

การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมยางนาโดยใช้อะซิโตนช่วยกระจายตัว Mechanical Properties of Cement Mortar with Yang Na (*Dipterocarpus alatus*) Latex Dispersed by Acetone

ปรมินทร์ ลินทร¹ รัฐพงศ์ ฤทธิมหา² และ ศุภกร ตีระพัฒน์^{1,*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น

² ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จ.ขอนแก่น

*Corresponding author; E-mail address: supati@kku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ยางนา (*Dipterocarpus alatus*) ซึ่งเป็นยางธรรมชาติ เป็นส่วนผสมในซีเมนต์มอร์ตาร์เพื่อทดแทนปูนซีเมนต์บางส่วน โดยใช้อะซิโตนเป็นตัวช่วยในการกระจายตัวของยางนาให้เข้ากับเนื้อซีเมนต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทำการทดสอบอัตราส่วนของอะซิโตนที่แตกต่างกัน และวิเคราะห์ผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงกลของมอร์ตาร์ ได้แก่ กำลังอัด กำลังดึงผ่าซิก ความหนาแน่น และอัตราการดูดซึมน้ำ ผลการทดลองพบว่า การเติมยางนาในมอร์ตาร์ทำให้กำลังอัดลดลง โดยตัวอย่าง A1 ซึ่งใช้ยางนาแทนปูนซีเมนต์ร้อยละ 5 โดยมวล มีค่ากำลังอัดลดลงเฉลี่ย 19.1% เมื่อเทียบกับมอร์ตาร์มาตรฐาน (C0) อย่างไรก็ตาม กำลังดึงผ่าซิกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะตัวอย่าง A5 ที่มีอะซิโตนในปริมาณสูงสุด ให้ค่ากำลังดึงเพิ่มขึ้นถึง 42.3% ความหนาแน่นของมอร์ตาร์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม ขณะที่อัตราการดูดซึมน้ำลดลง เนื่องจากช่องว่างในโครงสร้างถูกเติมเต็มด้วยผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชัน เมื่อพิจารณาทั้งกำลังอัดและกำลังดึงผ่าซิกร่วมกัน พบว่าตัวอย่าง A1 ให้ผลที่สมดุลที่สุด โดยที่อายุการบ่ม 14 วัน กำลังอัดลดลงจากตัวอย่าง C0 เพียง 14.8% ขณะที่กำลังดึงผ่าซิกเพิ่มขึ้น 2.4% แสดงให้เห็นว่า การใช้อะซิโตนร่วมกับยางนาในสัดส่วนที่เหมาะสม สามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของมอร์ตาร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ซีเมนต์มอร์ตาร์, ยางนา, *Dipterocarpus alatus*, อะซิโตน

Abstract

This research aims to investigate the use of Yang Na (*Dipterocarpus alatus*) latex, a natural resin, as a partial replacement for cement in cement mortar. Acetone was used as a dispersing agent to enhance the compatibility between the latex and the cement matrix. Various acetone-to-latex ratios were tested, and the effects on the mechanical properties of the mortar were analyzed, including compressive strength, splitting tensile strength, density, and water absorption. The results

showed that incorporating Yang Na latex reduced compressive strength. Sample A1, which replaced 5% of the cement by weight with latex, exhibited an average compressive strength reduction of 19.1% compared to the control mortar (C0). However, the splitting tensile strength tended to increase, with sample A5—containing the highest acetone content—achieving an increase of up to 42.3%. Mortar density increased with curing time, while water absorption decreased due to the filling of voids by hydration products. Considering both compressive and tensile strengths, sample A1 provided the most balanced performance. At 14 days of curing, its compressive strength decreased by only 14.8% compared to C0, while the splitting tensile strength increased by 2.4%. These findings indicate that the appropriate combination of acetone and Yang Na latex can effectively enhance the mechanical properties of cement mortar.

