การศึกษาพฤติกรรมการรับแรงดึงของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติ
A Study on Tensile Behavior of Natural Fiber Reinforced Polymer Composite

มัชชิมิยาโน คริสติน่า ณ น่าน[1] สรวิชญ์ อังศุธาร[2] และ พิชชา จองวิวัฒสกุล[3]

[1,2,3] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพฯ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอพฤติกรรมการรับแรงดึงของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติสองชนิด ได้แก่ เส้นใยผักตบชวา และเส้นใยปอกระเจา โดยศึกษาคุณสมบัติของเส้นใย และนำเส้นใยใช้ร่วมกับอีพอกซีจากธรรมชาติขึ้นรูปเป็นแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย คุณสมบัติของเส้นใยที่ศึกษา ได้แก่ ค่ากำลังรับแรงดึงสูงสุด และลักษณะการวิบัติภายใต้แรงดึง ในการศึกษากำลังรับแรงดึงของแผ่นเส้นใย พบว่า กำลังรับแรงดึงของเส้นใยและแผ่นเส้นใยในแต่ละชนิด มีค่าใกล้เคียงกันคือ 37.84 และ 38.84 MPa ในเส้นใยปอกระเจา และ 89.31 และ 90.52 MPa ในเส้นใยผักตบชวา แต่เมื่อนำมาใช้ร่วมกับอีพอกซีเพื่อทำเป็นแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแล้ว จะได้คุณสมบัติการรับแรงดึงเมื่อใช้ร่วมกับอีพอกซีธรรมชาติ และอีพอกซีสังเคราะห์ที่ 115.24 และ 141.68 MPa ตามลำดับ ซึ่งมากขึ้น 3.75 เท่าในแผ่นเส้นใยปอกระเจา และ 262.51 และ 339.74 MPa ซึ่งมากขึ้น 3.65 เท่าในแผ่นเส้นใยผักตบชวา และพบว่าคุณสมบัติของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่ทำจากอีพอกซีธรรมชาตินั้น ยืดตัวน้อยกว่าก่อนการวิบัติและมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสูงกว่า

คำสำคัญ : แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติ, อีพอกซีธรรมชาติ, การทดสอบแผ่นคูปอง

Abstract

This study presents tensile behavior of natural fiber reinforced polymer (NFRP) composite. The mechanical behavior of jute and water hyacinth fibers including tensile strength and mode of failure was investigated. Afterwards, the coupon test of specimens from each natural fiber types and epoxies including a bio-based epoxy and a conventional epoxy were carried out. The results show that a single filament fiber has similar tensile strength compared to a fiber sheet. The tensile strengths of single filament water hyacinth and water hyacinth sheet are 37.84 and 38.84 MPa, respectively, and 89.31 and 90.52 MPa for single filament jute and jute sheet. However, after reinforced with polymer, the tensile strengths of water hyacinth FRP with bio-based epoxy and synthetic epoxy increased to 115.24 and 141.68 MPa, respectively. Similarly, the tensile strengths of jute FRP with bio-based epoxy and synthetic epoxy were 115.24 and 141.68 MPa, respectively. The result illustrates that using fiber along with epoxy to produce a composite could improve the strength by up to 3.75 and 3.65 times for jute NFRP and water hyacinth NFRP, respectively. In addition, it is found that the using bio-based epoxy for producing FRP offers higher stiffness than that of synthetic epoxy.

Key words: Natural Fiber Reinforced Polymer (NFRP), Bio-based Epoxy, Coupon test

1. บทนำ

สิ่งก่อสร้างต่าง ๆ มีการเสื่อมสภาพตามการใช้งาน จึงทำให้มีความจำเป็นในการซ่อมแซมโครงสร้างของอาคาร การซ่อมแซมและเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กสามารถทำได้หลายรูปแบบ หนึ่งในรูปแบบที่ได้รับความสนใจและมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบันคือ การติดตั้งแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย (Fiber Reinforced Polymer; FRP) ลงบนพื้นผิวภายนอกขององค์อาคาร โดยการยึดติดแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยจะสามารถช่วยเพิ่มกำลังรับแรงให้กับองค์อาคาร อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยยังถือเป็นวัสดุที่มีราคาค่อนข้างสูง และยังเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มีขั้นตอนการผลิตและการใช้งานที่ส่งผลต่อความยั่งยืนของสิ่งแวดล้อม การค้นคว้าเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เส้นใยธรรมชาติ เพื่อทำแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติ(Natural Fiber Reinforced Polymer; NFRP) จึงเป็นทางเลือกสำคัญที่มีราคาถูกกว่า และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่ำกว่าการใช้แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแบบดั้งเดิม

การใช้งานแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาตินั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ทางวิศวกรรม เนื่องจากคุณสมบัติทางกลของตัววัสดุเอง โดยเฉพาะในการเพิ่มความแข็งแรงจากการโอบรัดของคอนกรีต [1] และยังมีงานวิจัยที่ใช้งานแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติเสริมกำลังโครงสร้าง

