สมบัติของมอร์ตาร์จากปอร์ตแลนด์ซีเมนต์เมื่อเติมน้ำยางข้นที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวโนนิลฟีนอลอีทอกซีเลต

Properties of Mortar from Portland Cement when Adding Concentrated Latex Modified with Nonylphenol Ethoxylate Surfactant

รฐนนท์ ภูนาแก้ว[1] และ เจริญชัย ฤทธิรุทธ[2,*]

[1,2] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น จ.ขอนแก่น

**Corresponding author; E-mail address: Charoenchai.ri@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทดสอบกำลังรับแรงอัด, กำลังรับแรงดัด, กำลังรับแรงดึงและความทนทานต่อการขัดสีของซีเมนต์มอร์ตาร์เมื่อเติมน้ำยางข้นที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ Nonyl Phenol Ethoxylate (NPE) โดยใช้อัตราส่วน NPE ร้อยละ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ทำการทดสอบตัวอย่างที่อายุ 7 และ 28 วัน ผลการทดสอบพบว่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์มีแนวโน้มลดลงตามร้อยละที่เพิ่มขึ้นของ NPE และกำลังรับแรงดัดของซีเมนต์มอร์ตาร์เมื่อเติมน้ำยางข้นที่ปรับปรุงด้วยสาร NPE จากร้อยละ 0 เป็นร้อยละ 2 ที่อายุบ่ม 28 วัน ทำให้กำลังรับแรงดัดของซีเมนต์มอร์ตาร์มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 85.76 กก./ซม.^{2} เป็น 88.01 กก./ซม.^{2} และกำลังรับแรงดึงของซีเมนต์มอร์ตาร์มีค่าสูงขึ้นเมื่อเติมน้ำยางข้นที่ปรับปรุงด้วยสาร NPE 2 เปอร์เซ็นต์ ที่อายุบ่ม 28 วัน โดยมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 60.86 กก./ซม.^{2} เป็น 72.87 กก./ซม.^{2} และความทนทานต่อการขัดสีพบว่าซีเมนต์มอร์ตาร์ทนต่อการขัดสีเพิ่มขึ้นเมื่อเติมน้ำยางข้นที่ปรับปรุงด้วยสาร NPE ทุกอัตราส่วนผสม สรุปได้ว่าสาร NPE ที่นำมาใช้ในการเตรียมน้ำยางข้นสามารถทำให้น้ำยางข้นมีการกระจายตัวที่ดีและช่วยให้เนื้อยางไม่จับตัวกันเป็นก้อนก่อนที่จะนำไปผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จากนั้นเนื้อยางที่ผสม NPE จะเข้าไปช่วยทำให้เกิดแผ่นฟิล์มและเส้นใยยางแทรกอยู่ในเนื้อมอร์ต้าร์ เมื่อยางคงรูปแล้วจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรับแรงดัดและแรงดึงได้

คำสำคัญ: สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ, น้ำยางข้น, มอร์ตาร์ซีเมนต์, โนนิลฟีนอลอีทอกซีเลต, กำลังรับแรงอัด, กำลังรับแรงดัด, กำลังรับแรงดึง

Abstract

In this study, the compressive strength, flexural strength, tensile strength, and abrasion resistance of mortar containing latex treated with nonionic surfactants were evaluated. Nonyl Phenol Ethoxylate (NPE) by utilizing the ratio of latex to cement that has been fortified with NPE. by weight, they were 0.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, and 10.0. The samples were evaluated at ages 7 and 28 days. The results showed that the compressive strength of the mortar tended to decrease with the increasing percentage of NPE and the flexural strength of the cement mortar when added with concentrated latex modified with NPE from the % 0 to 2 percent at 28 days of curing, causing the flexural strength of cement mortar to increase from 85.76 kg/cm^2 to 88.01 kg/cm^2 and tensile strength of cement mortar Tar was higher when added with 2% NPE modified concentrated latex at 28 days of incubation, increasing from 60.86 kg/cm^2 to 72.87 kg/cm^2 and abrasion resistance. It was found that the abrasion resistance of the cement mortar increased with the addition of concentrated latex modified with NPE at all ratios. The conclusion is that the NPE mixed with the concentrated latex has high dispersion and prevents the rubber from clumping before it is combined with the cement. The rubber will then contribute to the formation of a film and mortar-incorporated rubber fibers. Consequently, both bending and tensile strength are enhanced.

