พฤติกรรมของคอนกรีตโอบรัดด้วยคอมโพสิตเสริมเส้นใยที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

Behavior of Eco-Friendly FR-Confined concrete

กนกนิภา อโนต๊ะ , กฤตพัฒน์ ภักดีธนวานิช และ เพ็ญกัญญา ไพศาลเกียรติกุล

Kanoknipa Anota , Krittaphat Phakdithanawanich and Phenkanya Phaisamkiattikun

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10300

Departure of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 10300

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการใช้เส้นใยในการเสริมคอนกรีตโอบรัดเป็นเรื่องที่ได้รับความนิยมในวิศวกรรมโครงสร้าง เพราะวัสดุที่มีความแข็งแรงและยืดหยุ่น อย่างไรก็ตามเส้นใย FRP เป็นวัสดุสังเคราะห์มีราคาแพงและส่งผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการศึกษาพฤติกรรมของคอนกรีตโอบรัดด้วยเส้นใยธรรมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม คือ เส้นใยปอกระเจา (Jute NFRP) และ ป่านศรนารายณ์ (Sisal NFRP) โดยการทดลองนี้ใช้ตัวเชื่อมประสานเป็นอีพ็อกซีจากธรรมชาติในการช่วยโอบรัด โดยได้ทำการทดสอบแรงดึงเพื่อหาค่ามอดูลัสยืดหยุ่น และทำการทดสอบแรงอัดตามแนวแกนของตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกจำนวนทั้งหมด 30 ตัวอย่าง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ความสูง 200 มิลลิเมตร ซึ่งการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดสอบคอนกรีต 2 กำลังอัดประลัย คือ คอนกรีตกำลังต่ำ (Low Strength) และคอนกรีตกำลังปกติ (Normal Strength) โดยจากผลการทดลองพบว่าคอนกรีตกำลังต่ำเมื่อรัดรอบด้วย Jute NFRP 1 ชั้น และ 2 ชั้น มีกำลังเพิ่มขึ้นมา 108.54% และ ตามลำดับ ส่วนที่รัดรอบด้วย Sisal NFRP 1 ชั้น และ 2 ชั้นมีกำลังเพิ่มขึ้นมา 89.12% และ ตามลำดับ และคอนกรีตกำลังปกติเมื่อรัดรอบด้วย Jute NFRP 1 ชั้น และ 2 ชั้น มีกำลังเพิ่มขึ้นมา 57.93% และ ตามลำดับ ส่วนที่รัดรอบด้วย Sisal NFRP 1 ชั้น และ 2 ชั้น มีกำลังเพิ่มขึ้นมา 49.57% และ ตามลำดับ

คำสำคัญ: เส้นใยธรรมชาติ; เส้นใยปอกระเจา; เส้นใยป่านศรนารายณ์; อีพ็อกซีธรรมชาติ; การเสริมกำลังคอนกรีต

Abstract

Currently, the use of confinement concrete has gained popularity in structural engineering due to its high strength and flexibility. However, FRP fibers are synthetic materials that are expensive and have environmental implications. Therefore, this research focuses on studying the behavior of concrete using natural fiber reinforcements such as Jute NFRP and Sisal NFRP. In this research, bio-based epoxy was used as a matrix. The study involves testing tensile strength to determine the modulus of elasticity and conducting compression tests along the axis of the cylindrical concrete specimens. A total of 30 specimens were tested, with a diameter of 100 millimeters and a height of 200 millimeters. The research includes two types of concrete is low strength and normal strength. The results of the experiments show that when the low-strength concrete specimens confined with one layer and two layers of Jute NFRP, the compressive strength increased by 108.54% and respectively. Similarly, when the low-strength concrete specimens confined with one layer and two layers of Sisal NFRP, the compressive strength increased by 89.12% and respectively. In the case of normal-strength concrete, when confined with one layer and two layers of Jute NFRP, the compressive strength increased by 57.93% and respectively. Likewise, when confined with one layer and two layers of Sisal NFRP, the compressive strength increased by 49.57% and respectively.

Key words: Natural fiber; Jute NFRP; Sisal NFRP; Bio-based Epoxy; Confined concrete

1.บทนำ

ในปัจจุบันวิธีที่ได้รับความสนใจและมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย คือ การเสริมกำลังคอนกรีตด้วยเส้นใยเสริมพอลิเมอร์ (Fiber Reinforced Polymer, FRP) ที่มีคุณสมบัติรับแรงได้ดี ทนทานต่อการเกิดสนิม (Corrosion) น้ำหนักเบาและสามารถนำมาใช้งานได้ง่าย โดยเฉพาะการโอบรัดคอนกรีต (Confinement) ด้วยเส้นใยเสริมพอลิเมอร์ สามารถทำให้คอนกรีตรับแรงได้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม เส้นใย FRP เป็นวัสดุสังเคราะห์มีราคาแพงและส่งผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับการกระบวนการผลิตเส้นใย

จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการนำเส้นใยที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมาใช้เสริมกำลังคอนกรีตแทน เช่น เส้นใยธรรมชาติอย่างเส้นใยปอกระเจา (Jute NFRP) และ ป่านศรนารายณ์ (Sisal NFRP) ซึ่งเส้นใยธรรมชาติดังกล่าวมีราคาถูก สามารถหาได้ง่ายในพื้นที่ประเทศไทยอีกด้วย

ทั้งนี้ในการโอบรัดคอนกรีตจำเป็นต้องใช้วัสดุประสานที่ดีจึงมีใช้ Epoxy resin ช่วยยึดแผ่นเส้นใยกับคอนกรีตเข้าด้วยกัน เพราะเมื่ออีพอกซีแข็งตัวจะสามารถรับน้ำหนักได้มากและทนต่อความร้อนสูง ซึ่งอีพอกซีนั้นเป็นสารสังเคราะห์ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตั้งแต่กระบวนการผลิตจนถึงการใช้งาน จึงมีการพัฒนาและประยุกต์ใช้อีพอกซีจากธรรมชาติ (Bio-based Epoxy) ที่มีประสิทธิภาพและคุณสมบัติที่ดีขึ้น ทั้งยังลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงเป็นทางเลือกในการนำมาใช้เป็นวัสดุประสานแทนที่อีพอกซีทั่วไป ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยมีการนำเส้นใยธรรมชาติมาช่วยโอบรัดคอนกรีต แต่ยังไม่พบการนำแผ่นเส้นใยธรรมชาติโอบรัดคอนกรีตโดยยึดเหนี่ยวด้วยอีพอกซีธรรมชาติที่วัสดุเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมทั้งคู่ เพื่อเสริมกำลังคอนกรีต

ดังนั้นโครงงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการศึกษาพฤติกรรมรับแรงอัดของคอนกรีตที่โอบรัดด้วยเส้นใยธรรมชาติ โดยเส้นใยที่ใช้ในโครงงานนี้ ได้แก่ เส้นใยปอกระเจา (Jute NFRP) และ ป่านศรนารายณ์ (Sisal NFRP) โดยยึดเหนี่ยวด้วยอีพอกซีจากธรรมชาติ (Bio-Epoxy resin) เพื่อส่งเสริมความยั่งยืนแก่สิ่งก่อสร้างในด้านความแข็งแรงและสิ่งแวดล้อมควบคู่กัน

2.ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เส้นใยปอกระเจา (Jute NFRP)

ปอกระเจา (Jute) เป็นพืชในวงศ์ทิเลียซีอี (Tiliaceae) สกุลคอร์โครุส (Corchorus) มีแพร่หลายในประเทศไทยมานานตั้งแต่สมัยสุโขทัย โดยเส้นใยปอสามารถผลิตได้ส่วนเปลือกของลำต้น มีราคาถูกและสามารถหาได้ง่าย มักจะใช้ในงานด้านวิศวกรรมหรืออุตสาหกรรรมเครื่องเรือนต่างๆ เส้นใยปอกระเจาดีกว่าเส้นใยแก้ว (GRRP) ในด้านของสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงคุณสมบัติของเส้นใยปอกระเจา

Reference	Density (g/cm^3)	Tensile Strength (MPa)	Young's modulus (GPa)	Elongation at break (%)
O. Faruk (2012)	61.2	23.2	13.7	0.5
X. Li (2007)	61-73.2	13.6-20.4	12-16	-
M. Chandrasekar (2017)	61-71	14-20	12-13	-

2.2 เส้นใยป่านศรนารายณ์ (Sisal NFRP)

ใยป่านศรนารายณ์ (Sisal NFRP) เป็นเส้นใยเซลลูโลสที่ได้จากใบของลำต้นป่านศรนารายณ์ ซึ่งเป็นพืชตระกูล Agave ปลูกและขึ้นได้ดีในประเทศเม็กซิโก และประเทศในแถบแอฟริกาใต้ แอฟริกา เอเชีย ซึ่งในประเทศไทยนิยมปลูกมากที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

เส้นใยป่านศรนารายณ์มาจากส่วนใบของต้นป่านศรนารายณ์ ซึ่งองค์ประกอบหลักทางเคมี คือ เซลลูโลส (Cellulose), เฮมิเซลลูโลส (Hemi-cellulose), ลิกนิน (Lignin), เพนโทซาน (Pentosan) และแวกซ์(Waxes) โดยมีอัตราส่วนตามตารางที่ ซึ่งคุณภาพของเส้นใยที่ได้จะขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมของเส้นใยป่านศรนารายณ์ เช่น แหล่งเพาะปลูก,ปริมาณน้ำกับอาหารที่พืชได้รับและอายุของพืช เป็นต้น

