

## INFLUENCE OF CELLULOSE FIBER FROM BANANA PSEUDO-STEM ON MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH STRENGTH CONCRETES

อิทธิพลของเส้นใยเซลลูโลสจากลำต้นกล้วยต่อสมบัติเชิงกลของคอนกรีตกำลังสูง

นภสินธุ์ เพยฉวี<sup>1</sup>, ปาณิสรา แสงแก้ว<sup>2</sup>, จินตหรา ลาววงศ์เกิด<sup>3</sup> และชนะชัย ทองโฉม<sup>4\*</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

### ARTICLE INFO:

Received: 15 March 2023

Received Revised Form: 15 March 2023

Accepted: 2 April 2023

### ABSTRACT :

This paper investigates the influence of cellulose fibers from banana stems (CFB) on the mechanical properties of high-strength concretes. The CFB was pretreated with sodium hydroxide (NaOH) solutions at concentrations of 2, 4, 6, 8 and 10 percent by weight per volume. The pretreated CFB was then inspected and evaluated. Tensile strength and water retention value (WRV) tests were conducted, revealing that pretreatment with 2 percent NaOH resulted in the highest tensile strength and WRV. Consequently, CFB treated with 2 percent NaOH was selected for incorporation into the high-strength concrete mixture. The concrete mixes were designed by adding CFB at proportions of 0.15, 0.30, 0.45, 0.60, and 0.75 percent by weight of cement. The mechanical properties include the compressive strength, splitting tensile strength, and flexural strength. The test results showed that concrete reinforced with 0.15 percent CFB exhibited a 2.82 percent increase in the compressive strength and a 15 percent increase in the splitting tensile strength. Additionally, the highest flexural strength was achieved with a CFB proportion of 0.30 percent, resulting in a 9.84 percent increase in flexural strength.

**KEYWORDS :** High strength concrete, Cellulose fiber, Banana pseudo-stem (CFB), Agricultural waste, Mechanical properties

### บทคัดย่อ :

บทความนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของเส้นใยเซลลูโลสจากลำต้นกล้วย (CFB) ต่อสมบัติเชิงกลของคอนกรีตกำลังสูง โดย CFB จะถูกปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2, 4, 6, 8 และ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดย CFB ที่ผ่านการปรับสภาพมาตรวจสอบและประเมิน การทดสอบกำลังรับแรงดึงและค่าการกักเก็บน้ำ จากการศึกษาพบว่าการปรับสภาพ CFB ด้วย NaOH ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 มีค่ากำลังรับแรงดึงและค่าการกักเก็บน้ำที่ดีที่สุด ดังนั้นจึงใช้ CFB ที่ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรของ NaOH มาเป็นส่วนผสมของคอนกรีตกำลังสูง การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงจะใช้ CFB ที่

\*Corresponding Author,  
Email address:  
tchanach@engr.tu.ac.th

สัดส่วนร้อยละ 0.15, 0.30, 0.45, 0.60 และ 0.75 โดยน้ำหนักของซีเมนต์ โดยศึกษากำลักรับแรงอัด กำลักรับแรงดึงแบบผ่าซีก และกำลักรับแรงดัด จากผลการศึกษามือเทียบกับคอนกรีตกลุ่มควบคุมพบว่า คอนกรีตกำลักรับแรงสูงเสริมด้วยเส้นใย CFB ที่สัดส่วนร้อยละ 0.15 มีความสามารถในการรับแรงอัดและแรงดึงแบบผ่าซีกเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.82 และ 15 ตามลำดับ สำหรับค่ากำลักรับแรงดัดมีค่ามากที่สุดเมื่อใช้สัดส่วน CFB ร้อยละ 0.30 มีความสามารถในการรับแรงดัดเพิ่มขึ้นร้อยละ 9.84

**คำสำคัญ:** คอนกรีตกำลักรับสูง, เส้นใยเซลลูโลส, ลำต้นกล้วย, วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร, สมบัติเชิงกล

## 1. บทนำ

คอนกรีตกำลักรับสูง (High Strength Concrete, HSC) คือ คอนกรีตที่มีกำลักรับที่ 28 วัน สูงกว่า 55 เมกะปาสคาล ซึ่งในปัจจุบันมีการพัฒนาและปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตกำลักรับสูง โดยเฉพาะความแข็งแรงและความทนทานในระยะยาวซึ่งเป็นเรื่องที่สำคัญในการพัฒนาคุณสมบัติวัสดุ องค์ประกอบที่สำคัญคือ การเพิ่มความสามารถในการรับแรงอัดได้สูงขึ้น วิธีการในการพัฒนาคอนกรีตกำลักรับสูงมีหลายวิธี เช่น การเลือกใช้วัสดุที่มีคุณภาพสูง การเลือกใช้สัดส่วนที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวและลดความพรุนของคอนกรีต เนื่องจากคุณสมบัติสำคัญของคอนกรีตกำลักรับสูงคือมีกำลักรับแรงอัดที่สูงจึงต้องใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (water to binder, W/B) ที่ต่ำ ดังนั้นปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผสมคอนกรีตจะต้องมีเพียงพอเพื่อให้วัสดุประสานทำหน้าที่ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ซึ่งถ้าปริมาณน้ำน้อยหรือมากเกินไปอาจส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีต [1-2]

โดยทั่วไปคอนกรีตจะสามารถรับกำลักรับและกำลักรับดัดได้ด้วยการเสริมกำลักรับคอนกรีตด้วยเส้นใยจึงเป็นหนึ่งในวิธีการปรับปรุงกำลักรับแรงดึงและกำลักรับแรงดัด งานวิจัยที่ผ่านมาใช้เส้นใยหลากหลายชนิด เช่น เส้นใยเหล็กที่สัดส่วนร้อยละ 0.25, 0.50, 0.75, 1, 1.5 และ 2 โดยปริมาตรคอนกรีต ซึ่งช่วยลดการแตกแยกของคอนกรีตในกรณีที่มีแรงกระทำ [3-4] เส้นใยสังเคราะห์ที่สัดส่วนร้อยละ 0.33, 0.42 และ 0.51 โดยปริมาตรคอนกรีต จะช่วยลดการขยายตัวและหดตัวของคอนกรีตจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ทำให้คอนกรีตทนทานต่อการแตกร้าวและช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลให้ดีขึ้น [5-6] และเส้นใยธรรมชาติที่สัดส่วนร้อยละ 0.5, 1, 1.5 และ 2 โดยน้ำหนักซีเมนต์ ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของคอนกรีต ทำให้มีความทนทานต่อแรงดึงและแรงดัดที่ดีขึ้น [7-8]

