

การขึ้นรูปวัสดุผสมอีพอกซีกับเส้นใยปาล์มที่เหลือใช้จาก กระบวนการหีบน้ำมันปาล์ม

Fabrication of Palm Fibre Epoxy Composite from the Waste of Palm Oil Press Process

ราชบาท ไชยวรรณ สุรสิษฐ์ ไรจนันต์ *

สาขาวิชาวิศวกรรมกระบวนการขึ้นรูปโพลิเมอร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

โทร 02-4709213 โทรสาร 02-8729080 อีเมล s8431610@st.kmutt.ac.th * อีเมล surasit.roj@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาการขึ้นรูปวัสดุผสมของอีพอกซีกับใยปาล์มที่เหลือใช้ จากกระบวนการหีบน้ำมันปาล์ม ในการทดลองได้นำเส้นใยปาล์มที่เหลือใช้ มาทำการขึ้นรูปร่วมกับอีพอกซีเป็นวัสดุผสม เส้นใยปาล์มที่ใช้มี 3 กลุ่ม ได้แก่ เส้นใยตามธรรมชาติ เส้นใยปรับปรุงผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และเส้นใยปรับปรุงผิวด้วย สารละลายอะมิโนซิลเลน (Aminosilane) ของ *N*-(aminoethyl)-3-propyltrimethoxysilane (KBM603A) ได้ทำการทดลองโดยการหล่อวัสดุผสมอีพอกซีด้วยเส้นใยปาล์มทั้งสามกลุ่มในสัดส่วนอีพอกซี 200 กรัม ต่อเส้นใย 15, 20 และ 25 กรัม ตามลำดับ ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมพบว่า เส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิวด้วย KBM603A สามารถที่จะช่วยลดเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุผสมได้ดีที่สุด การผสมเส้นใยในวัสดุผสมอีพอกซีทั้งสามสัดส่วนสามารถขึ้นรูปขึ้นงานได้โดยไม่ทำให้เสียความเรียบผิว นอกจากนี้ยังสามารถลดการใช้อีพอกซีลงได้อีกด้วย

คำสำคัญ: เส้นใยปาล์ม / วัสดุผสม / การปรับปรุงผิว

Abstract

The object of this research is to study the fabrication of palm fiber epoxy composites from the waste of palm oil press process. In the experiment, palm fibers were blended with epoxy to form composite materials. There are three groups of palm fibers, such as natural palm fibers without surface treatment, palm fibers surface treated with NaOH and Aminosilane (KBM603A). Epoxy composite materials were mixed in the ratio of epoxy in 200 gram to palm fibers in 15, 20 and 25 gram, respectively. The mechanical properties on composites results show that KBM603A treated surface palm fibers can reduce maximum elongation of samples. The mixing of three ratios of palm fibers to epoxy can

be fabricated in smooth surface without any ruin cast surface including reducing the usage of epoxy.

Keyword: Oil palm fibers / composites / surface treatment

1. บทนำ

เนื่องจากปัจจุบัน น้ำมันดีเซลมีราคาเพิ่มขึ้นจากเดิมอย่างมาก จึงได้มีการนำน้ำมันปาล์มมาผสม เพื่อใช้ทำไบโอดีเซลเพื่อลดการใช้น้ำมันดีเซลลง ในกระบวนการหีบผลปาล์มจากทะลายปาล์ม เพื่อนำน้ำมันมาใช้จะมีเส้นใยปาล์มเหลือจากกระบวนการอยู่ประมาณ 28% ซึ่งไม่ได้ใช้ประโยชน์ นอกจากนั้นยังมีการขยายพื้นที่ปลูกปาล์มเพิ่มขึ้นอย่างมาก เพื่อใช้ทำน้ำมัน ดังนั้นการนำของเหลือใช้จากกระบวนการหีบน้ำมันปาล์ม โดยใช้เส้นใยที่เหลือในกระบวนการ นำมาทำการปรับปรุงผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ สารละลายอะมิโนซิลเลน จากนั้น นำไปขึ้นรูปกับอีพอกซี เพื่อให้เกิดประโยชน์จากการนำของที่เหลือใช้ จากกระบวนการหีบน้ำมันปาล์มเข้ามาช่วยลดปริมาณการใช้ในอีพอกซี การขึ้นรูปวัสดุ โดยในงานวิจัยนี้ทำการศึกษา สมบัติเชิงกลของเส้นใยที่ได้รับการปรับปรุงผิวและไม่ได้รับการปรับปรุงผิวของวัสดุผสม

2. วิธีดำเนินการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการขึ้นรูปวัสดุผสมโดยนำเส้นใยปาล์มมาผสมกับอีพอกซีเหลว แล้วนำมาขึ้นรูปโดยวิธีการหล่อขึ้นรูปในแบบหล่อขนาด 165 × 228 มิลลิเมตรหนา 3 มิลลิเมตร ปิดทับด้วยแผ่นฟิล์มและกระดาษ เพื่อให้ได้ผิวหน้าชิ้นงานที่เรียบและสม่ำเสมอทั้งชิ้น

2.1 การเตรียมอีพอกซีสำหรับงานหล่อ

ใช้อีพอกซี DER 331 ของบริษัท Dow Chemical Company ผสมกับตัวเร่ง DETA Diethylenetriamine N-(2-aminoethyl-1, 2-ethanediamine) ในอัตราส่วน 10 ต่อ 1 กวนให้เข้ากัน แล้วนำอีพอกซี

ที่ได้ไปทำการกำจัดฟองอากาศ โดยใส่ในภาชนะปิด ที่มีอากาศออก โดยเครื่อง Vacuum rotary pump ชนิด 2 ชั้น เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นจึงนำมาผสมกับเส้นใยปาล์ม ที่ผ่านการปรับสภาพผิวที่แตกต่างกันสามชนิด เพื่อให้ได้ชิ้นงานวัสดุผสมแต่ละชนิดที่มีเส้นใยปาล์มที่ผิวแตกต่างกัน

2.2 การเตรียมเส้นใยปาล์ม

ในงานวิจัยนี้ได้นำเส้นใยมาทำการปรับสภาพผิวเพื่อให้ได้ผิวของเส้นใยที่แตกต่างกัน 3 ชนิด

2.2.1 เส้นใยตามธรรมชาติ

เส้นใยปาล์มที่ใช้ได้จากทะเลปาล์มที่เหลือจากการทึบแล้วตัดเป็นเส้นออกจากทะเลปาล์ม ทั้งไว้ให้แห้งเป็นเวลานาน และเป็นเส้นใยปาล์มตามธรรมชาติที่ไม่ได้ทำการปรับสภาพผิว รอกการนำไปขึ้นรูปเป็นวัสดุผสม

2.2.2 เส้นใยที่ปรับสภาพผิวด้วย NaOH

เป็นเส้นใยปาล์มที่ทำการปรับสภาพผิวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 1% [1] โดยการนำเส้นใย ไปอบในตู้อบด้วยอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นแช่เส้นใยในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1% โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นจึงนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง รอกการนำไปขึ้นรูปเป็นวัสดุผสม

2.2.3 เส้นใยที่ปรับสภาพผิวด้วย KBM603A

เป็นเส้นใยที่ได้รับการปรับสภาพผิวด้วย สารละลายอะมิโนไซเลน ในงานวิจัยนี้ใช้ *N*-(aminoethyl)-3-propyltrimethoxysilane (KBM603A) ของบริษัท Shin-Etsu Chemical จำกัด (ประเทศญี่ปุ่น) การปรับสภาพผิวเส้นใย ด้วยอะมิโนไซเลน ทำได้โดยการนำเส้นใยไปอบในตู้อบด้วยอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นแช่เส้นใยในสารละลายอะมิโนไซเลน (KBM603A) ความเข้มข้น 1% โดยน้ำหนัก [2, 3] ซึ่งเตรียมได้จาก การหยดสารอะมิโนไซเลนลงในน้ำที่ผ่านกระบวนการดีไอออไนเซชัน (Demonized water) กวนสารละลายด้วยแท่งกวนแบบแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer) เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้เกิดไฮโดรไลซิส (Hydrolysis reaction) แล้วนำไปอบในตู้อบ ด้วยอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อกำจัดเมทานอลที่เกิดขึ้นในขั้นตอนไฮโดรไลซิสออก [3] รอกการนำไปขึ้นรูปเป็นวัสดุผสม

2.3 การเตรียมชิ้นงานวัสดุผสม

วัสดุผสมที่ใช้ในการทดลองในครั้งนี้จะถูกจัดเตรียมเป็นสามกลุ่ม แต่ละกลุ่มจะมีปริมาณของเส้นใยในวัสดุผสมที่แตกต่างกัน 3 ค่า โดยวัสดุผสมภายหลังจากการหล่อจะมีขนาดความกว้าง 165 มิลลิเมตร ความยาว 228 มิลลิเมตรหนา 3 มิลลิเมตร และจะถูกนำไปตัดแยกออกจากกันให้ได้ขนาดความกว้าง x ความยาว เท่ากับ 165x19 มิลลิเมตรหนา 3 มิลลิเมตร เพื่อใช้ทำชิ้นงานทดสอบต่อไป ลักษณะชิ้นงานแสดงในรูปที่ 1 โดยมีรายละเอียดของแต่ละกลุ่มดังนี้



