

## ผลของพอลิโออลจากน้ำมันข้าวโพดต่อสมบัติทางกายภาพของโฟมพอลิยูรีเทน

### The influence of corn oil polyol on the properties of polyurethane foam

ดวงฤทัย ศรีแดง<sup>1\*</sup> และ ปรานอม ขาวเมฆ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

\*E-mail: duangruthai.s@rsu.ac.th

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้เตรียมพอลิโออลธรรมชาติจากน้ำมันข้าวโพดเพื่อใช้เตรียมโฟมพอลิยูรีเทน โดยนำพอลิโออลจากน้ำมันข้าวโพด (0-20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ไปผสมกับพอลิโออลทางการค้าสำหรับเตรียมโฟมพอลิยูรีเทน เพื่อศึกษาผลของพอลิโออลจากน้ำมันข้าวโพดที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของโฟม วิเคราะห์หาเวลาในการเกิดปฏิกิริยา ความหนาแน่น ค่าความต้านทานต่อแรงกดและสัญญาณวิทยาของโฟม พิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ผลการทดลองพบว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณหมู่ไอโซไซยาเนตมีค่า 98.3-99.6 เปอร์เซ็นต์ การเติมพอลิโออลจากน้ำมันข้าวโพดลงในสูตรโฟมพอลิยูรีเทนไอโซไซยาเนตอินเด็กซ์ 100 มีผลให้ขนาดเซลล์โฟมเล็กลงและช่วยเพิ่มค่าความต้านทานต่อแรงกด

คำสำคัญ: โฟมพอลิยูรีเทน พอลิโออลธรรมชาติ น้ำมันข้าวโพด

#### Abstract

In this work, biopolyol obtained from corn oil was used for preparation of polyurethane foam. These prepared polyol (0-20 wt.% corn oil) was mixed with the commercial polyol to preparation of polyurethane foam, in order to investigate the influence of corn oil polyol on the physical property of foam. The reaction time of foam formation, apparent density, the compression strength and SEM micrograph of foams were determined. The synthesized polyurethane foams were characterized by FT-IR spectroscopy technique. The results show that the isocyanate conversion of polyurethane foams was 98.3-99.6%. Incorporation of corn oil polyol into formulation of polyurethane foam with the isocyanate index of 100 had beneficial impact on the structure of material reducing average cell size and increasing compressive strength.

