สมรรถนะของเถ้าลอยแคลเซียมสูงจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์เป็นวัสดุเคลือบท่อซีเมนต์ต่อการกัดกร่อนด้วยกรดซัลฟิวริก

PERFORMANCE HIGH-CALCIUM FLY ASH GEOPOLYMER MORTAR IS A CEMENT PIPE COATING MATERIAL AGAINST SULFURIC ACID CORROSION.

อภิสิทธิ์ ดีศาสตร์[1] และ เจริญชัย ฤทธิรุทธ [2*]
[1] นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานวิทยาเขตขอนแก่น
[2] อาจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานวิทยาเขตขอนแก่น
*Corresponding author address: Deesart.2540@gmail.com

บทคัดย่อ

ท่อซีเมนต์ถูกนำมาใช้เป็นสิ่งอำนวยความสะดวกในการถ่ายโอนสิ่งปฏิกูลภายในประเทศและน้ำเสียออกจากโรงงานอุตสาหกรรมเนื่องจากมีการใช้ต้นทุนที่ต่ำ อย่างไรก็ตามท่อซีเมนต์ไม่มีความทนทานต่อกรดเนื่องจากสารประกอบแคลเซียมในปูนซีเมนต์สามารถถูกละลายในกรดทำให้ความพรุนเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ท่อซีเมนต์เสื่อมสภาพ การเคลือบท่อซีเมนต์เป็นหนึ่งในวิธีการป้องกันการกัดกร่อนเนื่องจากกรด โดยจีโอโพลิเมอร์เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติเชิงกลและป้องกันการกัดกร่อนเนื่องจากกรดได้ดี ดังนั้นวัสดุจีโอโพลิเมอร์จึงเป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัยนี้ โดยใช้อัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสานเท่ากับ 2.00, 2.25, 2.50, 2.75 และ 3.00 คุณสมบัติที่ทำการศึกษาโดยเปรียบเทียบกับวัสดุเคลือบท่อซีเมนต์ทั่วไปได้แก่ การหดตัวแบบแห้ง การสูญเสียกำลังอัดและน้ำหนักจากการกัดกร่อนโดยกรดซัลฟิวริก(H_2SO_4) pH=(7, 6, 5, 4 และ 3) ที่อายุแช่ 7 วัน กำลังยึดเหนี่ยว และการซึมผ่านน้ำ จากผลการทดสอบจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ ค่าการหดตัวแบบแห้งมีแนวโน้มลดลงตามอัตราส่วนทรายต่อวัสดุเชื่อมประสานที่เพิ่มขึ้น การแช่ในกรดซัลฟิวริกที่ pH เท่ากับ 3 ทำให้จีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์มีการสูญเสียกำลังรับแรงอัดมากที่สุด โดยเฉพาะ OPC มีการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุดที่แช่ในกรดซัลฟิวริกที่ pH เท่ากับ 3

คำสำคัญ: *เถ้าลอย , จีโอโพลิเมอร์ , กรดซัลฟิวริก , การเคลือบ*

Abstract

Cement pipes are used as facilities to transfer domestic sewage and wastewater out of industrial plants due to low cost consumption. However, cement pipes are not resistant to acids, since calcium compounds in cement can be dissolved in acids, resulting in increased porosity, resulting in deterioration of cement pipes. Cement pipe coating is one of the methods of protection against acid corrosion. Geopolymer is a material with good mechanical properties and anti-corrosion due to acids. Therefore, geopolymer materials guide this research by using a Sand/Fly ash of 2.00, 2.25, 2.50, 2.75 and 3.00. The properties studied by comparing with conventional cement pipe coatings were: Drying Shrinkage, Loss of compressive strength and weight from sulfuric acid corrosion (H_2SO_4) pH=(7, 6, 5, 4 and 3) at 7 days, Bond Strength and water permeability. From the test results of the geopolymer mortar found that. The dry shrinkage tended to decrease as the sand to bond ratio increased. Soaking in sulfuric acid at a pH of 3 resulted in the greatest loss of compressive strength in the geopolymer mortar. Specifically, OPC had the most weight loss soaked in sulfuric acid at a pH of 3.

