

การศึกษาพฤติกรรมการทดสอบคานคอนกรีตเสริมเหล็กผสมเส้นใยเบซอลต์

Study on the Behavior of Reinforced Concrete Beams with Basalt Fiber

ณัฐชานนท์ นนทูล¹ ธนัท นกเอี้ยงทอง¹ และ ศุภกร ประพัทธ์สร^{1,*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร กรุงเทพมหานคร

*Corresponding author; E-mail address: suphakorn@mut.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาพฤติกรรมและประสิทธิภาพของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีส่วนผสมของเส้นใยเบซอลต์ เพื่อประเมินผลของการเสริมเส้นใยเบซอลต์ในการเพิ่มความสามารถในการรับแรงดัดและชะลอการแตกร้าวของคานคอนกรีต ชิ้นงานทดสอบถูกแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม คือ คานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่ผสมเส้นใยเบซอลต์ และคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ผสมเส้นใยเบซอลต์ในอัตราส่วน 10, 20, และ 30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการผสมเส้นใยเบซอลต์สามารถเพิ่มความสามารถในการรับแรงดัดและชะลอการเกิดรอยแตกร้าวของคานคอนกรีตได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในระยะแรกก่อนที่คานจะแตกร้าว การเสริมเส้นใยเบซอลต์จึงถือเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มความแข็งแรงและอายุการใช้งานของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

คำสำคัญ: เส้นใยเบซอลต์, คานคอนกรีต, คอนกรีตเสริมเหล็ก, การชะลอการแตกร้าว, ประสิทธิภาพการรับแรงดัด

Abstract

This study focuses on the behavior and performance of reinforced concrete beams incorporating basalt fibers, aiming to evaluate the effectiveness of basalt fiber reinforcement in enhancing bending capacity and delaying the cracking of concrete beams. The test specimens were divided into two groups: reinforced concrete beams without basalt fibers and reinforced concrete beams with basalt fibers added at ratios of 10, 20, and 30 kilograms per cubic meter. The experimental results indicated that the inclusion of basalt fibers significantly improved the bending capacity and effectively delayed the occurrence of cracks, particularly during the initial loading stages before beam failure. The use of basalt fibers is thus considered an efficient method for strengthening and extending the service life of reinforced concrete beams.

Keywords: basalt fibers, concrete beams, reinforced concrete, crack delay, bending performance

1. ที่มาและความสำคัญ

เนื่องจากปัจจุบัน คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายในงานโครงสร้างต่างๆ เนื่องจากคุณสมบัติที่โดดเด่นในด้านความคงทน ความสามารถในการรับแรงอัดสูง และความหลากหลายในการใช้งาน เช่น การสร้างอาคาร ถนน และสะพาน อย่างไรก็ตาม คอนกรีตยังคงมีข้อจำกัดสำคัญ โดยเฉพาะในเรื่องความเปราะบางและกำลังรับแรงดึงต่ำ ซึ่งส่งผลกระทบต่อ การเกิดรอยแตกร้าวและการวิบัติของโครงสร้างเมื่อได้รับแรงกระทำที่เกินกว่าขีดจำกัดของวัสดุ ด้วยเหตุนี้การปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตผ่านการเสริมเส้นใยชนิดต่างๆ จึงเป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจจากนักวิจัยและวิศวกรในช่วงหลายปีที่ผ่านมา

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เส้นใยเบซอลต์ ซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาติที่มีคุณสมบัติเด่นในด้านความต้านทานแรงดึงสูง ความทนทานต่อความร้อน และสารเคมี และที่สำคัญคือมีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม เส้นใยเบซอลต์สามารถช่วยลดการแตกร้าวและเพิ่มความสามารถในการรับแรงของคอนกรีต นอกจากนี้ยังช่วยลดปริมาณการใช้วัสดุเสริมอื่น เช่น เหล็กเสริมในคานคอนกรีต ส่งผลให้ลดต้นทุนและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ผลการศึกษาก่อนหน้านี้ได้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของเส้นใยเบซอลต์ในด้านการพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีต Maria Wlodarczyk และ Igor Jedrzejewski [1] พบว่าการผสมเส้นใยเบซอลต์ในคานคอนกรีตช่วยลดการแตกร้าวและเพิ่มความสามารถในการรับแรงดัด นอกจากนี้ เส้นใยเบซอลต์ยังช่วยเพิ่มความต้านทานต่อผลกระทบจากอุณหภูมิและปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้คอนกรีตมีความคงทนสูงขึ้น Marta Kosior-Kazberuk และ Julita Krassowska [2] ได้ศึกษาและรายงานว่า การเพิ่มปริมาณเส้นใยเบซอลต์ในคอนกรีตช่วยเพิ่มความเหนียวและลดโอกาสการวิบัติของโครงสร้าง โดยคอนกรีตที่เสริมเส้นใยเบซอลต์สามารถรับแรงดัดและแรงอัดได้ดีกว่าคอนกรีตทั่วไป Julita Krassowska [2] เสริมว่าการใช้เส้นใยเบซอลต์สามารถลดการใช้เหล็กปลอกในคานคอนกรีตได้ ซึ่งช่วยลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพในเชิงโครงสร้าง

