

## การศึกษาการผสมของยางอีพอกซีไดซ์กับฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ สำหรับเป็นกาวติดไม้

### Study on Hybrid Adhesive of Epoxidized Natural Rubber and Phenol- Formaldehyde as Wood Adhesive

วันชาติ ปรีชาดิวงศ์<sup>\*1</sup> วชระ ผลเจริญ<sup>1</sup> อาทิตยา ห่วงงาม<sup>1</sup> วิศนีย์ ยิ่งประเสริฐ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ อ.ท่าศาลา จ.นครศรีธรรมราช 80160

<sup>2</sup>คณะเทคโนโลยีและการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.เมือง จ.สุราษฎร์ธานี 84100

Wanchart Preechatiwong <sup>\*1</sup> Vatchara Poncharoen<sup>1</sup>, Artittaya Huang-Ngarm<sup>1</sup>, Wisanee Yingprasert <sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Engineering and Resources, Walailak University, Thasala, Nakhon Si Thammarat 80160

Tel : 0-7567-2308 E-mail: wanchart@yahoo.com

<sup>2</sup>Faculty of Technology and Management, Prince of Songkla University, Muang, Surat Thani 84100

Tel: 0-7735-5040 E-mail: k\_aticha@hotmail.com

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องนี้ศึกษาสมบัติความเป็นกาวของ กาวผสมระหว่างยางอีพอกซีไดซ์ (ENR-50) กับกาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ (กาว PF) ในสัดส่วนต่าง ๆ โดยทำการ อัดร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ยาง ENR มีสมบัติความเป็น กาวที่ดีต่อกวกาว PF ส่งผลให้ความแข็งแรงของกาว ผสมลดลงตามปริมาณของยาง ENR ที่เติมเข้าไป นอกจากนี้ยังพบว่าสัดส่วนของยาง ENR ที่มากขึ้นส่งผล ให้ความคงทนของกาวเมื่อนำไปแช่น้ำมีค่าลดลง ซึ่งเกิด จากการดูดซับน้ำของยาง ENR นอกจากนี้ยังได้มี การศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการอบสุกของกาวผสม โดย เพิ่มเวลาเป็น 30 นาที และ 40 นาที ผลปรากฏว่า การ เพิ่มเวลาไม่ผลทำให้ความแข็งแรงของกาวมีแนวโน้มลดลง โดยเฉพาะชิ้นตัวอย่างที่ผ่านการแช่น้ำ ซึ่งคาดว่าเกิดจาก การที่กาว PF เกิดการเสื่อมสภาพ หรือ overcure การศึกษาผิวของชิ้นตัวอย่างหลังทดสอบแสดงให้เห็นว่า กาว PF และยาง ENR ไม่ได้ผสมกันเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่ง สอดคล้องกับผลที่ได้จากเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) โดยที่ค่าอุณหภูมิคล้ายแก้ว ( $T_g$ ) ของยาง ENR-50 มีค่าคงที่ประมาณ -22 องศาเซลเซียส ไม่ขึ้นกับส่วนผสมของกาวที่ใช้

**คำหลัก** ยางอีพอกซีไดซ์ กาวฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ กาว ติดไม้

#### Abstract

This work studied blend of Epoxidized Natural Rubber (ENR-50) and Phenol-Formaldehyde (PF) as wood adhesive by compression molding at 150°C for 20 minutes. The results showed that adhesive blend having a higher content of ENR-50 has a lower adhesion strength, and also a lower durability of glue after water-immersion since ENR-50 can absorb water. Increasing cure time to 30 and 40 minutes has tendency to decrease the adhesive strength, especially in durability test. This may be due to over-curing of PF. Fractured surfaces showed that phase separation of ENR and PF occurred in the blend. DSC results also showed a constant glass transition temperature at -22°C that is not affected by composition of blend.

**Keywords:** Epoxidized natural rubber, phenol-formaldehyde, wood adhesive.

## 1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมไม้ กาวเป็นวัสดุที่ใช้ในปริมาณไม่มาก แต่มีราคาสูง ในปัจจุบัน กาวที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมไม้ ได้แก่ กาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ (PF) กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ และกาวไอโซไซยานาต งานวิจัยชิ้นนี้ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการผสมยางอีพอกซีไดซ์ (Epoxidized Natural Rubber, ENR) กับกาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ในการติดไม้ งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมของกาวผสมระหว่าง ยางอีพอกซีไดซ์ กับ กาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ โดยจะคุณสมบัติเชิงกลของกาวผสม และไม้ที่ติดด้วยกาวผสมนี้

กาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ได้มีการนำมาใช้ในการติดไม้อย่างแพร่หลาย โมเลกุลของกาวมีหมู่ไฮดรอกไซด์ซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของเซลลูโลสในไม้ได้ นอกจากนี้เนื้อกาวยังสามารถเกิด mechanical interlocking กับไม้ ซึ่งเป็นกลไกการเสริมการติดกัน [1] โดยที่กาว PF จะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นเจลแล้วกลายเป็นของแข็ง รวมทั้งสามารถเกิดการเชื่อมโยง (crosslinking) ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส [2] นอกจากนี้กาว PF เป็นกาวที่ไม่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ทำให้มีความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพจากความร้อนได้ดี นอกจากนี้ยังต้านทานต่อการกัดกร่อนของสารอินทรีย์ต่าง ๆ ได้ดี แต่เนื่องจากกาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์มีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นหากสามารถนำกาชนิดอื่นที่มีราคาต่ำกว่ามาผสม โดยที่สมบัติไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก น่าจะส่งผลดีต่ออุตสาหกรรมกาว

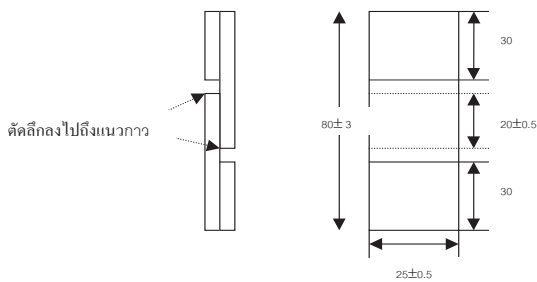
ยางอีพอกซีไดซ์เป็นยางอนุพันธ์ของยางธรรมชาติ โดยมีการเติมหมู่ไฮดรอกไซด์ลงไปในสายโซ่พอลิเมอร์ [3] โดยทั่วไปจะมีการเติมหมู่ดังกล่าวลงไปร้อยละ 25 หรือร้อยละ 50 โดยจะเรียก ENR-25 และ ENR-50 ตามลำดับ โดยที่ยางทั้งสองมีค่าอุณหภูมิคล้ายแก้ว (glass transition temperature,  $T_g$ ) ประมาณ  $-45$  และ  $-20$  องศาเซลเซียสตามลำดับ เนื่องจากมีการเติมหมู่ไฮดรอกไซด์ไปแบบสุ่ม ทำให้ยางที่ได้มีโครงสร้างแบบโคพอลิเมอร์แบบสุ่ม ซึ่งสามารถตกผลึกได้ภายใต้ความเครียด (strain-induced crystallization) เช่นเดียวกับยางธรรมชาติ [4] ยาง ENR-50 มีความสามารถในการติดสูงกว่ายาง ENR-25 เนื่องจากยาง ENR-50 มีปริมาณหมู่ไฮดรอกไซด์ซึ่งมีซ้ำในปริมาณที่มากกว่า ENR-25

จากการศึกษาการผสมระหว่าง PF และกาวไอโซไซนาต [5] พบว่ากาวผสมสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ โดยที่สมบัติเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ดังนั้นการผสมยาง ENR-50 ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของยางพารา ลงไปในกาว PF น่าจะส่งผลในการลดต้นทุนได้ เนื่องจากยาง ENR-50 มีค่า solubility parameter ใกล้เคียงกับกาว PF ซึ่งแสดงว่าสารทั้งสองจะผสมเข้ากันได้ นอกจากนี้ หมู่ไฮดรอกไซด์ในยาง ENR-50 สามารถเกิดปฏิกิริยาเปิดวงแหวน (ring opening) และอาจเกิดปฏิกิริยากับกาว PF ได้ ทำให้มีความแข็งแรงในระดับหนึ่ง หากสารทั้งสองสามารถนำมาผสมกันโดยที่ค่าความแข็งแรงไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ก็จะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับอุตสาหกรรมยางพาราของประเทศได้ สาเหตุอีกประการหนึ่งก็คือ กาว PF มีการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ ซึ่งเป็นสารอันตราย และประเทศในกลุ่มสหภาพยุโรปมีการกำหนดมาตรฐานของการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ในระดับที่ต่ำ การผสมกาว PF กับยาง ENR น่าจะลดการปลดปล่อยฟอร์มัลดีไฮด์ให้อยู่ในระดับที่ต่ำลงได้

## 2. วิธีการวิจัย

กาว PF ได้จากบริษัท Dynea ประเทศสิงคโปร์ และใช้เวลาในการสุกตัว 6-7 นาทีที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส และยาง ENR-50 ถูกนำมาผสมกับ dicumyl peroxide ปริมาณ 2 phr ด้วยเครื่องบดแบบสองลูกกลิ้ง (two-roll mill) และใช้เวลาในการสุกตัวประมาณ 40 นาทีสำหรับกาวผสม จะใช้ ENR ละลายในโทลูอีนในสัดส่วน 1:5 (weight: volume) และคนเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อให้ได้สารละลายเนื้อเดียว โดยผสมกาว PF:ENR ในสัดส่วน 20:80, 40:60, 60:40 และ 80:20

