การวิจัยศึกษากำลังอัดและกำลังดัดของมอร์ต้าโดยวิธีการอัดขึ้นรูปที่มีการแทนที่ทรายด้วยหินฝุ่นและเสริมเส้นใยปาล์มน้ำมัน

Study of Compressive Strength and Flexural Strength of Mortar by Compression Molding Method by Replacing Sand with Stone Dust and Reinforced with Palm Oil Fibers

อำพล แพรสิน[1] และ มาโนช สรรพกิจทิพากร[2]

[1]นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จ.กรุงเทพฯ
[2] ศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จ.กรุงเทพฯ
Corresponding author; E-mail address: manote.s@eng.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยประยุกต์ใช้วิธีการอัดขึ้นรูปเพื่อผลิตมอร์ต้าที่มีการเสริมเส้นใยปาล์มน้ำมัน และมีการแทนที่ทรายด้วยหินฝุ่น และศึกษาผลกระทบของการแทนที่ทรายด้วยหินฝุ่นและการเสริมเส้นใยปาล์มน้ำมันที่มีต่อกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัด โดยเตรียมตัวอย่างมอร์ต้าทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.16 เซนติเมตร สูง 11.68 เซนติเมตร สำหรับการทดสอบกำลังอัด และตัวอย่างคานขนาด 10×10×35 เซนติเมตร สำหรับการทดสอบกำลังดัด ในการศึกษานี้มีการแทนที่ทรายด้วยหินฝุ่นในอัตราส่วนร้อยละ 60 และ 100 โดยน้ำหนัก และมีการผสมเส้นใยปาล์มน้ำมันที่อัตราส่วนร้อยละ 2, 4, และ 6 โดยปริมาตร แล้วทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัดในอายุการบ่ม 28 วัน จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ในกรณีที่ไม่มีการผสมเส้นใยปาล์มน้ำมัน การแทนที่ทรายด้วยหินฝุ่นที่ร้อยละ 60 ให้ค่ากำลังรับแรงอัดมากที่สุด แต่เมื่อมีการผสมเส้นใยปาล์มน้ำมัน พบว่าปริมาณเส้นใยปาล์มน้ำมันที่เพิ่มขึ้นทำให้กำลังรับแรงอัดมีค่าลดลง อย่างไรก็ตาม เส้นใยปาล์มน้ำมันนั้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรับแรงดัดอย่างมาก ทั้งค่ากำลังรับแรงดัดคงค้างและความเหนียวดัด

คำสำคัญ: เส้นใยน้ำปาล์มน้ำมัน หินฝุ่น, การแทนที่ทรายด้วยหินฝุ่น, มอร์ต้าเสริมเส้นใย, การขึ้นรูปด้วยการอัด

Abstract

This research applied a compression molding process to produce a mortar, in which a replacement of sand with limestone dust (at 60 and 100% by mass of sand) and a reinforcement of oil palm fiber (at 2, 4, and 6% by volume fraction) are incorporated. The effect of the dust and the fiber on the compressive and flexural strength of the mortar was then investigated. For compressive strength testing, the 10.16-cm diameter and 11.68-cm high mortar cylinder was employed. For flexural strength testing, the specimen was 10 × 10 × 35 cm mortar beam. Both test were conducted after 28 days of curing. The results showed that, in case of no fiber, the 60 percent replacement of sand by stone dust achieves the highest compressive strength. When the fiber was added, the compressive strength was decreased. However, the fiber inclusion greatly enhances the flexural performance such as residual flexural strength and flexural toughness.

Keywords: oil palm fiber, Stone dust, Replace sand, Mortar reinforced fiber

1. บทนำ

คุณสมบัติทั่วไปของคอนกรีตนั้นแข็งเปราะ รับแรงดึงและแรงดัดได้น้อย จึงมีการเสริมเสมรรถภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของคอนกรีตนั้นให้สูงขึ้น การเสริมสมรรถภาพของคอนกรีตนั้นสามารถทำได้โดยใช้ระบบคอนกรีตเสริมแรง โดยการนำวัสดุอื่นที่สามารถรับแรงดึงได้ เช่น เส้นใย มาผสมในคอนกรีตเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรง โดยอาจกล่าวได้ว่าคอนกรีตรับแรงอัดและไฟเบอร์รับแรงดึง ถึงแม้ว่าในช่วงแรกหลังจากที่คอนกรีตเริ่มแข็งตัว คอนกรีตและไฟเบอร์จะร่วมกันรับแรงดึงจนถึงสถาวะที่คอนกรีตไม่สามารถรับแรงดึงได้ โดยประโยชน์ของคอนกรีตเสริมเส้นใยประกอบด้วย การเพิ่มกำลังรับแรง ลดการแตกร้าว จึงพยายามใส่ให้มากขึ้นเพื่อเสริมแรง แต่ว่าการขึ้นรูปปกติด้วยการเทเข้าแบบมีข้อจำกัดการใช้ปริมาณเส้นใย ปกติใช้เส้นใยได้เพียงร้อยละ 1 ถึง 2 โดยปริมาตรเท่านั้น หากต้องการเพิ่มปริมาณเส้นใยให้มากขึ้น จำเป็นต้องอาศัยการกระทำทางกลเข้ามาช่วย ในการศึกษานี้ประยุกต์ใช้วิธีการขึ้นรูปด้วยการกดอัด ทำให้ในงานวิจัยใช้เส้นใยปริมาณสูงถึงร้อยละ 2, 4, และ 6 โดยปริมาตร

ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้เส้นใยปาล์มน้ำมันในการเสริมสมรรถภาพทางคอนกรีต ซึ่งเส้นใยที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้จะเป็นเส้นใยปาล์ม และมีการ

แทนที่ทรายด้วยหินฝุ่น โดยใช้การขึ้นรูปเช่นเดียวกับอิฐบล็อค เพื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยที่สามารถใส่เพิ่มลงไปได้

เนื่องจากเส้นใยปาล์มน้ำมันเป็นของเหลือจากกระบวนการผลิตน้ำมันจากผลปาล์ม เช่นเดียวกับหินฝุ่นที่เป็นของเหลือจากกระบวนการโม่หิน

M.A.Ismail, H.B.Hashim (2008) [1] การศึกษาการพัฒนากำลังอัดและกำลังดัดของคอนกรีตด้วยเส้นใยปาล์มน้ำมัน ผลการศึกษาเบื้องต้นชี้ให้เห็นว่าเมื่อความยาวของเส้นใยเพิ่มขึ้นแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของเส้นใย ความยาวเส้นใย 1 ซม. และ 5 ซม. ใช้เส้นใยปาล์มน้ำมัน 0.25% และ 0.50% ของน้ำหนักซีเมนต์ตามลำดับ โดยหล่อก้อนคอนกรีตขนาด 100 x 100 x 100 มิลลิเมตรเพื่อทดสอบการรับกำลังอัด และหล่อก้อนคอนกรีตขนาด 100 x 100 x 500 มิลลิเมตรเพื่อทดสอบกำลังการรับแรงดัด ทดสอบที่อายุ 7,28 และ 90 วัน ผลการทดสอบพบว่าที่ปริมาณเส้นใย 0.25% และ 0.50% ความยาวเส้นใยที่เหมาะสมคือ 5 เซนติเมตร และ 1 เซนติเมตร ตามลำดับความยาวเส้นใยที่เหมาะสมนี้นำไปสู่การพัฒนาความแข็งแรงเพิ่มขึ้น 39%

A.K.Singh, V.Srivastava, V.C. Agarwal (2015) [2] ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาความสามารถในการใช้งาน และกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ทำจากหินฝุ่นเพื่อทดแทนมวลรวมที่ละเอียดในช่วง 10% - 100% คอนกรีตเกรด M25 ออกแบบโดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน ความสามารถในการใช้งานและกำลังรับแรงอัดถูก กำหนดในระดับการทดแทนที่แตกต่างกันของมวลรวมที่ดี และระดับการทดแทนที่เหมาะสมถูกพิจารณาจากกำลังอัด ผลการศึกษาพบว่าโดยการแทนที่ 60% ของมวลรวมที่ดีด้วยหินฝุ่น คอนกรีตสามารถรับกำลังอัดได้สูงสุดเมื่อ เทียบกับการทดแทนอื่น ๆ ทั้งหมด

2. ขั้นตอนการวิจัย

2.1 วัสดุ

2.1.1 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ ใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 (Ordinary Portland Cement) มีคุณสมบัติตามมาตรฐาน มอก.15 ล.12547 หรือตามมาตรฐาน ASTM C 150

2.1.2 มวลรวมละเอียด

มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) ใช้ทรายที่มีขนาดประมาณ 0.3-0.6 มม.

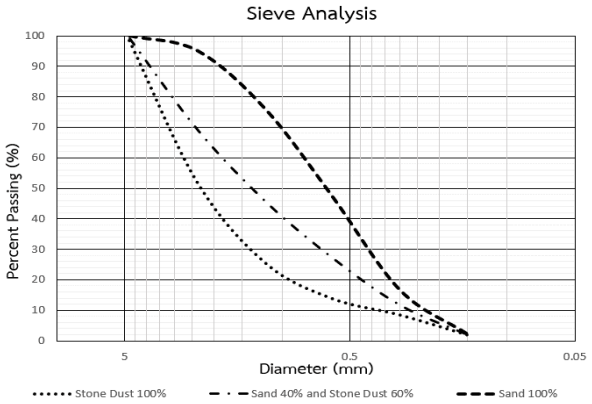
2.1.3 หินฝุ่น

หินฝุ่น (Stone Dust) ใช้หินฝุ่นจากโรงโม่หิน อ.อู่ทอง จ.สุพรรณบุรี ที่มีค่าโมดูลัสความละเอียด 4.10 และมีปริมาณคงค้างในถาดสุดท้ายไม่เกิน ร้อยละ 1.97 โดยน้ำหนัก