Keywords: Polyurethane foam, biopolyol, corn oil



## 1. บทนำ

โพลีเอเธอร์โพลีเอมีนที่มีสมบัติในการเป็นฉนวนความร้อนได้ดี สามารถกันเสียง และกันการรั่วซึมได้อย่างดีเยี่ยม ทนต่อแรงกดอัด ไม่ลามไฟ นิยมนำมาใช้เป็นวัสดุบรรจุภัณฑ์เพื่อกันกระแทก ฉนวนกันความร้อนในตู้เย็น อาคารบ้านเรือน สามารถทำให้แข็งเหมือนไม้หรือนิ่มคล้ายฟองน้ำตามสภาพการใช้งาน โพลีเอเธอร์โพลีเอมีนเตรียมจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันแบบขั้น (stepwise reaction) โดยอาศัยกลไกการเติมหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งพันธะคู่ของไดไอโซไซยาเนต ทำให้ได้สายโซ่ของโพลีเอเธอร์โพลีเอมีน (-NH-COO-) สมบัติที่หลากหลายของโพลีเอเธอร์โพลีเอมีนขึ้นอยู่กับชนิดของสารตั้งต้นที่ใช้ทำปฏิกิริยา [1] สารตั้งต้นที่ใช้ได้แก่ ไดไอโซไซยาเนต และพอลิออลหรือไดออล ร่วมกับสารตั้งต้นที่สำคัญตัวอื่น คือ สารฟุ้ง (blowing agent) สารลดแรงตึงผิว (surfactant) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์โพลีเอเธอร์โพลีเอมีน ได้แก่ เทอเทียรีแอมีน เช่น เพนตะเมทิลไดเอทิลีนไตรแอมีน (pentamethyldiethylenetriamine, PMDETA) และไดเมทิลไซโคลเฮกซิลแอมีน (dimethylcyclohexylamine, DMCHA) ซึ่งช่วยเร่งปฏิกิริยาทั้งปฏิกิริยาการเกิดเจล (gelling reaction) และปฏิกิริยาการฟุ้ง (blowing reaction) ทำให้เนื้อโพลีเอมีนลักษณะเป็นรูพรุน โดยไอโซไซยาเนตจะนิยมใช้ชนิดอะโรมาติก ไดไอโซไซยาเนตมากกว่าอะลิฟาติกไดไอโซไซยาเนต เนื่องจากความเป็นพิษที่ต่ำกว่า และมีความไวต่อปฏิกิริยาที่มากกว่า ซึ่งอะโรมาติกไดไอโซไซยาเนตที่นิยม ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตโฟม ยาง และกาว ได้แก่ ของผสมระหว่าง 2,4- และ 2,6-โทลูอินไดไอโซไซยาเนต (TDI) หรือ 4,4-เมทิลีนบิสฟีนิลไดไอโซไซยาเนต (MDI) ส่วนพอลิออลนิยมใช้สารประกอบพอลิเอเธอร์ไฮดรอกซิล ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งปลาย โดยจะต้องพิจารณาถึงความยืดหยุ่นของโครงสร้างและค่าฟังก์ชันนอลิตี้ (functionality) ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระดับของการเกิดร่างแหภายในโมเลกุล ซึ่งจะควบคุมความแข็งและความยืดหยุ่นของโพลี โพลีเอเธอร์โพลีเอมีนแบบคงรูปต้องการโครงสร้างโมเลกุลที่แข็งตัว จะใช้พอลิออลที่มีระดับของการเกิดร่างแหที่สูง แต่สำหรับโพลีเอเธอร์โพลีเอมีนชนิดยืดหยุ่นต้องการพอลิออลที่มีระดับการเกิดร่างแหต่ำ พอลิออลส่วนใหญ่มีน้ำหนักโมเลกุลไม่สูงมากนัก เช่น พอลิเอเธอร์พอลิออล พอลิเอสเตอร์พอลิออล เพื่อไม่ให้ของผสมเหนียวเกินไป แม้พอลิออลที่ใช้ในปัจจุบันจะสามารถตอบสนองต่อความต้องการในการใช้ประโยชน์ของโพลีเอเธอร์โพลีเอมีนในรูปแบบต่างๆ ได้เป็นอย่างดี แต่จากกระแสความตื่นตัวในด้านสิ่งแวดล้อม ทำให้นักวิจัยจำนวนมากสนใจการสังเคราะห์พอลิเอเธอร์โพลีเอมีนจากวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ประกอบกับพอลิออลทางการค้าที่มีมาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีจึงทำให้มีราคาผันผวนตามวิกฤตราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้น จึงมีนักวิจัยจำนวนมากสนใจที่จะศึกษาการเตรียมโพลีเอเธอร์โพลีเอมีนชีวภาพ

พอลิออลจากน้ำมันพืชสามารถเตรียมได้จากการเติมหมู่ไฮดรอกซิลตรงตำแหน่งพันธะคู่ของน้ำมันพืชโดยมีวิธีเติมได้หลากหลายแบบเช่น ไฮโดรไลซิส [2] โอโซนไลซิส [3] ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันแล้วเปิดวงอีพอกไซด์ [4] เป็นต้น Simone A. Silval และคณะ [5] เตรียมโพลีเอเธอร์โพลีเอมีนแบบยืดหยุ่น โดยใช้ epoxy-hydroxyl ester corn oil polyol และ inorganic clay พบว่าโพลีเอเธอร์โพลีเอมีนที่เตรียมได้มีความยืดหยุ่นน้อย เนื่องจาก epoxy-hydroxyl ester corn oil polyol ทำให้โครงสร้างของโพลี rigid มากขึ้น มีอุณหภูมิคล้ายแก้ว (glass transition temperatures) สูงกว่าโพลีเอเธอร์โพลีเอมีนที่ใช้พอลิออลมาตรฐาน และพบว่า epoxy-hydroxyl ester corn oil polyol ทำให้โพลีเอเธอร์โพลีเอมีนที่เตรียมได้มีความต้านทานการกดต่ำกว่าโพลีเอมีนที่เตรียมจากพอลิออลมาตรฐาน แต่พบว่าการที่ภายในมีการเชื่อมขวางที่ดีโพลีเอเธอร์โพลีเอมีนที่ได้จึงทนความร้อนได้สูงขึ้น H. Aleksander และคณะ [6] ศึกษาผลของกลีเซอรอลและพอลิออลจากน้ำมันละหุ่งต่อโพลีเอเธอร์โพลีเอมีนโดยจะใส่พอลิออลน้ำมันละหุ่ง 0-70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักพบว่าเมื่อใส่พอลิออลจากน้ำมันละหุ่งจะทำให้ขนาดเซลล์โพลีเอมีนขนาดเล็กลง โพลีเอมีนมีความต้านทานต่อแรงกดสูงขึ้น งานวิจัยนี้จึงสนใจจะนำน้ำมันข้าวโพดซึ่งมีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย มีโครงสร้างทางเคมีที่เอื้อต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เนื่องจากมีพันธะคู่บนสายโซ่ทำให้สามารถดัดแปรเป็นพอลิออลสำหรับเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์โพลีเอเธอร์โพลีเอมีนซึ่งจะช่วยลดต้นทุน เป็นวัสดุหมุนเวียนจากธรรมชาติ และทำให้โพลีเอมีนเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น