สำหรับชิ้นไม้ยางพาราตัวอย่างมีขนาดกว้าง  $25 \pm 0.5$  มิลลิเมตร ยาว  $80 \pm 3$  มิลลิเมตร และหนา  $2.5 \pm 0.5$  มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ISO 6237: 2003 โดยที่ชิ้นตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 1 [6] เมื่อเตรียมชิ้นตัวอย่างเสร็จ จะมีการปรับความชื้นให้เท่ากันโดยนำเข้าห้องควบคุมความชื้นที่มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน เมื่อทำการทดสอบด้วยการดึงด้วยอัตราคงที่ 1 มิลลิเมตรต่อนาที และหา ค่าความเค้นเฉือนสูงสุด (maximum shear stress)



รูปที่ 1 ชิ้นตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบการติดกา

ในการทดสอบความคงทนของกาโดยการแช่น้ำ ได้มีการนำชิ้นตัวอย่างมาแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นปรับสภาวะที่อุณหภูมิห้องภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85-95 อีก 72 ชั่วโมง แล้วนำไปปรับสภาวะที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ  $65 \pm 5$  อุณหภูมิ  $23 \pm 2$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน หลังจากทำการทดสอบความเค้นเฉือน ผิวของชิ้นตัวอย่างจะถูกนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง เพื่อดูพฤติกรรมการล้มเหลวของกา

### 3. ผลการวิจัยและการอภิปราย

#### 3.1 ผลของอัตราส่วนระหว่าง ENR:PF ต่อความแข็งแรงของกา

1) กา PF ชิ้นตัวอย่างมีความแข็งแรงสูงมาก และมีกาส่วนเกินอยู่ตามขอบของชิ้นตัวอย่าง เนื้อกามีสีน้ำตาลเข้ม เมื่อนำไปทดสอบความแข็งแรงของกา จะไม่เกิดการลื่นของชิ้นตัวอย่าง เมื่อดึงชิ้นตัวอย่าง จะทำให้ชิ้นตัวอย่างเกิดการแตกหัก

2) PF:ENR = 80: 20 เป็นตัวอย่างที่มี ENR เพียงร้อยละ 20 ลักษณะชิ้นตัวอย่างมีความแข็งแรงค่อนข้างสูง ในขณะทดสอบไม่เกิดการลื่น

3) PF : ENR = 60: 40 เนื้อกามีสีน้ำตาลแดง และเมื่อนำไปดึง เมื่อแรงถึงผ่านจุดสูงสุด แรงจะลดลงอย่างรวดเร็ว

4) PF: ENR = 40: 60 เป็นชิ้นตัวอย่างที่มียาง ENR ในสัดส่วนที่สูงกว่ากา PF ความแข็งแรงของกาไม่สูงมาก ดังนั้นต้องใช้ความระมัดระวังในการยึดชิ้นตัวอย่างกับที่จับ

5) PF: ENR = 20: 80 ชิ้นตัวอย่างมีความแข็งแรงไม่มาก และเนื้อกาไม่ค่อยแข็งตัว มีลักษณะ soft และ elastic เพราะมีเนื้อกา PF เพียงร้อยละ 20 เท่านั้น คาดว่าค่าความเค้นเฉือนสูงสุดคงไม่สูงมากนัก

6) ENR ความแข็งแรงค่อนข้างน้อย และเวลาทดสอบพบว่าเกิดการลื่น และให้ค่าความแข็งแรงที่ต่ำ ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดดังแสดงในตารางที่ 1

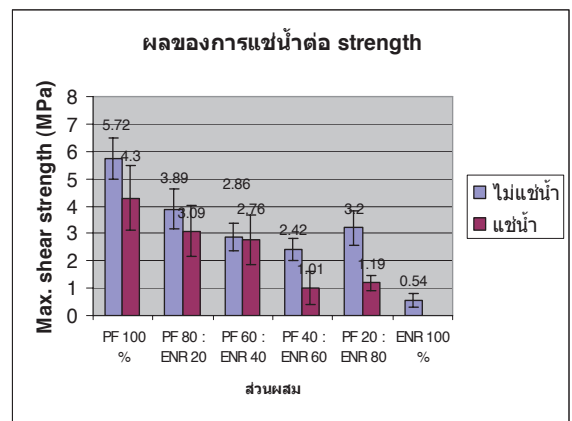
ตารางที่ 1 ค่าความแข็งแรงของกาผสม

| ส่วนผสม        | Maximum shear stress (MPa) | ค่าที่ทำนายจาก rule of mixture |
|----------------|----------------------------|--------------------------------|
| PF             | $5.72 \pm 0.75$            |                                |
| PF:ENR = 80:20 | $3.89 \pm 0.74$            | 4.68                           |
| PF:ENR = 60:40 | $2.86 \pm 0.50$            | 3.65                           |
| PF:ENR = 40:60 | $2.42 \pm 0.41$            | 2.61                           |
| PF:ENR = 20:80 | $3.20 \pm 0.61$            | 1.58                           |
| ENR            | $0.54 \pm 0.25$            |                                |