Keywords: Cement Mortar, Yang Na, *Dipterocarpus alatus*, Acetone

1. บทนำ

ในปัจจุบัน อุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์เป็นแหล่งสำคัญของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยการผลิตปูนซีเมนต์แต่ละตันก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่า 0.9 กิโลกรัม เนื่องจากต้องใช้พลังงานจำนวนมากในการเผาวัตถุดิบที่อุณหภูมิสูงถึง 1,200–1,450 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ส่งผลให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณมาก ด้วยเหตุนี้ การลดการใช้ซีเมนต์ด้วยการแทนที่บางส่วนด้วยวัสดุผสม เช่น แกลบยี้ แกลบหัก แกลบขี้แอม แกลบปาล์ม น้ำมัน หรือวัสดุจากธรรมชาติ จึงเป็นแนวทางที่ได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น [1–4]

ยางธรรมชาติ โดยเฉพาะยางพารา เป็นวัสดุพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีคุณสมบัติเด่นด้านความยืดหยุ่นและความเหนียวสูง มีศักยภาพในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของวัสดุเมื่อนำมาผสมในซีเมนต์หรือคอนกรีต งานวิจัย

ของ Yaowarat และคณะ [6] และ Udomchai และคณะ [7] แสดงให้เห็นว่ายางพาราสามารถเพิ่มความสามารถในการรับแรงดึง ความสามารถที่วัสดุจะเสียรูปได้มากขึ้น (Deformation) และความทนทานต่อความล้า (Fatigue) ของดินที่ใช้ในงานทางได้อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม การใช้ในปริมาณมากอาจส่งผลให้กำลังอัดของวัสดุลดลง เนื่องจากโครงสร้างของยางพารามีลักษณะอ่อนตัวและพูน การศึกษาหลายฉบับพบว่าอัตราส่วนการผสมยางพาราร้อยละ 5 โดยมวลของซีเมนต์สามารถเพิ่มกำลังดึงของวัสดุได้โดยที่ค่ากำลังอัดลดลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อโครงสร้างที่ต้องการความยืดหยุ่น เช่น ถนนหรือชั้นฐานของทาง [5-7]

ยางนา (Dipterocarpus alatus) เป็นแหล่งยางธรรมชาติอีกชนิดหนึ่งที่พบได้ทั่วไปในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ น้ำยางของต้นยางนามีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การผลิตสบู่ในอุตสาหกรรมเวชสำอาง [8] การกลั่นเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกในรูปของ Gurjun oil ซึ่งสามารถผสมกับดีเซลเพื่อใช้ในเครื่องยนต์การเกษตรได้ รวมถึงกากยางนาที่เหลือยังสามารถนำมาใช้ในงานผิวถนนแบบแอสฟัลต์คอนกรีต [9-12]

อย่างไรก็ตาม ปัญหาสำคัญของการผสมยางธรรมชาติกับซีเมนต์ คือการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอ อันเนื่องมาจากโครงสร้างของยางที่มีชั้นโปรตีนบนผิวและความไม่เข้ากันระหว่างสารที่มีขี้ เช่น น้ำ ซีเมนต์ กับสารที่ไม่มีขี้ เช่น ยางธรรมชาติ ซึ่งนำไปสู่การแยกชั้นของวัสดุเมื่อผสมกัน [7] หนึ่งในแนวทางเพื่อแก้ไขปัญหานี้ คือการเติมสารลดแรงตึงผิว หรือใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น อะซิโตน (C_3H_6O) ซึ่งสามารถละลายสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและช่วยให้ยางธรรมชาติกระจายตัวได้ดีขึ้นภายในเนื้อซีเมนต์ การเติมอะซิโตนยังช่วยลดการแยกชั้นของวัสดุและเพิ่มความเป็นเนื้อเดียวกันของมอร์ตาร์ ซึ่งอาจส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุโดยรวม [13-14] เนื่องจากอะซิโตนระเหยง่าย เมื่อทำปฏิกิริยากับซีเมนต์แล้วจะระเหยออกไป ทำให้ยางนาเคลือบเนื้อวัสดุได้ดีขึ้น จึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการพัฒนาอมอร์ตาร์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและลดการใช้ปูนซีเมนต์ลง

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อศึกษาการใช้อะซิโตนเป็นตัวช่วยในการกระจายตัวของยางนาในซีเมนต์มอร์ตาร์ โดยใช้ยางนาแทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราร้อยละ 5 โดยมวล ตามข้อเสนอแนะจากงานของ สรวิศและปิยนุช [5] โดยทำการทดลองผสมอะซิโตนในอัตราส่วนต่อยางนาที่แตกต่างกันตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.5 เพื่อประเมินผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงกลของมอร์ตาร์ ได้แก่ กำลังอัด (compressive strength) กำลังดึงผ่าซีก (splitting tensile strength) ความหนาแน่น (density) อัตราการดูดซึมน้ำ (absorption) และอัตราการพัฒนากำลังของมอร์ตาร์ ภายใต้ช่วงเวลาการบ่มที่แตกต่างกัน ได้แก่ 1 3 7 และ 14 วัน เพื่อศึกษาศักยภาพของอะซิโตนในการช่วยกระจายตัวของยางนาให้เข้ากับซีเมนต์มอร์ตาร์อย่างมีประสิทธิภาพ

