วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 33 ฉบับที่ 2 เม.ย.–มิ.ย. 2566
The Journal of KMUTNB., Vol. 33, No. 2, Apr.–Jun. 2023

บทความวิจัย

การศึกษากำลังอัดและการสูญเสียน้ำหนักมอร์ตาร์เคลือบด้วยจีโอพอลิเมอร์เพสต์ผสมน้ำยางพาราแช่กรดซัลฟิวริกและน้ำทะเล

อาบีเด็ง ฮาวา* และ ปรีชา สะแลแม
หน่วยวิจัยโครงสร้างพื้นฐานและนวัตกรรมวัสดุ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์
วรพจน์ ประชาเสรี
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 7285 5328 อีเมล: abideng.hawa@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.09.015
รับเมื่อ 22 มีนาคม 2564 แก้ไขเมื่อ 14 พฤษภาคม 2564 ตอบรับเมื่อ 1 กรกฎาคม 2564 เผยแพร่ออนไลน์ 23 กันยายน 2565
© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

โครงสร้างพื้นฐานที่เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เช่น สะพาน ท่าเรือ ถนนคอนกรีต และอาคารต่างๆ ในประเทศกำลังพัฒนาที่มีอายุมากกว่าครึ่งศตวรรษ โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ตั้งอยู่บริเวณน้ำทะเล หรือใกล้เคียงน้ำทะเลจะมีความเสียหายเนื่องจากปริมาณคลอไรด์สูงและซัลเฟต จีโอพอลิเมอร์เป็นวัสดุที่ราคาไม่แพง ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการเคลือบคอนกรีตเพื่อป้องกันการเกิดสนิมในเหล็ก การออกแบบอัตราส่วนผสมจีโอพอลิเมอร์เพสต์ในการเคลือบซีเมนต์มอร์ตาร์ได้เตรียมจากดินขาวเผาและสารแอลคาไลน์ จีโอพอลิเมอร์เพสต์มีสารแอลคาไลน์เป็นอัตราส่วนผสม 1.0, 0.75 และ 0.6 และใช้น้ำ 0.2 ,0.3 และ 0.4 โดยน้ำหนัก มีการเคลือบ 1 และ 2 ชั้น ใช้น้ำยางพาราแทนที่ดินขาวเผาร้อยละ 0.5, 1, 3, 5 และ 10 โดยน้ำหนัก ตัวอย่างจีโอพอลิเมอร์บ่มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทดสอบกำลังอัดและการสูญเสียน้ำหนักเมื่อแช่ในสารละลายกรดซัลฟิวริก และการสูญเสียน้ำหนักเมื่อแช่น้ำทะเลจนถึงอายุ 28, 56 และ 90 วัน จากผลการทดสอบพบว่า ตัวอย่างที่เคลือบด้วยจีโอพอลิเมอร์สามารถป้องกัน และลดการสูญเสียน้ำหนักได้ในทุกอัตราส่วนผสม เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเคลือบ

คำสำคัญ: น้ำทะเล จีโอพอลิเมอร์ ดินขาวเผา กรดซัลฟิวริก น้ำยางพารา

การอ้างอิงบทความ: อาบีเด็ง ฮาวา, ปรีชา สะแลแม และ วรพจน์ ประชาเสรี, "การศึกษากำลังอัดและการสูญเสียน้ำหนักมอร์ตาร์เคลือบด้วยจีโอพอลิเมอร์เพสต์ผสมน้ำยางพาราแช่กรดซัลฟิวริกและน้ำทะเล," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 33, ฉบับที่ 2, หน้า 424–436, เม.ย.–มิ.ย. 2566.

Research Article

A Study of Compressive Strength and Weight Loss of Mortars Coating with Geopolymer Paste with Field Para Rubber Latex in Sulfuric Acid and Seawater

Abideng Hawa* and Preecha Saleamea
Infrastructure and Materials Innovation Research Unit, Department of Civil Engineering Department, Princess of Naradhiwas University, Narathiwat, Thailand
Woraphot Prachasaree
Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Songkhla, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08 7285 5328, E–mail: abideng.hawa@gmail.com
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.09.015
Received 22 March 2021; Revised 14 May 2021; Accepted 1 July 2021; Published online: 23 September 2022
© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

The infrastructure of reinforced concrete structures such as bridge, port, concrete pavement, and building in developing countries were built over half- century old. The reinforced concrete structures near seawater were damaged due to high amount of chloride and sulfate. Geopolymer is an affordable material with promising applications in concrete structure coating for protecting steel rust. The proportions of geopolymer paste for cement mortar coating consisted of metakaolin (MK) and an alkaline activator. The viscous liquid of geopolymer paste was prepared with an alkaline activator and water by various ratios of 1.0, 0.75, and 0.6 and 0.2, 0.3, and 0.4 by weight respectively, with 1 and 2 coating layers. The amount of field Para Rubber Latex (FPRL) at 0.5, 1, 3, 5, and 10 by weight were used to substitute MK. The geopolymer samples were cured at 80 °C and at ambient temperature for 24 hours. The compressive strength and weight loss with submerged sulfuric acid and weight loss with submerged seawater were subsequently tested on the curing days of 28, 56, and 90. The test results showed that the coating samples could protect them from damage and weight loss at every ratio of mixtures compared with the uncoated samples.

Keywords: Sea Water, Geopolymer, Metakaolin, Sulfuric Acid, Field Para Rubber Latex

Please cite this article as: A. Hawa, P. Saleamea, and W. Prachasaree, "A study of compressive strength and weight loss of mortars coating with geopolymer paste with field para rubber latex in sulfuric acid and seawater," *The Journal of KMUTNB*, vol. 33, no. 2, pp. 424–436, Apr.–Jun. 2023 (in Thai).

1. บทนำ

ประเทศไทยมีจังหวัดที่ติดทะเล 23 จังหวัด ทั้งฝั่งอ่าวไทยและอันดามันรวม 3,151 กิโลเมตร [1] บริเวณชายฝั่งทะเลทั้ง 2 ด้าน มีสิ่งก่อสร้างจำนวนมาก โดยเฉพาะปากแม่น้ำ สถานที่ท่องเที่ยว ทั้งส่วนที่เป็นของรัฐไม่ว่าจะเป็นสะพาน ท่าเรือ เป็นต้น และส่วนอาคาร บ้านเรือนประชาชน ซึ่งสิ่งก่อสร้างเหล่านี้มีการสัมผัสกับน้ำทะเล หรือน้ำกร่อยอยู่ตลอด ทำให้เกิดความเสียหายมีผลให้อายุการใช้งานน้อยกว่าสิ่งก่อสร้างปกติทั่วไป เนื่องจากการกัดกร่อนของเคมีที่มีต่อเนื้อคอนกรีตและเหล็กเสริมภายในคอนกรีต ความเสียหายจากการทำลายเนื้อคอนกรีตจากซัลเฟตและคลอไรด์ที่ซึมผ่านเนื้อคอนกรีตเข้าไปสัมผัสกับเหล็กเสริมทำปฏิกิริยาแล้วเกิดสนิม การเกิดสนิมในโครงสร้างเป็นปัญหาสำคัญต่อความคงทน และอายุการใช้งานของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยความรุนแรงของการทำลายขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของซัลเฟตและคลอไรด์ และสภาพแวดล้อมเปียกสลับแห้ง ดังนั้น การป้องกันหรือซ่อมแซมโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กจากความเสียหายเหล่านี้นั้นมีความจำเป็นเป็นอย่างมาก

ปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยคอนกรีตที่สามารถป้องกัน หรือบรรเทาปัญหาความเสียหายจากปัญหาข้างต้น ซึ่งเป็นการพัฒนาคอนกรีตที่มีความทึบน้ำ เพื่อป้องกันการแทรกซึมของคลอไรด์เข้าในเนื้อคอนกรีต โดยการผสมเถ้าลอย [2] เถ้าปาล์มน้ำมัน [3] เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การพัฒนาวัสดุซีเมนต์ในลักษณะอื่น ได้รับความสนใจจากนักวิจัยจำนวนมาก อย่างเช่น วัสดุเชื่อมประสานจีโอพอลิเมอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาจีโอพอลิเมอร์เซชัน ที่เป็นการนำวัสดุที่มีซิลิกา (SiO_2) และอะลูมินา (Al_2O_3) ไปผสมกับโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และน้ำ ซึ่งจากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่า จีโอพอลิเมอร์เป็นวัสดุที่สามารถทนทานต่อซัลเฟตและกรด Bakharev [4] ได้ดีกว่าซีเมนต์คอนกรีตปกติ และการใช้วัสดุอื่นผสมกับเถ้าลอยยังสามารถช่วยเพิ่มความทนทานต่อกรดซัลฟิวริกและแมกนีเซียมซัลเฟตได้ดียิ่งขึ้น [5]

