



กำลังและความคงทนของคอนกรีตที่ใช้เส้นใยพลาสติกโลหะ

STRENGTH AND DURABILITY OF CONCRETE USING METALIZED PLASTIC FIBER

อัญชนา กิจจานนท์¹, ลีน่า ปรัก¹, และทวิชัย สำราญวานิช^{2*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

²ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

Aunchana Kijjanon¹, Lyna Prak¹ and Taweechai Sumranwanich^{2*}

¹Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

²Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University

*Corresponding author Email: twc@buu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษากำลังและความคงทนของคอนกรีตที่ใช้เส้นใยพลาสติกโลหะ โดยใช้ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกเป็นวัสดุประสานหลัก ใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนที่ร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานถูกควบคุมที่ 0.40 ศึกษาปริมาณเส้นใยพลาสติกโลหะที่ร้อยละ 0.5 1.0 และ 1.5 โดยปริมาตรของคอนกรีต และใช้ความยาวเส้นใย 20 มม. 40 มม. โดยควบคุมความกว้างเส้นใยให้คงที่ที่ 2 มม. จากนั้นทำการทดสอบกำลังอัด กำลังดัด กำลังดึงแบบผ่าซีก ความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่ง และความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวของคอนกรีต

จากผลการศึกษาพบว่า การใช้เส้นใยพลาสติกโลหะร้อยละ 0.5 ช่วยเพิ่มกำลังดัด กำลังดึงแบบผ่าซีก ความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่ง และความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวเมื่อเทียบกับคอนกรีตไม่ผสมเส้นใย แต่คอนกรีตที่ใช้เส้นใยพลาสติกโลหะทุกร้อยละมีกำลังอัดต่ำกว่าคอนกรีตไม่ผสมเส้นใย การผสมเส้นใยพลาสติกโลหะร้อยละ 0.5 ร่วมกับเถ้าลอยมีกำลังดัด กำลังดึงแบบผ่าซีก ความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่ง และและความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวสูงสุด นอกจากนี้ การใช้เส้นใยพลาสติกโลหะยาว 40 มม. ส่งผลให้คอนกรีตมีกำลังและความคงทนสูงกว่าเส้นใยพลาสติกโลหะยาว 20 มม.

คำสำคัญ: เส้นใยพลาสติกโลหะ; เถ้าลอย; การแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่ง; ความต้านทานไฟฟ้าที่ผิว

ABSTRACT

This research aims to investigate the strength and durability of concrete using metalized plastic fibers. Hydraulic cement was used as the main binder, with fly ash replacing 30% by weight of the binder, and the water-to-binder ratio was controlled at 0.40. The study examined the effects of incorporating metalized plastic fibers at 0.5%, 1.0%, and 1.5% by volume of concrete, using fiber lengths of 20 mm and 40 mm, while maintaining a constant fiber width of 2 mm. The compressive strength, flexural strength, splitting tensile strength, rapid chloride penetration resistance, and surface electrical resistivity were then tested.

Aunchana Kijjanon¹, Lyna Prak¹ and Taweechai Sumranwanich^{2*}

¹Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

²Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University

The results showed that incorporating 0.5% metalized plastic fibers increased the flexural strength, splitting tensile strength, rapid chloride penetration resistance, and surface electrical resistivity compared to non-fiber concrete. However, concrete with any percentage of metalized plastic fibers had lower compressive strength than non-fiber concrete. The combination of 0.5% metalized plastic fibers and fly ash provided the highest flexural strength, splitting tensile strength, rapid chloride penetration resistance, and surface electrical resistivity. Furthermore, concrete with 40 mm length metalized plastic fibers had significantly greater strength and durability than concrete with 20 mm length metalized plastic fibers.

Keywords: metalized plastic fiber; fly ash; rapid chloride penetration; surface electrical resistivity

1. บทนำ

ปัญหาขยะพลาสติกถือเป็นวิกฤตสิ่งแวดล้อมที่ทุกประเทศต้องเผชิญและเร่งแก้ไข โดยเฉพาะขยะพลาสติกโลหะ (Metalized plastic waste) ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์อาหาร พลาสติกโลหะเป็นฟิล์มพลาสติกที่ผ่านกระบวนการฉาบด้วยโลหะอลูมิเนียมเพื่อใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ โดยมีคุณสมบัติที่ทนต่อแรงกระแทก มีความยืดหยุ่นสูง ทนต่อการฉีกขาด ทนกรดและด่าง รวมถึงสามารถป้องกันความชื้นซึมผ่านได้ดี ในประเทศไทย ปริมาณขยะพลาสติกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามการเติบโตของภาคอุตสาหกรรม แม้จะมีความพยายามส่งเสริมการนำวัสดุทดแทนพลาสติก แต่ผลลัพธ์ยังไม่เป็นที่น่าพอใจ จึงมีความจำเป็นในการศึกษาแนวทางการนำขยะพลาสติกโลหะไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น หนึ่งในแนวทางที่น่าสนใจคือการนำมาเป็นเส้นใย (Fiber) เพื่อเสริมแรงในส่วนผสมคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้าง [1] คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีคุณสมบัติเชิงกลด้านกำลังอัดที่ดี แต่มีข้อจำกัดคือ มีกำลังดึงต่ำและความเปราะสูง ดังนั้นหากต้องการเพิ่มกำลังดึงและความเหนียว จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต้องเสริมแรงให้กับคอนกรีต การนำเส้นใยพลาสติกโลหะมาใช้ในส่วนผสมคอนกรีตไม่เพียงแต่ช่วยกำจัดขยะพลาสติกที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมเท่านั้น แต่จากงานวิจัยของ Bhogayata and Arora [2] พบว่า การเพิ่มเส้นใยพลาสติกโลหะในคอนกรีตส่งผลให้กำลังดึงแบบผ่าซิก (Splitting tensile strength) และความเหนียว (Ductility) ของคอนกรีตเพิ่มขึ้น ในทางกลับกัน การเพิ่มเส้นใยพลาสติกโลหะส่งผลให้ค่าการยุบตัวและกำลังอัดของคอนกรีตลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตควบคุม เมื่อพิจารณาคุณสมบัติด้านความคงทนของคอนกรีตที่ใช้เส้นใยพลาสติกโลหะ จากงานวิจัยของ Bhogayata and Arora [3] ที่ทำการศึกษาความแข็งแรงต่อแรงกระแทก การซึมผ่านน้ำ และความต้านทานต่อการกัดกร่อนเนื่องจากสารเคมีของคอนกรีตเสริมแรงด้วยเส้นใยพลาสติกโลหะ พบว่า การเสริมเส้นใยพลาสติกโลหะในคอนกรีตที่ปริมาณร้อยละ 1 โดยปริมาตร มีความแข็งแรงต่อแรงกระแทก ความต้านทานต่อการซึมผ่านน้ำ และความต้านทานต่อการกัดกร่อนเนื่องจากสารเคมีสูงที่สุด โดยการเสริมเส้นใยความยาว 20 มม. มีค่าความต้านทานต่อแรงกระแทก ความเหนียว และการดูดซับพลังงานก่อนแตกหักมากกว่าคอนกรีตควบคุม ขณะที่การเสริมเส้นใยความยาว 5 มม. ส่งผลให้คอนกรีตมีความต้านทานต่อการซึมผ่านน้ำและความต้านทานต่อสารเคมีสูงที่สุด จากการศึกษาวิจัยพบว่า การปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลและความคงทนของคอนกรีตที่เสริมเส้นใยพลาสติกโลหะนั้น ขึ้นอยู่กับขนาดและความยาวของเส้นใยที่นำมาใช้ โดยเส้นใยที่มีขนาดและความยาวเหมาะสมจะช่วยเพิ่มความต้านทานต่อแรงกระแทก ความเหนียว และความต้านทานต่อการซึมผ่านน้ำและสารเคมีของคอนกรีตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ การเลือกใช้เส้นใยในปริมาณและลักษณะที่เหมาะสมจึงเป็นปัจจัยสำคัญต่อการพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตให้สอดคล้องกับความต้องการในการใช้งาน [4-5]

