คุณสมบัติทางกลคอนกรีตเสริมเส้นใยสังเคราะห์ที่ใช้กรวดแม่น้ำเป็นมวลรวมหยาบ

Mechanical Properties of Synthetic Fiber Reinforced Concrete Using River Gravel as Coarse Aggregate

วรชัย ใจกาศ[1], ชยานนท์ หรรษภิญโญ[1],ธีวรา สุวรรณ[1]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่

Corresponding author; E-mail address: worachai_jaikad@cmu.ac.th

บทคัดย่อ

คอนกรีตเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติต้านทานแรงดึงและกำลังดัดต่ำเมื่อเทียบกับกำลังอัด และหากมีการนำกรวดแม่น้ำธรรมชาติมาเป็นส่วนผสมของมวลรวมหยาบจะทำให้กำลังดึงยิ่งลดลงไปอีก แนวทางหนึ่งเพื่อเสริมกำลังดึงคือการใช้เส้นใยสังเคราะห์เสริมคอนกรีต งานวิจัยนี้เลือกใช้เส้นใยสังเคราะห์ 3 ชนิด ได้แก่ เส้นใยแก้ว เส้นใยโพลีโพรพิลีน และเส้นใยโพลีเอสเตอร์ เพิ่มเข้าไปในคอนกรีตที่อัตราส่วนร้อยละ 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 โดยน้ำหนักของซีเมนต์ ซึ่งในแต่ละส่วนผสมจะใช้คอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบ 2 ชนิด คือ หินย่อยจากภูเขา และกรวดแม่น้ำธรรมชาติ จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการณ์พบว่าค่าการยุบตัว (Slump) มีค่าลดลงร้อยละ 50-57 เมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ค่ากำลังต้านทานแรงอัดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ส่วนด้านของกำลังรับแรงดึงมีค่าที่เพิ่มมากสุดถึง ร้อยละ 42 เพิ่มขึ้นตามปริมาณที่ใช้ ความสามารถในการแอ่นตัวและความยืดหยุ่นมีเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณเส้นใยสังเคราะห์อย่างเห็นได้ชัด

คำสำคัญ: กำลังรับแรงอัด, กำลังรับแรงดึงผ่าซีก, กำลังรับแรงดัด, เส้นใยสังเคราะห์, คอนกรีตผสมกรวดแม่น้ำ

Abstract

Concrete is a material with low tensile strength and bending strength compared to the compressive strength. In addition, the use of natural river gravel as a mixture of coarse aggregates resulting in lowering the tensile strength. One method to strengthen the tensile strength is the use of synthetic fiber reinforced concrete. This research uses 3 types of synthetic fibers which are glass fibers, polypropylene fibers and polyester fibers. The fibers are added to the concrete at the ratio of 0, 0.5, 1.0 and 1.5 percent by weight of cement. Two types of coarse aggregates, which are rock from the mountain and natural river gravel are tested. The results found that the slump decreases 50-57 percent as the fiber content increases. The compressive strength increases slightly. The tensile strength increases up to 42 percent with the increase of the amount of the fiber used. The increase in ductility is clearly observed with the increase of amount of the synthetic fibers.

1. บทนำ

ปัจจุบันในการก่อสร้างมีการใช้คอนกรีตเป็นชิ้นส่วนของสิ่งก่อสร้างกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งคอนกรีตเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการต้านทานแรงอัดที่สูงแต่ด้านการต้านทานแรงดึงมีเพียงแค่ร้อยละ 10 เมื่อเทียบกับแรงอัด จึงได้มีการเสริมแรงดึงให้กับคอนกรีต สิ่งที่นิยมกันมากก็คือการเสริมเหล็กเส้นในคอนกรีต รวมไปถึงการเสริมเส้นใยในคอนกรีตซึ่งเป็นอีกหนึ่งวิธีในการเสริมกำลังดึงในคอนกรีต Mo และคณะ [1] ได้มีการนำเส้นใยเหล็ก (Steel Fiber) และเส้นใยโพลิโพพีลีน (Polypropylene) มาเป็นส่วนผสมของคอนกรีตเปลือกลูกปาล์ม ซึ่งพบว่าคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเส้นใยทั้ง 2 ชนิดนั้นมีความเหนียวเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับคอนกรีตธรรมดามากถึง 42 เท่า และยังช่วยยับยั้งรอยแตกร้าวให้มีขนาดที่น้อยลง ในตัวอย่างที่ใช้เส้นใยโพลิโพพีลีน Mohammadi และคณะ [2] ได้ทำการทดสอบการใช้เส้นใยเหล็กผสมในคอนกรีต พบว่าเมื่อเพิ่มเส้นใยเข้าไปในส่วนผสมคอนกรีตที่ปริมาณร้อยละ 2 โดยปริมาตร จะทำให้คอนกรีตมีกำลังต้านทานแรงกระแทกได้มากกว่าคอนกรีตธรรมดา