รูปที่ 1 ชิ้นงานวัสดุผสมขนาด 165 x 19 x 3 มิลลิเมตร

2.3.1 วัสดุผสมกลุ่มเส้นใยตามธรรมชาติ

เป็นวัสดุผสมที่ได้จากการใช้อีพอกซีที่ได้จากการเตรียมตามหัวข้อ 2.1 ใช้ทำหน้าที่เป็นแมทริก (Matrix) ผสมกับเส้นใยปาล์มทำหน้าที่เป็นไฟเบอร์ (Fibre) โดยใช้เส้นใยที่จัดเตรียมตามหัวข้อ 2.2.1 โดยกลุ่มนี้จะจัดเตรียมชิ้นงานเป็นวัสดุผสมที่มีส่วนผสมของเส้นใยที่แตกต่างกัน 3 ชนิดตามสัดส่วนดังนี้คือ

- อีพอกซี 200 กรัมต่อเส้นใย 15 กรัม
- อีพอกซี 200 กรัมต่อเส้นใย 20 กรัม
- อีพอกซี 200 กรัมต่อเส้นใย 25 กรัม

2.3.2 วัสดุผสมกลุ่มเส้นใยปรับผิวด้วย NaOH

เป็นวัสดุผสมที่ได้จากการใช้อีพอกซีที่ได้จากการเตรียมตามหัวข้อ 2.1 ใช้ทำหน้าที่เป็นแมทริก ผสมกับเส้นใยปาล์มทำหน้าที่เป็นไฟเบอร์ โดยใช้เส้นใยที่จัดเตรียมตามหัวข้อ 2.2.2 จัดเตรียมชิ้นงานเป็นวัสดุผสมที่มีส่วนผสมของเส้นใยที่แตกต่างกัน 3 ชนิดตามสัดส่วนดังนี้คือ

- อีพอกซี 200 กรัมต่อเส้นใย 15 กรัม
- อีพอกซี 200 กรัมต่อเส้นใย 20 กรัม
- อีพอกซี 200 กรัมต่อเส้นใย 25 กรัม

2.3.3 วัสดุผสมกลุ่มเส้นใยปรับผิวด้วย KBM603A

เป็นวัสดุผสมที่ได้จากการใช้อีพอกซีที่ได้จากการเตรียมตามหัวข้อ 2.1 ใช้ทำหน้าที่เป็นแมทริก ผสมกับเส้นใยปาล์มทำหน้าที่เป็นไฟเบอร์ โดยใช้เส้นใยที่จัดเตรียมตามหัวข้อ 2.2.3 จัดเตรียมชิ้นงานเป็นวัสดุผสมที่มีส่วนผสมของเส้นใยที่แตกต่างกัน 3 ชนิดตามสัดส่วนดังนี้คือ

- อีพอกซี 200 กรัมต่อเส้นใย 15 กรัม
- อีพอกซี 200 กรัมต่อเส้นใย 20 กรัม
- อีพอกซี 200 กรัมต่อเส้นใย 25 กรัม

3. การกำหนดตัวแปรและการทดสอบคุณสมบัติทางกล

3.1 การกำหนดตัวแปรของวัสดุผสม

ในการวิจัยได้กำหนดตัวแปรในการทดลองไว้ดังนี้คือ

- การศึกษาผลของความแตกต่างของสภาพผิวเส้นใย
- ปริมาณของเส้นใยในวัสดุผสมที่แตกต่างกัน

โดยใช้เงื่อนไขในการกำหนดปริมาณของเส้นใยในวัสดุผสมแต่ละกลุ่มไว้แสดงรายละเอียดดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กลุ่มตัวแปรเพื่อใช้ควบคุมในการขึ้นรูปวัสดุผสม

ชนิดของ MATRIX	ชนิดของกลุ่ม FIBRE	สัดส่วนของไฟเบอร์ในวัสดุผสม
อีพอกซี 200 กรัม	กลุ่มเส้นใยตามธรรมชาติ	15 กรัม
		20 กรัม
		25 กรัม
	กลุ่มเส้นใยปรับสภาพผิวโดย NaOH	15 กรัม
		20 กรัม
		25 กรัม
	กลุ่มเส้นใยปรับสภาพผิวโดย KBM603A	15 กรัม
		20 กรัม
		25 กรัม

