

อิทธิพลของเส้นใยโพลีโพรพิลีนและกราฟีนควอนตัมคอดต่อสมบัติเชิงกลของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมรีไซเคิล

Influence of Polypropylene Fibers and Graphene Quantum Dots on the Mechanical Properties of Concrete Made from Recycled Aggregate

อัศวิน แซ่ตัน¹ และ พิษชา จงจวิวัฒน์กุล²

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของเส้นใยโพลีโพรพิลีนและกราฟีนควอนตัมคอดต่อสมบัติเชิงกลของคอนกรีตมวลรวมที่ใช้รีไซเคิล ที่ใช้มวลรวมหยาบจากเศษหินที่ได้จากการบดอัดโครงสร้างอาคารที่มีการรื้อถอน และมวลรวมละเอียดใช้เศษหินแกรนิตแทนที่ใช้ทรายธรรมชาติ โดยใช้ปริมาณกราฟีนควอนตัมคอด (GQDs) ที่ร้อยละ 0, 0.15 และ 0.3 โดยน้ำหนักซีเมนต์ และเสริมเส้นใยโพลีโพรพิลีน (PP) ที่ปริมาณร้อยละ 0, 0.5 และ 1.0 โดยปริมาตร การศึกษานี้ได้วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบกำลังรับแรงอัด การทดสอบกำลังรับแรงดัด การทดสอบหาปริมาณโพรง และการทดสอบการดูดซึมของน้ำ ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่า การใช้มวลรีไซเคิลทำให้ค่าความสามารถในการทำงานได้ กำลังรับแรงอัด และกำลังรับแรงดัด มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตจากมวลรวมธรรมชาติ ในขณะที่การใช้ GQDs ทำให้ความสามารถในการทำงาน และกำลังรับแรงอัด มีค่าเพิ่มขึ้น แต่อิทธิพลของ GQDs ต่อกำลังรับแรงดัดยังไม่มีแนวโน้มที่ชัดเจน และการใช้เส้นใย PP ทำให้ค่ากำลังรับแรงอัด และกำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้น แต่ทำให้ความสามารถในการทำงานได้ลดลง นอกจากนี้จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าคอนกรีตที่คุณสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด คือ คอนกรีตที่ใช้ GQDs ร้อยละ 0.3 และเส้นใย PP ร้อยละ 1.0 โดยให้กำลังรับแรงอัด และกำลังรับแรงดัดสูงสุด

คำสำคัญ: คอนกรีตเสริมเส้นใย, กราฟีนควอนตัมคอด, มวลรวมรีไซเคิล

Abstract

This project aims to investigate the influence of polypropylene fibers (PP) and graphene quantum dots (GQDs) on the mechanical properties of recycled aggregate concrete. The coarse aggregate used in this study was derived from crushed debris of demolished structures, while granite waste was used as fine aggregate to replace natural sand. GQDs were incorporated at 0%, 0.15%, and 0.3% by weight of cement,

and PP fibers were added at 0%, 0.5%, and 1.0% by volume. The study analyzed and compared the results of compressive strength, flexural strength, porosity, and water absorption tests. The test results indicated that the use of recycled aggregates reduced workability, compressive strength, and flexural strength compared to conventional concrete. On the other hand, the addition of GQDs improved workability and compressive strength, though their effect on flexural strength was inconclusive. The inclusion of PP fibers increased both compressive and flexural strengths but resulted in reduced workability. Furthermore, the optimal mechanical performance was observed in concrete containing 0.3% GQDs and 1.0% PP fibers, which yielded the highest compressive strength and flexural strength.

Keywords: Fiber reinforced concrete, Graphene quantum dots, Recycled aggregate

1 บทนำ

คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญ มีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุดในโลก เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการรับน้ำหนัก และต้นทุนที่ค่อนข้างต่ำ อย่างไรก็ตาม คอนกรีตยังมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ความเปราะบาง ความทนทานต่ำในสภาวะแวดล้อมที่รุนแรง การแตกร้าวที่เกิดจากการหดตัวหรือแรงภายนอก และข้อจำกัดที่สำคัญที่สุด คือ ความต้านทานต่อแรงดึงและความเหนียว (Toughness) [1] ทำให้เกิดการแตกร้าวเมื่อรับแรงดึงหรือแรงดัด ซึ่งนำไปสู่การเสื่อมสภาพก่อนเวลาอันควรของโครงสร้าง ซึ่งส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของโครงสร้างโดยตรง ดังนั้น การพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตโดยการเพิ่มวัสดุเสริมกำลังและวัสดุปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกล จึงเป็นสิ่งที่ได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน

การใช้มวลรวมรีไซเคิลในการผลิตคอนกรีตเป็นแนวทางที่ได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นในภาคอุตสาหกรรมก่อสร้าง เนื่องจากเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มวลรวมหยาบรีไซเคิลมักได้มาจากเศษวัสดุก่อสร้าง เช่น คอนกรีตเก่า เศษอิฐ หรือเศษหินที่เหลือจากกระบวนการผลิตจากการเติบโตของอุตสาหกรรมก่อสร้างทำให้แนวโน้มความต้องการใช้หินแกรนิตธรรมชาติเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดของเสียจำนวนมากจากกระบวนการตัด บด และขัดหินแกรนิต โดยเฉพาะในโรงโม่หิน ซึ่งผลิตมวลรวมหยาบสำหรับใช้เป็นส่วนผสมหลักในคอนกรีต ส่งผลให้เกิดกากวัสดุหินแกรนิตที่มีขนาดเล็กมากจนไม่สามารถนำมาใช้งานคอนกรีตได้โดยตรง รวมถึงการสะสมของฝุ่นหินในปริมาณมากซึ่งไม่เพียงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางอากาศ แต่ยังสร้างภาระค่าใช้จ่ายในการจัดการทั้งของเสียเหล่านี้อีกด้วย หากนำไปกองในพื้นที่ฝังกลบก็อาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนในดินและน้ำใต้ดิน และหากปล่อยให้แห้งก็อาจฟุ้งกระจายทางอากาศจนกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ อย่างไรก็ตามงานวิจัยหลายชิ้นชี้ให้เห็นว่าของเสียที่เหลือจากอุตสาหกรรมก่อสร้างสามารถนำกลับมาใช้เป็นมวลรวมรีไซเคิลทดแทนมวลรวมธรรมชาติในงานคอนกรีตได้ การทดแทนด้วยมวลรวมรีไซเคิล ไม่เพียงช่วยลดปริมาณของเสีย แต่ยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับมวลรวมที่เหลือใช้ด้วย

