

ผลกระทบการปรับสภาพเส้นใยของต่อคุณสมบัติคอนกรีตเสริมเส้นใยธรรมชาติ Influence on Hemp Fiber Treatment of Natural Fiber Reinforced Concrete Properties

อุกฤษฏ์ โชติศรี¹ สำราญ ไมตรีแพน² กิตตินันท์ บำรุงศิลป์³ ประสพโชค ดุลยลา⁴
จารุวัฒน์ ถาวรไพศาลชีวะ⁵ ภาณุพงศ์ จันทรไชย⁶ พุฒิพัทธ์ ราชคำ^{7,*} และ ศักดิ์ศิริ คุปตรัตน์⁸

^{1,2,3,4,5,6,7} สาขาวิศวกรรมโยธา คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตคลองหลวง จ.ปทุมธานี

⁸ สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) จ.เชียงใหม่

*Corresponding author; E-mail address: Phutthiphat.ra@rmu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ใช้เส้นใยของต่อคุณสมบัติคอนกรีตเสริมเส้นใยธรรมชาติ โดยใช้ผสมเพิ่มในงานคอนกรีต ซึ่งการเปรียบเทียบการปรับสภาพเส้นใยของธรรมชาติด้วยสารเคมีประเภทต่าง เช่น แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 2 โมลาร์ กับเส้นใยของต่อที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ (เส้นใยธรรมชาติ) ผสมเพิ่มเส้นใยที่ร้อยละ 1, 2 และ 3 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ศึกษาอัตราส่วนคอนกรีตที่ 1 : 2 : 4 (ปูนซีเมนต์ : หิน : ทราย) ทั้ง 3 ชุดอัตราส่วนผสม ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ 0.67 (กำลังอัด 180 กก./ตร.ซม.) ทดสอบคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพ เช่น ค่ายุบตัวของคอนกรีตสด กำลังอัด กำลังดัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ ที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน เพื่อพิจารณาคุณสมบัติคอนกรีตเสริมเส้นใยธรรมชาติที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งาน

ผลการทดสอบ ทั้ง 3 ชุดอัตราส่วนผสม พบว่า ค่าการยุบตัวของคอนกรีตสดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 9.5 ซม. ค่าความแตกต่างจากค่ายุบตัวของคอนกรีตที่ร้อยละ -3.5 ค่ากำลังอัดอยู่ระหว่าง 105.3 ถึง 226.0 กก./ตร.ซม. ค่ากำลังดัดอยู่ระหว่าง 137.2 ถึง 150.9 กก./ตร.ซม. ค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 2,399.3 ถึง 2,459.0 กก./ลบ.ม. และค่าการดูดซึมน้ำอยู่ระหว่างร้อยละ 1.6 ถึง 4.2 ที่อายุ 28 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนผสมควบคุมที่ไม่ได้ผสมเส้นใย อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดคืออัตราส่วนที่ผสมเส้นใยร้อยละ 3 ของทั้ง 3 ชุด นอกจากนี้ยังพบอีกว่า การใช้สารเคมีประเภทต่างช่วยชะละลายผิวเส้นใยให้ขรุขระ เพิ่มการยึดเกาะ และเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเนื้อซีเมนต์กับผิวเส้นใย ซึ่งมีคุณสมบัติที่ดีกว่าเส้นใยของต่อที่ไม่ผ่านการปรับสภาพเส้นใยด้วยสารเคมี

คำสำคัญ: เส้นใยของต่อ, ไฮดรอลิกซีเมนต์, การปรับสภาพ, คอนกรีตสด, ความสามารถทำงานได้

Abstract

This research aims to use hemp fibers, a natural reinforcing material, as an admixture in concrete. The comparison of the treatment of natural hemp fibers with alkaline chemicals such as calcium hydroxide (Ca(OH)₂) and sodium hydroxide (NaOH) at a concentration of 2 M with untreated fibers (natural fiber) was studied hemp fibers were added at 1, 2 and 3 percent by weight of the binder. The concrete ratio was 1:2:4 (cement: sand: coarse aggregate) of all 3 parts and the w/c ratio was 0.67 (compressive strength 180 kg/cm²). The mechanical and physical properties such as fresh concrete slump, compressive strength, flexural

strength, density, and water absorption were tested at 7, 14 and 28 days to determine the properties of natural fiber-reinforced concrete that are suitable for use.

The test results of all 3 parts of mix ratios showed that the average slump of fresh concrete was 9.5 cm, the difference from the allowable slump was -3.5 %, the compressive strength was between 105.3 and 226.0 kg/cm², the flexural strength was between 137.2 and 150.9 kg/cm², the density was between 2,399.3 and 2,459.0 kg/m³, and the water absorption was between 1.6 and 4.2 % at 28 days. when compared to the control mixture that did not contain hemp fibers. The most suitable ratio is one in which 3 % of the fiber content of all 3 parts is mixed. It was also found that the use of alkaline chemicals helped to roughen the fiber surface, increase adhesion and increase the adhesion between the cement paste and the fiber surface, which had better properties than hemp fibers that were not treated with chemicals.

Keywords: hemp fiber, hydraulic cement, treatment, fresh concrete, workability

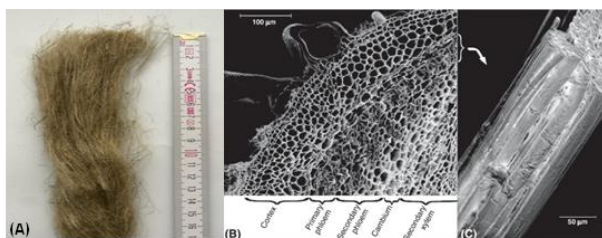
1. บทนำ

การก่อสร้างมีส่วนทำให้เกิดการบริโภควัตถุดิบถึงร้อยละ 40 และก่อให้เกิดมลพิษเรือนกระจกจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกถึงร้อยละ 40 ทั่วโลก การผลิต การขนส่ง และการติดตั้งอาคารที่ทำจากวัสดุต่างๆ ต้องใช้พลังงานจำนวนมาก เมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน การรื้อถอนอาคารและการกำจัดวัสดุก่อสร้างยังถือเป็นปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดผลกระทบเชิงลบต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อบรรเทาความต้องการทรัพยากรและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากแนวทางปฏิบัติด้านการก่อสร้างในปัจจุบัน วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจะต้องไม่เพียงแต่ตอบสนองความต้องการด้านประสิทธิภาพของวัสดุก่อสร้างเท่านั้น แต่ยังต้องลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วย [1]

คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดในโลก เนื่องจากมีปริมาณมาก ราคาจับต้องได้ และมีคุณสมบัติพิเศษที่ทำให้คอนกรีตมีความทนทาน อย่างไรก็ตาม คอนกรีตเป็นวัสดุประเภทหนึ่งที่มีกำลังดัดต่ำ กำลังอัดสูง ทนทานต่อการแตกร้าว และดูดซับพลังงานได้ไม่ดี ข้อเสียประการหนึ่งสามารถบรรเทาได้โดยการเสริมแรงด้วยเหล็กหรือเส้นใยสังเคราะห์ที่ผลิตจากโพลีโพรพิลีน ไนลอน หรือโพลีเอทิลีนแอลกอฮอล์ การใช้เหล็กหรือเส้นใยสังเคราะห์ที่มีราคาแพงและเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมจาก

