

249200

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



249200

รหัสโครงการ [SUT-7-710-51-24-33]



รายงานการวิจัย

การศึกษาการใช้เส้นไหมแบบต่อเนื่องสำหรับเสริมแรง
วัสดุเชิงประกอบอีพอกซี
(Study of Using Silk as a Continuous Fiber for Reinforcing
Epoxy Composite)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

6009546A5

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



249200

รหัสโครงการ [SUT-7-710-51-24-33]



รายงานการวิจัย

การศึกษาการใช้เส้นไหมแบบต่อเนื่องสำหรับเสริมแรง
วัสดุเชิงประกอบอีพอกซี
(Study of Using Silk as a Continuous Fiber for Reinforcing
Epoxy Composite)



ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การศึกษาการใช้เส้นไหมแบบต่อเนื่องสำหรับเสริมแรง
วัสดุเชิงประกอบอีพอกซี
(Study of Using Silk as a Continuous Fiber for Reinforcing
Epoxy Composite)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิมลลักษณ์ สุตะพันธ์
สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิธินาถ ศุภกาญจน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2551-2552

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

มีนาคม/2555

กิตติกรรมประกาศ

ในการดำเนินการวิจัยโครงการ “การศึกษาการใช้เส้นไหมแบบต่อเนื่องสำหรับเสริมแรงวัสดุเชิงประกอบอีพอกซี” คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สภาวิจัยแห่งชาติ ผู้สนับสนุนทุนวิจัย (ปีงบประมาณ 2551-52) และ ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำหรับการสนับสนุนการดำเนินงานของโครงการวิจัย และ ศูนย์หม่อนไหม นครราชสีมา สำหรับเครื่องทดสอบความทนต่อแรงดึงของเส้นผ้าไหม นอกจากนี้ใคร่ขอขอบคุณ Mettler-Toledo (Thailand) Co. Ltd. สำหรับการใช้เครื่องมือสมบัติทางความร้อน

บทคัดย่อ

249200

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้ผืนผ้าไหมเป็นวัสดุเสริมแรงสำหรับวัสดุเชิงประกอบอีพอกซี ผืนผ้าไหมที่ใช้มีรูปแบบเป็นผืนผ้าทอหลายหนึ่ง (plain weaving) ใช้เส้นไหมสายพินธ์นางน้อย ผืนผ้าไหมถูกเตรียมในสองลักษณะคือ ผืนผ้าไหมที่ไม่ผ่านการดัดแปร และผืนผ้าไหมที่ดัดแปรด้วยสารคู่ควบ 3-อมีโนโพรพิลไดรเอทอกซีไซเลน การเตรียมวัสดุเชิงประกอบอีพอกซีใช้ผืนผ้าไหมในปริมาณร้อยละ 18 30 และ 35 สมบัติทางความร้อนของผืนผ้าไหมและวัสดุเชิงประกอบอีพอกซีเสริมแรงด้วยผืนผ้าไหมถูกตรวจสอบด้วยเทคนิคการวิเคราะห์น้ำหนักภายใต้ความร้อนและเทคนิคการวิเคราะห์พลังงานภายใต้ความร้อน สมบัติทางกลของผืนผ้าไหมและวัสดุเชิงประกอบอีพอกซีเสริมแรงด้วยผืนผ้าไหมถูกตรวจสอบด้วยเครื่อง universal testing machine หมู่ฟังก์ชันที่พื้นผิวของผืนผ้าไหมถูกตรวจสอบด้วยเทคนิค เอทีอาร์ฟูเรียร์ทรานซฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี ลักษณะพื้นผิวของเส้นไหมและพื้นผิวแตกหักของวัสดุเชิงประกอบอีพอกซีถูกตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ผืนผ้าไหมมีจำนวนเส้นด้ายเฉลี่ยในแนวเส้นยืน (warp direction) 177 เส้นต่อ 10 เซนติเมตร และในแนวเส้นพุ่ง (weft direction) 201 เส้นต่อ 10 เซนติเมตร ความทนต่อแรงดึงในแนวเส้นยืน 537 นิวตัน และในแนวเส้นพุ่ง 555 นิวตัน จากการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันที่พื้นผิวแสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของผืนผ้าไหมประกอบด้วยเฟสอสัณฐานและเฟสผลึก ผืนผ้าไหมมีปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก ผืนผ้าไหมที่ไม่ผ่านการดัดแปรเสื่อมสลายด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 324 องศาเซลเซียส การดัดแปรพื้นผิวผ้าไหมด้วยสารคู่ควบไซเลนทำให้ผืนผ้าไหมที่ผ่านการดัดแปรด้วยสารคู่ควบไซเลนเสื่อมสลายด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 340 องศาเซลเซียส และเมื่อตรวจสอบด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าเส้นไหมของผืนผ้าไหมที่ไม่ผ่านการดัดแปรมีพื้นผิวที่ราบเรียบ ในขณะที่เส้นไหมของผืนผ้าไหมที่ผ่านการดัดแปรมีสารเคลือบอยู่ที่พื้นผิวคาดว่าเป็นชั้นของสารคู่ควบไซเลน