คอนกรีตเสริมเส้นใย เป็นคอนกรีตที่พัฒนาโดยการผสมเส้นใยประเภทต่าง ๆ เข้าไปในเนื้อคอนกรีต เพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านความแข็งแรง ความทนทาน และลดปัญหาการแตกร้าวที่เกิดจากการหดตัวของคอนกรีต โดยการเสริมเส้นใยในคอนกรีตเป็นหนึ่งในเทคนิคที่ได้รับการพัฒนาและใช้อย่างแพร่หลาย เช่น เส้นใยโพลิโพรพิลีน (Polypropylene Fiber) เป็นเส้นใยสังเคราะห์ที่ผลิตจากโพลิเออร์ไธนโพลิโพรพิลีน มีลักษณะเบา ความแข็งแรงสูง ทนต่อความชื้นและสารเคมี และมีความยืดหยุ่นดี โดยมีการนำมาใช้งานในอุตสาหกรรมก่อสร้างเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีต เช่น ลดการแตกร้าว และเพิ่มความทนทานต่อแรงกระแทก [2] การผสมเส้นใยโพลิโพรพิลีนในคอนกรีตช่วยลดปัญหาการแตกร้าวจากการหดตัวพลาสติก (Plastic Shrinkage Cracking) [3] และช่วยให้คอนกรีตมีความเหนียว (Toughness) มากขึ้น

นอกจากนี้ การพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตสามารถทำได้โดยการผสมกราฟีนควอนตัมดอท (Graphene Quantum Dots: GQDs) ซึ่งเป็นวัสดุนาโนที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัว เช่น พื้นที่ผิวสูง การนำไฟฟ้าที่ดี และความสามารถในการกระจายตัวได้ดีในเนื้อคอนกรีต GQDs มีศักยภาพในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ [4] ทำให้เกิดโครงสร้างจุลภาคที่หนาแน่นขึ้น อีกทั้ง GQDs ยังมีคุณสมบัติเด่นในการต้านทานปฏิกิริยาเคมีและลดการซึมผ่านของน้ำ ซึ่งช่วยเพิ่มความทนทานของคอนกรีตต่อสภาวะแวดล้อมที่รุนแรง เช่น การกัดกร่อนจากสารเคมีและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ คอนกรีตผสมกราฟีนควอนตัมดอทจึงมีศักยภาพสูงและถือเป็นวัสดุที่น่าสนใจสำหรับการนำไปใช้งานก่อสร้างในอนาคต

ทั้งนี้การใช้เส้นใยโพลิโพรพิลีนร่วมกับกราฟีนควอนตัมดอทในการพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมรีไซเคิล ยังคงเป็นหัวข้อที่ยังไม่ได้รับการศึกษาอย่างลึกซึ้งมาก่อน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของกราฟีนควอนตัมดอทและเส้นใย

โพลิโพรพิลีนต่อความสามารถในการทำงานได้ และสมบัติเชิงกลของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมรีไซเคิล เพื่อวิเคราะห์ศักยภาพของวัสดุผสมดังกล่าวในการปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตในด้านต่างๆ

2 วัสดุและวิธีการศึกษา

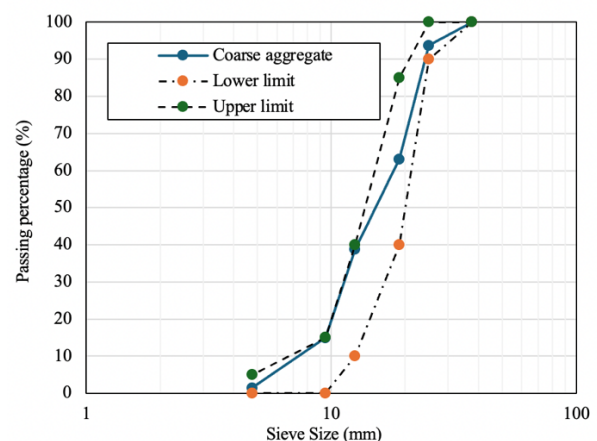
2.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

2.1.1 มวลรวมหยาบรีไซเคิล (Recycle Coarse Aggregate)

มวลรวมหยาบรีไซเคิลที่ใช้ในงานวิจัยมาจากโรงงานแยกขยะอ่อนนุช มีคุณสมบัติตามตารางที่ 1 และมีขนาดการกระจายตัวของมวลรวมตามมาตรฐาน ASTM C33 ดังรูปที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติมวลรวมหยาบรีไซเคิล

คุณสมบัติ	ผลการทดสอบ
ความถ่วงจำเพาะรวม (สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง)	2.45
ร้อยละการดูดซึมน้ำ	5.84
หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)	1,390



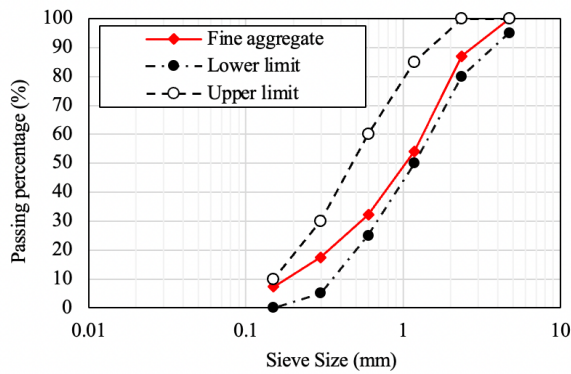
รูปที่ 1 การกระจายตัวของมวลรวมหยาบรีไซเคิล

2.1.2 มวลรวมหยาบรีไซเคิล (Recycle Coarse Aggregate)