ในงานวิจัยนี้ มุ่งเน้นการศึกษาพฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีส่วนผสมเส้นใยเบซอลต์ในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อตรวจสอบความสามารถในการรับแรงดัด แรงเฉือน และความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการแอ่นตัวของคาน ผลที่ได้จากการทดลองจะถูกวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบกับคาน

คอนกรีตที่ไม่มีการเสริมเส้นใยชอลด์ ซึ่งจะช่วยยับยั้งศักยภาพของเส้นใยชอลด์ในการปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีต อีกทั้งยังเป็นแนวทางสำคัญสำหรับการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในอนาคต

การศึกษานี้ไม่เพียงแต่มุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพของคอนกรีต แต่ยังตอบสนองต่อความต้องการในการพัฒนาโครงสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยเส้นใยชอลด์ซึ่งปลอดภัยและสามารถย่อยสลายตามธรรมชาติได้ จะช่วยลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการก่อสร้าง และสามารถใช้ทดแทนวัสดุเสริมแบบเดิมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. วิธีการศึกษา

จากวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเส้นใยชอลด์ โดยที่ ตัวอย่างทดสอบมีทั้งหมด 12 ตัวอย่าง แตกต่างเพียงการเสริมเหล็กและการผสมเส้นใยชอลด์ ทำการทดสอบแบบ เดียวกันทั้งหมดทั้งนี้เพื่อให้ผลการทดสอบเป็นไปทางเดียวกันและนำมาเปรียบเทียบผลที่ได้มาจากการทดสอบ และได้ผลที่น่าเชื่อถือมากที่สุด ซึ่งรายละเอียดของตัวอย่างการทดสอบอุปกรณ์เครื่องมือสำหรับการทดสอบ วิธีการทดสอบ รวมถึงผลที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในการทดสอบดังนี้

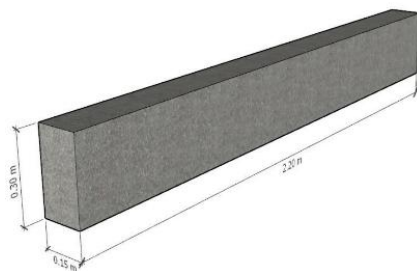
2.1 ขั้นตอนการทดสอบและวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบมีทั้งหมด 3 แบบดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางขึ้นตัวอย่างทดสอบ

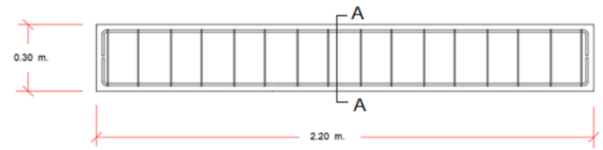
ประเภท	เหล็กเสริม บน-ล่าง	ผสมเส้นใยชอลด์(กิโลกรัม/ ลูกบาศก์เมตร)				จำนวน ชิ้น
		0	10	20	30	
1	2DB12- 2DB12	2	2	2	2	8
2	2DB12- 3DB12	2	-	-	-	2
3	2DB12- 4DB12	2	-	-	-	2
รวมขึ้น						12

ขึ้นตัวอย่างทดสอบมีขนาดเท่ากันทั้งหมดทุกชิ้นงานคือ กว้าง 15 ซม. สูง 30 ซม. และยาว 220 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 1

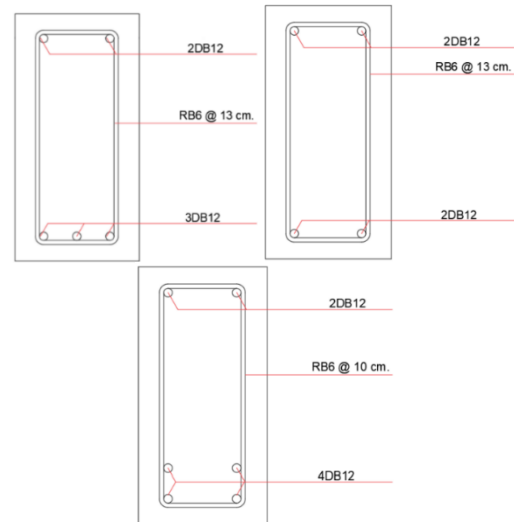


รูปที่ 1 ตัวอย่างชิ้นงาน

การเสริมเหล็กของคาน



รูปที่ 2 ตำแหน่งการวางเหล็ก



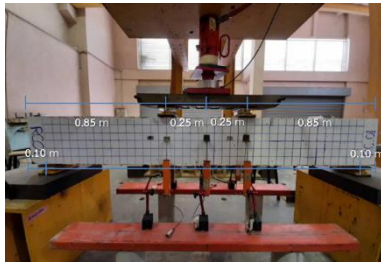
รูปที่ 3 หน้าตัดคานที่จุด A-A ของคานทั้ง 3 แบบ