ดังนั้นการเสริมกำลักรับคอนกรีตด้วยเส้นใยสามารถปรับปรุงความต้านทานต่อแรงดึงและแรงดัดในคอนกรีต ในขณะเดียวกันเมื่อคอนกรีตถูกแรงกดทับที่กระทำต่อพื้นผิวของคอนกรีต หากคอนกรีตมีความยืดหยุ่นน้อย เมื่อมีแรงกดทับที่มากเกินไป อาจทำให้เกิดรอยร้าวหรือแตกร้าวบนพื้นผิวของคอนกรีตได้ การเสริมคอนกรีตด้วยเส้นใยช่วยลดความเป็นไปได้ในการเกิดรอยร้าวดังกล่าวโดยช่วยเสริมสมบัติทางกล และยังเพิ่มความเหนียว ทำให้คอนกรีตมีสมบัติต้านทานแรงดึงและแรงดัดเพิ่มขึ้น [9]

การนำเส้นใยธรรมชาติมาใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตกำลักรับสูง ยังไม่เป็นที่แพร่หลายเท่าที่ควร เนื่องจากเส้นใยธรรมชาติมีความซับซ้อนในด้านคุณสมบัติและด้านความทนทานที่ยังต้องได้รับการปรับปรุงเพิ่มเติม อย่างไรก็ตามเส้นใยธรรมชาติมีความโดดเด่นในเรื่องความยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้เส้นใยธรรมชาติยังมีคุณสมบัติเชิงกลที่น่าสนใจ เช่น เส้นใยกล้วยสามารถเสริมกำลักรับคอนกรีตแทนการใช้เส้นใยสังเคราะห์ได้ การนำเส้นใยกล้วยมาพัฒนาเป็นวัสดุเสริมกำลักรับในคอนกรีตเป็นประโยชน์อย่างมากต่อสิ่งแวดล้อม ช่วยกำจัดของเสีย รวมถึงช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และประหยัดทรัพยากรที่ไม่สามารถหมุนเวียน [10] ต้นกล้วยมีการปลูกกว่า 130 ประเทศทั่วโลก ซึ่งคิดเป็นประมาณร้อยละ 16 ของการผลิตผลไม้ทั่วโลก อีกทั้งลำต้นกล้วยเกือบร้อยละ 60 อยู่ในรูปแบบของขยะหลังการเก็บเกี่ยว และถูกทิ้งเป็นขยะทางการเกษตรประมาณ 114.08 ล้านเมตริกตัน นำไปสู่ปัญหาสิ่งแวดล้อม รวมถึงการปล่อยก๊าซเรือนกระจก [11] ซึ่งการปรับสภาพเส้นใยกล้วยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้นร้อยละ 2, 4, 6 และ 8 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ส่งผลให้ปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้นร้อยละ 8 ถึง 10 และช่วยกำจัดลิกนิน เพคติน เอมิเซลลูโลส และ น้ำมัน [12] การปรับสภาพเส้นใยจากลำต้นกล้วยช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของเส้นใย

กล้วยและช่วยในการยึดเกาะระหว่างเส้นใยและเมทริกซ์ ส่งผลให้กำลังรับแรงดัดของคอนกรีตเสริมกำลังด้วยเส้นใยกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวคอนกรีตควบคุม และใช้เป็นวัสดุเสริมแรงเพื่อให้วัสดุคอมโพสิตที่มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี [13-17]

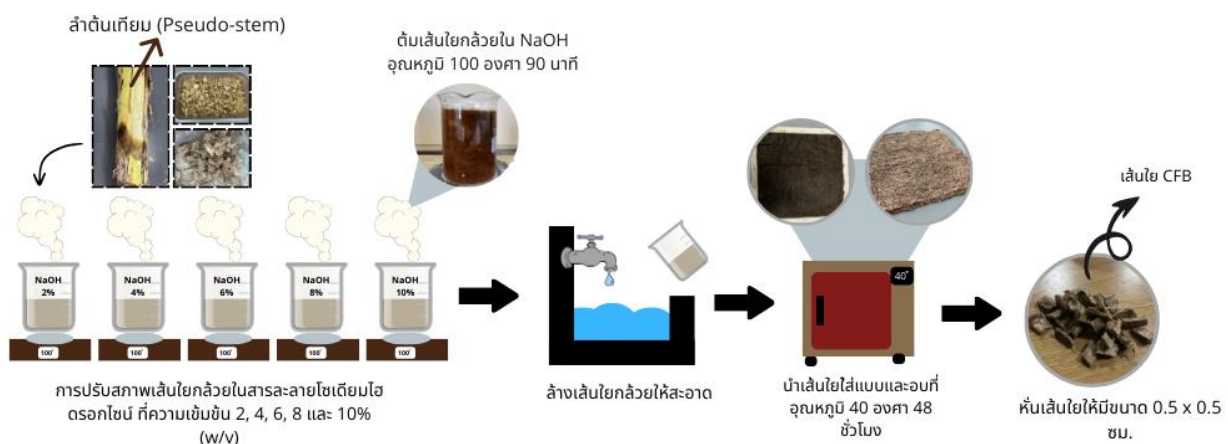
ตั้งนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของเส้นใยเซลลูโลสจากลำต้นกล้วย (Cellulose fiber from banana pseudo-stem, CFB) ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 2, 4, 6, 8 และ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จากนั้นนำ CFB มาทดสอบหาค่ากำลังรับแรงดึง และค่ากักเก็บน้ำ เส้นใยที่มีคุณสมบัติเหมาะสม จะถูกนำมาพัฒนาเป็นส่วนผสมในคอนกรีตกำลังสูงโดยใช้ CFB ที่ผ่านการปรับสภาพแล้วสัดส่วนร้อยละ 0.15, 0.30, 0.45, 0.60 และ 0.75 โดยน้ำหนักของซีเมนต์และศึกษาการยุบตัว กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีก และกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตกำลังสูง

## 2. การปรับสภาพเส้นใยกล้วย

การนำลำต้นกล้วยมาผ่านกระบวนการปรับสภาพ (Pretreatment) สามารถช่วยปรับปรุงสมบัติของเส้นใยกล้วยโดยช่วยกำจัดเฮมิเซลลูโลส ลิกนิน หรือสิ่งเจือปนต่างๆ ลำต้นกล้วยที่นำมาปรับสภาพคือส่วนที่เหนียวซึ่งจะเรียกว่าลำต้นเทียม (Pseudo-stem) ขั้นตอนการเตรียมลำต้นกล้วยที่นำมาจากผลผลิตเหลือใช้ทางการเกษตรของจังหวัดชลบุรี เริ่มจากนำต้นกล้วยมาหั่นเป็นชิ้นและปั่นด้วยเครื่องปั่น จากนั้นล้างน้ำให้สะอาดเพื่อกำจัดสิ่งสกปรก และนำลำต้นกล้วยที่เตรียมไว้ มาผึ่งให้แห้งที่

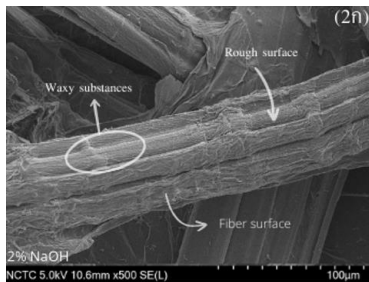
อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จนกระทั่งลำต้นกล้วยแห้งและมีความชื้นลดลง

**รูปที่ 1** แสดงขั้นตอนการปรับสภาพเส้นใยจากลำต้นกล้วย เริ่มจากซังสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โดยใช้ความเข้มข้นเป็นร้อยละ 2, 4, 6, 8 และ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ใส่ในบีกเกอร์ปริมาตร 600 มิลลิลิตร นำโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมไว้ละลายในน้ำกลั่นจากเครื่องผลิตน้ำกลั่น สังเกตดูเนื้อของสารละลายและใช้แท่งแก้วคนสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำลำต้นกล้วยที่เตรียมไว้จำนวน 20 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ที่มีสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 300 มิลลิลิตรและนำไปต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที ภายในตู้ดูดควัน (Laboratory chemical fume hood) ระหว่างที่ต้ม ทำการคนเส้นใยกล้วยในบีกเกอร์อย่างต่อเนื่องเพื่อช่วยให้สารละลายเข้าไปปรับสภาพโครงสร้างองค์ประกอบของลำต้นกล้วยได้ทั่วเส้นใย เมื่อต้มครบ 1 ชั่วโมง 30 นาที จะได้ CFB นำเส้นใยที่ได้จากการปรับสภาพมาล้างทำความสะอาดเพื่อกำจัดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่คงค้างอยู่บนเส้นใย นำเส้นใยกล้วยที่ล้างสะอาดใส่แบบและอบในตู้อบควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากเส้นใยแห้งนำไปตัดให้มีขนาดหน้าตัดความกว้างและความยาวเท่ากับ 0.5 เซนติเมตร (อัตราส่วนลักษณะเท่ากับ 1:1) โดย CFB รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็กช่วยให้การผสมและการกระจายตัวภายในส่วนผสมคอนกรีตดีขึ้น โดยก่อนผสมในคอนกรีตได้นำเส้นใยแช่น้ำให้เส้นใยอืดตามค่ากักเก็บน้ำของเส้นใย เพื่อใช้เส้นใยช่วยในกระบวนการบ่มภายในของคอนกรีต โดยจะได้ CFB ที่นำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

