

การปรับปรุงวัสดุทดแทนซีเมนต์จากหญ้าขจรจบสำหรับผลิตคอนกรีตบล็อก Improvement of Cement Substitute Materials from Mission Grass for Concrete Block Manufacture

ณปภัช คงฤทธิ^{1*}, จักรพงษ์ จิตต์จำนงค์², พลสรณ์ แซ่เตียว³, ปนัดดา โสฬส⁴ และ วันนาเดียน นาวะ⁵

^{1,2,3,4,5}หลักสูตรสาขาวิชาเทคโนโลยีปิโตรเลียม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา

1 ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อয়ง อ.เมือง จ.สงขลา 90000

Napaphat Kongrit^{1*}, Jakkrapong Jitjamnong², Phonsan Saetiao³, Panadda Solod⁴ and Wannadeear Nawae⁵

^{1,2,3,4,5}Department of Petroleum Technology, Faculty of Industrial Education and Technology,

Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkhla,

1 Ratchadamnoennok Rd. Boyang Sub-district, Muang District, Songkhla 90000, Thailand

*Corresponding author Email: Napaphat.s@rmutsv.ac.th

(Received: October 03, 2025 / Revised: December 12, 2025 / Accepted: December 20, 2025)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาขององค์ประกอบทางเคมีโดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรมิเตอร์ เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของมอร์ตาร์หญ้าขจรจบระหว่างใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์กับไม่ใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการปรับปรุงพื้นผิวสำหรับผลิตคอนกรีตบล็อก อัตราส่วนหญ้าขจรจบแทนซีเมนต์ร้อยละ 0 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก โดยใช้บล็อกอะคริลิกขนาด 5x5x5 เซนติเมตร ทำการทดสอบความสามารถในการรับแรงอัด ค่าความหนาแน่นของมอร์ตาร์หญ้าขจรจบที่อายุ 0 14 และ 28 วัน ผลการทดสอบพบว่าค่าเฉลี่ยกำลังอัดและค่าความหนาแน่นของมอร์ตาร์หญ้าขจรจบที่ไม่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีค่าเฉลี่ยกำลังอัดมากที่สุดผ่านการบ่มเป็นระยะเวลา 14 วัน มอร์ตาร์หญ้าขจรจบแทนซีเมนต์ร้อยละ 30 เท่ากับ 14.25 เมกะปาสคาล และมอร์ตาร์หญ้าขจรจบที่มีค่าความหนาแน่นมากที่สุดผ่านการบ่มเป็นระยะเวลา 14 วัน มอร์ตาร์หญ้าขจรจบแทนซีเมนต์ร้อยละ 10 มีค่าเท่ากับ 1.59 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มอร์ตาร์หญ้าขจรจบที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีค่าเฉลี่ยกำลังอัดมากที่สุดผ่านการบ่มเป็นระยะเวลา 0 วัน มอร์ตาร์หญ้าขจรจบแทนซีเมนต์ร้อยละ 20 เท่ากับ 12.19 เมกะปาสคาล มอร์ตาร์หญ้าขจรจบที่มีค่าความหนาแน่นมากที่สุดผ่านการบ่มเป็นระยะเวลา 14 วัน มอร์ตาร์หญ้าขจรจบแทนซีเมนต์ร้อยละ 20 เท่ากับ 1.73 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ปริมาณของเส้นใยหญ้าขจรจบและระยะเวลาในการบ่มที่มีผลต่อค่าความหนาแน่นและค่ากำลังอัด

คำสำคัญ: หญ้าขจรจบ มอร์ตาร์ วัสดุทดแทน โซเดียมไฮดรอกไซด์

Abstract

This research is to study the chemical composition using X-ray fluorescence spectrometer, comparison of the physical properties of *Pennisetum pedicellatum* mortar between using sodium hydroxide at a concentration of 15% and without sodium hydroxide for surface improvement for concrete block manufacture, the ratio of *Pennisetum pedicellatum* replaced cement in 0, 10, 20, and 30 %wt. Using acrylic block of size 5x5x5 cm, the compressive strength and density of incubated mortar were tested at 0, 14 and 28 days. The results showed that the compressive strength and density without sodium hydroxide treatment is the highest average compressive strength after curing for 14 days in *Pennisetum pedicellatum* mortar replaced 30%wt of cement, equal to 14.25 MPa. And the highest density of mortar that curing 14 days, the *Pennisetum pedicellatum* mortar replaced 10%wt cement, equal to 1.59 g/cm³. Sodium hydroxide surface-improved perennial *Pennisetum pedicellatum* mortar. Is the highest average compressive strength after curing for 0 days, *Pennisetum pedicellatum* mortar replaced 20%wt of cement equal to 12.19 MPa. The density of mortar that curing 14 days, *Pennisetum*

pedicellatum mortar replaced 20%wt cement equal to 1.73 g/cm^3 . The amount of *Pennisetum pedicellatum* fiber and the curing time affected the density and compressive strength.

