การเตรียมคอมโพสิตของพอลิยูรีเทนโฟมผสมเส้นใยปอ

Preparation of Jute/Polyurethane Foam Composites

ปิยวุฒิ มาศโค้ง*, ปิยพงศ์ บัวโฮม*, พงศ์ประพาส ปิยมโนชา*,
วุฒิพงษ์ รังษีสันติวานนท์** และ สุรัตน์ อารีรัตน์*

*ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการเตรียมคอมโพสิตของพอลิยูรีเทนโฟมผสมเส้นใยปอจากธรรมชาติที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และการปรับปรุงสมบัติด้วยวิธีทางกายภาพโดยการแช่เส้นใยปอในสารละลายเอทิลีนไกลคอลและสารละลายโพรพิลีนไกลคอล เพื่อปรับปรุงสมบัติการเปียกและการยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับคอมโพสิตโฟม โดยทำการเตรียมคอมโพสิตโฟมที่ผสมเส้นใยปอในช่วง 0 ถึง 15 phr กับพอลิยูรีเทนโฟมที่เตรียมจากการผสมพอลิออลทำปฏิกิริยากับไดฟีนิลมีเทนไดไอโซไซยาเนต ขึ้นรูปในแม่พิมพ์ที่อุณหภูมิ 60 ^{o}C จากนั้นนำตัวอย่างคอมโพสิตโฟมไปทดสอบความต้านแรงดัดงอและศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าการปรับปรุงผิวของเส้นใยปอด้วยวิธีทางเคมีและวิธีทางกายภาพมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่บริเวณอินเตอร์เฟสแตกต่างกัน การปรับปรุงสมบัติของเส้นใยปอทั้งสองวิธีสามารถช่วยเพิ่มการยึดเกาะระหว่างเส้นใยปอกับพอลิยูรีเทนเมทริกซ์ได้ดีขึ้น และจากผลการทดสอบสมบัติความต้านแรงดัดงอ พบว่าคอมโพสิตโฟมที่ผสมเส้นใยปอที่ปรับปรุงพื้นผิวสัมผัสให้เปียกด้วยเอทิลีนไกลคอล มีค่ามอดูลัสดัดงอต่อความหนาแน่นของโฟมดีมากมีค่าเท่ากับ 1530 MPa cm^3/g ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของชิ้นตัวอย่างคอมโพสิตโฟมที่เสียสภาพหลังจากผ่านการทดสอบสมบัติมอดูลัสดัดงอ โดยพบว่าเส้นใยปอมียึดเกาะกับพอลิยูรีเทนเมทริกซ์ได้ดี

คำสำคัญ : คอมโพสิตโฟม พอลิยูรีเทน เส้นใยธรรมชาติ

Abstract

In this paper presents the preparation of polyurethane composite foam mixed with natural jute fiber. The natural jute fibers were treated by using sodium hydroxide (NaOH) as a chemical surface treatment, and the physical surface treatment by immersed fiber into ethylene glycol and propylene glycol to improve the wetting surface and to enhance the interlocking behavior between fiber and polymer matrix. The composite foams were prepared by mixing jute fibers ranging from 0 to 15 phr with polyurethane which is taken place by the condensation reaction between polyol and diphenylmethane diisocyanate (MDI). Polyurethane composite foamed specimens were molded at temperature 60 ^{o}C. The mechanical property and foam morphology were investigated by universal tensile testing machine and scanning electron microscope (SEM), respectively. From SEM micrographs, the different surface treating methods resulted in different interfacial morphology. Both surface treatments could improve the interfacial bond strength. It was found that jute mixed Polyurethane composite foam by ethylene glycol surface treated has good mechanical properties when compared with others. As typical, the mechanical strength of composite foam is reported in term of the strength to weight ratio which in this work is the flexural modulus per foam density of polyurethane composite foam mixed with jute fiber is 1530 MPa cm^3/g. Moreover, the enhancement of ethylene glycol treating was confirmed by investigating the fragmental morphology of destructive specimens after flexural modulus testing with SEM. It was obviously illustrated interfacial with good adhesion with the Polyurethane matrix.

