

สมบัติทางกลของคอนกรีตผสมด้วยของเสียพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว

MECHANICAL PROPERTIES OF GLASS FIBER REINFORCED POLYMER WASTE

ชรินทร์ เอี่ยมละออ^{1,*} ชนะชัย ทองโฉม² และ เพ็ญพิชชา สนธิจันทร์³

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จ.ปทุมธานี

³ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.นครปฐม

*Corresponding author; E-mail address: charinrat.aiam@dome.tu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติทางกลของคอนกรีตที่ผสมด้วยของเสียพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว (Glass Fiber Reinforced Polymer Waste, GFRPW) โดยพิจารณาผลกระทบของปริมาณเส้นใยที่แตกต่างกัน ได้แก่ 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5% และ 2.0% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ที่มีต่อการยุบตัว กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีก และกำลังรับแรงดัดของคอนกรีต จากผลการทดสอบพบว่าความสามารถในการทำงานของคอนกรีตเสริมเส้นใย GFRPW ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย อย่างไรก็ตาม กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย GFRPW โดยค่าสูงสุดเพิ่มขึ้น 37.99% เมื่อเทียบกับคอนกรีตอ้างอิง กำลังรับแรงดัดของคอนกรีตเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย GFRPW โดย ค่าสูงสุดเพิ่มขึ้น 16.28% เมื่อเทียบกับคอนกรีตอ้างอิง นอกจากนี้ กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกเพิ่มขึ้นสูงสุด 9.25% ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการใช้ของเสียพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วสามารถปรับปรุงสมบัติทางกลของคอนกรีตได้ ซึ่งเป็นแนวทางที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง

คำสำคัญ: คอนกรีตเสริมเส้นใย, ของเสียพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว, สมบัติทางกล

Abstract

This research investigates the mechanical properties of concrete incorporating glass fiber-reinforced polymer waste (GFRPW). The study examines the effects of different GFRPW fiber contents (0%, 0.5%, 1.0%, 1.5%, and 2.0% by cement weight) on workability, compressive strength, splitting tensile strength, and flexural strength of concrete. The results indicate that the workability of GFRPW-reinforced concrete decreases with increasing fiber content. However, the compressive strength improves as the GFRPW fiber content increases, with a maximum increase of 37.99% compared to the reference concrete. The flexural strength improves as the GFRPW fiber content increases, with a maximum increase of 16.28% compared to the reference

concrete. Additionally, the splitting tensile strength exhibits a maximum enhancement of 9.21%. These findings suggest that incorporating glass fiber-reinforced polymer waste enhances the mechanical properties of concrete, offering an environmentally friendly approach for repurposing waste materials in the construction industry.

Keywords: Fiber-reinforced concrete, glass fiber-reinforced polymer waste, mechanical properties

1. บทนำ

ในปัจจุบันวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใย (Fiber Reinforced Polymer, FRP) ได้รับความนิยมและใช้งานอย่างแพร่หลายในหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น การก่อสร้าง การขนส่ง อุตสาหกรรมยานยนต์ ผลิตภัณฑ์อุปโภคบริโภค และอุปกรณ์กีฬา เนื่องจากมีคุณสมบัติที่โดดเด่นหลายประการ เช่น น้ำหนักเบา สมรรถนะทางกลสูง ความยืดหยุ่นในการออกแบบและผลิต ติดตั้งง่าย และทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่รุนแรง [1-4] การใช้งาน FRP มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทั่วโลก โดยเฉพาะในสหรัฐอเมริกา สอดคล้องกับหลายการวิจัยและรายงานด้านการตลาดระดับโลก มูลค่าตลาดโลกของ FRP คาดการณ์ว่าจะเติบโตต่อปีในช่วงปี 2021-2028 [5-7] ตลาดหลักของ FRP ประกอบด้วยประเทศจีน สหรัฐอเมริกา เยอรมนี และญี่ปุ่น ซึ่งรวมกันคิดเป็นสัดส่วนกว่า 55% ของตลาดโลก แนวโน้มการเติบโตของ FRP ย่อมส่งผลต่อการใช้วัสดุนี้ในอุตสาหกรรมและการก่อสร้างในประเทศไทย ซึ่งจะนำไปสู่การเพิ่มขึ้นของปริมาณขยะ FRP การจัดการของเสีย FRP จึงเป็นปัญหาที่ต้องหาแนวทางแก้ไข [8-10]

วัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว (Glass Fiber Reinforced Polymer, GFRP) มีปริมาณการใช้งานมากที่สุดในตลาดของ FRP และเพิ่มขึ้นในทุกปี เนื่องจาก GFRP ผลิตจากเส้นใยแก้วที่วางตัวตามทิศทางที่ต้องการ และมีคุณสมบัติที่ดีในการเสริมกำลังคอนกรีต แนวคิดในการเสริมกำลังวัสดุก่อสร้างที่ประกอบด้วยเส้นใยมีการพัฒนามาตั้งแต่สมัยโบราณ เช่น การใช้ดินเหนียวอบเสริมด้วยฟางในการสร้างกระโจมดิน และการเสริมปูนก่อด้วยขนสัตว์ [11] การใส่เส้นใยในคอนกรีตช่วยปรับปรุงสมบัติทางกล การยึดหดตัว และความทนทาน GFRC เป็นนวัตกรรมสำคัญในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพด้านเศรษฐกิจ เทคโนโลยี และการออกแบบ

สถาปัตยกรรม โดย GFRC มีความหลากหลายและสามารถตอบโจทย์ความต้องการของสถาปนิกและวิศวกรได้ดี [12] ซึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักและลดโอกาสการเกิดการวิบัติอย่างฉับพลันของโครงสร้าง [13, 14] การเสริมเส้นใยมีความสามารถในการทนทานต่อการแตกหักที่สูงกว่าตัวอย่างคอนกรีตที่ไม่มีการเสริมเส้นใย การเติมเส้นใย 0.5% เป็น 1.0% โดยน้ำหนักของซีเมนต์ ช่วยเพิ่มความทนทานต่อการแตกหัก ลดรอยแตก [15] การแปรสภาพ GFRPW เป็นเส้นใยขนาดใหญ่ใช้กำลังเสริมคอนกรีต (macro fibre reinforced concrete, MFRC) ความสามารถในการทำงานขึ้นอยู่กับอัตราส่วนปริมาณของเส้นใย เมื่อปริมาณการเติมเส้นใยเพิ่มขึ้นทำให้ความสามารถในการทำงานของคอนกรีตลดลง การเติมเส้นใยขนาดใหญ่ 1.5% โดยน้ำหนักของซีเมนต์ กำลังรับแรงดัดและความเหนียวจะเพิ่มขึ้น 1.3 และ 230 เท่าตามลำดับ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเพิ่มขึ้นสูงสุด 4.4% จากคอนกรีตปกติ [16]

งานวิจัยฉบับนี้ต้องการนำเสนอถึงแนวทางที่เป็นไปได้สำหรับการศึกษาในขนาดเกี่ยวกับวัสดุคอมโพสิต GFRPW โดยงานวิจัยนี้ มีการใช้ GFRPW เป็นวัสดุคอมโพสิตในคอนกรีตที่สัดส่วนแตกต่างกัน โดยศึกษาผลกระทบของ GFRPW ต่อคุณสมบัติพื้นฐาน ได้แก่ การยุบตัว ศึกษาคุณสมบัติเชิงกล ได้แก่ กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกและกำลังรับแรงดัด ผลการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลเพื่อประเมินแนวทางการนำเส้นใย GFRPW มาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุคอมโพสิตเพื่อพัฒนาคุณสมบัติบางประการของคอนกรีตและเพื่อคำนึงถึงผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม จึงนำแนวคิดการจัดการของเสียให้เกิดประโยชน์สูงสุดมาใช้กับ GFRPW

2. วัสดุ สัดส่วนผสม และการเตรียมตัวอย่าง

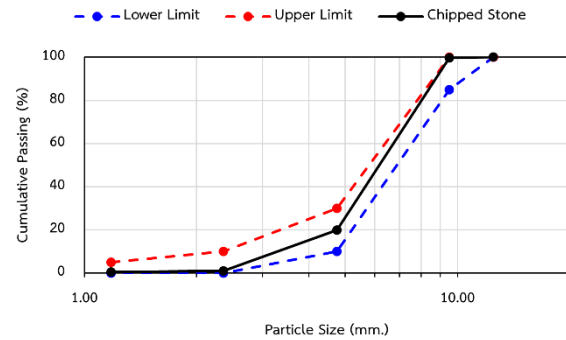
2.1 วัสดุ

2.2.1 ปูนซีเมนต์ (Cement)