มุมมองของการผลิต เส้นใยลินินเซลลูโลสจากธรรมชาติที่แตกต่างจากเส้นใยสังเคราะห์ที่ช่วยเพิ่มทรัพยากรในการก่อสร้างได้อย่างยั่งยืน ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของเส้นใยธรรมชาตินั้นน้อยมากเมื่อเทียบกับเส้นใยสังเคราะห์ เนื่องจากสามารถปลูกได้ในท้องถิ่นและต้องการพลังงานในการแปรรูปในปริมาณต่ำ ส่งผลให้การปล่อย CO₂ ที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งและการผลิตลดลง จึงทำให้มีค่าพลังงานที่รวมอยู่ต่ำลง ในความเป็นจริงเส้นใยธรรมชาติได้รับการประเมินว่าเป็นคาร์บอนเชิงลบเมื่อพิจารณาจากวงจรชีวิตทั้งหมด เนื่องจากพืชจะดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์และปล่อยออกซิเจนสู่บรรยากาศซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการสังเคราะห์แสงตามธรรมชาติ [2]

เส้นใยกัญชง (Hemp Fiber) เป็นเส้นใยที่มีความทนทาน เหนียว และเป็นวัสดุธรรมชาติที่สดชื่นชนิดหนึ่งที่ใช้ทั่วโลก จัดเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีคุณค่ามากที่สุดชนิดหนึ่ง องค์ประกอบที่สำคัญของเส้นใยกัญชง (Fiber Bundle) คือ ประกอบด้วยเซลลูโลสจำนวนมาก พบ เซลลูโลสร้อยละ 67 ถึง 75 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 16 ถึง 18 ลิกนินร้อยละ 3 ถึง 5 เพคตินร้อยละ 1.4 ซิฟิร้อยละ 1.4 และสารอินทรีย์อื่นๆ ในปริมาณสูง [3] ส่วนเส้นใยกัญชง (Fiber) การลอกเส้นใยนั้นจึงต้องใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างกัน ลอกในสภาพสด เส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยมีขนาดตั้งแต่ 16 ถึง 50 ไมโครเมตร ลูเมนแบนกว้าง ความยาวของเส้นใยเดี่ยว ประมาณ 2 ถึง 90 มิลลิเมตร (ความยาวเฉลี่ยอยู่ที่ 15 มิลลิเมตร) เส้นใยกัญชงเป็นเส้นใยติดกันเปลือกภาคตัดขวางของเส้นใยมีลักษณะเป็นรูปหลายเหลี่ยมมุมมน มีรูพรุนขนาดเล็กกระจายตัว ในมุมมองตามแนวยาวและแนวขวางของเส้นใยมีลักษณะเป็นทรงกระบอก (ดังรูปที่ 1 A, B และ C) มีพื้นผิวไม่สม่ำเสมอและมีความผิดปกติตามแนวยาว ปลายของเส้นใยค่อนข้างเรียวและฉีกออก เส้นใยกัญชงค่อนข้างหยาบกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับไอลินิน และค่อนข้างยากต่อการพอกสี เส้นใยมีความต้านทานความชื้นได้ดีเยี่ยมและเน่าเปื่อยช้าเมื่ออยู่ในน้ำ เส้นใยกัญชงมีความเหนียวสูงระดับ 53 ถึง 62 cN/tex และสูงกว่าไอลินินประมาณร้อยละ 20 แต่มีค่าการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation At Break) เพียงร้อยละ 1.5 [4] นอกจากนี้แกนเปลือกกัญชงมีปริมาณเส้นใยค่อนข้างสูง ประมาณร้อยละ 30 ถึง 40 ของน้ำหนักทั้งหมด มีกำลังดึงของเส้นใยสูงมากตั้งแต่ 550 ถึง 900 เมกะปาสคาล โดยทั่วไปแล้ว การปรับสภาพเส้นใยกัญชงธรรมชาติก่อนนำไปใช้งานเพื่อจัดหรือชะล้าง ซิฟิ น้ำมัน และสารเคลือบผิวที่ไม่ต้องการออกในกระบวนการปรับสภาพเส้นใย ทำให้เส้นใยกัญชงยึดเกาะ (Bonding) กับวัสดุประสานซีเมนต์ได้ดีขึ้น กระบวนการปรับสภาพเส้นใยสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การปรับสภาพทางกายภาพและทางเคมีของเส้นใย วิธีการที่มีประสิทธิภาพและใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดวิธีหนึ่ง คือการปรับสภาพทางเคมีโดยใช้สารละลายต่าง เช่น สารแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)₂) ที่ละลายน้ำได้หรือสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ละลายน้ำได้ในระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม [5]



รูปที่ 1 ขนาดเส้นใยกัญชง (A) และภาพถ่ายขยายอนุภาคกำลังสูง (SEM) ของเส้นใยกัญชงรูปตัดขวาง (B) กับรูปตัดตามยาว (C)

