การศึกษาพฤติกรรมการรับแรงดึงของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติ

A Study on Tensile Behavior of Natural Fiber Reinforced Polymer Composite

สารัช หาญประเสริฐพงษ์[1] คณิน ธำมรงณ์ปรีชาชัย[2] และ พิชชา จองวิวัฒสกุล[3]

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

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของชนิดเส้นใยธรรมชาติและชนิดเมทริกซ์ที่มีผลต่อพฤติกรรมการรับแรงดึงของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติ โดยเส้นใยธรรมชาติที่ทำการศึกษาได้แก่ เส้นใยป่านศรนารายณ์ เส้นใยปอกระเจา และเส้นใยผักตบชวา ซึ่งใช้งานร่วมกับเมทริกซ์เพื่อที่จะขึ้นรูปเป็นแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติ โดยเมทริกซ์ที่ทำการศึกษา ได้แก่ อีพอกซีธรรมชาติ และไบโอเรซิน และทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงจนวิบัติ โดยทำตัวอย่างอยู่ในรูปแบบแผ่นคูปอง ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบออกมาในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด โดยจะนำมาวิเคราะห์ใน 4 ประเด็นได้แก่ กำลังรับแรงดึง การยืดตัว ค่ามอดุลัสของยัง และลักษณะการวิบัติ จากผลการทดลองพบว่าการใช้เมทริกซ์เป็นอีพอกซีธรรมชาติจะมีกำลังรับแรงดึงที่มากกว่าการใช้ไบโอเรนซินในทุกเส้นใย ซึ่งเส้นใยปอกระเจาเป็นเส้นใยที่ให้กำลังรับแรงดึงมากที่สุดสำหรับการใช้ร่วมกับอีพอกซีธรรมชาติ โดยมีค่ากำลังรับแรงดึงเท่ากับ 292.5 MPa ด้านการยืดตัว เส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ใช้ร่วมกับอีพอกซธรรมชาติมีการยืดตัวมากที่สุดถึง 1.85% สำหรับค่ามอดุลัสของยังการใช้เส้นใยปอกระเจาร่วมกับเมทริกซ์ที่เป็นอีพอกซีธรรมชาติให้ค่ามอดุลัสที่สูงที่สุดคือ 34.4 GPa และแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติส่วนใหญ่จะมีการวิบัติเป็นการขาดในทิศทางตั้งฉากกับแรงดึง จะเห็นได้ว่าแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติแม้ไม่มีคุณสมบัติเพียงพอที่จะใช้ในการเสริมกำลังโครงสร้างขนาดใหญ่ แต่มีศักยภาพที่น่าสนใจในการนำมาใช้เพื่อเสริมกำลังโครงสร้างขนาดเล็ก เช่น บ้านพักอาศัยในต่างจังหวัด ซึ่งยังคงต้องการศึกษาวิจัยเพิ่มเติม

คำสำคัญ : เส้นใยธรรมชาติ, แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติ, อีพอกซีธรรมชาติ, ไบโอเรซิน, คุณสมบัติการรับแรงดึง

Abstract

This article investigates the influences of natural fiber types and matrix types on tensile properties of natural fiber reinforced polymer (NFRP) composite. The natural fibers studied include sisal fiber, jute fiber, and water hyacinth fiber, which used together with the matrix to form the natural fiber reinforced polymer composite. The matrixes studied were bio-based epoxy and bio-resin. The specimens are in the form of a coupon sheet tested using tensile test until failure. The results obtained is the relationship between stress and strain, tensile strength, rupture strain, Young's modulus, and failure mode. From the experimental results, it was found that using bio-based epoxy as matrix provided a greater tensile strength than the bio-resin in all types of fibers. Jute fiber with bio-based epoxy had the highest tensile strength which is 292.5 MPa. On the other hand, sisal fiber with bio-based epoxy revealed a maximum rupture strain of 1.85%. In term of Young's modulus, jute fiber with a natural epoxy matrix yielded the highest modulus of 34.4 GPa. Most of specimens ruptured in the direction which perpendicular to the tensile loading direction. Although the NFRP composites are not qualified to be used to reinforce large structures, they still have interesting potential to be used to reinforce small structures such houses in rural area. However, further study is still needed in this area.

Key words: Natural fiber, Natural Fiber reinforced Polymer (NFRP), Bio-based Epoxy, Bio-resin, Tensile properties

1. บทนำ

ในปัจจุบันการใช้งานแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย (Fiber Reinforced Polymer, FRP) เป็นที่ยอมรับและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ทั้งในด้านการบูรณะซ่อมแซมและการเสริมกำลังโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เนื่องด้วยคุณสมบัติที่โดดเด่นคือ น้ำหนักเบา มีความสามารถในการรับแรงสูง มีการขยายตัวตามอุณหภูมิต่ำ ทนทานต่อการกัดกร่อน และสามารถติดตั้งได้ง่าย อย่างไรก็ตามแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่เป็นที่รู้จักอย่าง แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว (Glass FRP, GFRP) แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยอารามิด (Aramid FRP, AFRP) และ แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน (Carbon FRP, CFRP) ล้วนเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมีราคาค่อนข้างสูง เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมุ่งเน้นการใช้งานไปที่โครงสร้างขนาดเล็กที่มีต้นทุนไม่สูงอย่างบ้านพักอาศัยในต่างจังหวัด การประยุกต์ใช้เส้นใยธรรมชาติเพื่อทำแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติ (Natural FRP, NFRP) อาจเป็นทางเลือกที่มีความเหมาะสมกว่า

ในทศวรรษที่ผ่านมามีหลายงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับเส้นใยธรรมชาติเพื่อนำมาใช้ทดแทนเส้นใยสังเคราะห์ในการผลิตแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย ทั้งการศึกษาเส้นใยจาก ป่าน (Flax), ป่านศรนารายณ์ (Sisal), ปอ (Hemp), ปอกระเจา (Jute), ปอแก้ว (Kenaf), กาบมะพร้าว (Coir), นุ่น (Kapok) และอื่นๆ อีกมากมาย [1-4] พบว่าเส้นใยธรรมชาติมีความสามารถรับแรงดึงที่ต่ำกว่าเส้นใยสังเคราะห์ แต่ก็มีคุณสมบัติที่โดดเด่นกว่าในหลายด้านด้วยกัน ทั้งราคาถูก ใช้พลังงานที่น้อยกว่าในการผลิต มีความหนาแน่นที่น้อยกว่า เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สามารถรีไซเคิลได้ สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ และเป็นวัสดุที่ยั่งยืน (Sustainable material) แต่เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติของงานวิจัยในอดีตเหล่านี้จะพบว่า เป็นการใช้เส้นใยธรรมชาติร่วมกับ เมทริกซ์ที่เป็นอีพอกซี ซึ่งอีพอกซียังคงเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