จากการศึกษาจีโอพอลิเมอร์เป็นวัสดุเคลือบของอุบลลักษณ์ [6] ที่ใช้เถ้าลอยในการผลิตจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์ในการเคลือบซีเมนต์มอร์ตาร์ ซึ่งใช้การจุ่มก้อนซีเมนต์มอร์ตาร์ลงในจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์เป็นเวลา 30 และ 60 วินาที บ่มร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชม. แล้วนำไปแช่ในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 5 และกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 3 และร้อยละ 0.005 บ่มระยะเวลา 1 และ 3 เดือน ซึ่งผลการทดสอบแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบด้วยจีโอพอลิเมอร์สามารถทนต่อกรดซัลฟิวริกได้ดีกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเคลือบ Aguirre-Guerrero และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาการป้องกันการเกิดสนิมเหล็กในตัวอย่างคอนกรีต โดยใช้จีโอพอลิเมอร์เป็นวัสดุเคลือบซึ่งใช้เถ้าลอยผสมปูนซีเมนต์ และดินขาวเผาผสมปูนซีเมนต์ แช่ตัวอย่างในสารละลายคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 3.5 แบบเปียกสลับแห้ง ซึ่งผลการทดสอบพบว่า การเคลือบคอนกรีตด้วยวัสดุทั้ง 2 ส่วนผสมสามารถป้องกันการเกิดสนิมได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเคลือบ

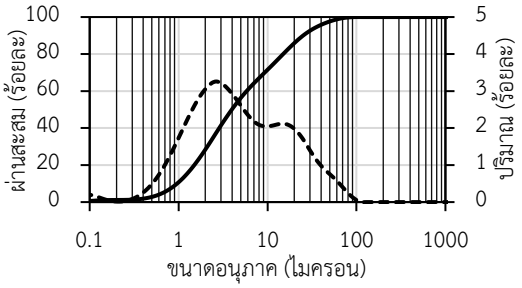
ดินขาว (Kaolin) เป็นวัสดุ 1 ใน 2 ที่นิยมมาใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการผลิตจีโอพอลิเมอร์ เนื่องจากมีองค์ประกอบทางเคมีของซิลิกาและอะลูมินาในสัดส่วนที่เหมาะสม สามารถให้กำลังอัดที่ดี อย่างไรก็ตาม การใช้ดินขาวจำเป็นต้องผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700–800 องซาเซลเซียส [8], [9] ถึงจะสามารถทำปฏิกิริยาได้ดี ในพื้นที่ภาคใต้จังหวัดระนองและนราธิวาส อำเภอสุไหงปาดี อำเภอระแงะ และอำเภอยี่งอของจังหวัดนราธิวาสจะพบดินขาวในปริมาณมาก

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการศึกษากำลังอัด การสูญเสียน้ำหนักเมื่อแช่ในกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 5 และตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเมื่อแช่น้ำทะเล ด้วยสภาพแวดล้อมทางทะเลที่มีระยะทางยาวของประเทศไทย ส่งผลโดยตรงให้มีสิ่งก่อสร้างจำนวนมากในบริเวณชายฝั่ง ได้รับความเสียหายจากน้ำทะเล ทำให้มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการเคลือบคอนกรีตเพื่อช่วยป้องกัน และซ่อมแซมคอนกรีตจากความเสียหาย

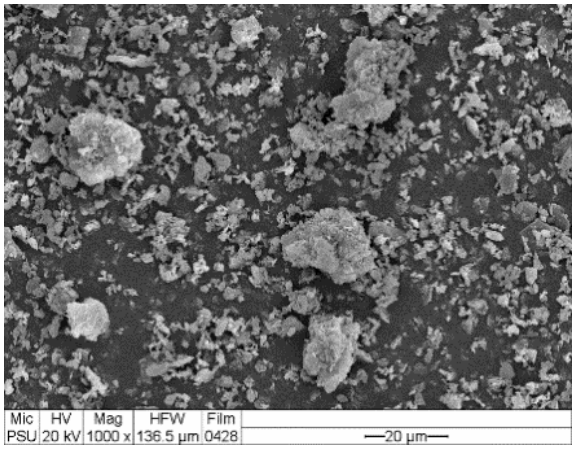
2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 วัสดุ

ดินขาวที่ใช้ในการศึกษาผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 750



รูปที่ 1 การกระจายขนาดอนุภาคดินขาวเผา



รูปที่ 2 ลักษณะของกายรูปและการกระจายขนาดของดินขาวเผาบดละเอียด

องศาเซลเซียส ใช้ดินขาวจากอำเภอสุไหงปาดี จังหวัดนราธิวาส หลังจากการเผาได้ทำการบดละเอียด ซึ่งผลการทดสอบการกระจายขนาดอนุภาคของดินขาวเผา ดังรูปที่ 1 จะพบว่า การกระจายขนาดของดินขาวเผาบดละเอียดมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย (d_{50}) เท่ากับ 3.9 ไมครอน โดยกระจายเป็นดังนี้ d_{10} = 1 ไมครอน d_{90} = 24 ไมครอน ขนาดอนุภาคเล็กกว่า 45 ไมครอน มีอยู่ร้อยละ ~96 ซึ่งใช้เครื่องมือทดสอบ Laser Particle Size Analyzer เป็นเทคนิคการทดสอบการวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาค ด้วยลำแสงเลเซอร์ และจากการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของดินขาวเผาบดละเอียดถึงลักษณะทางกายภาพด้วยเครื่องมือ Scanning Electron Microscope พบว่า ดินขาวเผาบดละเอียดมีลักษณะรูปร่างคล้ายกัน มีผิวขรุขระลักษณะเป็นแผ่นยึดติดกันเป็นก้อนๆ ดังรูปที่ 2 และมีขนาดใกล้เคียงกันแบ่งเป็น 2 ขนาดหลัก

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence Spectrometry โดยใช้เครื่องมือ X-ray Fluorescence Spectrometer ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดินขาวเผาได้แสดงในตารางที่ 1 ซึ่งดินขาวเผามีซิลิกาและอะลูมินาเป็นองค์ประกอบหลักซิลิกาและอะลูมินาเป็นองค์ประกอบหลักของการเกิดปฏิกิริยาจีโอพอลิเมอร์ไรเซชัน ในกระบวนการของปฏิกิริยาจำเป็นต้องมีทั้งซิลิกาและอะลูมินา ไม่สามารถมีเพียงตัวใดตัวหนึ่ง

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของดินขาวเผา

องค์ประกอบทางเคมี	(ร้อยละ)
SiO_2	50.30
Al_2O_3	41.02
Fe_2O_3	1.05
CaO	0.33
TiO_2	1.05
K_2O	4.08
LOI	1.72

สารละลายแอลคาไลน์ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์แบบเกล็ดมีความบริสุทธิ์ร้อยละ 98 ผสมกับโซเดียมซิลิเกต และน้ำ โดยที่โซเดียมซิลิเกตมีองค์ประกอบทางเคมีของโซเดียมออกไซด์ (Na_2O) ร้อยละ 14.85 ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) ร้อยละ 29.45 และน้ำร้อยละ 55.70 โดยน้ำหนัก ทดสอบใช้น้ำยางพาราจาก อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส โดยทั่วไปน้ำยางพาราจะมีเนื้อยางอยู่ร้อยละ 35–40 ซึ่งยางจะเป็นวัสดุแขวนลอยที่มีขนาด 0.04–4.0 ไมครอน ด้วยขนาดอนุภาคที่มีขนาดเล็ก ทำให้สามารถเข้าไปอุดในช่องว่างเพื่อช่วยลดการซึมผ่านของของเหลวต่างๆ ได้