Keywords: Mission grass, Mortar, Substitute materials, Sodium hydroxide

1. บทนำ

คอนกรีตเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในงานก่อสร้างอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement) เป็นวัสดุผสมที่ใช้มากเป็นอันดับหนึ่งในการผลิตปูนซีเมนต์ โดยมีการนำปูนซีเมนต์เข้าเตาเผาแบบหมุนที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1,500 องศาเซลเซียส เตาเผาเป็นท่อขนาดใหญ่วางเป็นมุมเอียงและหมุนรอบตัวเองช้า ๆ ปล่องวัดอุณหภูมิให้ไหลมาในท่อทางด้านต่ำสวนทางกับไฟที่พุ่งเข้าไปโดยน้ำมันเป็นเชื้อเพลิงในการเผา ซึ่งในการผลิตปูนซีเมนต์ต้องใช้ปริมาณเชื้อเพลิงและพลังงานสูงมาก ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ส่งผลให้เกิดก๊าซเรือนกระจก ให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อน ซึ่งเกิดผลเสียต่อธรรมชาติและความเป็นอยู่ของมนุษย์เป็นอย่างมาก ทำให้เกิดการตระหนักและนึกคิดนวัตกรรม และสิ่งประดิษฐ์ใหม่ ๆ ที่เป็นมิตรต่อธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เพื่อลดปัญหาการเกิดภาวะโลกร้อน จึงได้มีการใช้มอร์ตาร์จากธรรมชาติเป็นวัสดุทดแทนซีเมนต์เพื่อลดการผลิตซีเมนต์ที่เป็นปัญหาหนึ่งของการเกิดปัญหาภาวะโลกร้อน

มอร์ตาร์ คือ วัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่ประกอบด้วยส่วนผสมระหว่างเป็นปูนซีเมนต์ ทราย น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีตประเภทลดปริมาณน้ำที่ใช้ในส่วนผสม และหน่วงการก่อตัว ปัจจุบันมอร์ตาร์สามารถผลิตจากวัสดุธรรมชาติ เช่น ยางพารา แกลบ ฟาง และอื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติในการผสมเหมือนหรือคล้ายซีเมนต์เพื่อลดปริมาณและทดแทนการใช้ซีเมนต์ที่มีกระบวนการผลิตซึ่งใช้ปริมาณเชื้อเพลิงและพลังงานสูงมาทดแทนซีเมนต์ การศึกษาทางวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า ภวักร สุขแสน และคณะ (2559) ได้ศึกษาการพัฒนาคอนกรีตมวลเบาจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรพบว่าฟางข้าวและขุยมะพร้าวซึ่งมีมากในประเทศไทยมาใช้เป็นวัสดุเสริมคอนกรีตและทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบากว่าปูนมอร์ตาร์ 25 - 40 เปอร์เซ็นต์เมื่อมีเส้นใยในระบบ 30 - 50 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร การปรับปรุงผิวฟางข้าวทั้งแบบหยาบ (1-5 มิลลิเมตร) และแบบละเอียด (<1 มิลลิเมตร) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 15 เปอร์เซ็นต์ สามารถกำจัดเฮมิเซลลูโลส ลิกนินและกรดไขมันออกทำให้เซลลูโลสมีพื้นผิวที่ขรุขระและชอบน้ำมากขึ้น และเมื่อนำมาผสมกับเฟสปูนทำให้มีความเข้ากันได้ดี มีการกระจายตัวของเส้นใยในเมทริกซ์ความสม่ำเสมอและการยึดเกาะระหว่างผิวของเส้นใยและเฟสปูนดี เกิดช่องว่างบริเวณผิวสัมผัสน้อยลง คอนกรีตมวลเบาที่มีเส้นใยฟางละเอียด 20 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับขุยมะพร้าวละเอียด 10 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่ากำลังอัดสูงถึง 140 กก./ตร.ซม. โดยมีความหนาแน่นมวลรวมที่ลดลงกว่า 30 เปอร์เซ็นต์จากซีเมนต์มอร์ตาร์ การบ่มชิ้นงานคอนกรีตไว้เป็นเวลา มากกว่า 28 วัน จะมีการพัฒนาการรับแรงกดอัดที่สูง [1] Jyoti Rashmi Nayaka et al. (2022) ได้ศึกษาการตรวจสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของปูนสดและแบบชุบแข็งที่เสริมด้วยเส้นใยธรรมชาติ (ปอกระเจาและป่านศรนารายณ์) และปริมาณเส้นใยสังเคราะห์ (โพรพิลีน) ตั้งแต่ 1-2 เปอร์เซ็นต์ และศึกษาทดลองของมอร์ตาร์ ซึ่งรวมถึงปริมาณอากาศที่คงตัวของกำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัดงอ และการหดตัว การถ่ายภาพพหุรูป MIP และ SEM จากผลการวิจัยพบว่าการใช้เส้นใยของเสียวจากธรรมชาติมีข้อดีที่แตกต่างจากเส้นใยสังเคราะห์ จึงแนะนำให้ใช้เส้นใยปอกระเจากับปูนเพื่อวัตถุประสงค์เชิงโครงสร้าง [2]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาการผลิตวัสดุทดแทนซีเมนต์จากวัชพืชทางการเกษตรที่มีอยู่มากและไม่สามารถกำจัดได้หมด เพื่อลดการใช้ซีเมนต์และเพิ่มคุณค่าของวัชพืช โดยวัชพืชที่สนใจศึกษา คือ หญ้าขจรจบเนื่องจากหญ้าขจรจบมีปริมาณเฉลี่ยมากถึง 1.8 ตันต่อไร่ และมีการนำหญ้าขจรจบไปใช้ประโยชน์น้อยมากอีกทั้งหญ้าขจรจบมีลักษณะที่คล้ายฟาง ทางผู้วิจัยจึงคิดว่าหญ้าขจรจบอาจมีความเหมาะสมสำหรับผลิตคอนกรีตบล็อก โดยมีการศึกษาสมบัติทางเคมีของหญ้าขจรจบแทนที่ซีเมนต์ เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของมอร์ตาร์หญ้าขจรจบระหว่างการปรับปรุงพื้นผิวของด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) กับไม่ใช้ NaOH ศึกษา กำลังรับแรงอัด ค่าความหนาแน่น และเปรียบเทียบระยะเวลาการบ่มสำหรับนำมาผลิตมอร์ตาร์ทดแทนซีเมนต์

2. วิธีดำเนินงาน

2.1 การผสมส่วนผสมซีเมนต์

2.2.1 ปรับสภาพผิวของหญ้าขจรจบโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์

2.2.2 นำซีเมนต์ หญ้าขจรจบขนาด 16 เมช ดินขนาด 30 เมช และน้ำที่ได้ทำการคำนวณส่วนผสมให้สมดุลกับบล็อกอะคริลิก ดังตารางที่ 1 จากนั้นเทลงในถังส่วนผสมและทำการผสมภายในระยะเวลา 30 นาที

2.2 การเตรียมวัสดุ

นำหญาขจรจบที่เตรียมไว้ไปอบให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากอบเสร็จแล้วไปบดให้ละเอียดและคัดขนาดเส้นใยด้วยตะแกรงคัดขนาด 16 เมช เขย่าเป็นเวลา 1-2 นาที ให้นำดินที่เป็นก้อนไปบดให้ละเอียด แล้วนำไปคัดขนาดโดยใช้ตะแกรงคัดขนาด 30 เมช เขย่าเป็นเวลา 1-2 นาที

2.3 ออกแบบวิธีการทดลอง

การทดลองหล่อวัสดุทดแทนซีเมนต์ซีเมนต์จากหญาขจรจบ ด้วยการหล่อคอนกรีตขนาด $5 \times 5 \times 5$ เซนติเมตร ผสมกับปูนซีเมนต์มีอัตราส่วนผสมน้ำต่อปริมาณซีเมนต์และหญาขจรจบ 0.6 ใช้อัตราส่วนหญาขจรจบแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ 0 10 20 และ 30 โดยน้ำหนักตามลำดับ โดยการหล่อทุกครั้งจะทำการชั่งน้ำหนัก โดยเทียบตามอัตราส่วนผสมเหล่านั้นมาผสมให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวแล้วทำการหล่อมอร์ตาร์

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของมอร์ตาร์

ร้อยละหญา ขจรจบแทนที่ ปูนซีเมนต์	หญาขจรจบ (กรัม)	ดิน (กรัม)	ซีเมนต์ (กรัม)	น้ำ (กรัม)
0	0	138	92	55.2
10	23	138	69	55.2
20	46	138	46	55.2
30	69	138	23	55.2

2.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

2.4.1 การทดสอบการบ่ม

2.4.1.1 หล่อมอร์ตาร์ขนาด $5 \times 5 \times 5$ เซนติเมตร

2.4.1.2 อัตราส่วนหญาขจรจบแทนปูนซีเมนต์ร้อยละ 0 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก

2.4.1.3 เตรียมหญาขจรจบที่ผ่านการปรับสภาพผิวจากสารโซเดียมไฮดรอกไซด์และไม่ปรับสภาพผิวจากสารโซเดียมไฮดรอกไซด์

2.4.1.4 การบ่มมอร์ตาร์ บ่มในน้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 0 14 และ 28 วัน

2.4.2 การทดสอบสมบัติทางกล

2.4.2.1 ความหนาแน่น โดยการชั่งน้ำหนักของมอร์ตาร์ ดังสมการที่ (1)

$$\text{ความหนาแน่น (D)} = W/V \text{ (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)} \quad (1)$$

เมื่อ W คือ น้ำหนักของมอร์ตาร์ (กรัม)

V คือ ปริมาตรของมอร์ตาร์ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

2.4.2.2 การทดสอบกำลังอัด

การทดสอบกำลังอัดมอร์ตาร์ขนาด $5 \times 5 \times 5$ เซนติเมตร โดยใช้อัตราส่วนหญาขจรจบแทนซีเมนต์ร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาบ่ม 0 14 และ 28 วัน เข้าเครื่องทดสอบกำลังอัด (Compressive Strength, ksc) ยี่ห้อ GOTECH ดังรูปที่ 1 วางมอร์ตาร์บนแท่นกดด้านล่างโดยวางในตำแหน่งที่อยู่กึ่งกลางของแท่งกด (แผ่นของแท่งกดทั้งด้านบนและด้านล่างต้องสะอาด) เปิดเครื่องกดตัวอย่าง โดยการเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอด้วยอัตรา 140 Ksc/min (Kilogram per square centimeter) และความเร็ว 10 mm/min จนมอร์ตาร์แตกละเอียดและทำการบันทึกผลการคำนวณ ดังสมการที่ (2)

$$G = P/A \quad (2)$$

เมื่อ G คือ กำลังอัด มีหน่วยเป็น พาสคัล (Pa)

P คือ แรงกดสูงสุดที่ทำให้มอร์ตาร์แตกละเอียด มีหน่วยเป็น นิวตัน (N)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของมอร์ตาร์ มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)



รูปที่ 1 เครื่องทดสอบกำลังอัด

2.5 การหล่อและบ่มมอร์ตาร์หญาจรจบที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

ซึ่งส่วนผสมทั้งหมดได้แก่ หญาจรจบ ซีเมนต์ ทรายดิน และน้ำที่ได้จากการคำนวณ ดังตารางที่ 1 ผสมส่วนผสมทั้งหมดในอ่างผสมให้เข้ากันจากนั้นมาอัดลงบล็อกตัวอย่างขนาด $5 \times 5 \times 5$ เซนติเมตรและทิ้งไว้ให้แห้งบ่มในน้ำเป็นเวลา 0 14 และ 28 วัน ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 มอร์ตาร์หญาจรจบบ่มน้ำเป็นเวลา 0 14 และ 28 วัน

2.6 การหล่อและบ่มมอร์ตาร์หญาจรจบที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

ซึ่งสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นที่ 15 โมล โดยสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 300 กรัมผสมกับน้ำ 500 ml และนำหญาจรจบที่คัดขนาดแล้วไปแช่สารเป็นเวลา 12 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำหญาจรจบมาล้างด้วยน้ำสะอาดจนกว่าค่า pH จะเป็นกลาง นำหญาจรจบไปบ่มอีกครั้งจนแห้งสนิทไปผสมกับส่วนผสมทั้งหมด และทำการอัดลงบล็อกตัวอย่างขนาด $5 \times 5 \times 5$ เซนติเมตร บ่มในน้ำเป็นเวลา 0 14 และ 28 วัน

