

คุณสมบัติทางกลของมอร์ต้าที่ผสมวัสดุเหลือใช้ จากกระบวนการผลิตพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว

Mechanical Properties of Mortar Incorporating Waste Materials from Glass Fiber-Reinforced Polymer Manufacturing

สรธร อาตกวัด¹ ชิชณพพงศ์ สุรัมย์^{2,*} เพ็ญพิชชา สนิทอินทร์³ และการันต์ คล้ายฉ่ำ⁴

^{1,2,3,4} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.นครปฐม

*Corresponding author; E-mail address: chisanuphong.s@ku.th

บทคัดย่อ

พอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว เป็นวัสดุที่ใช้ทดแทนเหล็กเส้นในโครงสร้างพื้นฐานคอนกรีต ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถนำกลับมาผลิตใหม่ได้ งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาแนวทางในการกำจัดวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว กระบวนการรีไซเคิลประกอบด้วยการคัดแยกโดยการร่อนผ่านตะแกรงแบ่งวัสดุเป็น พอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วรีไซเคิลลักษณะผงและเส้นใยแก้วจากนั้นใช้เป็นส่วนผสมในมอร์ต้า งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุเหลือใช้ทั้ง GFRP และสารลดน้ำพิเศษสำหรับกำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึง และพฤติกรรมการหดตัวแบบแห้งของมอร์ต้า อัตราส่วนผสมของวัสดุผงรีไซเคิลและเส้นใยแก้วเดียวกันในทุกการทดสอบ มอร์ต้าผสมวัสดุผงรีไซเคิล แทนที่ทรายโดยน้ำหนักในปริมาณ 5, 10, 20, 25, 30 และ 35 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่มอร์ต้าผสมเส้นใยแก้วในปริมาณ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 3.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในการทดสอบกำลังรับแรงอัด และกำลังรับแรงดึง ทดสอบที่อายุ 3, 7 และ 28 วัน ตามลำดับ และการหดตัวแบบแห้ง ทดสอบที่อายุ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 28 วัน ตามลำดับ ผลการทดสอบพบว่ากำลังรับแรงโดยรวมของมอร์ต้าที่ผสมวัสดุผงรีไซเคิลเพิ่มขึ้นตามปริมาณวัสดุผงรีไซเคิล และช่วยลดการหดตัวของมอร์ต้า ในส่วนของมอร์ต้าที่ผสมเส้นใยแก้วพบว่ากำลังรับแรงให้ผลลัพธ์ที่แปรปรวน โดยคาดว่าเป็นผลจากการเรียงตัวและการกระจายตัวของเส้นใยในมอร์ต้ามีความไม่สม่ำเสมอ

คำสำคัญ: วัสดุรีไซเคิล, พอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว, วัสดุเหลือใช้, มอร์ต้า, กำลังรับแรงอัด, กำลังรับแรงดึง, การหดตัวแบบแห้ง

Abstract

Glass Fiber-Reinforced Polymer (GFRP) is commonly utilized as a replacement for steel reinforcement in concrete infrastructure; however, it is a material that cannot be reprocessed for reuse. This study investigates a sustainable approach to managing waste materials generated from the GFRP bar manufacturing process. The recycling procedure involved sieving the waste to separate it into two categories: recycled GFRP powder and glass fibers. These recycled materials were subsequently incorporated into mortar mixtures. The primary objective of this study was to identify the optimal proportions of GFRP waste and a high-performance water-reducing agent to enhance the compressive strength, tensile strength, and drying shrinkage characteristics of mortar. In all experiments, the ratios

of recycled powder and glass fibers were consistently maintained. The recycled powder replaced sand by weight at substitution levels of 5%, 10%, 20%, 25%, 30%, and 35%, while glass fibers were incorporated at 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5%, 3.0%, and 3.5% by weight, respectively. Compressive and tensile strength tests were conducted at curing ages of 3, 7, and 28 days, whereas drying shrinkage tests were performed at 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, and 28 days. The results demonstrated that incorporating recycled GFRP powder enhanced the overall mechanical strength of the mortar and significantly reduced drying shrinkage. In contrast, the mechanical performance of mortars containing glass fibers exhibited variability, which was attributed to the non-uniform distribution and orientation of fibers within the mortar matrix.

Keywords: Recycle material, Glass fiber-reinforced polymer (GFRP), Waste, Mortar, Compressive strength, Tensile strength, Drying shrinkage

1. บทนำ

เนื่องจากอุตสาหกรรมพอลิเมอร์เสริมเส้นใย (FRP) เติบโตอย่างรวดเร็วจากความต้องการนำมาใช้งานเป็นจำนวนมากในงานโครงสร้างคอนกรีต โดยที่พอลิเมอร์เสริมเส้นใยเมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนหรือการบ่ม (Curing) จะเกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลกลายเป็นโครงสร้างสามมิติที่มีความแข็งแรง ทนทาน ไม่สามารถกลับมาเป็นของเหลวหรือแปรรูปและไม่สามารถนำมาหลอมซ้ำได้ ทำให้เกิดของเสียทิ้งจากกระบวนการผลิตรวมทั้งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยหลังการใช้งานแล้ว จึงเกิดปริมาณของเสียขึ้นตามความต้องการในภาคอุตสาหกรรม [1] เนื่องจากปัญหาขยะพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่เพิ่มสูงขึ้น จึงเลือกใช้การรีไซเคิลเป็นวิธีแก้ปัญหามากมาย ซึ่งวิธีดังกล่าวช่วยส่งเสริมการดูแลสิ่งแวดล้อม [2] การรีไซเคิลพอลิเมอร์เสริมเส้นใย เป็นทางเลือกที่มีความเป็นไปได้แทนการฝังกลบและการเผาทำลาย ซึ่งมีประโยชน์ทั้งทางด้านการเงินและสิ่งแวดล้อม วิธีการรีไซเคิลพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่พบได้บ่อย ได้แก่ การรีไซเคิลเชิงกล การรีไซเคิลด้วยความร้อน และการรีไซเคิลทางเคมี [3]