## 2. วิธีการทดลอง

### 2.1 วัตถุดิบและสารเคมี

1. Polymeric 4,4'-methane diphenyl diisocyanate (PMDI, Suprasec<sup>®</sup> 5005, % NCO = 31.0 wt %, average functionality = 2.7)
2. Polyol (Daltolac<sup>®</sup> 180, sucrose-based polyether polyol, hydroxyl value = 440 mg of KOH/g, functionality = 4.3)
3. Polysiloxane surfactant (Tegostab<sup>®</sup> B8460)
4. *N,N*-dimethylcyclohexylamine (DMCHA)
5. น้ำมันข้าวโพด
6. 30%v/v Hydrogen peroxide
7. Formic acid
8. Sodium bicarbonate
9. Methanol
10. Anhydrous sodium sulfate

### 2.2 การตัดแปรโครงสร้างของน้ำมันข้าวโพด

นำน้ำมันข้าวโพด 50 กรัม กรดฟอร์มิก 29 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนรวมกัน 250 มิลลิลิตร ค่อย ๆ เติม 30%v/v ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 11.5 มิลลิลิตร รีฟลักซ์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร รีฟลักซ์ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำมาแยกด้วยกรวยแยก นำชั้นน้ำมันมาล้างด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต และกำจัดน้ำที่เหลือด้วยแอนไฮดรัสโซเดียมซัลเฟต

### 2.3 การสังเคราะห์โฟมพอลิยูรีเทน

การเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนจะมีองค์ประกอบหลัก 2 ส่วน ข้อมูลดังตารางที่ 1 ส่วนแรกจะประกอบด้วยพอลิโอล (Daltolac<sup>®</sup>180) หรือพอลิโอลผสมน้ำมันข้าวโพดตัดแปร 10 กรัม กับตัวเร่งปฏิกิริยา (DMCHA) 0.1 กรัม สารลดแรงตึงผิว (Tegostab<sup>®</sup> B8460) 0.25 กรัม น้ำ 0.3 กรัม นำของผสมที่ได้กวนด้วยเครื่องกวนแบบกลที่ความเร็ว 2000 rpm เป็นเวลา 10 วินาที จากนั้นเติมองค์ประกอบหลักส่วนที่สองคือไดฟีนิลมีเทนไดไอโซไซยาเนต (Suprasec<sup>®</sup> 5005) ปริมาณที่ใช้สำหรับเตรียม ดัชนีไอโซไซยาเนต 100 (NCO index) คือ 15.2 กรัม และปริมาณที่ใช้สำหรับเตรียม ดัชนีไอโซไซยาเนต 130 (NCO index) คือ 19.7 กรัม กวนด้วยเครื่องกวนแบบกลที่ความเร็ว 2000 rpm เป็นเวลา 20 วินาที บันทึกเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเป็นพอลิยูรีเทนโฟมดังนี้ คือ เวลาที่สารผสมเป็นเนื้อครีม (cream time) เวลาที่สารผสมเป็นเจล (gel time) เวลาที่โฟมหยุดฟู (rise time) และเวลาที่โฟมไม่เกาะติดกับผิววัสดุ (tack-free time) เก็บโฟมพอลิยูรีเทนไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำโฟมที่ได้มาตัดเพื่อวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นตาม ASTM D1622-03 พิสูจน์เอกลักษณ์โฟมพอลิยูรีเทนด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR) รุ่น Perkin Elmer Spectra 100 ค่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณหมู่ไอโซไซยาเนตสามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ใต้พีคไอโซไซยาเนตที่เวลา  $t$  ต่อพื้นที่ใต้พีคไอโซไซยาเนตที่เวลาเริ่มต้น ซึ่งแสดงดังสมการ [7]

$$\text{Isocyanate conversion} = \left[ 1 - \frac{\text{NCO}(f)}{\text{NCO}(i)} \right] \times 100$$