ปูนซีเมนต์ที่ใช้คือปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic Cement) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2594 - 2556 และตามมาตรฐาน ASTM C1157 [17] สำหรับงานคอนกรีตทั่วไป และงานคอนกรีตโครงสร้าง โดยมีค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) อยู่ในช่วงประมาณ 3.05

2.2.2 มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate)

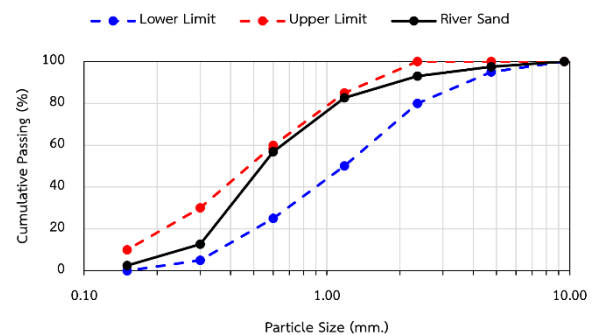
ใช้มวลรวมหยาบขนาดใหญ่สูงสุด 9.5 มม. มวลรวมละเอียดมีความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) เท่ากับ 2.65 ที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง เนื่องจากมวลรวมหยาบมีขนาดเล็กจึงทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานได้ดี ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมีค่าสูง ดังนั้นจึงเลือกใช้มวลรวมหยาบขนาดไม่เกิน 9.5 มม. ที่ทำความสะอาดให้มีสิ่งเจือปนน้อยที่สุดมาใช้งานวิจัยนี้ แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขนาดคละของมวลรวมหยาบ

2.2.3 มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate)

มวลรวมละเอียดที่เลือกใช้งานวิจัยในครั้งนี้จะเลือกใช้เป็นทรายแม่น้ำ (River Sand) คละขนาดแสดงดังรูปที่ 2 โดยก่อนที่จะนำทรายแม่น้ำมาใช้ในการผสมคอนกรีตอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry, SSD) และมีค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) เท่ากับ 2.64



รูปที่ 2 ขนาดคละของมวลรวมละเอียด

2.2.4 สารผสมเพิ่ม (Admixture)

สารลดน้ำพิเศษ (Superplasticizer) เพื่อเพิ่มความสามารถในการใช้งาน (Workability) ของคอนกรีต และสามารถพัฒนากำลังอัดได้สูงขึ้น โดยเลือกใช้สารลดปริมาณน้ำที่อยู่ในประเภท Type F (Water Reducing, High Range Admixture) ชนิด Naphthalene Formaldehyde Sulfonate โดยเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C494-92 โดยแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขนาดคละของมวลรวมละเอียด

2.2.5 เส้นใยของเสียจากวัสดุพอลิเมอร์เสริมกำลังด้วยเส้นใยแก้ว

(Glass Fiber Reinforced Polymer Waste, GFRPW)

ตัวอย่างในการทดสอบใส่ส่วนผสมเพิ่ม 1 ชนิดลงไปในคอนกรีต คือ GFRPW เป็นเส้นใยสังเคราะห์จากสารเคมี (Chemical Synthetic Fiber) โดยเลือกใช้เส้นใย GFRPW ที่ผ่านการแปรสภาพแสดงดังรูปที่ 4 ให้มีลักษณะเหมาะสมสำหรับใส่ผสมในคอนกรีต ความยาวของเส้นใยมีค่าเท่ากับ 5 ซม. โดยขั้นตอนในการเตรียมเส้นใย GFRPW มีดังนี้

- (1) เลือกใช้ GFRPW แบบแท่งหรือท่อนสั้นมาใช้ในการแปรสภาพ
- (2) นำ GFRPW ที่ได้มาวัดขนาดและทำสัญลักษณ์
- (3) นำ GFRPW ที่เตรียมไว้จากข้อ (2) มาตัดเป็นชิ้นตามขนาดที่วัดไว้
- (4) นำ GFRPW ที่ตัดเตรียมเอาไว้จากขั้นตอนที่ (3) มาทุบให้แยกตัว
- (5) นำ GFRPW ที่ตัดเตรียมเอาไว้จากขั้นตอนที่ (4) มาแยกออกให้เป็นเส้นๆ