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้วัสดุรีไซเคิลที่เป็นของเหลือจากกระบวนการผลิตพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วในมอร์ต้า แท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วได้มาจากการตัดแต่งเพื่อให้ได้ขนาดตามต้องการ และการตัดส่วนเกินออกเพื่อให้ได้แท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วที่สมบูรณ์ แท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว

ประกอบด้วยเส้นใยแก้วและพอลิเมอร์เป็นองค์ประกอบหลัก โดยผ่านกระบวนการให้ความร้อนและขึ้นรูปเป็นแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว ส่งผลให้ไม่สามารถหลอมขึ้นรูปใหม่ได้ นอกจากนี้ ยังมีเส้นใยแก้วที่เป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับการผลิตแท่งดังกล่าวด้วย เพื่อเป็นการนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่ จึงเลือกใช้กระบวนการรีไซเคิลทางกล โดยเปลี่ยนขนาดและรูปร่างของแท่งพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วให้กลายเป็นผงรีไซเคิล (Powder Recycle, PR) สำหรับเส้นใยแก้ว นำมาตัดให้มีขนาดยาว 1.2 เซนติเมตร เพื่อนำไปผสมในมอร์ตาร์ อ้างอิงจากงานวิจัยของ Xin และคณะ [4] การใช้ผงพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วรีไซเคิลแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในสัดส่วน 10 เปอร์เซ็นต์ สามารถช่วยเพิ่มกำลังอัดของมอร์ตาร์ได้ ส่วนงานวิจัยของ Zhou และคณะ [5] ที่นำเส้นใยรีไซเคิลจากพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วมาผสมแทนที่ทรายในมอร์ตาร์ในสัดส่วน 2-6 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสามารถลดความสามารถในการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ และช่วยลดการหดตัวได้อย่างมีนัยสำคัญ งานวิจัยของ El Bitouri และคณะ [6] นำพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว (GFRP) จากอู่ต่อเรือโดยใช้แทนที่ในทรายที่ปริมาณ 3-15 เปอร์เซ็นต์ การแทนที่ทรายด้วย GFRP ในปริมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติโดยรวมของมอร์ตาร์ อย่างไรก็ตาม การเพิ่มปริมาณ GFRP ที่มากขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการไหลแผ่ลดลง จำเป็นต้องปรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์หรือใช้สารเพิ่มความสามารถในการไหล (superplasticizer) ในปริมาณสูง แม้ว่าการใช้สารดังกล่าวจะช่วยปรับปรุงความสามารถในการทำงานได้ แต่ไม่สามารถป้องกันการลดลงของกำลังอัดและกำลังดัดได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะกำลังอัดที่ลดลงมากกว่ากำลังดัด ซึ่งมีสาเหตุมาจากการยึดเกาะและการกระจายตัวของอนุภาค GFRP ในมอร์ตาร์ ทั้งนี้การใช้ GFRP ยังช่วยเพิ่มความทนทานต่อแรงดัดได้อีกด้วย

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาสมบัติทางกลของมอร์ตาร์ที่ผสมพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วรีไซเคิลที่มีลักษณะผง (ผงรีไซเคิล) และเป็นเส้นใยแก้วจากการรีไซเคิล ได้แก่ กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึง และการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ พอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วรีไซเคิลลักษณะผง (ผงรีไซเคิล) ใช้ส่วนที่ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 50 และค้ำตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 100 และเส้นใยแก้ว ตัดให้ได้ขนาดความยาว 1.2 เซนติเมตร จากนั้นทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ ตามมาตรฐาน ASTM C109 [7] การทดสอบกำลังรับแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM C307 [8] การทดสอบการหดตัวแบบแห้ง ตามมาตรฐาน ASTM C596 [9] โดยเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างมอร์ตาร์ที่ผสมวัสดุรีไซเคิลลักษณะผง มอร์ตาร์ที่ผสมเส้นใยแก้ว และมอร์ตาร์ควบคุม

2. วิธีการศึกษา

2.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

2.2.1 วัสดุประสาน

ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (ประเภท GU) ค่าความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C188 [10] โดยใช้ขวดแก้วเลอชาเตอลิเอร์ (Le Chatelier) ผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ มีค่าเท่ากับ 3.09

2.2.2 มวลรวมและวัสดุรีไซเคิล

ทรายแม่น้ำที่ใช้ในการทดลอง แบ่งออกเป็น 2 ขนาด ตามมาตรฐาน ASTM C778 [11] โดยร่อนทรายผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 20 ค้ำตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 30 (20-30 Sand) ความถ่วงจำเพาะอยู่ที่ 2.59 และการดูดซึมน้ำ 0.26 เปอร์เซ็นต์ และร่อนทรายผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 30 ค้ำตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 100 (Graded Sand) ความถ่วงจำเพาะของทรายเท่ากับ 2.58 และค่าการดูดซึมน้ำ 0.85 เปอร์เซ็นต์

พอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วที่นำมาใช้ในงานวิจัย เป็นวัสดุที่ผ่านการร่อนรับจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 2973-2562) [12] โดยนำมารีไซเคิลเชิงกลได้เป็นลักษณะผงหรือเรียกว่า ผงรีไซเคิล (Powder Recycle, PR) โดยที่ผงรีไซเคิลที่ใช้เป็นส่วนที่ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 50 และค้ำตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 100 ดังแสดงในรูปที่ 1

เส้นใยแก้ว (Glass fiber, GF) เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5-24 ไมครอน นำมาใช้โดยการรีไซเคิลเชิงกลด้วยการตัดเส้นใยแก้วให้ได้ขนาดความยาว 1.2 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1 ผงรีไซเคิล (Powder Recycle, PR)



รูปที่ 2 เส้นใยแก้ว (Glass fiber, GF)

2.2.3 สารผสมเพิ่ม

สารลดน้ำพิเศษ (Superplasticizer) ชนิด Superimposed Naphthalene Sulfonate-Based superplasticizer (type F) ใช้เพื่อเพิ่มความสามารถในการไหลแผ่ ตามมาตรฐาน ASTM C1437 [13] การทดสอบการไหลแผ่ (Flow table) กำหนดให้ค่าเปอร์เซ็นต์การไหลแผ่อยู่ในช่วง 110±5 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้วัสดุรีไซเคิลทั้ง 2 ลักษณะ จึงใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เท่ากับ 0.73 สำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์และการทดสอบกำลังรับแรงดึงของมอร์ตาร์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.77 สำหรับการทดสอบการหดตัวแบบแห้ง