เส้นใยป่านศรนารายณ์มีสมบัติที่เด่น คือ ไม่ลื่น มีการยืดหดตัวน้อย มีความทนทานมากเมื่อถูกน้ำ และมีความแข็งแรงเชิงกลที่ดี โดยมีคุณสมบัติดังนี้ มีความทนต่อแรงดึง (tensile strength) 511-635 MPa มีค่ามอดุลัสของยังก์ (Young's modulus) 9.4-22.0 GPa และสามารถยืดได้ก่อนขาด (elongation at break) 2.0-2.5% และเนื่องจากป่านศรนารายณ์เป็นพืชที่ปลูกได้ง่าย ราคาไม่แพง และ

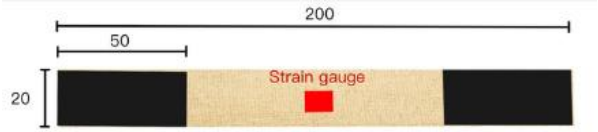
ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติจึงมีผู้สนใจศึกษาการใช้เส้นใยป่านศรนารายณ์เป็นวัสดุเสริมแรงสำหรับพอลิเมอร์

3.วิธีการทดลอง

3.1 การทดสอบการรับแรงดึงของแผ่นคูปองและอีพอกซี

ตารางที่ 3.1 รายการทดสอบการรับแรงดึงของแผ่นคูปอง

Specimen	Fiber	Epoxy	No. of specimens
E	-	Bio-base epoxy	5
J	Jute	Bio-base epoxy	5
S	Sisal	Bio-base epoxy	5



เตรียมตัดเส้นใยทั้ง 2 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 3.1 นำเข้าเครื่องอบเพื่อไล่ความชื้นอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงแล้วเก็บเข้าถุงซิปล็อคพร้อมกับซิลิกาเจล เพื่อรักษาความชื้นของเส้นใย แล้วเริ่มวางแผ่นพลาสติกบนแบบตัวอย่างแล้วทา Bio-based epoxy ด้วยแปรงลงบนเส้นใยคาร์บอนและวางไว้บริเวณปลายทั้ง 2 ด้าน โดยเว้นระยะ (gauge length) 100 มิลลิเมตร จากนั้นทาเส้นใยที่ได้เตรียมไว้ด้วยอีพอกซีให้สม่ำเสมอวางลงบนแบบตัวอย่าง แล้ววางเส้นใยคาร์บอนอีกชั้นบนตำแหน่งเดิม แล้วนำแผ่นพลาสติกอีกแผ่นวางทับปิดหน้าเพื่อให้มีลักษณะคล้ายสุญญากาศ

3.2 การทดสอบการรับแรงอัดของคอนกรีตทรงกระบอก

ตารางที่ 3.2 รายการทดสอบการรับแรงอัดของคอนกรีต

No.	Specimen Code	Concrete Strength	FRP Inner	FRP Outer	Amount
1.	LC	14 MPa	-	-	3
2.	LC-J	14 MPa	Jute	-	3
4.	LC-JJ	14 MPa	Jute	Jute	3
5.	LC-S	14 MPa	Sisal	-	3
6.	LC-SS	14 MPa	Sisal	Sisal	3
7.	NC	30 MPa	-	-	3
8.	NC-J	30 MPa	Jute	-	3
9.	NC-JJ	30 MPa	Jute	Jute	3
10.	NC-S	30 MPa	Sisal	-	3
11.	NC-SS	30 MPa	Sisal	Sisal	3

ความหมายของชื่อตัวอย่าง

ชื่อในส่วนแรกบอกกำลังของคอนกรีต และในส่วนที่สองบอกชนิดที่โอบรัดคอนกรีต ตัวอย่างเช่น LC-JJ หมายถึง ตัวอย่างของคอนกรีตกำลังต่ำที่โอบรัดโดยเส้นใยปอกระเจา 2 ชั้น โดยทุกตัวอย่างใช้อีพอกซี bio-based ทั้งหมด

ขั้นตอนแรกนำแผ่นเส้นใยที่เตรียมด้วยวิธีการเดียวกันกับการเตรียมเส้นใยทดสอบคูปองมาพันโอบรัดลูกปูนตามตารางที่ 3.2 โดยให้มีส่วนทับซ้อนกัน (Overlapping zone) เท่ากับ ¼ ของเส้นรอบรูปของลูกปูน หลังจากนั้นทา bio-based epoxy ที่ผสมไว้และทิ้งให้แห้ง แล้วพันส่วนหัวและท้ายของคอนกรีตด้วยเส้นใยคาร์บอนกว้างขนาด 2.5 เซนติเมตร แล้วปล่อยให้แห้งเป็นเวลา 7 วัน