มวลรวมละเอียดรีไซเคิลที่ใช้เป็นเศษหินแกรนิตที่ใช้ มีคุณสมบัติตามตารางที่ 2 และมีขนาดการกระจายตัวของมวลรวมตามมาตรฐาน ASTM C33 ดังรูปที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติมวลรวมหยาบรีไซเคิล

คุณสมบัติ	ผลการทดสอบ
ความถ่วงจำเพาะรวม (สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง)	2.55
ร้อยละการดูดซึมน้ำ	1.14
หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)	1,670
โมดูลัสความละเอียด (FM)	3.02



รูปที่ 2 การกระจายตัวของมวลรวมละเอียดซีเมนต์



รูปที่ 4 เส้นใยโพลีพรพิลีน

2.1.3 GQDs

สารละลาย GQDs ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นผลิตภัณฑ์ภายใต้ชื่อทางการค้า GC86s ซึ่งได้รับการคุ้มครองโดยสิทธิบัตรเลขที่ WO2024147021A1 (WIPO – PCT) สารละลายดังกล่าวประกอบด้วย CrystalLyte–Graphene quantum dots (GQDs) ที่อยู่ในรูปของสารแขวนลอยสีน้ำเงินใส มีเสถียรภาพสูงและสามารถกระจายตัวในน้ำได้ดี คุณสมบัติที่โดดเด่นของ GQDs นี้คือการเรืองแสงภายใต้แสงยูวี โดยมีความยาวคลื่นกระตุ้น (λ_{ex}) ที่ 365 nm และความยาวคลื่นเปล่งแสง (λ_{em}) ที่ 465 ± 10 nm ซึ่งเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้ในด้านวัสดุเรืองแสง การวิเคราะห์ทางชีวภาพ และการเร่งปฏิกิริยาในระดับนาโน มีลักษณะตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 สารละลายกราฟีนควอนตัมดอท

2.1.4 Polypropylene Fiber

เส้นใย Polypropylene รุ่น Barchip 48 จากบริษัท Elasto Plastic Concrete มีความยาว 48 มม. ในงานโครงสร้างนิยมใช้ในงานโครงสร้าง โดยมีค่ากำลังรับแรงดึง 640 MPa และค่า Young's Strength 12 GPa ตามคุณสมบัติที่แสดงในตารางที่ 3 และลักษณะตามรูปที่ 4

ตารางที่ 3 สมบัติของเส้นใย Polypropylene

Characteristic	EPC BarChip 48
Tensile Strength	640 MPa
Young's Strength	12 GPa
Length	48 mm
Anchorage	Continuous Embossing
Base Material	Virgin Polypropylene

2.2 ตัวอย่างคอนกรีต

งานวิจัยนี้ทำการทดสอบคอนกรีต 2 ประเภทหลัก ได้แก่ คอนกรีตมาตรฐาน (Normal Concrete, NC) ที่เป็นคอนกรีตมาตรฐานในการใช้เปรียบเทียบ และ คอนกรีตมวลรวมรีไซเคิลผสม GQDs (GQD Concrete, GC) โดยซีเมนต์ที่ใช้เป็นไฮดรอลิกซีเมนต์ตามมาตรฐาน ASTM C1157 [5] และมีส่วนผสมตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 4 ตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบถูกแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ (1) คอนกรีตมาตรฐาน (NC), (2) คอนกรีตมวลรวมรีไซเคิลผสม GQDs ในปริมาณร้อยละ 0, 0.15 และ 0.3 โดยน้ำหนักซีเมนต์, และ (3) คอนกรีตมวลรวมรีไซเคิลผสม GQDs ที่เติมเส้นใย PP ในปริมาณ 0, 0.5 และ 1.0 โดยปริมาตร การแบ่งกลุ่มตัวอย่างดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการทำงานได้ และสมบัติเชิงกลของคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิล ทั้งในรูปแบบมาตรฐานและรูปแบบที่ได้รับการปรับปรุงด้วยวัสดุนาโน GQD และเส้นใย PP

2.3 รายละเอียดการทดลอง

การทดสอบในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยการประเมินคุณสมบัติของคอนกรีตในสองระยะ ได้แก่ ระยะคอนกรีตสด (Fresh Concrete) และระยะคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว (Hardened Concrete) โดยระยะคอนกรีตสด จะทำการทดสอบความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตรีไซเคิล โดยดำเนินการภายหลังการผสม ตามวิธีการที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ASTM C143 [6] ส่วนคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว จะทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM ที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและเชื่อถือได้สำหรับการวิเคราะห์ผลทางวิศวกรรม

2.3.1 ความสามารถในการทำงานได้ (Workability)

การทดสอบความสามารถในการทำงานของคอนกรีตสดใช้วิธี Slump Test ตามมาตรฐาน ASTM C143 [6] โดยวัดค่าการยุบตัวของคอนกรีตหลังจากนํากรวย Slump ออก ซึ่งสะท้อนถึงความไหลตัวและการทำงานได้ของคอนกรีต

2.3.2 การทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive test)

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C39 [7] ทำการทดสอบตัวอย่างรูปทรงกระบอกขนาด 150×300 มิลลิเมตร จำนวน 3 ตัวอย่าง ทำการทดสอบจนคอนกรีตแตกหัก และพิจารณากำลังที่ระยะการบ่ม 7 และ 28 วัน

ตารางที่ 4 สัดส่วนการผสมคอนกรีต

Mix	Water	Cement	Sand	GW	CA	RCA	GQDs	Fiber
	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)
NC	170	379	817	0	1028	0	0	0
G0F0	170	379	0	801	0	922	0	0
G0F0.5	170	379	0	801	0	922	0	4.5
G0F1.0	170	379	0	801	0	922	0	9.0
G0.15F0	170	379	0	801	0	922	0.57	0
G0.15F0.5	170	379	0	801	0	922	0.57	4.5
G0.15F1.0	170	379	0	801	0	922	0.57	9.0
G0.30F0	170	379	0	801	0	922	1.14	0
G0.30F0.5	170	379	0	801	0	922	1.14	4.5
G0.30F1.0	170	379	0	801	0	922	1.14	9.0