ในประเทศไทย ถั่วลอยถูกใช้เป็นวัสดุปูโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในคอนกรีตอย่างแพร่หลาย เนื่องจากถั่วลอยสามารถเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกและลักษณะอนุภาครวมของถั่วลอยมีส่วนช่วยในการปรับปรุงสมบัติของคอนกรีตสด เพิ่มคุณสมบัติเชิงกล และปรับปรุงคุณสมบัติด้านความคงทนของคอนกรีตได้ จากผลการทบทวนงานวิจัยในประเทศไทย ยังไม่พบ

การศึกษาของการใช้เถ้าลอยร่วมกับเส้นใยพลาสติกโลหะในคอนกรีต ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษากำลังและความทนของคอนกรีตที่ใช้เถ้าลอยร่วมกับเส้นใยพลาสติกโลหะ

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ

องค์ประกอบทางเคมี (%)	ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (C)	เถ้าลอยแม่เมาะที่มี CaO สูง (F)
SiO ₂	13.63	28.42
Al ₂ O ₃	2.67	13.03
Fe ₂ O ₃	3.31	14.88
CaO	66.20	27.11
MgO	1.12	1.90
Na ₂ O	0.31	1.50
K ₂ O	0.35	2.53
SO ₃	1.90	6.11
Other oxides	3.70	1.34
Loss on ignition (LOI)	6.78	3.18
คุณสมบัติทางกายภาพ		
ความถ่วงจำเพาะ	3.14	2.56
พื้นที่ผิวจำเพาะ (ม ² /กก.)	254.3	315.7



(ก)



(ข)

รูปที่ 1 เส้นใยพลาสติกโลหะ; (ก) ขนาดความกว้าง 2 มม. ความยาว 20 มม. (MP-L20) และ (ข) ขนาดความกว้าง 2 มม. ความยาว 40 มม. (MP-L40)

2. วิธีการศึกษา

2.1 วัสดุที่ใช้

ใช้ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (C) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2594-2556 [6] เป็นวัสดุประสานหลัก ใช้เถ้าลอยแม่เมาะที่มีปริมาณ CaO สูง (F) ชั้นคุณภาพ 2x ตามมาตรฐาน มอก. 2135 [7] ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ที่ได้มาจากการเผาถ่านหินลิกไนต์ มาใช้เป็นวัสดุแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน สำหรับ

องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกและเถ้าลอย ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 มวลรวมละเอียดที่ใช้เป็นทรายบก และมวลรวมหยาบที่ใช้เป็นหินปูนที่มีขนาดโตสุด 19 มม. สำหรับเส้นใยพลาสติกโลหะที่ใช้มี 2 ขนาด คือ เส้นใยพลาสติกโลหะขนาดความกว้าง 2 มม. ความยาว 20 มม. (MP-L20) ดังแสดงในรูปที่ 1(ก) และเส้นใยพลาสติกโลหะขนาดความกว้าง 2 มม. ความยาว 40 มม. (MP-L40) ดังแสดงในรูปที่ 1(ข) โดยได้จากการตัดแผ่นพลาสติกโลหะที่ใช้สำหรับผลิตถุงขนมต่างๆ จากโรงงานรีไซเคิลเศษขยะพลาสติกโลหะในอำเภอบ่อทอง จังหวัดชลบุรี

ตารางที่ 2 ส่วนผสมคอนกรีต

Mix id.	Mix proportions of concrete (kg/m ³)					Fiber (% by Vol.)
	Binder		Water	Sand (SSD)	Rock (SSD)	
	Cement	Fly ash				
C-MP0	435	-	174	776	1025	0
C-MP0.5-L20	435	-	174	776	1025	0.5
C-MP1-L20	435	-	174	776	1025	1.0
C-MP1.5-L20	435	-	174	776	1025	1.5
C-MP1-L40	435	-	174	776	1025	1.0
CF30-MP0	288	123	164	776	1025	0
CF30-MP0.5-L20	288	123	164	776	1025	0.5
CF30-0MP1-L20	288	123	164	776	1025	1.0
CF30-MP1.5-L20	288	123	164	776	1025	1.5

หมายเหตุ: C หมายถึง คอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกอย่างเดียว, CF หมายถึง คอนกรีตผสมเถ้าลอย, MPxx หมายถึง การเสริมเส้นใยพลาสติกโลหะร้อยละ xx โดยปริมาตรคอนกรีต, Lxx หมายถึง เส้นใยพลาสติกโลหะมีความยาว xx มม.