ทุกวันนี้ได้มีการพัฒนาอีพอกซีธรรมชาติ (Bio-Base Epoxy) ขึ้นมาหลายรูปแบบ [5-8] ซึ่งเป็นทางเลือกที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการใช้อีพอกซีแบบดั่งเดิม มีหลายงานวิจัยได้ศึกษาการใช้อีพอกซีธรรมชาติร่วมกับเส้นใยสังเคราะห์เพื่อทำแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใย [9-11] ซึ่งพบว่าค่ากำลังรับแรงดึง (Tensile Strength) ที่ได้จากแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่ใช้อีพอกซีจากธรรมชาติมีค่าน้อยกว่าอีพอกซีแบบดังเดิมเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และด้านความทนทาน (Durability) ก็ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ในขณะที่แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่ทำจากอีพอกซีจากธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ เช่นเดียวกับแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติที่ทำจากอีพอกซีแบบดังเดิมและเส้นใยธรรมชาติได้มีการศึกษาวิจัยจำนวนมาก แต่งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่ทำจากอีพอกซีจากธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติกลับมีน้อยมาก และต้องการการศึกษาเพิ่มเติม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับแรงดึงของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติที่ทำจากเส้นใยธรรมชาติและอีพอกซีจากธรรมชาติ โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ได้แก่

1) เพื่อศึกษาอิทธิพลของชนิดเส้นใยธรรมชาติที่มีผลต่อพฤติกรรมการรับแรงดึงของแผ่นพอลิเมอร์ เสริมเส้นใยธรรมชาติ

2) เพื่อศึกษาอิทธิพลของชนิดเมทริกซ์ที่มีผลต่อพฤติกรรมการรับแรงดึงของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติ

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติ

ข้อได้เปรียบของเส้นใยธรรมชาติเมื่อเทียบกับเส้นใยสังเคราะห์หรือเส้นใยคาร์บอน คือ สามารถผลิตได้ง่าย ใช้พลังงานในการผลิตน้อย ความหนาแน่นต่ำจึงมีน้ำหนักที่เบากว่า และมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่ามาก [12] สามารถหาได้ง่ายกว่าเนื่องจากการหมุนเวียนพืชที่เป็นวัตถุดิบ [14, 15] นอกจากนี้ข้อได้เปรียบในด้านของสิ่งแวดล้อม คือ การรีไซเคิล (Recyclability) การนำกลับมาใช้ใหม่ (Renewability) การย่อยสลายได้ (Biodegradability) การกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Sequestration) ลดการระคายเคืองผิวหนังและทางเดินหายใจของผู้สัมผัส [12, 13] แต่เส้นใยธรรมชาติก็ยังมีข้อเสียเปรียบเส้นใยสังเคราะห์อยู่ คือ มีอัตราการดูดความชื้นสูง การยุบตัวของเส้นใย ไม่สามารถใช้ร่วมกับเมทริกซ์บางชนิด มีอัตราการทนความร้อนต่ำ มีคุณสมบัติเชิงกลที่ต่ำกว่า สามารถย่อยสลายได้หากทำปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อม และสามารถเสียรูปได้ง่าย [15-17] คุณสมบัติเชิงกลที่ต่ำกว่านั้นครอบคลุมถึง ความต้านทานแรงดึง และค่ามอดุลัสของยัง (Young's Modulus)

2.2 เมทริกซ์จากธรรมชาติ

เมทริกซ์เป็นสารยึดติด (adhesive) ที่จะช่วยเชื่อมเส้นใยเข้าด้วยกัน และถ่ายโอนโหลดระหว่างเส้นใย เพิ่มคุณสมบัติในการรับแรงดัด (flexural strength) แรงกด (compressive strength) แรงเฉือน (inter-laminar shear strength) ความแข็งแกร่งในการกระแทก (impact strength) และเพิ่มความสามารถในการต้านทานความเสียหาย (damage tolerance) สำหรับเมทริกซ์จากธรรมชาติมีการทดลองที่ใช้เป็นเมทริกซ์สำหรับแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน เพื่อนำมาใช้งานเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยการติดตั้งบนพื้นผิวภายนอก (external bonded) โดยมีการใช้เมทริกซ์เป็นอีพอกซีจากธรรมชาติ 2 ชนิดคือ epoxidized pine oil resin blend (EP) และ furfural alcohol resin (FA) ซึ่งได้จากการสกัดซังข้าวโพดและอ้อย พบว่า การใช้เมทริกซ์แบบ EP เมื่อขึ้นรูปแบบเปียกสามารถให้ผลใกล้เคียงกับอีพอกซีสังเคราะห์ เมื่อใช้กับแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนโดยได้กำลังสูงกว่าอีพอกซีสังเคราะห์ 4% ส่วนการใช้เมทริกซ์แบบ FA มีการยึดแน่นที่ต่ำมากเนื่องจากผลของ concrete alkalinity [18]

3. วิธีการทดลอง

3.1 วัสดุที่ใช้

แผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยประกอบมาจากสองส่วน คือ เส้นใย และเมทริกซ์ ซึ่งในการทดลองนี้ได้เลือกเส้นใยธรรมชาติมาทั้งหมด 3 ชนิดคือ เส้นใยป่านศรนารายณ์ (Sisal fiber) เส้นใยปอกะเจา (Jute fiber) และเส้นใยผักตบชวา (Water hyacinth fiber) โดยมีเส้นใยคาร์บอน (Carbon fiber) เป็นชุดควบคุม และเมทริกซ์จากธรรมชาติ 2 ชนิดคือ อีพอกซีธรรมชาติ (Bio-based epoxy) ซึ่งเลือกใช้ Epotec YDL5540G – TH9291 จากบริษัท Aditya Birla และไบโอเรซิน (Bio-resin) ซึ่งเลือกใช้ QuaCorr 1001 – QuaCorr 2001 จากบริษัท PennAKem โดยมีอีพอกซีสังเคราะห์ (Synthetic epoxy) คือ Kor – Encapsulation Resin จากบริษัท Well Maintenance เป็นชุดควบคุม