คอนกรีตเสริมเหล็ก [2] อย่างไรก็ตามการใช้งานแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติเหล่านี้จะต้องมีการใช้ร่วมกับอีพอกซี เพื่อให้ได้วัสดุผสมที่มีการกระจายแรงได้ดี ซึ่งอีพอกซีที่มักมีการศึกษาใช้ร่วมกับเส้นใยธรรมชาติเป็นสารสังเคราะห์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตั้งแต่ขั้นตอนการผลิต ไปจนถึงระหว่างอายุการใช้งาน

ในปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาอีพอกซีจากธรรมชาติให้มีประสิทธิภาพและคุณสมบัติดียิ่งขึ้นอย่างต่อเนื่อง เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า และสามารถมาแทนที่การใช้งานอีพอกซีแบบทั่วไปได้ [3] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการใช้งานอีพอกซีจากธรรมชาติ และแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแบบดั้งเดิมในการเพิ่มคุณสมบัติและความแข็งแรงให้กับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก [4] แต่การใช้งานอีพอกซีจากธรรมชาติ กับแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งเป็นการใช้วัสดุทดแทนที่ลดการส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมร่วมกันนั้น ยังต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาลักษณะพฤติกรรมของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งเป็นการใช้งานร่วมกันของเส้นใยธรรมชาติ และอีพอกซีจากธรรมชาติ โดยเริ่มตั้งแต่การหาเส้นใยที่มีอยู่ในท้องตลาดในรูปแบบเส้นเชือก จากนั้นส่งทอเป็นผืนให้อยู่ในรูปของแผ่นเส้นใยที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้แทนแผ่นเส้นใยที่มีการใช้อยู่ทั่วไปที่ผลิตได้เชิงอุตสาหกรรม จากนั้นศึกษาคุณสมบัติการต้านแรงดึงของวัสดุที่เป็นเส้นใยและเป็นแผ่นเส้นใย รวมไปจนถึงศึกษาคุณสมบัติของแผ่นเส้นใยเมื่อใช้งานรวมกับอีพอกซีโดยการทดสอบแผ่นคูปอง (flat coupon test) โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ได้แก่

1) เพื่อศึกษาอิทธิพลของชนิดเส้นใยธรรมชาติต่อพฤติกรรมการรับแรงดึงของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติ

2) เพื่อศึกษาอิทธิพลของชนิดอีพอกซีต่อพฤติกรรมการรับแรงดึงของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติ

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณสมบัติการรับแรงดึงของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติ

เส้นใยธรรมชาติเป็นทางเลือกสำหรับการผลิตที่มีน้ำหนักเบาและค่าใช้จ่ายต่ำที่ได้รับความสนใจในปัจจุบัน เนื่องจากข้อได้เปรียบที่มากกว่าเส้นใยทั่วไปและเส้นใยสังเคราะห์คือค่าใช้จ่ายของการผลิตที่ต่ำ ความหนาแน่นของวัสดุที่น้อยเทียบกับวัสดุอื่น การเกิดปฏิกิริยาต่อผิวสัมผัสที่ต่ำ การลดลงของการใช้พลังงาน ความเสี่ยงต่อสุขภาพที่ต่ำ และยังสามารถย่อยสลายได้ [5] โดยทั่วไปความต้านทานแรงดึงของเส้นใยธรรมชาติอยู่ในระดับต่ำเมื่อเทียบกับเส้นใยสังเคราะห์ ทั้งคุณสมบัติแรงดึง เช่น ความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) และค่า Young's Modulus

2.2 อีพอกซีจากธรรมชาติ

คุณสมบัติในการรับแรงดึงเป็นหนึ่งในคุณสมบัติเชิงกลที่สำคัญเพื่อที่จะศึกษาพฤติกรรมของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย McIsaac and Fam [6] ได้ทำการศึกษาการใช้อีพอกซีธรรมชาติ 3 ชนิด ได้แก่ อีพอกซีจากไม้และผัก (wood and Vegetable, WV) อีพอกซีจากเม็ดมะม่วงหิมพานต์ (cashew nut, CN) และน้ำมันจากเมล็ดต้นแฟลกซ์ที่ผ่านกระบวนการอีพอกซีไดซ์ (epoxidized linseed oil, ELO) เมื่อใช้งานร่วมกับเส้นใยคาร์บอน (CFRP) และเส้นใยแก้ว (GFRP) โดยส่วนผสมจากธรรมชาติในแต่ละสูตรของการทำแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยนั้นถูกทดสอบตั้งแต่ที่ 10 – 41% ของส่วนที่ได้จากธรรมชาติโดยน้ำหนัก จากการวิจัยพบว่าแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนและเส้นใยแก้ว เมื่อใช้งานกับอีพอกซีจากไม้และผักที่มีส่วนผสมจากธรรมชาติที่ 40% โดยน้ำหนัก จะให้คุณสมบัติการรับแรงดึงประลัยที่สูงที่สุด เมื่อเทียบกับการผสมรูปแบบอื่น