Keywords: nonionic surfactant, concentrated latex, cement mortar, Nonylphenol Ethoxylate surfactant, compressive strength, flexural strength, tensile strength

1. คำนำ

ปัจจุบันคุณสมบัติของคอนกรีตได้รับการแก้ไขโดยการเพิ่มวัสดุที่หาได้ในท้องถิ่นและวัสดุธรรมชาติจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน ซึ่งช่วยปรับปรุงคุณสมบัติและอายุของคอนกรีต เพื่อพัฒนาวัสดุก่อสร้างที่ทนทาน ราคาถูก มีความแข็งแรงสูง และเป็นนวัตกรรมใหม่เมื่อเทียบกับวัสดุก่อสร้างทั่วไป (คอนกรีตธรรมดา) เพื่อสร้างถนน อาคาร บ้านเรือนที่ยั่งยืน ต้นทุนต่ำ และประหยัดพลังงาน ซึ่งคอนกรีตมีปูนซีเมนต์ มวลรวม และน้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ [1] ในการศึกษาที่ผ่านมามีการนำวัสดุผลพลอยได้

หลายอย่างในการดัดแปลงซีเมนต์ อาทิ นาโนซิลิกา ดินนาโน เถ้าลอย ซิลิกาฟูม ตะกรัน และเมทาคาโอลินแทนวัสดุซีเมนต์ [2] ซึ่งในปัจจุบันการพัฒนาและวิจัยปูนซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ดัดแปลงด้วยส่วนผสมพอลีเมอร์ได้พัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ได้ปูนซีเมนต์มอร์ตาร์ที่มีประสิทธิภาพสูงมาใช้ในงานอุตสาหกรรมคอนกรีต [3] ในส่วนของน้ำยาผสมพอลีเมอร์นั้นมักใช้ในอุตสาหกรรมซีเมนต์ปูนซีเมนต์ และอุตสาหกรรมคอนกรีตเพื่อขยายหรือเร่งระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์ ลดปริมาณการใช้น้ำที่เป็นองค์ประกอบหลัก และปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของซีเมนต์ โดยทั่วไปคอนกรีตจะมีแรงดึงอ่อนและเปราะ การเพิ่มวัสดุพอลิเมอร์นี้จะช่วยเพิ่มความสามารถของคอนกรีตในการตอบสนองต่อการดัดงอ ซึ่งการใช้น้ำยางในปริมาณที่เหมาะสมในงานคอนกรีตจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตให้ดีขึ้น [4] นอกจากนี้พอลีเมอร์ยังให้การยึดเกาะที่ดีระหว่างอนุภาคในคอนกรีตจึงพัฒนาความต้านทานของคอนกรีตต่อการเสียดสี การกัดเซาะและการกระแทกได้เป็นอย่างดี และส่งผลให้คอนกรีตธรรมดาทำงานได้ดีขึ้น จึงเป็นส่วนผสมใหม่ที่มีคุณประโยชน์หลายเท่า [5] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการใช้น้ำยางข้นเพื่อพัฒนางานคอนกรีต โดยการปรับปรุงหาเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับการผสมน้ำยางในคอนกรีต ซึ่งได้ศึกษาความสามารถเทได้ (workability) ของน้ำยางที่ผสมกับคอนกรีต หลังจากนั้นนำมาหล่อแบบและหาค่ากำลังรับแรงอัด (compressive strength) และค่ากำลังรับแรงดัด (flexural strength) โดยทั่วไปแล้วน้ำยางกับคอนกรีตจะเข้ากันได้ยากจึงต้องมีการผสมสารลดแรงตึงผิว สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ Nonyl Phenol Ethoxylate (NPE) เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของมอร์ต้าร์เมื่อเติมน้ำยางข้นที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงชนิดไม่มีประจุ Nonyl Phenol Ethoxylate (NPE) ซึ่งสาร NPE เป็นสารเคมีที่ใช้เพื่อเป็นสารลดแรงตึงผิวประเภทไม่มีประจุ จึงเกิดฟองน้อยและมีคุณสมบัติในการรวมตัวเป็นไมเซลล์ (micelle) ได้ที่ความเข้มข้นต่ำ ซึ่งจะช่วยให้เนื้อยางถูกหุ้มด้วยสารที่ไม่มีประจุทำให้ไม่เกิดการจับตัวเป็นก้อนอนุภาคกับเม็ดปูนซีเมนต์ ทำให้ปูนซีเมนต์ทำปฏิกิริยาได้เต็มที่และเกิดการกระจายตัวของอนุภาคยางในเนื้อมอร์ตาร์อย่างสม่ำเสมอ ในการศึกษานี้จึงได้มีการนำน้ำยางข้นที่ผสมสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ Nonyl Phenol Ethoxylate (NPE) มาใช้เป็นส่วนผสมเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายและทางเคมีของมอร์ต้าร์ซีเมนต์