2.2 อัตราส่วนผสมและการเตรียมตัวอย่าง

การทดสอบกำลังอัดและการสูญน้ำหนัก เมื่อแช่ในกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 5 และแช่ในน้ำทะเลโดยการเคลือบจีโอพอลิเมอร์เพสต์ ซึ่งใช้จีโอพอลิเมอร์เพสต์ในอัตราส่วนผสมดังตารางที่ 2 ก้อนตัวอย่างที่เคลือบด้วย

จีโอพอลิเมอร์ดินขาวเผาผสมน้ำยางพาราใช้อัตราส่วนการแทนที่ดินขาวเผาด้วยน้ำยางพาราร้อยละ 0.5, 1, 3, 5 และ 10 โดยน้ำหนัก ใช้น้ำยางพาราสดจากต้นลักษณะวันต่อวัน โดยไม่ผสมแอมโมเนียบรรจุในขวดน้ำพลาสติก การศึกษาใช้สารแอลคาไลน์ (โซเดียมซิลิเกต + โซเดียมไฮดรอกไซด์) ต่อดินขาวเผาเท่ากับ 0.6, 0.75 และ 1 อัตราส่วนโซเดียมซิลิเกตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 2.5 อัตราส่วนน้ำต่อดินขาวเผาเท่ากับ 0.2, 0.3 และ 0.4 เริ่มด้วยการหล่อก้อนซีเมนต์มอร์ตาร์ขนาด 5 × 5 × 5 ซม. ตามมาตรฐาน ASTM C109/C109M [10] บ่มจนครบอายุ 28 วัน นำก้อนตัวอย่างไปเคลือบด้วยจีโอพอลิเมอร์เพสต์ด้วยอัตราส่วนต่างๆ ซึ่งการผสมจีโอพอลิเมอร์เพสต์เริ่มจากการผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์กับโซเดียมซิลิเกตเข้าด้วยกัน โดยผสมจนกว่าเกลดโซเดียมไฮดรอกไซด์ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นเติมน้ำเข้าไปผสมให้เข้ากัน แล้วนำสารละลายไปผสมกับดินขาวเผาที่เตรียมไว้ให้เป็นเนื้อเดียวกันสุดท้ายผสมน้ำยางพาราเข้าไป นำจีโอพอลิเมอร์เพสต์เคลือบซีเมนต์มอร์ตาร์โดยใช้แปรงทาให้ทั่วผิวซีเมนต์มอร์ตาร์ทั้ง 6 ด้าน แล้วนำไปบ่มโดยแบ่งออกเป็น 2 ชุด คือบ่มที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม. และบ่มในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 24 ชม. ตัวอย่างที่บ่มในตู้อบมีการพันก้อนตัวอย่างด้วยพลาสติก ในกรณีตัวอย่างที่มีการเคลือบจีโอพอลิเมอร์เพสต์ 2 ชั้น กระทำหลังจากนำตัวอย่างทั้ง 2 กรณี บ่มต่อไว้ในอากาศ 7 วัน แล้วน้ำมาเคลือบจีโอพอลิเมอร์เพสต์ชั้นที่ 2 มาบ่มที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม. และบ่มในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 24 ชม. อีกครั้ง แล้วนำก้อนตัวอย่างแช่ในน้ำทะเลและกรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก จนถึงอายุ 28, 56 และ 90 วัน จึงนำไปทดสอบการสูญเสียน้ำหนักและกำลังอัด ในกรณีของการบ่มร้อนในตู้อบและมีการพันด้วยพลาสติกนั้น ก่อนจะมีการพันพลาสติกจะใช้ไดร์เป่าผม เป่าล้มร้อนจีโอพอลิเมอร์เพสต์ให้มีการเซตตัวเพื่อง่ายต่อการพันพลาสติก

2.3 วิธีการทดสอบ

การทดสอบกำลังอัดและการสูญเสียน้ำหนักของก้อนตัวอย่างซีเมนต์มอร์ตาร์เคลือบด้วยจีโอพอลิเมอร์เพสต์ในอัตราส่วนผสมต่างๆ ซึ่งใช้ซีเมนต์มอร์ตาร์ที่อายุ 28 วัน มีกำลังอัด 30–32 เมกะปาสกาล แบ่งเป็นบ่มที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม. และบ่มในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชม. หลังเอาออกจากตู้อบนำไปบ่มอากาศ 7 วัน ในกรณีเคลือบ 2 ชั้น หลังจากเคลือบชั้นที่ 2 บ่มที่อุณหภูมิห้อง 24 ชม. และบ่มร้อนที่ 80 องศาเซลเซียส อีกครั้ง หลังจากนั้นนำไปแช่ในกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และน้ำทะเลจนอายุบ่ม 28, 56 และ 90 วัน โดยไม่มีการเปลี่ยนกรดซัลฟิวริกและน้ำทะเลจนครบอายุบ่ม ซึ่งของเหลวทั้ง 2 ใช้ปริมาตรเป็น 4 เท่าของปริมาตรก้อนตัวอย่าง (ใช้ตัวอย่างขนาด 5 × 5 × 5 ซม. ตามมาตรฐาน ASTM C109/C109M

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมจีโอพอลิเมอร์เพสต์

แช่กรดซัลฟิวริก					แช่น้ำทะเล				
สัญลักษณ์	MK	FPRL	Al/MK	W/MK	สัญลักษณ์	MK	FPRL	Al/MK	W/MK
UC	-	-	-	-	UC	-	-	-	-
1X0.3-Y	100	-	1	0.3	X-Y	100	-	0.75	0.3
0.75X0.3-Y	100	-	0.75	0.3	0.5X-Y	99.5	0.5	0.75	0.3
0.6X0.3-Y	100	-	0.6	0.3	1X-Y	99	1	0.75	0.3
0.75X0.4-Y	100	-	0.75	0.4	3X-Y	97	3	0.75	0.3
0.75X0.2-Y	100	-	0.75	0.2	5X-Y	95	5	0.75	0.3
					10X-Y	90	10	0.75	0.3

MK = ดินขาวเผา, FPRL = น้ำยางพารา, Al = สารแอลคาไลน์, W = น้ำ

(0.6X0.3-Y) 0.6 = แอลคาไลน์ต่อดินขาวเผา, X = การบ่ม (ร้อน = H, อากาศ = R), 0.3 = น้ำต่อดินขาวเผา, Y = ชั้นที่เคลือบ (1, 2)

(1X-Y) 1 = น้ำยางพาราร้อยละ 1, X = การบ่ม (ร้อน = H, อากาศ = R), Y = ชั้นที่เคลือบ (1, 2)

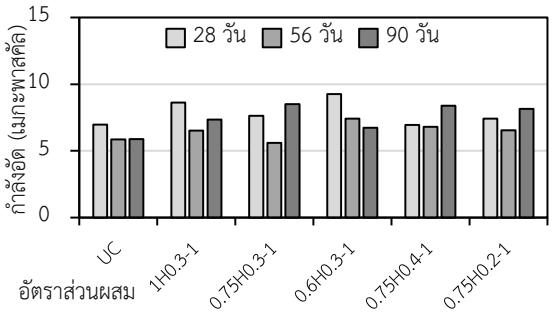
[10]) ซึ่งน้ำทะเลจะมีคลอไรด์ (Chloride; Cl^-) โซเดียม (Sodium; Na^+) ซัลเฟต (Sulphate; SO_4^{2-}) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) เป็นหลัก เมื่อครบอายุบ่มนำก้อนอย่างมาทดสอบการสูญเสียน้ำหนัก และทดสอบกำลังอัดด้วยเครื่องกดมอร์ตาร์ โดยการทดสอบการสูญเสียน้ำหนัก และทดสอบกำลังอัดหลังจากยกก้อนตัวอย่างขึ้นจากกรดซัลฟิวริก หรือน้ำทะเลทำการเช็ดผิวให้แห้งนำไปวัดขนาดและชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำไปกดด้วยเครื่องกดมอร์ตาร์โดยพยายามเลือกด้านที่ผิวเรียบมากสุด การทดสอบการสูญเสียน้ำหนักจะเป็นการเปรียบเทียบน้ำหนักก่อนแช่น้ำทะเลและกรดซัลฟิวริกกับน้ำหนักหลังแช่ที่อายุต่างๆ