Keywords : composite foam, polyurethane, natural fiber

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

ปัจจุบันได้มีการศึกษา เพื่อพัฒนาปรับปรุงสมบัติของพอลิเมอร์คอมโพสิตอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะการนำเส้นใยธรรมชาติมาผสมเป็นวัสดุประกอบ ซึ่งได้รับความสนใจในการปรับปรุงสมบัติให้ดีขึ้น อย่างต่อเนื่อง [1-2] โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ที่เริ่มมีการประยุกต์ใช้เส้นใยธรรมชาติ เป็นวัตถุดิบร่วมในผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเส้นใยธรรมชาติมีสมบัติที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้เป็นวัตถุดิบ เพราะมีน้ำหนักเบา มีค่ามอดูลัสจำเพาะสูง เป็นวัตถุดิบที่มีราคาถูกและให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [3] ซึ่งในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ต้องมีการนำเส้นใยธรรมชาติมาผสมกับพอลิยูรีเทนโฟม เพื่อช่วยในขั้นตอนการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ โดยพอลิยูรีเทนเป็นพอลิเมอร์ที่เตรียมได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน แบบควบแน่นระหว่างหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ในโครงสร้างโมเลกุลของพอลิออลกับหมู่ไซยาเนต (-NCO) ในโครงสร้างโมเลกุลของไดไอโซไซยาเนต เกิดเป็นพอลิเมอร์ที่มีการเชื่อมต่อพันธะแบบยูรีเทนที่มีโครงสร้างพันธะที่แข็งแรง อีกทั้งสามารถขึ้นรูปเป็นโฟมมีความหนาแน่นต่ำ มีสมบัติทางกลที่ดีและทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี สามารถขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ได้ง่าย จึงนิยมนำมาผลิตเป็นชิ้นส่วนยานยนต์ และในขณะเกิดปฏิกิริยาเมื่อนำมาผสมกับเส้นใยธรรมชาติที่มีองค์ประกอบหลัก คือ เซลลูโลส ที่ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลเป็นจำนวนมาก [4] ทำให้สามารถทำปฏิกิริยา กับหมู่ไซยาเนตของไอโซไซยาเนต เกิดการเชื่อมต่อแบบพันธะยูรีเทน ที่บริเวณรอยต่อของพื้นผิว เป็นการเพิ่มการยึดเกาะระหว่างเส้นใยธรรมชาติกับพอลิยูรีเทนเมทริกซ์ให้ดีขึ้น ซึ่งความสามารถในการยึดเกาะกันระหว่างเส้นใยธรรมชาติกับพอลิเมอร์ จัดเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิต ดังนั้นการศึกษาเพื่อพัฒนากรรมวิธีการเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิตผสมเส้นใยธรรมชาติ ที่มีวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงสมบัติพื้นผิวของเส้นใย ที่ช่วยให้การยึดเกาะกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ดีขึ้น ทำให้สามารถนำเส้นใยจากธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีการเตรียมคอมโพสิตของพอลิยูรีเทนโฟมผสมเส้นใยปอธรรมชาติ เส้นใยปอที่ปรับปรุงสมบัติด้วยวิธีทางกายภาพโดยใช้สารละลายเอทิลีนไกลคอล (Ethylene glycol, EG) และสารละลายโพรพิลีนไกลคอล (Propylene glycol, PG) เพื่อปรับปรุงสมบัติการเปียกและการยึดเกาะทางกลระหว่างเส้นใยปอกับพอลิยูรีเทนเมทริกซ์เปรียบเทียบกับวิธีทางเคมีโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide, NaOH)

2. การทดลอง

2.1 วัสดุและสารเคมี

เส้นใยปอที่ใช้เป็นผลิตภัณฑ์เชือกปอของบริษัท เอ็นอีพีอสังหาริมทรัพย์และอุตสาหกรรม จำกัด (มหาชน) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 mm ความหนาแน่น 0.47 g/cm^3 ตัดให้มีความยาว 2.5 cm

พอลิยูรีเทนโฟมที่ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท บีเอเอสเอฟ รุ่น BASF ElastoFlex E 2016 ประกอบด้วยสารเคมี 2 ส่วน คือ พอลิออล และไดฟีนิลมีเทนไดไอโซไซยาเนต ผสมในอัตราส่วน 1:2 โดยน้ำหนัก