จะเห็นได้ว่าการเสริมเส้นใยเข้าไปในส่วนผสมของคอนกรีตนั้นจะทำให้คอนกรีตมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นโดยเฉพาะด้านแรงดึงและความเหนียว [3-5] ซึ่งคอนกรีตในประเทศไทยส่วนใหญ่แล้วจะมีการใช้หินย่อยจากภูเขามาเป็นมวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) ผสมในคอนกรีต แต่ก็มีการใช้กรวดแม่น้ำมาเป็นส่วนผสมในคอนกรีตเช่นกันสำหรับบางพื้นที่ที่ห่างไกลจากแหล่งวัตถุดิบ ซึ่งด้านความสามารถในการต้านทานกำลังเชิงกลของคอนกรีตที่ใช้กรวดแม่น้ำนั้นมีค่าที่ต่ำกว่าคอนกรีตที่ใช้หินย่อยจากภูเขา เนื่องด้วยรูปร่างของกรวดแม่น้ำที่มีลักษณะกลม ไม่มีเหลี่ยมมุม ทำให้การยึดเกาะกันภายในเนื้อคอนกรีตไม่ค่อยดี [6-7]

จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่ายังมีคอนกรีตที่ใช้กรวดแม่น้ำเป็นส่วนผสม ซึ่งยังมีการศึกษาการเสริมเส้นใยสังเคราะห์ในคอนกรีตชนิดนี้ค่อนข้างน้อย งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการศึกษา ชนิดของเส้นใยสังเคราะห์ ที่สามารถหาได้ในประเทศไทย ปริมาณที่ใช้ เมื่อเพิ่มเข้าไปในส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้กรวดแม่น้ำที่กำลังอัดแตกต่างกัน เพื่อประเมินคุณสมบัติเชิงกลและพฤติกรรมของคอนกรีตในการนำไปใช้ให้เหมาะสมในอุตสาหกรรมการก่อสร้างต่อไป

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

2.1.1 เส้นใยสังเคราะห์

ในงานวิจัยนี้ใช้เส้นใยสังเคราะห์ 3 ประเภทได้แก่ เส้นใยแก้ว เส้นใยโพลีโพรพีลีน และเส้นใยโพลีเอสเตอร์ (ตามตารางที่ 1)

2.1.2 ปูนซีปอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีค่าความถ่วงจำเพาะ 3.15

2.1.3 มวลรวมละเอียด

ทรายแม่น้ำขนาดคละตามมาตรฐาน ASTM C136

2.1.4 มวลรวมหยาบ

มวลรวมหยาบในงานวิจัยนี้ใช้ 2 ชนิด ได้แก่ หินย่อยจากภูเขา และกรวดแม่น้ำธรรมชาติ โดยทั้ง 2 ชนิดมีขนาดคละในเกณฑ์ของมาตรฐาน ASTM C33

2.1.5 น้ำ

น้ำสะอาด สำหรับงานก่อสร้างทั่วไป

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเส้นใยสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดสอบ [8]

Fiber	Length (mm)	Density (g/cm^3)	Tensile strength (ksc)
Glass Fiber	25	2.4-2.7	9,381.34
Polypropylene	25	0.91	4,588.72
Polyester	25	1.2-1.37	5,098.58