3. ผลการการทดลอง

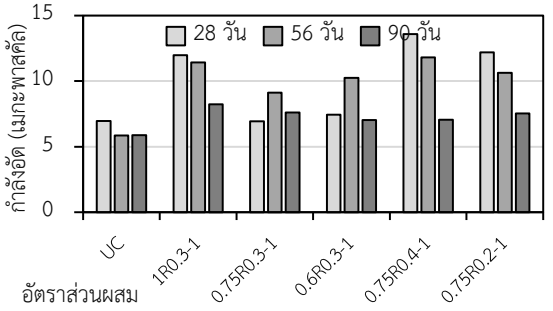
3.1 กำลังอัดและการสูญเสียน้ำหนักเมื่อแช่กรดซัลฟิวริก

3.1.1 อิทธิพลอัตราส่วนสารละลายและน้ำ

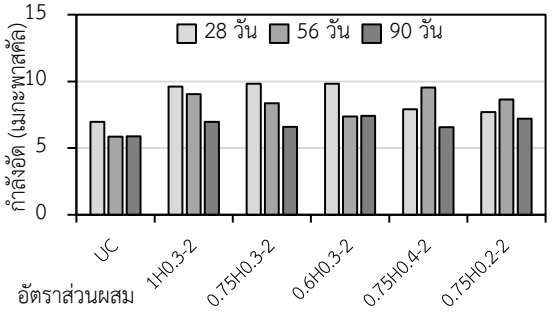
การทดสอบกำลังอัดและการสูญเสียน้ำหนักของซีเมนต์มอร์ตาร์เคลือบด้วยจีโอพอลิเมอร์เพสต์จากดินขาวเผาบดละเอียด ใช้ซีเมนต์มอร์ตาร์ที่อายุ 28 วัน ในการเคลือบซึ่งมีกำลังอัด 30–32 เมกะปาสกาล แช่กรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 5 เป็นเวลา 28, 56 และ 90 วัน โดยมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนผสมของสารละลาย ปริมาณน้ำ การบ่ม และจำนวนชั้นในการเคลือบ ผลการทดสอบรูปที่ 3 แสดงการกัดกร่อนของมอร์ตาร์โดยเปรียบเทียบอัตราส่วนต่างๆ พบว่า มอร์ตาร์ที่ผ่านการเคลือบด้วยจีโอพอลิเมอร์เพสต์ สามารถป้องกันการสูญเสียกำลังอัดได้ดีกว่ามอร์ตาร์ที่ไม่ผ่านการเคลือบในทุกอายุบ่ม การใช้สารแอลคาไลน์ที่ 0.75 มีแนวโน้มสามารถป้องกันการสูญเสียกำลังอัดได้ดีกว่าเล็กน้อย โดยเฉพาะที่อายุ 90 วัน ของการบ่มร้อนเคลือบ 1 ชั้น และบ่มอากาศเคลือบ 2 ชั้น ในส่วนตัวอย่างอื่นๆ มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย อาจจะมีความเป็นไปได้ว่าที่อัตราส่วนสารแอลคาไลน์ 0.75 มีความเหมาะกับการใช้เป็นสารเคลือบจากดินขาวเผา เนื่องจากว่าสารเคลือบต้องพิจารณาถึงความสามารถในการเคลือบเป็นหลัก กล่าวคือต้องมีความเหนียวเมื่อทาแล้วสามารถยึดติดกับมอร์ตาร์หรือคอนกรีตได้ ไม่มีการไหลลงไปกองด้านล้างของก้อนตัวอย่าง หรือมีการจับตัวกันเป็นก้อนไม่สามารถทาได้



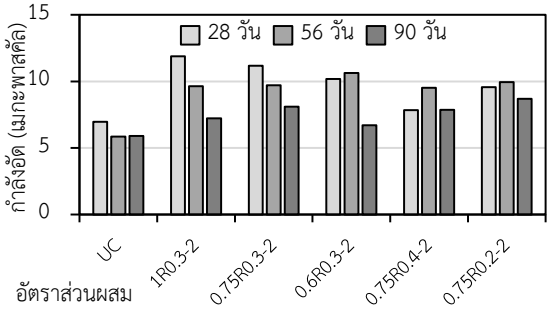
(ก) บ่มร้อนเคลือบ 1 ชั้น



(ข) บ่มอากาศเคลือบ 1 ชั้น



(ค) บ่มร้อนเคลือบ 2 ชั้น

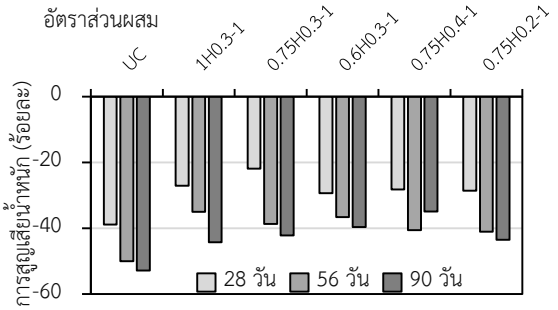


(ง) บ่มอากาศเคลือบ 2 ชั้น

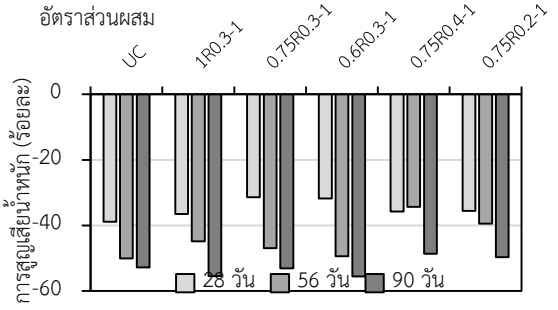
รูปที่ 3 กำลังอัดจิโอพอลิเมอร์เคลือบแช่กรดซัลฟิวริก

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างของปริมาณน้ำที่ใช้ พบว่า การใช้น้ำ 0.2, 0.3 และ 0.4 โดยน้ำหนัก ไม่ได้มีผลต่อความสามารถป้องกันการสูญเสียกำลังอัดในทุกวิธีการการบ่ม และจำนวนชั้นในการเคลือบ การเคลือบซีเมนต์มอร์ตาร์ด้วยจีโอพอลิเมอร์เพสต์สามารถป้องกันได้ระดับหนึ่งนั้น เนื่องจากจีโอพอลิเมอร์เป็นวัสดุประสานที่สามารถป้องกันการกัดกร่อนจากกรดซัลฟิวริกและจากซัลเฟตได้ดีกว่าปูนซีเมนต์ จากงานวิจัยของ Sata และคณะ [11] ที่มีการศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อนของกรดซัลฟิวริกและสารละลายซัลเฟตของซีเมนต์มอร์ตาร์และจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์ ซึ่งจากการทดสอบพบว่า จีโอพอลิเมอร์สามารป้องกันกรดซัลฟิวริกและซัลเฟตได้ดีกว่าตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ผลิตจากปูนซีเมนต์อย่างชัดเจน โดยเฉพาะที่อายุแช่ 28 วันขึ้นไป Alonso และ Palomo [12] มีการศึกษาตัวแปรของอุณหภูมิในการบ่ม 35, 45 และ 60 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของสารละลายเท่ากับ 10, 12, 15 และ 18 โมลาร์ ใช้ดินขาวเผาเป็นวัสดุตั้งต้นพบว่า การบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ให้กำลังต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 45 และ 60 องศาเซลเซียส เป็นอย่างมาก และเมื่อพิจารณาการผลิตจีโอพอลิเมอร์ที่ใช้เถ้าลอยเป็นวัสดุตั้งต้น Somna และคณะ [13] ได้แสดงให้เห็นว่าการบ่มอากาศส่งผลให้ในช่วงอายุ 7 วัน จีโอพอลิเมอร์มีกำลังอัดน้อย ยิ่งใช้เถ้าลอยที่ไม่ผ่านการบดให้มีความละเอียดสูง ในช่วง 7 วันนั้น ค่ากำลังอัดน้อยกว่า 5 เมกะปาสกาล ในทุกความเข้มข้นของสารแอลคาไลน์ เช่นเดียวกันกับการทดสอบของสกลวรรณ และคณะ [14]