รูปที่ 1 หินฝุ่นจากโรงโม่หิน อ.อู่ทอง จ.สุพรรณบุรี

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของมวลรวมละเอียดและหินฝุ่น

Specification	Sand	Stone dust
ความถ่วงจำเพาะ(อิ่มตัวผิวแห้ง)	2.58	2.87
ความถ่วงจำเพาะ(แห้ง)	2.56	2.84
ความถ่วงจำเพาะ(ปรากฏ)	2.62	2.91
Fineness Modulus	2.63	4.1
การดูดซึมร้อยละ	0.91	0.86



รูปที่ 2 กราฟแสดงขนาดคละของมวลรวมละเอียดของหินฝุ่น 100% ทราย 100 % และทราย 40% ผสมกับหินฝุ่น 60%

2.1.4 เส้นใยปาล์มน้ำมัน

เส้นใยปาล์มที่ใช้ต้องมีความยาว 5±1 เซนติเมตร ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง

รูปที่ 3 เส้นใยปาล์มน้ำมัน

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยปาล์มน้ำมัน

Chemical constituents	Composition
Cellulose	49.6%
Lignin	21.2%
Hemicellulose	18%
Pentosan	17.8%

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของเส้นใยปาล์มน้ำมัน

Properties	Value
Density (g/cm³)	0.7-1.55
Tensile strength (MPa)	0.1-0.4
Young's modulus (GPa)	1-9
Elongation at break (%)	8-18
Diameter (μm)	50-500

2.2 อัตราส่วนผสมของการทดสอบ

2.2.1 สัดส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมละเอียดคงที่เท่ากับ 1 ต่อ 10 โดยมีการผสมเส้นใยปาล์มที่ร้อยละ 0, 2, 4 และ 6 โดยปริมาตร และมีการแทนที่ทรายด้วยหินฝุ่นที่ร้อยละ 0, 60 และ 100 โดยน้ำหนัก

2.2.2 ทำการทดสอบ Compaction test [3] เพื่อหาค่าความหนาแน่นและปริมาณน้ำที่ต้องใช้

ตารางที่ 4 ความหนาแน่นและปริมาณน้ำที่ต้องใช้ของตัวอย่างการทดสอบ

Name	Density (g/cm³)	OMC (%)
S100F0	2.03	9.16
S100F2	1.94	12.22
S100F4	1.88	14.64
S100F6	1.84	18.49
S40F0	2.36	7.51
S40F2	2.31	11.17
S40F4	2.26	14.23
S40F6	2.18	17.34
S0F0	2.48	6.74
S0F2	2.37	10.08
S0F4	2.33	13.10
S0F6	2.23	16.30

** หมายเหตุ S a F b

S = ทราย

a = เปอร์เซ็นต์ของทรายที่ใช้ในการทำตัวอย่าง (โดยน้ำหนัก)

F = เส้นใยปาล์มน้ำมัน

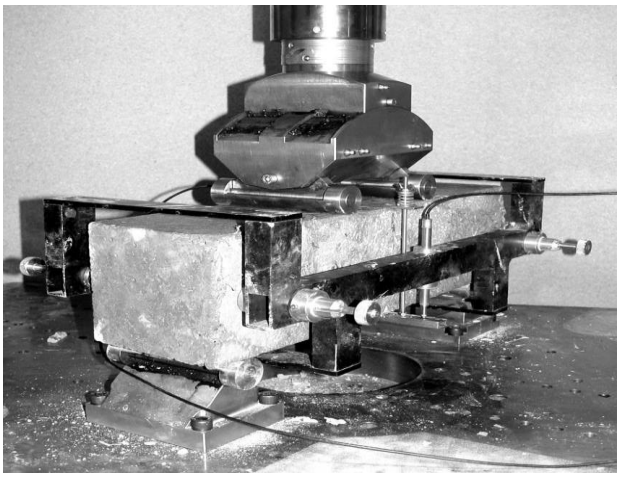
b = เปอร์เซ็นต์เส้นใยปาล์มน้ำมันที่ใช้ในการทำตัวอย่าง (โดยปริมาตร)

2.3 การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

เตรียมเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ได้จากโรงงานน้ำไปล้างน้ำสะอาด 3 รอบ จากนั้นน้ำไปอบที่อุณหภูมิ 105±5 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อไม่ให้มีความชื้นภายในเส้น จากนั้นใส่น้ำตามสัดส่วนข้างต้นแล้วผสมคลุกเคล้าเป็นเวลา 90 วินาที จึงนำไปอัดขึ้นรูปเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.16 เซนติเมตร สูง 11.63 เซนติเมตร และตัวอย่างคานขนาด 10×10×35 เซนติเมตร โดยแต่ละชั้นนั้นต้องทำการขูดผิวหน้า เพื่อเพิ่มความขรุขระและป้องกันการแยกชั้นกันของก้อนตัวอย่าง เมื่อครบทั้ง 5 ชั้นแล้วจึงนำเอาออกจากแบบหล่อแล้วห่อหุ้มด้วยพลาสติกใสบาง เพื่อบ่มอากาศเป็นระยะเวลา 28 วัน