2.2 ส่วนผสมคอนกรีต

ส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ในการศึกษา (ตารางที่ 2) ประกอบด้วยอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.40 โดยใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน และเสริมเส้นใยพลาสติกโลหะที่ร้อยละ 0.5 1.0 และ 1.5 โดยปริมาตรของคอนกรีต ทั้งนี้ จากงานวิจัยของ Abdelli et al. [1] สรุปว่า การใช้เส้นใยพลาสติกโลหะร้อยละ 1 โดยปริมาตรของคอนกรีต เป็นปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการใช้ในคอนกรีต ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลกระทบของความยาวเส้นใยเฉพาะที่ปริมาณการเสริมเส้นใยพลาสติกโลหะร้อยละ 1 โดยปริมาตรของคอนกรีตเท่านั้น โดยขั้นตอนการผสม ทำการใส่เส้นใยพลาสติกโลหะหลังจากใส่หิน ตามด้วยทราย น้ำ และวัสดุประสาน เพื่อให้เส้นใยกระจายตัวได้อย่างสม่ำเสมอในส่วนผสมคอนกรีต

2.3 วิธีการทดสอบ

2.3.1 กำลังอัด

กำลังอัดของคอนกรีตทดสอบตามมาตรฐาน BS EN 12390-3 [8] โดยใช้คอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด 10 ซม. × 10 ซม. × 10 ซม. ทดสอบที่ระยะเวลายบ่มน้ำ 7 28 และ 365 วัน โดยแต่ละอายุการทดสอบใช้ตัวอย่างคอนกรีตจำนวน 3 ก้อนต่อ 1 ส่วนผสม จากนั้นนำค่ากำลังอัดที่ได้คำนวณหาค่าเฉลี่ยของกำลังอัดของคอนกรีต

2.3.2 กำลังดัด

กำลังดัดของคอนกรีตทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C78/C78M-22 [9] โดยเตรียมตัวอย่างทรงปริซึมขนาด 10 x 10 x 50 ซม.³. จากนั้นแบ่งด้านข้างยาว ซ้ายละ 22.5 ซม. และทำการทดสอบโดยกดน้ำหนักลงที่กึ่งกลางคาน การทดสอบกำลังดัดของคอนกรีตดำเนินการภายหลังบ่มน้ำที่อายุ 7 28 และ 56 วัน

2.3.3 กำลังดึงแบบผ่าซีก

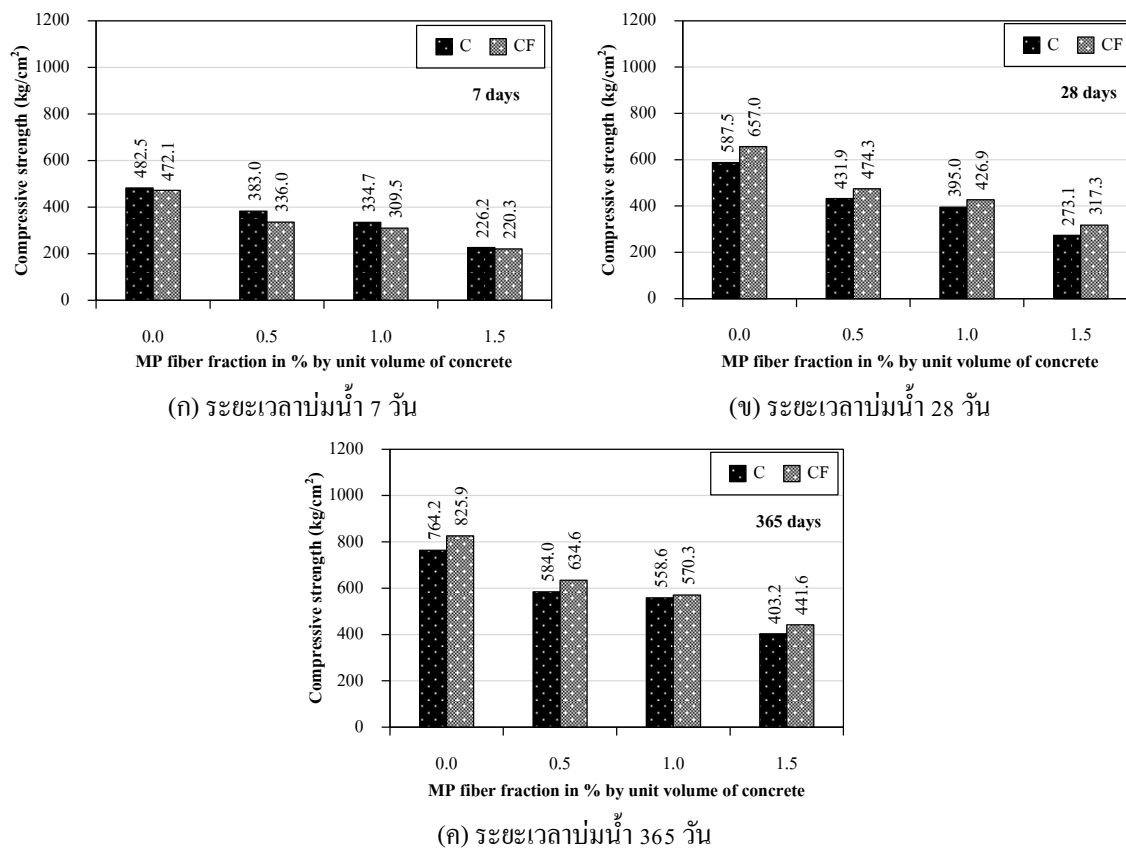
หล่อตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 20 ซม. บ่มตัวอย่างเป็นเวลา 7 28 และ 56 วัน จากนั้นนำตัวอย่างมาทดสอบกำลังดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C496/C496M-17 [10]

2.3.4 การแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่ง

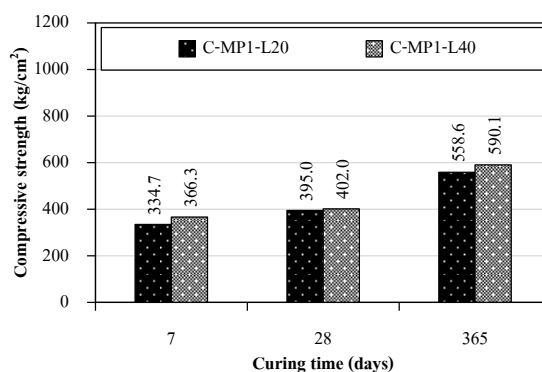
การแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่งทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C1202-22 [11] โดยหล่อตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 20 ซม. จากนั้นนำตัวอย่างทดสอบที่ระยะเวลายบ่มน้ำที่ 28 56 และ 365 วัน