หมายเหตุ: GW = Granite Waste, CA= Natural Coarse Aggregate, RCA = Recycled Coarse Aggregate

2.3.3 การทดสอบกำลังรับแรงดัด (Flexural test)

การทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C1609 [8] ทำการทดสอบตัวอย่างรูปทรงคานขนาด 100x100x400 มิลลิเมตร จำนวน 4 ตัวอย่าง ทำการทดสอบจนถึงระยะการแอ่นตัวที่ 2 มิลลิเมตร และพิจารณากำลังที่ระยะการบ่มที่ 28 วัน

2.3.4 การทดสอบหาปริมาณโพรง (Porosity test) และเปอร์เซ็นต์ดูดซึมของน้ำ (Absorption test)

การทดสอบหาปริมาณโพรง และเปอร์เซ็นต์ดูดซึมของน้ำ ตามมาตรฐาน ASTM C642 [9] โดยตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบจะเป็นลูกบาศก์ที่ขนาด 100 x 100 มิลลิเมตร คำนวณร้อยละปริมาณโพรงและร้อยละการดูดซึมน้ำคำนวณได้จากสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ

$$\text{Porosity (\%)} = [(C-A)/(C-D)] \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Water absorption \%} = [(C-A)/A] \times 100 \quad (2)$$

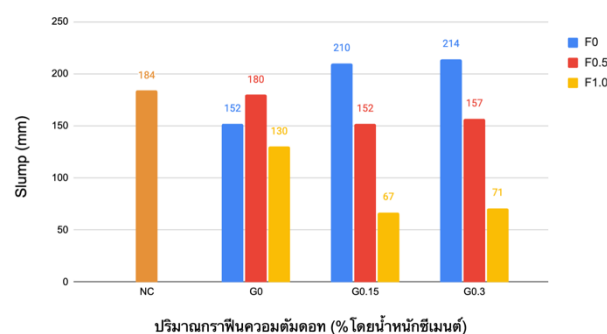
โดย A คือ น้ำหนักตัวอย่างที่แห้ง, C คือ น้ำหนักตัวอย่างที่มีการซึมของน้ำจากการต้ม และ D คือ น้ำหนักตัวอย่างที่ชั่ง

การเติมเส้นใย PP มีผลชัดเจนในการลดค่าการยุบตัวของคอนกรีตสดในทุกกลุ่มตัวอย่าง กล่าวคือ เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย PP จาก 0% เป็น 0.5% และ 1.0% ค่าการยุบตัวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าเส้นใย PP ส่งผลต่อความหนืดและความต้านทานต่อการไหลของคอนกรีตสด ซึ่งเป็นไปตามลักษณะของวัสดุเส้นใยที่ช่วยเพิ่มการยึดเหนี่ยวภายในเนื้อวัสดุ สำหรับกลุ่มที่มีการผสม GQDs (G0.15 และ G0.3) พบว่าค่าการไหลแผ่ของคอนกรีตสดในกรณีที่ไม่เติมเส้นใย PP (F0) สูงกว่า G0 อย่างมีนัยสำคัญ โดย G0.3 มีค่าการยุบตัวสูงสุดที่ 214 mm ซึ่งแสดงให้เห็นว่า GQDs มีผลช่วยเพิ่มความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตสด ซึ่งอาจเนื่องจากลักษณะผิวของการใช้ GQDs ที่ช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างอนุภาค อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มคอนกรีตที่มีการใช้ GQDs (G0.15, G0.3) กับ กลุ่มคอนกรีตทั่วไป (NC) ที่ไม่มีการใช้ GQDs และเส้นใย PP พบว่าเมื่อมีการเติมเส้นใย PP ร่วมกับ GQDs ค่าการไหลแผ่ยังคงลดลง แสดงว่าอิทธิพลของเส้นใย PP ลดความสามารถในการทำงานได้มากกว่า GQDs ทั้งนี้การเลือกใช้อัตราส่วนของเส้นใย PP และ GQDs ควรพิจารณาอย่างสมดุลเพื่อให้ได้ความสามารถในการทำงานได้ที่เหมาะสมต่อการใช้งานจริงในงานก่อสร้างหรือซ่อมแซมโครงสร้าง

3 ผลการทดสอบและการอภิปราย

3.1 ความสามารถในการทำงานได้

ผลการทดสอบในรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่า เมื่อเติมสาร GQDs ในร้อยละ 0, 0.15 และ 0.3 โดยน้ำหนักของซีเมนต์ คอนกรีตมีค่าการยุบตัวของคอนกรีต (Slump) เท่ากับ 152, 210 และ 214 มิลลิเมตรตามลำดับ เมื่อผสมเส้นใย PP ในร้อยละ 0.5 โดยปริมาตรของคอนกรีต ค่าการยุบตัวมีค่าเท่ากับ 180, 152 และ 157 มิลลิเมตรตามลำดับและส่วนผสมที่ได้ใส่เส้นใย PP ในร้อยละ 1.0 โดยปริมาตรของคอนกรีต ค่าการไหลแผ่เท่ากับ 130, 67, และ 71 มิลลิเมตร โดยที่คอนกรีตทั่วไป (NC) มีค่าการไหลแผ่เท่ากับ 184 มิลลิเมตร



รูปที่ 5 ความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีต

3.2 กำลังรับแรงอัด

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิลผสมกราไฟท์ควอนตัมดอทและเส้นใยโพลิโพรพิลีนปริมาณร้อยละ 0, 0.5 และ 1.0 โดยปริมาตรของคอนกรีตที่อายุครบ 7 และ 28 วัน แสดงในรูปที่ 6 และ 7 ตามลำดับ