จะเห็นได้ว่ายาง ENR มีค่าความแข็งแรงที่ต่ำกว่ากา PF เมื่อมีการผสมยาง ENR ลงไปในสัดส่วนที่มากขึ้น ค่าความแข็งแรงของกาผสมลดลงอย่างต่อเนื่อง

#### 3.2 การทดสอบความคงทนของกาโดยการแช่น้ำ

เมื่อนำกาไปแช่น้ำ ค่าความแข็งแรงของกาจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในรูปที่ 2 ในกรณีของ ยาง ENR เมื่อนำชิ้น ตัวอย่างไปแช่น้ำ ชิ้นไม่จะหลุดจากกัน ทำให้ค่าความแข็งแรงเป็นศูนย์

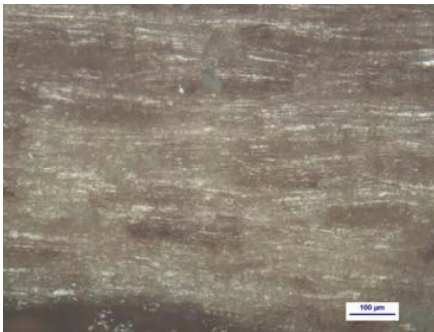


รูปที่ 2 ค่าความแข็งแรงของกาทั้งก่อนแช่น้ำและหลังแช่น้ำ

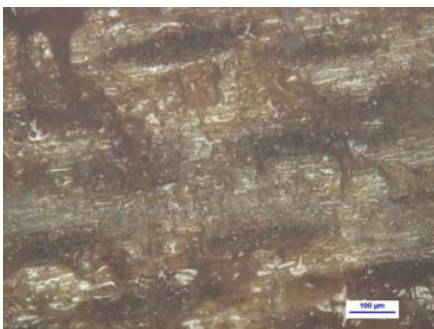
โดยทางด้านซ้ายมือเป็นค่าความแข็งแรงของชั้นตัวอย่างที่ไม่แช่น้ำ ส่วนด้านขวามือเป็นชั้นตัวอย่างที่แช่น้ำแล้ว ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่า กาว ENR ไม่เหมาะที่จะใช้งานในสภาพที่มีความชื้นสูง เนื่องจากความมีชื้นของยาง ENR ทำให้เกิดการดูดซับน้ำในปริมาณสูง

### 3.3 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์

จากการศึกษาบริเวณที่เกิดการล้มเหลว (failure locus) ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง พบว่าชั้นตัวอย่างเกิดการล้มเหลวแบบ cohesive failure ในเนื้อกาว ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่าเนื้อกาวเป็นบริเวณที่มีความแข็งแรงต่ำที่สุด และโดยเฉพาะอย่างยิ่งชั้นตัวอย่างที่ผ่านการแช่น้ำ พบว่ายาง ENR เกิดการบวมตัวซึ่งเห็นชัดมากด้วยกล้องจุลทรรศน์ ตัวอย่างภาพของชั้นตัวอย่าง PF:ENR=80:20 ทั้งก่อนและหลังแช่น้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3



(ก) ก่อนแช่น้ำ

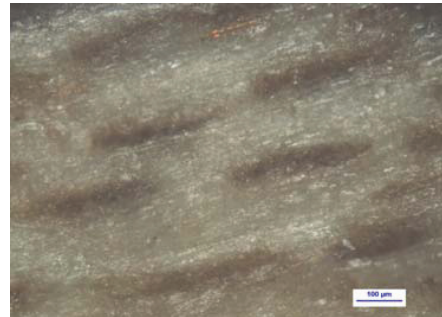


(ข) หลังแช่น้ำ

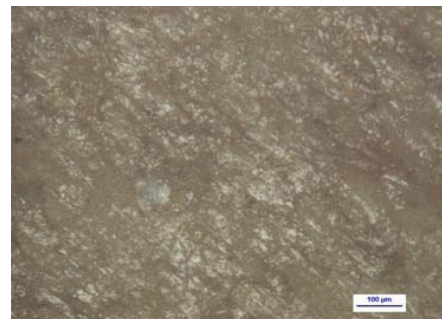
รูปที่ 3 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ของกาว PF:ENR = 80:20

จากภาพทั้งสองจะเห็นได้ว่าเมื่อนำชั้นตัวอย่างไปแช่

น้ำ ส่วนของ ENR ซึ่งดูดซับน้ำจะเกิดการบวม และมองเห็นเป็นลักษณะเจลดั้งแสดงในรูปที่ 3 (ข) สำหรับชั้นตัวอย่างที่มีสัดส่วนของ ENR สูงขึ้น เช่น PF:ENR = 40:60 การบวมตัวของ ENR จะเห็นได้ชัดเจนขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4