2.2 วิธีการทดสอบ

การทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งจะใช้ชุดโครงเฟรม (Strong Floor) ในการทดสอบ การทดสอบทำโดยวิธีใช้แรงกดลงบนคานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยทำการถ่ายแรงจากกระบอกแม่แรงไฮดรอลิก (Hydraulics Jack) ซึ่งถ่ายแรงจากเครื่องอัดไฮดรอลิกแบบคั่นโยกไปเรื่อยๆ จนกว่าคานคอนกรีตเสริมเหล็กเกิดการวิบัติ

นำชิ้นงานทดสอบติดตั้งเข้ากับอุปกรณ์ทดสอบ โดยประกอบด้วย แม่แรงไฮดรอลิก มาตรวัดแรง และ อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ โดยใช้แม่แรงไฮดรอลิกเป็นเครื่องมือที่ใช้ถ่ายน้ำหนักให้แก่ชิ้นงานขนาด 55 ตัน มาตรวัดแรง ใช้วัดขนาดของแรงจากแม่แรงไฮดรอลิกที่กระทำกับคานตัวอย่าง ทำการติดตั้ง อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ 2 ด้านของคานเพื่อหาค่าการแอ่นตัว ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยอุปกรณ์วัดค่าทั้งหมดจะ เชื่อมต่อกับเครื่องแสดงข้อมูลเพื่ออ่านค่าการทดสอบและแสดงผลบนที่กลงในคอมพิวเตอร์ต่อไป

2.2.1 ตำแหน่งการตรวจวัดระยะการเคลื่อนที่ของคาน



รูปที่ 4 ตำแหน่งการตรวจวัดค่าการเคลื่อนที่ของคาน

3. ผลการศึกษา

การตรวจวัดระยะการเคลื่อนที่ ทำการตรวจวัดจำนวน 6 จุด และมีหน้าตัดที่ใช้ในการตรวจวัด 3 ตำแหน่ง ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยบริเวณ BL, BR และ C มีการตรวจวัดตำแหน่งละ 2 จุดจาก 2 ฝั่งของคาน

3.1 การทดสอบรับกำลังดัดของคานที่ผสมเส้นใยปะชอลต์และไม่ผสมเส้นใยปะชอลต์

การทดสอบพฤติกรรมรับแรงดัดของคานที่ผสมเส้นใยปะชอลต์ จะมีชั้นงานทั้งหมด 6 ชั้น ไม่ผสมเส้นใย 6 ชั้น เพื่อหากล้างรับแรงและการร่อนตัวที่จุดครากของคาน ทั้ง 12 ชั้น จะมีชื่อของคานต่างๆ ดังในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตารางแสดงชั้นคาน การเสริมเหล็กและปริมาณเส้นใย

ชื่อคาน	ปริมาณเหล็กเสริมบน-ล่าง	ผสมเส้นใยปะชอลต์ (กก/ลบ. ม.)
RC2-01	2DB12-2DB12	0
RC2-02	2DB12-2DB12	0
RC2-B10-01	2DB12-2DB12	10
RC2-B10-02	2DB12-2DB12	10
RC2-B20-01	2DB12-2DB12	20
RC2-B20-02	2DB12-2DB12	20
RC2-B30-01	2DB12-2DB12	30
RC2-B30-02	2DB12-2DB12	30
RC3-01	2DB12-3DB12	0
RC3-02	2DB12-3DB12	0
RC4-01	2DB12-4DB12	0
RC4-02	2DB12-4DB12	0

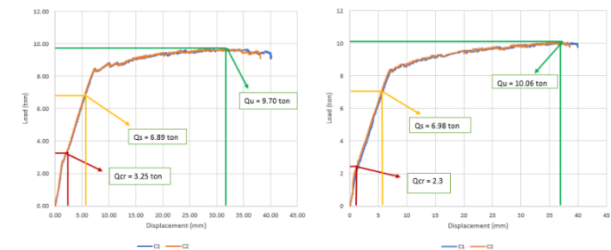
โดยผลการทดสอบคานทั้งหมดมีดังต่อไปนี้

ผลการทดสอบคานแต่ละชนิดแสดงให้เห็น Load-Displacement โดยมีน้ำหนักบรรทุกทุกแตกร้า (Q_u) คือ ช่วงที่คานรับน้ำหนักบรรทุกจนคานเริ่ม