2.2 การเตรียมตัวอย่างและอัตราส่วนผสม

อัตราส่วนผสมที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วยกัน 3 กลุ่ม ส่วนแรกมอร์ตาร์ควบคุม 3 ส่วนผสม คือ มอร์ตาร์ที่ใช้สำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัด การทดสอบกำลังรับแรงดึงของมอร์ตาร์ และการทดสอบการหดตัวแบบแห้ง

ส่วนที่สองเป็นอัตราส่วนผสมที่ใช้ผงรีไซเคิล (Powder Recycle, PR) ซึ่งส่วนผสมใช้ผงรีไซเคิลแทนที่ทรายโดยน้ำหนักในปริมาณ 5, 10, 20, 25, 30 และ 35 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อัตราส่วนผสมสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึง และการทดสอบการหดตัวแบบแห้ง แสดงในตารางที่ 1-3 ตามลำดับ โดยใช้สารลดน้ำพิเศษ (SP) เพื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์การไหลแผ่ให้อยู่ในช่วง 110±5 เปอร์เซ็นต์ ตามมาตรฐาน ASTM C1437 [13]

ส่วนที่สามเป็นอัตราส่วนผสมที่ใช้เส้นใยแก้ว (Glass Fiber, GF) ผสมในมอร์ตาร์ ในส่วนผสมนี้จะใช้เส้นใยแก้วผสมเพิ่มโดยน้ำหนักรวมทั้งหมดในปริมาณ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 3.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ อัตราส่วนผสมสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัด และการทดสอบกำลังรับแรงดึง แสดงในตารางที่ 4-5 ตามลำดับ โดยใช้สารลดน้ำพิเศษเพื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์การไหลอยู่ระหว่าง 110±5 เปอร์เซ็นต์ ตามมาตรฐาน ASTM C1437 [13]

ตารางที่ 1 ส่วนผสมสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมผงรีไซเคิล

มอร์ตาร์	ส่วนผสมของมอร์ตาร์ (กรัม)				SP* (มิลลิลิตร)	W/C
	ปูนซีเมนต์	ทราย	น้ำ	ผงรีไซเคิล		
C-CT	1125	3095	825	0	0	0.73
C-PR-5	1125	2940	825	155	0	0.73
C-PR-10	1125	2785	825	310	2.3	0.73
C-PR-20	1125	2475	825	620	7.3	0.73
C-FR-25	1125	2320	825	775	11.3	0.73
C-FR-30	1125	2165	825	930	16.9	0.73
C-FR-35	1125	2010	825	1085	5.0	0.73

ตารางที่ 2 ส่วนผสมสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงดึงของมอร์ตาร์ที่ผสมผงรีไซเคิล

มอร์ตาร์	ส่วนผสมของมอร์ตาร์ (กรัม)				SP* (มิลลิลิตร)	W/C
	ปูนซีเมนต์	ทราย	น้ำ	ผงรีไซเคิล		
T-CT	675	2025	520	0	0	0.77
T-PR-5	675	1920	520	105	0	0.77
T-PR-10	675	1820	520	205	0	0.77
T-PR-20	675	1620	520	405	0	0.77
T-FR-25	675	1515	520	510	3.7	0.77
T-FR-30	675	1415	520	610	5.1	0.77
T-FR-35	675	1315	520	710	6.8	0.77

ตารางที่ 3 ส่วนผสมสำหรับการทดสอบการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ที่ผสมผงรีไซเคิล

มอร์ตาร์	ส่วนผสมของมอร์ตาร์ (กรัม)				SP* (มิลลิลิตร)	W/C
	ปูนซีเมนต์	ทราย	น้ำ	ผงรีไซเคิล		
S-CT	480	960	280	0	0	0.58
S-PR-5	480	910	280	50	0	0.58
S-PR-10	480	860	280	100	1.9	0.58
S-PR-20	480	765	280	195	3.4	0.58
S-FR-25	480	720	280	240	4.8	0.58
S-FR-30	480	670	280	290	7.2	0.58
S-FR-35	480	620	280	340	7.2	0.58

ตารางที่ 4 ส่วนผสมสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเส้นใยแก้ว

มอร์ตาร์	ส่วนผสมของมอร์ตาร์ (กรัม)				SP* (มิลลิลิตร)	W/C
	ปูนซีเมนต์	ทราย	น้ำ	เส้นใยแก้ว		
C-CT	1125	3095	825	0	0	0.73
C-GF-0.5	1125	3095	825	25	0	0.73
C-GF-1.0	1125	3095	825	55	10	0.73
C-GF-1.5	1125	3095	825	80	30	0.73
C-GF-2.0	1125	3095	825	100	30	0.73
C-GF-2.5	1125	3095	825	130	30	0.73
C-GF-3.0	1125	3095	825	150	30	0.73
C-GF-3.5	1125	3095	825	180	30	0.73

ตารางที่ 5 ส่วนผสมสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงดึงของมอร์ตาร์ที่ผสมเส้นใยแก้ว

มอร์ตาร์	ส่วนผสมของมอร์ตาร์ (กรัม)				SP* (มิลลิลิตร)	W/C
	ปูนซีเมนต์	ทราย	น้ำ	เส้นใยแก้ว		
T-CT	675	2025	520	0	0	0.77
T-GF-0.5	675	2025	520	20	4	0.77
T-GF-1.0	675	2025	520	30	6	0.77
T-GF-1.5	675	2025	520	50	10	0.77
T-GF-2.0	675	2025	520	65	10	0.77
T-GF-2.5	675	2025	520	80	10	0.77
T-GF-3.0	675	2025	520	100	10	0.77
T-GF-3.5	675	2025	520	110	10	0.77

SP* คือสารลดน้ำพิเศษ ชนิดSuperimposed Naphthalene Sulfonate-Based superplasticizer (type F)