(ก) ก่อนแช่น้ำ



(ข) หลังแช่น้ำ

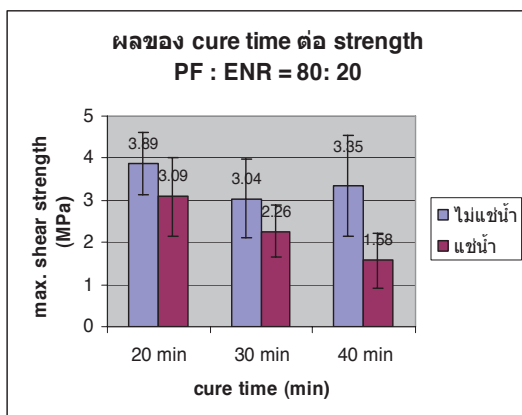
รูปที่ 4 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ของกาว PF:ENR = 40:60

ในรูปที่ 4 (ข) จะเห็นได้ชัดเจนว่าลักษณะที่มีสีเหลืองใสเหมือนเจลซึ่งเป็นส่วนของ ENR จะมีลักษณะที่ชัดเจนกว่ารูปที่ 3 (ข) ซึ่งมีปริมาณ ENR เพียงร้อยละ 20 ดังนั้นปริมาณยาง ENR ที่เพิ่มไม่มากนักจะส่งผลต่อความแข็งแรงโดยรวมของกาวผสม เนื่องจากยาง ENR เกิดการบวมตัว

### 3.4 ผลของเวลาที่ใช้ในการอบสุก (cure time) ต่อความแข็งแรงของกาวผสม

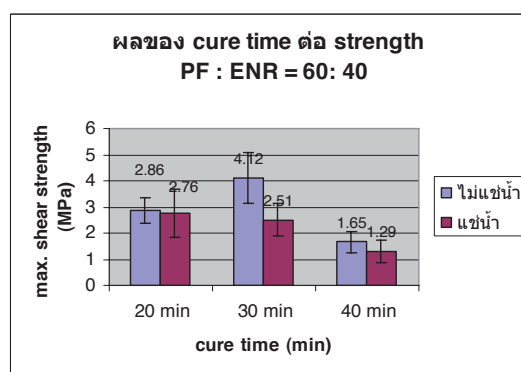
ในการทดลองที่ผ่านมา เวลาที่ใช้ในการอบสุกคือ 20 นาที เนื่องจากเป็นเวลาที่พอเหมาะสำหรับกาว PF แต่อย่างไรก็ตาม เวลาดังกล่าวไม่เพียงพอต่อการ

cure ยาง ENR เพราะในการทำให้ยาง ENR สุก ต้องใช้เวลาประมาณ 40 นาที ดังนั้นจึงได้ศึกษาส่วนผสม PF:ENR = 80:20 และ 60:40 มาศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการอบสุกต่อความแข็งแรงของกาว โดยเพิ่มเวลาที่ใช้ในการอบสุก เป็น 30 นาทีและ 40 นาที ตามลำดับ ผลปรากฏว่าความแข็งแรงของกาวไม่ได้เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสังเกตได้จากแท่งความ คลาดเคลื่อน (error bar) ที่มีขนาดกว้าง สำหรับ PF:ENR = 80:20 พบว่าค่าความเค้นเฉือนสูงสุดมีค่าเท่ากับ  $3.89 \pm 0.74$ ,  $3.04 \pm 0.94$  และ  $3.35 \pm 1.19$  MPa ตามลำดับ สำหรับกรณีที่ทำการอบสุกเป็นเวลา 40 นาที พบว่า เนื้อกาว PF มีลักษณะเปลี่ยนจากสีน้ำตาลอ่อนเป็นสีน้ำตาลเข้มและสีดำนี้อาจเกิดจากการไหม้ เพราะกาว PF ไม่สามารถอบสุก ณ อุณหภูมิดังกล่าวเป็นเวลานานได้ และผลของความคงทนของกาวหลังการแช่น้ำ พบว่าแนวโน้มของความแข็งแรงลดลงอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 5



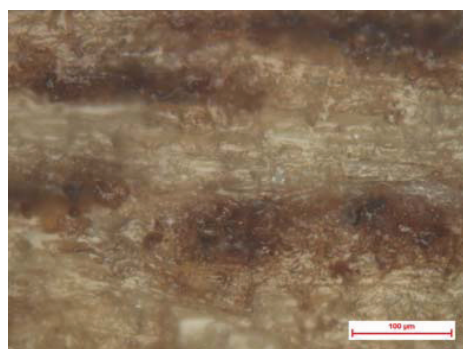
รูปที่ 5 ผลของเวลาที่ใช้ในการอบสุกต่อความแข็งแรงของกาวผสม PF:ENR =80:20

นอกจากนี้ กาว PF:ENR = 60:40 ยังให้ผลในลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 6