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 องค์ประกอบทางเคมีของหญ้าขจรจบ

3.1.1 ผลการทดสอบ X-ray fluorescence (XRF)

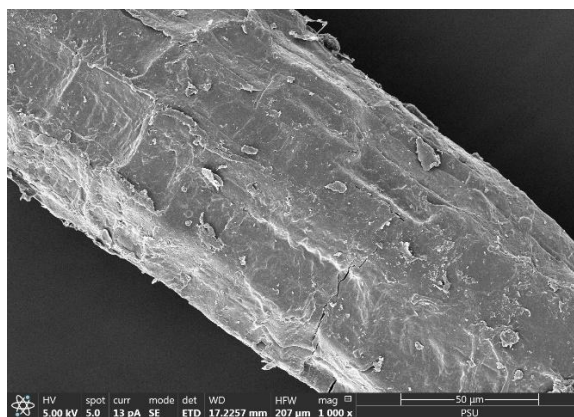
ผลการทดสอบเพื่อหาองค์ประกอบทางเคมีของหญ้าขจรจบโดยใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรมิเตอร์ (X-ray Fluorescence Spectrometer-XRF) จากศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ได้ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 2 มีค่าดังนี้ หญ้าขจรจบพบองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ คือ อะลูมิเนียม (Al) ซิลิคอน (Si) แคลเซียม (Ca) และไอรอน (Fe) เท่ากับ 0.054 1.392 0.350 และ 0.049 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งพบว่าองค์ประกอบทางเคมีของหญ้าขจรจบนั้นมีคุณสมบัติในการเชื่อมประสานที่น้อย เนื่องจากหญ้าขจรจบมีองค์ประกอบหลักทางเคมีในปริมาณที่น้อย ซึ่งการเพิ่มกำลังอัด คือ การที่ปริมาณของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) ที่เพิ่มขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชันสามารถทำปฏิกิริยาปอซโซลานิกกับซิลิกา (SiO_2) ได้แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) เพิ่มขึ้นส่งผลให้โครงสร้างแน่นและรับกำลังอัดได้สูงขึ้น [3] ดังนั้น การเพิ่มปริมาณของเส้นใยทำให้ความสามารถในการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของปูนซีเมนต์ลดลงจนพวกับเส้นใยมีความหนาแน่นน้อยเมื่อเส้นใยมีปริมาณมากเกินไปจะทำให้ความต้านทานแรงอัดลดน้อยลงด้วย [4] อีกทั้งองค์ประกอบทางเคมีจากการทดสอบ XRF ของหญ้าขจรจบแสดงให้เห็นว่ามีซิลิกา (Si) เป็นองค์ประกอบหลักร่วมกับออกไซด์ของอะลูมิเนียม แคลเซียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และโซเดียมในปริมาณรอง ซึ่งมีลักษณะคล้ายถ้าชีวมวลกลุ่มหญ้าที่ใช้เป็นวัสดุเสริมปฏิกิริยาปอซโซลานิกในซีเมนต์ได้ดี ดังนั้นหญ้าขจรจบจึงมีศักยภาพในการใช้เป็นวัสดุทดแทนซีเมนต์ [5]

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของหญ้าขจรจบ

ลำดับ	ธาตุ	ร้อยละปริมาณ
1	โซเดียม (Na)	0.041
2	แมกนีเซียม (Mg)	0.145
3	อะลูมิเนียม (Al)	0.054
4	ซิลิคอน (Si)	1.392
5	ฟอสฟอรัส (P)	0.106
6	ซัลเฟอร์ (S)	0.120
7	คลอรีน (Cl)	0.209
8	โพแทสเซียม (K)	1.697
9	แคลเซียม (Ca)	0.350
10	แมงกานีส (Mn)	0.033
11	ไอรอน (Fe)	0.049
12	คอปเปอร์ (Cu)	0.011
13	ซิงค์ (Zn)	0.004
14	รูบิเดียม (Rb)	0.003

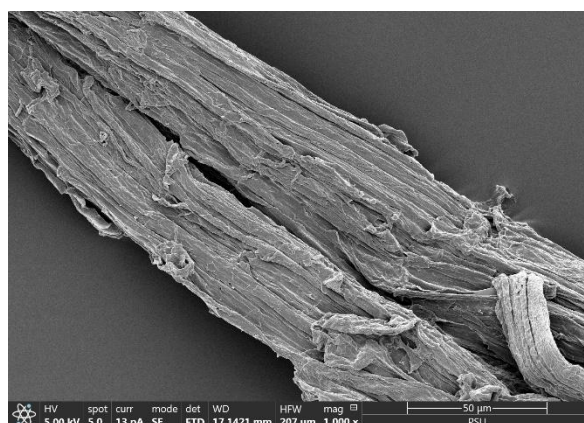
3.1.2 ผลการทดสอบ Scanning Electron Microscope (SEM)

3.1.2.1 ผลการทดสอบเพื่อหาโครงสร้างของหญ้าขจรจบที่ไม่ใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการปรับสภาพพื้นผิว โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5800 LV (SEM5800) จากศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ภาพที่ได้จากกล้อง SEM จะมีกำลังขยายอยู่ที่ 1,000 เท่า เป็นภาพที่กำลังขยายสูง และสามารถแยกแยะรายละเอียดของภาพได้ และมีลักษณะเหมือน 3 มิติที่มีระยะชัดลึกสูง ทำให้สามารถระบุลักษณะของพื้นผิวของชิ้นงานได้อย่างชัดเจน ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 หล้าขจรจบที่ไม่ใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ กำลังขยายที่ 1,000X