3.2 การทดสอบสมบัติทางกล

การทดสอบสมบัติทางกลของชิ้นงาน ใช้เครื่อง Universal Testing Machine ผลิตโดยบริษัท Lloyd รุ่น LR-50K ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยใช้ Load cell ขนาด 5 kN ควบคุมการเคลื่อนที่ของคานด้วยระบบสกรู ใช้คอมพิวเตอร์บันทึกค่าที่ได้จากการทดสอบ ความเร็วในการดึงใช้ค่าคงที่ 3 มิลลิเมตรต่อนาที



รูปที่ 2 เครื่อง Universal Testing Machine

4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ภายหลังการขึ้นรูปวัสดุผสมได้ทำการทดลองหาค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) และค่าการยืดตัว (elongation) เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลจากการปรับสภาพผิวเส้นใยในแต่ละกลุ่ม และอิทธิพลของปริมาณเส้นใยที่แตกต่างกันในวัสดุผสม

4.1 สมบัติทางกล

พบว่าค่าเฉลี่ยความเค้นแรงดึงสูงสุดของวัสดุผสมทั้งสามกลุ่มที่สัดส่วนอีพอกซี 200 กรัมต่อเส้นใย 15 กรัม มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 18 ถึง 21 N/mm² ซึ่งมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น การกระจายตัวของค่าความเค้นแรงดึงของวัสดุผสมกลุ่มที่เส้นใยปรับสภาพผิวด้วย NaOH จะมีการกระจายตัวน้อยที่สุด ดังแสดงในกราฟรูปที่ 3 ในขณะที่

อัตราการยืดตัวก่อนขาดของวัสดุผสมกลุ่มเส้นใยธรรมชาติจะแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (Significant) กับวัสดุผสมกลุ่มเส้นใยปรับสภาพผิวทั้งสองชนิด ซึ่งวัสดุผสมกลุ่มเส้นใยปรับสภาพผิวทั้งสองจะมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยเท่านั้น และมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าของวัสดุผสมกลุ่มเส้นใยธรรมชาติ ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4 ซึ่งจะเห็นได้ชัดจากการปรับสภาพผิวของเส้นใยด้วย NaOH และ KBM603A ต่างมีผลต่อการลดอัตราการยืดตัวก่อนขาดของวัสดุผสมที่สัดส่วนนี้

ที่สัดส่วนอีพอกซี 200 กรัมต่อเส้นใย 20 กรัม จากรูปที่ 3 พบว่าความเค้นแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยมีความแตกต่างกันโดย ค่าของวัสดุผสมเส้นใยธรรมชาติมีค่าความเค้นแรงดึงต่ำสุด ส่วนวัสดุผสมเส้นใยปรับสภาพผิวด้วย KBM603A มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดใน ขณะที่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของชิ้นงานเมื่อขาดออกจากกัน ของวัสดุผสมเส้นใยปรับสภาพผิวทั้งสองชนิดยังต่ำกว่าวัสดุผสมเส้นใยธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญ ดังเห็นได้จากกราฟในรูปที่ 4 เหมือนที่สัดส่วนอีพอกซี 200 กรัมต่อเส้นใย 15 กรัม

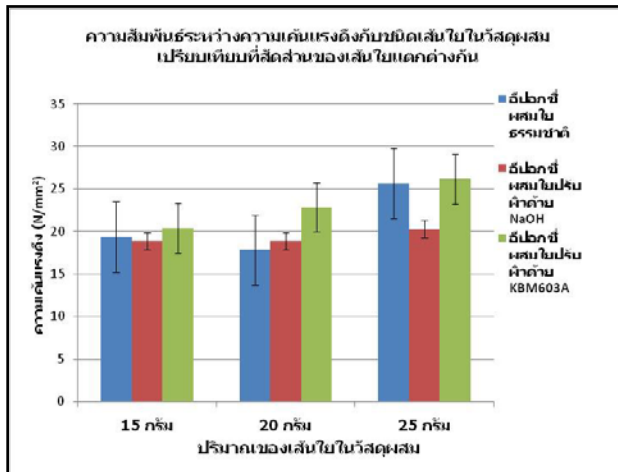
ที่สัดส่วนอีพอกซี 200 กรัมต่อเส้นใย 25 กรัม พบว่าความเค้นแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยของวัสดุผสมเส้นใยธรรมชาติและวัสดุผสมเส้นใยปรับสภาพผิวด้วย KBM603A มีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าสูงกว่าวัสดุผสมเส้นใยปรับสภาพผิวด้วย NaOH อย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวก่อนขาดของวัสดุผสมเส้นใยปรับสภาพผิวทั้งสามชนิดมีความแตกต่างกันโดย วัสดุผสมเส้นใยธรรมชาติจะมีค่าสูงสุด และวัสดุผสมเส้นใยปรับสภาพผิวด้วย KBM603A จะมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดโดยวัสดุผสมทั้งสามแสดงความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ดังเห็นได้จากกราฟในรูปที่ 4 แตกต่างจากที่สัดส่วนอีพอกซี 200 กรัมต่อเส้นใย 20 กรัม