จากงานวิจัยที่ผ่านมา [6] ได้ทำการศึกษาผลของปริมาณเส้นใยกัญชงและความยาวของเส้นใยกัญชงที่มีในท้องถิ่น นำมาเป็นวัสดุผสมเพิ่มเพื่อเสริมกำลังรับแรงในพอร์ตแลนด์ซีเมนต์และวัสดุโพลิเมอร์ซีเมนต์ โดยพิจารณาผลเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยกัญชงที่ไม่ผ่านการรวมวิธีการปรับสภาพ (Untreated-UT) และผ่านการรวมวิธีการปรับสภาพ (Treated-T) ซึ่งทำการปรับสภาพนั้นจะใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 1.6 โมลาร์ โดยใช้ปริมาณเส้นใยกัญชงในการผสมที่ร้อยละ 0.50, 0.75 และ 1.00 โดยน้ำหนักของก้อนตัวอย่างที่มีความยาว 1, 2 และ 3 เซนติเมตร ตามลำดับ ทดสอบคุณสมบัติของตัวอย่าง ประกอบไปด้วย การหาหน่วยน้ำหนัก, กำลังต้านแรงดัด, กำลังต้านแรงอัด และระยะแอ่นตัว ผลที่ได้พบว่าพบว่าในพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ที่ผสมด้วยเส้นใยกัญชงที่ผ่านการปรับสภาพ (T) จะมีกำลังสูงกว่าการผสมด้วยเส้นใยกัญชงที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ (UT) เนื่องจากการปรับสภาพส่งผลให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยและซีเมนต์ที่ดีขึ้นเมื่อสารจำพวกน้ำมันและไขมันที่เคลือบเส้นใย (Oil & Wax) ได้ถูกชะล้างออกไป มีปริมาณเส้นใยที่เหมาะสม ที่ร้อยละ 0.50 โดยน้ำหนัก ที่ความยาว 3 เซนติเมตรอย่างไรก็ดีในโพลิเมอร์ซีเมนต์ พบว่าผลการทดสอบที่ได้จากการปรับสภาพ (T) และไม่ปรับสภาพเส้นใย (UT) มีค่าใกล้เคียงกันสืบเนื่องจากค่าความดันสูงในโพลิเมอร์ซีเมนต์สามารถทำให้เกิดการปรับสภาพด้วยตนเองได้บางส่วน โดยมีปริมาณเส้นใยที่เหมาะสมอยู่ที่ร้อยละ 0.50 โดยน้ำหนัก ที่ความยาว 2 เซนติเมตร. [7] ได้ทำการศึกษาผลของการใช้เส้นใยกัญชงต่อคุณสมบัติของเพสต์ซีเมนต์มอร์ตาร์ๆ เสริมเส้นใยกัญชงมีอัตราส่วนต่างกันร้อยละ 1, 2 และ 3 กับความยาวต่างกัน 6, 12 และ 18 มม. ทำการทดสอบความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ กำลังอัด กำลังดัด กำลังดึงผ้าซีก พบว่า การเพิ่มอัตราส่วนร้อยละเส้นใย ไม่ส่งผลกระทบต่อค่าของคอนกรีต ความหนาแน่นของตัวอย่างอยู่ระหว่าง 2,065 ถึง 2,156 กก./ลบ.ม. ความยาวและปริมาณการเพิ่มเส้นใยกัญชงไม่ทำให้ความหนาแน่นเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ในส่วนของความยาวเส้นใยและอัตราส่วนเส้นใย พบว่าการเติมเส้นใยกัญชงร้อยละ 2 มีผลเชิงบวกต่อกำลังอัดของเพสต์ซีเมนต์มอร์ตาร์ และผลการวิเคราะห์ SEM พบว่าเส้นใยกัญชงมีการยึดเกาะที่ดีกับอนุภาคซีเมนต์ และมีการยึดเกาะที่เพียงพอระหว่างเส้นใยกัญชงและเมทริกซ์ของคอนกรีต สรุปได้ว่า เพสต์ซีเมนต์มอร์ตาร์ที่เสริมด้วยเส้นใยกัญชงธรรมชาติความยาว 12 มม. ในปริมาณร้อยละ 2 ถึง 3 ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด และ [8] ได้ศึกษาการใช้เส้นใยธรรมชาติ (เส้นใยกัญชง) สำหรับเสริมแรงในงานคอนกรีต ที่ผ่านการปรับสภาพ (THFRC) ด้วยสารละลายต่าง Ca(OH)₂ และส่วนที่เป็นเส้นใยธรรมชาติ (UHFRC) ผสมเส้นใยกัญชงความยาวเส้นใยเฉลี่ย 15 มม. ร้อยละ 1 และ 2 พบว่า กำลังอัดและกำลังดึงที่อายุ 28 วันของ (THFRC) สูงกว่า (UHFRC) ร้อยละ 16.9 และ 10 และโมดูลัสของความยืดหยุ่น พบว่า (THFRC) มีความเปราะน้อยลงร้อยละ 11 และมีความเหนียวมากขึ้นร้อยละ 10.8 เมื่อเทียบกับ (UHFRC) เส้นใยกัญชงที่ผ่านการปรับสภาพมีความต้านทานกำลังดึงและแรงยึดเหนี่ยวสูง

จากผลของงานวิจัยที่ผ่านมาของนักวิจัยทั้ง 3 ท่าน ทำให้ได้แนวคิดในการศึกษาผลกระทบการปรับสภาพเส้นใยกัญชงต่อคุณสมบัติคอนกรีตเสริมเส้นใยธรรมชาติ ด้วยสารเคมีประเภทต่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)₂) และสารละลายโซเดียมซิลิเกต (NaOH) เปรียบเทียบกับส่วนเส้นใยธรรมชาติ โดยใช้อัตราส่วนผสมของคอนกรีตทั่วไป (1:2:4) บ่มกำลังด้วยวิธีบ่มชื้น (Moisture) ภายใต้การควบคุมอุณหภูมิห้องทดลอง ศึกษาการทดสอบคุณสมบัติด้าน การยุบตัวในสภาพสด (Slump) กำลังอัด กำลังดัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ โดยเปรียบเทียบกับอัตราส่วนผสมคอนกรีตควบคุม (ไม่มีเส้นใย) เพื่อสังเกตผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการใช้วัสดุเส้นใยธรรมชาติในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อเห็นข้อดีและข้อด้อยจากการวิจัย

ให้สามารถนำผลการวิจัยที่ได้ไปต่อยอดในงานวัสดุเสริมกำลังคอนกรีตต่อไป

2. จุดประสงค์ของงานวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาการปรับปรุงสภาพเส้นใยของที่ใช้เป็นวัสดุเสริมแรงในส่วนผสมคอนกรีตด้วยวิธีทางเคมีเปรียบเทียบกับเส้นใยธรรมชาติ
- 2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบของคุณสมบัติคอนกรีตทั้งคุณสมบัติทางกลและกายภาพที่ผสมเส้นใยจากจากการปรับปรุงสภาพเส้นใยและไม่ปรับปรุงสภาพ

3. การเตรียมตัวอย่างและวิธีทดสอบ

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทำวิจัย

- 3.1.1 ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulics Cement, HC)
- 3.1.2 มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) ทรายแม่น้ำ ขนาดคละตามมาตรฐาน ASTM C33 และ ASTM C136 [9-10]
- 3.1.3 มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) หินปูน ขนาดคละตามมาตรฐาน ASTM C33 และ ASTM C136 [9-10]
- 3.1.4 เส้นใยของ (Hemp Fiber, HF) ตัดให้ได้ขนาดความยาวเฉลี่ยไม่เกิน 20 มม. ดังรูปที่ 2 จากสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่



รูปที่ 2 ตัดและคัดแยกเส้นใยของให้ได้ความยาวเฉลี่ย 20 มม.

- 3.1.5 น้ำผสม (Water Mixer) เป็นน้ำประปา มีค่า pH เป็นกลาง
- 3.1.6 สารเคมีประเภทต่างปรับปรุงสภาพเส้นใยของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ Ca(OH)_2 มีลักษณะเป็นผงสีขาวมีความละเอียด ใช้ปริมาณร้อยละ 2 ของน้ำเจือจาง 3000 มล. ต่อเส้นใยของที่ 100 กรัม
- 3.1.7 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) มีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาวมีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.99 ปรับปรุงสภาพเส้นใยของที่ความเข้มข้น 2 โมลาร์
- 3.1.8 แบบหล่อคอนกรีตทรงลูกบาศก์ ขนาด $10 \times 10 \times 10$ ซม. และแบบหล่อคอนกรีตคาน ขนาด $10 \times 10 \times 60$ ซม.
- 3.2 สัญลักษณ์และตัวแปรของชุดอัตราส่วนผสมงานวิจัยนี้ได้กำหนดสัญลักษณ์และตัวแปรอัตราส่วนผสมของคอนกรีตเสริมเส้นใยธรรมชาติ (กัญชง) ดังแสดงในสมการที่ (1) ดังนี้

$$HC-xnHF \quad (1)$$

เมื่อ HC คือ ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก, HF คือ เส้นใยของธรรมชาติ ตัวแปร x คือ สัดส่วนของปริมาณร้อยละเส้นใยของที่ใช้ผสมเพิ่ม, n คือ สารเคมีประเภทต่าง Ca(OH)_2 และสารละลาย NaOH ที่ใช้ปรับปรุงสภาพเส้นใยของ และตัวอย่างการอ่านสัญลักษณ์ส่วนผสม เช่น HC-1CHF หมายถึง ส่วนผสมคอนกรีตทั่วไป (1:2:4) ที่ผสมเพิ่มเส้นใยของปรับปรุงสภาพด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ Ca(OH)_2 ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