3.2 รายละเอียดการทดลอง

การทดสอบการรับแรงดึงของแผ่นคูปองพอลิเมอร์ เป็นไปตามมาตรฐาน JSCE E541 [19] เสริมเส้นใยมีจำนวนทั้งสิ้น 36 ตัวอย่าง โดยแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่ใช้ในการทดสอบจะมีเส้นใยที่แตกต่างกัน 4 ชนิด ได้แก่ เส้นใยคาร์บอน เส้นใยป่านศรนารายณ์ เส้นใยปอกระเจา และเส้นใยผักตบชวา ซึ่งจะใช้คู่กับเมทริกซ์ที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ อีพอกซีสังเคราะห์ อีพอกซีธรรมชาติ และไบโอเรซิน โดยจะมีการทำซ้ำทั้งหมด 3 รอบ ซึ่งลักษณะการแบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็นไปดังแสดงใน **ตารางที่ 1**

ตารางที่ 1 รายการทดสอบการรับแรงดึงของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใย

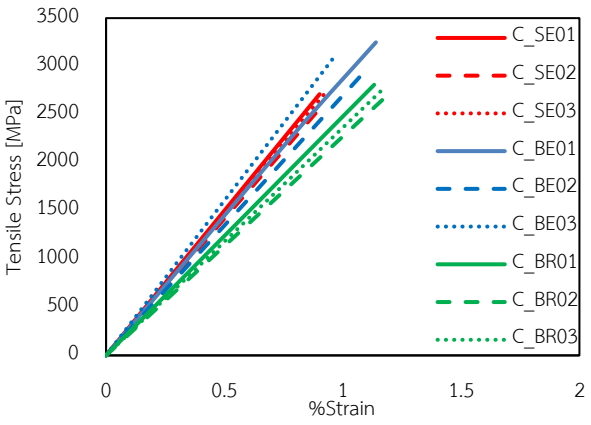
Specimen code	Fiber	Matrix	Amount
C_SE	Carbon	Synthetic epoxy	3
C_BE	Carbon	Bio-based epoxy	3
C_BR	Carbon	Bio-resin	3
S_SE	Sisal	Synthetic epoxy	3
S_BE	Sisal	Bio-based epoxy	3
S_BR	Sisal	Bio-resin	3
J_SE	Jute	Synthetic epoxy	3
J_BE	Jute	Bio-based epoxy	3
J_BR	Jute	Bio-resin	3
WH_SE	Water hyacith	Synthetic epoxy	3
WH_BE	Water hyacith	Bio-based epoxy	3
WH_BR	Water hyacith	Bio-resin	3

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

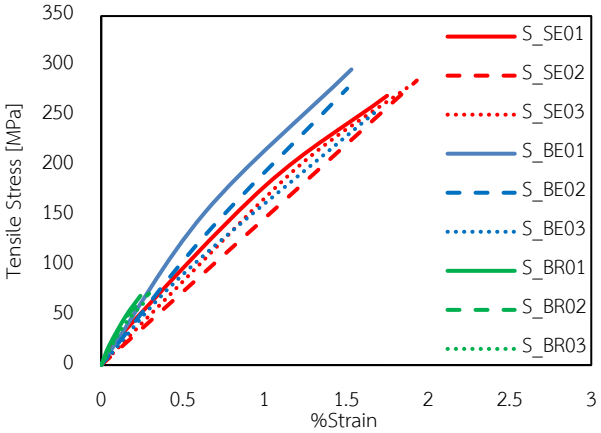
การทดสอบการรับแรงดึงของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยชนิดต่างๆ จะได้ผลออกมาในรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด โดยจะแสดงแยกตามชนิดเส้นใย ดังแสดงใน**รูปที่ 1-4** และสามารถแสดงคุณสมบัติการรับแรงดึงของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยชนิดต่างๆ ได้ดัง**ตารางที่ 2**

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการรับแรงดึงของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยชนิดต่างๆ

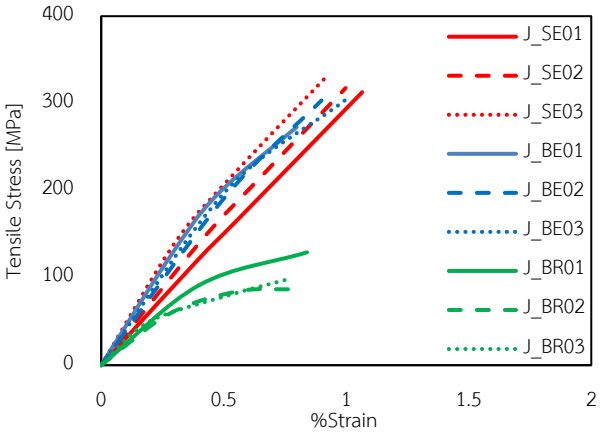
Specimen	Tensile Strength (MPa)	Rupture Strain (%)	Young's Modulus (GPa)
C_SE	2667.1	0.91	292.8
C_BE	3127.3	1.06	294.9
C_BR	2738.0	1.16	237.0
S_SE	278.1	1.85	15.0
S_BE	276.8	1.58	17.6
S_BR	69.4	0.27	25.6
J_SE	321.5	1.00	32.4
J_BE	292.5	0.85	34.4
J_BR	105.1	0.80	13.1
WH_SE	116.5	0.87	13.4
WH_BE	88.3	0.69	12.8
WH_BR	73.8	1.20	6.1



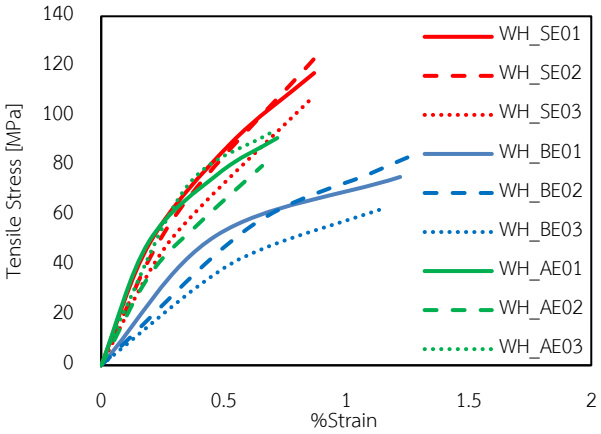
รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนที่ใช้ชนิดเมทริกซ์ที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ใช้ชนิดเมทริกซ์ที่แตกต่างกัน