2.4 ขั้นตอนการทดสอบ

หลังจากบ่มตัวอย่างทดสอบเป็นเวลา 28 วัน จึงนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างทดสอบทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.16 เซนติเมตร สูง 11.63 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน ASTM D2166 [4] และทดสอบสมรรถนะการรับแรงดัดของตัวอย่างทดสอบรูปทรงคาน ขนาดหน้าตัด 10x10 เซนติเมตร ยาว 35 เซนติเมตร (ระยะพาดจริง 30 เซนติเมตร) ตามมาตรฐาน ASTM C1609-12 [5] โดยการติดตั้งเครื่องมือทดสอบดังรูปที่ 4 มาตรวัดน้ำหนักเครื่อง Instron ขนาด 1500 kN มาตรวัดระยะแอ่นตัว ใช้ LVDT จำนวน 2 ตัว ในแต่ละด้านของตัวอย่าง ติดตั้งตรงตำแหน่งกึ่งกลางคาน เพื่อหาระยะแอ่นตัวเฉลี่ย โดยความคุมอัตราการแอ่นตัวให้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.05 มม.ต่อนาทีและทำการทดสอบจนกระทั่งตัวอย่างเกิดการวิบัติ โดยปรากฏรอยแตกร้าวเกิดขึ้นจึงเปลี่ยนอัตราการแอ่นตัวให้เพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.2 มม.ต่อนาที จนตัวอย่างทดสอบรูปทรงคานมีระยะแอ่นตัวสุทธิ 5 มิลลิเมตร จึงหยุดการทดสอบ

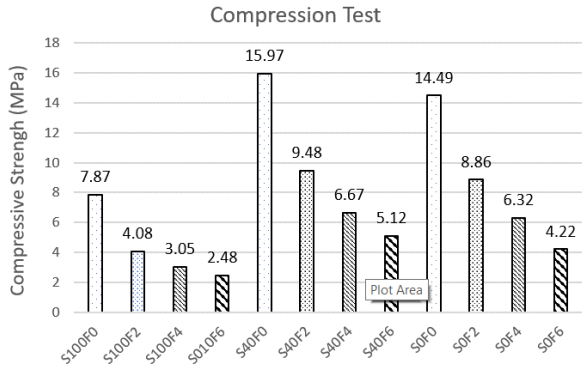


รูปที่ 4 วิธีการติดตั้งเครื่องมือทดสอบการรับแรงดัดตามมาตรฐาน ASTM C1609-12

3.ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

3.1 กำลังรับแรงอัด

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดเป็นไปดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 กราฟแสดงกำลังรับแรงอัดของทราย100% แทนที่ทราย 40% ผสมกับหินฝุ่น 60% แทนที่ทรายด้วยหินฝุ่น100% มีการเสริมเส้นใยปาล์มน้ำมัน 2% 4% 6% โดยปริมาตร

อย่างไรก็ตาม ในกรณีของการแทนที่ทรายด้วยหินฝุ่นนั้น พบว่ากำลังอัดกลับมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อสัดส่วนผสมของการแทนที่ด้วยหินฝุ่นเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อถึงจุดๆหนึ่งนั้นกลับให้กำลังที่ต่ำลง โดยทราย 40% ผสมกับหินฝุ่น 60% จะให้ค่ากำลังที่สูงที่สุด รองลงมาคือ การแทนที่ทรายด้วยหินฝุ่น 100% และทราย 100% ซึ่งมีค่าเท่ากับ 15.97, 14.49 และ7.87 MPa ตามลำดับ

เมื่อมีการเสริมเส้นใยปาล์มน้ำมัน 2, 4 และ 6% โดยปริมาตร พบว่ามีค่ากำลังแรงอัดมีค่าลดลงจาก 15.97 MPa ไปเป็น 9.48, 6.67 และ 5.12 MPa ตามลำดับ (เมื่อเปรียบกับทราย 40% ผสมกับหินฝุ่น 60%) ทั้งนี้สาเหตุของการลดลงน่าจะมาจากการเกิดช่องว่างภายในอันเนื่องจากการอัดตัวที่ไม่แน่นเมื่อเส้นใยมีปริมาณมากขึ้น รวมถึงปริมาณน้ำที่เพิ่มมากขึ้นด้วย

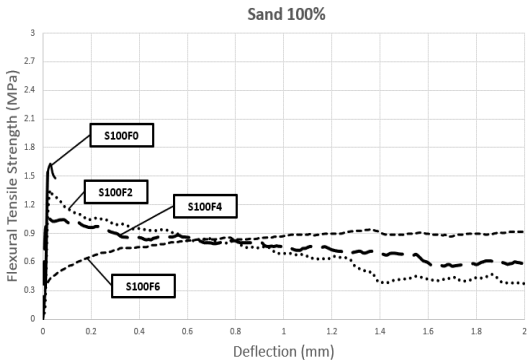
3.2 พฤติกรรมภายใต้แรงดัด

พฤติกรรมภายใต้แรงดัดของตัวอย่างคานที่มีทราย 0, 40 และ 100% ที่มีการเสริมเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ 2, 4 และ 6% โดยปริมาตร แสดงในรูปที่ 6 ,7 และ 8 ตามลำดับ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดและระยะแอ่นตัวของของคานที่มีทราย 0, 40 และ 100% ที่มีการเสริมเส้นใยปาล์มน้ำมัน 2, 4 และ 6% โดยปริมาตร ตามลำดับ