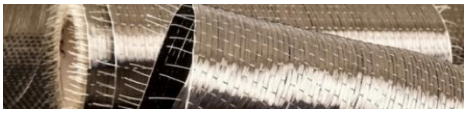
3. วิธีการทดลอง

3.1 วัสดุที่ใช้

วัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใย (fiber reinforced polymer composite) ประกอบไปด้วยส่วนของเส้นใยและวัสดุเชื่อมติด โดยเส้นใยแบ่งออกเป็น เส้นใยธรรมชาติสองชนิด (เส้นใยผักตบชวาและเส้นใยปอกระเจา) และเส้นใยสังเคราะห์จากคาร์บอน ดังแสดงใน**รูปที่ 1-3** ในส่วนของวัสดุเชื่อมติดประกอบไปด้วย อีพอกซีจากธรรมชาติ และ อีพอกซีสังเคราะห์

รูปที่ 1 แผ่นเส้นใยผักตบชวา

รูปที่ 2 แผ่นเส้นใยปอกระเจา



รูปที่ 3 แผ่นเส้นใยคาร์บอน

3.2 รายละเอียดการทดลอง

รายละเอียดของการทดลอง สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนของการทดสอบเส้นใยและแผ่นเส้นใยขนาดเท่าตัวอย่างคูปองเพื่อศึกษาพฤติกรรมของเส้นใยภายใต้การรับแรงดึง และส่วนที่สอง เป็นการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยในรูปแบบของการทดสอบคูปอง โดยมีรายละเอียด ดังนี้

3.2.1 การทดสอบคุณสมบัติของเส้นใย

(1) การหาความหนาของเส้นใย

ใช้การหาความหนาด้วยเทคนิค น้ำหนัก และ ความหนาแน่นเชิงเส้น (linear weight-density method) การหาความหนาแน่นหาด้วยวิธีแทนที่วัสดุด้วยแก๊สเฉื่อย โดยใช้เครื่อง Gas Pycnometer และ ทำการหาค่าน้ำหนักต่อพื้นที่ด้วยการวัดขนาด และ ชั่งน้ำหนักแผ่นเส้นใย เพื่อใช้ร่วมกับความหนาแน่น เพื่อหาความหนาแผ่นเส้นใย

(2) การทดสอบกำลังรับแรงดึงวิบัติของเส้นใยเดี่ยวจากธรรมชาติ

เพื่อช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยได้ดียิ่งขึ้น จึงทดสอบกำลังรับแรงดึงวิบัติของเส้นใยธรรชาติ การดึงเส้นใยธรรมชาติแต่ละชนิดจะบันทึกค่าแรงดึงสูงสุดที่เส้นใยแต่ละเส้นรับได้ เพื่อหากำลังรับแรงดึงวิบัติของเส้นใยเดี่ยว รวมไปจนถึงพฤติกรรมการวิบัติของเส้นใย เส้นใยแต่ละชนิดทำการทดสอบรับแรงดึงด้วยเครื่อง Autograph ทดสอบซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง และดัดแปลงการทดสอบจากมาตรฐาน ASTM D3379 – 75 [7] **ตารางที่ 1**แสดงรายละเอียดการทดลองการหากำลังรับแรงดึงของเส้นใยเดี่ยวและแผ่นเส้นใย

ตารางที่ 1 รายละเอียดการทดสอบเพื่อหากำลังรับแรงดึงวิบัติของเส้นใยเดี่ยวและแผ่นเส้นใย

Specimen Code	Fiber Type	Specimen Type	No. of specimens
WH-S	Water Hyacinth	Single Strand	5
WH-SH	Water Hyacinth	Sheet	5
J-S	Jute	Single Strand	5
J-SH	Jute	Sheet	5

ความหมายของชื่อตัวอย่าง: ชื่อในส่วนแรกจะบอกประเภทของเส้นใย และในส่วนหลังจะบอกในส่วนของลักษณะรูปแบบของตัวอย่าง เช่น WH-SH หมายถึง ตัวอย่างในลักษณะแผ่นจากผักตบชวา

3.2.2 การทดสอบการรับแรงดึงของแผ่นคูปอง

ในส่วนนี้ เป็นส่วนที่ทำการทดลองเพื่อหาคุณสมบัติการรับแรงดึงของแผ่น FRP โดยจะทำการทดสอบตัวอย่างรวมทั้งหมด 30 ตัวอย่างเพื่อศึกษาพฤติกรรมของเส้นใยและอีพอกซีเมื่อใช้ร่วมกันในรูปแบบของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย โดยประกอบไปด้วยเส้นใย 3 ชนิด และอีพอกซี 2 ชนิด โดยในการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน JSCE E541 (2000) [8] เพื่อหาคุณสมบัติการรับแรงดึง โดยจะมีการทำซ้ำทั้งหมด 5 รอบสำหรับแต่ละตัวอย่าง โดยลักษณะการแบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็นไปดังแสดงใน**ตารางที่ 2**