เกิดการแตกร้า สังเกตได้จากขณะที่ทำการทดสอบ, น้ำหนักบรรทุกใช้งาน (Q_s) หาได้จากข้อจำกัดระยะแอนตัวของชิ้นส่วนคานทดสอบ โดยการพิจารณาที่น้ำหนักบรรทุกจรของโครงสร้างอาคาร (คาน) ระยะการแอนตัวที่ยอมรับให้เท่ากับ $L/360$ (L คือความยาวคาน) และน้ำหนักบรรทุกประลัย (Q_u) คือช่วงที่คานรับน้ำหนักบรรทุกได้สูงสุด ซึ่งหาได้จากข้อมูลใน Data logger แล้วจึงนำค่าเหล่านี้มาวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

3.2 ผลการทดสอบรับกำลังดัดของคานตัวอย่าง RC2-01, RC2-02

การทดสอบการรับกำลังดัดของคานตัวอย่างที่มีเหล็กเสริมล่าง 2DB12 และไม่มีการผสมเส้นใยมีค่าดังต่อไปนี้

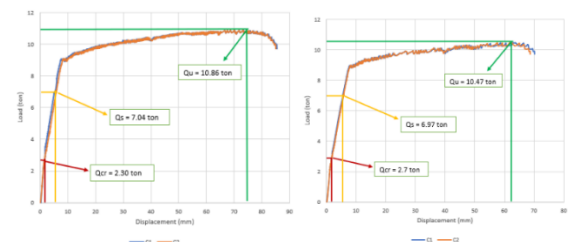


รูปที่ 5 กราฟแสดง Load-Displacement ณ ตำแหน่ง C1 และ C2 ของคาน RC2-01 และ RC2-02

จากรูปที่ 5 การทดสอบรับกำลังดัดของคาน RC2-01 และ RC2-02 พบว่า ค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกัน ซึ่งมีแรงกระทำที่ 2.3 และ 3.25 ตัน ตามลำดับ เมื่อตัวอย่างคานเริ่มเกิดการแตกร้าบริเวณด้านข้างและด้านล่างของคาน ก่อนที่จะถึงจุดที่แตกร้าอย่างชัดเจนที่บริเวณท้องคาน และเกิดแรงอัดที่บริเวณหลังคาน จนถึงช่วงที่คานสามารถรับน้ำหนักได้สูงสุดคือ 9.70 และ 10.06 ตัน ตามลำดับ และสังเกตได้ว่าเมื่อคานแอนตัวจนถึงประมาณ 40 มม. จะเกิดการวิบัติ

3.3 ผลการทดสอบรับกำลังดัดของคานตัวอย่าง RC2-B10-01, RC2-B10-02

การทดสอบการรับกำลังดัดของคานตัวอย่างที่มีเหล็กเสริมล่าง 2DB12 และมีการผสมเส้นใยปะชอลต์ 10 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าดังแสดงในรูปที่ 6



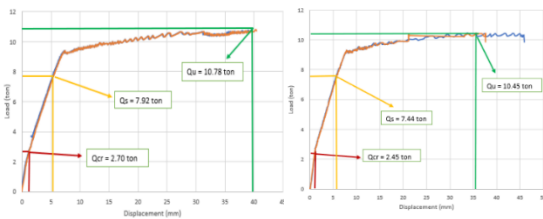
รูปที่ 6 กราฟแสดง Load-Displacement ณ ตำแหน่ง C1 และ C2 ของคาน RC2-B10-01 และ RC2-B10-02

จากการทดสอบรับกำลังดัดของคาน RC2-B10-01 และ RC2-B10-02 พบว่า ค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกัน ซึ่งเมื่อเกิดการแตกร้าแรกมีแรงกระทำที่

2.7 และ 2.3 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกับตัวอย่างก่อนหน้า ก่อนที่จะถึงจุดที่แตกร้าวอย่างชัดเจนที่บริเวณท้องคานและเกิดแรงอัดที่บริเวณหลังคาน และมีค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานอยู่ที่ 6.97 และ 7.04 ตันตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับคานก่อนหน้าอาจไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญ ต่อมาจนถึงช่วงที่คานสามารถรับน้ำหนักได้สูงสุดคือ 10.47 และ 10.86 ตัน ตามลำดับ และเกิดการวิบัติเมื่อคานแอ่นตัวที่ 62 และ 74 มม. ตามลำดับ สังเกตได้ว่าค่ากำลังอัดที่สามารถรับได้สูงสุดเพิ่มจากเดิมอยู่ราวๆ ร้อยละ 8 ของค่ากำลังอัดสูงสุดของตัวอย่างก่อนหน้า และยังสามารถชะลอการแตกร้าวของคอนกรีตได้ถึงร้อยละ 70 หรือ 1.7 เท่าของระยะการแอ่นตัวที่ทำให้เกิดการวิบัติเดิม

3.4 ผลการทดสอบรับกำลังดัดของคานตัวอย่าง RC2-B20-01 , RC2-B20-02

การทดสอบการรับกำลังดัดของคานตัวอย่างที่มีเหล็กเสริมล่าง 2DB12 และมีการผสมเส้นใยบะซอลต์ 20 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าดังต่อไปนี้

