



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

ผลกระทบของปริมาณเส้นใย ค่าการไหลแผ่และตำแหน่งเทคอนกรีตต่อกำลังรับแรงดัดของคานคอนกรีตไหลได้เสริมเส้นใยโพลิโพรพิลีน

Effects of fiber content, slump flow, and casting position on flexural strength of polypropylene fiber-reinforced self-compacting concrete beams

พรเพ็ญ ลิ้มปนิลชาติ¹ พอจันท์ ตฤณพิงษ์สวัสดิ์² อีริศรา อินทร์ชู² เมธัส ริมสมุทไชย²

สหฤทัย กิจจานุรักษ์² พลพันธ์ เศรษฐพิทยากุล² อนูวัฒน์ อรรถไชยวุฒิ^{2*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหิดล, จ.นครปฐม 73170

² กลุ่มวิจัยนวัตกรรมโครงสร้างพื้นฐานและการจัดการก่อสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จ.ชลบุรี 20230

Pornpen Limpaninlachai¹ Porjan Tuttipongsawat² Teerisara Innchou² Mathas Rimsamudchai²
Saharuethai Kitchanurak² Ponpan Setpittayakul² Anuwat Attachaiyawuth^{2*}

¹ Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University, Nakorn Pathom 73170

² The Innovation in Infrastructure and Construction Management Research Group, IICM, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus 20230

* Corresponding author.

E-mail: anuwat@eng.src.ku.ac.th; Telephone: 0 94489 9639

วันที่รับบทความ 28 กุมภาพันธ์ 2565; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 4 กรกฎาคม 2565; วันที่ตอบรับบทความ 30 กรกฎาคม 2565

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อกำลังรับแรงอัดและแรงดัดของคานคอนกรีตไหลได้เสริมเส้นใยโพลิโพรพิลีน คือปริมาณเส้นใย 0-2 กก/ม³ และค่าการไหลแผ่โดยแบ่งเป็นค่าการไหลแผ่น้อยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 450-550 มม. และค่าการไหลแผ่มาตรฐานที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 600-700 มม. อีกปัจจัยที่ศึกษาคือตำแหน่งการเทคอนกรีตโดยเทคอนกรีต 2 ตำแหน่งคือเทบริเวณกลางคานและริมคาน ทดสอบกำลังรับแรงอัดและแรงดัดตามมาตรฐาน ASTM C39 และ ASTM C1609 ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่ากำลังรับแรงอัดมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยประมาณร้อยละ 5 เมื่อมีปริมาณเส้นใย 1 กก/ม³ เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีเส้นใย แต่มีค่าลดลงประมาณร้อยละ 20 เมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นเป็น 2 กก/ม³ กำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 40 และเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 220 เมื่อมีปริมาณเส้นใย 1 และ 2 กก/ม³ ตามลำดับ การเทคอนกรีตกึ่งกลางคานหรือริมคานและค่าการไหลแผ่มากหรือน้อยไม่ส่งผลอย่างมีนัยยะสำคัญต่อกำลังรับแรงดัดของคานคอนกรีตที่มีปริมาณเส้นใย 1 กก/ม³ แต่จะส่งผลมากเมื่อมีปริมาณเส้นใยมากถึง 2 กก/ม³ ผลการวิจัยนี้สามารถนำไปเป็นข้อมูลประกอบการใช้งานคอนกรีตไหลได้เสริมเส้นใยโพลิโพรพิลีนให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการเตรียมองค์อาคารในการรับแรงดัดต่อไป

คำสำคัญ

ค่าการไหลแผ่ คอนกรีตไหลได้ คอนกรีตเสริมเส้นใย เส้นใยโพลิโพรพิลีน กำลังรับแรงดัด

Abstract

This article presents effects of factors affecting compressive strength and flexural strength of polypropylene fiber-reinforced self-compacting concrete. The studied factors were fiber content of 0-2 kg/m³, and slump flow with small

value of 450-550 mm and standard value of 600-700 mm. Another one factor was casting position which was conducted at the center and the edge of beams. The compressive strength test and flexural test were in accordance with ASTM C39 and ASTM C1609, respectively. The results showed that the compressive strength slightly increased approximately of 5% by increasing fiber content of 1 kg/m^3 , compared to the specimen without fiber. On the other hand, it decreased approximately of 20% by increasing fiber content to 2 kg/m^3 . The flexural strength obviously increased approximately 40% and up to 220% by adding fiber content of 1 and 2 kg/m^3 , respectively. The casting position and slump flow value had no significant impacts on flexural strength of concrete with 1 kg/m^3 fiber content. However, there was significant impacts on concrete with 2 kg/m^3 . This research can be used as additional data to maximize the benefits of polypropylene fiber-reinforced self-compacting concrete as flexural members.

Keywords

slump flow, self-compacting concrete, fiber-reinforced concrete, polypropylene fiber, flexural strength