2.2 สัดส่วนผสมคอนกรีต

อัตราส่วนผสมของคอนกรีตเป็นไปตามมาตรฐาน ACI 211.1-91 [9] ซึ่งตัวอย่างออกแบบกำลังอัดไว้ที่ 350 กก/ซม^2 อายุคอนกรีต 28 วัน ใช้หินเป็นส่วนผสม 2 ชนิด ได้แก่ หินย่อยจากภูเขา และกรวดแม่น้ำจากท้องถิ่น เสริมเส้นใยสังเคราะห์ 3 ชนิด ได้แก่ เส้นใยแก้ว เส้นใยโพลีโพรพิลีน และเส้นใยโพลีเอสเตอร์ เพิ่มเข้าไปในคอนกรีตที่อัตราส่วนร้อยละ 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 โดยน้ำหนักของซีเมนต์ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยให้สัญลักษณ์เป็น a-bxx เมื่อ a คือ ขนิดของมวลรวมหยาบ ได้แก่ C คือ หินย่อยจากภูเขา และ G คือ กรวดแม่น้ำธรรมชาติ ส่วน b คือ ชนิดไฟเบอร์ ได้แก่ GF คือ เส้นใยแก้ว (Glass Fiber) PP คือ เส้นใยโพลีโพรพีลีน (Polypropylene Fiber) และ PE คือ เส้นใยโพลีเอสเตอร์ (Polyester Fiber) และ xx คือ ปริมาณร้อยละโดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ตัวอย่างเช่น C-GF0.5 หมายถึง สัดส่วนผสมคอนกรีตใช้หินย่อยเสริมเส้นใยแก้วปริมาณร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ เป็นต้น

ตารางที่ 2 สัดส่วนผสมคอนกรีตเสริมเส้นใยสังเคราะห์

Mix No.		Fiber	Aggregate	Fiber (%)
1	C-0 (Control)	-	C	-
2	G-0 (Control)	-	G	-
3	C-GF0.5	GF	C	0.5
4	C-GF1.0			1.0
5	C-GF1.5			1.5
6	G-GF0.5	GF	G	0.5
7	G-GF1.0			1.0
8	G-GF1.5			1.5
9	C-PP0.5	PP	C	0.5
10	C-PP1.0			1.0
11	C-PP1.5			1.5
12	G-PP0.5	PP	G	0.5
13	G-PP1.0			1.0
14	G-PP1.5			1.5
15	C-PE0.5	PE	C	0.5
16	C-PE1.0			1.0
17	C-PE1.5			1.5
18	G-PE0.5	PE	G	0.5
19	G-PE1.0			1.0
20	G-PE1.5			1.5

2.3 การทดสอบ

2.3.1 การทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต (Slump test)

ใช้เพื่อทดสอบหาค่าความข้นเหลวของคอนกรีตในสภาพเหลวโดยใช้วิธีการทดสอบหาค่าการยุบตัว เพื่อตรวจสอบความสามารถเทได้ของคอนกรีต (Workability) ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C143

2.3.2 การทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีต (Compressive strength)

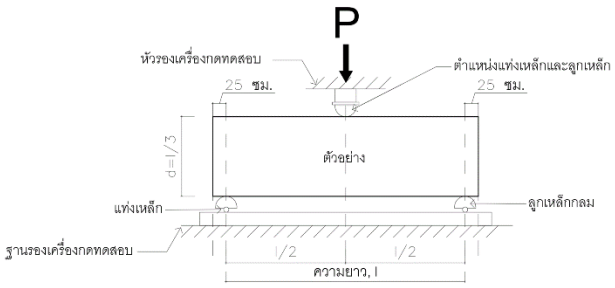
ในการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดก้อนตัวอย่างทรงลูกบาศก์ขนาด 15 ซม ทดสอบตัวอย่างที่อายุ 3 วัน และ 28 วัน ตามมาตรฐาน BS EN 12390

2.3.3 การทดสอบกำลังรับแรงดึง (Tensile Strength)

ในงานวิจัยนี้ใช้การวัดกำลังต้านทานแรงดึงของคอนกรีตโดยวิธี การทดสอบการรับแรงดึงผ่าซีก (Splitting tensile strength) ตามมาตรฐาน BS EN12390-5: 2009 ทำการทดสอบด้วยตัวอย่างทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 20 ซม. ที่อายุคอนกรีต 3 วัน และ 28 วัน

2.3.4 การทดสอบกำลังรับแรงดัด (Flexural Strength)

การทดสอบกำลังรับแรงดัดของตัวอย่างคอนกรีต จะทดสอบกับตัวอย่างขนาด 15x15x50 ซม. ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C78 โดยทดสอบที่อายุคอนกรีต 28 วัน ในแรงหนึ่งจุดที่กึ่งกลางคาน การติดตั้งชิ้นตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การทดสอบกำลังรับแรงดัดคอนกรีต

หลังจากการทดสอบสามารถคำนวณหาค่ากำลังรับแรงดัดของตัวอย่างทดสอบได้ตามสมการที่ (1)

$$R = 3Pl/2bd^2 \quad (1)$$

โดย R = กำลังรับแรงดัด (กก./ซม.^{2}), P = แรงที่จุดวิบัติของคาน (กก.), l = ช่วงคาน (ซม.), b = ความกว้างเฉลี่ยที่หน้าตัดบริเวณรอยแตก (ซม.), d = ความลึกเฉลี่ยที่หน้าตัดบริเวณรอยแตก (ซม.)