3.1.2.2 ผลการทดสอบเพื่อหาโครงสร้างของหล้าขจรจบที่ใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการปรับสภาพพื้นผิว โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) กำลังขยายที่ 1,000 เท่า ดังรูปที่ 4 พบว่าเส้นใยหล้าขจรจบหลังจากการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ส่งผลต่อสภาพผิวและโครงสร้างของเส้นใยอย่างชัดเจน ดังนี้ พื้นผิวของเส้นใยหยาบ และมีร่องตามแนวยาวแสดงถึงการที่ NaOH เข้าไปละลายลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และสารไขมันที่เคลือบผิวเส้นใย ทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้น ช่วยให้สารยัดประสานสามารถแทรกซึมและยึดเกาะทางกลได้ดี เมื่อใช้เส้นใยเป็นวัสดุเสริมแรงในคอมโพสิตหรืออิฐบล็อก



รูปที่ 4 หล้าขจรจบที่ใช้สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ กำลังขยายที่ 1,000X

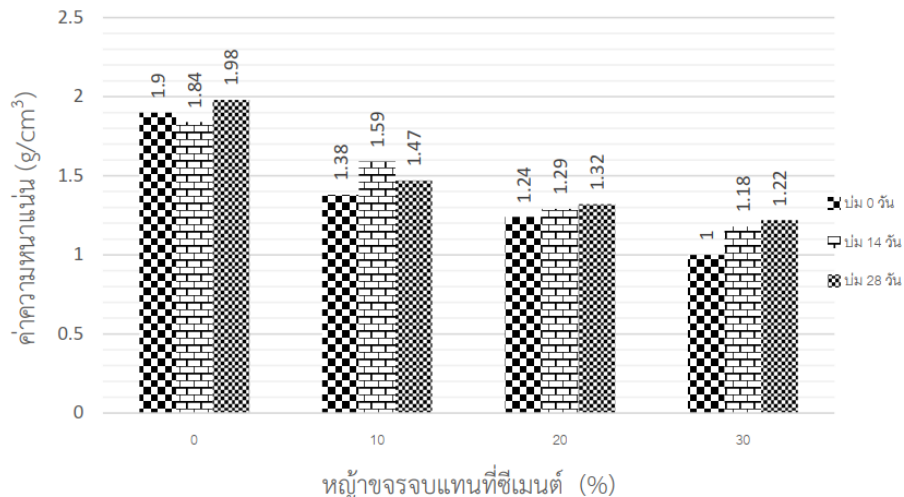
ผลจากการศึกษาลักษณะเส้นใยหล้าขจรจบที่ไม่ผ่านการปรับปรุงเส้นใยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่ามีลักษณะพื้นผิวเรียบต่างจากเส้นใยหล้าขจรจบที่ผ่านการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่ามีลักษณะเปื่อย ไม่เรียบ เส้นใยมีการเรียงตัวเมื่อกำลังขยายมากขึ้นก็จะเห็นได้ว่าเส้นใยมีความชัดเจนมากขึ้น เนื่องจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ไปกำจัดเฮมิเซลลูโลสและลิกนินออกมาทำให้ผิวของเส้นใยมีปริมาณเซลลูโลสมากขึ้น และมีความขรุขระขึ้น [6] ทำให้เส้นใยหล้าขจรจบที่ผ่านการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ดูดซับน้ำได้ดีกว่า

3.2 ความหนาแน่นของมอร์ตาร์หล้าขจรจบ

3.2.1 แสดงค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของมอร์ตาร์หล้าขจรจบที่ไม่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

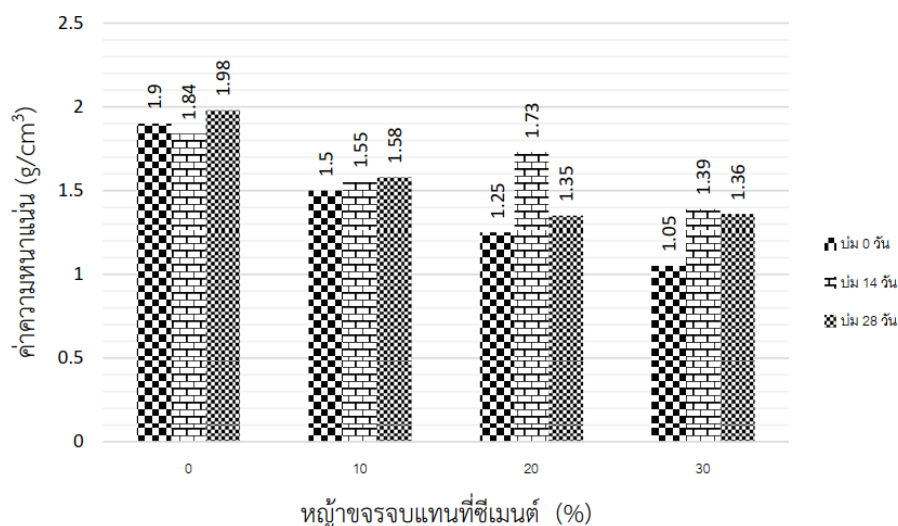
จากรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่ามอร์ตาร์หล้าขจรจบในการบ่มด้วยน้ำเป็นระยะเวลา 0 วัน หล้าขจรจบแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ 0 10 20 และ 30 มีความหนาแน่นเท่ากับ 1.9 1.38 1.24 และ 1.0 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ มอร์ตาร์หล้าขจรจบในการบ่มด้วยน้ำจืดเป็นระยะเวลา 14 วัน หล้าขจรจบแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ 0 10 20 และ 30 มีความหนาแน่นเท่ากับ 1.84 1.59 1.29 และ 1.18 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ มอร์ตาร์หล้าขจรจบในการบ่มด้วยน้ำจืด