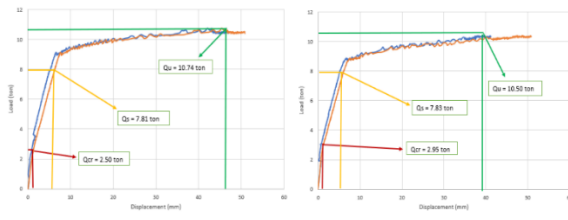


รูปที่ 7 กราฟแสดง Load-Displacement ณ ตำแหน่ง C1 และ C2 ของคาน RC2-B20-01 และ RC2-B20-02

ค่าที่ได้จากการทดสอบดังรูปที่ 8 พบว่าคาน RC2-B20-01 และ RC2-B20-02 เมื่อทำการทดสอบรับกำลังดัดมีค่า Q_{cr} เท่ากับ 2.45 และ 2.7 ตันตามลำดับ และมีค่า Q_s เท่ากับ 7.44 และ 7.92 ตามลำดับ ซึ่งถือว่ามีความมากกว่าคานชนิด RC2 และ RC2-B10 อยู่ประมาณร้อยละ 9-10 และค่า Q_u ที่ใกล้เคียงกับการเสริมเส้นใยบะซอลต์ที่ 10 กก./ลบ. ม. ซึ่งมีค่าเท่ากับ 10.45 และ 10.78 ตัน ตามลำดับ แต่การชะลอการแตกร้าวไม่เกิดขึ้นในตัวอย่างนี้ กลับได้ค่าที่ใกล้เคียงกับคานตัวอย่างที่ไม่มีการเสริมเส้นใยบะซอลต์แทน

3.5 ผลการทดสอบรับกำลังดัดของคานตัวอย่าง RC2-B30-01 , RC2-B30-02

การทดสอบการรับกำลังดัดของคานตัวอย่างที่มีเหล็กเสริมล่าง 2DB12 และมีการผสมเส้นใยบะซอลต์ 30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าดังต่อไปนี้

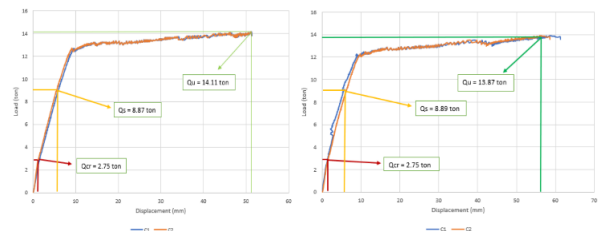


รูปที่ 8 กราฟแสดง Load-Displacement ณ ตำแหน่ง C1 และ C2 ของคาน RC2-B30-01 และ RC2-B30-02

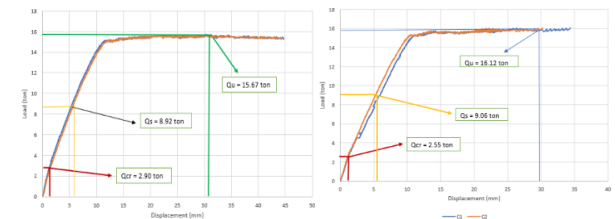
จากกราฟที่แสดงดังในรูปที่ 8 คือผลการทดสอบรับกำลังดัดของคานตัวอย่างที่มีผสมเส้นใยบะซอลต์ปริมาณ 30 กก./ลบ. ม. ซึ่งมีผลการทดสอบที่อาจไม่เป็นไปตามสมมติฐานเล็กน้อยคือ ค่ากำลังอัดเมื่อคานเกิดการแตกร้าวแรกเท่ากับ 2.95 และ 2.50 ตัน ตามลำดับ และ Q_s เท่ากับ 7.83 และ 7.81 ตัน ตามลำดับ ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกับ การเสริมเส้นใยเพียง 20 กก./ลบ. ม. และได้ค่ากำลังอัดประลัยอยู่ที่ 10.50 และ 10.74 ตันตามลำดับ ซึ่งก็ยังมีความใกล้เคียงกับการเสริมเส้นใยบะซอลต์ในปริมาณ 10 และ 20 กก./ลบ. ม. แต่ได้ค่าการแอ่นตัวเมื่อเกิดการวิบัติที่ ประมาณ 45 มม. ซึ่งอาจมากกว่า RC2-B20 อยู่เล็กน้อยแต่ก็ยังน้อยกว่า RC2-B10 อยู่พอสมควรถึงแม้มีการเสริมเส้นใยบะซอลต์มากขึ้นกว่าเดิมถึง 3 เท่า

3.5 ผลการทดสอบรับกำลังดัดของคานตัวอย่างเมื่อเพิ่มเหล็กเสริมล่าง

การทดสอบการรับกำลังดัดของคานตัวอย่างที่มีเหล็กเสริมล่าง 3DB12 และ 4DB12 ซึ่งทำการเพิ่มเหล็กเข้าไปเพื่อนำไปเทียบว่าการเสริมเส้นใยบะซอลต์สามารถทดแทนการเสริมเหล็กเส้นข้ออ้อยได้ขนาดไหนหรืออย่างไร และตัวอย่างที่ 2 ตัวอย่างนี้จะไม่มีมีการเสริมเส้นใยบะซอลต์เลย จะมีผลการทดสอบดังต่อไปนี้