3. ผลการทดสอบ

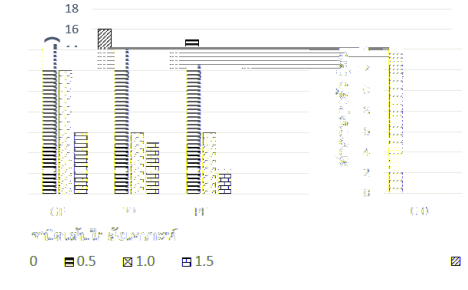
หลังจากการทดสอบคุณสมบัติทางกลของตัวอย่างทั้งหมด ซึ่งได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางกล

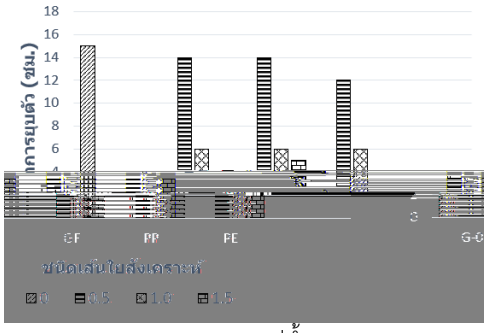
Mix Name	Compressive Strength (ksc)		Splitting Tensile Strength (ksc)		Flexural Strength (ksc)
	3 วัน	28 วัน	3 วัน	28 วัน	28 วัน
C-0 (Control)	180.20	304.73	24.29	45.59	48.00
G-0 (Control)	150.65	293.30	21.22	41.08	46.20
C-GF0.5	162.44	325.38	26.68	50.77	44.44
C-GF1.0	148.53	330.38	25.76	54.33	39.11
C-GF1.5	176.51	319.44	30.27	56.92	49.77
G-GF0.5	170.17	383.32	31.09	70.94	58.67
G-GF1.0	161.25	343.36	27.74	61.01	53.51
G-GF1.5	183.70	344.99	27.81	58.64	54.57
C-PP0.5	189.69	328.41	30.51	55.13	50.31
C-PP1.0	194.35	226.65	26.99	45.9	46.75
C-PP1.5	148.02	197.77	23.61	49.52	41.60
G-PP0.5	147.50	323.95	20.79	58.36	48.00
G-PP1.0	152.71	307.28	18.63	55.34	32.00
G-PP1.5	125.57	262.87	21.02	61.03	40.88
C-PE0.5	172.36	313.26	27.17	40.16	46.22
C-PE1.0	189.66	278.85	28.06	41.18	37.33
C-PE1.5	195.18	237.84	31.66	47.11	44.44
G-PE0.5	160.72	279.41	21.46	51.83	53.33
G-PE1.0	175.27	316.00	23.42	45.18	49.78
G-PE1.5	168.86	281.24	28.20	48.80	37.33

3.1 ค่ายุบตัวของคอนกรีต (Slump test)

รูปที่ 2 แสดงผลจากการทดสอบพบว่า ค่าการยุบตัวลดลงตามปริมาณการเสริมเส้นใย แสดงได้ถึงความสามารถในการทำงานได้ (Workability) ลดลง ทั้งในส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบหินย่อยและกรวดแม่น้ำ