รูปที่ 4 ขนาดคละของมวลรวมละเอียด

2.2 สัดส่วนผสม

การออกแบบสัดส่วนผสมของคอนกรีตทั่วไปโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C192 สำหรับตัวอย่างการทดสอบทั้งหมด โดยจะออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่มีส่วนผสมของ ซีเมนต์ (Cement, C) มวลรวมละเอียด (Sand, S) มวลรวมหยาบ (CA) น้ำ (W) สารผสมเพิ่ม (Superplasticizer, SP) และเส้นใย GFRPW ที่อัตราส่วนที่แตกต่างกันได้แก่ 0.5%, 1.0%, 1.5%, และ 2.0% ต่อน้ำหนักของปูนซีเมนต์ และเลือกใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ W/C เท่ากับ 0.32 โดยจะแสดงในตารางที่ 1 สัดส่วนผสมคอนกรีตผสมเส้นใย GFRPW

ตารางที่ 1 สัดส่วนผสมคอนกรีต kg/m^3

ส่วนประกอบ	ส่วนผสม				
	CC	GFRPW 0.5	GFRPW 1.0	GFRPW 1.5	GFRPW 2.0
ซีเมนต์	462.5				
น้ำ	148				
อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์	0.32				
มวลรวมละเอียด	722.5				
มวลรวมหยาบ	1150.0				
สารผสมเพิ่ม	13.87				
อัตราส่วนปริมาตรของ GFRPW	0	2.31	4.63	6.94	9.25

2.3 การเตรียมตัวอย่าง

นำมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดผสมให้เข้ากัน 1 นาที หลังจากนั้นก็ใส่ปูนซีเมนต์ผสมให้เข้ากัน 1 นาที ใส่เส้นใย GFRPW แล้วผสมให้เข้ากัน 1 นาที แล้วจึงใส่น้ำครึ่งหนึ่งแล้วผสมให้เข้ากัน 2 นาที แล้วจึงใส่น้ำและสารลดน้ำที่เหลืออยู่ผสมให้เข้ากันอีก 3 นาที หลังจากนั้นทำการวัดค่าการยุบตัวและนำคอนกรีตเทลงในแบบหล่อคอนกรีตรูปทรงทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. ความสูง 20 ซม. และคานคอนกรีตขนาด $10 \times 10 \times 35$ ซม. ตัวอย่างทั้งหมดจะนำออกจากแบบหล่อหลังจากทิ้งไว้ให้แข็งตัว 24 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างไปบ่มในน้ำ 28 วัน แล้วนำขึ้นจากน้ำพักให้ตัวอย่างแห้งก่อนนำไปทำการทดสอบต่อไป

3. วิธีการทดสอบ

การทดสอบในงานวิจัยนี้ทำการทดสอบหาค่าการยุบตัวและคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีต โดยคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตที่ทำการทดสอบ คือ กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีก และกำลังรับแรงดัด โดยวิธีการทดสอบ ลักษณะตัวอย่างและมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ แสดงดังตารางที่ 2

3.1 ความสามารถในการทำงาน (Workability)

จะใช้วิธีทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต (Slump Test) ตามมาตรฐาน ASTM C143 [18] เพื่อดูลักษณะการยุบตัวของคอนกรีตว่ามีคุณสมบัติในการทำงานเป็นอย่างไร

3.2 การทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compression Test)

เป็นการทดสอบคุณสมบัติของกำลังรับแรงอัด (Compression Test) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เป็นจุดเด่นของคอนกรีต ตามมาตรฐาน ASTM C39 [19] ทำการทดสอบโดยใช้ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงทรงกระบอก ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. ความสูง 20 ซม. ทดสอบ 3 ตัวอย่างเพื่อหาค่าเฉลี่ย

3.3 การทดสอบกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีก (Splitting Tensile Test)

เป็นการทดสอบคุณสมบัติของกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีก (Splitting Tensile Test) ตามมาตรฐาน ASTM C496 [20] ทำการทดสอบโดยใช้

ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงทรงกระบอก ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. ความสูง 20 ซม. ทดสอบ 3 ตัวอย่างเพื่อหาค่าเฉลี่ย