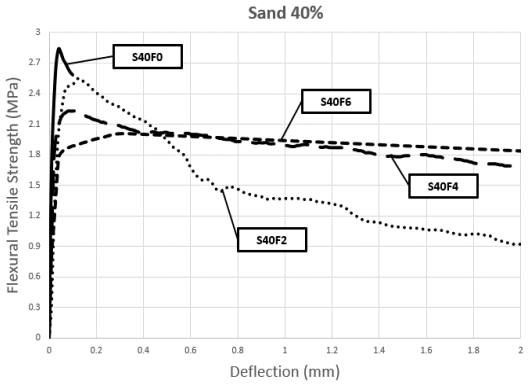
ในส่วนคานคานที่มีทราย 0, 40 และ 100% ที่ไม่มีการเสริมเส้นใยปาล์มน้ำมันนั้น เมื่อถึงจุดที่คานสามารถรับกำลังได้สูงสุดแล้ว จะไม่สามารถรับกำลังได้อีก ซึ่งคานที่มีทราย 40% สามารถรับกำลังได้สูงที่สุด รองลงมาคือ คานที่มีทราย 0% และ 100% ตามลำดับ

เมื่อมีการเสริมเส้นใยปาล์มน้ำมัน จะทำให้ตัวอย่างคานสามารถรับกำลังหลังการแตกร้าวครั้งแรกได้ ซึ่งการเสริมเส้นใย 6% สามารถรับกำลังหลังการแตกร้าวครั้งแรกได้มากที่สุด รองลงมาคือ 4 และ 2% ตามลำดับ

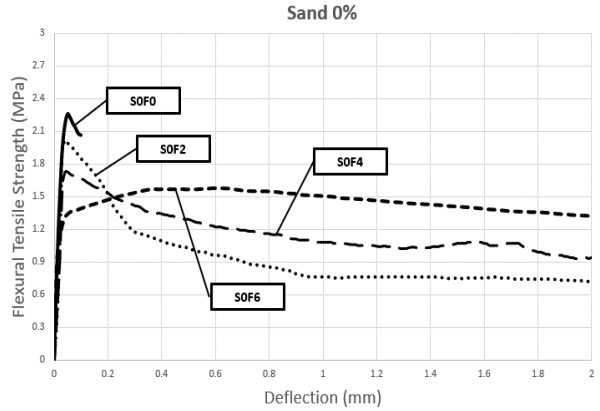
คานที่มีการเสริมเส้นใย 6% โดยปริมาตรนั้น การรับกำลังหลังการแตกร้าวครั้งแรกจะมากกว่าการแตกร้าวครั้งแรก เนื่องจากปริมาณเส้นใยที่มากขึ้น ปริมาณน้ำที่มากขึ้น นั้นก่อให้เกิดช่องว่างภายในมอร์ต้ามากขึ้น ทำให้การรับกำลังช่วงแรกนั้นรับกำลังได้น้อยกว่ากำลังของเส้นใยที่ทำหน้าที่รับกำลังหลังการแตกร้าวครั้งแรก



รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและระยะแอ่นตัวสุทธิของคานที่มีทราย 100 % และมีการเสริมเส้นใยปาล์มน้ำมัน 2, 4 และ 6% โดยปริมาตร



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและระยะแอ่นตัวสุทธิของคานที่มีทราย 40 % และมีการเสริมเส้นใยปาล์มน้ำมัน 2, 4 และ 6% โดยปริมาตร

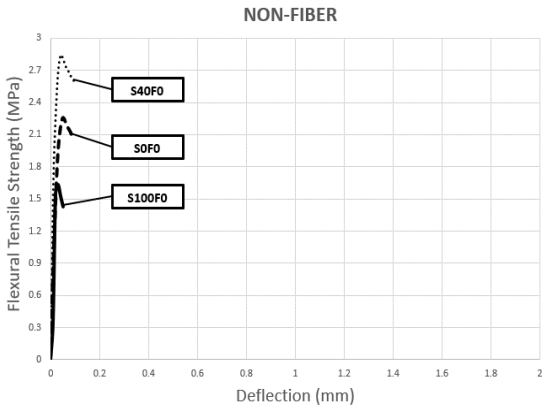


รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและระยะแอ่นตัวสุทธิของคานที่มีทราย 0 % และมีการเสริมเส้นใยปาล์มน้ำมัน 2, 4 และ 6% โดยปริมาตร