Keywords: *Fly Ash, Geopolymer, Sulfuric Acid, Coating*

1. บทนำ

ท่อซีเมนต์ถูกนำมาใช้เป็นสิ่งอำนวยความสะดวกในการถ่ายโอนสิ่งปฏิกูลภายในประเทศและน้ำเสียออกจากโรงงานอุตสาหกรรมเนื่องจากมีการใช้ต้นทุนที่ต่ำ อย่างไรก็ตามท่อซีเมนต์ไม่ทนทานต่อกรดเนื่องจากสารประกอบแคลเซียมในปูนซีเมนต์สามารถถูกละลายในกรดทำให้ความพรุนเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปูนซีเมนต์เสื่อมสภาพ โดยมีหลายวิธีในการควบคุมคอนกรีต การย่อยสลายในการบำบัดน้ำเสียท่อดินเหนียวได้รับพิจารณาเนื่องจากมีความต้านทานต่อกรดอัลคาไลน์ สิ่งปฏิกูลบำบัดน้ำเสีย และยังมีความทนทานต่อการกัดเซาะ [1] กระบวนการ Vitrification เป็นการใช้อุณภูมิสูงส่งผลให้เกิดการหลอมตัวกันของอนุภาคทำให้ผลิตภัณฑ์มีความพรุนต่ำและมีความแข็งคล้ายกับกระเบื้องเซรามิก อย่างไรก็ตามกระบวนการนี้เหมาะสำหรับท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 300 มิลลิเมตร และในการผลิตมีค่าใช้จ่ายสูง[2] การซ่อมแซมด้วยการเคลือบเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในปัจจุบัน [1] ความแข็งแรงของพันธะและความทนทานต่อสารเคมีของวัสดุเคลือบผิวจึงมีบทบาทที่สำคัญจีโอโพลิเมอร์ เป็นวัสดุเชื่อมประสานที่ได้รับความสนใจและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

เพื่อเป็นทางเลือกใหม่ในงานวัสดุก่อสร้าง ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีอยู่ว่าจีโอโพลิเมอร์จัดเป็นวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสามารถนำวัสดุพลอยได้จากอุตสาหกรรมมาใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการผลิต [3] อีกทั้งยังมีคุณสมบัติการยึดประสานคล้ายปูนซีเมนต์ที่สามารถก่อตัวและแข็งตัวได้ที่อุณหภูมิห้อง ให้กำลังที่สูงในระยะเวลาที่ใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ [4] และมีความทนทานต่อกรดที่ดี [5] จีโอโพลิเมอร์จึงเป็นศักยภาพที่ดีในการนำไปใช้เป็นวัสดุซ่อมแซมท่อซีเมนต์ที่ถูกกัดกร่อนด้วยกรดซัลฟิวริก

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ จึงใช้จีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากเถ้าลอยที่อยู่ภายใต้การกัดกร่อนเนื่องจากกรดซัลฟิวริก(pH=3, 4, 5, 6, และ 7) เพื่อศึกษาการสูญเสียกำลังอัดภายใต้การกัดกร่อนเนื่องจากกรดซัลฟิวริก การสูญเสียน้ำหนักภายใต้การกัดกร่อนเนื่องจากกรดซัลฟิวริก ความต้านทานกำลังยึดหน่วง ความต้านทานในการหดตัว-ขยายตัว และการซึมผ่านน้ำ และสามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ที่เป็นวัสดุเคลือบท่อซีเมนต์กับวัสดุเคลือบท่อซีเมนต์ทั่วไป

2. การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ

2.1. วัสดุ

2.1.1. ปูนซีเมนต์(OPC)

ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

2.1.2. เถ้าลอย(FA)

จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง สามารถจำแนกเถ้าลอยได้เป็นชนิด C (Class C) ที่มีปริมาณแคลเซียมสูง ตามมาตรฐาน ASTM 618