3.3 อัตราส่วนผสมคอนกรีตผสมเส้นใยของ ทั้งหมด 3 ชุดอัตราส่วนผสมดังแสดงในตารางที่ 1, 2 และ 3

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมคอนกรีตผสมเส้นใยของธรรมชาติ

No.	สัญลักษณ์ (Mix Symbol)	สัดส่วนผสม (Mix Proportion) ต่อ 1 ลบ.ม. (กก./ลบ.ม.)				
		HC	FA	CA	HF	w*
1	HC-Control**	317	704	1452	-	213
2	HC-1HF	317	704	1452	3.17	213
3	HC-2HF	317	704	1452	5.34	213
4	HC-3HF	317	704	1452	9.50	213

* อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.67

** อัตราส่วนผสมควบคุม (ไม่มีเส้นใย)

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมคอนกรีตผสมเส้นใยของปรับปรุงสภาพเส้นใยด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2)

No.	สัญลักษณ์ (Mix Symbol)	สัดส่วนผสม (Mix Proportion) ต่อ 1 ลบ.ม. (กก./ลบ.ม.)				
		HC	FA	CA	CHF	w*
1	HC-Control**	317	704	1452	-	213
2	HC-1CHF	317	704	1452	3.17	213
3	HC-2CHF	317	704	1452	5.34	213
4	HC-3CHF	317	704	1452	9.50	213

* อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.67

** อัตราส่วนผสมควบคุม (ไม่มีเส้นใย)

ตารางที่ 3 อัตราส่วนผสมคอนกรีตผสมเส้นใยของปรับปรุงสภาพเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 2 โมลาร์

No.	สัญลักษณ์ (Mix Symbol)	สัดส่วนผสม (Mix Proportion) ต่อ 1 ลบ.ม. (กก./ลบ.ม.)				
		HC	FA	CA	NHF	w*
1	HC-Control**	317	704	1452	-	213
2	HC-1NHF	317	704	1452	3.17	213
3	HC-2NHF	317	704	1452	5.34	213
4	HC-3NHF	317	704	1452	9.50	213

* อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.67

** อัตราส่วนผสมควบคุม (ไม่มีเส้นใย)

3.4 การเตรียมวัสดุ การผสม การหล่อและบ่มก้อนตัวอย่าง

3.4.1 การปรับปรุงสภาพเส้นใยของด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2)

ตัดขนาดเส้นใยของให้ได้ความยาวเฉลี่ย 20 มม. ตวงน้ำหนักเส้นใยที่ 100 กรัม ตวงสารเคมีแคลเซียมไฮดรอกไซด์ Ca(OH)_2 ประมาณร้อยละ 2 ของน้ำเจือจาง 3000 มล. ต่อเส้นใยของที่ 100 กรัม ตวงน้ำสำหรับละลายสารแคลเซียมไฮดรอกไซด์ Ca(OH)_2 ที่น้ำเจือจาง 3000 มล. ต่อสาร Ca(OH)_2 ร้อยละ 2 ของน้ำหนักน้ำเจือจาง นำเส้นใยของที่ผ่านการตัดเส้นใยแล้ว น้ำไปแช่สารละลายอัลคาไลน์ (Ca(OH)_2) ที่ผ่านการละลายน้ำ โดยการคลุกเคล้าแช่ทิ้งไว้ประมาณ 12-14 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้องทดลอง 23 ± 0.5 °C หลังการแช่สารละลายครบ 12-14 ชั่วโมง นำเส้นใยของไปล้างด้วยน้ำสะอาด เพื่อล้างสารละลายอัลคาไลน์ (Ca(OH)_2) ออกให้หมด จากนั้นนำเส้นใยที่ผ่านการล้างน้ำสะอาดไปตากบนผ้าซับน้ำหรือกระดาษซับน้ำให้แห้งที่อุณหภูมิห้องทดลอง 23 ± 0.5 °C เป็นเวลา 48

ชั่วโมง (2 วัน) จนเส้นใยแห้งอย่างสม่ำเสมอและไม่จับตัว จากนั้นค่อยนำไปผสมกับสารซีเมนต์ต่อไป

3.4.2 การปรับสภาพเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

นำส่วนที่อ่อนนุ่มด้านในของเส้นใยออก (เรียกว่า “การแยกส่วน”) ตัดเส้นใยให้มีความยาวไม่มากกว่า 2 ซม. ละลายสะเก็ด NaOH ในน้ำกลั่นบริสุทธิ์เพื่อละลายสาร NaOH ที่ความเข้มข้น 2 โมลาร์ แช่เส้นใยในสารละลาย NaOH ให้ท่วม เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง ล้างเส้นใยธรรมชาติให้สะอาดจนกว่าเนื้อที่เส้นใยจะถูกขจัดออก และอบเส้นใยธรรมชาติที่ล้างแล้วในเตาอบที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปใช้งาน

3.4.3 การผสม การยวบตัว การหล่อ และบ่มก้อนตัวอย่าง

- 1) เตรียมอุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องผสม ที่ใช้ในการผสม
- 2) ชั่งตวงวัสดุซีเมนต์ เส้นใยแก้ว (แบบกระจายเส้นใยป้องกันการจับตัวของเส้นใย) ทรายหยาบ หิน และน้ำ ตามสัดส่วนที่ถูกออกแบบไว้
- 3) เทปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก ทรายหยาบ และเส้นใยแก้วธรรมชาติ ลงในเครื่องผสม เดินเครื่องผสมอีก 5 นาที (สิ้นสุดกระบวนการผสมมอร์ตาร์)
- 4) เทหินปูนลงในเครื่องผสม เดินเครื่องผสมอีก 5 นาที (สิ้นสุดกระบวนการผสมคอนกรีต) การผสมแต่ละครั้งควรอยู่ระหว่าง 10 ถึง 15 นาที ถ้านานกว่านี้จะทำให้เนื้อคอนกรีตมีความหนืด และทำให้เส้นใยแก้วที่ผสมอยู่มีจับตัวเป็นกลุ่มก้อน
- 5) นำส่วนผสมไปทำการทดสอบคุณสมบัติความสามารถทำงานได้ (Workability) เช่น การยวบตัวของคอนกรีตสด (Slump) ก่อนทำการหล่อก้อนตัวอย่างทุกครั้ง และเทส่วนผสมเข้าแบบหล่อตามก้อนตัวอย่างทดสอบ
- 6) จากนั้นแกะก้อนตัวอย่างทดสอบออกจากแบบหล่อ แล้วนำไปห่อหุ้มด้วยแผ่นฟิล์มใสอีกครั้ง ก่อนนำไปเก็บไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิ 23±0.5 องศาเซลเซียส ตามอายุการบ่ม เพื่อรอการทดสอบคุณสมบัติทางด้านเชิงกลและกายภาพต่อไป