2.3.5 ความต้านทานไฟฟ้าที่ผิว

ความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวทดสอบตามมาตรฐาน AASHTO T358-21 [12] โดยหล่อตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 20 ซม. จากนั้นนำตัวอย่างบ่มน้ำเป็นระยะเวลา 365 วัน เมื่อตัวอย่างครบอายุที่กำหนด นำตัวอย่างคอนกรีตทดสอบความต้านทานไฟฟ้าที่ผิว โดยใช้ตัวอย่าง 3 ก้อนต่อ 1 ส่วนผสม



รูปที่ 2 ผลกระทบของปริมาณเส้นใยพลาสติกโลหะความยาว 20 มม. ต่อกำลังอัดของคอนกรีต



รูปที่ 3 ผลกระทบของความยาวเส้นใยพลาสติกโลหะต่อกำลังอัดของคอนกรีต

3. ผลการทดลองและอภิปราย

3.1 กำลังอัด

เมื่อพิจารณาผลกระทบของปริมาณเส้นใยพลาสติกโลหะความยาว 20 มม. ต่อกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้และไม่ใช้เถ้าลอย ดังรูปที่ 2 พบว่า การใช้เส้นใยพลาสติกโลหะส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ใช้เส้นใยพลาสติกโลหะ (0%) ทุกระยะเวลาบ่มน้ำ โดยกำลังอัดมีค่าลดลงเมื่อปริมาณของเส้นใยพลาสติกมีค่าเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากเส้นใยผิวสัมผัสที่มัน

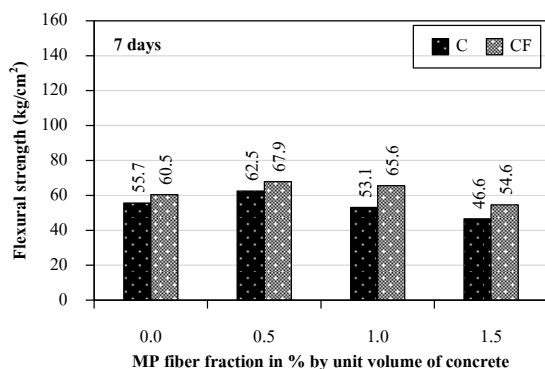
วาว ทำให้เกิดช่องว่างของอากาศในเนื้อคอนกรีตที่บริเวณรอยต่อและผิวสัมผัสระหว่างเนื้อคอนกรีตกับเส้นใย ดังนั้นเมื่อใส่เส้นใยพลาสติกโลหะเพิ่มมากขึ้นทำให้กำลังอัดลดลง [1] โดยคอนกรีตที่ใช้เส้นใยมีกำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตที่ไม่ใช้เส้นใยตั้งแต่ระยะเวลาบ่มน้ำ 28 วันขึ้นไป เนื่องจากเส้นใยสามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานิกกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์อย่างช้า ๆ ในช่วงอายุต้น และเกิดเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีระยะเวลาบ่มน้ำนานขึ้น ส่งผลให้เกิดผลผลิตแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตที่ทำให้เกิดสารเชื่อมประสานมากขึ้น ส่งผลให้คอนกรีตมีความสามารถในการรับกำลังอัดได้สูงขึ้น

เมื่อพิจารณาผลกระทบของความยาวเส้นใยพลาสติกโลหะต่อกำลังอัดของคอนกรีตผสมเส้นใยพลาสติกโลหะร้อยละ 1.0 ดังรูปที่ 3 พบว่า คอนกรีตที่ผสมเส้นใยพลาสติกโลหะที่มีความยาว 40 มม. สามารถรับกำลังอัดได้สูงกว่าคอนกรีตที่ผสมเส้นใยพลาสติกโลหะที่มีความยาว 20 มม. อาจเนื่องจากเส้นใยพลาสติกที่มีความยาวมากกว่า มีส่วนช่วยด้านการแตกร้าวของคอนกรีต และมีพื้นที่ยึดรั้งกับเนื้อคอนกรีตเพิ่มขึ้น จึงช่วยให้เกิดการกระจายแรงในเนื้อคอนกรีตได้ทั่วถึงมากขึ้น [13]

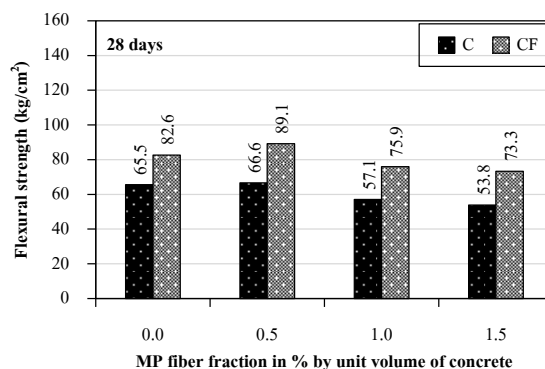
3.2 กำลังดัด

เมื่อพิจารณาผลกระทบของปริมาณเส้นใยพลาสติกโลหะความยาว 20 มม. ต่อกำลังดัดของคอนกรีตที่ใช้และไม่ใช้เส้นใย ดังรูปที่ 4 พบว่า คอนกรีตที่ผสมเส้นใยพลาสติกโลหะร้อยละ 0.5 มีกำลังดัดสูงกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมเส้นใย แต่เมื่อปริมาณเส้นใยพลาสติกโลหะเพิ่มขึ้น ทำให้ค่ากำลังดัดน้อยกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมเส้นใย โดยคอนกรีตที่ผสมเส้นใยพลาสติกโลหะร้อยละ 0.5 ให้ค่ากำลังดัดสูงที่สุดทุกอายุการบ่ม เนื่องจากเส้นใยพลาสติกโลหะช่วยกระจายแรงในเนื้อคอนกรีตและยึดรั้งภายในคอนกรีต ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Alyousef et al. [5] พบว่า การใช้ปริมาณเส้นใยพลาสติกโลหะร้อยละ 0.5 ส่งผลให้คอนกรีตมีกำลังดัดสูงที่สุด นอกจากนี้ การใช้เส้นใยรวมกับเส้นใยพลาสติกโลหะส่งผลให้คอนกรีตมีกำลังดัดสูงกว่าคอนกรีตที่ไม่ใช้เส้นใย เนื่องจาก การเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกของเส้นใยส่งผลให้คอนกรีตมีความสามารถในการรับกำลังเพิ่มมากขึ้น [5] โดยคอนกรีตที่ผสมเส้นใยรวมกับเส้นใยพลาสติกโลหะร้อยละ 0.5 มีกำลังดัดสูงที่สุด