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยปอกระเจาที่ใช้ชนิดเมทริกซ์ที่แตกต่างกัน

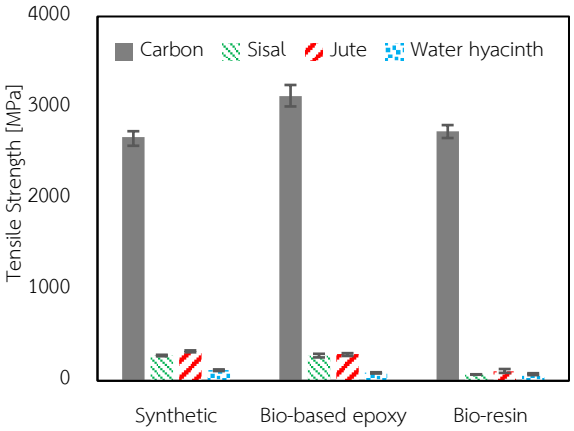


รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยผักตบชวาที่ใช้ชนิดเมทริกซ์ที่แตกต่างกัน

4.1 อิทธิพลของชนิดเส้นใย

4.1.1 อิทธิพลของชนิดเส้นใยต่อกำลังรับแรงดึงแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใย

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของชนิดเส้นใยต่อกำลังการรับแรงดึงของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยจะพบว่าแผ่นคูปองที่มีเมทริกซ์เป็นอีพอกซีสังเคราะห์ และอีพอกซีธรรมชาติมีแนวโน้มของกำลังรับแรงดึงไปในทิศทางเดียวกันคือ แผ่นคูปองที่ใช้เส้นใยเป็นเส้นใยคาร์บอนมีกำลังรับแรงดึงสูงที่สุด ตามด้วยเส้นใยปอกระเจา เส้นใยป่านศรนารายณ์ และเส้นใยผักตบชวา ตามลำดับ ส่วนแผ่นคูปองที่มีเมทริกซ์เป็นไบโอเรซินให้แนวโน้มของกำลังรับแรงที่ใกล้เคียงกัน แต่แตกต่างกันที่แผ่นคูปองแผ่นคูปองที่ใช้เส้นใยเป็นเส้นใยผักตกชวามีกำลังรับแรงดึงมากกว่าเส้นใยป่านศรนารายณ์ นอกจากนี้จะสังเกตได้ว่าแผ่นคูปองที่ใช้เส้นใยเป็นเส้นใยคาร์บอนมีกำลังรับแรงดึงกว่าแผ่นคูปองที่ใช้เส้นใยชนิดอื่นๆ หลายเท่าตัวในทุกชนิดเมทริกซ์ ดังแสดงใน**รูปที่ 5**

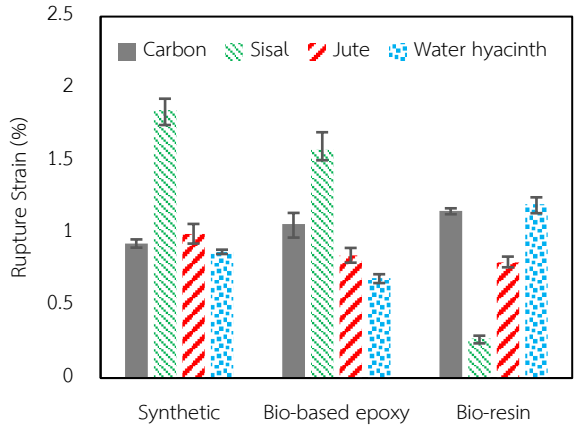


รูปที่ 5 กำลังรับแรงดึงของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นแต่ละเมทริกซ์ซึ่งใช้เส้นใยที่แตกต่างกัน

4.1.2 อิทธิพลของชนิดเมทริกซ์ต่อการยืดตัวของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใย

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของชนิดเส้นใยต่อการยืดตัวของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่ใช้เมทริกซ์ที่แตกต่างกันทั้งสามชนิดพบว่า แผ่นคูปองที่ใช้เมทริกซ์เป็นอีพอกซีสังเคราะห์กับแผ่นคูปองที่ใช้เมทริกซ์เป็นอีพอกซีธรรมชาติมีแนวโน้มของการยืดตัวที่ใกล้เคียงกันคือ แผ่นคูปองที่ใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์มีการยืดตัวสูงที่สุด และแผ่นคูปองที่ใช้ผักตบชวามีการยืดตัวน้อยที่สุด และมีส่วนที่แตกต่างกันคือ แผ่นคูปองที่ใช้เมทริกซ์เป็นอีพอกซีสังเคราะห์การยืดตัวของแผ่นคูปองที่ใช้เส้นใยคาร์บอนจะมีการยืดตัวที่ใกล้เคียงแผ่นคูปองที่ใช้เส้นใยปอกระเจา แต่แผ่นคูปองที่ใช้เมทริกซ์เป็นอีพอกซีธรรมชาติ แผ่นคูปองที่ใช้เส้นใยคาร์บอนจะมีการยืดตัวมากกว่าแผ่นคูปองที่ใช้เส้นใยปอกระเจาอย่างเห็นได้ชัด สำหรับคูปองที่ใช้เมทริกซ์เป็นไบโอเรซินให้ผลตรงข้ามกันคือ แผ่นคูปองที่ใช้เส้นใยป่านศรนารายกลับมีการยืดตัวที่ต่ำที่สุด และแผ่นคูปองที่ใช้เส้นใยผักตบชวากลับมีการยืดตัวที่มากที่สุด ส่วนคูปองที่ใช้เส้นใยคาร์บอน และคูปองที่ใช้เส้นใยปอกระเจามี