2.3 วิธีการทดสอบ

2.3.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์

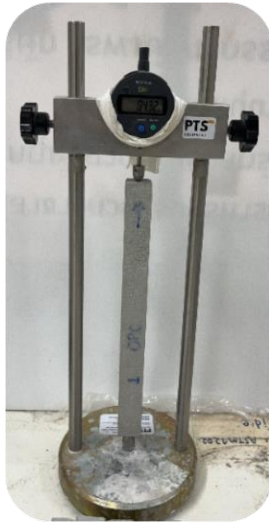
กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C109 [7] ใช้ตัวอย่างมอร์ตาร์รูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 5x5x5 เซนติเมตร โดยทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 3, 7 และ 28 วัน แต่ละอายุทดสอบใช้ตัวอย่างมอร์ตาร์ 3 ตัวอย่าง โดยพิจารณากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์จากตัวอย่างที่มีกำลังรับแรงอัดแตกต่างจากค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของตัวอย่างทดสอบทั้งหมดไม่เกิน 8.7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งตัวอย่างหลังการถอดแบบใช้การบ่มโดยการแช่น้ำ

2.3.2 การทดสอบกำลังรับแรงดึงของมอร์ตาร์

กำลังรับแรงดึงของมอร์ตาร์ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 307 [8] ใช้แบบหล่อมอร์ตาร์ แบบบริเคท โดยทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงที่อายุ 3, 7 และ 28 วัน แต่ละอายุทดสอบใช้ตัวอย่างมอร์ตาร์ 3 ตัวอย่าง โดยกำลังรับแรงดึงของมอร์ตาร์นำมาเฉลี่ย ซึ่งตัวอย่างหลังการถอดแบบใช้การบ่มโดยการแช่น้ำ

2.3.3 การทดสอบการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์

การหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C596 [9] ดังแสดงในรูปที่ 3 ใช้ตัวอย่างมอร์ตาร์รูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 2.5x2.5x28.5 เซนติเมตร โดยทดสอบที่อายุ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 28 วัน แต่ละอายุทดสอบใช้ตัวอย่างมอร์ตาร์ 4 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างหลังการถอดแบบใช้การบ่มตามสภาพแวดล้อมภายในห้องปิด ใช้การบันทึกข้อมูลโดยใช้ช่วงเวลาเดียวกันในทุกวันเพื่อเป็นการลดความคลาดเคลื่อน ร่วมกับการใช้พลาสติกใสห่อหุ้มมอร์ตาร์บาร์ให้มิดชิด เพื่อรักษาความชื้น



รูปที่ 3 การทดสอบการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์

3. ผลการทดสอบ

มอร์ตาร์ที่ผสมผงรีไซเคิลและเส้นใยแก้วจำเป็นต้องใช้สารลดน้ำพิเศษ เพื่อเพิ่มความสามารถของการไหลแผ่ พบว่าเมื่อใช้ผงรีไซเคิลและเส้นใยแก้วผสมในมอร์ตาร์ ทำให้การไหลแผ่ลดลงตามปริมาณผงรีไซเคิลและเส้นใยแก้ว เนื่องจากลักษณะทางกายภาพขนาดของผงรีไซเคิลที่มีขนาดเล็กกว่าทรายแม่น้ำ และเส้นใยแก้วที่มีความยาวมากเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดตัวอย่างมอร์ตาร์ ส่งผลให้ผงรีไซเคิลต้องการน้ำเพิ่มขึ้นจากผิวสัมผัสที่เพิ่มขึ้น เส้นใยแก้วที่มีความยาว ทำให้เกิดการพันกันของเส้นใย และเกิดการแยกตัวระหว่างเส้นใย จากการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chen และคณะ [14] ที่ระบุว่า เส้นใยแก้วรีไซเคิลผสมในมอร์ตาร์ทำให้การไหลแผ่ลดลง เนื่องจากเส้นใยแก้วรีไซเคิลดูดซับน้ำและทำให้เส้นใยพันกัน และจากงานวิจัยของ El Bitouri และคณะ [6] การเพิ่มปริมาณพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้วรีไซเคิล แทนทรายทำให้การไหลลดลง แต่การเติมสารลดน้ำพิเศษ (Superplasticizer) ช่วยปรับปรุงการไหลโดยไม่ต้องเพิ่มน้ำ และไม่ส่งผลกระทบต่อกำลังของวัสดุอย่างมีนัยสำคัญ

3.1 กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์

3.1.1 กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ควบคุม

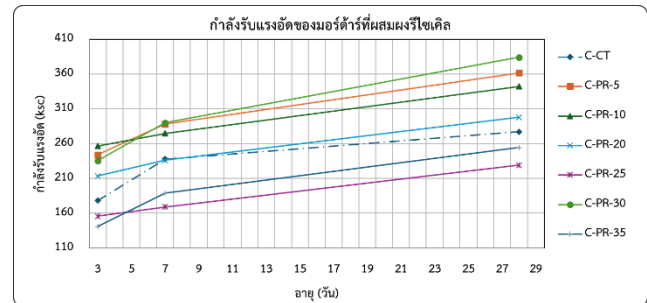
กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ควบคุม C-CT พบว่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นและพัฒนากำลังรับแรงอัดอย่างต่อเนื่องที่อายุ 3, 7 และ 28 วัน โดยกำลังรับแรงอัดที่ได้จากการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4 และ 5 กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ควบคุมเพิ่มขึ้นตามอายุที่เพิ่มขึ้น เป็นผลมาจากปฏิกิริยาทางเคมีจากปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามเวลาการบ่ม

