Rattanakosin Journal of Science and Technology: RJST
2019, Volume 1 Issue 3: 12-21
Research Article
Online ISSN:2673-0553

คุณสมบัติเชิงกลของจีโอพอลิเมอร์เสริมเส้นใยพลาสติกสังเคราะห์ชนิดโพลีพรอพีลีน

Mechanical Properties of Polypropylene Synthetic Fibre Reinforced Geopolymer

ภัทรชัย พงษ์โสภา[1*], กษิดิ์เดช ปานกล่ำ[2], พงศธร ชินยบุตร[3], ไม้ผล ฤกษ์โศภิษฐ์[4], ปิติ สุคนธสุขกุล[5] และ ปริญญา จินดาประเสริฐ[6]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอเกี่ยวกับการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของจีโอพอลิเมอร์เสริมเส้นใยพลาสติกสังเคราะห์ เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงคุณสมบัติด้านสมรรถนะการรับแรงดัด และค่าความเหนียวภายหลังจากการแตกร้าวครั้งแรกของวัสดุจีโอพอลิเมอร์ ด้วยการเสริมเส้นใยโพลีพรอพีลีน ขนาดความยาว 55 มิลลิเมตร รูปทรงแบบลอน (Crimped) โดยจะทำการแปรผันสัดส่วนเส้นใยโพลีพรอพีลีนในอัตราร้อยละ 0.00 – 2.00 โดยปริมาตร ซึ่งทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดตาม มาตรฐาน BS EN 12390-3 และการทดสอบสมรรถนะการรับแรงดัดตามมาตรฐาน ASTM C1609-12 ผลการทดสอบพบว่าจีโอพอลิเมอร์เสริมเส้นใยโพลีพรอพีลีนให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดที่ปริมาณเส้นใยที่เหมาะสมคือร้อยละ 0.75 โดยปริมาตร ในด้านสมรรถนะการรับแรงดัดและค่าความเหนียวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วนเส้นใยโพลีพรอพีลีนที่เพิ่มมากขึ้น

คำสำคัญ: จีโอพอลิเมอร์, เส้นใยพลาสติกสังเคราะห์, สมรรถนะการรับแรงดัด, ค่าความเหนียว

[1*]นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[2-4]นักศึกษาปี 4 ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[5]ศาสตราจารย์ ศูนย์วิจัยวัสดุอาคารและการก่อสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[6]ศาสตราจารย์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*Corresponding author,e-mail: i_tomz@hotmail.com

Abstract

This research presents results of the study on the mechanical properties of Geopolymer reinforced with synthetic fibre. In order to improve the flexural performance and toughness after the first cracking of Geopolymer, polypropylene fibres with length of 55 mm and crimped shape are mixed at volume fractions of 0.00 to 2.00 %. Both compressive strength and flexural performance tests are carried out according to BS EN 12390-3 and ASTM C1609-12, respectively. Results showed that Geopolymer with polypropylene fibre exhibited the highest compressive strength at volume fractions of 0.75 %. Fibres are capable of enhancing both flexural strength and toughness of Geopolymer. The enhancement also increases with the increasing fibre volume fraction.

Keywords: Geopolymer, Polypropylene fibre, Flexural strength, Toughness

1. ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันปูนซีเมนต์ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในวงการก่อสร้าง เป็นวัสดุที่มีส่วนประกอบสำคัญของคอนกรีตและมอร์ต้า ซึ่งได้จากกระบวนการเผาซิลิกา (Sio_2) อะลูมินา (Al_2O_3) และ แคลเซียมออกไซด์ เป็นหลัก โดยผ่านการเผาที่อุณหภูมิ ประมาณ 1400 – 1600 องศาเซลเซียส ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต้องใช้พลังงานสูงมากในการผลิต ผลกระทบจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทำให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ส่งผลทำให้เกิดสภาวะเรือนกระจก เพื่อร่วมกันแก้ปัญหาดังกล่าว ในปี ค.ศ. 1984 Davidovits [1] ได้เสนอให้มีการใช้สารเคมีชนิดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสารละลายโซเดียมซีลิเกตมาทำปฏิกิริยากับดินขาว พบว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติคล้ายปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ สภาวะแข็งตัว ที่เรียกว่า จีโอพอลิเมอร์ [2,3]