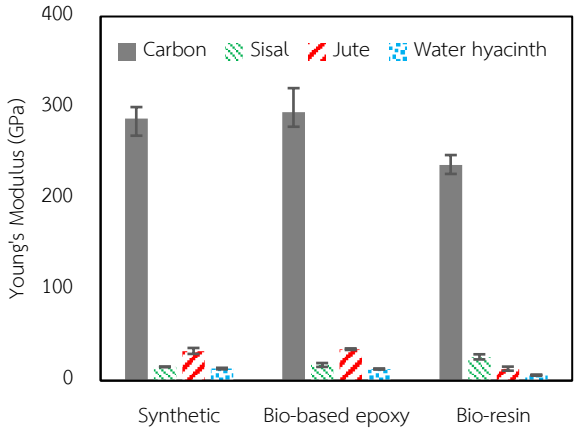
แนวโน้มของการยืดตัวเช่นเดียวกับคูปองที่ใช้เมทริกซีเป็นอีพอกซีธรรมชาติ ดังแสดงใน**รูปที่ 6**



รูปที่ 6 การยืดตัวของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่ใช้เมทริกซ์ชนิดต่างๆ ซึ่งใช้เส้นใยที่แตกต่างกัน

4.1.3 อิทธิพลของชนิดเมทริกซ์ต่อค่ามอดุลัสของยังของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใย

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของชนิดเส้นใยต่อค่ามอดุลัสของยังของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่ใช้เมทริกซ์ที่แตกต่างกันทั้งสามชนิดพบว่า แผ่นคูปองที่ใช้เมทริกซ์เป็นอีพอกซีสังเคราะห์กับแผ่นคูปองที่ใช้เมทริกซ์เป็นอีพอกซีธรรมชาติมีแนวโน้มของค่ามอดุลัสของยังที่เหมือนกันคือ แผ่นคูปองที่ใช้เส้นใยคาร์บอนมีค่ามอดุลัสมากที่สุด ตามด้วยแผ่นคูปองที่ใช้เส้นใยปอกระเจา เส้นใยป่านศรนารายณ์ และเส้นใยผักตบชวา ตามลำดับ ส่วนแผ่นคูปองที่ใช้เมทริกซ์เป็น ไบโอเรซินมีแนวโน้มของค่ามอดุลัสของยังที่ใกล้เคียงกัน มีส่วนที่ต่างออกไปคือ แผ่นคูปองที่ใช้เส้นใยผักตบชวามีค่ามอดุลัสของยังมากกว่าแผ่นคูปองที่ใช้เส้นใยปอกระเจา และเส้นใยป่านศรนารายณ์ ดังแสดงใน**รูปที่ 7**

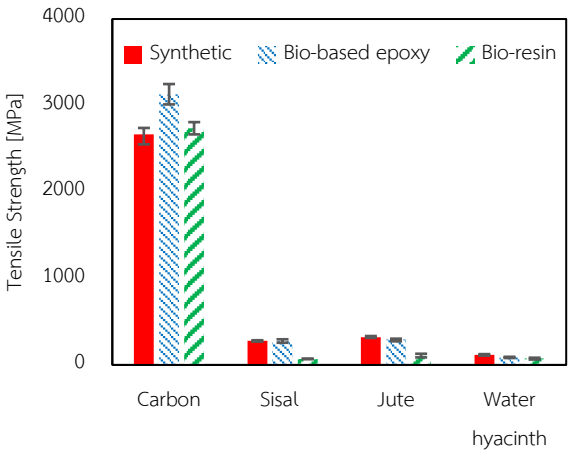


รูปที่ 7 ค่ามอดุลัสของยังของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่ใช้เมทริกซ์ชนิดต่างๆ ซึ่งใช้เส้นใยที่แตกต่างกัน

4.2 อิทธิพลของชนิดเมทริกซ์

4.2.1 อิทธิพลของชนิดเมทริกซ์ต่อกำลังรับแรงดึงแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใย

เมื่อพิจารณากำลังรับแรงดึงเฉลี่ยของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยชนิดต่างๆ ที่ใช้ชนิดเมทริกซ์ที่แตกต่างกัน 3 ชนิดพบว่า แผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยป่านศรนารายณ์ และแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยปอกระเจามีแนวโน้มของกำลังรับแรงดึงไปในทิศทางเดียวกันคือ การใช้เมทริกซ์เป็นอีพอกซีสังเคราะห์ และอีพอกซีธรรมชาติให้กำลังรับแรงดึงที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งให้กำลังรับแรงดึงมากกว่าไบโอเรซินอย่างชัดเจน ส่วนแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน และแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยผักตบชวามีแนวโน้มของกำลังรับแรงดึงที่ต่างออกไปคือ แผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนหากใช้อีพอกซีธรรมชาติเป็นเมทริกซ์จะให้กำลังรับแรงดึงสูงที่สุด ซึ่งมากกว่าอีพอกซีสังเคราะห์ และอีพอกซีธรรมชาติที่ให้กำลังรับแรงดึงที่ใกล้เคียงกัน และสำหรับแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยผักตบชวาการใช้อีพอกซีสังเคราะห์เป็นเมทริกซ์ให้กำลังรับแรงดึงสูงที่สุด ตามมาด้วยอีพอกซีธรรมชาติ ไบโอเรซินตามลำดับ แสดงใน**รูปที่ 8**

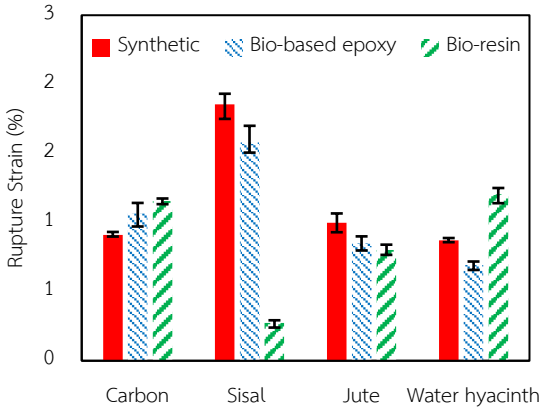


รูปที่ 8 กำลังรับแรงดึงของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยชนิดต่างๆ ที่ใช้ชนิดเมทริกซ์ที่แตกต่างกัน

4.2.2 อิทธิพลของชนิดเมทริกซ์ต่อการยืดตัวของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใย

เมื่อพิจารณาการยืดตัวของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยชนิดต่างๆ ที่ใช้ชนิดเมทริกซ์ที่แตกต่างกัน 3 ชนิดพบว่า การยืดตัวของของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่ใช้อีพอกซีสังเคราะห์ และอีพอกซีธรรมชาติเป็นเมทริกซ์มีแนวโน้มของการยืดตัวเป็นแบบเดียวกันในแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่ใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์ เส้นใยปอกระเจา และเส้นใยผักตบชวา คือ การใช้อีพอกซีสังเคราะห์เป็นเมทริกซ์มีการยืดตัวมากกว่าอีพอกซีธรรมชาติ แต่แผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน การใช้อีพอกซีสังเคราะห์เป็นเมทริกซ์กลับมีการยืดตัวน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้เมทริกซ์ชนิดอื่น และถ้าหากพิจารณาคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน และเส้นใยผักตบชวาจะพบว่า การใช้ไบโอเรซินเป็นเมทริกซ์มีการยืดตัวมาก

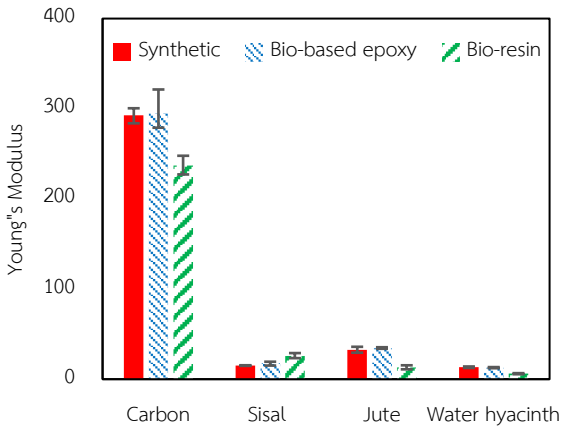
ที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้เมทริกซ์ชนิดอื่น แต่กลับกันเมื่อพิจารณาแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยป่านศรนารายณ์ และเส้นใยปอกระเจาจะพบว่า การใช้ไบโอเรซินเป็นเมทริกซ์มีการยืดตัวน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการใช้เมทริกซ์ชนิดอื่น ดังแสดงใน**รูปที่ 9**



รูปที่ 9 การยืดตัวของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยชนิดต่างๆ ที่ใช้ชนิดเมทริกซ์ที่แตกต่างกัน

4.2.3 อิทธิพลของชนิดเมทริกซ์ต่อค่ามอดุลัสของยังของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใย

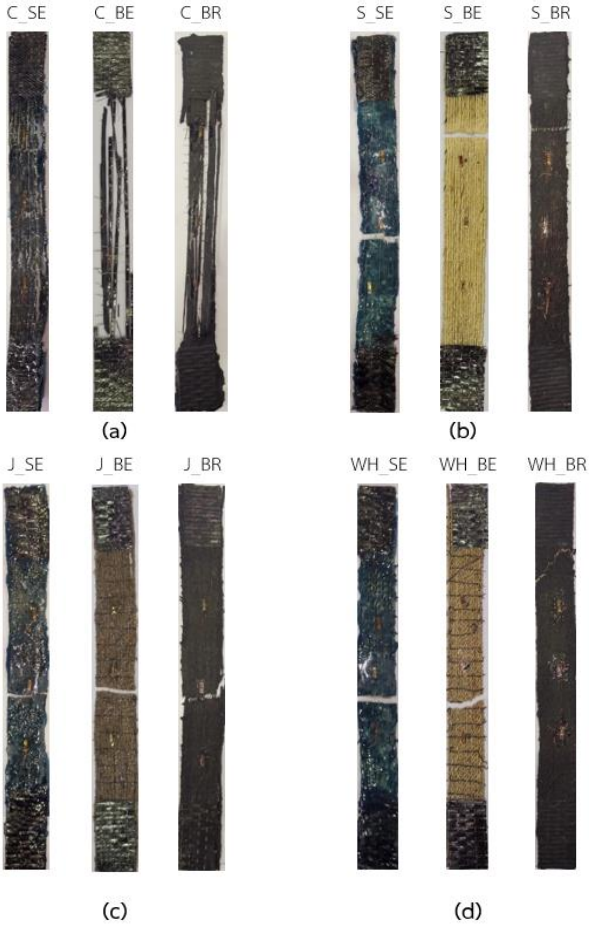
เมื่อพิจารณาค่ามอดุลัสของยังแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยชนิดต่างๆ ที่ใช้ชนิดเมทริกซ์ที่แตกต่างกัน 3 ชนิดพบว่า ค่ามอดุของยังของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอน เส้นใยปอกระเจา และ เส้นใยผักตบชวา มีแนวโน้มของค่ามอดุลัสของยังไปในทิศทางเดียวกันคือ แผ่นคูปองที่ใช้อีพอกซีสังเคราะห์ และอีพอกซีธรรมชาติเป็นเมทริกซ์มีค่ามอดุลัสของยังที่ใกล้เคียงกัน และมีค่ามากกว่าแผ่นคูปองที่ใช้ไบโอเรนซินเป็นเมทริกซ์อย่างชัดเจน แต่เมื่อพิจารณาค่ามอดุลัสของยังของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยป่านศรนารายณ์กลับให้แนวโน้มของค่ามอดุลัสของยังที่ต่างออกไปคือ การใช้อีพอกซีธรรมชาติเป็นเมทริกซ์มีค่ามอดุลัสของยังสูงที่สุด ตามด้วยอีพอกซีสังเคราะห์ และไบโอเรซินตามลำดับ ดังแสดงใน**รูปที่ 10**



รูปที่ 10 ค่ามอดุลัสของยังของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยผักตบชวาที่ใช้ชนิดเมทริกซ์ที่แตกต่างกัน

4.3 ลักษณะของการวิบัติแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใย

จากการทดสอบกำลังรับแรงดึงทำให้แผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยชนิดต่างๆ ทำให้เกิดลักษณะการวิบัติดัง**รูปที่ 11** หากพิจารณาลักษณะการวิบัติตามมาตรฐาน ASTM D3039/D3039M [20] ดังที่ได้กล่าวไปในบทที่ 2 จะสามารถจำแนกประเภทได้ดังแสดงใน**ตารางที่ 3**



รูปที่ 28 การวิบัติของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใย (a) เส้นใยคาร์บอน (b) เส้นใยป่านศรนารายณ์ (c) เส้นใยปอกระเจา (d) เส้นใยผักตบชวา