2. วัสดุที่ใช้ในโครงการ

2.1 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์แลนด์ประเภท 1

2.2 น้ำยางข้น

น้ำยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการเพิ่มความเข้มข้น โดยน้ำยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการเพิ่มความเข้มข้นแล้วจะมีปริมาณเนื้อยางประมาณร้อยละ 55-65 ซึ่งสูงกว่าน้ำยางสดที่มีปริมาณเนื้อยางประมาณร้อยละ 25-30 ทำให้สามารถทำการขนส่งได้ง่ายขึ้นเป็นอย่างมากสมการ

2.3 ทราย

ทรายที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) ที่มีโมดูลัสความละเอียดระหว่าง 2.4-2.8 ตามมาตรฐาน ASTM-C778 : Specification for Standard Sand

2.1 น้ำสะอาด

2.2 สารลดแรงตึงผิว

สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุเพื่อช่วยให้น้ำกับน้ำยางข้นผสมกันได้โดยไม่จับตัวกันเป็นก้อนก่อนที่จะนำไปปรับปรุงคุณภาพมอร์ตาร์ซีเมนต์

3. การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

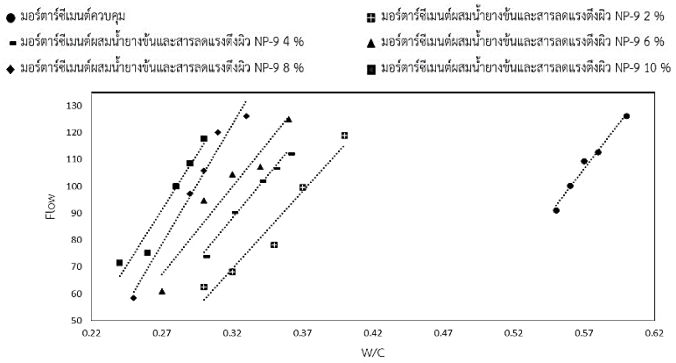
โดยขั้นตอนการทดสอบในห้องปฏิบัติการแสดงดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 แผนการดำเนินงาน

การทดสอบการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ ตามมาตรฐาน ASTM C1437 กำหนดให้ค่าการไหลแผ่ที่ 110 ± 5 เพื่อหาปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสมของอัตราส่วนผสม โดยกำหนดร้อยละส่วนผสมมอร์ตาร์ซีเมนต์กับน้ำยางข้นที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว NPE เท่ากับ 0.0%, 2.0%, 4.0%, 6.0%, 8.0%, 10.0% แสดงขั้นตอนดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 ขั้นตอนการการทดสอบการไหลแผ่ของมอร์ตาร์

เมื่อทำการทดสอบหาค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์แล้ว จะได้ค่าการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ที่ 110 ± 5 ที่อัตราส่วน 0.0%, 2.0%, 4.0%, 6.0%, 8.0%, 10.0% เท่ากับ 0.57, 0.40, 0.35, 0.33, 0.30, 0.29 ตามลำดับ จะได้สัดส่วนผสมของมอร์ตาร์ดังตารางที่ 1