2. วัสดุและวิธีการทดสอบ

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

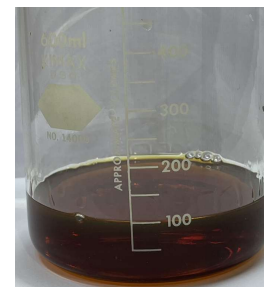
- 2.1.1 ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก ใช้เป็นวัสดุประสานหลักในมอร์ตาร์
- 2.1.2 น้ำมันยางนาสด มีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลอมเขียว (ดังแสดงในรูปที่ 1) ใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ในอัตราร้อยละ 5 โดยมวล
- 2.1.3 อะซิโตน ใช้เป็นตัวทำละลายช่วยในการกระจายตัวของยางนาให้เข้ากับมอร์ตาร์ได้ดีขึ้น (ดังแสดงในรูปที่ 2)



รูปที่ 1 น้ำมันยางนาสด



รูปที่ 2 อะซิโตน



รูปที่ 3 น้ำมันยางนาที่ผสมกับอะซิโตน

2.2 การเตรียมตัวอย่างในการทดสอบ

ในการศึกษาผลของอะซิโตนในฐานะตัวช่วยกระจายตัวของยางนาในซีเมนต์มอร์ตาร์ ส่วนผสมต่าง ๆ ถูกเตรียมตามรายละเอียดในตารางที่ 1 โดยเริ่มจากการผสมแห้งระหว่างปูนซีเมนต์และทรายเป็นเวลา 15 นาที ในขณะเดียวกันทำการเตรียมสารละลายยางนาโดยการผสมอะซิโตนกับยางนาในอัตราส่วนที่กำหนด และกวนด้วยเครื่องผสมความเร็วต่ำเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นได้สารละลายที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันและสีจางลงดังแสดงในรูปที่ 3 จากนั้นเติมน้ำกลั่นตามอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ (water-to-cement ratio, w/c) ลงในเครื่องผสมมอร์ตาร์ และผสมต่อไปอีก 5 นาที เพื่อให้ส่วนผสมเข้ากันอย่างสม่ำเสมอ หลังจากนั้นจึงเติมสารละลายยางนา-

อะซิโตนที่เตรียมไว้ แล้วผสมต่ออีก 10 นาที จนได้มอร์ตาร์ที่มีเนื้อเนียนสม่ำเสมอ

เมื่อได้มอร์ตาร์ที่ผสมเสร็จแล้ว จะทำการหล่อแบบตัวอย่าง โดยใช้แบบหล่อทรงลูกบาศก์ขนาด $50 \times 50 \times 50$ มิลลิเมตร สำหรับการทดสอบกำลังอัด และแบบหล่อทรงกระบอกขนาด 100×200 มิลลิเมตร สำหรับการทดสอบกำลังดึงผ่าซีก การทดสอบกำลังอัดดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM C109 [15] หลังการหล่อและบ่มตามเวลาที่กำหนด ได้แก่ 1 3 7 และ 14 วัน ตัวอย่างจะถูกชั่งน้ำหนักหลังแช่ผิวให้แห้ง จากนั้นนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ เพื่อนำค่าที่ได้ไปใช้คำนวณหาค่าความหนาแน่นและอัตราการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์

ตารางที่ 1 รายละเอียดอัตราส่วนการผสมของมอร์ตาร์

Mix Type	Cement (g)	NRL (g)	Water (g)	Sand (g)	A/R
C0	1000	0	485	2750	0
A1	950	50	485	2750	0.1
A2	950	50	485	2750	0.2
A3	950	50	485	2750	0.3
A4	950	50	485	2750	0.4
A5	950	50	485	2750	0.5