รูปที่ 9 กราฟแสดง Load-Displacement ณ ตำแหน่ง C1 และ C2 ของคาน RC3-01 และ RC3-02



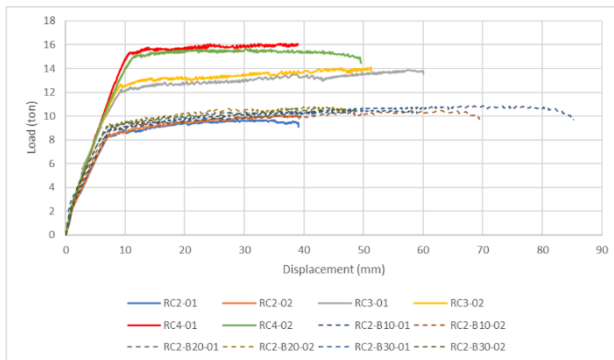
รูปที่ 10 กราฟแสดง Load-Displacement ณ ตำแหน่ง C1 และ C2 ของคาน RC4-01 และ RC4-02

ในการทดสอบตัวอย่างทั้ง 4 ตัวอย่างนี้ มีค่าแสดงดังในรูปที่ 9 และ 10 พบว่าได้ค่าการทดสอบที่ค่อนข้างพึงพอใจ คือเมื่อทำการเสริมเหล็กล่าง 3DB12 ได้ค่า Q_{cr} ใกล้เคียงกับตัวอย่างอื่นๆ คือ 2.75 ตันทั้ง 2 ตัวอย่าง และค่า Q_s ที่ 8.89 และ 8.87 ตัน ตามลำดับซึ่งมากขึ้นกว่าการเสริมเส้นใยบะซอลต์ที่ 10 กก./ลบ. ม. อยู่ 27 เปอร์เซ็นต์และมากกว่าการเสริมเส้นใยบะซอลต์ที่ 20-30 กก./ลบ. ม. อยู่ประมาณ 13-15 เปอร์เซ็นต์ และค่ากำลังอัดประลัยของ RC3-01, RC3-02 คือ 13.87 และ 14.11 ตันตามลำดับ และ RC4-01, RC4-02 คือ 16.12 และ 15.67 ตัน ตามลำดับ หมายความว่า การเสริมเส้นใยบะซอลต์ลงไปนั้นคอนกรีตไม่สามารถทดแทนการเสริมเหล็กข้ออ้อยได้ในแง่ของกำลังรับแรงอัดประลัย แต่หากคำนึงถึงการชะลอการแตกร้าวของคอนกรีตจะเห็นได้ว่าถึงแม้มีการเสริมเหล็กเพิ่มขึ้นถึง 1 หรือ 2 เส้น โดยค่าการแอ่นตัวสูงสุดเมื่อเกิดการวิบัติของ

3DB12 คือ 61 และ 51 มม. ตามลำดับ และการเสริมเหล็กที่ 4DB12 คือ 34 และ 45 มม. ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงการชะลอการแตกร้าวของคอนกรีตก่อนจะเกิดการวิบัติของคานชนิด RC2-B10 อย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับการเสริมเหล็กเพิ่ม 1 เส้นถึง 18 เปอร์เซ็นต์ และยังมากกว่าการเสริมเหล็กเพิ่ม 2 เส้นถึง 42 เปอร์เซ็นต์ ถึงแม้จะรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยได้น้อยกว่าก็ตาม

3. วิเคราะห์และสรุปผล

จากผลการทดสอบการรับกำลังดัดของคานตัวอย่างทั้ง 12 ตัวอย่าง แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของแต่ละชนิดได้ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 กราฟแสดง Load-Displacement ของคานทั้งหมด 12 คาน ตัวอย่าง

จากกราฟรูปที่ 11 ทำให้ทราบถึงการพัฒนากำลังและพฤติกรรมของคานแต่ละตัวอย่างจากเริ่มจนสิ้นสุดการทดสอบจะเปรียบเทียบระหว่างกราฟดังรูปที่ 5-10 เห็นได้ว่าคานตัวอย่างที่เสริมเหล็กเหมือนกันแต่มีการเพิ่มเส้นใยบะซอลต์เข้าไปจะมีความสามารถในการรับกำลังได้ดีกว่าคานที่ไม่มีการเสริมเส้นใยอยู่ประมาณ 7-8 % แต่เมื่อเทียบกับคานที่มีการเสริมเหล็กมากกว่า คานที่เสริมเหล็กมากกว่าก็ยังมีสามารถในการรับกำลังได้ดีกว่าอยู่เสมอ ดังที่แสดงในตารางที่ 4