ตารางที่ 2 รายการทดสอบการรับแรงดึงของแผ่นคูปอง

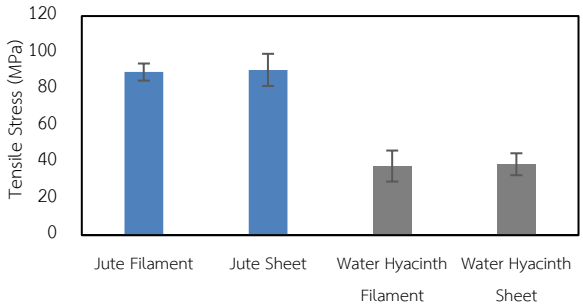
Specimen	Fiber	Epoxy	No. of
J-BE	Jute	Bio-based	5
J-SE	Jute	Synthetic	5
WH-BE	Water	Bio-based	5
WH-SE	Water	Synthetic	5
C-BE	Carbon	Bio-based	5
C-SE	Carbon	Synthetic	5

ความหมายของชื่อตัวอย่าง: ชื่อในส่วนแรกจะบอกประเภทของเส้นใย และในส่วนที่สองจะบอกในส่วนของอีพอกซี ที่ใช้ เช่น WH-SE หมายถึง ตัวอย่างนี้ ใช้เส้นใยธรรมชาติจากผักตบชวาและอีพอกซีสังเคราะห์

4. ผลการทดลอง

4.1 คุณสมบัติของเส้นใยธรรมชาติ

จากผลการทดสอบใน**รูปที่ 4** พบว่าเส้นใยเดี่ยวและแผ่นเส้นใยของเส้นใยธรรมชาติสามารถรับแรงได้ใกล้เคียงกัน โดยเส้นใยปอกระเจาสามารถรับกำลังได้สูงกว่าเส้นใยผักตบชวา



รูปที่ 4 กำลังรับแรงดึงสูงสุดของเส้นใยธรรมชาติในรูปแบบเส้นใยเดี่ยวและแผ่นเส้นใย

4.2 รูปแบบและลักษณะการวิบัติของเส้นใย

4.2.1 เส้นใยผักตบชวา

ในส่วนของการทดสอบเส้นใยเดี่ยว เส้นใยของผักตบชวาในมัดเชือกจะขาดทีละเส้นโดยขาดออกจากกันอย่างสิ้นเชิง และในแต่ละเส้นในมัดเชือกนั้น อาจมีการวิบัติเกิดขึ้น ณ จุดที่แตกต่างกัน ดังแสดงใน**รูปที่ 5**

รูปที่ 5 ลักษณะการวิบัติของเส้นใยเดี่ยวจากผักตบชวา

ในส่วนของการทดสอบแผ่นเส้นใย เส้นใยจะมีลักษณะการขาดของเส้นใยในแผ่นไม่พร้อมกัน แต่ละเส้นจะขาดที่คนละตำแหน่ง และเมื่อพ้นจุดสูงสุดของกำลังที่รับได้ เส้นใยจะขาดเพียงบางเส้นเท่านั้น ดังแสดงใน**รูปที่ 6**

รูปที่ 6 ลักษณะการวิบัติของแผ่นเส้นใยจากผักตบชวา

4.2.2 เส้นใยปอกระเจา

เมื่อทดสอบเป็นเส้นเดี่ยว พบว่าเส้นใยย่อย ๆ ที่รวมกันเป็นเส้นเชือกจะขาดออกจากกันเพียงบางส่วน ทำให้เมื่อเส้นเชือกเดี่ยวรับกำลังถึงจุดสูงสุดแล้ว การวิบัติที่เกิดขึ้นจะเห็นเป็นเส้นใยที่ไม่ได้ขาดสะบั้นออกจากกันดังแสดงใน**รูปที่ 7**

รูปที่ 7 ลักษณะการวิบัติของเส้นใยเดี่ยวจากปอกระเจา

การทดสอบเส้นใยปอกระเจาเป็นแผ่น เส้นเชือกแต่ละเส้นในแผ่นจะขาดออกเพียงบางส่วนเท่านั้น โดยมีลักษณะการขาดเหมือนกับเมื่อทดสอบทีละเส้น นอกจากนี้เชือกแต่ละเส้นในผืนจะเกิดการวิบัติคนละตำแหน่ง และไม่ได้วิบัติทุกเส้น โดยเส้นที่มักเกิดการวิบัติคือเส้นที่อยู่บริเวณใกล้กับขอบดังแสดงใน**รูปที่ 8**

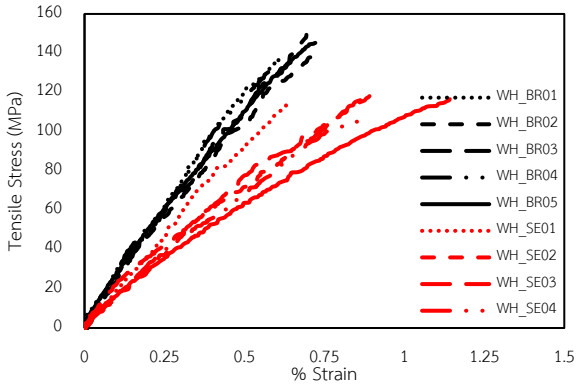
รูปที่ 8 ลักษณะการวิบัติของแผ่นเส้นใยจากปอกระเจา

จากผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงสูงสุด จะเห็นได้ว่ากำลังของแต่ละเส้นใย เมื่อเปรียบเทียบกับกับแผ่นของเส้นใยชนิดเดียวกันนั้น มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งเมื่อสังเกตร่วมกับรูปแบบการวิบัติของแผ่นเส้นใยแล้ว พบว่าพฤติกรรมของเส้นใยเดี่ยวแต่ละเส้นที่ประกอบกันเป็นแผ่นเส้นใยนั้น ไม่ได้รับแรงเท่ากันในทุก ๆ เส้น ทำให้ในลักษณะการวิบัติจะเห็นว่าเส้นใยบางเส้นขาดก่อน และในแผ่นเส้นใยนั้น มีเส้นใยขาดเพียงบางเส้นเท่านั้น ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าเส้นใยแต่ละเส้นใยในแผ่นเส้นใยรับแรงเป็นอิสระ และการถ่ายเทแรงนั้นไม่เท่ากัน ซึ่งอาจเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของขนาดเส้นใย รวมถึงรูปแบบการเรียงตัวของเส้นใยในแผ่นเส้นใย

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของแผ่นคูปอง

4.3.1 แผ่นคูปองเส้นใยผักตบชวา

จากผลการทดสอบพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของแผ่นคูปองเส้นใยผักตบชวามีลักษณะเป็นเส้นโค้ง ดังแสดงใน**รูปที่ 9** ในเชิงของกำลังรับแรงดึง แผ่นคูปองที่ใช้อีพอกซีจากธรรมชาติ มีความแข็งแรงมากกว่าตัวอย่างแผ่นคูปองจากอีพอกซีสังเคราะห์ แต่ในทางตรงกันข้ามตัวอย่างแผ่นคูปองจากอีพอกซีสังเคราะห์ จะเกิดการยืดตัวที่มากกว่าด้วยก่อนถึงจุดวิบัติ



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของแผ่นพอลิเมอร์เสริมกำลังเส้นใยธรรมชาติจากผักตบชวา

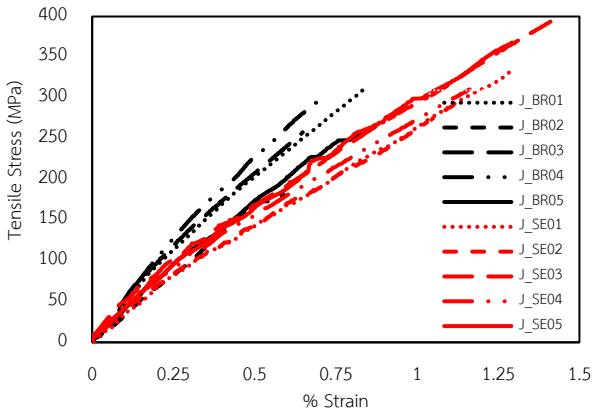
4.3.2 แผ่นคูปองเส้นใยปอกระเจา

จาก**ตารางที่ 3** พบว่าแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยปอกระเจาที่ใช้อีพอกซีสังเคราะห์สามารถรับกำลังได้ดีกว่าและมีค่าร้อยละของการยืดตัวก่อนการวิบัติมากกว่าแผ่นคูปองที่ใช้อีพอกซีธรรมชาติ

ตารางที่ 3 คุณสมบัติการรับแรงดึงของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย

Fiber Type	Tensile Strength (MPa)	Rupture Strain (%)	Young's Modulus (GPa)
WH_SE	115.24	0.88	0.13
WH_BR	141.68	0.67	0.21
J_SE	339.74	1.25	0.27
J_BR	262.51	0.72	0.36
C_SE	>2377*	>1.03*	2.31
C_BR	>2381*	>0.84*	2.85

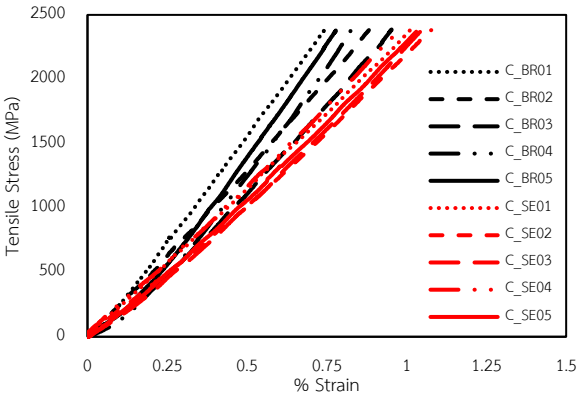
*ไม่สามารถทดสอบจนวิบัติได้เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องทดสอบ



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของแผ่นพอลิเมอร์เสริมกำลังเส้นใยธรรมชาติจากปอกระเจา