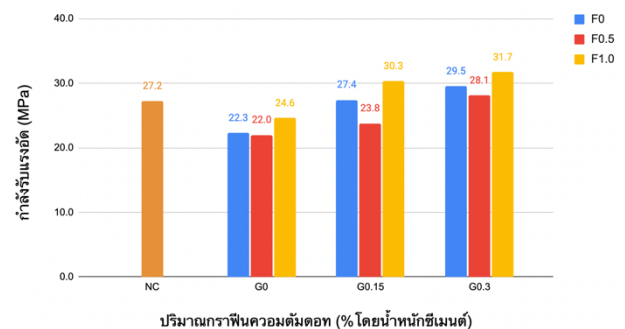
รูปที่ 6 แสดงกำลังการรับแรงอัดที่ 7 วัน ของคอนกรีต จากรูปพบว่า การใช้มวลรวมรีไซเคิลทำให้กำลังรับแรงอัดที่ 7 วัน ลดลง 22% และการเติม GQDs ในปริมาณ 0.15% และ 0.3% ส่งผลให้กำลังอัดเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน สังเกตได้จากกลุ่ม GOFO ไปยัง GO.15FO เพิ่มขึ้น 38% และ จากกลุ่ม GO.15FO ไปยัง GO.3FO เพิ่มขึ้น 2% โดยเฉพาะในกรณีที่เติมเส้นใย PP 1.0% ซึ่งให้ค่ากำลังอัดสูงสุดที่ 30.3 MPa ใน GO.15 และ 31.7 MPa ใน GO.3 ขณะที่กลุ่ม GO ซึ่งไม่มี GQDs มีกำลังอัดต่ำกว่ากลุ่มอื่น โดยเฉพาะในกรณีที่ไม่เติมเส้นใย PP หรือมีเพียง 0.5% ซึ่งได้ค่าเพียง 22.3–22.0 MPa แสดงให้เห็นว่า GQDs ช่วยเร่งพัฒนากำลังอัดในช่วงต้นอายุ และเมื่อใช้ร่วมกับเส้นใย PP ในสัดส่วน 1% จะเสริมกำลังรับแรงอัดที่ 7 วันได้ดีที่สุด

รูปที่ 7 แสดงกำลังการรับแรงอัดที่ 28 วัน พบว่า การใช้มวลรวมรีไซเคิลทำให้กำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน ลดลง 28% และแนวโน้มของค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นจากช่วง 7 วันในทุกกลุ่มตัวอย่าง จากรูปแสดงให้เห็นว่าการใช้ GQDs ช่วยเพิ่มกำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน สังเกตได้จากกลุ่ม GOFO ไปยัง GO.15FO เพิ่มขึ้น 23% และ จากกลุ่ม GO.15FO ไปยัง GO.3FO เพิ่มขึ้น 8% โดยเฉพาะกลุ่มที่เติม GQDs 0.3% (GO.3) ซึ่งมีค่ากำลังอัดสูงสุด โดยในกรณีเติมเส้นใย PP 1.0% มีค่า 33.4 MPa รองลงมาคือ FO.5 และ FO ที่ 32.2 และ 28.2 MPa ตามลำดับ อีกทั้งยังพบว่าในกลุ่ม GO ที่ไม่มี GQDs กำลังอัดของคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิลในกรณีเติมเส้นใย PP 0.5% (32.9 MPa) สูงกว่าบางกลุ่มที่มีการเติม GQDs แสดงให้เห็นว่าเส้นใย PP เพียงอย่างเดียวก็สามารถเสริมกำลังในระยะยาวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

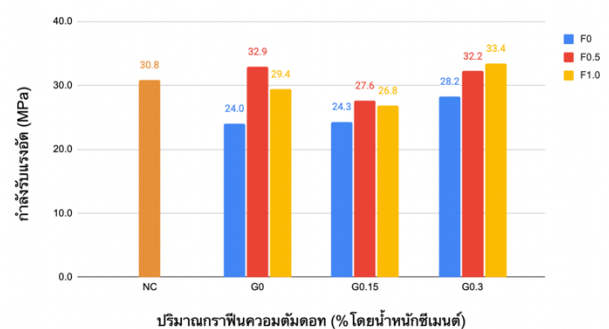
เมื่อพิจารณาการเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตกลุ่ม GOFO และ NC ซึ่งทั้งสองกลุ่มไม่มีการเติม GQDs และไม่มีการเสริมเส้นใย PP แต่มีความแตกต่างกันในวัสดุมวลรวม กล่าวคือ GOFO ใช้มวลรวมรีไซเคิล (recycled aggregate) ขณะที่ NC ใช้มวลรวมธรรมชาติ (natural aggregate) พบว่าความแตกต่างของวัสดุดังกล่าวส่งผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตอย่างมีนัยสำคัญ จากการพาลำลังรับแรงอัดที่ 7 วัน ค่าแรงอัดของ GOFO อยู่ที่ 22.3 MPa ขณะที่ NC ให้ค่า 27.2 MPa ซึ่งสูงกว่าถึงเกือบ 5 MPa หรือประมาณ 22% มวลรวมรีไซเคิลมักมีค่าการดูดซึมน้ำสูง พื้นผิวหยาบ และมีค่าความแน่นต่ำกว่ามวลรวมธรรมชาติ ส่งผลให้เกิดช่องว่าง (voids) ภายในโครงสร้างมากขึ้น เกิดพันธะระหว่างซีเมนต์เฟสกับมวลรวมได้ไม่ดีเท่ามวลรวมปกติ และกระบวนการผลิตมวลรวมหยาบรีไซเคิลเกิดจากการบดเศษวัสดุก่อสร้างทำให้โครงสร้างภายในของมวลรวมมีความแข็งแรงน้อยกว่ามวลรวมธรรมชาติ ส่งผลให้กำลังพัฒนาช้ากว่าในช่วงต้น

ในช่วง 28 วัน กำลังรับแรงอัดของ GOFO เพิ่มขึ้นเป็น 24.0 MPa ขณะที่ NC เพิ่มขึ้นเป็น 30.8 MPa ซึ่งยังคงแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างชัดเจน กำลังอัดของ NC สูงกว่า GOFO ประมาณ 6.8 MPa หรือ 28% แสดงให้เห็นว่า ผลกระทบของมวล

รวมรีไซเคิลยังคงมีอยู่แม้ครบ 28 วัน นั้นหมายความว่าปัจจัยที่ส่งผลจากโครงสร้างของวัสดุ เช่น การยึดเกาะที่อ่อนแอและค่าความพรุนของมวลรวมรีไซเคิล ยังคงจำกัดความสามารถในการรับแรงของคอนกรีตในระยะยาว