จากผลการทดสอบทางกลของคานคอนกรีตเสริมเหล็กพบว่า คานที่ผสมเส้นใยบะซอลต์ในเนื้อคอนกรีตสามารถชะลอการแตกร้าวได้มากกว่าคานในกลุ่มควบคุมที่ไม่มีการเสริมเส้นใย รวมถึงตัวอย่าง 3DB12 และ 4DB12 อย่างชัดเจน โดยพฤติกรรมที่แตกต่างกันนี้สามารถอธิบายได้จากกลไกของเส้นใยภายในเนื้อคอนกรีต ซึ่งมีผลโดยตรงต่อความต้านทานการแตกร้าว

เส้นใยบะซอลต์ที่ถูกเติมลงในเนื้อคอนกรีตทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบเสริมแรงในระดับจุลภาค โดยสามารถแทรกซึมและกระจายอยู่ทั่วเนื้อวัสดุ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อพฤติกรรมการแตกร้าวของคอนกรีต กล่าวคือเมื่อคอนกรีตเริ่มมีรอยร้าวเกิดขึ้น เส้นใยจะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมที่สามารถถ่ายเทแรงดึงข้ามรอยร้าวย่อยได้ ทำให้เกิดการต้านทานการขยายตัวของรอยร้าวในระยะเริ่มต้น พลังงานที่จำเป็นต่อการก่อและขยายรอยร้าวจึง

เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้คอนกรีตสามารถต้านทานแรงภายนอกได้มากขึ้นก่อนที่จะรอยร้าวจะพัฒนาไปสู่ระยะวิกฤต

ในทางกลับกัน คานที่ไม่ได้ผสมเส้นใย เช่นตัวอย่าง 3DB12 และ 4DB12 จะไม่มีองค์ประกอบที่ช่วยรับแรงดึงในเนื้อคอนกรีต นำไปสู่การเกิดรอยร้าวแบบเฉียบพลันและรุนแรงมากกว่า รอยร้าวในกลุ่มตัวอย่างดังกล่าวจึงมีลักษณะเฉพาะคือเกิดขึ้นเร็ว เกิดรอยร้าวขนาดใหญ่ และขยายตัวได้ง่ายภายใต้แรงดัด

นอกจากนี้ การผสมเส้นใยยังส่งผลให้เกิดการกระจายของรอยร้าวมากขึ้น กล่าวคือแทนที่รอยร้าวขนาดใหญ่เพียงเส้นเดียว เส้นใยช่วยให้เกิดรอยร้าวขนาดเล็กจำนวนมากที่กระจายทั่วบริเวณจุดวิกฤต ทำให้พฤติกรรมโดยรวมของคานมีความเหนียวและยืดหยุ่นมากกว่าคานที่ไม่มีเส้นใย ซึ่งช่วยลดความรุนแรงของความเสียหายและเพิ่มความสามารถในการรับแรงซ้ำ

โดยสรุป ผลการทดลองยืนยันว่า การเสริมเส้นใยบะซอลต์ในคอนกรีตเสริมเหล็กมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความสามารถในการชะลอการแตกร้าว ลดความเปราะ และเพิ่มความทนทานต่อแรงดัด โดยเฉพาะในระยะต้นของการรับแรง ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบที่สำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับคานคอนกรีตที่ไม่ได้เสริมเส้นใย เช่นตัวอย่าง 3DB12 และ 4DB12

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยของคานตัวอย่างแต่ละชนิด

ตัวอย่างชิ้นงาน	ค่าความต้านทานในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยเฉลี่ย (ตัน)
RC2	9.88
RC2-B10	10.66
RC2-B20	10.61
RC2-B30	10.62
RC3	13.99
RC4	15.89

จากผลการทดสอบในตารางที่ 4 พบว่า คานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เติมเส้นใยบะซอลต์ในอัตราส่วน 10, 20 และ 30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ไม่แสดงค่าความสามารถในการรับน้ำหนักสูงสุดที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้สามารถอธิบายได้จากปัจจัยหลักดังต่อไปนี้

เนื่องจากปริมาณเส้นใยบะซอลต์ที่ใช้ในช่วง 10-30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อาจถึงระดับที่ประสิทธิภาพของเส้นใยในการเสริมแรงเข้าสู่ภาวะอิ่มตัว ซึ่งหมายถึงการเติมเส้นใยในปริมาณมากขึ้นไม่ได้ช่วยเพิ่มการรับน้ำหนักสูงสุดของคานอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากกลไกการถ่ายเทแรงและการยับยั้งรอยร้าวภายในคอนกรีตได้ถูกพัฒนาเต็มศักยภาพแล้วตั้งแต่ปริมาณต่ำสุดที่เติม