4.3.3 แผ่นคูปองเส้นใยคาร์บอน

รูปที่ 11 แสดงให้เห็นว่าอีพอกซีชนิดสังเคราะห์ได้ผลการทดลองที่เกาะกลุ่มกันเชิงความสัมพันธ์เชิงความเค้นและความเครียดของแต่ละเส้นที่ทำการทดสอบ และพบว่าแผ่นคูปองจากอีพอกซีธรรมชาติยืดตัวน้อยกว่าแผ่นคูปองจากอีพอกซีสังเคราะห์ โดยสำหรับแผ่นคูปองเส้นใยคาร์บอนไม่สามารถบอกค่ากำลังแรงดึงสูงสุดและร้อยละของการยืดตัวก่อนการวิบัติได้เนื่องจากขีดจำกัดของเครื่องมือทดสอบ ไม่สามารถทำให้ตัวอย่างวิบัติได้



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของแผ่นพอลิเมอร์เสริมกำลังเส้นใยคาร์บอน

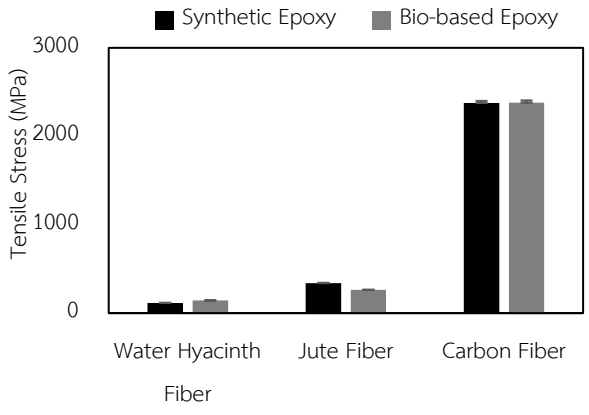
4.4 คุณสมบัติของแผ่นคูปอง

4.4.1 อิทธิพลของชนิดเส้นใย

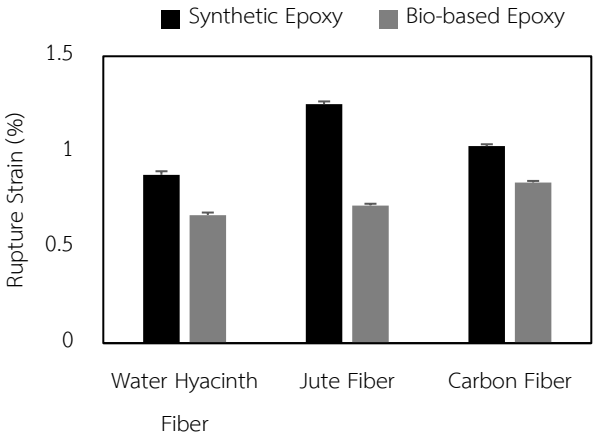
รูปที่ 12 - 14 แสดงกำลังรับแรงดึง ค่า Rupture Strain และค่าโมดูลัสของยังส์ของแผ่นคูปองจากเส้นใยต่างชนิดกัน พบว่าชนิดของเส้นใยส่งผลโดยตรงต่อกำลังรับแรงดึงของแผ่นคูปอง จาก**รูปที่ 12** แสดงให้เห็นว่า แผ่นคูปองที่ทำจากเส้นใยแต่ละชนิด มีกำลังรับแรงดึงที่ใกล้เคียงกัน ไม่ว่าจะเป็นแผ่นคูปองที่ใช้ร่วมกับอีพอกซีสังเคราะห์ หรือ อีพอกซีจากธรรมชาติก็ตาม และ ยังสามารถระบุได้ว่าแผ่นคูปองที่ทำจากเส้นใยคาร์บอน มีกำลังรับแรงดึงสูงที่สุด ตามด้วย แผ่นคูปองจากเส้นใยปอกระเจา และผักตบชวา ตามลำดับ นอกจากนี้ ค่าโมดูลัสของยังส์ซึ่งสามารถคำนวณได้จากกำลังรับแรงดึงและการยืดตัว มีผลสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดสอบกำลังรับแรงดึง โดยแผ่นคูปองจากเส้นใยคาร์บอน มีค่าคุณสมบัติโมดูลัสของยังส์สูงที่สุด ตามด้วย แผ่นคูปองจากเส้นใยปอกระเจา และ ผักตบชวา ตามลำดับ