เมื่อพิจารณาที่วัสดุผสมเส้นใยธรรมชาติจะพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยให้มากขึ้นค่าความเค้นแรงดึงเฉลี่ยแสดงแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นโดยที่วัสดุผสมเส้นใยปรับผิวด้วย KBM603A มีแนวโน้มที่ความเค้นแรงดึงจะเพิ่มเมื่อเพิ่มสัดส่วนปริมาณเส้นใยสูงที่สุด วัสดุผสมเส้นใยธรรมชาติรองลงมา ส่วน วัสดุผสมเส้นใยปรับผิวด้วย NaOH มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมากดังเห็นได้จากรูปที่ 5

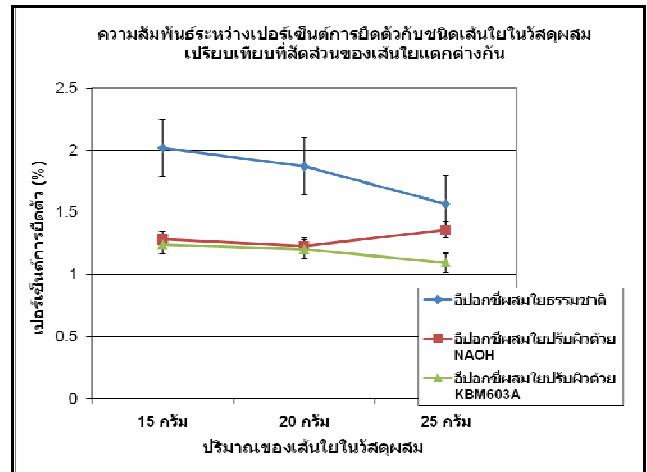
ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวจะลดลงเป็นส่วนกลับกับค่าความเค้นแรงดึงโดยทั้งวัสดุผสมเส้นใยธรรมชาติและวัสดุผสมเส้นใยปรับสภาพผิวด้วย KBM603A ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวมีแนวโน้มที่จะลดลงทั้งสองชนิดและวัสดุผสมเส้นใยธรรมชาติมีแนวโน้มที่จะลดลงสูงที่สุด ในขณะที่วัสดุผสมเส้นใยปรับสภาพผิวด้วย NaOH มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 6

4.2 การขึ้นรูปวัสดุผสม

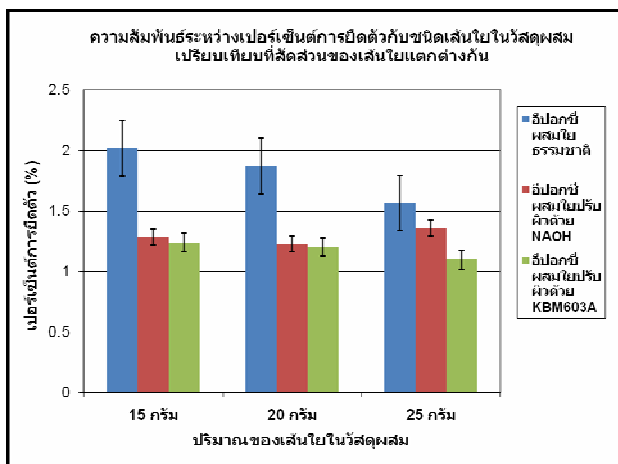
ในการขึ้นรูปวัสดุผสมเส้นใย ถ้าทำการลดแก๊สในอีพอกซีก่อนทำการผสมเส้นใยเพื่อขึ้นรูป จะทำให้สามารถลดฟองอากาศในวัสดุผสมลงได้อย่างมาก วัสดุผสมเส้นใยที่ได้ทั้งสามสัดส่วนสามารถขึ้นรูปได้โดยมีผิวเรียบที่ไม่แตกต่างกัน ผิววัสดุผสมจะขึ้นกับวัสดุที่เป็นผิวแม่แบบ การเพิ่มส่วนผสมเส้นใยให้มากขึ้น จะทำให้การไหลตัวของวัสดุผสมในขณะขึ้นรูปทำได้ยากขึ้น เพราะว่าวัสดุผสมจะมีความหนืดสูง แต่การเพิ่มเส้นใยในวัสดุผสมสามารถลดการใช้อีพอกซีลงได้ในการขึ้นรูปวัสดุผสมโดยไม่ทำให้ผิวชิ้นงานสูญเสียความเรียบไป