ประการต่อมา การเติมเส้นใยในปริมาณสูงอาจส่งผลกระทบต่อความสามารถในการกระจายตัวของเส้นใยในเนื้อคอนกรีต โดยเฉพาะในกรณีที่ไม่มีการควบคุมการผสมหรือการกระจายตัวอย่างเหมาะสม เส้นใยอาจเกิดการจับตัวเป็นก้อน หรือกระจายไม่สม่ำเสมอ ซึ่งลดทอน

ประสิทธิภาพการทำงานของเส้นใยในการเสริมแรง ส่งผลให้ค่าความสามารถในการรับน้ำหนักของคานไม่เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของเส้นใยที่เติม

สามารถสรุปได้ว่าการเสริมปริมาณเส้นใยบะซอลที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือ 10 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าความต้านทานในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยมากกว่าการไม่มีการเสริมเส้นใยบะซอลถึง 7-8 % และยังมีภาระชะลอแตกร้าวได้มากกว่าการไม่เสริมเส้นใยบะซอลถึง 2 เท่า จากค่าการแอ่นตัวสูงสุดที่เกิดการวิบัติของคาน มีค่าอยู่ที่ 68 มม. ซึ่งมากกว่าทั้งการเสริมเหล็ก 2DB12, 3DB12 และ 4DB12 อยู่ที่ 70, 18 และ 42 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบของการเสริมเส้นใยบะซอลที่มากขึ้นที่ 20-30 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณแทนที่จะได้ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยและค่าการแอ่นตัวสูงสุดก่อนการวิบัติมากขึ้น แต่กลับได้ค่ารับกำลังอัดประลัยและค่าการแอ่นตัวสูงสุดน้อยลง แต่ก็ยังมากกว่าการไม่เสริมเส้นใยบะซอลเลย

4. ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้มีความเข้าใจพฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เกิดความเสียหายภายใต้แรงกระทำจากภายนอกมากยิ่งขึ้น ควรมีการศึกษาในส่วนของความเสียหายที่เกิดขึ้นบริเวณปลายคาน กึ่งกลางคานสำหรับการผสมเพิ่มเส้นใยบะซอลจะทำให้รับกำลังได้เพิ่มขึ้น แต่ในขณะเดียวกันก็ต้องขึ้นอยู่กับจำนวนที่ผสมในคานทดสอบ เพราะฉะนั้นการเสริมกำลังตัดจะต้องพิจารณาสภาพเดิมของเส้นใยบะซอลที่มี หากชิ้นส่วนมีปริมาณเหล็กหลักมากอยู่แล้ว การเสริมกำลังโดยใช้เส้นใยบะซอลอาจไม่ใช่สิ่งจำเป็นเพราะถ้ามีการผสมมากเกินไป อาจจะเป็นการเร่งให้ชิ้นส่วนเกิดการวิบัติเร็วขึ้น แต่หากโครงสร้างมีขนาดใหญ่แต่มีการเสริมเหล็กหลักน้อย การเสริมกำลังโดยผสมเส้นใยบะซอลถ้ามีการผสมในอัตราส่วนที่พอเหมาะจะเกิดประโยชน์อย่างมาก ทั้งนี้ต้องทำการทดสอบต่อไปหากต้องการทราบปริมาณการเสริมเส้นใยบะซอลในคอนกรีต

เอกสารอ้างอิง

- [1] Wlodarczyk, M. and Jedrzejewski, I. (2016). Concrete slabs strengthened with basalt fibers – experimental tests results. *Procedia Engineering*, 153, pp. 866–873.
- [2] Kosior-Kazberuk, M. and Krassowska, J. (2019). Fracture toughness of concrete with basalt fiber. *MATEC Web of Conferences*, 265, 01008.
- [3] Krassowska, J. and Kosior-Kazberuk, M. (2019). Failure mode of basalt fiber reinforced concrete beams. *Materials Science and Engineering*, 471, 052043.
- [4] Irine, F.I.A. (2014). Strength aspects of basalt fiber reinforced concrete. *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering*, 1(8), pp. 1–6.
- [5] Jena, B. and Mohanty, B.B. (2018). Study on the mechanical properties and fracture behavior of chopped steel fiber reinforced self-compacting concrete. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, eISSN: 2319-1163, pISSN: 2321-7308.
- [6] Hassan, N.Z. and Hassanin, J. (2019). Behavior of reinforced concrete beams with basalt fibers added to the mix. *International Journal of Civil and Structural Engineering Research*, 6(2), pp. 197–206.
- [7] เอกสารวิชาการ. (2552). *คอนกรีต: คู่มือการเรียนรู้การสอนวิชาคอนกรีตเทคโนโลยี*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.
- [9] วิชชุดา สัตนาโค (2557). *มวลรวม*.
- [10] Dalian Limei International Trade Co., LTD. (2018). *เส้นใยบะซอล*.
- [11] สุรศักดิ์ มนต์รี และ เสรี วิเศษวงษา (2557). *การบ่มคอนกรีตสด*.
- [12] มงคล จิรวชิรเดช. (2014). *การออกแบบคานโดยวิธีกำลัง (SDM)*. สาขาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.