รูปที่ 6 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่อายุการปรม 7 วัน

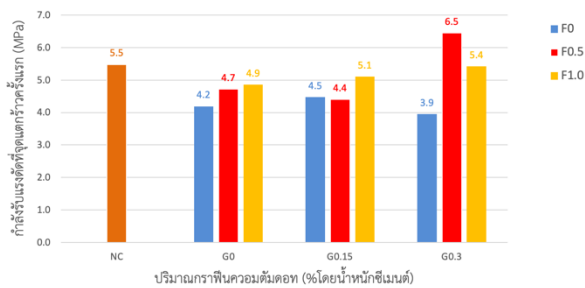


รูปที่ 7 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่อายุการปรม 28 วัน

3.3 กำลังรับแรงดัด

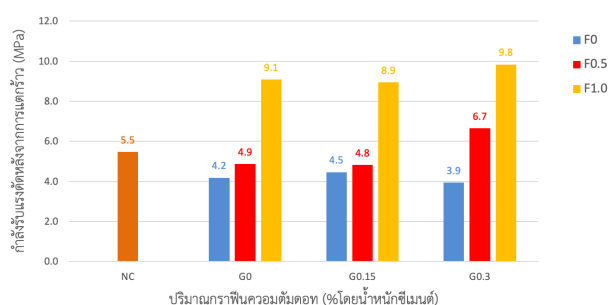
จากผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดที่จุดแตกร้าวครั้งแรก (First-cracking strength, f_{cc}) ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมรีไซเคิลร่วมกับกราไฟท์ควอนตัมดอท (GQDs) และเส้นใยโพลิโพรพิลีน (PP) ดังรูปที่ 8 พบว่าการใช้มวลรวมรีไซเคิลเพียงอย่างเดียวส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงดัดลดลง 31% เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตมาตรฐาน โดยกลุ่มตัวอย่าง GO ที่ไม่มีการเติม GQDs และเส้นใย PP ให้ค่า f_{cc} เพียง 4.2 MPa ซึ่งต่ำกว่าคอนกรีตมาตรฐาน (NC) ที่มีค่า f_{cc} เท่ากับ 5.5 MPa แสดงให้เห็นถึงผลกระทบเชิงลบของการใช้มวลรวมรีไซเคิลต่อสมบัติเชิงกลของคอนกรีต ในด้านการใช้ GQDs พบว่า การเติม GQDs ที่ระดับ 0.15% โดยน้ำหนักซีเมนต์ ช่วยเพิ่มค่า f_{cc} ได้เล็กน้อยจาก 4.2 เป็น 4.5 MPa แต่เมื่อเพิ่มเป็น 0.3% ค่า f_{cc} กลับลดลงเหลือเพียง 3.9 MPa แสดงให้เห็นว่าการเติม GQDs ในปริมาณที่มากเกินไปอาจส่งผลเสียต่อโครงสร้างของคอนกรีต ขณะที่การเติมเส้นใยโพลิโพรพิลีน (PP) ส่งผลให้กำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน สังเกตได้จาก จากกลุ่ม GO.3FO ไปยัง GO.3FO.5 เพิ่มขึ้น 67% และโดยเฉพาะในกลุ่มที่ใช้ GQDs 0.3% และเสริมเส้นใย PP 0.5% ซึ่งให้ค่า f_{cc} สูงที่สุดที่ 6.5 MPa แสดงให้เห็นว่าเส้นใย PP มีบทบาทสำคัญในการต้านการแตกร้าวครั้งแรกของคอนกรีต การเสริมเส้นใย PP ยังช่วยกระจายความเค้นได้ดีขึ้นภายในเนื้อคอนกรีต ส่งผลให้โครงสร้างสามารถทนต่อแรงดัดได้มากขึ้น โดยเฉพาะเมื่อใช้ร่วมกับ GQDs ในปริมาณที่เหมาะสม กล่าวโดยสรุป การเสริมเส้นใย

PP มีแนวโน้มช่วยพัฒนา f_{cc} ได้ดีกว่าการใช้ GQDs เพียงอย่างเดียว และเมื่อใช้อย่างเหมาะสมร่วมกันสามารถพัฒนาคอนกรีตไร้ซีเมนต์ให้ มีสมบัติเชิงกลใกล้เคียงหรือดีกว่าคอนกรีตทั่วไปได้



รูปที่ 8 กำลังรับแรงดัดที่จุดแตกร้าวครั้งแรก

นอกจากนี้ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดหลังจากการแตกร้าว (Post-flexural strength) ของ คอนกรีตที่ใช้มวลรวมรีไซเคิล ร่วมกับกราฟีนควอนตัมดอท (GQDs) และเส้นใยพอลิโพรพิลีน (PP) ดังรูปที่ 9 พบว่าแนวโน้มที่สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์กำลังดัดที่ จุดแตกร้าวครั้งแรกและในรูปที่ 9 แต่มีความชัดเจนมากขึ้นในด้าน บทบาทของ GQDs ในด้านการกำลังรับแรงดัด สังเกตได้จากจาก กลุ่ม GO.15F0.5 เทียบกับกลุ่ม GO.3F0.5 เพิ่มขึ้น 40% และอิทธิพล ของเส้นใย PP ที่ช่วยเสริมกำลังรับแรงดัดหลังจากการแตกร้าวจาก กลุ่ม GO.3F0.5 เปรียบเทียบกับกลุ่ม GO.3F1.0 เพิ่มขึ้น 46% เมื่อ เปรียบเทียบคอนกรีตที่ใช้มวลรวมรีไซเคิล (GOFO) ที่มีค่า 4.2 MPa กับคอนกรีตมาตรฐาน (NC) ที่มีค่าอยู่ที่ 5.5 MPa แสดงให้เห็นถึง การใช้มวลรวมรีไซเคิลให้กำลังรับแรงดัดที่ลดลง อย่างไรก็ตาม เมื่อมี การเติมเส้นใย PP โดยไม่เติม GQDs (GOF1.0) ค่ากำลังรับแรงดัด หลังจากการแตกร้าวเพิ่มขึ้นมากถึง 9.1 MPa ซึ่งสูงกว่าค่าของ คอนกรีตมาตรฐานถึง 65% แสดงให้เห็นว่าเส้นใย PP มีบทบาท สำคัญในการรับแรงดัดหลังแตกร้าว โดยทำหน้าที่ยึดเหนี่ยวและ กระจายแรงดึงที่เกิดจากรอยร้าวภายในเนื้อคอนกรีตได้อย่างมี ประสิทธิภาพเมื่อพิจารณาการเติม GQDs ร่วมกับเส้นใย PP ใน ปริมาณต่าง ๆ พบว่า GQDs ที่ปริมาณ 0% (GOF1.0) มีค่ากำลังรับ แรงดัดอยู่ที่ 9.1 MPa ขณะที่ GQDs ที่ปริมาณ 0.15% (GO.15F1.0) ค่ากำลังรับแรงดัดอยู่ที่ 8.9 MPa และ GQDs ที่ปริมาณ 0.3% (GO.3F1.0) มีค่าเท่ากับ 9.8 MPa แสดงให้เห็นว่า GQDs ไม่มี แนวโน้มที่ชัดเจนในด้านให้กำลังรับแรงดัด อาจจะต้องเติมใน ปริมาณที่เหมาะสมเพื่อให้กำลังรับแรงดัดสูงขึ้น