3.1.2 กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมผงรีไซเคิล

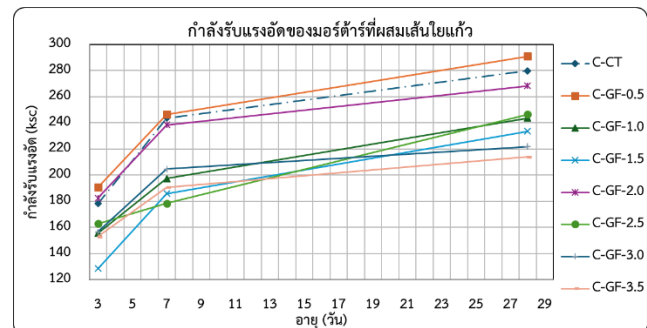
มอร์ตาร์ที่ผสมผงรีไซเคิลบางส่วนตามเปอร์เซ็นต์การแทนที่ทรายโดยน้ำหนัก พบว่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นและพัฒนากำลังรับแรงอัดอย่างต่อเนื่องที่อายุ 3, 7 และ 28 วัน ดังแสดงในรูปที่ 4 เนื่องด้วยปฏิกิริยาเคมีระหว่างกระบวนการไฮเดรชันของวัสดุประสาน และลักษณะทางกายภาพของผงรีไซเคิล ซึ่งมีขนาดที่ละเอียดผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 50 ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าทรายแม่น้ำ ส่งผลให้ผงรีไซเคิลช่วยเติมเต็มช่องว่างระหว่างเม็ดทรายในมอร์ตาร์ และทำให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมผงรีไซเคิลเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาในการบ่ม

3.1.3 กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเส้นใยแก้ว

มอร์ตาร์ที่ผสมเส้นใยแก้วบางส่วนตามเปอร์เซ็นต์การผสมเพิ่มโดยน้ำหนักทั้งหมด พบว่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นและพัฒนากำลังรับแรงอัดอย่างต่อเนื่องที่อายุ 3, 7 และ 28 วัน ดังแสดงในรูปที่ 5 จากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างกระบวนการไฮเดรชันของวัสดุประสานร่วมกับลักษณะทางกายภาพของเส้นใยแก้วซึ่งมีลักษณะเป็นเส้น ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวภายในเนื้อมอร์ตาร์ระหว่างเส้นใยแก้วกับวัสดุประสาน ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเส้นใยแก้วเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาในการบ่ม



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและอายุของมอร์ตาร์ที่ผสมผงรีไซเคิล



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและอายุของมอร์ตาร์ที่ผสมเส้นใยแก้ว

จากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์เพิ่มขึ้นเมื่อมีการผสมผงรีไซเคิล โดยสังเกตได้อย่างชัดเจนจากตัวอย่างมอร์ตาร์ C-PR-5, C-PR-10, C-PR-20 และ C-PR-30 ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ควบคุม โดยเฉพาะตัวอย่าง C-PR-10 ที่มีค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นสูงสุดถึง 44.03 เปอร์เซ็นต์ ที่อายุ 3 วัน และที่อายุ 28 วัน ตัวอย่าง C-PR-30 ค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ 38.73 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม เนื่องจากปฏิกิริยาเคมีของวัสดุประสานร่วมกับลักษณะทางกายภาพของผงรีไซเคิลที่ได้กล่าวก่อนหน้านี้ ซึ่งช่วยเติมเต็มช่องว่างในเนื้อมอร์ตาร์ ทำให้มอร์ตาร์มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เป็นการส่งผลให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ตัวอย่างมอร์ตาร์ C-PR-25 และ C-PR-35 ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุม แสดงให้เห็นว่าการใช้ผงรีไซเคิลมีขอบเขตที่เหมาะสมในการใช้งาน เพื่อให้ได้กำลังรับแรงอัดที่ดีที่สุด แต่ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากผลลัพธ์โดยรวมที่แสดงให้เห็นถึงปริมาณที่เหมาะสมได้ไม่ชัดเจน จากการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chen และคณะ [14] ที่ระบุว่า ขนาดและปริมาณของผงรีไซเคิลมีอิทธิพลต่อกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ โดยกำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณที่เหมาะสม และมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณผงรีไซเคิลเกินค่าที่เหมาะสม

จากรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์เพิ่มขึ้นเมื่อมีการผสมเส้นใยแก้ว โดยเฉพาะในตัวอย่างมอร์ตาร์ C-GF-0.5 ซึ่งเป็นตัวอย่างเดียวที่มีกำลังรับแรงอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ควบคุมในทุกช่วงอายุการทดสอบอายุ 3, 7 และ 28 วัน โดยเพิ่มขึ้น 7.01, 1.16 และ 4.01 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เป็นผลมาจากปฏิกิริยาทางเคมีร่วมกับสมบัติทางกายภาพของเส้นใยแก้วที่มีลักษณะเป็นเส้นได้กล่าวมาข้างต้น ซึ่งช่วยเสริมแรงยึดเหนี่ยวภายในเนื้อมอร์ตาร์ ส่งผลให้มอร์ตาร์รับแรงอัดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาตัวอย่างอื่นที่มีกำลังรับแรงอัดต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุม แสดงให้เห็นถึงความแปรปรวนของกำลังรับแรงอัด ซึ่งสามารถอธิบายจากการกระจายตัวของเส้นใยภายในเนื้อวัสดุไม่สม่ำเสมอ โดยข้อสังเกตนี้สอดคล้องกับผลการทดสอบกำลังรับแรงดึง ดังแสดงในรูปที่ 8 จึงกล่าวได้ว่าการกระจายตัวของเส้นใยส่งผลต่อกำลังรับแรงอัดและแสดงให้เห็นถึงปริมาณที่เหมาะสมในการนำเส้นใยแก้วมาใช้ได้ยังไม่ชัดเจน

3.2 กำลังรับแรงดึงของมอร์ตาร์

3.2.1 กำลังรับแรงดึงของมอร์ตาร์ควบคุม

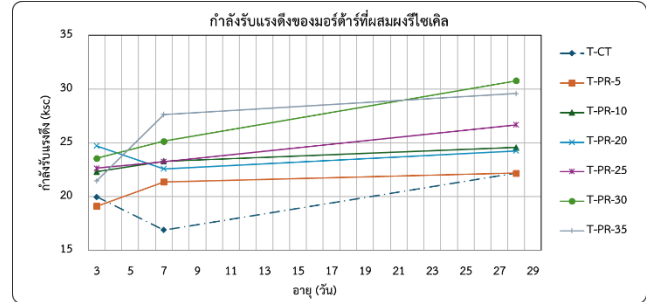
มอร์ตาร์ควบคุม T-CT ทดสอบกำลังรับแรงดึงที่อายุ 3, 7 และ 28 วัน ได้กำลังรับแรงดึงเท่ากับ 19.98, 16.91 และ 22.193 กก/ซม² ตามลำดับ แสดงในรูปที่ 6 และ 7 กำลังรับแรงดึงของมอร์ตาร์ควบคุมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่มที่เพิ่มขึ้นที่อายุ 3 และ 28 วัน ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาเคมีจากปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ ส่งผลให้มอร์ตาร์มีกำลังรับแรงดึงตามระยะเวลาในการบ่ม อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาช่วงอายุ 7 วันร่วมด้วย พบว่ากำลังรับแรงดึงลดลงเล็กน้อย เป็นผลมาจากการควบคุมคุณภาพในขั้นตอนการหล่อตัวอย่าง ทำให้เกิดปัจจัยทางกายภาพที่ส่งผลต่อกำลังรับแรงดึง โดยเฉพาะการเกิดโพรงอากาศในหน้าตัดของมอร์ตาร์ที่รับแรงดึงที่ไม่เท่ากันจากข้างต้น ส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงดึงลดลง