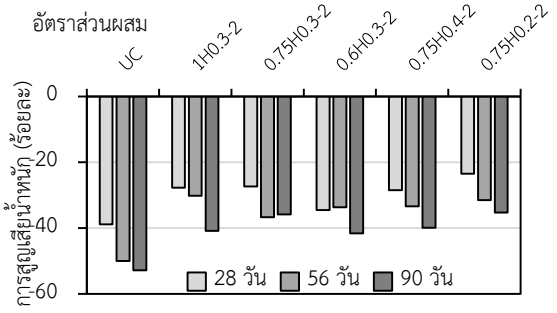
จากรูปที่ 4 ผลการทดสอบการสูญเสียน้ำหนักก้อนตัวอย่างที่ผ่านการแช่กรดซัลฟิวริก ในอัตราส่วนต่างๆ พบว่า การเคลือบจีโอพอลิเมอร์สามารถป้องกันการกัดกร่อนได้ และเมื่อมีการแช่กรดเป็นเวลานานมากขึ้นยิ่งมีการกัดกร่อนมากขึ้น แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าการบ่มอากาศและการเคลือบ 1 ชั้น จะมีการกัดกร่อนมากกว่าตัวอย่างที่ไม่เคลือบเล็กน้อยที่อายุ 90 วัน ของการใช้อัตราส่วนน้ำ 0.3 และที่อัตราส่วนน้ำ 0.2 และ 0.4 มีค่าลดลงเล็กน้อย ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงความเป็นไปได้แล้ว เนื่องมาจากการบ่มอากาศจะยังไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีมากนัก ต่างจากการบ่มร้อนที่สามารถเกิดปฏิกิริยา



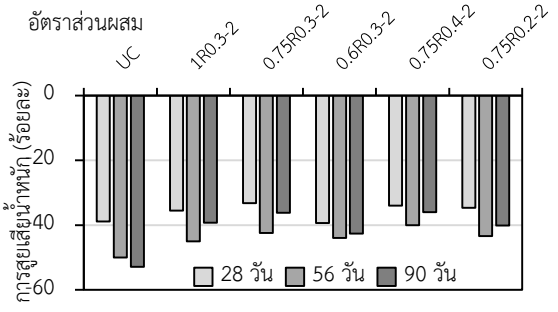
(ก) บ่มร้อนเคลือบ 1 ชั้น



(ข) บ่มอากาศเคลือบ 1 ชั้น



(ค) บ่มร้อนเคลือบ 2 ชั้น



(ง) บ่มอากาศเคลือบ 2 ชั้น

รูปที่ 4 การสูญเสียน้ำหนักจีโอพอลิเมอร์เคลือบแช่กรดซัลฟิวริก

ได้ดีที่อายุน้อย Rovnaník [15] ได้แสดงผลการทดสอบกำลังอัดจีโอพอลิเมอร์ที่ผลิตดินขาวเผา โดยเปรียบเทียบถึงอุณหภูมิในการบ่ม และระยะเวลาในการบ่ม ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่า การบ่มจีโอพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิ 80 องเซลเซียส ที่เวลา 1 ชั่วโมง ให้ค่ากำลังอัดน้อยที่อายุน้อย จีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์ จากเถ้าลอยเมื่อแช่กรดซัลฟิวริกและแมกนีเซียมซัลเฟต พบว่า ตัวอย่างจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์มีการสูญเสียน้ำหนักร้อยละ 2–4 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุประสานจีโอพอลิเมอร์สามารถป้องกันการกัดกร่อนของกรดซัลฟิวริกและแมกนีเซียมซัลเฟตได้เป็นอย่างดี [5] กันติยา และคณะ [16] ได้แสดงผลการศึกษาจีโอพอลิเมอร์เพสต์ที่เคลือบสามารถช่วยป้องกันกรดซัลฟิวริกก่อนซึมไปยังก้อนซีเมนต์มอร์ตาร์ และยิ่งกว่านั้นการที่แคลเซียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริกหรือแมกนีเซียมซัลเฟตทำให้เกิดผลเสียต่อกำลังก้อนตัวอย่าง [5]

รูปที่ 5 แสดงรูปตัวอย่างมอร์ตาร์ที่ผ่านการเคลือบด้วยจีโอพอลิเมอร์เพสต์ 1 และ 2 ชั้น มีการบ่มร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชม. และบ่มอากาศ 24 ชม. พร้อมซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ไม่ผ่านการเคลือบดังรูปที่ 5 (ก) เมื่อพิจารณาลักษณะทางกายภาพภายนอกที่ผิวพบว่า ก้อนตัวอย่างที่เคลือบอากาศ 1 ชั้น จะมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลอ่อนทั่วทั้งก้อน ในขณะที่ก้อนตัวอย่างที่ผ่านการบ่มร้อนลักษณะสีผิวนอกจะมีสีน้ำตาลเข้มกว่าและเข้มมากในบ้างจุด ในส่วนของตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบ 2 ชั้น ลักษณะทางกายภาพมีความคล้ายคลึงกันทั้ง 2 ลักษณะการบ่ม เนื่องจากมีความไปได้ว่าจีโอพอลิเมอร์เพสต์ชั้นแรกมีการดูดน้ำในจีโอพอลิเมอร์เพสต์ของชั้นที่ 2 ไปบางส่วน

3.1.2 อิทธิพลของอุณหภูมิและชั้นเคลือบ

ตัวอย่างจีโอพอลิเมอร์เคลือบเมื่อแช่กรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 5 ที่อายุแช่ 90 วัน ดังแสดงรูปที่ 6 และ 7 พบว่า ก้อนตัวอย่างซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผ่านการเคลือบด้วยจีโอพอลิเมอร์เพสต์ สามารถให้กำลังอัดได้ดีกว่าก้อนตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเคลือบด้วยจีโอพอลิเมอร์ในทุกอัตราส่วนผสม นั้น แสดงให้เห็นว่าการเคลือบด้วยจีโอพอลิเมอร์เพสต์สามารถป้องกันการสูญเสียกำลังอัดได้ระดับหนึ่ง และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของการบ่มก้อนตัวอย่างหลังจากเคลือบจีโอพอลิเมอร์เพสต์ด้วยการบ่มร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ในตู้อบและการบ่มที่อุณหภูมิห้อง พบว่าในกรณีของการเคลือบ 1 ชั้น เป็นที่น่าสังเกตว่าจีโอพอลิเมอร์เพสต์ที่อัตราส่วนสารละลายที่ 0.75 การบ่มร้อนสามารถรักษากำลังอัดได้ดีกว่าการบ่มอากาศทุกอัตราส่วนผสม (รูปที่ 6 (ก)) ด้วยที่การบ่มร้อนของจีโอพอลิเมอร์จะทำให้เพสต์เกิดการก่อตัวได้เร็วกว่าการบ่มอากาศทำให้มีความสามารถป้องกันการกัดกร่อนของกรดซัลฟิวริกได้ดีกว่า และมีความเป็นไปได้ว่าในกรณีการบ่มอากาศ 24 ชั่วโมง นั้น เมื่อเกิดการก่อตัวช้าเนื่องจากไม่ได้ผ่านการให้ความร้อน ส่งผลให้น้ำบางส่วนในจีโอพอลิเมอร์เพสต์ถูกซีเมนต์มอร์ตาร์ดูดไป ซึ่งจากศึกษาของ Hawa และคณะ [17] แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าจีโอพอลิเมอร์จากดินขาวเผาเมื่อบ่มร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส สามารถให้กำลังอัดได้ดีตั้งแต่ช่วงต้น ในขณะที่การบ่มอากาศหรือบ่มร้อนที่ระยะเวลาสั้นสามารถให้กำลังอัดที่ดีที่อายุปลาย (28 วัน) แต่ช่วง 1–7 วัน กำลังอัดยังที่ได้มีค่าน้อย และยังเป็นที่น่าสังเกตว่าการใช้อัตราส่วน 0.6 ของสารละลายนั้นสามารถป้องกันการกัดกร่อนของกรดซัลฟิวริกได้น้อยกว่าอัตราส่วนผสมอื่นๆ ซึ่งแสดงให้เห็นเป็นไปในลักษณะเดียวกันทั้งการบ่มร้อน บ่มอากาศ การเคลือบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 6 และ 7