หมายเหตุ A/R หมายถึง อัตราส่วนโดยมวลของอะซิโตนต่อยางนาส

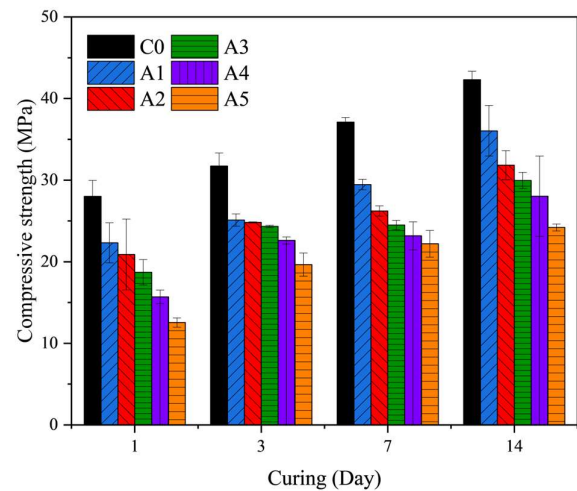
3. ผลการศึกษา

3.1 ผลของกำลังอัดของมอร์ตาร์

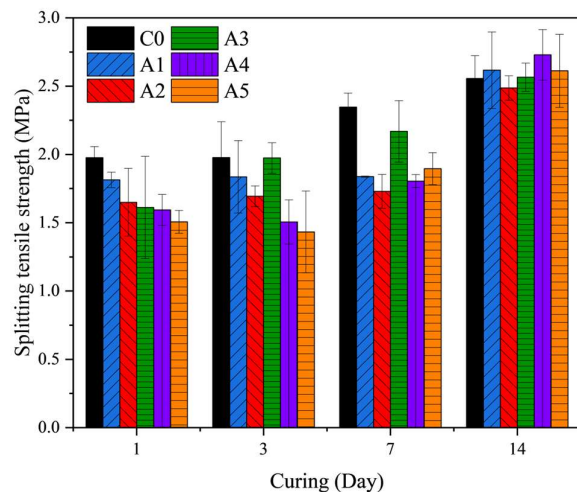
รูปที่ 4 แสดงค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ผ่านการบ่มในระยะเวลาต่าง ๆ โดยพบว่ากำลังอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการบ่มมากขึ้น อันเป็นผลจากปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างซีเมนต์และน้ำ ซึ่งทำให้เกิดแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) ซึ่งเป็นสารสำคัญในการเสริมความแข็งแรงของมอร์ตาร์ ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของนภดลและคณะ [3] อย่างไรก็ตาม การเติมอะซิโตนส่งผลให้ค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในช่วงอายุ 1 3 และ 7 วัน ตัวอย่างควบคุม (C0) มีค่ากำลังอัดสูงกว่าตัวอย่างอื่น ๆ อย่างชัดเจน ตัวอย่าง A1 ซึ่งมีการแทนที่ซีเมนต์ด้วยยางนาร้อยละ 5 และใช้อะซิโตนในอัตราส่วน 0.1 ให้ค่ากำลังอัดลดลงเฉลี่ย 20.3%, 20.8% และ 20.6% ตามลำดับเมื่อเทียบกับ C0 ที่ช่วงอายุดังกล่าว อย่างไรก็ตาม เมื่อบ่มต่อเนื่อง 14 วัน อัตราการลดลงเหลือเพียง 14.8% โดยเฉลี่ยตลอดช่วงการบ่มอยู่ที่ประมาณ 19.1%

นอกจากนี้ ยังพบว่าการเพิ่มปริมาณอะซิโตนส่งผลให้ค่ากำลังอัดลดลงมากขึ้น โดยเฉพาะในตัวอย่าง A2-A5 ซึ่งมีค่าการลดลงเฉลี่ย 25.3% 29.9% 36.0% และ 44.0% ตามลำดับ ปรากฏการณ์นี้สามารถอธิบายได้ว่า อะซิโตนเป็นสารระเหยง่าย เมื่อระเหยออกจากมอร์ตาร์จะก่อให้เกิดโพรงภายใน ส่งผลให้เนื้อวัสดุมีความพรุนมากขึ้นและทำให้กำลังอัดลดลง ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jounghani และคณะ [16] ที่พบว่าการเติมอะซิโตนในคอนกรีตทำให้ค่ากำลังอัดลดลง ขณะที่ค่าการไหลและปริมาณอากาศแทรกตัวเพิ่มขึ้น ดังนั้น อัตราส่วนอะซิโตนที่เหมาะสม

ที่สุดจึงอยู่ที่ 0.1 (ตัวอย่าง A1) ซึ่งให้สมดุลระหว่างการลดการใช้ซีเมนต์กับผลกระทบต่อความแข็งแรง