จีโอพอลิเมอร์สังเคราะห์ได้จากเถ้าถ่านหิน ที่มีองค์ประกอบของซิลิกา อะลูมินา [4] ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมต่างๆ แต่การที่จีโอพอลิเมอร์มีคุณสมบัติใกล้เคียงคอนกรีตซึ่งมีความแข็งแรงในด้านกำลังรับแรงอัด แต่มีความสามารถในการรับแรงดึงและแรงดัดที่ต่ำ ทำให้ต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติข้อด้อยดังกล่าวโดยการเสริมเส้นใยชนิดต่างๆเพิ่มเติมเข้าไป [5,6] บทความนี้จึงเสนอแนวทางในการปรับปรุงคุณสมบัติด้านความสามารถในการรับแรงดัดและค่าความเหนียวภายหลังจากการแตกร้าว ของวัสดุจีโอพอลิเมอร์ที่นำมาทดแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยการเสริมเส้นใยพลาสติกสังเคราะห์ (เส้นใยโพลีพรอพีลีน) โดยทำการแปรผันปริมาณเส้นใยในสัดส่วนต่างๆกัน

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุ

2.1.1 เถ้าถ่านหิน (Fly Ash) เถ้าถ่านหินที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้เถ้าถ่านหินจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จ.ลำปาง โดยไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพและอนุภาคประมาณ 1 - 100 µm ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 1 [8]

2.1.2 ซิลิกาฟูม (Silica Fume) ได้จากกระบวนการผลิตซิลิกอนและเฟอร์โรซีลิกอนอัลลอยจาก Quart และ Coal มีขนาดอนุภาคเล็ก ประมาณ 0.03-0.3 µm ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีดังตารางที่ 2 [8]

2.1.3 สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ชนิดเกล็ด สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ชนิดเกล็ด ตาม มอก. 150-2518 [9] โดยใช้สารละลายที่ความเข้มข้น 14 โมลาร์ [10]

2.1.4 สารละลายโซเดียมซีลิเกตสารละลายโซเดียมซีลิเกต ชนิดที่ 2 ตาม มอก.433-2539 [11] มีคุณสมบัติดังตารางที่ 3

2.1.5 เส้นใย (Fibers) ชนิดของเส้นใยที่ใช้ คือเส้นใยโพลีพรอพีลีน (Polypropylene Fibre) มีคุณสมบัติดังตารางที่ 4

ตารางที่ 1 องค์ประกอบหลักทางเคมีของเถ้าถ่านหิน [8]

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	SO_3	LOI_{FA}
Fly ash (FA)	36.02	20.58	15.91	18.75	2.24	0.07

ตารางที่ 2 องค์ประกอบหลักทางเคมีของซิลิกาฟูม [8]

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	SO_3	LOI_{SF}
Silica Fume	88.30	1.17	4.76	0.48	1.05	-

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของสารละลายโซเดียมซีลิเกต [11]

Property		
Sodium Oxide (Na_2O)	%(w/w)	16.26
Silicon Dioxide (SiO_2)	%(w/w)	34.52
Mole Ratio (Na_2O : SiO_2)		1 : 2.19
Specfic Gravity (At 20°C)		1.638
Density (At 20°C)	Baume’	546.5

ตารางที่ 4 คุณสมบัติของเส้นใยที่ใช้ในการศึกษา

Property	Material	Length (mm)	Shape Section	L/D	Tensile Strength(MPa)
PP	Polypropylene	55	Square	52	450

2.2 อัตราส่วนผสมของตัวอย่างทดสอบ

วัสดุจีโอพอลิเมอร์ที่นำมาทำการทดสอบใช้อัตราส่วนเถ้าถ่านหินต่อซิลิก้าฟูม คิดเป็นร้อยละ 90:10 โดยน้ำหนัก โดยมีการควบคุมอัตราส่วนคงที่ระหว่างน้ำหนักของสารตั้งต้นต่อน้ำหนักทั้งหมดเท่ากับ 0.65 ใช้อัตราส่วนสารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 2.5 โดยน้ำหนัก และมีค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 14 M (โมลาร์) และเสริมเส้นใยโพลีพรอพีลีนในอัตราส่วนร้อยละ 0.00 -2.00 โดยปริมาตร ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 อัตราส่วนผสมของตัวอย่างทดสอบ