3.4 การทดสอบกำลังรับแรงดัด (Flexural Tensile Test)

เป็นการทดสอบคุณสมบัติของกำลังรับแรงดัด (Flexural Tensile Test) ของคานคอนกรีต เพื่อศึกษาค่าโมดูลัสการแตกร้าว (Modulus Of Rupture) ตามมาตรฐาน ASTM C78 [21]) ทำการทดสอบโดยใช้ตัวอย่างคานคอนกรีตขนาด 10 x 10 x 35 ซม. ทดสอบ 3 ตัวอย่างเพื่อหาค่าเฉลี่ย

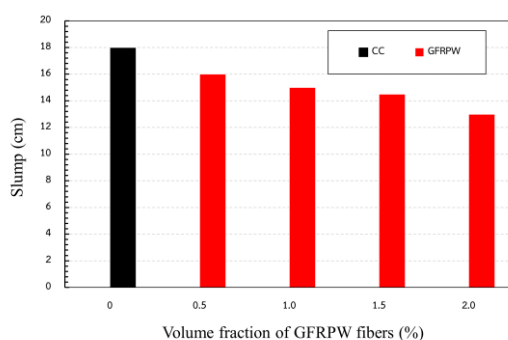
ตารางที่ 2 วิธีการทดสอบและมาตรฐานที่ใช้อ้างอิง

คุณสมบัติ	วิธีการทดสอบ	มาตรฐาน	ลักษณะตัวอย่าง
ความสามารถในการใช้งาน	Slump Test	ASTM C143	-
กำลังรับแรงอัด	Compression Test	ASTM C39	Cylinder
กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีก	Splitting Tensile Test	ASTM C496	Cylinder
กำลังรับแรงดัด	Flexural Tensile Test	ASTM C78	Beam

4. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

4.1 ความสามารถในการใช้งาน

ความสามารถในการใช้งาน (Workability) จะทดสอบด้วยการหาค่าการยุบตัว (Slump) ของคอนกรีตเสริมเส้นใย GFRPW ที่ผ่านการแปรสภาพ ในอัตราส่วนผสมเส้นใย 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5%, และ 2.0% ตามลำดับ พบว่าการยุบตัวของคอนกรีตที่ไม่ใส่เส้นใย GFRPW (CC 0%) มีค่าเท่ากับ 18 ซม. คอนกรีตเสริมเส้นใย GFRPW มีค่าเท่ากับ 16, 15, 14.5, และ 13 ซม. ตามลำดับ ค่าการยุบตัวเมื่อเทียบกับตัวอย่างคอนกรีตไม่ใส่เส้นใย GFRPW ลดลงเท่ากับ 11.11%, 16.67%, 19.44%, และ 27.78% ตามลำดับ ค่าการยุบตัวของคอนกรีตเสริมเส้นใย GFRPW มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย แสดงดังรูปที่ 5 ทั้งนี้ค่าความเป็นผลที่มาจากเส้นใยที่กระจายตัวอยู่ในคอนกรีตไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของอนุภาคซีเมนต์และมวลรวม ส่งผลให้ความสามารถในการทำงานลดลง [22]

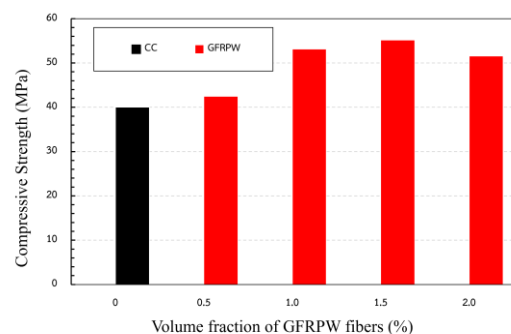


รูปที่ 5 ผลของอัตราส่วนปริมาณเส้นใย GFRPW ต่อค่าการยุบตัวของคอนกรีต

4.2 กำลังรับแรงอัด

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเสริมเส้นใย GFRPW ในอัตราส่วนผสมเส้นใย 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5%, และ 2.0% ตามลำดับ พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ไม่ใส่เส้นใย GFRPW (CC 0%) มีค่าเท่ากับ 40.01 MPa คอนกรีตเสริมเส้นใย GFRPW ที่ความยาวเส้นใยเท่ากับ 5 เซนติเมตร มีค่าเท่ากับ 42.46 MPa, 53.15 MPa, 55.21 MPa, และ 51.57 MPa ตามลำดับ ค่ากำลังรับแรงอัดเมื่อเทียบกับตัวอย่างคอนกรีตไม่ใส่เส้นใย GFRPW เพิ่มขึ้นเท่ากับ 6.12%, 32.84%, 37.99%, และ 28.89% ตามลำดับ โดยผลการทดสอบจะแสดงดังรูปที่ 6