รูปที่ 4 กำลังอัดของมอร์ตาร์ที่มีและไม่มีส่วนผสมของยางนาและอะซิโตน



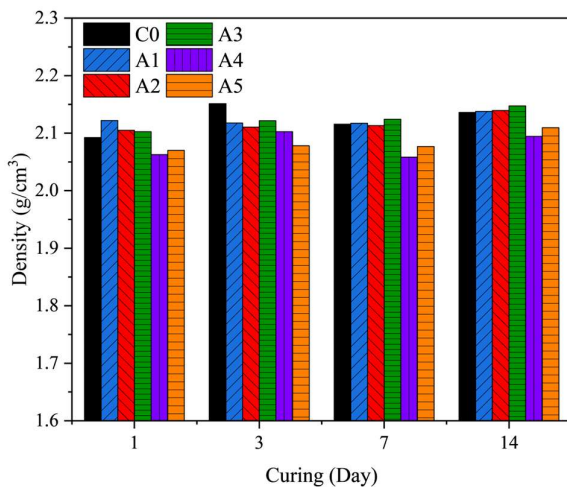
รูปที่ 5 กำลังดึงผ่าซีกของมอร์ตาร์ที่มีส่วนผสมของยางนาและอะซิโตน ที่อายุการบ่ม 1 3 7 และ 14 วัน

3.2 ผลของกำลังดึงผ่าซีกของมอร์ตาร์

ผลการทดสอบกำลังดึงผ่าซีกของมอร์ตาร์ซึ่งแสดงในรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่า กำลังดึงทางอ้อมของมอร์ตาร์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่มในทุกกลุ่มตัวอย่าง โดยมีแนวโน้มสอดคล้องกับพัฒนาการของกำลังอัด กล่าวคือ ระยะเวลาการบ่มที่ยาวนานขึ้นมีส่วนช่วยเพิ่มกำลังของวัสดุอย่างชัดเจน ในช่วงการบ่ม 3 วัน ตัวอย่าง A3 แสดงค่ากำลังดึงผ่าซีกที่เพิ่มขึ้นจนใกล้เคียงกับมอร์ตาร์มาตรฐาน (C0) ส่วนในช่วง 7 วัน ตัวอย่าง A5 มีค่ากำลังดึงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อบ่มจนถึง 14 วัน มอร์ตาร์ทุกตัวอย่างมีค่ากำลังดึงเพิ่มขึ้นจนเทียบเท่าหรือสูงกว่ากลุ่มควบคุม แสดงถึงศักยภาพของยางนาและอะซิโตนในการพัฒนาความสามารถในการรับแรงดึงของวัสดุ และเมื่อเปรียบเทียบผลของกำลังดึงผ่าซีกที่อายุการบ่ม 14 วัน

ของตัวอย่าง C0 และ A1 มาเปรียบเทียบแล้วนั้น A1 (2.617 MPa) ให้กำลังดึงผ่าซีกที่มากกว่า C0 (2.557 MPa) อยู่ 2.4 % ทั้งนี้สอดคล้องกับงานของ Yaowarat และคณะ [6] ที่ระบุว่ายาธรรมชาติสามารถช่วยเพิ่มกำลังดึงและความยืดหยุ่นของวัสดุซีเมนต์ได้

เมื่อนำค่ากำลังดึงผ่าซีกของแต่ละตัวอย่างที่บ่ม 1 วัน มาเปรียบเทียบกับที่บ่ม 14 วัน พบว่าตัวอย่างที่มีอะซิโตนมากขึ้นมีอัตราการพัฒนาอย่างชัดเจน โดยเฉพาะตัวอย่าง A5 ที่มีกำลังดึงเพิ่มขึ้น 42.3% รองลงมาคือ A4 (41.6%) A3 (37.2%) A2 (33.7%) A1 (30.7%) และ C0 (22.7%) ตามลำดับ ผลลัพธ์สามารถอธิบายได้ว่า การระเหยของอะซิโตนในช่วงต้นทำให้เกิดช่องว่างภายในมอร์ตาร์ ซึ่งเป็นพื้นที่สำหรับผลิตภัณฑ์ไฮเดรชัน เช่น C-S-H และ Ettringite ขยายตัวได้ดี ส่งผลให้โครงสร้างวัสดุสามารถพัฒนากำลังดึงได้เมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในตัวอย่างที่มีอะซิโตนสูง ผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับแนวโน้มของการพัฒนากำลังอัดในรูปแบบที่ 8 และสะท้อนให้เห็นว่า อะซิโตนมีศักยภาพในการช่วยปรับปรุงคุณสมบัติด้านแรงดึงของมอร์ตาร์ ซึ่งอาจนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาวัสดุก่อสร้างที่ต้องการทั้งความแข็งแรงและความยืดหยุ่นที่เหมาะสม