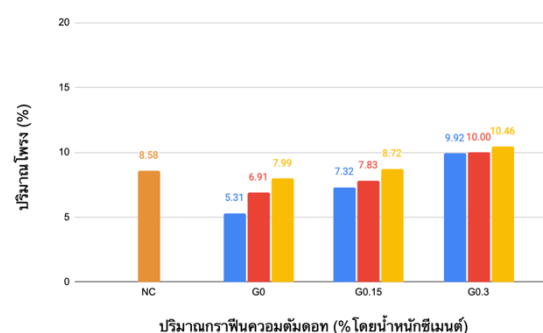


รูปที่ 9 กำลังรับแรงดัดหลังจากการแตกร้าว

3.4 โพรงและการดูดซึมน้ำ

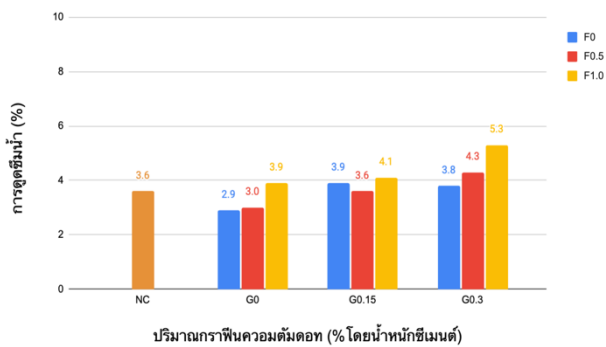
จากรูปที่ 10 และ รูปที่ 11 แสดงผลการทดสอบร้อยละปริมาณโพรง ของคอนกรีตมวลรวมรีไซเคิลที่มีการใส่ GQDs ที่ร้อยละ 0, 0.15 และ 0.3 โดยน้ำหนักซีเมนต์ และเส้นใย PP ที่ร้อยละ 0, 0.5 และ 1.0 โดยปริมาตร

ผลการทดลองเรื่องปริมาณโพรงดังแสดงในรูปที่ 10 พบว่า การเพิ่มระดับการใส่ GQDs มีแนวโน้มทำให้ปริมาณโพรงเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะในกลุ่มปริมาณ GQDs ที่ร้อยละ 0.3 (GO.3) ที่มีการเติม GQDs มากที่สุด ซึ่งให้ค่าปริมาณโพรงสูงสุดในทุกปริมาณเส้นใย PP (FO, FO.5 และ F1.0) โดยที่กลุ่ม GO.3F1.0 มีค่าโพรงสูงถึง 10.46% ขณะที่ในกลุ่ม GO และ GO.15 ซึ่งมีการเติม GQDs ในระดับต่ำ หรือไม่มีเลย ปริมาณโพรงมีค่าน้อยกว่าอย่างชัดเจน นอกจากนี้ เมื่อ เปรียบเทียบปริมาณเส้นใย PP พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใย PP จาก FO ไปจนถึง F1.0 แสดงให้เห็นว่า เส้นใย PP ส่งผลต่อโครงสร้างของ วัสดุโดยทำให้เกิดช่องว่างหรือโพรงมากขึ้น ส่วนคอนกรีตมาตรฐาน (NC) มีค่าโพรงที่ 8.58% ซึ่งอยู่ในระดับปานกลางเมื่อเทียบกับกลุ่ม อื่น ๆ ข้อมูลทั้งหมดนี้ชี้ให้เห็นว่า ทั้งการเติม GQDs และปริมาณเส้น ใย PP มีอิทธิพลร่วมกันต่อการเกิดโพรงในวัสดุ



รูปที่ 10 ร้อยละปริมาณโพรงคอนกรีต

จากรูปแสดงการดูดซึมน้ำในรูปที่ 11 พบว่า ค่าการดูด ซึมน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเส้นใย PP ที่ใช้ โดยเฉพาะ เมื่อ GQDs ในปริมาณร้อยละ 0.3 (GO.3) และเติมเส้นใย PP ที่ร้อย ละ 1 จะมีค่าการดูดซึมน้ำสูงที่สุดอยู่ที่ 5.3% ขณะที่กลุ่มที่ไม่เติม GQDs เลย (GO) มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุดในทุกระดับของเส้นใย โดยค่าการดูดซึมน้ำที่น้อยที่สุดจะอยู่ในกลุ่มที่ไม่มีการใส่ GQDs และ เส้นใย PP (GOF0) เท่ากับ 2.9% ส่วนในกลุ่ม GO.3 แม้จะมีการใส่ เส้นใย PP ซึ่งคาดว่าจะช่วยเรื่องการดูดซึมน้ำมากขึ้นเช่นเดียวกับ กลุ่ม GO พบว่าค่าดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นจริง แต่น้อยมากแทบจะใกล้เคียง กันในทุกการเปลี่ยนแปลงปริมาณเส้นใย PP ข้อมูลเหล่านี้บ่งบอกว่า GQDs จะทำให้คอนกรีตมีปริมาณโพรงและการดูดซึมน้ำเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อใช้งานร่วมกับเส้นใย PP ในปริมาณมาก อาจส่งผลให้ โครงสร้างของวัสดุมีช่องว่างหรือโพรงมากขึ้น และส่งผลให้การดูด ซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในส่วนของอิทธิพลของเส้นใย PP พบว่า การเติมเส้นใยเส้นใย PP ทำให้ปริมาณโพรง และการดูดซึมน้ำ เพิ่มขึ้น