ผลการทดสอบพบว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่เสริมเส้นใย GFRPW ที่มีอายุ 28 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างอ้างอิง (CC 0%) มีกำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่พบว่าการใส่เส้นใย GFRPW ที่ 2% พบว่ามีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำกว่าการใส่เส้นใย GFRPW ที่ 1.5% ที่มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด แสดงให้เห็นว่าการใส่เส้นใย GFRPW ทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นแต่ขึ้นอยู่กับปริมาณที่เหมาะสม เพราะเมื่อใส่เส้นใย GFRPW ในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้ความสามารถในการรับกำลังอัดลดลง ทั้งนี้ค่าความเป็นผลที่มาจากเส้นใยในคอนกรีต โดยเฉพาะในปริมาณที่มากเกินไปอาจทำให้การกระจายตัวของเส้นใยไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้เกิดช่องว่างหรือโพรง (voids) ระหว่างเส้นใยและเนื้อคอนกรีต ซึ่งลดประสิทธิภาพการถ่ายแรงระหว่างเมทริกซ์คอนกรีตและเส้นใย การใช้เส้นใยที่มีสัดส่วนสูงสามารถก่อให้เกิดปัญหา balling effect หรือการจับตัวเป็นกลุ่มของเส้นใย ซึ่งทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอในเนื้อคอนกรีต ส่งผลให้กำลังอัดลดลง เส้นใยที่มีปริมาณสูงอาจเพิ่มการพันกันของเส้นใย (fiber entanglement) ทำให้เกิดช่องว่างในคอนกรีต และส่งผลต่อกำลังอัด



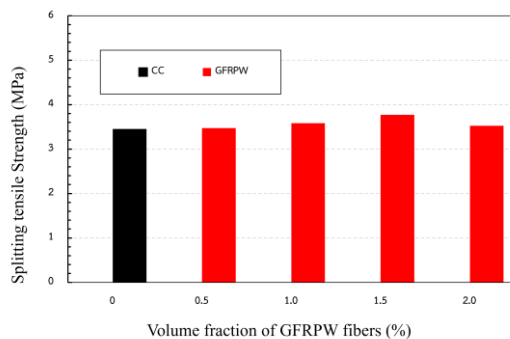
รูปที่ 6 การเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเสริมเส้นใย GFRPW ที่ปริมาณการใส่ที่แตกต่างกัน

4.3 กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีก

ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตเสริมเส้นใย GFRPW ในอัตราส่วนผสมเส้นใย 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5%, และ 2.0% ตามลำดับ พบว่าค่ากำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตที่ไม่ใส่เส้นใย GFRPW (CC 0%) มีค่าเท่ากับ 3.46 MPa คอนกรีตเสริมเส้นใย GFRPW มีค่าเท่ากับ 3.48 MPa, 3.59 MPa, 3.78 MPa, และ 3.53 MPa ตามลำดับ ค่ากำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกเมื่อเทียบกับตัวอย่างคอนกรีตไม่ใส่เส้นใย

GFRPW เพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.57%, 3.75%, 9.25%, และ 2.02% ตามลำดับ โดยผลการทดสอบจะแสดงดังรูปที่ 7