1. คำนำ

การพัฒนาเทคโนโลยีคอนกรีตเพื่อตอบสนองความท้าทาย การก่อสร้างที่ทันสมัยนั้นมาอย่างต่อเนื่องในหลายๆด้าน เช่น การพัฒนาคอนกรีตพิเศษที่สามารถไหลเข้าแบบด้วยน้ำหนัก ของตัวเอง (Self-compacting concrete, SCC) เพื่อช่วยให้ ทำงานง่ายขึ้น อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความทนทานของโครงสร้าง [1-9] การพัฒนาสมบัติของคอนกรีตด้านความทนทานถูกให้ ความสนใจมากในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา [10-14] ซึ่งมีการวิจัยทั้ง การพัฒนาส่วนผสมหรือการใช้วัสดุที่มีสมบัติเพิ่มความทนทาน ช่วยให้โครงสร้างมีอายุการใช้งานมากขึ้น [15-19] อย่างไรก็ตาม โครงสร้างคอนกรีตนั้นจำเป็นต้องใช้ร่วมกับเหล็กเสริมเพื่อ ช่วยต้านทานแรงดึงและแรงเฉือนจากน้ำหนักกระทำซึ่งเหล็ก เสริมเองเป็นเหมือนจุดอ่อนที่ทำให้โครงสร้างเกิดความเสียหาย จากการเกิดสนิมได้หากองค์อาคารอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เอื้อ ต่อการเกิดสนิมเช่น สัมผัสความชื้นโดยตรง องค์อาคารตั้งอยู่ ใกล้กับพื้นที่ใกล้ทะเลซึ่งอาจมีการซึมผ่านของอนุภาคคลอไรด์ ได้ง่าย เป็นต้น ด้วยเหตุนี้จึงมีงานวิจัยศึกษาการใช้วัสดุที่ไม่เกิด สนิมและสามารถต้านแรงดึงและแรงเฉือนได้ดีเมื่อใช้ร่วมกับ คอนกรีตคือวัสดุประเภทพลาสติก [20-25] วัสดุที่นิยมใช้ สำหรับเพิ่มสมรรถนะของโครงสร้างคอนกรีตด้านกำลังรับแรง ดัดและแรงเฉือนคือเส้นใยประเภทต่างๆ [20,24,25-27] โดย เส้นใยที่ไม่เป็นสนิมคือเส้นโพลิโพรพิลีน (Polypropylene fiber, PP) ซึ่งมีน้ำหนักเบาแต่มีกำลังรับแรงดึงได้ดีมาก [20-23] มีการศึกษาการใช้เส้นใยชนิดนี้อย่างกว้างขวาง พบว่าเส้น ใยช่วยให้คอนกรีตมีกำลังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญทั้งกำลังรับ แรงดัดและกำลังรับแรงเฉือน [20-22, 24] อย่างไรก็ตามการใช้

เส้นใยในงานคอนกรีตยังไม่เป็นที่นิยมมากเนื่องจากการ กระจายตัวของเส้นใยในคอนกรีตนั้นมีความไม่แน่นอนสูงซึ่ง อาจส่งผลให้มีสมบัติทางกลไม่ตรงตามวัตถุประสงค์ของวิศวกร ผู้ออกแบบ

คณะผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการใช้เส้นใยโพลิโพรพิลีนใน คอนกรีตไหลได้เพื่อเป็นข้อมูลเพิ่มเติมในการใช้งานคอนกรีต ประเภทนี้โดยศึกษาปริมาณเส้นใยที่ใช้ ค่าการไหลแผ่และ ตำแหน่งการเทคอนกรีต มีวัตถุประสงค์เพื่อให้การใช้งาน คอนกรีตประเภทนี้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้วัสดุหลักที่สามารถจัดหาได้ทั่วไปในประเทศไทย มีเพียงเส้นใยโพลิโพรพิลีนที่สั่งซื้อจากผู้แทนจำหน่ายที่ นำเข้าจากต่างประเทศ ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยแสดง ดังรูปที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐานที่ เป็นที่ยอมรับทั้งการทดสอบสมบัติที่สภาวะสดและสมบัติทาง กลของคอนกรีต วิธีการวิจัยไม่ซับซ้อนสามารถทำการวิจัยซ้ำ เพื่อต่อยอดงานจากผลการวิจัยนี้ได้ง่าย



รูปที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยโพลิโพรพิลีน

2.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุที่ใช้ในการวิจัยและสมบัติของวัสดุแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติของวัสดุใช้ในการวิจัย

วัสดุ	สมบัติ
ปูนซีเมนต์	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐาน มอก. เล่ม 2555-15
น้ำ	น้ำประปาทั่วไป
สารลดน้ำพิเศษ	สารผสมเพิ่มประเภท F Polycarboxylic base ความถ่วงจำเพาะ 02.1
มวลรวมละเอียด	ทรายแม่น้ำความถ่วงจำเพาะ 62.2, ขนาดร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4, ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 1.22
เส้นใยโพลิโพรพิลีน	ความยาว 55 มม เส้นผ่านศูนย์กลาง 85.0 มม กำลังรับแรงดึงไม่น้อยกว่า เมกะปาสคาล 250 905 และมีความหนาแน่นเท่ากับกก/ม ³

2.2 ส่วนผสมคอนกรีต

อัตราส่วนผสมคอนกรีตมีกำลังอัดเป้าหมายอยู่ในช่วง 400-500 กก/ซม² โดยอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) มีค่าร้อยละ 45 โดยไม่มีหินเป็นส่วนผสมเนื่องจากต้องการให้เส้นใยเคลื่อนตัวได้สะดวกระหว่างการไหลเข้าแบบหล่อ ไม่ถูกกีดขวางการเคลื่อนตัวเนื่องจากหินในส่วนผสม [25] ปริมาณเส้นใยที่ศึกษาคือ 0 1 และ 2 กก/ม³ เนื่องจากเส้นใยโพลิโพรพิลีนที่ใช้มีความยาว 55 มม หากใส่ปริมาณมากเกินไปอาจทำให้ค่าการไหลแผ่มีค่าต่ำกว่าที่วางแผนไว้ [25] ปริมาณสารลดน้ำพิเศษที่ใช้ขึ้นอยู่กับแต่ละส่วนผสมโดยการลองผิดลองถูกเพื่อให้ได้ค่าการไหลแผ่ตามต้องการ เนื่องจากค่าการไหลแผ่ที่ศึกษามีคือ 450-550 มม และ 600-750 มม ปริมาณสารลดน้ำพิเศษที่ใช้จะแตกต่างกัน อัตราส่วนสารลดน้ำพิเศษต่อปูนซีเมนต์อยู่ในช่วงร้อยละ 0.3-0.5 อัตราส่วนผสมคอนกรีตต่อ 1 ม³ แสดงดังตารางที่ 2 และปัจจัยที่ศึกษาของแต่ละตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 3 ส่วนผสมทั้งหมดมีจำนวน 9 ตัวอย่าง ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงอัดตามที่กล่าวข้างต้น

