194.61
4. 1ESO+0.5B	145.97	66.91
5. 1ESO+0.75B	134.43	77.45
6. 1ESO+1B	129.21	100.71
7. 1ESO+2B	138.52	97.76
8. 1ESO+3B	144.73	96.91

#### 4. ผลการประยุกต์ใช้งาน

##### 4.1 ผลการทดสอบความต้านทานการดูดซับน้ำของไม้

จากการทดสอบที่ผ่านมาพบว่าชิ้นงาน 1ESO+1B ที่การอบอุณหภูมิ 175 190 และ 205 องศาเซลเซียส ให้ความแข็งสูงกว่าชิ้นงาน ESO:B ที่อัตราส่วนอื่นๆ จึงได้เลือกอัตราส่วน 1ESO+1B มาเคลือบผิวไม้เพื่อศึกษาการดูดซับของน้ำและเปรียบเทียบกับไม้ที่เคลือบผิวด้วยอีพ็อกซีจากปิโตรเลียม 1A+1B โดยอบชิ้นงานที่อุณหภูมิ 175 และ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 และ 5 ชั่วโมง ซึ่งสังเกตได้ว่าสีของไม้จะเข้มขึ้นเมื่ออบที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นแสดงดังรูปที่ 9

เมื่อนำชิ้นงานไปทดสอบโดยการแช่น้ำไว้ 1 3 5 และ 24 ชั่วโมง น้ำหนักของไม้ที่เพิ่มขึ้นถูกคำนวณเป็น

เปอร์เซ็นต์ (%) ตามสมการ [1] แสดงดังตาราง 6 และรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่าเมื่อทดลองนำไม้ที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวมาแช่น้ำ น้ำหนักของไม้เพิ่มขึ้น 34.04% หลังแช่น้ำ 1 ชั่วโมง และน้ำหนักไม้เพิ่มขึ้นสูงสุด 49.53% หลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง ซึ่งในกรณีที่เคลือบผิวด้วย 1A+1B จะแสดงอัตราการดูดซับน้ำน้อยที่สุด 4.14% หลังแช่น้ำ 1 ชั่วโมง และสูงสุด 22.07% หลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง และชิ้นงานที่เคลือบผิวด้วย 1ESO+1B อบที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เวลาในการอบ 5 ชั่วโมง มีการดูดซับน้ำได้น้อยที่สุดและเมื่อเทียบกับชิ้นงาน 1A+1B พบว่าการดูดซับน้ำของชิ้นงานไม่แตกต่างกันมาก



รูปที่ 9 ไม้เมื่อเคลือบผิวด้วย 1A+1B และ 1ESO+1B

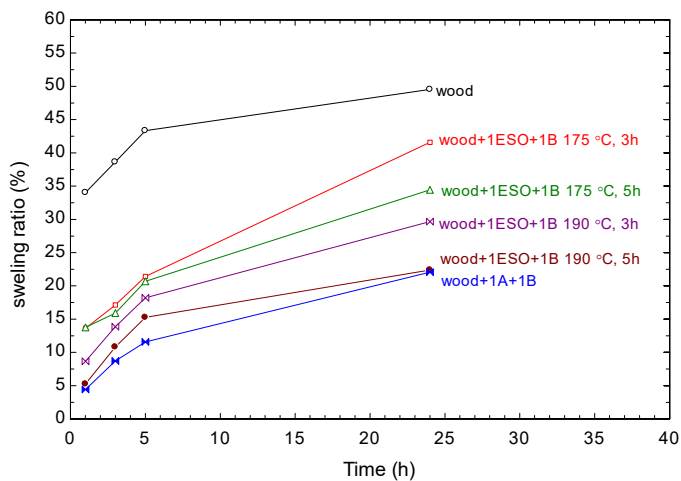
4.2 ผลการทดสอบการป้องกันการเกิดสนิม

การทดสอบการป้องกันการเกิดสนิม โดยเคลือบผิวด้วยน้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซีไดซ์ผสมกับสารเชื่อมโยงโมเลกุลในอัตราส่วน 1ESO+1B อบที่อุณหภูมิ 175 และ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 และ 5 ชั่วโมง แล้วแช่ชิ้นงานในน้ำกลั่นบริสุทธิ์เป็นเวลา 3 วัน ชิ้นงานที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวแสดงดังรูปที่ 11 a) พบว่าชิ้นงานตลอดทั้งชิ้นงานมีการเกิด

สนิม และชิ้นงานที่เคลือบผิวด้วย 1A+1B แสดงดังรูปที่ 11 b) จะเห็นได้ว่าผิวของชิ้นงานเป็นสีขาวอาจเกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีของสารที่ทำกับออกซิเจนและน้ำกลั่นบริสุทธิ์ แต่ชิ้นงานไม่เกิดสนิม โดยชิ้นงานที่เคลือบผิวด้วย 1ESO+1B แสดงดังรูปที่ 11 c) d) e) และ f) พบว่าชิ้นงานไม่เกิดสนิมแต่มีสีเข้มขึ้นเนื่องจากอบในอุณหภูมิและเวลาที่สูงเช่นเดียวกับชิ้นงานที่เคลือบผิวด้วย 1A+1B

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบการบวมตัวในน้ำโดยการวัดน้ำหนักของชิ้นงานที่เพิ่มขึ้น