(ก) ซีเมนต์มอร์ต้าร์

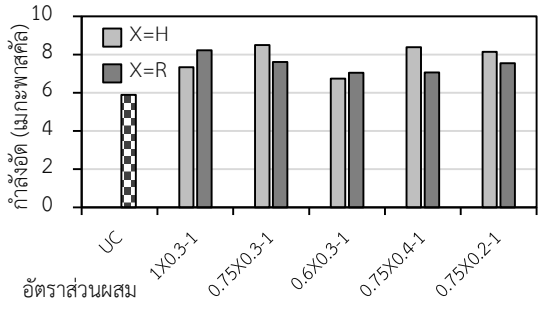
(ข) เคลือบ 1 ชั้น บ่มร้อน

(ค) เคลือบ 1 ชั้น บ่มอากาศ

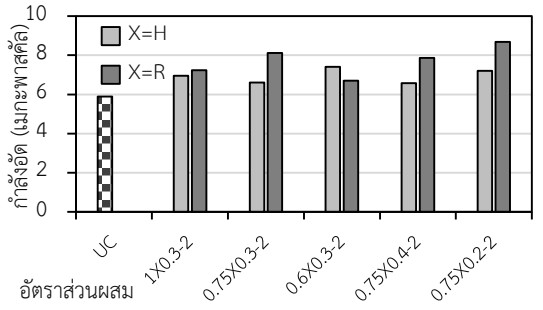
(ง) เคลือบ 2 ชั้น บ่มร้อน

(จ) เคลือบ 2 ชั้น บ่มอากาศ

รูปที่ 5 ลักษณะทางกายรูปของก้อนตัวอย่าง

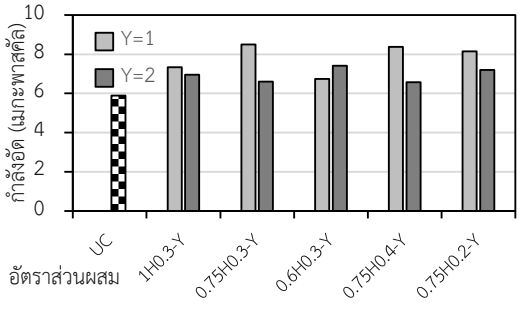


(ก) เคลือบ 1 ชั้น

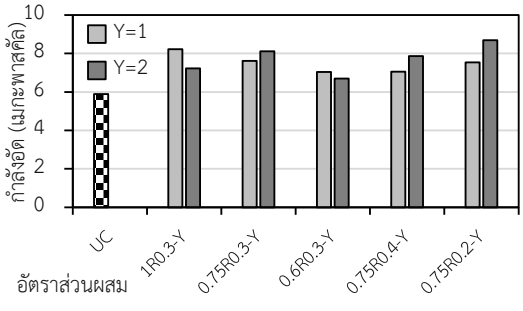


(ข) เคลือบ 2 ชั้น

รูปที่ 6 กำลังอัดจีโอพอลิเมอร์เคลือบที่เปลี่ยนแปลงการบ่มแช่กรดซัลฟิวริกที่อายุ 90 วัน



(ก) บ่มร้อน



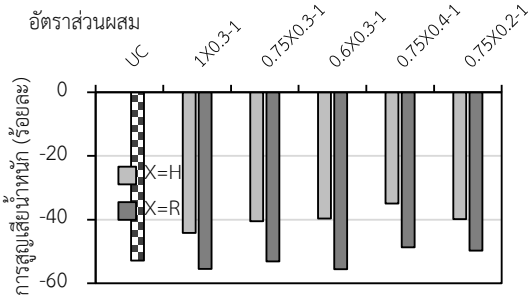
(ข) บ่มอากาศ

รูปที่ 7 กำลังอัดจีโอพอลิเมอร์เคลือบที่เปลี่ยนแปลงชั้นการเคลือบ แช่กรดซัลฟิวริกที่อายุ 90 วัน

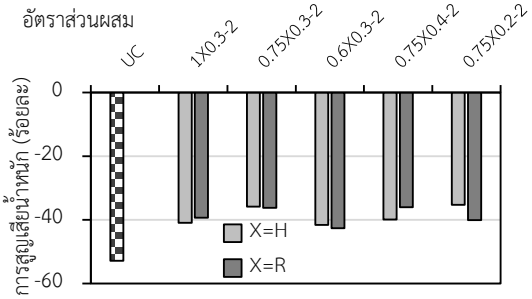
รูปที่ 6 (ข) แสดงกำลังอัดจีโอพอลิเมอร์เคลือบ 2 ชั้น พบว่า การเคลือบด้วยจีโอพอลิเมอร์สามารถรักษากำลังอัดที่ดีกว่าซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ไม่ผ่านการเคลือบในทุกอัตราส่วนผสม เช่นเดียวกันกับการเคลือบ 1 ชั้น แต่เป็นที่น่าสังเกตเพิ่มเติมว่าในการเคลือบ 2 ชั้น โดยการบ่มอากาศของอัตราส่วนของสารละลาย 0.75 นั้น สามารถรักษากำลังอัดได้ดีกว่าการบ่มร้อน ซึ่งจะตรงกันข้ามกับการเคลือบ 1 ชั้น เนื่องจากว่าการเคลือบชั้นที่ 2 เกิดขึ้นหลังจากเคลือบจีโอพอลิเมอร์ชั้นที่ 1 ไปแล้วและทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน ซึ่งเมื่อมีการเคลือบชั้นที่ 2 ทำให้มีความหนาเพิ่มขึ้น และเป็นที่น่าสังเกตว่า จากการทดสอบการเคลือบ 2 ชั้น โดยใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แล้วนำไปแช่กรดซัลฟิวริกจีโอพอลิเมอร์เพสต์ที่เคลือบจะเกิดการแตกร้าวและหลุดออกบางส่วนจากก้อนซีเมนต์มอร์ตาร์อย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อเปรียบเทียบในประเด็นของจำนวนชั้นที่เคลือบนั้น จากรูปที่ 7 จะพบว่า การบ่มด้วยความร้อนการเคลือบจีโอพอลิเมอร์ 1 ชั้น สามารถรักษากำลังอัดก้อนตัวอย่างได้ดีกว่าการเคลือบ 2 ชั้น อย่างที่กล่าวไว้ข้างต้นว่าการบ่มด้วยความร้อนของการเคลือบ 2 ชั้น เมื่อนำไปแช่กรดซัลฟิวริกจีโอพอลิเมอร์เพสต์ที่เคลือบจะหลุดลอกออกมาเป็นแผ่น ในขณะที่การเคลือบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น บ่มที่อุณหภูมิห้องค่ากำลังอัดมีค่าใกล้เคียงกัน

ในการแช่กรดซัลฟิวริกนอกจากค่ากำลังอัดที่ได้เพื่อเป็นการแสดงถึงผลกระทบจากอิทธิพลต่างๆ ยังมีการสูญเสียน้ำหนักของก้อนตัวตัวอย่างที่สามารถแสดงออกอย่างชัดเจน ดังรูปที่ 8 และ 9 จากการทดสอบพบว่า การเคลือบจีโอพอลิเมอร์เพสต์มีแนวโน้มสามารถช่วยป้องกันการกัดกร่อนของซีเมนต์มอร์ตาร์จากกรดซัลฟิวริกได้ อย่างไรก็ตาม ตัวอย่างที่เคลือบ 1 ชั้น โดยการบ่มอากาศค่าการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ไม่ผ่านการเคลือบเล็กน้อย เนื่องจากการบ่มอากาศ 24 ชั่วโมง นั้นมีการทำปฏิกิริยาช้าทำให้น้ำบางส่วนที่อยู่ใน

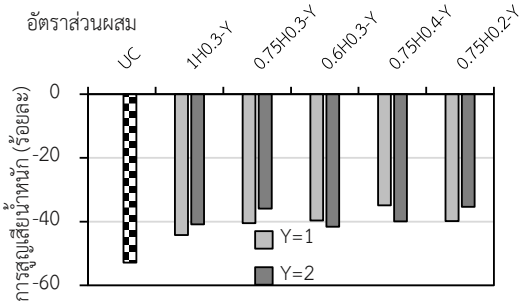


(ก) เคลือบ 1 ชั้น

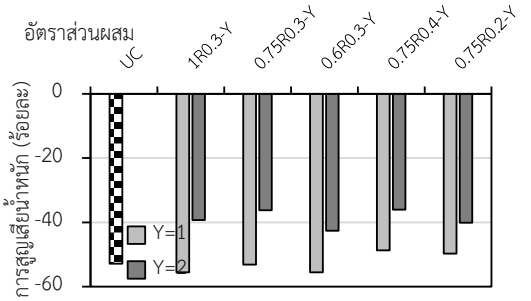


(ข) เคลือบ 2 ชั้น

รูปที่ 8 การสูญเสียน้ำหนักจีโอพอลิเมอร์เคลือบที่เปลี่ยนแปลงการบ่ม แช่กรดซัลฟิวริกที่อายุ 90 วัน