เมื่อ NCO(f) คือ พื้นที่ใต้พีคไอโซไซยาเนตที่เวลา  $t$ , NCO(i) คือ พื้นที่ใต้พีคไอโซไซยาเนตที่เวลาเริ่มต้น, ปริมาณหมู่ไอโซไซยาเนตอิสระพิจารณาได้จากหมู่แอมโรมาติกซึ่งเกิดการดูดซับที่  $1,595 \text{ cm}^{-1}$



ตารางที่ 1 ตัวอย่างและปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้เตรียมโฟมพอลิยูรีเทน

สารตั้งต้น	PU100	PU100C1	PU100C2	PU130	PU130C1	PU130C1
Polyether polyol (Daltolac <sup>®</sup> 180) (g)	10	9	8	10	9	8
น้ำมันข้าวโพด (g)	0	1	2	0	1	2
Catalysts (DMCHA) (g)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Surfactant (Tegotab B <sup>®</sup> 8460) (g)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Blowing agent (water) (g)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
PMDI (Suprasec <sup>®</sup> 5005) (g)	15.2	15.2	15.2	19.7	19.7	19.7

#### 2.4 การวิเคราะห์ความต้านทานต่อแรงกด

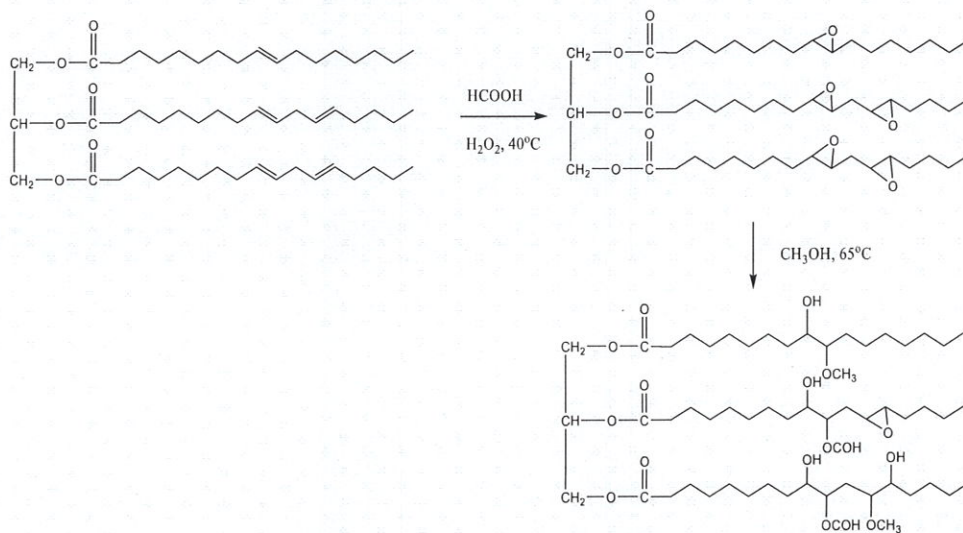
เตรียมสารผสมวิธีเดียวกับการขึ้นรูปในถ้วยกระดาษ แล้วเทสารผสมลงในแม่พิมพ์พลาสติกขนาด 10×10×10 เซนติเมตร รอจนการเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ เก็บโฟมพอลิยูรีเทนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำไปตัดด้วยเครื่องตัดโฟม นำชิ้นงานมาวิเคราะห์ความต้านทานต่อแรงกด (compressive strength; ASTM D1621-04) ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (Lloyd/LRX)

#### 2.5 การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของโฟมพอลิยูรีเทน

การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของโฟมตัวอย่าง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด JEOL JSM-5800 LV Scanning Electron Microscope (SEM) ที่ความต่างศักย์เร่ง 15 kV โดยเตรียมตัวอย่างหนา 1.0 nm และเคลือบด้วยทอง