เมื่อพิจารณา**ตารางที่ 3** จะเห็นได้ว่าแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติส่วนใหญ่มีลักษณะการวิบัติที่เหมือนกันคือ เกิดการวิบัติในแนวนอน (ทิศทางตั้งฉากกับแรงดึง) จะมีเพียงแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยผักตบชวาที่ใช้ไบโอเรซินเป็นเมทริกซ์เท่านั้นที่มีการวิบัติในแนวเอียง แต่สำหรับแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนกลับมีการวิบัติที่แตกต่างออกไปคือ เป็นการวิบัติแบบระเบิด ในส่วนบริเวณที่เกิดการวิบัติพบว่าแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยทุกชนิดเกิดขึ้นที่ภายในบริเวณเกจ และเมื่อพิจารณาตำแหน่งที่เกิดการวิบัติ แผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนจะเกิดทั่วทั้งบริเวณเกจ แต่สำหรับแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติจะเกิดการวิบัติที่ตรงกลางแผ่นคูปองเป็นส่วนใหญ่

ตารางที่ 3 การจำแนกลักษณะการวิบัติของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยชนิดต่างๆ ตามมาตรฐาน ASTM D3039/D3039M [20]

Specimen	Failure Type	Failure Area	Failure Location	Failure Code
C_SE	Explosive (X)	Gage (G)	Various (V)	XGV
C_BE	Explosive (X)	Gage (G)	Various (V)	XGV
C_BR	Explosive (X)	Gage (G)	Various (V)	XGV
S_SE	Lateral (L)	Gage (G)	Middle (M)	LGM
S_BE	Lateral (L)	Gage (G)	Top (T)	LGT
S_BR	Lateral (L)	Gage (G)	Top (T)	LGT
J_SE	Lateral (L)	Gage (G)	Middle (M)	LGM
J_BE	Lateral (L)	Gage (G)	Middle (M)	LGM
J_BR	Lateral (L)	Gage (G)	Middle (M)	LGM
WH_SE	Lateral (L)	Gage (G)	Middle (M)	LGM
WH_BE	Lateral (L)	Gage (G)	Middle (M)	LGM
WH_BR	Angled (A)	Gage (G)	Top (T)	AGT

5. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาพฤติกรรมและคุณสมบัติการรับแรงดึงของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติโดยการทดสอบกำลังรับแรงดึง ทำให้ทราบถึงอิทธิพลของชนิดเส้นใยธรรมชาติและชนิดเมทริกซ์ที่มีผลต่อพฤติกรรมและคุณสมบัติการรับแรงดึงของแผ่นพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติ

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของชนิดเส้นใยและชนิดเมทริกซ์ต่อกำลังการรับแรงดึงของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติจะพบว่า หากเปรียบเทียบกันระหว่างการใช้เมทริกซ์เป็นอีพอกซีธรรมชาติกับชุดควบคุมที่ใช้อีพอกซีสังเคราะห์พบว่า เมทริกซ์ทั้งสองชนิดให้กำลังรับแรงดึงใกล้เคียงกันในเส้นใยป่านศรนารายณ์และเส้นใยปอกระเจา แต่ในกรณีเส้นใยผักตบชวาการใช้อีพอกซีธรรมชาติกลับมีกำลังรับแรงดึงที่น้อยกว่าอีพอกซีสังเคราะห์ถึง 31.8% และถ้าหากพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการใช้เมทริกซ์เป็นอีพอกซีธรรมชาติกับไบโอเรซิน อีพอกซีธรรมชาติจะมีกำลังรับแรงดึงที่มากกว่าการใช้ไบโอเรซินในทุกเส้นใย โดยในเส้นใยป่านศรนารายณ์ เส้นใยปอกระเจา และเส้นใยผักตบชวา การใช้เมทริกซ์เป็นอีพอกซีธรรมชาติทำให้มีกำลังรับแรงดึงมากกว่าไบโอเรซินถึง 299.0%, 178.3% และ 19.7% ตามลำดับ ซึ่งเส้นใยปอกระเจาเป็นเส้นใยที่ให้กำลังรับแรงดึงมากที่สุดสำหรับการใช้ร่วมกับอีพอกซีธรรมชาติ โดยมีค่ากำลังรับแรงดึงเท่ากับ 292.5 MPa แต่ถึงอย่างนั้นเมื่อเปรียบเทียบแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยปอกระเจาที่ใช้เมทริกซ์เป็นอีพอกซีธรรมชาติกับแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนที่มีเมทริกซ์เป็นอีพอกซีสังเคราะห์ที่มีค่ากำลังรับแรงดึงเท่ากับ 2667.1 MPa พบว่ายังคงให้กำลังรับแรงดึงที่น้อยกว่าถึง 811.9%

สำหรับอิทธิพลของชนิดเส้นใยและชนิดเมทริกซ์ต่อการยืดตัวของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติจากการศึกษาพบว่า เมื่อใช้เมทริกซ์เป็นอีพอกซธรรมชาติจะให้แนวโน้มของการยืดตัวของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยเหมือนกันกับชุดควบคุมที่ใช้เมทริกซ์เป็นอีพอกซีสังเคราะห์คือ เส้นใยป่านศรนารายณ์มีการยืดตัวมากที่สุด ตามด้วยเส้นใยปอกระเจา และเส้นใยผักตบชวา โดยเส้นใยป่านศรนารายที่ใช้อีพอกซีธรรมชาติเป็นเมทริกซ์มีการยืดตัวถึง 1.85% ซึ่งมากกว่าเส้นใยคาร์บอนในเมทริกซ์เดียวกันนี้ถึง 48.3% แต่การใช้เมทริกซ์เป็นอีพอกซธรรมชาติกลับให้แนวโน้มที่ตรงข้ามกับการใช้ไบโอเรนซินคือ เส้นใยผักตบชวากลับมีการยืดตัวมากที่สุดถึง 1.20% ซึ่งให้ค่าที่ใกล้เคียงกับเส้นใยคาร์บอนในเมทริกซ์เดียวกันนี้ที่มีค่าการยืดตัวที่ 1.16% ตามด้วยเส้นใยปอกระเจา และเส้นใยป่านศรนารายณ์