3.5 การทดสอบตัวอย่าง

3.5.1 ทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นและโครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุซีเมนต์ มวลรวมละเอียด มวลรวมหยาบ และเส้นใยแก้ว

3.5.2 ทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตสด เช่น ค่าการยวบตัว (Slump) ตามมาตรฐาน ASTM C143 [11]

3.5.2 ทดสอบคุณสมบัติทางกลและกายภาพของคอนกรีต เช่น กำลังอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐาน ASTM C192 และ ASTM C642 [12-13] โดยใช้ตัวอย่างทดสอบขนาด 10×10×10 ซม. [14] จำนวน 216 ตัวอย่าง ที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ และกำลังตัดตามมาตรฐาน ASTM C78 [15] ใช้ตัวอย่างทดสอบขนาด 10×10×50 ซม. [16] จำนวน 24 ตัวอย่าง ที่อายุ 28 วัน บ่มตัวอย่างทดสอบแบบบ่มขึ้น (ใช้พลาสติกแผ่นใสคลุมรักษาความชื้น) ในห้องทดลองที่ควบคุมอุณหภูมิ 23±2 °C ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50±5

4. ผลการทดสอบ

4.1 ทดสอบคุณสมบัติของวัสดุประสาน มวลรวมละเอียด มวลรวมหยาบ และเส้นใยแก้ว

4.1.1 ผลทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุวิจัย ดังตารางที่ 4 และ 5 พบว่า ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก มีค่า ถ.พ เท่ากับ 3.14 มีค่าอนุภาคเฉลี่ย (Mean Particle Size, d_{50}) เท่ากับ 14.12 micron (ไมครอน) ความหนาแน่น 1,471 กก./ลบ.ม และมีพื้นที่ผิวจำเพาะ 3,600 ตร.ซม./กรัม องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกมีค่าแคลเซียมออกไซด์ (CaO) สูงร้อยละ 66.96

ตารางที่ 4 ค่าคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก)

วัสดุ	ถ.พ.	d_{50} (micron)	ความหนาแน่น (kg/m ³)	พื้นที่ผิวจำเพาะ (cm ² /g)
ปูนซีเมนต์	3.14	14.12	1,471	3,600

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก)

องค์ประกอบทางเคมี	ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (%)
CaO	66.96
SiO ₂	19.85
Al ₂ O ₃	4.49
Fe ₂ O ₃	3.56
K ₂ O	0.34
SO ₃	2.46
MgO	1.23
LOI	1.23

ในส่วนมวลรวมละเอียด (ทราย) และมวลรวมหยาบ (หินปูน) มีค่า ถ.พ. 2.63 และ 2.68 โมดูลัสความละเอียด (F.M) มีค่า 3.12 และ 2.65 ความหนาแน่น 1,600 และ 1,650 กก./ลบ.ม. การดูดซึมน้ำร้อยละ 2.45 และ 1.16 มวลรวมละเอียดอนุภาคหยาบปละเอียดและมวลรวมหยาบอนุภาคขนาดใหญ่ไม่เกิน 20 มม. (1/2 นิ้ว) และเส้นใยแก้ว มีค่าความหนาแน่น 59.15 กก./ลบ.ม. ดังตารางที่ 6 และกำลังดึงของเส้นใยค่อนข้างเหนียวเมื่อเป็นเส้นใยธรรมชาติ และผิวเส้นใยมีความขรุขระเมื่อปรับสภาพเส้นใยด้วยสารเคมี มีค่ากำลังดึงอยู่ระหว่าง 856 ถึง 860 กก./ตร.ซม. ดังตารางที่ 7

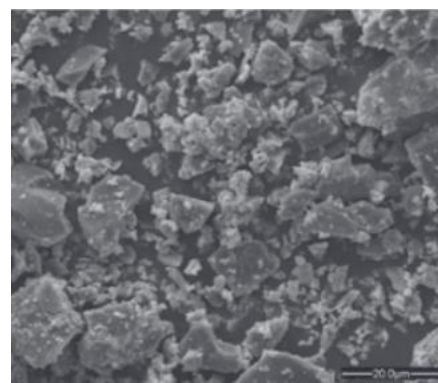
ตารางที่ 6 ค่าคุณสมบัติพื้นฐานของทราย หินปูน และเส้นใยแก้ว

วัสดุ	ถ.พ.	F.M.	ความหนาแน่น (kg/m ³)	การดูดซึมน้ำ (%)
ทราย	2.63	3.12	1,600	2.45
หินปูน	2.68	2.65	1,650	1.16
เส้นใยแก้ว	-	-	59.15	-

ตารางที่ 7 ค่าคุณสมบัติกำลังดึงของเส้นใยแก้ว

ชนิดการปรับสภาพเส้นใย	กำลังดึง (กก./ตร.ซม.)
เส้นใยแก้วธรรมชาติ (HF)	860
เส้นใยแก้วปรับสภาพด้วย CaOH ₂ (CHF)	857
เส้นใยแก้วปรับสภาพด้วย NaOH 2 M (NHF)	856

4.1.2 ผลทดสอบคุณสมบัติทางจุลภาคของวัสดุประสาน



รูปที่ 3 ภาพถ่าย SEM ของวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก)

จากรูปที่ 3 พบว่า ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (HC) มีลักษณะรูปร่างเป็นก้อน มีเหลี่ยมมุม ผิวค่อนข้างเรียบ และมีก้อนกลมมนของแร่ปอกโซลานกับวัสดุทดแทนฯ ผสมปนอยู่ อนุภาคค่อนข้างกระจุกกระจาย

4.2 การยุบตัวของคอนกรีตสด (Slump)

ตารางที่ 6 การยุบตัวของคอนกรีตสด (Slump)

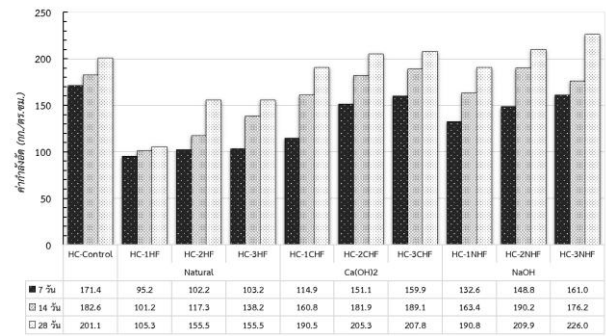
No.	สัญลักษณ์ (Mix Symbol)	ค่ายุบตัว (ซม.)	ค่ายุบตัวที่ยอมให้* (ซม.)	ค่าแตกต่าง (±) (ร้อยละ)
1	HC-Control**	11	7.5±2.5	10
2	HC-1HF	10.5		5
3	HC-2HF	10		0
4	HC-3HF	9.9		-1
5	HC-1CHF	10		0
6	HC-2CHF	9.7		-3
7	HC-3CHF	8.9		-11
8	HC-1NHF	10		0
9	HC-2NHF	8.5		-15
10	HC-3NHF	8		-20
ค่าเฉลี่ย		9.65		-3.5

*ค่าการยุบตัวของคอนกรีตงานทั่วไปอยู่ระหว่าง 5 ถึง 10 ซม.