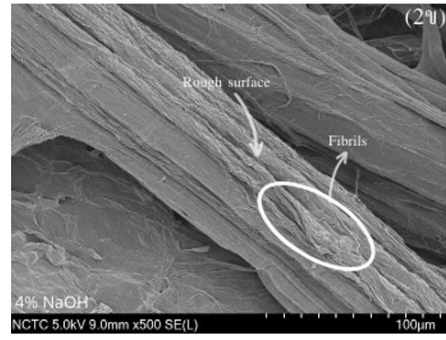


**รูปที่ 1** ขั้นตอนการปรับสภาพเส้นใยเซลลูโลสจากลำต้นกล้วยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

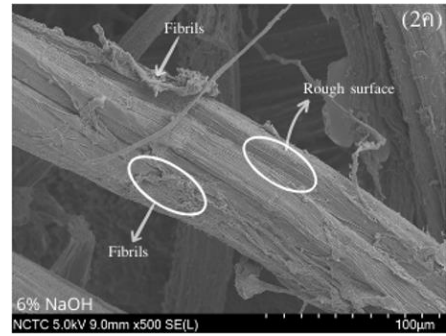
รูปที่ 2 แสดงภาพจากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) เพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาคของ CFB หลังการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จากรูปที่ (2ก) และ (2ข) เป็นการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 2 และ 4 (CFB 2% NaOH และ CFB 4% NaOH) ตามลำดับ ผลการศึกษาการปรับสภาพเส้นใยจากลำต้นกล้วยพบว่าเส้นใยมีลักษณะพื้นผิวที่หยาบมากขึ้นเนื่องจากองค์ประกอบลิกนินและเฮมิเซลลูโลสถูกกำจัด พื้นผิวของเส้นใยยังมีความขรุขระจากการปรับสภาพโดยโซเดียมไฮดรอกไซด์ นอกจากนี้เส้นใยแต่ละเส้นยังแสดงถึงการแยกตัวเล็กน้อยอาจเนื่องมาจากการกำจัดชั้นผิวด้านนอกของเส้นใย ในทำนองเดียวกันนี้ รูปที่ (2ค) (2ง) และ (2จ) แสดงถึงเส้นใยจากลำต้นกล้วยที่ปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 6, 8 และ 10 ตามลำดับ องค์ประกอบลิกนินและเฮมิเซลลูโลสถูกกำจัดออก แต่อย่างไรก็ตามการชะล้างโดยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เข้มข้นมากเกินไปส่งผลให้พื้นผิวเสื่อมสภาพได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบคุณสมบัติ การรับแรงดึง และค่ากักเก็บน้ำ ของ CFB หลังการปรับสภาพด้วย NaOH ดังแสดงในตารางที่ 1 ที่แสดงให้เห็นว่า การทดสอบหาค่ากำลังรับแรงดึง และค่ากักเก็บน้ำ เส้นใยที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่สุดคือ CFB ที่ 2% NaOH จากผลการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของ CFB คล้ายคลึงกับผลการศึกษาในอดีตของ Jannah et al. [18] และ Ming et al. [19] พบว่าเส้นใยผ่านการปรับสภาพมีปริมาณ แร่กักเก็บ น้ำมันและสิ่งสกปรกซึ่งขัดขวางการยึดเกาะของไฟเบอร์กับซีเมนต์เมทริกซ์ รวมถึงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและโครงสร้างจุลภาคของเส้นใย นอกจากนี้มีงานวิจัยของ Punyamurthy et al. [20] และ Mohammed et al. [21] อภิปรายผลการศึกษาไว้กล่าวถึงเส้นใยกล้วยที่ปรับสภาพจะแสดงพื้นผิวที่มีความหยาบสูงชันเนื่องจากการกำจัดเฮมิเซลลูโลสและลิกนินออกบางส่วน นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยอย่างมีนัยสำคัญ



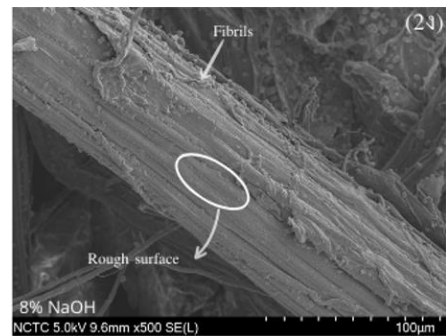
(ก) CFB 2%NaOH



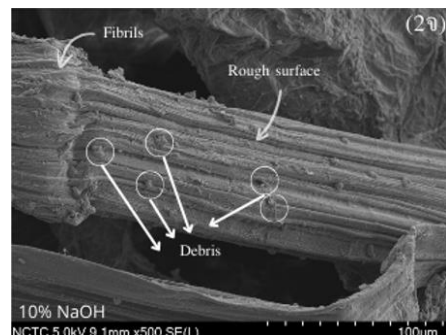
(ข) CFB 4%NaOH



(ค) CFB 6%NaOH



(ง) CFB 8%NaOH



(จ) CFB 10%NaOH

รูปที่ 2 เส้นใยจากลำต้นกล้วยที่ปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ผ่านการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM)

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของ CFB หลังจากการปรับสภาพด้วย NaOH

NaOH concentration	Water retention value (g/g)	Tensile strength test (N-m/g)
การปรับสภาพ CFB ที่ความเข้มข้น 2% ของ NaOH	5.19	4.61
การปรับสภาพ CFB ที่ความเข้มข้น 4% ของ NaOH	4.39	2.94
การปรับสภาพ CFB ที่ความเข้มข้น 6% ของ NaOH	3.69	1.12
การปรับสภาพ CFB ที่ความเข้มข้น 8% ของ NaOH	3.67	1.22
การปรับสภาพ CFB ที่ความเข้มข้น 10% ของ NaOH	4.18	1.08

### 3 วัสดุ วิธีการผสม และรายละเอียดในการทดสอบ

#### 3.1 วัสดุ (Materials)

งานวิจัยนี้ใช้ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ (Ordinary Portland Cement, OPC) มีความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) เท่ากับ 3.15 สำหรับงานคอนกรีตทั่วไปและงานคอนกรีตโครงสร้างตามมาตรฐาน ASTM C150 [22] มวลรวมหยาบ (Coarse aggregate)

ใช้หินเกล็ด (Chipped Stone) มีขนาดใหญ่สูงสุด 9.5 มิลลิเมตร สำหรับมวลรวมละเอียด (Fine aggregate) ใช้ทรายแม่น้ำ (Sand river) ที่อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้งตามมาตรฐาน ASTM C128 [23], สารผสมเพิ่ม (Concrete admixture) ใช้สารลดน้ำประเภท F มีส่วนประกอบสำคัญคือ Na-Linosalt และ Naphthalene Sulfonate ตามมาตรฐาน ASTM C494 [24], ซิลิกาฟุ้ง (Silica fume) หรือไมโครซิลิกาตามมาตรฐาน ASTM 1240 [25] มีลักษณะเป็นผงใช้ในการผสมคอนกรีตเพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการรับกำลังของคอนกรีต

การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตกำลังสูง (HSC) ประยุกต์จากมาตรฐาน ACI 211 เพื่อประเมินสมบัติเชิงกลของ HSC ที่ผสม CFB โดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัสดุประสาน (W/B) เท่ากับ 0.26 และใช้สัดส่วนของ CFB เท่ากับร้อยละ 0.15, 0.30, 0.45, 0.60 และ 0.75 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ โดยรายละเอียดส่วนผสมของคอนกรีตกำลังสูงแสดงตามตารางที่ 2