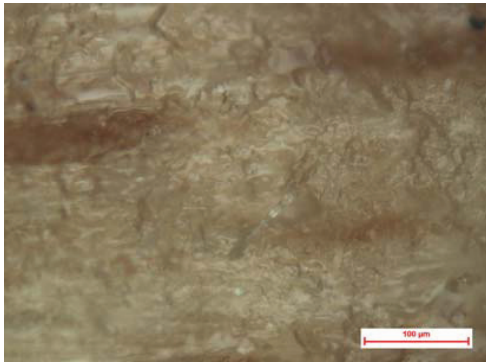


รูปที่ 6 ผลของเวลาที่ใช้ในการอบสุกต่อความแข็งแรงของกาวผสม PF:ENR =60:40

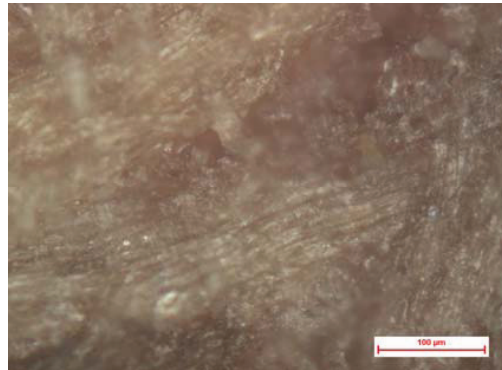
จะเห็นได้ว่า สำหรับสูตรกาว PF:ENR = 60:40 กรณีที่เวลาที่ใช้การอบสุกเป็น 30 นาที ค่าความแข็งแรงของกาวมีแนวโน้มสูงกว่าเมื่อเวลาที่ใช้การอบสุกเป็น 20 นาที ซึ่งน่าจะเป็นผลจากการเชื่อมขวางที่มากขึ้นของยาง ENR ทำให้ค่าความแข็งแรงโดยรวมดีขึ้น แต่เวลา 30 นาทีอาจจะทำให้กาว PF เริ่มเสื่อมสภาพบ้าง และที่เห็นได้ชัดคือ เมื่อเวลาที่ใช้เวลาในการอบสุกเป็น 40 นาที ค่าความแข็งแรงลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อนำชิ้นตัวอย่างไปแช่น้ำ พบว่าค่าความแข็งแรงของกาวมีค่าลดลง เนื่องจากยาง ENR ดูดน้ำและเกิดการบวมตัว และเมื่อนำชิ้นตัวอย่างของ PF:ENR = 60:40 ที่แต่ละเวลาที่ใช้ในการอบสุก ไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ ผลดังแสดงในรูปที่ 7



(ก่อนแช่)

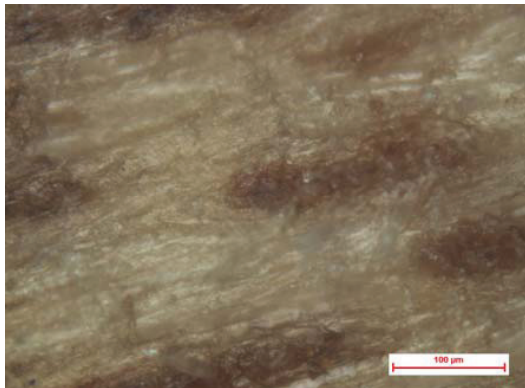


(หลังแช่)

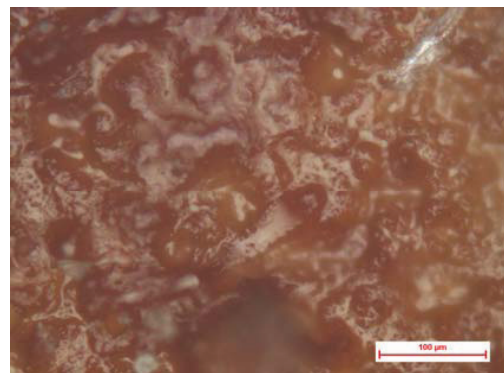


(ก่อนแช่)

- ก. เวลาที่ใช้ในการอบสุกเท่ากับ 20 นาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการแช่น้ำมีผลต่อการบวมตัวบ้าง



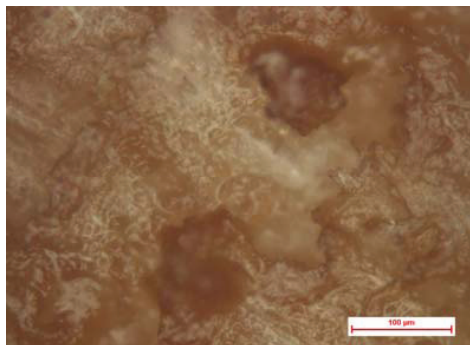
(ก่อนแช่)



(หลังแช่)

- ค. เวลาที่ใช้ในการอบสุกเท่ากับ 40 นาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการแช่น้ำทำให้เกิดการบวมตัวมาก