เป็นระยะเวลา 28 วัน ภูเขาจรจบแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ 0 10 20 และ 30 มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1.98 1.47 1.32 และ 1.22 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ พบว่ามอร์ตาร์ภูเขาจรจบที่มีความหนาแน่นมากที่สุด คือ มอร์ตาร์ภูเขาจรจบแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ 0 ในการบ่มด้วยน้ำจืดเป็นระยะเวลา 28 วัน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้วัสดุทดแทนซีเมนต์ภูเขาจรจบที่มีความหนาแน่นมากที่สุด คือ มอร์ตาร์ภูเขาจรจบแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ 10 ในการบ่มด้วยน้ำจืดเป็นระยะเวลา 14 วัน และมอร์ตาร์ที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุด คือ มอร์ตาร์ภูเขาจรจบที่บ่มเป็นเวลา 0 วัน ภูเขาจรจบแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ 30 เนื่องจากภูเขาจรจบมีลักษณะพื้นผิวขรุขระและมีรูพรุน อากาศจึงเข้าไปแทนที่ในรูพรุนของกอมมอร์ตาร์จึงทำให้มีความหนาแน่นน้อยกว่าทราย ดังนั้น อัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อภูเขาจรจบที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ความหนาแน่นมอร์ตาร์ลดลง [7]



รูปที่ 5 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นมอร์ตาร์ภูเขาจรจบที่ไม่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการบ่มด้วยน้ำจืดเป็นระยะเวลา 0 14 และ 28 วัน

3.2.2 แสดงค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของมอร์ตาร์ภูเขาจรจบที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

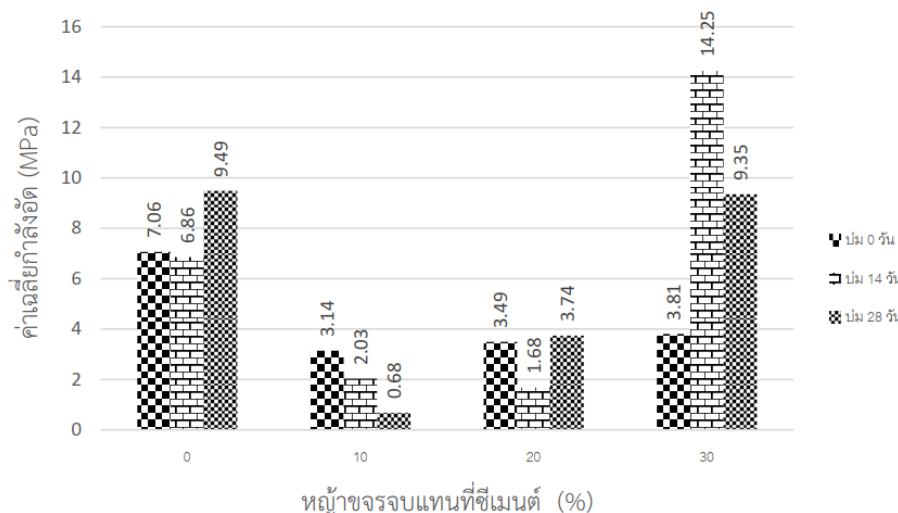


รูปที่ 6 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นมอร์ตาร์ภูเขาจรจบที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการบ่มด้วยน้ำจืดเป็นระยะเวลา 0 14 และ 28 วัน

จากรูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่ามอร์ตาร์หญาขจรจบในการบ่มด้วยน้ำจืดเป็นระยะเวลา 0 วัน หญาขจรจบแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ 0 10 20 และ 30 มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1.9 1.5 1.25 และ 1.05 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ มอร์ตาร์หญาขจรจบในการบ่มด้วยน้ำจืดเป็นระยะเวลา 14 วัน หญาขจรจบแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ 0 10 20 และ 30 มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1.84 1.55 1.73 และ 1.39 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ มอร์ตาร์หญาขจรจบในการบ่มด้วยน้ำจืดเป็นระยะเวลา 28 วัน หญาขจรจบแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ 0 10 20 และ 30 มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1.98 1.58 1.35 และ 1.36 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ พบว่ามอร์ตาร์ที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุด คือ มอร์ตาร์หญาขจรจบที่บ่มเป็นเวลา 0 วัน หญาขจรจบแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ 30 เมื่อหญาขจรจบผ่านการแช่สารนั้นทำให้หญาขจรจบมีลักษณะพื้นผิวขรุขระที่มากขึ้นและมีรูพรุนที่มากขึ้น ทำให้วัสดุทดแทนซีเมนต์จากหญาขจรจบมีความหนาแน่นที่สูงขึ้น [4] เนื่องจากพื้นผิวที่หยาบทำให้เกิด mechanical interlocking ระหว่างเส้นใยกับซีเมนต์ ส่งผลให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับปรุงสภาพ [8] หญาขจรจบที่มีความหนาแน่นมากที่สุด คือ มอร์ตาร์ในหญาขจรจบแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ 0 ในการบ่มด้วยน้ำจืดเป็นระยะเวลา 28 วัน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้วัสดุทดแทนซีเมนต์หญาขจรจบที่มีความหนาแน่นมากที่สุด คือ มอร์ตาร์หญาขจรจบแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ 20 ในการบ่มด้วยน้ำจืดเป็นระยะเวลา 14 วัน

3.3 ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์หญาขจรจบ

3.3.1 ผลกำลังอัดของมอร์ตาร์หญาขจรจบที่ไม่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