3.2.2 กำลังรับแรงดึงของมอร์ตาร์ที่ผสมผงรีไซเคิล

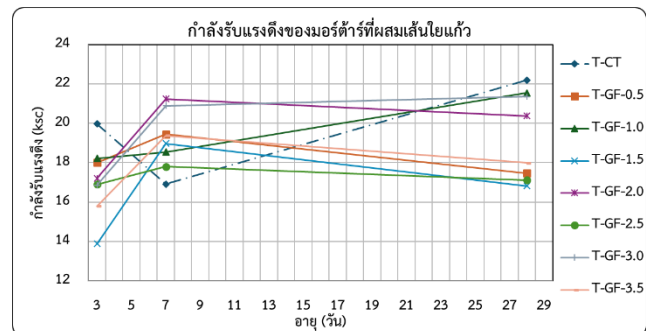
มอร์ตาร์ที่ผสมผงรีไซเคิลบางส่วนตามเปอร์เซ็นต์การแทนที่ทรายโดยน้ำหนัก การทดสอบมอร์ตาร์พบว่ากำลังรับแรงดึงที่เพิ่มขึ้นและพัฒนา กำลังรับแรงดึงอย่างต่อเนื่องที่อายุ 3, 7 และ 28 วัน ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาเคมีร่วมกับลักษณะทางกายภาพของผงรีไซเคิล โดยการใช้ผงรีไซเคิลที่มีขนาดเล็กกว่าทรายช่วยเพิ่มการเติมเต็มช่องว่างในเนื้อมอร์ตาร์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ทำให้ลดการเกิดโพรงอากาศในมอร์ตาร์ แต่ทั้งนี้ในมอร์ตาร์ตัวอย่าง T-PR-20 ที่กำลังรับแรงดึงลดลงเล็กน้อยเมื่ออายุเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการควบคุมคุณภาพในขั้นตอนการหล่อตัวอย่าง จึงพิจารณาปัจจัยทางกายภาพร่วมด้วย โดยเฉพาะการเกิดโพรงอากาศในหน้าตัดของมอร์ตาร์ที่รับแรงดึงที่ไม่เท่ากันจากข้างต้น ที่ทำให้ความสามารถในการรับแรงดึงลดลง

3.2.3 กำลังรับแรงดึงของมอร์ตาร์ที่ผสมเส้นใยแก้ว

มอร์ตาร์ที่ผสมเส้นใยแก้วบางส่วนตามเปอร์เซ็นต์การผสมเพิ่มโดยน้ำหนักรวมทั้งหมด จากการทดสอบกำลังรับแรงดึงที่อายุ 3, 7 และ 28 วัน ผลของกำลังรับแรงดึง ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยกำลังรับแรงดึงเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่มที่เพิ่มขึ้นที่อายุ 3 และ 7 วัน ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาเคมีร่วมกับลักษณะทางกายภาพของเส้นใยแก้ว ส่งผลให้ในเนื้อมอร์ตาร์มีแรงยึดเหนี่ยวภายในเพิ่มขึ้นจากเส้นใย แต่ทั้งนี้ปัจจัยทางกายภาพ การกระจายตัวของเส้นใยในหน้าตัดมอร์ตาร์ที่รับแรงดึง เป็นสาเหตุที่ทำให้ความสามารถในการรับแรงดึงลดลงในอายุ 28 วัน



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึงและอายุของมอร์ตาร์ที่ผสมผงรีไซเคิล



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึงและอายุของมอร์ตาร์ที่ผสมเส้นใยแก้ว

จากรูปที่ 6 พบว่าแนวโน้มโดยรวมของกำลังรับแรงดึงในกลุ่มตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ผสมผงรีไซเคิลมีค่าสูงกว่ามอร์ตาร์ควบคุม โดยเกิดจากลักษณะทางกายภาพของผงรีไซเคิลที่มีขนาดอนุภาคละเอียด โดยผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 50 ที่มีขนาดเล็กกว่าทรายแม่น้ำ จึงเป็นส่วนช่วยเติมเต็มช่องว่างในเนื้อมอร์ตาร์ ซึ่งเป็นการลดการเกิดโพรงอากาศในมอร์ตาร์โดยเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลให้กำลังรับแรงดึงเพิ่มขึ้น โดยมีกำลังรับแรงดึงสูงสุดในมอร์ตาร์ตัวอย่าง T-PR-35 อายุที่ 7 วัน ค่ากำลังรับแรงดึงมากกว่ามอร์ตาร์ควบคุมที่ 63.60 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตาม มอร์ตาร์ตัวอย่าง T-PR-20 ที่มีแนวโน้มของกำลังรับแรงดึงที่ลดลงตั้งแต่อายุ 3 วัน จึงพิจารณาผลจากการควบคุมคุณภาพในขั้นตอนการหล่อตัวอย่าง ทำให้เกิดโพรงอากาศในบริเวณหน้าตัดรับแรงดึงร่วมด้วย ซึ่งเป็นผลให้กำลังรับแรงดึงลดลงและยังแสดงให้เห็นถึงปริมาณที่เหมาะสมได้ไม่ชัดเจน