2.1.3. ทรายละเอียด

ใช้ทรายแม่น้ำตามมาตรฐาน ASTM C 136-96a และมีค่าโมดูลัสความละเอียด (F.M.) เท่ากับ 1.93

2.1.4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH) ความเข้มข้น 10 โมลาร์ จะใช้เกล็ดโซเดียมไฮดรอกไซด์เกล็ด 400 กรัม ละลายในน้ำกลั่นในปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

2.1.5. สารละลายโซเดียมซิลิเกต

สารละลายโซเดียมซิลิเกต (Sodium silicate; Na_2SiO_3) ซึ่งมีองค์ประกอบของ Na_2O, SiO_2 และ H_2O ร้อยละ 12.00, 28.50 และ 59.50 โดยมวล ตามลำดับ

2.1.6. กรดซัลฟิวริกกรดซัลฟิวริก (SULFURIC ACID pH=3, 4, 5, 6, และ 7 ; H_2SO_4)

2.2. อัตราส่วนผสมของจีโอโพลิเมอร์มอร์ต้าร์

อัตราส่วนที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากเถ้าลอย ดังนี้ อัตราส่วนของทรายต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 2.00, 2.25, 2.50, 2.75 และ 3.00 อัตราส่วนของสารโซเดียมซิลิเกตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 0.67 ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 10 และ ควบคุมสารละลายที่ทำให้ตัวอย่างมีค่าการไหลแผ่ (Flow) เท่ากับร้อยละ 110 + 5

2.3. วิธีการทดสอบ

การทดสอบความข้นเหลวของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ด้วยโต๊ะการไหลแผ่ ตามมาตรฐาน ASTM C230 เป็นการทดสอบหาปริมาณสารละลายในส่วนผสมที่ทำให้จีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์มีค่าการไหล (flow) เท่ากับร้อยละ 110 + 5

การทดสอบการสูญเสียกำลังอัดจากการกัดกร่อนโดยกรด ใช้แบบหล่อทรงลูกบาศก์ ขนาด 5x5x5 เซนติเมตร ทิ้งตัวอย่างไว้ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง โดยการนำตัวอย่างทำการบ่มในน้ำเป็นเวลา 7 วัน หลังจากนั้นจึงนำตัวอย่างทดสอบไปบ่มในสารละลายกรดซัลฟิวริก(pH=3, 4, 5, 6 และ 7) จากนั้นทำการทดสอบกำลังอัดที่ระยะเวลา 7 วัน ตามมาตรฐาน ASTM C109

การทดสอบการสูญเสียน้ำหนักจากการกัดกร่อนโดยกรด ใช้แบบหล่อทรงลูกบาศก์ ขนาด 5x5x5 เซนติเมตร ทิ้งตัวอย่างไว้ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง โดยการนำตัวอย่างทำการบ่มในน้ำเป็นเวลา 7 วัน หลังจากนั้นจึงนำตัวอย่างทดสอบไปบ่มในสารละลายกรดซัลฟิวริก(pH=3, 4, 5, 6 และ 7)จากนั้นทำการทดสอบที่ระยะเวลา 7 วัน โดยนำจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์มาชั่งหาน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น

การทดสอบการสูญเสียกำลังยึดเหนี่ยวจากการกัดกร่อนโดยกรด ตามมาตรฐาน DL/T5150-2001 ใช้แบบหล่อเพื่อทดสอบการรับแรงยึดเหนี่ยวของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ การหล่อชิ้นตัวอย่างจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยจะใช้ส่วนผสมของมอร์ตาร์หล่อชิ้นส่วน first half cylinder ขึ้นมาก่อน แล้วบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน หลังจากนั้นทำการหล่อ second half cylinder ลงบนตัว first half cylinder (ก่อนทำการหล่อ second half cylinder ให้ทำความสะอาดผิวสัมผัสระหว่าง first half cylinder กับ second half cylinder ของตัวอย่าง first half cylinder ด้วยอะซิโตน) แล้วทิ้งตัวอย่างไว้ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องโดยการนำตัวอย่างทำการบ่มในน้ำเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นทำการทดสอบที่ระยะเวลา 7 วัน