2.2 การปรับปรุงสมบัติของเส้นใย

2.2.1 การปรับปรุงสมบัติด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

การปรับปรุงสมบัติของเส้นใยปอ โดยแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิห้อง (28 $^{\circ}$C) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ด้วยสัดส่วนการแช่ (liquor ratio) 15:1 แล้วนำไปล้างด้วยน้ำ และอบที่ 105 $^{\circ}$C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

2.2.2 การปรับปรุงสมบัติด้วยเอทิลีนไกลคอลและโพรพิลีนไกลคอล

การปรับปรุงสมบัติของเส้นใยปอด้วย EG โดยการแช่ในสารละลาย EG ในเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วอบที่อุณหภูมิ 120 $^{\circ}$C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และการปรับปรุงสมบัติเส้นใยปอด้วย PG โดยการแช่ในสารละลาย PG ในเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยปริมาตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วอบที่อุณหภูมิ 105 $^{\circ}$C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การขึ้นรูปชิ้นงานคอมโพสิต

ผสมพอลิออลและไดไอโซไซยาเนต ด้วยเครื่องกวนผสมควบคุมความเร็วรอบที่ 1200 รอบ/นาที แล้วนำไปเทลงบนเส้นใยที่บรรจุในแม่พิมพ์ขนาด 420 mm x 298 mm x 5 mm ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 30 นาที ที่ปริมาณส่วนผสมเส้นใย 5, 10 และ 15 phr ตามลำดับ

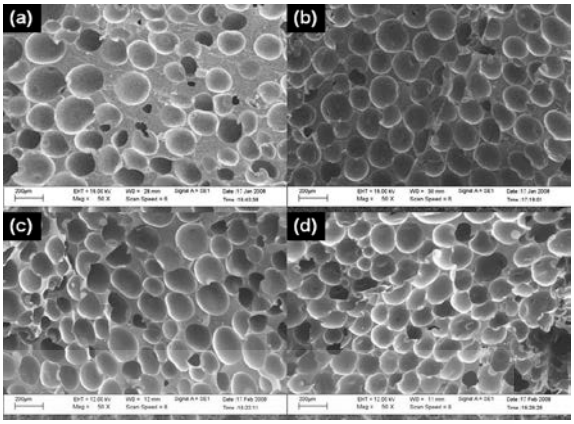
2.4 การทดสอบสมบัติของคอมโพสิตโฟม

นำตัวอย่างคอมโพสิตโฟมมาวัดค่าความหนาแน่นด้วยเครื่องวัดความหนาแน่นแบบอิเล็กทรอนิกส์ในหน่วย g/cm^3 และทดสอบสมบัติความต้านแรงดัดงอตามมาตรฐาน ASTM D 790M โดยเตรียมชิ้นตัวอย่างขนาด 125 mm x 13 mm x 5 mm สำหรับทดสอบความต้านแรงดัดงอและมอดูลัสดัดงอ ด้วยเครื่อง Instron Tensile Testing Machine Model 5500/USA จากนั้นนำตัวอย่างที่แตกหักจากการทดสอบความต้านแรงดัดงอไปศึกษาลักษณะการยึดเกาะระหว่างเส้นใยปอและพอลิยูรีเทนเมทริกซ์ที่บริเวณรอยแตกหักด้วยเครื่อง SEM

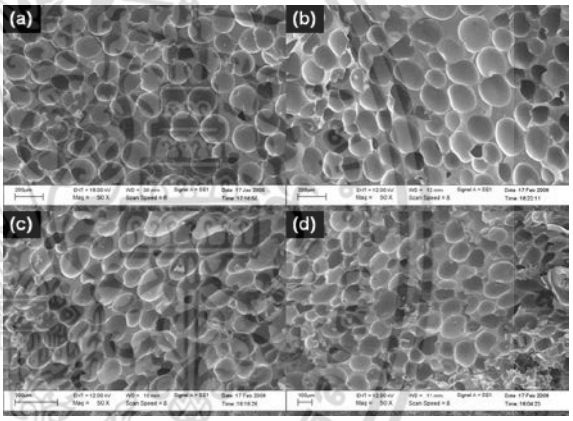
3. ผลการทดลองและการอภิปราย

3.1 ผลของการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยและปริมาณเส้นใยต่อสัณฐานวิทยาของคอมโพสิตโฟม

การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดย SEM เพื่อเปรียบเทียบขนาดเซลล์ของพอลิยูรีเทนโฟม จากตัวอย่างพอลิยูรีเทนคอมโพสิตที่ผสมเส้นใยปอธรรมชาติและเส้นใยปอที่ปรับปรุงสมบัติด้วยวิธีทางเคมีและกายภาพในอัตราส่วน 5 phr พบว่า พอลิยูรีเทนโฟมมีขนาดเซลล์เฉลี่ยใกล้เคียงกันในช่วง 170 - 190 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยปอไม่มีผลต่อขนาดเฉลี่ยของเซลล์โฟมในพอลิยูรีเทนเมทริกซ์ เนื่องจากการขยายตัวของพอลิยูรีเทนโฟมเป็นผลมาจากการเกิดฟองก๊าซขณะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์-ไรเซชั่นและการขยายตัวของฟองก๊าซเมื่อได้รับความร้อนจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในแม่พิมพ์รวมทั้งมีการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ 60 °C



รูปที่ 1 ขนาดของเซลล์โฟมของพอลิยูรีเทนคอมโพสิตที่ผสมด้วยเส้นใยปอ 5 phr โดยใช้เส้นใย
(a) เส้นใยปอธรรมชาติ (b) ปรับปรุงสมบัติด้วย NaOH
(c) ปรับปรุงสมบัติด้วย PG (d) ปรับปรุงสมบัติด้วย EG



รูปที่ 2 ผลของปริมาณเส้นใยปอที่ปรับปรุงสมบัติด้วย EG ต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิยูรีเทนคอมโพสิต
(a) ไม่ผสมเส้นใย (b) ผสมเส้นใยปอ 5 phr
(c) ผสมเส้นใยปอ 10 phr (d) ผสมเส้นใยปอ 15 phr

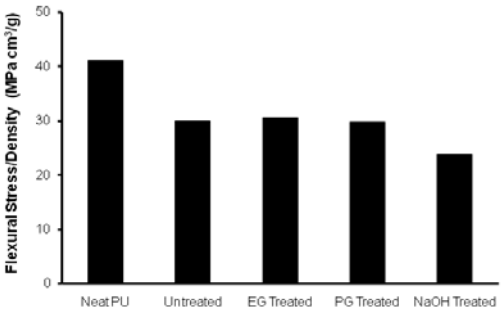
การศึกษาผลของอัตราส่วนปริมาณเส้นใยปอที่ผสมอยู่ในพอลิยูรีเทนโฟมคอมโพสิตที่มีต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิยูรีเทนโฟมคอมโพสิต โดยศึกษาการเติมเส้นใยปอที่ปรับปรุงสมบัติด้วยเอทิลีนไกลคอลในอัตราส่วน 0, 5, 10 และ 15 phr พบว่าพอลิยูรีเทนโฟมมีขนาดเซลล์โฟมเฉลี่ยใกล้เคียงกันในช่วง 150 - 190 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการผสมเส้นใยปอในช่วง 0- 15 phr ไม่มีผลต่อลักษณะและขนาดเฉลี่ยของเซลล์โฟมในพอลิยูรีเทนเมทริกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

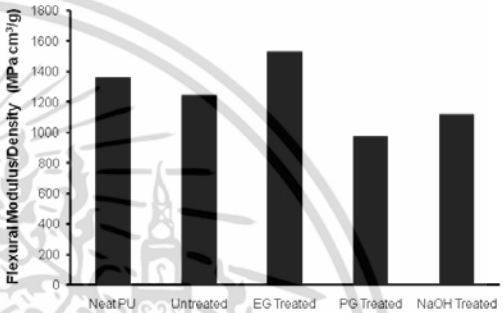
3.2 ผลของการปรับปรุงสมบัติเส้นใยต่อสมบัติทางกล

3.2.1 ความต้านแรงดัดงอ (Flexural Stress)