จากรูปที่ 7 แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ของกำลังรับแรงดึงของมอร์ตาร์ที่ผสมเส้นใยแก้ว กำลังรับแรงดึงสูงสุดในมอร์ตาร์ตัวอย่าง T-GF-2.0 อายุที่ 7 วัน ค่ากำลังรับแรงดึงมากกว่ามอร์ตาร์ควบคุมที่ 25.58 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อพิจารณากลุ่มตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ผสมเส้นใยแก้วเพียงอย่างเดียว จะเห็นกำลังรับแรงดึงที่พัฒนาขึ้นจากอายุ 3 วัน ถึงอายุ 7 วัน แสดงถึงการทำงานของปฏิกิริยาเคมีร่วมกับลักษณะทางกายภาพของเส้นใยแก้วได้ดี ทั้งนี้เมื่ออายุ 28 วัน กำลังรับแรงดึงมีผลลดลงยกเว้นตัวอย่าง T-GF-3.0 ซึ่งบ่งชี้ถึงการกระจายตัวในหน้าตัดรับแรงดึงของมอร์ตาร์ที่ไม่สม่ำเสมอ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงเปรียบเทียบระหว่างมอร์ตาร์ที่ผสมเส้นใยแก้วกับมอร์ตาร์ควบคุม พบว่าผลลัพธ์มีความแปรปรวนใน 2 ลักษณะ คือ

1. กำลังรับแรงดึงของมอร์ตาร์ที่ผสมเส้นใยแก้วสูงกว่ามอร์ตาร์ควบคุมที่อายุ 7 วัน

2. กำลังรับแรงดึงของมอร์ตาร์ที่ผสมเส้นใยแก้วต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุมที่อายุ 3 และ 28 วัน

ผลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของการกระจายตัวของเส้นใยในหน้าตัดรับแรงดึงของมอร์ตาร์อย่างชัดเจน โดยตัวอย่างหลังจากการทดลองจนวิบัติแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวและทิศทางการวางตัวของเส้นใยที่ไม่สม่ำเสมอ โดยเส้นใยบางส่วนเกาะตัวเป็นกลุ่มและไม่กระจายทั่วเนื้อวัสดุ ดังแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลต่อกำลังรับแรงดึงและยังแสดงให้เห็นถึงปริมาณที่เหมาะสมได้ไม่ชัดเจน



รูปที่ 8 การกระจายตัวของเส้นใย

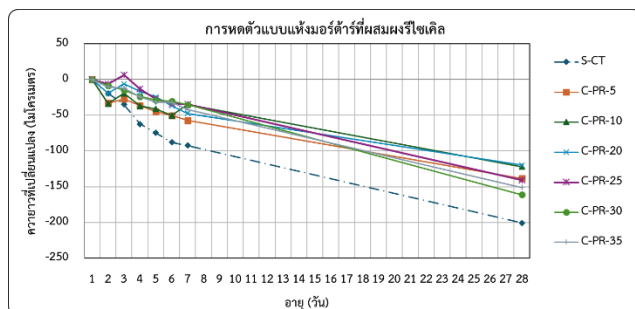
3.3 การทดสอบแบบแท่งมอร์ตาร์

3.3.1 การทดสอบแบบแท่งของมอร์ตาร์ควบคุม

มอร์ตาร์ควบคุม S-CT มีการเปลี่ยนแปลงความยาวที่อายุ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 28 วัน ผลการทดสอบการหดตัวแบบแท่งของมอร์ตาร์ควบคุมดังแสดงในรูปที่ 9 พบว่ามอร์ตาร์มีแนวโน้มหดตัวเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม เนื่องจากการระเหยของน้ำส่วนเกินของมอร์ตาร์ในปฏิกิริยาไฮเดรชัน ซึ่งการระเหยดังกล่าวก่อให้เกิดการยึดรั้งภายในโพรงในเนื้อมอร์ตาร์ และนำไปสู่การหดตัวในระยะยาว

3.3.2 การทดสอบแบบแท่งมอร์ตาร์ที่ผสมผงรีไซเคิล

มอร์ตาร์ที่ผสมผงรีไซเคิล มีการเปลี่ยนแปลงความยาวที่อายุ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 28 วัน ผลของการทดสอบการหดตัวแบบแท่งที่ได้จากการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 9 พบว่าในตัวอย่างมอร์ตาร์มีแนวโน้มหดตัวเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม เนื่องจากการระเหยของน้ำในมอร์ตาร์ดังที่กล่าวข้างต้น จึงนำไปสู่การหดตัวของมอร์ตาร์



รูปที่ 9 การหดตัวแบบแท่งมอร์ตาร์ที่ผสมผงรีไซเคิล

จากรูปที่ 9 แสดงให้เห็นถึงการหดตัวแบบแท่งมอร์ตาร์ที่ผสมผงรีไซเคิล โดยจะเห็นการหดตัวที่น้อยกว่ามอร์ตาร์ควบคุมอย่างชัดเจนที่อายุตั้งแต่ 3

วันขึ้นไป โดยเมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพ ขนาดของผงรีไซเคิลที่เล็กกว่าเม็ดทราย เป็นการลดช่องว่างภายในเนื้อมอร์ตาร์ จึงสอดคล้องในการการระเหยของน้ำส่วนเกินในมอร์ตาร์ที่ลดลงเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม การแทนที่ทรายบางส่วนด้วยผงรีไซเคิลจึงสามารถลดการหดตัวแบบแท่งอย่างมีนัยสำคัญ ที่แสดงให้เห็นถึงปริมาณที่เหมาะสมได้ไม่ชัดเจน จากการศึกษาของ Chen และคณะ [14] ที่มีผลการทดสอบในทิศทางเดียวกัน โดยเป็นผลมาจากผงรีไซเคิลที่มีขนาดเล็กสามารถช่วยเติมเต็มช่องว่างภายในเนื้อมอร์ตาร์ ทำให้ลดปริมาตรรูพรุนมีขนาดใหญ่ (0.5-50 นาโนเมตร) ส่งผลให้แรงดันเพิ่มเติมในโพรงในเนื้อมอร์ตาร์ลดลง และระดับการหดตัวแบบแท่งที่เกิดขึ้นสำหรับมอร์ตาร์ลดลง

4. สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบสมบัติทางกลของมอร์ตาร์ที่ผสมวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตพอลิเมอร์เสริมเส้นใยแก้ว สามารถสรุปผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ได้ดังต่อไปนี้