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมคอนกรีตต่อ 1 ม³ ออกแบบตามส่วนผสมคอนกรีตไหลได้ที่เสนอโดยศาสตราจารย์ Okamura [1]

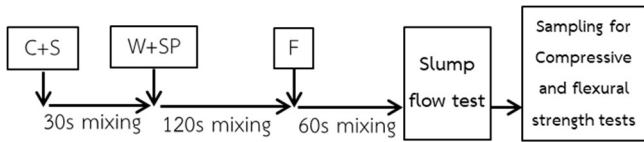
ปูนซีเมนต์ (กก)	ทราย (กก)	น้ำ (กก)	สารลดน้ำพิเศษ (กก)	เส้นใย โพลิโพรพิลีน (กก)
650	1300	293	1.95-3.25	2 , 1 , 0

ตารางที่ 3 ปัจจัยที่ศึกษาของแต่ละตัวอย่าง

ชื่อ ตัวอย่าง	ปริมาณเส้นใย (กก/ม ³)	ค่าการไหลแผ่ (มม)	ตำแหน่งการเท
0-L-C	0	750-600 (L)	กลางคาน (C)
1-S-C	1	450-550 (S)	กลางคาน (C)
1-S-E	1	450-550 (S)	ริมคาน (E)
1-L-C	1	750-600 (L)	กลางคาน (C)
1-L-E	1	750-600 (L)	ริมคาน (E)
2-S-C	2	450-550 (S)	กลางคาน (C)
2-S-E	2	450-550 (S)	ริมคาน (E)
2-L-C	2	750-600 (L)	กลางคาน (C)
2-L-E	2	750-600 (L)	ริมคาน (E)

2.3 ขั้นตอนผสมคอนกรีต

ปริมาตรคอนกรีตในการผสมแต่ละครั้งมีค่าประมาณ 35 ลิตร เพียงพอสำหรับทดสอบค่าการไหลแผ่ เก็บตัวอย่างสำหรับทดสอบกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัด ผสมด้วยเครื่องผสมคอนกรีตแบบแรงเหวี่ยงขนาด 50 ลิตร การผสมคอนกรีตเริ่มจากผสมปูนซีเมนต์ร่วมกับทราย เติมน้ำเครื่องผสมเป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นเติมน้ำที่ผสมกับสารลดน้ำพิเศษไว้แล้วลงไป และผสมต่อเป็นเวลา 120 วินาทีเพื่อให้ส่วนผสมเข้ากันและเป็นคอนกรีตไหลได้ จากนั้นใส่เส้นใยโพลิโพรพิลีนลงและผสมต่ออีก 60 วินาที คอนกรีตทั้งหมดถูกเทลงในกระบะเพื่อนำไปทดสอบค่าการไหลแผ่ แล้วจึงเก็บตัวอย่างสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัดต่อไป ขั้นตอนการผสมคอนกรีตแสดงดังรูปที่ 2

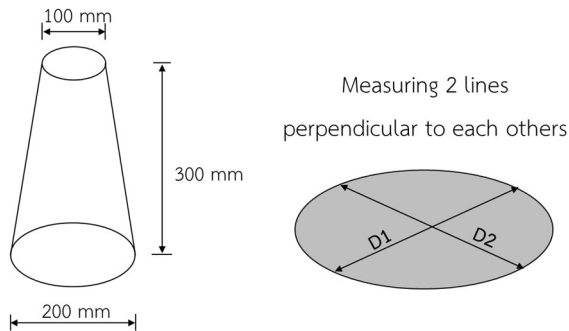


C คือ ปูนซีเมนต์ S คือ หิน W คือ น้ำ SP คือ สารลดน้ำพิเศษ และ F คือ เส้นใยโพลีโพรพิลีน

รูปที่ 2 ขั้นตอนการผสมคอนกรีต

2.4 การทดสอบสมบัติการไหลของคอนกรีต

ความสามารถในการไหลของคอนกรีตไหลได้สามารถประเมินได้โดยการวัดค่าการไหล (Slump flow) ขนาดโคนมาตรฐานที่ใช้เป็นขนาดเดียวกับที่ใช้วัดค่าการยุบตัวสำหรับคอนกรีตธรรมดา คอนกรีตจะถูกใส่จนเต็มโคนมาตรฐานโดยไม่มีการทำให้แน่นแต่อย่างใด จากนั้นตักโคนขึ้นช้าๆปล่อยให้คอนกรีตไหลจนหยุดนิ่งจึงวัดค่าการไหล 2 ด้านตั้งฉากกันแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเป็นค่าการไหลเฉลี่ยของส่วนผสมนั้นๆ ขนาดโคนมาตรฐานและการวัดค่าการไหลแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขนาดโคนมาตรฐานและการวัดค่าการไหล

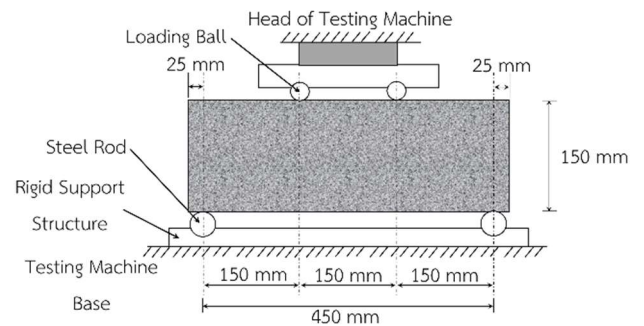
2.5 การทดสอบกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัดของคอนกรีต

2.5.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

เมื่อคอนกรีตถูกทดสอบค่าการไหลแล้ว คอนกรีตบางส่วนถูกแบ่งไปเตรียมตัวอย่างสำหรับทดสอบกำลังรับแรงอัดโดยเก็บตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม และสูง 200 มม จำนวน 6 ตัวอย่างต่อหนึ่งส่วนผสมเพื่อทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 3 และ 28 วัน แบบหล่อห่อเก็บตัวอย่าง 24 ชม จากนั้นนำไปบ่มโดยการแช่น้ำจนได้อายุทดสอบ การทดสอบไปตามมาตรฐาน ASTM C39 [27]

2.5.2 การทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีต

ตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้สำหรับทดสอบกำลังรับแรงดัดมีขนาดหน้าตัด 150 มม x 150 มม มีความยาวช่วงเท่ากับ 500 มม มีการหล่อตัวอย่าง 2 รูปแบบโดยการเทที่แตกต่างกันคือเทจากกึ่งกลางคานและเทจากริมคาน การเททั้ง 2 แบบเป็นการเทจุดเดียวแล้วปล่อยให้คอนกรีตไหลจนเต็มแบบหล่อ การทดสอบกำลังรับแรงดัดเป็นการทดสอบแบบ Third-points bending test โดยมีระยะของแรงกระทำเท่ากับ 1 ใน 3 ของความยาวช่วง (L/3 of span) การทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C1609 [28] โดยให้น้ำหนักกระทำแบบควบคุมการโก่งตัว (Deflection control) แบ่งเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงที่ 1 ระยะโก่งตัวน้อยกว่าความยาวช่วงหาร 900 (L/900) ให้ความเร็วน้ำหนักกระทำ 0.035-0.1 มม/นาที และช่วงที่ 2 ระยะโก่งตัวมากกว่าความยาวช่วงหาร 900 (L/900) ให้ความเร็วน้ำหนักกระทำ 0.05-0.3 มม/นาที ลักษณะการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ขนาดคานและตำแหน่งให้แรงที่ใช้ทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C1609

เมื่อตัวอย่างคานคอนกรีตถูกทดสอบจนวิบัติแล้ว กำลังรับแรงดัดสูงสุดของคอนกรีตสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (1)

$$f_b = \frac{PL}{bd^2} \quad (1)$$

โดย f_b คือกำลังรับแรงดัดของคอนกรีต หน่วยเป็น กก/ซม²

P คือน้ำหนักกระทำสูงสุด หน่วยเป็น กก

L คือความยาวช่วง หน่วยเป็น ซม

b คือความกว้างของตัวอย่าง หน่วยเป็น ซม

d คือความสูงของตัวอย่าง หน่วยเป็น ซม

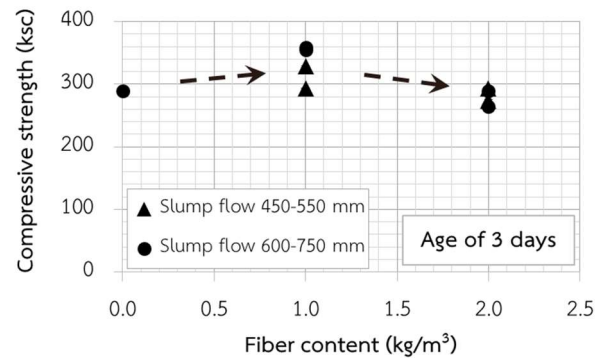
3. ผลการทดลอง

จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตได้ผสมเส้นใยโพลิโพรพิลีนที่มีส่วนผสม สมบัติการไหล และตำแหน่งการเทแตกต่างกัน สามารถวิเคราะห์ผลการทดสอบได้ดังนี้

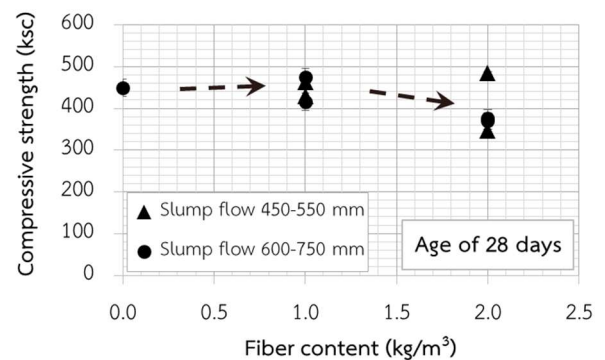
3.1 ผลกระทบของปริมาณเส้นใยโพลิโพรพิลีนต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่อายุ 3 วัน และ 28 วัน แสดงดังรูปที่ 5 a) และ b) ตามลำดับ พบว่าปริมาณเส้นใยโพลิโพรพิลีนส่งผลไม่แน่นอนต่อกำลังรับแรงอัดโดยอาจมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงประมาณร้อยละ 23 เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยเท่ากับ 1-2 กก/ม³ ตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีเส้นใยมีกำลังรับแรงอัดที่อายุ 3 วัน และ 28 วัน เท่ากับ 289.9 และ 448.9 กก/ซม² ตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลการทดสอบที่อายุ 3 วัน (รูปที่ 5 a)) พบว่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 293.8-358.4 กก/ซม² เมื่อใส่เส้นใยโพลิโพรพิลีน 1 กก/ม³ แต่ในทางตรงกันข้ามกำลังอัดมีค่าลดลงอยู่ในช่วง 264.9-293.0 กก/ซม² เมื่อใส่เส้นใยโพลิโพรพิลีน 2 กก/ม³ พบว่าตัวอย่างที่มีเส้นใย 1 กก/ม³ และมีการไหลแผ่สูง (600-750 มม) มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าตัวอย่างที่มีค่าการไหลแผ่ไม่ดี (450-550 มม) ประมาณร้อยละ 15 ในขณะที่ตัวอย่างมีเส้นใย 2 กก/ม³ ไม่พบว่ามีกำลังรับแรงอัดแตกต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญเมื่อมีการไหลแผ่แตกต่างกัน เมื่อพิจารณาผลการทดสอบที่อายุ 28 วันพบว่ามีแนวโน้มคล้ายกันคือกำลังมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยมากขึ้น โดยเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยเท่ากับ 1 กก/ม³ กำลังอัดมีค่าอยู่ในช่วง 415.3-475.8 กก/ซม² และเมื่อใส่เส้นใยโพลิโพรพิลีน 2 กก/ม³ กำลังอัดมีค่าอยู่ในช่วง 347.0-484.3 กก/ซม² โดยค่าการไหลแผ่ที่แตกต่างกันส่งผลไม่แน่นอนต่อกำลังรับแรงอัด มีเพียงตัวอย่างเดียวที่มีกำลังรับแรงอัดมากกว่าตัวอย่างควบคุมคือตัวอย่างที่มีค่าการไหลแผ่ 450-550 มม และนำไปเทคนที่ตำแหน่งริมคาน ซึ่งมีค่ามากกว่าร้อยละ 7.9 แนวโน้มของกำลังรับแรงอัดค่อนข้างชัดเจนว่ามีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยเท่ากับ 2 กก/ม³ อาจมีสาเหตุจากการกระจุกตัวของเส้นใยที่มากเกินไปเนื่องจากเส้นใยโพลิโพรพิลีนเป็นวัสดุประเภทพลาสติกทำให้เกิดแรงยึดเกาะน้อยเมื่อเทียบกับเส้นใยเหล็ก ซึ่งสอดคล้องผลการวิจัยที่ผ่านมา [20-22]