ผลการทดสอบพบว่ากำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตที่เสริมเส้นใย GFRPW ที่มีอายุ 28 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างอ้างอิง (CC 0%) มีกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่พบว่าการใส่เส้นใย GFRPW ที่ 2% พบว่ามีค่ากำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกต่ำกว่าการใส่เส้นใย GFRPW ที่ 1.5% ที่มีค่ากำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีก แสดงให้เห็นว่าการใส่เส้นใย GFRPW ทำให้ค่ากำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกเพิ่มขึ้นแต่ขึ้นอยู่กับปริมาณที่เหมาะสม เพราะเมื่อใส่เส้นใย GFRPW ในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้ความสามารถในการรับกำลังดึงแบบผ่าซีกลดลง ทั้งนี้ค่าความเป็นผลที่มาจาก การเติมเส้นใยในคอนกรีต โดยเฉพาะในปริมาณที่มาก อาจทำให้การกระจายตัวของเส้นใยไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้เกิดช่องว่างหรือโพรง (voids) ระหว่างเส้นใยและเนื้อคอนกรีต ซึ่งลดประสิทธิภาพการถ่ายแรงระหว่างเมทริกซ์คอนกรีตและเส้นใย การใช้เส้นใยที่มีสัดส่วนสูงสามารถก่อให้เกิดปัญหา balling effect หรือการจับตัวเป็นกลุ่มของเส้นใย ซึ่งทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอในเนื้อคอนกรีต ส่งผลให้กำลังอัดลดลง เส้นใยที่มีความยาวหรือปริมาณสูงอาจเพิ่มการพันกันของเส้นใย (fiber entanglement) ทำให้เกิดช่องว่างในคอนกรีต และส่งผลต่อกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีก

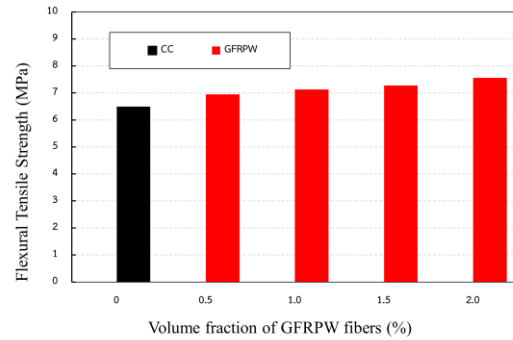


รูปที่ 6 การเปรียบเทียบกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของของคอนกรีตเสริมเส้นใย GFRPW ที่ปริมาณการใส่ที่แตกต่างกัน

4.4 กำลังรับแรงดัด

ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตเสริมเส้นใย GFRPW ในอัตราส่วนผสมเส้นใย 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5%, และ 2.0% ตามลำดับ พบว่าค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตที่ไม่ใส่เส้นใย GFRPW (CC 0%) มีค่าเท่ากับ 6.51 MPa คอนกรีตเสริมเส้นใย GFRPW มีค่าเท่ากับ 6.69 MPa, 7.14 MPa, 7.29 MPa, และ 7.57 MPa ตามลำดับ ค่ากำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกเมื่อเทียบกับตัวอย่างคอนกรีตไม่ใส่เส้นใย GFRPW เพิ่มขึ้นเท่ากับ 6.91%, 9.68%, 11.98%, และ 16.28% ตามลำดับ โดยผลการทดสอบจะแสดงดังรูปที่ 7

ผลการทดสอบพบว่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตที่เสริมเส้นใย GFRPW ที่มีอายุ 28 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มตัวอย่างอ้างอิง (CC 0%) มีกำลังรับแรงดัดที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตราส่วนของเส้นใย GFRPW เพิ่มขึ้น กำลังรับแรงดัดของคอนกรีตก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบกำลังรับแรงดัดของของคอนกรีตเสริมเส้นใย GFRPW ที่ปริมาณการใส่ที่แตกต่างกัน

5. สรุปผล

5.1 ค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่เสริมเส้นใย GFRPW มีค่าการยุบตัวลดลงตามปริมาณของการใส่เส้นใยที่เพิ่มขึ้นในคอนกรีต

5.2 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่เสริมเส้นใย GFRPW พบว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่เสริมเส้นใยเท่ากับ 1.5% โดยน้ำหนักของซีเมนต์ ให้ค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่ากลุ่มคอนกรีตอ้างอิง 37.99%

5.3 กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตที่เสริมเส้นใย GFRPW พบว่ากำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตที่เสริมเส้นใยเท่ากับ 1.5% โดยน้ำหนักของซีเมนต์ ให้ค่ากำลังรับแรงดัดมากกว่ากลุ่มคอนกรีตอ้างอิง 9.25%

5.4 กำลังรับแรงดัดของคอนกรีตที่เสริมเส้นใย GFRPW พบว่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตที่เสริมเส้นใยเท่ากับ 2.0% โดยน้ำหนักของซีเมนต์ ให้ค่ากำลังรับแรงดัดมากกว่ากลุ่มคอนกรีตอ้างอิง 16.28%