1. ค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ ลดลงตามปริมาณผงรีไซเคิลและเส้นใยแก้วที่เพิ่มขึ้น จำเป็นต้องใช้สารลดน้ำเพื่อรักษาระดับการไหลแผ่ให้อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการ โดยเฉพาะเส้นใยแก้วที่ส่งผลให้การไหลแผ่ลดลงอย่างมาก เนื่องลักษณะของเส้นใยส่งผลต่อการกระจายตัว เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยจะเกิดการกระจุกตัวจับตัวเป็นก้อน ส่งผลให้การไหลแผ่ลดลงและเกิดการแยกตัวระหว่างเส้นใยและมอร์ตาร์

2. กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์เมื่อผสมผงรีไซเคิลเพิ่มขึ้น ในช่วง 5-30 เปอร์เซ็นต์ โดยมีอัตราส่วนที่เหมาะสมในช่วง 5-20 เปอร์เซ็นต์

3. กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเส้นใยแก้ว อัตราส่วน 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักรวม ให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดที่ 291.01 กก/ซม² ที่อายุ 28 วัน ซึ่งเป็นผลมาจากแรงยึดเกาะภายในเนื้อมอร์ตาร์ ทั้งนี้ยังไม่สามารถแสดงให้เห็นถึงปริมาณที่เหมาะสมได้ เนื่องจากการกระจายตัวของเส้นใย ตลอดจนความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของตัวอย่างกับความยาวของเส้นใยที่สูง

4. กำลังรับแรงดึงของมอร์ตาร์ที่ผสมผงรีไซเคิลเพิ่มขึ้น ในเกือบทุกอัตราส่วน โดยมีอัตราส่วนซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดที่อายุ 28 วัน คือ 30 เปอร์เซ็นต์

5. กำลังรับแรงดึงของมอร์ตาร์ที่ผสมเส้นใยแก้ว ให้ผลการทดสอบที่แปรปรวน ซึ่งมาจากการจัดเรียงและการกระจายตัวของเส้นใยในหน้าตัดที่รับแรงดึง แสดงให้เห็นถึงปริมาณที่เหมาะสมได้ไม่ชัดเจน โดยค่ากำลังรับแรงดึงสูงกว่ามอร์ตาร์ควบคุมที่อายุ 7 วัน โดยสูงที่สุดที่อัตราส่วนเส้นใยที่ 2 เปอร์เซ็นต์

6. การหดตัวแบบแท่ง ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อผสมผงรีไซเคิล โดยเฉพาะในอัตราส่วน 20 เปอร์เซ็นต์ แทนที่ทรายตั้งแต่อายุ 3 วันขึ้นไป ช่วยลดการหดตัวได้อย่างเห็นได้ชัด

ข้อเสนอแนะ

1. การผสมเส้นใยแก้วอาจทำให้ผลการทดลองแปรปรวน เนื่องจากการความยาวของเส้นใยไม่เหมาะสมกับขนาดของตัวอย่าง ทำให้เกิดการกระจุกตัวและการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ เพื่อให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ และตัดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากอีกหลายปัจจัย จึงควรพิจารณาในการทดสอบในคอนกรีตต่อไป

2. กระบวนการผสมวัสดุรีไซเคิลควรระมัดระวังเรื่องความปลอดภัยเนื่องจากผงและเส้นใยที่ได้จากกระบวนการรีไซเคิลมีขนาดเล็กและปลายแหลม มีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บและการสูดดม ควรสวมถุงมือยาง เสื้อผ้าหนา หน้ากากป้องกันฝุ่นขณะปฏิบัติงาน และในกรณีที่จำเป็นต้องมีการใช้งานจริง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และได้รับความอนุเคราะห์วัสดุจาก บริษัท พีเจซีคอมโพสิตส์ จำกัด

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. K. Gopalraj and T. Kärki, "A review on the recycling of waste carbon fibre/glass fibre reinforced composites: fibre recover properties and life-cycle analysis," SN Appl. Sci., vol. 2, no. 3, pp. 1–21, 2020.
- [2] U. K. Dwivedi, et al., "Utilization of waste glass fiber in polymer composites," in Advanced Materials from Recycled Waste, pp. 273–294, 2023.
- [3] Y. Tao, et al., "Recycling of glass fibre reinforced polymer (GFRP) composite wastes in concrete: A critical review and cost benefit analysis," Structures, vol. 53, pp. 1540–1556, 2023.
- [4] Q. Xin, et al., "The synergistic effect of recycled glass fiber reinforced plastic and silica fume on cement mortar properties," J. Build. Eng., vol. 94, 2024.
- [5] B. Zhou, et al., "Experimental study on mechanical property and microstructure of cement mortar reinforced with elaborately recycled GFRP fiber," Cem. Concr. Compos., vol. 117, 2021.
- [6] Y. El Bitouri, et al., "The effects of replacing sand with glass fiber-reinforced polymer (GFRP) waste on the mechanical properties of cement mortars," Eng., vol. 5, no. 1, pp. 266–281, 2024.
- [7] ASTM International, "Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar (Using 2-in. or [50–mm] Cube Specimens)," ASTM C109, 2009.
- [8] ASTM International, "Standard Test Method for Tensile Strength of Chemical-Resistant Mortar, Grouts, and Monolithic Surfacing," ASTM C307, 2008.
- [9] ASTM International, "Standard Test Method for Drying Shrinkage of Mortar Containing Hydraulic Cement," ASTM C596, 2017.
- [10] ASTM International, "Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement," ASTM C188, 2023.
- [11] ASTM International, "Standard Specification for Standard Sand," ASTM C778, 2006.
- [12] กระทรวงอุตสาหกรรม, "มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พอลิเมอร์เสริมเส้นใย สำหรับงานโครงสร้างคอนกรีตไม่อัดแรง," มอก. 2973–2562, 2562.
- [13] ASTM International, "Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar," ASTM C1437, 2020.
- [14] X. Chen, et al., "Effect of glass powder on the mechanical and drying shrinkage of glass-fiber-reinforced cementitious composites," Case Stud. Constr. Mater., vol. 17, 2022.