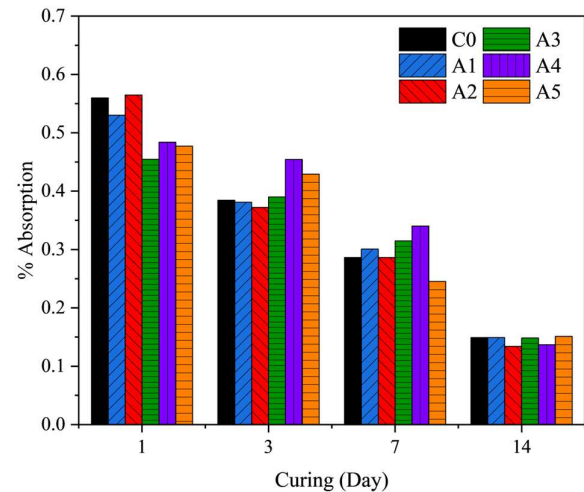


รูปที่ 6 ความหนาแน่นของตัวอย่างมอร์ตาร์ ที่อายุการบ่ม 1 3 7 และ 14 วัน

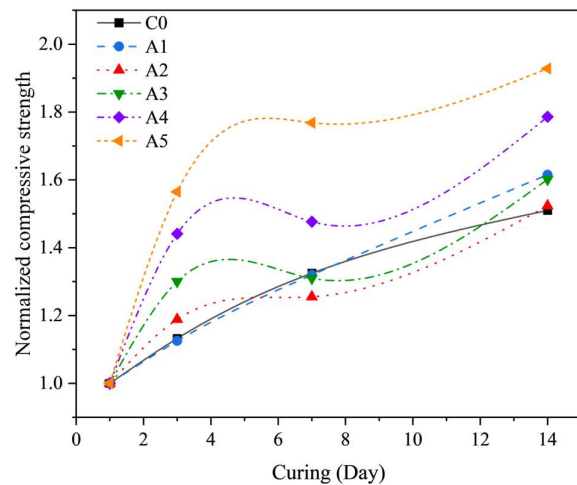
3.3 ความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์

ค่าความหนาแน่นของมอร์ตาร์ที่มีและไม่มีส่วนผสมของยางนา แสดงดังในรูปที่ 6 พบว่าทุกตัวอย่างมีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกันในทุกช่วงอายุการบ่ม โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่ออายุบ่มนานขึ้น โดยเฉพาะที่อายุ 14 วัน ซึ่งสะท้อนถึงกระบวนการอัดแน่นของโครงสร้างวัสดุอันเป็นผลจากการเกิดผลิตภัณฑ์ไฮเดรชันภายในมอร์ตาร์ เช่น C-S-H ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับผลการดูดซึมน้ำที่แสดงในรูปที่ 7 ซึ่งพบว่าค่าการดูดซึมน้ำของมอร์ตาร์ลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่ออายุการบ่มเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะระหว่างอายุ 1 วันและ 14 วัน ทั้งนี้เป็นผลจากการเติมเต็มช่องว่างด้วยผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชัน ทำให้ความพรุนลดลง และความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ซึ่งนำไปสู่โครงสร้างที่แข็งแรงและทึบน้ำมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำที่อายุ 14 วัน กับอายุ 1 วัน พบว่าอัตราการลดลงอยู่ในช่วง 67–76% โดย A2 มีการลดลงสูงสุด (76.3%) รองลงมาคือ C0 (73.4%) A1 (71.9%)

A4 (71.7%) A5 (68.4%) และ A3 (67.3%) ตามลำดับ โดยเฉลี่ยแล้วทุกตัวอย่างมีการดูดซึมน้ำลดลงประมาณ 70% แสดงให้เห็นถึงการพัฒนาอย่างมีนัยสำคัญของโครงสร้างมอร์ตาร์เมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ยังพบความสัมพันธ์เชิงผกผันระหว่างค่าการดูดซึมน้ำและค่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ กล่าวคือ ตัวอย่างที่มีการดูดซึมน้ำต่ำกว่ามักมีค่ากำลังอัดสูงกว่า ซึ่งตอกย้ำบทบาทของกระบวนการไฮเดรชันในการพัฒนาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ



รูปที่ 7 ค่าการดูดซึมน้ำของตัวอย่างมอร์ตาร์ ที่อายุการบ่ม 1 3 7 และ 14 วัน



รูปที่ 8 อัตราส่วนการพัฒนา กำลังอัดของมอร์ตาร์

3.4 การพัฒนากำลังของมอร์ตาร์

การเติมอะซิโตนลงในมอร์ตาร์ส่งผลให้เกิดรูพรุนภายในเนื้อวัสดุเนื่องจากอะซิโตนจะระเหยออกไปหลังการผสม ทำให้เกิดช่องว่างในช่วงต้นของการบ่ม ซึ่งช่องว่างเหล่านี้สามารถถูกเติมเต็มบางส่วนด้วยผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชัน เช่น แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) ในระยะเวลาดต่อมา รูปที่ 8 แสดงอัตราส่วนการพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้นที่อายุ 1 วัน โดยแสดงแนวโน้มการพัฒนากำลังตามตัวอย่างผสม

และระยะเวลาการบ่ม พบว่าการเพิ่มปริมาณอะซิโตนมีแนวโน้มให้การพัฒนากำลังในระยะยาวเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลกำลังดึงผ้าซีกที่แสดงในรูปที่ 5 เส้นกราฟของตัวอย่าง A1 มีลักษณะใกล้เคียงกับมอร์ตาร์มาตรฐาน (C0) ตลอดช่วงบ่ม ขณะที่ตัวอย่าง A2 ถึง A5 แสดงแนวโน้มการพัฒนามีรูปร่างประหลาดกว่า โดยมีกำลังเพิ่มขึ้นในช่วงแรก จากนั้นชะลอลงเล็กน้อยที่อายุ 3-7 วัน ก่อนจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วง 14 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการพัฒนากำลังอัดที่อายุ 14 วัน พบว่าตัวอย่าง C0 มีค่าเท่ากับ 1.5 เท่า ขณะที่ตัวอย่างผสมที่เติมอะซิโตน ได้แก่ A1 A2 A3 A4 และ A5 มีค่าเท่ากับ 1.6 1.5 1.6 1.8 และ 1.9 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณอะซิโตนที่เพิ่มขึ้นช่วยส่งเสริมการพัฒนากำลังของมอร์ตาร์ในระยะยาวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. บทสรุป

จากการศึกษาการใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลายสำหรับยางนา เพื่อนำมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราร้อยละ 5 โดยมวล พบว่าการเติมยางนาในมอร์ตาร์ส่งผลให้ค่ากำลังอัดลดลง โดยเฉลี่ยตัวอย่าง A1 ลดลงประมาณ 19.1% เมื่อเทียบกับมอร์ตาร์มาตรฐาน (C0) อย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบกำลังดึงผ้าซีกแสดงให้เห็นว่ายางนามีศักยภาพในการเพิ่มความสามารถในการรับแรงดึงของวัสดุ โดยเฉพาะในตัวอย่าง A5 ซึ่งมีปริมาณอะซิโตนสูงสุด แสดงการเพิ่มขึ้นของกำลังดึงถึง 42.3% ในด้านความหนาแน่นของมอร์ตาร์พบว่ามีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม ขณะที่อัตราการดูดซึมน้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญ อันเป็นผลจากการเติมเติมช่องว่างภายในเนื้อวัสดุด้วยผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮโดรเจน ทั้งนี้ การเพิ่มปริมาณอะซิโตนยังส่งผลต่อการพัฒนากำลังโดยรวม โดยเฉพาะกำลังดึงที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในตัวอย่างที่มีอะซิโตนมากขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาผลกระทบต่อกำลังอัดและกำลังดึงผ้าซีกร่วมกัน พบว่าตัวอย่าง A1 ให้ผลลัพธ์ที่สมดุลที่สุด โดยที่อายุการบ่ม 14 วัน กำลังอัดลดลงจากตัวอย่างมาตรฐานเพียง 14.8% ในขณะที่กำลังดึงผ้าซีกเพิ่มขึ้น 2.4% แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนของอะซิโตนและยางนาในตัวอย่าง A1 เป็นทางเลือกที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของซีเมนต์มอร์ตาร์อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่ให้การสนับสนุนด้านสถานที่ อุปกรณ์ และทรัพยากรในการดำเนินงานวิจัยฉบับนี้ รวมถึงขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัยและเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความร่วมมือและอำนวยความสะดวกตลอดกระบวนการศึกษา จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] กันตพงศ์ จันทะนันท์ และ รัตเมธี นันทสาร (2566). การเสริมกำลังวัสดุหินเวียนที่ปรับปรุงคุณภาพโดยจีโอโพลิเมอร์จากเถ้าขานอ้อย