การทดสอบการหดตัวแบบแห้ง ใช้แท่งตัวอย่างจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ขนาด 2.5x2.5x28.5 ซม. ทิ้งตัวอย่างไว้ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง ถอดแบบแท่งมอร์ต้าร์ที่อายุ 1 วัน และวัดค่าเริ่มต้นโดยใช้เครื่องมือวัดการขยายตัว (Comparator,ASTM C 490) ที่

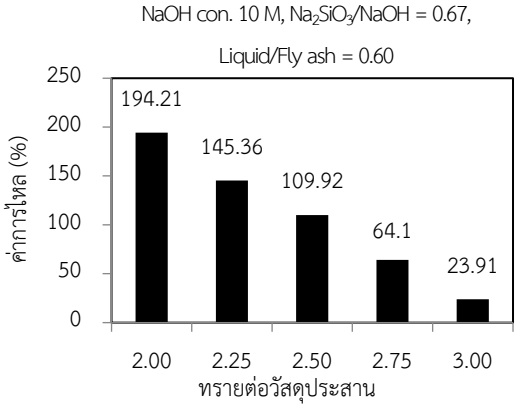
อายุ 1, 3, และ 7 วัน

การทดสอบอัตราการซึมผ่านน้ำตามมาตรฐาน DIN 1048 ทำการทดสอบโดยใช้น้ำที่มีแรงดันคงที่ 5 บาร์ ไหลผ่านตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม.หนา 4 ซม. แล้วทำการวัดอัตราการไหลของน้ำผ่านคอนกรีตเพื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมของน้ำ ซึ่งมีหน่วยเป็น เมตร/วินาที

3. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

3.1. ค่าการไหลของจีโอโพลิเมอร์มอร์ต้าร์

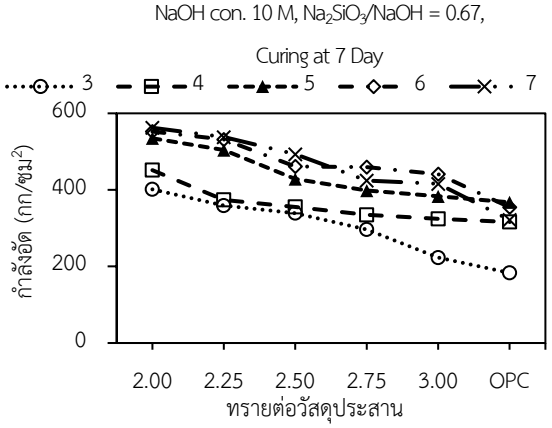
จากรูปที่ 1 แสดงผลการทดสอบค่าการไหล (flow) ของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากเถ้าลอยแคลเซียมสูง โดยใช้โต๊ะทดสอบการไหล (flow table) และแบบทดสอบการไหล (flow mold) ตามมาตรฐาน ASTM C230 เพื่อทดสอบความสามารถในการทำงานของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์เถ้าลอยแคลเซียมสูง จากผลการทดสอบพบว่า ค่าการไหลลดลงเมื่ออัตราส่วนทรายต่อวัสดุเชื่อมประสานเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดสอบสอดคล้องกับงานวิจัยของ ธนากร ภูเงินขำ และคณะ [3] เนื่องจากการเพิ่มอัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสานส่งผลให้อัตราส่วนสารละลายต่อวัสดุแข็งทั้งหมด (วัสดุเชื่อมประสานรวมกับทราย) เพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังนั้นเมื่อสัดส่วนของของเหลวเพิ่มขึ้นค่าการไหลแผ่จึงเพิ่มขึ้นตามด้วย



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหลกับอัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสาน

3.2. การสูญเสียกำลังอัดเนื่องจากกรดซัลฟิวริก

จากรูปที่ 2 แสดงผลการทดสอบการสูญเสียกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ควบคุมและจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากเถ้าลอยแคลเซียมสูง วิธีการเตรียมตัวอย่างตามมาตรฐาน ASTM C109 ตัวอย่างสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัดใช้แบบหล่อรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 50x50x50 มิลลิเมตร โดยแช่ในกรดซัลฟิวริก(pH = 3, 4, 5, 6 และ 7) และทดสอบตัวอย่างที่อายุ 7 วัน พบว่า การแปรผันอัตราส่วนทรายต่อวัสดุเชื่อมประสาน ส่งผลให้อัตราส่วนสารละลายต่อของแข็งทั้งหมด (วัสดุเชื่อมประสานรวมกับทราย) มีการเปลี่ยนแปลง โดยอัตราส่วนทรายต่อวัสดุเชื่อมประสานที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราส่วนสารละลายต่อของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้นด้วย จึงส่งผลให้ในระบบจีโอโพลิเมอร์มีปริมาณของสารละลายสูงจึงจำเป็นต้องใช้ระยะเวลานานในการเกิดปฏิกิริยาเพื่อให้จีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จะมีความสามารถรับกำลังได้ ในขณะเดียวกันการสูญเสียกำลังอัดเนื่องจากกรดซัลฟิวริกมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการแช่ตัวอย่างในกรดซัลฟิวริกที่ pH = 3 ทำให้ OPC มีการสูญเสียกำลังอัดมากที่สุด เนื่องจาก OPC มีปริมาณแคลเซียมมากเมื่อเทียบกับจีโอโพลิเมอร์ ทำให้ OPC เกิดการก่อตัวของแคลเซียมซัลเฟต($CaSO_4$) [7] มากกว่าจีโอโพลิเมอร์ ทำให้มอร์ตาร์ควบคุมเสื่อมสภาพมากกว่าจีโอโพลิเมอร์ ดังนั้นจึงส่งผลให้ OPC เกิดการสูญเสียกำลังอัดมากกว่าจีโอโพลิเมอร์ และโดยรวมแสดงให้เห็นว่าจีโอโพลิเมอร์มีประสิทธิภาพมากกว่าซีเมนต์มอร์ตาร์ควบคุม (OPC)



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสาน

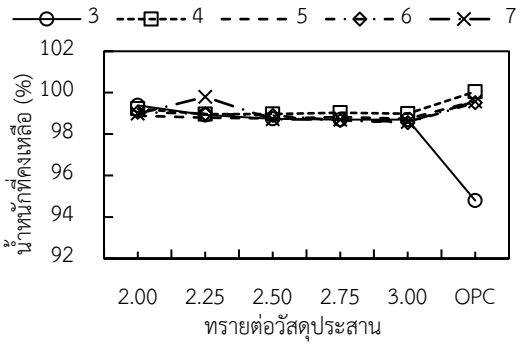
3.3. การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรดซัลฟิวริก

จากรูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักกับทรายต่อวัสดุประสานของมอร์ตาร์ควบคุมและจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากเถ้าลอยแคลเซียมสูง วิธีการเตรียมตัวอย่างตามมาตรฐาน ASTM C109 ตัวอย่างสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัดใช้แบบหล่อรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 50x50x50 มิลลิเมตร โดยแช่ในกรดซัลฟิวริก(pH = 3, 4, 5, 6 และ 7) และทดสอบตัวอย่างที่อายุ 7 วัน พบว่า การสูญเสียน้ำหนักของมอร์ตาร์ควบคุมและจีโอโพลิเมอร์ค่อนข้างน้อยหรือไม่เกิดการสูญเสียน้ำหนักเลย แต่ OPC ที่แช่ในกรดซัลฟิวริกที่ pH = 3 มีน้ำหนักที่เหลืออยู่ 94.79 % เมื่อเปรียบเทียบกับจีโอโพลิเมอร์จะเห็นว่าจีโอโพลิเมอร์มีน้ำหนักที่คงเหลืออยู่มากกว่ามอร์ตาร์ควบคุม สังเกตได้จากรูปที่ 4