รูปที่ 7 ผลของเวลาที่ใช้ในการอบสุกของกาว PF:ENR = 60:40  
ต่อลักษณะของเนื้อกาว



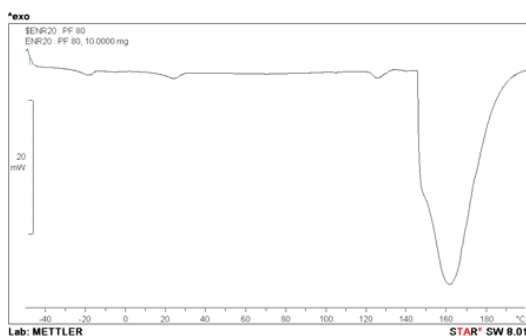
(หลังแช่)

- ข. เวลาที่ใช้ในการอบสุกเท่ากับ 30 นาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการแช่น้ำทำให้เกิดการบวมตัวมาก

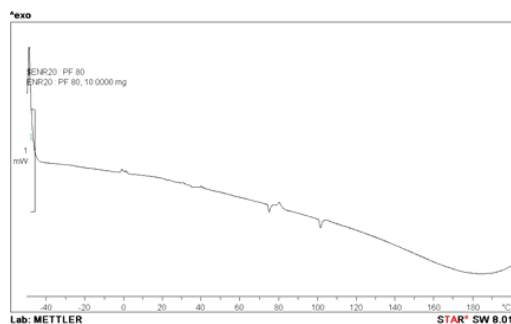
จะเห็นได้ว่าสำหรับเวลาที่ใช้ในการอบสุก 20 นาที กาวจะมีการบวมตัวไม่มาก เนื่องจากสภาวะการอบสุกยังอยู่ในระยะเวลาที่เหมาะสม แต่สำหรับเวลา 30 นาที กาวจะมีสีน้ำตาลเข้มมากขึ้น และมีการบวมตัวจากการแช่น้ำมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 7 (ข) สำหรับการอบสุกเป็นเวลา 40 นาที จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเนื้อกาวมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลเข้ม และเมื่อนำไปแช่น้ำ กาวเกิดการบวมตัวอย่างมาก ดังแสดงในรูปที่ 7 (ค) ซึ่งการบวมตัวที่มากจะทำให้ค่าความแข็งแรงของกาวต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับผลดังแสดงในรูปที่ 6 ดังนั้นในสภาวะการเตรียมกาวผสมในที่นี้ ปฏิกริยาเปิดวงแหวนของหมู่อีพอกไซด์ไม่น่าจะเกิดขึ้น และกาว PF กับ ยาง ENR อาจเกิดการแยก

### 3.5 ผลการหาอุณหภูมิคล้ายแก้ว

เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส การอบสุกยาง ENR เกิดขึ้นได้สมบูรณ์หรือไม่ ได้มีการนำกาวผสมสูตรต่าง ๆ มาทำการทดสอบด้วยเครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) โดยในการทดสอบครั้งแรก ได้ทำการทดลองในช่วงอุณหภูมิ -50 ถึง 200 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิสูงกว่า 160 องศาเซลเซียส เกิดปฏิกิริยาประเภทดูดความร้อนขนาดใหญ่ (รูปที่ 8 ก) ซึ่งเมื่อนำชิ้นตัวอย่างเดิมมาทำการทดสอบซ้ำ ผลปรากฏว่าพิก (peak) ดังกล่าวไม่ปรากฏในครั้งที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 8 (ข)



(ก)

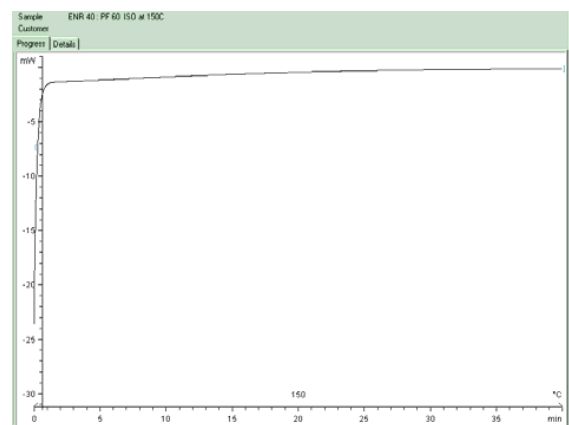


(ข)

รูปที่ 8 ผล DSC ของ PF:ENR= 80:20 (ก) สำหรับการทดสอบครั้งแรก และ (ข) สำหรับการทดสอบซ้ำ

การที่พิกดูดความร้อนไม่ปรากฏในการทดสอบซ้ำเป็นการแสดงให้เห็นว่าพิกดังกล่าวน่าจะเป็นพิกที่เกิดจากการเสื่อมสลาย (decomposition) ของกาว PF ในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว เพราะในขณะที่ทดสอบมีกลิ่นคล้ายกับสารเกิดการไหม้จากเครื่อง DSC จากผลที่ได้ดังกล่าวทำให้เกิดความสงสัยว่า มีความเป็นไปได้ที่พิก