สัญลักษณ์	อัตราส่วนผสม (kg/m^3)					
	Fly Ash	Silica Fume	Na_2OSiO_2	NaOH	Sand	PP
Plain	343	38	147	59	1613	-
0.25PFRG	343	38	147	59	1613	-
0.50PFRG	343	38	147	59	1613	4.5
0.75PFRG	343	38	147	59	1613	-
1.0PFRG	343	38	147	59	1613	9
1.25PFRG	343	38	147	59	1613	-
1.50PFRG	343	38	147	59	1613	13.5
1.75PFRG	343	38	147	59	1613	
2.0PFRG	343	38	147	59	1613	18

2.3 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 14 โมล่าร์ และสารละลายโซเดียมซีลิเกตโดยใช้อัตราส่วนระหว่างสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อสารละลายโซเดียมซีลิเกตเท่ากับ 1 ต่อ 2.5 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปผสมกับวัตถุดิบอื่นๆในเครื่องโม่แบบ Pan Mixer พร้อมทั้งใส่เส้นใยลงไปในขั้นตอนนี้ จากนั้นนำจีโอพอลิเมอร์ที่ได้มาหล่อเข้าแบบรูปทรงคานขนาด 10 x 10 x 35 เซนติเมตร โดยแบ่งการหล่อ

ออกเป็น 2 ชั้นเท่าๆกัน แต่ละชั้นตำด้วยเหล็กกระทุ้งจำนวน 60 ครั้ง และปาดผิวหน้าชั้นสุดท้ายให้เรียบ สำหรับแบบหล่อทรงลูกบาศก์ ขนาด 15 x 15 x 15 เซนติเมตร แบ่งการหล่อออกเป็น 3 ชั้นเท่าๆกัน ตำด้วยเหล็กกระทุ้ง 35 ครั้งในแต่ละชั้น และปาดผิวหน้าชั้นสุดท้ายให้เรียบเช่นกัน จากนั้นนำไปทำการสั่นบนโต๊ะสั่น (Vibrating Table) เป็นเวลา 3-5 นาที เพื่อไล่ฟองอากาศในเนื้อจีโอพอลิเมอร์เพสต์ให้เหลือน้อยที่สุด แล้วทำการหุ้มตัวอย่างทดสอบด้วยแผ่นพลาสติกใสทั้งแบบหล่อ เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ หลังจากนั้นทำการบ่มตัวอย่างทดสอบที่อุณหภูมิห้อง จนตัวอย่างทดสอบอายุครบ 28 วัน แล้วจึงนำมาทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