จากการทดสอบสมบัติความต้านแรงดัดงอของพอลิยูรีเทนคอมโพสิตที่ผสมเส้นใยปอที่ไม่ปรับปรุงสมบัติ และเส้นใยปอที่ปรับปรุงสมบัติด้วยวิธีต่าง ๆ ที่อัตราส่วน 5 phr เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบสมบัติความต้านแรงดัดงอจำเพาะ ซึ่งนิยามโดยอัตราส่วนของค่าความต้านแรงดัดงอต่อความหนาแน่นของโฟม พบว่า ค่าความต้านแรงดัดงอจำเพาะของคอมโพสิตโฟมผสมเส้นใยปอธรรมชาติ และเส้นใยปอที่ปรับปรุงสมบัติด้วย EG และ PG มีความต้านแรงดัดงอจำเพาะที่ใกล้เคียงกัน คือ 29.3, 30.5 และ 29.1 MPa cm^3/g ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการปรับปรุงสมบัติเส้นใยด้วย EG และ PG เป็นการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยปอด้วยวิธีทางกายภาพที่ไม่ทำลายโครงสร้างของเส้นใย แตกต่างจากการปรับปรุงสมบัติทางเคมีด้วย NaOH ที่ตัวอย่างคอมโพสิตมีค่าความต้านแรงดัดงอจำเพาะเพียง 23.8 MPa cm^3/g ซึ่งมีต่ำกว่าการปรับปรุงด้วยวิธีอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 3 ทั้งนี้เนื่องจากการปรับปรุงสมบัติด้วย NaOH เป็นการทำลายโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยซึ่งทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยลดลง



รูปที่ 3 ผลของวิธีการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยปอต่อความต้านแรงดัดงอของพอลิยูรีเทนโฟมคอมโพสิต



รูปที่ 4 ผลของวิธีการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยปอต่อมอดูลัสดัดงอของพอลิยูรีเทนโฟมคอมโพสิต

3.2.2 มอดูลัสดัดงอ (Flexural Modulus)

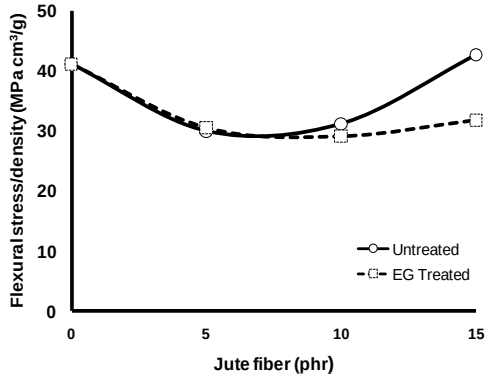
เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่ามอดูลัสดัดงอจำเพาะซึ่งนิยามโดยอัตราส่วนของมอดูลัสดัดงอต่อความหนาแน่นของโฟม โดยศึกษาจากพอลิยูรีเทนโฟมที่ผสมเส้นใยปอที่ไม่ปรับปรุงสมบัติและปรับปรุงสมบัติด้วยวิธีต่าง ๆ ในอัตราส่วน 5 phr พบว่าค่ามอดูลัสดัดงอจำเพาะของพอลิยูรีเทนโฟมคอมโพสิตที่ผสมเส้นใยปอที่ปรับปรุงสมบัติด้วย EG มีค่ามากที่สุด คือ 1530 MPa cm^3/g ดังแสดงในรูปที่ 4 ส่วนตัวอย่างของพอลิยูรีเทนโฟมที่ไม่ผสมเส้นใยปอ ผสมเส้นใยปอธรรมชาติ เส้นใยปอที่ปรับปรุงสมบัติด้วย PG และ เส้นใยปอที่ปรับปรุงสมบัติด้วย NaOH มีค่ามอดูลัสดัดงอจำเพาะเท่ากับ 1360, 1244, 973 และ 1120 MPa cm^3/g ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาในหัวข้อที่ 3.4