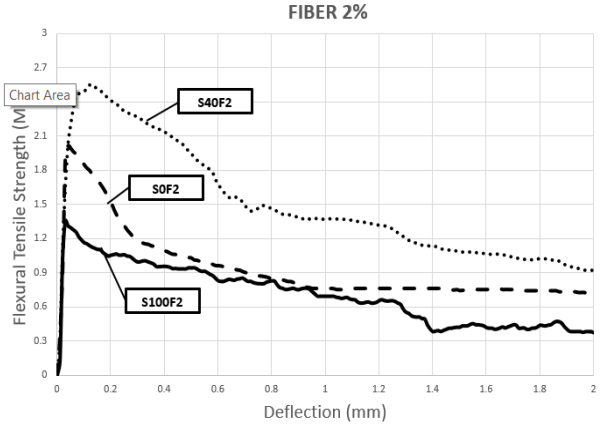
รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและระยะแอ่นตัวสุทธิของคานที่มีทราย 0, 40 และ 100% ที่ไม่มีการเสริมเส้นใยปาล์มน้ำมัน ไม่สามารถรับแรงกระทำหลังการแตกร้าวได้ โดยตัวอย่างคานที่มีทราย 40% สามารถรับกำลังช่วงต้นได้ดีที่สุด

รูปที่ 9, 10 และ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและระยะแอ่นตัวสุทธิของคานที่มีทราย 0, 40 และ 100% ที่มีการเสริมเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ 2, 4 และ 6% โดยปริมาตร จะเห็นได้ว่าตัวอย่างคานสามารถรับกำลังดัดภายหลังการแตกแล้วได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งความสามารถในการรับแรงดัดในช่วงหลังการแตกหักนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณของเส้นใยปาล์มน้ำมัน ที่ใส่เพิ่มเข้าไป เมื่อใส่มากขึ้นจะสามารถทำให้รับกำลังได้มากขึ้น แต่จะส่งผลให้ค่ากำลังก่อนการแตกหักนั้นลดลง เนื่องจากการใส่เส้นใยปาล์มน้ำมัน เข้าไปนั้นจะเป็นการเพิ่มช่องว่างของตัวอย่างคานมอร์ต้า ทำให้ไม่สามารถรับกำลังช่วงต้นได้มาก

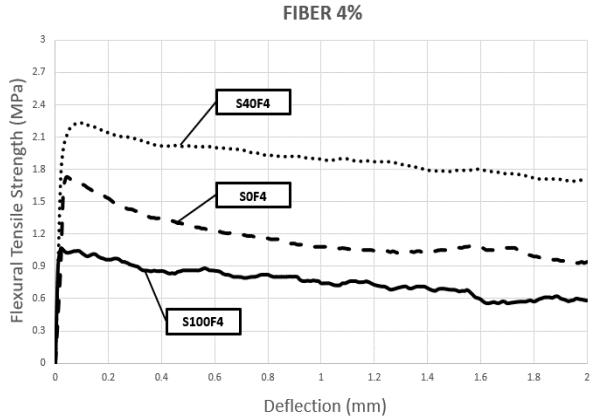
เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการรับกำลังดัดนั้น จะเห็นได้ว่าตัวอย่างคานที่มีทราย 40% จะสามารถรับกำลังดัดช่วงต้นได้ดีที่สุด และเมื่อเสริมเส้นใยปาล์มน้ำมันที่ 6% โดยปริมาตร จะสามารถรับกำลังดัดหลังการแตกร้าวได้ดีที่สุด



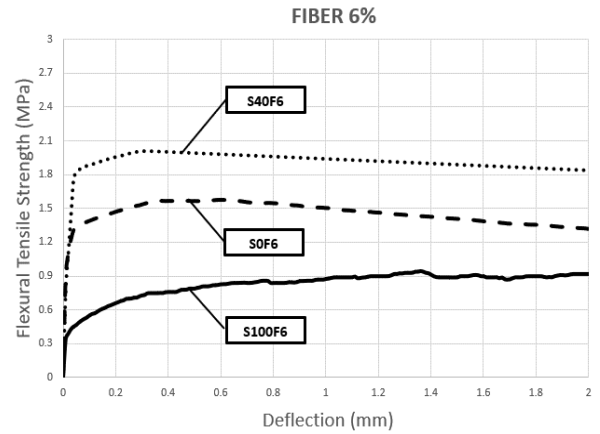
รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและระยะแอ่นตัวสุทธิของคานที่มีทราย 0, 40 และ 100% ที่ไม่มีการเสริมเส้นใยปาล์มน้ำมัน



รูปที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและระยะแอ่นตัวสุทธิของคานที่มีทราย 0, 40 และ 100% ที่มีการเสริมเส้นใยปาล์มน้ำมัน 2% โดยปริมาตร



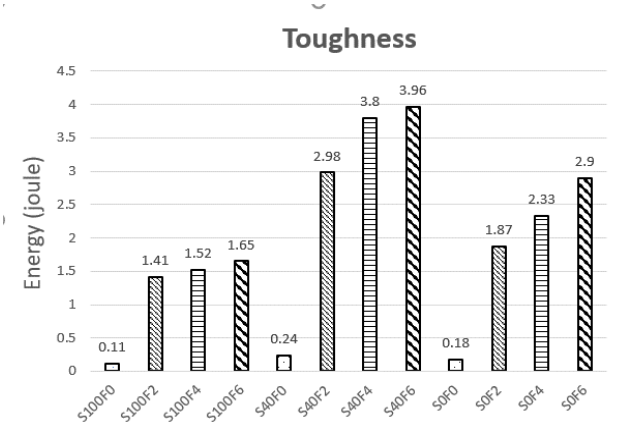
รูปที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและระยะแอ่นตัวสุทธิของคานที่มีทราย 0, 40 และ 100% ที่มีการเสริมเส้นใยปาล์มน้ำมัน 4% โดยปริมาตร