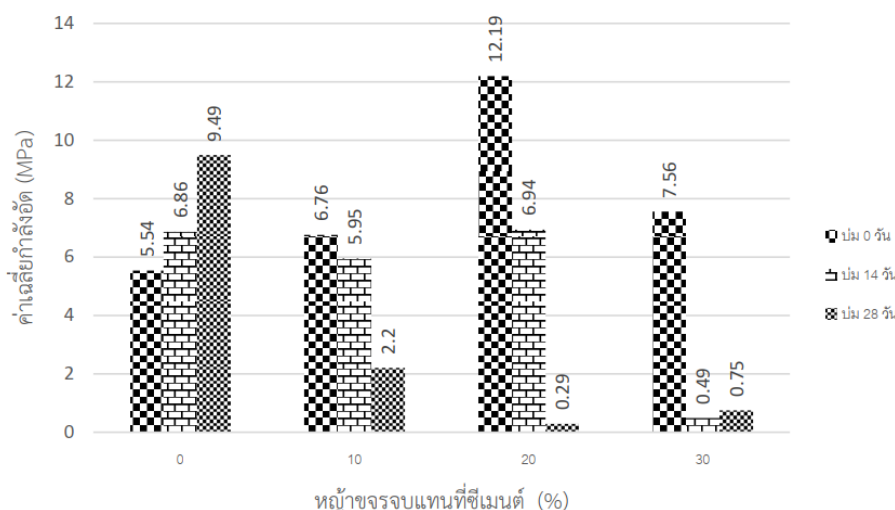


รูปที่ 7 กำลังอัดของมอร์ตาร์หญาขจรจบที่ไม่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการบ่มด้วยน้ำจืดเป็นระยะเวลา 0 14 และ 28 วัน

จากรูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่ามอร์ตาร์หญาขจรจบในการบ่มเป็นระยะเวลา 0 วัน หญาขจรจบแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ 0 10 20 และ 30 มีค่าเฉลี่ยกำลังอัดเท่ากับ 7.06 3.14 3.49 และ 3.81 MPa ตามลำดับ มอร์ตาร์หญาขจรจบในการบ่มด้วยน้ำเป็นระยะเวลา 14 วัน หญาขจรจบแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ 0 10 20 และ 30 มีค่าเฉลี่ยกำลังอัดเท่ากับ 6.86 2.03 1.68 และ 14.25 MPa ตามลำดับ มอร์ตาร์หญาขจรจบในการบ่มด้วยน้ำเป็นระยะเวลา 28 วัน หญาขจรจบแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ 0 10 20 และ 30 มีค่าเฉลี่ยกำลังอัดเท่ากับ 9.49 0.68 3.74 และ 9.35 MPa ตามลำดับ พบว่ามอร์ตาร์หญาขจรจบเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอัตราส่วนร้อยละ 10 20 และ 30 จะเห็นได้ว่ามอร์ตาร์หญาขจรจบที่บ่มเป็นระยะเวลา 14 วัน ในอัตราส่วนร้อยละ 30 มีค่ากำลังอัดสูงสุด คือ 14.25 MPa เนื่องจากระยะเวลาในการบ่มที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่ากำลังอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อาจเกิดผลเชิงปฏิกิริยาหรือการจัดเรียงโครงสร้างภายในมอร์ตาร์ที่ส่งผลให้เกิดโครงข่ายเจลไฮเดรตที่หนาแน่นขึ้นในระยะยาวแม้ผิวเส้นใยยังไม่ผ่านการปรับปรุงแนว โน้มดังกล่าวเมื่อปริมาณวัสดุเสริมถึงระดับวิกฤต การเกิดโครงข่ายเส้นใยสามารถเพิ่มความต้านทานต่อการแตกร้าวและเพิ่มกำลังอัดในระยะยาวได้ [9] และค่ากำลังอัดที่ได้นั้นเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก มอก.58-2533 [10]

3.3.2 ผลกำลังอัดของมอร์ตาร์หญาขจรจบที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

จากรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่ามอร์ตาร์หญาขจรจบในการบ่มเป็นระยะเวลา 0 วัน หญาขจรจบแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ 0 10 20 และ 30 มีค่าเฉลี่ยกำลังอัดเท่ากับ 5.54 6.76 12.19 และ 7.56 MPa ตามลำดับ มอร์ตาร์หญาขจรจบในการบ่มด้วยน้ำเป็นระยะเวลา 14 วัน หญาขจรจบแทนที่ซีเมนต์ ร้อยละ 0 10 20 และ 30 มีค่าเฉลี่ยกำลังอัดเท่ากับ 6.86 5.95 6.94 และ 0.49 MPa ตามลำดับ มอร์ตาร์หญาขจรจบในการบ่มด้วยน้ำเป็นระยะเวลา 28 วัน หญาขจรจบแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ 0 10 20 และ 30 มีค่าเฉลี่ยกำลังอัดเท่ากับ 9.49 2.2 0.29 และ 0.75 MPa ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามอร์ตาร์หญาขจรจบที่บ่มเป็นระยะเวลา 0 วัน ในอัตราส่วนร้อยละ 20 มีค่ากำลังอัดสูงสุด คือ 12.19 MPa เนื่องจากปริมาณของเส้นใยหญาขจรจบและระยะเวลาในการบ่มที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลง [11] พบว่ามอร์ตาร์หญาขจรจบที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้ค่ากำลังอัดมีแนวโน้มลดลงตามไปด้วย การปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์จะละลายเอมิเซลลูโลสและบางส่วนของลิกนินทำให้เส้นใยมีพื้นผิวขรุขระและสัดส่วนเซลลูโลสสูงขึ้น [6] ส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวเริ่มต้นของมอร์ตาร์ดีขึ้นและกำลังอัดระยะสั้นสูง อย่างไรก็ตามในสภาวะบ่มน้ำของมอร์ตาร์ เส้นใยที่ถูกเปิดโครงสร้างจะเสื่อมสภาพเร็ว เกิดการแตกตัวของเซลลูโลสและการสูญเสียความสามารถในการรับแรง ทำให้กำลังอัดรวมของมอร์ตาร์ลดลงเมื่อระยะเวลาการบ่มที่เพิ่มขึ้น การเสื่อมสภาพของเส้นใยในต่างเป็นหนึ่งในกลุ่มหลักที่ทำให้กำลังอัดในระยะยาวลดลง [12]