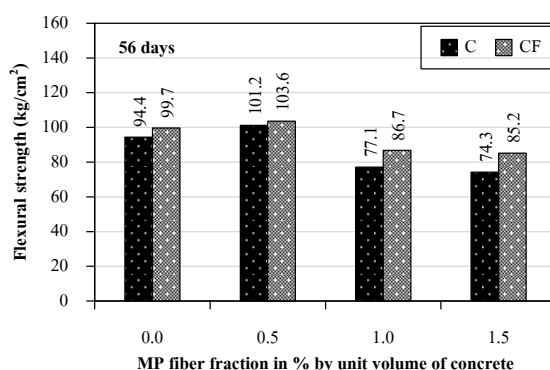
เมื่อพิจารณาผลกระทบของความยาวเส้นใยพลาสติกโลหะต่อกำลังดัดของคอนกรีตผสมเส้นใยพลาสติกโลหะร้อยละ 1.0 ดังรูปที่ 5 พบว่า คอนกรีตที่ผสมเส้นใยพลาสติกโลหะที่มีความยาว 40 มม. ให้ค่ากำลังดัดสูงกว่าคอนกรีตที่ผสมเส้นใยพลาสติกที่มีความยาว 20 มม. เนื่องจากกลไกการเชื่อมรอยแตกร้าว (Crack bridging mechanisms) ได้แก่ (1) การจัดวางและกระจายตัวของเส้นใย โดยเส้นใยที่มีความยาวมากขึ้นช่วยเพิ่มโอกาสที่เส้นใยจะเรียงตัวในทิศทางรับแรงดึงระหว่างการดัด โครงสร้าง การเรียงตัวนี้ทำให้เส้นใยสามารถยับยั้งและเชื่อมรอยแตกร้าวได้มากขึ้น (2) เส้นใยยาวมีพื้นที่ผิวสัมผัสสำหรับการยึดเกาะกับเนื้อคอนกรีตมากขึ้น ส่งผลให้การถ่ายโอนแรงดีขึ้น และลดความเสี่ยงที่เส้นใยจะถูกดึงออกขณะรับแรง [14]



(ก) ระยะเวลาบ่มน้ำ 7 วัน

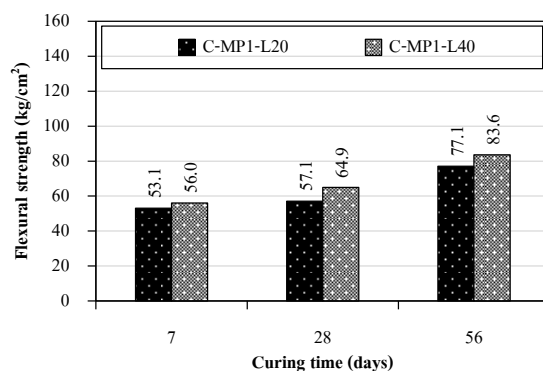


(ข) ระยะเวลาบ่มน้ำ 28 วัน



(ค) ระยะเวลาบ่มน้ำ 56 วัน

รูปที่ 4 ผลกระทบของปริมาณเส้นใยพลาสติกโลหะความยาว 20 มม. ต่อกำลังดัดของคอนกรีต



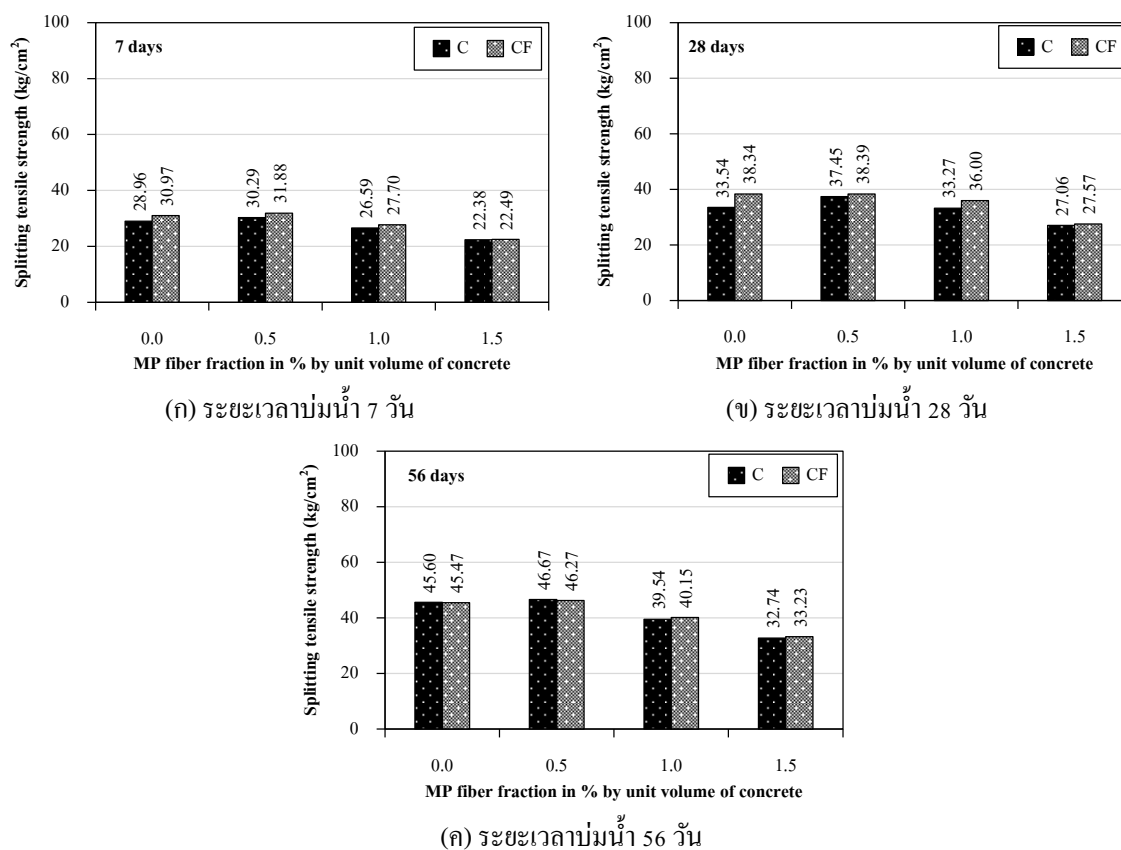
รูปที่ 5 ผลกระทบของความยาวเส้นใยพลาสติกโลหะต่อกำลังดัดของคอนกรีต