(ก) หินย่อย

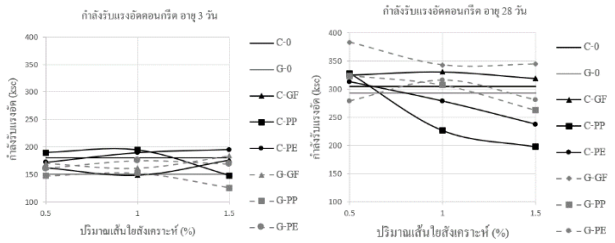


(ข) กรวดแม่น้ำ

รูปที่ 2 เปรียบเทียบค่าการยุบตัวของแต่ละส่วนผสม

3.2 กำลังรับแรงอัดคอนกรีต

จากผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด แสดงตามตารางที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบคอนกรีตธรรมดาที่ใช้หินย่อยและใช้กรวดแม่น้ำเป็นส่วนผสม ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยที่รูป 3(ก) ได้แก่กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตอายุ 3 วัน และรูป 3 (ข) ได้แก่กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตอายุ 28 วัน พบว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้กรวดแม่น้ำมีค่าน้อยกว่าคอนกรีตที่ใช้หินย่อยร้อยละ 3 แต่เมื่อมีการเพิ่มเส้นใยสังเคราะห์เข้าไปในส่วนผสมทั้งสอง โดยเริ่มจากปริมาณร้อยละ 0.5 ทำให้ค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้น มากสุดคือตัวอย่าง G-GF เสริมเส้นใยแก้วที่ปริมาณร้อยละ 0.5 เพิ่มขึ้นมาร้อยละ 20 แต่เมื่อเพิ่มขึ้นที่ปริมาณร้อยละ 1.5 กลับทำให้ค่ากำลังอัดลดน้อยลงไป ส่วนเส้นใยอีก 2 ชนิด เมื่อเพิ่มเข้าไปในส่วนผสมที่ปริมาณร้อยละ 0.5 กำลังรับแรงอัดมีค่าเพิ่มขึ้น ที่ปริมาณเส้นใยร้อยละ 1.0 จะเป็นค่าที่กำลังต้านทานแรงอัดสูงที่สุด แต่เมื่อปริมาณเส้นใยเท่ากับร้อยละ 1.5 กำลังรับแรงอัดจะมีค่าลดน้อยลง การเพิ่มเส้นใยเข้าไปในส่วนผสมคอนกรีตจะมีผลดีกับส่วนผสมที่ใช้กรวดแม่น้ำมากกว่า ซึ่งดูตามรูปที่ 3 (ข) ตัวอย่าง C-GF มีค่ากำลังอัดที่มากกว่าตัวอย่าง C-GF ที่เป็นเส้นใยชนิดเดียวกัน ต่างกันที่ชนิดของหิน

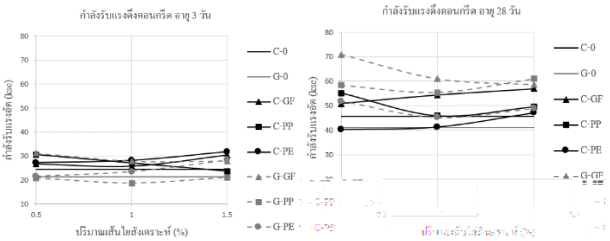


(ก) กำลังอัดคอนกรีต อายุ 3 วัน (ข) กำลังอัดคอนกรีต อายุ 28 วัน

รูปที่ 3 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

3.3 กำลังรับแรงดึงผ่าซีกคอนกรีต

ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงผ่าซีก แสดงตามตารางที่ 3 และเมื่อเปรียบเทียบคอนกรีตธรรมดาที่ใช้หินย่อยและใช้กรวดแม่น้ำเป็นส่วนผสม ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยที่รูป 3 (ก) ได้แก่กำลังรับแรงดึงของคอนกรีตอายุ 3 วัน และรูป 3 (ข) ได้แก่กำลังรับแรงดึงของคอนกรีตอายุ 28 วัน จากผลการทดสอบพบว่าความสามารถในการรับแรงดึงของคอนกรีตผสมหินย่อยจะมีค่าที่สูงกว่าคอนกรีตที่ผสมกรวดแม่น้ำประมาณร้อยละ 10 เมื่อเพิ่มเส้นใยสังเคราะห์เข้าไปในส่วนผสมคอนกรีตทั้งสองส่วนผสมแล้วนั้นทำให้ความสามารถในการรับแรงดึงเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่เพิ่มเส้นใยที่ปริมาณร้อยละ 0.5 และความสามารถในการรับแรงดึงก็ยังเพิ่มขึ้นที่ปริมาณเส้นใยร้อยละ 1.0 จนกระทั่งที่ปริมาณเส้นใยอยู่ที่ร้อยละ 1.5 ค่ากำลังรับแรงดึงเริ่มมีค่าลดลง ยกตัวอย่างเช่น ความสามารถในการต้านทานแรงดึงของตัวอย่าง G-GF เป็นตัวอย่างที่มีกำลังดึงมากที่สุด ที่ปริมาณเส้นใยร้อยละ 0.5 ที่อายุคอนกรีต 28 วัน ดังแสดงในรูปที่ 4 (ข) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยเป็นร้อยละ 1.0 กำลังรับแรงดึงจะเริ่มลดลงเนื่องจากมีเส้นใยเข้าไปแทนที่คอนกรีตในตัวอย่างมากเกินไป ส่วนตัวอย่างที่ใช้เส้นใยโพลีโพรพิลีน และเส้นใยโพลีเอสเตอร์ ค่ากำลังรับแรงดึงมากสุดจะอยู่ที่ปริมาณเส้นใยร้อยละ 1.0 หลังจากนั้นพอมีปริมาณเส้นใยร้อยละ 1.5 กำลังรับแรงดึงก็จะลดลง ส่วนผสมที่ใช้กรวดแม่น้ำที่ยังไม่ได้เสริมเส้นใยเข้าไปค่ากำลังดึงจะมีค่าน้อยกว่าส่วนผสมที่ใช้หินย่อย แต่เมื่อเสริมเส้นใยสังเคราะห์เข้าไปในส่วนผสมแล้ว ทำให้สามารถรับแรงดึงเพิ่มมากขึ้นร้อยละ 54 สำหรับตัวอย่าง G-GF0.5 แต่ตัวอย่าง C-GF0.5 มีค่ากำลังรับแรงดึงเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 11