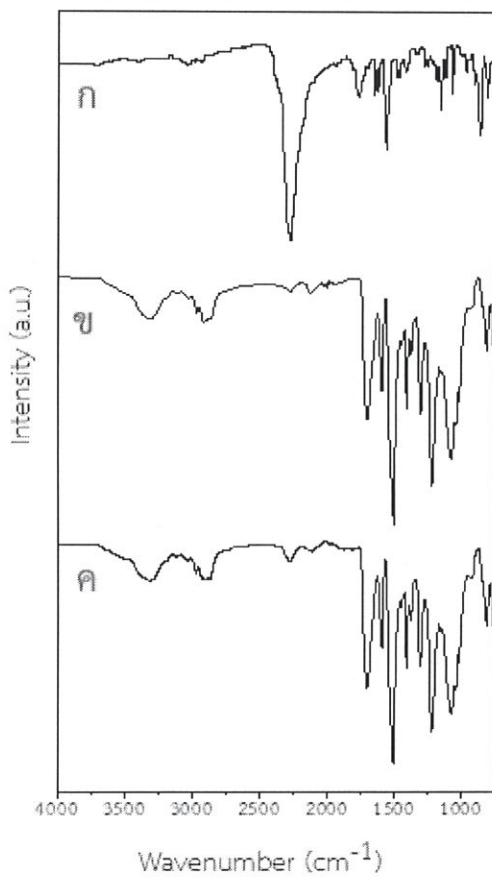
### 3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

เมื่อนำน้ำมันข้าวโพดมาทำปฏิกิริยาออกซิเดชันและเปิดวงโดยการไฮโดรไลซิสร่วมกับการใช้เมทานอลพบว่าจะทำให้ไขมันมีสีเหลืองเข้มขึ้น และเมื่อนำน้ำมันที่เตรียมได้ไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วย FT-IR พบพีค O-H stretching ที่ 3,370  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นหมู่หลักที่ต่างจากสารตั้งต้น C-H stretching และ methoxyl group ที่ 2,920  $\text{cm}^{-1}$  2,850  $\text{cm}^{-1}$  และ C=O stretching ที่ 1,732  $\text{cm}^{-1}$

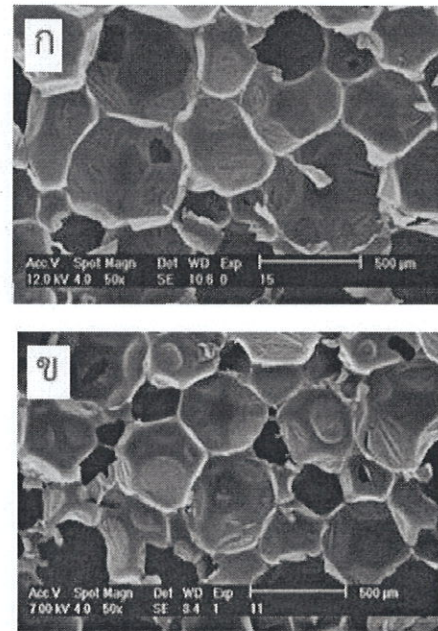


ภาพที่ 1 การตัดแปรรูปโครงสร้างน้ำมันข้าวโพด

เมื่อทำการสังเคราะห์โฟมพอลิยูรีเทนโดยใช้พอลิออลทางการค้าที่ไอโซไซยาเนตอินเด็กซ์ 100 (PU100) ไอโซไซยาเนตอินเด็กซ์ 130 (PU130) พบว่าเนื้อโฟมมีสีเหลืองอ่อน เนื้อละเอียดเนียน ผิวหน้าเรียบ มีรูพรุนสม่ำเสมอ คงรูปดีไม่เกิดการหดตัว โดยโฟมพอลิยูรีเทนไอโซไซยาเนตอินเด็กซ์ 100 เนื้อจะนิ่มกว่า เมื่อกดจะยุบตัวลงเล็กน้อย สำหรับโฟมพอลิยูรีเทนไอโซไซยาเนตอินเด็กซ์ 130 เมื่อกดจะแข็งไม่ยุบตัว และเมื่อสังเคราะห์โฟมพอลิยูรีเทนโดยการผสมน้ำมันข้าวโพดตัดแปร 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (PU100C1 PU100C2 PU130C1 PU130C2) กับพอลิออลมาตรฐาน พบว่าทั้งโฟมพอลิยูรีเทนไอโซไซยาเนตอินเด็กซ์ 100 และไอโซไซยาเนตอินเด็กซ์ 130 จะมีเนื้อเนียนละเอียด คงรูปได้ดี รูพรุนสม่ำเสมอ โฟมทุกสูตรเมื่อทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ ไม่เกิดการหดตัว พิสูจน์เอกลักษณ์ของโฟมโดยใช้เทคนิค FTIR spectroscopy แสดงดังภาพที่ 2 พบพีค N-H stretching ที่  $3420-3445\text{ cm}^{-1}$  และ C=O stretching ที่  $1710-1727\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นพีคที่แสดงหมู่ฟังก์ชันหลักของยูรีเทน และพบว่ามีพีคที่  $2277\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นพีคแสดงหมู่ฟังก์ชันหลักของไอโซไซยาเนตมีความเข้ม (intensity) ลดลง