- ด้วยแถบพลาสติกหินเวียน สำหรับชั้นพื้นทาง และรองพื้นทางถนน. *วารสารวิจัย มช. (ฉบับบัณฑิตศึกษา)*, ปีที่ 23, ฉบับที่ 2, หน้า 14-27
- [2] Kererat, C., Kroehong, W., Thaipun, S. and Chindaprasirt, P. (2022). Bottom ash stabilized with cement and para rubber latex for road base applications. *Case Studies in Construction Materials*, 17.
- [3] นกตล ศรภักดี, ทวีช กล้าแท้, ชูเกียรติ ชูสกุล, สุพร ฤทธิภักดี, ประชุม คำพุ่ม และ เช่าพีร์ ตีอราแม (2566). กำลังอัดของซีเมนต์มอร์ตาร์ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันในปริมาณสูง. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28*, กรุงเทพฯ, 24-36
- [4] Ridtirud, C. , Posi, P. and Chindaprasirt, P. (2016) . Development of high performance concrete containing high calcium fly ash. *Engineering and Applied Science Research*.
- [5] สรวิศ เรืองรุ่งชัยกุล และ ปิยนุช เวทียวิวัฒน์ (2562). ผลของสัดส่วนน้ำยางพาราต่อกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงของซีเมนต์เพสต์ โดยใช้กาวลาเทกซ์เป็นสารเชื่อมประสาน. *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 57*, กรุงเทพฯ
- [6] Yaowarat, T., Suddeepong, A., Hoy, M., Horiabulsuk, S., Takaikaew, T., Vichitcholchai, N., Arulrajah, A. and Chinkulkijniwat, A. (2021). Improvement of flexural strength of concrete pavements using natural rubber latex. *Construction and Building Materials*, 282.
- [7] Udomchai, A., Buritatum, A., Suddeepong, A., Hoy, M., Horiabulsuk, S., Arulrajah, A. and Horiabulsuk, J. (2022). Evaluation of durability against wetting and drying cycles of cement-natural rubber latex stabilised unpaved road under cyclic tensile loading. *International Journal of Pavement Engineering*, 23.
- [8] นิภาพร นาโสก, นาถธิดา วีระปรียาภรณ์ และ สมพร เกษแก้ว (2558). *การศึกษาคุณสมบัติของยางนาเพื่อประยุกต์ใช้ด้านเวชสำอาง*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [9] Poojira, S., Benjapiyaporn, C., Intravised, K., Katekaew, S., Senawong, K., and Suiyay, C. (2020). Performance and emission characteristics of the diesel engine fueled by Yang oleoresin blended diesel fuel. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effect*.
- [10] Senawong, K., Pannuchareonwong, N., Rattanadecho, P., Katekaew, S. and Triratanasirichai, K. (2020). Performance and emission characteristics of a single- cylinder diesel engine fueled with Yang (*Dipterocarpus alatus*) oil, *Journal of scientific and industrial research*, 79, pp.846-849.

- [11] Suiyay, C., Sudajan, S., Katekaew, S., Senawong, K., and Laloon, K. (2019). Production of gasoline-like-fuel and diesel-like-fuel from hard-resin of Yang (*Dipterocarpus alatus*) using a fast pyrolysis process. *Energy*, 187.
- [12] ประมินทร์ สิ้นทร และ ศุภกร ตีระพัฒน์ (2566). การศึกษาคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมกากยางเหนียวจากน้ำมันยางนา. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28*, ภูเก็ต, 24-36
- [13] Xu, T., Jia, Z., Wu, Lianghui., Chen, Yongjun, C., Luo, Y., Jia, D. and Peng, Z. (2017). Influence of acetone extract from natural rubber on the structure and interface interaction in NR/silica composites. *Applied Surface Science*, 423.
- [14] Nun-anan, P., Wisunthorn, S., Pichaiyut, S., Vennemann, N., Kummerlöwe, C. and Nakason, C. (2020). Influence of alkaline treatment and acetone extraction of natural rubber matrix on properties of carbon black filled natural rubber vulcanizates. *Polymer Testing*, 89.
- [15] ASTM (2021). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Mortars (Using 2-in or 50 mm Cube Specimens). ASTM C109/109M. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [16] Jouneghani, M. F., Abedian, M. and Jahangiri, A. (2023). Development and evaluation of acetone-based and cyclohexanone-based aliphatic superplasticizers for the improvement of concrete workability. *Case Studies in Construction Materials*, 19.