ดังนั้นการใช้เส้นใยประเภทนี้ปริมาณ 2 กก/ม³ วิศวกรต้องให้ความสำคัญต่อกำลังรับแรงอัดมากเป็นพิเศษ



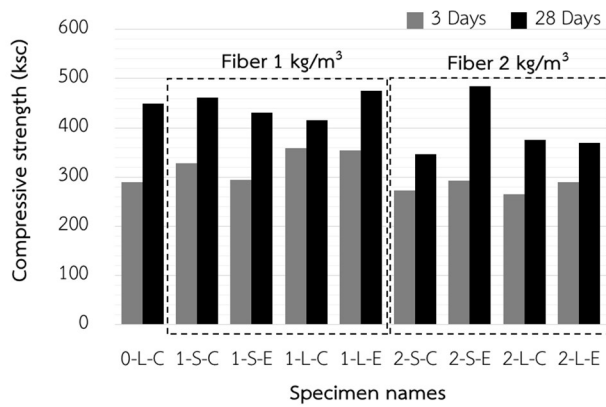
a) กำลังรับแรงอัดเมื่อตัวอย่างมีอายุ 3 วัน



b) กำลังรับแรงอัดเมื่อตัวอย่างมีอายุ 28 วัน

รูปที่ 5 ปริมาณเส้นใยโพลิโพรพิลีนต่อกำลังรับแรงอัด

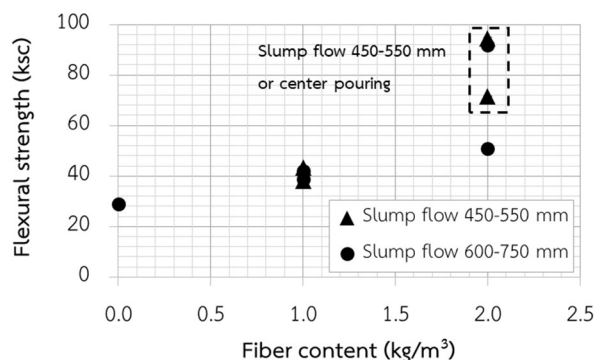
การพัฒนากำลังรับแรงอัดในช่วงอายุ 3 และ 28 วัน ของทุกตัวอย่างคอนกรีตแสดงดังรูปที่ 6 ตัวอย่างควบคุมมีกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นร้อยละ 55 ขณะที่ตัวอย่างที่มีปริมาณเส้นใยโพลิโพรพิลีนปริมาณ 1 และ 2 กก/ม³ มีค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นร้อยละ 16-46 และ 27-65 ตามลำดับ มีตัวอย่างคอนกรีตผสมเส้นใยเพียงตัวเดียวที่มีร้อยละการพัฒนากำลังรับแรงอัดมากกว่าตัวอย่างควบคุม ได้แก่ตัวอย่าง 2-S-E ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นร้อยละ 65 ซึ่งการพัฒนากำลังอัดที่ลดลงจากการมีเส้นใยประเภทนี้เป็นส่วนผสมอาจเกิดจากความต่อเนื่องของซีเมนต์เพสต์ที่ลดลงจากการมีเส้นใยแทรกในตัวอย่างทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันถูกรบกวนบางส่วน [24]



รูปที่ 6 การพัฒนากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต 3-28 วัน

3.2 ผลกระทบของปริมาณเส้นใยโพลิโพรพิลีนต่อกำลังรับแรงดัดของคอนกรีต

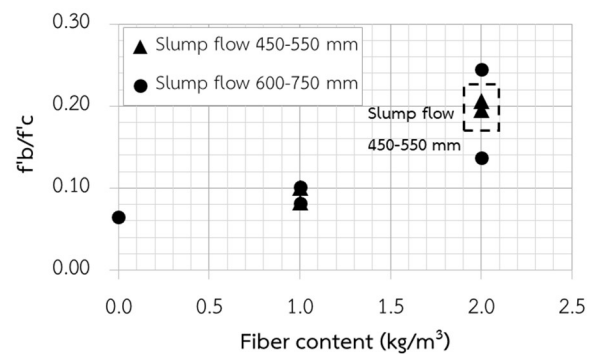
กำลังรับแรงดัดของตัวอย่างควบคุมที่อายุ 28 วัน มีค่าเท่ากับ 28.96 กก/ซม² และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยในส่วนผสม แสดงดังรูปที่ 7 กำลังรับแรงดัดมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 40 เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยเท่ากับ 1 กก/ม³ และมีค่าเพิ่มขึ้นถึงประมาณร้อยละ 160-220 หรือประมาณ 1.6-2.2 เท่า เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยเป็น 2 กก/ม³ เนื่องจากเส้นใยมีสมบัติต้านทานแรงดึงและแรงเฉือนได้ดี อีกทั้งยังช่วยยึดรั้งการเกิดรอยร้าวได้อีกทางหนึ่ง ทำให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้นมากซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [20-26]