4.4.2 อิทธิพลของชนิดอิพอกซี

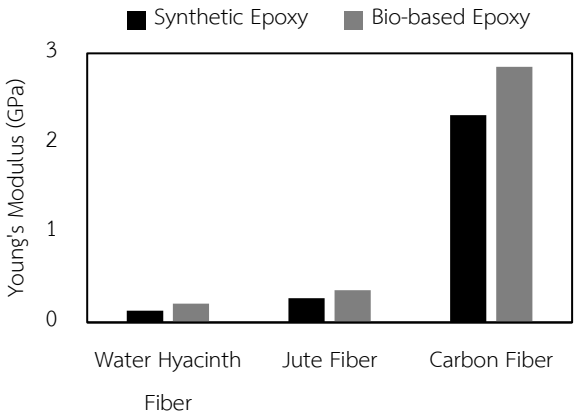
จาก **รูปที่ 12 - 14** พบว่า แผ่นคูปองจากเส้นใยผักตบชวาที่ใช้ร่วมกับ อีพอกซีธรรมชาติมีค่ากำลังรับแรงดึงสูงกว่าอีพอกซีสังเคราะห์ ในทางตรงกันข้ามแผ่นคูปองจากเส้นใยปอกระเจาที่ใช้ร่วมกับอีพอกซีสังเคราะห์จะมีความสามารถในการรับแรงดึงสูงกว่าอีพอกซีจากธรรมชาติ ซึ่งสามารถสันนิษฐานได้ว่าในกรณีของแผ่นคูปองจากเส้นใยผักตบชวา เนื่องจากกำลังของเส้นใยต่ำ ทำให้คุณสมบัติด้านการรับแรงดึงจากส่วนของอีพอกซีมีผลมาก และ เป็นตัวควบคุมค่าการรับแรงดึงของแผ่นคูปองโดยรวม เมื่อสังเกตร่วมกับรูปแบบการวิบัติ จะเห็นการวิบัติเป็นระนาบ (**รูปที่ 15**) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการกระจายแรงของอีพอกซี ในขณะที่แผ่นคูปองของเส้นใยปอกระเจา กำลังรับแรงดึงของเส้นใยมีค่าสูง ทำให้ค่าถูกควบคุมด้วยคุณสมบัติของเส้นใยเป็นหลัก เมื่อสังเกตร่วมกับลักษณะการวิบัติ จะพบว่าหน้าตัดของการวิบัติไม่เรียบเป็นระนาบเส้นตรง (**รูปที่ 16**) จึงสันนิษฐานว่า ในช่วงเกิดการวิบัติ ส่วนของอีพอกซีเกิดความเสียหายขนาดเล็ก ทำให้การกระจายแรงไปยังเส้นใยไม่สม่ำเสมอ ทำให้เส้นใยบางเส้นขาดก่อน จนเกิดจุด weak point ทำให้เส้นใยอื่น ๆ ในระนาบใกล้เคียงขาดจนวิบัติในที่สุด



รูปที่ 12 คุณสมบัติการรับแรงดึงของแผ่นคูปองแต่ละชนิด



รูปที่ 13 คุณสมบัติการยืดตัวของแผ่นคูปองแต่ละชนิด



รูปที่ 14 ค่าโมดูลัสของยังส์ของแผ่นคูปองแต่ละชนิด

นอกจากนี้ จาก**รูปที่ 13** จะเห็นว่า แผ่นคูปองจากอีพอกซีสังเคราะห์ มีการยืดตัวมากกว่าแผ่นคูปองจากอีพอกซีจากธรรมชาติที่ทำจากเส้นใยชนิดเดียวกัน และ**รูปที่ 14** แสดงให้เห็นว่าค่าโมดูลัสของยังส์ของแผ่นคูปองที่ทำจากอีพอกซีธรรมชาติสูงกว่าแผ่นคูปองจากอีพอกซีสังเคราะห์ที่ทำจากเส้นใยชนิดเดียวกัน จึงสามารถสรุปได้ว่า อีพอกซีจากธรรมชาติ มีความแข็งและเปราะ ในขณะที่อีพอกซีสังเคราะห์มีคุณสมบัติการยืดตัวที่สูงกว่า

4.5 รูปแบบและลักษณะการวิบัติของแผ่นคูปอง

4.5.1 แผ่นคูปองผักตบชวา

แผ่นคูปองผักตบชวาจากอีพอกซีทั้งสองชนิด มีระนาบการวิบัติเป็นเส้นตรงดังแสดงใน**รูปที่ 15**

รูปที่ 15 การวิบัติของแผ่นคูปองผักตบชวาจากอีพอกซีธรรมชาติ

4.5.2 แผ่นคูปองปอกระเจา

แผ่นคูปองปอกระเจาจากอีพอกซีทั้งสองชนิด มีระนาบการวิบัติไม่สม่ำเสมอ มักขาดบริเวณใกล้หัวท้ายดังแสดงใน**รูปที่ 16**

รูปที่ 16 การวิบัติของแผ่นคูปองปอกระเจาจากอีพอกซีธรรมชาติ

4.5.3 แผ่นคูปองเส้นใยคาร์บอน

แผ่นคูปองเส้นใยคาร์บอนจากอีพอกซีทั้งสองชนิด ไม่เกิดการวิบัติ ดังแสดงใน**รูปที่ 17** มีเพียงเสียงแตกหักระหว่างการทดสอบ