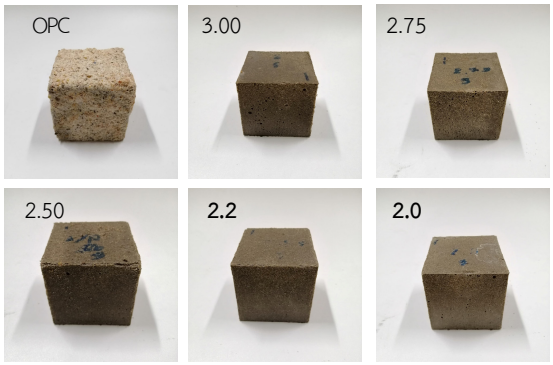
3.4. กำลังยึดเหนี่ยวของจีโอโพลิเมอร์มอร์ต้าร์

จากรูปที่ 5 แสดงผลการทดสอบการกำลังยึดเหนี่ยวของมอร์ตาร์ควบคุมและจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากเถ้าลอยแคลเซียมสูง ตามมาตรฐาน DL/T5150-2001 พบว่า แรงยึดเหนี่ยวมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราส่วนทรายต่อวัสดุเชื่อมประสานเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากอัตราส่วนทรายต่อวัสดุเชื่อมประสานเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้จีโอโพลิเมอร์เพสต์ลดลงดังนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะน้อยลง ส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวลดลง อัตราส่วนทรายต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 2.00, 2.25, 2.50, 2.75 และ 3.00 ให้แรงยึดเหนี่ยวที่อายุ 7 วัน เท่ากับ 14.31, 9.03, 6.24, 5.65 และ 2.53 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

NaOH con. 10 M, Na_2SiO_3/NaOH = 0.67,
Curing at 7 Day

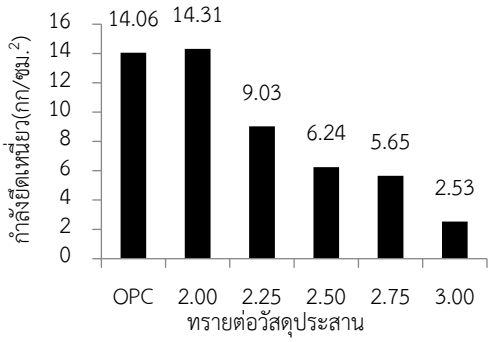


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่คงเหลือกับอัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสาน



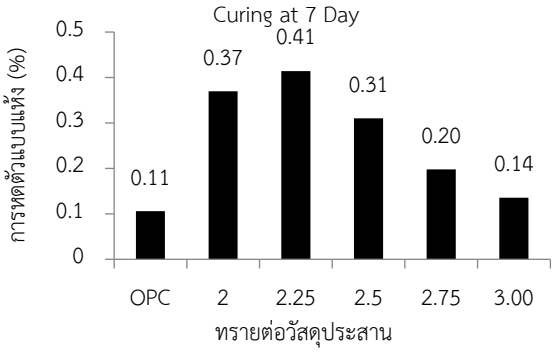
รูปที่ 4 มอร์ต้าร์หลังแช่ในกรดซัลฟิวริก Ph = 3 ที่อายุบ่ม 7 วัน

NaOH con. 10 M, Na_2SiO_3/NaOH = 0.67,
Curing at 7 Day



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังยึดเหนี่ยวกับอัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสาน

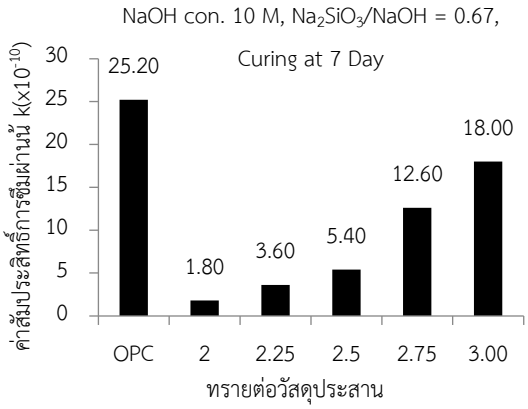
NaOH con. 10 M, Na_2SiO_3/NaOH = 0.67,
Curing at 7 Day