รูปที่ 7 กำลังรับแรงดัดของคอนกรีต

ในทางทฤษฎีสำหรับคอนกรีตทั่วไปนั้นกำลังรับแรงดัดขึ้นอยู่กับกำลังรับแรงอัดโดยตรง ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างกำลัง

รับแรงดัดต่อกำลังรับแรงอัด (f'_b/f'_c) จึงถูกพิจารณาเพื่อกำจัดความแตกต่างระหว่างกำลังอัดออกไปแสดงดังรูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์พบว่าอัตราส่วนระหว่างกำลังรับแรงดัดต่อกำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นชัดเจนตามปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้น โดยตัวอย่างที่มีปริมาณเส้นใย 2 กก/ม³ มีอัตราค่าการเพิ่มขึ้นในช่วงค่อนข้างกว้างอยู่ระหว่าง 0.14-0.24 เมื่อมีค่าการไหลแผ่สูง (600-750 มม) ขณะที่ค่า f'_b/f'_c มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 0.20-0.21 เมื่อมีค่าการไหลแผ่น้อย (450-550 มม) ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการเคลื่อนตัวและการปรับทิศทางของเส้นใยในคอนกรีตระหว่างการไหลเข้าแบบ ตัวอย่างที่มีค่าการไหลแผ่สูงทำให้เส้นใยปรับตัวได้ดีระหว่างการไหลซึ่งลักษณะการการปรับตัวนั้นไม่แน่นอนทำให้การเพิ่มกำลังรับแรงดัดมีช่วงกว้าง ขณะที่เส้นใยปรับตัวได้ยากในคอนกรีตที่มีค่าการไหลแผ่น้อย จึงทำให้การเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงดัดมีค่าอยู่ในช่วงแคบ

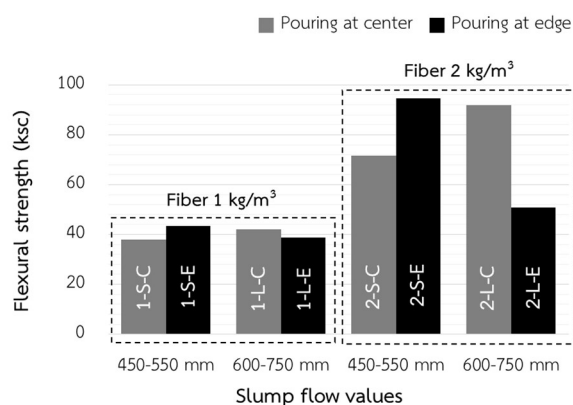


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนกำลังรับแรงดัดและกำลังรับแรงอัดต่อปริมาณเส้นใย

3.3 ผลกระทบของตำแหน่งการเทคอนกรีตต่อกำลังรับแรงดัดของคอนกรีต

รูปที่ 9 แสดงค่ากำลังรับแรงดัดของตัวอย่างผสมเส้นใยโพลิโพรพิลีนเปรียบเทียบกับตำแหน่งการเทกึ่งกลางคานและริมคาน จากรูปแสดงให้เห็นว่าตำแหน่งการเทคอนกรีตส่งผลต่อกำลังรับแรงดัดค่อนข้างน้อยเมื่อมีปริมาณเส้นใยเท่ากับ 1 กก/ม³ โดยกำลังรับแรงดัดอยู่ในช่วง 38.0-43.3 กก/ซม² ขณะที่ตัวอย่างที่มีปริมาณเส้นใย 2 กก/ม³ มีกำลังรับแรงดัดแตกต่างกันค่อนข้างมากโดยมีกำลังรับแรงดัดอยู่ในช่วง 50.8-94.6 กก/ซม² แสดงให้เห็นว่าตำแหน่งการเทคอนกรีตส่งผลต่อส่วนผสมที่มีปริมาณเส้นใยสูงอย่างมีนัยยะสำคัญ แต่อาจบอกได้ไม่

ชัดเจนว่าการเทกึ่งกลางคานหรือริมคานมีผลดีต่อกำลังรับแรงดัดมากกว่าเนื่องจากการเทกึ่งกลางคานทำให้ตัวอย่างมีกำลังรับแรงดัดสูงกว่าตัวอย่างที่เทริมคานกรณีที่ตัวอย่างมีค่าการไหลแผ่ 600-750 มม แต่ผลการทดสอบแสดงผลตรงข้ามสำหรับตัวอย่างที่มีค่าการไหลแผ่ 450-550 มม แสดงให้เห็นว่าปริมาณเส้นใยสูง (2 กก/ม³) ทำให้ความแปรปรวนของสมบัติทางกลมีค่าสูงเนื่องจากความไม่แน่นอนของการกระจายตัวของเส้นใยในตัวอย่าง จำเป็นต้องศึกษาจำนวนตัวอย่างเพิ่มมากขึ้น ร่วมกับการพิสูจน์ตัวอย่างหลังการวิบัติ