#### 3.2 วิธีการผสม

มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ หินและทรายให้อยู่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) หลังจากนั้นผสมมวลรวมให้เข้ากัน ใส่ปูนซีเมนต์กับซิลิกาฟุ้งลงในเครื่องผสมและผสมให้ส่วนผสมทั้งหมดเข้ากัน ใส่น้ำและตามด้วยสารลดน้ำลงในส่วนผสมให้เข้ากัน (การผสมคอนกรีตได้ออกแบบให้ค่ายุบตัวของคอนกรีตมีค่าไม่เกิน 50 มิลลิเมตร) หลังจากผสมเสร็จตักคอนกรีตใส่แบบโดยแบ่งเป็น 3 ชั้นให้เท่าๆ กัน โดยแต่ละชั้นตาด้วยเหล็กกระทุ้ง 25 ครั้งจนกระทั่งคอนกรีตอัดตัวกันแน่น เมื่อใส่แบบเสร็จปาดหน้าคอนกรีตให้เรียบและนำคอนกรีตเข้าเครื่องจักรเข้าเป็นเวลา 2 นาที เพื่อให้คอนกรีตแน่นสม่ำเสมอและไม่เป็นรูโพรง เมื่อครบ 24 ชั่วโมง ถอดแบบออกนำตัวอย่างคอนกรีตแช่น้ำ หลังจากนั้นนำตัวอย่างคอนกรีตไปทดสอบที่อายุ 28 วัน

ตารางที่ 2 ส่วนผสมของคอนกรีตกำลังสูงเสริม CFB ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร

Mixture	Cement (kg)	SF (kg)	FA (kg)	CA (kg)	Water (kg)	WR (kg)	CFB (kg)	WATER EX (kg)
HSC-Control	526	28	780	1002	142	32	0	0
CFB0.15%	526	28	780	1002	137.9	32	0.8	4.1
CFB0.30%	526	28	780	1002	133.8	32	1.6	8.2

Mixture	Cement (kg)	SF (kg)	FA (kg)	CA (kg)	Water (kg)	WR (kg)	CFB (kg)	WATER EX (kg)
CFB0.45%	526	28	780	1002	129.7	32	2.4	12.3
CFB0.60%	526	28	780	1002	125.4	32	3.2	16.6
CFB0.75%	526	28	780	1002	121.2	32	4.0	20.8

\*หมายเหตุ สัญลักษณ์ SF แทนซิลิกาฟูม, FA แทนมวลรวมละเอียด, CA แทนมวลรวมหยาบ, WR แทนสารลดน้ำ และ CFB แทนเส้นใยเซลลูโลสจากลำต้นกล้วย, WATER EX แทนน้ำที่คำนวณมาจากค่าการกักเก็บน้ำที่ไซ้บ่มเส้นใยก่อนนำไปผสม

ตารางที่ 3 รายละเอียดการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตกำลังสูงเสริม CFB

คุณสมบัติ	วิธีการทดสอบ	ขนาดตัวอย่าง	จำนวนตัวอย่าง	อายุตัวอย่าง (วัน)
ค่ายุบตัว	ASTM C143	-	-	-
กำลังรับแรงอัด	ASTM C39	ทรงกระบอก Ø 10 ซม. สูง 20 ซม.	3	28
กำลังรับแรงดัด	ASTM C78	คาน 10 × 10 × 35 ซม. <sup>3</sup>	3	28
กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีก	ASTM C496	ทรงกระบอก Ø 10 ซม. สูง 20 ซม.	3	28

### 3.3 รายละเอียดในการทดสอบ

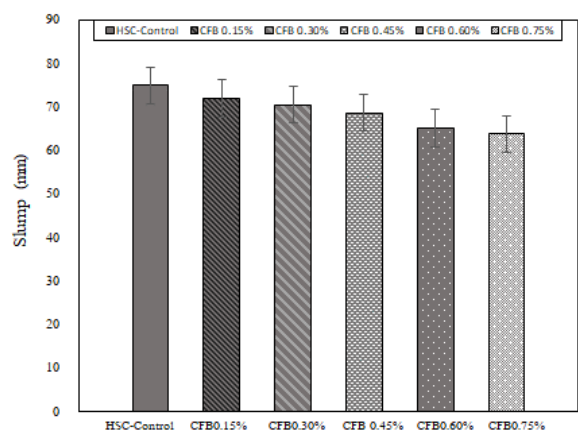
รายละเอียดในการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตกำลังสูงเสริมด้วยเส้นใยเซลลูโลสจากลำต้นกล้วยแสดงดังตารางที่ 3 ได้แก่ การยุบตัว กำลังอัด กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีก และกำลังดัด โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C143 [26], ASTM C39 [27], ASTM C78 [28], ASTM C496 [29] ตามลำดับ

## 4 ผลการทดสอบ

### 4.1 ค่าการยุบตัว (Slump)

รูปที่ 3 แสดงค่าการยุบตัวของคอนกรีตกำลังสูงเสริมด้วย CFB ที่ 2% NaOH จากผลการทดสอบพบว่ากลุ่มตัวอย่างที่เสริมกำลังด้วย CFB ร้อยละ 0.15 0.3 0.45 0.6 และ 0.75 มีค่าการยุบตัวของคอนกรีตลดลงเท่ากับร้อยละ 4.0 6.0 8.4 13.0 และ 14.9 เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ตามลำดับ การเติม CFB ลงในคอนกรีตกำลังสูงส่งผลให้การยุบตัวมีค่าลดลงตามสัดส่วนเส้นใยที่เพิ่มขึ้น ผลการทดสอบสอดคล้องกับงานวิจัยในอดีตของ Ahmad et al. [30] ที่รายงานว่าปริมาณการใส่เส้นใยธรรมชาติที่สูงขึ้นในคอนกรีตส่งผลให้ค่าการยุบตัวของคอนกรีตลดลง และงานวิจัยของ Tampi et al. [31] ที่พบว่า การเพิ่มเส้นใยกล้วยใน