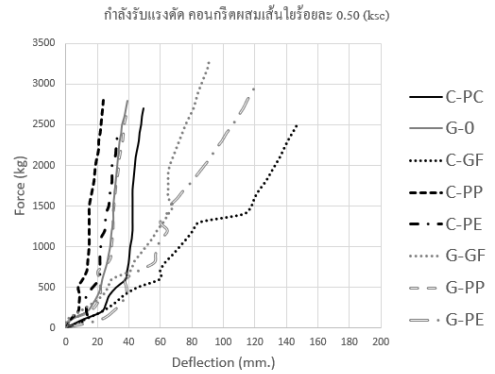


(ก) กำลังดึงคอนกรีต อายุ 3 วัน (ข) กำลังดึงคอนกรีต อายุ 28 วัน

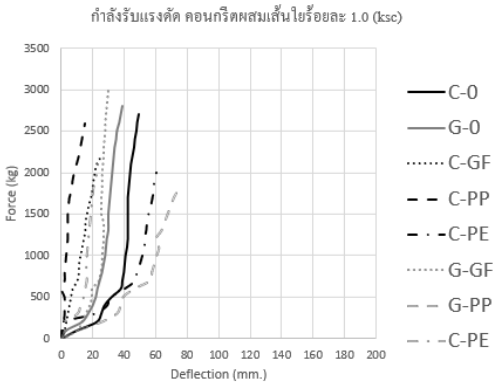
รูปที่ 4 กำลังรับแรงดึงของคอนกรีต

3.4 กำลังรับแรงดัดคอนกรีต

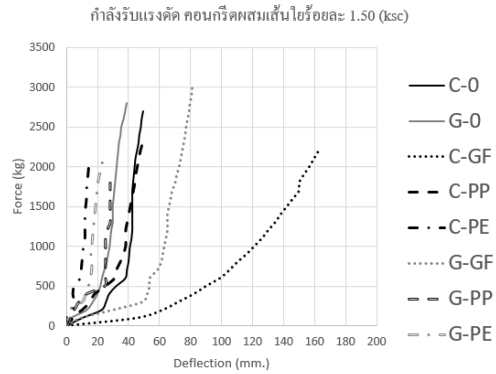
ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัด แสดงตามตารางที่ 3 และการแอ่นตัวของตัวอย่างเทียบกับกำลังรับแรงดัด จะเป็นการเปรียบเทียบส่วนผสมที่ใช้หินย่อยและกรวดแม่น้ำเป็นส่วนผสม ที่ได้เพิ่มเส้นใยสังเคราะห์เข้าไปในส่วนผสมที่ปริมาณเดียวกัน ที่อายุคอนกรีต 28 วัน ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยที่รูป 5 (ก) ได้แก่การเปรียบเทียบผลของเส้นใยชนิดต่าง ๆ ที่ปริมาณร้อยละ 0.5 รูปที่ 5 (ข) ได้แก่การเปรียบเทียบผลของเส้นใยชนิดต่าง ๆ ที่ปริมาณร้อยละ 1.0 และ 5 (ค) ได้แก่การเปรียบเทียบผลของเส้นใยชนิดต่าง ๆ ที่ปริมาณร้อยละ 1.5 พบว่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตที่ใช้หินย่อย กับคอนกรีตที่ใช้กรวดแม่น้ำมีค่าใกล้เคียงกันเมื่อเพิ่มเส้นใยเข้าไปในส่วนผสมในปริมาณร้อยละ 0.5 ทั้งคอนกรีตที่ใช้หินย่อยและกรวดแม่น้ำทำให้พฤติกรรมการแอ่นตัวเพิ่มมากขึ้นและมีค่ากำลังดัดที่เพิ่มสูงขึ้นโดยเฉพาะตัวอย่างที่ใช้เส้นใยเส้นใยแก้วที่ปริมาณเส้นใยร้อยละ 0.5 ทำให้เพิ่มกำลังรับแรงดัดมากขึ้นร้อยละ 25 เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้เสริมเส้นใย ส่วนคอนกรีตที่ใช้เส้นใยโพลีโพรพิลีน และเส้นใยโพลีเอสเตอร์ มีค่ากำลังรับแรงดัดใกล้เคียงกับคอนกรีตที่ไม่ได้เสริมเส้นใย เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยขึ้นเป็นร้อยละ 1.0 ตัวอย่าง G-GF ยังมีค่ากำลังรับแรงดัดที่สูงที่สุด แต่ระยะการแอ่นตัวนั้นลดลงจนเท่าตัวอย่างที่ไม่ได้เสริมเส้นใย ส่วนคอนกรีตที่ใช้เส้นใยโพลีโพรพิลีน