จากผลดังตารางที่ 7 พบว่า มีคอนกรีตบางส่วนที่มีค่าการยุบตัวห่างจากมาตรฐาน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง HC-3NHF ซึ่งมีการยุบตัวต่ำกว่ามาตรฐานถึงร้อยละ 20 แต่อยู่ในช่วงเกณฑ์มาตรฐาน ค่าการยุบตัวของคอนกรีตสดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 9.5 ซม. ค่าความแตกต่างจากค่ายุบตัวที่ยอมให้ร้อยละ -3.5 ผลของการใช้เส้นใยและผิวของเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพและเส้นใยธรรมชาติส่งผลต่อการยึดเหนี่ยวกับเนื้อซีเมนต์เพสต์ทำให้ค่าการยุบตัวน้อยกว่าค่าคอนกรีตควบคุม (Control)

4.3 กำลังอัด (Compressive Strength)

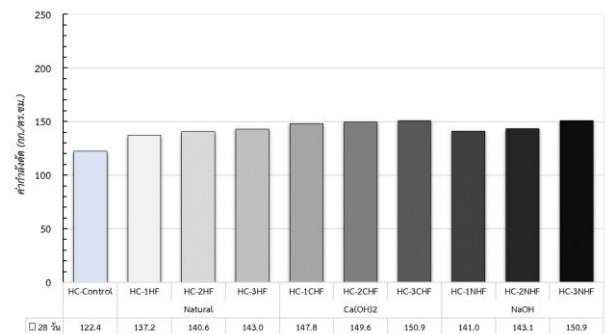
จากรูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดและอัตราส่วนของคอนกรีตผสมเส้นใยสังเคราะห์ธรรมชาติและเส้นใยปรับสภาพ ที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน พบว่า อายุ 7 วัน: ส่วนผสม HC-Control มีค่ากำลังอัดสูงสุด (171.4 กก./ตร.ซม.) ในขณะที่ส่วนผสมอื่นๆ มีค่ากำลังอัดต่ำกว่าอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะเส้นใยสังเคราะห์ธรรมชาติ (Natural) (HC-1HF, HC-2HF, HC-3HF) ที่มีค่ากำลังอัดต่ำที่สุด ที่อายุ 14 วัน: ค่ากำลังอัดของ HC-Control ยังคงสูงกว่าส่วนผสมอื่นๆ แต่เริ่มเห็นได้ว่าส่วนผสมกลุ่มปรับสภาพเส้นใยด้วย Ca(OH)_2 (HC-1CHF, HC-2CHF, HC-3CHF) และ NaOH (HC-1NHF, HC-2NHF, HC-3NHF) มีค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และอายุ 28 วัน: ส่วนผสมกลุ่มปรับสภาพด้วย Ca(OH)_2 และ NaOH มีค่ากำลังอัดสูงกว่า HC-Control อย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะ HC-3NHF ที่มีค่ากำลังอัดสูงสุด (226.0 กก./ตร.ซม.) ในขณะที่กลุ่ม Natural ยังคงมีค่ากำลังอัดต่ำกว่า HC-Control สารเคมีปรับสภาพ Ca(OH)_2 และ NaOH มีแนวโน้มช่วยเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตในระยะยาว (28 วัน) อย่างมีนัยสำคัญ เส้นใยสังเคราะห์ธรรมชาติ (Natural) มีแนวโน้มทำให้กำลังอัดของคอนกรีตต่ำกว่าส่วนผสมควบคุมในทุกช่วงเวลา ผลที่ได้ใกล้เคียงและสอดคล้องกับงานวิจัยของ [6-7]



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดและอัตราส่วนของคอนกรีตผสมเส้นใยสังเคราะห์ธรรมชาติและเส้นใยปรับสภาพ ที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน

4.4 กำลังดัด (Flexural Strength)

จากรูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังดัดและอัตราส่วนของคอนกรีตผสมเส้นใยสังเคราะห์ธรรมชาติและเส้นใยปรับสภาพ ที่อายุ 28 วัน พบว่า กลุ่ม Natural (HC-1HF, HC-2HF, HC-3HF): มีค่ากำลังดัดสูงกว่า HC-Control เล็กน้อย (137.2, 140.6, 143.0 กก./ตร.ซม. เทียบกับ 122.4 กก./ตร.ซม.) กลุ่ม Ca(OH)_2 (HC-1CHF, HC-2CHF, HC-3CHF): มีค่ากำลังดัดสูงกว่า HC-Control อย่างเห็นได้ชัด (147.8, 149.6, 150.9 กก./ตร.ซม.) และกลุ่ม NaOH (HC-1NHF, HC-2NHF, HC-3NHF): มีค่ากำลังดัดสูงกว่า HC-Control เช่นกัน (141.0, 143.1, 150.9 กก./ตร.ซม.) ผลของปริมาณเส้นใยสังเคราะห์ในส่วนผสม ส่วนที่ปรับสภาพเส้นใยด้วยสาร Ca(OH)_2 และ NaOH มีแนวโน้มว่าปริมาณเส้นใยที่มากขึ้น (HC-3CHF, HC-3NHF) ช่วยเพิ่มการยึดเกาะของผิวเส้นใยกับเนื้อคอนกรีตส่งผลให้กำลังดัดสูงขึ้น ซึ่งดีกว่าส่วนที่ผสมเส้นใยสังเคราะห์ที่ค่ากำลังดัดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ผลที่ได้ใกล้เคียงและสอดคล้องกับงานวิจัยของ [6-7]

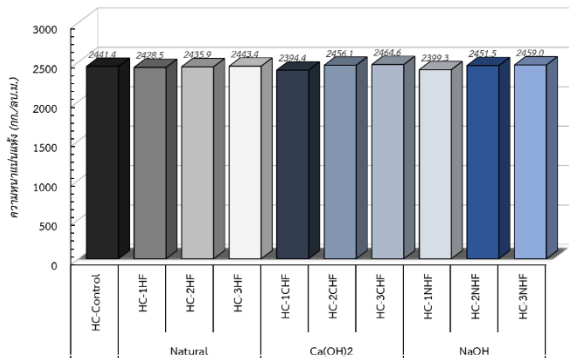


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังดัดและอัตราส่วนของคอนกรีตผสมเส้นใยสังเคราะห์ธรรมชาติและเส้นใยปรับสภาพ ที่อายุ 28 วัน

4.5 ความหนาแน่นแห้ง (Dry Density)

จากรูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งและอัตราส่วนของคอนกรีตผสมเส้นใยสังเคราะห์ธรรมชาติและเส้นใยปรับสภาพ ที่อายุ 28 วัน พบว่า เส้นใยสังเคราะห์ธรรมชาติ (Natural) (HC-1HF, HC-2HF, HC-3HF): มีความหนาแน่นแห้งสูงกว่า HC-Control เล็กน้อย กลุ่มปรับสภาพเส้นใยด้วย Ca(OH)_2 (HC-1CHF, HC-2CHF, HC-3CHF): มีความหนาแน่นแห้งสูงกว่า HC-Control อย่างเห็นได้ชัด และปรับสภาพเส้นใยด้วย NaOH (HC-1NHF, HC-2NHF, HC-3NHF): มีความหนาแน่นแห้งสูงกว่า HC-Control เช่นกัน ผลของปริมาณเส้นใยที่มากขึ้น ส่งผลให้ความหนาแน่นแห้งสูงขึ้น

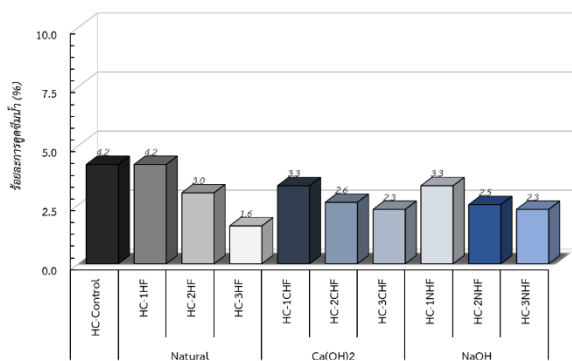
กว่าส่วนควบคุม HC-Control สารเคมีปรับสภาพ Ca(OH)_2 มีแนวโน้มช่วยเพิ่มความหนาแน่นแห้งของคอนกรีตได้ดีที่สุด สารเคมีปรับสภาพ NaOH ช่วยเพิ่มความหนาแน่นแห้งได้เช่นกัน แต่ไม่เท่า Ca(OH)_2 ในส่วนของเส้นใยกล้วยธรรมชาติ (Natural) ช่วยเพิ่มความหนาแน่นแห้งได้เล็กน้อย ผลที่ได้ใกล้เคียงและสอดคล้องกับงานวิจัยของ [6-7]



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งและอัตราส่วนของคอนกรีตผสมเส้นใยกล้วยธรรมชาติและเส้นใยปรับสภาพ ที่อายุ 28 วัน

4.6 การดูดซึมน้ำ (Water Absorption)

จากรูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซึมน้ำและอัตราส่วนของคอนกรีตผสมเส้นใยกล้วยธรรมชาติและเส้นใยปรับสภาพ ที่อายุ 28 วัน พบว่า เส้นใยกล้วยธรรมชาติ (Natural) (HC-1HF, HC-2HF, HC-3HF): มีอัตราการดูดซึมน้ำต่ำกว่า HC-Control โดย HC-3HF มีค่าต่ำที่สุด กลุ่มปรับสภาพเส้นใยด้วย Ca(OH)_2 (HC-1CHF, HC-2CHF, HC-3CHF): มีอัตราการดูดซึมน้ำต่ำกว่า HC-Control เช่นกัน และปรับสภาพเส้นใยด้วย NaOH (HC-1NHF, HC-2NHF, HC-3NHF): มีอัตราการดูดซึมน้ำต่ำกว่า HC-Control เช่นกัน ผลของปริมาณเส้นใยที่ใช้ผสมเพิ่ม ส่งผลให้อัตราการดูดซึมน้ำต่ำลง เส้นใยกล้วยธรรมชาติ (Natural) มีแนวโน้มช่วยลดอัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตได้ดีที่สุด และเส้นใยกล้วยที่ปรับสภาพด้วย Ca(OH)_2 และ NaOH: ช่วยลดอัตราการดูดซึมน้ำได้เช่นกัน แต่ไม่เท่าเส้นใยกล้วยธรรมชาติ (Natural) การซึมน้ำของผิวเส้นใยส่งผลต่อการดูดซึมน้ำเช่นกัน ผลที่ได้ใกล้เคียงและสอดคล้องกับงานวิจัยของ [6-7]



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซึมน้ำและอัตราส่วนของคอนกรีตผสมเส้นใยกล้วยธรรมชาติและเส้นใยปรับสภาพ ที่อายุ 28 วัน

5. บทสรุป

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การยุบตัวของคอนกรีตสด (Slump) ขึ้นอยู่กับปริมาณเส้นใยกล้วยที่ผสมเพิ่ม ค่าการยุบตัวใกล้เคียงกับอัตราส่วนควบคุม (Control) มากที่สุด และ คอนกรีตสดที่ผ่านการปรับสภาพเส้นใยกล้วยด้วยแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) มีการยุบตัวที่มากที่สุด เมื่อเทียบกับ คอนกรีตสดที่ปรับสภาพเส้นใยกล้วยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ซึ่งมีค่าการยุบตัวที่ต่ำ ค่าการยุบตัวของคอนกรีตสด (Slump) ทั้ง 3 ชุดอัตราส่วนผสมมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 9.5 ซม. และค่าความแตกต่างจากค่ายุบตัวที่ยอมให้ร้อยละ -3.5

5.1.2 กำลังอัด (Compressive Strength) ค่ากำลังอัดของทั้ง 3 ชุดอัตราส่วนผสมมีค่าอยู่ระหว่าง 105.3 ถึง 226.0 กก./ตร.ซม. ที่อายุ 28 วัน การปรับสภาพเส้นใยกล้วยด้วยสารเคมีและปริมาณการใช้เส้นใยผสมเพิ่มทำให้ค่ากำลังอัดมีค่าสูงขึ้น เมื่อเทียบกับอัตราส่วนที่ผสมเส้นใยธรรมชาติ เนื่องจากความขรุขระของผิวเส้นใยช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวของซีเมนต์เพสต์ให้สามารถต้านทานกำลังอัดได้ดีกว่าผิวของเส้นใยที่เป็นผิวสภาพเรียบ

5.1.3 กำลังดัด (Flexural Strength) ค่ากำลังอัดของทั้ง 3 ชุดอัตราส่วนผสมมีค่าอยู่ระหว่าง 137.2 ถึง 150.9 กก./ตร.ซม. ที่อายุ 28 วัน เส้นใยกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพและเส้นใยธรรมชาติ ช่วยให้คอนกรีตรับกำลังดัดได้มากกว่าคอนกรีตควบคุม (Control) ที่ไม่มีเส้นใย การปรับสภาพของเส้นใยช่วยให้ผิวของเส้นใยยึดเกาะกับเนื้อซีเมนต์เพสต์ได้ดีกว่า ส่วนที่เป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีผิวเส้นใยยึดเกาะไม่ดีเท่าที่ควร