ภาพที่ 2 FT-IR สเปกตรัมของ (ก) พอลิเมอร์ไดฟีนิลมีเทนไดไอโซไซยาเนต (ข) PU100 (ค) PU100C2



ภาพที่ 3 SEM โฟมพอลิยูรีเทน  
(ก) PU100 (ข) PU100C2

จากการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของโฟมด้วยเทคนิค SEM ดังภาพที่ 3 พบว่าโครงสร้างของเซลล์โฟมพอลิยูรีเทนที่ใช้พอลิออลผสมน้ำมันข้าวโพดตัดแปรจะมีขนาดเล็กกว่าเซลล์โฟมพอลิยูรีเทนที่ใช้พอลิออลทางการค้า น่าจะเกิดจากโครงสร้างของพอลิออลจากน้ำมันข้าวโพดมีสายโซ่สั้นกว่าพอลิออลทางการค้า ทำให้เกิดการเชื่อมขวางภายในโครงสร้างของโฟมสูงขึ้น โฟมพุดตัวได้น้อยลง เซลล์โฟมมีขนาดเล็กลง



ตารางที่ 1 เวลาที่ใช้ในการเกิดโฟม %NCO conversion และ ความหนาแน่นของโฟมพอลิยูรีเทน

ชนิดของโฟมพอลิยูรีเทน	Cream time (sec)	Gel time (sec)	Rise time (sec)	Tack free time (sec)	NCO conversion (%)	PIR/PUR	ความหนาแน่น (g/cm <sup>3</sup> )
PU100(ref)	25±0	32±0	128±1	170±2	99.6	0.18	39.50±0.38
PU100C1	35±0	48±0	198±0	340±0	99.2	0.19	41.76±0.41
PU100C2	40±0	52±0	221±0	376±0	99.4	0.19	42.91±0.23
PU130(ref)	38±0	44±1	158±0	140±2	98.7	0.24	44.19±0.44
PU130C1	42±0	49±1	253±0	168±2	98.9	0.21	42.43±0.26
PU130C2	34±0	40±1	218±0	394±2	98.3	0.20	42.12±0.15

จากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณหมู่ไอโซไซยานต (NCO conversion, %) มีค่าประมาณ 98.3-99.6 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าการใช้พอลิออลทางการค้าผสมพอลิออลจากน้ำมันข้าวโพดตัดแปรผสมกับพอลิออลทางการค้า ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของโฟมยังเกิดได้อย่างสมบูรณ์ และเมื่อศึกษาเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันจะเห็นว่า การใช้พอลิออลทางการค้าผสมพอลิออลจากน้ำมันข้าวโพดตัดแปรจะทำให้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาช้าลง ส่งผลให้โฟมพอลิยูรีเทนที่ได้มีความสูงลดลงแต่มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2 ค่าความต้านทานแรงกดของโฟมพอลิยูรีเทน

ชนิดของโฟมพอลิยูรีเทน	ค่าความต้านทานแรงกดในแนวขนานกับการฟู่ตัวของโฟม (kPa) (Parallel)	ค่าความต้านทานแรงกดในแนวตั้งฉากกับการฟู่ตัวของโฟม (kPa) (Perpendicular)
PU100(ref)	193	95
PU100C1	161	74
PU100C2	178	86
PU130(ref)	235	147
PU130C1	215	112
PU130C2	212	120