ดังกล่าว อาจเป็นปฏิกิริยาเชื่อมขวาง (crosslinking) ของยาง ENR ที่ยังไม่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงได้มีการทดลองในช่วง -50 ถึง 150 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที แล้วให้อุณหภูมิคงที่ (isothermal) ที่ 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 40 นาที พบว่า ไม่เกิดพิกใด ๆ ตลอดระยะเวลา 40 นาที ดังแสดงในรูปที่ 9 ดังนั้น peak ที่เกิดในรูปที่ 8 (ก) ไม่ใช่ความร้อนที่คายออกจากปฏิกิริยาการเกิดการเชื่อมขวางของ ENR แต่น่าจะเป็นการเสื่อมสลายของ PF เพราะหากเป็นการเชื่อมขวางของ ENR ในการทำ isothermal ที่ 150 องศาเซลเซียส ก็น่าจะเห็นพิกดังกล่าวด้วยเช่นกัน



รูปที่ 9 DSC thermogram ของกาวผสมที่ทำ isothermal ที่ 150 °C เป็นเวลา 40 นาที

ได้มีการหาค่าอุณหภูมิคล้ายแก้ว ( $T_g$ ) ของยาง ENR ที่อยู่ในแต่ละส่วนผสมของกาว พบว่า ค่า  $T_g$  ของ ENR มีค่าค่อนข้างคงที่ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าอุณหภูมิคล้ายแก้วของ ENR

| ส่วนผสม ENR:PF | $T_g$ (onset) (°C) | $T_g$ (midpoint) (°C) |
|----------------|--------------------|-----------------------|
| 20:80          | -22.4              | -                     |
| 40:60          | -24.24             | -21.10                |
| 60:40          | -25.15             | -22.34                |
| 80:20          | -24.50             | -21.57                |

จากการที่  $T_g$  ของ ENR ไม่เปลี่ยนแปลงตามส่วนผสม แสดงให้เห็นว่ายาง ENR ไม่ได้เกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับกาว PF เพราะหากเกิดการผสมกัน ค่า  $T_g$  จะ

เลื่อนเข้าหาค่า  $T_g$  ของ PF เมื่อสัดส่วนของ PF สูงขึ้น Wu (2003) ได้มีการรายงานค่า  $T_g$  ของ PF = 85 องศาเซลเซียส [7] แต่ในงานวิจัยชิ้นนี้ ไม่พบ  $T_g$  ในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว

#### 4. สรุป

- 1) เมื่อมีการเติมยาง ENR-50 ลงไปในกาว PF พบว่าค่าความแข็งแรงของกาวลดลง เนื่องจากว่าความแข็งแรงของยาง ENR มีค่าต่ำกว่ากาว PF
- 2) เมื่อมีการนำขึ้นตัวอย่างไปแช่น้ำ พบว่าความแข็งแรงของกาวลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนผสมที่มียาง ENR ในสัดส่วนที่สูง เพราะยาง ENR สามารถดูดน้ำและเกิดการบวมตัว
- 3) การเพิ่ม cure time จาก 20 นาทีเป็น 30 นาทีและ 40 นาที ทำให้กาว PF เริ่มเกิด degradation มากขึ้น ซึ่งสังเกตจากสีของกาวที่เปลี่ยนเป็นสีเข้มขึ้นและดำในที่สุด
4. จากการศึกษาด้วยเครื่อง DSC พบว่ากาว PF และยาง ENR ไม่ได้เกิดการผสมกัน

#### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการวิจัยขนาดเล็กเรื่อง ยางพารา (SPR51) ของ สกว. ในการให้ทุนวิจัยในเรื่องนี้ (สัญญาเลขที่ RDG 5150052) และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่หน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมไม้ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ ในความช่วยเหลือด้านการเตรียมชิ้นตัวอย่าง และเครื่องมือทดสอบ

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] Schmidt, R.G. 1998. Aspects of Wood Adhesion: Application of  $^{13}\text{C}$  CP/MAS NMR and Fracture Testing. Ph.D. Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- [2] Zheng, J. 2001. Fundamental Studies of Phenol-Formaldehyde (PF) / Polymeric Diphenylmethane Diisocyanate (pDMI) Hybrid Adhesives. Ph.D. Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- [3] Gelling, I.R. 1991. Epoxidized Natural Rubber, J. Nat. Rubb. Res, 6: 184.

Thomas, A.G. 1983. Strain Crystallization in Random Copolymers Produced by Epoxidation of cis1,4-polyisoprene. Polymer, 24: 107.

- [5] Preechatiwong, W., Yingprasert, W., and Kyokong, B. 2007. Effects of Phenol formaldehyde / Isocyanate Hybrid Adhesives on Properties of Oriented Strand Lumber (OSL) from Rubberwood Wastes. Songklanakarin J. Sci. Technol., 29: 1367.
- [6] ISO Standard 6237: 1987. Adhesive: Wood-to-Wood Adhesive Bonds: Determination of shear strength by tensile loading.
- [7] Wu, C.F. 2003. Effects of Phenol Resin Additive on Dynamic Mechanical Properties of Acrylate Rubber and its Blends. Chinese J. Polym. Sci, 21, 483.