รูปที่ 17 การวิบัติของแผ่นคูปองคาร์บอนจากอีพอกซีธรรมชาติ

5. สรุปผลการทดสอบ

การศึกษาพฤติกรรมการรับแรงดึงของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติ พบว่าเส้นใยธรรมชาติจากปอกระเจานั้นมีความสามารถในการรับแรงดึงสูงกว่าเส้นใยผักตบชวา โดยเส้นใยจากปอกระเจาจะมีการขาดที่แสดงให้เห็นถึงการยืดตัวในขณะที่ เส้นใยผักตบชวาจะขาดสะบั้นออกจากกันคล้ายการวิบัติแบบเปราะ และพบว่าการนำเส้นใยมาทำเป็นแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยนั้น จะช่วยเพิ่มคุณสมบัติให้กับแผ่นเส้นใย เนื่องจากเป็นตัวกลางในการยึดติด ช่วยถ่ายแรงระหว่างเส้นใย เพื่อให้วัสดุที่ประกอบกันเป็นแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยทำงานร่วมกันเพื่อรับแรงดึง โดยแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยจากคาร์บอนมีความสามารถในการรับแรงดึงสูงที่สุด ตามด้วย แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยจากปอกระเจา และแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยจากผักตบชวา ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบผลของชนิดอีพอกซี จะสามารถสรุปได้ว่าอีพอกซีจากธรรมชาติจะมีความแข็งมากกว่า สังเกตได้จากสติฟเนสที่หาได้ ในการประยุกต์ใช้งานจริง แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยจากผักตบชวาใช้ร่วมกับอีพอซีจากธรรมชาติจะให้ผลของสติฟเนสที่สูงกว่า และในส่วนของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยจากปอกระเจาให้ค่ากำลังที่สูงกว่าเมื่อใช้คู่กับอีพอกซีสังเคราะห์ และมีลักษณะการวิบัติที่แสดงถึงความยืดหยุ่นมากกว่า นอกจากนี้ยังมีค่าสติฟเนใกล้เคียงกับแบบที่ใช้ร่วมกับอีพอกซีจากธรรมชาติ

อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้เน้นศึกษากำลังของวัสดุ ดังนั้นในอนาคตควรมีการศึกษาครอบคลุมไปถึงการใช้งานจริงเมื่อใช้ในการโอบรัดคอนกรีต เพื่อศึกษาการรับกำลังและผลการโอบรัดที่เกิดจากเส้นใย และควรศึกษาอิทธิพลของชนิดอีพอกซีจากธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติชนิดอื่นเพิ่มเติม เพื่อหาวัสดุทางธรรมชาติ ที่สามารถใช้ร่วมกับอีพอกซีจากธรรมชาติ และสามารถใช้รวมกันเพื่อให้ผลลัพธ์ที่เพียงพอสำหรับการนำไปพัฒนาใช้จริงในการโอบรัดและเสริมคุณสมบัติขององค์อาคาร เพื่อเป็นทางเลือกที่ยั่งยืนต่อสิ่งแวดล้อมอย่างแท้จริง

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาพฤติกรรมการรับแรงดึงของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติ สำเร็จลุล่วงเนื่องจากได้รับความกรุณา ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจาก รศ. ดร. พิชชา จองวิวัฒสกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่นอกจากจะได้ให้ความรู้ทางวิชาการ เทคนิคส่วนของการทำการทดลอง ความเห็นทางด้านวิชาการ ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ธิดารัตน์ วิสุทธิ์เสรีวงศ์ และ คุณวารุจ ลิ่มวิบูลย์ ผู้ชี้แนวทางขั้นตอนการวางแผนการทดสอบ รวมถึงความอนุเคราะห์เรื่องการจัดการเรื่องต่าง ๆ ตั้งแต่ส่วนของการจัดหาวัสดุ ไปจนถึงอนุเคราะห์พื้นที่ และอุปกรณ์ทดสอบ มาโดยตลอด แม้ว่าจะอยู่ในช่วงสถานการณ์วิกฤตจากไวรัสโควิด-19 ก็ตาม และสุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ ศ.ดร.สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง ผู้สนับสนุนทุนการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Jirawattanasomkul, T., Ueda, T., Likitlersuang, S., Zhang, D., Hanwiboonwat, N., Wuttiwannasak, N., & Horsangchai, K. (2019). Effect of natural fibre reinforced polymers on confined compressive strength of concrete. *Construction and Building Materials*, *223*, 156-164.

[2] Sen, T., & Reddy, H. J. (2014). Flexural strengthening of RC beams using natural sisal and artificial carbon and glass fabric reinforced composite system. *Sustainable Cities and Society*, *10*, 195-206.

[3] Fam, A., Eldridge, A., & Misra, M. (2014). Mechanical characteristics of glass fibre reinforced polymer made of furfuryl alcohol bio-resin. *Materials and structures*, *47*(7), 1195-1204.

[4] McSwiggan, C., & Fam, A. (2017). Bio-based resins for flexural strengthening of reinforced concrete beams with FRP sheets. *Construction and Building Materials*, *131*, 618-629.

[5] Malkapuram, R., Kumar, V., & Negi, Y. S. (2009). Recent development in natural fiber reinforced polypropylene composites. *Journal of reinforced plastics and composites*, *28*(10), 1169-1189.

[6] McIsaac, A., & Fam, A. (2018). The effect of bio-based content in resin blends on tensile properties of FRP wet layup systems. *Construction and Building Materials*, *168*, 328-337.

[7] ASTM. (2014). American Society for Testing and Materials. In Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. International: ASTM D3379 – 75

[8] JSCE3 (2001). Japan Society of Civil Engineers. Test Method for Tensile Properties of Continuous Fiber Sheets: JSCE-E 541-2000