รูปที่ 8 กำลังอัดของมอร์ตาร์หญาขจรจบที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการบ่มด้วยน้ำจัดเป็นระยะเวลา 0 14 และ 28 วัน

4. สรุป

4.1 การทดสอบค่าเฉลี่ยกำลังอัดและการหาค่าความหนาแน่นของมอร์ตาร์หญาขจรจบที่ไม่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่ามอร์ตาร์หญาขจรจบที่มีค่าเฉลี่ยกำลังอัดมากที่สุด โดยเปรียบเทียบกับหญาขจรจบแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ 10 20 และ 30 คือ มอร์ตาร์หญาขจรจบที่ผ่านการบ่มเป็นระยะเวลา 14 วัน ในอัตราส่วนร้อยละ 30 โดยมีค่ากำลังอัด เท่ากับ 14.25 เมกะปาสคาล และมอร์ตาร์หญาขจรจบที่มีค่าความหนาแน่นมากที่สุด คือ มอร์ตาร์หญาขจรจบที่ผ่านการบ่มเป็นระยะเวลา 14 วัน ในอัตราส่วนร้อยละ 10 โดยมีค่าความหนาแน่น เท่ากับ 1.59 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

4.2 การทดสอบค่าเฉลี่ยกำลังอัดและการหาค่าความหนาแน่นของมอร์ตาร์หญาขจรจบที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่ามอร์ตาร์หญาขจรจบที่มีค่าเฉลี่ยกำลังอัดมากที่สุด โดยเปรียบเทียบกับหญาขจรจบแทนที่ซีเมนต์ร้อยละ 10 20 และ 30 คือ มอร์ตาร์หญาขจรจบที่ผ่านการบ่มเป็นระยะเวลา 0 วัน ในอัตราส่วนร้อยละ 20 โดยมีค่ากำลังอัด เท่ากับ 12.19 เมกะปาสคาล และมอร์ตาร์หญาขจรจบที่มีค่าความหนาแน่นมากที่สุด คือ มอร์ตาร์หญาขจรจบที่ผ่านการบ่มเป็นระยะเวลา 14 วัน ในอัตราส่วนร้อยละ 20 โดยมีค่าความหนาแน่น เท่ากับ 1.73 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

4.3 ปริมาณของหญาขจรจบ ระยะเวลาการบ่มมีผลต่อค่าความหนาแน่นและค่ากำลังแรงอัด โดยเมื่อเพิ่มปริมาณหญาขจรจบ ค่าความหนาแน่นและค่ากำลังแรงอัดลดลง และระยะการบ่มนานขึ้นจะช่วยเพิ่มกำลังแรงอัดได้ในบางอัตราส่วน

5. ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุธรรมชาติหลายชนิด เพื่อค้นหาวัสดุที่เหมาะสมที่สุดในการใช้แทนปูนซีเมนต์

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Sooksaen, "Development of low cost lightweight precast concrete panels for value adding agricultural waste," Research report, Silpakorn University, 2019. (in Thai)
- [2] J. R. Nayaka, J. Bochen, and M. Gołaszewska, "Experimental studies on the effect of natural and synthetic fibers on properties of fresh and hardened mortar," Doctoral School, Silesian University of Technology, Poland, 2022.
- [3] B. Chatveera and N. Makul, "Effect of limestone powder size on the properties of portland cement mortar mixed with fly ash," Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University (Rangsit Center), Pathum Thani, Thailand, 2012. (in Thai)
- [4] W. Deelaman, K. Chaowchanchaiyagul, and K. Tangsatchawong, "Development and production of lightweight blocks by mixing natural fibers," Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Thailand, 2016. (in Thai)
- [5] K.S. Ranatunga, E. del Rey Castillo, and C. L. Toma, "Evaluation of the optimal concrete mix design with coconut shell ash as a partial cement replacement," Constr.Build. Mater., vol. 401, Art. no. 132978, 2023.
- [6] P. Suksan, P. Sathukarn, N. Khunchomphu, and D. Saetang, "Development of lightweight concrete using agricultural by-products," Department of Materials Science and Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Nakhon Pathom, Thailand, 2016. (in Thai)
- [7] P. Khamput, "Interlocking block products from tobacco stem waste," Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani, Thailand, 2019. (in Thai)
- [8] M. A. Adajar, J. Galupino, C. Frianeza, J. F. Aguilon, J. B. Sy, และ P. A. Tan, "Compressive strength and durability of concrete with coconut shell ash as cement replacement," Int. J. GEOMATE, vol. 18, no. 70, pp. 183–190, 2020.
- [9] S. A. I. Mohamad Sopi and M. H. Abu Hassan, "A Review on the Extraction of Silica Nanoparticles from Poaceae Family via Sol-Gel," Malaysian J. Sci. Health Technol., vol. 10, no. 1, pp. 7–18, 2023.
- [10] N. Intabut, "Innovation of heat-resistant interlocking bricks from rice straw and fly ash," Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Thailand, 2019. (in Thai)
- [11] K. Poongodi and P. Murthi, "Development of fibre reinforced green mortar made with waste brick material as fine aggregate for sustainable masonry construction," Department of Civil Engineering, SR University, Warangal, India, 2022.
- [12] A. K. Sahu, P. K. Singh, and R. K. Singh, "Extraction and characterization of silica nanoparticles from rice husk ash," Constr. Build. Mater., vol. 396, p. 132631, 2023.