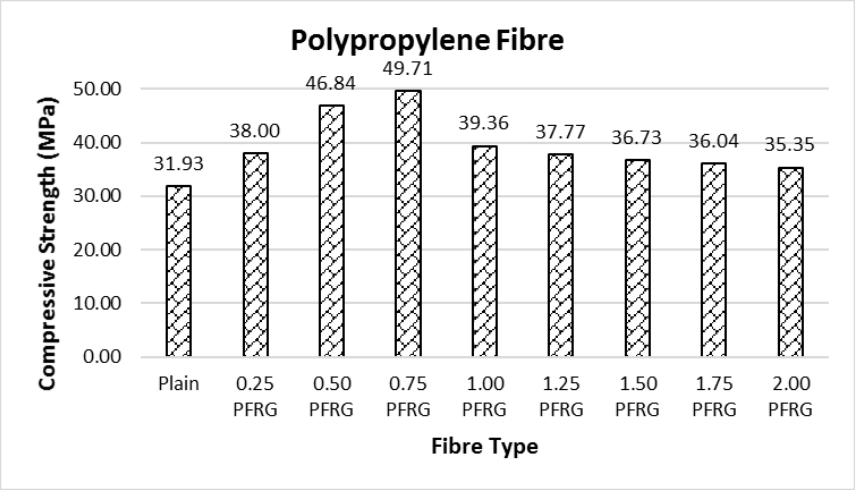
2.4 ขั้นตอนการทดสอบ

หลังจากบ่มตัวอย่างทดสอบเป็นเวลา 28 วัน จึงนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัด ของตัวอย่างทดสอบรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 เซนติเมตร ตามมาตารฐาน BS-EN 12390-3 [12] และทดสอบกำลังรับแรงดัดและค่าความเหนียว ของตัวอย่างทดสอบรูปทรงคาน ขนาดหน้าตัด 10x10 เซนติเมตร ยาว 35 เซนติเมตร (ระยะพาดจริง 30 เซนติเมตร) ตามมาตรฐาน ASTM C1609-12 [13] โดยการติดตั้งเครื่องมือทดสอบและมาตรวัดน้ำหนักเครื่อง Instron ขนาด 1500 kN มาตรวัดระยะแอ่นตัว LVDT จำนวน 2 ตัว ในแต่ละด้านของตัวอย่าง ติดตั้งที่ตำแหน่งกึ่งกลางคาน เพื่อหาระยะแอ่นตัวเฉลี่ย โดยคุมอัตราการแอ่นตัวให้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.05 มิลลิเมตรต่อนาที และทำการทดสอบจนกระทั่งตัวอย่างเกิดการวิบัติโดยปรากฏรอยแตกร้าว จึงเปลี่ยนอัตราการแอ่นตัวให้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.2 มิลลิเมตรต่อนาที จนตัวอย่างทดสอบรูปทรงคานมีระยะแอ่นตัวสุทธิ 5 มิลลิเมตร จึงหยุดการทดสอบ

3. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

3.1 กำลังรับแรงอัด

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด ดังแสดงในรูปที่ 1

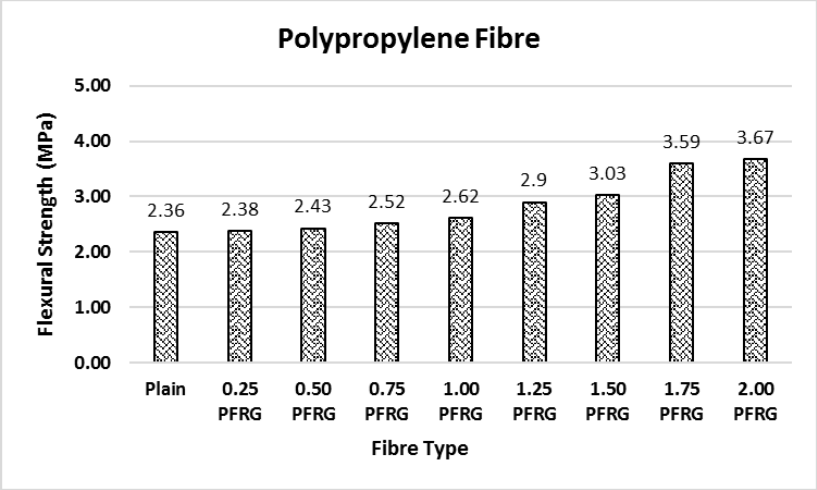


รูปที่ 1 กำลังรับแรงอัดของจีโอพอลิเมอร์เสริมเส้นใยโพลีพรอพีลีน

รูปที่ 1 พบว่าจีโอพอลิเมอร์เสริมเส้นใยโพลีพรอพีลีนมีกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นที่อัตราส่วนของเส้นใยปริมาณ 0.25 ถึง 0.75 โดยปริมาตร โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นจาก 31.93 MPa ไปเป็น 49.71 MPa ตามลำดับ จากนั้นพบว่ากำลังรับแรงอัดลดลงเป็นสัดส่วนของเส้นใยสูงเกินร้อยละ 0.75 โดยปริมาตร ส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดลดลง จาก 49.71 MPa (0.75PFRG) ลดลงไปจนถึง 35.35 MPa (2.0 PFRG) สาเหตุการลดลงของกำลังรับแรงอัดเกิดจากปริมาณการเสริมเส้นใยที่มากเกินไป ส่งผลให้การอัดแน่นทำได้ยากจึงเกิดช่องว่างภายในมาก