การเสริมแรงอีพอกซีเรซินด้วยผืนผ้าไหมทำให้มอดูลัสของยังก์และมอดูลัสแรงดัดของวัสดุเชิงประกอบอีพอกซีเพิ่มขึ้นตามปริมาณของผืนผ้าไหม อย่างไรก็ตามความทนต่อแรงดึง ความทนต่อแรงดัด และความทนต่อแรงกระแทกของวัสดุเชิงประกอบอีพอกซีนี้น้อยกว่าสมบัติทางกลดังกล่าวของอีพอกซีเรซิน แต่การเพิ่มปริมาณผืนผ้าไหมทำให้ ความทนต่อแรงดึง ความทนต่อแรงดัด และความทนต่อแรงกระแทกเพิ่มขึ้น อุณหภูมิการเสื่อมสลายเนื่องจากความร้อนของอีพอกซีเมทริกซ์ไม่ขึ้นกับปริมาณผืนผ้าไหมแต่วัสดุเชิงประกอบอีพอกซีเรซินเสริมแรงด้วยผืนผ้าไหมจะเริ่มเสื่อมสลายที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิการเสื่อมสลายของอีพอกซี และอุณหภูมิการเกิดโครงสร้างร่างแหของวัสดุเชิงประกอบอีพอกซีเพิ่มขึ้นแต่อุณหภูมิการเกิดทรานซิชันแก้วหลังอบบ่มลดลงเมื่อปริมาณผืนผ้าไหมเพิ่มขึ้น

การดัดแปรผืนผ้าไหมด้วยสารคู่ควบ APTS มีผลต่อการปรับปรุงความทนต่อแรงดึง และความทนต่อแรงกระแทกเล็กน้อย และมีผลต่อการเพิ่มขึ้นต่ออุณหภูมิเริ่มต้นของการเสื่อมสลายด้วยความร้อนของวัสดุเชิงประกอบอีพอกซีอย่างมีนัยสำคัญ

Abstract

249200

In this research project, silk fabric reinforced epoxy composites were prepared with untreated silk fabric (UT-SF) and silane treated silk fabric (ST-SF). The silk fabric was plain woven using silk tread of *Nang Noi* eco type. 3-Aminopropyltriethoxysilane, a silane coupling agent, was used for the silk fabric treatment. The epoxy composite was prepared with silk weight fraction of 0.18, 0.30, and 0.35. Thermal properties of silk fabrics and silk reinforced epoxy composites were investigated using a thermogravimetric analyzer and differential scanning calorimetry. Mechanical properties of the fabrics and epoxy composites were determined using a universal testing machine. Attenuated reflection Fourier transform infrared spectrometry was employed to characterize silk surface functional group. Topography of silk surface and morphology of the composite fracture surface were observed by a scanning electron microscope.

Silk fabric contained in warp direction 177 ends/10 cm. and in weft direction 201 picks/10 cm. Tensile force of untreated silk fabric was 537 N in warp direction and 555 N in weft direction. After the silane treatment, it was 814 N and 828 N, respectively. Silk fabrics contained 7 wt% moisture. UT-SF thermally decomposed at 324°C however; silane treatment resulted in higher thermal decomposition of ST-SF, 340 °C. In addition, silk tread of UT-SF had smooth surface whereas that of ST-SF had rougher surface due to deposited silane layer on the surface. It was evident by functional group analysis that silk comprised amorphous and crystalline phase.