และเส้นใยโพลีเอสเตอร์ มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกันคือ กำลังรับแรงดัดมีค่าลดลงร้อยละ 40 เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่เสริมเส้นใย และเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยเป็นร้อยละ 1.5 กำลังรับแรงดัดก็จะยิ่งลดลงไปอีกประมาณร้อยละ 30 ทุกชนิดของเส้นใยมีแนวโน้วใกล้เคียงกัน



(ก) คอนกรีตผสมเส้นใยร้อยละ 0.5



(ข) คอนกรีตผสมเส้นใยร้อยละ 1.0



(ค) คอนกรีตผสมเส้นใยร้อยละ 1.5

รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับระยะการแอ่นตัวที่กึ่งกลางคาน

4. บทสรุป

จากงานวิจัยนี้ ศึกษาผลของเส้นใยสังเคราะห์ 3 ชนิด ได้แก่ เส้นใยแก้ว เส้นใยโพลีโพรพิลิน และเส้นใยโพลีเอสเตอร์ เพิ่มเข้าไปในส่วนผสมคอนกรีตที่อัตราส่วนร้อยละ 0, 0.5, 1.0 และ 1.5 โดยน้ำหนักของซีเมนต์ และใช้มวลรวมหยาบ 2 ชนิด คือ หินย่อยจากภูเขา และกรวดแม่น้ำธรรมชาติ ส่งผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตทั้งเชิงกายภาพและเชิงกล โดยสามารถสรุปผลดังนี้

เมื่อเพิ่มเส้นใยสังเคราะห์เข้าไปในส่วนผสมคอนกรีตทำให้ความสามารถในการเทได้มีค่าลดลง โดยเฉพาะการเสริมเส้นใยที่ปริมาณร้อยละ 1.5 ความสามารถในการทำงานของคอนกรีตมีค่าน้อย ทั้งในการเคลื่อนย้ายและการเทเข้าแบบทำได้ยาก ปริมาณที่เหมาะสมควรจะอยู่ที่ร้อยละ 0.5-1.0

คุณสมบัติในการต้านทานกำลังอัดของคอนกรีตเสริมเส้นใยสังเคราะห์เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตธรรมดาถือว่ามีผลน้อย ค่ากำลังอัดที่มากที่สุดคือเส้นใยแก้วที่ปริมาณร้อยละ 0.5 สามารถเพิ่มค่ากำลังอัดมากขึ้นร้อยละ 20 ตามด้วยคอนกรีตที่ใช้เส้นใยโพลีโพรพิลีน และเส้นใยโพลีเอสเตอร์ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยเพมขึ้นเรื่อย ๆ จะทำให้กำลังรับแรงอัดลดน้อยลง