ชิ้นงาน	น้ำหนักเพิ่มขึ้น (%)			
	1 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง	5 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
1. ไม้ (wood)	34.04	38.64	43.33	49.53
2. ไม้ + (1A+1B)	4.14	8.72	11.56	22.07
3. ไม้ + (1ESO+1B), 175 °C, 3 hr.	13.61	17.13	21.42	41.59
4. ไม้ + (1ESO+1B), 175 °C, 5 hr.	13.72	15.90	20.68	34.43
5. ไม้ + (1ESO+1B), 190 °C, 3 hr.	8.65	13.85	18.19	29.65
6. ไม้ + (1ESO+1B), 190 °C, 5 hr.	5.27	10.81	15.25	22.38



รูปที่ 10 ทดสอบการดูดซับน้ำของชิ้นงาน



รูปที่ 11 ชิ้นงานผ่านการเคลือบโดยการอบอุณหภูมิและเวลาการอบต่างๆ แล้วแช่ชิ้นงานในน้ำเป็นเวลา 3 วัน a, b) ชิ้นงานที่ไม่มีการเคลือบผิวและเคลือบผิวด้วย 1A+1B c, d) เคลือบผิวด้วย 1ESO+1B อบที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส เวลา 3 และ 5 ชั่วโมง e, f) เคลือบผิวด้วย 1ESO+1B อบที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เวลา 3 และ 5 ชั่วโมง

### สรุปการทดลอง

น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์เมื่อผสมกับสารเชื่อมโยงโมเลกุลแล้วอบที่อุณหภูมิที่สูงกว่า 175 องศาเซลเซียส สามารถแข็งตัวได้ โดยพบว่าความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการอบสูงขึ้น ที่อัตราส่วน 1ESO+1B ให้ความแข็งสูงสุด 99.75 HA. เมื่ออบที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมง และการทดสอบความร้อนทำให้เห็นว่าที่อัตราส่วน 1ESO+1B มีการคลายพลังงานที่อุณหภูมิต่ำสุด 129.21 องศาเซลเซียส จึงเลือกอัตราส่วน 1ESO+1B เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานกับการเคลือบผิวไม้ โดยพบว่าอัตราการดูดซึมน้ำลดลง และในการนำ 1ESO+1B ไปเคลือบกับตะปูพบว่าสามารถป้องกันการเกิดสนิมที่ตะปูได้ดี โดยเมื่อ 1ESO และ 1B มาผสมกัน (1ESO+1B) ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเกิดการเชื่อมขวางโมเลกุล เกิดพอลิเมอร์แบบเทอร์โมเซตติง เมื่อนำมาเคลือบผิวจึงสามารถป้องกันความชื้นเข้าตัวชิ้นงานได้

### เอกสารอ้างอิง

พิมพ์ชนก ไสไทย, สุนันท์ จรเจนเกียรติ, วิชนิตา ชินผา และ วราภรณ์ ตันรัตน์กุล. (2550). การสังเคราะห์น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกซิไดซ์. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. (ฉบับพิเศษ): 583-589.

Basturk, E., Inan, T. and Gungor, A. (2013). Flame retardant UV-curable acrylated epoxidized soybean oil based organic-inorganic hybrid coating. *Progress in Organic Coatings* 76(6): 985-992.

Corcuera, M.A., Rueda, L., Fernandez, B., Marieta, C., Mondragon, I. and Eceiza, A. (2010). Microstructure and properties of poly urethanes derived from castor oil. *Polymer degradation and stability* 95(11): 2175-2184.

Galia, M., Espinosa, L.M., Rondo, J.C., Lligadas, G. and Cadiz, V. (2010). Vegetable oil-based thermosetting polymers. *European journal of lipid science and technology* 112(1): 87-96.

Gerbase, A.E., Petzhold, C.L. and Costa, A.P.O.J. (2002). Dynamic mechanical and thermal behavior of epoxy resins based on soybean oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 79(8): 797-802.

Petrie, E. (2005). *Epoxy Adhesive Formulations*: Mc Graw-Hill Professional.

Situ, Y., Hu, J., Huang, H., Fu, H., Zeng, H. and Chen, H. (2007). Synthesis, Properties and

- Application of a Novel Epoxidized Soybean Oil-toughened Phenolic Resin. *Chinese Journal of Chemical Engineering* 15(3): 418-423.
- Soo-Jin, P., Fan-Long, J. and Jea-Rock, L. (2004). Thermal and mechanical properties of tetra functional epoxy resin toughened with epoxidized soybean oil. *Materials science and Engineering: A* 374(1-2): 109-114.
- Soontornchai, S., Lertwisuttipaiboon, S. and Tosong, P. (2016). Bioplastic from Agricultural crop to health and Environment. *Journal of Health and Health management* 3(1): 24-36.
- Sudheer, K., Sushanta, K., Smita, M. and Sanjay, K. (2017). Recent Development of Biobased Epoxy Resins: A Review. *Polymer-Plastics Technology and Engineering* 57(3): 133-155.
- Xia, Y. and Larock, R.C. (2010). Vegetable oil-based polymeric materials: synthesis, properties, and applications. *Green Chemistry* 12(11): 1893-1909.
- Xujuan, H., Xinxin, Y., He, L., Shibin, S., Zhaosheng, C. and Kang, W. (2019). Bio-based thermosetting epoxy foams from epoxidized soybean oil and rosin with enhanced properties. *Industrial Crops & Products* 139(1): 1-9.
- Yee, B., Rosnitam, A., Khalina, A., Nyuk, L., Roseliza, K. and Khairul, F. (2016). Comparative Study of Chemical Mechanical, Thermal and Barrier properties of Poly (Lactic Acid) Plasticized with Epoxidized soybean oil and Epoxidized Palm oil. *Bio Resources* 11(1): 1518-1540.