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในการศึกษา และขอขอบคุณอาจารย์ ชนชัย ทองโณม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และอาจารย์ เพ็ญพิชชา สนิทอินทร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือในงานวิจัยในทุกๆเรื่อง ทำให้งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Bank, L. C. (2007). Composites for Construction: Structural Design with FRP Materials. Composites for Construction: Structural Design with FRP Materials, 1–551. <https://doi.org/10.1002/9780470121429>
- [2] Singh, P., Singh, S., Ojha, R., Tiwari, P., Khan, S., Kumar, R., & Gupta, A. (2022). Characterization of Wear of FRP Composites: A review. Materials Today: Proceedings, 64, 1357-1361.
- [3] Johnston, C.D. Fiber-Reinforced Cements and Concretes; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2014.
- [4] Allen, M.N.; El-Salakawy, E.F. Investigation of Strut-and-Tie Model Performance Using Symmetrically Loaded GFRP-RC Double Corbels. J. Compos. Constr. 2024, 28, 04024039.
- [5] Grand View Research. (2020). Fiber reinforced polymer (FRP) composites market size, share & trends analysis report, 2021-2028.
- [6] Stratview Research. (2021). Global FRP market forecast 2021-2028.
- [7] Markets and Markets. (2021). Fiber reinforced polymer (FRP) composites market - Global forecast to 2028.
- [8] Conroy, A., Halliwell, S., & Reynolds, T. (2004). Composite Recycling In The Construction Industry. *Advanced Polymer Composites for Structural Applications in Construction: ACIC 2004*, 37(8), 335–342.
- [9] Pickering, S. J. (2004). Recycling Technologies For Thermoset Composite Materials. *Advanced Polymer Composites for Structural Applications in Construction: ACIC 2004*, 37(8), 392–399. <https://doi.org/10.1016/B978-1-85573-736-5.50044-3>
- [10] Scheirs, J. (1998). Polymer recycling: science, technology and applications. (No Title). Test, C. C., Drilled, T., & Concrete, C. (2010). Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading) 1. Hand The, C78-02(C), 1–4.
- [11] Ahmed, A. A. M., & Jia, Y. (2019). Effect of using hybrid polypropylene and glass fibre on the mechanical properties and permeability of concrete. Materials, 12(22). <https://doi.org/10.3390/ma12223786>
- [12] Masuelli, M. A. (2013). Introduction of fibre-reinforced polymers– polymers and composites: concepts, properties and processes. In Fiber reinforced polymers-the technology applied for concrete repair. IntechOpen.
- [13] Kene, K. S. (2012). Experimental Study on Behavior of Steel and Glass Fiber Reinforced Concrete Composites. Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science, 2(4), 125–130. <https://doi.org/10.9756/bijiems.1617>
- [14] Löber, P., & Holschemacher, K. (2014). Structural Glass Fiber Reinforced Concrete for Slabs on Ground. World Journal of Engineering and Technology, 2(03), 48.
- [15] Gilbert, R. I., & Bernard, E. S. (2018). Post-cracking ductility of fibre reinforced concrete linings in combined bending and compression. Tunnelling and Underground Space Technology, 76(March), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.02.010>
- [16] Fu, B., Lin, L. B., Zhou, X., You, X. M., & Deng, D. Y. (2024). Effect of incorporating recycled macro fibres on the properties of ultra-high-performance seawater sea-sand concrete. Journal of Building Engineering, 83(January), 108460. <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.108460>
- [17] American Society for Testing and Materials. (2008). Astm C1157. Standard Performance Specification for Hydraulic Cement, 3–7.
- [18] ASTM, C. (2003). 143/C 143M-03,“. Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete”, Manual Book of ASTM Standards, 4.
- [19] Committee, C. (2021). Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. In ASTM International: West Conshohocken, PA, USA. ASTM international.
- [20] Astm, C. (2004). 496/C 496M. Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens,” ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [21] Test, C. C., Drilled, T., & Concrete, C. (2010). Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading) 1. Hand The, C7802(C), 1–4.
- [22] Fu, B., Liu, K. C., Chen, J. F., & Teng, J. G. (2021). Concrete reinforced with macro fibres recycled from waste GFRP. Construction and Building Materials, 310, 125063. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125063>