(ก) บ่มร้อน



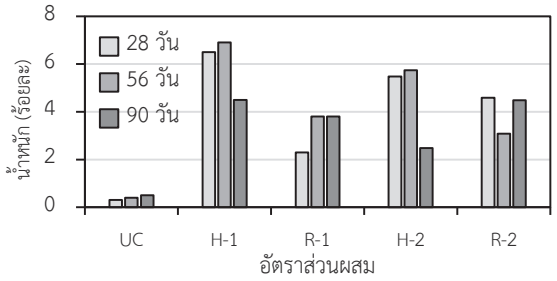
(ข) บ่มอากาศ

รูปที่ 9 การสูญเสียน้ำหนักจีโอพอลิเมอร์เคลือบที่เปลี่ยนแปลงชั้นเคลือบ แช่กรดซัลฟิวริกที่อายุ 90 วัน

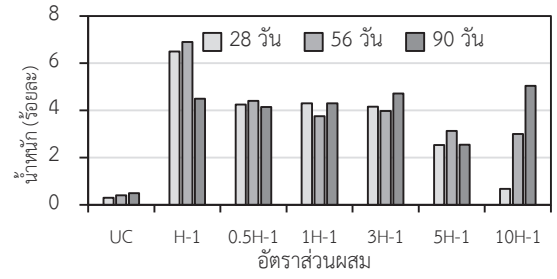
จีโอพอลิเมอร์เพสต์ถูกซีเมนต์มอร์ตาร์ดูดไป เมื่อนำไปแช่กรดซัลฟิวริกทำให้จีโอพอลิเมอร์มีการก่อตัวไม่สมบูรณ์ จึงไม่สามารถป้องกันกรดเข้าไปทำลายซีเมนต์มอร์ตาร์ (รูปที่ 8 (ก)) จีโอพอลิเมอร์จากดินขาวเผามีการก่อตัวที่ดีในช่วงต้นเมื่อมีการบ่มร้อน 4 ชม. [16] เมื่อพิจารณาการเคลือบ 2 ชั้น จะพบว่า ไม่ว่าเป็นการบ่มร้อน หรือการบ่มอากาศสามารถป้องกันการกัดกร่อนจากกรดซัลฟิวริกได้ดีกว่าที่ไม่เคลือบอย่างชัดเจน และทั้ง 2 ลักษณะ การบ่มมีค่าใกล้เคียงกัน การบ่มอากาศโดยการเคลือบ 2 ชั้น ถึงแม้ว่าการเคลือบชั้นเดียวจะมีผลไม่ดีมากนัก แต่เมื่อได้รับการเคลือบเพิ่มเป็น 2 ชั้น จะสามารถป้องกันได้ดียิ่งขึ้นเพราะการเคลือบชั้นที่ 2 จะไปเติมในส่วนที่การเคลือบชั้นแรกยังไม่สมบูรณ์มากนัก ซึ่งสามารถแสดงผลอย่างชัดเจนในรูปที่ 9 (ข) ที่การบ่มอากาศจำเป็นต้องมีการเคลือบ 2 ชั้น ถึงจะให้ผลที่ดี ในขณะที่การบ่มร้อนนั้นการเคลือบ 1 ชั้น หรือ 2 ชั้น มีผลแตกต่างกันเล็กน้อย

3.2 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเมื่อแช่น้ำทะเล

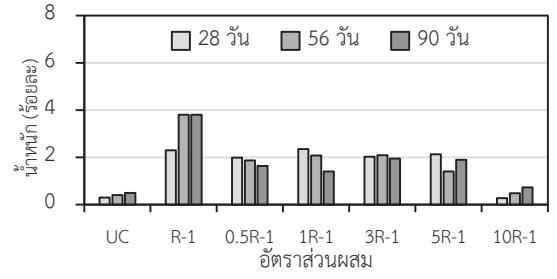
ตัวอย่างจีโอพอลิเมอร์เพสต์ที่ใช้เคลือบก้อนซีเมนต์มอร์ตาร์แช่น้ำทะเล จะใช้อัตราส่วนผสมดินขาว : โซเดียมซิลิเกต+โซเดียมไฮดรอกไซด์ : น้ำ (1 : 0.75 : 0.3) โดยน้ำหนัก และมีการแทนที่ดินขาวด้วยน้ำยางพาราร้อยละ 0.5, 1, 3, 5 และ 10 โดยน้ำหนัก พร้อมทั้งแบ่งเป็นการบ่มร้อนและบ่มอากาศ ใช้การเคลือบ 1 ชั้น และ 2 ชั้น ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่า เมื่อแช่น้ำทะเลถึง 90 วัน ก้อนตัวอย่างยังไม่มีการสูญเสียน้ำหนักทุกอัตราส่วนผสมเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับผลการศึกษาของ Sikora และคณะ [18] ที่ทดสอบคอนกรีตที่เคลือบด้วยจีโอพอลิเมอร์มอร์ตาร์ และแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ พบว่า ตัวอย่างมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน และรวมถึงก้อนตัวอย่างที่ไม่ผ่านการเคลือบจีโอพอลิเมอร์แต่จะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างของการบ่มจะพบว่า การบ่มร้อนส่งผลให้ก้อนตัวอย่างมีแนวโน้มน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากกว่าการบ่มอากาศทั้งการเคลือบ



รูปที่ 10 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเมื่อแช่ในน้ำทะเลที่อุณหภูมิบ่มและชั้นเคลือบ



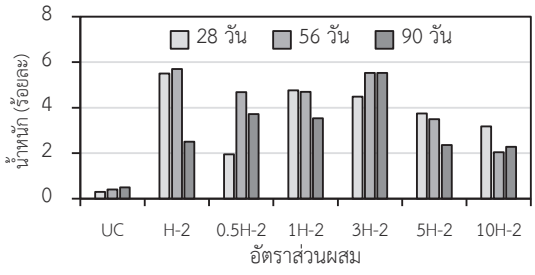
(ก) บ่มร้อน



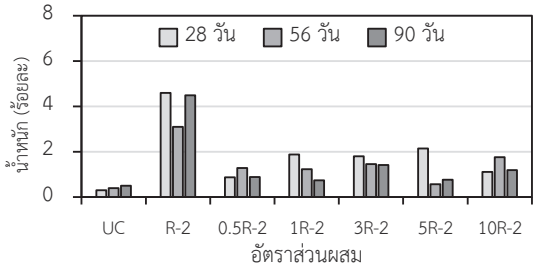
(ข) บ่มอากาศ

รูปที่ 11 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวอย่างจีโอพอลิเมอร์เคลือบ 1 ชั้น

1 ชั้น และ 2 ชั้น ดังรูปที่ 10 โดยเฉพาะตัวอย่างในช่วงอายุ 28 และ 56 วัน เนื่องจากว่าการบ่มร้อนนั้นจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำในจีโอพอลิเมอร์เพสต์จากการใช้ทำปฏิกิริยา มีการก่อตัวอย่างรวดเร็วจากความร้อน ในขณะที่การบ่มอากาศนั้นน้ำถูกใช้ในการบวนการอย่างช้าๆ การใช้น้ำในจีโอพอลิเมอร์เพสต์จะส่งผลให้เนื้อเพสต์แห้ง เมื่อนำไปแช่น้ำทะเลทำให้เกิดการดูดซึมน้ำมากกว่าปกติ



(ก) บ่มร้อน



(ข) บ่มอากาศ

รูปที่ 12 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวอย่างจีโอพอลิเมอร์เคลือบ 2 ชั้น