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวแบบแห้งกับอัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสาน

3.5. การหดตัวแบบแห้ง

จากรูปที่ 6 แสดงผลการทดสอบการหดตัวแบบแห้งของมอร์ตาร์ควบคุมและจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากเถ้าลอยแคลเซียมสูงตามมาตรฐาน ASTM C490 โดยใช้แท่งตัวอย่างมอร์ตาร์ขนาด 2.5x2.5x28.5 ซม. พบว่าค่าการหดตัวแบบแห้งของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากเถ้าลอยแคลเซียมสูงมีแนวโน้มลดลงตามอัตราส่วนทรายต่อวัสดุเชื่อมประสานที่เพิ่มขึ้น วัสดุประสานซึ่งเป็นวัสดุเฉื่อยทำให้การหดตัวของจีโอโพลิเมอร์ลดลง ในขณะเดียวกัน OPC จะเกิดการหดตัวแบบแห้งน้อยกว่าจีโอโพลิเมอร์ เนื่องจากซีเมนต์ควบคุมมีปริมาณ C-S-H ที่มีลักษณะเป็นผลึกที่สามารถลดการหดตัวของมอร์ตาร์ได้ [8]



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำกับอัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสาน

3.6. การซึมผ่านน้ำ

จากรูปที่ 7 แสดงผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำในมอร์ตาร์ควบคุมและจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากเถ้าลอยแคลเซียมสูงตามมาตรฐาน DIN 1048 โดยที่อายุ 7 วัน พบว่าจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ทรายต่อวัสดุประสานเท่ากับ 2.00 มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำคือ 1.8×10^{-10} เมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ควบคุม OPC ซึ่งมีค่าเท่ากับ 25.20×10^{-10} จึงทำให้จีโอโพลิเมอร์มอร์ต้าร์ทรายต่อวัสดุประสานเท่ากับ 2.00 มีค่าน้อยกว่ามอร์ตาร์ควบคุม OPC โดยคิดเป็น 14 เท่า ในขณะเดียวกันค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนทรายต่อวัสดุเชื่อมประสานเพิ่มสูงขึ้น อัตราส่วนทรายต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 2.00, 2.25, 2.50, 2.75 และ 3.00 ได้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำที่อายุ 7 วัน เท่ากับ 1.8×10^{-10}, 3.6×10^{-10}, 5.4×10^{-10}, 12.6×10^{-10} และ 18×10^{-10} ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า จีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากเถ้าลอยแคลเซียมสูงมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำต่ำกว่ามอร์ตาร์ควบคุม OPC (25.20×10^{-10})

4. สรุป

จากผลทดสอบข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า

4.1 อัตราส่วนสารละลายต่อวัสดุประสานที่ทำให้มอร์ตาร์ซีเมนต์ควบคุมและจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ที่ทรายต่อวัสดุเชื่อมประสาน 2.00, 2.25, 2.50, 2.75 และ 3.00 มีค่าการไหลอยู่ในช่วงร้อยละ 110 + 5 คือ 0.58, 0.48, 0.55, 0.60, 0.66 และ 0.62 ตามลำดับ

4.2 อัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสานเพิ่มขึ้นทำให้ค่าการสูญเสียกำลังอัดลดลง และการแช่ในกรดซัลฟิวริกที่มีค่า pH เท่ากับ 3 ทำให้จีโอโพลิเมอร์มอร์ต้าร์มีการสูญเสียกำลังอัดมากที่สุด โดยเฉพาะ OPC ที่แช่ในกรดซัลฟิวริก pH เท่ากับ 3 มีการสูญเสียกำลังอัดมากที่สุด