3.2 กำลังรับแรงดัด

ความสามารถในด้านการรับกำลังรับแรงดัด แสดงในรูปที่ 2 ค่ากำลังรับแรงดัดของจีโอพอลิเมอร์เสริมเส้นใยโพลีพรอพีลีนให้ค่ากำลังรับแรงดัดสูงกว่าจีโอพอลิเมอร์ล้วน และมีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนเส้นใยโพลีพรอพีลีนที่เพิ่มขึ้น ในการเสริมเส้นใยโพลีพรอพีลีนที่สัดส่วน 2.00% โดยปริมาตร ให้ค่ากำลังรับแรงดัดสูงสุดคือ 3.67 MPa โดยการเพิ่มขึ้นนั้นไม่พบการตกลงเหมือนในกรณีของค่ากำลังรับแรงอัด ทั้งนี้เนื่องจากการเรียงตัวของเส้นใยโพลีพรอพีลีนในจีโอพอลิเมอร์ ซึ่งเรียงตัวในแนวเดียวกับแรงเค้นดึงที่เกิดขึ้นภายใต้แรงดัดจึงทำให้จีโอพอลิเมอร์เสริมเส้นใยสามารถรับแรงดัดได้ดีกว่าแรงอัด

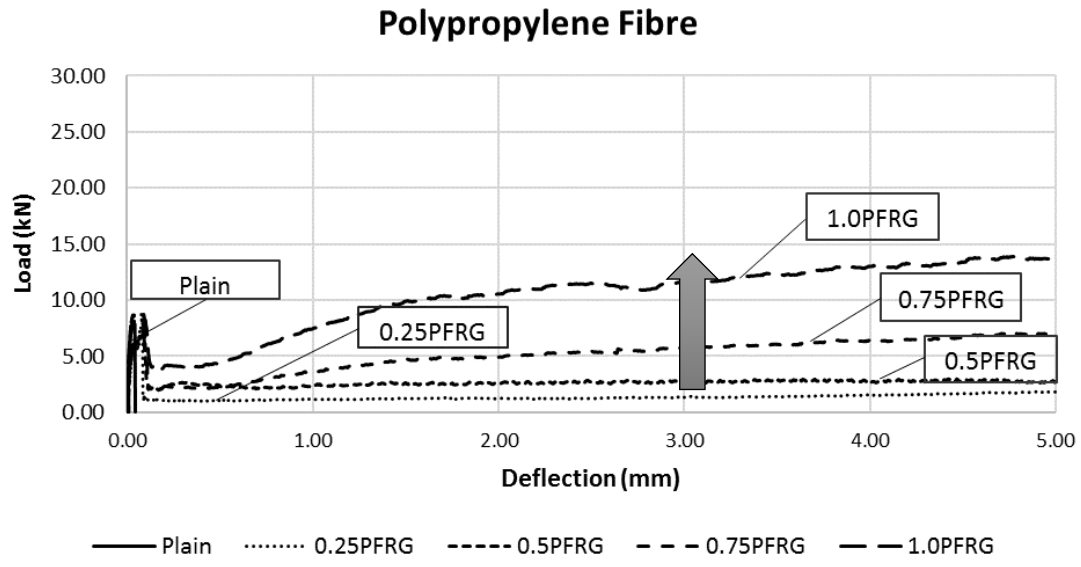


รูปที่ 2 กำลังรับแรงดัดของจีโอพอลิเมอร์เสริมเส้นใยโพรลีพรอพีลีน

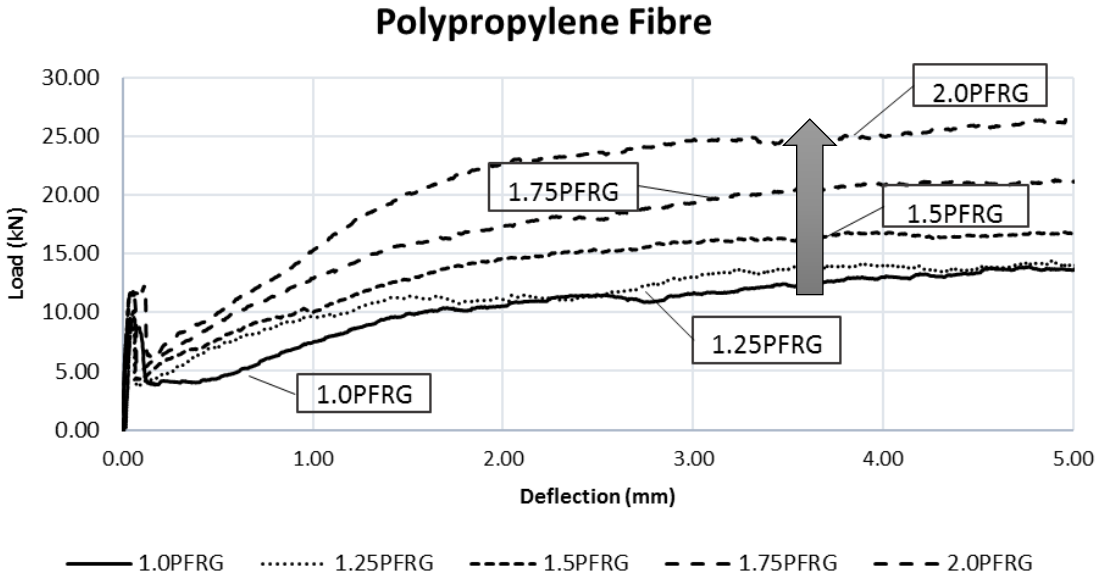
3.3 พฤติกรรมการรับแรงดัด

พฤติกรรมการรับแรงดัดของจีโอพอลิเมอร์เสริมเส้นใยโพลีพรอพีลีน แสดงในรูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและระยะแอ่นตัวของจีโอพอลิเมอร์เสริมเส้นใยโพลีพรอพีลีน เมื่อพิจารณาที่ตัวอย่างทดสอบจีโอพอลิเมอร์ล้วน พบว่าค่าการรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามระยะแอ่นตัวของคานที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงการแตกร้าวครั้งแรก (First Peak) หลังจากนั้นค่าการรับน้ำหนักลดลงอย่างรวดเร็วจนวิบัติ แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างทดสอบจีโอพอลิเมอร์ล้วนนั้นมีความเปราะ แต่เมื่อพิจารณาตัวอย่างทดสอบจีโอพอลิเมอร์เสริมเส้นใยโพลีพรอพีลีน พบว่าค่าการรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามระยะแอ่นตัวของคานที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน จนถึงการแตกร้าวแรก

(First Peak) ค่าการรับน้ำหนักลดลงเนื่องจากการแตกร้าวแรก (Load Dropping) หลังจากนั้นเส้นใยที่เสริมจะเริ่มทำงาน ทำให้คานสามารถรับแรงดัดต่อไปได้ และนำไปสู่การเกิดกำลังรับแรงดัดสูงสุดภายหลังจากการแตกร้าว (Second Peak) และยังพบว่าพฤติกรรมการรับแรงดัดภายหลังจากการแตกร้าวสูงขึ้นตามสัดส่วนเส้นใยโพลีพรอพีลีนที่เพิ่มขึ้น



(a) Less Than 1% Polypropylene Fibre



(b) More Than 1% Polypropylene Fibre

รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและระยะแอ่นตัวของจีโอพอลิเมอร์เสริมเส้นใยโพลีพรอพีลีน

3.4 วิเคราะห์ค่าความเหนียว

จากผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของจีโอพอลิเมอร์เสริมเส้นใยโพลีพรอพีลีน สามารถนำมาวิเคราะห์หาค่าความเหนียวตามมาตร ฐาน ASTM C1609-12 ซึ่งเป็นดัชนีชี้วัดว่าประสิทธิภาพของเส้นใยที่เสริมเข้าไปปรับปรุงพฤติกรรมการรับแรงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของจีโอพอลิเมอร์ภายหลังจากการเกิดรอยแตกร้าวแรกได้อย่างมีนัยสำคัญ แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความเหนียวตามมาตรฐาน ASTM C1609