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง W/C กับ Flow

ทำการผสมตัวอย่างในอัตราส่วนที่ได้ออกแบบไว้ และเทลงในแบบหล่อตามมาตราฐานการทดสอบกำลังรับแรงอัดตามมาตรฐาน ASTM C 109 , แรงดัดตามมาตรฐาน ASTM C 348, แรงดึงตามมาตรฐาน ASTM C307-18 ใช้แม่พิมพ์อัดก้อนตามมาตรฐาน ASTM C307-18, และการทดสอบความทนทานต่อการขัดสีของมอร์ตาร์ตามมาตรฐาน ASTM C944-99 และทำการบ่มมอร์ตาร์ที่อายุ 7 และ 28 วัน

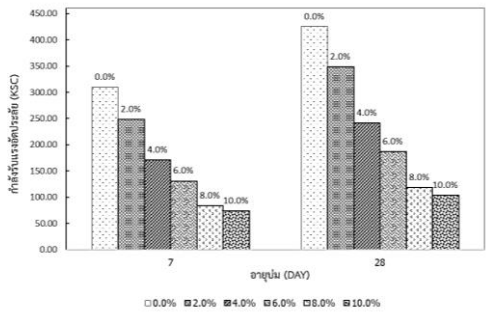
ตารางที่ 1 แสดงสัดส่วนผสมของมอร์ตาร์ซีเมนต์

No.	Cement (g.)	Sand (g.)	NRL+(NP-9+Water) (g.)	Water (g.)
M+(NRL+NP-9) 0.0%	600	1500	0	342
M+(NRL+NP-9) 2.0%	600	1500	12	234
M+(NRL+NP-9) 4.0%	600	1500	24	210
M+(NRL+NP-9) 6.0%	600	1500	36	198
M+(NRL+NP-9) 8.0%	600	1500	48	174
M+(NRL+NP-9) 10.0%	600	1500	60	168

M = มอร์ตาร์ซีเมนต์ธรรมดา , NRL = น้ำยางธรรมชาติ , NPE (NP-9) = สารลดแรงตึงผิว NP-9

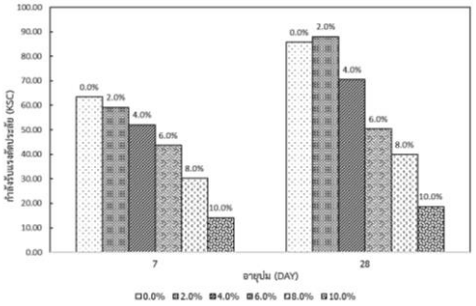
4.ผลการทดสอบ

4.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์



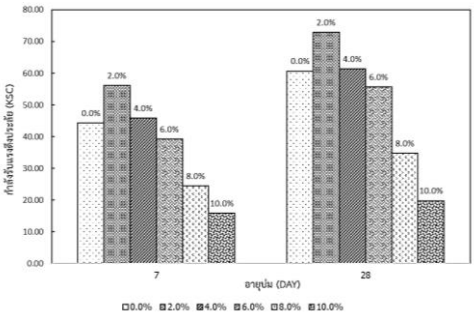
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอายุบ่มของมอร์ตาร์ซีเมนต์

จากรูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอายุบ่มของมอร์ตาร์ พบว่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ควบคุม มีค่าสูงกว่ามอร์ตาร์ผสมน้ำยางข้นที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว NPE ทุกอัตราส่วนผสม



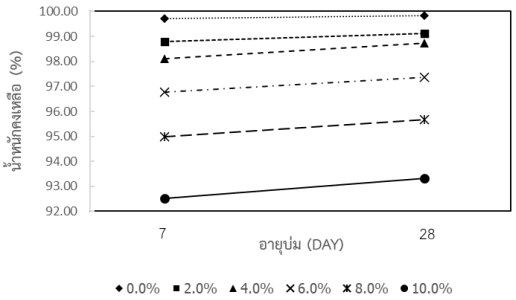
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดกับอายุบ่มของมอร์ตาร์ซีเมนต์

จากรูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดกับอายุบ่มของมอร์ตาร์ พบว่ากำลังรับแรงดัดของมอร์ตาร์ซีเมนต์ผสมน้ำยางข้นที่ผสมน้ำยางข้นที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว NPE 2 เปอร์เซ็นต์ที่อายุบ่ม 28 วันมีค่ากำลังรับแรงดัดสูงกว่ามอร์ตาร์ซีเมนต์อยู่ 2.25 กก./ซม.^{3} และมอร์ตาร์ผสมน้ำยางข้นที่ผสมน้ำยางข้นที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว NPE ที่อัตราส่วนอื่นๆ ยังไม่มีค่าต่ำกว่ามอร์ตาร์ซีเมนต์ เนื่องจากปริมาณเนื้อยางที่มากขึ้นเรื่อยๆทำให้เกิดโพรงช่องว่างในเนื้อคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วจึงส่งผลกระทบต่อแรงดัดของมอร์ตาร์ซีเมนต์



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึงกับอายุบ่มของมอร์ตาร์ซีเมนต์

จากรูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึงกับอายุบ่มของมอร์ตาร์ พบว่ากำลังรับแรงดึงของมอร์ตาร์ผสมน้ำยางข้นที่ผสมน้ำยางข้นที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว NPE 2 เปอร์เซ็นต์ ที่อายุบ่ม 7 และ 28 วัน มีค่ากำลังรับแรงดึงสูงกว่ามอร์ตาร์ควบคุมอยู่ 11.84 กก./ซม.^{3} และ 12.19 กก./ซม.^{3}



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักคงเหลือกับอายุบ่มของมอร์ตาร์

จากรูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักคงเหลือกับอายุบ่มของมอร์ตาร์ พบว่าการสูญเสียน้ำหนักของมอร์ตาร์ซีเมนต์มีค่าการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่ามอร์ตาร์ซีเมนต์เมื่อเติมน้ำยางข้นที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว NPE ทุกอัตราส่วนผสม แต่อย่างไรก็ตามมอร์ตาร์ซีเมนต์เมื่อเติมน้ำยางข้นที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว NPE 2 เปอร์เซ็นต์ ที่อายุบ่ม 28 วัน มีค่าการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 99.18 % ซึ่งใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ซีเมนต์ที่มีค่าการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 99.85 % ที่อายุบ่ม 28 วัน

5. บทสรุป

จากการทดสอบกำลังรับแรงอัด, แรงดัด, แรงดึงและการทนทานต่อการขัดสีของมอร์ตาร์ซีเมนต์เมื่อเติมน้ำยางข้นที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว NPE โดยใช้อัตราส่วนน้ำยางข้นที่ปรับปรุงด้วยสาร NPE ต่อปูนซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 0.0 , 2.0 , 4.0 , 6.0 , 8.0 , 10.0 โดยน้ำหนัก มีค่าอัตราการไหล (Flow) 110 ± 5 เท่ากับ 0.57, 0.40, 0.35, 0.33, 0.30, 0.29 ตามลำดับ

จากผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ซีเมนต์เมื่อเติมน้ำยางข้นที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว NPE พบว่ามอร์ตาร์ซีเมนต์มีกำลังรับแรงอัดสูงกว่ามอร์ตาร์ซีเมนต์เมื่อเติมน้ำยางข้นที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว NPE ทุกอัตราส่วนผสม สาเหตุที่ทำให้กำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ซีเมนต์ลดลงมากเนื่องจากในมอร์ตาร์ซีเมนต์มีปริมาณเนื้อยางค่อนข้างมากและมีโพรงช่องว่างในมอร์ตาร์ซีเมนต์จึงส่งผลกระทบต่อกำลังอัดของคอนกรีต [6]

จากผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของมอร์ตาร์ซีเมนต์เมื่อเติมน้ำยางข้นที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว NPE พบว่ามอร์ตาร์ซีเมนต์เมื่อเติมน้ำยางข้นที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว NPE 2 เปอร์เซ็นต์ มีค่ากำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้น 2.25 กก./ซม.^{3} ที่อายุบ่ม 28 วัน เนื่องจากอนุภาคเนื้อยางเกาะตัวกันเป็นชั้นฟิล์ม (film) ที่แข็งแรงขึ้น

จากผลการทดสอบการกำลังรับแรงดึงของมอร์ตาร์ซีเมนต์เมื่อเติมน้ำยางข้นที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว NPE พบว่ามอร์ตาร์ซีเมนต์เมื่อเติมน้ำยางข้นที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว NPE 2 และ 4 เปอร์เซ็นต์ มีค่ากำลังรับแรงดัดเพิ่มขึ้น 12.19 และ 0.63 กก./ซม.^{3} ที่อายุบ่ม 28 วัน

จากผลการทดสอบความต้านทานต่อการขัดสีของมอร์ตาร์ซีเมนต์เมื่อเติมน้ำยางข้นที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว NPE พบว่ามอร์ตาร์ซีเมนต์เมื่อเติมน้ำยางข้นที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว NPE 2 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 99.18 % ซึ่งใกล้เคียงกับมอร์ตาร์ซีเมนต์ที่มีค่าการสูญเสียน้ำหนักเท่ากับ 99.85 % ที่อายุบ่ม 28 วัน

นอกจากนี้ยังกล่าวได้ว่า การเตรียมน้ำยางข้นที่ผสมสาร NPE ในมอร์ตาร์ซีเมนต์แม้จะทำให้ความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ซีเมนต์ลดลงเนื่องจากปริมาณโพรงในเนื้อมอร์ตาร์ซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น แต่ก็ทำให้กำลังรับแรงดัดและแรงดึงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ซีเมนต์ ดังนั้นควรต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมกับกลุ่มตัวอย่างที่มีส่วนผสมเดิมแต่เพิ่มระยะเวลาการบ่มให้นานขึ้นเพื่อศึกษาว่าเมื่ออนุภาคของเนื้อมอร์ตาร์ซีเมนต์ที่ผสมน้ำยางข้นที่ปรับปรุงด้วยสาร NPE เกิดการจับตัวกันสมบูรณ์ยิ่งขึ้นแล้วนั้นกำลังรับแรงอัด, ดัด, ดึงและความต้านทานต่อการขัดสีจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร

เอกสารอ้างอิง

[1] Salih Mohammed, A., Mahmood, W., Sarwar Qadir, W., Ghafor, K., & Kurda, R. (2023). Microstructure tests, flow, and mechanical behavior of polymerized cement mortar. *Ain Shams Engineering Journal, 14(4), 101922.*

[2] *Qu L., Song W., Wang Q., Xu S., Hou C.* (2023) Effects of hydrophobic modified fly ash on resistance of chloride corrosion and water penetration of cement mortar in the early hydration stage *Journal of Building Engineering, 64, 040122*

[3] Mugahed Amran, Y. H., Alyousef, R., Alabduljabbar, H., Khudhair, M. H. R., Hejazi, F., Alaskar, A., Alrshoudi, F., & Siddika, A. (2020). Performance properties of structural fibred-foamed concrete. *Results in Engineering*, 5, 100092.

[4] สิทธิชัย ศิริพันธุ์และคณะ (2548) การใช้ยางธรรมชาติเพื่อพัฒนางานคอนกรีต *สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม สำนักพิมพ์*

[5] Subash, S., Mini, K., & Ananthkumar, M. (2021). Incorporation of natural rubber latex as concrete admixtures for improved mechanical properties. *Materials Today: Proceedings, 46, 4859–4862.*

[6] พีรวัฒน์ ปลาเงิน และคณะ (2562) การศึกษาและพัฒนาคู่ส่งน้ำคอนกรีตผสมน้ำยางพาราสำหรับใช้ในระบบชลประทานไร่นา *วารสารวิชาการ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 (2019):*