5. 4.3 การสูญเสียน้ำหนักของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ทุกสัดส่วนทรายต่อวัสดุประสานมีค่าค่อนข้างน้อยและใกล้เคียงกันเมื่อแช่ในกรดซัลฟิวริกทุกค่า PH โดยเฉพาะ OPC ที่แช่ในกรดซัลฟิวริก PH เท่ากับ 3 มีการสูญเสียสมรรถนะของเถ้าลอยแคลเซียมสูงจีโอโพลิเมอร์มอร์ต้าร์เป็นวัสดุเคลือบท่อซีเมนต์ต่อการกัดกร่อนด้วยกรดซัลฟิวริก
น้ำหนักมากที่สุด

4.4 แรงยึดเหนี่ยวมีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราส่วนทรายต่อวัสดุเชื่อมประสานเพิ่มมากขึ้น และกำลังยึดเหนี่ยวของจีโอโพลิเมอร์ที่ทรายต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 2.00 (14.31 ksc) มีค่าสูงกว่ามอร์ต้าร์ควบคุม OPC (14.06)

4.5 การหดตัวแบบแห้งของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์ทุกอัตราส่วนผสมมีค่ามากกว่ามอร์ต้าร์ควบคุม OPC และค่าการหดตัวแบบแห้งของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์จากเถ้าลอยแคลเซียมสูงมีแนวโน้มลดลงตามอัตราส่วนทรายต่อวัสดุเชื่อมประสานที่เพิ่มขึ้น

4.6 จีโอโพลิเมอร์มอร์ต้าร์ทรายต่อวัสดุประสานเท่ากับ 2.00 มีค่าน้อยกว่ามอร์ตาร์ควบคุม OPC โดยคิดเป็น 14 เท่า และค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนทรายต่อวัสดุเชื่อมประสานเพิ่มสูงขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับสับสนุนจากศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

7. การอ้างอิง

[1] J. Liu, C. Vipulanandan, Evaluating a polymer concrete coating for protectingnon-metallic underground facilities from sulfuric acid attack, *Tunn. Undergr.Space Technol.* 16 (1) (2001) 311–321

[2] M.R. Lindeburg, Civil Engineering Reference Manual for the PE Exam, 13th ed.,*Professional Publications*, Inc., California, 2012.

[3] ธนากร ภูเงินขำ, สกลวรรณ ห่านจิตสุวรรณ์ และ ปริญญา จินดาประเสริฐ, 2559. “อิทธิพลของอัตราส่วนทรายต่อวัสดุประสานต่อสมบัติของจีโอโพลิเมอร์มอร์ตาร์แทนที่ด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์,” *วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ.* ปีที่ 2; 39. (เมษายน-มิถุนายน): 127-137.

[4] มาริสา เทพรัตน์ และ เกียรติสุดา สมนา, 2559. “การสังเคราะห์จีโอโพลิเมอร์จากวัสดุตั้งต้นสามชนิด.” *การประชุม*

วิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ. ปีที่ 21. (มิถุนายน): 724-727.

[5] P. Chindaprasirt, U. Rattanasak, S. Taebuanhuad, Resistance to acid and sulfatesolutions of microwave-assisted high calcium fly ash geopolymer, *Mater.Struct.* 46 (3) (2013) 375–381.

[6] A. Bhowmick, S. Ghosh, Effect of synthesizing parameters on workability and compressive strength of fly ash based geopolymer mortar, *Int. J. Civ. Struct. Eng*. 3 (1) (2012) 168–177

[7] ชัย จาตุรพิทักษ์กุล, ไกรวุฒิ เกียรติโกมล และ สมชาย ชูชีพสกุล,2537,“การศึกษาผลกระทบของซัลเฟตต่อคอนกรีต,” *เอกสารประกอบการประชุมวิชาการคณะวิศวกรรมศาสตร์ สจ.ธ.* ครั้งที่2, 7–8 มิถุนายน 2537, หน้า 78-95

[8] Gonzalez, M.A. and Irassar, E.F., 1997, “Ettringite Formation in Low C_3A Portland Cement Exposed to Sodium Sulfates Solution,” *Cement and Concrete Research*, Vol. 27, pp. 1061-1072.