รูปที่ 11 ร้อยละการดูดซึมน้ำคอนกรีต

4 บทสรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกล และความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมรีไซเคิล โดยมวลรวมหยาบใช้มวลรวมที่ได้จากการบดอัดเศษวัสดุก่อสร้างที่โรงแยกขยะอ่อนนุช และมวลรวมละเอียดจากเศษหินแกรนิตมาแทนที่ทรายธรรมชาติ ที่ได้รับการเสริมกรฟีนควอนตัมดอท และเสริมเส้นใยพอลิโพรพิลีน เพื่อพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตและเปรียบเทียบผลทดสอบกับคอนกรีตมาตรฐานซึ่งเป็นคอนกรีตที่ผลิตจากมวลรวมทรายธรรมชาติ

จากผลการทดสอบพบว่า การใช้มวลรวมรีไซเคิลในคอนกรีตส่งผลให้คุณสมบัติโดยรวมลดลงอย่างชัดเจน โดยเฉพาะในด้านความสามารถในการไหล กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัด และค่าความเหนียว เนื่องจากมวลรวมรีไซเคิลมีความพรุนสูง ทำให้เกิดช่องว่างในโครงสร้าง ส่งผลให้ค่าการยุบตัวต่ำลงและกำลังต่าง ๆ ลดลง เมื่อเทียบกับคอนกรีตธรรมชาติ

ในด้านของกรฟีนควอนตัมดอท (GQDs) การเติม GQDs ช่วยเพิ่มความสามารถในการไหลของคอนกรีตสด โดยเฉพาะในระดับ 0.3% ซึ่งให้ค่า slump สูงสุด และการใช้ GQDs ทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดทั้งที่ 7 และ 28 วันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม GQDs เพียงอย่างเดียวไม่ส่งผลเด่นชัดต่อกำลังรับแรงดัดหรือค่าความเหนียว และในบางกรณียังเพิ่มปริมาณโพรงและการดูดซึมน้ำในเนื้อคอนกรีตด้วย โดยเฉพาะเมื่อใช้ที่ปริมาณ 0.3%

การเติมเส้นใยพอลิโพรพิลีน (PP fiber) มีผลลดความสามารถในการไหลของคอนกรีตอย่างชัดเจน แต่กลับช่วยเพิ่มกำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัด เส้นใย PP ยังมีบทบาทสำคัญในการต้านทานรอยร้าว และช่วยให้คอนกรีตมีพฤติกรรมหลังแตกร้าวที่ดีขึ้น อย่างไรก็ตาม การใช้เส้นใย PP ปริมาณมากก็เพิ่มการเกิดโพรงและเพิ่มการดูดซึมน้ำในคอนกรีตเช่นกัน

โดยสรุป การใช้มวลรวมรีไซเคิลเพียงอย่างเดียวอาจส่งผลเสียต่อคุณภาพของคอนกรีต แต่การเสริมด้วย GQDs และเส้นใย PP ในอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยเฉพาะ GQDs 0.3% และ PP 1.0% สามารถปรับปรุงสมบัติเชิงกลและพฤติกรรมการแตกร้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้จะมีผลเสียในด้านความสามารถในการไหลและการเพิ่มปริมาณโพรง แต่หากควบคุมการใช้งานให้เหมาะสม ก็มีศักยภาพในการนำมาใช้ทดแทนคอนกรีตมาตรฐานในงานโครงสร้างต่าง ๆ ได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท CrystalLyte จำกัด ที่ให้การสนับสนุน Graphene Quantum Dots (GQDs) ที่ใช้ในโครงการนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Cpac academy. คอนกรีตวัสดุสำหรับโครงสร้าง บทที่ 8. ค้นหาเมื่อวันที่ 2 ธันวาคม 2567, แหล่งข้อมูล: <https://www.cpacacademy.com/download/cpacacademy.com/E-CEMENTAPP%20U08.pdf>.
- [2] Mahmoud Hasani, Fereidoon Moghadas Nejad, Jafar Sobhani, Mahdi Chini, 2020. Mechanical and durability property of fiber reinforced concrete overlay : Experimental result and numerical simulation. Construction and Building Materials, Volume 268.
- [3] Aire C., Mendoza C., and Davila P, 2011. Polypropylene Fibers reinforced Concrete: Optimization on Plastic shrinkage Cracking. Proceedings of the Second International Conference on Future Concrete, 2011.
- [4] Prossposito Paolo, Fang, Changqing, Razak, Ibrahim Abdul, Bharathi, Ganapathi, 2022. Progress and challenges of graphene and its congeners for biomedical applications. Journal of Molecular Liquids, Volume 368, Part A.
- [5] American Society for Testing and Materials. 2020. ASTM C1157. Standard Performance Specification for Hydraulic Cement.
- [6] American Society for Testing and Materials. 2016. ASTM C39. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- [7] American Society for Testing and Materials. 2011. ASTM C1609. Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam with Third-Point Loading).
- [8] American Society for Testing and Materials. 2022. ASTM C642-21. Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete
- [9] Md Sabbrojjaman, Ruman Mia, Tafsirojjaman, February 2019. Experimental Investigations on Recycled Coarse Aggregate as a Full or Partial Replacement of Coarse Aggregate in Concrete Production Using High FM Fine Aggregates. Department of Civil Engineering, Dhaka International University, Dhaka-1212, Bangladesh,

School of Civil and Build Environment, Queensland
University of Technology, Brisbane-4000, Australia.