3.3 ผลของปริมาณเส้นใยปอต่อสมบัติทางกล

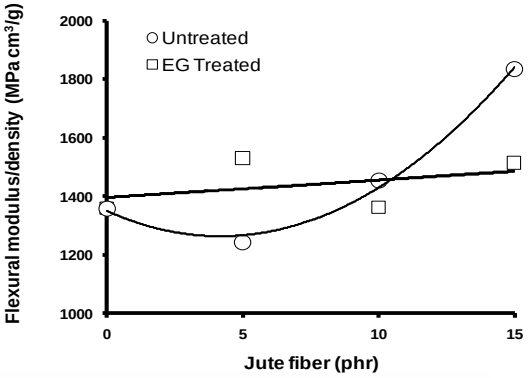
3.3.1 ความต้านแรงดัดงอ

การศึกษาผลของอัตราส่วนปริมาณเส้นใยปอที่มีต่อสมบัติทางกล เมื่อเปรียบเทียบค่าความต้านแรงดัดงอจำเพาะ พบว่าการผสมเส้นใยปอทั้งที่ไม่ปรับปรุงสมบัติและปรับปรุงสมบัติด้วยวิธีต่างๆ ทำให้ค่าความต้านแรงดัดงอจำเพาะลดลงเมื่อเทียบกับพอลิยูรีเทนโฟมที่ไม่ผสมเส้นใย เนื่องจากเส้นใยธรรมชาติมีการยึดเกาะกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ที่ไม่ดีนัก แต่เมื่ออัตราส่วนการผสมเส้นใยเพิ่มขึ้นความต้านแรงดัดงอจำเพาะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งพบว่า พอลิยูรีเทนโฟมคอมโพสิตที่ผสมเส้นใยปอที่ปรับปรุงสมบัติด้วย EG และเส้นใยที่ไม่ปรับปรุงสมบัติ ในปริมาณที่น้อยกว่า 10 phr มีค่าความต้านแรงดัดงอจำเพาะใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนการผสมเส้นใยปอมากขึ้นเป็น 15 phr พบว่าเส้นใยปอที่ปรับปรุงสมบัติด้วย EG ทำให้ความต้านแรงดัดงอจำเพาะของคอมโพสิตลดลงอย่างชัดเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 ความต้านแรงดัดงอของพอลิยูรีเทนโฟมคอมโพสิตผสมเส้นใยปอในปริมาณ 0 – 15 phr



รูปที่ 6 มอดูลัสดัดงอของพอลิยูรีเทนโฟมคอมโพสิตผสมเส้นใยปอในปริมาณ 0 – 15 phr

ทั้งนี้เนื่องจากการปรับปรุงสมบัติเส้นใยปอด้วยการแช่ในสารละลาย EG ซึ่งสารละลายสามารถซึมผ่านไปยังแกนกลางของเส้นใยปอ จึงมีผลทำให้ค่าความแข็งแรงดึงลดลงเมื่อเทียบกับเส้นใยปอธรรมชาติ ดังผลการทดสอบความแข็งแรงของเส้นใยที่แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลทดสอบความแข็งแรงดึงของเส้นใยปอ

ตัวอย่างเส้นใยปอ	ความแข็งแรงดึง (MPa)
เส้นใยปอธรรมชาติ	48.80
เส้นใยปอปรับปรุงสมบัติด้วย EG	33.13

3.3.2 มอดูลัสดัดงอ

เมื่อพิจารณามอดูลัสดัดงอของพอลิยูรีเทนโฟมผสมเส้นใยปอในปริมาณ 0 – 15 phr พบว่า การผสมเส้นใยปอช่วยเพิ่มค่ามอดูลัสดัดงอจำเพาะให้กับพอลิยูรีเทนโฟมคอมโพสิต ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการพิจารณาสมบัติทางกลของวัสดุคอมโพสิตนิยมเปรียบเทียบด้วยค่ามอดูลัสดัดงอมากกว่าค่าความต้านแรงดัดงอ เนื่องจากในการออกแบบวัสดุคอมโพสิตมีวัตถุประสงค์ในการใช้งานที่ให้ความแข็งแรงและมีความสามารถในการต้านทานการเสียรูป จึงอาจสรุปได้ว่าการเติมเส้นใยปอช่วยทำให้พอลิยูรีเทนโฟมมีความต้านทานการเสียรูปที่ดีขึ้น สำหรับการศึกษานี้เมื่อผสมเส้นใยปอที่ปรับปรุงสมบัติด้วย EG ในปริมาณที่น้อยกว่า 10 phr ช่วยทำให้ค่ามอดูลัสดัดงอจำเพาะของคอมโพสิตดีกว่าการผสมเส้นใยปอธรรมชาติที่ไม่ปรับปรุงสมบัติ แต่เมื่ออัตราส่วนของการผสมมากกว่า 10 phr การปรับปรุงสมบัติของเส้นใยปอด้วย EG มีมอดูลัสดัดงอต่ำกว่าการผสมเส้นใยธรรมชาติ ทั้งนี้เนื่องจากผลของความแข็งแรงของเส้นใยปอที่ลดลงเมื่อปรับปรุงสมบัติด้วย EG ดังได้อภิปรายในหัวข้อที่ 3.2.1 เนื่องจากความแข็งแรงดึงของเส้นใยปอที่ปรับปรุงสมบัติด้วย EG ลดลง จึงทำให้การเพิ่มอัตราส่วนการผสมเส้นใยปอที่มากขึ้นทำให้ความแข็งแรงในส่วนที่เป็นเส้นใยมีค่าลดลง ส่งผลให้สมบัติทางกลโดยรวมของพอลิยูรีเทนโฟมคอมโพสิตลดลง