5.1.4 ความหนาแน่นแห้ง (Dry Density) ค่าความหนาแน่นแห้งของทั้ง 3 ชุดอัตราส่วนผสมมีค่าอยู่ระหว่าง 2,399.3 ถึง 2,459.0 กก./ลบ.ม. ที่อายุ 28 วัน ค่าความหนาแน่นแห้งเพิ่มขึ้นไม่มากเมื่อเทียบกับอัตราส่วนคอนกรีตควบคุมที่ไม่มีเส้นใยกล้วย อนุภาคของสารเคมีปรับสภาพที่ติดอยู่ผิวเส้นใยกล้วย ส่งผลต่อความหนาแน่นแห้งที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

5.1.5 การดูดซึมน้ำ (Water Absorption) ค่าการดูดซึมน้ำของทั้ง 3 ชุดอัตราส่วนผสมมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 1.6 ถึง 4.2 ที่อายุ 28 วัน ค่าที่ได้ลดลงตามปริมาณเส้นใยกล้วยที่ผสมเพิ่ม การปรับสภาพเส้นใยด้วยสารเคมีทั้ง 2 ประเภท ส่งผลต่อค่าการดูดซึมน้ำที่มีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

5.1.6 อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้ประโยชน์ คือ HC-3HF, HC-3CHF และ HC-3NHF มีค่ากำลังอัด เท่ากับ 155.5, 207.8 และ 226.0 กก./ตร.ซม. มีค่ากำลังดัด เท่ากับ 143.0, 150.9 และ 150.9 กก./ตร.ซม. ค่าความหนาแน่นแห้ง 2,443.4, 2,464.6 และ 2,459.0 กก./ลบ.ม. และค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 1.6, 2.3 และ 2.3 ที่อายุ 28 วัน

6. การนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์และข้อเสนอแนะ

6.1 สามารถนำเส้นใยกล้วยธรรมชาติกับเส้นใยกล้วยปรับสภาพไปใช้กับงานประเภทเสริมแรงอื่นๆ เช่น ซีเมนต์มอร์ตาร์เสริมแรงฯ ซีเมนต์เกร้าท์เสริมเส้นใย แผ่นไฟเบอร์กลาส หรือแผ่นวัสดุฉนวนกันความร้อน เป็นต้น

6.2 ควรศึกษาการใช้ปริมาณเส้นใยกล้วยที่มากกว่าร้อยละ 3 เพื่อดูความเหมาะสมด้านการเสริมแรงของคอนกรีตและผลกระทบของการกระจายตัวของเส้นใยกล้วยในปริมาณที่เพิ่มขึ้น

6.3 ควรศึกษาการใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์เพื่อปรับปรุงข้อด้อยด้านกำลังอัดและกำลังดัด

6.4 ควรศึกษาค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E) ของคอนกรีตผสมเส้นใยกล้วยธรรมชาติและเส้นใยปรับสภาพ

6.5 ควรศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของการปรับปรุงสภาพเส้นใยด้วยวิธีการเปรียบเทียบกับเส้นใยธรรมชาติ เพื่อความเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นวัสดุเสริมกำลังในงานคอนกรีต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และนักศึกษาผู้ช่วยนักวิจัยจากสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทางด้านจัดเก็บข้อมูลทางเทคนิค, ผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น, ผลทดสอบทางกลและกายภาพ

ขอขอบคุณ คุณศักดิ์ศิริ คุปตรัตน์ ตำแหน่ง นักวิชาการเกษตร จากสถาบันวิจัยพัฒนาพื้นที่สูง ต.สุเทพ อ.สุเทพ จ.เชียงใหม่ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์วัสดุเส้นใยและข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับวัสดุงานวิจัยจากแหล่งแปลงปลูก อ.พบพระ จ.ตาก

ขอขอบคุณ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสกลนคร ในด้านส่งเสริมองค์ความรู้ทางการวิจัย งบประมาณในการนำเสนอผลงานวิจัย และอำนวยความสะดวกในการเข้าใช้ห้องปฏิบัติการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานและขั้นสูง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Zhou, C., Shi, S. Q., Chen, Z., Cai, L., & Smith, L. (2018). Comparative environmental life cycle assessment of fiber reinforced cement panel between kenaf and glass fibers. *Journal of Cleaner Production*, 200,
- [2] Shahzad, A. (2012). Hemp fiber and its composites - A review. *Journal of Composite Materials - J COMPOS MATER*, 46, 973-986.
- [3] Balčiūnas, G., Vėjelis, S., Vaitkus, S., & Kairytė, A. (2013). Physical Properties and Structure of Composite Made by Using Hemp Hurds and Different Binding Materials. *Procedia Engineering*, 57, 159-166.
- [4] Le Troedec, M., Sedan, D., Peyratout, C., Bonnet, J. P., Smith, A., Guinebreiere, R., . . . Krausz, P. (2008). Influence of various chemical treatments on the composition and structure of hemp fibres. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39(3), 514-522.
- [5] Suwan, T., Maichin, P., Fan, M., Jitsangiam, P., Tangchirapat, W., & Chindaprasit, P. (2022). Influence of alkalinity on self-

treatment process of natural fiber and properties of its geopolymeric composites. *Construction and Building Materials*, 316, 125817.

- [6] ภัทรชัย ไหมจีน และ อีวรา สุวรรณ (2562). สมบัติทางกลของวัสดุพอร์ตแลนด์ซีเมนต์มอร์ตาร์และจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์โดยใช้เส้นใยกล้วยในท้องถิ่นที่ผ่านการปรับปรุงด้วยตนเองเป็นวัสดุผสมเพิ่ม. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 24*, อุตรดิตถ์, 10-12 กรกฎาคม 2562, หน้า 783-788.
- [7] Çomak, B., Bideci, A., & Salli Bideci, Ö. (2018). Effects of hemp fibers on characteristics of cement-based mortar. *Construction and Building Materials*, 169, 794-799.
- [8] Zhou, X., Saini, H., & Kastiukas, G. (2017). Engineering Properties of Treated Natural Hemp Fiber-Reinforced Concrete. *Frontiers in Built Environment*, 3.
- [9] ASTM-C33. (2007). ASTM C33: Standard Specification for Concrete Aggregates. *Annual Book of ASTM Standards Vol.04.02 (C09.20)*, 1-11.
- [10] ASTM-C136. (2006). ASTM C136: Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. *Annual Book of ASTM Standards Vol.04.02 (C09.20)*, 1-5.
- [11] ASTM-C143/C143M. (2010). ASTM C143/C143M-10: Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete. *Annual Book of ASTM Standards Vol.04.02 (C09.60)*, 1-4.
- [12] ASTM-C192/C192M. (2007). ASTM C192/C192M-07: Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory. *Annual Book of ASTM Standards V.04.02 (C09.61)*, 1-8.
- [13] ASTM-C642. (2021). ASTM C642-21: Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. *Annual Book of ASTM Standards V.04.02 (C09.66)*, 1-3.
- [14] BS1881-116. (1983). Method for determination of compressive strength of concrete cubes. *British Standards Institute*.
- [15] ASTM-C78. (2009). ASTM C78-09: Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading). *Annual Book of ASTM Standards Vol.04.02*
- [16] BS1881-3. (1970). Making and curing test cubes and beam. *British Standards Institute*.