3.3 กำลังดึงแบบผ่าซีก

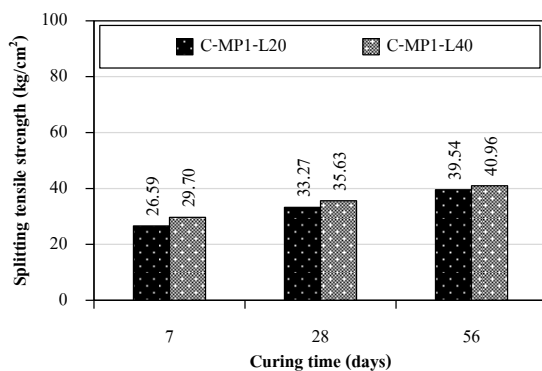
รูปที่ 6 แสดงผลกระทบของปริมาณเส้นใยพลาสติกโลหะความยาว 20 มม. พบว่า คอนกรีตที่ผสมเส้นใยพลาสติกโลหะร้อยละ 0.5 ให้กำลังดึงสูงกว่าคอนกรีตไม่ผสมเส้นใย แต่เมื่อคอนกรีตผสมเส้นใยพลาสติกโลหะเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 1.0 และ 1.5 กลับให้กำลังดึงน้อยกว่าคอนกรีตไม่ผสมเส้นใย เนื่องจากเกิดช่องว่างของอากาศในเนื้อคอนกรีต ทำให้กำลังของคอนกรีตลดลง [1] แต่การใส่เส้นใยพลาสติกโลหะสามารถลดขนาดรอยแตกร้าวในคอนกรีตได้ จึงทำให้คอนกรีตที่ผสมเส้นใย

พลาสติกโลหะร้อยละ 0.5 ให้กำลังดึงสูงสุด การใช้เส้นใยร่วมกับเส้นใยพลาสติกโลหะร้อยละ 0.5 ส่งผลให้คอนกรีตมีกำลังดึงสูงสุดเมื่อเทียบกับทุกส่วนผสมคอนกรีต

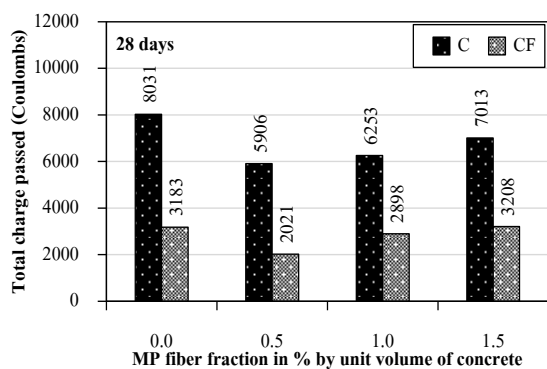
เมื่อพิจารณาผลกระทบของความยาวเส้นใยพลาสติกโลหะต่อกำลังดึงของคอนกรีตดังรูปที่ 7 พบว่า การใช้เส้นใยพลาสติกโลหะที่มีความยาว 40 มม. ทำให้คอนกรีตมีกำลังดึงสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้เส้นใยพลาสติกโลหะที่มีความยาว 20 มม. ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ มานัส พัดจันทร์หอม และ ทวีชัย สำราญวนิช [15] พบว่า ความยาวของเส้นใยอะรามิดเพิ่มขึ้นส่งผลให้คอนกรีตมีกำลังดึงสูงขึ้น เนื่องจากเส้นใยที่ยาวกว่ามีพื้นที่ผิวสัมผัสกับเนื้อคอนกรีตมากขึ้นส่งผลให้เกิดแรงยึดเกาะที่ดีขึ้น นอกจากนี้ เส้นใยยาวสามารถกระจายแรงดึงผ่านพื้นที่ที่กว้างขึ้น และมีส่วนช่วยรักษาความสามารถในการรับแรงหลังเกิดรอยแตกเร็วแรก (Post-crack performance) ได้ดีกว่า [14]



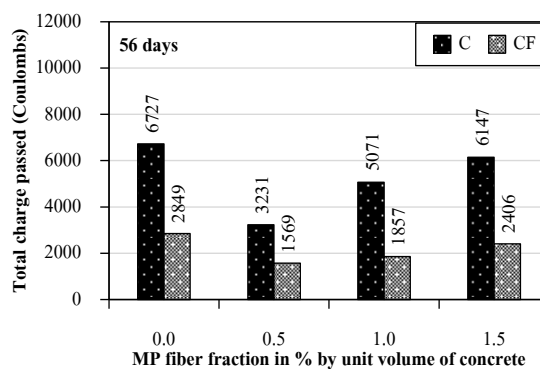
รูปที่ 6 ผลกระทบของปริมาณเส้นใยพลาสติกโลหะความยาว 20 มม. ต่อกำลังดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีต



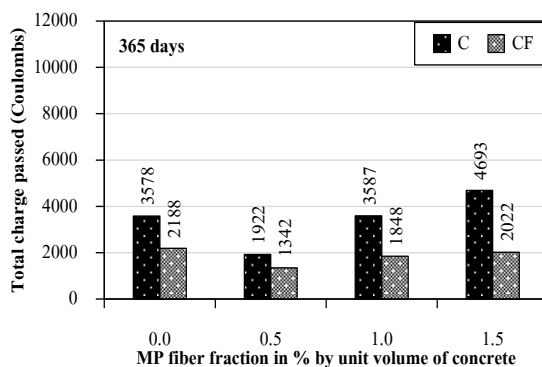
รูปที่ 7 ผลกระทบของความยาวเส้นใยพลาสติกโลหะต่อกำลังดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีต



(ก) ระยะเวลาบ่มน้ำ 28 วัน

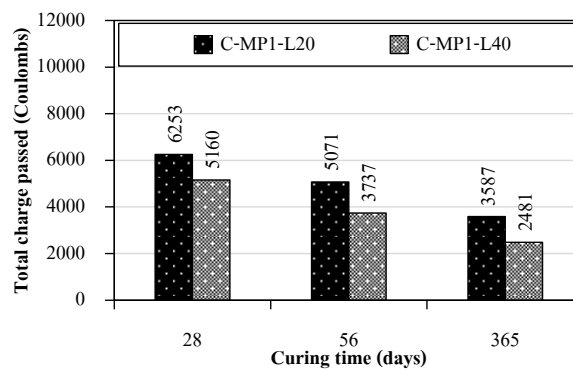


(ข) ระยะเวลาบ่มน้ำ 56 วัน



(ค) ระยะเวลาบ่มน้ำ 365 วัน

รูปที่ 8 ผลกระทบของปริมาณเส้นใยพลาสติกโลหะความยาว 20 มม. ต่อการแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่งของคอนกรีต