Young's modulus and flexural modulus of epoxy composites was a function of silk fabric composition. Nevertheless, reinforcing epoxy with silk fabric caused the reduction in composite tensile strength, flexural strength and impact strength. As silk fraction was increased, the composite strengths, tensile, flexural, and impact strength, improved. Thermal decomposition of epoxy matrix was not influenced by types of fabric whether it was UT-SF or ST-SF. However, the epoxy composites initially decomposed at lower temperature derived from silk decomposition occurring at temperature lower than that of epoxy matrix. For epoxy reinforced with silk fabric, it cured at higher temperature than neat epoxy did but its glass transition temperature was lower than the neat epoxy's.

Treating a silk fabric with 3-aminopropyltriethoxysilane resulted in a gradual increase of tensile and impact strength of epoxy composite. The initial temperature for the epoxy composite to decompose was significantly improved when the composite was reinforced with ST-SF.

สารบัญ

| | หน้า |
|--|----------|
| กิตติกรรมประกาศ..... | ก |
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ข |
| Abstract..... | ค |
| สารบัญ..... | ง |
| สารบัญตาราง..... | ฉ |
| สารบัญภาพ..... | ช |
| สารบัญแผนภาพ..... | ฉ |
| คำอธิบายคำย่อที่ใช้ในการวิจัย | ญ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์หรือเป้าหมายของโครงการวิจัย | 1 |
| 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| 1.4 ทฤษฎีหรือกรอบแนวความคิด | 2 |
| 1.5 การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง..... | 3 |
| 1.6 ขอบเขตการวิจัย..... | 4 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 5 |
| บทที่ 2 | 7 |
| 2.1 ขอบเขตการวิจัย..... | 7 |
| 2.2 การทดลอง | 7 |
| 2.2.1 วัตถุดิบและสารเคมี | 7 |
| 2.2.2 การเตรียมผืนผ้าไหมแบบไม่ผ่านการแปร (Untreated – Silk Fabric, UT-SF)..... | 7 |
| 2.2.3 การเตรียมผืนผ้าไหมที่ปรับสภาพด้วยสารคู่ควบไซเลน (Silane - Treated Silk Fabric, ST-SF)..... | 7 |
| 2.2.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของผืนผ้าไหม | 7 |
| 2.2.4.1 การทดสอบความทนต่อแรงดึง (Tensile Test)..... | 7 |
| 2.2.4.2 การทดสอบสมบัติทางความร้อน..... | 8 |
| 2.2.4.3 การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันเคมี (Chemical Functional Group) | 8 |
| 2.2.4.4 การวิเคราะห์ปริมาณซิลิกาของผืนผ้าไหม | 8 |
| 2.2.4.5 การตรวจสอบสัญญาณวิทยา..... | 8 |