3.4 การยึดเกาะระหว่างเส้นใยปอและพอลิยูรีเทนเมทริกซ์ (Interfacial Morphology)

งานวิจัยนี้ได้นำตัวอย่างที่แตกหักจากการทดสอบความต้านแรงดัดงอมาศึกษาลักษณะการยึดเกาะระหว่างเส้นใยปอกับพอลิยูรีเทนโฟมเมทริกซ์ด้วย SEM เพิ่มเติม ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาแสดงในรูปที่ 7 พบว่า พอลิยูรีเทนโฟมคอมโพสิตผสมเส้นใยปอธรรมชาติที่ไม่ปรับปรุงสมบัติ (รูปที่ 7.a) และพอลิยูรีเทนโฟมคอมโพสิตผสมเส้นใยปอที่ปรับปรุงสมบัติด้วย PG (รูปที่ 7.c) มีลักษณะการแตกหักที่เส้นใยปอและเมทริกซ์หักไม่พร้อมกัน สังเกตจากเส้นใยปอที่ยื่นออกมาบริเวณรอยหัก แสดงถึงการยึดเกาะกันที่ไม่ดีระหว่างเส้นใยปอและพอลิยูรีเทนเมทริกซ์ ส่วนพอลิยูรีเทนโฟมที่ผสมเส้นใยปอที่ปรับปรุงสมบัติด้วย NaOH (รูปที่ 7.b) และเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

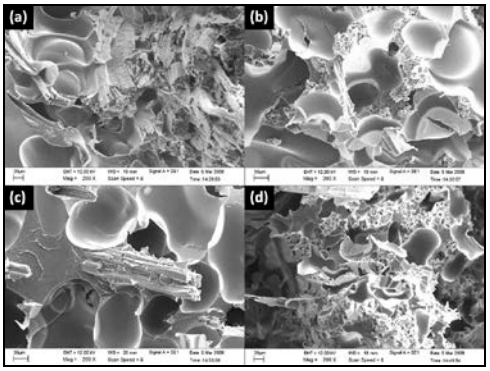
ปอที่ปรับปรุงสมบัติด้วย EG (รูปที่ 7.d) มีลักษณะการแตกหักที่พร้อมกันทั้งพอลิยูรีเทนเมทริกซ์และเส้นใยปอ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงสมบัติเส้นใยปอด้วย NaOH และ EG ช่วยเพิ่มสมบัติการยึดเกาะระหว่างเส้นใยปอและพอลิยูรีเทนเมทริกซ์ได้ดีขึ้น และเมื่อพิจารณาที่บริเวณรอยต่อระหว่างพอลิยูรีเทนเมทริกซ์กับเส้นใยปอที่กำลังขยาย 1000 เท่า ตามรูปที่ 8 พบว่า การปรับปรุงสมบัติพื้นผิวเส้นใยด้วย EG (รูปที่ 8.d) ช่วยให้เกิดการยึดเกาะระหว่างเส้นใยปอและพอลิยูรีเทนโฟมเมทริกซ์ที่ดีมาก สังเกตได้จากเส้นใยปอในบริเวณรอยแตกหักนั้นมีพอลิยูรีเทนเคลือบอยู่อย่างสม่ำเสมอ ส่วนพอลิยูรีเทนโฟมคอมโพสิตที่ผสมเส้นใยปอธรรมชาติ (รูปที่ 8.a) เส้นใยปอที่ปรับปรุงสมบัติด้วย NaOH (รูปที่ 8.b) และเส้นใยปอที่ปรับปรุงสมบัติด้วย PG (รูปที่ 8.c) นั้นมีช่องว่างระหว่างพอลิยูรีเทนเมทริกซ์กับเส้นใยปอ รวมทั้งสังเกตเห็นลักษณะการเสียสภาพของเส้นใยปอที่บริเวณพื้นผิวได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากการยึดเกาะระหว่างพอลิยูรีเทนเมทริกซ์กับเส้นใยปอเกิดขึ้นได้ไม่ดี