คอนกรีตส่งผลต่อเสถียรภาพ ความสามารถในการทำงาน และความเข้ากันได้ได้อย่างมีนัยสำคัญ เส้นใยอาจช่วยปรับปรุงคอนกรีตให้มีการยึดเกาะที่ดีขึ้นซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ที่ดีเกี่ยวกับความแข็งแรงและการยุบตัวที่ลดลง

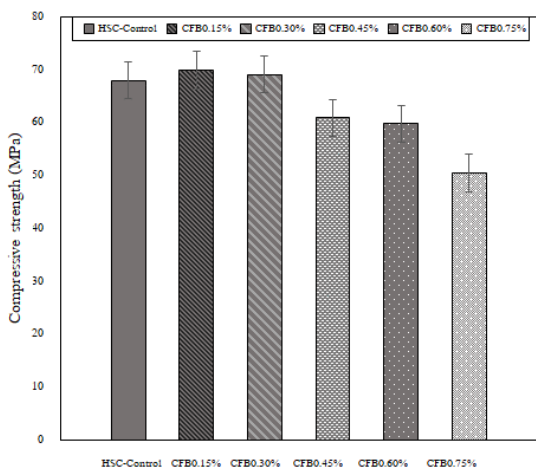


รูปที่ 3 ค่าการยุบตัวของคอนกรีตกำลังสูงเสริม CFB

### 4.2. กำลังรับแรงอัด (Compressive strength)

รูปที่ 4 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด ที่อายุ 28 วันของคอนกรีตเสริม CFB ที่ 2% NaOH พบว่าเมื่อเติมเส้นใยลงในคอนกรีตกำลังสูงที่สัดส่วนร้อยละ 0.15 0.30 0.45 0.60 และ

0.75 โดยน้ำหนักซีเมนต์ จะได้ค่ากำลังรับแรงอัดที่ 28 วัน เท่ากับ 69.86 69.05 60.87 59.73 และ 50.44 MPa ตามลำดับ โดยการผสมเส้นใยลงในคอนกรีตกำลังสูงที่สัดส่วนร้อยละ 0.45 0.60 และ 0.75 ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดมีค่าลดลงร้อยละ 10.41 12.09 และ 25.75 เมื่อเทียบกับคอนกรีตกลุ่มควบคุม อย่างไรก็ตามเมื่อผสม CFB ลงในคอนกรีตกำลังสูงที่สัดส่วนร้อยละ 0.15 และ 0.30 ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.82 และ 1.62 เมื่อเทียบกับคอนกรีตกลุ่มควบคุม จากผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดมีความสอดคล้องกับงานวิจัยในอดีตของ Mugume et al. [32] ที่รายงานว่าเส้นใยกล้วยช่วยในการควบคุมการร้าวเล็กๆ ทำให้คอนกรีตมีความแข็งแรง การใช้ CFB ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดต่อสมบัติด้านกำลังอัดต้องพิจารณาเลือกสัดส่วนเส้นใยที่เหมาะสม

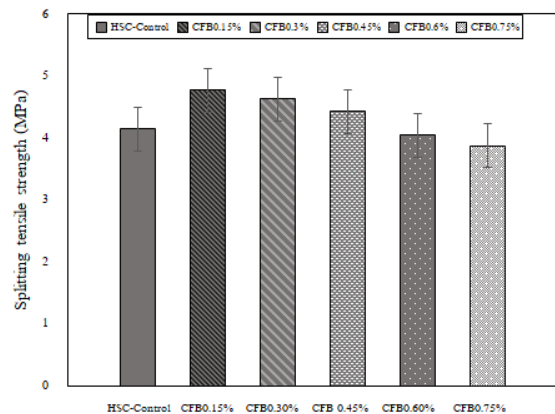


รูปที่ 4 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตกำลังสูงเสริม CFB ที่อายุ 28 วัน

### 4.3 กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีก (Splitting tensile strength)

ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีก ที่อายุ 28 วัน ของคอนกรีตกำลังสูงเสริมกำลังด้วย CFB ที่ 2% NaOH แสดงในรูปที่ 5 พบว่าเมื่อเติมเส้นใยลงในคอนกรีตกำลังสูงที่สัดส่วนร้อยละ 0.15 0.30 0.45 0.60 และ 0.75 โดยน้ำหนักซีเมนต์ มีค่ากำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกเท่ากับ 4.77 4.63 4.42 4.04 และ 3.88 MPa ตามลำดับ คอนกรีตกำลังสูงที่ผสม CFB สัดส่วนร้อยละ 0.15, 0.30 และ 0.45 ส่งผลให้กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกเพิ่มขึ้นร้อยละ 15.0, 11.7 และ 6.7 เมื่อเทียบกับคอนกรีตกลุ่มควบคุม จะเห็นได้ว่าการเสริม CFB ที่สัดส่วนร้อยละ 0.15 ส่งผลให้คอนกรีตกำลังสูงมีกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกมากที่สุด เนื่องจากการเสริม CFB ช่วยควบคุมการแตกร้าวและช่วยปรับปรุงให้

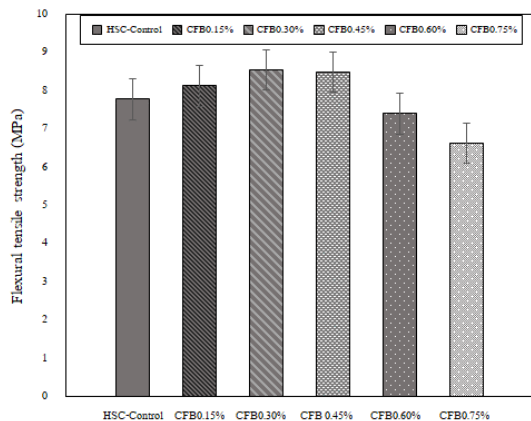
คอนกรีตมีความเหนียวเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการผสม CFB ลงในคอนกรีตกำลังสูงที่สัดส่วนร้อยละ 0.60 และ 0.75 ส่งผลให้กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกมีค่าลดลงร้อยละ 2.53 และ 6.49 ตามลำดับ จากผลการทดสอบสอดคล้องกับงานวิจัย Anthony et al. [33] และงานวิจัยของ Kiruthigasri และ Sathishkumar [34] ที่พบว่า การเสริมกำลังคอนกรีตด้วยเส้นใยกล้วยส่งผลให้คอนกรีตมีแรงดึงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มคอนกรีตทั่วไป