| 2.3 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของผืนผ้าไหม | 8 |
| 2.3.1 ความทนต่อแรงดึงของผืนผ้าไหม | 8 |
| 2.3.2 สมบัติทางความร้อนของผืนผ้าไหม | 9 |
| 2.3.3 หมู่ฟังก์ชันเคมีและโครงสร้างของเส้นไหม | 11 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|-----------|
| 2.3.4 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นไหม | 12 |
| 2.4 สรุปผลการศึกษา..... | 13 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 14 |
| บทที่ 3 การศึกษาสมบัติของอีพอกซีเชิงประกอบที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไหม..... | 15 |
| 3.1 ขอบเขตการวิจัย | 15 |
| 3.2 การทดลอง | 15 |
| 3.2.1 วัตถุประสงค์และสารเคมี | 15 |
| 3.2.2 การเตรียมวัสดุเชิงประกอบอีพอกซีเสริมแรงด้วยเส้นใยไหม | 15 |
| 3.2.3 การทดสอบสมบัติอีพอกซีและวัสดุเชิงประกอบอีพอกซีเสริมแรงด้วยเส้นใยไหม | 16 |
| 3.2.3.1 การทดสอบความทนต่อแรงดึง (Tensile Test)..... | 16 |
| 3.2.3.2 การทดสอบความทนต่อแรงดัด (Flexural Test)..... | 16 |
| 3.2.3.3 การทดสอบความทนต่อแรงตกกระแทก (Impact Test)..... | 16 |
| 3.2.3.4 การทดสอบสมบัติทางความร้อนของวัสดุเชิงประกอบอีพอกซีและเส้นใยไหม | 16 |
| 3.2.3.5 การตรวจสอบสัณฐานวิทยา..... | 16 |
| 3.3 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล..... | 16 |
| 3.3.1 สมบัติทางกลของอีพอกซีและวัสดุอีพอกซีที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไหม..... | 16 |
| 3.3.2 สมบัติทางความร้อนของอีพอกซีและวัสดุเชิงประกอบอีพอกซีเสริมแรงด้วยเส้นใยไหม | 23 |
| 3.3.3 สัณฐานวิทยาของอีพอกซีและวัสดุเชิงประกอบอีพอกซีเสริมแรงด้วยเส้นใยไหม..... | 29 |
| 3.3.3.1 พื้นผิวแตกหัก (Fracture Surface)..... | 29 |
| 3.3.3.2 การยึดติดระหว่างพื้นผิวของเส้นใยไหมและอีพอกซีเมทริกซ์ | 32 |
| 3.4 สรุปผลการศึกษา..... | 34 |
| เอกสารอ้างอิง..... | 35 |
| ประวัติคณะผู้วิจัย | 36 |
| ผลงานเผยแพร่ของโครงการวิจัย..... | 37 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 สมบัติความทนต่อแรงดึงและการยืดตัวก่อนขาดของผืนผ้าไหมแบบ ST-SF และ UT-SF | 8 |
| 2.2 ปริมาณซิลิกา (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) จากเส้นที่ได้จากการเผาผืนผ้าไหม UT-SF และ ST-SF | 12 |
| 3.1 สมบัติความทนต่อแรงดึง ความทนต่อแรงดัด และ ความทนต่อแรงกระแทกของอีพอกซีและวัสดุเชิงประกอบอีพอกซีเสริมแรงด้วยผืนผ้าไหมแบบ UT-SF และ แบบ ST-SF | 22 |
| 3.2 อุณหภูมิการเกิดโครงสร้างร่างแห (T_{cure}) และ อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะแก้ว (T_g) ของอีพอกซีและวัสดุเชิงประกอบอีพอกซีเสริมแรงด้วยผืนผ้าไหมแบบ UT-SF และ แบบ ST-SF | 26 |