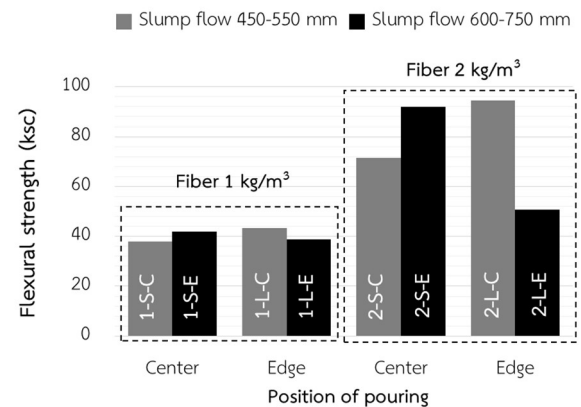


รูปที่ 9 ผลของตำแหน่งการเทคอนกรีตต่อกำลังรับแรงดัดของคอนกรีต

3.4 ผลกระทบของค่าการไหลแผ่ต่อกำลังรับแรงดัดของคอนกรีต

เมื่อพิจารณาผลกระทบจากการค่าการไหลแผ่ต่อกำลังรับแรงดัดแสดงดังรูปที่ 10 แล้ว พบว่าค่าการไหลแผ่ที่แตกต่างกันในช่วง 450-750 มม ไม่ส่งผลต่อกำลังรับแรงดัดของตัวอย่างที่มีปริมาณเส้นใย 1 กก/ม³ อย่างมีนัยยะสำคัญเช่นเดียวกับตำแหน่งการเทคอนกรีตเนื่องจากปริมาณเส้นใยน้อยทำให้สมบัติการไหลของคอนกรีตและตำแหน่งการเทมีผลไม่มากนัก แต่พบว่าการรับแรงดัดมีค่าต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 50.8-94.6 กก/ซม² เมื่อตัวอย่างมีปริมาณเส้นใย 2 กก/ม³ แสดงให้เห็นว่าค่าการไหลแผ่ของคอนกรีตส่งผลต่อส่วนผสมที่มีปริมาณเส้นใยสูงอย่างมีนัยยะสำคัญ แต่อาจบอกได้ไม่ชัดเจนว่าค่าการไหลแผ่มากหรือน้อยให้ผลดีต่อกำลังรับแรงดัดมากกว่าเนื่องจากคอนกรีตที่มีค่าการไหลแผ่น้อย (450-

550 มม) มีกำลังรับแรงดัดสูงกว่าตัวอย่างที่มีค่าการไหลแผ่มาก (600-750 มม) สำหรับตัวอย่างที่เทริมคาน แต่ผลการทดสอบแสดงผลตรงข้ามสำหรับตัวอย่างที่เทกึ่งกลางคานซึ่งเกิดจากความไม่แน่นอนของการกระจายตัวของเส้นใยดังที่ได้วิจารณ์ผลในหัวข้อ 3.3



รูปที่ 10 ผลของค่าการไหลแผ่ต่อกำลังรับแรงดัดของคอนกรีต

4. อภิปรายผลและสรุป

จากผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตเสริมเส้นใยโพลีพรพิลีนที่พิจารณาปัจจัยที่ส่งผลกระทบคือปริมาณเส้นใย ค่าการไหลและตำแหน่งการเทคอนกรีต สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. กำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยโพลีพรพิลีน 1 กก/ม³ เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่มีเส้นใยซึ่งมีกำลังอัดที่อายุ 28 วันเท่ากับ 448.9 กก/ซม² แต่กลับมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยเป็น 2 กก/ม³ เส้นใยประเภทนี้เป็นวัสดุพลาสติกอาจทำให้แรงยึดเหนี่ยวภายในลดลง วิศวกรผู้ออกแบบจำเป็นต้องให้ความสำคัญในการใช้งาน

2. กำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 40 และถึง ร้อยละ 220 เมื่อมีปริมาณเส้นใย 1 และ 2 กก/ม³ ตามลำดับ เนื่องจากเส้นใยมีสมบัติต้านทานแรงดึงและแรงเฉือนได้ดี อีกทั้งยังช่วยยึดรั้งการเกิดรอยร้าวได้อีกทางหนึ่ง

3. การเทคอนกรีตที่กลางคานหรือริมคานและค่าการไหลแผ่มากหรือน้อยไม่ส่งผลอย่างมีนัยยะสำคัญต่อกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตที่มีปริมาณเส้นใย 1 กก/ม³ เนื่องจากปริมาณเส้นใยน้อยทำให้กระจายตัวได้ดี กำลังรับแรงดัดจึงไม่ต่างกันมากแต่จะส่งผลมากเมื่อมีปริมาณเส้นใยมากถึง 2 กก/ม³ ซึ่งอาจมีการกระจุกตัวของเส้นใยระหว่างเทคอนกรีตทำให้มีกำลังรับแรงดัดต่างกันมาก ดังนั้นการใช้เส้นใยปริมาณมากวิศวกรจำเป็นต้องพิจารณาความไม่แน่นอนของกำลังรับแรงดัดอย่างรอบคอบ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ชื่อทุนสนับสนุนโครงการวิจัยพื้นฐาน (Basic Research) ปีงบประมาณ 2565 รหัสโครงการวิจัย KUSRC 65-5003