นอกจากนี้หากศึกษาอิทธิพลของชนิดเส้นใยและชนิดเมทริกซ์ต่อค่ามอดุลัสของยังของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติพบว่า เมื่อใช้เมทริกซ์เป็นอีพอกซธรรมชาติจะให้แนวโน้มของค่ามอดุลัสของยังเช่นเดียวกับชุดควบคุมที่ใช้เมทริกซ์เป็นอีพอกซีสังเคราะห์คือ การใช้เส้นใยปอกระเจาจะให้ค่ามอดุลัสของยังสูงที่สุดตามด้วย เส้นใยป่านศรนารายณ์ และเส้นใยผักตบชวา โดยการใช้เส้นใยปอกระเจาในเมทริกซ์ที่เป็นอีพอกซีธรรมชาติมีค่ามอดุลัสที่ 34.4 GPa ซึ่งมีค่าน้อยกว่าการใช้เส้นใยคาร์บอนในเมทริกซ์เดียวกันนี้ถึง 756.1% และสำหรับการใช้เมทริกซ์เป็นไบโอเรซินจะให้แนวโน้มของค่ามอดุลัสของยังที่แตกต่างออกไปคือ การใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์จะมีค่ามอดุลัสของยังมากที่สุด โดยมีค่ามอดุลัสของยังที่ 25.58 GPa ซึ่งมีค่าน้อยกว่าการใช้เส้นใยคาร์บอนในเมทริกซ์เดียวกันนี้ถึง 826.5% ตามด้วยเส้นปอกระเจาและเส้นใยผักตบชวา

เมื่อพิจารณาลักษณะของการวิบัติของแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยธรรมชาติส่วนใหญ่มีลักษณะการวิบัติที่เหมือนกันคือ เกิดการวิบัติในแนวนอน (ทิศทางตั้งฉากกับแรงดึง) จะมีเพียงแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยผักตบชวาที่ใช้ไบโอเรซินเป็นเมทริกซ์เท่านั้นที่มีการวิบัติในแนวเอียง และเมื่อพิจารณาแผ่นคูปองพอลิเมอร์เสริมเส้นใยคาร์บอนที่เป็นชุดควบพบว่ามีการวิบัติที่แตกต่างออกไปคือ เป็นการวิบัติแบบระเบิด

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจาก รศ. ดร. พิชชา จองวิวัฒสกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าในการให้ความรู้ทางวิชาการ คำแนะนำ และให้กำลังใจ พร้อมทั้งขอขอบคุณ คุณวารุจ ลิ่มวิบูลย์ นิสิตระดับชั้นดุษฎีบัณฑิต ที่ได้ทุ่มเททั้งแรงกายแรงใจในการสั่งสอน และช่วยเหลือในทุกๆ ขั้นตอนการทำงานวิจัย

นี้จนสำเร็จลุล่วง และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณ คุณอดิศร ชวนปี เจ้าหน้าที่บริการงานช่าง ที่เสียสละเวลามาช่วยดูแลระหว่างปฏิบัติการทดลองให้เป็นไปอย่างราบรื่นและปลอดภัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Malkapuram, R., Kumar, V. and Negi, Y.S., Recent development in natural fibre reinforced polypropylene composites. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 2008.

[2] Saheb, D.N., and Jog, J.P., Natural fiber polymer composites: A review. Advances in Polymer Technology, 1999.

[3] Wambua, P., Ivens, J., and Verpoest, I., Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics? Composites Science and Technology, 2003.

[4] Hargitai, H., Rácz, I., and Anandjiwala R. D., Development of HEMP Fiber Reinforced Polypropylene Composites. Journal of Thermoplastic Composite Materials, 2008.

[5] Goud, V. V., Patwardhan, A. V., Dinda, S., and Pradhan, N.C., Epoxidation of karanja (Pongamia glabra) oil catalysed by acidic ion exchange resin. The European Journal of Lipid Science and Technology, 2007.

[6] Montero de Espinosa, L. and Meier, M. A. R., Plant oils: The perfect renewable resource for polymer science?! European Polymer Journal, 2011.

[7] Mosiewicki, M., Aranguren, M. I. and Borrajo, J., Mechanical properties of linseed oil monoglyceride maleate/styrene copolymers. Journal of Applied Polymer Science, 2004.

[8] Vlcek, T., and Petrovic, Z. S., Optimization of the chemoenzymatic epoxidation of soybean oil. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2006.

[9] Crivello, J., Narayan, R., and Sternstein, S. S., Fabrication and mechanical characterization of glass fiber reinforced UV-cured composites from epoxidized vegetable oils. Journal of Applied Polymer Science, 1996.

[10] Fam, A., Eldridge A., and Misra, M., Mechanical characteristics of glass fibre reinforced polymer made of furfuryl alcohol bio-resin. Materials and Structures, 2014.

[11] McSwiggan, C., and Fam A., Tensile properties retention of aged carbon-FRP sheets made of fully and partially bio-based resins and conventional epoxy. Polymer Composites, 2016.

[12] Loong, M., L., and Cree, D. Enhancement of mechanical properties of bio-resin epoxy/flax fiber composites using acetic anhydride, 2017.

[13] Satyanarayana, K., G., Sukumaran, K., Kulkarni, A., G., Pillai, S.G.K., and Rohatgi, P., K. Fabrication and properties of natural fibre-reinforced polyester composites, 1986.

[14] Ticoalu, A., Aravinthan, T., and Cardona, F., A review of current development in natural fiber composites for structural and infrastructure applications, 2010.

[15] Dweib, M.A., Hu, B., O'donnell, A., Shenton, H.W., and Wool, R.P. All natural composite sandwich beams for structural applicaions, 2004.

[16] Alms, J., B., Yonko, P. J., McDowell, R., C., and Advani, S., G. Design and Development of an I-Bean from Natural Composites, 2009.

[17] Yan, L., Kasal, B., and Huang, L. A review of recent research on the use of cellulosic fibres, their fibre fabric reinforced cementitious, geo-polymer and polymer composites in civil engineering, 2016.

[18] Al-Zubaidy, H., Zhao, X.-L., and Al-Mahaidi, R. Mechanical characterisation of the dynamic tensile properties of CFRP sheet and adhesive at medium strain rates, 2013.

[19] Test Method for Tensile Properties of Continuous Fiber Sheets (JSCE-E 541-2000), Recommendations for Upgrading of Concrete Structures with Use of Continuous Fiber Sheets, JSCE (Japan Society of Civil Engineers), 2001.

[20] Miller, A., Brown, C., and Warner, G., Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials. American Society for Testing Materials, 2015.