จากรูปที่ 11 และ 12 เมื่อพิจารณาการจากแทนที่น้ำยางพาราพบว่า การแทนที่น้ำยางพารามากขึ้นพอจะสังเกตได้ว่ามีการดูดซึมน้ำลดลง ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนที่การแทนที่น้ำยางพาราร้อยละ 10 เนื่องจากในน้ำยางพารามีปริมาณน้ำมากประมาณร้อยละ 60–65 ส่งผลให้การดูดน้ำน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ ปิติศานต์ และคณะ [19] ได้ทำการศึกษาการต้านทานซัลเฟตของซีเมนต์มอร์ตาร์ พบว่า ตัวอย่างซีเมนต์มอร์ตาร์ที่แช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต 68 สัปดาห์ ยังไม่มีการสูญเสียน้ำหนักและมียังมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ทั้งตัวอย่างที่ผสมจากปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และ 5 พร้อมทั้งมีการแทนที่ด้วยฝุ่นหินปูนและเถ้าลอยในขณะที่ตัวอย่างที่ผ่านการแช่สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตเกิดการสูญเสียน้ำหนักในทุกอัตราส่วนผสม อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงวัสดุจีโอพอลิเมอร์จากงานวิจัยที่ผ่านมา แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตเมื่อแช่ในโซเดียมและแมกนีเซียมซัลเฟต 180 วัน ไม่มีการสูญเสียน้ำหนักแต่กลับมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น [20]

4. สรุป

จากการศึกษาผลการสูญเสียน้ำหนักและการสูญเสียกำลังอัดของตัวอย่างซีเมนต์มอร์ตาร์ที่แช่กรดซัลฟิวริก และการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเมื่อแช่ในน้ำทะเล ที่เคลือบด้วยจีโอพอลิเมอร์เพสต์จากดินขาวเผาสรุปได้ดังนี้

1) การเคลือบซีเมนต์มอร์ตาร์ด้วยจีโอพลิเมอร์เพสต์จากดินขาวเผามีแนวโน้มสามารถป้องกันการสูญเสียกำลังอัดและการสูญเสียน้ำหนักจากการแช่กรดซัลฟิวริกได้ดีกว่าซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ไม่ผ่านการเคลือบ

2) การบ่มอากาศโดยการเคลือบ 2 ชั้น สามารลดการสูญเสียกำลังอัดได้ดี ในขณะที่เมื่อใช้วิธีการบ่มร้อนการเคลือบ 1 ชั้น สามารถลดการสูญเสียกำลังอัดได้ดีกว่าเคลือบ 2 ชั้น ของตัวอย่างที่แช่กรดซัลฟิวริก

3) การเคลือบจีโอลิเมอร์เพสต์สามารถป้องกันการสูญเสียน้ำหนักจากการกัดร่อนของกรดซัลฟิวริกได้เป็นอย่างดีในทุกส่วนผสม ชั้นเคลือบ และอุณหภูมิการบ่ม ยกเว้นการบ่มอากาศที่มีการเคลือบ 1 ชั้น

4) ซีเมนต์มอร์ตาร์ที่ผ่านการเคลือบจีโอพอลิเมอร์เพสต์เมื่อแช่น้ำทะเลจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นในทุกส่วนผสม ชั้นเคลือบ และอุณหภูมิการบ่ม โดยเฉพาะตัวอย่างที่ผ่านการบ่มร้อน

5) การเพิ่มปริมาณน้ำยางพารามากขึ้นส่งผลให้ตัวอย่างมีแนวโน้มน้ำหนักลดลงเมื่อแช่น้ำทะเล โดยเฉพาะที่การแทนที่น้ำยางพาราร้อยละ 10

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ให้การสนับสนุนทุนวิจัย ขอขอบคุณหน่วยวิจัยโครงสร้างพื้นฐานและนวัตกรรมวัสดุ และสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ ให้การสนับสนุนเครื่องมืออุปกรณ์ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Marine and Coastal Resources Research and Development Institute. (2019). *Coral map 2019*. [Online]. Available: https://www.dmcr.go.th/detailLib/4925

[2] T. Cheewaket, C. Jaturapitakkul, and W. Chalee, “Effect of fly ash on chloride penetration ad compressive strength of reclycled and natural aggregate concrete under 5-year exposure in marine environment,” *The Journal of KMUTNB*, vol. 29, no. 1, pp. 112–123, 2019 (in Thai).

[3] L. Y. Ponhsampatea, T. Cheewaket, and W. Chalee, “Chloride penetration and steel corrosion of concrete containing palm oil fuel ash under 5-year exposure in marine environment,” *The Journal of KMUTNB*, vol. 28, no. 1, pp. 23–36, 2018 (in Thai).

[4] T. Bakharev, “Resistance of geopolymer materials to acid attack,” *Cement and Concrete Research*, vol. 35, no. 4, pp. 658–670, 2005.

[5] S. Hanjitsuwan, T. Phoo-ngernkham, L. Y. Li, N. Damrongwiriyanupap, and P. Chindaprasirt, “Strength development and durability of alkali-activated fly ash mortar with calcium carbide residue as additive,” *Construction and Building Materials*, vol. 162, pp. 714–723, 2018.

[6] U. Rattanasa, “Coating materials for concrete prepared from alkali-activated fly ash for application in acid condition,” Faculty of Science, Burapha University, Thailand, 2015.

[7] A. M. Aguirre-Guerrero, R. A. Robayo-Salazar, and R.M. Gutiérrez, “A novel geopolymer application: Coatings to protect reinforced concrete against corrosion,” *Applied Clay Science*, vol. 137, pp. 437–446, 2017.

[8] A. Hawa. D. Tonnayopas, W. Prachasaree, and P. Taneerananon, “Properties of metakaolin based geopolymer binder used in repair of concrete pavement,” *Princess of Naradhiwas*

University Journal, vol. 5, no. 2, pp. 37–47, 2013 (in Thai).

[9] A. Hawa and W. Prachasaree, "Metakaolin based geopolymer," *Princess of Naradhiwas University Journal*, vol. 8, no. 1, pp. 155–167, 2016 (in Thai).

[10] *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)*, ASTM C109/C109M-07, 2008.

[11] V. Sata, A. Sathonsaowaphak, and P. Chindaprasirt, "Resistance of lignite bottom ash geopolymer mortar to sulfate and sulfuric acid attack," *Cement and Concrete Composites*, vol. 34, no. 5, pp. 700-708, 2012.

[12] S. Alonso and A. Palomo, "Alkaline activation of metakaolin and calcium hydroxide mixtures: Influence of temperature, activator concentration and solids ratio," *Materials Letters*, vol. 47, no. 1-2, pp. 55-62, 2001.

[13] K. Somna, C. Jaturapitakkul, P. Kajitvichyanukul, and P. Chindaprasirt, "NaOH-activated ground fly ash geopolymer cured at ambient temperature," *Fuel*, vol. 90, no. 6, pp. 2118–2124, 2011.

[14] S. Hanjitsuwan, T. Phoo-ngernkham, and P. Chindaprasirt, "Influence of fineness of high calcium fly ash on properties of geopolymer paste," *KMUTT Research and Development Journal*, vol. 36, no. 4, pp. 399–408, 2013 (in Thai).

[15] P. Rovnaník, "Effect of curing temperature on the development of hard structure of metakaolin-based geopolymer," *Construction and Building Materials*, vol. 24, no. 7 pp. 1176–1183, 2010.

[16] K. Sothonchaivit, W. Tangchirapat, T. Cheewaket, and C. Jaturapitakkul, "A study of compressive strength and sulfuric acid and magnesium sulfate resistances of geopolymer mortar made from calcium fly ash blended with high calcium fly ash," *Journal of Thailand Concrete Association*, vol. 6, no. 2, pp. 58-66, 2018 (in Thai).

[17] A. Hawa, W. Prachasaree, and D. Tonnayopas, "Effect of water-to-powder ratios on the compressive strength and microstructure of metakaolin based geopolymers," *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, vol. 24, no. 6, pp. 499–506, 2017.

[18] S. Sikora, E. Gapys, B. Michalowski, T. Horbanowicz, and M. Hynowski, "Geopolymer coating as a protection of concrete against chemical attack and corrosion," in *Proceedings E3S Web of Conferences 49*, 2018.

[19] P. Krammart, I, Sirisawat, W. Saengsoy, and S. Tangtermsirikul, "Sulfate resistance of mortars with limestone powder," *Journal of Thailand Concrete Association*, vol. 2, no. 2, pp. 17–24, 2014 (in Thai).

[20] D. Bondar, C. J. Lynsdale, N. B. Milestone, and N. Hassani, "Sulfate resistance of alkali activated pozzola," *International Journal of Concrete Structures and Materials*, vol. 9, no. 2, pp. 145–158, 2015.