4. สรุป

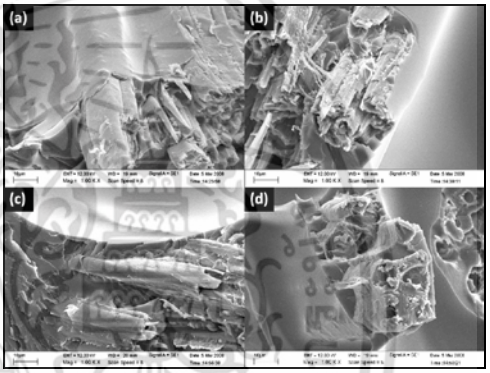
การปรับปรุงสมบัติเส้นใยปอด้วย EG ช่วยเพิ่มการยึดเกาะระหว่างเส้นใยปอกับพอลิยูรีเทนโฟมเมทริกซ์ได้ดีขึ้น ช่วยเพิ่มค่ามอดูลัสดัดงอจำเพาะของพอลิยูรีเทนโฟมคอมโพสิต ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1530 MPa cm^3/g ที่อัตราส่วนผสมเส้นใยปอ 5 phr แต่อย่างไรก็ตามยังต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม เพื่อพัฒนาวิธีการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยปอด้วย EG ให้เกิดการยึดเกาะระหว่างเส้นใยปอกับพอลิยูรีเทนเมทริกซ์ที่ดีขึ้นและความแข็งแรงในส่วนของเส้นใยปอไม่ลดลง ทำให้สามารถเพิ่มอัตราส่วนการผสมเส้นใยปอในปริมาณมากขึ้น เพื่อให้ได้คอมโพสิตโฟมที่มีสมบัติทางกลที่ดีขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยและเครื่องมือทดสอบชิ้นตัวอย่าง



รูปที่ 7 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่บริเวณรอยหักของตัวอย่างพอลิยูรีเทนโฟมคอมโพสิตผสมเส้นใยปอ
(a) เส้นใยปอธรรมชาติ (b) ปรับปรุงสมบัติด้วย NaOH
(c) ปรับปรุงสมบัติด้วย PG (d) ปรับปรุงสมบัติด้วย EG



รูปที่ 8 ลักษณะการยึดเกาะของพอลิยูรีเทนเมทริกซ์กับเส้นใยปอที่กำลังขยาย 1000 เท่า
(a) เส้นใยปอธรรมชาติ (b) ปรับปรุงสมบัติด้วย NaOH
(c) ปรับปรุงสมบัติด้วย PG (d) ปรับปรุงสมบัติด้วย EG

6. เอกสารอ้างอิง

[1] S.J. Eichhorn "Review current international research into cellulosic fibres and composites." *J. of Mat. and Sci.*, Vol. 36, 2001. pp. 2107–2131

[2] A.K. Bledzki and J. Gassan. "Composites reinforced with cellulose based fibres." *Prog. Polym. Sci.* Vol. 24, 1999. pp. 221–274.

[3] F. Corrales. "Chemical modification of jute fibers for the production of green-composites." *J. of Hazardous Materials.* Vol. 144, 2007. pp. 730–735.

[4] A.K. Mohanty, M.A. Khan and G. Hinrichsen. "Influence of chemical surface modification on the properties of biodegradable jute fabrics – polyester amide composites." *Composite: Part A.* Vol. 31, 2000. pp. 143-150.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้