ความสามารถต้านทานแรงดึงมีผลมากเมื่อมีการเพิ่มเส้นใยสังเคราะห์เข้าไปในส่วนผสม กำลังลังรับแรงดึงที่มากที่สุดคือเส้นใยแก้ว ที่ปริมาณร้อยละ 0.5 สามารถเพิ่มกำลังรับแรงดึงเพิ่มขึ้นร้อยละ 75 เมื่อเทียบกับคอนกรีตธรรมดา ตามด้วยคอนกรีตที่ใช้เส้นใยโพลีโพรพิลีน และเส้นใยโพลีเอสเตอร์ การเสริมเส้นใยเข้าไปในส่วนผสมจะส่งผลให้กับส่วนผสมที่ใช้กรวดแม่น้ำมากกว่าส่วนผสมที่ใช้หินย่อย

ผลต่อการต้านทานแรงดัด มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากแต่ช่วยชะลอการแอ่นตัวของตัวอย่างเมื่อรับแรงและยังสามารถรับแรงได้เมื่อการแอ่นตัวเพิ่มมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ไม่มีการผสมเส้นใย ในบางส่วนผสมเมื่อเพิ่มเส้นใยเข้าไปแล้วกำลังมีค่าลงลด เช่น ตัวอย่าง G-PE เนื่องจากเมื่อมีปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นความหนาแน่นของคอนกรีตจะน้อยลงเพราะจะถูกแทนที่ด้วยเส้นใย

เมื่อนำเส้นใยสังเคราะห์มาใช้กับกรวดแม่น้ำทำให้เพิ่มขีดความสามารถให้กับคอนกรีตที่ใช้กรวดแม่น้ำได้เป็นอย่างดี ซึ่งจากคุณสมบัติเชิงกลที่น้อยกว่าคอนกรีตที่ใช้หินย่อยอยู่แล้วนั้น เมื่อเพิ่มเส้นใยสังเคราะห์เข้าไปในส่วนผสมทำให้คุณสมบัติเชิงกลดีมากกว่าคอนกรีตที่ใช้หินย่อยที่ใช้เส้นใยชนิดเดียวกัน จึงกล่าวได้ว่าเส้นใยมีส่วนช่วยในการทำงานของมวลรวมอย่างมาก

เอกสารอ้างอิง

[1] Mo, K.H., Yap S.P., Alengaram, U.J., Jumaat, M.Z., and Bu, C.H. (2014). Impact resistance of hybrid fibre-reinforced oil palm shell concrete. *Construction and Building Materials,* 50, pp. 499–507.

[2] Mohammadi, Y., Azad, R.C., Singh, S.P. and Kaushik, S.P. (2009) , Impact resistance of steel fibrous concrete containing fibres of mixed aspect ratio. *Construction and Building Materials,* 23, pp. 183-189.

[3] ประพนธ์ เพื่องฟู และ จตุพล ตั้งปกาศิต (2012). พฤติกรรมของคอนกรีตผสมเส้นใยและการต้านทานแรงกระแทกด้วยวิธีตุ้มน้ำหนัก.

การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 6, เพชรบุรี, 20-23 ตุลาคม 2553, หน้า 177-181.

[4] เทเวศ พรหมจา และวีรชัย ศรีวงษ์คล (2542). พฤติกรรมของซิลิก้าฟูมคอนกรีตและเส้นใยเหล็ก, *ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต คณะวิศกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*

[5] ปิติ สุคนธสุขสกุล, สมยศ วิวัฒน์พัฒนพงศ์ และรณรงค์ แสงพันธ์. (2547),*พฤติกรรมการรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเส้นใยเหล็กและเส้นใยโพรพีลีน*, (พิมพ์ครั้งที่ 2). การประชุมวิชาการคอนกรีตแห่งชาติ สมาคมคอนกรีตไทย.

[6] Dinesh, N., and Karuppaiya, A. (2017), Experimental Study on Strength of Concrete Using Crushed Pebbles by Replacement of Fine Aggregate. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) 04*, pp. 1507-1511.

[7] Nithyanandham, R. and Pandian, G.A.M. (2017), Study of Strength Characteristics of Pebbles Concrete with Partial Replacement of Cement by GGBS, *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET) 8*, pp. 1574-1579

[8] ปวีณา กล่อมมิตร (2019). การประเมินคุณสมบัติทางกลของซีเมนต์มอร์ตาร์ที่มีการเสริมกำลังด้วยเส้นใยสังเคราะห์. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 24, อุดรธานี, 10-12 กรกฎาคม 2562.

[9] ACI Committee. (2002), Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, *Heavyweight and Mass Concrete*, *ACI 211-91*, pp. 31-38