3.3 การทดสอบกำลังรับแรงอัด

เริ่มโดยนำลูกปูนที่โอบรัดด้วยเส้นใยเรียบร้อย มา cap ด้วยยิปซัมทั้งส่วนหัวและท้ายคอนกรีต เพื่อให้พื้นผิวเรียบเสมอกัน แล้วติดตั้ง strain gauge 2 ตัวตรงข้ามกัน บริเวณกึ่งกลางของของลูกปูน นำลูกปูนเข้าเครื่องทดสอบและ Shimadzu UH-FS500kN และ Instron โดยต่อ data logger และ Bridge box เข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกค่ากำลังแรงอัดจาก load cell , ค่าความเครียดในแนวนอน (Horizontal strain) จาก strain gauge และค่าความเครียดในแนวตั้ง (Vertical strain) จาก LVDT ผ่าน Compressometer กดตัวอย่างด้วยอัตรา 1 mm./min และบันทึกกำลังแรงอัดจนกระทั่งตัวอย่างวิบัติหรือกำลังแรงอัดลดลงจนถึงร้อยละ 50 ของกำลังแรงอัดสูงสุด

4.ผลการดำเนินงานวิจัย

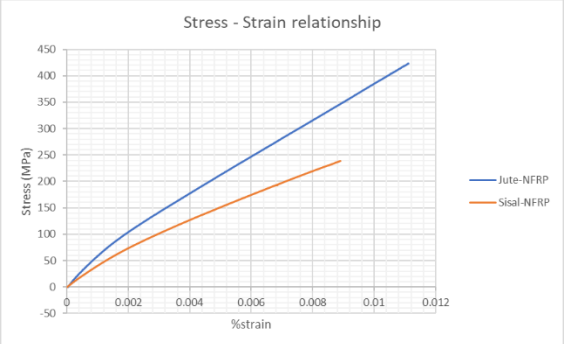
4.1 คุณสมบัติของเส้นใยและอีพอกซีธรรมชาติ

ตารางที่ 4.1 ค่าการรับแรงดึงและการยืดตัวของแต่ละเส้นใยและอีพอกซี

Type	Tensile Strength (MPa)	Average initial elastic modulus, E1 (MPa)	Average 2nd stage elastic modulus, E2 (MPa)	Average coupon rupture strain FRP (%)
E	44.78	3243.2	-	1.51
J	374.23	60509.5		
S	276.09	29085.6		

การวิบัติของแผ่นอีพอกซีจะฉีกขาดออกจากกันทันทีพร้อมกันเป็นแนวตรง ตำแหน่งการวิบัติส่วนใหญ่อยู่บริเวณตรงกลางของแผ่นอีพอกซี คล้ายกับแผ่นเส้นใยปอกระเจา แต่ตำแหน่งการวิบัติส่วนใหญ่อยู่แถวบริเวณเส้นใยที่ใกล้กับแผ่นคาร์บอน ส่วนการวิบัติของแผ่นเส้นใยป่านศรนารายณ์เป็นลักษณะฉีกขาดเป็นแนวเอียง จะไม่ขาดออกจากกันทั้งหมด ตำแหน่งวิบัติส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณตรงของแผ่นเส้นใย

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของแผ่นคูปองที่ได้จากปอกระเจาและป่านศรนารายณ์โดยยึดเหนี่ยวด้วยอีพอกซีธรรมชาติ ดังแสดงในรูป จะเห็นได้ว่ากราฟทั้งคู่เป็นลักษณะ Bilinear



4.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีต

จากการทดสอบกดตัวอย่างคอนกรีตพบว่าคอนกรีตที่โอบรัดด้วยเส้นใยปอกระเจามีการวิบัติที่มีเสียงค่อนข้างดัง ส่วนคอนกรีตที่โอบรัดด้วยเส้นใยป่านศรนารายณ์จะมีเสียงฉีกขาดของเส้นใยก่อนการวิบัติชัดเจน

โดยตำแหน่งการฉีดขาดของคอนกรีตที่ดอบรัดด้วยเส้นใยพันรอบ 1 จะวิบัติบริเวณที่ไม่มีการ Overlaping มีการกระจายของเส้นใยและเศษค่อนกรีตค่อนข้างมาก ส่วนคอนกรีที่โอบรัดด้วยเส้นใย 2 จะฉีกขาดบริเวณส่วนต่อระหว่างเส้นใยชั้นที่ 1 และ 2 ซึ่งอยู่ตรงข้ามกับปลาย overlapping ชั้นที่ 2 มีการกระจายของเส้นใยและเศษคอนกรีตน้อยกว่า