รูปที่ 5 กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตกำลังสูงเสริม CFB ที่อายุ 28 วัน

### 4.4 กำลังรับแรงดัด (Flexural tensile strength)

ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดที่อายุ 28 วัน ของคอนกรีตกำลังสูงเสริมกำลังด้วย CFB ที่ 2% NaOH แสดงในรูปที่ 6 ซึ่งเปรียบเทียบการใส่ CFB ในสัดส่วนที่แตกต่างกันเท่ากับร้อยละ 0.15, 0.30, 0.45, 0.60 และ 0.75 โดยน้ำหนักซีเมนต์ พบว่าคอนกรีตกลุ่มควบคุมมีกำลังรับแรงดัดเท่ากับ 7.77 เมกะปาสกาล เมื่อผสม CFB ลงในคอนกรีตกำลังสูงที่สัดส่วนร้อยละ 0.15, 0.30 และ 0.45 ส่งผลให้กำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.54, 9.84 และ 9.21 ตามลำดับ โดยสัดส่วน CFB เหมาะสมที่สุดคือร้อยละ 0.30 เนื่องจากเส้นใยกล้วยมีความเหนียว สามารถรับแรงดัด และต้านทานการแตกร้าวของคอนกรีตได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตกลุ่มควบคุม ผลการทดสอบกำลังดัดสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของ Kumar และ Roy [35] และ งานวิจัยของ Afraz [36] พบว่าการเพิ่มปริมาณ CFB ลงในคอนกรีต ช่วยเสริมกำลังรับแรงดัดของคอนกรีต ส่วนคอนกรีตกำลังสูงที่ผสม CFB สัดส่วนร้อยละ 0.60 และ 0.75 ส่งผลให้กำลังรับแรงดัดมีค่าลดลงร้อยละ 4.79 และ 14.77 ตามลำดับ



รูปที่ 6 กำลังรับแรงดัดของคอนกรีตกำลังสูงเสริม CFB ที่อายุ 28 วัน

## 5. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของเส้นใยเซลลูโลสจากลำต้นกล้วย (CFB) ต่อสมบัติเชิงกลของคอนกรีตกำลังสูง โดยสามารถได้ดังนี้

1. เส้นใยเซลลูโลสจากลำต้นกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลาย NaOH ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร มีค่ากักเก็บน้ำและกำลังรับแรงดึงมากที่สุด โดยค่ากักเก็บน้ำมีค่าเท่ากับ 5.19 กรัมต่อกรัม และกำลังรับแรงดึงมีค่าเท่ากับ และ 4.61 นิวตันเมตรต่อกรัม

2. เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตกลุ่มควบคุม การใส่เส้นใยเซลลูโลสจากลำต้นกล้วยสัดส่วนที่ร้อยละ 0.15 0.30 0.40 0.60 และ 0.75 โดยน้ำหนักซีเมนต์ ในส่วนผสมของคอนกรีตกำลังสูงส่งผลให้ค่าการยุบตัวของคอนกรีตมีค่าลดลงร้อยละ 4.0 6.0 8.4 13.1 และ 14.9 ตามลำดับ โดยสัดส่วนเส้นใยที่สูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าการยุบตัวของคอนกรีตลดลง

3. เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตกลุ่มควบคุม เมื่อสัดส่วนเส้นใยเซลลูโลสจากลำต้นกล้วยเท่ากับร้อยละ 0.15 และ 0.30 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์สามารถช่วยพัฒนา กำลังรับแรงอัดที่ 28 วันของคอนกรีต โดยปริมาณเส้นใยที่เหมาะสมเท่ากับร้อยละ 0.15 ซึ่งทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.82

4. เมื่อเทียบกับคอนกรีตกลุ่มควบคุม การเสริมกำลังด้วยเส้นใยเซลลูโลสจากลำต้นกล้วยสามารถพัฒนา กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกที่ 28 วันและสัดส่วนเส้นใยที่ดีที่สุดคือร้อยละ 0.15 โดยสามารถเพิ่มค่ากำลังรับแรงดึงได้ร้อยละ 15.00

5. เมื่อเทียบกับคอนกรีตกลุ่มควบคุม การเสริมกำลังด้วยเส้นใยเซลลูโลสจากลำต้นกล้วยสามารถพัฒนา กำลังรับแรงดัดที่ 28 วันและสัดส่วนเส้นใยที่ดีที่สุดคือร้อยละ 0.3 โดยสามารถเพิ่มค่ากำลังรับแรงดัดได้ร้อยละ 9.84

สำหรับการวิจัยในอนาคตควรตรวจสอบสมบัติด้านความทนทานของคอนกรีตกำลังสูงเส้นใยเซลลูโลสจากลำต้นกล้วย เป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากเป็นเส้นใยจากธรรมชาติและสามารถนำผลการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลและความทนทานมาพัฒนาคอนกรีตกำลังสูงเสริมเส้นใยธรรมชาติได้ในอนาคต

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนการศึกษาจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์และได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Phan L. T., Carino N. J. Fire performance of high strength concrete: research needs. In *Advanced technology in structural engineering*, 2000, pp. 1-8.
- [2] Jayakumar G., Mathews M. E., Kiran T., Yadav B. S. K., Kanagaraj B., Anand N., Development and strength assessment of sustainable high strength fiber reinforced concrete. *Materials Today: Proceedings*, 2022, 49, pp. 1148-1153.
- [3] Mohod M. V., Performance of steel fiber reinforced concrete. *International Journal of Engineering and Science*, 2012, 1(12), pp. 1-4.
- [4] Song, P. S., Hwang, S. Mechanical properties of high strength steel fiber-reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 2004, 18(9), pp. 669-673.
- [5] Hasan M. J., Afroz, M., Mahmud, H. M. I. An experimental investigation on mechanical behavior of macro synthetic fiber reinforced concrete. *Int. J. Civ. Environ. Eng.*, 2011, 11(3), pp. 19-23.
- [6] Bolat H., Simsek, O., Çullu, M., Durmus G., Can O., The effects of macro synthetic fiber reinforcement use on physical and mechanical properties of



concrete. *Composites Part B: Engineering*, 2014, 61, pp. 191-198.