Name	0.5 mm (L/600)			2 mm (L/150)			
	P	f	Toughness	P	f	Toughness	$R^D_{T,150}$
	(kN)	(MPa)	(N-m)	(kN)	(MPa)	(N-m)	(%)
Plain	7.88	-	0.27	-	-	0.27	1.69
0.25 PFRG	1.06	0.32	0.86	1.21	0.36	2.59	16.33
0.50 PFRG	2.33	0.70	1.51	2.62	0.79	5.10	31.48
0.75 PFRG	4.38	0.69	1.62	4.93	1.48	7.61	45.32
1.00 PFRG	2.62	1.31	2.45	10.54	3.16	14.85	84.95
1.25 PFRG	6.97	2.09	2.65	11.10	3.33	17.68	91.63
1.50 PFRG	7.70	2.31	3.15	14.57	4.37	20.42	101.08
1.75 PFRG	9.19	2.76	3.66	17.30	5.19	24.69	103.15
2.00 PFRG	9.99	3.00	4.32	22.60	6.78	27.84	113.77

จากตารางที่ 6 พบว่า จีโอพอลิเมอร์เสริมเส้นใยโพลีพรอพีลีน มีค่าความเหนียวเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนเส้นใยโพลีพรอพีลีนที่เพิ่มขึ้น และค่ากำลังรับแรงดัดคงค้าง แสดงกำลังรับแรงดัดที่ระยะแอ่นตัว L/600 (0.5 มิลลิเมตร) และ L/150 (2 มิลลิเมตร) มีค่าเพิ่มมากขึ้นตามสัดส่วนเส้นใยโพลีพรอพีลีนที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน

แต่เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างกำลังรับแรงดัดที่ระยะแอ่นตัว L/600 กับ L/150 พบว่าที่ระยะการแอ่นตัวของคาน L/150 ให้ค่ากำลังรับแรงดัดสูงกว่าที่ L/600 เนื่องจากที่ระยะการแอ่นตัว L/600 หรือ 0.5 มิลลิเมตร เป็นช่วงภายหลังการแตกร้าวแรก (First Crack) จึงมีค่ากำลังรับแรงดัดต่ำ หลังจากนั้นเส้นใยโพลีพรอพีลีนที่เสริมจะช่วยพัฒนากำลังรับแรงดัดให้เพิ่มขึ้นจนถึงที่ระยะการแอ่นตัว L/150 หรือ 2 มิลลิเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณเส้นใยโพลีพรอพีลีนที่เสริมเข้าไปในจีโอพอลิเมอร์ จะทำให้ค่ากำลังรับแรงดัดที่ระยะแอ่นตัวทั้งสองแตกต่างกันมากขึ้น

ค่าอัตราส่วนกำลังดัดเทียบเท่าที่ระยะแอ่นตัว L/150 คือค่าเปรียบเทียบเป็นร้อยละระหว่างกำลังดัดที่ระยะแอ่นตัว L/150 กับค่ากำลังดัดสูงสุดครั้งแรก (First Peak) แสดงให้เห็นถึงกำลังรับแรงดัดภายหลังจากการแตกร้าวแรกที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากการผสมเส้นใยโพลีพรอพีลีน โดยที่ค่าอัตราส่วนกำลังดัดที่ระยะแอ่นตัว

L/150 พบว่า ค่าอัตราส่วนกำลังดัดเทียบเท่ามีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนเส้นใยโพลีพรอพีลีนที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มปริมาณการเสริมเส้นใยโพลีพรอพีลีน จะเพิ่มการยึดรั้ง และช่วยเพิ่มกำลังรับแรงดัดภายหลังจากตัวอย่างทดสอบเกิดการแตกร้าว

4. สรุปผลการทดสอบ

4.1 กำลังรับแรงอัดของจีโอพอลิเมอร์

4.1.1 จีโอพอลิเมอร์เสริมเส้นใยให้กำลังรับแรงอัดสูงกว่าจีโอพอลิเมอร์ล้วนในทุกสัดส่วนผสม