สารบัญญภาพ

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 กราฟ DSC thermogram ของผืนผ้าไหมแบบ UT-SF และ ST-SF..... | 9 |
| 2.2 กราฟ TGA (a) และ DTGA (b) ของผืนผ้าไหมแบบ UT-SFและ ST-SF..... | 10 |
| 2.3 ATR FTIR spectrum ของผืนผ้าไหม UT-SF | 11 |
| 2.4 SEM micrographs ของเส้นไหม UT-SF (a, b, c) และ ST-SF (d, e, f)..... | 12 |
| 3.1 กราฟระหว่างค่ามอดุลัสของยังก์ (Young’s modulus) และสัดส่วนโดยมวลของผืนผ้าไหมของวัสดุเชิงประกอบอีพอกซีเสริมแรงด้วยผืนผ้าไหมแบบ UT-SF และ แบบ ST-SF | 17 |
| 3.2 กราฟระหว่างค่าการยืดออกก่อนขาด (elongation at break) และสัดส่วนโดยมวลของผืนผ้าไหม ของวัสดุเชิงประกอบอีพอกซีเสริมแรงด้วยผืนผ้าไหมแบบ UT-SF และ แบบ ST-SF | 17 |
| 3.3 กราฟระหว่างความทนต่อแรงดึง (tensile strength) และสัดส่วนโดยมวลของผืนผ้าไหมของวัสดุเชิงประกอบอีพอกซีที่เสริมแรงด้วยผืนผ้าไหมแบบ UT-SF และ แบบ ST-SF | 18 |
| 3.4 กราฟระหว่างความทนต่อแรงกระแทก (impact strength) และสัดส่วนโดยมวลของผืนผ้าไหมของวัสดุเชิงประกอบอีพอกซีเสริมแรงด้วยผืนผ้าไหมแบบ UT-SF และ แบบ ST-SF | 19 |
| 3.5 กราฟระหว่างมอดุลัสแรงดัด (flexural modulus) และสัดส่วนโดยมวลของผืนผ้าไหม ของวัสดุเชิงประกอบอีพอกซีที่เสริมแรงด้วยผืนผ้าไหมแบบ UT-SF และ แบบ ST-SF | 20 |
| 3.6 กราฟระหว่างความทนต่อแรงดัด (flexural strength) และสัดส่วนโดยมวลของผืนผ้าไหม ของวัสดุเชิงประกอบอีพอกซีเสริมแรงด้วยผืนผ้าไหมแบบ UT-SF และ แบบ ST-SF | 21 |
| 3.7 กราฟ TGA (a) และ DTGA (b) ของผืนผ้าไหมแบบ UT-SF, อีพอกซี และวัสดุเชิงประกอบอีพอกซีเสริมแรงด้วยผืนผ้าไหมแบบ UT-SF | 24 |
| 3.8 กราฟ TGA (a) และ DTGA (b) ของ UT-SF, อีพอกซี และวัสดุเชิงประกอบอีพอกซีที่เสริมแรงด้วยผืนผ้าไหมแบบ UT-SF..... | 25 |
| 3.9 กราฟ DSC thermogram ของ อีพอกซีและวัสดุเชิงประกอบอีพอกซีเสริมแรงด้วยผืนผ้าไหมแบบ UT-SF ก่อนการอบบ่ม | 27 |
| 3.10 กราฟ DSC thermogram ของ อีพอกซีและวัสดุเชิงประกอบอีพอกซีเสริมแรงด้วยผืนผ้าไหมแบบ UT-SF ที่ผ่านการอบบ่ม | 27 |
| 3.11 กราฟ DSC ของ อีพอกซีและวัสดุเชิงประกอบอีพอกซีที่เสริมแรงด้วยผืนผ้าไหมแบบ ST-SF ก่อนการอบบ่ม | 28 |

สารบัญภาพ (ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 3.12 กราฟ DSC ของ อีพอกซีและวัสดุเชิงประกอบอีพอกซีที่เสริมแรงด้วยเส้นใยไหมแบบ ST-SF ที่ผ่านการอบบ่ม | 28 |
| 3.13 SEM micrographs ของอีพอกซี (a) และวัสดุเชิงประกอบอีพอกซีเสริมแรงด้วยเส้นใยไหมแบบ UT-SF ที่สัดส่วนโดยน้ำหนัก UT-SF 0.18 (b) และ 0.30 (c) จากชิ้นทดสอบที่ผ่านการทดสอบความทนต่อแรงดัด | 30 |
| 3.14 SEM micrographs ของวัสดุเชิงประกอบอีพอกซีเสริมแรงด้วยเส้นใยไหมแบบ ST-SF ที่สัดส่วนโดยน้ำหนัก ST-SF 0.18 (a), 0.30 (b) และ ST-SF 0.35 (c) | 31 |
| 3.15 SEM micrographs ของวัสดุเชิงประกอบอีพอกซีเสริมแรงด้วยเส้นใยไหม UT-SF ที่สัดส่วนโดยน้ำหนัก 0.18 (a, b, c) และ วัสดุเชิงประกอบอีพอกซีเสริมแรงด้วยเส้นใยไหม ST-SF ที่สัดส่วนโดยน้ำหนัก 0.18 (d, e, f) | 33 |

สารบัญแผนภาพ

| แผนภาพที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 การเกิดอันตรกิริยาระหว่างหมู่ฟังก์ชันที่พื้นผิวเส้นไหมและสารประสาน APTES | 12 |
| 3.1 ปฏิกิริยาระหว่างวงแหวนอีพอกไซด์ของอีพอกซีเรซินกับหมู่เอมีนของสารประสาน APTES..... | 21 |

คำอธิบายคำย่อที่ใช้ในการวิจัย

| | |
|-------|---|
| ATR | Attenuated Reflection |
| DTGA | Differential Thermogravimetric Analysis |
| FTIR | Fourier Transform Infrared |
| HDT | Heat Deflection Temperature |
| SEM | Scanning Electron Microscope |
| ST-SF | Silane Treated Silk Fabric |
| TGA | Thermogravimetric Analysis |
| UT-SF | Untreated Silk Fabric |