[7] Okeola A. A., Abuodha S. O., Mwero J., Experimental investigation of the physical and mechanical properties of sisal fiber-reinforced concrete. *Fibers*, 2018, 6(3), pp. 53.

[8] Iniya M. P., Nirmalkumar K., A Review on Fiber Reinforced Concrete using sisal fiber. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2021, 1055, pp. 1-6

[9] Hasan M., Saidi T., Jamil M., Amalia Z., Mubarak A., Mechanical properties and absorption of high strength fiber-reinforced concrete(HSFRC)b with sustainable natural fibers. *Buildings*, 2022, 12(12), pp. 2262.

[10] Ali B., Azab M., Ahmed H., Kurda R., El Ouni M. H., Elhag A. B., Investigation of physical, strength, and ductility characteristics of concrete reinforced with banana (*Musaceae*) stem fiber. *Journal of Building Engineering*, 2022, 61, pp. 105024.

[11] Alzate Acevedo S., Díaz Carrillo Á. J., Flórez-López E., Grande-Tovar C. D., Recovery of banana waste-loss from production and processing: a contribution to a circular economy. *Molecules*, 2021, 26(17), 5282.

[12] Bhatnagar R., Gupta G., Yadav S., A review on composition and properties of banana fibers. *Cellulose*, 2015, 60, pp. 65.

[13] Sapuan S. M., Leenie A., Harimi M., Beng Y. K., Mechanical properties of woven banana fibre reinforced epoxy composites. *Materials & design*, 2006, 27(8), pp. 689-693.

[14] Herrera-Estrada L., Pillay S., Vaidya U., Banana fiber composites for automotive and transportation applications. In 8 th annual automotive composites conference and exhibition (ACCE), 2008, pp. 16-18.

[15] Venkateshwaran N., Elayaperumal A., Banana fiber reinforced polymer composites-a review. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2010, 29(15), pp. 2387-2396.

[16] Boopalan M., Niranjanaa M., Umapathy M. J., Study on the mechanical properties and thermal properties of jute and banana fiber reinforced epoxy hybrid composites. *Composites Part B: Engineering*, 2012, 51, pp. 54-57.

[17] Badrinath R., Senthilvelan T., Comparative investigation on mechanical properties of banana and sisal reinforced polymer-based composites. *Procedia materials science*, 2014, 5, pp. 2263-2272.

[18] Jannah M., Mariatti M., Abu Bakar A., Abdul Khalil H. P. S., Effect of chemical surface modifications on the properties of woven banana reinforced unsaturated polyester composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 2009, 28(12), 1519-1532.

[19] Cai M., Takagi H., Nakagaito A. N., Li Y., Waterhouse G. I., Effect of alkali treatment on interfacial bonding in abaca fiber reinforced composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2016, 90, pp. 589-597.

[20] Punyamurthy R., Sampathkumar D., Srinivasa C. V., Bennehalli B., Effect of alkali treatment on water absorption of single cellulosic abaca fiber. *BioResources*, 2012, 7(3), pp. 3515-3524

[21] Hassan Nensok M., Othuman Mydin M. A., Awang H., Optimization of mechanical properties of cellular lightweight concrete with alkali treated banana fiber. *Revista de la construcción*, 2012, 20(3), 491-511

[22] American Society for Testing and Materials. *ASTM C150: 2007: Standard Specification for Portland Cement*, 2007

[23] American Society for Testing and Materials. *ASTM C128: 2022 Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*, 2022

[24] American Society for Testing and Materials. *ASTM C494: 2017 Standard specification for chemical admixtures for concrete*. West, 2017

- [25] American Society for Testing and Materials. ASTM C618: 2022 Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures, 2022
- [26] American Society for Testing and Materials. ASTM C143/C143M:2012 Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete, 2012
- [27] American Society for Testing and Materials. ASTM C39/C39M:2021 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, 2021
- [28] American Society for Testing and Materials. ASTM C78:2009 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading),2009
- [29] American Society for Testing and Materials. ASTM C496:1996 Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens,1996
- [30] Ahmad W., Farooq S. H., Usman M., Khan M., Ahmad A., Aslam F., Sufian M., Effect of coconut fiber length and content on properties of high strength concrete. *Materials*, 2020, 13(5), pp. 1075.
- [31] Tampi R., Parung H., Djamaluddin R., Amiruddin A. A., Reinforced concrete mixture using abaca fiber. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, 419(1), pp. 012060
- [32] Mugume R. B., Karubanga A., Kyakula M., Impact of addition of banana fibres at varying fibre length and content on mechanical and microstructural properties of concrete. *Advances in Civil Engineering*, 2021, pp. 1-15.
- [33] Anthony R., Awasthi S. Y., Singh P., Kumar V. P., An experimental and characteristic study of abaca fiber concrete. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, 912(3), pp. 032077
- [34] Kiruthigasri R., Sathishkumar T., Strengthening the Properties of Concrete using Banana Fiber and Coconut Fiber. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, 2020, 4(4), pp. 111-115
- [35] Kumar P., Roy R., Study and experimental investigation of flow and flexural properties of natural fiber reinforced self-compacting concrete. *Procedia Computer Science*, 2018, 125, pp. 598-608.
- [36] Afraz A., Ali M., Effect of Banana Fiber on Flexural Properties of Fiber Reinforced Concrete for Sustainable 1 Construction. *Engineering Proceedings*, 2021, 12(1), pp. 63.