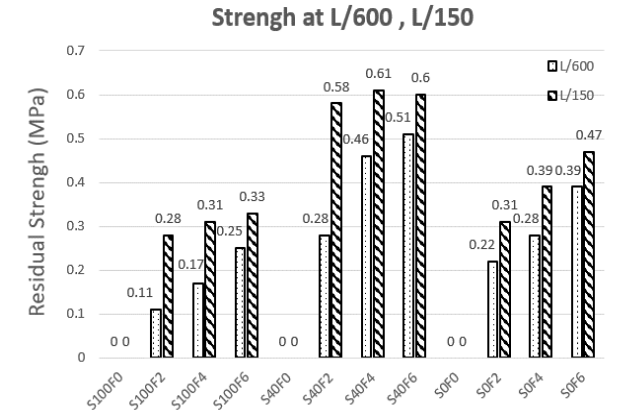
รูปที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและระยะแอ่นตัวสุทธิของคานที่มีทราย 0, 40 และ 100% ที่มีการเสริมเส้นใยปาล์มน้ำมัน 6% โดยปริมาตร

3.4 ค่าความเหนียว

จากผลการทดสอบสมรรถนะการรับแรงดัดของตัวอย่างทดสอบรูปทรงคานที่มีทราย 0, 40 และ 100% และมีการเสริมเส้นใยปาล์มน้ำมัน สามารถนำมาวิเคราะห์หาค่าความเหนียวตามมาตรฐาน ASTM C1609 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเส้นใยปาล์มน้ำมัน ที่เสริมเข้าไปนั้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพด้านการรับแรงดัดและความสามารถในการดูดซับพลังงานของคานที่มีทราย 0, 40 และ 100% และมีการเสริมเส้นใยปาล์มน้ำมันภายหลังจากการแตกร้าวได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยสามารถคำนวณได้จากพื้นที่ใต้กราฟระหว่างแรงกระทำ (Load) และระยะโก่งตัวกึ่งกลางคานที่ระยะการทรุดตัว (Deflection) เท่ากับ L/600 (0.5 มิลลิเมตร) และ L/150 (2 มิลลิเมตร) ดังรูปที่ 12 และ 13



รูปที่ 13 กราฟแสดงค่าความเหนียวของคานที่มีทราย 0, 40 และ 100% ที่ไม่มีการเสริมเส้นใยปาล์มน้ำมัน และเสริมเส้นใยปาล์มน้ำมัน ที่ 2, 4 และ 6% โดยปริมาตร



รูปที่ 14 กราฟแสดงค่าความเหนียวที่ระยะการโก่งตัว L/600 และ L/150 ของคานที่มีทราย 0, 40 และ 100% ที่ไม่มีการเสริมเส้นใยปาล์มน้ำมัน และเสริมเส้นใยปาล์มน้ำมัน ที่ 2, 4 และ 6% โดยปริมาตร

4.สรุปผลการทดสอบ

4.1 กำลังรับแรงอัด

เมื่อทำการทดสอบกำลังอัดแล้วจะพบว่าเมื่อเทียบกันระหว่าง ทราย 100% ทราย 40% ผสมกับหินฝุ่น 60% และการแทนที่ทรายด้วยหินฝุ่น 100% นั้น ทราย 40% ผสมกับหินฝุ่น 60% นั้นจะสามารถรับกำลังอัดได้สูงที่สุดและเมื่อทำการเสริมเส้นใยปาล์มน้ำมันลงไป 2, 4 และ 6% โดยปริมาตรแล้วจะพบว่าจะสามารถรับกำลังอัดได้น้อยลงตามสัดส่วนที่เราได้ทำการเพิ่มเส้นใยปาล์มน้ำมันลงไป ยิ่งเพิ่มเส้นใยมากขึ้นจะทำให้ความสามารถในการรับกำลังอัดลดลง

ทราย 100% จะสามารถรับกำลังอัดได้สูงสุด 7.87 MPa เมื่อเพิ่มเส้นใยปาล์มน้ำมันลงไป 2, 4 และ 6% โดยปริมาตร แล้วจะสามารถรับกำลังอัดได้ 4.08, 3.05 และ 2.48 MPa ตามลำดับ

เมื่อทราย 40% ผสมกับหินฝุ่น 60% จะสามารถรับกำลังอัดได้สูงสุด 15.97 MPaเมื่อเพิ่มเส้นใยปาล์มน้ำมันลงไป 2, 4 และ 6% โดยปริมาตร แล้วจะสามารถรับกำลังอัดได้ 9.48, 6.67 และ 3.62 MPa ตามลำดับ