รูปที่ 9 ผลกระทบของความยาวเส้นใยพลาสติกโลหะต่อการแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่งของคอนกรีต

3.4 การแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่ง

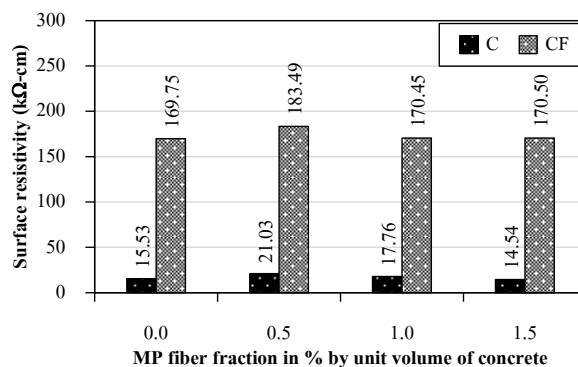
รูปที่ 8 แสดงผลกระทบของปริมาณเส้นใยพลาสติกโลหะความยาว 20 มม. ต่อการแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่งของคอนกรีต จากรูปพบว่า คอนกรีตที่ผสมเส้นใยพลาสติกโลหะร้อยละ 0.5 มีการแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่งต่ำที่สุด เนื่องจากเส้นใยพลาสติกโลหะช่วยในการยึดเกาะรอยแตกร้าว ซึ่งทำให้ลดการขยายตัวของรอยแตกร้าว และทำให้โพรงช่องว่างลดลง คลอไรด์จึงแทรกซึมเข้าไปในเนื้อคอนกรีตได้ยาก [3] แต่เมื่อใส่ปริมาณเส้นใยพลาสติกโลหะเพิ่มมากขึ้น กลับทำให้มีการแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่งมากขึ้นตามลำดับ ขณะที่การใช้เถ้าลอยมีส่วนช่วยลดการแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่งของคอนกรีต เนื่องจากเถ้าลอยสามารถเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกส่งผลให้เกิด CSH เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้อนุภาคขนาดเล็กของเถ้าลอยสามารถเติมเต็มโพรงช่องว่างของคอนกรีต จากปัจจัยดังกล่าวส่งผลให้คอนกรีตที่ใช้เถ้าลอยมีการแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่งต่ำกว่าคอนกรีตที่ไม่ใช้เถ้าลอย จากผลการทดสอบพบว่า คอนกรีตที่ใช้เถ้าลอยร่วมกับเส้นใยพลาสติกโลหะร้อยละ 0.5 มีการแทรกซึมคลอไรด์ต่ำที่สุด

เมื่อพิจารณาผลกระทบของความยาวของเส้นใยพลาสติกโลหะ พบว่า คอนกรีตที่ใช้เส้นใยพลาสติกโลหะยาว 40 มม. มีการแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่งต่ำกว่าคอนกรีตที่ใช้เส้นใยพลาสติกโลหะยาว 20 มม. ดังรูปที่ 9 เนื่องจากเส้นใยพลาสติกโลหะที่มีความยาว 40 มม. ทำให้มีแรงยึดเหนี่ยวในเนื้อคอนกรีตได้มากกว่า โพรงช่องว่างลดลง ซึ่งทำให้คลอไรด์แทรกซึมเข้าไปในเนื้อคอนกรีตได้ยากขึ้น [3]

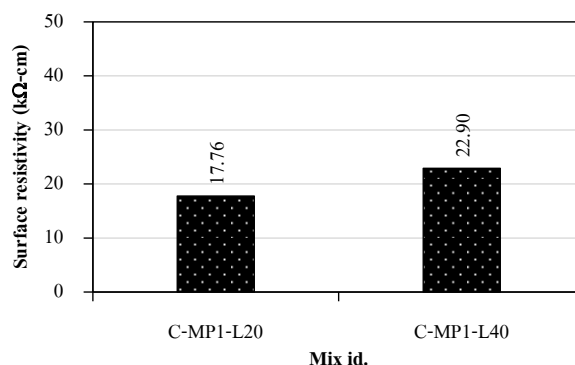
3.5 ความต้านทานไฟฟ้าที่ผิว

จากรูปที่ 10 พบว่า คอนกรีตที่ผสมเส้นใยพลาสติกโลหะที่ร้อยละ 0.5 มีค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวสูงที่สุด เนื่องจากคอนกรีตที่ผสมเส้นใยพลาสติกโลหะที่ร้อยละ 0.5 ช่วยเติมเต็มโพรงช่องว่างทำให้โพรงช่องว่างมีขนาดเล็กลง มีความทึบน้ำมากขึ้น ซึ่งทำให้การไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าเข้าไปในคอนกรีตได้ยากขึ้น [3] ซึ่งคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยและผสมเส้นใยพลาสติกโลหะร้อยละ 0.5 มีค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวสูงที่สุด เนื่องจากเถ้าลอยไปทำปฏิกิริยาปอซโซลานิกกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ ทำให้เกิดสารเชื่อมประสานมากขึ้น จึงทำให้เนื้อของคอนกรีตแน่นขึ้น โพรงช่องว่างลดลง ซึ่งทำให้การไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าเข้าไปในเนื้อคอนกรีตนั้นทำได้ยากขึ้น

เมื่อพิจารณาผลกระทบของความยาวของเส้นใยพลาสติกโลหะ พบว่า คอนกรีตที่ผสมเส้นใยพลาสติกโลหะที่มีความยาว 40 มม. มีค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวมากกว่าคอนกรีตที่ผสมเส้นใยพลาสติกโลหะที่มีความยาว 20 มม. ดังรูปที่ 11



รูปที่ 10 ผลกระทบของปริมาณเส้นใยพลาสติกโลหะความยาว 20 มม. ต่อความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวของคอนกรีต



รูปที่ 11 ผลกระทบของความยาวเส้นใยพลาสติกโลหะต่อความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวของคอนกรีต

4. สรุปผล

จากผลการศึกษาผลกระทบของเส้นใยพลาสติกโลหะต่อกำลังอัด กำลังดัด กำลังดึงแบบผ่าซีก การแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่งและความต้านทานไฟฟ้าที่ผิว สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. คอนกรีตที่ผสมเส้นใยพลาสติกโลหะร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 โดยปริมาตรของคอนกรีตมีค่ากำลังอัดที่ต่ำกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมเส้นใยพลาสติกโลหะ และหากใช้ปริมาณเส้นใยพลาสติกโลหะเท่ากันที่ร้อยละ 1 คอนกรีตที่ใช้เส้นใยพลาสติกโลหะยาว 40 มม. มีกำลังอัดมากกว่าคอนกรีตที่ใช้เส้นใยพลาสติกโลหะยาว 20 มม.
2. คอนกรีตผสมเส้นใยพลาสติกโลหะร้อยละ 0.5 โดยปริมาตรของคอนกรีตมีค่ากำลังดัดและกำลังดึงแบบผ่าซีกสูงกว่าคอนกรีตไม่ผสมเส้นใยพลาสติกโลหะ โดยคอนกรีตผสมเส้นใยพลาสติกโลหะร้อยละ 0.5 ร่วมกับเกล็ดลอยร้อยละ 30 ให้ค่ากำลังดัดและกำลังดึงแบบผ่าซีกสูงสุด และหากใช้ปริมาณเส้นใยพลาสติกโลหะเท่ากันที่ร้อยละ 1 คอนกรีตที่ใช้เส้นใยพลาสติกโลหะยาว 40 มม. ให้ค่ากำลังดัดและกำลังดึงแบบผ่าซีกมากกว่าคอนกรีตที่ใช้เส้นใยพลาสติกโลหะยาว 20 มม.
3. คอนกรีตที่ผสมเส้นใยพลาสติกโลหะร้อยละ 0.5 ให้ค่าความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่งและความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวสูงกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมเส้นใยพลาสติกโลหะ โดยคอนกรีตมีความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่งและความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวลดลงตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณเส้นใยพลาสติกโลหะ โดยคอนกรีตที่ผสมเส้นใยพลาสติกโลหะร้อยละ 0.5 และผสมเกล็ดลอยร้อยละ 30 ให้ค่าความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่งและความต้านทานไฟฟ้าที่ผิวสูงที่สุดเมื่อเทียบกับทุก

ส่วนผสมคอนกรีต และหากใช้ปริมาณเส้นใยพลาสติกโลหะเท่ากันที่ร้อยละ 1 คอนกรีตที่ใช้เส้นใยพลาสติกโลหะยาว 40 มม. มีความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์แบบแรงและความต้านทานไฟฟ้าที่สูงกว่าคอนกรีตที่ใช้เส้นใยพลาสติกโลหะยาว 20 มม.

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนการวิจัย จากมหาวิทยาลัยบูรพา “งบประมาณเงินอุดหนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประเภท Fundamental Fund ปีงบประมาณ พ.ศ.2566” เลขที่สัญญา วน 28.2/2566 และขอขอบคุณหน่วยวิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษาบูรพา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้การสนับสนุนการศึกษานี้ และขอขอบคุณนางสาวกนกวรรณ ทองพวง นางสาวนุชกานต์ แก้วแก่นฟ้า และนายชนกร เอี่ยมจำรัส บัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ร่วมดำเนินการทดลองในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Kennouche, S., Brahim, H., Abdelli, H.E., Aguiar, J.L.B. and Jesus, C. Plastic waste for the enhancement of concrete properties -A review. *Jordan Journal of Earth and Environmental Sciences*, 2022, 13(4), pp. 263-270.
- [2] Bhogayata, A.C. and Arora, N.K. Fresh and strength properties of concrete reinforced with metalized plastic waste fibers. *Construction and Building Materials*, 2017, 146(2017), pp. 455-463.
- [3] Bhogayata, A.C. and Arora, N.K. Impact strength, permeability and chemical resistance of concrete reinforced with metalized plastic waste fibers. *Construction and Building Materials*, 2018, 161(2018), pp. 254-266.
- [4] Shater, M., Akbaridoost, J., Asadollahfardi, G., Salehi, A.M. and Fazeli, R. Effect of treated industrial wastewater and metalized plastic waste fiber on workability, mechanical properties and durability of self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 2025, 470(2025), 140586.
- [5] Alyousef, R., Mohammadhosseini, H., Tahir, M.Md. and Alabduljabbar, H. Green concrete composites production comprising metalized plastic waste fibers and palm oil fuel ash. *Materials Today: Proceedings*, 2021, 39(2021), pp. 911-916.
- [6] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มอก. 2594-2556: 2556. ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400.
- [7] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มอก. 2135-2545: 2546. วัสดุจากถ่านหินใช้เป็นวัสดุผสมคอนกรีต. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400
- [8] British Standard. BS EN 12390-3: 2019. *Testing of hardened concrete, part 3: compressive strength of test specimens*. British Standards Institution. British Standards Institute, UK.
- [9] ASTM International. ASTM C78/C78M-22: 2022. *Standard test method for flexural strength of concrete (using simple beam with third-point loading)*. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- [10] ASTM International. ASTM C496/C496M-17: 2017. *Standard test method for splitting tensile strength of cylindrical concrete specimens*. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- [11] ASTM International. ASTM C1202-22: 2022. *Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration*. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.

- [12] American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO T358-21: 2021 . *Standard method of test for surface resistivity indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration*. American Association of State Highway and Transportation Officials, 444 North Capitol Street N.W., Suite 249, Washington, D.C.
- [13] Ganesan, N., Indira, P.V. and Sabeena, M.V. Bond stress slip response of bars embedded in hybrid fibre reinforced high performance concrete. *Construction and Building Materials*, 2014, 50(2014), pp. 108-115.
- [14] Medeghini, F., Guhathakurta, J., Tiberti, G., Simon, S., Plizzari, G. A. and Mark, P. Steered fiber orientation: correlating orientation and residual tensile strength parameters of SFRC. *Materials and Structures*, 2022, 55. <https://doi.org/10.1617/s11527-022-02082-9>
- [15] มานัส พัดจันทร์หอม และ ทวีชัย สำราญวานิช. ความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ ความต้านทานไฟฟ้าและสมบัติเชิงกลของคอนกรีตผสมเส้นใยอะรามิด. *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์*, 2564, 32(3). หน้า 51-62.