เอกสารอ้างอิง

- [1] Okamura H, Ouchi M. Self-compacting concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2003;1(1):5-15.
- [2] Rath S, Puthipad N, Attachaiyawuth A, Ouchi M. Critical size of entrained air to stability of air volume in mortar of self-compacting concrete at fresh stage. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2017;15(1):29-37.
- [3] Rath S, Ouchi M, Puthipad N, Attachaiyawuth A. Improving the stability of entrained air in self-compacting concrete by optimizing the mix viscosity and air entraining agent dosage. *Construction and Building Materials*. 2017;148:531-7.
- [4] Puthipad N, Ouchi M, Rath S, Attachaiyawuth A. Enhancement in self-compactability and stability in volume of entrained air in self-compacting concrete with high volume fly ash. *Construction and Building Materials*. 2016;128:349-60.
- [5] Ouchi M, Kameshima K, Attachaiyawuth A. Improvement in self-compacting properties of fresh concrete by eliminating large air bubbles using an antifoaming agent. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2017;15(1):10-8.
- [6] Attachaiyawuth A, Rath S, Tanaka K, Ouchi M. Improvement of self- compactability of air-enhanced self- compacting concrete with fine entrained air. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2016;14(3):55-69.
- [7] อนุวัฒน์ อรรถไชยวุฒิ, ลีราราช เพ็งแจ่ม, พลพันธ์ เศรษฐพิทยากุล, รักติพงษ์ สหมิตรมงคล. ผลกระทบของการแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนด้วยเถ้าแกวต์ต่อสมบัติที่สถานะสดของมอร์ตาร์เติมเต็มแบบด้วยตนเอง. *วารสารวิชาการสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย*. 2020;8(1):7-20.
- [8] ธนพล ญาณวีรศักดิ์, บุราณธร กิตติกรจรัส, เพ็ญภา ภาควัฒ, ฐิติพงศ์ ปลั่งพันธุ์, อนุวัฒน์ อรรถไชยวุฒิ. อัตราส่วนผสมที่มีผลกระทบต่อสมบัติการไหล ความหนืด และแรงเสียดทานภายในของมอร์ตาร์ไหลได้. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร*. 2021;44(3):409-426.
- [9] Attachaiyawuth A. Effect of viscosity modifying agent on flowability of self-compacting mortar. *Journal of Thailand Concrete Association*. 2019;7(1):22-29.
- [10] Kheaw-on T, Khomwan N, Sujjavanich S. The effect of crystalline coatings defects of steel-corrosion in reinforced concrete. *Journal of Thailand Concrete Association*. 2018;6(2):49-57.
- [11] อรรถเดช อับดุลมาติน, ปกป้อง รัตนชู, วีรชาติ ตั้งจิรัชทร, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. กำลังอัดและความต้านทานซัลเฟตของคอนกรีตกำลังสูงที่ใช้มวลรวมจากการย่อยเศษคอนกรีตผสมเถ้าขานอ้อยบดละเอียด. *วารสารวิชาการสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย*. 2019;7(1):47-56.
- [12] Makaratat N, Norrarat P, Jaturapitakkul C, Songpiriyakij S. Influence of high volume ternary blend from fly ash and ground granulated blast furnace slag on concrete properties. *Journal of Thailand Concrete Association*. 2019;7(2):1-13.
- [13] บุษรา มินยุทธิ์, วีรชาติ ตั้งจิรัชทร, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. คอนกรีตกำลังสูงที่ผสมเถ้าแกวต์บดละเอียดปริมาณสูง. *วารสารวิชาการสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย*. 2019;7(2):14-24.

- [14] Harihanandh M, Reddy RK. Study on durability of concrete by using rice husk as partial replacement of cement. *Materials Today: Proceedings*. 2021.
- [15] Xu H, Wang Z, Shao Z, Cai L, Jin H, Zhang Z, et al. Experimental study on durability of fiber reinforced concrete: effect of cellulose fiber, polyvinyl alcohol fiber and polyolefin fiber. *Construction and Building Materials*. 2021;306(1):124867.
- [16] Prasad EV, Manoj PAV, Teja SU. Study on mechanical and durability properties of ternary blended concrete. *Materials Today: Proceedings*. 2022;56:514-519.
- [17] Bixapathi G, Saravanan M. Strength and durability of concrete using Rice Husk ash as a partial replacement of cement. *Materials Today: Proceedings*. 2022;52:1606-1601.
- [18] Velardo P, Bosque IFS, Rojas MIS, Belie ND, Medina C. Durability of concrete bearing polymer- treated mixed recycled aggregate. *Construction and Building Materials*. 2022;315:125781.
- [19] Akid ASM, Hossain S, Munshi MIU, Elahi MMA, Sobuz MHR, Tam VWY, et al. Assessing the influence of fly ash and polypropylene fiber on fresh, mechanical and durability properties of concrete. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*. 2021.
- [20] Cui K, Xu L, Li X, Hu X, Huang L, Deng F, et al. Fatigue life analysis of polypropylene fiber reinforced concrete under axial constant-amplitude cyclic compression. *Journal of Cleaner Production*. 2021;319:128610.
- [21] Km K, Bawa S, KantSharma S. Laboratory investigation on the effect of polypropylene and nylon fiber on silt stabilized clay. *Materials Today: Proceedings*. 2021;52(3):1368-1376.
- [22] Bao H, Yu M, Chi Y, Liu Y, Ye J. Performance evaluation of steel-polypropylene hybrid fiber reinforced concrete under supercritical carbonation. *Journal of Building Engineering*. 2021;43:103159.
- [23] Abusogi MA, Bakri M. Behaviour of cementitious composites reinforced with polypropylene fibres using restrained eccentric ring test. *Case Studies in Construction Materials*. 2022;16:e00841.
- [24] Murad Y, Abdel- Jabbar H. Shear behavior of RC beams prepared with basalt and polypropylene fibers. *Case Studies in Construction Materials*. 2022;16:e00835.
- [25] Jongvivatsakul P, Attachaiyawuth A, Pansuk W. A crack- shear slip model of high- strength steel fiber- reinforced concrete based on a push-off test. *Construction and Building Materials*. 2016;126:924-935.
- [26] Nguyen TN, Nguyen TT, Pansuk W. Experimental study of the punching shear behavior of high performance steel fiber reinforced concrete slabs considering casting directions. *Engineering Structures*. 2017;131:564-573.
- [27] Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM Standard C39/C39M, 2018.
- [28] ASTM standards. *Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber- Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)*. ASTM Standard C1609/C1609M, Washington D.C. 2012.