จากการศึกษาค่าความต้านทานต่อแรงกดของโฟมทั้งด้านที่ขนานกับการฟู่ตัวของโฟมและด้านที่ตั้งฉากกับแนวฟู่ตัวของโฟม พบว่าโฟมพอลิยูรีเทนไอโซไซยานตอินเด็กซ์ 100 เมื่อใช้พอลิออลทางการค้าจะมีค่าความต้านทานต่อแรงกดต่ำกว่าสังเคราะห์ด้วยพอลิออลตัดแปรด้วยน้ำมันข้าวโพด เนื่องจากพอลิออลจากน้ำมันข้าวโพดตัดแปรทำให้เซลล์โฟมมีขนาดเล็ก ความหนาแน่นของโฟมสูงขึ้น เกิดการเชื่อมขวางในโครงสร้างมากขึ้น ค่าความต้านทานต่อแรงกดจึงเพิ่มขึ้น แต่พบว่าโฟมพอลิยูรีเทนไอโซไซยานตอินเด็กซ์ 130 เมื่อผสมพอลิออลจากน้ำมันข้าวโพดส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานต่อแรงกดน้อยมากเพราะปริมาณหมู่ไอโซไซยานตที่มากเกินไปในสูตร ทำให้ภายในโครงสร้างของโฟมเกิดไตรเมอไรเซชันเป็นไอโซไซ



ยานูเรตซึ่งแข็งแรงอยู่แล้ว การเชื่อมขวางจากหมู่พอลิออลของน้ำมันข้าวโพดที่เกิดขึ้นในโครงสร้างจึงส่งผลต่อความต้านทานต่อแรงกดของโฟมไม่มาก

#### 4. บทสรุป

งานวิจัยนี้สังเคราะห์โฟมพอลิยูรีเทนจากพอลิออลทางการค้าเปรียบเทียบกับการใช้พอลิออลทางการค้าผสมน้ำมันข้าวโพดดัดแปร โดยเติมน้ำมันข้าวโพดดัดแปร 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันสมบูรณ์ดี เกิดโฟมที่เนื้อละเอียด คงรูปได้ดี โฟมพอลิยูรีเทนไอโซไซยานเตอินเด็กซ์ 100 ที่ใช้พอลิออลทางการค้าจะมีค่าความต้านทานต่อแรงกดต่ำกว่าสังเคราะห์ด้วยการใช้พอลิออลทางการค้าผสมน้ำมันข้าวโพดดัดแปร เนื่องจากน้ำมันข้าวโพดดัดแปรทำให้เซลล์โฟมมีขนาดเล็กลง แต่พบว่าโฟมพอลิยูรีเทนไอโซไซยานเตอินเด็กซ์ 130 มีค่าความต้านทานต่อแรงกดลดลงเล็กน้อย จึงเห็นได้ว่าโฟมพอลิยูรีเทนจากการใช้พอลิออลทางการค้าผสมน้ำมันข้าวโพดดัดแปรมีสมบัติที่ดีและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์สารเคมีจากบริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) [IRPC Public Company Limited] และภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Daniel, CF. Kurt. Handbook of polymeric foams and technology. Oxford University Press Publisher, Oxford, 1991.
- [2] Y. Guo, JH. Hardesty, VM. Mannari, JL. J. Massingill Jr. Hydrolysis of epoxidized soybean oil in the presence of phosphoric acid. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 84(2007) 929–935.
- [3] SN. Narine, J. Yue, X. Kong. Production of polyols from canola oil and their chemical identification and physical properties. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 84(2007) 173–179.
- [4] H. Dai, I. Yang, B. Lin. Synthesis and characterization of the different soy-based polyols by ring opening of epoxidized soybean oil with methanol, 1,2-ethanediol and 1,2-propanediol. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 86(2009) 261–267.
- [5] AS. Simone, PR. Luiz, VB. Ronilson, FZ. Epoxidized corn oil polyol-based composites polyurethane flexible foams, preparation, and characterization. *Ciência e Natura*, Santa Maria 41(2019) e44. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/2179460X39155>
- [6] A. Hejna, M. Kirpluks, P. Kosmela, U. Cabulis, J. Haponiuk, Ł. Piszczyk: The influence of crude glycerol and castor oil-based polyol on the structure and performance of rigid polyurethane-polyisocyanurate foams. *Industrial Crops and Products*. 95(2017) 113-125.
- [7] M. Modesti, A. Lorenzetti. An experimental method for evaluating isocyanate conversion and trimer formation in polyisocyanate-polyurethane foams. *European Polymer Journal*. 37(5)(2001) 949–954.