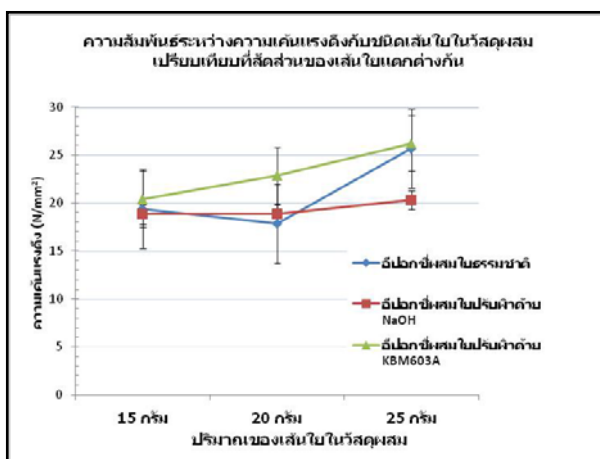
รูปที่ 3 เปรียบเทียบความเค้นแรงดึงสูงสุดของวัสดุผสมที่สัดส่วนอีพอกซี 200 ต่อเส้นใย 15 กรัม 20 กรัม และ 25 กรัม



รูปที่ 6 แนวโน้มเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุผสมที่สัดส่วนอีพอกซี 200 ต่อเส้นใย 15 กรัม 20 กรัม และ 25 กรัม



รูปที่ 4 เปรียบเทียบอัตราการยืดตัวก่อนขาดของวัสดุผสมที่สัดส่วนอีพอกซี 200 ต่อเส้นใย 15 กรัม



รูปที่ 5 แนวโน้มความเค้นแรงดึงสูงสุดของวัสดุผสมที่สัดส่วนอีพอกซี 200 ต่อเส้นใย 15 กรัม 20 กรัม และ 25 กรัม

5. สรุปผลการทดลอง

1. การเพิ่มปริมาณของเส้นใยที่ปรับสภาพผิวด้วย KBM603A ในวัสดุผสมอีพอกซี มีผลต่อแนวโน้มการเพิ่มความเค้นแรงดึงในวัสดุผสมสูงที่สุด
2. ปริมาณของเส้นใยธรรมชาติในวัสดุผสมอีพอกซี มีผลต่อแนวโน้มการลดค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุผสมมากที่สุด
3. ปริมาณเส้นใยซึ่งเป็นของเหลือใช้สามารถช่วยในการลดปริมาณการใช้อีพอกซีได้ ซึ่งนำไปใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานที่ต้องการความแข็งแรงในการใช้งานระดับหนึ่งโดยไม่เสียความเรียบผิวไป
4. การปรับสภาพผิวเส้นใยด้วย KBM603A สามารถลดค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุผสมได้ดีที่สุด

6. เอกสารอ้างอิง

1. Maya J., Sabu T., and K.T. Varghese., 2004, "Mechanical Properties of sisal/oil Hybrid fiber reinforced natural rubber composites" Composite Science and Technology, Vol.64, pp. 955-965.
2. Kirshore, Kulkarni, S.M., Sunil, D. and Sharathchandra, S., 2002, "Effect of surface treatment on the impact behavior of fly-ash filled polymer composites", Polymer International, Vol. 51, No.12, pp 1378-1384.
3. ชนวรรณ เชาวสกุล, "การศึกษาสมบัติของวัสดุเชิงประกอบอีพอกซีกับถั่วลยสารตัวเติมที่ผ่านการเชื่อมโยงด้วยสายคลีนไมโครเวฟ", วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 36-56.
4. Clayton, A.M., 1998, Epoxy Resins: Chemistry and Technology, Marcel Dekker, New York.