4.1.2 ปัจจัยด้านสัดส่วนเส้นใยโพลีพรอพีลีนพบว่า ปริมาณการเสริมเส้นใยที่เหมาะสมคือร้อยละ 0.75 โดยปริมาตร มีกำลังรับแรงอัดสูงสุด เท่ากับ 49.71 MPa เนื่องจากหากเสริมเส้นใยมากเกินไปจะส่งผลให้การอัดแน่นทำได้ยากจึงทำให้เกิดช่องว่างภายในมาก ส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงอัดลดลง

4.2 สมรรถนะการรับแรงดัดของจีโอพอลิเมอร์

4.2.1 สมรรถนะการรับแรงดัดของจีโอพอลิเมอร์เสริมเส้นใย ให้กำลังรับแรงดัดสูงกว่าจีโอพอลิเมอร์ล้วน ในทุกสัดส่วนผสม

4.2.2 ปัจจัยด้านสัดส่วนเส้นใยโพลีพรอพีลีน พบว่าค่ากำลังรับแรงดัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแปรผันตามสัดส่วนเส้นใยโพลีพรอพีลีนที่มากขึ้น โดยที่สัดส่วนเส้นใยร้อยละ 2.0 โดยปริมาตร มีค่าสูงสุดเท่ากับ 3.67 MPa และด้านสมรรถนะการรับแรงดัดไม่ว่าจะเป็นค่าความเหนียว, กำลังดัดคงค้าง และค่าอัตราส่วนกำลังดัดเทียบเท่า มีค่าสูงกว่าโดยแปรผันตรงกับสัดส่วนเส้นใยโพลีพรอพีลีนที่มากขึ้น โดยที่สัดส่วนเส้นใยร้อยละ 2.0 โดยปริมาตร มีค่าความเหนียวสูงสุดเท่ากับ 27.84 N-m และอัตราส่วนกำลังรับแรงดัดเทียบเท่าสูงสุดเท่ากับ 113.77%

5. เอกสารอ้างอิง

[1] Davidovits, J, 1984. “Mineral Polymers and Methods of Making Them.” US Patent. 4 : 199.

[2] Davidovits, J., 1994. “Global Warming Impact on the Cement and Aggregates Industries.” World Resource. 6 : 263–278.

[3] P. Duxson, 2007. “Geopolymer Technology:The Current State of the Art.” Journal of Materials Science. 42 : 2917–2933.

[4] P.Paisitsrisawat, and U. Rattanasak., 2013.“Effect of Silica Fume on Properties of Fluidizer Bed Combustion (FBC) Fly Ash Geopolymer.” The Journal of Industrial Technology. 9 : 40-48.

[5] Bernal S., 2010. “Performance of an Alkali- Activated Slag Concrete Reinforced with Steel Fibres.” Construction and Building Materials. 24 : 208–214.

[6] J.A. Carneiro, 2013. “Compressive Stress-Strain Behaviour of Steel Fiber Reinforced-Recycled Aggregate Concrete.” Cement & Concrete Composites. 46 : 65-72.

[7] R. Wongruk, S. Songpiriyakij, P. Sukontasukkul, P. Chindaprasirt, 2015 ."Properties of Steel Fiber Reinforced Geopolymer", Key Engineering Materials, Vol. 659 :143-148

[8] S. Songpiriyakij, T. Pulngern, 2011. “Anchorage of Steel Bars in Concrete by Geopolymer Paste.” Materials and Design. 32 : 3021-3028.

[9] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม . มอก.150-2518, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โซเดียมไฮดรอกไซด์.

[10] S. Songpiriyakij, T. Kubprasit, C. Jaturapitakkul, P. Chindaprasirt., 2010. “Compressive Strength and Degree of Reaction of Biomass and Fly Ash-Based Geopolymer.” Construction and Building Materials. 24 : 236-240.

[11] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม . มอก.433-2539, มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมโซเดียมซิลิเกตเหลว.

[12] British Standard for Testing hardened concrete EN 12390-3,Compressive strength of test specimens .

[13] ASTM DESIGNATION . C1609-10, Standard test method for (Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete [Using Beam with Third-Point Loading]).