และแทนที่ทรายด้วยหินฝุ่น 100% จะสามารถรับกำลังอัดได้สูงสุด 14.49 MPa เมื่อเพิ่มเส้นใยปาล์มน้ำมันลงไป 2, 4 และ 6% โดยปริมาตร แล้วจะสามารถรับกำลังอัดได้ 8.86, 6.32 และ 5.22 MPa ตามลำดับ

4.2 สมรรถนะการรับแรงดัด

เมื่อทำการทดสอบการรับแรงดัดแล้วจะพบว่าเมื่อเทียบระหว่าง ทราย 100% ทราย 40% ผสมกับหินฝุ่น 60% และการแทนที่ทรายด้วยหินฝุ่น 100% นั้น ทราย 40% ผสมกับหินฝุ่น 60% นั้นจะสามารถรับกำลังดัดได้สูงที่สุดและจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดัดและระยะแอ่นตัวของตัวอย่างแล้ว เมื่อยังไม่ได้ทำการใส่เส้นใยปาล์มลงไปในตัวอย่างนั้นจะสามารถรับกำลังดัดได้ดีกว่าแต่เมื่อเกิดการแตกหักแล้วจะไม่สามารถรับกำลังดัดได้ แต่เมื่อทำการใส่เส้นใยปาล์มลงไปในตัวอย่างนั้นเมื่อเกิดรอยแตกร้าวจะทำให้เส้นใยช่วยเข้าไปรับแรงทำให้ตัวอย่างนั้นยังสามารถรับแรงดัดได้อยู่ ทราย 100% จะสามารถรับกำลังดัดได้สูงสุด 1.63 MPa ทราย 40% ผสมกับหินฝุ่น 60% จะสามารถรับกำลังดัดได้สูงสุด 2.84 MPa แทนที่ทรายด้วยหินฝุ่น 100% จะสามารถรับกำลังดัดได้สูงสุด 2.26 *MPa*

เมื่อเพิ่มเส้นใยปาล์มน้ำมันลงไป 2% 4% 6% ตามปริมาตรแล้วจะพบว่ายิ่งทำการเพิ่มเส้นใยปาล์มน้ำมันจะทำให้มีความสามารถในการรับกำลังดัดได้น้อยลงแต่ว่าเมื่อระยะแอ่นตัวยิ่งมากขึ้นเส้นใยจะเข้าไปช่วยรับแรงทำให้เมื่อระยะแอ่นตัวมากขึ้นการใส่เส้นใยปาล์มน้ำมันลงไป 6 % ตามปริมาตรจะสามารถรับแรงได้มากกว่า 2 และ 4%

4.3 ความเหนียวของคานเมื่อเสริมเส้นใยปาล์มน้ำมัน

ความเหนียวของคานเมื่อเสริมเส้นใยปาล์มน้ำมัน จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นโดยแปรผันตรงตามสัดส่วนเส้นใยเส้นใยปาล์มน้ำมันที่เพิ่มขึ้นยิ่งเพิ่มเส้นใยปาล์มน้ำมันมากค่าความเหนียวของคานจะมาก โดยที่ค่าความเหนียวที่ระยะแอ่นตัว L/600 (0.5 มิลลิเมตร) และระยะแอ่นตัว L/150 (2 มิลลิเมตร) นั้นค่าความเหนียวจะต่างกันไม่มาก โดยที่เมื่อเทียบระหว่าง ทราย 100% ทราย 40% ผสมกับหินฝุ่น 60% และการแทนที่ทรายด้วยหินฝุ่น 100% นั้น ทราย 40% ผสมกับหินฝุ่น 60% นั้นจะมีค่าความเหนียวสูงสุด

เมื่อทำการใส่เส้นใยปาล์มน้ำมันลงไป 2% 4% 6% ตามปริมาตรลงไปการเสริมเส้นใยปาล์มน้ำมัน 6% ตามปริมาตรนั้นจะให้ค่าความเหนียวที่สูง

ที่สุด เสริมเส้นใยปาล์มน้ำมัน 6% โดยปริมาตร มีค่าความเหนียวสูงสุดเท่ากับ 1.65 MPa ทราย 40% ผสมกับหินฝุ่น 60% เสริมเส้นใยปาล์ม 6% โดยปริมาตร มีค่าความเหนียวสูงสุดเท่ากับ 3.96 MPa แทนที่ทรายด้วยหินฝุ่น 100% เสริมเส้นใยปาล์ม 6% โดยปริมาตร มีค่าความเหนียวสูงสุดเท่ากับ 2.90 MPa

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน รวมถึง คณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา ผู้ให้ข้อมูล และคำปรึกษาในด้านวัสดุต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

[1] Mohamed A. Ismail . and H.B.Hashim , “Palm Oil Fibre Concrete”, The 3rd ACF International Conference – ACF/VCA Page 409-416, (2008)

[2] A.K.Singh, V. and Srivastava, V.C. Agarwal, “Stone Dust in Concrete: Effect on Compressive Strength”, International Journal of Engineering and Technical Research Volume 3, Issue 8, (2015)

[3] ASTM DESIGNATION D1557 – 00 Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft3(2,700 kN-m/m3))

[4] ASTM DESIGNATION D2166 / D2166M – 16 Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil

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